

การผลิตผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสสีม่วง
และการประยุกต์ใช้เป็นส่วนผสมของอาหารจำลองสำหรับผู้สูงอายุ

อนุสรฯ พลบง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
สิงหาคม 2560
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณา
วิทยานิพนธ์ของ อนุสรณ์ พลบงู ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์



..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิษณีย์ ยืนยงพุทธกาล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธาน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรรัตน์ อธิธิโสภณกุล)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิษณีย์ ยืนยงพุทธกาล)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุลยา ถิมรุ่งเรืองรัตน์)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.กล่าวขวัญ ศรีสุข)

คณะวิทยาศาสตร์อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารของมหาวิทยาลัยบูรพา

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกรัฐ ศรีสุข)

วันที่ 3 เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2560

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิชมนิ ยืนยงพุทธกาล อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางที่ถูกต้อง ตลอดจนแก้ไข ข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความละเอียดถี่ถ้วนและเอาใจใส่ด้วยดีเสมอมา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบปากเปล่าวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ได้แก่ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรรัตน์ อิทธิ โสภณกุล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์ และ รองศาสตราจารย์ ดร.กล่าวขวัญ ศรีสุข ที่ได้กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำในการปรับปรุงแก้ไข วิทยานิพนธ์ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

งานวิจัยนี้ได้รับ ทุนอุดหนุนการวิจัยประเภทบัณฑิตศึกษา จากสำนักงานคณะกรรมการ วิจัยแห่งชาติ ประจำปี 2559 (สัญญาเลขที่ กบง./2559-ท7.23) จึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบพระคุณ บริษัท คอยคำผลิตภัณฑ์อาหาร จำกัด ประเทศไทย ที่ให้ความ อนุเคราะห์เปลือกเสาวรสสำหรับเป็นวัตถุดิบใช้ทำวิทยานิพนธ์

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่ออดิเรก พลบจ และคุณแม่ประนอม สำลีม่วง ตลอดจน พี่ ๆ น้อง ๆ เพื่อน ๆ ทุกคนที่ให้กำลังใจ และสนับสนุนผู้วิจัยเสมอมา

คุณค่าและประโยชน์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นกตัญญูแก่เวทิตาแต่ บุปผาริ บุรพาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่านทั้งในอดีตและปัจจุบัน ที่ทำให้ข้าพเจ้าเป็นผู้มีการศึกษา และประสบความสำเร็จมาจนตราบเท่าทุกวันนี้

อนุสรฯ พลบจ

57910026: สาขาวิชา: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร; วท.ม. (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร)
 คำสำคัญ: เปลือกเสาวรสพันธุ์สีม่วง/ ใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ/ อาหารจำลองสำหรับผู้สูงอายุ
 อนุสรณ์ พลับจู: การผลิตผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสสีม่วง
 และการประยุกต์ใช้เป็นส่วนผสมของอาหารจำลองสำหรับผู้สูงอายุ (PRODUCTION OF
 ANTIOXIDANT DIETARY FIBER POWDER FROM PURPLE PASSION FRUIT PEEL AND ITS
 APPLICATION AS INGREDIENT FOR ELDERLY MODEL FOOD) คณะกรรมการควบคุม
 วิทยานิพนธ์: วิชมนิ ยืนยงพุทธกาล, ปร.ด., 311 หน้า. ปี พ.ศ. 2560.

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาการผลิตผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสสีม่วงเพื่อใช้เป็นส่วนผสมในอาหาร จากการศึกษาผลของการเตรียมขึ้นต้นโดยการใช้ความร้อน ได้แก่ 1) การลวกด้วยน้ำร้อน $90\pm 2^{\circ}\text{C}$ 2) การลวกด้วยไอน้ำ $100\pm 2^{\circ}\text{C}$ และ 3) การลวกด้วยไอน้ำ 121°C ที่ความดัน 15 psi โดยใช้เวลา 3 นาที และ 6 นาที พบว่า วิธีและเวลาการให้ความร้อนมีอิทธิพลร่วมกันต่อคุณภาพของผงใยอาหารด้านปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณใยอาหารทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานิน และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ($p < 0.05$) แต่ไม่มีผลต่อสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ($p \geq 0.05$) จากการนำเปลือกเสาวรสที่ผ่านการเตรียมขึ้นต้นโดยใช้ความร้อนมาแช่ต่อในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ 3% โดยใช้เวลา 10 นาที และ 30 นาที ร่วมกับการแช่โดยใช้และไม่ใช้สภาวะสุญญากาศ ที่ความดัน 50 mbar พบว่า เวลาและสภาวะการแช่มีอิทธิพลร่วมกันต่อคุณภาพของผงใยอาหารด้านปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ($p < 0.05$) แต่ไม่มีผลต่อปริมาณใยอาหารทั้งหมดและปริมาณแอนโทไซยานิน ($p \geq 0.05$) ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนโดยจัดตั้งทดลองแบบ Central Composite Design แปรอุณหภูมิการทำแห้ง 50°C - 70°C และเป็นเวลา 300-420 นาที พบว่า สมการความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพของผงใยอาหารกับสภาวะการทำแห้งมีความน่าเชื่อถือได้ (R^2 0.77-0.95) ผลจากการใช้เทคนิคการซ้อนทับกราฟ Response Surface Plot สามารถหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งได้ จากผลการทดลองได้วิธีการผลิตผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสที่เหมาะสมที่สุด คือ การเตรียมขึ้นต้นโดยการลวกด้วยน้ำร้อน 3 นาที แล้วแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ 3% 10 นาที ทำแห้งที่อุณหภูมิ 62°C 300 นาที ได้ผงใยอาหารที่มีปริมาณใยอาหารทั้งหมด 76.00 กรัม/100 กรัม ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 60.35 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/100 กรัม ปริมาณแอนโทไซยานิน 15.78 มิลลิกรัม Cyn-3-Glu/100 กรัม สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ 87.89% โดยมีสีม่วงแดงอ่อน จากการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำผงใยอาหารที่ผลิตได้มาใช้เป็นส่วนผสมของอาหารจำลองสำหรับผู้สูงอายุ พบว่า มีปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อคุณภาพที่ต้องคำนึงถึงดังนี้ ปริมาณผงใยอาหาร (1%-5%) และอุณหภูมิการเตรียม (อุณหภูมิห้อง และ $60\pm 1^{\circ}\text{C}$) มีอิทธิพลร่วมกันต่อคุณภาพของน้ำเสาวรสพร้อมดื่ม รวมทั้งปริมาณผงใยอาหาร (2%-10%) และการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ต่างชนิดกันมีผลต่อคุณภาพเต้าหู้เย็น ($p < 0.05$) โดยผลิตภัณฑ์อาหารจำลองสำหรับผู้สูงอายุต้นแบบที่ผลิตได้นี้ ได้รับการยอมรับจากผู้สูงอายุ โดยมีปริมาณใยอาหารทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ มากกว่าผลิตภัณฑ์สูตรพื้นฐานที่ไม่เติมผงใยอาหาร ($p < 0.05$)

57910026: MAJOR: FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY; M.Sc. (FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY)

KEYWORDS: PURPLE PASSION FRUIT/ ANTIOXIDANT DIETARY FIBER/ ELDERLY MODEL FOOD

ANUSARA PLOBJU: PRODUCTION OF ANTIOXIDANT DIETARY FIBER POWDER FROM PURPLE PASSION FRUIT PEEL AND ITS APPLICATION AS INGREDIENT FOR ELDERLY MODEL FOOD. ADVISORY COMMITTEE: WICHAMANEE YUENYONGPUTTAKAL, Ph.D., 311 P. 2017.

This research aimed to study the production antioxidant dietary fiber powder from purple passion fruit peel to use as ingredient in food products. The effect of heat pretreatments were investigated as; 1) water blanching at $90\pm 2^{\circ}\text{C}$ 2) steam blanching at $100\pm 2^{\circ}\text{C}$ 3) autoclave blanching at 121°C , under pressure 15 psi for 3 min. and 6 min. The results showed that methods and time of heat pretreatments had a synergistic effect on dietary fiber powder qualities; total sugar content, total dietary fiber content, anthocyanin content and total phenolic content ($p < 0.05$) but it had no effect on antioxidant activity was observed ($p \geq 0.05$). Then passion fruit peel prepared by heat treatment soaked in 3% sodium chloride solution for 10 min. and 30 min. combined with soaking with or without vacuum condition at 50 mbar were investigated. The results showed that time and soaking condition had a synergistic effect on dietary fiber powder qualities; total sugar content, total phenolic content and antioxidant activity ($p < 0.05$) but it had no effect on total dietary fiber content and anthocyanin content ($p \geq 0.05$). In order to explore the optimization of hot air drying condition, central composite design experiments were performed by various drying temperature at $50\text{-}70^{\circ}\text{C}$ and drying time at 300-420 minutes. The result showed that the relation equations between dietary powder qualities and drying condition were satisfied (R^2 0.77-0.95). The super impose technique of response surface plots were carried out and the optimization drying condition was revealed. The optimum method to produce antioxidant dietary fiber powder from purple passion fruit peel was pretreated by water blanching for 3 min and the soaking in 3% sodium chloride solution for 10 minutes then drying at 62°C for 300 min. Dietary fiber powder contained 76.00 g/100g total dietary fiber content 60.35 mg GAE/100g total phenolic content 15.78 mg Cyn-3-Glu/100g anthocyanin content and 87.89% antioxidant activity with purple-red color. Such a possibility has been further explored by using dietary fiber powder as ingredient of elderly model food. The factors involved the product qualities were considered. It was found dietary fiber content (1%-5%) and temperature preparation (room temperature and $60\pm 1^{\circ}\text{C}$) had a synergistic effect on ready-to-drink passion fruit juice quality as well as dietary fiber content (2%-10%) and types of hydrocolloids had effect on quality of chilled tofu ($p < 0.05$). The developed elderly model food products were accepted by the elderly and contained more total dietary fiber content, anthocyanin content, total phenolic content and antioxidant activity than those products without adding dietary fiber powder ($p < 0.05$).

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
สารบัญ.....	ค
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญภาพ.....	ฑ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย.....	3
ขอบเขตของการวิจัย.....	4
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 เสาวรส.....	6
2.2 โยอาหาร.....	11
2.3 การผลิตโยอาหารผงจากวัสดุเศษเหลือผักผลไม้.....	16
2.4 การเตรียมขั้นต้นก่อนการทำแห้ง.....	18
2.5 การทำแห้ง.....	22
2.6 อาหารสำหรับผู้สูงอายุ.....	24
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเตรียมขั้นต้น.....	26
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับขั้นตอนการทำแห้ง.....	30
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำโยอาหารมาใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหาร.....	33
3 วิธีดำเนินการทดลอง.....	36
วัตถุประสงค์และสารเคมี.....	36
อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	36
วิธีดำเนินการทดลอง.....	37
3.1 การวิเคราะห์คุณภาพของเปลือกเสาวรสดและผง.....	37

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3.2 การศึกษาผลของการเตรียมขั้นต้นต่อคุณภาพของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรศ.....	39
3.2.1 การศึกษาผลของการเตรียมขั้นต้น โดยการใช้ความร้อนต่อคุณภาพของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรศ.....	39
3.2.2 การศึกษาผลของการเตรียมขั้นต้น โดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อคุณภาพของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรศ.....	42
3.3 การศึกษาหาสภาวะในการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่เหมาะสมของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรศ.....	45
3.4 การวิเคราะห์คุณภาพของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรศที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับเปลือกเสาวรศผง.....	48
3.5 การศึกษาการใช้ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรศเป็นส่วนผสมของอาหารจำลองสำหรับผู้สูงอายุ.....	49
3.5.1 การศึกษาผลของปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรศและอุณหภูมิในการเตรียมต่อคุณภาพของน้ำเสาวรศพร้อมดื่ม.....	50
3.5.2 การศึกษาผลของปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรศและการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ต่อคุณภาพของเต้าหู้เย็น.....	52
3.5.3 การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์อาหารจำลองสำหรับผู้สูงอายุต้นแบบที่พัฒนาได้.....	56
4 ผลการวิจัย.....	57
4.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของเปลือกเสาวรศสดและผง.....	57
4.2 ผลของการเตรียมขั้นต้นต่อคุณภาพของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรศ.....	60
4.2.1 ผลของการเตรียมขั้นต้น โดยการใช้ความร้อนต่อคุณภาพของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรศ.....	60

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4.2.2 ผลของการเตรียมขั้นต้น โดยการแช่ในสารละลายเกลือ โซเดียมคลอไรด์ ต่อคุณภาพของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรศ.	68
4.3 ผลการศึกษาหาสภาวะในการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่เหมาะสมของ ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรศ.....	78
4.4 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจาก เปลือกเสาวรศที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับเปลือกเสาวรศผง.....	91
4.5 ผลการศึกษาการใช้ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรศ เป็นส่วนผสมของอาหารจำลองสำหรับผู้สูงอายุ.....	98
4.5.1 ผลของปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือก เสาวรศและอุณหภูมิในการเตรียมต่อคุณภาพของน้ำเสาวรศพร้อมดื่ม..	98
4.5.2 ผลของปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจาก เปลือกเสาวรศและการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ต่อคุณภาพของ เต้าหู้เย็น.....	110
4.5.3 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์อาหารจำลองสำหรับ ผู้สูงอายุต้นแบบที่พัฒนาได้.....	125
5 อภิปรายและสรุปผล.....	128
5.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของเปลือกเสาวรศสดและผง.....	128
5.2 การศึกษาผลของการเตรียมขั้นต้นต่อคุณภาพของผงใยอาหารที่มีสารต้าน อนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรศ.....	133
5.2.1 ผลของการเตรียมขั้นต้น โดยการใช้ความร้อนต่อคุณภาพของ ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรศ.....	134
5.2.2 ผลของการเตรียมขั้นต้น โดยการแช่ในสารละลายเกลือ โซเดียมคลอไรด์ ต่อคุณภาพของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรศ...	149
5.3 ผลการศึกษาหาสภาวะในการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่เหมาะสมของ ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรศ.....	161
5.4 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจาก เปลือกเสาวรศที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับเปลือกเสาวรศผง.....	171

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
5.5 ผลการศึกษาการใช้ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส เป็นส่วนผสมของอาหารจำลองสำหรับผู้สูงอายุ.....	184
5.5.1 ผลของปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือก เสาวรและอุณหภูมิในการเตรียมต่อคุณภาพของน้ำเสาวรพร้อมดื่ม.....	185
5.5.2 ผลของปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือก เสาวรและการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ต่อคุณภาพของเต้าหู้เย็น.....	195
5.5.3 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์อาหารจำลองสำหรับผู้ สูงอายุต้นแบบที่พัฒนาได้.....	215
5.5.3.1 ผลการเปรียบเทียบคุณภาพของน้ำเสาวรพร้อมดื่มที่พัฒนาได้ กับน้ำเสาวรพร้อมดื่มสูตรพื้นฐาน.....	215
5.5.3.2 ผลการเปรียบเทียบคุณภาพของเต้าหู้เย็นที่พัฒนาได้กับเต้าหู้เย็น สูตรพื้นฐาน.....	217
สรุปผลการวิจัย.....	220
ข้อเสนอแนะ.....	223
บรรณานุกรม.....	224
ภาคผนวก.....	245
ภาคผนวก ก การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี.....	246
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ.....	264
ภาคผนวก ค การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส.....	271
ภาคผนวก ง การวิเคราะห์คุณภาพทางด้านจุลินทรีย์.....	279
ภาคผนวก จ การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ.....	282
ภาคผนวก ฉ ผลการวิเคราะห์สมการรีเกรสชัน.....	307
ประวัติย่อของผู้วิจัย.....	311

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2-1	คุณค่าทางโภชนาการของน้ำเสาวรสปันธุ์สีม่วง และพันธุ์สีเหลือง ที่ผลิตจาก วัตถุดิบ 100 กรัม..... 9
2-2	คุณค่าทางโภชนาการและสารต้านอนุมูลอิสระของเปลือกเสาวรสปันธุ์สีม่วง..... 10
3-1	สิ่งทดลองเพื่อการศึกษาผลของการเตรียมขั้นต้นเปลือกเสาวรสปันธุ์สีม่วงโดยใช้ความร้อน..... 39
3-2	สิ่งทดลองเพื่อการศึกษาผลของการเตรียมขั้นต้นเปลือกเสาวรสปันธุ์สีม่วงโดยการแช่ใน สารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์..... 42
3-3	สิ่งทดลองเพื่อการศึกษาหาสภาวะในการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่เหมาะสมจากการ จัดสิ่งทดลองแบบ CCD แบบหุนกำลังสองมาตรฐาน..... 46
3-4	สิ่งทดลองเพื่อการศึกษาผลของปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ จากเปลือกเสาวรสปันธุ์สีม่วงต่อการเตรียมต่อคุณภาพของน้ำเสาวรสปันธุ์สีม่วง..... 51
3-5	สิ่งทดลองเพื่อการศึกษาผลของปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ จากเปลือกเสาวรสปันธุ์สีม่วงและการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ต่อคุณภาพของเต้าหู้เย็น..... 54
3-6	เต้าหู้เย็นสูตรแคลปีา-คาร์โบไฮเดรต..... 54
3-7	เต้าหู้เย็นสูตรอื่น..... 54
4-1	คุณภาพทางเคมีของเปลือกเสาวรสปันธุ์สีม่วง..... 58
4-2	คุณภาพทางเคมีของเปลือกเสาวรสปันธุ์สีม่วง..... 59
4-3	ค่าสีของเปลือกเสาวรสปันธุ์สีม่วง..... 59
4-4	กิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสในเปลือกเสาวรสปันธุ์สีม่วง เมื่อเตรียมขั้นต้น โดยแปร วิธีการให้ความร้อนและเวลาการให้ความร้อนที่แตกต่างกัน..... 60
4-5	สรุปผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีของเปลือกเสาวรสปันธุ์สีม่วง เมื่อเตรียม ขั้นต้น โดยแปรวิธีการให้ความร้อน (Method) และเวลาการให้ความร้อน (Time) ที่แตกต่างกัน..... 62

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4-6 สรุปผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของคุณภาพผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส เมื่อเตรียมขึ้นต้นโดยแปรวิธีการให้ความร้อน (Method) และเวลาการให้ความร้อน (Time) ที่แตกต่างกัน.....	62
4-7 ค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ค่าเฉดสี (Hue angle) ค่าความเข้มของสี (Chroma) และค่าการเปลี่ยนแปลงของสี (ΔE) ของเปลือกเสาวรหลังการลวก เมื่อเตรียมขึ้นต้นโดยแปรวิธีการให้ความร้อนและเวลาการให้ความร้อนที่แตกต่างกัน.....	63
4-8 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (TSC) ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส เมื่อเตรียมขึ้นต้นโดยแปรวิธีการให้ความร้อนและเวลาการให้ความร้อนที่แตกต่างกัน.....	64
4-9 ปริมาณใยอาหารทั้งหมด (TDF) ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส เมื่อเตรียมขึ้นต้นโดยแปรวิธีการให้ความร้อน และเวลาการให้ความร้อนที่แตกต่างกัน.....	64
4-10 ปริมาณแอนโทไซยานิน (AC) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (TPC) และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (% inhibition) ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส เมื่อเตรียมขึ้นต้นโดยแปรวิธีการให้ความร้อน และเวลาการให้ความร้อนที่แตกต่างกัน.....	65
4-11 ค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ค่าเฉดสี (Hue angle) ค่าความเข้มของสี (Chroma) และค่าการเปลี่ยนแปลงของสี (ΔE) ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส เมื่อเตรียมขึ้นต้นโดยแปรวิธีการให้ความร้อน และเวลาการให้ความร้อนที่แตกต่างกัน.....	67
4-12 ค่าความเข้มของคุณลักษณะจากการทดสอบโดยวิธี QDA ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่ผ่านการเตรียมขึ้นต้นโดยการลวกด้วยน้ำร้อน (90±2°C) เป็นเวลา 3 นาที กับเปลือกเสาวรสที่ไม่ผ่านการเตรียมขึ้นต้น (Control).....	68
4-13 สรุปผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส เมื่อเตรียมขึ้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ แปรเวลาการแช่ (Time) และการใช้สภาวะสุญญากาศ (Vacuum) ที่แตกต่างกัน.....	69

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4-14 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (TSC) ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส เมื่อเตรียมขึ้นต้น โดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ แปรเวลาการแช่ และการใช้สภาวะสุญญากาศที่แตกต่างกัน.....	69
4-15 ปริมาณใยอาหารทั้งหมด (TDF) ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส เมื่อเตรียมขึ้นต้น โดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ แปรเวลาการแช่ และการใช้สภาวะสุญญากาศที่แตกต่างกัน.....	70
4-16 ปริมาณแอนโทไซยานิน (AC) ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส เมื่อเตรียมขึ้นต้น โดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ แปรเวลาการแช่ และการใช้สภาวะสุญญากาศที่แตกต่างกัน.....	70
4-17 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (TPC) และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (%Inhibition) ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส เมื่อเตรียมขึ้นต้น โดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ แปรเวลาการแช่ และการใช้สภาวะสุญญากาศที่แตกต่างกัน.....	71
4-18 ปริมาณความชื้นก่อนการทำแห้ง และเวลาการทำแห้งของเปลือกเสาวรส เมื่อเตรียมขึ้นต้น โดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ แปรเวลาการแช่ และการใช้สภาวะสุญญากาศที่แตกต่างกัน.....	72
4-19 ค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ค่าเฉดสี (Hue angle) ค่าความเข้มของสี (Chroma) และค่าการเปลี่ยนแปลงของสี (ΔE) ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส เมื่อเตรียมขึ้นต้น โดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ แปรเวลาการแช่ และการใช้สภาวะสุญญากาศที่แตกต่างกัน.....	74
4-20 ปริมาณความชื้น (MC) ปริมาณแอนโทไซยานิน (AC) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (TPC) และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (%Inhibition) ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนสภาวะต่าง ๆ.....	80

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4-21 ผลการวิเคราะห์สมการรีเกรสชันเชิงเส้นตรงแบบพหุ แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าที่วิเคราะห์ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรศ ได้แก่ ปริมาณความชื้น (MC) ปริมาณแอนโทไซยานิน (AC) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (TPC) และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (%Inhibition) กับอุณหภูมิการทำแห้ง (X_1) และ เวลาการทำแห้ง (X_2) ของตู้อบลมร้อน.....	81
4-22 สภาวะอุณหภูมิการทำแห้ง และเวลาการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนทั้งค่าที่ได้จากกราฟ และค่าที่ใช้จริงที่จุดมุมและจุดกึ่งกลางของพื้นที่ที่ได้จากการซ้อนทับกันของกราฟ พื้นที่ผิวการตอบสนอง เมื่อกำหนดให้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรศมีคุณภาพตามที่ กำหนดไว้.....	87
4-23 ค่าคุณภาพปริมาณความชื้น (MC) ปริมาณแอนโทไซยานิน (AC) ปริมาณ สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (TPC) และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (%Inhibition) ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรศที่สภาวะต่าง ๆ.....	88
4-24 ผลการทวนสอบความแม่นยำของสมการจากการพิจารณาค่าตอบสนองที่ได้จากการ ทดลอง (Y_{ex}) ค่าตอบสนองที่ได้จากการทำนาย (Y_{pred}) และผลการคำนวณค่า Root Mean Square (RMS) ของปริมาณความชื้น (MC).....	89
4-25 ผลการทวนสอบความแม่นยำของสมการจากการพิจารณาค่าตอบสนองที่ได้จากการ ทดลอง (Y_{ex}) ค่าตอบสนองที่ได้จากการทำนาย (Y_{pred}) และผลการคำนวณค่า Root Mean Square (RMS) ของปริมาณแอนโทไซยานิน (AC).....	90
4-26 ผลการทวนสอบความแม่นยำของสมการจากการพิจารณาค่าตอบสนองที่ได้จากการ ทดลอง (Y_{ex}) ค่าตอบสนองที่ได้จากการทำนาย (Y_{pred}) และผลการคำนวณ ค่า Root Mean Square (RMS) ของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (TPC).....	90
4-27 ผลการทวนสอบความแม่นยำของสมการจากการพิจารณาค่าตอบสนองที่ได้จากการ ทดลอง (Y_{ex}) ค่าตอบสนองที่ได้จากการทำนาย (Y_{pred}) และผลการคำนวณค่า Root Mean Square (RMS) ของสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (%Inhibition).....	91
4-28 ค่าคุณภาพทางเคมีกายภาพของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือก เสาวรศที่ผลิตได้ และเปลือกเสาวรศผง.....	93

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4-29 ค่าสีของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสที่ผลิตได้ และเปลือกเสาวรสผง.....	94
4-30 สมบัติเชิงหน้าที่ของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสที่ผลิตได้และเปลือกเสาวรสผง.....	95
4-31 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์และรา (โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม) ของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสที่ผลิตได้ และเปลือกเสาวรสผง.....	97
4-32 สรุปผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของคุณภาพทางเคมีกายภาพของน้ำเสาวรสพร้อมดื่ม เมื่อแปรปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส (ADFP) และอุณหภูมิในการเตรียม (TEMP).....	98
4-33 ค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ค่าเฉดสี (Hue angle) ค่าความเข้มของสี (Chroma) และค่าการเปลี่ยนแปลงของสี (ΔE) ของน้ำเสาวรสพร้อมดื่ม เมื่อแปรปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส และอุณหภูมิการเตรียม.....	100
4-34 ค่าความหนืด และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำเสาวรสพร้อมดื่ม เมื่อแปรปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส และอุณหภูมิการเตรียม.....	101
4-35 คำศัพท์ ความหมาย และการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี QDA.....	103
4-36 สรุปผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของความเข้มคุณลักษณะน้ำเสาวรสพร้อมดื่ม จากการทดสอบ โดยวิธี QDA เมื่อแปรปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส (ADFP) และอุณหภูมิการเตรียม (TEMP).....	104
4-37 ค่าความเข้มของคุณลักษณะจากการทดสอบโดยวิธี QDA ของน้ำเสาวรสพร้อมดื่ม เมื่อแปรปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส และอุณหภูมิการเตรียม.....	105

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4-38 สรุปผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของความเข้มข้นลักษณะน้ำเสาวรส จากการทดสอบโดยวิธี Scoring Test เมื่อแปรปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส (ADFP) และอนุภูมิภาคเตรียม (TEMP).....	106
4-39 ค่าความเข้มของคุณลักษณะจากการทดสอบโดยวิธี Scoring ของน้ำเสาวรสร่วมดื่ม เมื่อแปรปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส และอนุภูมิภาคเตรียม.....	107
4-40 สรุปผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของความชอบน้ำเสาวรส เมื่อแปรปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส (ADFP) และอนุภูมิภาคเตรียม (TEMP)	108
4-41 คะแนนความชอบจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point hedonic scale ของน้ำเสาวรสร่วมดื่ม เมื่อแปรปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส และอนุภูมิภาคเตรียมที่แตกต่างกัน.....	109
4-42 สรุปผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของคุณภาพทางกายภาพของเต้าหู้เย็น เมื่อแปรปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส (ADFP) และการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ (Hydrocolloid) ที่แตกต่างกัน.....	110
4-43 ค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ค่าเฉดสี (Hue angle) ค่าความเข้มของสี (Chroma) และค่าการเปลี่ยนแปลงของสี (ΔE) ของเต้าหู้เย็น เมื่อแปรปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสและการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์.....	113
4-44 ลักษณะเนื้อสัมผัสจากการวิเคราะห์ด้วยวิธี TPA ของเต้าหู้เย็น เมื่อแปรปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสและการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์.....	114
4-45 ลักษณะเนื้อสัมผัสจากการวิเคราะห์ด้วยวิธี TPA ของเต้าหู้เย็น เมื่อแปรปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสและการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์.....	115

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4-46 คำศัพท์ ความหมาย และการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี QDA	116
4-47 สรุปผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของความเข้มข้นคุณลักษณะเต้าหู้เย็น จากการประเมินด้วยวิธี QDA เมื่อแปรปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูล อิสระจากเปลือกเสาวรส (ADFP) และการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ (Hydrocolloid)....	117
4-48 ค่าความเข้มของคุณลักษณะจากการทดสอบด้วยวิธี QDA ของเต้าหู้เย็น เมื่อแปร ปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส และ การใช้สารไฮโดรคอลลอยด์.....	118
4-49 สรุปผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของความชอบเต้าหู้เย็น จากการประเมิน ด้วยวิธี 9-point hedonic scale เมื่อแปรปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูล อิสระจากเปลือกเสาวรส (ADFP) และการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ (Hydrocolloid)....	119
4-50 คะแนนความชอบจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point hedonic scale ของเต้าหู้เย็น เมื่อแปรปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจาก เปลือกเสาวรส และการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์.....	120
4-51 ชื่อตัวแปร พารามิเตอร์ (คำศัพท์) ทางลักษณะเนื้อสัมผัส และความหมายที่ประเมิน ทางประสาทสัมผัส (ใช้ผู้ทดสอบวิธี QDA) กับลักษณะเนื้อ สัมผัสที่วัดด้วยเครื่องมือ (ใช้เครื่องวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยวิธี TPA.....	121
4-52 ค่า Pearson's correlation coefficients แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ ทางประสาทสัมผัสกับลักษณะเนื้อสัมผัสที่วัดด้วยเครื่องมือ.....	122
4-53 ค่าสถิติที่ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principle Component Analysis) ของพารามิเตอร์ลักษณะเนื้อสัมผัสของเต้าหู้เย็น.....	123
4-54 ค่าน้ำหนักขององค์ประกอบ (Factor loading) ของพารามิเตอร์ลักษณะเนื้อสัมผัสของ เต้าหู้เย็น แต่ละองค์ประกอบ (Component).....	124
4-55 ค่าคุณภาพของน้ำเสาวรสพร้อมคิมต้นแบบที่ผลิตได้และน้ำเสาวรสพร้อมคิมสูตร พื้นฐาน.....	126
4-56 ค่าคุณภาพของเต้าหู้เย็นต้นแบบที่ผลิตได้และเต้าหู้เย็นสูตรพื้นฐาน.....	127

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2-1 เสาวรส (ก) พันธุ์สีม่วง (ข) พันธุ์สีเหลือง (ค) พันธุ์ลูกผสม.....	7
2-2 ขั้นตอนการผลิตโยอาหารผงจากวัสดุเศษเหลือ.....	17
2-3 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเซลล์พืชระหว่างการลวก.....	19
2-4 ลักษณะการเคลื่อนที่ของสารละลายในช่องว่างระหว่างเซลล์ตามกลไก HDM.....	22
2-5 ลักษณะการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ที่ใช้ในการแช่ในสภาวะสุญญากาศ.....	22
3-1 เปลือกเสาวรสนั้นเป็นขึ้นขนาดประมาณ 0.5×4×0.2 เซนติเมตร.....	37
4-1 ลักษณะของเปลือกเสาวรสมงที่ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้น (Control-Unblanched) (ก) และลักษณะของผงโยอาหารที่เตรียมขั้นต้นด้วย Water blanching (90±2°C) 3 นาที (ข) Water blanching (90±2°C) 6 นาที (ค) Steam blanching (100±2°C) 3 นาที (ง) Steam blanching (100±2°C) 6 นาที (จ) Autoclave blanching (121°C, 15psi) 3 นาที และ (ฉ) Autoclave blanching (121°C, 15psi) 6 นาที (ช).....	66
4-2 ลักษณะของผงโยอาหารที่ไม่ผ่านการแช่ในสารละลายเกลือ โซเดียมคลอไรด์ (Control-Unsoaked NaCl) (ก) และลักษณะของผงโยอาหารที่ผ่านการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ เป็นเวลา 10 นาที โดยใช้สภาวะสุญญากาศ (ข) ไม่ใช้สภาวะสุญญากาศ (ค) รวมทั้งแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ เป็นเวลา 30 นาที โดยใช้สภาวะสุญญากาศ (ง) และไม่ใช้สภาวะสุญญากาศ (จ)	73
4-3 กราฟไฟแมงมุมแสดงความเข้มของคุณลักษณะจากการทดสอบโดยวิธี QDA ของผงโยอาหารจากเปลือกเสาวรสมือไม่ผ่าน (Control-Unsoaked NaCl) และผ่านการเตรียมขั้นต้น โดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ แปรเวลาการแช่ (10 และ 30 นาที) และการใช้สภาวะสุญญากาศ (ใช้ และไม่ใช้) เมื่อเสนอตัวอย่างในลักษณะผงแห้ง.....	75
4-4 กราฟไฟแมงมุมแสดงความเข้มของคุณลักษณะจากการทดสอบโดยวิธี QDA ของผงโยอาหารจากเปลือกเสาวรสมือไม่ผ่าน (Control-Unsoaked NaCl) และผ่านการเตรียมขั้นต้น โดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ แปรเวลาการแช่ (10 และ 30 นาที) และการใช้สภาวะสุญญากาศ (ใช้ และไม่ใช้) เมื่อเสนอตัวอย่างในลักษณะสารละลาย (ความเข้มข้น 5%) ที่เตรียมที่อุณหภูมิห้อง (28±2 องศาเซลเซียส)	76

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-5 ลักษณะของสารละลายผงใยอาหาร (ความเข้มข้น 5%) ที่ไม่ผ่านการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ (Control-Unsoaked NaCl) (ก) และลักษณะของสารละลายผงใยอาหารที่ผ่านการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ เป็นเวลา 10 นาที โดยใช้สภาวะสุญญากาศ (ข) ไม่ใช้สภาวะสุญญากาศ (ค) รวมทั้งแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ เป็นเวลา 30 นาที โดยใช้สภาวะสุญญากาศ (ง) และไม่ใช้สภาวะสุญญากาศ (จ) เตรียมที่อุณหภูมิห้อง (28 ± 2 องศาเซลเซียส).....	77
4-6 พื้นที่ผิวการตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณความชื้น (MC) ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรศกับอุณหภูมิการทำแห้งและเวลาการทำแห้ง (ค่ารหัส) ของตู้อบลมร้อน.....	82
4-7 พื้นที่ผิวการตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณแอนโทไซยานิน (AC) ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรศกับอุณหภูมิการทำแห้งและเวลาการทำแห้ง (ค่ารหัส) ของตู้อบลมร้อน.....	82
4-8 พื้นที่ผิวการตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (TPC) ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรศกับอุณหภูมิการทำแห้งและเวลาการทำแห้ง (ค่ารหัส) ของตู้อบลมร้อน.....	83
4-9 พื้นที่ผิวการตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ของสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (%Inhibition) ของ ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรศกับอุณหภูมิการทำแห้งและเวลาการทำแห้ง (ค่ารหัส) ของตู้อบลมร้อน.....	83
4-10 พื้นที่ผิวการตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณความชื้น (MC) ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรศกับอุณหภูมิการทำแห้งและเวลาการทำแห้ง โดยส่วนที่เรเงา หมายถึงมีปริมาณความชื้นตามที่กำหนดไว้คือ ต่ำกว่า 8 กรัม/100 กรัม.....	84
4-11 พื้นที่ผิวการตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณแอนโทไซยานิน (AC) ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรศกับอุณหภูมิการทำแห้งและเวลาการทำแห้ง โดยส่วนที่เรเงา หมายถึงมีปริมาณแอนโทไซยานินตามที่กำหนดไว้คือ ไม่ต่ำกว่า 12.73 มิลลิกรัม Cyn-3-Glu/100 กรัม น้ำหนักแห้ง.....	84

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-12 พื้นที่ผิวการตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (TPC) ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรศกับอุณหภูมิการทำแห้งและเวลาการทำแห้ง โดยส่วนที่แรเงา หมายถึงมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดตามที่กำหนดไว้คือ ต้องไม่ต่ำกว่า 61.14 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/100 กรัม น้ำหนักแห้ง.....	85
4-13 พื้นที่ผิวการตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ของสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (%Inhibition) ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรศกับอุณหภูมิการทำแห้งและเวลาการทำแห้ง โดยส่วนที่แรเงา หมายถึงมี %Inhibition ตามที่กำหนดไว้ คือ ต้องไม่ต่ำกว่า 83.52%.....	85
4-14 การซ้อนทับของพื้นที่การตอบสนองที่ทำให้ได้ค่าคุณภาพของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรศตามที่ได้กำหนดไว้ โดยจุดที่ 1-5 แสดงจุดมุม และจุดที่ 6 แสดงจุดกึ่งกลางของพื้นที่ที่ได้จากการซ้อนทับกัน.....	86
4-15 แผนภาพกระบวนการผลิตผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรศที่ผลิตได้ (ก) และเปลือกเสาวรศผง (ข).....	92
4-16 Glucose retardation index (GRI) ของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรศที่ผลิตได้ และเปลือกเสาวรศผงที่เวลา Dialysis ต่าง ๆ.....	96
4-17 โครงสร้างทางจุลภาค ที่กำลังขยาย 200 เท่า ของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรศที่ผลิตได้ (ก) และเปลือกเสาวรศผง (ข).....	96
4-18 โครงสร้างทางจุลภาค ที่กำลังขยาย 500 เท่า ของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรศที่ผลิตได้ (ก) และเปลือกเสาวรศผง (ข).....	97
4-19 ลักษณะปรากฏของน้ำเสาวรศพร้อมดื่มที่ไม่มีการเติมผงใยอาหาร (Control) (ก) และน้ำเสาวรศพร้อมดื่มที่ใช้อุณหภูมิการเตรียม 28±2°C โดยเติมปริมาณผงใยอาหาร 1% (ข) ผงใยอาหาร 2% (ค) ผงใยอาหาร 3% (ง) ผงใยอาหาร 4% (จ) ผงใยอาหาร 5% (ฉ) รวมทั้งน้ำเสาวรศพร้อมดื่มที่ใช้อุณหภูมิการเตรียม 60±1°C โดยเติมปริมาณ ผงใยอาหาร 1% (ช) ผงใยอาหาร 2% (ซ) ผงใยอาหาร 3% (ฅ) ผงใยอาหาร 4% (ญ) ผงใยอาหาร 5% (ฎ).....	99

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-20 ลักษณะปรากฏของเต้าหู้ยีส่สูตรแคปป์า-การาจิเนนที่ไม่มีการเติมผงใยอาหาร (ก) และเต้าหู้ยีส่สูตรแคปป์า-การาจิเนนที่มีการเติมผงใยอาหาร 2% (ข) ผงใยอาหาร 4% (ค) ผงใยอาหาร 6% (ง) ผงใยอาหาร 8% (จ) ผงใยอาหาร 10% (ฉ) รวมทั้งเต้าหู้ยีส่สูตรวันที่ไม่มีการเติมผงใยอาหาร (ช) และเต้าหู้ยีส่สูตรวันที่มีการเติม ผงใยอาหาร 2% (ซ) ผงใยอาหาร 4% (ฌ) ผงใยอาหาร 6% (ญ) ผงใยอาหาร 8% (ฎ) ผงใยอาหาร 10% (ฏ).....	111
4-21 Component plot แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ลักษณะเนื้อสัมผัสของ เต้าหู้ยีส่ที่ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principle Component Analysis) โดย Component 1 ประกอบด้วย S1 S2 S4 S5 T7 T9 Component 2 ประกอบด้วย T10 T11 T12 และComponent 3 ประกอบด้วย S3 T6 T8.....	125

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เสาวรสดัดเป็นผลไม้เศรษฐกิจของประเทศไทยอีกชนิดหนึ่ง มีการปลูกเพื่อบริโภคสดและแปรรูปในอุตสาหกรรมน้ำผลไม้ โดยมีแหล่งปลูกที่สำคัญได้แก่ เชียงใหม่ เชียงราย น่าน เพชรบูรณ์ ระยอง ตราด ปราจีนบุรี ชุมพร นราธิวาส และสุราษฎร์ธานี เสาวรสดเป็นที่นิยมบริโภคเนื่องจากมีรสชาติและกลิ่นหอมที่เป็นเอกลักษณ์ รวมทั้งมีคุณค่าทางโภชนาการโดยพบว่า น้ำเสาวรสด มีปริมาณวิตามินซีถึง 39.1 มิลลิกรัม/100 กรัม ซึ่งมีปริมาณสูงกว่าที่พบในน้ำมะนาว นอกจากนี้ น้ำเสาวรสดยังมีองค์ประกอบของ วิตามินเอ และสารไลโคปีน ซึ่งมีส่วนช่วยในการบำรุงสายตา บำรุงผิว และเป็นแหล่งที่ดีของใยอาหาร (ศุภวัชร สิงห์ทอง, เสนีย์ เครือเอนตร และศุภพงษ์ อวรรณ, 2556) และเนื่องจากผลผลิตเสาวรสดเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ทำให้ความต้องการของตลาดมีแนวโน้มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยมูลนิธิโครงการหลวง ได้มีการพัฒนาพันธุ์และส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกเสาวรสดมาตั้งแต่ พ.ศ. 2539 (มูลนิธิโครงการหลวง งานพัฒนาและส่งเสริมการผลิตไม้ผล, 2544 อ้างถึงใน กมลพรรณ อาสาสรรพกิจ, 2555) ในปี พ.ศ. 2556 มีรายงานปริมาณผลผลิตเฉพาะในพื้นที่ ที่โครงการหลวงรับผิดชอบ รวม 301,760 กิโลกรัม คิดเป็นมูลค่ากว่า 8.21 ล้านบาท (อัจฉรา ภาวศุทธิ, วิรัตน์ ปราบทุกข์, จิระนิล แจ่มเกิด และณัฐวรรณ ธรรมสุวรรณ, 2557)

เสาวรสดพันธุ์สีม่วง มีชื่อวิทยาศาสตร์ คือ *Passiflora edulis* Sims มีลักษณะเปลือกสีม่วงจัดเป็นเสาวรสดพันธุ์หวาน และมีกลิ่นหอมที่เป็นเอกลักษณ์ จึงนิยมนำมารับประทานโดยการบริโภคสดและแปรรูป (ฉัชชา บุญปลื้ม, 2550) มีรายงานว่า เปลือกเสาวรสดพันธุ์สีม่วง มีองค์ประกอบหลักของสารพฤกษเคมีกลุ่ม โพลีฟีนอล ฟลาโวนอยด์ และแอนโทไซยานิน ซึ่งมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ และต้านการอักเสบได้ โดยพบว่าช่วยลดอาการอักเสบในผู้ป่วยโรคข้อเข่าเสื่อม (Farid et al., 2010) นอกจากนี้ยังมีฤทธิ์ช่วยลดความดันโลหิต รวมถึงช่วยลดอาการหอบหืดได้ (Zibadi et al. 2007; Watson et al., 2008) เปลือกเสาวรสด เป็นวัสดุเศษเหลือที่ได้จากกระบวนการแปรรูปน้ำเสาวรสด คิดเป็นประมาณ 50-60% ของน้ำหนักทั้งผล (Hernandez-Santos et al., 2015) ซึ่งมักถูกทิ้งและนำมาใช้ประโยชน์เป็นเพียงอาหารสัตว์และปุ๋ย ทั้งที่วัสดุเศษเหลือนี้ยังคงมีสารอาหารที่เป็นประโยชน์ โดยเฉพาะการเป็นแหล่งของใยอาหาร รวมทั้งสารพฤกษเคมีที่สำคัญ (ศุภวัชร สิงห์ทอง และคณะ, 2556) จากการตรวจเอกสารยังไม่พบการนำเปลือกเสาวรสดพันธุ์สีม่วงมาใช้

ประโยชน์ทางการใช้เป็นส่วนผสมในอาหาร ดังนั้นการเพิ่มมูลค่าให้กับเปลือกเสาวรสปันธุ์สีม่วงจึงเป็นประเด็นที่น่าสนใจ

ใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant dietary fiber) หมายถึง ใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระเป็นองค์ประกอบ หรือกล่าวได้ว่า เป็นใยอาหารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ โดยสามารถยับยั้งหรือชะลอปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำลายอนุมูลอิสระที่ร่างกายได้รับ ยับยั้งการรวมตัวของเกล็ดเลือด การต้านจุลินทรีย์ และการต้านปฏิกิริยาการอักเสบ จึงมีส่วนช่วยป้องกันโรคต่าง ๆ เช่น โรคกระเพาะ โรคมะเร็ง โรคหัวใจ และโรคอัลไซเมอร์ เป็นต้น (Saura-Calixto, 1998) โดยทั่วไปการผลิตใยอาหารจากวัสดุเศษเหลือผักผลไม้ มักให้ความสำคัญกับการกำจัดส่วนที่ไม่ใช่ใยอาหารออกจากวัตถุดิบ โดยไม่ได้คำนึงถึงสารพฤกษเคมีที่เป็นองค์ประกอบด้วย (Oreopoulou & Tzia, 2007) สำหรับงานวิจัยนี้ต้องการผลิตผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสปันธุ์สีม่วง จึงมีความมุ่งหมายที่จะพัฒนากระบวนการผลิตผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสปันธุ์สีม่วงให้มีการสูญเสียขององค์ประกอบของ ใยอาหาร และสารพฤกษเคมีให้น้อยที่สุด โดยสารพฤกษเคมีที่สำคัญในเปลือกเสาวรสปันธุ์สีม่วง ได้แก่ กลุ่มของสารประกอบโพลีฟีนอล แอนโทไซยานิน และฟลาโวนอยด์ (Zibadi et al., 2007; Farid et al., 2010; Zeraik et al., 2011) โดยมีขอบเขตการศึกษาในขั้นตอนการเตรียมขั้นต้น และการหาสภาวะการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่เหมาะสม

ในขั้นตอนของการเตรียมขั้นต้นก่อนการทำแห้ง มักดำเนินการโดยการใช้ความร้อนและการใช้สารเคมี โดยการใช้ความร้อนมีวัตถุประสงค์สำคัญ คือ การยับยั้งเอนไซม์ที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล ช่วยให้เนื้อเยื่ออ่อนนุ่มลง ทำให้มีอัตราการทำแห้งเร็วขึ้น จึงช่วยลดเวลาในการทำแห้ง รวมถึงเป็นการลดจำนวนจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อน (Larrauri, 1999; Nilnakara, 2006; Wachirasiri, Julakarangka, & Wanlapa, 2009; Tanongkankit, 2011) สำหรับการเตรียมขั้นต้นโดยการใช้สารเคมีในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการแช่วัตถุดิบในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ ซึ่งสามารถช่วยกำจัดน้ำบางส่วนออกจากเนื้อเยื่อ ทำให้มีอัตราการทำแห้งเร็ว จึงช่วยลดเวลาในการทำแห้งลง และสามารถต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน จึงช่วยป้องกันการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของรงควัตถุระหว่างการทำแห้ง นอกจากนี้ยังสามารถช่วยกำจัดสารที่ให้กลิ่นรสที่ไม่ต้องการในวัตถุดิบ เช่น รสฝาดขม ของแทนนิน (Lewicki, 2006; กุลนรี ศาสตร์ประสิทธิ์ และกุลยา ลิมรุ่งเรืองรัตน์, 2552; สุภาพร อภิรัตนานุสรณ์, 2554) การทำแห้งเป็นขั้นตอนของการกำจัดน้ำออก ทั้งยังช่วยยืดอายุการเก็บ และสะดวกกับการนำไปใช้ แต่อย่างไรก็ตามการทำแห้งด้วยสภาวะที่แตกต่างกัน มีผลต่อคุณภาพของใยอาหารผง ด้านสมบัติเชิงหน้าที่ เช่น สมบัติการจับน้ำ (Hydration properties) และความสามารถในการดูดซับน้ำตาล (Glucose adsorption capacity) รวมทั้งการคงอยู่ของสารพฤกษเคมีที่สำคัญด้วย

(Larrauri, 1999; Garau, Simal, Rossello', & Femenia, 2007; Tanongkankit, 2011) จึงควรมีการศึกษาหาสภาวะการทำแห้งที่เหมาะสม

เนื่องด้วยปัจจุบันประเทศไทยได้กลายเป็นสังคมผู้สูงอายุ (อายุ 60 ปี ขึ้นไป) โดยในปี พ.ศ.2556 ประเทศไทยมีผู้สูงอายุ 9.6 ล้านคน และในปีพ.ศ. 2576 คาดประมาณว่าผู้สูงอายุจะเพิ่มจำนวนเป็น 14 ล้านคน หรือคิดเป็น 1 ใน 4 ของประชากรทั้งหมด (มูลนิธิสถาบันวิจัยและพัฒนาผู้สูงอายุไทย, 2557) ผู้สูงอายุยังมีอายุมากขึ้นก็มักมีความเสี่ยงสูงขึ้นต่อการเป็นโรคเรื้อรังหรือโรคประจำตัว อันเกิดจากพฤติกรรมกรรมการรับประทานอาหาร การออกกำลังกาย หรือความเสื่อมถอยของสุขภาพ (สำนักงานสถิติแห่งชาติ, 2554) ด้วยปัญหาสุขภาพของผู้สูงอายุ จึงทำให้มีความต้องการบริโภคอาหารเพื่อสุขภาพ (Functional food) มากขึ้น ทำให้ตลาดอาหารเพื่อสุขภาพมีแนวโน้มเติบโตอย่างต่อเนื่อง (สุรอรรด สุภจตุรัส, 2554) โดยในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพสำหรับผู้สูงอายุต้องมีลักษณะพิเศษที่ต้องคำนึงถึงคือ ผลิตภัณฑ์ต้องอยู่ในรูปแบบที่ง่ายต่อการเคี้ยวและกลืน (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2558) ดังนั้นในขั้นตอนสุดท้ายของงานวิจัยนี้ จึงเป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส โดยมีขอบเขตการศึกษาใช้เป็นส่วนผสมของอาหารจำลองสำหรับผู้สูงอายุในรูปแบบของอาหารจำลองประเภทของเหลว (Liquid model food) และอาหารจำลองประเภทเจล (Gel model food)

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลของการเตรียมขึ้นต้นต่อคุณภาพของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส
2. เพื่อศึกษาหาสภาวะในการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่เหมาะสมของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส
3. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสเป็นส่วนผสมของอาหารจำลองสำหรับผู้สูงอายุ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. สร้างมูลค่าเพิ่มให้เปลือกเสาวรสพันธุ์สีม่วง โดยได้ส่วนผสมที่นำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพได้
2. ได้แนวทางในการใช้ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระในอาหารสำหรับผู้สูงอายุ

ขอบเขตของการวิจัย

รายละเอียดของขอบเขตการวิจัย แบ่งตามขั้นตอนการศึกษาดังนี้ คือ

1. ศึกษาคุณภาพของเปลือกเสาวรสดและผงเพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบและพัฒนากระบวนการผลิต โดยศึกษาถึงวิธีการเตรียมขั้นต้นวัตถุดิบและการทำแห้งเปลือกเสาวรสดให้ได้เป็นผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระต่อไป

2. การศึกษาผลของการเตรียมขั้นต้นต่อคุณภาพของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสด

2.1 ศึกษาผลของการเตรียมขั้นต้นโดยการใช้ความร้อนต่อคุณภาพของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสด แปรปัจจัยที่ศึกษา 2 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยที่ 1 วิธีการให้ความร้อน 3 วิธี ดังนี้ การลวกด้วยน้ำ (Water blanching) การลวกด้วยไอน้ำ (Steam blanching) และการลวกด้วยไอน้ำภายใต้ความดัน (Autoclave blanching) และปัจจัยที่ 2 เวลาการให้ความร้อน 2 ระดับ ดังนี้ 3 และ 6 นาที โดยวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและกายภาพ รวมทั้งประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัส

2.2 ศึกษาผลของการเตรียมขั้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อคุณภาพของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสด แปรปัจจัยที่ศึกษา 2 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยที่ 1 เวลาการแช่ 2 ระดับ ดังนี้ 10 และ 30 นาที ปัจจัยที่ 2 การใช้สภาวะสุญญากาศ 2 ระดับ ดังนี้ ใช้ และไม่ใช้ โดยวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและกายภาพ รวมทั้งประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัส

3. ศึกษาหาสภาวะในการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่เหมาะสมของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสด แปรปัจจัยที่ศึกษา 2 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยที่ 1 อุณหภูมิการทำแห้ง 50-70 องศาเซลเซียส และปัจจัยที่ 2 เวลาการทำแห้ง 300-420 นาที วิเคราะห์คุณภาพ สร้างสมการที่มีความน่าเชื่อถือ และใช้เทคนิคการซ้อนทับกราฟ Response Surface Plot เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้ง

4. วิเคราะห์คุณภาพของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสดที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับเปลือกเสาวรสดผง โดยวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี กายภาพ และสมบัติเชิงหน้าที่

5. ศึกษาการใช้ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสดเป็นส่วนผสมของอาหารจำลองสำหรับผู้สูงอายุ

5.1 ศึกษาผลของปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสดและอุณหภูมิในการเตรียมต่อคุณภาพของน้ำเสาวรสดพร้อมดื่ม แปรปัจจัยที่ศึกษา 2 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยที่ 1 ปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสดที่เติมในน้ำ

เสาวรสพร้อมดื่ม 5 ระดับ ได้แก่ 1, 2, 3, 4 และ 5% และปัจจัยที่ 2 อุณหภูมิในการเตรียม ได้แก่ อุณหภูมิห้อง (28 ± 2 องศาเซลเซียส) และ 60 ± 1 องศาเซลเซียส วิเคราะห์คุณภาพทางเคมีกายภาพ รวมทั้งการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส

5.2 ศึกษาผลของปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสและการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ต่อคุณภาพของเต้าหู้เย็น แปรปัจจัยที่ศึกษา 2 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยที่ 1 ปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสที่เติมในสูตรเต้าหู้เย็น 5 ระดับ ได้แก่ 2, 4, 6, 8 และ 10% และปัจจัยที่ 2 การใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ 2 ชนิด ดังนี้ แคปป์-คาราจีแนน (K-carragenan) 1.0% และ วุ้น (Agar) 0.5% วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ รวมทั้งการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส

5.3 วิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์อาหารจำลองสำหรับผู้สูงอายุต้นแบบที่พัฒนาได้ โดยวิเคราะห์ปริมาณใยอาหาร และสารพฤกษเคมีที่สำคัญ

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เสาวรส

2.1.1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับเสาวร

เสาวร หรือ กะทกรกฝรั่ง (passion fruit) เป็นพืชในตระกูล Passifloraceae ซึ่งในประเทศไทยมีพืชในตระกูลเดียวกันนี้คือ กะทกรก (*Passiflora foetida*) สุกนทรส (*Passiflora quadrangulata*) และเสาวร (*Passiflora laurifolia*) ถิ่นกำเนิดดั้งเดิมของเสาวรอยู่บริเวณตอนใต้ของประเทศบราซิลและเริ่มมีการแพร่ขยายไปปลูกในภูมิภาคต่าง ๆ ได้แก่ ใต้หวันและฮาวาย ตั้งแต่คริสต์ศตวรรษที่ 19 เป็นต้นมา สำหรับประเทศไทยได้นำพันธุ์เสาวรเข้ามาปลูกตั้งแต่ปี พ.ศ. 2498 และมีชื่อเรียกในภาษาไทยต่าง ๆ กัน เช่น เสาวร กะทกรกยักษ์ กะทกรกฝรั่ง กะทกรกสีดา และเสาวรสีดา เป็นต้น (ลพ ภาวภูตานนท์, 2545)

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

เสาวรเป็นไม้ผลประเภทเลื้อยมีอายุหลายปี ลำต้นเป็นเถา สีเขียว ข้างในกลวง ใบมีสีเขียวเข้ม หรือเขียวแซมแดงม่วงขึ้นอยู่กับชนิดพันธุ์ ใบจริงโดยทั่วไปเป็นใบเดี่ยวมี 3 แฉก แต่ใบจริงในขณะที่เป็นต้นกล้าจะเป็นรูปไข่ไม่มีแฉก ตามขอบใบจะมีหยักละเอียดโดยรอบ มีมือจับหรือหนวดอยู่ตามข้อม้วนขดเป็นวงสำหรับยึดลำต้นให้เลื้อยเกาะหลักที่ปักผุงไว้ ดอกเป็นดอกเดี่ยวแบบสมบูรณ์เพศ เกิดจากตาดอกบริเวณง่ามใบ มีกลิ่นหอมและสีสันสะดุดตา กลีบดอกแยกจากกัน มีสีขาวบริเวณรอบ ๆ กลางใบจะมีสีม่วง ดอกจะออกจากโคนกิ่งไปยังปลายกิ่งตามลำดับ และเจริญเติบโตเป็นผลต่อไป ผลมีหลายลักษณะคือ ผลกลม รูปไข่และผลรียาว เมื่อสุกจะมีสีต่าง ๆ กัน เช่น ม่วงเข้ม ม่วงแดง ส้มหรือเหลืองขึ้นอยู่กับชนิดของพันธุ์ เปลือกผลและเนื้อส่วนนอกแข็งไม่นิยมรับประทาน ภายในผลมีเมล็ดสีน้ำตาลเข้มหรือดำเป็นจำนวนมาก ซึ่งเมล็ดจะมีรสเป็นเยื่อเมือกสีเหลืองหรือสีส้ม ลักษณะเหนียวข้นและมีกลิ่นหอมเฉพาะตัวห่อหุ้มอยู่โดยรอบ เยื่อหุ้มเมล็ดหรือรามีความเป็นกรดสูง สามารถรับประทานสดหรือใช้ผสมทำเป็นอาหารและเครื่องดื่มได้ (ลพ ภาวภูตานนท์, 2545)

การปลูก

เสาวรเป็นพืชที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย ไม่ว่าจะเป็นเขตที่มีอากาศเย็นของภาคเหนือ หรืออากาศร้อนชื้นของภาคกลาง ภาคตะวันออก และภาคใต้ ซึ่งเป็นพืชที่ปลูกง่าย ดูแลรักษาได้ไม่ยุ่งยาก แต่ให้ผลผลิตต่อไร่สูง สามารถทำรายได้ให้แก่

เกษตรกรได้เป็นอย่างดี สำหรับพันธุ์เสาวรสที่นิยมปลูกในประเทศไทยมี 3 พันธุ์ (ลพ ภาณุตานนท์, 2545; ศุภวัชร สิงห์ทอง และคณะ, 2556) ได้แก่

1) พันธุ์สีม่วง

ชื่อวิทยาศาสตร์ คือ *Passiflora edulis* Sims เสาวรสนี้ลักษณะเปลือกของผลจะมีสีม่วง มีผิวเป็นมัน (ภาพที่ 2-1 (ก)) มีลักษณะกลมหรือเป็นรูปไข่ เส้นผ่านศูนย์กลางผลประมาณ 4-5 เซนติเมตร น้ำหนักประมาณ 50-60 กรัมต่อผล ผลสุกมีรสหวานและกลิ่นหอมกว่าเสาวรสปันธ์สีเหลือง จึงเหมาะสำหรับรับประทานสด

2) พันธุ์สีเหลือง

ชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Passiflora edulis* Flavicarpa เสาวรสนี้ลักษณะเปลือกของผลจะมีสีเหลือง มีผิวเป็นมัน (ภาพที่ 2-1 (ข)) ขนาดใหญ่กว่าพันธุ์ผลสีม่วง มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 5-7 เซนติเมตร น้ำหนักประมาณ 80-120 กรัมต่อผล เนื้อในให้ความเป็นกรดสูงกว่าพันธุ์ผลสีม่วง จึงมีรสเปรี้ยวมากและใช้แปรรูปมากกว่ารับประทานสด

3) พันธุ์ลูกผสม

เป็นพันธุ์ที่เกิดจากการผสมระหว่างพันธุ์ผลสีม่วงกับพันธุ์ผลสีเหลือง (ภาพที่ 2-1 (ค)) เพื่อคัดเลือกต้นพันธุ์ใหม่ที่มีลักษณะผลที่เด่นของแต่ละพันธุ์ไว้ ทำให้มีลักษณะผลใหญ่ ให้ผลดก มีรสหอม หอม เมล็ดมาก เปลือกบาง ต้านทานโรคพันธุ์ลูกผสมนี้ เหมาะสำหรับปลูกเพื่ออุตสาหกรรม การทำน้ำเสาวรส เพราะสามารถเก็บผลผลิตป้อนเข้าโรงงานได้ตลอดทั้งปี



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 2-1 เสาวรส (ก) พันธุ์สีม่วง (ข) พันธุ์สีเหลือง (ค) พันธุ์ลูกผสม

(<http://www.thaitechno.net/t1/productdetails.php?id=39136&uid=37427>;

<http://knowledgepassionfruit.blogspot.com/>;

นัฏฐนันท์ เตจ๊ะวงศ์, 2557)

ผลผลิตเสาวรส

เสาวรสเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีการส่งเสริมให้เกษตรกรปลูก เนื่องจากความต้องการของตลาดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นโดยในปี พ.ศ. 2539 มุลินธิโครงการหลวงได้คัดเลือกพันธุ์เสาวรสสำหรับรับประทานสดได้พันธุ์ที่มีลักษณะตามต้องการคือ รสชาติหวาน ขนาดผลใหญ่ ให้ผลผลิตสูง แข็งแรง และดูแลรักษาง่าย ต่อมาในปี พ.ศ. 2540 ได้ส่งเสริมให้แก่เกษตรกรในพื้นที่โครงการหลวงเพื่อผลิตออกสู่ตลาด โดยมีผลผลิตส่งจำหน่ายตั้งแต่ปี พ.ศ. 2541/2542 (ส.ค. 2541-ก.พ. 2542) จำนวน 3,905.5 กิโลกรัม ปี พ.ศ. 2542/2543 (มี.ค. 2542-ก.พ. 2543) จำนวน 7,012 กิโลกรัม และในปี พ.ศ. 2543/2544 (มี.ค. 2543-ก.พ. 2544) จำนวน 37,925 กิโลกรัม (มุลินธิโครงการหลวง งานพัฒนาและส่งเสริมการผลิตไม้ผล, 2544 อ้างถึงใน กมลพรรณ อาสาสรรพกิจ, 2555) ในปี พ.ศ. 2556 มีรายงานปริมาณผลผลิตในพื้นที่โครงการหลวงรวม 301,760 กิโลกรัม คิดเป็นมูลค่า 8.21 ล้านบาท (อัจฉรา ภาวศุทธิ และคณะ, 2557)

2.1.2 คุณค่าทางโภชนาการและประโยชน์ของเสาวรส

เนื้อในหรือรอกหุ้มเมล็ดของผลเสาวรสสามารถรับประทานได้ โดยผ่าผลแล้วเติมน้ำตาลทรายเพียงเล็กน้อยก็สามารถรับประทานได้ทั้งเมล็ด หรือสามารถนำไปทำเป็นแยมผลไม้ น้ำคั้นจากส่วนเนื้อในมีกลิ่นหอมและมีกรดมาก ใช้ผสมเป็นเครื่องดื่ม หรือผสมกับน้ำผลไม้อื่น ๆ เพื่อเพิ่มรสชาติและกลิ่นหอม ซึ่งกำลังเป็นที่นิยมในต่างประเทศ และเป็นที่ต้องการของอุตสาหกรรมแปรรูปหลายแห่งในประเทศไทย เพราะนอกจากทำให้เครื่องดื่มมีรสชาติและกลิ่นดีขึ้นแล้ว น้ำเสาวรสยังมีคุณค่าทางโภชนาการดังตารางที่ 2-1 พบว่า วิตามินซีที่พบในน้ำเสาวรสมีปริมาณสูง โดยมีรายงานว่าวิตามินซีที่พบในน้ำเสาวรสมีปริมาณสูงกว่าผลไม้หลายชนิด เช่น ส้ม มะม่วง สับปะรด อะโวคาโด เป็นต้น (Vinci, Botré, & Mele, 1995) จากองค์ประกอบทางโภชนาการที่พบ ทำให้ผู้บริโภคจำนวนมากหันมาบริโภคเสาวรสเพิ่มขึ้น

นอกจากผลเสาวรสที่นำมารับประทานหรือแปรรูปเป็นน้ำเสาวรสแล้ว ส่วนต่าง ๆ ของเสาวรสยังสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ สำหรับเมล็ดที่ผ่านการคั้นน้ำแล้ว สามารถนำมาสกัดเป็นน้ำมันพืชได้ เนื่องจากในเมล็ดเสาวรสมีน้ำมันอยู่สูงถึง 27% และคุณภาพใกล้เคียงกับน้ำมันในเมล็ดฝ้าย ซึ่งนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ได้ เช่น การผลิตน้ำมันพืช เครื่องสำอาง ยา และใช้ทำเนยเทียม นอกจากนี้ Agizzio et al. (2003) รายงานว่าเมล็ดเสาวรสมีสาร albumin-homologous protein ซึ่งสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราได้สำหรับส่วนเปลือกเสาวรสที่เป็นวัตถุดิบพลอยได้จากการแปรรูปน้ำเสาวรส สามารถนำไปหมักทำเป็นอาหารสัตว์และปุ๋ยหมักได้ (ลพ ภาวภูตานนท์, 2545; ศุภวัชร สิงห์ทอง และคณะ, 2556)

ตารางที่ 2-1 คุณค่าทางโภชนาการของน้ำเสาวรสปันธ์สีม่วง และพันธ์สีเหลือง ที่ผลิตจาก
วัตถุดิบ 100 กรัม

ปริมาณคุณค่าทางโภชนาการ	พันธ์สีม่วง	พันธ์สีเหลือง
พลังงาน	51 กิโลแคลอรี	60 กิโลแคลอรี
ไขมันทั้งหมด	0.050 กรัม	0.180 กรัม
คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด	13.60 มิลลิกรัม	14.45 มิลลิกรัม
เส้นใยอาหาร	0.20 มิลลิกรัม	0.20 มิลลิกรัม
น้ำ	85.62 กรัม	84.21 กรัม
วิตามินต่าง ๆ		
วิตามินซี	29.80 มิลลิกรัม	18.20 มิลลิกรัม
ไรโบฟลาวิน	0.13 มิลลิกรัม	0.10 มิลลิกรัม
ไนอะซิน	1.46 มิลลิกรัม	2.24 มิลลิกรัม
วิตามินบี 6	0.05 มิลลิกรัม	0.06 มิลลิกรัม
โฟเลต	7.00 ไมโครกรัม	8.00 ไมโครกรัม
วิตามินเอ	717 IU	2410 IU
แร่ธาตุ		
แคลเซียม	4.00 มิลลิกรัม	4.00 มิลลิกรัม
เหล็ก	0.24 มิลลิกรัม	0.36 มิลลิกรัม
แมกนีเซียม	17.00 มิลลิกรัม	17.00 มิลลิกรัม
ฟอสฟอรัส	13.00 มิลลิกรัม	25.00 มิลลิกรัม
โพแทสเซียม	278.00 มิลลิกรัม	278.00 มิลลิกรัม
โซเดียม	6.00 มิลลิกรัม	6.00 มิลลิกรัม
สังกะสี	0.05 มิลลิกรัม	0.06 มิลลิกรัม
ทองแดง	0.05 มิลลิกรัม	0.05 มิลลิกรัม

ที่มา : Carb Counter (2006)

มีรายงานการศึกษาถึงความสามารถในการเป็นแหล่งใยอาหารของเปลือกเสาวรสปันธ์สีม่วง โดย Yapo and Koffi (2006) ได้ศึกษาลักษณะของเพกตินที่สกัดได้จากเปลือกเสาวรสปันธ์สีเหลือง พันธ์ *P. edulis f. flavicarpa* Degener พบว่า เพกตินที่ได้มีปริมาณเมทิลเอสเทอร์ต่ำ โดยจาก

การศึกษาสมบัติเพกติน ได้แก่ การเกิดเจลความหนืด เปรียบเทียบกับเพกตินทางการค้าที่ผลิตจากพืชตระกูลส้ม พบว่า เพกตินจากเปลือกเสาวรสมีสมบัติไม่ต่างจากเพกตินทางการค้า ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าเปลือกเสาวรสดจัดเป็นแหล่งของเพกตินที่ดี นอกจากนี้ ณิชชา บุญปลื้ม (2550) ได้ประเมินคุณค่าทางโภชนาการและสารต้านอนุมูลอิสระของเปลือกเสาวรสด พบว่า เปลือกและกากเสาวรสดพันธุ์ผลสีม่วงและพันธุ์ผลสีเหลืองหลังการคั้นน้ำ มีปริมาณใยอาหารและวิตามินมากเหมาะที่จะนำมาทำเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเสริมใยอาหารเพื่อบริโภคในคนได้ นอกเหนือจากใช้ในการผสมเป็นอาหารสัตว์ คุณค่าทางโภชนาการและสารต้านอนุมูลอิสระของเปลือกเสาวรสดพันธุ์ผลสีม่วง แสดงดังตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-2 คุณค่าทางโภชนาการและสารต้านอนุมูลอิสระของเปลือกเสาวรสดพันธุ์ผลสีม่วง

คุณค่าทางโภชนาการ	ปริมาณที่ตรวจพบ
องค์ประกอบเบื้องต้น	
ความชื้น	79.49 %
เถ้า	1.98 %
ไขมัน	0.30 %
โปรตีน	1.13 %
กากใย	10.43 %
คาร์โบไฮเดรต	6.66 %
ปริมาณใยอาหารทั้งหมด	88.30 %
ปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ	57.60 %
ปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำ	30.70 %
ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด	0.61 %
สารประกอบฟลาโวนอยด์	0.32 %
เบต้าแคโรทีน	1.42 มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่าง
วิตามินซี	27.23 มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่าง
วิตามินอี	25.07 มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่าง

ที่มา : ณิชชา บุญปลื้ม (2550)

เปลือกเสาวรศซึ่งเป็นวัสดุเศษเหลือจากการแปรรูปน้ำเสาวรศ นอกจากจะเป็นแหล่งของใยอาหารแล้ว ยังมีการศึกษาถึงสารสำคัญในเปลือกเสาวรศกันมากขึ้น รวบรวมได้ดังนี้

Zibadi et al. (2007) รายงานว่าเปลือกเสาวรศพันธุ์สีม่วงมีส่วนประกอบของ bioflavonoids, phenolic acids และ anthocyanins สามารถช่วยลดความดันโลหิตได้

Watson et al. (2008) รายงานว่าสารสกัดจากเปลือกของเสาวรศพันธุ์ผลสีม่วง ช่วยลดอาการหอบหืด โดยทำการศึกษาในหลอดทดลอง

Farid et al. (2010) รายงานว่าเปลือกเสาวรศมีองค์ประกอบหลักของ flavonoids และ anthocyanins ซึ่งสารสกัดจากเปลือกเสาวรศนี้มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระและต้านการอักเสบได้ โดยทำการศึกษาในผู้ป่วย knee osteoarthritis พบว่าช่วยลดอาการอักเสบ และสามารถใช้แทนยาแก้ปวดชนิด NSAIDs ได้ โดยมีผลข้างเคียงน้อยกว่า

Zeraik et al. (2011) รายงานว่าผลของเสาวรศและเปลือกของเสาวรศพันธุ์สีม่วง มีฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชันและต้านการอักเสบ โดยพบว่าสารสกัดจากเปลือกเสาวรศมีความสามารถในการยับยั้งการสร้างอนุมูลอิสระของเซลล์เม็ดเลือดขาวชนิดนิวโทรฟิล และยับยั้งปฏิกิริยาเพอร์ออกซิเดสของเอนไซม์ MPO ได้มากกว่าสารสกัดจากผลเสาวรศ เนื่องจากสารฟลาโวนอยด์ที่มีตามธรรมชาติในเปลือกเสาวรศ

2.2 ใยอาหาร

ใยอาหาร (Dietary fiber) คือ ส่วนของผนังเซลล์พืชที่ไม่สามารถถูกย่อยด้วยเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารและไม่ถูกดูดซึมในบริเวณลำไส้เล็กของมนุษย์ แต่จุลินทรีย์บางชนิดในลำไส้ใหญ่สามารถย่อยส่วนประกอบบางส่วนของใยอาหารได้ (AACC, 2001; Dhingra, Michael, Rajput, & Patil, 2012) แม้ว่าใยอาหารไม่ใช่สารอาหารและไม่ให้พลังงาน แต่มีบทบาทสำคัญต่อภาวะโภชนาการและสุขภาพ มีผลดีทางสรีระวิทยา เช่น ช่วยทำให้ระบบทางเดินอาหารและระบบขับถ่ายทำงานเป็นปกติควบคุมระดับและปริมาณของคอเลสเตอรอลและน้ำตาลในกระแสเลือด (Larrauri, 1999; Jimenez-Escrig & Sanchez-Muniz, 2000; Dhingra et al., 2012) ใยอาหารประกอบด้วย โมเลกุลของคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนที่ไม่ใช่แป้ง เช่น เซลลูโลส (Cellulose) เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) กัม (gums) เพคติน (pectins) และมิวซิเลจ (mucilage) เป็นองค์ประกอบหลัก รวมถึงสารประกอบที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต เช่น ลิกนิน (lignin) (Dhingra et al., 2012; Yangilar, 2013)

2.2.1 ประเภทของใยอาหาร

ใยอาหารสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทตามความสามารถการละลายน้ำ (Jimenez-Escrig & Sanchez-Muniz, 2000; Dhingra et al., 2012) ได้แก่

1) ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (Insoluble dietary fiber) เป็นพอลิเมอร์โพลีไฮดรอกซีคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนที่มีลักษณะเหนียว ส่วนใหญ่เป็นส่วน โครงสร้างของผนังเซลล์พืช สามารถย่อยสลายได้ยาก แต่สามารถอุ้มน้ำได้ดี เมื่อจับกับน้ำแล้วเกิดการพองตัวลักษณะคล้ายฟองน้ำ ทำให้ช่วยเพิ่มปริมาณของกากอาหาร ทำให้กากอ่อนนุ่ม ส่งผลให้ขับถ่ายได้สะดวกขึ้น (McCleary & Prosky, 2001; วิทยานิพนธ์การกิจ, 2557) ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำมีหลายชนิด ได้แก่ เซลลูโลส (Cellulose) เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) ลิกนิน (Lignin) คิวติน (Cutin) และแว็กซ์ (Wax) ใยอาหารประเภทนี้มีรายละเอียดดังนี้

1.1) เซลลูโลสเป็นพอลิแซ็กคาไรด์สายยาวที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ประกอบด้วย โมเลกุลของน้ำตาลกลูโคส (Glucopyranose) ที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิกแบบเบต้า 1,4 และมีปริมาณของการพอลิเมอไรซ์ (Degree of polymerization, DP) อยู่ในช่วง 300-15,000 หน่วย (Dreher, Dreher, & Berry, 1984; Wongmetinee, 2007; Dhingra et al., 2012; Yangilar, 2013) ทั้งนี้ ความแตกต่างของ DP ขึ้นอยู่กับแหล่งของเซลลูโลสนั้น ๆ รวมไปถึงวิธีการแยกสกัด เซลลูโลสเป็นส่วนประกอบหลักของผนังเซลล์ที่พบทั่วไปในพืชชั้นสูง ในอาหารจำพวกผักและธัญพืชจะมีปริมาณเซลลูโลสถึงร้อยละ 20-50 ของน้ำหนักแห้ง ปกติมักพบเซลลูโลสในรูปที่อยู่ร่วมกับ เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และเพคตินในลักษณะเครือข่ายเป็นโครงสร้างที่ซับซ้อน

1.2) เฮมิเซลลูโลสเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่มีน้ำตาลหลายชนิดเป็นองค์ประกอบ โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลสประกอบด้วยสายโซ่หลัก ซึ่งแบ่งอย่างกว้าง ๆ ได้ 3 แบบ ได้แก่ไซโลส (Xylose) กลูโคแมนแนน (Glucomannan) และกาแลกแตน (Galactans) และมีสายโซ่กิ่งเป็นน้ำตาลกลุ่มอื่นที่ต่ออยู่กับสายโซ่หลัก ได้แก่ กาแลกโตส (Galactos) อะราบินโนส (Arabinose) และกรดยูโรนิก (Uronic acid) ซึ่งมักถูกเติมหมู่เมทิล (Kimura, 1977; Wongmetinee, 2007; Dhingra et al., 2012; Yangilar, 2013) โดยโมเลกุลของน้ำตาลเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิกแบบเบต้า 1,4 และมี DP 50-200 หน่วย ซึ่งต่ำกว่าเซลลูโลส นอกจากนี้ความแตกต่างระหว่างเฮมิเซลลูโลสกับเซลลูโลสคือ เฮมิเซลลูโลสสามารถละลายได้ในสารละลายต่างอ่อน ในขณะที่เซลลูโลสไม่สามารถละลายได้ ในพืชมักพบเฮมิเซลลูโลสอยู่ร่วมกับเพคตินแทรกอยู่ในชั้นของผนังเซลล์ (Dhingra et al., 2012)

1.3) ลิกนิน ประกอบด้วยหน่วยย่อยของแอลกอฮอล์ฟีนอลิกที่เกิดจากกระบวนการ Dehydrogenative polymerization หรือ Condensation ของสารฟีนอลิกแอลกอฮอล์

ได้แก่ Coniferyl, Sinapyl และ p-Coumaryl alcohol โดยการทำงานของเอนไซม์ เกิดเป็นสายโซ่ ลิกนินอยู่ในชั้นของเซลล์โลสและเฮมิเซลล์โลส มีน้ำหนักโมเลกุลสูงประมาณ 1,000-4,000 คอลตัน (Cummings, 1976; Dhingra et al., 2012; Yangilar, 2013) มักพบลิกนินในพืชที่ค่อนข้างแก่หรือ ผลไม้สุก นอกจากนี้ลิกนินยังมีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ ไม่สลายทั้งในกรดและด่างแก่ และไม่สามารถย่อยได้ในร่างกายมนุษย์ คุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญคือ สามารถดูดซับน้ำดี (bile acid) ได้ดี และอาจมีผลชะลอการดูดซึมสารอาหารบางชนิดในลำไส้เล็ก (ไฟโรจน์ หลวงพิทักษ์ และ เบญจวรรณ ธรรมชนารักษ์, 2538)

1.4) คิวตินและแว็กซ์ พบร่วมกับส่วนที่เป็นโครงสร้างของพืช โดยมีองค์ประกอบของไขมันที่ไม่รวมกับน้ำ ปกติจะพบในปริมาณที่น้อย (ไฟโรจน์ หลวงพิทักษ์ และเบญจวรรณ ธรรมชนารักษ์, 2538)

2) โยอาหารที่ละลายน้ำ (Soluble dietary fiber) เป็นโยอาหารที่มีอยู่ในเซลล์ของพืชทั่วไป มักปะปนอยู่กับส่วนที่เป็นแป้งในพืช สามารถย่อยสลายได้บ้าง มีคุณสมบัติในการสร้างความหนืด เมื่อรวมตัวกับน้ำจะเกิดการกระจายโครงสร้างที่อัดแน่นและอาจเปลี่ยนไปให้อยู่ในรูปของเจล ทำให้ดูดซับสารที่มีประจุข้างลง เช่น น้ำตาล คอเลสเตอรอล และเกลือแร่บางชนิด ส่งผลให้ชะลอและลดการดูดซึมของสารอาหารดังกล่าวเข้าสู่ร่างกาย (หยาดฝน ทนงการกิจ, 2557) ชนิดของโยอาหารที่ละลายน้ำมีหลายชนิด ได้แก่ เพคติน (Pectin) มิวซิเลจส์ (Mucilage) และกัม (Gum) โยอาหารประเภทนี้มีรายละเอียดดังนี้

2.1) เพคติน เป็นโพลีแซ็กคาไรด์ที่อยู่ตรงส่วนกลางของผนังเซลล์ ทำหน้าที่ยึดเซลล์ให้ติดกัน มีโครงสร้างเป็นสายพอลิเมอร์ของกรดกาแล็กทูโรนิก (D-galacturonic acid) ที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิกแบบอัลฟา 1,4 และยังประกอบด้วยโซ่กิ่งของน้ำตาลชนิดต่าง ๆ ได้แก่ กาแลคโตส กลูโคส แรมโนส และอะราบิโนส (Prosky & Devries, 1992; Wongmetinee, 2007; Dhingra et al., 2012; Yangilar, 2013) เพคตินมีน้ำหนักโมเลกุลสูงอยู่ในช่วง 50,000-150,000 เมื่อคิดเป็น DP อยู่ในช่วง 100 - 10,000 หน่วย การละลายน้ำของเพคตินขึ้นอยู่กับปฏิกิริยา เอสเทอร์ริฟิเคชัน (Esterification) ของกรดกาแล็กทูโรนิก คุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญของเพคติน คือ ความสามารถในการเกิดเจลและความสามารถในการเพิ่มความหนืด ทำให้ในอุตสาหกรรมอาหารนิยมนำเพคตินมาใช้กันมาก เนื่องจากเพคตินละลายได้ในน้ำร้อน มีลักษณะเป็นวุ้นจึงสามารถขัดขวางการดูดซึมของน้ำตาลในเลือดได้ และเหมาะสำหรับคนที่มีการท้องผูกสลับกับท้องเสีย เนื่องจากความเป็นวุ้นของเพคตินสามารถห่อหุ้มแบคทีเรียไว้และกำจัดออกจากร่างกายได้ เพคตินสามารถพบได้ในผลไม้ตระกูลส้ม เช่น ส้ม ฝรั่ง และแอปเปิ้ล เป็นต้น

2.2) มิวซิเลจส์ เป็นพอลิแซกคาไรด์เชิงซ้อน มักพบอยู่ร่วมกับโปรตีน และยูราไนด์ (Uranides) ซึ่งอยู่ในส่วนของผนังเซลล์พืช โดยมากพบอยู่ใน Endosperm (Kimura, 1977; Dhingra et al., 2012) มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ตั้งแต่ 200,000 คอลตัน ขึ้นไป มิวซิเลจส์มีสมบัติทางเคมีใกล้เคียงกับกัมและเพคติน แต่มีสมบัติทางกายภาพต่างกัน

2.3) กัม เป็นพอลิแซกคาไรด์สายยาวที่มีโซ่กิ่งเป็นน้ำตาลโอลิโกแซกคาไรด์ โดยน้ำตาลที่พบบ่อยจะเป็นพวก ดี-กลูคูโรนิก (D-Glucuronic) และดี-แมนูโรนิก (D-manuronic) หรือ ดี-กาแลคทูโรนิก (D-Galacturonic acid) กัมเป็นสารที่มีลักษณะเหนียว เมื่อละลายหรือกระจายตัวอยู่ในน้ำ จะทำให้สารละลายมีความหนืดสูง หรือมีลักษณะเป็นเจล ในอุตสาหกรรมอาหารจึงนำกัมมาใช้ประโยชน์ต่าง ๆ เช่น เป็นสารเพิ่มความคงตัว (Stabilizer) สารเพิ่มความหนืด ช่วยให้มีอิมัลชัน ช่วยให้เกิดเจล เป็นต้น (Dhingra et al., 2012) ตัวอย่างกัมชนิดต่าง ๆ เช่น

- ฐัน (Agar) เป็นมิวซิเลจส์ ที่ได้จากสาหร่าย โครงสร้างโมเลกุลประกอบด้วย Sulfanoated polymer ของ Anhydrogalactose น้ำตาลกาแลคโตสที่อยู่ในรูป D และ L น้ำตาลไซโลส

- แอลจีเนต (Alginate) สกัดได้จากสาหร่ายสีน้ำตาล โครงสร้างประกอบด้วยสายพอลิเมอร์ของกลูโคโรนิก และกรดแอนไฮโดรแมนูโลนิก (Anhydromanulonic acid) โดยทั่วไปจะอยู่ในรูปของเกลือโซเดียม เกลือโพแทสเซียม หรือเกลือแมกนีเซียม ทำให้สามารถละลายได้ดีทั้งในน้ำร้อนและน้ำเย็น

- กัมอะราบิก (Arabic gum) สกัดได้จากต้นอะคาเซีย (Acacia) มีองค์ประกอบที่เป็นน้ำตาลหลัก ๆ คือ น้ำตาลอะราบิโนส น้ำตาลกาแลคโตส น้ำตาลแมนโนสและกลูโคโรนิก

- คาราจีแนน (Carrageenan) โครงสร้างเป็นสายพอลิเมอร์ของ Sulfanoated-galactose

- กัวร์กัม (Guar gum) สกัดจากเอนโดสเปิร์มของเมล็ดถั่ว *Cyamopsis tetragonobus* เป็นพืชตระกูลถั่วที่พบในประเทศแถบอินเดียและปากีสถาน โครงสร้างหลักประกอบด้วยสายพอลิเมอร์ของน้ำตาลแมนโนสและมีน้ำตาลกาแลคโตสเป็นสาขาเกาะอยู่ที่โครงสร้างหลัก ลักษณะโดยทั่วไป ไม่มีรส ไม่มีกลิ่น สามารถละลายได้ดีในน้ำร้อนและน้ำเย็น

- แซนแทนกัม (Xanthan gum) พบในแบคทีเรียชื่อ *Xanthomonas campestris* โดยเกิดจากปฏิกิริยาหมักอะซิติกและหมักไซโทเวทในน้ำตาลกลูโคส น้ำตาลแมนโนส และกรดกลูโคโลนิก นอกจากนี้ยังมีอินเดียกัม คารายากัม โลคัสปีนิกัม ไชเลียมซีดกัม (Prylium seed gum) เป็นต้น และยังมีเฮมิเซลลูโลสบางชนิดสามารถละลายน้ำได้ด้วย แต่มีปริมาณน้อย (ไพโรจน์ หลวงพิทักษ์ และเบญจวรรณ ธรรมชนารักษ์, 2538) โยอาหารมีโครงสร้างทางเคมีที่ซับซ้อน ปริมาณและ

สารประกอบในโครงสร้างจะแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับแหล่งที่พบ องค์ประกอบของใยอาหารชนิดต่าง ๆ แบ่งตามโครงสร้างของหมู่น้ำตาลและชนิดของพันธะ

2.2.2 สมบัติเชิงหน้าที่ของใยอาหาร (หยาดฝน ทนงการกิจ, 2557)

ใยอาหารแต่ละชนิดมีสมบัติเชิงหน้าที่ที่แตกต่างกัน ซึ่งสมบัติเชิงหน้าที่ของพืชแต่ละชนิดจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่างใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำและใยอาหารที่ละลายน้ำของพืชชนิดนั้น นอกจากนี้ขนาดของอนุภาคของใยอาหาร และวิธีการผลิตใยอาหารก็มีผลต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของใยอาหารเช่นกัน โดยดัชนีที่สามารถบ่งบอกถึงสมบัติเชิงหน้าที่ที่สำคัญของใยอาหารมีดังนี้

1) สมบัติการจับน้ำ (Hydration propoties) เป็นสมบัติของใยอาหารที่บ่งบอกความสามารถในการเก็บกักน้ำไว้ภายในโครงสร้างของใยอาหาร เนื่องจากใยอาหารมีองค์ประกอบของโพลีแซคคาไรด์ซึ่งเป็น โมเลกุลที่มีหมู่ไฮดรอกซีอิสระเป็นจำนวนมากจึงสามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้ ดังนั้นทั้งใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำและใยอาหารที่ละลายน้ำจึงสามารถอุ้มน้ำไว้ได้ ดัชนีที่บ่งชี้สมบัติการจับน้ำของใยอาหาร ได้แก่ ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity) ความสามารถในการจับน้ำ (Water binding capacity) ความสามารถในการพองตัว (Swelling capacity) และความสามารถในการละลาย โดยสมบัติในการจับน้ำมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความสามารถในการละลายน้ำ เช่น เซลลูโลสและลิกนินจะมีสมบัติในการอุ้มน้ำต่ำ จึงไม่สามารถละลายน้ำได้ ส่วนเพคติน กัม และมิวซิเลจส์ มีความสามารถในการอุ้มน้ำสูงจึงละลายน้ำได้ง่าย

2) ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (Oil holding capacity) เป็นสมบัติของใยอาหารที่ใช้แสดงค่าความสามารถในการอุ้มน้ำมันไว้ในโครงสร้างของใยอาหาร ซึ่งใยอาหารที่มีโครงสร้างของโพลีแซคคาไรด์ เช่น อัลจีเนต เพคติน เป็นต้น สามารถจับกับน้ำมันได้ดีจึงมักถูกนำมาใช้ในการเพิ่มความคงตัวของอิมัลชันในอาหาร

3) ความสามารถในการดูดซับน้ำตาล (Glucose adsorption capacity) และความสามารถในการชะลอการดูดซับน้ำตาล (Glucose retardation index) โดยความสามารถในการดูดซับน้ำตาล สามารถวิเคราะห์ได้จากปริมาณของน้ำตาลที่ใยอาหารดูดซับไว้หลังจากที่สภาวะสมดุล ค่านี้มักจะใช้ในการแสดงถึงพฤติกรรมของใยอาหารในการดูดซับน้ำตาลเมื่ออยู่ในลำไส้ ส่วนความสามารถในการชะลอการดูดซับน้ำตาลเป็นค่าที่ใช้ในการทำนายถึงการดูดซับน้ำตาลของใยอาหารในระบบทางเดินอาหารที่เวลาต่าง ๆ

4) การชะลอการจับกับกรดน้ำดี (Bile acid retardation index) เป็นดัชนีที่ใช้ในการบ่งบอกถึงผลของใยอาหารต่อการลดคอเลสเตอรอล เนื่องจากกรดน้ำดีเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการย่อยไขมันในลำไส้เล็ก ดังนั้นสมบัติในการดูดซับกรดน้ำดีของใยอาหารจะสัมพันธ์กับ

ประสิทธิภาพในการลดคอเลสเตอรอล เนื่องจากการจับตัวกันระหว่างใยอาหารกับน้ำดีซึ่งมีส่วนประกอบของคอเลสเตอรอลอยู่ ทำให้น้ำดีถูกขับออกสู่ระบบร่างกายโดยการขับถ่ายพร้อมกับใยอาหาร เมื่อน้ำดีถูกขับออกจากร่างกาย ร่างกายก็นำคอเลสเตอรอลปรับเปลี่ยนแทนที่น้ำดี จึงทำให้ปริมาณคอเลสเตอรอลลดลง จากการศึกษาพบว่าลิกนินจะดูดซับกรดน้ำดีได้มากกว่าเพคตินและเซลลูโลส

2.2.3 ใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant Dietary Fiber)

แหล่งของใยอาหารโดยทั่วไปแล้วได้จาก ธัญพืช เช่น ข้าว ข้าวโพด ข้าวสาลี พืชตระกูลถั่วต่าง ๆ ผัก และผลไม้ ซึ่งใยอาหารในธัญพืชส่วนใหญ่ เป็นใยอาหารชนิดที่ไม่ละลายน้ำ ส่วนใยอาหารในผลไม้ไม่มีทั้งชนิดที่ไม่ละลายน้ำและละลายน้ำ แม้ธัญพืชจะมีปริมาณใยอาหารสูงมาก แต่ใยอาหารในผักและผลไม้มีคุณภาพที่ดีกว่า เนื่องจากมีสารพฤกษเคมีที่สำคัญในปริมาณสูง และมีสมดุลขององค์ประกอบทางเคมีดีกว่า โดยใยอาหารจากผลไม้มีอัตราส่วนของใยอาหารที่ละลายน้ำต่อไม่ละลายน้ำ ความสามารถในการอุ้มน้ำ และความสามารถในการอุ้มน้ำมันสูงกว่าใยอาหารจากธัญพืช ให้พลังงานต่ำ และมีกรดไฟติก (Phytic acid) ต่ำกว่าใยอาหารจากธัญพืช (Larrauri, 1999; Nilnakara, 2006) นอกจากนี้ยังพบว่าใยอาหารจากผลไม้มีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ เช่น ฟลาโวนอยด์ โพลีฟีนอล และแคโรทีน เป็นองค์ประกอบ ซึ่ง Saura-Calixto (1998) ได้ให้นิยามใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระเป็นองค์ประกอบว่า เป็นใยอาหารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant dietary fiber) โดยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพเหล่านี้มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ สามารถยับยั้งหรือชะลอปฏิกิริยาออกซิเดชัน มีฤทธิ์ทำลายอนุมูลอิสระที่ร่างกายได้รับ ยับยั้งการรวมตัวของเกล็ดเลือด การต้านจุลินทรีย์ และการต้านปฏิกิริยาการอักเสบ โดยถือเป็นกลไกการรักษาสุขภาพอย่างหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการป้องกันโรค เช่น โรคมะเร็ง โรคหัวใจ และโรคอัลไซเมอร์ เป็นต้น

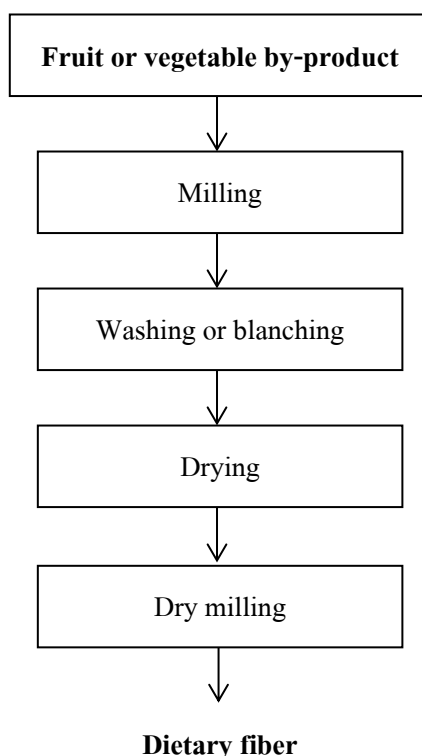
2.3 การผลิตใยอาหารผงจากวัสดุเศษเหลือผักผลไม้

ใยอาหารที่ผ่านกระบวนการผลิตมักจะอยู่ในรูปแบบผงเพื่อให้ง่ายต่อการใช้และสะดวกต่อการเก็บรักษา ซึ่งขั้นตอนหลักในการผลิตใยอาหารผงแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน (Larrauri, 1999; Oreopoulou & Tzia, 2007) ได้แก่ การบดลดขนาด (Milling) การล้างหรือการลวก (Washing or blanching) การทำแห้ง (Drying) และการบดแห้ง (Dry milling) แสดงดังภาพที่ 2-2

1) การบดลดขนาด (Milling)

เป็นการเตรียมวัตถุดิบให้มีขนาดตามที่ต้องการ อาจใช้การบด หรือหั่น ในขั้นตอนนี้ขนาดของวัตถุดิบมีผลต่อกระบวนการผลิตขั้นต่อไป หากขนาดวัตถุดิบมีขนาดเล็กเกินไป จะทำให้

วัตถุดิบคุดน้ำมากในขั้นตอนการล้าง ส่งผลต้องทำแห้งนานขึ้น และทำให้ได้ปริมาณผลผลิตต่ำ และอาจทำให้สูญเสียองค์ประกอบของใยอาหารที่ละลายน้ำได้ หากขนาดของวัตถุดิบใหญ่เกินไปจะไม่สะดวกในการกำจัดองค์ประกอบที่ไม่ต้องการในขั้นตอนของการล้างได้โดยทั่วไปแล้วขนาดของวัตถุดิบที่ใช้ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบและกระบวนการผลิต ซึ่งจะมีขนาดประมาณ 0.6-2.0 เซนติเมตร



ภาพที่ 2-2 ขั้นตอนการผลิตใยอาหารผงจากวัสดุเศษเหลือ (ดัดแปลงจาก Larrauri, 1999)

2) การล้างหรือการลวก (Washing or blanching)

เป็นการกำจัดองค์ประกอบที่ไม่ต้องการ เช่น สารให้สี ไขมัน โปรตีน คาร์โบไฮเดรต เป็นต้น รวมไปถึงเชื้อจุลินทรีย์ออกจากวัตถุดิบ โดยขั้นตอนนี้มีผลต่อ คุณลักษณะและคุณสมบัติของเส้นใยที่ได้ ได้แก่ ความสามารถในการอุ้มน้ำ ปริมาณเส้นใยที่ละลายน้ำได้ โดยทั่วไปอาจทำได้โดยใช้น้ำร้อน หรือการใช้สารเคมี

3) การทำแห้ง (Drying)

ก่อนขั้นตอนการทำแห้งต้องมีการกำจัดน้ำออกบางส่วนก่อน เช่นการสะเด็ด การบีบ หรือใช้กระบวนการอื่น ๆ เพื่อลดปริมาณน้ำก่อนทำแห้ง ซึ่งขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนหลัก และสูญเสีย

ค่าใช้จ่ายมากที่สุดในการบวนการผลิตทั้งหมด แต่การทำแห้งจะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของเส้นใยอาหาร อีกทั้งยังช่วยลดต้นทุนค่าขนส่งและค่าบรรจุภัณฑ์ด้วย

4) การบดแห้ง (Dry milling)

เป็นการลดขนาดของเส้นใยอาหาร เพื่อให้มีความเหมาะสมในการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร โดยทั่วไปจะทำการบดให้มีขนาด 0.15-0.43 มิลลิเมตร

2.4 การเตรียมขั้นต้นก่อนการทำแห้ง

ในกระบวนการทำแห้งมักมีการเตรียมขั้นต้นก่อนการทำแห้ง เพื่อช่วยปรับปรุงคุณภาพของอาหารแห้ง วัตถุประสงค์สำคัญของการเตรียมขั้นต้นคือการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ตัวอย่างเช่น โพลีฟีนอลออกซิเดส (Polyphenoloxidase) เพอร์ออกซิเดส (Peroxidase) และฟีนอลเอส (Phenolase) และยังช่วยยับยั้งปฏิกิริยาเคมีที่ไม่พึงประสงค์ซึ่งเป็นต้นเหตุของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหาร เทคนิคการเตรียมขั้นต้นที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารมีหลายวิธี ซึ่งรวมถึง การลวก การใช้กรด และการแช่ในสารละลาย (Prakash, Jha, & Datta, 2004; Hiranvarachat, Devahastin, & Chiewchan, 2011)

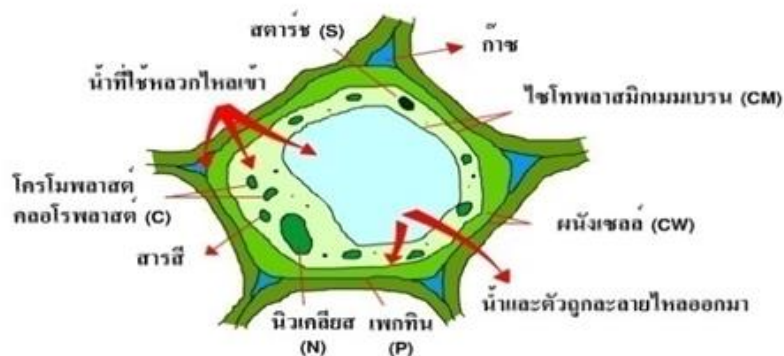
2.4.1 การลวก (วิลโล รังสาตทอง, 2546)

การลวกวัตถุดิบประเภทผักและผลไม้ก่อนการแปรรูปมีวัตถุประสงค์เพื่อทำลาย Activity ของเอนไซม์ในผักและผลไม้บางชนิดก่อนที่จะนำไปแปรรูปในขั้นตอนต่อไป การลวกจัดเป็นขั้นตอนหนึ่งที่ใช้ในการเตรียมวัตถุดิบ Fellows (2000) กล่าวว่า การลวกผักก่อนการทำแห้งมีผลทำให้ลดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างการเก็บผักแห้งได้ ทั้งนี้ผลจากการลวกผักช่วยลดการทำงานของเอนไซม์ Polyphenoloxidase ในผักที่เป็นสาเหตุของการเกิดสีน้ำตาลในระหว่างการเก็บรักษาได้ ซึ่งปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อระยะเวลาที่ใช้ในการลวก (Blanching time) คือ 1) ชนิดของผักและผลไม้ 2) ขนาดของชิ้น 3) อุณหภูมิ และ 4) วิธีการให้ความร้อน โดย Giannakourou and Taoukis (2003) รายงานว่าความไวในการสูญเสียองค์ประกอบเนื่องจากการลวกผักขึ้นอยู่กับพื้นที่สัมผัสกันระหว่างใบผักกับน้ำที่ใช้ลวก โดยสรุปวัตถุประสงค์ของการลวกมีดังนี้คือ

1) ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ (Enzyme inactivation) มีเอนไซม์อีก 2 ชนิด ที่พบในผักหลายชนิดที่ทนต่อความร้อนได้ดี คือ เอนไซม์แคแทเลสและเพอร์ออกซิเดส ใช้เป็นตัวชี้บ่งประสิทธิภาพของการลวก โดยเฉพาะเอนไซม์เพอร์ออกซิเดสมีความคงตัวมากกว่าเอนไซม์แคแทเลส หากตรวจวัดเอนไซม์ Activity ในผักที่ผ่านการลวกแล้วไม่พบ Activity ของเอนไซม์เพอร์ออกซิเดส แสดงว่าเอนไซม์อื่น ๆ ถูกทำลายหมดแล้ว Jha and Prasad (1996) รายงานว่าการลวกเป็นขั้นตอนในการเตรียมขั้นต้นผักที่ดี สำหรับการนำไปทำแห้ง การลวกจะช่วยชะลอหรือ

ยับยั้งเอนไซม์ ที่สามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ไม่ต้องการในรสชาติและเนื้อสัมผัสในระหว่างการเก็บและช่วยป้องกันการสูญเสียของวิตามิน และสีของผลิตภัณฑ์อีกด้วย

2) หน้าที่อื่น ๆ ผลของการลวกยังช่วยทำลายและลดจำนวนจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่บนผิวนอกของอาหาร ช่วยให้เก็บรักษาอาหารได้นานขึ้น ก่อนนำไปใช้แปรรูปในขั้นต่อไป การลวกยังทำให้เนื้อเยื่อของผักนุ่มลง สามารถบรรจุลงในภาชนะบรรจุได้ง่าย และช่วยให้ไอน้ำออกจากช่องว่างระหว่างเซลล์ของเนื้อเยื่อ ซึ่งจะช่วยลดการเกิด Headspace vacuum ขึ้นภายในกระป๋องให้น้อยลงได้ และลดปริมาณออกซิเจนภายในภาชนะบรรจุด้วย นอกจากนี้การลวกมีผลต่ออาหารในด้านต่าง ๆ โดยความร้อนจากการลวกมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสและคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร แต่ความร้อนที่ใช้ในการลวกจะต่ำกว่าการทำสเตอริไลเซชันจึงมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นไม่มากนัก วัตถุประสงค์หลักของการลวกเพื่อทำลายเอนไซม์ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ร่วมกัน ผลของการลวกต่อเนื้อเยื่อพืช โดยมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น เช่น ผนังเซลล์เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย มีการเปลี่ยนแปลงที่เมมเบรนของไซโทพลาซึม สตาร์ชเกิดเจลาติไนเซชัน โครงสร้างโมเลกุลของเพกตินเปลี่ยนไป โปรตีนในนิวเคลียสและไซโทพลาซึมเสียสภาพธรรมชาติ คลอโรพลาสต์ และโครโมพลาสต์มีรูปร่างเปลี่ยนไป เป็นต้น ดังภาพที่ 2-3



ภาพที่ 2-3 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเซลล์พืชระหว่างการลวก

(<http://courseware.rmutl.ac.th/courses/49/unit802.htm#head1>)

2.4.2 การแช่ในสารเคมี

สำหรับในงานวิจัยนี้สนใจใช้ตัวถูกละลายในการเตรียมสารละลาย คือ โซเดียมคลอไรด์ โซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride) มีสูตรโมเลกุลคือ NaCl ในเกลือที่ไม่มี ความชื้นอยู่เลยจะมี

ปริมาณโซเดียมคลอไรด์ 95.5 - 98.5% และมีสารอื่นเจือปนในปริมาณน้อย เช่น แมกนีเซียม (Mg) และซัลเฟต (SO₄) เกลือโซเดียมคลอไรด์ มีบทบาทอย่างมากในอุตสาหกรรมอาหาร เนื่องจากราคาถูกและใช้ได้หลากหลายทั้งในการปรุงอาหารและถนอมอาหาร เช่น การหมักเกลือ (Salt curing) ช่วยลดค่า a_w ของน้ำ (Water activity) ทำให้ยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสื่อมเสีย (Microbial spoilage) และจุลินทรีย์ก่อโรค (Pathogen) ในอาหารที่มีปริมาณเกลือสูง

เกลือมีสมบัติในการดูดความชื้น (Hygroscopic) การลดความชื้นจึงเป็นการลดค่าแอกติวิตีของน้ำในอาหาร เนื่องจากเกลือสามารถละลายได้ในน้ำ และน้ำจะถูกแรงดึงดูดเกาะกันกับเกลือเกิดเป็นไฮเดรชันอออนขึ้น สมบัติหรือความเป็นอิสระของน้ำจึงเปลี่ยนไป ในสารละลายเกลือจะมีการดึงน้ำออกจากเซลล์อันเนื่องมาจากการเกิดแรงดันออสโมติกและเป็นสาเหตุให้เซลล์จุลินทรีย์เกิดการเสียน้ำอย่างแรง (Plasmolysis) และหยุดการเจริญเติบโต นอกจากนี้เกลือยังช่วยลดการแพร่หรือการแทรกซึมของก๊าซออกซิเจน ถ้าหากจำนวนก๊าซออกซิเจนลดลง จุลินทรีย์พวกที่เจริญแบบใช้อากาศ (Aerobic) ก็เจริญไม่ได้ และเกลือยังเป็นตัวทำลายเอนไซม์บางชนิด เนื่องจากเกลือที่มีความเข้มข้นมากจะสามารถทำให้โปรตีนบางตัวเกิดการแข็งตัว (Denature) และเสียคุณสมบัติได้

Lu, Luo, Turner, and Feng (2007) กล่าวว่าโซเดียมคลอไรด์เป็นสาร Oxidizing agent มีสมบัติในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในการเค็มเพื่อควบคุมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ การใช้โซเดียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นต่ำ (0.1 g/L) เหมาะสมที่สุดในการยับยั้งปฏิกิริยาสีน้ำตาลในชิ้นแอปเปิ้ล

Severini, Baiano, Pilli, Romaniello, and Derossi (2003) ศึกษาชั้นอำปะหลังแผ่นบางโดยการลวกในสารละลาย NaCl หรือ CaCl₂ ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ร่วมกับสารละลายกรดแลคติก พบว่าปริมาณ NaCl และ CaCl₂ สามารถยับยั้งเอนไซม์ที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลเนื่องจากคลอไรด์ไอออนอาจเกิดปฏิกิริยาร่วมกับกรดแลคติก

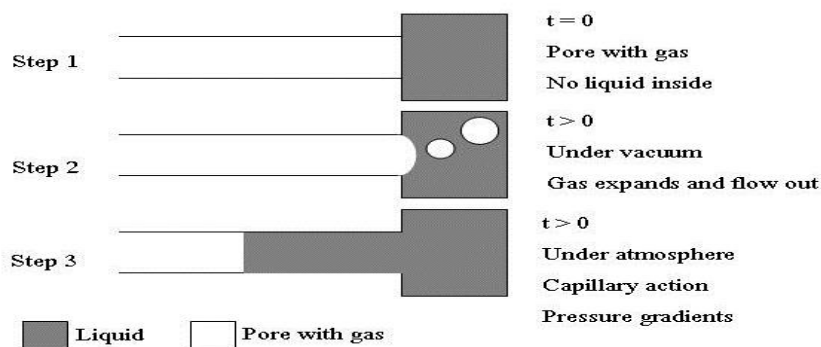
มณฑิรา ราชอักษร และบุศราภรณ์ มหาโยธี (2554) ศึกษาผลของอุณหภูมิ เวลา และความเข้มข้นของสารละลายผสมกรดและเกลือ ในการลวกพริกบดก่อนการดองต่อการเปลี่ยนแปลงสีในผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษา พบว่าการลวกพริกแดงในสารละลายผสมระหว่าง 0.5% NaCl กับ 1.0% Acetic acid ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการลวกพริกบดก่อนการดอง เนื่องจากเป็นสภาวะที่มีความเหมาะสมในการลด PPO activity และยังช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษาได้ นอกจากนี้ยังเป็นสภาวะที่ใช้พลังงานและสารเคมีน้อยจึงเหมาะที่จะนำมาใช้ในกระบวนการผลิตพริกแดงบดดองมากที่สุด และทั้งนี้ในการเลือกสภาวะที่เหมาะสมต่อการลดการเกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์พริกแดงบดดองยังต้องคำนึงถึงต้นทุนในการผลิตอีกด้วย

Saencom, Chiewchan, and Devahastin (2011) ศึกษาการลวกใบตำลึงในน้ำร้อนพบว่าปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อเวลาที่ใช้ในการลวกนาน น้ำในใบตำลึงก็จะสูงขึ้น ซึ่งตรงข้ามกับการลวกใบตำลึงในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ อาจเนื่องจากสารละลายโซเดียมคลอไรด์ สามารถดูดซึมเข้าไปในเนื้อเยื่อของใบตำลึงได้ง่าย ทำให้ปริมาณความชื้นในใบตำลึงลดลง โดยปริมาณความชื้นจะอยู่ที่ 9.0-15.0 kg/kg d.b. เมื่อนำใบตำลึงที่ผ่านการบดผสมกับน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1:1 พบว่าของเหลวที่ได้มีปริมาณความชื้น 27-35 kg/kg d.b. ขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นของใบตำลึงหลังการลวก

2.4.3 การแช่ในสถานะสุญญากาศ

การแช่ในสถานะสุญญากาศ เป็นการแช่ชิ้นอาหารหรือชิ้นผักผลไม้ในสารละลายในสถานะสุญญากาศ ทำให้เกิดการแพร่ของสารละลายเข้าไปในเนื้อเยื่อของผักผลไม้ (Fito et al., 2001) โดยเทคนิคนี้จะทำให้อากาศและของเหลวตามธรรมชาติในช่องว่างระหว่างเซลล์ของเนื้อเยื่อของชิ้นอาหารหรือชิ้นผักผลไม้ถูกขับออกมาในระหว่างการดูดอากาศ และหลังจากนั้นแช่ต่อที่สถานะบรรยากาศ สารละลายภายนอกจะแพร่ผ่านเข้าไปแทนที่อากาศที่ถูกขับออกจากช่องว่างระหว่างเซลล์นั้น โดยใช้หลักการของแรงตึงผิวและการเปลี่ยนแปลงความดันบรรยากาศ ซึ่งเรียกกลไกนี้ว่า Hydrodynamic Mechanism (Betoret et al., 2003)

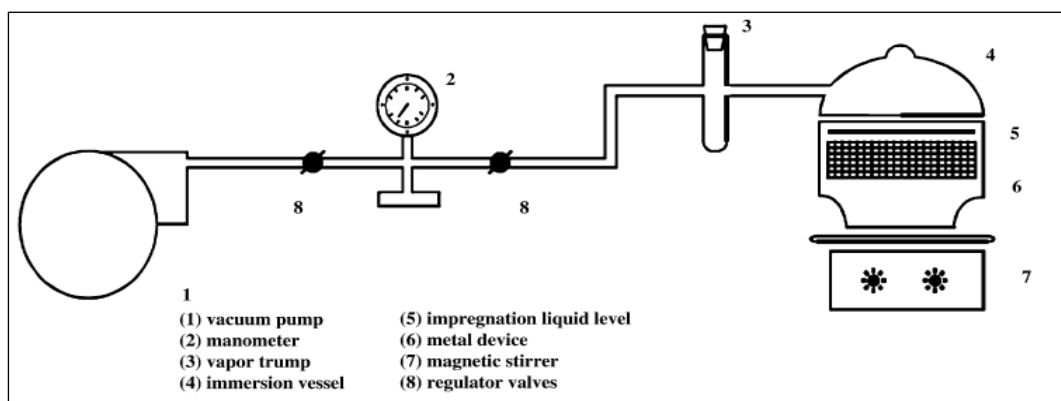
โดยกลไก HDM แบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอน ขั้นตอนที่ 1 เมื่อเริ่มแช่ชิ้นอาหารหรือชิ้นผักผลไม้ ($t=0$) ที่สถานะบรรยากาศ สารละลายภายนอกยังไม่มีเคลื่อนที่เข้ามาภายในช่องว่างระหว่างเซลล์ ขั้นตอนที่ 2 เมื่อแช่ชิ้นอาหารหรือชิ้นผักผลไม้ที่สถานะสุญญากาศ ($t>0$) อากาศที่อยู่ในช่องว่างระหว่างเซลล์จะถูกดูดออกมามี และขั้นตอนที่ 3 เมื่อหยุดการใช้สถานะสุญญากาศและแช่ชิ้นอาหารหรือชิ้นผักผลไม้ต่อที่สถานะบรรยากาศเป็นระยะเวลาหนึ่ง ($t>0$) สารละลายแพร่ผ่านเข้ามาในช่องว่างระหว่างเซลล์ โดยเข้ามาแทนที่อากาศที่ถูกดูดออกไปโดยการแพร่ผ่านรูขนาดเล็ก (Capillary Action) และเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงความดันบรรยากาศ (Pressure Gradients) (Fito, Andres, Pastor, & Chiralt, 1994)



ภาพที่ 2-4 ลักษณะการเคลื่อนที่ของสารละลายในช่องว่างระหว่างเซลล์ตามกลไก HDM

(Fito, Andres, Chiralt, & Pardo, 1996)

ลักษณะการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ที่ใช้ในการแช่สถานะสุญญากาศแสดงดังภาพที่ 2-5 ซึ่งอธิบายได้ว่าเมื่อเปิดปั๊มสุญญากาศ ปั๊มจะดูดอากาศออกจากภาชนะซึ่งอยู่ในระบบปิดให้เป็นสถานะสุญญากาศในภาชนะที่มีการแช่ชิ้นผักผลไม้ในสารละลายในสถานะดังกล่าวนี้อากาศในช่องว่างเซลล์ของผักหรือผลไม้จะถูกขับออกมาด้วย และเมื่อปิดปั๊มหรือแช่ต่อที่สภาวะความดันบรรยากาศ สารละลายจะแพร่เข้าไปในเนื้อเยื่อของผักผลไม้ได้ ซึ่งสามารถเกิดการถ่ายเทมวลสารได้อย่างรวดเร็ว (Fito et al., 1994)



ภาพที่ 2-5 ลักษณะการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ที่ใช้ในการแช่ในสถานะสุญญากาศ (Fito et al., 1994)

สำหรับเทคนิคการแช่ในสถานะสุญญากาศหากประยุกต์ใช้กับผักผลไม้ที่มีข้อดีคือสามารถปรับปรุงคุณภาพของผักผลไม้ได้ กระบวนการไม่ซับซ้อน ใช้เครื่องมือที่ราคาไม่แพง

สามารถกำจัดน้ำบางส่วนออกจากชิ้นอาหารโดยไม่ใช้ความร้อนในกระบวนการ สามารถทำให้โครงสร้างของอาหารมีความเป็นรูพรุนมากโดยไม่ใช้อุณหภูมิสูงในกระบวนการที่จะทำลายเนื้อเยื่อของผักผลไม้ นอกจากนี้สามารถรักษาสี กลิ่นรสและสารให้กลิ่นตามธรรมชาติของอาหาร (Escriche, Chiralt, Moreno, & Serra, 2000) นอกจากนี้เทคนิคการแช่ในสถานะสูญญากาศ ช่วยป้องกันการเปลี่ยนสีของชิ้นผลไม้จากเอนไซม์และปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลโดยมีส่วนช่วยในการกำจัดออกซิเจนจากรูพรุนในชิ้นผลไม้ (Alzamora et al., 2005; Fito et al., 1994)

2.5 การทำแห้ง

การทำแห้ง หมายถึง การลดปริมาณน้ำในอาหาร เพื่อลดค่า a_w ลงมาให้อยู่ในระดับต่ำพอที่จะสามารถหยุดยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสื่อมเสียคุณภาพหรือเน่าเสีย และทำให้ค่า a_w อยู่ในระดับที่ปฏิกิริยาเคมีและการทำงานของเอนไซม์ที่ทำให้อาหารเสื่อมเสียคุณภาพนั้นอยู่ในระดับต่ำที่สุด ดังนั้นการทำแห้งจึงจัดเป็นการถนอมอาหาร เนื่องจากช่วยยืดอายุการเก็บรักษาอาหารให้เสื่อมเสียช้าลง สามารถเก็บได้นานขึ้นที่อุณหภูมิห้อง นอกจากนี้การทำแห้งยังทำให้น้ำหนักและปริมาตรของอาหารลดลง จึงช่วยลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งและการเก็บรักษา และเป็นการแปรรูปให้อยู่ในรูปที่สะดวกนำไปใช้ประโยชน์ และบริโภค หรือเพื่อพัฒนาให้เป็นรูปแบบใหม่ของผลิตภัณฑ์อาหารต่อผู้บริโภค ได้แก่ การผลิตอาหารแห้งรูปผง เช่น เครื่องดื่มผง ชุปผง เป็นต้น

2.5.1 กลไกการทำแห้งด้วยลมร้อน (วิลโล รังสาตทอง, 2546)

เมื่ออากาศหรือลมร้อนพัดผ่านหน้าอาหารที่เปียกความร้อนจะถูกถ่ายเทไปยังผิวของอาหารจะระเหยออกมาด้วยความร้อนแฝงของการเกิดไอ ไอน้ำจะแพร่ผ่านฟิล์มอากาศและถูกพัดพาไปโดยลมร้อนที่เคลื่อนที่ สภาวะดังกล่าวจะทำให้ความดันไอที่ผิวหน้าของอาหารต่ำกว่าความดันไอด้านในอาหาร เป็นผลให้เกิดความแตกต่างของความดันไอน้ำ อาหารชั้นด้านในจะมีความดันไอสองและค่อย ๆ ลดต่ำลงเมื่อชิ้นอาหารเข้าใกล้อากาศแห้ง ความแตกต่างนี้ทำให้เกิดแรงดันเพื่อไล่น้ำออกจากอาหาร ตามทฤษฎีกระบวนการทำแห้งแบ่งได้เป็น 3 ช่วง คือ

1) ช่วงการปรับสภาวะเริ่มต้น (Initial Adjustment Period) เป็นช่วงที่ความชื้นที่มีอยู่ในอาหารปรับตัวเพื่อมีอุณหภูมิเท่ากับลมร้อน อัตราการทำแห้งจะต่ำและจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น จนกระทั่งถึงช่วงที่อัตราการทำแห้งคงที่

2) ช่วงอัตราการทำแห้งคงที่ (Constant Rate Period) เป็นช่วงที่น้ำในอาหารระเหยเป็นไปอย่างต่อเนื่อง คล้ายกับการระเหยของน้ำโดยทั่วไป

3) ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (Falling Rate Period) เป็นช่วงที่ความชื้นในอาหารเหลือน้อยจนแพร่ไปยังผิวหน้าอาหารอย่างไม่ต่อเนื่อง ทำให้ชั้นของเหลวที่ปกคลุมอยู่ไม่สม่ำเสมอ อัตราการทำแห้งจึงลดลง

2.5.2 ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการทำแห้ง (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนานนท์, ม.ป.ป.)

1) ลักษณะธรรมชาติของอาหาร อาหารที่มีลักษณะเป็นรูพรุน มีความเป็นรูพรุน (Porosity) มาก จะมีอัตราการอบแห้งเร็ว เนื่องจากน้ำในอาหารสามารถเคลื่อนจากภายในออกมาภายนอกได้ง่าย นอกจากนี้อาหารที่มีพื้นที่ผิวมากก็ทำให้มีอัตราการอบแห้งเกิดได้เร็วเช่นกัน เนื่องจากพื้นที่ที่มากขึ้นการระเหยของน้ำในอาหารก็เพิ่มขึ้นมากนั่นเอง

2) ขนาด รูปร่าง ปริมาตร และพื้นที่ผิวของอาหาร ซึ่งเป็นสมบัติทางกายภาพของอาหาร ที่มีผลต่อการทำแห้ง อาหารที่มีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตรทำให้มีพื้นที่ในการระเหยน้ำมาก อัตราการทำแห้งก็จะเร็วขึ้นด้วย ดังนั้นอาหารที่มีความหนามาก อัตราการอบแห้งจะช้ากว่าอาหารที่มีความหนาน้อยกว่า เนื่องจากอัตราการอบแห้งเป็นสัดส่วนผกผันกับความหนาของอาหาร

3) ปริมาณของอาหารที่นำมาอบแห้ง อาหารที่นำมาอบแห้งในปริมาณมากจะมีอัตราการอบแห้งที่ช้า เนื่องจากอากาศร้อนไม่สามารถสัมผัสกับอาหารที่นำมาอบแห้งอย่างทั่วถึงจึงไม่สามารถถ่ายเทความร้อนให้กับอาหารได้ จึงทำให้อัตราการอบแห้งช้า

4) ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และความชื้นจำเพาะของอากาศเป็นสิ่งสำคัญมาก การระเหยน้ำออกจะเกิดได้ดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับความชื้นของอากาศและความเร็วลม

5) ความดัน เกี่ยวเนื่องกับการระเหยน้ำ เนื่องจากที่ความดันต่ำ ๆ ลงมา น้ำก็จะเดือดได้ที่อุณหภูมิต่ำลง ดังนั้นการทำแห้งภายใต้ความดันจะทำให้อัตราการอบแห้งเร็วขึ้น

2.6 อาหารสำหรับผู้สูงอายุ

นิสัยการรับประทานอาหารของคนส่วนใหญ่มักเลือกรับประทานอาหารตามความชอบ แต่สำหรับผู้สูงอายุนั้นมีทางเลือกน้อยลงด้วยสุขภาพร่างกายที่เปลี่ยนแปลง ทำให้การเคี้ยวและย่อยอาหารได้น้อยลง ส่งผลให้ร่างกายได้รับสารอาหารไม่เพียงพอ การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารสำหรับผู้สูงอายุให้เหมาะสมจึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจและช่วยตอบสนองผู้บริโภคได้เป็นอย่างดี สำนักนโยบายอุตสาหกรรม (2556) กล่าวว่า การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารสำหรับผู้สูงอายุ อาจเรียกว่า Universal design food

Universal design food คือ นวัตกรรมอาหารที่สามารถตอบโจทย์ในเรื่องของการขบเคี้ยวของผู้สูงอายุแต่ละคน โดยแบ่งลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารให้มีระดับความนุ่มแตกต่างกันออกไป เนื้อสัมผัสของอาหารแบ่งได้เป็น 4 ระดับ ระดับแรกเคี้ยวง่าย ระดับสอง มีเนื้อสัมผัสอ่อนนุ่ม สามารถใช้หืออกบดอาหารกลืนได้ ระดับสาม สามารถใช้ลิ้นบดอาหารได้ ระดับสี่ กลืนได้โดยโดยไม่ต้องเคี้ยว

ข้อดีของ Universal design food คือผู้สูงอายุสามารถเลือกระดับความนุ่มของเนื้อสัมผัสที่เหมาะสมกับตัวเองได้ โดยอาหารในระดับแรก คือ สามารถใช้ฟันเคี้ยวเพียงเล็กน้อย ระดับ 2 เหมาะกับผู้ที่ต้องการอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการครบถ้วนใน 1 หน่วยบริโภค ระดับ 3 เป็นอาหารที่ออกแบบมาให้ผู้มีโรคประจำตัว เช่น เบาหวาน ความดันโลหิตสูง และระดับ 4 เหมาะกับกลุ่มที่ร่างกายมีปัญหาเรื่องควบคุมการกลืน รับประทานได้เฉพาะอาหารเหลวและเครื่องดื่มนม

แนวโน้มตลาดอาหารแปรรูปสำหรับผู้สูงอายุในประเทศไทย มีข้อคำนึงถึงดังนี้

1) โรคเรื้อรังที่พบบ่อยในผู้สูงอายุได้แก่ โรคความดันโลหิตสูง รองลงมา คือ โรคเบาหวาน โรคหัวใจ โรคอัมพาต/อัมพฤกษ์ และ โรคหลอดเลือดสมองตีบ ดังนั้นอาหารที่พัฒนาควรช่วยป้องกันหรือลดอาการรุนแรงและไม่ก่อโรค

2) ในเรื่องของการบริโภคอาหารแปรรูปนั้น ประเภทอาหารที่ผู้สูงอายุในประเทศไทยให้ความนิยมมากที่สุดคือ เครื่องดื่มสำเร็จรูปต่าง ๆ ทั้งในรูปแบบน้ำและผง เช่น กาแฟ นม นมถั่วเหลือง น้ำผลไม้ เนื่องจากเป็นสินค้าที่มีจำหน่ายทั่วไปและราคาไม่สูง สะดวกในการรับประทาน

3) ข้อเสนอแนะที่ต้องปรับปรุงของการผลิตอาหารแปรรูปสำหรับผู้สูงอายุคือ

3.1) ดัดแปลงลักษณะอาหาร โดยทำอาหารให้อ่อน นุ่ม เคี้ยวได้ง่าย การหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ หรือ อาจต้องบดให้ละเอียดถ้าจำเป็น เพื่อให้ผู้สูงอายุรับประทานได้สะดวก

3.2) ดัดแปลงด้านรสชาติ เนื่องจากผู้สูงอายุจำนวนไม่น้อยที่การรับรสเปลี่ยนแปลงไป ทำให้ความชอบรสชาติเปลี่ยนไปด้วย ดังนั้นอาหารจึงจำเป็นต้องดัดแปลงรสชาติ และไม่ควรมีรสจัดหรือมีเครื่องเทศมาก เพื่อให้เหมาะสมและเป็นผลดีต่อสุขภาพ

3.3) ดัดแปลงด้านปริมาณ ผู้สูงอายุบางคนเจริญอาหารและมีโรคประจำตัว ซึ่งต้องควบคุมปริมาณอาหารที่รับประทาน เพื่อป้องกันมิให้น้ำหนักตัวเพิ่ม และในกรณีผู้สูงอายุที่รับประทานอาหารได้น้อย การจัดอาหารในปริมาณไม่มากนัก หรือแบ่งเป็นหลาย ๆ มื้อ จะช่วยตอบสนองการบริโภคได้

โดยในปี พ.ศ. 2558 สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้ผลิตภัณฑอาหารพร้อมบริโภคสำหรับผู้สูงอายุ ประกอบด้วย ผลิตภัณฑ์อาหารมือหลัก อาหารว่าง และเครื่องดื่ม ที่มีคุณค่าทางโภชนาการ เป็น

ผลิตภัณฑ์อาหารที่สะดวกต่อการบริโภค เหมาะกับ 5 โรคที่พบในผู้สูงอายุ ได้แก่ ภาวะโรคเบาหวาน ภาวะโรคหัวใจและหลอดเลือด ภาวะโรคข้อ (เกาต์) ภาวะโรคกระดูกพรุน ภาวะโรคสมองและระบบประสาท ดังนี้

1) ผลิตภัณฑ์อาหารพร้อมบริโภคสำหรับผู้สูงอายุที่มีภาวะโรคเบาหวาน ทำการวิจัยและพัฒนาภายใต้หลักการผลิตอาหารพร้อมบริโภค ที่มีการควบคุมปริมาณพลังงานทั้งหมดให้ได้ไม่เกิน 1,500 กิโลแคลอรีต่อวัน ลดปริมาณน้ำตาล และปริมาณโซเดียม

2) ผลิตภัณฑ์อาหารพร้อมบริโภคสำหรับผู้สูงอายุที่มีภาวะโรคหัวใจและหลอดเลือด ทำการวิจัยและพัฒนาภายใต้หลักความต้องการโซเดียมต่ำ จากค่า RDI :Thai Recommended Daily Intakes (ปริมาณสารอาหารที่แนะนำให้บริโภคต่อวัน สำหรับคนไทยอายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป โดยคิดจากความต้องการพลังงานวันละ 2,000 กิโลแคลอรี) ปกติ

3) ผลิตภัณฑ์อาหารพร้อมบริโภคสำหรับผู้สูงอายุที่มีภาวะโรคข้อ (เกาต์) ทำการวิจัยและพัฒนาภายใต้หลักความต้องการปริมาณพิวรีนต่ำ

4) ผลิตภัณฑ์อาหารพร้อมบริโภคสำหรับผู้สูงอายุที่มีภาวะโรคกระดูกพรุน ทำการวิจัยและพัฒนาภายใต้หลักความต้องการ แคลเซียม เหล็ก และฟอสฟอรัสสูง

5) ผลิตภัณฑ์อาหารพร้อมบริโภคสำหรับผู้สูงอายุที่มีภาวะโรคสมองและระบบประสาท ทำการวิจัยและพัฒนาภายใต้หลักความต้องการสารต้านอนุมูลอิสระ

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเตรียมขั้นต้น

Lario et al. (2004) ได้ศึกษาผลของสภาวะของกระบวนการที่แตกต่างกัน (การทำแห้งและการล้างก่อนการทำแห้ง) ต่อคุณสมบัติเชิงหน้าที่ ปริมาณใยอาหาร จุลินทรีย์ และคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ ของผงใยอาหารจากเลมอน ที่เป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมน้ำเลมอน ทำการแปรสภาวะของกระบวนการผลิตใยอาหารได้เป็น 2 สิ่งทดลอง ได้แก่ สิ่งทดลองที่หนึ่ง ใยอาหารเลมอนที่ผ่านการทำแห้ง (DF) ทำได้โดยนำกากเลมอนสด (R) มาบดให้มีขนาดอนุภาค 15 มิลลิเมตร แล้วอบแห้งที่ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปบด ได้เป็น DF สำหรับใยอาหารเลมอนที่ผ่านการล้างและการทำแห้ง (WD) ทำได้โดยนำกากเลมอนสด มาบดให้มีขนาดอนุภาค 15 มิลลิเมตร จากนั้นล้างด้วยน้ำร้อนที่ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที (ส่วนของกากเลมอนที่ผ่านการล้างแล้ว และน้ำทิ้ง นำไปวิเคราะห์ค่าสี) บีบน้ำออก แล้วอบแห้งที่ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปบด ได้เป็น WD นำมาวิเคราะห์ Dry matter a_w และ pH วิเคราะห์คุณสมบัติเชิงหน้าที่ ได้แก่ ความสามารถในการอุ้มน้ำ (WHC) และความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (OHC) วิเคราะห์ปริมาณใยอาหาร และวิเคราะห์จุลินทรีย์ รวมถึงค่าสี จากผลที่ได้พบว่าสภาวะของ

กระบวนการที่ใช้มีผลต่อองค์ประกอบและคุณสมบัติของใยอาหาร โดยความสามารถในการอุ้มน้ำ มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อทำการล้างก่อนการทำแห้ง (โดยใยอาหารที่ไม่ได้ผ่านการล้าง มีความสามารถในการอุ้มน้ำเท่ากับ 7 กรัมของน้ำ/กรัม และ ใยอาหารที่ผ่านการล้าง มีความสามารถในการอุ้มน้ำเท่ากับ 12.6 กรัมของน้ำ/กรัม) และมีค่าลดลงเล็กน้อยหากลดขนาดอนุภาคใยอาหาร สภาพของกระบวนการที่แตกต่างกัน ไม่มีผลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำมัน ผงใยอาหารที่ผ่านการล้าง มีค่า a_w ต่ำที่สุด (0.13) การล้างด้วยน้ำร้อนช่วยในการป้องกันการเกิดสีน้ำตาลของใยอาหารในระหว่างการทำแห้ง อาจเนื่องมาจากสามารถกำจัดน้ำตาลออกไปได้ จึงมีผลต่อค่าสี นอกจากนี้การทำแห้งเป็นผลให้จำนวนจุลินทรีย์ลดลง (ลดลงประมาณ 90%) แสดงให้เห็นว่าผงเลมอนที่มีใยอาหารสูง ที่เป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมผลิตน้ำผลไม้ มีคุณสมบัติเชิงหน้าที่ และลักษณะทางเคมีกายภาพที่ดี ที่สามารถนำไปใช้ในสูตรอาหารได้ เช่น ผลิตภัณฑ์เนื้อ นม และเบเกอรี่

Chantaro, Devahastin, and Chiewchan (2008) ศึกษาความเป็นไปได้ของการนำเปลือกแครอท ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารมาผลิตเป็นใยอาหารผงที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ โดยศึกษาผลของการลวกและการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60-80 องศาเซลเซียส ต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้งและสมบัติทางเคมีกายภาพของใยอาหารผง ทำได้โดยนำเปลือกแครอทมาลวกในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 90 ± 2 องศาเซลเซียส นาน 1 นาที อัตราส่วนเปลือกแครอทต่อน้ำ เท่ากับ 1:6 หลังจากนั้นแช่ในน้ำเย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สะเด็ดน้ำก่อนการทำแห้ง เปรียบเทียบกับเปลือกแครอทที่ไม่ผ่านการลวก นำเปลือกแครอททั้งที่ผ่านการลวกและไม่ผ่านการลวกมาทำแห้งที่อุณหภูมิ 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส จนความชื้นสุดท้ายต่ำกว่า 9.9% เปลือกแครอทที่ทำแห้งแล้ว นำมาบดเป็นผงและร่อนผ่านตะแกรงขนาดอนุภาค 125-425 ไมโครเมตร ผงใยอาหารที่ได้บรรจุแบบสุญญากาศในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ นำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ปริมาณเพคติน ปริมาณใยอาหาร สมบัติการจับกับน้ำ เบต้าแคโรทีน ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ จากการทดลองพบว่า การลวกมีผลต่อปริมาณและองค์ประกอบของใยอาหาร รวมถึงความสามารถในการอุ้มน้ำและบวมตัวของใยอาหาร อย่างไรก็ตามอุณหภูมิการอบแห้ง ในช่วงที่เลือกใช้ไม่ส่งผลต่อความสามารถในการพองตัวและบวมตัวของใยอาหาร นอกจากนี้ยังพบว่า การลวกและการอบแห้งทำให้เกิดการเสื่อมสลายของสารต้านอนุมูลอิสระเนื่องจากความร้อน ได้แก่ เบต้าแคโรทีนและสารประกอบฟีนอลิกซึ่งนำไปสู่การลดลงของฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในผลิตภัณฑ์สุดท้าย

Kuljarachanan, Devahastin, and Chiewchan (2009) ได้ศึกษาผลของการเตรียมขั้นต้นกากมะนาว คือ การลวกด้วยน้ำร้อน และการทำแห้งด้วยลมร้อน (60-120 องศาเซลเซียส) ต่อปริมาณวิตามินซี สารประกอบฟีนอลิกนอมิลิน (nomilin) และลิโมนิน (limonin) ซึ่งเป็น

สารประกอบออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีประสิทธิภาพของกากมะนาว ทำได้โดยนำกากมะนาวที่เหลือจากการบีบคั้นน้ำ มาลวกในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที เพื่อยับยั้งเอนไซม์ในการเกิดสีน้ำตาล จากนั้นแช่ในน้ำเย็นในทันที (4 องศาเซลเซียส) และเหวี่ยงเอาน้ำออกด้วยเครื่องสลัดน้ำที่ 1440 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที หั่นตัวอย่างเป็นชิ้นเล็ก ๆ ขนาดประมาณ 3-4 มิลลิเมตร การอบแห้งทำได้โดยอบในตู้อบลมร้อน ที่ 60 80 100 และ 120 องศาเซลเซียส สุ่มตัวอย่างออกมาวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ปริมาณนอมิติน ลิโมนิน วิตามินซี และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (TPC) และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมด (TAA) จากการศึกษพบว่า การลวก ทำให้ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของกากมะนาวลดลง เนื่องจากการสลายด้วยความร้อน และการสูญเสียสารสำคัญไปกับการลวกด้วยน้ำ ระหว่างการทำแห้ง พบว่าปริมาณนอมิติน และลิโมนิน เพิ่มขึ้นในช่วงแรก อาจเนื่องมาจากกิจกรรมของเอนไซม์ยังคงหลงเหลืออยู่ หลังจากการลวก หลังจากนั้นปริมาณของทั้งนอมิตินและลิโมนินลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการสลายด้วยอุณหภูมิที่สูงขึ้น แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมการเปลี่ยนแปลงของลิโมนอยด์ แต่ไม่มีความสัมพันธ์กันโดยตรงระหว่างการเปลี่ยนแปลงความชื้นระหว่างการทำแห้งและปริมาณลิโมนอยด์ จากการทดลองพบว่าวิตามินซีและสารประกอบฟีนอลิก มีการสลายตัว ทำให้ปริมาณลดลง เมื่อใช้อุณหภูมิสูงขึ้น และตัวอย่างปริมาณความชื้นลดลง ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมีความสัมพันธ์อย่างมากกับกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมด โดยสารประกอบฟีนอลิกเป็นสารสำคัญในกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ โดยพบว่าผลิตภัณฑ์สุดท้ายหลังการอบแห้งกากมะนาวที่ 60 องศาเซลเซียส มีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด

Wachirasiri et al. (2009) ได้ศึกษาผลของวิธีการเตรียมชิ้นต้นที่แตกต่างกันต่อองค์ประกอบทางเคมี และคุณสมบัติของใยอาหารจากเปลือกกล้วย (Banana peel dietary fibre concentrate; BDFC) ทำได้โดยเตรียมผงเปลือกกล้วย โดยใช้วิธีการเตรียมชิ้นต้นที่แตกต่างกัน 4 วิธี ได้แก่ การบดแห้ง (DM) การบดเปียก (WM) การบดเปียกและการล้างด้วยน้ำ (WM-TW) และการบดเปียกและการล้างด้วยน้ำร้อน (WM-HW) สำหรับวิธี DM ทำโดยนำเปลือกกล้วยมาทำแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ในตู้อบลมร้อน เป็นเวลาข้ามคืน แล้วนำมาบด ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร วิธี WC ใช้อัตราส่วนระหว่างเปลือกกล้วย : น้ำ เท่ากับ 1:5 บดผสม แล้วนำมาร้อนผ่านตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร วิธี WM-TW และวิธี WM-HW ทำได้โดยนำเปลือกกล้วยที่ผ่านการบดเปียกแล้ว มาล้างด้วยน้ำ หรือล้างในน้ำร้อน ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ตามลำดับ จากนั้นนำเปลือกกล้วยมาทำแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ในตู้อบลมร้อน เป็นเวลา 12 ชั่วโมง และบด ได้เป็นผงเปลือกกล้วยที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 1 มิลลิเมตร ตัวอย่างที่ผ่านการ

เตรียมด้วยวิธีต่าง ๆ จะนำมาสกัดไขมัน โปรตีน และแป้งออกโดยใช้เอนไซม์แอลฟาอะไมเลส กลูโคสอะไมเลส และนิวเทรล ตามลำดับ จากนั้นนำมาวิเคราะห์ทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น ไขมัน โปรตีน และไขมัน ปริมาณใยอาหารทั้งหมด (TDF) ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (IDF) และปริมาณ ใยอาหารที่ละลายน้ำได้ (SDF) ค่า a_w ค่าสี ความสามารถในการอุ้มน้ำ (WHC) และความสามารถในการ อุ้มน้ำมัน (OHC) พบว่า กระบวนการบดแห้งทำให้ BDFC มีปริมาณไขมัน โปรตีน และสตาร์ช สูงกว่ากระบวนการบดเปียก มีผลให้ความสามารถในการอุ้มน้ำ (WHC) และความสามารถในการ อุ้มน้ำมัน (OHC) ต่ำลง การล้างด้วยน้ำหลังจากการบดเปียกสามารถเพิ่มปริมาณของใยอาหาร ทั้งหมด โดยเป็นปรับปรุงการกำจัดโปรตีนและไขมัน การล้างด้วยน้ำร้อนหลังจากกระบวนการบด เปียก ทำให้สูญเสียในส่วนของใยอาหารที่ละลายน้ำได้สูงกว่า มีผลให้ WHC และ OHC ของ BDFC ต่ำลง เมื่อเปรียบเทียบกับ การล้างด้วยน้ำ การบดเปียกและการล้างด้วยน้ำ ทำให้ BDFC มีปริมาณ ใยอาหารทั้งหมด และใยอาหารที่ละลายน้ำได้ รวมทั้ง WHC และ OHC สูงที่สุด ผลที่ได้นี้ชี้ให้เห็น ว่าการบดเปียกและการล้างด้วยน้ำ เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด เพื่อช่วยเพิ่มโอกาสทำให้ ใยอาหารมีสมบัติเชิงหน้าที่ที่ดีขึ้น และด้วยเหตุนี้จึงสามารถใช้ใยอาหารผงจากเปลือกกล้วย เป็น ส่วนผสมทางโภชนาการที่มีแคลอรีต่ำ สำหรับเสริมใยอาหาร แม้ว่าการใช้เป็นส่วนผสมในอาหาร อาจส่งผลเล็กน้อยต่อสีของผลิตภัณฑ์สุดท้าย

Tanongkankit (2011) ศึกษาผลของขั้นตอนการผลิต ได้แก่การเตรียมตัวอย่างซึ่งรวมไป ถึงการหั่นการลวกโดยใช้น้ำร้อนหรือไอน้ำและวิธีการอบแห้งด้วยลมร้อนหรือสุญญากาศ ที่มีต่อ การเปลี่ยนแปลงสารพฤกษเคมีในกาบใบนอกของกะหล่ำปลี การเตรียมตัวอย่างทำได้โดยหั่นใบ กะหล่ำปลีขนาด 0.5×5 เซนติเมตร ก่อนการลวกด้วยน้ำร้อนและไอน้ำ และการลวกใบกะหล่ำปลี ด้วยน้ำร้อนและไอน้ำก่อนการหั่น โดยมีกะหล่ำปลีหั่นขนาด 0.5×5 เซนติเมตร ที่ไม่ผ่านการลวก เป็นตัวอย่างควบคุม จากนั้นนำตัวอย่างที่ผ่านการเตรียมขั้นตอนมาอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ที่ อุณหภูมิ 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบกับการอบแห้งแบบสุญญากาศ ความดัน 10 kPa ที่อุณหภูมิ 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส จนมีความชื้นสุดท้ายต่ำกว่า 10% จากนั้นบดเป็นผงและ ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 150-450 ไมโครเมตร นำมาวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด วิตามินซี เบต้าแคโรทีน แอลฟาโทโคฟีรอล และกลุ่มกลูโคซิโนเลต ซึ่งรวมไปถึงซัลโฟราเฟน ผลการศึกษา พบว่าขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างไม่มีผลต่อองค์ประกอบของใยอาหารผง แต่การลวกกะหล่ำปลีด้วย ไอน้ำสามารถรักษาสารต้านอนุมูลอิสระและสารกลุ่มกลูโคซิโนเลตไว้ได้ดีกว่าการลวกด้วยน้ำร้อน ใยอาหารผงที่ผ่านการอบแห้งแบบสุญญากาศมีสารต้านอนุมูลอิสระและสารกลุ่มกลูโคซิโนเลต และสีดีกว่าใยอาหารผงที่ผ่านการอบแห้งด้วยลมร้อน จากผลการศึกษาสรุปได้ว่าสภาวะที่เหมาะสม

ในการผลิตโยอาหารผงจากกาบไบนอกของกะหล่ำปลี คือการลวกด้วยไอน้ำก่อนการหั่นร่วมกับ การอบแห้งแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

Peerajit, Chiewchan, and Devahastin (2012) รายงานว่ากากมะนาวเป็นผลพลอยได้ที่ได้ จากการสกัดน้ำผลไม้ สามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบเริ่มต้นในการผลิตโยอาหารผง กากมะนาวมีโย อาหารสูงและมีความสมดุลที่ระหว่างโยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (IDF) และโยอาหารที่ละลายน้ำ (SDF) ในการผลิตโยอาหารผงจากกากมะนาวมีการเตรียมขั้นต้นก่อนการอบแห้งเพื่อการลด ความชื้น ซึ่งอาจส่งผลต่อคุณสมบัติเชิงหน้าที่และคุณสมบัติทางโภชนาการของโยอาหารผง ในการ วิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของวิธีการเตรียมขั้นต้นโดยการลวก การลวกและแช่เอทานอล ก่อนการทำ แห้ง และการลดขนาดอนุภาคหรือการบดต่อคุณสมบัติทางโภชนาการของโยอาหารจากกาก โดยมี ปัจจัยที่ศึกษาคือวิธีการเตรียมขั้นต้นโดยการลวก การลวกและแช่เอทานอล (95% v/v เป็นเวลา 30 นาที) และการลดขนาดอนุภาค (อยู่ในช่วง 38-63, 63-150, 150-250, 250-300 และ 300-450 ไมโครเมตร) ต่อคุณสมบัติเชิงหน้าที่และคุณสมบัติทางโภชนาการของโยอาหารจากกากมะนาว กากมะนาวอบแห้งที่อุณหภูมิ 60°C ก่อนการบด คุณสมบัติเชิงหน้าที่และคุณสมบัติทางโภชนาการ ที่ตรวจสอบ คือ glucose adsorption capacity (GAC), glucose retardation index (GRI) และ bile acid retardation index (BRI) ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าโยอาหารผง ที่เตรียมขั้นต้นจากทั้งการลวกหรือ การลวกตามด้วยแช่เอทานอลก่อนการอบแห้ง มี GRI และ BRI สูง แต่ไม่มีผลกับ GAC โยอาหารผง ที่มีขนาดเล็กกว่ามี GRI และ BRI สูงขึ้น โดยโยอาหารที่มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 38-63 μm และ การเตรียมขั้นต้นด้วยการลวกและการแช่เอทานอลทำให้ได้โยอาหารผงที่มีค่า GRI และ BRI สูง ที่สุด

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับขั้นตอนการทำแห้ง

Garau et al. (2007) ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิการทำแห้งต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ ของโยอาหาร และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของผลพลอยได้จากส้ม โดยทำการแยกส่วนที่เหลือ จากการผลิตน้ำส้ม ได้เป็นตัวอย่างเปลือก และตัวอย่างกาก ต่อมานำตัวอย่างทั้งสองมาทำแห้งใน ตู้อบลมร้อน แปรอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งต่างกัน คือ 30 40 50 60 70 80 และ 90 องศาเซลเซียส กำหนดอัตราการไหลของอากาศเป็น 2 เมตร/วินาที การทำแห้งดำเนินการจนกระทั่ง ตัวอย่างมีปริมาณความชื้นคงที่ พบว่าตัวอย่างเปลือกมีปริมาณความชื้น เท่ากับ 12% และตัวอย่าง กากมีปริมาณความชื้น เท่ากับ 11% นำมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีกายภาพ สมบัติเชิงหน้าที่ ได้แก่ความสามารถในการพองตัว (SW) ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (FAC) ความสามารถในการ อุ้มน้ำ (WRC) รวมถึงความสามารถในการละลาย (Solubility) ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติ

การต้านอนุมูลอิสระ พบว่า การทำแห้งที่อุณหภูมิ 50-60 องศาเซลเซียส ให้ผลชัดเจนว่าโพลีเมอร์ของผนังเซลล์ถูกทำลายเล็กน้อย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนของเพคติน ตัวอย่างจากมีค่า SW และ FAC มากกว่าตัวอย่างจากส่วนเปลือก นอกจากนี้ยังพบว่าค่า WRC FAC และ Solubility ของตัวอย่างทั้งจากเปลือกและกาก มีค่าลดลง เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งเพิ่มขึ้น สมบัติการต้านอนุมูลอิสระเกี่ยวข้องกับการทำแห้งผลพลอยได้จากส้มอย่างมีนัยสำคัญ โดยตัวอย่างเปลือกส้มมีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าตัวอย่างกาก เปลือกส้มที่ผ่านการทำแห้ง มีปริมาณใยอาหารสูงและแสดงสมบัติการต้านอนุมูลอิสระสูง นอกจากนี้ตัวอย่างทั้งสองยังมีอัตราส่วนของใยอาหารที่ละลายน้ำได้-ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ที่เหมาะสมสำหรับเป็นแหล่งของใยอาหารและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ สามารถนำไปใช้เพื่อเสริมอาหารได้ และพบว่าในการรักษาคุณภาพของใยอาหารและ/หรือสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ควรมีการควบคุมอุณหภูมิการทำแห้งให้เหมาะสม

Fuentes-Alventosa et al. (2009) ได้ศึกษาการทำแห้งเศษหน่อไม้ฝรั่งด้วยวิธีการทำแห้งที่ต่างกัน คือการทำแห้งด้วยลมร้อนที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง และการทำแห้งแบบ Freeze drying พบว่า วิธีการทำแห้งไม่มีผลต่อปริมาณใยอาหารทั้งหมด และความสามารถในการอุ้มน้ำ แต่การทำแห้งแบบแช่แข็งระเหิด ทำให้ได้ใยอาหารที่มีความสามารถในการอุ้มน้ำมันและดัชนีชะลอการดูดซึมน้ำตาลมากกว่าการทำแห้งด้วยลมร้อน เนื่องจาก การทำแห้งแบบแช่แข็งระเหิด ทำให้โครงสร้างของใยอาหารเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าการทำแห้งแบบลมร้อน และยังทำให้โครงสร้างมีความเป็นรูพรุนมาก ด้วยความเป็นรูพรุนของ โครงสร้างใยอาหาร จึงเอื้อต่อการขัดขวางการแพร่ของกลูโคสได้ โดยใยอาหารจะทำหน้าที่กักเก็บกลูโคสไว้

Sunprasert (2010) ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ใยอาหารผงที่ผลิตจากกากมะนาวเพื่อเสริมใยอาหารให้กับผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มชนิดต่าง ๆ โดยศึกษาผลของความเข้มข้นของใยอาหารผง (1-5%) อุณหภูมิในการเตรียมเครื่องดื่ม (30 และ 4 องศาเซลเซียส) และค่าพีเอช (3-7) ที่มีต่อพฤติกรรมการไหลของเครื่องดื่มต้นแบบหลังเติมใยอาหารผง โดยเครื่องดื่มที่ใช้ในงานวิจัย คือ น้ำกลั่น น้ำองุ่น น้ำแอปเปิ้ล และน้ำชาเขียว และทำการศึกษาพฤติกรรมการไหลภายหลังการคืนสภาพโดยการเตรียมใยอาหารผงจากกากมะนาว ทำได้โดยลวกกากมะนาวในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที เพื่อยับยั้งเอนไซม์ที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาลิน้ำตาล จากนั้นแช่ในน้ำเย็นทันที ปั่นเหวี่ยงเพื่อกำจัดน้ำออก แล้วแช่ต่อในเอทานอล 95% (v/v) เป็นเวลา 30 นาที นำไปปั่นเหวี่ยงเพื่อกำจัดเอทานอลออก จากนั้นมาตัดเป็นชิ้นขนาด 3-4 มิลลิเมตร แล้วทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง บดเป็นผง และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 38-63 ไมโครเมตร และนำไปใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากผลการทดลองที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส พบว่าตัวอย่างทั้งหมดแสดงพฤติกรรมการไหลแบบซูโดพลาสติก และมีค่าดัชนี

พฤติกรรมการไหลระหว่าง 0.760 และ 0.962 และเมื่อความเข้มข้นของใยอาหารผงเพิ่มขึ้น ความหนืดจะเพิ่มขึ้น โดยมีแนวโน้มคล้ายคลึงกับผลการทดลองที่ 4 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังพบว่าความหนืดจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่อุณหภูมิต่ำ (ค่าดัชนีพฤติกรรมการไหลเท่ากับ 0.720-0.899) อย่างไรก็ตามค่าพีเอชไม่มีผลต่อพฤติกรรมการไหลของน้ำกลั่นหลังเติมใยอาหารผง สำหรับพฤติกรรมการไหลของเครื่องดัดแบบหลังจากการคืนสภาพพบว่าที่ความเข้มข้นเดียวกันของใยอาหารผงเครื่องดัดแต่ละชนิดแสดงพฤติกรรมการไหลแตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากเครื่องดัดแต่ละชนิดมีค่าความหนืดเริ่มต้นและองค์ประกอบที่แตกต่างกัน

Pla et al. (2012) ได้ทำการศึกษาผลของกระบวนการต่อลักษณะทางเคมีกายภาพของใยอาหาร ที่ได้จากเปลือกและเยื่อของลูกพีช (*Prunus persica* L.) โดยการประยุกต์ใช้เอทานอลก่อนการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิต่ำ และเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เพื่อให้ได้ใยอาหารสูงที่อุดมไปด้วยสมบัติเชิงหน้าที่ จากเปลือกและเยื่อของลูกพีช ดำเนินการโดยแช่ในเอทานอล (96%) ก่อนการทำแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิต่ำกว่า 30°C เป็นเวลา 7 ชั่วโมง หรือต่ำกว่าการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ปริมาณใยอาหารทั้งหมดที่ถูกแยกมีมากอยู่ในผนังเซลล์ และปริมาณ โพลีฟีนอลสูงมีความสัมพันธ์กับปริมาณ ใยอาหาร ผลได้ของการดำเนินการจากเปลือกเกือบเป็นสองเท่าของปริมาณที่ได้รับจากเยื่อของลูกพีช และ High hydration capacities มีการแสดงเป็นปริมาณทั้งหมด จากผลการศึกษาพบว่าใยอาหารส่วนที่ได้จากเปลือกมีสีคล้ำที่สุด ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (1.81–2.4 กรัม/กรัม) สูงกว่าที่รายงานในเอกสารอ้างอิงสำหรับกากลูกพีช (1.02 กรัม/กรัม) และกากควินซ์ (1.59 กรัม/กรัม) ผลของเทคนิคการทำแห้งที่ใช้ พบว่าการทำแห้งด้วยลมร้อนทำให้ปริมาณใยอาหารที่ได้ มีความสามารถในการอุ้มน้ำมันต่ำลง และของแข็งน้อยกว่าการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง สามารถสรุปได้ว่าการใช้เอทานอลและอุณหภูมิที่ต่ำในการทำแห้ง เป็นวิธีที่เพียงพอที่จะได้ใยอาหารที่มีสมบัติเชิงหน้าที่ที่ดีจากกาก *P. persica* และการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งสามารถผลิตใยอาหารที่มีปริมาณเฉพาะที่สูงขึ้น ใยอาหารส่วนที่ได้จากเปลือกอาจส่งผลกระทบต่อสีของใยอาหาร โดยต้องมีการพิจารณาอัตราส่วนเปลือก/เยื่อ ในส่วนเหลือทิ้งจากลูกพีช สำหรับใยอาหารที่ใช้เป็นส่วนผสมอาหาร

Calvache et al. (2015) ในงานวิจัยนี้มีปัจจัยที่ศึกษาร่วมกันคือ อัตราส่วนระหว่างเอทานอลต่อตัวอย่างในขั้นตอนการสกัด (2-6 ml/g) กับอุณหภูมิในการทำแห้งแบบไมโครเวฟ (40-80 องศาเซลเซียส) ร่วมกัน ซึ่งอาศัยการออกแบบการทดลองแบบ central composite design ซึ่งเป็นการจัดตั้งทดลองที่สามารถศึกษาได้หลายปัจจัย หลายระดับ โดยมีจำนวนสิ่งทดลองไม่มาก จากนั้นทำสมการ Regression แล้วเอาสมการ Regression ที่น่าเชื่อถือ มาทำกราฟ RSM (Response surface methodology) ผลจาก Regression เมื่อพิจารณาจาก R^2 คือความน่าเชื่อถือของสมการ พบว่าค่า R^2 มี

ค่าค่อนข้างสูง ซึ่งสามารถใช้ในการทำนายอัตราส่วนระหว่างเอทานอลต่อตัวอย่างกับอุณหภูมิที่มีต่อค่าคุณภาพในเรื่องของค่า WHC และ OHC และสามารถนำมาทำกราฟ RSM ได้โดยจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราส่วนระหว่างเอทานอลกับตัวอย่าง (2-6) และอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้ง (40-80 องศาเซลเซียส) ที่มีต่อความสามารถในการอุ้มน้ำ พบว่าสถานะที่เหมาะสมที่สุดคือการใช้อัตราส่วนระหว่างเอทานอลต่อตัวอย่างในระดับสูง (6:1) ร่วมกับการใช้อุณหภูมิต่ำ (40 องศาเซลเซียส) ซึ่งทำให้ได้โยอาหารที่มีความสามารถในการอุ้มน้ำสูงที่สุด และจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราส่วนระหว่างเอทานอลกับตัวอย่าง (2-6) และอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้ง (40-80 องศาเซลเซียส) ที่มีต่อความสามารถในการอุ้มน้ำมัน พบว่าสถานะที่เหมาะสมที่สุดคือการใช้อัตราส่วนระหว่างเอทานอลต่อตัวอย่างในระดับสูง (6:1) ร่วมกับการใช้อุณหภูมิต่ำ (40 องศาเซลเซียส) ให้ค่า OHC สูงที่สุด รวมถึงได้ปริมาณผลได้สูงที่สุดด้วย

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำโยอาหารมาใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหาร

Uysal et al. (2007) ได้ศึกษาการเติมโยอาหารจากกากแอปเปิ้ลเลมอน และข้าวสาลี ในระดับ 0-30% โดยทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์คุกกี้ ร่วมกับการใช้เอนไซม์ไซลาลเนส ปริมาณเท่ากับคือ 0.4% ช่วยในเรื่องเนื้อสัมผัส เพื่อให้เติมโยอาหารได้มากขึ้น จากผลการทดลอง พบว่าการเติมโยอาหารจากกากแอปเปิ้ลทดแทนแป้งสาลี 15% ร่วมกับการเติมเอนไซม์ไซลาลเนสในการผลิตคุกกี้ มีผลให้ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับเป็นที่ยอมรับได้ คือ 3.4 จาก 5 คะแนน แต่เมื่อการเติมโยอาหารระดับมากขึ้นพบว่าคะแนนการยอมรับลดลง เนื่องมาจากการการเติมโยอาหารในระดับที่มากขึ้น จึงมีผลต่อเนื้อสัมผัสด้านความแข็ง ทำให้คะแนนความชอบลดลง

Rupasinghe, Wang, Huber, and Pitts (2008) ได้ศึกษาผลของการอบต่อปริมาณโยอาหารและปริมาณฟีนอลิกของมัทฟีนที่มีการเติมเปลือกแอปเปิ้ลผง ทำได้โดยนำเปลือกของแอปเปิ้ล 2 สายพันธุ์ ได้แก่ Idared และ Northern Spy มาลวกด้วยน้ำร้อน เป็นเวลา 30 วินาที เพื่อป้องกันการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ ทำการสะเด็ดน้ำ เพื่อเอาน้ำส่วนเกินออก จากนั้นนำมาทำแห้งที่อุณหภูมิ 60 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง โดยใช้ตู้อบลมร้อน เปลือกที่ถูกทำแห้งแล้วเอามาบดเป็นผง แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร วิเคราะห์ปริมาณความชื้น ไขมัน โปรตีน และเถ้า รวมถึงวิเคราะห์ปริมาณโยอาหารที่ละลายน้ำได้ และโยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ปริมาณน้ำตาลและวิตามินซี สำหรับสูตรการผลิตมัทฟีน มีส่วนผสมของแป้งสาลี 34.05% น้ำ 32.13% น้ำตาล 15.42% น้ำมันพืช 13.88% นมผงพร่องมันเนย 2.57% ออบเชยผง 1.29% ไข่ผง 0.45% และเกลือ 0.13% ทำการทดลองโดยแปรปริมาณเปลือกแอปเปิ้ลผง เป็น 6 ระดับ (0 4 8 16 24 และ 32% w/w) โดยทดแทนปริมาณแป้งสาลีในมัทฟีน ทำการผลิตมัทฟีนตามสูตรและตัวแปรที่กำหนด

จากนั้นอบที่ 175 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที แล้วนำไปวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ผลที่ได้พบว่าการลวก การทำแห้ง และการอบเปิด มีปริมาณใยอาหารทั้งหมดประมาณ 41% และความสามารถในการดูดซับอนุมูลอิสระของออกซิเจน (ORAC) เท่ากับ 52 มิลลิกรัม equivalents Trolox /กรัมของน้ำหนักแห้ง ปริมาณใยอาหารทั้งหมด ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดของมัทฟีน มีความสัมพันธ์ในทางบวกกับปริมาณของเปลือกแอปเปิ้ลผงที่เติมไปในมัทฟีน เพลอร์เซนต์ค่าเฉลี่ยของ เควอซีทิน (Quercetin glycosides) แคทีชิน (Catechins) กรดคลอโรจินิก (Chlorogenic acid) โพลริดีซิน (Phloridzin) และไซยานิดิน กาแลกโทไซด์ (Cyanidin galactoside) หลังจากการอบมีค่าเท่ากับ 61% 57% 53% 44% และ 20% ตามลำดับ

Martínez-Cervera, Salvador, Muguerza, Moulay, and Fiszman (2011) ได้ศึกษาผลของการเติมเส้นใยโกโก้ โดยใช้ทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์มัทฟีนช็อคโกแลต โดยวิเคราะห์คุณสมบัติของเบทเทอร์ และวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและประสาทสัมผัสของมัทฟีน โดยเตรียมมัทฟีน 4 สูตร สูตรที่ 1 ใช้เป็นสูตรควบคุม (เติมผงโกโก้ ไม่เติมเส้นใยโกโก้) สูตรที่ 2 LFR (ทดแทนไขมันระดับต่ำ) (เส้นใยโกโก้ 11.5 และ ไขมัน 34.5 กรัม/100 กรัม แป้ง) สูตรที่ 3 MFR (ทดแทนไขมันระดับกลาง) (เส้นใยโกโก้ 23.0 และไขมัน 23.0 กรัม/100 กรัม แป้ง) และสูตรที่ 4 HFR (ทดแทนไขมันระดับสูง) (เส้นใยโกโก้ 34.5 และไขมัน 11.5 กรัม/100 กรัม แป้ง) ผลการศึกษาริโอบีของเบทเทอร์โดยใช้เครื่อง Rheometer พบว่าความสูงของผลิตภัณฑ์ขนมอบลดลง เมื่อเพิ่มเพลอร์เซนต์การแทนที่ไขมัน แต่การสูญเสียน้ำหนัก ไม่มีความแตกต่างกัน เนื้อสัมผัสของเค้กทดแทนไขมัน มีค่า Hardness Chewiness และ Resilience ต่ำกว่าสูตรควบคุม และค่า Springiness ของตัวอย่าง LFR ใกล้เคียงกับสูตรควบคุม และการเติมเส้นใยโกโก้มากขึ้นทำให้มัทฟีนเก็บความชื้นได้มากขึ้น มัทฟีน HFR มีสีช็อคโกแลตคล้ายกับสูตรควบคุม แสดงให้เห็นว่าสามารถใช้เส้นใยโกโก้ได้โดยไม่ต้องเพิ่มผงโกโก้ มัทฟีนที่มีเส้นใยโกโก้มากขึ้น มีความเหนียวมากขึ้น และมีความยากต่อการเคี้ยวและกลืนมากขึ้น และมีรสขมแตกต่างจากการใช้ผงโกโก้ ผลที่ได้ชี้ให้เห็นว่าการใช้เส้นใยโกโก้ เป็นทางเลือกที่ส่งเสริมการทดแทนไขมันในสูตรมัทฟีนช็อคโกแลต มีข้อดีคือมัทฟีนมีความชื้นสูงขึ้น นุ่มขึ้น และเนื้อร่วน มากกว่าสูตรควบคุม สามารถลดความแข็งระหว่างการเก็บรักษาได้ นอกจากนี้การเพิ่มเส้นใยโกโก้สามารถทำหน้าที่ให้สีได้ อย่างไรก็ตามยังมีจุดที่ต้องปรับปรุง เช่น ความสูงที่ลดลง การรับรู้ได้ถึงรสขม และเนื้อสัมผัสเหนียว

Crizel, Jablonski, Rios, Rech, and Flôres (2013) ได้ศึกษาลักษณะเส้นใยจากผลพลอยได้ของอุตสาหกรรมการผลิตน้ำส้ม โดยแบ่งเส้นใยออกเป็น 2 ส่วน คือ F1 (เปลือก กาก และเมล็ด) และ F2 (เปลือก) ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี ได้แก่ ปริมาณเส้นใยทั้งหมด

ปริมาณเส้นใยที่ละลายน้ำได้และปริมาณเส้นใยที่ละลายน้ำไม่ได้ ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ความสามารถในการละลายน้ำ ความสามารถในการการอุ้มน้ำ (WHC) ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (OHC) และองค์ประกอบของแคโรทีนอยด์ พบว่าตัวอย่างทั้งสอง (F1 และ F2) มีปริมาณใยอาหารทั้งหมด และอัตราส่วนระหว่างเส้นใยที่ละลายน้ำได้และเส้นใยที่ไม่ละลายน้ำในระดับสูง เมื่อศึกษาสมบัติเชิงหน้าที่ พบว่าเส้นใยมี WHC และ OHC สูง ซึ่งเป็นสมบัติเชิงหน้าที่ที่ดี รวมถึงมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและปริมาณแคโรทีนอยด์สูง เหมาะสมสำหรับการนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์เพื่อปรับปรุงเนื้อสัมผัสและลดแคลอรีได้ จากการนำเส้นใยจากสั้มาทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์ไอศกรีม แปรเป็น 3 สูตร คือ ไอศกรีมสูตรควบคุม (IC) มีการเติมไขมัน 5 กรัม/100กรัม ไอศกรีมที่มีเส้นใยจากเปลือก กาก และเมล็ดสั้ (ICF1) และ ไอศกรีมที่มีเส้นใยจากเปลือกสั้ (ICF2) พบว่าการใช้เส้นใยจากสั้ทดแทนไขมันในไอศกรีมสามารถลดไขมันได้ถึง 70% โดยผลิตภัณฑ์ไม่มีการเปลี่ยนแปลงในคุณลักษณะต่าง ๆ เช่น สี กลิ่น และเนื้อสัมผัส เส้นใยจากสั้จึงเป็นทางเลือกที่ดีที่ใช้ทดแทนไขมันในการทำไอศกรีม แต่อย่างก็ตามยังต้องมีการปรับปรุง การยอมรับด้านกลิ่นรส และรสที่ตกค้างอยู่หลังการรับประทาน

บทที่ 3

วิธีดำเนินการทดลอง

วัตถุดิบและสารเคมี

- 1) เปลือกเสาวรสปันธุ์สีม่วง รับจากบริษัท คอยคำผลิตภัณฑ์อาหาร จำกัด ประเทศไทย
- 2) เกลือโซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride) ตราปรุngthิพย์ ประเทศไทย
- 3) คาราจีแนน (K-carragenan) Kelcogel ประเทศสหรัฐอเมริกา
- 4) ผงวุ้น (Agar) ตรานางเงือก ประเทศไทย
- 5) น้ำตาลทราย (Sugar) ตรามิตรผล ประเทศไทย
- 6) น้ำตาลไอโซมอลทูลอส (Isomaltulose) ตราผึ้ง ประเทศไทย
- 7) น้ำนมถั่วเหลือง 100% ตราโอฮาโย ประเทศไทย
- 8) น้ำเสาวรสปันธุ์สีม่วง ตราคอยคำ ประเทศไทย

อุปกรณ์และเครื่องมือ

- 1) ตู้อบลมร้อน Memmert รุ่น ULE 500 ประเทศเยอรมนี
- 2) บั้มสุญญากาศ Buchi รุ่น Vacuum Controller V-800 ประเทศเยอรมนี
- 3) เครื่องสกัดน้ำ Konion รุ่น XPA75-11P ประเทศจีน
- 4) เครื่องบดอาหารแห้ง โง้วฮวดหยู รุ่น XS-08B ประเทศไทย
- 5) เครื่องตัดแต่งผักผลไม้ Hallde รุ่น RG-850 ประเทศสวีเดน
- 6) อ่างน้ำแบบควบคุมอุณหภูมิ Heto รุ่น CB 60 VS ประเทศเดนมาร์ก
- 7) หม้อนึ่งความดัน Kokuson รุ่น 99 LL ประเทศจีน
- 8) เครื่องวัดค่าสี Hunter Lab Colorimeter รุ่น Miniscan XP Plus ประเทศสหรัฐอเมริกา
- 9) เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส Stable Micro Sysmtem รุ่น TA-XT2 ประเทศอังกฤษ
- 10) เครื่องวิเคราะห์ไขมัน Gerhardt รุ่น S306 AK ประเทศสวีเดน
- 11) เครื่องวิเคราะห์เส้นใย Labconco รุ่น 3001 ประเทศสหรัฐอเมริกา
- 12) เครื่องวิเคราะห์โปรตีน Buchi รุ่น B-323 ประเทศสวีเดน
- 13) อุปกรณ์ในการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส เช่น ถ้วยชิม แก้วน้ำ ช้อน
- 14) อุปกรณ์เครื่องแก้ว เช่น กระบอกตวง บีกเกอร์ ขวดรูปชมพู่ ขวดปรับปริมาตร
- 15) อุปกรณ์เครื่องครัว เช่น กะทะมัน ภาชนะ ช้อน
- 16) บรรจุภัณฑ์ เช่น ถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ ถุงพลาสติก ถ้วยพลาสติก

วิธีดำเนินการทดลอง

3.1 การวิเคราะห์คุณภาพของเปลือกเสาวรสดและผง

วัตถุดิบเปลือกเสาวรสด ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นส่วนเหลือทิ้งจากกระบวนการแปรรูปน้ำเสาวรสด รับเปลือกเสาวรสดพันธุ์สีม่วง ที่ได้จากเสาวรสดอายุประมาณ 60-70 วัน คัดเลือกเอาเฉพาะเปลือกเสาวรสดที่มีลักษณะสมบูรณ์ ไม่มีการเน่าเสีย หรือตำหนิ นำมาล้างผ่านน้ำสะอาด สะเด็ดน้ำให้แห้ง แล้วบรรจุในถุงพอลิเอทิลีน เก็บรักษาโดยแช่แข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำมาใช้งาน นำเปลือกเสาวรสดแช่แข็งมาทำละลายที่อุณหภูมิ 4 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 คืน ก่อนนำไปใช้ (ดัดแปลงจาก ฉัชชา บุญปลี, 2550; กมลพรรณ อาสาสรรพกิจ, 2555; López-Vargas, Fernández-López, Pérez-Álvarez, & Viuda-Martos, 2014)

ขั้นตอนนี้เป็นกระบวนการวิเคราะห์คุณภาพของเปลือกเสาวรสดและผงเพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบและพัฒนากระบวนการผลิต โดยศึกษาถึงวิธีการเตรียมขั้นต้นวัตถุดิบและการทำแห้งเปลือกเสาวรสดให้ได้เป็นผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระต่อไป

การเตรียมวัตถุดิบ

นำเปลือกเสาวรสดมาตัดให้เป็นชิ้นขนาดประมาณ 4×4 เซนติเมตร แล้วสไลด์เป็นชิ้นด้วยเครื่องตัดแต่งผลไม้ กำหนดใช้ใบมีดแบบตัดขนาด 0.2 เซนติเมตร ให้ได้เป็นชิ้นขนาดประมาณ $0.5\times 4\times 0.2$ เซนติเมตรแสดงตัวอย่างดังภาพที่ 3-1



ภาพที่ 3-1 เปลือกเสาวรสดหั่นเป็นชิ้นขนาดประมาณ $0.5\times 4\times 0.2$ เซนติเมตร

การทำแห้งและบดเป็นผง

นำเปลือกเสาวรสที่เตรียมไว้ มาเกลี่ยลงบนถาดสำหรับการอบ แล้วอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 60 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 400 นาที จนมีปริมาณความชื้นประมาณ 7 ± 1 กรัม/ 100 กรัม นำเปลือกเสาวรสแห้งที่ได้มาบดให้เป็นผง โดยใช้เครื่องบดอาหารแห้ง ควบคุมสภาวะการบด ดังนี้ บดเปลือกเสาวรสแห้งครั้งละ 50 กรัม โดยใช้ความเร็วสูงและบดเป็นเวลา 90 วินาที โดยหยุดพักทุก 30 วินาที เพื่อเกลี่ยตัวอย่าง นำมาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช (ขนาดอนุภาค 0.149 มิลลิเมตร) บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยด์ และปิดผนึกแบบสุญญากาศ เก็บรักษาโดยแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 ± 2 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำไปวิเคราะห์ (Hernandez-Santos et al., 2015; Tanongkankit, 2011; Fuentes-Alventosa et al., 2009)

การวิเคราะห์คุณภาพเปลือกเสาวรสดและผง

- 1) ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และคาร์โบไฮเดรต (AOAC, 2000) ตามวิธีในภาคผนวก ก-1 ถึง ก-6 ตามลำดับ
- 2) ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดโดยวิธี Lane and Eynon volumetric method (AOAC, 2000 Method 923.09) ตามวิธีในภาคผนวก ก-7
- 3) ปริมาณใยอาหารทั้งหมด (AOAC, 1995 Method 991.43 & AACC Method 32-07.01) ตามวิธีในภาคผนวก ก-8
- 4) ปริมาณแอนโทไซยานินโดยวิธี pH differential (ดัดแปลงจากวิธีของ อรุษา เซวานลิขิต และอรัญญา มิ่งเมือง, 2550) ตามวิธีในภาคผนวก ก-9
- 5) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (ดัดแปลงจากวิธีของ Yu, Zhou, & Party, 2005) ตามวิธีในภาคผนวก ก-10
- 6) สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ โดยการทดสอบประสิทธิภาพการจับกันของอนุมูลอิสระ DPPH อิสระ (ดัดแปลงจากวิธีของ Turkmen, Sari, & Velioglu, 2005) ตามวิธีในภาคผนวก ก-11
- 7) ค่าสี ด้วยเครื่องวัดสี (Colorimeter) และรายงานผลเป็นค่า L^* a^* b^* Hue angle Chroma และ ΔE ตามวิธีในภาคผนวก ข-1

3.2 การศึกษาผลของการเตรียมขั้นต้นต่อคุณภาพของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส

โดยทั่วไปการผลิตใยอาหารผงเริ่มจากการนำวัตถุดิบมาทำความสะอาดและลดขนาดให้เล็กลงโดยการหั่นหรือบดเพื่อสะดวกในการอบแห้งโดยมักมีการเตรียมขั้นต้นวัตถุดิบก่อนการนำไปอบแห้งเพื่อปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการอบ (Larrauri, 1999; Nilnakara, 2006) อย่างไรก็ตามในขั้นตอนของการเตรียมขั้นต้นนั้นอาจมีผลต่อการสูญเสียปริมาณใยอาหารผง การคงอยู่ของสารพฤกษเคมีที่สำคัญ รวมถึงสมบัติเชิงหน้าที่ (Nilnakara, 2006; Wachirasiri et al., 2009; Tanongkankit, 2011)

ในขั้นตอนนี้เป็นการพัฒนากระบวนการเตรียมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส ให้มีการสูญเสียขององค์ประกอบของใยอาหาร สารพฤกษเคมีที่สำคัญในเปลือกเสาวรส พันธุ์สีม่วงได้แก่ กลุ่มของสารประกอบโพลีฟีนอล แอนโทไซยานินและฟลาโวนอยด์ (Zibadi et al., 2007; Farid et al., 2010; Zeraik et al., 2011) ให้น้อยที่สุด เพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อสุขภาพ รวมถึงปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้ายให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

3.2.1 การศึกษาผลของการเตรียมขั้นต้นโดยการใช้ความร้อนต่อคุณภาพของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส

แปรปัจจัยที่ศึกษา 2 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยที่ 1 วิธีการให้ความร้อน 3 วิธี ดังนี้ การลวกด้วยน้ำ (Water blanching) การลวกด้วยไอน้ำ (Steam blanching) และการลวกด้วยไอน้ำภายใต้ความดัน (Autoclave blanching) และปัจจัยที่ 2 เวลาการให้ความร้อน 2 ระดับ ดังนี้ 3 และ 6 นาที จัดสิ่งทดลองแบบ Factorial 3×2 ได้เป็น 6 สิ่งทดลองรายละเอียดสิ่งทดลองแสดงดังตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 สิ่งทดลองเพื่อการศึกษาผลของการเตรียมขั้นต้นเปลือกเสาวรสโดยการใช้ความร้อน

สิ่งทดลอง	วิธีการให้ความร้อน	เวลาการให้ความร้อน (นาที)
1	Water blanching (90±2°C)	3
2		6
3	Steam blanching (100±2°C)	3
4		6
5	Autoclave blanching (121°C, 15psi)	3
6		6

การเตรียมขั้นต้นโดยการใช้ความร้อน

ดำเนินการเตรียมวัตถุดิบตามข้อ 3.1 โดยนำเปลือกเสาวรสมาคัดให้เป็นชิ้น แล้วนำมาเตรียมขั้นต้น โดยการใช้ความร้อนตามวิธีการให้ความร้อนที่กำหนด 3 วิธี มีรายละเอียดการดำเนินการดังนี้

1) การลวกด้วยน้ำ (Water blanching)

ลวกชิ้นเปลือกเสาวรสมาน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 90 ± 2 องศาเซลเซียส ตามเวลาการให้ความร้อนที่กำหนด โดยกำหนดอัตราส่วนเปลือกเสาวรสมต่อน้ำ เท่ากับ 1: 6 (น้ำหนักต่อปริมาตร) จากนั้นนำเปลือกเสาวรสมที่ผ่านการลวกด้วยน้ำแล้วมาแช่ในน้ำเย็นอุณหภูมิ 4 ± 2 องศาเซลเซียส ทันททีเป็นเวลา 2 นาที วางบนตะแกรงให้สะเด็ดน้ำ และนำมาปั่นเหวี่ยงแยกน้ำออกโดยใช้เครื่องสลัดน้ำ โดยปั่นเหวี่ยงที่ 400 รอบต่อนาที นาน 5 นาที ก่อนนำไปทำแห้งต่อไป (คัดแปลงจาก Chantaro et al., 2008)

2) การลวกด้วยไอน้ำ (Steam blanching)

ลวกชิ้นเปลือกเสาวรสมด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 100 ± 2 องศาเซลเซียส ตามเวลาการให้ความร้อนที่กำหนด ควบคุมความร้อนโดยใช้อ่างควบคุมอุณหภูมิ การลวกทำได้โดยนำชิ้นเปลือกเสาวรสมใส่ในถาดสเตนเลสที่มีลักษณะเป็นรู แล้วนำมาวางลงบนตะแกรงที่อยู่ระดับสูงกว่าปริมาณน้ำ จากนั้นนำเปลือกเสาวรสมที่ผ่านการลวกด้วยไอน้ำแล้วมาแช่ในน้ำเย็นอุณหภูมิ 4 ± 2 องศาเซลเซียส ทันททีเป็นเวลา 2 นาที วางบนตะแกรงให้สะเด็ดน้ำ และนำมาปั่นเหวี่ยงแยกน้ำออกโดยใช้เครื่องสลัดน้ำ โดยปั่นเหวี่ยงที่ 400 รอบต่อนาที นาน 5 นาที ก่อนนำไปทำแห้งต่อไป (คัดแปลงจาก Tanongkankit, 2011)

3) การลวกด้วยไอน้ำภายใต้ความดัน (Autoclave blanching)

ลวกชิ้นเปลือกเสาวรสมด้วยไอน้ำภายใต้ความดันที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 psi (1.03 bar) ตามเวลาการให้ความร้อนที่กำหนด โดยเริ่มจับเวลาการลวกเมื่ออุณหภูมิหม้อหนึ่งความดัน ถึง 121 องศาเซลเซียส การลวกทำได้โดยนำชิ้นเปลือกเสาวรสมใส่ในตะกร้าสเตนเลส และวางในหม้อหนึ่งความดัน จากนั้นนำเปลือกเสาวรสมที่ผ่านการลวกด้วยไอน้ำภายใต้ความดันแล้วมาแช่ในน้ำเย็นอุณหภูมิ 4 ± 2 องศาเซลเซียส ทันททีเป็นเวลา 2 นาที วางบนตะแกรงให้สะเด็ดน้ำ และนำมาปั่นเหวี่ยงแยกน้ำออกโดยใช้เครื่องสลัดน้ำ โดยปั่นเหวี่ยงที่ 400 รอบต่อนาที นาน 5 นาที ก่อนนำไปทำแห้งต่อไป (คัดแปลงจาก Hernandez-Santos et al., 2015)

การทำแห้งและบดเป็นผง

นำเปลือกเสาวรสมที่ผ่านเตรียมขั้นต้น มาเกลี่ยลงบนถาดสำหรับการอบ แล้วอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 60 ± 2 องศาเซลเซียส จนมีปริมาณความชื้นประมาณ 7 ± 1 กรัม/ 100 กรัม นำ

เปลือกเสาวรศแห้งที่ได้มาบดให้เป็นผง โดยใช้เครื่องบดอาหารแห้ง ควบคุมสภาวะการบดครั้งนี้ บด โยอาหารจากเปลือกเสาวรศแห้งครั้งละ 50 กรัม โดยใช้ความเร็วสูงและบดเป็นเวลา 90 วินาที โดย หยุดพักทุก 30 วินาที เพื่อเกลี่ยตัวอย่าง นำมาร้อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช (ขนาดอนุภาค 0.149 มิลลิเมตร) บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ และปิดผนึกแบบสุญญากาศ เก็บรักษาโดยแช่เย็นที่ อุณหภูมิ 4 ± 2 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำไปวิเคราะห์ (Hernandez-Santos et al., 2015; Tanongkankit, 2011; Fuentes-Alventosa et al., 2009)

การวิเคราะห์คุณภาพเปลือกเสาวรศหลังการลวก

1) กิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส (ดัดแปลงจากวิธีของ Negi & Roy, 2000) ตามวิธีในภาคผนวก ก-12

2) ค่าสี ด้วยเครื่องวัดสี (Colorimeter) และรายงานผลเป็นค่า L^* a^* b^* Hue angle Chroma และ ΔE ตามวิธีในภาคผนวก ข-1

การวิเคราะห์คุณภาพของผงโยอาหาร

1) ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดโดยวิธี Lane and Eynon volumetric method (AOAC, 2000 Method 923.09) ตามวิธีในภาคผนวก ก-7

2) ปริมาณโยอาหารทั้งหมด (AOAC, 1995 Method 991.43 & AACC Method 32-07.01) ตามวิธีในภาคผนวก ก-8

3) ปริมาณแอนโทไซยานินโดยวิธี pH differential (ดัดแปลงจากวิธีของ อรุษา เชาวณลิขิต และอรรัญญา มิ่งเมือง, 2550) ตามวิธีในภาคผนวก ก-9

4) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (ดัดแปลงจากวิธีของ Yu et al., 2005) ตามวิธีในภาคผนวก ก-10

5) สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ โดยการทดสอบประสิทธิภาพการจับกันของอนุมูลอิสระ DPPH อิสระ (ดัดแปลงจากวิธีของ Turkmen et al., 2005) ตามวิธีในภาคผนวก ก-11

6) ค่าสี ด้วยเครื่องวัดสี (Colorimeter) และรายงานผลเป็นค่า L^* a^* b^* Hue angle Chroma และ ΔE ตามวิธีในภาคผนวก ข-1

7) การประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงปริมาณด้วยวิธี Quantitative Descriptive Analysis (QDA) โดยผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 8 คน เสนอตัวอย่างของผงโยอาหารจากเปลือกเสาวรศที่เลือกได้จากตอนที่ 3.2.1 เปรียบเทียบกับเปลือกเสาวรศผง (Control) ประเมินลักษณะต่าง ๆ ที่พบแล้วให้ค่าจำกัดความลักษณะทางประสาทสัมผัสที่มีความคิดเห็นร่วมกัน จากนั้นประเมินความเข้มข้นสเกลเส้นตรงแนวนอนยาว 15 เซนติเมตร (ดัดแปลงจากวิธีของ ไพโรจน์ วิริยจาร์, 2545) ตามวิธีในภาคผนวก ก-1

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของคุณภาพที่วัดได้โดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยใช้โปรแกรม SPSS for Windows Version 23.0

เกณฑ์ในการเลือก

พิจารณาเลือกการเตรียมขั้นต้น โดยการใช้ความร้อนที่ทำให้กิจกรรมของเอนไซม์เปอร็อกซิเดสหมดลงโดยสมบูรณ์ และทำให้ได้ผงใยอาหารที่มีปริมาณใยอาหารทั้งหมดมากที่สุด มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและมีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระสูง รวมถึงพิจารณาเปรียบเทียบกับคุณภาพของผงใยอาหารที่ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้น โดยการใช้ความร้อน

3.2.2 การศึกษาผลของการเตรียมขั้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อคุณภาพของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส

ดำเนินการเตรียมวัตถุดิบ และเตรียมขั้นต้นตามวิธีที่เลือกได้จากข้อ 3.2.1 ซึ่งเมื่อดำเนินการเสร็จในขั้นตอนการปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกน้ำออกแล้ว นำเปลือกเสาวรสมาเตรียมขั้นต้นต่อโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 3% แปรปัจจัยที่ศึกษา 2 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยที่ 1 เวลาการแช่ 2 ระดับ ดังนี้ 10 และ 30 นาที ปัจจัยที่ 2 การใช้สภาวะสุญญากาศ 2 ระดับ ดังนี้ ใช้ และไม่ใช้ จัดสิ่งทดลองแบบ Factorial 2x2 ได้เป็น 4 สิ่งทดลอง รายละเอียดสิ่งทดลองแสดงดังตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 สิ่งทดลองเพื่อการศึกษาผลของการเตรียมขั้นต้นเปลือกเสาวรสโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์

สิ่งทดลอง	เวลาการแช่(นาที)	การใช้สภาวะสุญญากาศ
1	10	ใช้
2		ไม่ใช้
3	30	ใช้
4		ไม่ใช้

การเตรียมขั้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์

ดำเนินการเตรียมวัตถุดิบ และเตรียมขั้นต้นตามวิธีที่เลือกได้จากข้อ 3.2.1 ซึ่งเมื่อดำเนินการเสร็จในขั้นตอนการปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกน้ำออกแล้ว นำเปลือกเสาวรสมเตรียมขั้นต้นต่อโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 3% ตามเวลาการแช่และตามสภาวะที่กำหนด โดยกำหนดอัตราส่วนเปลือกเสาวรสมต่อสารละลายโซเดียมคลอไรด์ เท่ากับ 1: 4 (น้ำหนักต่อปริมาตร) (ดัดแปลงจาก ปรอยฝน เลิศวนวัฒนา, นภาพร เชี่ยวชาญ และภาวดี เมธะคานนท์, 2551)

สำหรับการแช่ที่สภาวะสุญญากาศ ดำเนินการดังนี้ บรรจุเปลือกเสาวรสมในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ในขวดรูปชมพู่ขนาด 1000 มิลลิลิตร ในการแช่แต่ละครั้งกำหนดใช้เปลือกเสาวรสมประมาณ 100 กรัม ปิดจุกยางให้แน่นให้เป็นระบบปิด และต่อสายยางเข้ากับปั๊มสุญญากาศ กำหนดใช้ความดันที่ 50 มิลลิบาร์ (0.73 psi) (ดัดแปลงจากวิธีของ สุภาพรณ คงสมเพ็ชร และ วิชฌณี ยืนยงพุทธกาล , 2557) เมื่อครบกำหนดเวลาการแช่ วางบนตะแกรงให้สะเด็ดน้ำ และนำมาปั่นเหวี่ยงแยกน้ำออกโดยใช้เครื่องสลัดน้ำ โดยปั่นเหวี่ยงที่ 400 รอบต่อนาที นาน 5 นาที ก่อนนำไปทำแห้งต่อไป (ดัดแปลงจาก Hernandez-Santos et al., 2015)

การทำแห้งและบดเป็นผง

นำเปลือกเสาวรสมที่ผ่านเตรียมขั้นต้น มาเกลี่ยลงบนถาดสำหรับการอบ แล้วอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 60 ± 2 องศาเซลเซียส จนมีปริมาณความชื้นประมาณ 7 ± 1 กรัม/ 100 กรัม นำเปลือกเสาวรสมแห้งที่ได้มาบดให้เป็นผง โดยใช้เครื่องบดอาหารแห้ง ควบคุมสภาวะการบดดังนี้ บดใยอาหารจากเปลือกเสาวรสมแห้งครั้งละ 50 กรัม โดยใช้ความเร็วสูงและบดเป็นเวลา 90 วินาที โดยหยุดพักทุก 30 วินาที เพื่อเกลี่ยตัวอย่าง นำมาร้อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช (ขนาดอนุภาค 0.149 มิลลิเมตร) บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ และปิดผนึกแบบสุญญากาศ เก็บรักษาโดยแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 ± 2 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำไปวิเคราะห์ (Hernandez-Santos et al., 2015; Tanongkankit, 2011; Fuentes-Alventosa et al., 2009)

การวิเคราะห์คุณภาพของผงใยอาหาร

- 1) ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด โดยวิธี Lane and Eynon volumetric method (AOAC, 2000 Method 923.09) ตามวิธีในภาคผนวก ก-7
- 2) ปริมาณใยอาหารทั้งหมด (AOAC, 1995 Method 991.43 & AACC Method 32-07.01) ตามวิธีในภาคผนวก ก-8
- 3) ปริมาณแอนโทไซยานิน โดยวิธี pH differential (ดัดแปลงจากวิธีของ อรุษา เขาวนลิขิต และอรัญญา มิ่งเมือง, 2550) ตามวิธีในภาคผนวก ก-9

- 4) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (ดัดแปลงจากวิธีของ Yu et al., 2005) ตามวิธีในภาคผนวก ก-10
- 5) สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ โดยการทดสอบประสิทธิภาพการจับกันของอนุมูลอิสระ DPPH อีสาระ (ดัดแปลงจากวิธีของ Turkmen et al., 2005) ตามวิธีในภาคผนวก ก-11
- 6) ค่าสี ด้วยเครื่องวัดสี (Colorimeter) และรายงานผลเป็นค่า L^* a^* b^* Hue angle Chroma และ ΔE ตามวิธีในภาคผนวก ข-1
- 7) การประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงปริมาณด้วยวิธี Quantitative Descriptive Analysis (QDA) โดยผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 8 คน โดยเสนอตัวอย่างทั้งในลักษณะผงแห้ง ลักษณะสารละลาย (ความเข้มข้น 5%) ที่เตรียมที่อุณหภูมิห้อง (28 ± 2 องศาเซลเซียส) ประเมินลักษณะต่าง ๆ ที่พบแล้วให้คำจำกัดความลักษณะทางประสาทสัมผัสที่มีความคิดเห็นร่วมกัน จากนั้นประเมินความเข้มข้นสเกลเส้นตรงแนวนอนยาว 15 เซนติเมตร (ดัดแปลงจากวิธีของ ไพโรจน์ วิริยจารี, 2545) ตามวิธีในภาคผนวก ก-1

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของคุณภาพที่วัดได้โดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยใช้โปรแกรม SPSS for Windows Version 23.0

เกณฑ์ในการเลือก

พิจารณาเลือกการเตรียมขึ้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือ โซเดียมคลอไรด์ที่สามารถกำจัดความฝาดขม ทำให้ได้ผงใยอาหารที่มีปริมาณใยอาหารทั้งหมดมากที่สุด มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระสูง และสามารถกำจัดกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์ได้ รวมถึงพิจารณาเปรียบเทียบกับคุณภาพของผงใยอาหารที่ไม่ผ่านการเตรียมขึ้นต้น โดยการแช่ในสารละลายเกลือ โซเดียมคลอไรด์

3.3 การศึกษาหาสภาวะในการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่เหมาะสมของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส

การทำแห้งเป็นขั้นตอนของการกำจัดน้ำออก ทั้งยังช่วยยืดอายุการเก็บ และสะดวกกับการนำไปใช้ แต่อย่างไรก็ตามการทำแห้งด้วยสภาวะที่แตกต่างกัน มีผลต่อคุณภาพของใยอาหารผง และการคงอยู่ของสารพฤกษเคมีที่สำคัญด้วย (Larrauri, 1999; Garau et al., 2007; Tanongkankit, 2011) ในขั้นตอนนี้จึงเป็นการศึกษาผลของปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนเพื่อหาสภาวะการทำแห้งที่เหมาะสมของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส

ในขั้นตอนนี้มีปัจจัยที่ศึกษา 2 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยที่ 1 อุณหภูมิการทำแห้ง 50-70 องศาเซลเซียส และปัจจัยที่ 2 เวลาการทำแห้ง 300-420 นาที จัดสิ่งทดลองแบบ Central Composite Design (CCD) แบบหุ้नกำลังสองมาตรฐาน ศึกษาปัจจัยละ 5 ระดับ (ค่ารหัส -1.414, -1, 0, 1, 1.414) โดยมีการทำซ้ำที่จุดกึ่งกลาง (ค่ารหัส 0) 3 ซ้ำ ทำให้สามารถจัดสิ่งทดลองได้ทั้งหมด 11 สิ่งทดลอง แสดงค่ารหัสและค่าจริงดังตารางที่ 3-3

การทำแห้งและบดเป็นผง

เตรียมชิ้นต้นเปลือกเสาวรสตามวิธีที่เลือกได้จากข้อ 3.2 นำมาเกลี่ยลงบนถาดสำหรับการอบ แล้วอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนตามสภาวะที่กำหนด นำเปลือกเสาวรสแห้งที่ได้มาบดให้เป็นผง โดยใช้เครื่องบดอาหารแห้ง ควบคุมสภาวะการบดดังนี้ บดใยอาหารจากเปลือกเสาวรสแห้งครั้งละ 50 กรัม โดยใช้ความเร็วสูงและบดเป็นเวลา 90 วินาที โดยหยุดพักทุก 30 วินาที เพื่อเกลี่ยตัวอย่าง นำมาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช (ขนาดอนุภาค 0.149 มิลลิเมตร) บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ และปิดผนึกแบบสุญญากาศ เก็บรักษาโดยแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำไปวิเคราะห์ (Hernandez-Santos et al., 2015; Tanongkankit, 2011; Fuentes-Alventosa et al., 2009)

การวิเคราะห์คุณภาพของผงใยอาหาร

- 1) ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000) ตามวิธีในภาคผนวก ก-1
- 2) ปริมาณแอนโทไซยานิน โดยวิธี pH differential (ดัดแปลงจากวิธีของ อรุษา เชาวณลิขิต และอรัญญา มิ่งเมือง, 2550) ตามวิธีในภาคผนวก ก-9
- 3) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (ดัดแปลงจากวิธีของ Yu et al., 2005) ตามวิธีในภาคผนวก ก-10
- 4) สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ โดยการทดสอบประสิทธิภาพการจับกันของอนุมูลอิสระ DPPH อิสระ (ดัดแปลงจากวิธีของ Turkmen et al., 2005) ตามวิธีในภาคผนวก ก-11

ตารางที่ 3-3 สิ่งทดลองเพื่อการศึกษาหาสภาวะในการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่เหมาะสมจากการจัดสิ่งทดลองแบบ CCD แบบหุ่นกำลังสองมาตรฐาน

สิ่งทดลอง	ค่ารหัส		ค่าจริง	
	อุณหภูมิการทำแห้ง	เวลาการทำแห้ง	อุณหภูมิการทำแห้ง (องศาเซลเซียส)	เวลาการทำแห้ง (นาที)
1	-1	-1	53	320
2	-1	+1	53	400
3	+1	-1	67	320
4	+1	+1	67	400
5	-1.414	0	50	360
6	+1.414	0	70	360
7	0	-1.414	60	300
8	0	+1.414	60	420
9	0	0	60	360
10	0	0	60	360
11	0	0	60	360

การวิเคราะห์ทางสถิติ

1) การวิเคราะห์สมการถดถอยแบบพหุ (Multiple regressions) ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามทีวิเคราะห์ (Y) และตัวแปรที่ศึกษา (X) โดยมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$Y_{1-4} = f(X_1, X_2)$$

เมื่อ	Y_{1-4}	คือ ตัวแปรตามทีวิเคราะห์ ได้แก่
	Y_1	คือ ปริมาณความชื้น
	Y_2	คือ ปริมาณแอนโทไซยานิน
	Y_3	คือ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด
	Y_4	คือ สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ
และ	X_{1-2}	คือ ตัวแปรต้นทีศึกษา ได้แก่
	X_1	คือ อุณหภูมิการทำแห้ง
	X_2	คือ เวลาการทำแห้ง

วิเคราะห์สมการถดถอยแบบพหุ โดยใช้โปรแกรม SPSS for Windows Version 23.0 พิจารณาความน่าเชื่อถือของสมการจาก R^2 (Coefficient of Determination) ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ถ้ามีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่า สมการมีความเหมาะสม ค่า Model Significance ซึ่งบอกถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Y และค่า X ถ้ามีค่าต่ำกว่า 0.05 แสดงถึงค่า Y และ X มีความสัมพันธ์กันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (Hu, 1999)

2) การทวนสอบความแม่นยำของสมการที่ทำนายได้ โดยดำเนินการทดลองซ้ำ เพื่อให้ได้ค่าตอบสนองที่ได้จากการทดลอง (Y_{ex}) และแทนค่าตัวแปรที่ศึกษา ($X_{1,2}$) ในสมการที่วิเคราะห์ได้ และมีความน่าเชื่อถือ เพื่อให้ได้ค่าตอบสนองที่ได้จากการทำนาย (Y_{pred}) คำนวณค่า Root Mean Square (RMS) ซึ่งบ่งบอกถึงความคลาดเคลื่อนของการทำนายจากการใช้สมการ ถ้ามีค่าต่ำกว่า 20% แสดงว่า ค่าที่ได้จากการทำนายมีความคลาดเคลื่อนจากค่าจริงน้อย (Julian, 2004) คำนวณค่า RMS ได้จากสูตร

$$RMS = 100 \sqrt{\frac{\sum \frac{[(Y_{ex} - Y_{pred})]^2}{Y_{pred}}}{N}}$$

เมื่อ Y_{ex} คือ ค่าตอบสนองที่ได้จากการทดลอง
 Y_{pred} คือ ค่าตอบสนองที่ได้จากการทำนาย
 N คือ จำนวนข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

3) นำสมการที่น่าเชื่อถือและผ่านการทวนสอบมาสร้างกราฟพื้นผิวการตอบสนอง (Response Surface Plot) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Statistica Version 7.0 (Trial version) เพื่อพิจารณาแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม (Y) และตัวแปรที่ศึกษา (X) เลือกสถานะที่เหมาะสมในการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน โดยการใช้เทคนิคการซ้อนทับกราฟ (Super imposed technique)

4) วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของคุณภาพที่วัดได้ โดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยใช้โปรแกรม SPSS for Windows Version 23.0

เกณฑ์ในการเลือก

เนื่องจากขั้นตอนนี้เป็นการปรับปรุงคุณภาพของผงใยอาหาร ดังนั้นคุณภาพของผงใยอาหารที่ได้ด้านปริมาณความชื้น ปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระต้องไม่ต่ำกว่าคุณภาพของผงใยอาหารที่ได้จากการใช้สภาวะการทำ

แห้งตามวิธีการผลิตเดิม โดยพิจารณาเลือกสภาวะการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่เหมาะสมที่ทำให้มีปริมาณความชื้นต่ำกว่า 7 ± 1 กรัม/ 100 กรัม มีปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่า Control คือ ผงใยอาหารที่ได้จากการทำแห้งอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส 360 นาที (สภาวะการทำแห้งเดิม)

3.4 การวิเคราะห์คุณภาพของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับเปลือกเสาวรสมง

ในขั้นตอนนี้เป็นการเปรียบเทียบคุณภาพทางเคมี กายภาพ และสมบัติเชิงหน้าที่ของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมง ที่ผลิตตามวิธีที่เลือกได้จากข้อ 3.3 กับเปลือกเสาวรสมงที่เตรียมตามวิธีที่ระบุไว้ในข้อ 3.1

การวิเคราะห์คุณภาพ

- 1) ปริมาณผลได้ (Yield) จากสูตร
$$\text{Yield (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักผลผลิตได้} \times 100}{\text{น้ำหนักเปลือกเสาวรสมงที่ใช้}}$$
- 2) ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และคาร์โบไฮเดรต (AOAC, 2000) ตามวิธีในภาคผนวก ก-1 ถึง ก-6 ตามลำดับ
- 3) ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดโดยวิธี Lane and Eynon volumetric method (AOAC, 2000 Method 923.09) ตามวิธีในภาคผนวก ก-7
- 4) ปริมาณใยอาหารทั้งหมด (AOAC, 1995 Method 991.43 & AACC Method 32-07.01) ตามวิธีในภาคผนวก ก-8
- 5) ปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำ (AOAC, 1995 Method 991.43 & AACC Method 32-07.01) ตามวิธีในภาคผนวก ก-8
- 6) ปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (AOAC Method 991.43 & AACC Method 32-07.01) ตามวิธีในภาคผนวก ก-8
- 7) ปริมาณแอนโทไซยานินโดยวิธี pH differential (ดัดแปลงจากวิธีของ อรุษา เชาวณลิขิต และอรัญญา มิ่งเมือง, 2550) ตามวิธีในภาคผนวก ก-9
- 8) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (ดัดแปลงจากวิธีของ Yu et al., 2005) ตามวิธีในภาคผนวก ก-10
- 9) สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ โดยการทดสอบประสิทธิภาพการจับกันของอนุมูลอิสระ DPPH อิสระ (ดัดแปลงจากวิธีของ Turkmen et al., 2005) ตามวิธีในภาคผนวก ก-11

- 10) ค่าสี ด้วยเครื่องวัดสี (Colorimeter) และรายงานผลเป็นค่า L^* a^* b^* Hue angle Chroma และ ΔE เมื่อเปรียบเทียบกับเปลือกเสาวรสมง ตามวิธีในภาคผนวก ข-1
- 11) สมบัติเชิงหน้าที่ (Functional properties)
- ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity, WHC) ตามวิธีในภาคผนวก ข-2
 - ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (Oil holding capacity, OHC) ตามวิธีในภาคผนวก ข-3
 - ความสามารถในการพองตัว (Swelling capacity, SWC) ตามวิธีในภาคผนวก ข-4
 - ความสามารถในการชะลอการดูดซึมน้ำตาล (Glucose retardation index) ตามวิธีในภาคผนวก ข-5
- 12) ค่าวอเตอร์แอกติวิตี (Water activity) ด้วยเครื่องวัดค่าวอเตอร์แอกติวิตี ตามวิธีในภาคผนวก ก-13
- 13) โครงสร้างทางจุลภาค (Microstructure) โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope) ตามวิธีในภาคผนวก ข-6
- 14) ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (BAM, 2003) ตามวิธีในภาคผนวก ง-1
- 15) ปริมาณฮีสต์ และรา (BAM, 2003) ตามวิธีในภาคผนวก ง-2

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทำการทดลอง 5 ซ้ำ วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี T-test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยใช้โปรแกรม SPSS for Windows Version 23.0

3.5 การศึกษาการใช้ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมเป็นส่วนผสมของอาหารจำลองสำหรับผู้สูงอายุ

ในขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมที่ได้จาก ข้อ 3.3 มาใช้ประโยชน์เป็นส่วนผสมของอาหารเพื่อสุขภาพสำหรับผู้สูงอายุโดยการเสริมผงใยอาหารลงไปในอาหารจำลองประเภทของเหลว (Liquid model food) ได้แก่ น้ำเสาวรสมพร้อมคิม และอาหารจำลองประเภทเจล (Gel model food) ได้แก่ เต้าหู้เย็นซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผู้สูงอายุสามารถรับประทานได้ เพื่อตอบสนองความต้องการด้านการเคี้ยว และการกลืน (สำนักโภชนาการ, 2556) แต่เนื่องจากปริมาณผงใยอาหารที่เติมในผลิตภัณฑ์อาจมีผลต่อคุณภาพสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ จึงควรมีการศึกษาผลของปริมาณการเติมผงใยอาหาร และปัจจัยการผลิตที่เกี่ยวข้องต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เพื่อเป็นข้อมูลในการนำไปพัฒนาสูตรอาหารสำหรับผู้สูงอายุต่อไป

3.5.1 การศึกษาผลของปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสและอนุภูมิในการเตรียมต่อคุณภาพของน้ำเสาวรสปพร้อมดื่ม

การเติมผงใยอาหารที่ผ่านการผลิตด้วยวิธีที่เหมาะสม ลงในผลิตภัณฑ์อาหารประเภทของเหลว เช่น น้ำผลไม้ สามารถปรับปรุงเนื้อสัมผัสและสมบัติทางกายภาพของอาหารประเภทของเหลวได้ โดยใยอาหารสามารถเพิ่มความคงตัวและความหนืดของน้ำผลไม้ โดยทั่วไปแล้วพบว่ามักมีการเติมปริมาณผงใยอาหารในน้ำผลไม้ในช่วง 1-5% (ปรอยฝน เลิศวนวัฒนา และคณะ, 2551; Sunprasert, 2010) ทั้งนี้คุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้ายของน้ำผลไม้ยังขึ้นกับขั้นตอนการผสม การผลิต โดยเฉพาะอย่างยิ่งกระบวนการให้ความร้อน ซึ่งมีผลกระทบต่อสมบัติเกี่ยวกับน้ำ (Hydration) ของใยอาหารและสมบัติการไหล (Grigelmo-Miguel, Gorinstein, & Martin-Belloso, 1999) การใช้อนุภูมิการเตรียมที่สูงเกินไป นอกจากมีผลต่อสมบัติ Hydration ของใยอาหารแล้วยังทำให้มีการสูญเสียสารสำคัญที่สามารถละลายไปกับความร้อนได้ เพื่อรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์จึงควรเตรียม โดยใช้อนุภูมิต่ำกว่า 65°C เพื่อหลีกเลี่ยงการเปลี่ยนแปลงสมบัติ Hydration และสารพฤษเคมีที่สำคัญในผงใยอาหาร (Martínez et al., 2012) ดังนั้นการศึกษาปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสปพร้อมดื่มและอนุภูมิในการเตรียมน้ำเสาวรสปพร้อมดื่มจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องพิจารณา

ในขั้นตอนนี้แปรปัจจัยที่ศึกษา 2 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยที่ 1 ปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสปที่เติมในน้ำเสาวรสปพร้อมดื่ม 5 ระดับ ได้แก่ 1, 2, 3, 4 และ 5% และปัจจัยที่ 2 อนุภูมิในการเตรียม ได้แก่ อนุภูมิห้อง (28 ± 2 องศาเซลเซียส) และ 60 ± 1 องศาเซลเซียส จัดสิ่งทดลองแบบ Factorial 5×2 ได้เป็น 10 สิ่งทดลอง รายละเอียดสิ่งทดลองแสดงดังตารางที่ 3-4

ส่วนผสมสูตรพื้นฐานของน้ำเสาวรสปพร้อมดื่มประกอบด้วย น้ำเสาวรสปเข้มข้น 25% และผงใยอาหารตามปริมาณที่กำหนด แล้วปรับส่วนผสมให้เป็น 100% ด้วยน้ำ สำหรับวิธีการผลิตในกรณีใช้อนุภูมิในการละลายที่อนุภูมิห้อง ดำเนินการดังนี้ ผสมผงใยอาหารตามปริมาณที่กำหนดในน้ำ กวนผสมให้เข้ากันเป็นเวลา 5 นาที แล้วจึงเติมน้ำเสาวรสปเข้มข้นกวนผสมให้เข้ากันอีกครั้งเป็นเวลา 5 นาที โดยในการกวนผสม กำหนดใช้เครื่องกวนสารละลายด้วยแท่งแม่เหล็ก กำหนดให้กวนสารละลายครั้งละ 250 มิลลิลิตร ที่ความเร็วรอบ 150 รอบ (Sunprasert, 2010) ส่วนกรณีใช้อนุภูมิในการเตรียม 60 ± 1 องศาเซลเซียส ดำเนินการเหมือนกรณีเตรียมที่อนุภูมิห้อง แต่ในขั้นตอนการผสมผงใยอาหารในน้ำ กำหนดใช้น้ำที่มีอนุภูมิ 60 ± 1 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 3-4 สิ่งทดลองเพื่อการศึกษาผลของปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ จากเปลือกเสาวรสและอนุภูมิการเตรียมต่อคุณภาพของน้ำเสาวรสร่วมดื่ม

สิ่งทดลอง	ปริมาณผงใยอาหาร(%)	อนุภูมิการเตรียม(องศาเซลเซียส)
1	1	อนุภูมิห้อง
2	2	(28 ± 2)
3	3	
4	4	
5	5	
6	1	60 ± 1
7	2	
8	3	
9	4	
10	5	

การวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสาวรสร่วมดื่ม

- 1) ค่าสี ด้วยเครื่องวัดสี (Colorimeter) และรายงานผลเป็นค่า L* a* b* Hue angle Chroma และ ΔE ตามวิธีในภาคผนวก ข-1
- 2) ค่าความหนืด ด้วยเครื่องวัดความหนืด (Viscosity meter) ตามวิธีในภาคผนวก ข-8
- 3) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ด้วย Hand refractometer ตามวิธีในภาคผนวก ก-14
- 4) การประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี Quantitative Descriptive Analysis (QDA) โดยผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 8 คน เสนอตัวอย่างน้ำเสาวรสร่วมดื่มที่เตรียมได้ ประเมินลักษณะต่าง ๆ ที่พบแล้วให้คำจำกัดความลักษณะทางประสาทสัมผัสที่มีความคิดเห็นร่วมกัน จากนั้นประเมินความเข้มข้นสเกลเส้นตรงแนวนอนยาว 15 เซนติเมตร (ดัดแปลงจากวิธีของไพโรจน์ วิริยจารี, 2545) ตามวิธีในภาคผนวก ค-1
- 5) การประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี Scoring Test โดยใช้ผู้ทดสอบกึ่งฝึกฝน จำนวน 30 คน โดยเสนอตัวอย่างน้ำเสาวรสร่วมดื่มที่เตรียมได้ จากนั้นประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัส โดย 1 คะแนน คือ ความเข้มข้นคุณลักษณะน้อยที่สุด และ 5 คะแนน คือ ความเข้มข้น

คุณลักษณะมากที่สุด เสนอตัวอย่างครั้งละ 5 ตัวอย่าง โดยใช้คำศัพท์ที่ได้จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี QDA ตามวิธีในภาคผนวก ก-2

6) การประเมินความชอบทางประสาทสัมผัส ด้วยวิธี 9-point hedonic scale โดย 1 คะแนน คือ ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 คะแนน คือ ชอบมากที่สุด เสนอตัวอย่างที่ผ่านการคัดกรองจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี Scoring Test จำนวน 5 ตัวอย่าง ใช้ผู้ทดสอบเป็นผู้สูงอายุ (อายุตั้งแต่ 60 ปี ขึ้นไป) จำนวน 30 คน ประเมินความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ความง่ายในการกลืน และความชอบโดยรวม ตามวิธีในภาคผนวก ก-3

การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) โดยวางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD ยกเว้นการทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัส วางแผนการทดลองแบบ Factorial in RCBD และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยใช้โปรแกรม SPSS for Windows Version 23.0

เกณฑ์ในการพิจารณา

พิจารณาเลือกสิ่งทดลองที่เหมาะสม ที่ทำให้ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด

3.5.2 การศึกษาผลของปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสและการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ต่อคุณภาพของเต้าหู้เย็น

การเติมผงใยอาหารที่ผ่านการผลิตด้วยวิธีที่เหมาะสม ลงในผลิตภัณฑ์อาหารประเภทเจลพบว่า สามารถเพิ่มปริมาณใยอาหารให้กับอาหารเจล นอกจากนี้ยังมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์สุดท้าย (ธีรนุช ฉายศิริ โชติ และ สุวรรณา พิษขยงคังศักดิ์, 2558) ซึ่งลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารเจลมีความสำคัญกับความยากง่ายในการการเคี้ยวและการกลืนของผู้สูงอายุที่จะต้องคำนึงถึง (Hayakawa et al., 2014) โดยอาหารเจลต้นแบบที่ใช้ในขั้นตอนนี้ คือ เต้าหู้นมสด ส่วนใหญ่การผลิตเต้าหู้นมสดมักมีการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ประเภทที่เป็นสารที่ทำให้เกิดเจล คือ ผงวุ้น (พรศรารุา เขตต์ทองคำ และธีรนุช ฉายศิริ โชติ, 2554) แต่อย่างไรก็ตามเมื่อใช้ผงวุ้นร่วมกับปริมาณผงใยอาหารในปริมาณที่มากขึ้นมีผลทำให้เนื้อสัมผัสแข็ง เปราะและแตกง่าย ทำให้เติมผงใยอาหารในผลิตภัณฑ์ได้น้อย ดังนั้นการศึกษาสารไฮโดรคอลลอยด์ชนิดอื่นอาจช่วยในการปรับปรุงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ให้ดีขึ้นได้ (Norziah, Foo, & Karim, 2006) โดยสารไฮโดรคอลลอยด์ที่น่าสนใจอีกชนิดหนึ่ง คือ แคปป์-การาจีนแนน (K-carragenan) ซึ่งเป็นสารที่ทำให้เกิดเจลที่ให้เจลลักษณะที่นุ่มและยืดหยุ่น (Thomas, 1997; สุทธิวัฒน์ แซ่ฮ้อ, ฉัฐพัฒน์ วัฒนกฤษฎา, ผาณิต ไทยยันโต และเบญจวรรณ ธรรมชนารักษ์, 2554) มีรายงานว่าอาหารเจลที่เตรียมจากแคปป์-การาจีนแนนทำให้เกิดลักษณะเจลที่เอื้อต่อการเคี้ยวและกลืน (สุทธิวัฒน์ แซ่ฮ้อ และคณะ, 2554) โดยจากการ

ทดลองเบื้องต้นในการผลิตเต้าหู้เย็นเป็นสูตรพื้นฐาน พบว่า ปริมาณที่เหมาะสมในการใช้แคปไซ-
การาจีนแนน คือ 1.0% ในขณะที่ปริมาณที่เหมาะสมในการใช้วุ้น คือ 0.5% ดังนั้นการศึกษาปริมาณ
การเติมผงโยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมและการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ต่อ
คุณภาพของเต้าหู้เย็นจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องพิจารณา

ในขั้นตอนนี้แปรปัจจัยที่ศึกษา 2 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยที่ 1 ปริมาณการเติมผงโยอาหารที่มี
สารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมที่เติมในสูตรเต้าหู้เย็น 5 ระดับ ได้แก่ 2, 4, 6, 8 และ 10%
และปัจจัยที่ 2 การใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ 2 ชนิด ดังนี้ แคปไซ-การาจีนแนน (K-carragenan) 1.0%
และ วุ้น (Agar) 0.5% จัดสิ่งทดลองแบบ Factorial 5×2 ได้เป็น 10 สิ่งทดลอง รายละเอียดสิ่งทดลอง
แสดงดังตารางที่ 3-5 โดยสูตรพื้นฐานและวิธีการผลิตผลิตภัณฑ์เต้าหู้เย็น คัดแปลงจากสูตรเต้าหู้นม
สด (พรคارا เขตต์ทองคำ และธีรนุช ฉายศิริ โชติ, 2554) และสูตรอาหารเจล (สุทธิวัฒน์ แซ่ฮ้อ และ
คณะ, 2554) ส่วนผสมสูตรของเต้าหู้เย็นที่ใช้แสดงในตารางที่ 3-6 และ 3-7

สำหรับวิธีการผลิตดำเนินการดังนี้ นำผงโยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือก
เสาวรสมละลายน้ำและตั้งทิ้งไว้ 20 นาที จากนั้นนำส่วนผสมการาจีนแนนหรือวุ้น น้ำตาลทราย
น้ำตาลไอโซมอลทูลอส ผสมกับน้ำส่วนที่เหลือ และเติมผงโยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจาก
เปลือกเสาวรสมที่ละลายไว้ นำมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที และ
เติมนมถั่วเหลืองคนให้เข้ากัน เป็นเวลา 5 นาที และบรรจุในถ้วยพลาสติกทรงกระบอกขนาด เส้น
ผ่านศูนย์กลาง 6 เซนติเมตร และสูง 2.5 เซนติเมตร ตั้งทิ้งไว้ให้เกิดเจลโดยแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 ± 2
องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ก่อนนำมาวิเคราะห์คุณภาพ

ตารางที่ 3-5 สิ่งทดลองเพื่อการศึกษาผลของปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ จากเปลือกเสาวรสและการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ต่อคุณภาพของเต้าหู้เย็น

สิ่งทดลอง	ปริมาณผงใยอาหาร(%)	การใช้สารไฮโดรคอลลอยด์
1	2	แคลป์ป้า-คาราจีแนน 1.0%
2	4	
3	6	
4	8	
5	10	
6	2	วุ้น 0.5%
7	4	
8	6	
9	8	
10	10	

ตารางที่ 3-6 เต้าหู้เย็นสูตรแคลป์ป้า-คาราจีแนน

ส่วนผสม	% โดยน้ำหนัก				
ผงใยอาหาร	2.00	4.00	6.00	8.00	10.00
คาราจีแนน (K-carragenan)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
น้ำตาลทราย	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
น้ำตาลไอโซมอลทูลอส	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
นํ้านมถั่วเหลือง	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
นํ้า	66.00	64.00	62.00	60.00	58.00

ตารางที่ 3-7 เต้าหู้เย็นสูตรวุ้น

ส่วนผสม	% โดยน้ำหนัก				
ผงใยอาหาร	2.00	4.00	6.00	8.00	10.00
วุ้น (Agar)	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
น้ำตาลทราย	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
น้ำตาลไอโซมอลทูลอส	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
นํ้านมถั่วเหลือง	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
นํ้า	66.50	64.50	62.50	60.50	58.50

การวิเคราะห์คุณภาพเต้าหู้เย็น

- 1) ค่าสี ด้วยเครื่องวัดสี (Colorimeter) และรายงานผลเป็นค่า $L^* a^* b^*$ Hue angle Chroma และ ΔE ตามวิธีในภาคผนวก ข-1
- 2) ลักษณะเนื้อสัมผัส ด้วยเครื่องทดสอบลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture analyzer) ทดสอบด้วยวิธี Texture profile analysis (TPA) และรายงานเป็นค่า Hardness Adhesiveness Springiness Cohesiveness Gumminess Chewiness และ Resilience (ดัดแปลงจากวิธีของ Hayakawa et al., 2014)
- 3) ประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงปริมาณด้วยวิธี Quantitative Descriptive Analysis (QDA) โดยผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 8 คน ประเมินลักษณะต่าง ๆ ที่พบ โดยเฉพาะลักษณะทางเนื้อสัมผัส แล้วให้คำจำกัดความลักษณะทางประสาทสัมผัสที่มีความคิดเห็นร่วมกัน จากนั้นประเมินความเข้มข้นสเกลเส้นตรงแนวนอนยาว 15 เซนติเมตร (ดัดแปลงจากวิธีของไพโรจน์ วิริยจารี, 2545) ตามวิธีในภาคผนวก ค-1
- 4) ประเมินความชอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point hedonic scale โดย 1 คะแนน คือ ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 คะแนน คือ ชอบมากที่สุด เสนอตัวอย่างโดยการแบ่งชิมครั้งละ 5 ตัวอย่าง เพื่อลดความเมื่อยล้าทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบ ใช้ผู้ทดสอบเป็นผู้สูงอายุ (อายุตั้งแต่ 60 ปี ขึ้นไป) จำนวน 30 คน ประเมินความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ความง่ายในการเคี้ยว ความง่ายในการกลืน และความชอบโดยรวม

การวิเคราะห์ทางสถิติ

- 1) วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) โดยวางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD ยกเว้นการทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัส วางแผนการทดลองแบบ Factorial in RCBD และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยใช้โปรแกรม SPSS for Windows Version 23.0
- 2) วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ทางประสาทสัมผัสกับลักษณะเนื้อสัมผัสที่วัดด้วยเครื่องมือ โดยพิจารณาค่า Pearson's correlation coefficients โดยใช้โปรแกรม SPSS version 23
- 3) วิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principle Component Analysis: PCA) เพื่อจับกลุ่มหรือรวมตัวแปรที่ตรวจวิเคราะห์ ซึ่งมีความสัมพันธ์กันไว้ในกลุ่มเดียวกัน โดยใช้โปรแกรม SPSS version 23.0

เกณฑ์ในการพิจารณา

พิจารณาเลือกสิ่งทดลองที่เหมาะสม ที่ทำให้ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด

3.5.3 การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์อาหารจำลองสำหรับผู้สูงอายุต้นแบบที่พัฒนาได้

นำผลิตภัณฑ์น้ำเสาวรสปพร้อมดื่ม และเต้าหู้เย็น สูตรต้นแบบที่คัดเลือกได้จากตอนที่ 3.5.1 และ 3.5.2 ตามลำดับ มาวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี เปรียบเทียบกับน้ำเสาวรสปพร้อมดื่มและเต้าหู้เย็นสูตรพื้นฐานที่ไม่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสป

การวิเคราะห์คุณภาพ

- 1) ปริมาณใยอาหารทั้งหมด (AOAC, 1995 Method 991.43 & AACC Method 32-07.01) ตามวิธีในภาคผนวก ก-8
- 2) ปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำ (AOAC, 1995 Method 991.43 & AACC Method 32-07.01) ตามวิธีในภาคผนวก ก-8
- 3) ปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (AOAC Method 991.43 & AACC Method 32-07.01) ตามวิธีในภาคผนวก ก-8
- 4) ปริมาณแอนโทไซยานิน โดยวิธี pH differential (ดัดแปลงจากวิธีของ อรุษา เซวานลิขิต และอรัญญา มิ่งเมือง, 2550) ตามวิธีในภาคผนวก ก-9
- 5) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (ดัดแปลงจากวิธีของ Yu et al., 2005) ตามวิธีในภาคผนวก ก-10
- 6) สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ โดยการทดสอบประสิทธิภาพการจับกันของอนุมูลอิสระ DPPH อิสระ (ดัดแปลงจากวิธีของ Turkmen et al., 2005) ตามวิธีในภาคผนวก ก-11

บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของเปลือกเสาวรสดและผง

เปลือกเสาวรสดที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นเปลือกเสาวรสดพันธุ์สีม่วงที่ได้จากเสาวรสดอายุประมาณ 60-70 วัน ซึ่งเป็นส่วนเหลือทิ้งจากกระบวนการแปรรูปน้ำเสาวรสด วิเคราะห์คุณภาพเปลือกเสาวรสดและผง เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบและพัฒนากระบวนการผลิตต่อไป ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และคาร์โบไฮเดรต รวมทั้งค่าคุณภาพทางเคมีอื่น ๆ ได้แก่ ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณใยอาหารทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สมบัติการต้านอนุมูลอิสระของเปลือกเสาวรสดและผง แสดงผลการทดลองดังตารางที่ 4-1 และ 4-2 ตามลำดับ สำหรับค่าสีของเปลือกเสาวรสดและผง รายงานเป็นค่า L^* a^* b^* Hue angle Chroma และ ΔE แสดงดังตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-1 คุณภาพทางเคมีของเปลือกเสาวรสสด

ค่าคุณภาพ	ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	น้ำหนักเปียก	น้ำหนักแห้ง
องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ		
ปริมาณความชื้น (กรัม/100 กรัม)	84.52 \pm 0.04	-
ปริมาณโปรตีน (กรัม/100 กรัม)	0.79 \pm 0.06	5.10 \pm 0.38
ปริมาณไขมัน (กรัม/100 กรัม)	0.11 \pm 0.00	0.72 \pm 0.02
ปริมาณกากใย (กรัม/100 กรัม)	4.63 \pm 0.12	29.92 \pm 0.72
ปริมาณเถ้า (กรัม/100 กรัม)	0.99 \pm 0.04	6.38 \pm 0.26
ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (กรัม/100 กรัม)	8.97 \pm 0.13	57.89 \pm 0.72
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (กรัม/100 กรัม)	2.56 \pm 0.08	16.56 \pm 0.52
ปริมาณใยอาหารทั้งหมด (กรัม/100 กรัม)	13.49 \pm 0.38	87.11 \pm 2.48
ปริมาณแอนโทไซยานิน (มิลลิกรัม Cyn-3-Glu/100 กรัม)	3.44 \pm 0.12	22.20 \pm 0.77
ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (มิลลิกรัมกรดแกลลิก/100 กรัม)	15.06 \pm 0.10	97.31 \pm 0.66
สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (%Inhibition)	89.36 \pm 0.03	-

ตารางที่ 4-2 คุณภาพทางเคมีของเปลือกเสาวรสมง

ค่าคุณภาพ	ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	น้ำหนักเปียก	น้ำหนักแห้ง
องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ		
ปริมาณความชื้น (กรัม/100 กรัม)	7.33 \pm 0.05	-
ปริมาณโปรตีน (กรัม/100 กรัม)	5.10 \pm 0.13	5.50 \pm 0.14
ปริมาณไขมัน (กรัม/100 กรัม)	0.52 \pm 0.03	0.56 \pm 0.03
ปริมาณกากใย (กรัม/100 กรัม)	34.76 \pm 0.72	37.51 \pm 0.48
ปริมาณเถ้า (กรัม/100 กรัม)	7.72 \pm 0.06	8.33 \pm 0.07
ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (กรัม/100 กรัม)	44.57 \pm 0.70	48.10 \pm 0.73
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (กรัม/100 กรัม)	6.58 \pm 0.27	7.10 \pm 0.29
ปริมาณใยอาหารทั้งหมด (กรัม/100 กรัม)	65.83 \pm 0.27	71.04 \pm 0.02
ปริมาณแอนโทไซยานิน (มิลลิกรัม Cyn-3-Glu/100 กรัม)	7.16 \pm 0.34	7.72 \pm 0.36
ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (มิลลิกรัมกรดแกลลิก/100 กรัม)	68.11 \pm 0.26	73.50 \pm 0.28
สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (%Inhibition)	88.69 \pm 0.13	-

ตารางที่ 4-3 ค่าสีของเปลือกเสาวรสมงและผง

ค่าสี	ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	เปลือกเสาวรสมง	เปลือกเสาวรสมง
L*	35.51 ^b \pm 0.31	64.57 ^a \pm 0.01
a*	19.95 ^a \pm 0.02	7.28 ^b \pm 0.02
b*	8.69 ^b \pm 0.23	21.25 ^a \pm 0.23
Hue angle	23.53 ^b \pm 1.16	71.08 ^a \pm 0.24
Chroma	21.76 ^a \pm 0.25	22.46 ^a \pm 0.22
$\Delta E^{\#}$	-	34.09 \pm 0.08

^{a,b} คือ ค่าเฉลี่ยในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

[#] คำนวณค่า ΔE เมื่อเปรียบเทียบกับเปลือกเสาวรสมง

4.2 ผลของการเตรียมขั้นต้นต่อคุณภาพของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส

4.2.1 ผลของการเตรียมขั้นต้นโดยใช้ความร้อนต่อคุณภาพของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส

จากการศึกษาผลของวิธีการให้ความร้อนในการเตรียมขั้นต้น ด้วยวิธีการลวกด้วยน้ำ (Water blanching) การลวกด้วยไอน้ำ (Steam blanching) และการลวกด้วยไอน้ำภายใต้ความดัน (Autoclave blanching) และแปรเวลาการให้ความร้อน (3 และ 6 นาที) ทดสอบกิจกรรมของเอนไซม์ที่นิยมใช้เป็นดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพการเตรียมขั้นต้นคือกิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสหลังการลวกเปลือกเสาวรส เมื่อใช้วิธีการให้ความร้อนและเวลาการให้ความร้อนที่ต่างกัน ได้ผลดังตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-4 กิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสในเปลือกเสาวรส เมื่อเตรียมขั้นต้นโดยแปรวิธีการให้ความร้อนและเวลาการให้ความร้อนที่แตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	วิธีการให้ความร้อน	เวลาการให้ความร้อน (นาที)	ผลการตรวจสอบ
1	Water blanching (90±2°C)	3	-
2	Water blanching (90±2°C)	6	-
3	Steam blanching (100±2°C)	3	-
4	Steam blanching (100±2°C)	6	-
5	Autoclave blanching (121°C, 15psi)	3	-
6	Autoclave blanching (121°C, 15psi)	6	-
Control-Unblanched			+

Control-Unblanched คือ เปลือกเสาวรสที่ไม่ผ่านเตรียมขั้นต้น

หมายเหตุ + หมายถึง ยังมีกิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสอยู่

- หมายถึง ไม่มีกิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสอยู่

จากการแปรปัจจัยที่ศึกษา 2 ปัจจัย ได้แก่ วิธีการให้ความร้อน 3 วิธี ได้แก่ การลวกด้วยน้ำ (Water blanching) การลวกด้วยไอน้ำ (Steam blanching) และการลวกด้วยไอน้ำภายใต้ความดัน (Autoclave blanching) และเวลาการให้ความร้อน (3 และ 6 นาที) ได้เป็น 6 สิ่งทดลอง ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) สำหรับค่าสี (L^* a^* b^* Hue angle Chroma และ ΔE) ของเปลือกเสาวรสมหลังการเตรียมขึ้นต้นโดยใช้ความร้อน สรุปได้ดังตารางที่ 4-5 และคุณภาพของผงใยอาหาร ได้แก่ ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณใยอาหารทั้งหมดปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ รวมถึงค่าสี (L^* a^* b^* Hue angle Chroma และ ΔE) สรุปได้ดังตารางที่ 4-6

ผลการวิเคราะห์ค่าสี L^* a^* b^* Hue angle Chroma และ ΔE ของเปลือกเสาวรสมหลังการเตรียมขึ้นต้น โดยใช้ความร้อน แสดงดังตารางที่ 4-7 สำหรับผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณใยอาหารทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสม แสดงดังตารางที่ 4-8 ถึง 4-10

ลักษณะของเปลือกเสาวรสมที่ไม่ผ่านการเตรียมขึ้นต้นและผงใยอาหารที่ผ่านการเตรียมขึ้นต้นด้วยวิธีและเวลาที่แตกต่างกัน แสดงดังภาพที่ 4-1 และผลการวิเคราะห์ค่าสี L^* a^* b^* Hue angle Chroma และ ΔE ของเปลือกเสาวรสม ($p < 0.05$) แสดงดังตารางที่ 4-11

ผลการประเมินค่าความเข้มของคุณลักษณะจากการทดสอบโดยวิธี Quantitative Descriptive Analysis (QDA) ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสมที่ผ่านการเตรียมขึ้นต้นโดยการลวกด้วยน้ำร้อน ($90 \pm 2^\circ\text{C}$) เป็นเวลา 3 นาที (สิ่งทดลองที่ 1) กับเปลือกเสาวรสมที่ไม่ผ่านการเตรียมขึ้นต้น (Control) แสดงดังตารางที่ 4-12

ตารางที่ 4-5 สรุปผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีของเปลือกเสาวรศ เมื่อเตรียมขึ้นต้น โดยแปรวิธีการให้ความร้อน (Method) และเวลาการให้ความร้อน (Time) ที่แตกต่างกัน

ค่าคุณภาพ	Method	Time	Method*Time
ค่า L*	sig	sig	sig
ค่า a*	sig	sig	sig
ค่า b*	ns	sig	sig
Hue angle	sig	sig	sig
Chroma	sig	sig	sig
ΔE	sig	sig	sig

sig หมายถึง ปัจจัยที่ศึกษามีอิทธิพลต่อค่าคุณภาพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ns หมายถึง ปัจจัยที่ศึกษาไม่มีอิทธิพลต่อค่าคุณภาพอย่างนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางที่ 4-6 สรุปผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของคุณภาพผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรศ เมื่อเตรียมขึ้นต้น โดยแปรวิธีการให้ความร้อน (Method) และเวลาการให้ความร้อน (Time) ที่แตกต่างกัน

ค่าคุณภาพ	Method	Time	Method*Time
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด	sig	sig	sig
ปริมาณใยอาหารทั้งหมด	sig	sig	sig
ปริมาณแอนโทไซยานิน	sig	sig	sig
ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด	sig	sig	sig
สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ	ns	ns	ns
ค่า L*	sig	sig	sig
ค่า a*	sig	sig	sig
ค่า b*	sig	sig	sig
Hue angle	sig	sig	sig
Chroma	sig	sig	sig
ΔE	sig	sig	sig

sig หมายถึง ปัจจัยที่ศึกษามีอิทธิพลต่อค่าคุณภาพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ns หมายถึง ปัจจัยที่ศึกษาไม่มีอิทธิพลต่อค่าคุณภาพอย่างนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางที่ 4-7 ค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ค่าเฉดสี (Hue angle) ค่าความเข้มของสี (Chroma) และค่าการเปลี่ยนแปลงของสี (ΔE) ของเปลือกเสาวรศหลังการลวก เมื่อเตรียมชิ้นต้น โดยแปรวิธีการให้ความร้อนและเวลาการให้ความร้อนที่ต่างกัน

สิ่งทดลอง	วิธีการให้ความร้อน	เวลา (นาที)	ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน					
			L*	a*	b*	Hue angle	Chroma	$\Delta E^{\#}$
1	Water blanching (90 \pm 2 $^{\circ}$ C)	3	40.47 ^c \pm 0.14	11.23 ^c \pm 0.30	14.80 ^a \pm 0.32	52.80 ^b \pm 0.42	18.58 ^{ab} \pm 0.42	11.75 ^c \pm 0.16
2	Water blanching (90 \pm 2 $^{\circ}$ C)	6	43.21 ^b \pm 0.32	6.95 ^d \pm 0.40	11.37 ^c \pm 0.10	58.59 ^a \pm 1.62	13.32 ^d \pm 0.16	15.35 ^a \pm 0.51
3	Steam blanching (100 \pm 2 $^{\circ}$ C)	3	37.97 ^d \pm 0.67	14.61 ^a \pm 0.54	13.07 ^b \pm 1.07	41.77 ^d \pm 1.32	19.60 ^a \pm 1.11	7.41 ^c \pm 0.17
4	Steam blanching (100 \pm 2 $^{\circ}$ C)	6	45.16 ^a \pm 0.37	13.02 ^b \pm 0.54	14.78 ^a \pm 0.17	48.64 ^c \pm 0.87	19.70 ^a \pm 0.48	13.35 ^b \pm 0.47
5	Autoclave blanching (121 $^{\circ}$ C, 15psi)	3	38.51 ^d \pm 0.63	11.77 ^c \pm 0.17	13.64 ^{ab} \pm 0.25	49.21 ^c \pm 0.85	18.02 ^{bc} \pm 0.14	10.03 ^d \pm 0.20
6	Autoclave blanching (121 $^{\circ}$ C, 15psi)	6	37.76 ^d \pm 1.00	11.12 ^c \pm 0.01	12.94 ^b \pm 1.16	49.22 ^c \pm 1.67	17.07 ^c \pm 0.88	10.12 ^d \pm 0.65
Control-Unblanched			35.51 \pm 0.31	19.95 \pm 0.02	8.69 \pm 0.23	23.53 \pm 1.16	21.76 \pm 0.25	-

^{a,b,c} คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

[#] กำหนดค่า ΔE เมื่อเปรียบเทียบกับ Control

Control-Unblanched คือ เปลือกเสาวรศที่ไม่ผ่านเตรียมชิ้นต้น

ตารางที่ 4-8 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (TSC) ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส เมื่อเตรียมชิ้นต้น โดยแปรวิธีการให้ความร้อนและเวลาการให้ความร้อนที่แตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	วิธีการให้ความร้อน	เวลาการให้ความร้อน (นาที)	ปริมาณ TSC เฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง)
1	Water blanching (90 \pm 2 $^{\circ}$ C)	3	4.14 ^c \pm 0.12
2	Water blanching (90 \pm 2 $^{\circ}$ C)	6	4.07 ^c \pm 0.19
3	Steam blanching (100 \pm 2 $^{\circ}$ C)	3	5.76 ^a \pm 0.23
4	Steam blanching (100 \pm 2 $^{\circ}$ C)	6	4.91 ^b \pm 0.14
5	Autoclave blanching (121 $^{\circ}$ C, 15psi)	3	4.23 ^c \pm 0.06
6	Autoclave blanching (121 $^{\circ}$ C, 15psi)	6	4.20 ^c \pm 0.10
Control-Unblanched			7.10 \pm 0.29

^{a,b,c} คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

Control-Unblanched คือ เปลือกเสาวรสผงที่ไม่ผ่านเตรียมชิ้นต้น

ตารางที่ 4-9 ปริมาณใยอาหารทั้งหมด (TDF) ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส เมื่อเตรียมชิ้นต้น โดยแปรวิธีการให้ความร้อน และเวลาการให้ความร้อนที่แตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	วิธีการให้ความร้อน	เวลาการให้ความร้อน (นาที)	ปริมาณ TDF เฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง)
1	Water blanching (90 \pm 2 $^{\circ}$ C)	3	90.43 ^a \pm 1.07
2	Water blanching (90 \pm 2 $^{\circ}$ C)	6	92.05 ^a \pm 1.62
3	Steam blanching (100 \pm 2 $^{\circ}$ C)	3	84.58 ^b \pm 1.75
4	Steam blanching (100 \pm 2 $^{\circ}$ C)	6	81.94 ^b \pm 1.91
5	Autoclave blanching (121 $^{\circ}$ C, 15psi)	3	82.55 ^b \pm 1.54
6	Autoclave blanching (121 $^{\circ}$ C, 15psi)	6	77.73 ^c \pm 1.29
Control-Unblanched			71.04 \pm 0.02

^{a,b,c} คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

Control-Unblanched คือ เปลือกเสาวรสผงที่ไม่ผ่านเตรียมชิ้นต้น

ตารางที่ 4-10 ปริมาณแอนโทไซยานิน (AC) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (TPC) และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (% inhibition) ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส เมื่อเตรียมขึ้นต้น โดยแปรวิธีการให้ความร้อน และเวลาการให้ความร้อนที่แตกต่างกัน

สิ่ง ทดลอง	วิธีการให้ความร้อน	เวลาการให้ ความร้อน (นาที)	ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
			ปริมาณ AC (มิลลิกรัม Cyn-3-Glu/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง)	ปริมาณ TPC (มิลลิกรัมกรดแกลลิก/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง)	% inhibition ^{ns}
1	Water blanching (90 \pm 2°C)	3	14.82 ^b \pm 0.73	66.47 ^c \pm 0.02	88.92 \pm 0.48
2	Water blanching (90 \pm 2°C)	6	14.32 ^b \pm 0.14	41.68 ^f \pm 0.07	89.90 \pm 0.13
3	Steam blanching (100 \pm 2°C)	3	21.08 ^a \pm 0.45	106.87 ^a \pm 0.04	89.43 \pm 0.77
4	Steam blanching (100 \pm 2°C)	6	13.57 ^b \pm 0.96	69.64 ^d \pm 0.08	89.37 \pm 0.53
5	Autoclave blanching (121°C, 15psi)	3	11.06 ^c \pm 0.36	71.92 ^c \pm 0.10	89.73 \pm 0.70
6	Autoclave blanching (121°C, 15psi)	6	11.48 ^c \pm 0.89	76.97 ^b \pm 0.14	89.48 \pm 0.89
Control-Unblanched			7.72 \pm 0.36	73.50 \pm 0.28	88.69 \pm 0.13

^{a,b,c} คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

^{ns} คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

Control-Unblanched คือ เปลือกเสาวรสผงที่ไม่ผ่านเตรียมขึ้นต้น



ก) Control-Unblanched



ข) Water blanching ($90\pm 2^{\circ}\text{C}$) 3 นาที



ค) Water blanching ($90\pm 2^{\circ}\text{C}$) 6 นาที



ง) Steam blanching ($100\pm 2^{\circ}\text{C}$) 3 นาที



จ) Steam blanching ($100\pm 2^{\circ}\text{C}$) 6 นาที



ฉ) Autoclave blanching (121°C , 15psi) 3 นาที



ช) Autoclave blanching (121°C , 15psi) 6 นาที

ภาพที่ 4-1 ลักษณะของเปลือกเสาวรสผงที่ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้น (Control-Unblanched) (ก) และลักษณะของผงใยอาหารที่เตรียมขั้นต้นด้วย Water blanching ($90\pm 2^{\circ}\text{C}$) 3 นาที (ข) Water blanching ($90\pm 2^{\circ}\text{C}$) 6 นาที (ค) Steam blanching ($100\pm 2^{\circ}\text{C}$) 3 นาที (ง) Steam blanching ($100\pm 2^{\circ}\text{C}$) 6 นาที (จ) Autoclave blanching (121°C , 15psi) 3 นาที และ (ฉ) Autoclave blanching (121°C , 15psi) 6 นาที (ช)

ตารางที่ 4-11 ค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ค่าเฉดสี (Hue angle) ค่าความเข้มของสี (Chroma) และค่าการเปลี่ยนแปลงของสี (ΔE) ของผงโยอาหารจากเปลือกเสาวรสม เมื่อเตรียมขึ้นต้นโดยแปรวิธีการให้ความร้อน และเวลาการให้ความร้อนที่แตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	วิธีการให้ความร้อน	เวลา (นาที)	ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน					
			L*	a*	b*	Hue angle	Chroma	$\Delta E^{\#}$
1	Water blanching (90 \pm 2°C)	3	67.71 ^c \pm 0.03	8.72 ^a \pm 0.12	12.01 ^c \pm 0.16	54.02 ^d \pm 0.71	14.84 ^c \pm 0.08	9.86 ^a \pm 0.17
2	Water blanching (90 \pm 2°C)	6	68.36 ^a \pm 0.13	8.11 ^d \pm 0.04	13.45 ^d \pm 0.08	58.89 ^c \pm 0.08	15.71 ^d \pm 0.09	8.71 ^b \pm 0.10
3	Steam blanching (100 \pm 2°C)	3	67.91 ^b \pm 0.10	8.35 ^c \pm 0.05	16.85 ^a \pm 0.11	63.62 ^a \pm 0.28	18.81 ^a \pm 0.08	5.63 ^c \pm 0.11
4	Steam blanching (100 \pm 2°C)	6	67.53 ^d \pm 0.02	8.57 ^b \pm 0.03	15.00 ^c \pm 0.06	60.27 ^b \pm 0.18	17.28 ^b \pm 0.04	7.03 ^c \pm 0.06
5	Autoclave blanching (121°C, 15psi)	3	67.01 ^e \pm 0.01	7.80 ^c \pm 0.08	15.30 ^b \pm 0.23	62.99 ^a \pm 0.59	17.17 ^{bc} \pm 0.18	6.46 ^d \pm 0.22
6	Autoclave blanching (121°C, 15psi)	6	66.15 ^f \pm 0.05	7.76 ^c \pm 0.07	15.17 ^{bc} \pm 0.03	62.92 ^a \pm 0.19	17.03 ^c \pm 0.05	6.30 ^d \pm 0.03
Control-Unblanched			64.57 \pm 0.01	7.28 \pm 0.02	21.25 \pm 0.23	71.08 \pm 0.24	22.46 \pm 0.22	-

^{a,b,c} คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

[#] คำนวณค่า ΔE เมื่อเปรียบเทียบกับ Control

Control-Unblanched คือ เปลือกเสาวรสมที่ไม่ผ่านเตรียมขึ้นต้น

ตารางที่ 4-12 ค่าความเข้มของคุณลักษณะจากการทดสอบโดยวิธี QDA ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสีที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยน้ำร้อน ($90\pm 2^{\circ}\text{C}$) เป็นเวลา 3 นาที กับเปลือกเสาวรสีที่ไม่ผ่านเตรียมขั้นต้น (Control)

สิ่งทดลอง	สีม่วงแดง	กลิ่นเสาวรสี	ความฝาดขม
Water blanching ($90\pm 2^{\circ}\text{C}$) 3 min	$4.95^a \pm 0.05$	$6.75^b \pm 0.34$	$5.33^b \pm 0.20$
Control-Unblanched	$1.25^b \pm 0.11$	$8.16^a \pm 0.18$	$8.71^a \pm 0.07$

^{a,b} คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

Control-Unblanched คือ เปลือกเสาวรสีที่ไม่ผ่านเตรียมขั้นต้น

4.2.2 ผลของการเตรียมขั้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อคุณภาพของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสี

จากการเตรียมขั้นต้นเปลือกเสาวรสีตามวิธีที่เลือกได้จากข้อ 4.2.1 คือ นำเปลือกเสาวรสีที่หั่นเป็นชิ้นขนาดประมาณ $0.5 \times 4 \times 0.2$ เซนติเมตร มาลวกในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 90 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที โดยกำหนดอัตราส่วนเปลือกเสาวรสีต่อน้ำ เท่ากับ 1:6 (น้ำหนักต่อปริมาตร) จากนั้นนำเปลือกเสาวรสีที่ผ่านการลวกด้วยน้ำแล้วมาแช่ในน้ำเย็นอุณหภูมิ 4 ± 2 องศาเซลเซียส ทันที วางบนตะแกรงให้สะเด็ดน้ำ และนำมาปั่นเหวี่ยงแยกน้ำออกโดยใช้เครื่องสกัดน้ำโดยปั่นเหวี่ยงที่ 400 รอบต่อนาทีนาน 5 นาที ซึ่งเมื่อดำเนินการเสร็จในขั้นตอนการปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกน้ำออกแล้ว นำเปลือกเสาวรสีมาเตรียมขั้นต้นต่อโดยการแช่ในสารละลายเกลือ โซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 3%

จากการศึกษาผลของเวลาการแช่ (10 และ 30 นาที) และการใช้สถานะสุญญากาศ (ใช้และไม่ใช้) ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) สำหรับค่าปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณใยอาหารทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ รวมถึงค่าสี (L^* a^* b^* Hue angle Chroma และ ΔE) สรุปได้ดังตารางที่ 4-13

สำหรับผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณใยอาหารทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ แสดงดังตารางที่ 4-14 ถึง 4-17 และปริมาณความชื้นก่อนการทำแห้ง และเวลาการทำแห้ง แสดงผลดังตารางที่ 4-18

ตารางที่ 4-13 สรุปผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส เมื่อเตรียมขึ้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ แปรเวลาการแช่ (Time) และการใช้สภาวะสุญญากาศ (Vacuum) ที่แตกต่างกัน

ค่าคุณภาพ	Time	Vacuum	Time*Vacuum
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด	ns	sig	sig
ปริมาณใยอาหารทั้งหมด	sig	ns	ns
ปริมาณแอนโทไซยานิน	ns	sig	ns
ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด	sig	sig	sig
สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ	sig	sig	sig
L*	sig	sig	sig
a*	sig	sig	ns
b*	sig	ns	sig
Hue angle	ns	sig	ns
Chroma	sig	ns	sig
ΔE	ns	sig	sig

sig หมายถึง ปัจจัยที่ศึกษามีอิทธิพลต่อค่าคุณภาพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ns หมายถึง ปัจจัยที่ศึกษาไม่มีอิทธิพลต่อค่าคุณภาพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางที่ 4-14 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (TSC) ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส เมื่อเตรียมขึ้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ แปรเวลาการแช่ และการใช้สภาวะสุญญากาศที่แตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	เวลาการแช่ (นาท)	การใช้สภาวะสุญญากาศ	ปริมาณ TSC เฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง)
1	10	ใช่	3.25 ^a \pm 0.07
2	10	ไม่ใช่	2.53 ^c \pm 0.16
3	30	ใช่	2.87 ^b \pm 0.03
4	30	ไม่ใช่	2.94 ^b \pm 0.12
Control-Unsoaked NaCl			4.14 \pm 0.12

^{a,b,c} คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

Control- Unsoaked NaCl คือ ผงใยอาหารที่ไม่ผ่านการแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์

ตารางที่ 4-15 ปริมาณใยอาหารทั้งหมด (TDF) ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส เมื่อเตรียมขึ้นต้น โดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ แปรเวลาการแช่ และการใช้สถานะสุญญากาศที่แตกต่างกัน

เวลาการแช่ (นาที)	สถานะการใช้ สุญญากาศ	ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
		ปริมาณ TDF (กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง)	
10	ใช่	83.82 \pm 1.05	83.72 ^a \pm 1.06
	ไม่ใช่	83.63 \pm 1.29	
30	ใช่	82.04 \pm 1.18	81.68 ^b \pm 0.89
	ไม่ใช่	81.31 \pm 0.43	
Control-Unsoaked NaCl		90.43 \pm 1.07	

^{a,b} คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

Control-Unsoaked NaCl คือ ผงใยอาหารที่ไม่ผ่านการแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์

ตารางที่ 4-16 ปริมาณแอนโทไซยานิน (AC) ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส เมื่อเตรียมขึ้นต้น โดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ แปรเวลาการแช่ และการใช้สถานะสุญญากาศที่แตกต่างกัน

สถานะการใช้ สุญญากาศ	เวลาการแช่ (นาที)	ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
		ปริมาณ AC (มิลลิกรัม Cyn 3-Glu/100 กรัม น้ำหนักแห้ง)	
ใช่	10	10.44 \pm 0.72	10.33 ^b \pm 0.52
	30	10.23 \pm 0.36	
ไม่ใช่	10	12.73 \pm 0.36	12.94 ^a \pm 0.51
	30	13.15 \pm 0.63	
Control-Unsoaked NaCl		14.82 \pm 0.73	

^{a,b} คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

Control-Unsoaked NaCl คือ ผงใยอาหารที่ไม่ผ่านการแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์

ตารางที่ 4-17 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (TPC) และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (%Inhibition) ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส เมื่อเตรียมขึ้นต้น โดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ แปรเวลาการแช่ และการใช้สภาวะสุญญากาศที่แตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	เวลาการแช่ (นาท)	การใช้สภาวะ สุญญากาศ	ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
			ปริมาณ TPC (มิลลิกรัมกรดแกลลิก/100 กรัม น้ำหนักแห้ง)	% inhibition
1	10	ใช่	60.09 ^b \pm 0.42	81.61 ^b \pm 0.57
2	10	ไม่ใช่	61.14 ^a \pm 0.45	83.52 ^a \pm 0.56
3	30	ใช่	57.86 ^c \pm 0.44	81.23 ^b \pm 0.66
4	30	ไม่ใช่	60.14 ^b \pm 0.52	81.25 ^b \pm 0.55
Control-Unsoaked NaCl			66.47 \pm 0.02	88.92 \pm 0.48

^{a,b,c} คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

Control-Unsoaked NaCl คือ ผงใยอาหารที่ไม่ผ่านการแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์

ตารางที่ 4-18 ปริมาณความชื้นก่อนการทำแห้ง และเวลาการทำแห้งของเปลือกเสาวรศ เมื่อเตรียมขึ้นต้น โดยการแช่ในสารละลายเกลือ โซเดียมคลอไรด์ แปรเวลาการแช่ และการใช้สภาวะสุญญากาศที่แตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	เวลาการแช่ (นาที)	การใช้สภาวะสุญญากาศ	ความชื้นก่อนการทำแห้ง (%)	เวลาการทำแห้ง (นาที)
1	10	ใช่	79.05	360
2	10	ไม่ใช่	80.52	360
3	30	ใช่	74.80	350
4	30	ไม่ใช่	75.12	350
Control-Unsoaked NaCl			86.00	370

^{a,b} คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

Control-Unsoaked NaCl คือ ผงใยอาหารที่ไม่ผ่านการแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์

ลักษณะของผงใยอาหารที่ไม่ผ่านการแช่ในสารละลายเกลือ โซเดียมคลอไรด์ และผงใยอาหารที่ผ่านการแช่ในสารละลายเกลือ โซเดียมคลอไรด์ เมื่อแปรเวลาการแช่และการใช้สภาวะสุญญากาศที่แตกต่างกัน แสดงดังภาพที่ 4-2 และผลการวิเคราะห์ค่าสี L^* a^* b^* Hue angle Chroma และ ΔE ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรศ แสดงดังตารางที่ 4-19

ผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา โดยวิธี Quantitative Descriptive Analysis (QDA) โดยใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 8 คน ซึ่งร่วมกันคิดคำศัพท์ที่ใช้อธิบายคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของตัวอย่าง และคัดเลือกคำศัพท์เพื่อใช้ในการประเมินผลทางประสาทสัมผัส เมื่อเสนอตัวอย่างในลักษณะผงแห้งคัดเลือกได้ 4 คำศัพท์ ได้แก่ สีม่วงแดง กลิ่นเสาวรศ รสเค็ม และความฝาดขม ผลการประเมินแสดงดังภาพที่ 4-3 และเมื่อเสนอตัวอย่างในลักษณะสารละลายที่เตรียมที่อุณหภูมิห้อง (28 ± 2 องศาเซลเซียส) คัดเลือกคำศัพท์ได้ 6 คำศัพท์ ได้แก่ สีม่วงแดง/น้ำตาลแดง การตกตะกอน ความขุ่น กลิ่นเสาวรศ รสเค็ม ความฝาดขม และความสาบลิ้น ผลการประเมินแสดงดังภาพที่ 4-4



ก) Control-Unsoaked NaCl



ข) ใช้สภาวะสุญญากาศ เป็นเวลา 10 นาที



ค) ไม่ใช้สภาวะสุญญากาศ เป็นเวลา 10 นาที



ง) ใช้สภาวะสุญญากาศ เป็นเวลา 30 นาที



จ) ไม่ใช้สภาวะสุญญากาศ เป็นเวลา 30 นาที

ภาพที่ 4-2 ลักษณะของผงใยอาหารที่ไม่ผ่านการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ (Control-Unsoaked NaCl) (ก) และลักษณะของผงใยอาหารที่ผ่านการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ เป็นเวลา 10 นาที โดยใช้สภาวะสุญญากาศ (ข) ไม่ใช้สภาวะสุญญากาศ (ค) รวมทั้งแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ เป็นเวลา 30 นาที โดยใช้สภาวะสุญญากาศ (ง) และไม่ใช้สภาวะสุญญากาศ (จ)

ตารางที่ 4-19 ค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ค่าเฉดสี (Hue angle) ค่าความเข้มของสี (Chroma) และค่าการเปลี่ยนแปลงของสี (ΔE) ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส เมื่อเตรียมขึ้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ แปรเวลาการแช่ และการใช้สภาวะสุญญากาศที่แตกต่างกัน

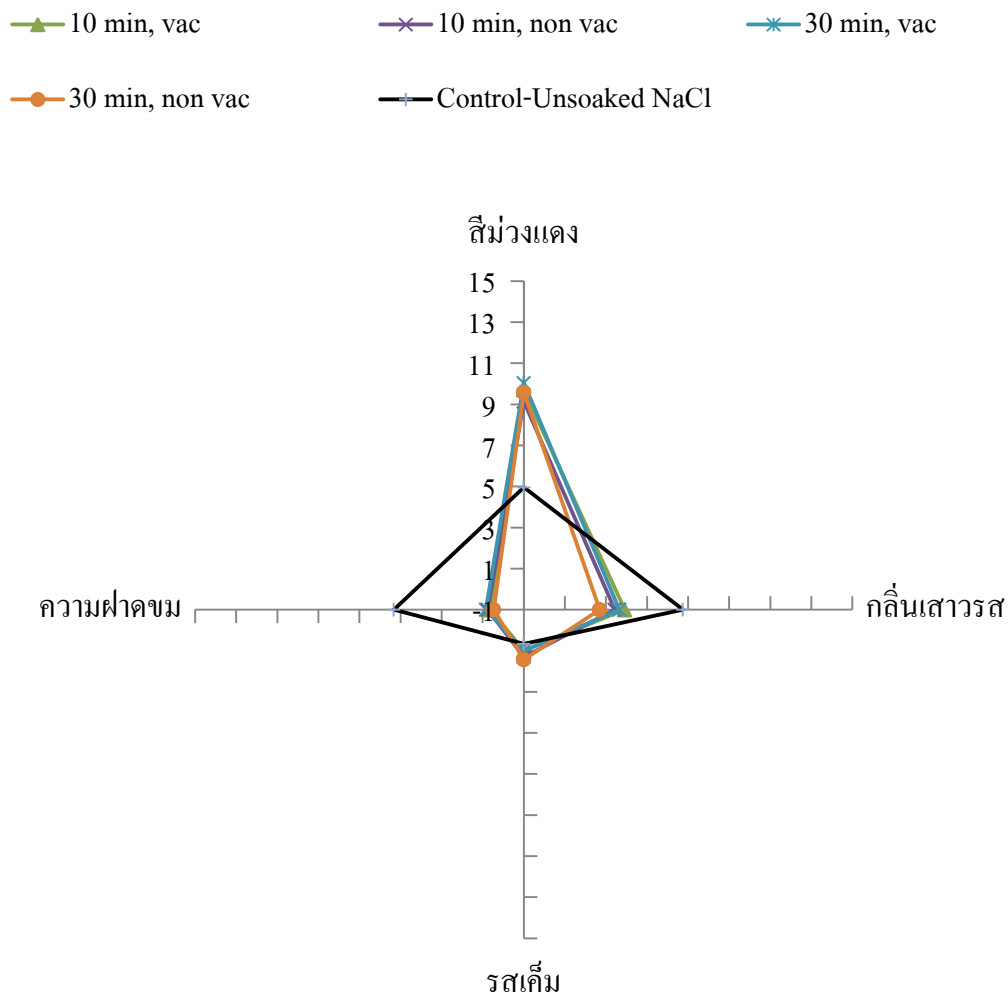
สิ่งทดลอง	เวลาการแช่ (นาท)	การใช้สภาวะ สุญญากาศ	ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน					
			L*	a* ^{ns}	b*	Hue angle ^{ns}	Chroma	$\Delta E^{\#}$
1	10	ใช่	73.04 ^a \pm 0.64	9.18 \pm 0.10	12.31 ^c \pm 0.33	53.28 \pm 0.92	15.35 ^c \pm 0.24	5.37 ^a \pm 0.62
2	10	ไม่ใช่	69.14 ^b \pm 0.23	9.86 \pm 0.12	12.47 ^c \pm 0.07	51.66 \pm 0.33	15.90 ^b \pm 0.11	1.90 ^c \pm 0.08
3	30	ใช่	67.25 ^c \pm 0.17	10.95 \pm 0.23	14.67 ^a \pm 0.18	53.26 \pm 0.25	18.31 ^a \pm 0.29	3.51 ^b \pm 0.27
4	30	ไม่ใช่	66.55 ^c \pm 0.36	11.30 \pm 0.09	14.27 ^b \pm 0.15	51.64 \pm 0.11	18.20 ^a \pm 0.18	3.63 ^b \pm 0.27
Control-Unsoaked NaCl			67.71 \pm 0.03	8.72 \pm 0.12	12.01 \pm 0.16	54.02 \pm 0.71	14.84 \pm 0.08	-

^{a,b,c} คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

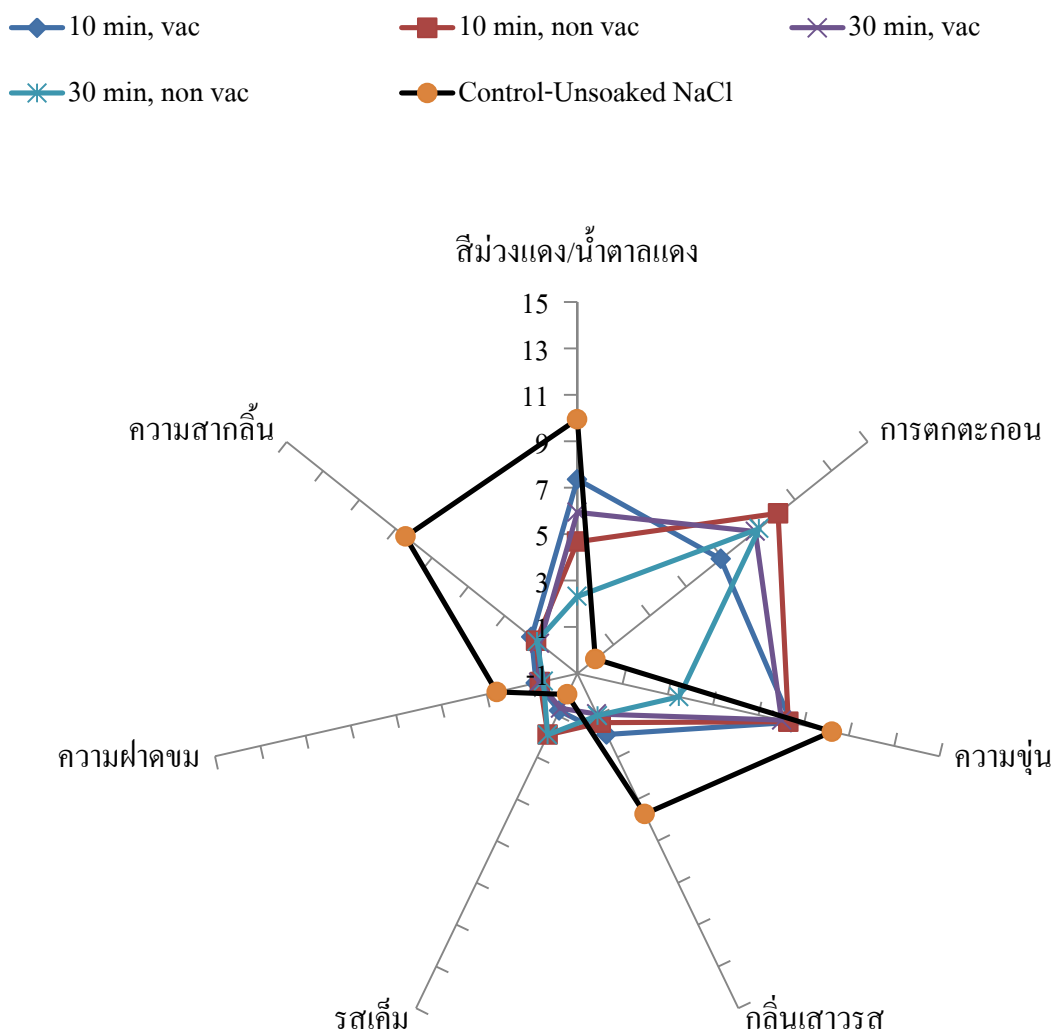
^{ns} คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

[#] คำนวณค่า ΔE เมื่อเปรียบเทียบกับ Control

Control-Unsoaked NaCl คือ ผงใยอาหารที่ไม่ผ่านการแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์



ภาพที่ 4-3 กราฟไบแมงมุมแสดงความเข้มของคุณลักษณะจากการทดสอบ โดยวิธี QDA ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสมือไม้ผ่าน (Control-Unsoaked NaCl) และผ่านการเตรียมขั้นต้น โดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ ระยะเวลาการแช่ (10 และ 30 นาที) และการใช้สภาวะสุญญากาศ (ใช้ และไม่ใช้) เมื่อเสนอตัวอย่างในลักษณะผงแห้ง



ภาพที่ 4-4 กราฟไฟแมงมุมแสดงความเข้มของคุณลักษณะจากการทดสอบโดยวิธี QDA ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสมือไม่ผ่าน (Control-Unsoaked NaCl) และผ่านการเตรียมขึ้นต้น โดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ แปรรเวลาการแช่ (10 และ 30 นาที) และการใช้สภาวะสุญญากาศ (ใช้ และไม่ใช้) เมื่อเสนอตัวอย่างในลักษณะสารละลาย (ความเข้มข้น 5%) ที่เตรียมที่อุณหภูมิห้อง (28 ± 2 องศาเซลเซียส)



(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

(จ)

ภาพที่ 4-5 ลักษณะของสารละลายผงใยอาหาร (ความเข้มข้น 5%) ที่ไม่ผ่านการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ (Control-Unsoaked NaCl) (ก) และลักษณะของสารละลายผงใยอาหารที่ผ่านการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ เป็นเวลา 10 นาที โดยใช้สภาวะสุญญากาศ (ข) ไม่ใช้สภาวะสุญญากาศ (ค) รวมทั้งแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ เป็นเวลา 30 นาที โดยใช้สภาวะสุญญากาศ (ง) และไม่ใช้สภาวะสุญญากาศ (จ) เตรียมที่อุณหภูมิห้อง (28 ± 2 องศาเซลเซียส)

4.3 ผลการศึกษาหาสภาวะในการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่เหมาะสมของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส

จากการศึกษาผลของการหาสภาวะในการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่เหมาะสม โดยแปรปัจจัยอุณหภูมิการทำแห้ง (50-70 องศาเซลเซียส) และเวลาการทำแห้ง (300-420 นาที) ในการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน โดยจัดสิ่งทดลองแบบ CCD ได้ 11 สิ่งทดลอง เมื่อดำเนินการทดลองตามสภาวะที่กำหนด นำผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่ได้มาวิเคราะห์ค่าคุณภาพ ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-20

จากการนำข้อมูลค่าคุณภาพต่าง ๆ มาสร้างสมการรีเกรสชัน โดยหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น ปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสกับอุณหภูมิการทำแห้งและเวลาการทำแห้ง ได้ผลแสดงดังตารางที่ 4-21 เมื่อนำสมการที่น่าเชื่อถือทั้งหมดมาสร้างกราฟพื้นผิวการตอบสนอง เพื่อแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความชื้น ปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสกับอุณหภูมิการทำแห้งและเวลาการทำแห้ง แสดงดังภาพที่ 4-6 ถึง 4-9

เนื่องจากขั้นตอนนี้เป็นปรับปรุงคุณภาพของผงใยอาหาร ดังนั้นคุณภาพของผงใยอาหารที่ได้ด้านปริมาณความชื้น ปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระต้องไม่ต่ำกว่าคุณภาพของผงใยอาหารที่ได้จากการใช้สภาวะการทำแห้งตามวิธีการผลิตเดิม จึงกำหนดว่าคุณภาพของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสต้องมีปริมาณความชื้นต่ำกว่าหรือเท่ากับ 8 กรัม/100 กรัม มีปริมาณแอนโทไซยานิน ไม่ต่ำกว่า 12.73 มิลลิกรัม Cyn-3-Glu/100 กรัม น้ำหนักแห้ง ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดไม่ต่ำกว่า 61.14 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/100 กรัม น้ำหนักแห้ง และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระสูง โดยมี %Inhibition ไม่ต่ำกว่า 83.52 % ในการสร้างกราฟพื้นผิวการตอบสนองจึงได้ขอบเขตพื้นที่สำหรับการคัดเลือกหาสภาวะที่เหมาะสมของคุณภาพด้านปริมาณความชื้น ปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิการทำแห้งและเวลาการทำแห้ง แสดงดังภาพที่ 4-10 4-11 4-12 และ 4-13 ตามลำดับ

เมื่อนำพื้นที่ผิวการตอบสนองในภาพที่ 4-10 4-11 4-12 และ 4-13 มาซ้อนทับกัน จะได้พื้นที่ผิวการตอบสนองที่ทำให้ได้ค่าคุณภาพของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสตามที่ได้กำหนดไว้ แสดงดังภาพที่ 4-14

ตารางที่ 4-20 ปริมาณความชื้น (MC) ปริมาณแอนโทไซยานิน (AC) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (TPC) และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (%Inhibition) ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนสภาวะต่างๆ

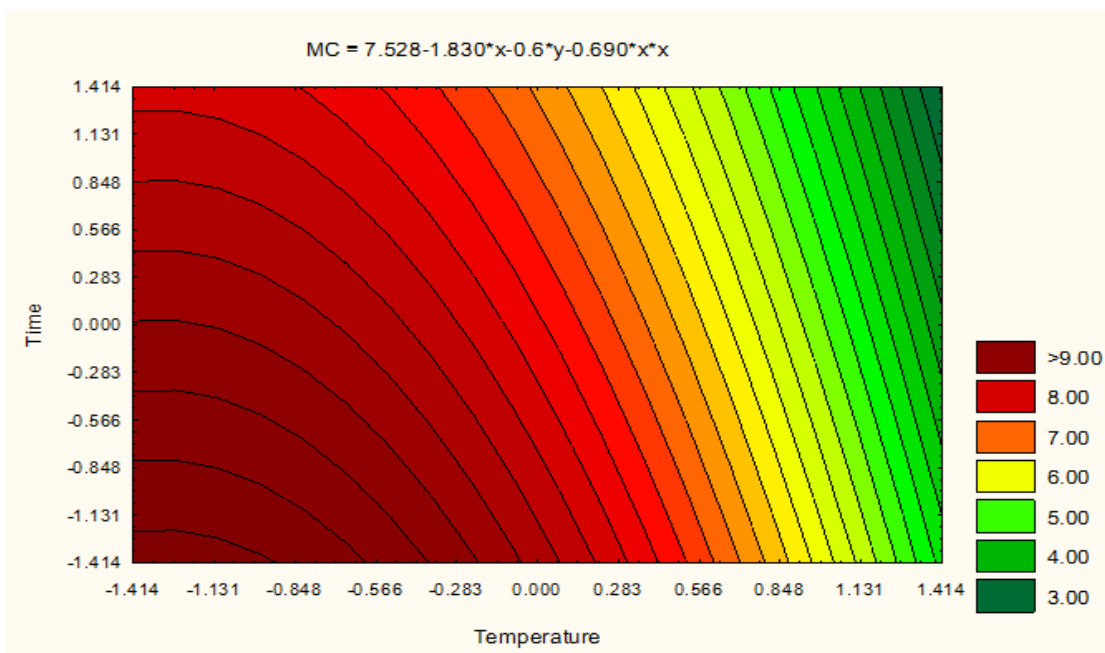
สิ่งทดลอง	ค่ารหัส		ค่าจริง		ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
	X ₁	X ₂	อุณหภูมิการทำแห้ง (องศาเซลเซียส)	เวลาการทำแห้ง (นาที)	ปริมาณ MC (กรัม/100 กรัม)	ปริมาณ AC (มิลลิกรัม Cyn-3-Glu/100 กรัม น้ำหนักแห้ง)	ปริมาณ TPC (มิลลิกรัมกรดแกลลิก/100 กรัม น้ำหนักแห้ง)	%Inhibition
1	-1	-1	53	320	9.89 ^a \pm 0.10	16.06 ^a \pm 0.38	64.23 ^a \pm 0.51	86.81 ^a \pm 0.23
2	-1	+1	53	400	7.55 ^d \pm 0.10	13.50 ^{cd} \pm 0.67	60.17 ^{de} \pm 0.20	84.03 ^f \pm 0.29
3	+1	-1	67	320	5.43 ^f \pm 0.05	15.30 ^{ab} \pm 0.96	64.12 ^a \pm 0.28	86.63 ^{ab} \pm 0.15
4	+1	+1	67	400	5.02 ^g \pm 0.09	12.48 ^{de} \pm 0.66	59.69 ^c \pm 0.32	83.03 ^g \pm 0.23
5	-1.414	0	50	360	8.72 ^b \pm 0.10	13.39 ^{cd} \pm 0.36	62.61 ^c \pm 0.32	85.04 ^{de} \pm 0.09
6	+1.414	0	70	360	3.31 ^h \pm 0.10	11.41 ^e \pm 0.98	60.77 ^d \pm 0.16	85.60 ^{cd} \pm 0.04
7	0	-1.414	60	300	7.81 ^c \pm 0.02	15.57 ^{ab} \pm 0.62	64.22 ^a \pm 0.12	86.10 ^{bc} \pm 0.40
8	0	+1.414	60	420	6.36 ^e \pm 0.09	12.95 ^d \pm 0.59	62.65 ^{bc} \pm 0.27	82.77 ^g \pm 0.23
9	0	0	60	360	7.73 ^c \pm 0.08	15.31 ^{ab} \pm 0.96	63.17 ^{bc} \pm 0.74	84.93 ^e \pm 0.49
10	0	0	60	360	7.74 ^c \pm 0.07	15.16 ^{ab} \pm 0.36	63.40 ^b \pm 0.55	85.10 ^{de} \pm 0.69
11	0	0	60	360	7.73 ^c \pm 0.07	14.59 ^{bc} \pm 0.95	62.89 ^{bc} \pm 0.59	84.89 ^e \pm 0.38

^{a,b,c,...} คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

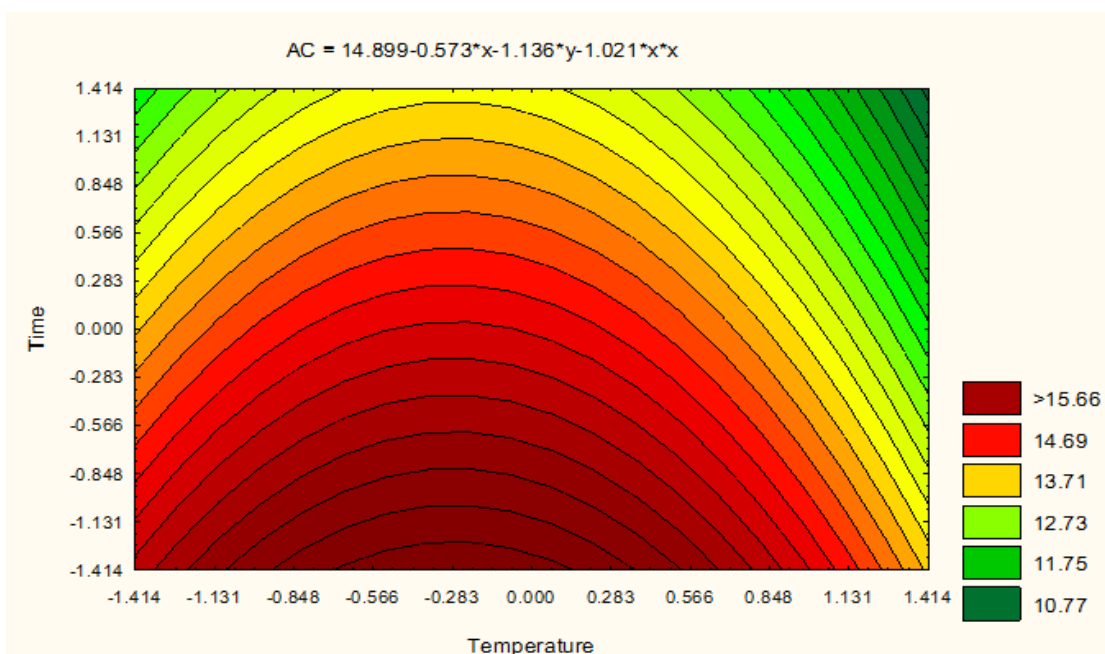
ตารางที่ 4-21 ผลการวิเคราะห์สมการรีเกรสชันเชิงเส้นตรงแบบพหุ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วิเคราะห์ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส ได้แก่ ปริมาณความชื้น (MC) ปริมาณแอนโทไซยานิน (AC) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (TPC) และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (%Inhibition) กับอุณหภูมิการทำแห้ง (X_1) และเวลาการทำแห้ง (X_2) ของตู้อบลมร้อน

ค่าที่วิเคราะห์	สมการ*	R ²	Model Significance	RMS (%)
ปริมาณความชื้น	$MC = 7.528 - 1.830X_1 - 0.6X_2 - 0.690X_1^2$	0.951	0.000	9.10
ปริมาณแอนโทไซยานิน	$AC = 14.899 - 0.573X_1 - 1.136X_2 - 1.021X_1^2$	0.870	0.002	13.15
ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด	$TPC = 63.166 - 0.399X_1 - 1.339X_2 - 0.864X_1^2$	0.768	0.013	6.45
สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ	$\%Inhibition = 84.778 - 0.049X_1 - 1.386X_2 + 0.296X_1^2$	0.920	0.000	2.55

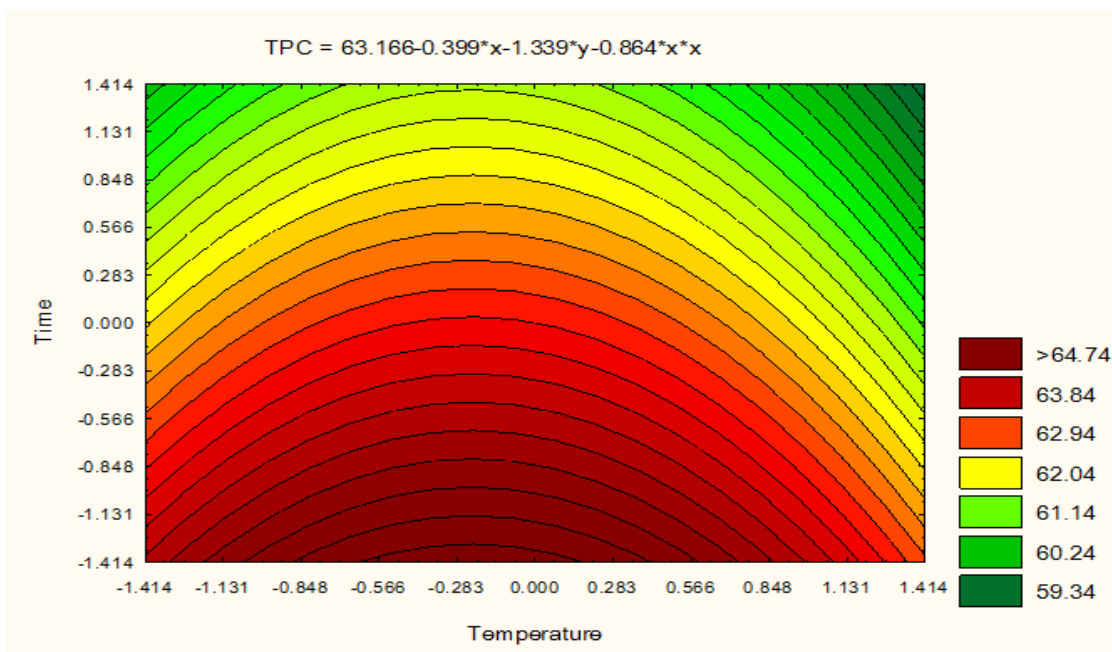
* เป็นสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วิเคราะห์กับค่ารหัสของ X_1 และ X_2



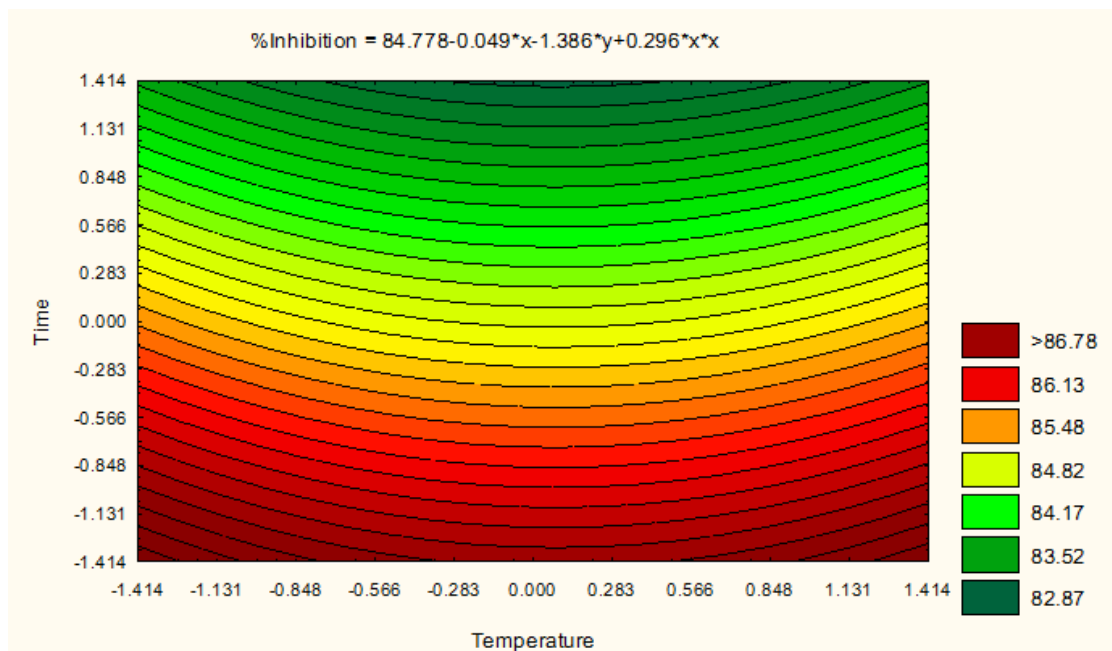
ภาพที่ 4-6 พื้นผิวการตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณความชื้น (MC) ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสกับอุณหภูมิการทำแห้งและเวลาการทำแห้ง (ค่ารหัส) ของตู้อบลมร้อน



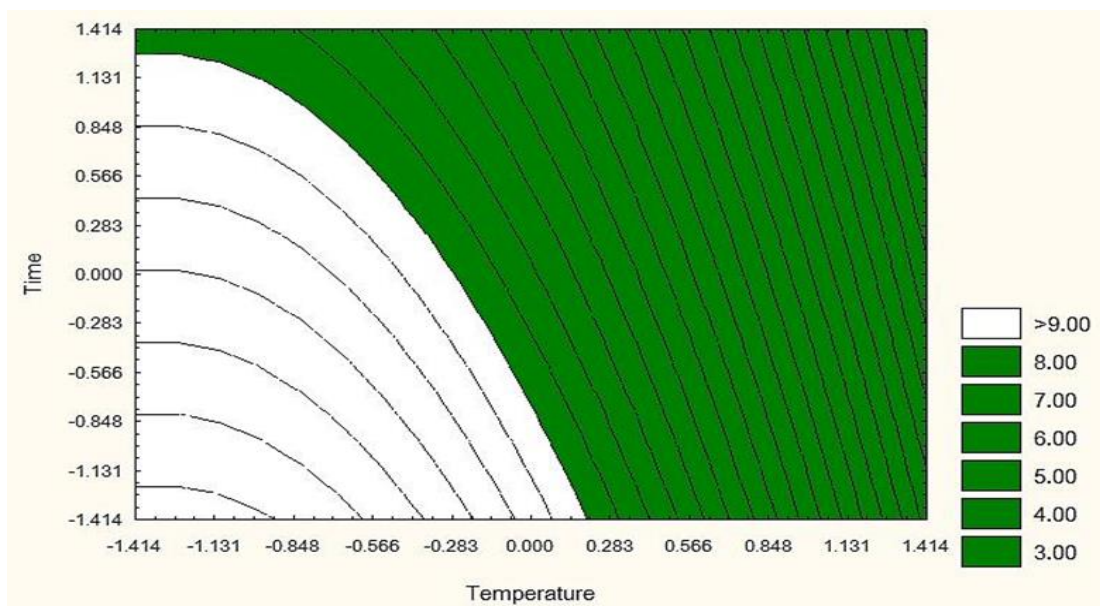
ภาพที่ 4-7 พื้นผิวการตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณแอสคอร์บิก (AC) ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสกับอุณหภูมิการทำแห้งและเวลาการทำแห้ง (ค่ารหัส) ของตู้อบลมร้อน



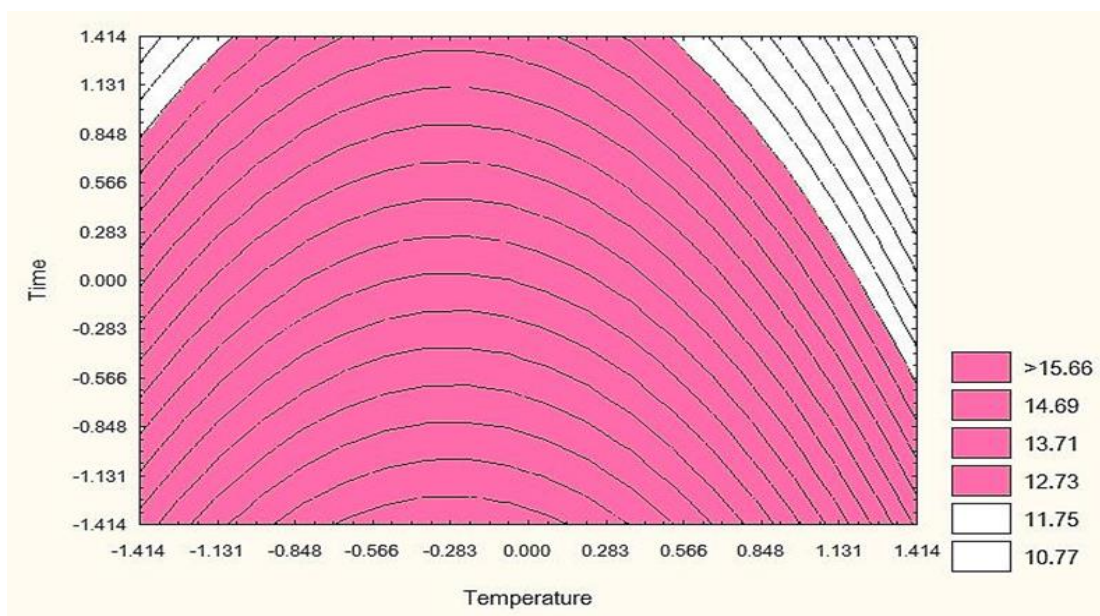
ภาพที่ 4-8 พื้นผิวการตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (TPC) ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสกับอุณหภูมิการทำแห้งและเวลาการทำแห้ง (คาร์รหัส) ของตู้อบลมร้อน



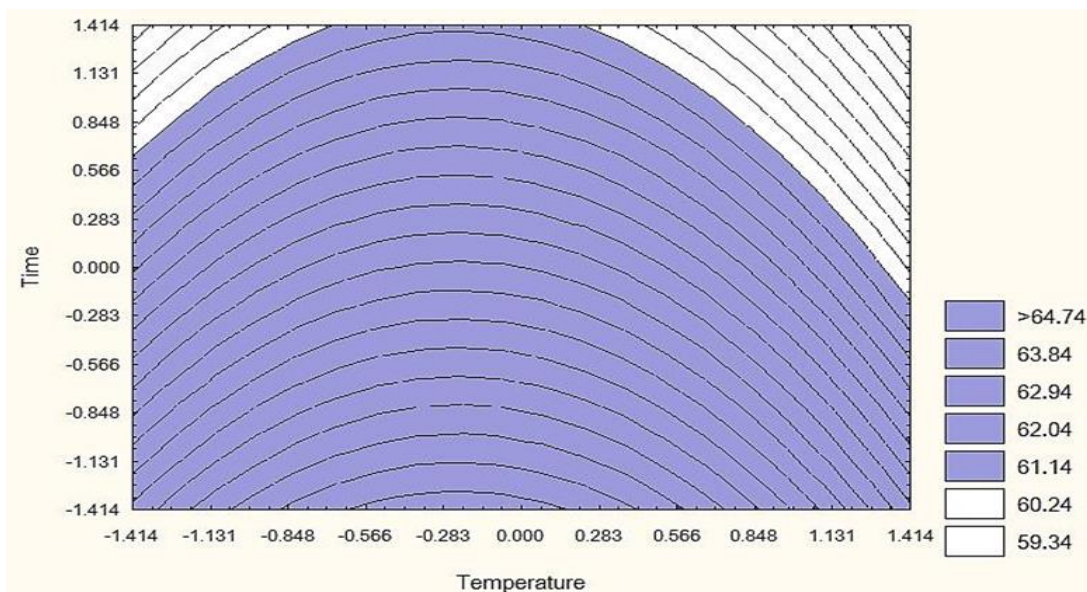
ภาพที่ 4-9 พื้นผิวการตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ของสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (%Inhibition) ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสกับอุณหภูมิการทำแห้งและเวลาการทำแห้ง (คาร์รหัส) ของตู้อบลมร้อน



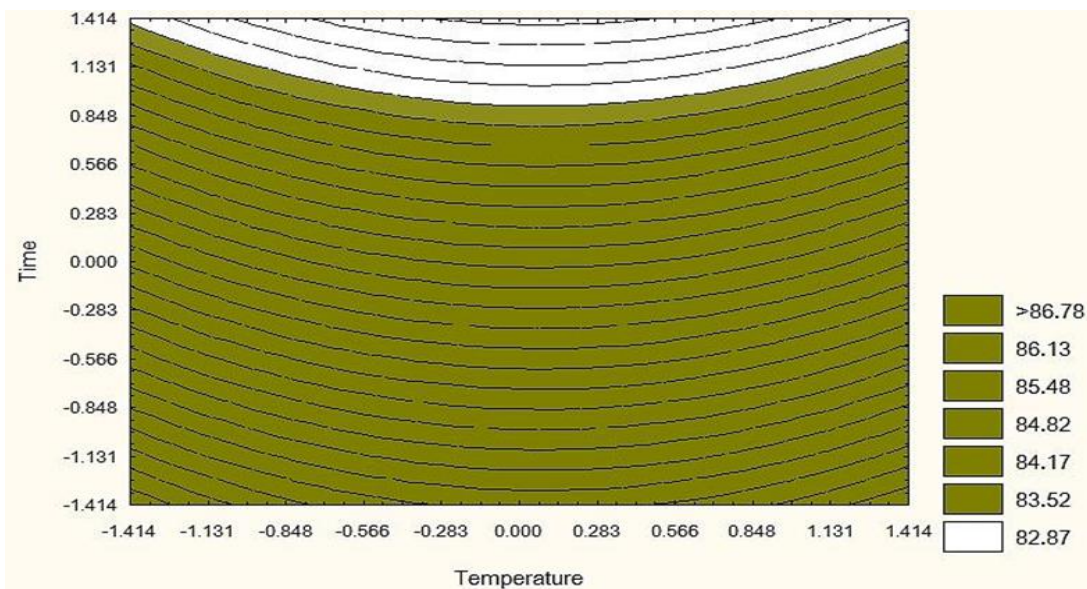
ภาพที่ 4-10 พื้นที่การตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณความชื้น (MC) ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรศกับอุณหภูมิการทำแห้งและเวลาการทำแห้ง โดยส่วนที่แรเงาหมายถึงมีปริมาณความชื้นตามที่กำหนดไว้คือ ต่ำกว่า 8 กรัม/100 กรัม



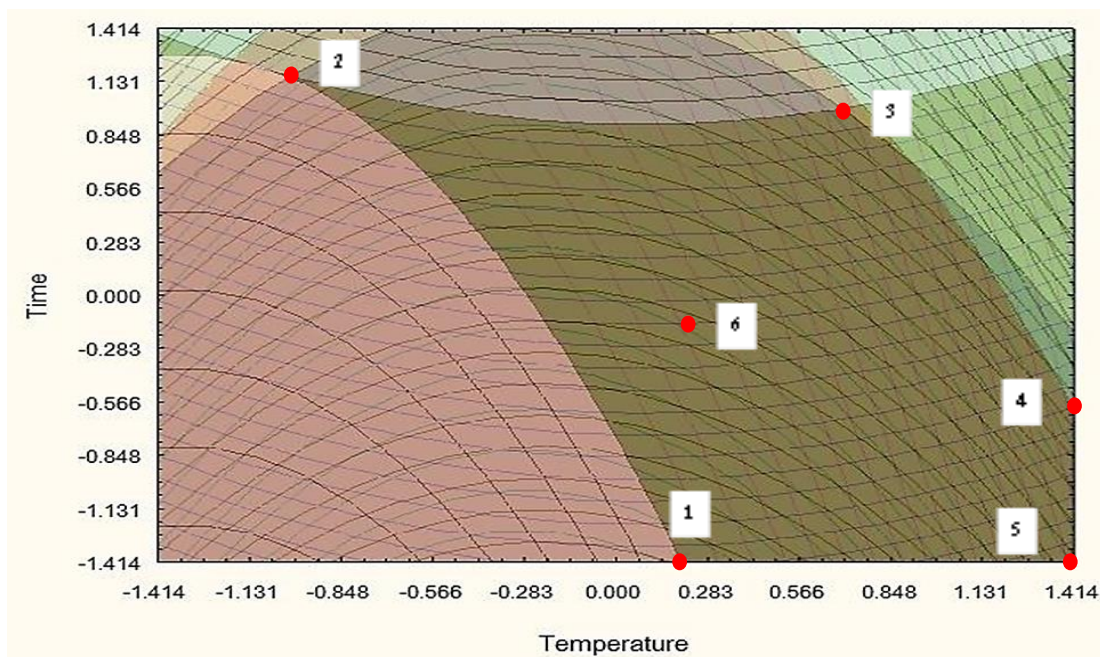
ภาพที่ 4-11 พื้นที่การตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณแอนโทไซยานิน (AC) ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรศกับอุณหภูมิการทำแห้งและเวลาการทำแห้ง โดยส่วนที่แรเงาหมายถึงมีปริมาณแอนโทไซยานินตามที่กำหนดไว้คือ ไม่ต่ำกว่า 12.73 มิลลิกรัม Cyn-3-Glu/100 กรัม น้ำหนักแห้ง



ภาพที่ 4-12 พื้นที่การตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (TPC) ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสกับอุณหภูมิการทำแห้งและเวลาการทำแห้ง โดยส่วนที่แรเงา หมายถึงมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดตามที่กำหนดไว้คือ ต้องไม่ต่ำกว่า 61.14 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/100 กรัม น้ำหนักแห้ง



ภาพที่ 4-13 พื้นที่การตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ของสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (%Inhibition) ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสกับอุณหภูมิการทำแห้งและเวลาการทำแห้ง โดยส่วนที่แรเงา หมายถึงมี %Inhibition ตามที่กำหนดไว้ คือ ต้องไม่ต่ำกว่า 83.52%



ภาพที่ 4-14 การซ้อนทับของพื้นที่การตอบสนองที่ทำให้ได้ค่าคุณภาพของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรตามที่ได้กำหนดไว้ โดยจุดที่ 1-5 แสดงจุดมุม และจุดที่ 6 แสดงจุดกึ่งกลางของพื้นที่ที่ได้จากการซ้อนทับกัน

ในการคัดเลือกสถานะที่เหมาะสมในการทำแห้ง พิจารณาที่จุดมุมและจุดกึ่งกลางของพื้นที่ที่ได้จากการซ้อนทับกัน ในการทดลองนี้ได้จุดมุม 5 จุด และจุดกึ่งกลาง 1 จุด รวมได้ 6 สถานะ โดยมีค่าที่ได้จากกราฟและค่าที่ใช้จริงที่ได้จากการปรับค่าเพื่อให้เกิดความสะดวกในการดำเนินการทดลองจริง แสดงดังตารางที่ 4-22

ตารางที่ 4-22 สภาวะอุณหภูมิการทำแห้ง และเวลาการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนทั้งค่าที่ได้จากกราฟและค่าที่ใช้จริงที่จุดมุม (สิ่งทดลองที่ 1-5) และจุดกึ่งกลาง (สิ่งทดลองที่ 6) ของพื้นที่ที่ได้จากการซ้อนทับกันของกราฟพื้นที่ผิวการตอบสนอง เมื่อกำหนดให้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสมีคุณภาพตามที่กำหนดไว้

สิ่งทดลองที่	อุณหภูมิการทำแห้ง (องศาเซลเซียส)			เวลาการทำแห้ง (นาที)		
	ค่าที่ได้จากกราฟ		ค่าที่ใช้จริง	ค่าที่ได้จากกราฟ		ค่าที่ใช้จริง
	ค่ารหัส	ค่าจริง		ค่ารหัส	ค่าจริง	
1	0.195	61.38	62.00	-1.414	300.00	300.00
2	-1.007	52.88	53.00	1.149	408.74	409.00
3	0.708	65.00	65.00	0.990	401.99	402.00
4	1.414	70.00	70.00	-0.601	334.48	334.00
5	1.414	70.00	70.00	-1.414	300.00	300.00
6	0.212	61.50	62.00	-0.141	354.50	354.00

ตารางที่ 4-23 ค่าคุณภาพปริมาณความชื้น (MC) ปริมาณแอนโทไซยานิน (AC) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (TPC) และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (%Inhibition) ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่สภาวะต่างๆ

สิ่งทดลอง	ค่ารหัส		ค่าจริง		ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
	X ₁	X ₂	อุณหภูมิ การทำแห้ง (องศาเซลเซียส)	เวลาการทำแห้ง (นาทีก)	ปริมาณ MC (กรัม/100 กรัม)	ปริมาณ AC (มิลลิกรัม Cyn-3-Glu/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง)	ปริมาณ TPC (มิลลิกรัมกรดแกลลิก/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง)	%Inhibition
1	0.283	-1.414	62.00	300.00	7.81 ^{ab} \pm 0.02	15.35 ^{ab} \pm 0.35	64.38 ^a \pm 0.32	86.26 ^a \pm 0.16
2	-0.990	1.155	53.00	409.00	7.94 ^a \pm 0.01	14.68 ^{ab} \pm 0.99	61.10 ^c \pm 0.96	84.96 ^{bc} \pm 0.04
3	0.708	0.990	65.00	402.00	5.04 ^d \pm 0.07	14.28 ^b \pm 0.70	60.64 ^c \pm 0.23	84.45 ^c \pm 0.43
4	1.414	-0.613	70.00	334.00	4.78 ^c \pm 0.09	14.28 ^b \pm 0.90	63.14 ^b \pm 0.24	85.47 ^{ab} \pm 0.28
5	1.414	-1.414	70.00	300.00	5.63 ^c \pm 0.05	15.58 ^a \pm 0.35	63.33 ^b \pm 0.49	84.45 ^c \pm 0.79
6	0.283	-0.141	62.00	354.00	7.76 ^b \pm 0.04	14.88 ^{ab} \pm 0.42	63.27 ^b \pm 0.63	85.08 ^{bc} \pm 0.71
Control	-	-	60.00	360.00	7.77 ^b \pm 0.30	12.73 ^c \pm 0.36	61.14 ^c \pm 0.45	83.52 ^d \pm 0.56

^{a,b,c,...} คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

Control คือ ผงใยอาหารที่ได้จากการทำแห้งอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส 360 นาที (สภาวะการทำแห้งเดิม)

จากการดำเนินการผลิตผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสโดยใช้การทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ทดลองตามสภาวะที่เลือกไว้ จำนวน 6 สภาวะ เปรียบเทียบกับ Control ซึ่งหมายถึงการผลิต ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสโดยใช้การทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็น เวลา 360 นาที แล้วนำผงใยอาหารที่ผลิตได้มาวิเคราะห์คุณภาพ ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณ แอนโทไซยานิน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ผลการ ทดลองแสดงดังตารางที่ 4-23

จากการคำนวณค่า Root Mean Square (RMS) พบว่าสมการ MC AC TPC และ DPPH มี ค่า RMS เท่ากับ 15.07% 10.26% 1.12% และ 1.62% ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 4-24 4-25 4-26 และ 4-27 ตามลำดับ

ตารางที่ 4-24 ผลการทวนสอบความแม่นยำของสมการจากการพิจารณาค่าตอบสนองที่ได้จากการ ทดลอง (Yex) ค่าตอบสนองที่ได้จากการทำนาย (Ypred) และผลการคำนวณค่า Root Mean Square (RMS) ของปริมาณความชื้น

Yex	Ypred	Residual (Yex - Ypred)
7.81	7.80	0.01
7.94	7.97	-0.03
5.04	5.29	-0.25
4.78	3.93	0.85
5.63	4.41	1.22
7.76	7.04	0.72
RMS (%)		15.07

ตารางที่ 4-25 ผลการทวนสอบความแม่นยำของสมการจากการพิจารณาค่าตอบสนองที่ได้จากการทดลอง (Yex) ค่าตอบสนองที่ได้จากการทำนาย (Ypred) และผลการคำนวณค่า Root Mean Square (RMS) ของปริมาณแอนโทไซยานิน

Yex	Ypred	Residual (Yex - Ypred)
15.35	16.26	-0.91
14.68	13.15	1.53
14.28	12.86	1.42
14.28	12.74	1.53
15.58	13.65	1.93
14.88	14.82	0.06
RMS (%)		10.26

ตารางที่ 4-26 ผลการทวนสอบความแม่นยำของสมการจากการพิจารณาค่าตอบสนองที่ได้จากการทดลอง (Yex) ค่าตอบสนองที่ได้จากการทำนาย (Ypred) และผลการคำนวณค่า Root Mean Square (RMS) ของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

Yex	Ypred	Residual (Yex - Ypred)
64.38	64.88	-0.50
61.10	61.17	-0.07
60.64	61.13	-0.48
63.14	61.70	1.44
63.33	62.77	0.56
63.27	63.17	0.10
RMS (%)		1.12

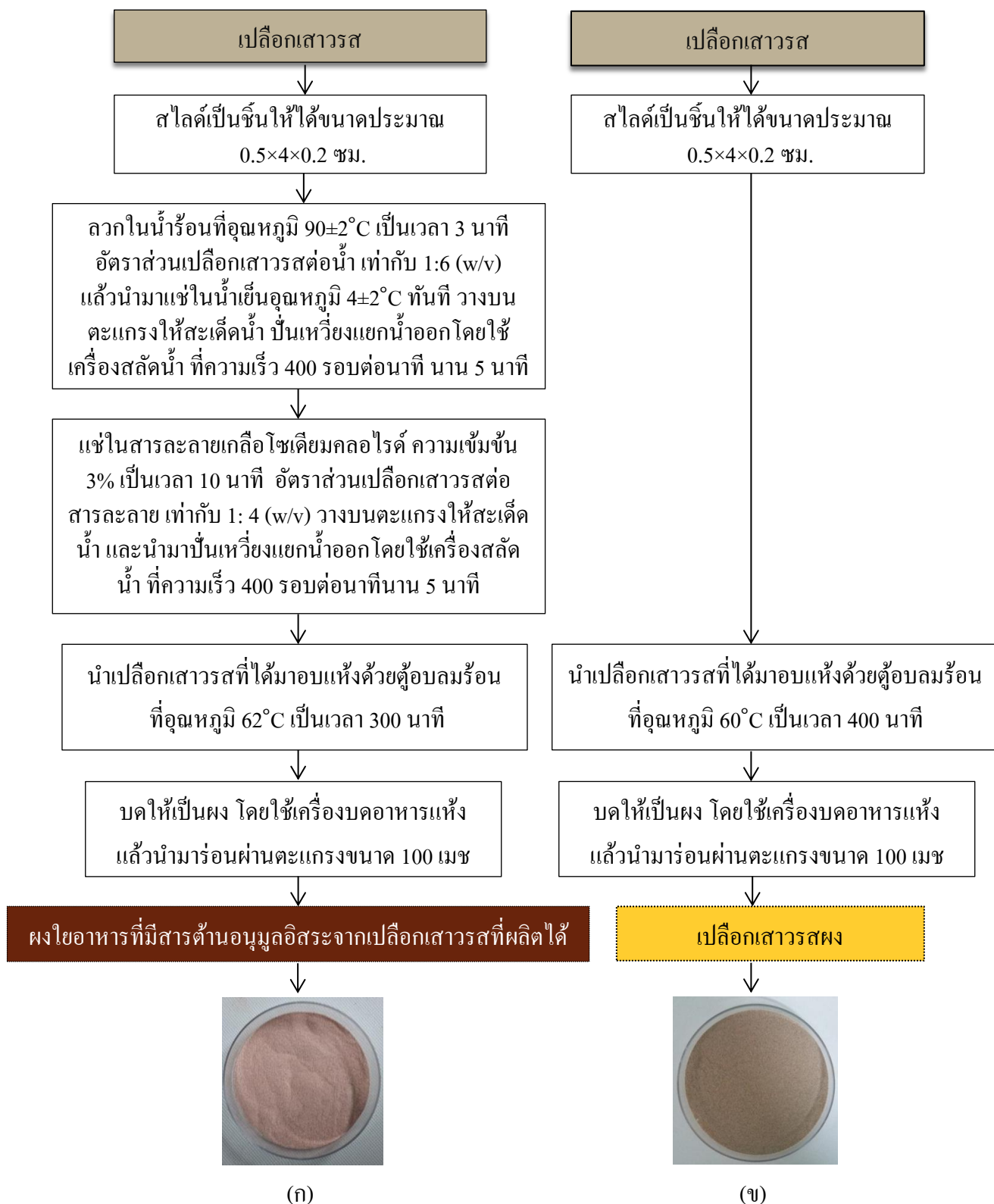
ตารางที่ 4-27 ผลการทวนสอบความแม่นยำของสมการจากการพิจารณาค่าตอบสนองที่ได้จากการทดลอง (Yex) ค่าตอบสนองที่ได้จากการทำนาย (Ypred) และผลการคำนวณค่า Root Mean Square (RMS) ของสมบัตการต้านอนุมูลอิสระ (%Inhibition)

Yex	Ypred	Residual (Yex - Ypred)
86.10	86.75	-0.65
84.96	83.52	1.45
84.45	83.52	0.93
85.47	86.15	-0.68
84.45	87.26	-2.81
85.08	84.98	0.10
RMS (%)		1.62

4.4 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับเปลือกเสาวรสมง

ในขั้นตอนนี้เป็นการเปรียบเทียบคุณภาพทางเคมี กายภาพ และสมบัติเชิงหน้าที่ของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสที่ผลิตได้กับเปลือกเสาวรสมง โดยทั้งสองสิ่งทดลองนี้ ผ่านกระบวนการผลิตเป็นผงที่แตกต่างกัน แสดงดังภาพที่ 4-15 ผลการวิเคราะห์คุณภาพแสดงดังตารางที่ 4-28 ถึง 4-31

สำหรับผลการวิเคราะห์ปริมาณผลได้ (Yield) ค่าวอเตอร์แอกติวิตี ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ (ความชื้น โปรตีน ไขมัน คากใย ใย และคาร์โบไฮเดรต) ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณใยอาหารทั้งหมด (ปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำ และปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ) ปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัตการต้านอนุมูลอิสระ แสดงดังตารางที่ 4-28 ค่าสี (L^* a^* b^* Hue angle Chroma และ ΔE) แสดงดังตาราง 4-29



ภาพที่ 4-15 แผนภาพกระบวนการผลิตผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรศที่ผลิตได้ (ก) และเปลือกเสาวรศผง (ข)

ตารางที่ 4-28 ค่าคุณภาพทางเคมีกายภาพของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือก
เสาวรสที่ผลิตได้ และเปลือกเสาวรสผง

ค่าคุณภาพ	ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	ผงใยอาหารที่มีสารต้าน อนุมูลอิสระจาก เปลือกเสาวรสที่ผลิตได้	เปลือก เสาวรสผง
ปริมาณผลได้ (%)	12.01 ^b \pm 0.18	18.52 ^a \pm 0.36
ค่าวอเตอร์แอกติวิตี ^{ns}	0.241 \pm 0.014	0.237 \pm 0.004
องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ		
ปริมาณความชื้น (กรัม/100 กรัม)	7.69 ^a \pm 0.06	7.33 ^b \pm 0.06
ปริมาณโปรตีน (กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง)	4.00 ^b \pm 0.19	5.98 ^a \pm 0.23
ปริมาณไขมัน ^{ns} (กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง)	0.91 \pm 0.10	0.96 \pm 0.13
ปริมาณกากใย (กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง)	34.47 ^b \pm 1.42	37.16 ^a \pm 1.13
ปริมาณเถ้า (กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง)	17.50 ^a \pm 0.81	8.53 ^b \pm 0.29
ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง)	43.12 ^b \pm 0.95	47.37 ^a \pm 1.31
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง)	3.18 ^b \pm 0.08	7.16 ^a \pm 0.24
ปริมาณใยอาหารทั้งหมด (กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง)	82.33 ^a \pm 2.53	73.59 ^b \pm 3.59
ปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำ ^{ns}	16.32 \pm 1.87	14.56 \pm 1.95
ปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ	66.00 ^a \pm 1.94	59.03 ^b \pm 2.32
ปริมาณแอนโทไซยานิน (มิลลิกรัม Cyn-3-Glu/100 กรัม น้ำหนักแห้ง)	17.09 ^a \pm 1.30	8.30 ^b \pm 0.37
ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (มิลลิกรัมกรดแกลลิก/100 กรัม น้ำหนักแห้ง)	65.38 ^b \pm 0.55	73.93 ^a \pm 1.43
สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (%Inhibition)	87.89 ^b \pm 0.14	89.12 ^a \pm 0.60

^{a,b} คือ ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

^{ns} คือ ค่าเฉลี่ยในแนวนอนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

จากการวิเคราะห์สมบัติเชิงหน้าที่ของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือก
เสาวรสที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับเปลือกเสาวรสผง ได้แก่ ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water

Holding Capacity : WHC) ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (Oil Holding Capacity : OHC)
 ความสามารถในการพองตัว (Swelling Capacity : SWC) และความสามารถในการชะลอการดูดซับ
 น้ำตาล (Glucose Retardation Index : GRI) แสดงดังตารางที่ 4-30

ตารางที่ 4-29 ค่าสีของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสที่ผลิตได้ และ
 เปลือกเสาวรสดผง

ค่าสี	ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ จากเปลือกเสาวรสที่ผลิตได้	เปลือกเสาวรสดผง
L*	69.22 ^a \pm 0.90	64.57 ^b \pm 0.90
a*	9.87 ^a \pm 0.41	7.32 ^b \pm 1.00
b*	12.83 ^b \pm 0.16	21.19 ^a \pm 0.21
Hue angle	52.42 ^b \pm 0.39	70.93 ^a \pm 0.38
Chroma	16.18 ^b \pm 0.12	22.42 ^a \pm 0.18
$\Delta E^{\#}$	9.97 ^a \pm 0.14	-

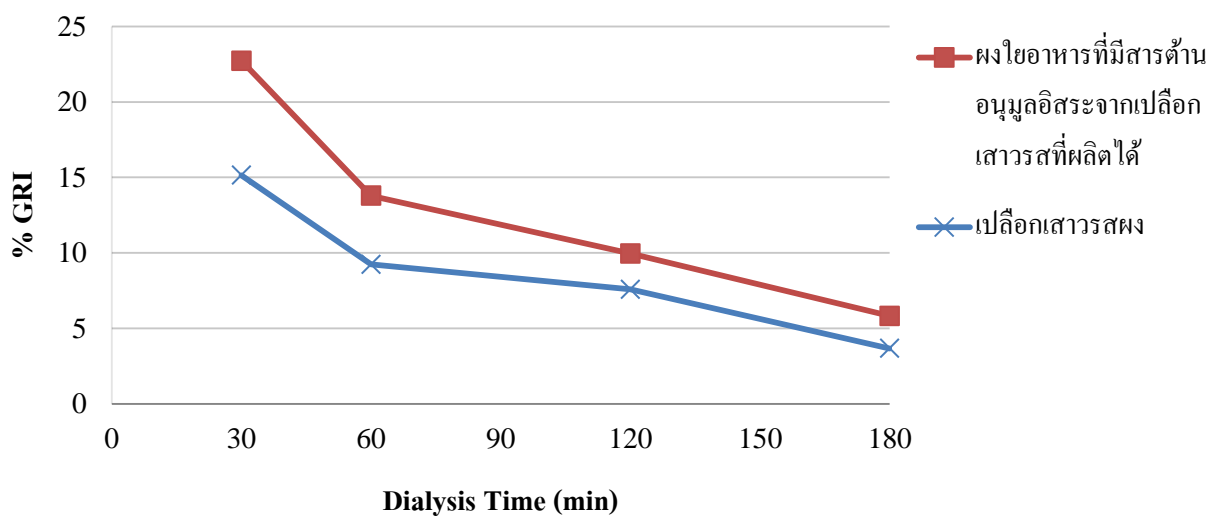
^{a,b} คือ ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

[#] คำนวณค่า ΔE เมื่อเปรียบเทียบกับเปลือกเสาวรสดผง

ตารางที่ 4-30 สมบัติเชิงหน้าที่ของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสที่ผลิตได้ และเปลือกเสาวรสผง

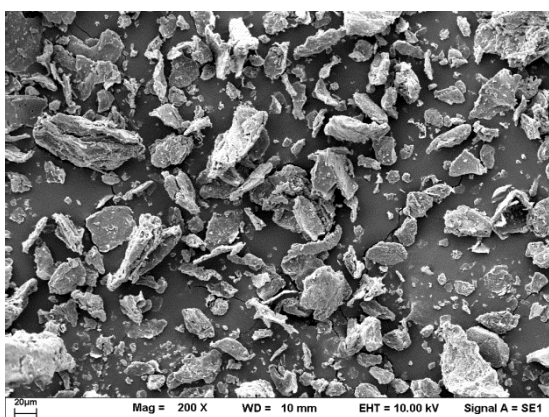
สมบัติเชิงหน้าที่	ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ จากเปลือกเสาวรสที่ผลิตได้	เปลือกเสาวรสผง
ความสามารถในการอุ้มน้ำ (กรัมน้ำ/กรัม น้ำหนักแห้ง)	18.51 ^a \pm 0.21	17.97 ^b \pm 0.24
ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (กรัมน้ำมัน/กรัม น้ำหนักแห้ง)	3.58 ^a \pm 0.12	2.84 ^b \pm 0.20
ความสามารถในการพองตัว (มิลลิลิตร/กรัม น้ำหนักแห้ง)	23.13 ^a \pm 0.74	18.67 ^b \pm 1.13
ความสามารถในการชะลอการดูดซึมน้ำตาล (%GRI)		
ที่เวลา Dialysis 30 นาที	22.72 ^a \pm 2.03	15.14 ^b \pm 1.47
ที่เวลา Dialysis 60 นาที	13.78 ^a \pm 0.80	9.24 ^b \pm 1.22
ที่เวลา Dialysis 120 นาที	9.96 ^a \pm 0.83	7.58 ^b \pm 0.83
ที่เวลา Dialysis 180 นาที	5.82 ^a \pm 1.50	3.67 ^b \pm 1.03

^{a,b} คือ ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

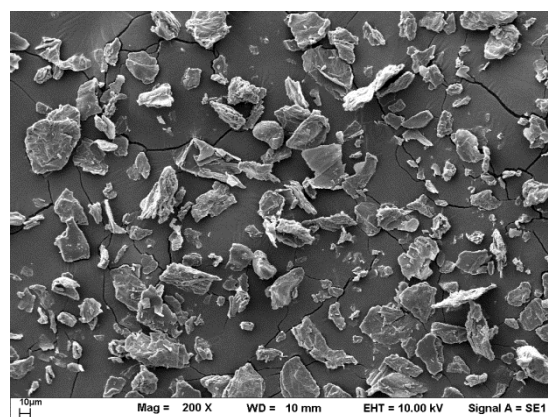


ภาพที่ 4-16 Glucose retardation index (GRI) ของผงโยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรศที่ผลิตได้ และเปลือกเสาวรศผงที่เวลา Dialysis ต่าง ๆ

สำหรับ โครงสร้างทางจุลภาค เมื่อทำการถ่ายภาพผงโยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรศที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับเปลือกเสาวรศผง ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่ กำลังขยาย 200 เท่า แสดงดังภาพที่ 4-17 และที่ กำลังขยาย 500 เท่า แสดงดังภาพที่ 4-18 และสำหรับ ผลการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์และรา แสดงดังตารางที่ 4-31

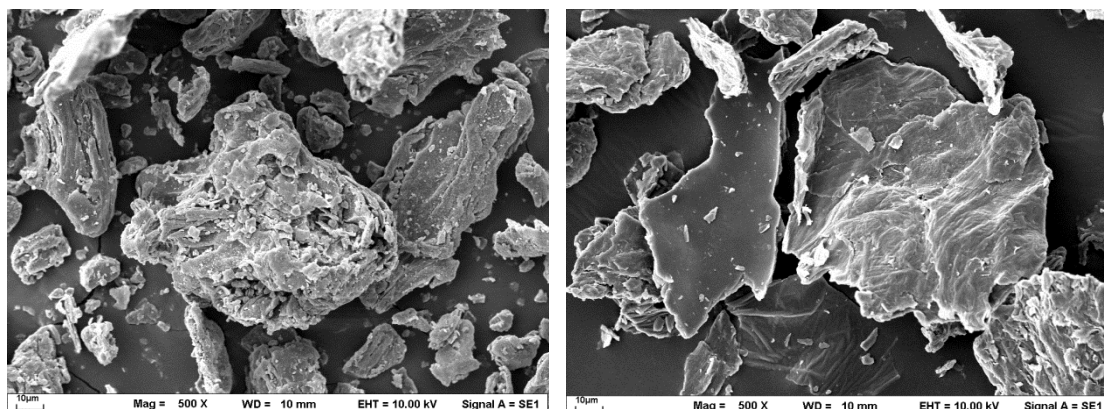


(ก)



(ข)

ภาพที่ 4-17 โครงสร้างทางจุลภาค ที่กำลังขยาย 200 เท่า ของผงโยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรศที่ผลิตได้ (ก) และเปลือกเสาวรศผง (ข)



(ก)

(ข)

ภาพที่ 4-18 โครงสร้างทางจุลภาค ที่กำลังขยาย 500 เท่า ของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ จากเปลือกเสาวรสที่ผลิตได้ (ก) และเปลือกเสาวรสผง (ข)

ตารางที่ 4-31 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์และรา (โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม) ของ ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสที่ผลิตได้ และ เปลือกเสาวรสผง

	ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ จากเปลือกเสาวรสที่ผลิตได้	เปลือกเสาวรสผง
ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด	4.5×10^2	6.0×10^2
ปริมาณยีสต์และรา	$<1.0 \times 10^1$	$<1.0 \times 10^1$

4.5 ผลการศึกษาการใช้ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสเป็น ส่วนผสมของอาหารจำลองสำหรับผู้สูงอายุ

4.5.1 ผลของปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสดและ อุณหภูมิในการเตรียมต่อคุณภาพของน้ำเสาวรสร่วมดื่ม

จากการแปรปัจจัยที่ศึกษา 2 ปัจจัย ได้แก่ ปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูล อิศระจากเปลือกเสาวรสด (1% 2% 3% 4% และ 5%) และอุณหภูมิในการเตรียม (อุณหภูมิห้อง (28 ± 2 องศาเซลเซียส) และ 60 ± 1 องศาเซลเซียส) จัดสิ่งทดลองแบบ Factorial 5×2 ได้เป็น 10 สิ่งทดลอง ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของคุณภาพทางเคมีกายภาพของน้ำเสาวรสร่วมดื่ม ได้แก่ ค่าสี (L^* a^* b^* Hue angle Chroma และ ΔE) ค่าความหนืด และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ทั้งหมด สรุปได้ดังตารางที่ 4-32

ลักษณะปรากฏของน้ำเสาวรสร่วมดื่มที่ไม่มีการเติมผงใยอาหาร (Control) และน้ำ เสาวรสร่วมดื่มที่เติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสด แสดงดังภาพที่ 4-19

สำหรับผลการวิเคราะห์ค่าสี L^* a^* b^* Hue angle Chroma และ ΔE รวมถึงค่าความหนืด และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด แสดงดังตารางที่ 4-33 และ 4-34 ตามลำดับ

ตารางที่ 4-32 สรุปผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของคุณภาพทางเคมีกายภาพของน้ำเสาวร สร่วมดื่ม เมื่อแปรปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือก เสาวรสด (ADFP) และอุณหภูมิในการเตรียม (TEMP)

ค่าคุณภาพ	ADFP [#]	TEMP	ADFP*TEMP
L^*	sig	sig	sig
a^*	sig	sig	sig
b^*	sig	sig	sig
Hue angle	sig	ns	sig
Chroma	sig	sig	sig
ΔE	sig	sig	sig
ความหนืด	sig	sig	sig
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด	sig	sig	sig

sig หมายถึง ปัจจัยที่ศึกษามีอิทธิพลต่อค่าคุณภาพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ns หมายถึง ปัจจัยที่ศึกษาไม่มีอิทธิพลต่อค่าคุณภาพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

[#] ADFP มาจาก Antioxidant dietary fiber powder



ก) Control



ข) ผงใยอาหาร 1%, 28±2°C



ค) ผงใยอาหาร 2%, 28±2°C



ง) ผงใยอาหาร 3%, 28±2°C



จ) ผงใยอาหาร 4%, 28±2°C



ฉ) ผงใยอาหาร 5%, 28±2°C



ช) ผงใยอาหาร 1%, 60±1°C



ซ) ผงใยอาหาร 2%, 60±1°C



ฌ) ผงใยอาหาร 3%, 60±1°C



ญ) ผงใยอาหาร 4%, 60±1°C



ฎ) ผงใยอาหาร 5%, 60±1°C

ภาพที่ 4-19 ลักษณะปรากฏของน้ำเสาวรสปรีพร้อมดื่มที่ไม่มีการเติมผงใยอาหาร (Control) (ก) และน้ำเสาวรสปรีพร้อมดื่มที่ใช้อุณหภูมิกักตุนเตรียม 28±2°C โดยเติมปริมาณผงใยอาหาร 1% (ข) ผงใยอาหาร 2% (ค) ผงใยอาหาร 3% (ง) ผงใยอาหาร 4% (จ) ผงใยอาหาร 5% (ฉ) รวมทั้งน้ำเสาวรสปรีพร้อมดื่มที่ใช้อุณหภูมิกักตุนเตรียม 60±1°C โดยเติมปริมาณผงใยอาหาร 1% (ช) ผงใยอาหาร 2% (ซ) ผงใยอาหาร 3% (ฌ) ผงใยอาหาร 4% (ญ) ผงใยอาหาร 5% (ฎ)

ตารางที่ 4-33 ค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ค่าเฉดสี (Hue angle) ค่าความเข้มของสี (Chroma) และค่าการเปลี่ยนแปลงของสี (ΔE) ของน้ำเสาวรสปพร้อมดื่ม เมื่อแปรปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสป และอุณหภูมิการเตรียม

สิ่ง ทดลอง	ปริมาณ ผงใยอาหาร (%)	อุณหภูมิการเตรียม (องศาเซลเซียส)	ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน					
			L*	a*	b*	Hue angle	Chroma	$\Delta E^{\#}$
1	1	อุณหภูมิห้อง	30.74 ^j \pm 0.02	3.06 ^j \pm 0.22	20.68 ^f \pm 0.50	81.58 ^a \pm 0.77	20.90 ^f \pm 0.47	10.57 ^j \pm 0.04
2	2	(28 \pm 2)	36.37 ^g \pm 0.02	6.50 ^h \pm 0.18	27.72 ^{ab} \pm 0.09	76.80 ^b \pm 0.34	28.47 ^{bc} \pm 0.11	19.23 ^g \pm 0.09
3	3		37.80 ^d \pm 0.03	9.64 ^c \pm 0.07	28.09 ^a \pm 0.35	71.06 ^d \pm 0.33	29.69 ^a \pm 0.31	21.83 ^d \pm 0.15
4	4		37.91 ^c \pm 0.01	10.78 ^c \pm 0.24	27.73 ^{ab} \pm 0.69	68.75 ^e \pm 0.92	29.75 ^a \pm 0.55	22.32 ^c \pm 0.16
5	5		40.51 ^a \pm 0.01	11.15 ^b \pm 0.06	26.22 ^d \pm 0.24	66.97 ^f \pm 0.25	28.50 ^{bc} \pm 0.21	23.97 ^a \pm 0.07
6	1	60 \pm 1	31.80 ⁱ \pm 0.01	3.28 ⁱ \pm 0.06	24.59 ^c \pm 0.22	82.41 ^a \pm 0.17	24.81 ^c \pm 0.21	12.95 ⁱ \pm 0.10
7	2		34.85 ^h \pm 0.02	8.05 ^g \pm 0.11	26.78 ^{cd} \pm 0.19	73.27 ^c \pm 0.28	27.97 ^c \pm 0.17	18.25 ^h \pm 0.08
8	3		37.19 ^f \pm 0.01	8.95 ^f \pm 0.08	27.34 ^{bc} \pm 0.21	71.88 ^d \pm 0.24	28.77 ^b \pm 0.19	20.71 ^f \pm 0.08
9	4		37.61 ^e \pm 0.02	9.94 ^d \pm 0.13	26.48 ^d \pm 0.14	69.43 ^e \pm 0.18	28.28 ^{bc} \pm 0.17	21.16 ^e \pm 0.11
10	5		38.47 ^b \pm 0.02	11.53 ^a \pm 0.25	26.23 ^d \pm 0.32	66.26 ^f \pm 0.71	28.65 ^b \pm 0.20	22.56 ^b \pm 0.05
Control	-	-	21.05 \pm 0.04	-0.51 \pm 0.13	18.45 \pm 0.33	91.59 \pm 0.40	18.45 \pm 0.33	-

^{a,b,c,...} คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

[#] คำนวณค่า ΔE เมื่อเปรียบเทียบกับ Control

Control คือ น้ำเสาวรสปพร้อมดื่มที่ไม่มีการเติมผงใยอาหาร

ตารางที่ 4-34 ค่าความหนืด และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำเสาวรสปพร้อมดื่ม เมื่อแปรปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจาก เปลือกเสาวรสป และอุณหภูมิการเตรียม

สิ่ง ทดลอง	ปริมาณ ผงใยอาหาร (%)	อุณหภูมิการเตรียม (องศาเซลเซียส)	ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
			ความหนืด (cP)	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ($^{\circ}$ Brix)
1	1	อุณหภูมิห้อง	$9.82^h \pm 0.08$	$17.47^g \pm 0.12$
2	2	(28 ± 2)	$14.62^g \pm 0.28$	$17.73^f \pm 0.12$
3	3		$29.48^f \pm 0.10$	$18.53^c \pm 0.12$
4	4		$60.34^d \pm 0.14$	$18.60^{bc} \pm 0.00$
5	5		$211.45^b \pm 2.50$	$18.60^{bc} \pm 0.00$
6	1	60 ± 1	$10.66^h \pm 0.27$	$18.13^c \pm 0.12$
7	2		$13.64^g \pm 0.33$	$18.33^d \pm 0.12$
8	3		$31.37^c \pm 0.16$	$18.73^b \pm 0.12$
9	4		$100.38^c \pm 1.15$	$19.60^a \pm 0.00$
10	5		$220.62^a \pm 1.61$	$19.60^a \pm 0.00$
Control	-	-	6.07 ± 0.20	17.00 ± 0.00

^{a,b,c,...} คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

Control คือ น้ำเสาวรสปพร้อมดื่มที่ไม่มีการเติมผงใยอาหาร

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี Quantitative Descriptive Analysis (QDA) โดยใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 8 คน ซึ่งร่วมกันคิดคำศัพท์ที่ใช้อธิบายคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของตัวอย่าง และคัดเลือกคำศัพท์เพื่อใช้ในการประเมินผลทางประสาทสัมผัส โดยคัดเลือกคำศัพท์ได้ 7 คำศัพท์ ได้แก่ สีส้มแดง การตกตะกอน กลิ่นเสาวรส รสหวาน รสเปรี้ยว ความหนืดในปาก และความサクลิ้น แสดงดังตารางที่ 4-35 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) สำหรับคะแนนความเข้มข้นคุณลักษณะน้ำเสาวรสร่วมคัมจากการประเมินด้วยวิธี QDA สรุปได้ดังตารางที่ 4-36 สำหรับผลการประเมินทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี QDA แสดงดังตารางที่ 4-37

ผลการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี Scoring Test โดยใช้ผู้ทดสอบกึ่งฝึกฝน จำนวน 30 คน โดยเสนอตัวอย่างน้ำเสาวรสร่วมคัมที่เตรียมได้ จากนั้นประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัส โดยวิธีการให้คะแนนตามความหมายที่กำหนด 1 คะแนน คือ ความเข้มข้นคุณลักษณะนั้นน้อยที่สุด และ 5 คะแนน คือ ความเข้มข้นคุณลักษณะนั้นมากที่สุด เสนอตัวอย่างครั้งละ 5 ตัวอย่าง โดยคุณลักษณะที่ทดสอบได้แก่ การตกตะกอน ความหนืดในปาก ความサクลิ้น และความง่ายในการกลืน ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) สำหรับคะแนนความเข้มข้นคุณลักษณะน้ำเสาวรสร่วมคัมจากการประเมินด้วยวิธี Scoring Test สรุปได้ดังตารางที่ 4-38 และผลการประเมินความเข้มข้นคุณลักษณะจากการประเมินทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี Scoring Test แสดงดังตารางที่ 4-39

สำหรับผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point hedonic scale โดยใช้ผู้ทดสอบเป็นผู้สูงอายุ (อายุตั้งแต่ 60 ปี ขึ้นไป) จำนวน 30 คน โดยเสนอตัวอย่างน้ำเสาวรสร่วมคัมที่คัดเลือกได้จำนวน 5 ตัวอย่าง โดยวิธีการให้คะแนนความชอบตามความหมายที่กำหนด 1 คะแนน คือ ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 คะแนน คือ ชอบมากที่สุด ประเมินความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ความง่ายในการกลืน และความชอบโดยรวม ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) สำหรับคะแนนความชอบน้ำเสาวรสร่วมคัมจากการประเมินด้วยวิธี 9-point hedonic scale สรุปได้ดังตารางที่ 4-40 และผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point hedonic scale แสดงดังตารางที่ 4-41

ตารางที่ 4-35 คำศัพท์ ความหมาย และการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี QDA

คำศัพท์	ความหมาย	การทดสอบ
สีส้มแดง	สีส้มแดงของน้ำเสาวรสปพร้อมดื่ม	ผู้ทดสอบพิจารณาความเข้มสีส้มแดงของน้ำเสาวรสปพร้อมดื่ม
การตกตะกอน	ลักษณะตะกอนของผงใยอาหารในน้ำเสาวรสปพร้อมดื่ม	ผู้ทดสอบพิจารณาลักษณะปรากฏการณ์การตกตะกอนของผงใยอาหารในน้ำเสาวรสปพร้อมดื่ม
กลิ่นเสาวรสป	กลิ่นเสาวรสปของน้ำเสาวรสปพร้อมดื่ม	ผู้ทดสอบพิจารณาความเข้มกลิ่น โดยการดมกลิ่นเสาวรสปในน้ำเสาวรสปพร้อมดื่ม
รสหวาน	รสหวานของน้ำเสาวรสปพร้อมดื่ม	ผู้ทดสอบพิจารณารสหวาน โดยการชิมน้ำเสาวรสปพร้อมดื่ม และประเมินความเข้มของรสหวาน
รสเปรี้ยว	รสเปรี้ยวของน้ำเสาวรสปพร้อมดื่ม	ผู้ทดสอบพิจารณารสเปรี้ยว โดยการชิมน้ำเสาวรสปพร้อมดื่ม และประเมินความเข้มของรสเปรี้ยว
ความหนืดในปาก	ความหนืดของน้ำเสาวรสปพร้อมดื่ม	ผู้ทดสอบพิจารณาความหนืด เมื่อน้ำเสาวรสปอยู่ในปากก่อนการกลืน
ความสากลิ้น	ความรู้สึกสากลิ้น เมื่อน้ำเสาวรสปพร้อมดื่มอยู่ในปากจนกระทั่งกลืน	ไม่กำหนดสถานะในทดสอบ ผู้ทดสอบสามารถประเมินความสากลิ้นที่เวลาใด ๆ ระหว่างการรับประทานน้ำเสาวรสปพร้อมดื่ม

ตารางที่ 4-36 สรุปผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของความเข้มข้นน้ำเสาวรสร่วม
 คัดจากการทดสอบโดยวิธี QDA เมื่อแปรปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้าน
 อนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรศ (ADFP) และอุณหภูมิการเตรียม (TEMP)

คุณลักษณะ	ADFP [#]	TEMP	ADFP*TEMP
สีส้มแดง	sig	sig	sig
การตกตะกอน	sig	sig	sig
กลิ่นเสาวรศ	sig	ns	ns
รสหวาน	sig	sig	ns
รสเปรี้ยว	sig	sig	sig
ความหนืดในปาก	sig	ns	sig
ความサクลิ้น	sig	sig	sig

sig หมายถึง ปัจจัยที่ศึกษามีอิทธิพลต่อค่าคุณภาพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ns หมายถึง ปัจจัยที่ศึกษาไม่มีอิทธิพลต่อค่าคุณภาพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

[#] ADFP มาจาก Antioxidant dietary fiber powder

ตารางที่ 4-37 ค่าความเข้มของคุณลักษณะจากการทดสอบโดยวิธี QDA ของน้ำเสาวรสปพร้อมดื่ม เมื่อแปรปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ จากเปลือกเสาวรสป และอุณหภูมิการเตรียม

สิ่ง ทดลอง	ปริมาณ ผงใยอาหาร (%)	อุณหภูมิ การเตรียม (องศาเซลเซียส)	ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน						
			สีส้มแดง	การ ตกตะกอน	กลิ่น เสาวรสป ^{ns}	รสหวาน ^{ns}	รสเปรี้ยว	ความหนืด ในปาก	ความ สากลิ้น
1	1	อุณหภูมิห้อง	2.94 ⁱ \pm 0.07	2.95 ⁱ \pm 0.05	12.31 \pm 0.17	3.00 \pm 0.00	6.53 ^a \pm 0.02	3.84 ^g \pm 0.01	1.75 ^g \pm 0.24
2	2	(28 \pm 2)	4.41 ^h \pm 0.18	4.52 ^g \pm 0.04	12.31 \pm 0.17	3.94 \pm 0.20	5.50 ^c \pm 0.19	4.70 ^f \pm 0.06	4.73 ^f \pm 0.14
3	3		6.47 ^e \pm 0.16	5.70 ^f \pm 0.09	12.31 \pm 0.11	4.06 \pm 0.20	5.34 ^c \pm 0.13	6.32 ^e \pm 0.23	6.26 ^d \pm 0.18
4	4		7.62 ^d \pm 0.13	8.14 ^d \pm 0.09	12.44 \pm 0.22	4.47 \pm 0.10	4.11 ^c \pm 0.13	7.41 ^d \pm 0.19	6.92 ^{bc} \pm 0.07
5	5		12.27 ^b \pm 0.58	10.77 ^b \pm 0.18	12.56 \pm 0.19	4.56 \pm 0.19	4.14 ^c \pm 0.06	12.23 ^a \pm 0.29	7.90 ^a \pm 0.17
6	1	60 \pm 1	2.38 ⁱ \pm 0.27	2.08 ^j \pm 0.12	12.27 \pm 0.14	3.28 \pm 0.11	5.93 ^b \pm 0.16	3.17 ^h \pm 0.21	1.44 ^g \pm 0.11
7	2		4.67 ^g \pm 0.07	4.50 ^h \pm 0.27	12.40 \pm 0.20	3.90 \pm 0.20	4.00 ^{ef} \pm 0.03	4.83 ^f \pm 0.04	4.94 ^f \pm 0.32
8	3		5.75 ^f \pm 0.13	6.52 ^e \pm 0.14	12.40 \pm 0.25	4.19 \pm 0.20	3.81 ^f \pm 0.15	7.28 ^d \pm 0.04	5.58 ^e \pm 0.35
9	4		11.32 ^c \pm 0.17	8.67 ^c \pm 0.14	12.42 \pm 0.24	4.50 \pm 0.01	4.45 ^d \pm 0.18	8.00 ^c \pm 0.07	6.55 ^{cd} \pm 0.05
10	5		13.52 ^a \pm 0.38	12.27 ^a \pm 0.31	12.46 \pm 0.25	4.61 \pm 0.03	4.52 ^d \pm 0.17	11.81 ^b \pm 0.29	7.17 ^b \pm 0.36
Control	-	-	0.60 \pm 0.12	0.31 \pm 0.00	14.73 \pm 0.04	3.10 \pm 0.13	6.57 \pm 0.04	0.00 \pm 0.00	0.00 \pm 0.00

^{a,b,c,...} คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

Control คือ น้ำเสาวรสปพร้อมดื่มที่ไม่มีการเติมผงใยอาหาร * คะแนนจากการทดสอบด้วยวิธี QDA คือคะแนนตั้งแต่ 0-15

ตารางที่ 4-38 สรุปผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของความเข้มข้นลักษณะน้ำเสาวรศ จากการทดสอบ โดยวิธี Scoring Test เมื่อแปรปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรศ (ADFP) และอุณหภูมิการเตรียม (TEMP)

ลักษณะ	ADFP [#]	TEMP	ADFP*TEMP
การตกตะกอน	sig	ns	sig
ความหนืดในปาก	sig	ns	sig
ความสากลิ้น	sig	sig	sig
ความง่ายในการกลืน	sig	sig	sig

sig หมายถึง ปัจจัยที่ศึกษามีอิทธิพลต่อค่าคุณภาพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

[#] ADFP มาจาก Antioxidant dietary fiber powder

ตารางที่ 4-39 ค่าความเข้มของคุณลักษณะจากการทดสอบโดยวิธี Scoring ของน้ำเสาวรสปพร้อมดื่ม เมื่อแปรปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสป และอุณหภูมิการเตรียม

สิ่ง ทดลอง	ปริมาณ ผงใยอาหาร (%)	อุณหภูมิการเตรียม (องศาเซลเซียส)	ค่าเฉลี่ย* ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
			การตกตะกอน	ความหนืดในปาก	ความสากลิ้น	ความง่ายในการกลืน
1	1	อุณหภูมิห้อง	2.25 ^c ± 0.46	1.75 ^f ± 0.71	2.25 ^c ± 0.46	4.13 ^b ± 0.35
2	2	(28 ± 2)	3.00 ^d ± 0.00	2.25 ^{ef} ± 0.71	2.88 ^d ± 0.35	3.50 ^c ± 0.53
3	3		3.50 ^{bcd} ± 0.53	3.25 ^{bc} ± 0.89	3.88 ^b ± 0.64	2.50 ^d ± 0.53
4	4		4.00 ^{ab} ± 0.53	3.75 ^b ± 0.89	4.00 ^b ± 0.00	2.13 ^d ± 0.35
5	5		4.50 ^a ± 0.53	4.87 ^a ± 0.35	4.50 ^a ± 0.53	1.00 ^e ± 0.00
6	1	60 ± 1	1.63 ^f ± 0.52	1.00 ^g ± 0.00	1.63 ^f ± 0.52	4.75 ^a ± 0.46
7	2		3.38 ^{cd} ± 0.52	2.50 ^{de} ± 0.76	3.00 ^{cd} ± 0.00	3.38 ^c ± 0.52
8	3		3.38 ^{cd} ± 0.52	3.00 ^{cd} ± 0.53	3.38 ^c ± 0.52	3.13 ^c ± 0.35
9	4		3.75 ^{bc} ± 0.46	3.63 ^{bc} ± 0.74	3.88 ^b ± 0.35	2.25 ^d ± 0.46
10	5		4.50 ^a ± 0.53	4.87 ^a ± 0.35	4.63 ^a ± 0.52	1.13 ^e ± 0.35

a,b,c,... คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

^{ns} คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≥0.05)

* คะแนนจากการทดสอบด้วยวิธี Scoring Test คือคะแนนตั้งแต่ 1-5

ตารางที่ 4-40 สรุปผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของความชอบน้ำเสาวรส เมื่อแปรปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส (ADFP) และอุณหภูมิการเตรียม (TEMP)

ลักษณะ	ADFP [#]	TEMP	ADFP*TEMP
ความชอบลักษณะปรากฏ	sig	sig	sig
ความชอบสี	ns	ns	sig
ความชอบกลิ่น	sig	ns	sig
ความชอบรสชาติ	ns	sig	sig
ความชอบด้านการกลืน	ns	ns	sig
ความชอบโดยรวม	ns	sig	sig

sig หมายถึง ปัจจัยที่ศึกษามีอิทธิพลต่อค่าคุณภาพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ns หมายถึง ปัจจัยที่ศึกษาไม่มีอิทธิพลต่อค่าคุณภาพอย่างนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

[#] ADFP มาจาก Antioxidant dietary fiber powder

ตารางที่ 4-41 คะแนนความชอบจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point hedonic scale ของน้ำเสาวรสปพร้อมดื่ม เมื่อแปรปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสป และอุณหภูมิการเตรียมที่แตกต่างกัน

สิ่งทดลองที่	ปริมาณ ผงใยอาหาร (%)	อุณหภูมิการเตรียม (องศาเซลเซียส)	ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน					
			ความชอบ ลักษณะปรากฏ	ความชอบ สี	ความชอบ กลิ่น	ความชอบ รสชาติ	ความชอบ ด้านการกลืน	ความชอบ โดยรวม
1	1	28 \pm 2	6.53 ^b \pm 0.90	7.03 ^a \pm 1.16	6.80 ^a \pm 0.76	7.43 ^{ab} \pm 0.77	7.50 ^a \pm 0.78	7.20 ^b \pm 0.55
2	2	28 \pm 2	6.43 ^b \pm 0.82	6.17 ^c \pm 1.09	5.97 ^b \pm 0.96	6.67 ^c \pm 0.84	6.97 ^b \pm 0.67	6.83 ^b \pm 0.91
3	1	60 \pm 1	6.63 ^b \pm 0.96	6.37 ^{bc} \pm 0.96	6.60 ^a \pm 0.67	7.17 ^{ab} \pm 1.05	7.27 ^{ab} \pm 0.83	7.07 ^b \pm 0.69
4	2	60 \pm 1	7.30 ^a \pm 0.99	6.87 ^{ab} \pm 1.01	6.47 ^a \pm 1.14	7.63 ^a \pm 1.07	7.33 ^{ab} \pm 1.06	7.60 ^a \pm 0.93
5	3	60 \pm 1	6.37 ^b \pm 1.07	6.53 ^{abc} \pm 0.82	6.77 ^a \pm 0.94	7.03 ^{bc} \pm 0.76	7.10 ^{ab} \pm 0.88	7.00 ^b \pm 0.64

^{a,b,c,...} คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

4.5.2 ผลของปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสและการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ต่อคุณภาพของเต้าหู้เย็น

จากการแปรปัจจัยที่ศึกษา 2 ปัจจัย ได้แก่ ปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส (2% 4% 6% 8% และ 10%) และการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ (แคปปีการาจีนแนน (κ -carragenan) 1.0% และวุ้น (Agar) 0.5%) จัดสิ่งทดลองแบบ Factorial 5×2 ได้เป็น 10 สิ่งทดลอง ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของคุณภาพทางกายภาพของเต้าหู้เย็น ได้แก่ ค่าสี (L^* a^* b^* Hue angle, Chroma และ ΔE) และลักษณะเนื้อสัมผัสที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Texture profile analysis (Hardness Adhesiveness Springiness Cohesiveness Gumminess Chewiness และ Resilience) ทั้งหมด สรุปได้ดังตารางที่ 4-42

ตารางที่ 4-42 สรุปผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของคุณภาพทางกายภาพของเต้าหู้เย็น เมื่อแปรปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส (ADFP) และการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ (Hydrocolloid) ที่แตกต่างกัน

ค่าคุณภาพ	ADFP [#]	Hydrocolloid	ADFP [#] * Hydrocolloid
L^*	sig	sig	sig
a^*	sig	sig	sig
b^*	sig	sig	sig
Hue angle	sig	sig	sig
Chroma	sig	sig	sig
ΔE	sig	sig	sig
Hardness	sig	sig	sig
Adhesiveness	sig	sig	sig
Springiness	ns	sig	sig
Cohesiveness	sig	sig	sig
Gumminess	sig	sig	sig
Chewiness	ns	sig	sig
Resilience	sig	sig	sig

sig หมายถึง ปัจจัยที่ศึกษามีอิทธิพลต่อค่าคุณภาพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ns หมายถึง ปัจจัยที่ศึกษาไม่มีอิทธิพลต่อค่าคุณภาพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

[#] ADFP มาจาก Antioxidant dietary fiber powder



ก) แคลป้า-คาราจีแนน 1.0% ข) แคลป้า-คาราจีแนน 1.0% ค) แคลป้า-คาราจีแนน 1.0% ง) แคลป้า-คาราจีแนน 1.0% จ) แคลป้า-คาราจีแนน 1.0% ฉ) แคลป้า-คาราจีแนน 1.0%
 ผงใยอาหาร 2% ผงใยอาหาร 4% ผงใยอาหาร 6% ผงใยอาหาร 8% ผงใยอาหาร 10%



ช) วุ้น 0.5% ซ) วุ้น 0.5% ฌ) วุ้น 0.5% ญ) วุ้น 0.5% ฎ) วุ้น 0.5% ฏ) วุ้น 0.5%
 ผงใยอาหาร 2% ผงใยอาหาร 4% ผงใยอาหาร 6% ผงใยอาหาร 8% ผงใยอาหาร 10%

ภาพที่ 4-20 ลักษณะปรากฏของเต้าหู้ยีนสูตรแคลป้า-คาราจีแนนที่ไม่มีการเติมผงใยอาหาร (ก) และเต้าหู้ยีนสูตรแคลป้า-คาราจีแนนที่มีการเติมผงใยอาหาร 2% (ข) ผงใยอาหาร 4% (ค) ผงใยอาหาร 6% (ง) ผงใยอาหาร 8% (จ) ผงใยอาหาร 10% (ฉ) รวมทั้งเต้าหู้ยีนสูตรวุ้นที่ไม่มีการเติมผงใยอาหาร (ช) และเต้าหู้ยีนสูตรวุ้นที่มีการเติมผงใยอาหาร 2% (ซ) ผงใยอาหาร 4% (ฌ) ผงใยอาหาร 6% (ญ) ผงใยอาหาร 8% (ฎ) ผงใยอาหาร 10% (ฏ)

ลักษณะปรากฏของเต้าหู้ยีสต์รูปแท่งแป้น-คาราจีแนนที่ไม่เติมและเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส รวมทั้งเต้าหู้ยีสต์รูปแท่งที่ไม่เติมและเติมผงใยอาหาร ที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส แสดงดังภาพที่ 4-20

สำหรับผลการวิเคราะห์ค่าสี L^* a^* b^* Hue angle Chroma และ ΔE รวมถึงลักษณะเนื้อสัมผัสที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Texture profile analysis (Hardness Adhesiveness Springiness Cohesiveness Gumminess Chewiness และ Resilience) แสดงดังตารางที่ 4-43 ถึง 4-45

ตารางที่ 4-43 ค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ค่าเฉดสี (Hue angle) ค่าความเข้มของสี (Chroma) และค่าการเปลี่ยนแปลงของสี (ΔE) ของเต้าหู้เย็น เมื่อแปรปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสและการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์

สิ่ง ทดลอง	ปริมาณ ใยอาหารผง (%)	การใช้สารไฮโดร คอลลอยด์	ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน					
			L*	a*	b*	Hue angle	Chroma	$\Delta E^{\#}$
1	2	1%K-carragenan	67.98 ^b \pm 0.05	0.71 ^h \pm 0.03	16.00 ^{ef} \pm 0.15	87.46 ^b \pm 0.13	16.01 ^c \pm 0.15	12.71 ^h \pm 0.11
2	4	1%K-carragenan	64.62 ^d \pm 0.04	2.16 ^f \pm 0.12	16.32 ^c \pm 0.18	82.46 ^d \pm 0.48	16.46 ^d \pm 0.16	16.15 ^f \pm 0.07
3	6	1%K-carragenan	60.39 ^f \pm 0.11	3.53 ^d \pm 0.04	17.62 ^{cd} \pm 0.21	78.68 ^f \pm 0.16	17.97 ^c \pm 0.21	20.74 ^d \pm 0.17
4	8	1%K-carragenan	59.70 ^g \pm 0.17	4.31 ^c \pm 0.03	18.30 ^b \pm 0.06	76.75 ^g \pm 0.10	18.80 ^b \pm 0.06	21.86 ^c \pm 0.14
5	10	1%K-carragenan	59.23 ^h \pm 0.02	5.17 ^a \pm 0.03	17.43 ^d \pm 0.27	73.49 ⁱ \pm 0.30	18.18 ^c \pm 0.26	22.28 ^b \pm 0.07
6	2	0.5%Agar	70.77 ^a \pm 0.07	0.23 ⁱ \pm 0.04	13.47 ^g \pm 0.09	89.01 ^a \pm 0.16	13.47 ^f \pm 0.09	9.15 ⁱ \pm 0.08
7	4	0.5%Agar	66.54 ^c \pm 0.16	1.17 ^g \pm 0.03	15.74 ^f \pm 0.16	85.76 ^c \pm 0.12	15.78 ^e \pm 0.16	13.95 ^g \pm 0.20
8	6	0.5%Agar	63.71 ^c \pm 0.09	2.72 ^c \pm 0.05	16.32 ^c \pm 0.09	80.54 ^c \pm 0.21	16.54 ^d \pm 0.08	17.12 ^c \pm 0.09
9	8	0.5%Agar	58.95 ⁱ \pm 0.18	4.23 ^c \pm 0.04	17.81 ^c \pm 0.44	76.64 ^g \pm 0.28	18.31 ^c \pm 0.44	22.30 ^b \pm 0.32
10	10	0.5%Agar	58.18 ⁱ \pm 0.01	5.02 ^b \pm 0.05	19.03 ^a \pm 0.14	75.22 ^h \pm 0.23	19.67 ^a \pm 0.13	23.69 ^a \pm 0.04

^{a,b,c,...} คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

[#] คำนวณค่า ΔE เมื่อเปรียบเทียบกับ Control ที่ใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ชนิดเดียวกัน

Control คือ เต้าหู้เย็นที่ไม่เติมผงใยอาหาร (เมื่อใช้ K-carragenan ค่าสี L* = 78.32 a* = -3.49 และ b* = 9.91 เมื่อใช้ Agar ค่าสี L* = 78.37 a* = -3.47 และ b* = 10.02)

ตารางที่ 4-44 ลักษณะเนื้อสัมผัสจากการวิเคราะห์ด้วยวิธี TPA ของเต้าหู้เย็น เมื่อแปรปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส และการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์

สิ่งทดลองที่	ปริมาณ ใยอาหารผง (%)	การใช้สาร ไฮโดรคอลลอยด์	ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
			Hardness (g)	Adhesiveness (g.sec)	Springiness	Cohesiveness
1	2	1%K-carragenan	1616.834 ^b \pm 56.011	-232.403 ^a \pm 21.095	0.681 ^a \pm 0.051	0.295 ^b \pm 0.020
2	4	1%K-carragenan	1629.223 ^b \pm 112.819	-357.052 ^{abc} \pm 46.133	0.531 ^{bc} \pm 0.092	0.196 ^c \pm 0.034
3	6	1%K-carragenan	1818.834 ^a \pm 86.544	-412.792 ^{bcd} \pm 54.684	0.575 ^{abc} \pm 0.052	0.184 ^c \pm 0.010
4	8	1%K-carragenan	1922.523 ^a \pm 127.380	-542.451 ^d \pm 38.145	0.609 ^{ab} \pm 0.049	0.211 ^c \pm 0.010
5	10	1%K-carragenan	649.419 ^d \pm 127.301	-1434.679 ^e \pm 38.998	0.691 ^a \pm 0.080	0.475 ^a \pm 0.061
6	2	0.5%Agar	1360.859 ^c \pm 44.927	-240.267 ^a \pm 14.348	0.603 ^{ab} \pm 0.038	0.177 ^c \pm 0.031
7	4	0.5%Agar	1466.739 ^{bc} \pm 66.547	-319.756 ^{ab} \pm 19.468	0.646 ^{ab} \pm 0.067	0.198 ^c \pm 0.031
8	6	0.5%Agar	1485.262 ^{bc} \pm 30.711	-505.457 ^{cd} \pm 45.692	0.582 ^{abc} \pm 0.044	0.229 ^c \pm 0.009
9	8	0.5%Agar	1608.629 ^b \pm 34.379	-710.874 ^c \pm 52.095	0.563 ^{abc} \pm 0.085	0.220 ^c \pm 0.032
10	10	0.5%Agar	1338.034 ^c \pm 114.253	-1192.881 ^f \pm 234.311	0.463 ^c \pm 0.070	0.320 ^b \pm 0.070

^{a,b,c...} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางที่ 4-45 ลักษณะเนื้อสัมผัสจากการวิเคราะห์ด้วยวิธี TPA ของเต้าหู้เย็น เมื่อแปรปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส และการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์

สิ่งทดลองที่	ปริมาณ ใยอาหารผง (%)	การใช้สารไฮโดร คอลลอยด์	ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
			Gumminess (g)	Chewiness (g)	Resilience
1	2	1% K-carragenan	476.530 ^a \pm 43.553	326.655 ^a \pm 51.456	0.064 ^a \pm 0.003
2	4	1% K-carragenan	317.676 ^c \pm 33.750	170.363 ^c \pm 46.975	0.035 ^b \pm 0.004
3	6	1% K-carragenan	333.814 ^c \pm 31.332	191.202 ^{cd} \pm 12.412	0.026 ^{bc} \pm 0.002
4	8	1% K-carragenan	407.258 ^{ab} \pm 41.584	247.763 ^{bc} \pm 30.331	0.024 ^c \pm 0.002
5	10	1% K-carragenan	304.517 ^{cd} \pm 87.777	212.292 ^{bc} \pm 99.214	0.027 ^{bc} \pm 0.003
6	2	0.5% Agar	240.814 ^d \pm 34.929	146.208 ^c \pm 28.993	0.029 ^{bc} \pm 0.005
7	4	0.5% Agar	289.444 ^{cd} \pm 37.945	185.933 ^{bc} \pm 21.223	0.027 ^{bc} \pm 0.011
8	6	0.5% Agar	340.547 ^{bc} \pm 12.314	197.901 ^{bc} \pm 8.450	0.026 ^{bc} \pm 0.002
9	8	0.5% Agar	352.382 ^{bc} \pm 42.859	195.977 ^{bc} \pm 9.133	0.024 ^c \pm 0.003
10	10	0.5% Agar	408.431 ^{ab} \pm 130.340	189.361 ^{bc} \pm 38.996	0.026 ^{bc} \pm 0.004

^{a,b,c,...} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี Quantitative Descriptive Analysis (QDA) โดยใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 8 คน ซึ่งร่วมกันคิดคำศัพท์ที่ใช้อธิบายคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของตัวอย่าง และคัดเลือกคำศัพท์เพื่อใช้ในการประเมินผลทางประสาทสัมผัส โดยคัดเลือกคำศัพท์ได้ 6 คำศัพท์ ได้แก่ สีน้ำตาล ความเป็นเนื้อเดียวกัน การแยกตัวของน้ำ ความแข็ง ความสากลิ้น และความง่ายในการกลืน โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 4-46 สำหรับผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) สำหรับคะแนนความเข้มคุณลักษณะเด้าหู้เย็นจากการประเมินด้วยวิธี QDA สรุปได้ดังตารางที่ 4-47 สำหรับผลการประเมินทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี QDA แสดงดังตารางที่ 4-48

ตารางที่ 4-46 คำศัพท์ ความหมาย และการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี QDA

คำศัพท์	ความหมาย	การทดสอบ
สีน้ำตาล	สีน้ำตาลของเนื้อเด้าหู้เย็น	ผู้ทดสอบพิจารณาความเข้มสีน้ำตาลของเด้าหู้เย็น
ความเป็นเนื้อเดียวกัน	ลักษณะปรากฏด้านความเป็นเนื้อเดียวกันของเนื้อเด้าหู้เย็นกับผงใยอาหารที่เติม	ผู้ทดสอบพิจารณาลักษณะปรากฏด้านความเป็นเนื้อเดียวกันของเด้าหู้เย็นกับผงใยอาหารจากการมองด้วยตาเปล่า
การแยกตัวของน้ำ	ปริมาณน้ำที่แยกตัวออกมาจากเด้าหู้เย็น (การเกิด Syneresis)	ผู้ทดสอบพิจารณาปริมาณน้ำที่แยกตัวออกมาจากเด้าหู้เย็นเมื่อใช้ช้อนตัก
ความแข็ง	แรงกดที่ใช้ในการทำให้เด้าหู้เย็นเสียรูปร่าง	ผู้ทดสอบวางตัวอย่างระหว่างลิ้นและเพดานปาก และบีบตัวอย่าง โดยประเมินการใช้แรงที่ทำให้เด้าหู้เย็นเสียรูปร่างไป
ความสากลิ้น	ความรู้สึกสากลิ้นเมื่อเด้าหู้เย็นอยู่ในปากขณะรับประทาน	ไม่ได้กำหนดเงื่อนไขในการเคี้ยว และกลืน ผู้ทดสอบสามารถประเมินความสากลิ้นที่เวลาใด ๆ ระหว่างการรับประทานเด้าหู้เย็น
ความง่ายในการกลืน	ความรู้สึกสะดวกเมื่อต้องกลืนเด้าหู้เย็น	ไม่กำหนดสถานะในการเคี้ยวและกลืน ผู้ทดสอบสามารถประเมินความง่ายในการกลืนที่เวลาใด ๆ ระหว่างการรับประทานเด้าหู้เย็น

ตารางที่ 4-47 สรุปผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของความเข้มคุณลักษณะตัวผู้เซ็น จากการประเมินด้วยวิธี QDA เมื่อแปรปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส (ADFP) และการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ (Hydrocolloid)

คุณลักษณะ	ADFP [#]	Hydrocolloid	ADFP [#] * Hydrocolloid
สีน้ำตาล	sig	sig	sig
ความเป็นเนื้อเดียวกัน	sig	sig	sig
การแยกตัวของน้ำ	sig	sig	sig
ความแข็ง	sig	sig	sig
ความสากลิ้น	sig	sig	sig
ความง่ายในการกลืน	sig	ns	sig

sig หมายถึง ปัจจัยที่ศึกษามีอิทธิพลต่อค่าคุณภาพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ns หมายถึง ปัจจัยที่ศึกษาไม่มีอิทธิพลต่อค่าคุณภาพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

[#] ADFP มาจาก Antioxidant dietary fiber powder

ตารางที่ 4-48 ค่าความเข้มของคุณลักษณะจากการทดสอบด้วยวิธี QDA ของเต้าหู้ยี้ เมื่อแปรปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส และการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์

สิ่งทดลองที่	ปริมาณใยอาหารผง (%)	การใช้สารไฮโดรคอลลอยด์	ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน					
			สีน้ำตาล	ความเป็นเนื้อเดียวกัน	การแยกตัวของน้ำ	ความแข็ง	ความสากลิ้น	ความง่ายในการกลืน
1	2	1% κ -carragenan	1.96 ^h \pm 0.10	2.86 ^g \pm 0.09	13.40 ^{ab} \pm 0.04	3.08 ^c \pm 0.06	5.02 ^h \pm 0.04	10.20 ^b \pm 0.04
2	4	1% κ -carragenan	3.82 ^f \pm 0.26	3.90 ^f \pm 0.10	12.52 ^c \pm 0.10	4.59 ^d \pm 0.07	6.43 ^f \pm 0.08	9.23 ^c \pm 0.13
3	6	1% κ -carragenan	6.27 ^d \pm 0.03	6.00 ^d \pm 0.15	11.29 ^d \pm 0.16	5.67 ^c \pm 0.12	7.80 ^d \pm 0.11	8.30 ^e \pm 0.10
4	8	1% κ -carragenan	7.15 ^c \pm 0.09	8.39 ^b \pm 0.09	7.44 ^e \pm 0.06	7.57 ^b \pm 0.38	9.51 ^c \pm 0.06	6.96 ^g \pm 0.14
5	10	1% κ -carragenan	9.13 ^a \pm 0.11	10.72 ^a \pm 0.06	3.03 ^g \pm 0.12	2.15 ^g \pm 0.18	10.83 ^b \pm 0.04	1.90 ^h \pm 0.09
6	2	0.5% Agar	1.00 ⁱ \pm 0.11	2.92 ^g \pm 0.27	13.56 ^a \pm 0.11	2.61 ^f \pm 0.03	4.44 ⁱ \pm 0.10	10.83 ^a \pm 0.22
7	4	0.5% Agar	2.98 ^g \pm 0.04	4.74 ^c \pm 0.10	13.08 ^b \pm 0.04	4.33 ^d \pm 0.21	5.68 ^g \pm 0.10	8.62 ^d \pm 0.08
8	6	0.5% Agar	4.96 ^c \pm 0.13	6.35 ^c \pm 0.02	12.42 ^c \pm 0.10	5.53 ^c \pm 0.20	7.41 ^e \pm 0.18	7.24 ^f \pm 0.21
9	8	0.5% Agar	6.23 ^d \pm 0.16	8.59 ^b \pm 0.19	6.94 ^f \pm 0.40	8.80 ^a \pm 0.44	9.61 ^c \pm 0.19	8.38 ^e \pm 0.04
10	10	0.5% Agar	8.13 ^b \pm 0.06	10.77 ^a \pm 0.19	2.75 ^g \pm 0.43	3.08 ^e \pm 0.06	11.58 ^a \pm 0.38	1.60 ⁱ \pm 0.07

^{a,b,c...} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

* คะแนนจากการทดสอบด้วยวิธี QDA คือคะแนนตั้งแต่ 0-15

สำหรับผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point hedonic scale โดยใช้ผู้ทดสอบเป็นผู้สูงอายุ (อายุตั้งแต่ 60 ปี ขึ้นไป) จำนวน 30 คน เสนอตัวอย่าง โดยการแบ่งชิมครั้งละ 5 ตัวอย่าง เพื่อลดความเมื่อยล้าทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบ โดยวิธีการให้คะแนนความชอบตามความหมายที่กำหนด 1 คะแนน คือ ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 คะแนน คือ ชอบมากที่สุด ประเมินความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ความง่ายในการเคี้ยว ความง่ายในการกลืน และความชอบโดยรวม ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) สำหรับคะแนนความชอบได้ผู้เขียนจากการประเมินด้วยวิธี 9-point hedonic scale สรุปได้ดังตารางที่ 4-49 และผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point hedonic scale แสดงดังตารางที่ 4-50

ชื่อตัวแปร พารามิเตอร์ (คำศัพท์) ทางลักษณะเนื้อสัมผัส และความหมายที่ประเมินทางประสาทสัมผัส (ใช้ผู้ทดสอบวิธี QDA) กับลักษณะเนื้อสัมผัสที่วัดด้วยเครื่องมือ (ใช้เครื่องวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยวิธี TPA) แสดงดังตารางที่ 4-51 สำหรับผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ทางประสาทสัมผัสกับลักษณะเนื้อสัมผัสที่วัดด้วยเครื่องมือ พิจารณาจากค่า Pearson's correlation coefficients แสดงดังตารางที่ 4-52 สำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principle Component Analysis: PCA) เพื่อจับกลุ่มหรือรวมพารามิเตอร์ลักษณะเนื้อสัมผัสที่วิเคราะห์ได้ซึ่งมีความสัมพันธ์กันไว้ในกลุ่มเดียวกัน แสดงผลดังตารางที่ 4-53 ตารางที่ 4-54 และ ภาพที่ 4-21

ตารางที่ 4-49 สรุปผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของความชอบได้ผู้เขียน จากการประเมินด้วยวิธี 9-point hedonic scale เมื่อแปรปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส (ADFP) และการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ (Hydrocolloid)

ลักษณะ	ADFP [#]	Hydrocolloid	ADFP [#] * Hydrocolloid
ลักษณะปรากฏ	sig	sig	sig
สี	sig	ns	ns
กลิ่น	sig	sig	sig
รสชาติ	sig	sig	ns
ความง่ายในการเคี้ยว	sig	sig	sig
ความง่ายในการกลืน	sig	sig	sig
ความชอบโดยรวม	sig	sig	ns

sig หมายถึง ปัจจัยที่ศึกษามีอิทธิพลต่อค่าคุณภาพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ns หมายถึง ปัจจัยที่ศึกษาไม่มีอิทธิพลต่อค่าคุณภาพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

[#] ADFP มาจาก Antioxidant dietary fiber powder

ตารางที่ 4-50 คะแนนความชอบจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point hedonic scale ของเต้าหู้เย็น เมื่อแปรปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสาร
ต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส และการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์

สิ่งทดลอง	ปริมาณ ผงใยอาหาร (%)	การใช้สาร ไฮโดรคอลลอยด์	ค่าเฉลี่ย* ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน						
			ลักษณะ ปรากฏ	สี ^{ns}	กลิ่น	รสชาติ ^{ns}	ความง่ายใน การเคี้ยว	ความง่ายใน การกลืน	ความชอบ โดยรวม ^{ns}
1	2	1% κ-carragenan	6.60 ^a ± 1.00	6.63 ± 0.61	6.33 ^a ± 1.12	6.53 ± 1.01	7.36 ^a ± 0.93	7.60 ^a ± 0.77	7.10 ± 0.61
2	4	1% κ-carragenan	6.63 ^a ± 0.93	6.73 ± 0.87	6.70 ^a ± 1.02	6.57 ± 1.10	7.36 ^a ± 0.96	7.60 ^a ± 0.67	7.17 ± 0.70
3	6	1% κ-carragenan	6.37 ^a ± 1.00	6.10 ± 0.96	6.27 ^a ± 1.05	6.33 ± 1.06	6.77 ^b ± 1.07	6.87 ^b ± 0.57	6.73 ± 1.14
4	8	1% κ-carragenan	6.07 ^{ab} ± 1.08	5.97 ± 1.19	6.23 ^a ± 0.77	6.20 ± 1.00	6.20 ^{bc} ± 1.10	6.30 ^{de} ± 1.02	6.23 ± 1.14
5	10	1% κ-carragenan	5.33 ^c ± 1.06	5.20 ± 1.21	5.23 ^b ± 1.14	5.70 ± 1.09	5.97 ^c ± 1.30	6.07 ^e ± 0.87	6.00 ± 1.17
6	2	0.5% Agar	6.60 ^a ± 0.89	6.53 ± 0.68	6.27 ^a ± 0.78	6.07 ± 0.94	6.30 ^{bc} ± 0.60	6.77 ^{bc} ± 0.86	6.80 ± 0.85
7	4	0.5% Agar	6.60 ^a ± 0.97	6.67 ± 0.71	6.30 ^a ± 0.99	6.07 ± 0.98	6.23 ^{bc} ± 1.01	6.70 ^{bcd} ± 0.99	6.60 ± 0.67
8	6	0.5% Agar	5.77 ^{bc} ± 1.04	5.90 ± 1.06	5.60 ^b ± 0.93	5.87 ± 1.07	6.23 ^{bc} ± 0.77	6.33 ^{cde} ± 0.99	6.47 ± 1.11
9	8	0.5% Agar	5.43 ^c ± 1.17	5.53 ± 0.82	5.53 ^b ± 0.94	5.63 ± 1.03	6.23 ^{bc} ± 1.04	6.33 ^{cde} ± 0.84	6.20 ± 1.06
10	10	0.5% Agar	5.50 ^c ± 1.07	5.03 ± 1.13	5.47 ^b ± 0.78	5.83 ± 0.99	6.10 ^c ± 1.06	6.23 ^e ± 0.50	5.77 ± 0.86

^{a,b,c,...} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ไม่มีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≥0.05)

* คะแนนจากการทดสอบด้วยวิธี 9-point hedonic scale คือคะแนนตั้งแต่ 1-9

ตารางที่ 4-51 ชื่อตัวแปร พารามิเตอร์ (คำศัพท์) ทางลักษณะเนื้อสัมผัส และความหมายที่ประเมินทางประสาทสัมผัส (ใช้ผู้ทดสอบวิธี QDA) กับลักษณะเนื้อสัมผัสที่วัดด้วยเครื่องมือ (ใช้เครื่องวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยวิธี TPA)

ชื่อตัวแปร	พารามิเตอร์	ความหมาย
<i>การประเมินทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี QDA</i>		
S1	ความเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneity)	ลักษณะปรากฏด้านความเป็นเนื้อเดียวกันของเนื้อเต้าหู้เย็นกับผงโยเกิร์ตที่เติม
S2	การแยกตัวของน้ำ (Syneresis)	ปริมาณน้ำที่แยกตัวออกจากเต้าหู้เย็น (การเกิด Syneresis)
S3	ความแข็ง (Hardness for QDA)	แรงกดที่ใช้ในการทำให้เต้าหู้เย็นเสียรูปร่าง
S4	ความสากลิ้น (Rough Tongue)	ความรู้สึกสากลิ้นเมื่อเต้าหู้เย็นอยู่ในปากขณะรับประทาน
S5	ความง่ายในการกลืน (Easy to Swallow)	ความรู้สึกสะดวกเมื่อต้องกลืนเต้าหู้เย็น
<i>การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยวิธี TPA โดยใช้เครื่องมือ*</i>		
T6	ความแข็ง (Hardness)	แรงที่ใช้ในการทำให้ตัวอย่างเสียรูปร่าง
T7	ความสามารถในการเกาะติดผิววัสดุ (Adhesiveness)	งานที่ใช้ในการเอาชนะแรงระหว่างพื้นผิวของตัวอย่างกับพื้นผิวของวัสดุที่ตัวอย่างสัมผัสอยู่
T8	ความยืดหยุ่น (Springiness)	อัตราการคืนรูปของวัสดุหลังจากการถูกกด
T9	ความสามารถเกาะรวมตัวกัน (Cohesiveness)	ขอบเขตของวัสดุที่สามารถเสียรูปก่อนที่จะเกิดการแตกหัก
T10	ความเหนียวเป็นยางหรือกาว (Gumminess)	แรงที่ต้องใช้ในการแยกตัวอย่างที่เป็นกิ่งของแข็งจนเสียรูป (Hardness * Cohesiveness)
T11	การทนต่อการเคี้ยว (Chewiness)	แรงที่ใช้ในการเคี้ยวหรือบดตัวอย่างจนเสียรูป (Gumminess * Springiness)
T12	ความหดตัวได้ (Resilience)	ความสามารถในการหดตัวได้โดยยังไม่เสียรูปร่าง

* คัดแปลงจาก Civille and Szczesniak (1973)

ตารางที่ 4-52 ค่า Pearson's correlation coefficients แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ทางประสาทสัมผัสกับลักษณะเนื้อสัมผัสที่วัดด้วยเครื่องมือ

	S1	S2	S3	S4	S5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
S1	-	-0.958**	0.171	0.984**	-0.900**	-0.386	0.912**	-0.246	0.601	0.165	-0.056	-0.566
S2	-0.958**	-	-0.016	-0.955**	0.899**	0.461	-0.943**	0.232	-0.689*	-0.207	0.005	0.416
S3	0.171	-0.016	-	0.218	0.235	0.655*	-0.196	-0.237	-0.497	0.166	0.010	-0.396
S4	0.984**	-0.955**	0.218	-	-0.876**	-0.287	0.884**	-0.344	0.557	0.249	0.028	-0.526
S5	-0.900**	0.899**	0.235	-0.876**	-	0.592	-0.951**	0.204	-0.764*	-0.143	0.047	0.387
T6	-0.386	0.461	0.655*	-0.287	0.592	-	-0.695*	-0.303	-0.812**	0.357	0.178	0.072
T7	0.912**	-0.943**	-0.196	0.884**	-0.951**	-0.695*	-	-0.123	0.829**	0.060	-0.072	-0.376
T8	-0.246	0.232	-0.237	-0.344	0.204	-0.303	-0.123	-	0.326	-0.048	0.494	0.423
T9	0.601	-0.689*	-0.497	0.557	-0.764*	-0.812**	0.829**	0.326	-	0.199	0.311	0.132
T10	0.165	-0.207	0.166	0.249	-0.143	0.357	0.060	-0.048	0.199	-	0.841**	0.033
T11	-0.056	0.005	0.010	-0.028	0.047	0.178	-0.072	0.494	0.311	0.841**	-	0.727*
T12	-0.566	0.416	-0.396	-0.526	0.387	0.072	-0.376	0.423	0.132	0.523	0.727*	-

** ค่า Pearson's correlation coefficients ที่มีความสัมพันธ์กันที่ระดับนัยสำคัญ 0.01(p<0.01)

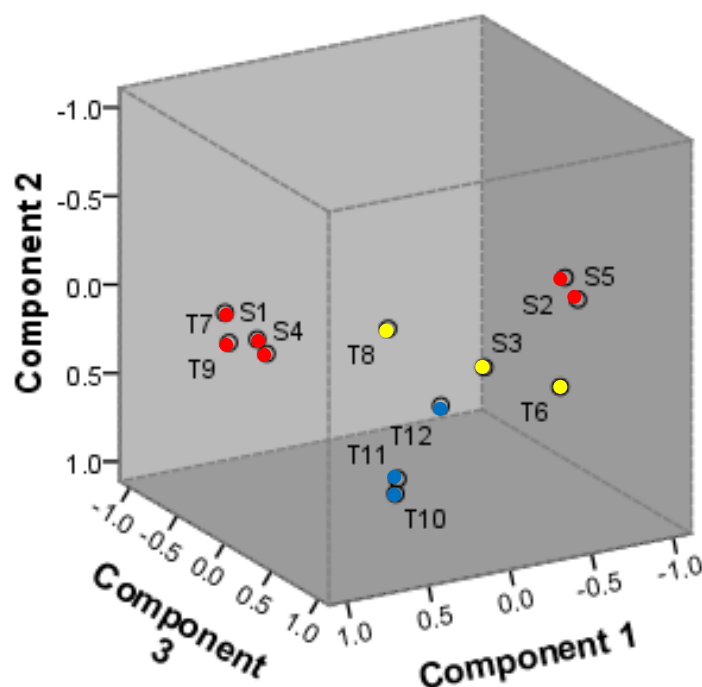
* ค่า Pearson's correlation coefficients ที่มีความสัมพันธ์กันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (p<0.05)

ตารางที่ 4-53 ค่าสถิติที่ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principle Component Analysis) ของพารามิเตอร์ลักษณะเนื้อสัมผัสของเต้าหู้เย็น

Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	5.845	48.710	48.710	5.845	48.710	48.710	5.726	47.713	47.713
2	2.850	23.746	72.456	2.850	23.746	72.456	2.610	21.751	69.464
3	2.240	18.663	91.119	2.240	18.663	91.119	2.599	21.655	91.119
4	.814	6.784	97.903						
5	.156	1.297	99.201						
6	.064	.536	99.737						
7	.023	.194	99.931						
8	.006	.049	99.981						
9	.002	.019	100.000						
10	2.804E-16	2.337E-15	100.000						
11	5.850E-17	4.875E-16	100.000						
12	2.095E-17	1.746E-16	100.000						

ตารางที่ 4-54 ค่าน้ำหนักขององค์ประกอบ (Factor loading) ของพารามิเตอร์ลักษณะเนื้อสัมผัสของ
เต้าหู้เย็น แต่ละองค์ประกอบ (Component)

ชื่อตัวแปร	พารามิเตอร์	Component		
		1	2	
S1	ความเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneity)	.981	-.056	.123
S2	การแยกตัวของน้ำ (Syneresis)	-.979	-.009	-.001
S3	ความแข็ง (Hardness for QDA)	.015	.044	.864
S4	ความสากลิ้น (Rough Tongue)	.974	-.002	.213
S5	ความง่ายในการกลืน (Easy to Swallow)	-.949	.051	.188
T6	ความแข็ง (Hardness)	-.477	.260	.817
T7	ความสามารถในการเกาะติดผิววัสดุ (Adhesiveness)	.961	-.084	-.252
T8	ความยืดหยุ่น (Springiness)	-.245	.338	-.610
T9	ความสามารถเกาะรวมตัวกัน (Cohesiveness)	.708	.255	-.646
T10	ความเหนียวเป็นยางหรือกาว (Gumminess)	.213	.912	.263
T11	การทนต่อการเคี้ยว (Chewiness)	-.009	.983	-.100
T12	ความหดตัวได้ (Resilience)	-.445	.742	-.396



ภาพที่ 4-21 Component plot แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ลักษณะเนื้อสัมผัสของเต้าหู้เย็นที่ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principle Component Analysis) โดย Component 1 ประกอบด้วย S1 S2 S4 S5 T7 T9 Component 2 ประกอบด้วย T10 T11 T12 และ Component 3 ประกอบด้วย S3 T6 T8

4.5.3 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์อาหารจำลองสำหรับผู้สูงอายุต้นแบบที่พัฒนาได้

ผลการวิเคราะห์ค่าคุณภาพของน้ำเสาวรสปพร้อมดื่มต้นแบบที่ผลิตได้ คือ น้ำเสาวรสปพร้อมดื่มที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสป 2% ร่วมกับการใช้อุณหภูมิในการเตรียมที่ 60 องศาเซลเซียส และน้ำเสาวรสปพร้อมดื่มสูตรพื้นฐานที่ไม่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสป แสดงดังตารางที่ 4-55

ผลการวิเคราะห์ค่าคุณภาพของเต้าหู้เย็นต้นแบบที่ผลิตได้ คือ เต้าหู้เย็นที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสป 4% ร่วมกับการใช้แคลปีา-คาร์ราจีแนนเป็นสารไฮโดรคอลลอยด์ และเต้าหู้เย็นสูตรพื้นฐานที่ไม่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสป แสดงดังตารางที่ 4-56

ตารางที่ 4-55 ค่าคุณภาพของน้ำเสาวรสปพร้อมดื่มต้นแบบที่ผลิตได้และน้ำเสาวรสปพร้อมดื่มสูตรพื้นฐาน

ค่าคุณภาพ	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	น้ำเสาวรสปพร้อมดื่มต้นแบบที่ผลิตได้	น้ำเสาวรสปพร้อมดื่มสูตรพื้นฐาน
ปริมาณใยอาหารทั้งหมด (กรัม/100 มิลลิลิตร)	0.969 ^a ± 0.099	0.052 ^b ± 0.0034
ปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำ (กรัม/100 มิลลิลิตร)	0.444 ^a ± 0.058	0.052 ^b ± 0.034
ปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (กรัม/100 มิลลิลิตร)	0.524 ^a ± 0.122	0.000 ^b ± 0.000
ปริมาณแอนโทไซยานิน (มิลลิกรัม Cyn-3-Glu /100 มิลลิลิตร)	0.200 ^a ± 0.069	0.060 ^b ± 0.022
ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (มิลลิกรัมกรดแกลลิก /100 มิลลิลิตร)	61.756 ^a ± 2.150	53.543 ^b ± 2.594
สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (%Inhibition)	60.824 ^a ± 0.936	44.837 ^b ± 0.196

^{a,b} คือ ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางที่ 4-56 ค่าคุณภาพของเต้าหู้ยีสต์แบบที่ผลิตได้และเต้าหู้ยีสต์พื้นฐาน

ค่าคุณภาพ	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	เต้าหู้ยีสต์แบบที่ผลิตได้	เต้าหู้ยีสต์พื้นฐาน
ปริมาณไขมันทั้งหมด (กรัม/100 กรัม)	2.673 ^a ± 0.137	0.392 ^b ± 0.192
ปริมาณไขมันที่ละลายน้ำ ^{ns} (กรัม/100 กรัม)	0.551 ± 0.187	0.392 ± 0.192
ปริมาณไขมันที่ไม่ละลายน้ำ (กรัม/100 กรัม)	2.121 ^a ± 0.054	0.000 ^b ± 0.000
ปริมาณแอนโทไซยานิน (มิลลิกรัม Cyn-3-Glu /100 กรัม)	0.765 ^a ± 0.057	0.567 ^b ± 0.044
ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (มิลลิกรัมกรดแกลลิก /100 กรัม)	10.729 ^a ± 0.244	8.061 ^b ± 0.201
สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (%Inhibition)	13.188 ^a ± 0.274	0.000 ^b ± 0.000

^{a,b} คือ ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

บทที่ 5

อภิปรายและสรุปผล

อภิปรายผลการวิจัย

5.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของเปลือกเสาวรสดและผง

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของเปลือกเสาวรสด พบว่า เปลือกเสาวรสดมีปริมาณความชื้นสูงถึง 84.52 กรัม/ 100 กรัม น้ำหนักเปียก มีปริมาณคาร์โบไฮเดรต ปริมาณกากใย ปริมาณเถ้า ปริมาณโปรตีน และปริมาณไขมัน เท่ากับ 8.97 4.63 0.99 0.79 และ 0.11 กรัม/ 100 กรัม น้ำหนักเปียก ตามลำดับ (ตารางที่ 4-1) ซึ่งปริมาณองค์ประกอบทางเคมีที่วิเคราะห์ ได้มีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของ ฉัชชา บุญปลื้ม (2550) ที่รายงานเปลือกเสาวรสดพันธุ์สีม่วง มี ปริมาณความชื้น ปริมาณกากใย ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ปริมาณเถ้า ปริมาณโปรตีน และปริมาณ ไขมัน เท่ากับ 79.49 10.43 6.66 1.98 1.13 และ 0.30 กรัม/ 100 กรัม น้ำหนักเปียก ตามลำดับ

จากลักษณะพื้นฐานวิทยาของเปลือกเสาวรสดคาดว่าน่าจะมีองค์ประกอบของใยอาหาร เนื่องจากลักษณะเปลือกเสาวรสดส่วนใหญ่เป็นส่วนของอัลบิโด (Albedo) มีลักษณะคล้ายฟองน้ำ มีสี ขาว ประกอบด้วยใยอาหารต่าง ๆ เช่น เซลลูโลส (Cellulose) เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) และ เพคติน (Pectins) ซึ่งใยอาหารเหล่านี้ประกอบด้วยโมเลกุลของคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนที่ไม่ใช่แป้ง (Figuerola, Hurtado, Estevez, Chiffelle, & Asenjo, 2005; Yangilar, 2013) พบได้ในผนังเซลล์พืช ดังนั้นเปลือกเสาวรสดจึงมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูง นอกจากนี้กากใยที่วิเคราะห์ได้ เป็นสารประเภท พอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharide) ซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่เหลือจากการย่อยด้วยกรดอ่อนและด่าง อ่อน ซึ่งส่วนใหญ่ใยอาหารที่ทนต่อการย่อยด้วยกรดอ่อนและด่างอ่อนเป็นใยอาหารพวกเซลลูโลส (Dhingra et al., 2012) ดังนั้นจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณที่พบว่า มี ปริมาณคาร์โบไฮเดรตและกากใย จึงแสดงให้เห็นว่าเปลือกเสาวรสดพันธุ์สีม่วงนี้น่าจะเป็นแหล่งของ ใยอาหาร ซึ่งเมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ปริมาณใยอาหารทั้งหมดของเปลือกเสาวรสด พบว่า มี ปริมาณเท่ากับ 13.49 กรัม/ 100 กรัม น้ำหนักเปียก หรือ 87.11 กรัม/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง (ตารางที่ 4-1) เป็นการยืนยันได้ว่าเปลือกเสาวรสดพันธุ์สีม่วงเป็นแหล่งที่ดีของใยอาหาร ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ งานวิจัยก่อนหน้าที่รายงานเปลือกเสาวรสดมีปริมาณใยอาหารทั้งหมด 18.30 กรัม/ 100 กรัม

น้ำหนักรับ หรือ 88.30 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง (ฉัชชา บุญปลื้ม, 2550) จากปริมาณใยอาหารที่วิเคราะห์ได้ เมื่อเปรียบเทียบกับส่วนเหลือทิ้งจำพวกเปลือกและกากของผักผลไม้ชนิดอื่น ๆ พบว่าเปลือกเสาวรสมิ่ปริมาณใยอาหารทั้งหมดมากกว่าส่วนเหลือทิ้งหลายชนิด เช่น เปลือกส้ม (*Citrus sinensis* L.) มีปริมาณใยอาหารทั้งหมด 64.3 กรัม/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง (Figuerola et al., 2005) เปลือกมะม่วง (*Mangifera indica* L.) มีปริมาณใยอาหารทั้งหมด 78.40 กรัม/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง (Ajila, Bhat, & Rao, 2007) เปลือกมะนาว (*Citrus aurantifolia* Swingle) มีปริมาณใยอาหารทั้งหมด 70.76 กรัม/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง (Peerajit et al., 2012) เปลือกทับทิม (*Punica granatum* L.) มีปริมาณใยอาหารทั้งหมด 45.6 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง (Viuda-Martos et al, 2012) กากลูกแพร์ (*Pyrus communis* L.) มีปริมาณใยอาหารทั้งหมด อยู่ในช่วง 36.1-43.9 กรัม/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง (Grigelmo-Miguel & Martin-Belloso, 1999; Laufenberg, Kunz, & Nystroem, 2003) และกากพีช (*Prunus persica* L.) มีปริมาณใยอาหารทั้งหมด อยู่ในช่วง 35.8-54.2 กรัม/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง (Grigelmo-Miguel & Martin-Belloso, 1999; Pagan, Ibarz, Llorca, Pagan, & Barbosa-Canovas, 2001) เป็นต้น และปริมาณใยอาหารทั้งหมดของเปลือกเสาวรสมิ่ในงานวิจัยนี้อยู่ในช่วงใกล้เคียงกับส่วนเหลือทิ้งจำพวกเปลือกและกากของผักผลไม้ชนิดอื่น ๆ เช่น เปลือกกล้วย (*Musa* (ABB group)) มีปริมาณใยอาหารทั้งหมดอยู่ในช่วง 83.00-89.35 กรัม/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง (Wachirasiri et al., 2009) เปลือกส้มโอ (*Citrus grandis* L. หรือ *Citrus maxima* Merr.) มีปริมาณใยอาหารทั้งหมดอยู่ในช่วง 78.08-80.03 กรัม/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง (Naowakul, Wirjantoro, & Phianmongkhon, 2013) และกากแอปเปิ้ล (*Malus domestica*) มีปริมาณใยอาหารทั้งหมด อยู่ในช่วง 60.7-89.8 กรัม/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง (Figuerola et al., 2005)

สำหรับผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของเปลือกเสาวรสมิ่ พบว่า มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมด เท่ากับ 2.56 กรัม/ 100 กรัม น้ำหนักเปียก หรือ 16.56 กรัม/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง (ตารางที่ 4-1) โดยน้ำตาลส่วนใหญ่ที่พบน่าจะ ได้มาจากส่วนของ เอกโซคาร์ป (Exocarp) มีโซคาร์ป (Mesocarp) และเอนโดคาร์ป (Endocarp) ของเปลือก ตามที่งานวิจัยของ Canteri et al. (2010) ได้รายงานองค์ประกอบของน้ำตาลจากเปลือกเสาวรสมิ่ พบว่า ในเปลือกเสาวรสมิ่มีองค์ประกอบเป็นน้ำตาลโมลกุลเดี่ยวหลายชนิด ได้แก่ แรมโนส (Rhamnise) ฟิวโคส (Fucose) อะราบิโนส (Arabinose)ไซโลส (Xylose) แมนโนส (Mannose) กาแลคโตส (Galactose) และกลูโคส (Glucose)

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานิน พบว่า ปริมาณแอนโทไซยานินของเปลือกเสาวรสด มีค่าเท่ากับ 3.44 มิลลิกรัม Cyn-3-Glu/ 100 กรัม น้ำหนักเปียก หรือ 22.20 มิลลิกรัม Cyn-3-Glu/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง (ตารางที่ 4-1) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับเปลือกผลไม้ที่มีสีม่วงชนิดอื่น เช่น เปลือกมังคุด โดยมีรายงานว่าปริมาณแอนโทไซยานิน เท่ากับ 19.71 มิลลิกรัม Cyn-3-Glu/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง (อุรษา เขาวนลิขิต และ อรุณญา มิ่งเมือง, 2550) สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ซึ่งสารประกอบฟีนอลิกเป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างเป็นวงแหวนปิดที่มีหมู่ไฮดรอกซิลเป็นองค์ประกอบ ซึ่งมักมีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ (วิวัฒน์ หวังเจริญ, 2545) จากผลการทดลอง พบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในเปลือกเสาวรสดมีค่าเท่ากับ 15.06 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/ 100 กรัม น้ำหนักเปียก หรือ 97.31 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง ด้านสมบัตินการต้านอนุมูลอิสระที่วิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH radical scavenging assay และรายงานเป็นค่า %Inhibition พบว่า ค่า % Inhibition ในเปลือกเสาวรสด มีค่าเท่ากับ 89.36% แสดงให้เห็นว่าเปลือกเสาวรสดพันธุ์สีม่วงนั้นนอกจากเป็นแหล่งของใยอาหารแล้ว ยังเป็นแหล่งของสารพฤกษเคมี โดยเฉพาะแอนโทไซยานิน และสารประกอบฟีนอลิก ซึ่งมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ได้

เมื่อนำเปลือกเสาวรสดมาผลิตเป็นผงโดยการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 400 นาที ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี (ตารางที่ 4-2) พบว่า เปลือกเสาวรสดมีปริมาณความชื้นลดลงเหลือ 7.33 กรัม/ 100 กรัม น้ำหนักเปียก โดยพบว่า เปลือกเสาวรสดที่ได้ มีปริมาณคาร์โบไฮเดรต ปริมาณกากใย ปริมาณเถ้า ปริมาณโปรตีน และปริมาณไขมัน เท่ากับ 48.10 37.51 8.33 5.50 และ 0.56 กรัม/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ มีปริมาณใยอาหารทั้งหมด (71.04 กรัม/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง) ปริมาณแอนโทไซยานิน (7.72 มิลลิกรัม Cyn-3-Glu/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (73.51 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง) และสมบัตินการต้านอนุมูลอิสระ (%Inhibition เท่ากับ 88.69%) น้อยกว่าเปลือกเสาวรสด ทั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการนำเปลือกเสาวรสดมาผลิตเป็นผงแห้งด้วยวิธีอย่างง่ายไม่ต้องผ่านการเตรียมขั้นต้น มีผลให้องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญดังกล่าวสูญเสียไปได้ สอดคล้องกับที่ Chantaro et al. (2008) รายงานว่า การนำเปลือกแครอทสด ซึ่งเป็นแหล่งของสารพฤกษเคมีที่สำคัญ มาผลิตเป็นผงใยอาหารที่มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ โดยนำเปลือกแครอทมาทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60-80 องศาเซลเซียส พบว่า เมื่อใช้อุณหภูมิในการทำแห้งสูงขึ้น เป็นผลให้สารพฤกษเคมีที่สำคัญในเปลือกแครอท เช่น เบต้าแคโรทีน และสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดลดลง และสูญเสียไปมากหลังจากการทำแห้ง ซึ่งเป็นผลให้ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในผลิตภัณฑ์สุดท้ายลดลง และ Nilnakara (2006) รายงานว่า การเตรียมขั้นต้นด้วยการลวกกบกะหล่ำปลีในน้ำร้อนที่

อุณหภูมิ 93±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที และทำแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส สามารถรักษาสารพฤกษเคมีในผงใยอาหารจากกากกะหล่ำปลี โดยเฉพาะปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (80.50 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง) ไว้ได้มากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับผงใยอาหารจากกากกะหล่ำปลีที่ไม่ผ่านการลวกและทำแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส (77.10 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง)

เมื่อพิจารณาด้านองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ พบว่า เปลือกเสาวรสดยังมีองค์ประกอบอื่นๆ ที่ไม่ใช่ใยอาหารเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย โดยพบว่ามีปริมาณเถ้า 8.33 กรัม/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด 7.10 กรัม/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง ปริมาณโปรตีน 5.50 กรัม/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง และปริมาณไขมัน 0.56 กรัม/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง การที่เปลือกเสาวรสดมีองค์ประกอบอื่นที่ไม่ใช่ใยอาหารเป็นองค์ประกอบอยู่มาก แสดงให้เห็นว่าเป็นใยอาหารที่มีความบริสุทธิ์น้อย เพื่อให้เกิดผลดีต่อการนำไปใช้ประโยชน์ควรหาวิธีที่เหมาะสมในการกำจัดองค์ประกอบอื่นที่ไม่ใช่ใยอาหารออกไป สอดคล้องกับที่ Larrauri (1999) กล่าวว่าใยอาหารในอุดมคติที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ประโยชน์เป็นส่วนผสมในอาหาร ต้องไม่มีส่วนประกอบที่ให้คุณค่าทางโภชนาการ (Nutritional objectionable components) มีความบริสุทธิ์ของใยอาหารสูง และสามารถใช้ใยอาหารได้ในปริมาณน้อย แต่ให้ผลที่ดีต่อร่างกายมาก โดยทำให้อาหารมีรสชาติ ดี เนื้อสัมผัสที่ดี มีสัดส่วนของใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำและใยอาหารที่ละลายน้ำที่สมดุล มีอายุการเก็บรักษาที่ดีโดยไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพอาหารที่มีการเติมใยอาหาร สามารถนำมาใช้ในกระบวนการแปรรูปอาหารได้ มีภาพลักษณ์ที่ดีในมุมมองของผู้บริโภคโดยคำนึงถึงแหล่งที่มา และความบริสุทธิ์ มีผลที่ดีต่อร่างกาย และราคาสมเหตุสมผล ซึ่งส่วนใหญ่แล้วส่วนเหลือทิ้งจากผักผลไม้ก่อนนำมาผลิตเป็นผงใยอาหาร มักมีองค์ประกอบที่ไม่ใช่ใยอาหารรวมอยู่ด้วย ดังนั้นจึงต้องมีวิธีการเตรียมขั้นต้นเพื่อกำจัดหรือแยกองค์ประกอบที่ไม่ต้องการออกจากวัตถุดิบ โดยเฉพาะสารที่ละลายน้ำได้ ได้แก่ น้ำตาลอิสระ กรดอิสระ และองค์ประกอบของสารอนินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ รวมทั้งการกำจัดโปรตีน หรือไขมันออกไป เพื่อให้ใยอาหารมีความบริสุทธิ์มากขึ้น และยังสามารถช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงหน้าที่ของใยอาหารได้ด้วย

เมื่อพิจารณาค่าสีของเปลือกเสาวรสด (ตารางที่ 4-3) พบว่า มีค่า L* a* และ b* เท่ากับ 35.51 19.95 และ 8.69 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า มีความสว่างน้อย โดยมีสีออกสีม่วงแดง เนื่องจากมีค่า a* เป็นค่าบวก (+) และมีค่า b เป็นค่าบวก (+) เมื่อนำมาคำนวณค่า Hue angle และ Chroma พบว่า มีค่าเท่ากับ 23.53 และ 21.76 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า เปลือกเสาวรสดมีเฉดสีอยู่ในช่วงของสีม่วงแดงถึงสีส้มแดง (0-45 องศา) และมีสีค่อนข้างเข้ม (ค่า Chroma มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ หมายถึง วัตถุมีสีซีดจาง (เทา) ถ้ามีค่าเข้าใกล้ 60 หมายถึง วัตถุมีสีเข้ม) ซึ่งสอดคล้องกับสีของเปลือกเสาวรสด

สดที่มองเห็นด้วยสายตา คือส่วนผิวเปลือกเสาวรสดที่มีสีออกม่วงแดง เนื่องจาก มีรงควัตถุพวก แอนโทไซยานินเป็นรงควัตถุหลัก (Kidoy et al., 1997) เมื่อนำเปลือกเสาวรสดไปผลิตเป็นเปลือกเสาวรสด พบว่ามีสีเปลี่ยนแปลงไปมาก โดยมี L^* a^* และ b^* เท่ากับ 64.57 7.28 และ 21.25 ตามลำดับ เมื่อนำมาคำนวณหาค่า Hue angle และ Chroma พบว่า มีค่าเท่ากับ 71.08 และ 22.46 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า เปลือกเสาวรสดมีเฉดสีอยู่ในช่วงของสีส้มแดงถึงสีเหลือง (45-90 องศา) และมีสีค่อนข้างเข้ม ซึ่งมีความสอดคล้องกับสีที่มองเห็นด้วยสายตา คือ เปลือกเสาวรสด มีสีน้ำตาลอ่อน ทั้งนี้อาจเกิดจากปฏิกิริยาสีน้ำตาลทั้งแบบ Enzymatic browning และ Non enzymatic browning โดยปฏิกิริยา Enzymatic browning เกิดได้ตั้งแต่ขั้นตอนของการลดขนาด ซึ่งการหั่นหรือตัดเปลือกเสาวรสดเป็นชิ้นเล็ก ๆ เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการสัมผัสกับอากาศ โดยปฏิกิริยา Enzymatic browning นี้เกิดขึ้นได้จากการที่เปลือกเสาวรสดโดยทั่วไปมีเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (Polyphenol oxidase) อยู่ มีสารประกอบฟีนอลิกซึ่งทำหน้าที่เป็นสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยา ร่วมกับการสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ จึงมีโอกาสเกิดปฏิกิริยา Enzymatic browning ทำให้เกิดสีน้ำตาลได้ (นิธิยา รัตนานนท์, 2553) และส่วนปฏิกิริยา Non enzymatic browning เกิดได้ในระหว่างการทำแห้ง ซึ่งการเปลี่ยนสีเป็นผลมาจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด เกิดจากการที่น้ำตาลรีดิวซ์ซึ่งทั้งคีโตสและแอลโดส รวมกับหมู่อะมิโนได้เป็นไกลโคซิลเอมีน (N-substituted glycosylamine) เกิดปฏิกิริยาดิไฮเดรชันได้เป็นอิมีน (Imine หรือ Schiffbase) จากนั้นมีการเรียงตัวใหม่ซึ่งมีชื่อเรียกว่า Amadori rearrangement ได้เป็นแอลโดสเอมีน (Aldoseamine) หรือคีโตสเอมีน (Ketoseamine) เรียกว่า Amadori product เกิดปฏิกิริยา Enolization ของ Amadori product แล้วได้เป็นคีโตสเอมีนหรือไดอะมิโนซูการ์ เกิดปฏิกิริยาดิไฮเดรชันต่อไปได้เป็นอนุพันธ์ของฟูแรน (Furan) อนุพันธ์ฟูแรนวงแหวน เช่น HMF (5-hydroxymethyl-2-furaldehyde) จะเกิดพอลิเมอร์อย่างรวดเร็วได้เป็นสารสีน้ำตาล ที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วยและไม่ละลายน้ำ สารสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นเรียกว่า เมลานอยดิน (Fennema, 1996) โดยอัตราเร็วของปฏิกิริยาเมลลาร์ดจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ดังนั้นการที่เปลือกเสาวรสดมีองค์ประกอบของน้ำตาลอยู่มาก รวมทั้งมีโปรตีนหรือสารประกอบไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ ในระหว่างการทำแห้งจึงอาจเกิดเป็นสารสีน้ำตาล เนื่องจากมีความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้ นอกจากนี้รงควัตถุหลักแอนโทไซยานินสามารถสลายตัวได้ด้วยความร้อน หรือทำให้โครงสร้างของแอนโทไซยานินเปลี่ยนแปลงไป โดยโอกาสการสลายตัวของแอนโทไซยานินจะมากขึ้นเมื่อใช้อุณหภูมิในการแปรรูปสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเกิดการเปิดออกของวงแหวน Pyrylium ในโครงสร้างของแอนโทไซยานินทำให้แอนโทไซยานินเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของ Chalcone และการสลายตัวของแอนโทไซยานิน (Anthocyanidin) หรืออะไกลโคน เป็นขั้นแรกของการสลายตัวของสารแอนโทไซยานิน และอาจ

เกิดการแตกสลายเป็นอนุพันธ์ Coumarin รวมถึงอาจเกิดการสลายตัว หรือเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน (Polymerization) และเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนได้ (Patras, Brunton, O'Donnell, & Tiwari, 2010) สอดคล้องกับที่ Kessy, Hu, Zhao, & Zhou (2016) รายงานว่า การทำแห้งเปลือกถั่วลิสงที่อุณหภูมิสูงขึ้น มีผลให้ปริมาณแอนโทไซยานินลดลง ทั้งนี้เนื่องจากการสัมผัสความร้อนที่อุณหภูมิสูง เพิ่มโอกาสให้แอนโทไซยานินสลายตัวจากความร้อน (Thermal degradation) ได้มากขึ้น

จากผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี และค่าสี แสดงให้เห็นว่าเปลือกเสาวรสมมีความชื้นค่อนข้างสูง และมีองค์ประกอบอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ใยอาหารอยู่หลายชนิด ที่พบมากที่สุดคือน้ำตาลทั้งหมด (16.56 กรัม/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง) รองลงมาคือ เถ้า (6.38 กรัม/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง) โปรตีน (5.10 กรัม/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง) และไขมัน (0.72 กรัม/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง) เมื่อนำมาผลิตเป็นเปลือกเสาวรสมแห้งด้วยวิธีอย่างง่ายไม่ต้องผ่านการเตรียมขั้นต้น พบว่า ใยอาหารที่มีความบริสุทธิ์น้อย (71.04 กรัม/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง) โดยยังคงมีองค์ประกอบของเถ้า (8.33 กรัม/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง) น้ำตาลทั้งหมด (7.10 กรัม/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง) โปรตีน (5.50 กรัม/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง) และไขมัน (0.56 กรัม/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง) รวมทั้งปริมาณสารพฤษเคมีลดลงมาก โดยมีปริมาณแอนโทไซยานิน (7.72 มิลลิกรัม Cyn-3-Glu/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง) สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (73.51 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง) และสมบัตการต้านอนุมูลอิสระ (%Inhibition เท่ากับ 88.69%) นอกจากนี้ผงเปลือกเสาวรสมที่ได้มีสีน้ำตาลอ่อน จากข้อด้อยที่พบจึงต้องการปรับปรุงคุณภาพของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสมขั้นสูงให้ดีขึ้น โดยการหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเป็นผงใยอาหาร เพื่อกำจัดองค์ประกอบที่ไม่ใช่ใยอาหาร ให้ได้ผงใยอาหารที่มีความบริสุทธิ์สูงขึ้น รวมถึงรักษาให้มีการคงอยู่ของสารพฤษเคมีที่สำคัญ และรักษาสีธรรมชาติของเปลือกเสาวรสม จึงควรมีการศึกษาในขั้นตอนของการเตรียมขั้นต้น และการหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งต่อไป

5.2 การศึกษาผลของการเตรียมขั้นต้นต่อคุณภาพของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสม

โดยทั่วไปการผลิตใยอาหารผงเริ่มจากการนำวัตถุดิบมาทำความสะอาดและลดขนาดให้เล็กลงโดยการหั่นหรือบดเพื่อสะดวกในการอบแห้ง โดยมักมีการเตรียมขั้นต้นวัตถุดิบก่อนการนำไปอบแห้งเพื่อปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการอบ (Larrauri, 1999; Nilnakara, 2006) มักดำเนินการโดยการใช้ความร้อน เพื่อยับยั้งเอนไซม์ที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล ช่วยให้น้ำเชื่อมข้นนุ่มลง ทำให้มีอัตราการแห้งเร็วขึ้น จึงช่วยลดเวลาในการทำแห้ง รวมถึงเป็นการลดจำนวน

จุลินทรีย์ที่ปนเปื้อน (Larrauri, 1999; Nilnakara, 2006; Wachirasiri et al., 2009; Tanongkankit, 2011) และการเตรียมขั้นต้น โดยการใช้สารเคมีมีหลายชนิด เช่น โซเดียมคลอไรด์ แคลเซียมคลอไรด์ หรือสารละลายกรด เป็นต้น (Lewicki, 2006) โดยการใช้วัตถุคิบบนสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ เป็นรูปแบบหนึ่งที่ยอมรับ เพื่อกำจัดน้ำบางส่วนออกจากเนื้อเยื่อ ทำให้มีอัตราการแห้งเร็ว จึงช่วยลดเวลาในการทำแห้งลง และสามารถต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน จึงช่วยป้องกันการเปลี่ยนแปลง โครงสร้างของรงควัตถุระหว่างการแห้ง นอกจากนี้ยังสามารถช่วยกำจัดสารที่ให้ออกซิเจนที่ไม่ต้องการในวัตถุดิบ เช่น รสฝาดขม ของแทนนิน (Lewicki, 2006; กุลนรี ศาสตร์ประสิทธิ์ และกุลยา ลิมรุ่งเรืองรัตน์, 2552; สุภาพร อภิรัตนานุสรณ์, 2554) อย่างไรก็ตามในขั้นตอนของการเตรียม ขั้นต้นนั้นอาจมีผลต่อการสูญเสียปริมาณใยอาหารผง การคงอยู่ของสารพฤกษเคมีที่สำคัญ รวมถึง สมบัติเชิงหน้าที่ (Nilnakara, 2006; Wachirasiri et al., 2009; Tanongkankit, 2011)

ดังนั้นเพื่อพัฒนากระบวนการเตรียมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือก เสาวรส ให้มีการสูญเสียขององค์ประกอบของใยอาหาร สารพฤกษเคมีที่สำคัญในเปลือกเสาวรสปันธ์สี ม่วง ได้แก่ กลุ่มของสารประกอบโพลีฟีนอล แอนโทไซยานินและฟลาโวนอยด์ (Zibadi et al., 2007; Farid et al., 2010; Zeraik et al., 2011) ให้น้อยที่สุด เพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อสุขภาพ รวมถึง ปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้ายให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค งานวิจัยนี้จึงศึกษาผลของการ เตรียมขั้นต้น โดยการใช้ความร้อนและการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อคุณภาพของ ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส

5.2.1 ผลของการเตรียมขั้นต้นโดยการใช้ความร้อนต่อคุณภาพของผงใยอาหารที่มีสาร ต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส

วัตถุประสงค์สำคัญหนึ่งของการเตรียมขั้นต้น โดยการใช้ความร้อน คือ การยับยั้งการ ทำงานของเอนไซม์ตัวอย่างเช่น โพลีฟีนอลออกซิเดส (Polyphenoloxidase) เปอร็อกซิเดส (Peroxidase) และฟีนอลเลส (Phenolase) และช่วยยับยั้งปฏิกิริยาเคมีที่ไม่พึงประสงค์ซึ่งเป็นสาเหตุ ของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพอาหาร ดังนั้นเพื่อพิจารณาความสามารถของวิธีการเตรียมขั้นต้นที่มี ผลต่อการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ในงานวิจัยนี้จึงทดสอบกิจกรรมของเอนไซม์ เปอร็อกซิเดสหลังการลวกเปลือกเสาวรส เมื่อใช้วิธีการให้ความร้อนและเวลาการให้ความร้อนที่ ต่างกัน ซึ่งกิจกรรมของเอนไซม์เปอร็อกซิเดสนิยมใช้เป็นดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพการเตรียมขั้นต้น เนื่องจากเป็นเอนไซม์ที่ทนความร้อนได้ดีที่สุด จึงใช้บ่งบอกถึงความสามารถในการยับยั้งการ ทำงานของเอนไซม์ที่มีอยู่ในตัวอย่างได้ การทดสอบกิจกรรมของเอนไซม์เปอร็อกซิเดส ดำเนินการ โดยนำเปลือกเสาวรสที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นมาบด แล้วเติมสารละลายกัวไอคอล (Guaiacol) และไฮโดรเจนเปอร็อกไซด์ ซึ่งเป็นการเพิ่มสารตั้งต้น (Substrate) และออกซิเจนให้กับ

ระบบ เขย่าให้ผสมกันแล้วสังเกตสีของตัวอย่าง หากมีสีน้ำตาลแดง แสดงถึงยังมีกิจกรรมของ เอนไซม์เปอร์ออกซิเดสอยู่ แต่หากไม่ปรากฏสี แสดงว่าไม่มีกิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส ดังนั้นการทดสอบดังกล่าวมีหลักการสำคัญคือ เมื่อเนื้อเยื่อตัวอย่างถูกทำลาย เช่นจากการบด หั่น หรือสับ หากเอนไซม์ในตัวอย่างยังไม่ถูกทำลายไปจะสามารถทำปฏิกิริยากับสารตั้งต้นในสภาวะที่มีออกซิเจน ทำให้สารโมโนฟีนอล (Monophenol) (ไม่มีสี) ถูกออกซิไดซ์เป็นไดฟีนอล (Diphenol) (ไม่มีสี) และถูกออกซิไดซ์ต่อไปเป็น ออโทควิโนน (*o*-quinone) ซึ่งมีสีน้ำตาล และจะรวมตัวกันเป็น พอลิเมอร์เกิดเป็นสารโมเลกุลใหญ่มีสีน้ำตาลแดง (นิธิยา รัตนานพนนท์, 2553) จากตารางที่ 4-4 พบว่า สิ่งทดลองที่ผ่านการเตรียมขั้นต้น โดยการใช้ความร้อนทุกสิ่งทดลอง ตรวจสอบไม่พบกิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส แสดงให้เห็นว่าการเตรียมขั้นต้นเปลือกเสาวรศโดยการใช้ความร้อนตามสภาวะในงานวิจัยนี้ เพียงพอที่จะสามารถยับยั้งเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสได้ ทั้งนี้เนื่องจากความร้อนทำให้เอนไซม์ซึ่งเป็น โปรตีนเกิดการเสียสภาพ (Denature) จึงไม่สามารถทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีได้ (Kendall, DiPersio, & Sofos, 2004)

การจัดสิ่งทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial experiment) เป็นการศึกษาทุกปัจจัยพร้อมกัน (Treatment combination) โดยที่แต่ละปัจจัยมีได้หลายระดับ สามารถศึกษาอิทธิพลหลักของปัจจัยและปฏิริยาสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัยได้ หากมีปฏิริยาสัมพันธ์ (Interaction) หรือ มีอิทธิพลร่วมของปัจจัยที่ศึกษา แสดงให้เห็นว่าผลตอบสนองของการใช้ปัจจัยหนึ่งในระดับต่างๆ จะมีแนวโน้มไม่เหมือนกันกับการใช้อีกปัจจัยหนึ่งในระดับต่าง ๆ ในทางตรงกันข้ามหากไม่มีปฏิริยาสัมพันธ์กัน หรือ ไม่มีอิทธิพลร่วมของปัจจัยที่ศึกษา แสดงให้เห็นว่าผลตอบสนองของการใช้ปัจจัยหนึ่งในระดับต่าง ๆ มีแนวโน้มเหมือนกันกับการใช้อีกปัจจัยหนึ่งในระดับต่าง ๆ (สุรพล อุปลิศสกุล, 2526)

จากตารางที่ 4-5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ค่าสีของเปลือกเสาวรศ หลังการเตรียมขั้นต้น โดยใช้ความร้อน พบว่า อิทธิพลระหว่างวิธีการให้ความร้อนและเวลาการให้ความร้อน (Method*Time) มีผลต่อค่าสี (L^* a^* b^* Hue angle Chroma และ ΔE) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และจากตารางที่ 4-6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) คุณภาพของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรศ พบว่า อิทธิพลร่วมระหว่างวิธีการให้ความร้อนและเวลาการให้ความร้อน (Method*Time) มีผลต่อปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณใยอาหารทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และค่าสี (L^* a^* b^* Hue angle Chroma และ ΔE) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในขณะที่ไม่มีอิทธิพลร่วมกันระหว่างวิธีการให้ความร้อนและเวลาการให้ความร้อนต่อสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ($p \geq 0.05$) รวมถึงปัจจัยหลักทั้งของวิธีการให้ความร้อนและเวลาการให้ความร้อนไม่มีผลต่อสมบัติการต้านอนุมูลอิสระเช่นกัน ($p \geq 0.05$)

จากตารางที่ 4-7 พบว่า เปลือกเสาวรสหลังการเตรียมขั้นต้นโดยใช้ความร้อน มีค่า L^* a^* และ b^* อยู่ในช่วงอยู่ในช่วง 37.76-45.16 6.95-14.61 และ 11.37-14.80 ตามลำดับ โดยภาพรวมแสดงให้เห็นว่าเปลือกเสาวรสหลังการเตรียมขั้นต้น โดยการให้ความร้อนทุกสิ่งทดลองมีความสว่างน้อย (ถ้าค่า L^* มีค่าเข้าใกล้ 100 แสดงถึงวัตถุมีความสว่างมาก) มีค่า a^* และ b^* เป็นบวกแสดงถึงมีความเป็นสีแดงและสีเหลือง ตามลำดับ ค่า a^* ซึ่งแสดงความเป็นสีแดง เป็นดัชนีที่สอดคล้องกับชนิดของรงควัตถุแอนโทไซยานินมากที่สุด (ญานี จินดามัง และปิยะวิทย์ ทิพรส, 2555) ซึ่งสอดคล้องกับสีม่วงแดงของเปลือกเสาวรสด้วย เมื่อพิจารณาค่า a^* ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยน้ำร้อนเป็นเวลา 6 นาที ในสิ่งทดลองที่ 2 เปลือกเสาวรสมีค่า a^* ต่ำที่สุด ในขณะที่การเตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยไอน้ำ เป็นเวลา 3 นาที ในสิ่งทดลองที่ 3 เปลือกเสาวรสมีค่า a^* สูงที่สุด แสดงให้เห็นว่าสภาวะการเตรียมขั้นต้นขึ้นเปลือกเสาวรสด้วยวิธีลวกด้วยน้ำร้อนโดยใช้เวลาลวกนานมีผลให้ค่าความเป็นสีแดงลดลงได้มากกว่าวิธีอื่น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากแอนโทไซยานินมีสมบัติละลายได้ดีในน้ำ สลายตัวได้ง่ายด้วยความร้อน ออกซิเจน และแสง ทำให้โครงสร้างของแอนโทไซยานินเปลี่ยนไป ความเป็นสีม่วงแดงจึงเปลี่ยนไปด้วย (Lila, 2004; Yang & Zhai, 2010) การลวกในน้ำร้อนเป็นเวลานานจึงมีโอกาสน้ำแอนโทไซยานินสลายตัวได้มากขึ้น และการใช้น้ำร้อนเป็นตัวกลางในการลวกยิ่งเพิ่มโอกาสการชะออกของแอนโทไซยานินออกมาในน้ำที่ใช้ลวกได้มากขึ้นอีกด้วย ซึ่งพบข้อสังเกตจากน้ำที่ใช้ลวกมีสีม่วงแดงอ่อนหลังการลวก ในขณะที่การลวกด้วยไอน้ำเป็นเวลาสั้น เป็นการให้ความร้อนโดยใช้ไอน้ำเป็นตัวกลางซึ่งมีความรุนแรงน้อยกว่า จึงมีโอกาสรักษาแอนโทไซยานินได้มากกว่าสิ่งทดลองอื่น เมื่อพิจารณาค่า L^* และ b^* ร่วมด้วย พบว่า สิ่งทดลองที่ 2 ที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยน้ำร้อน เป็นเวลา 6 นาที เปลือกเสาวรสมีค่า L^* สูงที่สุด (43.21) และมีค่า b^* ต่ำที่สุด (11.37) แสดงถึงมีความสว่างมากที่สุด และมีความเป็นสีเหลืองต่ำที่สุด ซึ่งอาจเป็นผลจากเกิดการสลายตัวและการถูกชะของแอนโทไซยานินนั่นเอง รวมทั้งการเตรียมขั้นต้นโดยการให้ความร้อนสามารถยับยั้งเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล เช่น Polyphenoloxidase Peroxidase และ Phenolase โดยความร้อนทำให้เอนไซม์ซึ่งเป็นโปรตีนเกิดการเสียสภาพ จึงไม่สามารถทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีได้ (Lewicki, 2006) ส่งผลให้ไม่เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ทำให้เปลือกเสาวรสมีสีคล้ำ จึงทำให้เปลือกเสาวรสยังคงมีความสว่างมาก

จากตารางที่ 4-7 สำหรับผลของค่า Hue angle และค่า Chroma พบว่า สิ่งทดลองที่ 2 ที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยน้ำร้อน เป็นเวลา 6 นาที เปลือกเสาวรสมีค่า Hue angle สูงที่สุด (58.59) และมีค่า Chroma ต่ำที่สุด (13.32) ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 3 ที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยไอน้ำ เป็นเวลา 3 นาที เปลือกเสาวรสมีค่า Hue angle ต่ำที่สุด (41.77) และมีค่า Chroma

สูงที่สุด (19.60) โดยหากค่า Hue angle อยู่ในช่วง 0-45 องศา แสดงถึงมีเฉดสีม่วงแดงถึงสีส้มแดง ค่า Hue angle อยู่ในช่วง 45-90 องศา แสดงถึงเฉดสีส้มแดงถึงสีเหลือง และหากค่า Chroma มีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงถึงวัตถุมีสีซีดจาง (เทา) ถ้ามีค่าเข้าใกล้ 60 แสดงถึง วัตถุมีสีเข้ม (McGuire, 1992) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสภาวะการเตรียมชิ้นดินเปลือกเสาวรศโดยใช้ความร้อน โดยวิธีลวกด้วยน้ำร้อนร่วมกับการใช้เวลาลวกนาน (6 นาที) มีผลให้เปลือกเสาวรศมีเฉดสีส้มแดงถึงสีเหลือง และมีความเข้มสีต่ำกว่าสิ่งทดลองอื่น ในขณะที่การลวกด้วยไอน้ำเป็นเวลาสั้น (3 นาที) มีผลให้เปลือกเสาวรศยังคงมีเฉดสีม่วงแดงถึงสีส้มแดงและมีความเข้มสีมากกว่าสิ่งทดลองอื่นๆ และจากผลการคำนวณค่า ΔE เมื่อเปรียบเทียบค่าสีกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่ผ่านการเตรียมชิ้นดิน โดยการใช้ความร้อน พบว่า การเตรียมชิ้นดิน โดยการใช้เวลาลวกด้วยน้ำร้อน เป็นเวลา 6 นาที มีค่า ΔE สูงที่สุดในขณะที่การเตรียมชิ้นดินโดยการใช้เวลาลวกด้วยไอน้ำ เป็นเวลา 3 นาที มีค่า ΔE ต่ำที่สุด แสดงผลยืนยันให้เห็นว่าสภาวะการเตรียมชิ้นดินขึ้นเปลือกเสาวรศโดยการใช้ความร้อนด้วยวิธีลวกด้วยน้ำร้อนร่วมกับการใช้เวลา 6 นาที ทำให้ค่าสีเปลี่ยนแปลงไปจากตัวอย่างควบคุมมากที่สุด และการลวกด้วยไอน้ำเป็นเวลา 3 นาที ทำให้ค่าสีเปลี่ยนแปลงไปจากตัวอย่างควบคุมน้อยที่สุด

จากตารางที่ 4-7 เมื่อพิจารณาผลการเตรียมชิ้นดิน โดยการใช้ความร้อนด้วยไอน้ำภายใต้ความดัน พบว่า มีผลให้ค่าสีเปลือกเสาวรศหลังการลวกเปลี่ยนแปลงไปน้อยกว่าการลวกด้วยน้ำร้อน แต่มากกว่าการลวกด้วยไอน้ำ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการลวกด้วยน้ำร้อนมีการใช้น้ำร้อนเป็นตัวกลางและขึ้นตัวอย่างมีโอกาสดัมผัสกับน้ำที่ใช้ลวกได้โดยตรง รวมถึงขึ้นตัวอย่างมีโอกากระแทกกันได้ระหว่างการลวก ในขณะที่การลวกด้วยไอน้ำและการลวกด้วยไอน้ำภายใต้ความดันมีการใช้ไอน้ำร้อนเป็นตัวกลางและขึ้นตัวอย่างอยู่กับที่ จึงมีโอกาสให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าสีไปน้อยกว่า การใช้ไอน้ำภายใต้ความดัน 15 psi มีผลให้ระดับอุณหภูมิของไอน้ำสูงถึง 121 องศาเซลเซียส จึงอาจมีผลให้เนื้อเยื่อของเปลือกเสาวรศมีลักษณะนุ่มขึ้นมากกว่าการใช้ไอน้ำจากสภาวะความดันปกติ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Rein (2005) ที่กล่าวว่า อุณหภูมิมีผลต่อความคงตัวของแอนโทไซยานิน โดยอัตราการสลายตัวของแอนโทไซยานินจะเพิ่มขึ้นเมื่อผ่านกระบวนการที่ใช้อุณหภูมิสูงขึ้น และมีรายงานว่า ในเนื้อเยื่อพืชแอนโทไซยานินจะอยู่ในรูปของ Cyanidin 3-glucoside และ Cyanidin 3-rutinoside ซึ่งสามารถสลายตัวได้ดีที่อุณหภูมิสูงตั้งแต่ 100 องศาเซลเซียส ในสภาวะกรดอ่อน ทั้งสภาวะที่มีและไม่มีออกซิเจน (Adams, 1973; Mercadante & Bobbio, 2008) รงควัตถุแอนโทไซยานินที่อยู่ในเซลล์เนื้อเยื่อส่วนเปลือกเสาวรศจึงมีโอกาสดูดซับออกและได้รับความร้อนทำให้แอนโทไซยานินสลายตัวหรือเปลี่ยนโครงสร้างไปได้มาก

จากตารางที่ 4-8 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของผงโยอาหารจากเปลือกเสาวรศ พบว่า สิ่งทดลองที่ 3 ที่ผ่านการเตรียมชิ้นดินโดยการใช้เวลาลวกด้วยไอน้ำ เป็นเวลา 3 นาที ทำให้

ได้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสมิปริมาณน้ำตาลทั้งหมดสูงที่สุด (5.76 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) ($p < 0.05$) รองลงมาคือ สิ่งทดลองที่ 4 ที่ผ่านการเตรียมขึ้นต้นด้วยการลวกด้วยไอน้ำ เป็นเวลา 6 นาที ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 1 2 5 และ 6 ที่ผ่านการลวกด้วยน้ำร้อนและการลวกด้วยไอน้ำภายใต้ความดัน เป็นเวลา 3 นาที และ 6 นาที ตามลำดับ มีผลให้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสมิที่ได้มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดต่ำที่สุด (4.07-4.23 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) ($p \geq 0.05$) แสดงให้เห็นว่าน้ำตาลสามารถถูกกำจัดออกไปได้มากกว่า เมื่อลวกด้วยน้ำร้อนหรือไอน้ำภายใต้ความดัน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเตรียมขึ้นต้น โดยการให้ความร้อนด้วยการลวกมีผลทำให้โครงสร้างพืชเกิดการเปลี่ยนแปลง เนื้อเยื่อพืชอ่อนนุ่มลง (Larrauri, 1999; Nilnakara, 2006; Wachirasiri et al., 2009; Tanongkankit, 2011) ประกอบกับการใช้น้ำเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน ขึ้นเปลือกเสาวรสมิมีโอกาสสัมผัสกับน้ำที่ใช้ลวกได้โดยตรง จึงทำให้เกิดการสูญเสียสารที่มีโมเลกุลต่ำและละลายน้ำได้ เช่น น้ำตาล ไปกับน้ำที่ใช้ลวกได้ (Wennbeg, Ekvall, Olsson, & Nyman, 2006) ซึ่งเป็นการเพิ่มโอกาสที่น้ำตาลอิสระที่อยู่ในเปลือกเสาวรสมิโอกาสถูกชะออกมาได้มากกว่าการลวกด้วยไอน้ำซึ่งมีไอน้ำเป็นตัวพาความร้อน และขึ้นเปลือกเสาวรสมิอยู่กับที่ สำหรับการใช้อินทรีย์ภายใต้ความดัน 15 psi มีผลให้ระดับอนุกรมของไอน้ำสูงถึง 121 องศาเซลเซียส มีโอกาสทำให้น้ำของเปลือกเสาวรสมิลักษณะนุ่มขึ้นมากกว่าการใช้อินทรีย์จากสภาวะปกติ จึงมีผลให้เกิดการสูญเสียน้ำตาลอิสระออกมาได้มาก อย่างไรก็ตามพบว่า การเตรียมขึ้นต้นเปลือกเสาวรสมิโดยการให้ความร้อนตามสภาวะในงานวิจัยนี้สามารถกำจัดน้ำตาลออกจากวัตถุดิบได้ เนื่องจากมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่คงอยู่ในผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสมิ (4.07-5.76 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) น้อยกว่าปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของเปลือกเสาวรสมิที่ไม่ผ่านการเตรียมขึ้นต้น (7.10 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) คิดเป็นการลดลง 1.34%-3.03%

จากตารางที่ 4-9 ผลการวิเคราะห์ปริมาณใยอาหารทั้งหมดของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสมิ พบว่า สิ่งทดลองที่ 1 และ 2 ที่ผ่านการเตรียมขึ้นต้นโดยการลวกด้วยน้ำร้อน เป็นเวลา 3 นาที และ 6 นาที ตามลำดับ มีผลให้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสมิที่ได้มีปริมาณใยอาหารทั้งหมดมากที่สุด (90.43 และ 92.05 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการลวกด้วยน้ำร้อน มีน้ำเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน ดังนั้นสารประกอบต่าง ๆ ที่ไม่ใช่ใยอาหาร และสามารถละลายน้ำได้ จึงถูกชะออกไปกับน้ำที่ใช้ในการลวก ทำให้ปริมาณใยอาหารทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้จากผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสมิปริมาณก่อนข้างสูง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Wennberg et al. (2006) ที่กล่าวว่า การลวกด้วยน้ำส่งผลต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของใยอาหาร ได้แก่ สัดส่วนใยอาหารที่ละลายน้ำและใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และทำให้เกิดการสูญเสียสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่มีสมบัติละลายน้ำได้ ได้แก่ แร่ธาตุ วิตามิน และน้ำตาลไปกับน้ำที่ใช้ลวก ซึ่งมี

ผลให้เพิ่มความบริสุทธิ์ของโยอาหารนั่นเอง เมื่อพิจารณาที่เวลาการให้ความร้อนในการลวกด้วยน้ำ พบว่า การใช้เวลา 3 นาที และ 6 นาที ทำให้ได้ผงโยอาหารที่มีปริมาณโยอาหารทั้งหมดไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) นั้นแสดงให้เห็นว่าเวลาการให้ความร้อนในการลวกด้วยน้ำ 3 นาที ก็เพียงพอที่ทำให้ได้ผงโยอาหารที่มีความบริสุทธิ์ได้ เป็นการประหยัดเวลา และค่าใช้จ่ายในกระบวนการเตรียมขึ้นต้นได้

ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 3 และ 4 ที่ผ่านการเตรียมขึ้นต้นโดยการลวกด้วยไอน้ำ เป็นเวลา 3 นาที และ 6 นาที ตามลำดับ มีปริมาณโยอาหารทั้งหมดไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) แต่มีปริมาณโยอาหารทั้งหมด (81.94-84.58 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) น้อยกว่าสิ่งทดลองที่ผ่านการเตรียมขึ้นต้น โดยการลวกด้วยน้ำ (90.43-92.05 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) ทั้งนี้เนื่องจากการลวกด้วยไอน้ำ อาศัยไอน้ำเป็นตัวพาความร้อน และขึ้นเปลือกเสาวรสอยู่กับที่ แม้ไอน้ำที่ให้กับขึ้นเปลือกเสาวรสอาจมีผลทำให้เปลือกเสาวรสนุ่มลงได้ และมีโอกาสที่สารประกอบส่วนอื่น ๆ ที่ไม่ใช่โยอาหารสามารถถูกกำจัดออกมาได้ (Larrauri, 1999; Nilnakara, 2006; Wachirasiri et al., 2009; Tanongkankit, 2011) แต่ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าความรุนแรงในการให้ความร้อนมีน้อยกว่า ซึ่งอาจมีผลในการกำจัดสารประกอบต่าง ๆ ที่ไม่ใช่โยอาหารออกไปได้ในปริมาณที่น้อยกว่าการลวกด้วยน้ำ

สำหรับสิ่งทดลองที่ 5 ที่ผ่านการเตรียมขึ้นต้นโดยการลวกด้วยไอน้ำภายใต้ความดัน เป็นเวลา 3 นาที มีปริมาณโยอาหารทั้งหมดไม่แตกต่างกับสิ่งทดลองที่ 3 และ 4 ซึ่งผ่านการเตรียมขึ้นต้นโดยการลวกด้วยไอน้ำ ($p \geq 0.05$) และสิ่งทดลองที่ 6 ที่ผ่านการเตรียมขึ้นต้นโดยการลวกด้วยไอน้ำภายใต้ความดัน เป็นเวลา 6 นาที มีปริมาณโยอาหารทั้งหมดน้อยที่สุด (77.73 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) แสดงให้เห็นแนวโน้มว่าการเตรียมขึ้นต้นโดยการลวกด้วยไอน้ำภายใต้ความดัน มีผลให้มีปริมาณโยอาหารทั้งหมดคงอยู่น้อย โดยเฉพาะเมื่อใช้เวลาในการลวกนานขึ้น ยิ่งทำให้มีปริมาณโยอาหารทั้งหมดน้อยที่สุด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการลวกด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดัน 15 psi เป็นการให้ความร้อนโดยใช้ไอน้ำร้อนและอยู่ในระบบปิดเพื่อให้เกิดแรงดันอากาศสูง ซึ่งมีผลทำให้เนื้อเยื่อพืชอ่อนนุ่มลงมาก แม้มีโอกาสทำให้สารประกอบต่าง ๆ ที่ไม่ใช่โยอาหารสูญเสียไปได้ แต่มีโอกาสที่โยอาหารที่ละลายน้ำได้ ที่เป็นองค์ประกอบในเนื้อเยื่อพืช เช่น เพคติน (Dhingra et al., 2012) จะถูกชะออกมาระหว่างการลวกด้วยไอน้ำภายใต้ความดันได้มากเช่นกัน แสดงให้เห็นว่าการใช้สภาวะการให้ความร้อนที่รุนแรงมาก และใช้เวลาในการลวกนานอาจมีผลต่อเนื้อเยื่อของพืช โดยทำลายผนังเซลล์พืชทำให้อ่อนนุ่มลง และมีผลให้เกิดการสูญเสียโยอาหาร โดยเฉพาะกลุ่มที่ละลายน้ำได้ และเป็นองค์ประกอบของเนื้อเยื่อพืชได้มาก สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sila et al. (2008) รายงานว่า เพคตินเป็นพอลิแซ็กคาไรด์หลักที่ถูกสกัดออกมาได้

ระหว่างกระบวนการให้ความร้อน การละลายของพอลิเมอร์ในผนังเซลล์เกิดขึ้นพร้อม ๆ กับการอ่อนตัวของเนื้อเยื่อเซลล์ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างที่ควบคุมขนาดช่องเปิดของเซลล์ และมีโอกาสสูญเสียไปได้มากระหว่างการให้ความร้อน อย่างไรก็ตามพบว่า การเตรียมชิ้นต้นเปลือกเสาวรสโดยการให้ความร้อนตามสภาวะในงานวิจัยนี้สามารถทำให้โยอาหารมีความบริสุทธิ์มากขึ้น เนื่องจากมีปริมาณโยอาหารทั้งหมดของผงโยอาหารจากเปลือกเสาวรส (77.73-92.05 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) มากกว่าปริมาณโยอาหารทั้งหมดของเปลือกเสาวรสที่ไม่ผ่านการเตรียมชิ้นต้น (71.04 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) คิดเป็นการเพิ่มขึ้น 6.69%-21.01%

จากตารางที่ 4-10 ผลการวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินของผงโยอาหารจากเปลือกเสาวรส พบว่า สิ่งทดลองที่ 3 ที่ผ่านการเตรียมชิ้นต้นโดยการลวกด้วยไอน้ำ เป็นเวลา 3 นาที มีผลให้ผงโยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่ได้มีปริมาณแอนโทไซยานินมากที่สุด (21.08 มิลลิกรัม Cyn-3-Glu/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) ทั้งนี้เนื่องจากการเตรียมชิ้นต้นโดยการลวกด้วยไอน้ำเป็นเวลาสั้น เป็นสภาวะที่ทำให้เปลือกเสาวรสมีโอกาสสัมผัสไอน้ำในสภาวะที่รุนแรงน้อย เป็นเวลาสั้น จึงสามารถรักษารังควัตถุแอนโทไซยานิน ที่มีสมบัติละลายได้ดีในน้ำ สลายตัวได้ง่ายด้วยความร้อน แสง และออกซิเจน (Rein, 2005) ทำให้ผงโยอาหารจากเปลือกเสาวรสยังคงรักษาปริมาณแอนโทไซยานินได้มาก สอดคล้องกับงานวิจัยของ Roy et al. (2009) กล่าวว่า การลวกด้วยไอน้ำเป็นทางเลือกหนึ่งในการเตรียมชิ้นต้นที่ช่วยลดการสูญเสียสารพฤกษเคมีที่ละลายน้ำ และสลายตัวได้ง่ายด้วยความร้อนในระหว่างการลวก และ Tanongkankit (2011) รายงานว่า การเตรียมชิ้นต้นโดยการลวกกะหล่ำปลีด้วยไอน้ำก่อนการทำแห้ง สามารถรักษาสารพฤกษเคมีไว้ได้ดีกว่าการลวกด้วยน้ำร้อน

ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 1 และ 2 ที่ผ่านการเตรียมชิ้นต้นโดยการลวกด้วยน้ำร้อน เป็นเวลา 3 นาที และ 6 นาที ตามลำดับ รวมถึงสิ่งทดลองที่ 4 ที่ผ่านการเตรียมชิ้นต้นโดยการลวกด้วยไอน้ำ เป็นเวลา 6 นาที มีผลให้ผงโยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่ได้มีปริมาณแอนโทไซยานินไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) โดยมีปริมาณแอนโทไซยานิน (13.57-14.82 มิลลิกรัม Cyn-3-Glu/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) น้อยกว่าปริมาณแอนโทไซยานินของสิ่งทดลองที่ 3 ที่ผ่านการเตรียมชิ้นต้นโดยการลวกด้วยไอน้ำ เป็นเวลา 3 นาที (21.08 มิลลิกรัม Cyn-3-Glu/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) ทั้งนี้เนื่องจากการลวกด้วยน้ำร้อน มีน้ำเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน จึงทำให้มีโอกาสดึงแอนโทไซยานินออกมาได้มากกว่าการลวกด้วยไอน้ำเป็นเวลา 3 นาที อย่างไรก็ตามเมื่อลวกด้วยไอน้ำ เป็นเวลา 6 นาที ทำให้เปลือกเสาวรสมีโอกาสสัมผัสกับความร้อนได้นานขึ้น จึงทำให้รังควัตถุแอนโทไซยานินซึ่งไม่เสถียรต่อความร้อนสลายตัวไปได้มาก และมีโอกาสละลายออกมากับไอน้ำระหว่างการลวก ปริมาณแอนโทไซยานินที่คงอยู่จึงเหลือน้อยกว่าการลวกด้วยไอน้ำเป็นเวลา 3 นาที

สำหรับสิ่งทดลองที่ 5 และ 6 ที่ผ่านการเตรียมขั้นต้น โดยการลวกด้วยไอน้ำภายใต้ความดัน เป็นเวลา 3 นาที และ 6 นาที ตามลำดับ มีผลให้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่ได้มีปริมาณแอนโทไซยานินน้อยที่สุด (11.06-11.48 มิลลิกรัม Cyn-3-Glu/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) ทั้งนี้อาจเนื่องจากแอนโทไซยานินเป็นสารประกอบที่ไม่เสถียร สามารถสลายตัวได้ง่ายด้วยความร้อน โดยอัตราการสลายตัวของแอนโทไซยานินจะเพิ่มขึ้นเมื่อผ่านกระบวนการที่ใช้อุณหภูมิสูงขึ้น (Rein, 2005) การใช้ความร้อนในการเตรียมขั้นต้นถึง 121 องศาเซลเซียส มีโอกาสทำให้กลุ่มสารที่เป็นองค์ประกอบของแอนโทไซยานิน เช่น Cyanidin 3-glucoside และ Cyanidin 3-rutinoside เกิดการสลายตัวได้มาก (Adams, 1973; Mercadante & Bobbio, 2008) อย่างไรก็ตามพบว่า การเตรียมขั้นต้นเปลือกเสาวรสโดยใช้ความร้อนตามสภาวะในงานวิจัยนี้สามารถรักษาแอนโทไซยานินในวัตถุดิบได้ เนื่องจากมีปริมาณแอนโทไซยานินคงอยู่ในผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส (11.06-21.08 มิลลิกรัม Cyn-3-Glu ต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง) มากกว่าปริมาณแอนโทไซยานินของเปลือกเสาวรสผงที่ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้น (7.72 มิลลิกรัม Cyn-3-Glu ต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง) คิดเป็นการเพิ่มขึ้น 3.34%-13.36%

สารประกอบฟีนอลิก เป็นสารประกอบที่สูตรโครงสร้างมีหมู่ไฮดรอกซิล (OH group) บนวงแหวนอะโรมาติก (Aromatic ring) ตั้งแต่ 1 กลุ่มขึ้นไป เป็นสารที่พบได้ในพืช ผัก และผลไม้ มักจะรวมอยู่ในโมเลกุลของน้ำตาลในรูปของสารประกอบไกลโคไซด์ (Glycoside) น้ำตาลชนิดที่พบมากที่สุดโมเลกุลของสารประกอบฟีนอลิก คือ น้ำตาลกลูโคส (Glucose) และพบว่าอาจมีการรวมตัวกันระหว่างสารประกอบฟีนอลิกด้วยกันเอง หรือสารประกอบฟีนอลิกกับสารประกอบอื่น ๆ เช่น กรดอินทรีย์ (Organic acid) รวมอยู่ในโมเลกุลของโปรตีน แอลคาลอยด์ (Alkaloid) และเทอร์พีนอยด์ (Terpenoid) เป็นต้น สารประกอบฟีนอลิกจากผักและผลไม้มีประโยชน์ต่อร่างกาย และมีฤทธิ์ในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) ส่วนใหญ่กลุ่มที่พบคือ ฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) กรดฟีนอลิก (Phenolic acid) โดยมีสมบัติสามารถละลายได้ในน้ำ (วิวัฒน์ หวังเจริญ, 2545; Kim, Padilla-Zakour, & Griffiths, 2004; พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนปนนท์, ม.ป.ป.) ดังนั้นในขั้นตอนการแปรรูปต่าง ๆ อาจทำให้เกิดการสูญเสียสารประกอบฟีนอลิกเหล่านี้ได้ทั้งจากออกซิเจน ความร้อน การชะ และอื่น ๆ

จากตารางที่ 4-10 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส พบว่า การเตรียมขั้นต้นด้วยวิธีการให้ความร้อนและเวลาการให้ความร้อนที่แตกต่างกัน มีผลให้ได้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดแตกต่างกัน ($p < 0.05$) โดยสิ่งทดลองที่ 3 ที่ผ่านการเตรียมขั้นต้น โดยการลวกด้วยไอน้ำ เป็นเวลา 3 นาที มีผลให้ได้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่ได้มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุด

(106.87 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเตรียมชิ้นต้นโดยการ ลวกด้วยไอน้ำ มีการใช้ไอน้ำเป็นตัวพาความร้อน ซึ่งเปลือกเสาวรสอยู่กับที่ และมีโอกาสที่ชิ้น เปลือกเสาวรสสัมผัสกับไอน้ำ เป็นเวลาดสั้นเพียง 3 นาที จึงกล่าวได้ว่าเป็นสภาวะการเตรียมชิ้นต้นที่ รุนแรงน้อยที่สุด จึงทำให้สารพฤกษเคมีกลุ่ม โพลีฟีนอล ฟลาโวนอยด์ และแอนโทไซยานิน ซึ่งเป็น สารประกอบฟีนอลิกที่พบในเปลือกเสาวรส ซึ่งมีสมบัติละลายได้ดีในน้ำ และเสื่อมสลายได้ง่าย ด้วยความร้อน (ศรัณย์ ลาภนิธิพร, ฉัญญา เลหากุลจิตต์ และอรพิน เกิดชูชื่น, 2555) มีโอกาสยังคงอยู่ ในเปลือกเสาวรส ได้มากที่สุด ดังนั้นการเตรียมชิ้นต้นด้วยสภาวะนี้จึงยังคงสามารถรักษาปริมาณ สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสไว้ได้มากนั่นเอง แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับเปลือกเสาวรสผงที่ไม่ผ่านการเตรียมชิ้นต้นใด ๆ พบว่า ผงใยอาหารจาก เปลือกเสาวรสที่ผ่านการเตรียมชิ้นต้น โดยการลวกด้วยไอน้ำ เป็นเวลา 3 นาที มีปริมาณ สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (104.87 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) มากกว่าเปลือก เสาวรสผง (73.50 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเปลือกเสาวรส สดมีเอนไซม์กลุ่มฟีนอกซิเดส โดยเอนไซม์ที่สำคัญ ได้แก่ โพลีฟีนอลออกซิเดส (Polyphenol oxidase) และเปอร์ออกซิเดส (Peroxidase) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่สำคัญที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล หากเอนไซม์ ในตัวอย่างยังไม่ถูกทำลายไปจะสามารถทำปฏิกิริยากับสารตั้งต้นพวกกลุ่มสารประกอบฟีนอลิก ใน สภาวะที่มีออกซิเจน ทำให้สารโมโนฟีนอล (Monophenol) (ไม่มีสี) ถูกออกซิไดซ์เป็น ไดฟีนอล (Diphenol) (ไม่มีสี) และถูกออกซิไดซ์ต่อเป็น ออโทควิโนน (*o*-quinone) ซึ่งมีสีน้ำตาล และจะ รวมตัวกันเป็นพอลิเมอร์เกิดเป็นสาร โมเลกุลใหญ่มีสีน้ำตาลแดง (นิธิยา รัตนานพนธ์, 2553) ดังนั้น การเตรียมชิ้นต้น โดยการลวกด้วยไอน้ำ เป็นเวลา 3 นาที จึงเป็นสภาวะที่รุนแรงน้อย ที่ทำให้ผง ใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่ได้ยังคงมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมากกว่าเปลือกเสาวรสผง นั้นเอง นอกจากนี้พบข้อสังเกตว่า ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่ผ่านการเตรียมชิ้นต้น โดยการ ลวกด้วยไอน้ำ เป็นเวลา 3 นาที มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมากกว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ของเปลือกเสาวรสสด (97.31 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) ทั้งนี้อาจเกิดจากการ เตรียมชิ้นต้นเปลือกเสาวรสก่อนการทำแห้ง นอกจากสามารถยับยั้งเอนไซม์ที่ทำลายสารประกอบ ฟีนอลิกแล้วยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเซลล์ และมีโอกาสปลดปล่อย สารประกอบฟีนอลิกอิสระออกมามากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Kessy et al. (2016) ที่ ศึกษาผลของการเตรียมวัตถุดิบด้วยการลวกด้วยไอน้ำ ต่อคุณภาพของเปลือกถั่วลิสงแห้ง โดยติดตาม ปริมาณการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด พบว่า เปลือกถั่วลิสงที่ผ่านการลวกด้วย ไอน้ำและทำแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (82.26 มิลลิกรัมกรด แกลลิก/กรัม) มากกว่าเมื่อเทียบกับเปลือกถั่วลิสงที่ไม่ผ่านการลวกด้วยไอน้ำและทำแห้งที่ 60

องศาเซลเซียส (59.68 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/กรัม) นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมากกว่าเมื่อเทียบกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของเปลือกถั่วลิสง (72.61 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/กรัม) ทั้งนี้เนื่องมาจากเปลือกถั่วลิสงมีเอนไซม์ต่าง ๆ เช่น โพลีฟีนอลออกซิเดส เปรอร์ออกซิเดส และแอนโทไซยานิน เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิชัน (Enzymatic oxidation) ดังนั้นในระหว่างการทำแห้ง จึงมีโอกาสนำเอนไซม์ที่ยังคงอยู่ในเปลือกถั่วลิสงทำปฏิกิริยากับสารประกอบฟีนอลิกในสภาวะที่มีออกซิเจน ทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดลดลงได้นอกจากนี้การสัมผัสความร้อนเป็นเวลานานยังเพิ่มโอกาสให้สารประกอบฟีนอลิกที่ไม่ทนต่อความร้อนสลายตัวได้มากขึ้น (Thermal degradation) ในขณะที่เปลือกถั่วลิสงที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นด้วยการลวกด้วยไอน้ำก่อนการทำแห้ง สามารถยับยั้งเอนไซม์ที่ทำลายสารประกอบฟีนอลิก และทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเซลล์ และมีโอกาสให้สารประกอบฟีนอลิกที่สามารถสกัดได้ (Extractable phenolic compounds) และสารประกอบฟีนอลิกที่ไม่สามารถสกัดได้ (Non-Extractable phenolic compounds) ถูกปลดปล่อยออกมา ดังนั้นเปลือกถั่วลิสงที่ผ่านการลวกด้วยไอน้ำก่อนการทำแห้งจึงมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมากกว่าเปลือกถั่วลิสงที่ผ่านการลวกด้วยไอน้ำ และมากกว่าเปลือกถั่วลิสงสดด้วยเช่นเดียวกัน

ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 2 ที่ผ่านการลวกด้วยน้ำร้อน เป็นเวลา 6 นาที มีผลให้ได้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดต่ำที่สุด (41.68 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยน้ำร้อน มีการใช้ไอน้ำเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน มีโอกาสให้ชั้นเปลือกเสาวรสดัมภ์กับน้ำที่ใช้ลวกได้มากกว่าการลวกด้วยไอน้ำ จึงทำให้สารประกอบฟีนอลิกที่มีสมบัติสามารถละลายน้ำเกิดการสูญเสียไปกับน้ำที่ใช้ลวกได้มากขึ้น ซึ่งเมื่อใช้เวลานานขึ้น จึงมีแนวโน้มทำให้สารพฤษเคมีมีโอกาสถูกชะและสลายตัวได้มากขึ้น (Davey et al., 2000; Singh, Singh, & Rai, 2008) Ismail, Marjan, & Foong (2004) กล่าวว่า สารประกอบฟีนอลิกในผักผลไม้ที่พบ ส่วนใหญ่คือ สารกลุ่มฟลาโวนอยด์ มีสมบัติสลายตัวได้เมื่อสัมผัสกับความร้อนในการลวกด้วยน้ำ รวมถึงมีโอกาสจะละลายไปกับน้ำที่ใช้ลวกได้ประมาณ 20 % เมื่อลวกในน้ำร้อน เป็นเวลา 1 นาที เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างสด จากผลการทดลองเมื่อพิจารณาการเตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยไอน้ำภายใต้ความดัน พบว่า ทำให้ได้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสดัมภ์ที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมากกว่าผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสดัมภ์ที่ผ่านการลวกด้วยน้ำร้อน แต่มีปริมาณน้อยกว่าผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสดัมภ์ที่ผ่านการลวกด้วยไอน้ำ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการลวกโดยการใช้อุณหภูมิสูงถึง 121 องศาเซลเซียส ในสภาวะที่มีความดัน 15 psi เป็นสภาวะการให้ความร้อนที่รุนแรงมากกว่า จึงมีแนวโน้มทำให้สารพฤษเคมีสลายตัวได้มากกว่าการลวกด้วยไอน้ำที่ใช้

อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสในสภาวะความดันปกติ สอดคล้องกับที่ Volden et al. (2008) กล่าวว่า การสูญเสียสารประกอบฟีนอลิกสามารถเกิดขึ้นได้ เนื่องจากการสลายตัวด้วยความร้อน และการละลายออกไปกับน้ำที่ใช้ลวก ดังนั้นการใช้อุณหภูมิสูงถึง 121 องศาเซลเซียส จึงมีโอกากระตุ้นให้สารประกอบฟีนอลิกสลายตัวและละลายออกไประหว่างการลวกได้มาก นอกจากนี้อุณหภูมิในการลวกที่สูงภายใต้ความดันนี้ ส่งผลให้ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของชั้นเปลือกเสาวรศ ทำให้เปลือกผักผลไม้มิมีความนุ่มและมีลักษณะเป็นรูพรุน (Porosity) มากขึ้น จึงเพิ่มโอกาสการถ่ายมวลสารและเพิ่มโอกาสในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกออกมากับน้ำในระหว่างการลวกได้มากขึ้น (Cipriano, Ekici, Barnes, Gomes, & Talcott, 2015; Lin et al., 2012; Stamatopoulos, Katsoyannos, Chatzilazarou, & Konteles, 2012) แต่อย่างไรก็ตามจากผลการทดลอง พบว่า สิ่งทดลองที่ผ่านการเตรียมขั้นต้น โดยการลวกด้วยไอน้ำ และการลวกด้วยไอน้ำภายใต้ความดัน ยังคงมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมากกว่าสิ่งทดลองที่ผ่านการลวกด้วยน้ำร้อน

จากตารางที่ 4-10 ผลการวิเคราะห์สมบัติการต้านอนุมูลอิสระของผงโยอาหารจากเปลือกเสาวรศ ซึ่งในงานวิจัยนี้รายงานเป็นค่า % inhibition เป็นการทดสอบประสิทธิภาพการจับกับอนุมูลอิสระ 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) โดยมีหลักการคือ DPPH ซึ่งเป็นอนุมูลอิสระสังเคราะห์ที่มีความคงตัว เมื่ออยู่ในรูปสารละลาย DPPH จะมีสีม่วง ถ้าทำปฏิกิริยากับตัวอย่างที่มีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองและสามารถดูดกลืนแสงได้ดีที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ดังนั้นการลดลงของความเข้มข้น DPPH (สีอ่อนลง) บ่งบอกถึงความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระของสารต้านอนุมูลอิสระ (Molyneux, 2004; บุหรัน พันธุ์สุวรรณ, 2556) และเมื่อคำนวณเป็นค่า Inhibition แล้วเป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถของสารที่สามารถยับยั้งอนุมูลอิสระได้ หากมีค่า Inhibition มาก แสดงว่าสารสกัดนั้นมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระมาก จากผลการทดลอง พบว่า การเตรียมขั้นต้น โดยวิธีการให้ความร้อนและใช้เวลาการให้ความร้อนต่างกัน ไม่มีผลต่อสมบัติการต้านอนุมูลอิสระที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($p \geq 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องจากการเตรียมขั้นต้น โดยการลวกในน้ำร้อน การลวกด้วยไอน้ำ และการลวกด้วยไอน้ำภายใต้ความดัน สามารถทำลายเอนไซม์ที่ทำให้เกิดการทำลายของสารต้านอนุมูลอิสระ โดยเฉพาะเอนไซม์เพอร์ออกซิเดสซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ทำปฏิกิริยากับสารประกอบฟีนอลิกไปเป็นสารอื่น (Nishiba & Suda, 1998) ดังนั้นผงโยอาหารจากเปลือกเสาวรศที่ผ่านการเตรียมขั้นต้น โดยการใช้ความร้อนในทุกสิ่งทดลองจึงแสดง % Inhibition ในปริมาณที่สูง โดยพบข้อสังเกตว่า แม้ปริมาณแอนโทไซยานิน และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้จากทุกสิ่งทดลองจะแตกต่างกัน ($p < 0.05$) แต่ยังคงมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระเพียงพอที่จะดักจับอนุมูลอิสระ DPPH ได้สูงถึง 89% และใกล้เคียงกันมาก จนเมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ผลทางสถิติ พบว่า ไม่แตกต่างกันอย่าง

มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) นอกจากนี้สมบัติการต้านอนุมูลอิสระของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสอาจมาจากสารอื่น เช่น เบต้าแคโรทีน ซึ่งมีความสามารถในการละลายน้ำต่ำ (Martini et al., 2010) ดังนั้นจึงอาจไม่ถูกชะออกไประหว่างการลวกและยังคงอยู่ในผงใยอาหาร โดยแสดงสมบัติการต้านอนุมูลอิสระได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Nilakara (2006) ที่รายงานว่าสารฟลิกษเคมีที่มีสมบัติต้านอนุมูลอิสระ DPPH ไม่ได้มีเพียงแค่ออกซิเจนของสารประกอบฟีนอลิกเท่านั้น แต่หมายถึงสารประกอบกลุ่มอื่นด้วย เช่น เบต้าแคโรทีน วิตามินซี ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ว่าแม้ผลการวิเคราะห์แสดงว่ามีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดแตกต่างกัน แต่ให้สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ในระดับที่ใกล้เคียงกันได้

จากภาพที่ 4-1 แสดงลักษณะของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้นด้วยวิธีและเวลาการให้ความร้อนที่แตกต่างกัน พบว่า เปลือกเสาวรสที่ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้นมีสีน้ำตาลอ่อน ไม่เห็นลักษณะสีออกทางม่วงแดง ในขณะที่ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นด้วยการลวกด้วยน้ำและไอน้ำมีสีออกทางม่วงแดงมากกว่า ส่วนผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นด้วยการลวกด้วยไอน้ำภายใต้ความดันมีสีออกทางน้ำตาลค่อนข้างเข้ม และจากตารางที่ 4-11 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าสีของเปลือกเสาวรสที่ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้นด้วยเครื่องมือวัด พบว่า มีค่าสี L^* a^* และ b^* เท่ากับ 64.57 7.28 และ 21.25 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับผลการประเมินด้วยตาเปล่า ที่เห็นว่าเปลือกเสาวรสมีสีน้ำตาลอ่อน ทั้งนี้เนื่องจากการที่เปลือกเสาวรสไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้นจึงมีโอกาสให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ โดยเกิดขึ้นเมื่อเซลล์ของพืชถูกบดหรือหั่น ทำให้เกิดปฏิกิริยาของสารประกอบฟีนอลิกที่อยู่ในเซลล์พืช เช่น กลุ่มของสารประกอบ โพลีฟีนอล ฟลาโวนอยด์ และแอนโทไซยานิน ทำหน้าที่เป็นสารตั้งต้นสัมพันธ์กับออกซิเจนในอากาศ และมีเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (Polyphenol oxidase) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮดรอกซิเลชันได้เป็น ออร์โท-ไดฟีนอล (*o*-diphenol) สารนี้จะถูกออกซิไดซ์ต่อไปเป็นออร์โท-ควิโนน (*o*-quinone) ซึ่งควิโนนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาที่เร่งด้วยเอนไซม์ PPO นี้ จะรวมตัวกันและเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดกับสารประกอบฟีนอลอื่นๆ หรือกับกรดอะมิโน ได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำตาล (นิธิยา รัตนานนท์, 2553) ดังนั้นเมื่อนำเปลือกเสาวรสที่ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้นไปทำแห้งและบดเป็นผง ทำให้ได้เปลือกเสาวรสที่มีสีน้ำตาลอ่อนซึ่งเป็นสีคล้ำไม่มีสีออกทางม่วงแดง

จากตารางที่ 4-11 เมื่อพิจารณาค่าสี L^* และ a^* พบว่า สิ่งทดลองที่ 1 และ 2 ที่ผ่านการเตรียมขั้นต้น โดยการลวกด้วยน้ำร้อน เป็นเวลา 3 และ 6 นาที ตามลำดับ และสิ่งทดลองที่ 3 และ 4 ที่ผ่านการเตรียมขั้นต้น โดยการลวกด้วยไอน้ำ เป็นเวลา 3 และ 6 นาที ตามลำดับ ได้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่มีค่าสี L^* และ a^* ใกล้เคียงกันและมีค่าค่อนข้างมาก โดยมีค่าสี L^* อยู่ในช่วง

67.53-68.36 และมีค่าสี a^* อยู่ในช่วง 8.11-8.72 แสดงถึง มีความสว่างและมีความเป็นสีแดงมาก ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 5 และ 6 ที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยไอน้ำภายใต้ความดัน เป็นเวลา 3 และ 6 นาที ตามลำดับ มีค่าสี L^* และ a^* แนวโน้มต่ำกว่า โดยมีค่าสี L^* อยู่ในช่วง 66.15-67.01 และมีค่าสี a^* อยู่ในช่วง 7.76-7.80 แสดงถึง มีความสว่างและสีแดงน้อยกว่า แสดงให้เห็นว่าการเตรียมขั้นต้นขึ้นเปลือกเสาวรศโดยการให้ความร้อนด้วยวิธีลวกด้วยน้ำร้อนและไอน้ำ ช่วยป้องกันการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้จึงทำให้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรศมีความสว่างไม่เกิดสีน้ำตาลคล้ำ นอกจากนี้ยังสามารถรักษารงควัตถุแอนโทไซยานินไว้ได้ แม้ผ่านการสัมผัสความร้อนในการทำแห้งยังคงได้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรศที่มีสีออกม่วงแดง สำหรับการเตรียมขั้นต้นขึ้นเปลือกเสาวรศ โดยการให้ความร้อนด้วยวิธีการลวกด้วยไอน้ำภายใต้ความดัน พบข้อสังเกตว่าขึ้นเปลือกเสาวรศก่อนการทำแห้งมีลักษณะนุ่ม และมีสีคล้ำมากกว่าสิ่งทดลองอื่น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการลวกด้วยไอน้ำภายใต้ความดันเป็นการให้ความร้อนสูงถึง 121 องศาเซลเซียส ในระบบปิด ด้วยความร้อนที่สูงทำให้มีโอกาสทำลายเนื้อเยื่อของเปลือกเสาวรศให้อ่อนนุ่มลง นอกจากนี้ยังมีโอกาสให้รงควัตถุแอนโทไซยานินสลายตัวไปได้จากความร้อน รวมถึงอาจเกิดปฏิกิริยามอลดาร์ด์ได้ ซึ่งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลนี้เกิดขึ้นเมื่อน้ำตาลรีดิวซ์ได้รับความร้อนในสภาวะที่มีน้ำ ($a_w > 0.2$) โดยทำปฏิกิริยากับหมู่อะมิโน กรดอะมิโน และ โปรตีน ได้เป็นไกลโคซิลเอมีน (N-substituted glycosylamine) และเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องจนได้เป็นสารสีน้ำตาล (นิธิยา รัตนปานนท์, 2553) ดังนั้นเปลือกเสาวรศที่ผ่านการลวกด้วยไอน้ำภายใต้ความดัน เมื่อทำแห้งและบดเป็นผง จึงทำให้ได้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรศที่มีสีน้ำตาลมากกว่าสิ่งทดลองอื่น

Femenia (2007) กล่าวว่า ความร้อนในกระบวนการแปรรูปอาหาร อาจส่งผลให้พอลิแซ็กคาไรด์ในเซลล์พืช เช่น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส เพกติน และลิกนิน เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง สมบัติทั้งทางกายภาพและสมบัติทางเคมี โดยเฉพาะการให้ความร้อนในกระบวนการลวกทำให้สารประกอบเพกตินสลายตัวและละลายจากผนังเซลล์และเซลล์ชั้นกลางระหว่างเซลล์ที่อยู่ติดกัน ส่งผลให้เกิดการสูญเสียแรงยึดระหว่างเซลล์ ก่อให้เกิดช่องว่างระหว่างเซลล์และทำให้เนื้อเยื่ออ่อนนุ่มลง (Greve, McArdle, Gohlke, & Labavitch, 1994; Stolle-Smits, Beekhuizen, Recourt, Voragen, & Dijk, 1997; Ni, Lin, & Barrett, 2005) ดังนั้นการเตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยไอน้ำภายใต้ความดัน ซึ่งเป็นการลวกที่ใช้อุณหภูมิสูง มีผลทำให้เนื้อเยื่อถูกทำลายและทำให้เนื้อเยื่ออ่อนนุ่มลงมากกว่าการให้ความร้อนด้วยการลวกวิธีอื่น ๆ จึงเอื้อให้เนื้อเยื่อสัมผัสกับความร้อนทั้งจากกระบวนการลวกและกระบวนการทำแห้งได้มากขึ้น เนื้อเยื่อถูกทำลายมากและเกิดช่องว่างระหว่างเซลล์เนื้อเยื่อมาก จึงทำให้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรศที่ผ่านการลวกด้วยไอน้ำภายใต้ความดันมีสีคล้ำมากกว่าสิ่งทดลองอื่น

สำหรับค่า b^* พบว่า สิ่งทดลองที่ 1 และ 2 ที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยน้ำร้อน เป็นเวลา 3 และ 6 นาที ตามลำดับ มีค่า b^* ก่อนข้างต่ำ โดยมีค่า b^* อยู่ในช่วง 12.01-13.45 แสดงถึง มีความเป็นสีเหลืองน้อย ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 3 และ 4 ที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยไอน้ำ เป็นเวลา 3 และ 6 นาที ตามลำดับ และสิ่งทดลองที่ 5 และ 6 ที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยไอน้ำภายใต้ความดัน เป็นเวลา 3 และ 6 นาที ตามลำดับ มีค่า b^* แนวโน้มสูงกว่า โดยมีค่า b^* อยู่ในช่วง 15.00-16.85 แสดงถึง มีความเป็นสีเหลืองมากกว่า ซึ่งจากการพิจารณาค่า b^* ของเปลือกเสาวรสด พบว่า มีค่า b^* เท่ากับ 8.69 แสดงถึงการมีความเป็นสีเหลืองก่อนข้างต่ำ จึงอาจกล่าวได้ว่าผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่ผ่านการลวกด้วยน้ำร้อนมีลักษณะความเป็นสีเหลืองใกล้เคียงกับเปลือกเสาวรสดมากกว่าสิ่งทดลองอื่น

จากตารางที่ 4-11 สำหรับผลของค่า Hue angle และค่า Chroma พบว่า สิ่งทดลองที่ 3 ที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยไอน้ำ เป็นเวลา 3 นาที ได้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่มีค่า Hue angle และค่า Chroma สูงที่สุด เท่ากับ 63.62 และ 18.81 ตามลำดับ ($p < 0.05$) โดยหากค่า Hue angle อยู่ในช่วง 45-90 องศา แสดงถึงมีเจดสีส้มแดงถึงเหลือง และหากค่า Chroma มีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงถึงวัตถุมีสีเขียวจาง (เทา) ถ้ามีค่าเข้าใกล้ 60 แสดงถึงวัตถุมีสีเขียวเข้ม (McGuire, 1992) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสภาวะการเตรียมขั้นต้นเปลือกเสาวรสโดยการให้ความร้อนด้วยวิธีลวกด้วยไอน้ำ เป็นเวลา 3 นาที มีผลให้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสมีเจดสีอยู่ในช่วงสีส้มแดงถึงเหลืองและมีสีก่อนข้างเข้ม มากกว่าสิ่งทดลองอื่น ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 1 ที่ผ่านการลวกด้วยน้ำร้อน เป็นเวลา 3 นาที มีค่า Hue angle และค่า Chroma ต่ำที่สุด เท่ากับ 54.02 และ 14.84 ตามลำดับ ($p < 0.05$) แสดงให้เห็นว่าสภาวะการเตรียมขั้นต้นเปลือกเสาวรสโดยการให้ความร้อนด้วยวิธีลวกด้วยน้ำร้อน เป็นเวลา 3 นาที มีผลให้ได้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสมีเจดสีอยู่ในช่วงสีส้มแดงถึงเหลือง และมีความเข้มสีต่ำกว่าสิ่งทดลองอื่น และจากผลการคำนวณค่า ΔE แสดงผลยืนยันให้เห็นว่าสภาวะการเตรียมขั้นต้นชั้นเปลือกเสาวรสโดยการให้ความร้อนด้วยวิธีการลวกด้วยน้ำร้อน เป็นเวลา 3 นาที ทำให้ค่าสีของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสเปลี่ยนแปลงไปจากตัวอย่างควบคุมมากที่สุด ในขณะที่การลวกด้วยไอน้ำเป็นเวลา 3 นาที ทำให้ค่าสีของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสเปลี่ยนแปลงไปจากตัวอย่างควบคุมน้อยที่สุด

จากเกณฑ์ในการคัดเลือกสิ่งทดลองที่กำหนดไว้ คือ เลือกสิ่งทดลองที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการให้ความร้อนที่ทำให้กิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสหมดลงโดยสมบูรณ์ และทำให้ได้ผงใยอาหารที่มีปริมาณใยอาหารทั้งหมดมากที่สุด มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และมีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระสูง รวมถึงพิจารณาเปรียบเทียบกับคุณภาพของผงใยอาหารที่ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการให้ความร้อน ประกอบการตัดสินใจ พบว่า การเตรียมขั้นต้นโดยการ

ใช้ความร้อนในทุกสิ่งทดลองสามารถทำให้กิจกรรมของเอนไซม์หมดลงโดยสมบูรณ์ และพบว่าสิ่งทดลองที่ผ่านการลวกด้วยน้ำร้อน ทั้งเวลาการให้ความร้อน 3 และ 6 นาที เป็นวิธีที่ทำให้ได้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรศที่มีปริมาณใยอาหารมากที่สุด (90.43-92.05 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) เมื่อพิจารณาพร้อมกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ พบว่า สิ่งทดลองที่ผ่านการลวกด้วยน้ำร้อนเป็นเวลา 3 นาที มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (66.47 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) สูงกว่า สิ่งทดลองที่ผ่านการลวกด้วยน้ำร้อนเป็นเวลา 6 นาที รวมถึงมีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระสูง (88.92%) ดังนั้น สิ่งทดลองที่ 1 ซึ่งเป็นการเตรียมขึ้นต้นด้วยการให้ความร้อนโดยการลวกในน้ำร้อน ($90\pm 2^{\circ}\text{C}$) เป็นเวลา 3 นาที จึงเป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดที่จะนำไปใช้สำหรับขั้นตอนต่อไป

แต่อย่างไรก็ตามพบว่า ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรศที่ได้ ยังไม่พร้อมใช้งาน เนื่องจากพิจารณาผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสเบื้องต้นด้วยวิธีการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา โดยวิธี Quantitative Descriptive Analysis (QDA) ร่วมด้วยโดยการทดสอบวิธี QDA ที่ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 8 คน ที่ได้รับการฝึกฝนก่อนทำการทดสอบจริง ซึ่งการฝึกฝนผู้ทดสอบนั้น เริ่มต้นจากการให้ผู้ทดสอบคุ้นเคยกับตัวอย่างผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรศด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น และรสชาติ และให้ผู้ทดสอบคิดค้นคำศัพท์เพื่อใช้อธิบายคุณลักษณะของตัวอย่างขึ้นเองไม่ปรึกษาหารือกัน จากนั้นให้ผู้ทดสอบแต่ละคนอธิบายคำศัพท์ที่คิดค้นขึ้นมาและช่วยกันอภิปรายคำศัพท์ร่วมกันนิยามศัพท์ เพื่อคัดเลือกคำศัพท์ที่จะนำมาใช้ในการทดสอบ แบบทดสอบที่ใช้เป็นแบบสเกลเส้นตรงความยาว 15 เซนติเมตร ในการให้คะแนนคุณลักษณะด้านต่าง ๆ ที่ได้ตกลงกันไว้ ได้แก่ สีม่วงแดง กลิ่นเสาวรศ และความฝาดขม โดยขีดเส้นตั้งฉากบนสเกลความยาว 15 เซนติเมตร

จากตารางที่ 4-12 แสดงผลการประเมินความเข้มของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสโดยวิธี QDA พบว่า เปลือกเสาวรศผงที่ไม่ผ่านการเตรียมขึ้นต้น มีความเข้มสีม่วงแดง (1.25) โดยมีกลิ่นเสาวรศ (8.16) และยังคงมีความฝาดขม (8.71) ในขณะที่ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรศที่ผ่านการเตรียมขึ้นต้น โดยการลวกด้วยน้ำร้อน เป็นเวลา 3 นาที มีความเข้มสีม่วงแดง (4.95) โดยมีกลิ่นเสาวรศ (6.75) และยังคงมีความฝาดขม (5.33) หลงเหลืออยู่ในผงใยอาหาร ซึ่งความฝาดขมนี้อาจเนื่องมาจากเปลือกเสาวรศมีแทนนินเป็นองค์ประกอบ (Lima et al., 2016) โดยแทนนินเป็นสารที่ให้ความฝาดขม มีสมบัติละลายได้ในน้ำ ทั้งนี้ความฝาดขมที่เกิดขึ้นจะเป็นความรู้สึกของการรับรสที่เกิดขึ้นในปาก แทนนินสามารถละลายกับน้ำที่มีอยู่ในปาก ทำให้ต่อมรับรสสามารถรับความรู้สึกฝาดของแทนนิน อีกทั้งอาจมีต้นเหตุมาจากการเกิดอันตรกิริยาระหว่างแทนนินกับ โปรตีนที่มีอยู่ในน้ำลาย และไกลโคโปรตีนที่มีอยู่ในปาก เกิดการเชื่อมโยง (Crosslink) ของพอลิเมอร์แทนนินกับ

โปรตีน ทำให้มีความรู้สึกละคายคั่งอยู่ภายในปาก (Gustavson, 1956; Haslam, 1966; สรศักดิ์ เหลี้ยวไชยพันธุ์, 2531) จากผลการประเมินทางประสาทสัมผัสนี้แสดงให้เห็นว่าการเตรียมขึ้นต้นโดยการใช้ความร้อนตามวิธีที่เหมาะสมที่สุดที่เลือกได้ยังคงได้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรศที่มีข้อจำกัดในการนำไปใช้เป็นส่วนผสมอาหารเพราะยังมีรสฝาดขม

5.2.2 ผลของการเตรียมขึ้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อคุณภาพของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรศ

จากการตรวจเอกสาร พบว่า แทนนินเป็นสารที่ให้ความฝาดขมที่มักพบในเปลือกผักผลไม้ มีสมบัติละลายได้ในน้ำ และสามารถตกตะกอนได้ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ การแช่เปลือกผักผลไม้ที่มีองค์ประกอบของแทนนินในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ในระยะเวลาที่เพียงพอ จึงมีโอกาสดังกล่าวให้แทนนินละลายน้ำและตกตะกอนได้ (Haslam, 1966; Morton, 1987; สรศักดิ์ เหลี้ยวไชยพันธุ์, 2531) สอดคล้องกับที่มีรายงานว่า การแช่วัตถุดิบในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ เป็นรูปแบบหนึ่งที่ยอมรับได้ โดยสามารถช่วยกำจัดสารที่ก่อให้เกิดรสที่ไม่ต้องการในวัตถุดิบ เช่น รสฝาดขม ของแทนนิน (Lewicki, 2006; กุลนรี ศาสตร์ประสิทธิ์ และกุลยา ลิมรุ่งเรืองรัตน์, 2552; สุภาพร อภิรัตนานุสรณ์, 2554) นอกจากนี้การเตรียมขึ้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ก่อนการทำแห้ง มีวัตถุประสงค์สำคัญ คือ เพื่อกำจัดน้ำบางส่วนออกจากเนื้อเยื่อ ทำให้มีอัตราการแห้งเร็ว จึงช่วยลดเวลาในการทำแห้งลง และสามารถต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของแอนโทไซยานิน จึงช่วยป้องกันการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของรงควัตถุแอนโทไซยานินระหว่างการแห้ง รวมทั้งยังสามารถช่วยกำจัดสารที่ก่อให้เกิดรสที่ไม่ต้องการในวัตถุดิบ เช่น รสฝาดขมของแทนนิน

ในขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาผลของการเตรียมขึ้นต้น โดยการแช่เปลือกเสาวรศที่ผ่านการเตรียมขึ้นต้นด้วยการให้ความร้อนโดยการลวกในน้ำร้อน ($90\pm 2^{\circ}\text{C}$) เป็นเวลา 3 นาที หลังจากนั้นนำเปลือกเสาวรศมาเตรียมขึ้นต้นต่อโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 3% โดยมีปัจจัยที่ศึกษา 2 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยที่ 1 เวลาการแช่ 2 ระดับ คือ 10 นาที และ 30 นาที และปัจจัยที่ 2 สภาวะการใช้และไม่ใช้สุญญากาศ

จากตารางที่ 4-13 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) คุณภาพของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรศ พบว่า อิทธิพลร่วมระหว่างเวลาการแช่และการใช้สภาวะสุญญากาศ (Time*Vacuum) มีผลต่อปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ค่าสี (L* และ b*) รวมถึงค่า Chroma และ ΔE อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในขณะที่ไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างเวลาการแช่และการใช้สภาวะสุญญากาศต่อปริมาณใยอาหารทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานิน ค่าสี a* และค่า Hue angle ($p \geq 0.05$) อย่างไรก็ตามพบว่า อิทธิพล

ของปัจจัยหลักด้านเวลาการแช่มีผลต่อปริมาณใยอาหารทั้งหมด ($p < 0.05$) อิทธิพลของปัจจัยหลักด้านการใช้สภาวะสุญญากาศมีผลต่อปริมาณแอนโทไซยานิน และค่า Hue angle ($p < 0.05$) โดยอิทธิพลของปัจจัยหลักด้านเวลาการแช่และการใช้สภาวะสุญญากาศมีผลต่อค่าสี a^* ($p < 0.05$)

จากตารางที่ 4-14 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรศ พบว่า สิ่งทดลองที่ 1 ที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการแช่สารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ในสภาวะสุญญากาศ เป็นเวลา 10 นาที มีผลให้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรศที่ได้มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดมากที่สุด (3.25 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) ($p < 0.05$) ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 2 ที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการแช่สารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ในสภาวะที่ไม่ใช้สุญญากาศ เป็นเวลา 10 นาที มีผลให้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรศที่ได้มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดน้อยที่สุด (2.53 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) ($p < 0.05$)

การนำชิ้นเปลือกเสาวรศที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยน้ำร้อน มาเตรียมขั้นต้นต่อโดยการแช่เปลือกเสาวรศในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ มีโอกาสเกิดกลไกการถ่ายเทมวลสารในระหว่างการแช่โดยน้ำจากภายในเนื้อเยื่อของวัตถุดิบจะเคลื่อนออกสู่สารละลาย ในขณะที่เดียวกันจะเกิดการแพร่ของโมเลกุลของสารอื่น ๆ เช่น น้ำตาล กรดอินทรีย์ วิตามิน กลิ่น และเกลือแร่ จากภายในเนื้อเยื่อสู่สารละลายภายนอก (Raoult-Wack, 1994; Zhao & Xie, 2004) ชิ้นเปลือกเสาวรศที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยน้ำร้อน มีลักษณะเนื้อเยื่อที่อ่อนนุ่มลง และความเป็นเยื่อเลือกผ่านมากขึ้น (Larrauri, 1999; Deylami, Rahman, Tan, Bakar, & Olusegun, 2016) เมื่อนำมาเตรียมขั้นต้นต่อโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ ชิ้นเปลือกเสาวรศมีการกระจายอิสระอยู่ในสารละลาย ทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างชิ้นเปลือกเสาวรศและสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ เอื้อต่อการที่น้ำตาลอิสระ ซึ่งสามารถละลายน้ำได้ ละลายออกมา กับสารละลายที่ใช้แช่

สำหรับการเตรียมขั้นต้น โดยการแช่ชิ้นเปลือกเสาวรศในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ ในสภาวะความดันสุญญากาศ มีหลักการคล้ายคลึงกับการแช่ในสภาวะความดันบรรยากาศปกติ แต่จะมีโอกาสเกิดกลไกที่เรียกว่า Hydrodynamic mechanism (HDM) กล่าวคือ การดึงอากาศออกจากภาชนะที่บรรจุตัวอย่างเพื่อให้ระบบอยู่ในสภาวะสุญญากาศ ทำให้ก๊าซที่แทรกอยู่ในช่องว่างระหว่างเนื้อเยื่อถูกดึงออกมา เมื่อครบตามระยะเวลาที่กำหนด จึงทำการปล่อยอากาศเข้ามาในระบบ เพื่อให้ระบบกลับมายู่ในสภาวะความดันบรรยากาศปกติ โดยทำการลดความดันภายในภาชนะลงจนกระทั่งความดันภายในเท่ากับความดันภายนอกภาชนะ สารละลายจะแพร่เข้าไปแทรกอยู่ในช่องว่างนั้นแทน การถ่ายโอนมวลนี้ก็จะเกิดมากขึ้นที่ผิวหน้า (Saurel, 2002; Betoret et al., 2003) อย่างไรก็ตาม Moreno, Bugueno, Velasco, Petzold, & Tabilo-Munizaga (2004) กล่าวว่า

กลไก HDM ที่เกิดขึ้น มีผลทำให้โครงสร้างภายในเซลล์พืชเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยที่โครงสร้างภายในเซลล์พืชถูกบีบอัดยุบตัวลง ส่งผลให้อากาศและของเหลวตามธรรมชาติที่อยู่ภายในช่องว่างระหว่างเซลล์ของเนื้อเยื่อพืชถูกคูดอก ในงานวิจัยนี้พบว่า การนำชิ้นเปลือกเสาวรสมาแช่ในสารละลายเกลือ โซเดียมคลอไรด์ เมื่อเข้าสู่สภาวะสุญญากาศ หรือมีการคูดอกอากาศออกจากระบบ ชิ้นเปลือกเสาวรสมิมีโอกาสเกิดการยุบตัวจากการถูกบีบอัดกันเองในระหว่างใช้สภาวะสุญญากาศ และจากการที่ก๊าซที่แทรกอยู่ในช่องว่างระหว่างเนื้อเยื่อถูกดึงออกมา และสังเกตเห็นว่าชิ้นเปลือกเสาวรสเกาะอยู่รวมกันเป็นกลุ่ม จึงอาจไม่เอื้อต่อการแพร่ออกของน้ำตาลอิสระได้เท่าที่ควร

นอกจากนี้เวลาการแช่ก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการกำจัดน้ำตาลออกจากชิ้นเปลือกเสาวรส โดยพบว่าการแช่ชิ้นเปลือกเสาวรสในสารละลายเกลือ โซเดียมคลอไรด์ เป็นเวลา 10 นาที ในสภาวะบรรยากาศ เอื้อให้น้ำตาลแพร่ออกมาได้มากที่สุด จนปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่คงอยู่ในผงใยอาหารที่ผ่านการเตรียมขึ้นต้น โดยการแช่ในสารละลายเกลือ โซเดียมคลอไรด์ในสภาวะที่ไม่ใช้สุญญากาศ เป็นเวลา 10 นาที มีปริมาณน้อยที่สุด ในขณะที่น้ำตาลมีโอกาสถูกกำจัดออกไปได้น้อยกว่า เมื่อแช่นานขึ้นถึง 30 นาที ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากเปลือกเสาวรสมีองค์ประกอบที่เป็นใยอาหารอยู่สูง ซึ่งใยอาหารมีความสามารถในการดูดซับน้ำ และเกิดการพองตัวได้ ทั้งใยอาหารที่ละลายน้ำ เช่น เพคติน และใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ เช่น เซลลูโลส จึงมีโอกาสดูดซับน้ำได้มาก ทำให้อาจขัดขวางการแพร่ออกของน้ำตาลอิสระที่อยู่ในเปลือกเสาวรสได้

จากผลการทดลอง พบว่า การเตรียมขึ้นต้นเปลือกเสาวรสโดยการแช่ในการสารละลายเกลือ โซเดียมคลอไรด์ตามสภาวะในงานวิจัยนี้ ทำให้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่ได้มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (2.53-3.25 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) น้อยกว่าปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่ผ่านการเตรียมขึ้นต้นโดยการลวกในน้ำร้อน ($90 \pm 2^{\circ}\text{C}$) เป็นเวลา 3 นาที เพียงอย่างเดียว (4.14 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) คิดเป็นการลดลง 0.89%-1.61%

จากตารางที่ 4-15 ผลการวิเคราะห์ปริมาณใยอาหารทั้งหมดของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส พบว่า ผลด้านปริมาณใยอาหารทั้งหมดของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสมิอิทธิพลจากปัจจัยหลักด้านเวลาการแช่ โดยพบว่า การเตรียมขึ้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือ โซเดียมคลอไรด์ทั้งในสภาวะใช้และไม่ใช้สุญญากาศ เป็นเวลา 10 นาที ทำให้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่ได้มีปริมาณใยอาหารทั้งหมดสูงที่สุด (83.82 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) ในขณะที่การเตรียมขึ้นต้น โดยการแช่ในสารละลายเกลือ โซเดียมคลอไรด์ทั้งในสภาวะใช้และไม่ใช้สุญญากาศ เป็นเวลา 30 นาที ทำให้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่ได้มีปริมาณใยอาหารทั้งหมดน้อยที่สุด (81.68 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเปลือกเสาวรสที่ผ่านการลวกด้วยน้ำร้อน

เป็นเวลา 3 นาที ทำให้เนื้อเยื่อของเปลือกเสาวรสมมีความอ่อนนุ่มและมีความเป็นเยื่อเลือกผ่านมากขึ้น เมื่อนำมาเตรียมชิ้นต้น โดยการแช่ต่อในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ในเวลานานขึ้น จึงมีโอกาทำให้โยอาหารบางส่วนที่มีสมบัติละลายน้ำได้ เช่น เพคติน ละลายออกมากับสารละลายเกลือที่ใช้แช่ได้มากขึ้น ดังนั้นการแช่เปลือกเสาวรสมเพียง 10 นาที จึงช่วยลดโอกาสที่สูญเสียโยอาหารระหว่างการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ได้มากกว่าการใช้เวลาในการแช่นานขึ้นถึง 30 นาที ที่ทำให้ผงโยอาหารจากเปลือกเสาวรสมที่ได้มีปริมาณโยอาหารทั้งหมดค่าที่สุด (81.68 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง)

Sila et al. (2008) รายงานว่าเพคตินเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่สามารถละลายออกมาระหว่างกระบวนการให้ความร้อน การละลายออกมาของพอลิเมอร์ในผนังเซลล์เกิดขึ้นพร้อมๆ กับการอ่อนตัวของเนื้อเยื่อซึ่งเกี่ยวข้องกับการแยกตัวของเซลล์ ทำให้เพิ่มการเป็นเยื่อเลือกผ่าน (Permeability) ของเยื่อหุ้มเซลล์ เปลือกเสาวรสมที่ผ่านการเตรียมชิ้นต้นด้วยการให้ความร้อนโดยการลวกในน้ำร้อน ($90\pm 2^{\circ}\text{C}$) เป็นเวลา 3 นาที จึงมีโอกาสดังกล่าวเกิดขึ้นของเนื้อเยื่อได้มาก โยอาหารที่ละลายได้มักอยู่บริเวณผนังเซลล์จึงมีโอกาสดังกล่าวได้ ดังนั้นการนำเปลือกเสาวรสมมาเตรียมชิ้นต้นต่อโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 3% เพียง 10 นาที จึงลดโอกาสสูญเสียโยอาหารจากเปลือกเสาวรสมได้มากกว่าการแช่เวลา 30 นาที ทำให้ผงโยอาหารจากเปลือกเสาวรสมที่ได้มีปริมาณโยอาหารทั้งหมดสูงที่สุด ($p < 0.05$)

จากผลการทดลอง พบว่า การเตรียมชิ้นต้นเปลือกเสาวรสมโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ตามสถานะในงานวิจัยนี้ ทำให้ผงโยอาหารจากเปลือกเสาวรสมที่ได้มีปริมาณโยอาหารทั้งหมด (81.31-83.82 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) น้อยกว่าปริมาณโยอาหารทั้งหมดของผงโยอาหารจากเปลือกเสาวรสมที่ผ่านการเตรียมชิ้นต้นโดยการลวกในน้ำร้อน ($90\pm 2^{\circ}\text{C}$) เป็นเวลา 3 นาที เพียงอย่างเดียว (90.43 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) คิดเป็นการลดลง 6.61%-9.12%

สำหรับด้านปริมาณสารพฤกษเคมีของผงโยอาหารจากเปลือกเสาวรสมที่ผ่านการเตรียมชิ้นต้นโดยการแช่สารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ในสถานะต่าง ๆ พบว่า ปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน โดยสามารถอธิบายกลไกที่มีโอกาสดังกล่าวได้ คือ เกิดกลไกการถ่ายเทมวลสารในระหว่างการแช่ และกลไกการเกิด HDM ระหว่างการแช่ในสถานะสุญญากาศ โดยกลไกทั้งสองมีโอกาสดังกล่าวกับกรณีการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลทั้งหมดดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

สำหรับกลไกการถ่ายเทมวลสารระหว่างการแช่ กลไกสำคัญคือ การที่น้ำแพร่ออกจากเนื้อเยื่อสู่สารละลายเกลือ โดยมีสารประกอบอื่น ๆ ที่ละลายน้ำได้ เช่น แอนโทไซยานิน ฟลาโวนอยด์ กรดฟีนอลิก รวมถึงแทนนิน จากภายในเนื้อเยื่อแพร่ออกมาด้วย (Gustavson, 1956;

Haslam, 1966; Kidoy et al., 1997) ดังนั้นการแช่ขึ้นเปลือกเสาวรสีในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ อาจทำให้สารพฤษเคมีที่ละลายน้ำได้ที่อยู่ในเนื้อเยื่อละลายออกมาพร้อมกับสารละลายเกลือที่ใช้แช่ จึงส่งผลกระทบต่อสมบัตการต้านอนุมูลอิสระด้วยเช่นเดียวกัน สำหรับการเกิด HDM มีกลไกที่สำคัญคือ การที่ก๊าซที่แทรกอยู่ในช่องว่างระหว่างเนื้อเยื่อถูกดึงออกมา แล้วสารละลายเกลือจะแพร่เข้ามาแทนที่ (Saurel, 2002; Betoret et al., 2003) โดยในระหว่างการแพร่ของน้ำจะสามารถชะสารที่ละลายน้ำได้ออกมาด้วย สำหรับในงานวิจัยนี้สารที่มีโอกาสชะละลายออกมาอาจจะประกอบด้วย แอนโทไซยานิน สารประกอบฟีนอลิก กรดฟีนอลิก รวมถึงแทนนินที่ละลายน้ำได้และตกตะกอนออกมาได้ การแช่ในสภาวะสุญญากาศจึงอาจนำไปสู่โอกาสให้สารพฤษเคมีเหล่านี้ละลายออกมาได้มาก ซึ่งพบข้อสังเกตจากสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์มีสีแดงอ่อนหลังการแช่ แสดงให้เห็นว่าแอนโทไซยานิน สารประกอบฟีนอลิก และแทนนินที่ละลายน้ำได้ อาจมีโอกาสดูเสียหายไปได้หลังการแช่ในสภาวะสุญญากาศ

นอกจากการแช่ขึ้นเปลือกเสาวรสีในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์จะสามารถทำให้แทนนินละลาย และตกตะกอนลงมาแล้ว ยังมีส่วนช่วยในการลดปริมาณความชื้นของตัวอย่างได้ดีขึ้น โดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ ทำให้เกิดการถ่ายเทมวลสาร เกลือแพร่เข้าไปในเนื้อเยื่อ ส่งผลให้น้ำแพร่ออกมาได้มาก จึงมีผลในการลดความชื้นเริ่มต้นก่อนการทำแห้งได้ เนื่องจากสารละลายเกลือโซเดียม เป็นสารละลายอนินทรีย์ที่สามารถแตกตัวเป็นไอออน และกระจายตัวอยู่ในน้ำได้ จะทำให้เกิดไฮเดรชัน (Hydration) ระหว่างโมเลกุลของน้ำกับไอออนประจุบวก หรือไอออนประจุลบได้ โดยปลายด้านขั้วลบของโมเลกุลน้ำจะหันเหเข้าล้อมรอบไอออนประจุบวก ขณะเดียวกันปลายด้านขั้วบวกของโมเลกุลน้ำจะหันเหเข้าล้อมรอบไอออนประจุลบ (นิธิยา รัตนปานนท์, 2553) ดังนั้นการแช่เปลือกเสาวรสีในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ จึงมีโอกาสนำไอออนของเกลือจับกับโมเลกุลของน้ำที่อยู่ในเปลือกเสาวรสีทำให้ความชื้นเริ่มต้นก่อนการทำแห้งของเปลือกเสาวรสีลดลง จึงช่วยลดเวลาในการทำแห้งลง ทำให้โอกาสที่ขึ้นเปลือกเสาวรสีสัมผัสกับความร้อนในระหว่างการทำแห้งสั้นลง มีผลให้สารพฤษเคมีต่าง ๆ ที่มีส่วนประกอบของวงแหวนอโรมาติก (Aromatic ring) และหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group) ซึ่งมีลักษณะเป็นโมเลกุลขนาดเล็ก สามารถระเหยกลายเป็นไอและถูกพาไปกับความร้อนระเหยออกมาสู่ผิวหน้าอาหารได้น้อยลง (Bravo, 1998; นิธิยา รัตนปานนท์, 2549; โอภา วัชรคุปต์, 2550; นันทน์ภัส เต็มวงษ์, 2551) และจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระยะเวลาการทำแห้งของสิ่งทดลองที่ผ่านการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ลดลง โดยใช้เวลา 350-360 นาที

การแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์นอกจากช่วยลดความชื้นเริ่มต้นก่อนการทำแห้งแล้ว ยังช่วยลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยเกลือโซเดียมคลอไรด์สามารถจับกับออกซิเจน

ที่มีอยู่ในน้ำ ทำให้ปริมาณออกซิเจนที่มีอยู่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ลดลง ดังนั้นโอกาสที่จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์จึงเกิดน้อย ทำให้ลดการสูญเสียสารประกอบฟีนอลิกทั้งหลายที่สามารถเปลี่ยนโครงสร้างไปได้ด้วยออกซิเจน (Saencom, 2011)

แม้ว่าการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์เป็นเวลานาน จะช่วยลดเวลาการทำแห้ง แต่มีโอกาที่สารพฤษเคมีที่ละลายน้ำได้ ได้แก่ แอนโทไซยานิน ฟลาโวนอยด์ กรดฟีนอลิก รวมถึงแทนนิน จากภายในเนื้อเยื่อแพร่ออกมาด้วย (Gustavson, 1956; Haslam, 1966; Kidoy et al., 1997) สามารถละลายออกมากับน้ำที่ใช้แช่ได้มาก เมื่อนำไปทำแห้งจึงรักษาสารพฤษเคมีไว้ได้ แต่ในปริมาณที่น้อยกว่าการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ในเวลาสั้นนั่นเอง

จากตารางที่ 4-16 ผลการวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรศ พบว่า ผลด้านปริมาณแอนโทไซยานินของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรศที่ผ่านการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์มีอิทธิพลจากปัจจัยหลักด้านการใช้สภาวะสุญญากาศ โดยพบว่าการเตรียมขึ้นต้นโดยการแช่เกลือโซเดียมคลอไรด์ในสภาวะที่ไม่ใช้สุญญากาศ ทำให้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรศที่ได้มีปริมาณแอนโทไซยานินมากที่สุด (12.94 มิลลิกรัม Cyn-3-Glu/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) ในขณะที่การเตรียมขึ้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ในสภาวะที่ใช้สุญญากาศ ทำให้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรศที่ได้มีปริมาณแอนโทไซยานินน้อยที่สุด (10.33 มิลลิกรัม Cyn-3-Glu/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) ทั้งนี้เป็นผลมาจากกลไก HDM ที่เกิดขึ้นเมื่อใช้การแช่ในสภาวะสุญญากาศ จึงมีโอกากระตุ้นให้มีการแพร่ออกของของเหลวรวมทั้งสารพฤษเคมีที่มีสมบัติละลายน้ำ เช่น รงควัตถุแอนโทไซยานินแพร่ออกมาได้ง่าย (Betoret et al., 2003) ซึ่งแอนโทไซยานินเป็นสารประกอบที่ไม่เสถียร ละลายน้ำได้ (Lazzc et al., 2004) ดังนั้นการใช้สภาวะสุญญากาศในการแช่จึงเป็นการเพิ่มโอกาสในการสูญเสียแอนโทไซยานินไปกับสารละลายได้มากกว่าการแช่ในสภาวะที่ไม่ใช้สุญญากาศ สอดคล้องกับที่ ทิพวรรณ ทองสุข (2553) รายงานว่าการแช่ในสภาวะสุญญากาศ เป็นการกำจัดน้ำบางส่วนออกแล้วแทนที่ด้วยตัวทำละลาย เมื่อเนื้อเยื่อถูกแช่ในสารละลายภายใต้สภาวะสุญญากาศ อากาศจะถูกดูดออกจากรูขนาดเล็ก เมื่อนำความดันสู่สภาวะปกติ (ความดันบรรยากาศ) สารละลายจะแพร่เข้าไปในช่องว่างระหว่างเซลล์โดยการแพร่ตามรูขนาดเล็ก (Capillary) และ โดยความแตกต่างของความเข้มข้นสารละลายกับน้ำในเนื้อเยื่อทำให้แรงการแพร่ของของเหลว ดังนั้นการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ในสภาวะสุญญากาศจึงอาจกระตุ้นให้ของเหลวที่อยู่ในเนื้อเยื่อเปลือกเสาวรศ ซึ่งของเหลวนี้อาจมีสารพฤษเคมีที่ละลายน้ำได้ เช่น แอนโทไซยานิน แพร่ออกมากับสารละลายที่ใช้แช่ได้มากกว่าการแช่ในสภาวะบรรยากาศ

จากผลการทดลอง พบว่า การเตรียมชิ้นดินเปลือกเสาวรศโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ตามสภาวะในงานวิจัยนี้ ทำให้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรศที่ได้มีปริมาณแอนโทไซยานิน (10.23-13.15 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) น้อยกว่าปริมาณแอนโทไซยานินของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรศที่ผ่านการเตรียมชิ้นดิน โดยการลวกในน้ำร้อน ($90\pm 2^{\circ}\text{C}$) เป็นเวลา 3 นาที เพียงอย่างเดียว (14.82 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) คิดเป็นการลดลง 1.67%-4.59%

จากตารางที่ 4-17 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรศ พบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรศมีปริมาณแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยพบว่า สิ่งทดลองที่ 2 ที่ผ่านการเตรียมชิ้นดิน โดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ในสภาวะที่ไม่ใช้สุญญากาศ เป็นเวลา 10 นาที มีผลให้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรศที่ได้มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุด (61.14 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) รองลงมาคือ สิ่งทดลองที่ 1 ที่ผ่านการเตรียมชิ้นดิน โดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ในสภาวะที่ใช้สุญญากาศ เป็นเวลา 10 นาที และสิ่งทดลองที่ 4 ที่ผ่านการเตรียมชิ้นดิน โดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ในสภาวะที่ไม่ใช้สุญญากาศ เป็นเวลา 30 นาที ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการแช่สารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ในสภาวะที่ไม่ใช้สุญญากาศ เป็นเวลา 10 นาที เป็นสภาวะที่รุนแรงน้อยที่สุด จึงลดโอกาสที่สารประกอบฟีนอลิกที่ละลายน้ำได้ เช่น แอนโทไซยานิน ฟลาโวนอยด์ กรดฟีนอลิก รวมถึงแทนนิน สูญเสียไประหว่างแช่ในสารละลายเกลือ (กุลนรี ศาสตร์ประสิทธิ์ และกุลยา ลิมรุ่งเรืองรัตน์, 2552; สุภาพร อภิรัตนานุสรณ์, 2554) ในขณะที่การแช่ในสภาวะสุญญากาศ เป็นเวลา 10 นาที มีโอกาสเกิดกลไก HDM ที่ทำให้เกิดการถ่ายเทมวลสารได้เร็วขึ้น จึงมีโอกาให้สารละลายในเนื้อเยื่อของเปลือกเสาวรศแพร่ออกมาที่สารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ได้มากขึ้น แต่เนื่องด้วยใช้เวลาในการแช่สั้น จึงอาจช่วยรักษาสารประกอบฟีนอลิกไว้ได้ แต่อย่างไรก็ตามผงใยอาหารที่เตรียมชิ้นดินด้วยสภาวะนี้มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดน้อยกว่าการแช่ในสภาวะที่ไม่ใช้สุญญากาศ เช่นเดียวกันกับการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ในสภาวะที่ไม่ใช้สุญญากาศ เป็นเวลา 30 นาที ทำให้ยังคงรักษาสารพฤกษเคมีได้ไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการใช้เวลาในการแช่นาน มีโอกาสให้สูญเสียสารประกอบฟีนอลิกที่ละลายน้ำออกมากับสารละลายที่ใช้แช่ แต่การไม่มีสภาวะสุญญากาศ อาจทำให้การแพร่ออกของสารประกอบฟีนอลิกน้อยลง จึงยังคงรักษาสารประกอบฟีนอลิกไว้ได้ ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 3 ที่ผ่านการเตรียมชิ้นดิน โดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ในสภาวะที่ใช้สุญญากาศ เป็นเวลา 30 นาที มีผลให้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรศที่ได้มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดต่ำที่สุด (57.86 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก การแช่ชิ้นเปลือกเสาวรศในสภาวะสุญญากาศ

เป็นเวลา 30 นาที เป็นสภาวะที่รุนแรงมากที่สุด มีโอกาสเกิดกลไก HDM ที่ทำให้เกิดการถ่ายเทมวลสารได้เร็วขึ้น ประกอบกับเวลาที่ใส่แซ่ในสารละลายเกลือ โซเดียมคลอไรด์นาน จึงมีโอกาสดังกล่าวได้ ในเนื้อเยื่อแพร่ออกมาได้มากขึ้น แม้เวลาในการทำแห้งจะลดลงเหลือ 350 นาที (ตารางที่ 4-18) แต่สารประกอบฟีนอลิกก็มีโอกาสสูญเสียไปมากในระหว่างการแช่เช่นเดียวกัน ดังนั้นเมื่อแช่ขึ้นเปลือกเสาวรสีในสารละลายเกลือ โซเดียมคลอไรด์ ในสภาวะสุญญากาศ เป็นเวลานานขึ้น จึงมีโอกาสดังกล่าวที่สารประกอบฟีนอลิกที่สามารถละลายน้ำได้ ละลายออกมาในระหว่างการแช่ได้ การแช่ที่สภาวะนี้จึงมีผลให้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสีมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกน้อยที่สุด ซึ่งผลการวิเคราะห์หมีแนวโน้มคล้ายกันกับปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Blanda et al. (2008) กล่าวว่า การแช่ขึ้นแอมป์เปิดในสารละลายภายใต้การใช้สภาวะสุญญากาศ มีผลทำให้สูญเสียสารประกอบฟีนอลิก ซึ่งส่วนใหญ่เนื่องมาจากการแช่ในสภาวะสุญญากาศกระตุ้นให้เกิดการถ่ายเทมวลสาร เพิ่มโอกาสให้สารประกอบฟีนอลิกละลายออกไปกับสารละลายที่ใส่แซ่มากขึ้น

จากผลการทดลอง พบว่า การเตรียมขึ้นต้นเปลือกเสาวรสีโดยการแช่ในสารละลายเกลือ โซเดียมคลอไรด์ตามสภาวะในงานวิจัยนี้ ทำให้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสีที่ได้มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (57.86-61.14 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) น้อยกว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสีที่ผ่านการเตรียมขึ้นต้นโดยการลวกในน้ำร้อน ($90 \pm 2^{\circ}\text{C}$) เป็นเวลา 3 นาที เพียงอย่างเดียว (66.47 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) คิดเป็นการลดลง 5.33%-8.61%

จากตารางที่ 4-17 ผลการวิเคราะห์สมบัติการต้านอนุมูลอิสระของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสี พบว่า ค่า % Inhibition ในผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสีมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยวิธีการเตรียมขึ้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือ โซเดียมคลอไรด์ที่ยังคงรักษาสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสีไว้ได้มากที่สุด คือ สิ่งทดลองที่ 2 ที่ผ่านการเตรียมขึ้นต้น โดยการแช่ในสารละลายเกลือ โซเดียมคลอไรด์ในสภาวะที่ไม่ใช้สุญญากาศ เป็นเวลา 10 นาที ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การเตรียมขึ้นต้น โดยการแช่ในสารละลายเกลือ โซเดียมคลอไรด์ในสภาวะที่ไม่ใช้สุญญากาศ ร่วมกับเวลาในการแช่ในสารละลายเกลือ โซเดียมคลอไรด์เป็นเวลาสั้น ทำให้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสีที่ได้ยังคงมีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงที่สุด (83.52%) ทั้งนี้เนื่องจากสภาวะนี้เป็นสภาวะที่รุนแรงน้อยที่สุด ทำให้ลดโอกาสที่สารพฤษเคมีที่ละลายน้ำได้สูญเสียไปกับสารละลายเกลือที่ใส่แซ่

จากผลการทดลอง พบว่า สิ่งทดลองที่ 1 ที่ผ่านการเตรียมขึ้นต้น โดยการแช่ในสารละลายเกลือ โซเดียมคลอไรด์ในสภาวะที่ไม่ใช้สุญญากาศ เป็นเวลา 10 นาที ใช้เวลาในการทำแห้ง 360 นาที

ทำให้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรศที่ได้มีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ต่ำที่สุด (81.61%) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการแช่ขึ้นเปลือกเสาวรศในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ในสภาวะสุญญากาศ มีโอกาสสูญเสียสารประกอบฟีนอลิกที่มีสมบัติละลายได้ในน้ำ ระหว่างการแช่สารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ได้ดีกว่าการแช่ในสภาวะที่ไม่ใช้สุญญากาศ สมบัติการต้านอนุมูลอิสระจึงมีโอกาสดลดลงมากกว่า เช่นเดียวกับสิ่งทดลองที่ 3 และ 4 ที่ผ่านการเตรียมขึ้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ทั้งในสภาวะที่ใช้สุญญากาศและสภาวะที่ไม่ใช้สุญญากาศ เป็นเวลา 30 นาที ตามลำดับ พบว่ามีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระต่ำที่สุด (81.23-81.25%) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการใช้เวลาในการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่นาน มีผลทำให้สารพฤษเคมีบางส่วนที่สามารถละลายน้ำได้ ละลายออกมากับสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ใช้ในการแช่ได้มากขึ้น สมบัติการต้านอนุมูลอิสระที่วิเคราะห์ได้จึงน้อยกว่าการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ไม่ใช้สภาวะสุญญากาศ เป็นเวลา 10 นาที เมื่อพิจารณาค่า %Inhibition ร่วมกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด พบว่า ให้แนวโน้มที่สอดคล้องกัน กล่าวคือ ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรศมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมาก จึงมีผลให้ค่า %Inhibition ซึ่งแสดงสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระมาก เนื่องจากสารประกอบฟีนอลิกส่วนใหญ่มีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระนั่นเอง (Velioğlu, Mazza, Gao, & Oomah, 1998; Halliwell, 2009)

จากการประเมินด้วยสายตา (ภาพที่ 4-2) พบว่า สิ่งทดลองที่ผ่านการเตรียมขึ้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ ได้ผงใยอาหารที่มีสีออกทางม่วงแดงมากกว่าผงใยอาหารที่ไม่ผ่านการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ (Control) และพบว่าผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรศที่ผ่านการเตรียมขึ้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ทั้งใช้และไม่ใช้สภาวะสุญญากาศ 30 นาที ได้ผงใยอาหารที่มีลักษณะสีออกทางม่วงแดงเข้มกว่าผงใยอาหารจากสิ่งทดลองที่ใช้เวลาการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์เป็นเวลา 10 นาที

เมื่อนำผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรศของทุกสิ่งทดลองมาวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดสี รายงานเป็นค่า L^* a^* b^* Hue angle Chroma และ ΔE ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4-19 พบว่าผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรศที่ไม่ผ่านการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ (Control) มีค่าสี L^* a^* และ b^* เท่ากับ 67.71 8.72 และ 12.01 ตามลำดับ แสดงถึงมีสีคล้ำหรือสีออกน้ำตาลค่อนข้างเข้ม ในขณะที่ผงใยอาหารที่ผ่านการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์มีค่า L^* a^* และ b^* อยู่ในช่วง 66.55-73.04 9.18-11.30 และ 12.31-14.67 ตามลำดับ แสดงถึงมีสีออกทางม่วงแดงมากกว่า ซึ่งสอดคล้องกับผลการประเมินด้วยสายตา พิจารณาค่า L^* a^* และ b^* ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรศ เมื่อเตรียมขึ้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ แปรเวลาการแช่ และการ

ใช้สภาวะสุญญากาศที่แตกต่างกัน พบว่า การเตรียมชิ้นต้น โดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ในสภาวะสุญญากาศ เป็นเวลา 10 นาที ในสิ่งทดลองที่ 1 ทำให้ได้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสมิค่า L^* สูงที่สุด เท่ากับ 73.04 มีค่า a^* และ b^* ต่ำที่สุด เท่ากับ 9.18 และ 12.31 ตามลำดับ ในขณะที่การเตรียมชิ้นต้น โดยการแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ในสภาวะสุญญากาศ และไม่ใช้สุญญากาศ เป็นเวลา 30 นาที ในสิ่งทดลองที่ 3 และ 4 ตามลำดับ มีค่า L^* ต่ำ อยู่ในช่วง 66.55-67.25 และมีค่า a^* และ b^* สูง อยู่ในช่วง 10.95-11.30 และ 14.27-14.67 ตามลำดับ นั้นแสดงให้เห็นว่า ผงใยอาหารที่ได้มีความสว่างน้อยกว่าและมีความเป็นสีแดงและสีเหลืองมากกว่า ซึ่งสอดคล้องกับผลการประเมินด้วยสายตา นอกจากนี้จากผลการคำนวณค่า Hue angle และ Chroma พบว่า การเตรียมชิ้นต้น โดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ทุกสิ่งทดลองมีค่า Hue angle อยู่ในช่วง 51.64-53.28 ซึ่งให้เฉดที่ไปทางม่วงแดงมากกว่าเมื่อเทียบกับผงใยอาหารที่ไม่ผ่านการเตรียมชิ้นต้น โดยการแช่สารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ ที่มีค่า Hue angle เท่ากับ 54.02 และการเตรียมชิ้นต้น โดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ ทั้งในสภาวะสุญญากาศและสภาวะที่ไม่ใช้สุญญากาศ เป็นเวลา 30 นาที ทำให้ได้ผงใยอาหารที่มีค่า Chroma สูงที่สุด เท่ากับ 18.20-18.31 สำหรับค่า ΔE พบว่า การเตรียมชิ้นต้น โดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ในสภาวะที่ไม่ใช้สุญญากาศ เป็นเวลา 10 นาที มีค่า ΔE ต่ำที่สุด แสดงให้เห็นว่าผงใยอาหารที่ได้มีการเปลี่ยนแปลงสีไปจากผงใยอาหารที่ไม่ผ่านการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ซึ่งเป็นตัวอย่างควบคุมน้อยที่สุด

เมื่อพิจารณาคูณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาด้วยวิธี QDA ของสิ่งทดลองที่ผ่านและไม่ผ่านการเตรียมชิ้นต้น โดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ เมื่อเสนอตัวอย่างให้ผู้ทดสอบประเมินในลักษณะผงแห้ง (ภาพที่ 4-3) พบว่า สิ่งทดลองที่ผ่านการเตรียมชิ้นต้น โดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ทุกสิ่งทดลอง มีความฝาดขม (0.46-0.85) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเทียบกับตัวควบคุมที่ไม่ผ่านการเตรียมชิ้นต้น โดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ (5.33) โดยความฝาดขมที่รับรู้ได้นั้นอาจเกิดจากการที่ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสมิสารแทนนินเป็นองค์ประกอบ ซึ่งมักให้ความฝาดขมเฉพาะตัว โดยผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนสามารถรับรู้ลักษณะเฉพาะตัวดังกล่าวได้อยู่ในระดับเล็กน้อย ทั้งนี้ความฝาดขมที่เกิดขึ้นจะเป็นความรู้สึกรับรสที่เกิดขึ้นจากสารประกอบเคมีประเภทแทนนินที่มีอยู่ในเนื้อเยื่อพืช ความรู้สึกรับรสของความฝาดขมที่เกิดขึ้นในปาก มีต้นเหตุมาจากการเกิดอัตรกิริยาระหว่างแทนนินกับโปรตีนที่มีอยู่ในน้ำลาย และไกลโคโปรตีนที่มีอยู่ในปาก ทำให้คุณสมบัติของการหล่อลื่นของ

น้ำลายสูญเสียบไปเพราะเกิดการเชื่อมโยง (Crosslink) ของพอลิเมอร์แทนนินกับโปรตีน (Haslam, 1966; สรศักดิ์ เหลี้ยวไชยพันธุ์, 2531) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสามารถลดความฝาดขมได้ โดยการนำเปลือกเสาวรสมาเตรียมขึ้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ ซึ่งเป็นขั้นตอนที่สามารถกำจัดแทนนินออกได้ โดยทั่วไปแทนนินสามารถละลายน้ำได้ และสามารถถูกสกัดออกมาได้ด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (Figuerole et al., 2005; สุชาติ สุขสถิตย์ และผุสดี ตั้งวัชรินทร์, 2558) นอกจากนี้การแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์กระตุ้นให้เกิดการแพร่ออกของสารเนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้นในสารละลายที่ใช้และชั้นเปลือกเสาวรส จึงทำให้เกิดแรงดันออสโมติก สารแทนนินสามารถแพร่ออกมากับน้ำในระหว่างการแช่ได้ และอีกทางหนึ่งคือการแช่ในสารละลายเกลืออาจจะช่วยตกตะกอนแทนนินออกมาได้

จากภาพที่ 4-3 พบว่า สิ่งทดลองที่ผ่านการเตรียมขึ้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ทุกสิ่งทดลอง มีกลิ่นเสาวรส (2.69-3.91) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเทียบกับตัวควบคุมที่ไม่ผ่านการเตรียมขึ้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ (6.75) อาจเป็นไปได้ว่ากลิ่นที่ระเหยได้ของเสาวรสซึ่งเป็นสารที่สามารถละลายน้ำได้ เช่น esters, 3-methyl-thiohexan-1-ol, 2-methyl-4-propyl-1, 3-oxathione enantiomers และ edulans I and II (Dhawan et al., 2004) สามารถละลายไปพร้อมกับสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ใช้ ความเป็นกลิ่นเสาวรสจึงมีโอกาสลดลง แต่อย่างไรก็ตามก็สอดคล้องกับแนวทางของการผลิตโยอาหารในอุดมคติที่ Laurri (1999) กล่าวไว้ว่าโยอาหารที่ดีไม่ควรมีกลิ่นรสเฉพาะของสารนั้นเพื่อสามารถนำไปเติมในผลิตภัณฑ์อาหารได้ โดยไม่มีผลรบกวนกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์อาหาร ในขณะที่ให้ผงโยอาหารที่ผ่านการเตรียมขึ้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์มีสีม่วงแดง (9.13-10.03) มากขึ้น และมีรสเค็ม (1.00-1.43) เพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อเทียบกับตัวควบคุมที่ไม่ผ่านการเตรียมขึ้นต้นที่มีสีม่วงแดงและรสเค็ม เท่ากับ 4.95 และ 0.67 ตามลำดับ โดยเปลือกเสาวรสที่ผ่านการเตรียมขึ้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ มีสีม่วงแดงมากกว่าเปลือกเสาวรสผงที่ไม่ผ่านการเตรียมขึ้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ประมาณ 2 เท่า นั้น แสดงให้เห็นว่าการเตรียมขึ้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ สามารถรักษารงควัตถุ โดยเฉพาะกลุ่มแอนโทไซยานินที่ให้สีม่วงแดงสำคัญของเปลือกเสาวรสให้คงอยู่ไว้ได้ ในขณะที่ตัวอย่างควบคุมที่ไม่ผ่านการเตรียมขึ้นต้นมีสีม่วงแดงอ่อน

นอกจากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของตัวอย่างผงโยอาหารจากเปลือกเสาวรสแล้ว ยังได้มีการนำเสนอตัวอย่างในรูปแบบของสารละลายด้วย เพื่อจำลองการนำ

ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสมาใช้เป็นส่วนผสมในรูปแบบของสารละลาย เตรียมสารละลายโดยใช้น้ำที่อุณหภูมิห้อง (28 ± 2 องศาเซลเซียส) จากภาพที่ 4-4 พบว่า สารละลายที่เตรียมได้จากผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่ผ่านการเตรียมขั้นต้น โดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ ทุกสิ่งทดลองมีคะแนนความเข้มข้นด้านสีม่วงแดง/น้ำตาลแดง ความขุ่น กลิ่นเสาวรส ความฝาดขม และความสาบลิ้น น้อยกว่า สารละลายจากผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสด้อย่างควบคุม ($p < 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเตรียมขั้นต้นด้วยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์สามารถกำจัดกลิ่นเสาวรส และความฝาดขมของแทนนินออกได้ รวมทั้งปรับปรุงคุณภาพของผงใยอาหารให้มีสมบัติเชิงหน้าที่ เช่น ความสามารถในการอุ้มน้ำ (ประมาณ 18.51 กรัม น้ำ ต่อกรัม น้ำหนักแห้ง) และความสามารถในการพองตัว (ประมาณ 23.13 มิลลิลิตรต่อ กรัม น้ำหนักแห้ง) ให้ดีขึ้น โดยผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสประกอบด้วยใยอาหารที่ละลายน้ำ และใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซิลเป็นองค์ประกอบ และสามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับน้ำ และใยอาหารบางประเภท เช่น เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส มีสมบัติพองตัวได้ (López-Vargas et al., 2013; สหขวัญ โรจนคุณธรรม และอังคณา จันทรพลพันธ์, 2557) ดังนั้นเมื่อนำผงใยอาหารดังกล่าวละลายในน้ำ ผงใยอาหารจึงสามารถอุ้มน้ำ พองตัว และมีโอกาสเป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำได้มากกว่า ผงใยอาหารตัวควบคุม จึงมีลักษณะสาบลิ้นและขุ่นน้อยกว่า ลักษณะของสารละลายผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส แสดงดังภาพที่ 4-5

จากภาพรวมผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า สิ่งทดลองที่ผ่านการเตรียมขั้นต้น โดยการแช่เกลือโซเดียมคลอไรด์ ได้ผงใยอาหารที่มีกลิ่นเสาวรส และความฝาดขมน้อยกว่าตัวอย่างควบคุม และช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงหน้าที่ของผงใยอาหาร โดยทำให้ได้สารละลายที่มีความเป็นเนื้อเดียวกันดีขึ้น มีลักษณะสาบลิ้นและขุ่นน้อยกว่าตัวอย่างควบคุม แสดงให้เห็นว่าการเตรียมขั้นต้น โดยการแช่สารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ สามารถปรับปรุงผงใยอาหารให้คุณภาพที่ดีขึ้นได้

จากเกณฑ์ในการคัดเลือกสิ่งทดลอง คือ เลือกสิ่งทดลองที่สามารถกำจัดความฝาดขมได้ และสิ่งทดลองที่ทำให้ได้ผงใยอาหารที่มีปริมาณใยอาหารทั้งหมดมากที่สุด มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระสูง สามารถกำจัดกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์ได้ รวมถึงพิจารณาเปรียบเทียบกับคุณภาพของผงใยอาหารที่ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้น โดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ ประกอบการตัดสินใจ พบว่า สิ่งทดลองที่ผ่านการเตรียมขั้นต้น โดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ ทุกสิ่งทดลองสามารถกำจัดความฝาดขมได้ โดยสิ่งทดลองที่ 1 ที่ผ่านการเตรียมขั้นต้น โดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ใน

สภาวะสุญญากาศ เป็นเวลา 10 นาที และสิ่งทดลองที่ 2 ที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ในสภาวะที่ไม่ใช้สุญญากาศ เป็นเวลา 10 นาที ได้ผงใยอาหารที่มีปริมาณใยอาหารทั้งหมดสูงที่สุด เท่ากับ 83.82 และ 83.63 กรัม/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ เมื่อพิจารณาที่ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ พบว่าสิ่งทดลองที่ 2 ที่ผ่านการเตรียมขั้นต้น โดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ในสภาวะที่ไม่ใช้สุญญากาศ เป็นเวลา 10 นาที ได้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด เท่ากับ 61.14 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง และ 83.52% ตามลำดับ เมื่อนำมาพิจารณาเปรียบเทียบกับคุณภาพของตัวอย่างควบคุมคือ ผงใยอาหารที่ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้น โดยการแช่ในสารละลายเกลือ โซเดียมคลอไรด์ พบว่าตัวอย่างควบคุมมีปริมาณใยอาหารทั้งหมด (90.43 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) ปริมาณแอนโทไซยานิน (14.82 มิลลิกรัม Cyn 3-Glu/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (66.47 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (88.92%) มีแนวโน้มมากกว่าสิ่งทดลองที่ 2 เท่ากับ 6.80 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง 2.09 มิลลิกรัม Cyn 3-Glu/100 กรัม น้ำหนักแห้ง 5.33 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/100 กรัม น้ำหนักแห้ง และ 5.40% ตามลำดับ แต่การเตรียมขั้นต้นตามสิ่งทดลองที่ 2 นี้ สามารถกำจัดความฝาดขมของผงใยอาหารลงได้ ซึ่งบรรลุจุดประสงค์หลักของการศึกษาในขั้นตอนนี้คือต้องการกำจัดความฝาดขม และกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส ที่จะช่วยเพิ่มศักยภาพในการนำมาใช้เป็น ส่วนผสมในอาหารได้ในปริมาณที่มากขึ้น ดังนั้นจากเกณฑ์การคัดเลือกสิ่งทดลองข้างต้น สิ่งทดลองที่ 2 ที่ผ่านการเตรียมขั้นต้น โดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ในสภาวะที่ไม่ใช้สุญญากาศ เป็นเวลา 10 นาที จึงเป็นสิ่งทดลองที่มีความเหมาะสมมากที่สุด

5.3 ผลการศึกษาหาสภาวะในการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่เหมาะสมของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส

ขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาผลของการหาสภาวะในการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่เหมาะสม โดยแปรปัจจัยอุณหภูมิการทำแห้ง (50-70 องศาเซลเซียส) และเวลาการทำแห้ง (300-420 นาที) ในการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน แล้วนำผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่ได้ นำมาวิเคราะห์ค่าคุณภาพ

ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ

จากการวิเคราะห์ค่าคุณภาพต่าง ๆ พบว่า ปริมาณความชื้น ปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสแตกต่างกัน ($p < 0.05$) (ตารางที่ 4-20) โดยการใช้อุณหภูมิการทำแห้งร่วมกับเวลาการทำแห้งในระดับต่ำ (-1, -1) ในสิ่งทดลองที่ 1 ซึ่งเป็นสภาวะที่รุนแรงน้อย ทำให้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสดังกล่าวได้มีปริมาณความชื้นสูงเกิน 8 กรัม/100 กรัม แต่ในขณะที่เดียวกันทำให้ผงใยอาหารมีปริมาณแอนโทไซยานิน (16.06 มิลลิกรัม Cyn-3-Glu ต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (64.23 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง) และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (86.81%) สูงที่สุด ($p < 0.05$) ทั้งนี้เนื่องมาจากการใช้อุณหภูมิการทำแห้งต่ำ ในที่นี้คือ 53 องศาเซลเซียส ร่วมกับเวลาการทำแห้ง 320 นาที อาจเป็นสภาวะในการทำแห้งที่รุนแรงน้อยกว่าสิ่งทดลองอื่น เป็นผลให้เมื่อนำชิ้นเปลือกเสาวรสมาทาแห้งที่อุณหภูมิต่ำ ในเวลาสั้น จึงทำให้น้ำในชิ้นเปลือกเสาวรสดังกล่าว (ปริมาณความชื้น 80.52 กรัม/100 กรัม) ระเหยออกไปได้น้อยกว่าสภาวะการทำแห้งอื่น ยังคงมีปริมาณความชื้นอยู่ 9.89 กรัม/100 กรัม แต่ทั้งนี้การใช้อุณหภูมิการทำแห้ง 53 องศาเซลเซียส และเวลาการทำแห้ง 320 นาที ส่งผลให้ชิ้นเปลือกเสาวรสดัมผัสกับความร้อนด้วยเวลาสั้น ทำให้ปริมาณแอนโทไซยานิน (16.06 มิลลิกรัม Cyn-3-Glu/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (64.23 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (86.81%) คงอยู่ในระดับที่สูง รงควัตถุแอนโทไซยานินเป็นสารประกอบฟีนอลิกชนิดหนึ่งที่มีสมบัติสลายตัวได้ง่ายด้วยความร้อน ออกซิเจน และแสง (Lazze et al., 2004) ดังนั้นการใช้อุณหภูมิการทำแห้งต่ำร่วมกับเวลาการทำแห้งสั้นจึงสามารถรักษาสารพฤกษเคมีให้คงอยู่มากขึ้น

จากผลการทดลองในตารางที่ 4-20 เมื่อพิจารณาตามเกณฑ์ปริมาณความชื้นที่กำหนดว่าผงใยอาหารควรมีปริมาณความชื้นต่ำกว่าหรือเท่ากับ 8 กรัม/100 กรัม (Larruri, 1999; Nilnakara, 2006; Peerajit et al., 2012) พบว่า มีเพียง 2 สิ่งทดลองเท่านั้นที่เป็นสภาวะการทำแห้งที่ทำให้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสดังกล่าวได้มีปริมาณความชื้นมากกว่า 8 กรัม/100 กรัม เกินเกณฑ์ที่กำหนดไว้คือ สิ่งทดลองที่ 1 การใช้อุณหภูมิการทำแห้งร่วมกับเวลาการทำแห้งระดับต่ำ (-1, -1) คือการใช้

อุณหภูมิการทำแห้ง 53 องศาเซลเซียส ร่วมกับเวลาการทำแห้ง 320 นาที และสิ่งทดลองที่ 5 การใช้ อุณหภูมิการทำแห้งระดับต่ำที่สุดร่วมกับเวลาการทำแห้งในระดับปานกลาง (-1.414, 0) คือการใช้ อุณหภูมิการทำแห้ง 50 องศาเซลเซียส ร่วมกับเวลาการทำแห้ง 360 นาที เมื่อพิจารณาสิ่งทดลองที่ เหลือซึ่งมีปริมาณความชื้นเป็นไปตามเกณฑ์กำหนด พบว่า สิ่งทดลองที่ 3 การใช้อุณหภูมิจากแห้งระดับสูงร่วมกับเวลาการทำแห้งระดับต่ำ (+1, -1) คือการใช้อุณหภูมิจากแห้ง 67 องศาเซลเซียส ร่วมกับเวลาการทำแห้ง 320 นาที ทำให้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่ได้มีปริมาณ แอนโทไซยานิน (15.30 มิลลิกรัม Cyn-3-Glu/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (64.12 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (86.63%) มาก ที่สุด ($p < 0.05$) เช่นเดียวกับสิ่งทดลองที่ 7 การใช้อุณหภูมิจากแห้งปานกลางร่วมกับเวลาการทำ แห้งต่ำที่สุด (0, -1.414) คือการใช้อุณหภูมิจากแห้ง 60 องศาเซลเซียส ร่วมกับเวลาการทำแห้ง 300 นาที พบว่ายังคงรักษาปริมาณแอนโทไซยานิน (15.57 มิลลิกรัม Cyn-3-Glu/100 กรัม น้ำหนัก แห้ง) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (64.22 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) และสมบัติ การต้านอนุมูลอิสระ (86.10%) ไว้ได้ไม่แตกต่างจากผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสสิ่งทดลองที่ 3 ($p \geq 0.05$)

สอดคล้องกับงานวิจัยของ Garau et al. (2007) ที่ศึกษาการทำแห้งเปลือกส้มที่อุณหภูมิ การทำแห้ง 30-90 องศาเซลเซียส พบว่า อุณหภูมิในช่วง 50-70 องศาเซลเซียส ทำให้เปลือกส้มยังคง รักษาสมบัติการต้านอนุมูลอิสระไว้ได้สูง โดยเปลือกส้มแห้งมีสมบัติต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุดเมื่อ ทำแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เนื่องจากการใช้อุณหภูมิจากแห้งระดับปานกลาง มีผล ให้สารประกอบบางตัวที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระซึ่งไม่เสถียรและสลายไปได้จากความร้อน มีโอกาส สูญเสียน้อยลง ดังนั้นในงานวิจัยนี้ผลจากการใช้อุณหภูมิจากแห้ง 67 องศาเซลเซียส ร่วมกับเวลา การทำแห้ง 320 นาที และการใช้อุณหภูมิจากแห้ง 60 องศาเซลเซียส ร่วมกับเวลาการทำแห้ง 300 นาที เป็นการใช้อุณหภูมิในระดับปานกลางร่วมกับเวลาสั้น ทำให้ผงใยอาหารที่ได้ยังคงมีปริมาณ แอนโทไซยานิน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระคงอยู่ใน ปริมาณสูง

เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการทดลอง มาวิเคราะห์สมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ ความชื้น (MC) ปริมาณแอนโทไซยานิน (AC) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (TPC) และ

สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (%Inhibition) ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสกับอุณหภูมิการทำแห้งและเวลาการทำแห้ง (ตารางที่ 4-21) สามารถพิจารณาความน่าเชื่อถือของสมการจากค่า R^2 ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ค่า Model Significance ซึ่งบอกความสัมพันธ์ระหว่างค่า Y และค่า X โดยการทดลองนี้กำหนดให้ Y คือตัวแปรตามที่วิเคราะห์ (MC AC TPC และ %Inhibition) และ X คือ ตัวแปรต้นที่ศึกษา (อุณหภูมิการทำแห้ง และเวลาการทำแห้ง) สำหรับค่า RMS เป็นค่าที่บ่งบอกความคลาดเคลื่อนของการทำนายจากการใช้สมการ พบว่า ทุกสมการได้แก่ สมการของปริมาณความชื้น (MC) ปริมาณแอนโทไซยานิน (AC) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (TPC) และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (%Inhibition) มีความน่าเชื่อถือสำหรับการทำนายตามเกณฑ์ โดยมีค่า R^2 มากกว่า 0.75 มีค่า Model Significance น้อยกว่า 0.05 และมีค่า RMS น้อยกว่าร้อยละ 20 (Hu, 1999; Julian, 2004) โดยสมการที่ได้ทั้งหมดมีรูปแบบความสัมพันธ์เหมือนกัน กล่าวคือมีเทอมของความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (Linear effect) และความสัมพันธ์เชิงเส้นโค้ง (Quadratic Effect) ซึ่งจัดเป็นสมการถดถอยในรูปแบบพหุคูณ (Multiple Regression model) เมื่อพิจารณารูปสมการที่ได้สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นที่ศึกษากับตัวแปรตามที่วิเคราะห์ได้ดังนี้ สำหรับสมการของปริมาณความชื้น ปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระมีรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นกับตัวแปรตามที่วิเคราะห์ในรูปแบบสมการเทอมกำลังหนึ่ง (X_1, X_2) เทอมกำลังสองของตัวแปร X_1 (X_1^2) โดยเมื่อพิจารณาที่ค่าสัมประสิทธิ์ของ X_1, X_2 ของสมการปริมาณความชื้น ปริมาณแอนโทไซยานิน และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด พบว่า มีค่าสัมประสิทธิ์เป็นลบ แสดงให้เห็นว่า เมื่อเพิ่มค่า X_1 คือ อุณหภูมิการทำแห้ง และค่า X_2 คือ เวลาการทำแห้ง มีแนวโน้มทำให้ค่า Y คือ ค่าที่วิเคราะห์ได้ ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณแอนโทไซยานิน และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกลดลง

เมื่อนำสมการทั้งหมดมาสร้างกราฟพื้นผิวการตอบสนอง สามารถพิจารณาได้ดังนี้ ภาพที่ 4-6 ด้านปริมาณความชื้น พบแนวโน้มว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิการทำแห้งและเพิ่มเวลาการทำแห้ง มีผลให้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสมีปริมาณความชื้นลดลง (สังเกตได้จากบริเวณพื้นที่สีเขียว) ในขณะที่เมื่อใช้อุณหภูมิการทำแห้งร่วมกับเวลาการทำแห้งระดับต่ำ มีผลให้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสมีปริมาณความชื้นสูง อยู่ในช่วง 8.0-9.0 กรัม/100 กรัม (สังเกตได้จากบริเวณพื้นที่สีน้ำตาล)

แดง) ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิการทำแห้งทำให้ชั้นเปลือกเสาวรสมิมีโอกาสสัมผัสกับความร้อนที่สูง จึงทำให้น้ำระเหยออกจากชั้นเปลือกเสาวรสได้มากและเร็วขึ้น รวมถึงการเพิ่มเวลาการทำแห้งเป็นการเพิ่มโอกาสให้ชั้นเปลือกเสาวรสสัมผัสกับความร้อนได้นานขึ้น ความชื้นจึงลดลงได้มากขึ้น

จากภาพที่ 4-7 และ 4-8 เมื่อพิจารณาด้านปริมาณแอนโทไซยานิน และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ตามลำดับ แสดงแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ เมื่อใช้อุณหภูมิการทำแห้งในช่วง 52 ถึง 66 องศาเซลเซียส (ค่ารหัส -1.131 ถึง 0.848) และใช้เวลาการทำแห้งในช่วง 300 ถึง 357 นาที (ค่ารหัส -1.414 ถึง -0.212) ทำให้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสมิปริมาณแอนโทไซยานินและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมีปริมาณมาก (สังเกตได้จากบริเวณพื้นที่สีน้ำตาลแดง) ทั้งนี้เนื่องมาจากแอนโทไซยานินเป็นสารประกอบที่ไม่เสถียร ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มสารประกอบฟีนอลิก (Phenolic compounds) กลุ่มพอลิฟีนอล (Polyphenol) สลายตัวได้ง่ายด้วยความร้อน ออกซิเจน และแสง (Lazze et al., 2004) ดังนั้นเมื่อใช้อุณหภูมิในการทำแห้งระดับสูงจึงอาจทำให้รังควัตถุนี้อายุสั้นลงได้มากกว่า เมื่อใช้อุณหภูมิในการทำแห้งระดับต่ำกว่า ซึ่งเมื่อรวมกับการใช้เวลานานจึงเป็นการเพิ่มโอกาสให้ชั้นเปลือกเสาวรสสัมผัสกับความร้อนได้นานขึ้น แอนโทไซยานินจึงสลายตัวได้มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่วิเคราะห์ได้ด้วย

สอดคล้องกับงานวิจัยของ Méndez-Lagunas, Rodríguez-Ramírez, Cruz-Gracida, Sandoval-Torres, and Barriada-Bernal (2017) ที่ศึกษาจลนศาสตร์ของการสลายตัวของสารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระในสตอเบอร์รี่ระหว่างการแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และ 60 องศาเซลเซียส พบว่า การใช้อุณหภูมิการทำแห้งสูงขึ้นร่วมกับเวลาในการทำแห้งนานขึ้น มีแนวโน้มทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด แอนโทไซยานิน และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของสตอเบอร์รี่หลังการทำแห้งลดลง โดยเมื่อใช้อุณหภูมิการทำแห้ง 60 องศาเซลเซียส และเวลาการทำแห้งนานขึ้นถึง 300 นาที ทำให้ปริมาณแอนโทไซยานิน และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดลดลงถึง 45% และ 78.1% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับสตอเบอร์รี่ก่อนการทำแห้ง ในขณะที่การทำแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ทำให้ปริมาณแอนโทไซยานิน และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดลดลง 26% และ 60.9% ตามลำดับ เมื่อ

เทียบกับสโตเบอร์รี่ก่อนการทำแห้ง ซึ่งส่งผลให้สมบัติการต้านอนุมูลอิสระลดลงด้วย นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kuljarachanan et al. (2009) ได้ศึกษาผลของการทำแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60-120 องศาเซลเซียส ต่อคุณภาพของกากมะนาว พบว่า เมื่อใช้อุณหภูมิการทำแห้งสูงขึ้น ทำให้กากมะนาวมีปริมาณวิตามินซี และสารประกอบฟีนอลลดลง เนื่องจากการสลายตัวของสารประกอบฟีนอลจากความร้อนในระหว่างการทำแห้ง ซึ่งสารประกอบฟีนอลเป็นสารสำคัญในกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระจึงมีความสัมพันธ์อย่างมากกับกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระทั้งหมด โดยพบว่า ผลผลิตแห้งที่สุดท้ายที่ผ่านการอบแห้งกากมะนาวที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 840 นาที ซึ่งเป็นสภาวะการทำแห้งที่อุณหภูมิระดับต่ำมีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด

สารประกอบฟีนอลที่ไม่เสถียรบางชนิดมีโอกาสสูญเสียไปได้เมื่อสัมผัสกับความร้อนในเวลาที่นานขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Samoticha, Wojdylo, and Lech (2016) ที่ศึกษาผลของการทำแห้งที่อุณหภูมิแตกต่างกันต่อคุณภาพของ chokeberries (Chokeberries) โดยติดตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด พบว่า chokeberries ที่ผ่านการทำแห้งที่ 50 และ 60 องศาเซลเซียส มีปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 4956-5223 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/100 กรัม น้ำหนักแห้ง แต่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดน้อยกว่า chokeberries ที่ผ่านการทำแห้งที่ 70 องศาเซลเซียส (5631 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) ทั้งนี้เป็นผลมาจากเวลาการทำแห้ง โดยการทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำใช้เวลาในการทำแห้ง (23 ชั่วโมง) มากกว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส (11 ชั่วโมง) จึงมีโอกาสให้สารประกอบฟีนอลบางชนิดที่ไม่เสถียรต่อความร้อนมีโอกาสสูญเสียไปได้มากกว่าเมื่อสัมผัสกับความร้อนเป็นเวลานาน

จากภาพที่ 4-9 เมื่อพิจารณาด้านสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ พบแนวโน้มว่า การใช้อุณหภูมิจากการทำแห้งในช่วง 50 ถึง 70 องศาเซลเซียส (ค่ารหัส -1.414 ถึง 1.414) การใช้เวลาการทำแห้งต่างกัน มีผลทำให้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสมิ่ ได้มี %Inhibition แตกต่างกันได้ โดยเมื่อใช้เวลาการทำแห้งนานขึ้น มีแนวโน้มทำให้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสมิ่ %Inhibition ลดลง (สังเกตได้จากบริเวณพื้นที่สีเขียว) ในขณะที่เมื่อใช้เวลาการทำแห้งอยู่ในช่วง 300 ถึง 348 นาที (ค่ารหัส -1.414 ถึง -0.283) มีแนวโน้มทำให้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสมิ่ %Inhibition สูง อยู่ในช่วง 85.48%-86.78% (สังเกตได้จากบริเวณพื้นที่สีน้ำตาลแดง) แสดงแนวโน้มให้เห็นว่าการ

เปลี่ยนแปลงสมบัติด้านอนุมูลอิสระของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสมีอิทธิพลมาจากเวลาการทำแห้งมากกว่าระดับอุณหภูมิในการทำแห้ง

ผลจากการสร้างกราฟพื้นผิวตอบสนองเหล่านี้ จะเห็นได้ว่ามีประโยชน์ในการอธิบายแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นที่ศึกษากับตัวแปรตามที่วิเคราะห์ โดยสามารถแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าคุณภาพที่สนใจ เมื่อระดับของปัจจัยที่ศึกษาเปลี่ยนแปลงไป นอกจากนี้กราฟพื้นผิวตอบสนองที่ได้สามารถนำมาใช้ในการเลือกสภาวะที่เหมาะสม (Optimization) ที่ทำให้ได้ค่าของตัวแปรตามที่วิเคราะห์หรือค่าคุณภาพที่สนใจที่ดีที่สุด ซึ่งสามารถดำเนินการโดยการกำหนดเกณฑ์ของตัวแปรตามที่วิเคราะห์หรือค่าคุณภาพต่าง ๆ ที่สนใจ เพื่อหาช่วงที่เหมาะสมของตัวแปรต้นที่ศึกษาซึ่งทำให้ได้ค่าคุณภาพต่าง ๆ อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดไว้ เมื่อได้พื้นที่ที่ต้องการแล้ว จึงอาศัยเทคนิคการซ้อนทับกราฟพื้นผิวตอบสนอง เพื่อพิจารณาสภาวะที่เหมาะสมได้จากพื้นที่ที่ซ้อนทับกัน สำหรับงานวิจัยในขั้นตอนนี้เป็นการปรับปรุงคุณภาพของผงใยอาหาร ดังนั้นคุณภาพของผงใยอาหารที่ได้ด้านปริมาณความชื้น ปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ต้องไม่ต่ำกว่าคุณภาพของผงใยอาหารที่ได้จากการใช้สภาวะการทำแห้งตามวิธีการผลิตเดิม จึงกำหนดว่าคุณภาพของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสต้องมีปริมาณความชื้นต่ำกว่าหรือเท่ากับ 8 กรัม/100 กรัม มีปริมาณแอนโทไซยานินไม่ต่ำกว่า 12.73 มิลลิกรัม Cyn-3-Glu/100 กรัม น้ำหนักแห้ง สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดไม่ต่ำกว่า 61.14 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/100 กรัม น้ำหนักแห้ง และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระที่รายงานเป็น %Inhibition มีค่าไม่ต่ำกว่า 83.52%

จากภาพที่ 4-10 4-11 4-12 และ 4-13 แสดงพื้นผิวตอบสนองของปริมาณความชื้น ปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสกับอุณหภูมิการทำแห้งและเวลาการทำแห้ง ตามลำดับ โดยส่วนที่แรเงาเป็นขอบเขตพื้นที่สำหรับการคัดเลือกหาสภาวะที่เหมาะสมของคุณภาพด้านปริมาณความชื้น ปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิการทำแห้งและเวลาการทำแห้ง

เมื่อนำพื้นที่ผิวการตอบสนองในภาพที่ 4-10 4-11 4-12 และ 4-13 มาซ้อนทับกัน จะได้พื้นที่ผิวการตอบสนองที่ทำให้ได้ค่าคุณภาพของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสตามที่ได้กำหนดไว้

จากภาพที่ 4-14 พบว่า การใช้อุณหภูมิการทำแห้งในช่วง 52.88 ถึง 70 องศาเซลเซียส (ค่ารหัส -1.007 ถึง 1.414) และใช้เวลาการทำแห้งในช่วง 300 ถึง 408.742 นาที (ค่ารหัส -1.414 ถึง 1.149) ทำให้ได้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรศที่มีปริมาณความชื้นต่ำกว่า 8 กรัม/100 กรัม มีปริมาณ แอนโทไซยานินอยู่ในช่วง 12.73 ถึง 15.66 มิลลิกรัม Cyn-3-Glu/100 กรัม น้ำหนักแห้ง มีปริมาณ สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดอยู่ในช่วง 61.14 ถึง 64.74 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/100 กรัม น้ำหนักแห้ง และมีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระที่รายงานเป็นค่า %Inhibition อยู่ในช่วง 83.52% ถึง 86.78% ซึ่ง งานวิจัยในขั้นตอนนี้ต้องการหาสภาวะในการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่เหมาะสมที่สุดในการผลิต ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรศ เพื่อคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้ง จึงพิจารณาที่จุดมูม รวมถึงจุดกึ่งกลางของพื้นที่ที่ได้จากการซ้อนทับกัน ได้จุดมูม 5 จุด และจุดกึ่งกลาง 1 จุด รวมได้ 6 สภาวะ แต่อย่างไรก็ตามระดับอุณหภูมิการทำแห้งและเวลาการทำแห้ง ที่ได้จากกราฟทั้ง 6 สภาวะ มีความละเอียดมาก อาจไม่เอื้อกับการปฏิบัติการทดลองจริง ดังนั้นเพื่อให้เกิดความสะดวกในการ ดำเนินการทดลองจริง จึงมีการปรับค่าอุณหภูมิการทำแห้ง และเวลาการทำแห้ง ได้รายละเอียดตาม ตารางที่ 4-22 จากนั้นทำการทดลองตามสภาวะที่เลือกได้เพื่อทวนสอบสมการ และหาตำแหน่งการทำแห้งที่เหมาะสมที่สุด เปรียบเทียบกับ Control คือ ผงใยอาหารที่ได้จากการทำแห้งอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส 360 นาที (สภาวะการทำแห้งเดิม)

มีงานวิจัยที่ใช้เทคนิคการซ้อนทับกราฟพื้นที่ผิวตอบสนองเพื่อพิจารณาหาสภาวะที่เหมาะสม ตัวอย่างเช่น Karaaslan and Dalgiç (2014) ได้ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้ง แบบพ่นฝอยของสารสกัดจากชะเอม โดยมีปัจจัยที่ศึกษาคืออุณหภูมิเข้าที่แตกต่างกัน (110-130 องศาเซลเซียส) การเติมมอลโตเดกซ์ตริน (Maltodextrin) ที่มีค่า DE ที่แตกต่างกัน (19 DE และ 20 DE) และความเข้มข้นของมอลโตเดกซ์ตรินที่แตกต่างกัน (20% 15% และ 10%) ต่อคุณภาพต่างๆ ได้แก่ ปริมาณความชื้น ความหนาแน่น ความสามารถในการดูดความชื้น ค่าสี และค่าความเป็น กรด-ด่าง ความสามารถในการละลาย และปริมาณผลได้ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการ ทำแห้ง โดยการสร้างกราฟพื้นที่ผิวตอบสนอง และใช้เทคนิคการซ้อนทับกราฟพื้นที่ผิวตอบสนองเพื่อ หาช่วงของสภาวะที่เหมาะสม จากการซ้อนทับกราฟพบช่วงที่เหมาะสมคือ การใช้อุณหภูมิเข้าอยู่ใน ช่วง 120-130 องศาเซลเซียส การใช้มอลโตเดกซ์ตริน 12DE และความเข้มข้นมอลโตเดกซ์ตริน อยู่ใน ช่วง 15%-20%

งานวิจัยของนันนพร อัครนิจ และสุพัฒน์ชลิ สิริโชคกรกิตต์ (2555) ได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทอดกะเพราด้วยเครื่องทอดแบบสุญญากาศ โดยการสร้างกราฟพื้นผิวตอบสนอง มีตัวแปรอิสระ 2 ปัจจัย คือ อุณหภูมิในการทอดสุญญากาศ (90-110 องศาเซลเซียส) และเวลาในการทอด (3-5 นาที) จากการนำข้อมูลการทดลองมาสร้างสมการซึ่งใช้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่ศึกษา และคัดเลือกเฉพาะสมการที่มีค่า R^2 ไม่น้อยกว่า 0.75 ซึ่งแสดงความน่าเชื่อถือของสมการ ทำการทดสอบความแม่นยำของสมการ โดยการพิจารณาจากค่า RMS ต่ำกว่า 20% แสดงว่ามีความคลาดเคลื่อนจากค่าจริงน้อย จากนั้นนำสมการที่ได้มาสร้างกราฟพื้นที่ผิวตอบสนอง โดยมีการกำหนดเกณฑ์ที่จะใช้หาขอบเขตของการศึกษา แล้วใช้เทคนิคการซ้อนทับกราฟพื้นผิวตอบสนอง จนได้พื้นที่ที่ต้องการ โดยเลือกที่จุดมุมและจุดกึ่งกลางของพื้นที่ที่ได้จากการซ้อนทับกัน พบว่า สภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการผลิตกะเพราทอดสุญญากาศ คือ การทอดกะเพราที่อุณหภูมิ 102 องศาเซลเซียส และเวลาทอดนาน 3.65 นาที

จากการดำเนินการผลิตผงโยอาหารจากเปลือกเสาวรศโดยใช้การทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ทดลองตามสภาวะที่เลือกได้ จำนวน 6 สภาวะ เปรียบเทียบกับ Control ซึ่งหมายถึงการผลิตผงโยอาหารจากเปลือกเสาวรศโดยใช้การทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 360 นาที (สภาวะการทำแห้งเดิม) แล้วนำผงโยอาหารที่ผลิตได้มาวิเคราะห์คุณภาพ ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-23 พบว่า สิ่งทดลองที่ 1 การใช้อุณหภูมิจากการทำแห้ง 62 องศาเซลเซียส (ค่ารหัส 0.283) ร่วมกับเวลาการทำแห้ง 300 นาที (ค่ารหัส -1.414) มีผลทำให้ได้ผงโยอาหารจากเปลือกเสาวรศที่มีปริมาณความชื้นเท่ากับ 7.81 กรัม/100 กรัม ปริมาณแอนโทไซยานิน (15.35 มิลลิกรัม Cyn-3-Glu/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (64.38 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (86.26%) สูงที่สุด ($p < 0.05$) นอกจากนี้พบว่า สภาวะการทำแห้งที่เลือกได้ทั้ง 6 สภาวะ ทำให้ได้ผงโยอาหารจากเปลือกเสาวรศที่มีความชื้นอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด (ต่ำกว่าหรือเท่ากับ 8 กรัม/100 กรัม) โดยมีปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระมากกว่า Control ($p < 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการใช้อุณหภูมิจากการทำแห้งอยู่ในช่วง 53 ถึง 70 องศาเซลเซียส ร่วมกับเวลาการทำแห้งในช่วงที่ไม่เกิน 360 นาที เป็นสภาวะที่สามารถรักษาปริมาณ

สารประกอบฟีนอลิกไว้ได้มาก โดยสังเกตเห็นว่าเมื่อใช้เวลาในการทำแห้งนานขึ้น มีโอกาสให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกลดลง

จากการคำนวณค่า Root Mean Square (RMS) เพื่อทดสอบความแม่นยำของสมการ ปริมาณความชื้น ปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ แสดงดังตารางที่ 4-24 4-25 4-26 และ 4-27 ตามลำดับ พบว่า ค่า RMS ของการใช้สมการปริมาณความชื้น ปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 15.07% 10.26% 1.12% และ 1.62% ตามลำดับ ซึ่งมีค่าต่ำกว่า 20% แสดงให้เห็นว่าสมการมีความน่าเชื่อถือและมีความแม่นยำในการทำนายค่า (Julian, 2004) เนื่องจากค่าที่ได้จากการทำนายมีความคลาดเคลื่อนจากค่าจริงน้อย สอดคล้องกับงานวิจัยของ Garba, Kaur, Gurumayum, & Rasane (2015) ที่ศึกษาผลของอุณหภูมิการทำแห้งด้วยลมร้อนเพื่อหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการตาก กับอุณหภูมิการทำแห้งที่เหมาะสมในการทำแห้งชิ้นแครอทสีม่วง (*Daucus carota* L.) ซึ่งเกณฑ์ในการพิจารณาสมการที่เหมาะสมพิจารณาจากค่า R^2 ที่มีค่าเข้าใกล้ 1 และค่า RMS ต้องมีค่าน้อย จากการทดลองพบว่ามีค่า R^2 อยู่ในช่วง 0.97-0.99 และค่า RMS อยู่ในช่วง 0.03-0.05 แสดงถึงสมการที่ได้มีความน่าเชื่อถือและมีความแม่นยำในการทำนาย

จากเกณฑ์ในการพิจารณาเลือกสถานะที่เหมาะสมที่สุด จากการวิเคราะห์คุณภาพของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ พบว่า สิ่งทดลองที่ 1 คือ การใช้อุณหภูมิการทำแห้ง เท่ากับ 62 องศาเซลเซียส ร่วมกับเวลาการทำแห้ง 300 นาที มีผลให้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่ผลิตได้มีปริมาณความชื้นต่ำ (7.81 กรัม/100 กรัม) และยังคงรักษาสารพฤกษเคมีที่สำคัญไว้ได้มากที่สุด โดยมีปริมาณแอนโทไซยานิน (15.35 มิลลิกรัม Cya-3-Glu/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (64.38 มิลลิกรัมแกลลิก/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) รวมถึงสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (86.26%) สูงที่สุด ดังนั้นการใช้อุณหภูมิการทำแห้ง 62 องศาเซลเซียส ร่วมกับเวลาการทำแห้ง 300 นาที จึงเป็นสถานะในการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับนำไปใช้ผลิตผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส เพื่อนำไปใช้เป็นส่วนผสมอาหารเพื่อสุขภาพต่อไป

5.4 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับเปลือกเสาวรสมง

โดยทั่วไปแหล่งใยอาหารสำคัญที่มีปริมาณใยอาหารสูง และสามารถนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตผงใยอาหาร คือ เมล็ดธัญพืช ผัก และผลไม้ จากงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า วัสดุเศษเหลือผักและผลไม้มีศักยภาพที่สามารถนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตเป็นผงใยอาหารได้ เนื่องจากวัสดุเศษเหลือจากผักและผลไม้เหล่านี้มีปริมาณใยอาหารสูง นอกจากนี้ยังมีสารพฤกษเคมีที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายหลายชนิด เช่น สารประกอบฟีนอลิก วิตามินซี และเบต้าแคโรทีน ซึ่งทำให้ผงใยอาหารมีคุณค่าทางโภชนาการมากขึ้น ใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant dietary fiber) จึงหมายถึง ใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระเป็นองค์ประกอบ หรือกล่าวได้ว่า เป็นใยอาหารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ โดยสามารถยับยั้งหรือชะลอปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำลายอนุมูลอิสระที่ร่างกายได้รับ ยับยั้งการรวมตัวของเกล็ดเลือด การต้านจุลินทรีย์ และการต้านปฏิกิริยาการอักเสบ จึงมีส่วนช่วยป้องกันโรคต่าง ๆ เช่น โรคมะเร็ง และโรคหัวใจ เป็นต้น (Saura-Calixto, 1998) สำหรับงานวิจัยนี้ได้พัฒนากระบวนการที่เหมาะสมในการผลิตผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสปั่นรุ่ม โดยผ่านการศึกษาผลของการเตรียมขั้นต้น และการหาสภาวะในการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่เหมาะสม ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสที่ได้ คือ การนำชิ้นเปลือกเสาวรส มาลวกในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 90 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที และแช่ต่อในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 3% เป็นเวลา 10 นาที แล้วนำมาทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 62 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 300 นาที จากนั้นนำเปลือกเสาวรสแห้งที่ได้มาบดให้เป็นผง โดยใช้เครื่องบดอาหารแห้ง ร้อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช ในขณะที่เปลือกเสาวรสมงผลิตได้โดยนำชิ้นเปลือกเสาวรสมง มาทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 400 นาที จากนั้นนำเปลือกเสาวรสมงแห้งที่ได้มาบดให้เป็นผง โดยใช้เครื่องบดอาหารแห้ง ร้อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช แผนภาพการผลิตแสดงดังภาพที่ 4-15 และจากผลการทดลองวิเคราะห์ค่าคุณภาพทางเคมีกายภาพของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระที่ผลิตได้ และเปลือกเสาวรสมง แสดงดังตารางที่ 4-28

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณผลได้ พบว่า ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมงและเปลือกเสาวรสมงมีปริมาณผลได้แตกต่างกัน ($p < 0.05$) โดยผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมง มีปริมาณผลได้ เท่ากับ 12.01% ซึ่งน้อยกว่าเปลือกเสาวรสมงที่มีปริมาณผลได้ เท่ากับ 18.52% แสดงให้เห็นว่าผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมงที่ผ่านกระบวนการเตรียมขั้นต้นก่อนการทำแห้ง มีโอกาสสูญเสียของแข็งไปได้ระหว่าง

ขั้นตอนการลวกและการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ ปริมาณผลได้จึงน้อยกว่าเปลือกเสาวรสมงที่ไม่ผ่านกระบวนการเตรียมขั้นต้นใด ๆ

จากผลการวิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอกติวิตี (ค่า a_w) พบว่า ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมีค่า a_w ไม่แตกต่างกับเปลือกเสาวรสมงที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($p \geq 0.05$) โดยผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมีค่า a_w เท่ากับ 0.241 ในขณะที่เปลือกเสาวรสมีค่า a_w เท่ากับ 0.237 ทั้งนี้การลดค่าวอเตอร์แอกติวิตีให้ต่ำที่สุดเป็นการช่วยยืดอายุการเก็บรักษาอาหารให้นานขึ้น เนื่องจากสามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาเคมีและการเจริญของจุลินทรีย์ (Rahman, 1995) ค่าวอเตอร์แอกติวิตีหรือปริมาณน้ำอิสระในงานวิจัยนี้ไม่เกิน 0.6 จัดเป็นอาหารประเภทผงแห้ง ซึ่งอยู่ในระดับที่เชื้อจุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้ (รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต และไพศาล วุฒิจำนงค์, 2545) ดังนั้นปริมาณน้ำอิสระที่มีอยู่ในผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระที่ผลิตได้และเปลือกเสาวรสมงอยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัยต่อการเจริญของจุลินทรีย์ จึงสามารถเก็บรักษาได้เป็นระยะเวลานาน โดยไม่เกิดการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน คากไฮ เถ้า และคาร์โบไฮเดรต พบว่า ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมิมีปริมาณความชื้น เท่ากับ 7.69 กรัม/100 กรัม และเปลือกเสาวรสมงมีปริมาณความชื้น เท่ากับ 7.33 กรัม/100 กรัม ซึ่งอยู่ในช่วงที่กำหนดไว้ คือ การกำหนดให้ผงใยอาหารที่ผลิตได้มีความชื้น ไม่เกิน 8 กรัม/100 กรัม เนื่องจากความชื้นเป็นองค์ประกอบตามธรรมชาติที่มีมากที่สุดในวัตถุดิบ ดังนั้นความชื้นจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อต้นทุนการผลิตผงใยอาหาร (Larruri, 1999) โดยต้องอาศัยกระบวนการทำแห้งเพื่อลดความชื้นของผลิตภัณฑ์ให้อยู่ในระดับที่สามารถรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์โดยไม่ให้เกิดการเสื่อมเสียจากทั้งจุลินทรีย์และปฏิกิริยาเคมีในระหว่างการเก็บรักษาและการขนส่ง ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมา มักกำหนดให้ผงใยอาหารมีความชื้น ไม่เกิน 8-9 กรัม/100 กรัม (Larruri, 1999; Nilnakara, 2006; Peerajit et al., 2012)

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณ โปรตีน ไขมัน คากไฮ เถ้า และคาร์โบไฮเดรต พบว่า ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมิมีปริมาณ โปรตีน คากไฮ เถ้า และคาร์โบไฮเดรต แตกต่างกับเปลือกเสาวรสมงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ยกเว้นปริมาณไขมัน ($p \geq 0.05$) โดยผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระมีปริมาณ โปรตีน ไขมัน คากไฮ เถ้า และคาร์โบไฮเดรต เท่ากับ 4.00 0.91 34.47 17.50 และ 43.12 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่าเปลือกเสาวรสมงที่มีปริมาณ โปรตีน คากไฮ เถ้า และคาร์โบไฮเดรต เท่ากับ 5.98 0.96 37.16 8.53 และ 47.59 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในขั้นตอนของการผลิตผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสม ผ่านการเตรียมขั้นต้นทั้งการลวกด้วยน้ำร้อน และการแช่ใน

สารละลายโซเดียมคลอไรด์ จึงมีโอกาสนำให้สูญเสียองค์ประกอบอื่นๆ เช่น น้ำตาล โปรตีน ไปในระหว่างกระบวนการผลิต ทำให้ปริมาณโปรตีน กากใย และคาร์โบไฮเดรต ที่วิเคราะห์ได้มีค่าน้อยกว่าเปลือกเสาวรสมที่ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้นก่อนการทำแห้ง อย่างไรก็ตามผลการทดลองส่วนนี้แสดงให้เห็นว่าการเตรียมขั้นต้นก่อนการทำแห้งสามารถกำจัดองค์ประกอบที่ไม่ใช่ใยอาหารออกไปได้ ซึ่งส่งผลให้ใยอาหารที่ได้มีความบริสุทธิ์มากขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยที่กล่าวว่า การเตรียมขั้นต้นวัตถุดิบก่อนการทำแห้ง เป็นการกำจัดองค์ประกอบอื่นที่ไม่ใช่ใยอาหาร ทำให้ใยอาหารมีความบริสุทธิ์มากขึ้น และสามารถปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการทำแห้งได้ (Larrauri, 1999; Nilnakara, 2006) เช่น ในงานวิจัยของ Chantaro et al. (2008) ศึกษาผลของการลวกและการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60-80 องศาเซลเซียส ต่อคุณภาพของผงใยอาหารจากเปลือกแครอท โดยเปรียบเทียบกับเปลือกแครอทที่ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้นก่อนการทำแห้ง พบว่า การเตรียมขั้นต้นก่อนการทำแห้งมีผลต่อปริมาณและองค์ประกอบของใยอาหาร รวมถึงทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำและความสามารถในการพองตัวของใยอาหารดีขึ้น โดยผงใยอาหารจากเปลือกแครอทที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นด้วยการลวกก่อนการทำแห้ง มีปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำ และปริมาณใยอาหารทั้งหมดสูงกว่าเปลือกแครอทที่ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้นก่อนการทำแห้ง Sengkhampan, Chanshotikul, Assawajitpukdee, and Khamjae (2013) ได้ศึกษาผลของการเตรียมขั้นต้นด้วยการลวกในน้ำร้อนและการทำแห้งที่อุณหภูมิ 60 70 และ 80 องศาเซลเซียสต่อคุณภาพของผงใยอาหารจากเปลือกแก้วมังกร พบว่า ผงใยอาหารจากเปลือกแก้วมังกรที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นก่อนการทำแห้ง มีปริมาณใยอาหาร (28.00-30.15 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) มากกว่าเปลือกแก้วมังกรที่ไม่ได้ผ่านการเตรียมขั้นต้นก่อนการทำแห้ง (26.97-28.45 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) โดยทั้งสองงานวิจัยให้เหตุผลไปทางเดียวกันว่าเตรียมขั้นต้นโดยการลวกก่อนการทำแห้ง สามารถกำจัดองค์ประกอบอื่นที่ไม่ใช่ใยอาหารในวัตถุดิบ เช่น แร่ธาตุ วิตามิน และน้ำตาล ออกไปได้ระหว่างการลวก เป็นผลให้ของแข็งทั้งหมดมีส่วนที่เป็นใยอาหารมากขึ้น หรือกล่าวได้ว่าใยอาหารผงจากเปลือกแครอทและเปลือกแก้วมังกรมีความบริสุทธิ์มากขึ้นนั่นเอง

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ในงานวิจัยนี้วิเคราะห์ตามวิธีของ Lane and Eynon (AOAC, 2000) ซึ่งใช้เทคนิคการไตเตรทหาปริมาณของสารละลายน้ำตาล โดยการทำปฏิกิริยากับสารละลาย Fehling reagent ซึ่งเป็นองค์ประกอบของคอปเปอร์ซัลเฟต และ โซเดียมโพแทสเซียมทาร์เตรต จากผลการวิเคราะห์ พบว่า ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมด เท่ากับ 3.18 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง ซึ่งน้อยกว่าเปลือกเสาวรสมอย่างที่มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมด เท่ากับ 7.16 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง ($p < 0.05$) แสดงให้เห็นว่า

กระบวนการผลิตผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสีที่เหมาะสม สามารถกำจัดน้ำตาลออกจากวัตถุดิบได้ ทั้งนี้เนื่องจากการเตรียมขั้นต้นก่อนการทำแห้ง ด้วยการลวกด้วยน้ำร้อน มีผลทำให้โครงสร้างพืชเกิดการเปลี่ยนแปลงไปได้มาก เนื้อเยื่อพืชอ่อนนุ่มลง ประกอบกับการมีน้ำเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน ขึ้นเปลือกเสาวรสีจึงมีโอกาสสัมผัสกับน้ำที่ใช้ลวกได้โดยตรง ทำให้เกิดการสูญเสียสารที่มีโมเลกุลต่ำและละลายน้ำได้ เช่น น้ำตาล ไปกับน้ำที่ใช้ลวก (Wennberg et al., 2006; Tanongkankit, 2011) ซึ่งเป็นการเพิ่มโอกาสที่น้ำตาลอิสระที่อยู่บนเปลือกเสาวรสีมีโอกาสถูกชะออกมาได้ รวมถึงการแช่ต่อในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ก็สามารถชะเอาน้ำตาลออกมาได้มากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับเปลือกเสาวรสีที่ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้น น้ำตาลที่อยู่บนเปลือกเสาวรสีจึงไม่มีโอกาสถูกชะออกมา ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้ในเปลือกเสาวรสีผงจึงมีอยู่มากกว่านั่นเอง โดยการที่น้ำตาลอิสระที่ไม่ใช่องค์ประกอบของใยอาหารถูกกำจัดออกไปนั้น ส่งผลต่อความบริสุทธิ์ของใยอาหาร สอดคล้องกับ Grigelmo-Miguel and Martin-Bekkosso (1999) กล่าวว่า การผลิตผงใยอาหารให้มีคุณภาพดีขึ้นนั้น ต้องกำจัดส่วนประกอบอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ใยอาหารออกจากวัตถุดิบให้มากที่สุด ทั้งนี้กระบวนการผลิตผงใยอาหารนั้น ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบเป็นหลัก เช่น ในงานวิจัยของธนิกานต์ สันต์สวัสดิ์ (2549) วัตถุดิบที่นำมาใช้ผลิตผงใยอาหารคือกากส้มเขียวหวาน ซึ่งมีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบอยู่ถึง 40.28 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง จึงศึกษากรรมวิธีการผลิตผงใยอาหารจากกากส้มเขียวหวานให้มีคุณภาพดีขึ้น พบว่า การเตรียมขั้นต้นโดยการหั่นให้มีขนาดเล็กลง 10 มิลลิเมตร ทำให้สะดวกในการกำจัดองค์ประกอบที่ไม่ต้องการ การต้มล้างด้วยน้ำ จำนวน 2 ครั้ง และการแช่ในสารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 จำนวน 2 ครั้ง ช่วยกำจัดน้ำตาล ทำให้ผงใยอาหารจากกากส้มเขียวหวานมีปริมาณน้ำตาลเหลือเพียงร้อยละ 2.20 ส่งผลให้ผงใยอาหารจากกากส้มเขียวหวานมีปริมาณใยอาหารทั้งหมดสูงขึ้น รวมทั้งมีความสามารถในการอุ้มน้ำสูง

จากผลการวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบปริมาณใยอาหารทั้งหมด ปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำ และปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสีกับเปลือกเสาวรสีผง พบว่า ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสี มีปริมาณใยอาหารทั้งหมด และปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำแตกต่างกัน ($p < 0.05$) และมีปริมาณมากกว่าเปลือกเสาวรสีผง ในขณะที่ปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) แสดงให้เห็นว่ากระบวนการผลิตผงใยอาหารที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นวัตถุดิบ และการทำแห้งด้วยสภาวะที่เหมาะสม มีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีของใยอาหาร โดยทำให้ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำและใยอาหารทั้งหมดมีปริมาณเพิ่มขึ้น แสดงถึงใยอาหารมีความบริสุทธิ์มากขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเตรียมขั้นต้นด้วยการลวกเปลือกเสาวรสีในน้ำร้อน สามารถกำจัดน้ำตาลอิสระ กรดอิสระ โปรตีน ไขมันออกไป

จากวัตถุประสงค์ ทำให้ใยอาหารมีความบริสุทธิ์มากขึ้น (Wennbeg et al., 2006) รวมทั้งการแช่เปลือกเสาวรสีในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ มีผลให้กระตุ้นการกำจัดน้ำออก จึงช่วยลดเวลาในการทำแห้ง และลดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเซลล์ระหว่างการทำแห้ง มีผลให้องค์ประกอบของใยอาหารที่ผนังเซลล์มีโอกาสถูกทำลายน้อยลง จึงมีปริมาณใยอาหารที่ยังคงอยู่มาก (Lewicki, 2006; Garau et al., 2007)

จากการวิเคราะห์ปริมาณใยอาหารทั้งหมดของเปลือกเสาวรสี พบว่า มีปริมาณใยอาหารทั้งหมด เท่ากับ 87.11 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง และจากผลการทดลองนี้พบว่า ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสี มีปริมาณใยอาหารทั้งหมด เท่ากับ 82.33 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง แสดงให้เห็นว่ากรรมวิธีการผลิตที่ใช้สามารถผลิตผงใยอาหารที่มีความบริสุทธิ์สูงได้ นอกจากนี้ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสีที่ผลิตได้จัดว่าเป็นแหล่งของใยอาหารที่ดี โดยมีปริมาณมากกว่าผงใยอาหารจากวัสดุเศษเหลือชนิดอื่น เช่น ผงใยอาหารจากส่วนอัลบิโดของเปลือกเสาวรสีพันธุ์สีเหลือง มีปริมาณใยอาหารทั้งหมด ปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำ และปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ เท่ากับ 71.79 19.45 และ 52.34 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ (López-Vargas, Fernández-López, Pérez-Álvarez, & Viuda-Martos, 2013) ผงใยอาหารจากเปลือกมะม่วง มีปริมาณใยอาหารทั้งหมด เท่ากับ 78.00 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง (Ajila et al., 2007) ผงใยอาหารจากกากมะนาว มีปริมาณใยอาหารทั้งหมด เท่ากับ 70.76 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง (Peerajit et al., 2012)

Grigelmo-Miguel and Martin-Belloso (1999) และ Peerajit et al. (2012) กล่าวว่า ผงใยอาหารที่เหมาะสมนำไปใช้เป็นส่วนผสมในอาหารเพื่อสุขภาพ ควรมีส่วนของใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำต่อใยอาหารที่ละลายน้ำ อยู่ในช่วง 1.0-2.3 เนื่องจากผงใยอาหารที่มีส่วนของใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำมีความสามารถในการอุ้มน้ำสูง ช่วยให้ลำไส้ทำงานได้ปกติ ป้องกันโรคท้องผูก และใยอาหารที่ละลายน้ำ ช่วยเพิ่มความหนืดของของเหลวภายในระบบย่อยอาหาร ส่งผลให้การดูดซึมคาร์โบไฮเดรตและไขมันลดลง (Ou, Kwok, Li, & Fu, 2001) สำหรับผลการทดลองนี้ พบว่า ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำต่อใยอาหารที่ละลายน้ำ มีค่าเท่ากับ 4.04 ซึ่งมีค่าสูง จัดว่าเป็นแหล่งของใยอาหาร โดยเฉพาะใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพต่อไปได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Lopez-Vargas et al. (2013) และ Ku and Mun (2008) กล่าวว่า การที่ผงใยอาหารมีส่วนของใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำต่อใยอาหารที่ละลายน้ำสูง ยังมีประโยชน์ต่อสุขภาพในด้านที่เกี่ยวข้องกับการทำให้รู้สึกอิ่มมากกว่า (Increased satiety) และเพิ่มมวลอุจจาระ ช่วยในระบบขับถ่ายดีขึ้นได้ ดังนั้นการนำผงใยอาหารมาใช้เป็นส่วนผสมในอาหารสุขภาพต้องคำนึงถึงผลประโยชน์เฉพาะด้านที่ต้องการจากการเสริมใยอาหารผงด้วย

Figuerola et al. (2005) รายงานว่าใยอาหารผงจากเปลือกเกรปฟรุ๊ต (Grapefruits) มีใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำต่อใยอาหารที่ละลายน้ำสูง เท่ากับ 12.7 สามารถนำมาใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหารที่ต้องการเพิ่มความหนืดได้ โดยมีความสามารถในการกักเก็บน้ำ และพองตัวได้ดี

สำหรับผลการวิเคราะห์คุณภาพด้านสารพฤกษเคมี ได้แก่ ปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ พบว่า ใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรศ มีปริมาณแอนโทไซยานิน เท่ากับ 17.09 มิลลิกรัม Cyn-3-Glu/100 กรัม น้ำหนักแห้ง ซึ่งมากกว่าเปลือกเสาวรศที่มีปริมาณแอนโทไซยานิน เท่ากับ 8.30 มิลลิกรัม Cyn-3-Glu/100 กรัม น้ำหนักแห้ง ($p < 0.05$) แสดงให้เห็นว่า การผลิตผงใยอาหารที่มีการเตรียมขั้นต้นวัตถุดิบและใช้สภาวะการทำแห้งที่เหมาะสม สามารถรักษาปริมาณแอนโทไซยานินไว้ได้มากกว่าการผลิตเป็นผงด้วยวิธีทั่วไป ทั้งนี้อาจเนื่องจากการเตรียมขั้นต้นเปลือกเสาวรศ โดยการลวกด้วยน้ำร้อน เป็นเวลาสั้น นอกจากจะช่วยให้เนื้อเยื่อเปลือกเสาวรศอ่อนนุ่มลงแล้ว ยังสามารถทำลายเอนไซม์ที่ทำให้เกิดการทำลายสารต้านอนุมูลอิสระ โดยเฉพาะเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส ที่สามารถทำปฏิกิริยากับสารประกอบฟีนอลิกไปเป็นสารอื่น ซึ่งแอนโทไซยานินเป็นรงควัตถุที่จัดอยู่ในกลุ่มสารประกอบฟีนอลิกที่ไม่เสถียร สลายตัวได้ง่ายจากทั้งความร้อน แสง และออกซิเจน (Nishiba & Suda, 1998; อรุษา เชาวณลิขิต และอริญญา มิ่งเมือง, 2550) การลวกด้วยน้ำร้อนที่สามารถทำลายเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส จึงช่วยลดโอกาสในเปลี่ยนแปลงแอนโทไซยานินไปเป็นสารอื่น นอกจากนี้การแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ สามารถกำจัดน้ำออกจากเนื้อเยื่อบางส่วน ทำให้อัตราการทำแห้งเร็วขึ้น จึงช่วยลดเวลาในการทำแห้ง และช่วยป้องกันการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างแอนโทไซยานินระหว่างการทำแห้งได้ (Lewicki, 2006) โดยการทำแห้งผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรศ ใช้อุณหภูมิ 62 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 300 นาที ซึ่งเป็นสภาวะที่รุนแรงน้อยกว่าที่ใช้ในการผลิตเปลือกเสาวรศผงที่ใช้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลาถึง 400 นาที แอนโทไซยานินของเปลือกเสาวรศผงที่ได้จึงมีโอกาสสลายตัวไปได้มากกว่านั่นเอง

การที่ปริมาณแอนโทไซยานินของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระมากกว่าเปลือกเสาวรศผงนั้น สอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Kessy et al. (2016) ที่ศึกษาผลการเตรียมวัตถุดิบด้วยการลวกด้วยไอน้ำต่อคุณภาพของเปลือกลิ้นจี่แห้ง โดยติดตามปริมาณการเปลี่ยนแปลงของแอนโทไซยานินที่เป็นรงควัตถุหลัก พบว่า เปลือกลิ้นจี่แห้งที่ไม่ผ่านการลวก มีปริมาณแอนโทไซยานินคงเหลือ (6.19 มิลลิกรัม CE/ 100 กรัม) ต่ำกว่าเปลือกลิ้นจี่แห้งที่ผ่านการลวกด้วยไอน้ำก่อนการทำแห้ง (20.32 มิลลิกรัม CE/100 กรัม) ทั้งนี้เนื่องมาจากเปลือกลิ้นจี่สดมีเอนไซม์ต่าง ๆ เช่น โพลีฟีนอลออกซิเดส เปอร์ออกซิเดส และ แอนโทไซยานเนส เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

ออกซิเดชันแอนโทไซยานิน (Enzymatic oxidation) ดังนั้นในระหว่างการทำแห้ง จึงมีโอกาสนำเอนไซม์ที่ยังคงอยู่ในวัตถุดิบทำงานได้ในสภาวะที่มีออกซิเจน ทำให้ปริมาณแอนโทไซยานินลดลงได้ นอกจากนี้การสัมผัสความร้อนเป็นเวลานานยังเพิ่มโอกาสให้แอนโทไซยานินสลายตัวได้มากขึ้น (Thermal degradation)

จากข้อมูลข้างต้นจึงเป็นการสนับสนุนผลการทดลองที่พบว่าเปลือกเสาวรสมิโอกาสสูญเสียสารแอนโทไซยานินได้จากทั้ง Enzymatic oxidation และ Thermal degradation สำหรับกรณีผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ ถึงแม้ว่าเปลือกเสาวรสมิจะผ่านการลวกในน้ำร้อน และมีโอกาสสูญเสียแอนโทไซยานินได้ เนื่องจากมีสมบัติละลายน้ำได้ดี แต่ในขั้นตอนนี้ใช้เวลาในการลวกเป็นเวลาด้านเพียง 3 นาทีเท่านั้น นอกจากนี้การลวกสามารถยับยั้งเอนไซม์ที่เป็นตัวเร่งในการเปลี่ยนแปลงรงควัตถุแอนโทไซยานินได้ นอกจากนี้เมื่อแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ก็มีส่วนช่วยดึงน้ำออกจากวัตถุดิบ เป็นการลดปริมาณออกซิเจนในช่องว่างระหว่างเซลล์ (Lewicki, 2006) อีกทั้งวัตถุดิบที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นยังใช้เวลาในการทำแห้งสั้นลง ทำให้ตัวอย่างสัมผัสกับความร้อนไม่นานนัก จึงลดโอกาสการสลายตัวของแอนโทไซยานินได้ทั้งจาก Enzymatic oxidation และ Thermal degradation

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด พบว่า ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมิมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด เท่ากับ 65.38 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/100 กรัม น้ำหนักแห้ง ซึ่งน้อยกว่าเปลือกเสาวรสมิที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด เท่ากับ 73.93 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/100 กรัม น้ำหนักแห้ง ($p < 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากการลวกด้วยน้ำร้อน ในกระบวนการผลิตพบว่า ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมิแม้จะสามารถยับยั้งเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสที่ทำปฏิกิริยากับสารประกอบฟีนอลิกได้ แต่ความร้อนและน้ำที่เป็นตัวกลางในการลวก ก็มีโอกาสทำให้สารพฤษเคมีกลุ่มสารประกอบฟีนอลิก เช่น กรดฟีนอลิก และฟลาโวนอยด์สลายตัวจากความร้อนในระหว่างการลวกได้ (Amin & Lee, 2005) รวมถึงสารประกอบฟีนอลิกที่ละลายน้ำได้ก็สามารถละลายไปกับน้ำที่ใช้ลวกด้วย

การที่ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมิน้อยกว่าเปลือกเสาวรสมินั้น สอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Nurhuda, Maskat, Mamot, Afiq, and Aminah (2013) ที่ศึกษาผลของการลวกต่อคุณภาพของเปลือกเงาะ โดยติดตามการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารประกอบฟีนอลิก สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ รวมถึงปริมาณแอนโทไซยานิน พบว่า เปลือกเงาะที่ผ่านการลวกในน้ำร้อน 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0.25 และ 5 นาที มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) แต่มีแนวโน้มลดลงหลังการลวก 5 นาที ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการใช้เวลาในการลวกที่นานขึ้นอาจมี

โอกาสให้สารประกอบฟีนอลิกบางชนิดที่ละลายน้ำได้สูญเสียไปกับน้ำที่ไ้ลวก ในขณะที่ปริมาณแอนโทไซยานินของเปลือกเงาะ หลังการลวก 2.5 นาที พบว่า มีปริมาณแอนโทไซยานินเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับเปลือกเงาะที่ไม่ผ่านการลวก นอกจากนี้ Samoticha et al. (2016) ที่ศึกษาผลของการทำแห้งที่อุณหภูมิแตกต่างกันต่อคุณภาพของ ไซ้คเบอร์รี่ (Chokeberries) โดยติดตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณแอนโทไซยานิน พบว่า ไซ้คเบอร์รี่ที่ผ่านการทำแห้งที่ 70 องศาเซลเซียส มีปริมาณของสารประกอบฟีนอลิก (5631 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง) มากกว่าไซ้คเบอร์รี่ที่ผ่านการทำแห้งที่ 50 องศาเซลเซียส (4956 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง) ในขณะที่ปริมาณแอนโทไซยานินไม่แตกต่างกัน จากข้อมูลข้างต้นจึงเป็นการสนับสนุนผลการทดลองที่พบว่าผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสที่ผ่านการเตรียมขั้นต้น มีโอกาสสูญเสียสารประกอบฟีนอลิกบางชนิดที่ไม่เอื้อต่อความร้อนในระหว่างการลวก

อย่างไรก็ตาม พบว่า ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด น้อยกว่า เปลือกเสาวรสผง ประมาณ 8.55 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/100 กรัม น้ำหนักแห้ง เท่านั้น หากเปรียบเทียบกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ของผงใยอาหาร จากงานวิจัยอื่นพบว่า ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส ยังจัดว่ามีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด คงอยู่ปริมาณมาก เช่น ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสปันธุ์สีเหลืองมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด คงอยู่ปริมาณมาก เช่น ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสปันธุ์สีเหลืองมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 64-186 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/100 กรัม น้ำหนักแห้ง ผงใยอาหารจากกากเสาวรสปันธุ์สีเหลืองมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 32 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/100 กรัม น้ำหนักแห้ง (López-Vargas et al., 2013; Konta et al., 2013)

จากผลการวิเคราะห์สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ พบว่าให้ผลไปในทิศทางเดียวกันกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเนื่องจากสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ส่วนใหญ่แล้วมาจากสารประกอบฟีนอลิกที่มีโครงสร้างเป็นวงแหวน เช่น ไบโอฟลาโวนอยด์ (Bioflavonoids) และกรดฟีนอลิก (Phenolic acids) (Zibadi et al., 2007) การเตรียมขั้นต้นวัตถุดิบก่อนการทำแห้งด้วยการลวกหรือแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ มีโอกาสให้สารประกอบที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระสูญเสียไปได้ ด้วยความร้อน การถูกชะ และการละลาย ทำให้สมบัติต้านอนุมูลอิสระลดลง แต่อย่างไรก็ตาม %Inhibition ของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสที่วิเคราะห์ได้ยังคงมีค่าสูง (87.89%) แสดงให้เห็นว่าผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระที่ผลิตได้ยังคงให้สมบัติการต้านอนุมูลอิสระที่ดี สอดคล้องกับงานวิจัยของ Nilnakara (2006) ที่ศึกษาผลของการลวกและอุณหภูมิในการทำแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีกายภาพของผงใยอาหารสูงผลิตจากเศษกะหล่ำปลี พบว่า การลวกและการทำแห้งส่งผลต่อปริมาณสารประกอบ

ฟีนอลิก เนื่องจากเกิดการสูญเสียไปกับน้ำที่ใช้ลวก อีกทั้งยังเกิดการสลายตัวเนื่องจากความร้อนในระหว่างการลวกและการทำแห้ง ซึ่งการลดลงของสารดังกล่าวส่งผลให้ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์มีโอกาสลดลงไปด้วย อย่างไรก็ตามแม้สารประกอบฟีนอลิกเกิดการสูญเสียไปในการลวกและการทำแห้งกบะหล่ำปลีแต่ยังคงมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูง (94.05%)

สำหรับผลของการเปรียบเทียบค่าสีของผงโยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสีที่ผลิตได้กับเปลือกเสาวรสีผง แสดงผลดังตารางที่ 4-29 พบว่า ผงโยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสีมีค่าสี L^* a^* b^* Hue angle Chroma และ ΔE แตกต่างกับเปลือกเสาวรสีผง อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยผงโยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสีมีค่า L^* a^* และ b^* เท่ากับ 69.22 9.87 และ 12.83 ตามลำดับ ในขณะที่เปลือกเสาวรสีผงมีค่า L^* a^* และ b^* เท่ากับ 64.57 7.32 และ 21.19 ตามลำดับ โดยพบว่าผงโยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสีมีค่า a^* แสดงความเป็นสีแดงมากกว่าเปลือกเสาวรสีผง ในขณะที่ค่า L^* และ b^* แสดงความสว่างและความเป็นสีเหลืองมีค่าน้อยกว่าเปลือกเสาวรสีผง ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับสีผงที่มองเห็นด้วยตาเปล่า โดยพบว่าผงโยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระให้ผงที่สีออกม่วงแดงมากกว่า ทั้งนี้สอดคล้องกับปริมาณแอนโทไซยานินที่มีอยู่ในผงโยอาหาร ในขณะที่เปลือกเสาวรสีผงมีสีออกทางเหลืองมากกว่า ซึ่งอาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงรงควัตถุแอนโทไซยานินในระหว่างกระบวนการทำแห้ง นอกจากนี้ยังอาจเกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดร่วมด้วยเพราะเปลือกเสาวรสีเริ่มต้น มีองค์ประกอบของโปรตีนและน้ำตาลที่เหลืออยู่ในเปลือกเสาวรสีมากซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยา ทำให้เกิดสีน้ำตาล (Fennema, 1996) ดังนั้นสีของเปลือกเสาวรสีผงที่ได้จึงมีเฉดสีน้ำตาลอ่อน ซึ่งยืนยันเฉดสีที่มองเห็นได้จากการคำนวณค่า Hue angle และค่า Chroma พบว่า ผงโยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสีมีค่า Hue angle เท่ากับ 52.42 ซึ่งแสดงเฉดสีอยู่ในช่วงสีส้มแดงถึงสีเหลือง โดยมีค่า Chroma เท่ากับ 16.18 ในขณะที่เปลือกเสาวรสีผง มีค่า Hue angle เท่ากับ 70.93 ซึ่งแสดงเฉดสีอยู่ในช่วงสีส้มแดงถึงสีเหลือง โดยมีค่า Chroma เท่ากับ 22.42 โดยยืนยันการเปลี่ยนแปลงสีจากค่า ΔE ซึ่งหมายถึงค่าการเปลี่ยนแปลงของสีเมื่อเปรียบเทียบกับเปลือกเสาวรสีผง พบว่า ผงโยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสีมีค่า ΔE เท่ากับ 9.97 แสดงให้เห็นว่าผงโยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระมีสีที่เปลี่ยนไปจากเปลือกเสาวรสีผง

จากตารางที่ 4-30 แสดงผลการวิเคราะห์สมบัติเชิงหน้าที่ ได้แก่ ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water Holding Capacity) ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (Oil Holding Capacity) ความสามารถในการพองตัว (Swelling Capacity) และความสามารถในการชะลอการดูดซับน้ำตาล (Glucose Retardation Index) พบว่า ผงโยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสีมีความสามารถในการอุ้มน้ำ ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน ความสามารถในการพองตัว และความสามารถในการ

ชะลอการดูดซึมน้ำตาล มากกว่าเปลือกเสาวรสมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แสดงให้เห็นว่า กระบวนการผลิตผงโยอาหารที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นวัตถุดิบ และการทำแห้งด้วยสภาวะที่เหมาะสม สามารถปรับปรุงสมบัติเชิงหน้าที่ด้านความสามารถในการอุ้มน้ำ ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน ความสามารถในการพองตัว และความสามารถในการชะลอการดูดซึมน้ำตาลได้ดีขึ้น

ความสามารถในการอุ้มน้ำ มีความเกี่ยวข้องกับความสามารถในการดูดซับ เก็บกักน้ำไว้ในโครงสร้างของโยอาหาร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ตัวอย่างเช่น ลักษณะโครงสร้างของโยอาหาร หากประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group) จำนวนมาก จะสามารถสร้างพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bonding) กับน้ำได้มาก โยอาหารนั้นจะมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดี (Nelson, Steinberg, & Wei, 1976; López-Vargas et al., 2013) ชนิดของโยอาหาร หากมีองค์ประกอบของโยอาหารที่ละลายน้ำปริมาณมากจะมีความสามารถในการอุ้มน้ำมาก (Goni & Martin-Carron, 1998; Betancur-Ancona, Peraza-Mercado, Moguel-Ordoñez, & Fuertes-Blanco, 2004) นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับลักษณะความเป็นรูพรุน (Porosity) ขนาดอนุภาค (Particle size) แรงยึดเหนี่ยวระหว่างไอออน (Ionic strength) ความบริสุทธิ์ของโยอาหาร (Purity) (Femenia, Lefebvre, Thebaudin, Robertson, & Bourgeois, 1997; Raghavarao, Raghavendra, & Rastogi, 2008)

องค์ประกอบของโยอาหารของทั้งโยอาหารที่ไม่ละลายน้ำและโยอาหารที่ละลายน้ำมีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับความสามารถในการอุ้มน้ำ เนื่องจากโยอาหารทั้งสองชนิดนี้มีองค์ประกอบของพอลิแซ็กคาไรด์ซึ่งเป็นโมเลกุลที่มีหมู่ไฮดรอกซิลอิสระเป็นจำนวนมาก จึงสามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้ (หยาดฝน ทนงการกิจ, 2557) ผงโยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมิปริมาณโยอาหารที่ละลายน้ำไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) แต่มีปริมาณปริมาณโยอาหารที่ไม่ละลายน้ำสูงกว่าเปลือกเสาวรสม ($p < 0.05$) จึงพบว่าผงโยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมิมีความสามารถในการอุ้มน้ำ (18.51 กรัม น้ำ/กรัม น้ำหนักแห้ง) มากกว่าเปลือกเสาวรสม (17.97 กรัม น้ำ/กรัม น้ำหนักแห้ง) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเตรียมขั้นต้นวัตถุดิบ และการทำแห้งด้วยสภาวะที่เหมาะสม ทำให้ผงโยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมิโยอาหารที่มีความบริสุทธิ์มากขึ้น โดยมีปริมาณโยอาหารที่ละลายน้ำไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) แต่มีปริมาณโยอาหารที่ไม่ละลายน้ำสูงกว่าเปลือกเสาวรสม ($p < 0.05$) นอกจากนี้ ผงโยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมิค่าความสามารถในการอุ้มน้ำมากกว่าผงโยอาหารจากวัสดุเศษเหลืออื่น เช่น ผงโยอาหารจากกากส้ม (7.0 กรัม น้ำ/กรัม น้ำหนักแห้ง) เปลือกเกรปฟรุต (7.0-9.3 กรัม น้ำ/กรัม น้ำหนักแห้ง) และ อัลบิโดเสาวรสม (13.00 กรัม น้ำ/กรัม น้ำหนักแห้ง) (Lario et al., 2004; Crizel et al., 2013; López-Vargas et al., 2013) จึงมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหารได้ เช่น ผลิตภัณฑ์อิมัลชันเพื่อลดการแยกตัวของน้ำออกจาก

ผลิตภัณฑ์ ช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ รวมถึงผลิตภัณฑ์อาหารที่ต้องการความชุ่มชื้น ทำให้ผลิตภัณฑ์สามารถอุ้มน้ำขึ้นไว้ได้มากขึ้น

สำหรับความสามารถในการอุ้มน้ำมัน พบว่า ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมิค่าความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (3.58 กรัม น้ำมัน/กรัม น้ำหนักแห้ง) มากกว่าเปลือกเสาวรสผง (2.84 กรัม น้ำมัน/กรัม น้ำหนักแห้ง) ทั้งนี้เนื่องจากการเตรียมขั้นต้นก่อนการทำแห้งมีผลในการปรับปรุงสมบัติพื้นผิว (Surface properties) ของผงใยอาหารให้มีผิวสัมผัสมากขึ้น โดยการลอกเปลือกเสาวรสในน้ำร้อน ทำให้โครงสร้างเซลล์ของเปลือกเสาวรสมิลักษณะนุ่ม และมีความเป็นรูพรุนมาก จึงเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสให้ผงใยอาหารสามารถดูดซับน้ำมันได้มากขึ้น (พัชราภรณ์ วชิรศิริ, 2550; สหขวัญ โรจนคุณธรรม และอังคณา จันทรพลพันธ์, 2557) Biswas, Kumar, Bhosle, Sahoo, and Chatli (2011) กล่าวว่า แม้ความสามารถในการดูดซับน้ำมันของใยอาหารจะเกี่ยวข้องกับสัมพันธ์กันกับองค์ประกอบของใยอาหารก็ตาม แต่สมบัติพื้นผิวด้านความเป็นรูพรุนของโครงสร้างใยอาหารมีผลต่อการดูดซับน้ำมันของโมเลกุลใยอาหารมากกว่า นอกจากนี้ Betancur-Ancona et al. (2004) กล่าวว่า ความสามารถในการดูดซับน้ำมันของใยอาหาร เกี่ยวข้องกับการดูดซับน้ำมันบริเวณพื้นผิวขององค์ประกอบอินทรีย์ (Organic compounds) ซึ่งมักมีค่าสอดคล้องกับปริมาณองค์ประกอบอินทรีย์พวกเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส ซึ่งเป็นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ หากมีปริมาณมากจะมีความสามารถในการดูดซับน้ำมันสูง เนื่องจากเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส มีส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) ที่สามารถจับ (Trap) กับหยดน้ำมัน (Oil droplet) หรือกล่าวได้ว่าหยดน้ำมันสามารถถูกล้อมรอบด้วยอนุภาคของเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสได้มาก จึงแสดงความสามารถในการอุ้มน้ำมันได้ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่พบว่า ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมิปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำมากกว่าเปลือกเสาวรสผง จึงน่าจะมีองค์ประกอบพวกเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสมากกว่า ทำให้มีความสามารถในการอุ้มน้ำมันมากกว่านั่นเอง โดยพบแนวโน้มว่า ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมิค่าความสามารถในการอุ้มน้ำมันน้อยกว่าผงใยอาหารจากวัสดุเศษเหลืออื่น ๆ เช่น กากทับทิม (5.9 กรัม น้ำมัน/กรัม น้ำหนักแห้ง) (Viuda-Martos et al., 2012) เปลือกกีวี (6.0 กรัม น้ำมัน/กรัม น้ำหนักแห้ง) (Femenia et al., 2009)

สำหรับความสามารถในการพองตัว พบว่า ให้ผลไปในทิศทางเดียวกับความสามารถในการอุ้มน้ำ และความสามารถในการอุ้มน้ำมัน โดยผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมิค่าความสามารถในการพองตัว (23.13 มิลลิลิตร/กรัม น้ำหนักแห้ง) มากกว่าเปลือกเสาวรสผง (18.67 มิลลิลิตร/กรัม น้ำหนักแห้ง) ทั้งนี้เนื่องจากการเตรียมขั้นต้นก่อนการทำแห้งทำให้ผงใยอาหารมีความบริสุทธิ์มากขึ้น โดยสามารถกำจัดองค์ประกอบต่าง ๆ ที่ขัดขวางการดูดซับ เก็บ

กักน้ำไว้ในโครงสร้างของใยอาหาร จึงช่วยปรับปรุงความสามารถในการอุ้มน้ำ และความสามารถในการพองตัวให้ดีขึ้นได้ (Peerajit et al., 2012) และในขั้นตอนการลวกขึ้นเปลือกเสาวรสีในน้ำร้อน มีผลให้โครงสร้างเซลล์ของเปลือกเสาวรสีมีลักษณะนุ่มและมีความเป็นรูพรุนมากขึ้น จึงมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากขึ้น เป็นการเพิ่มโอกาสให้ผงใยอาหารสามารถละลายน้ำและอุ้มน้ำ รวมถึงมีการพองตัวได้มากขึ้นเช่นกัน (พัชรภรณ์ วชิรศิริ, 2550; สหขวัญ โรจนคุณธรรม และอังคณา จันทพลพันธ์, 2557) นอกจากนี้ความสามารถในการพองตัวของใยอาหารยังขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของใยอาหารทั้งส่วนที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำ โดยองค์ประกอบของใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ มีหมู่ไฮดรอกซิลเป็นองค์ประกอบ และสามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับน้ำ และใยอาหารบางประเภท เช่น เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส มีสมบัติพองตัวได้ (López-Vargas et al., 2013 ; สหขวัญ โรจนคุณธรรม และอังคณา จันทพลพันธ์, 2557) สอดคล้องกับที่ หยาตผน ทนงการกิจ (2557) และ Lertphatcharanon (2007) กล่าวว่า ใยอาหารทั้งชนิดที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำ มีความสามารถอุ้มน้ำไว้ได้ดี โดยใยอาหารที่ละลายน้ำจะดูดซับน้ำไว้ แล้วเพิ่มความหนืด และบางครั้งเกิดเจลได้ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม ขณะที่ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ไม่สามารถเกิดเจลแต่จะดูดซับน้ำปริมาณมากไว้ในส่วนที่ชอบน้ำได้ (Hydrophilic) แล้วอาจเกิดการพองตัวได้

สำหรับผลการวิเคราะห์ความสามารถในการชะลอการดูดซับน้ำตาล หรือค่า Glucose Retardation Index (GRI) คือค่าที่ใช้ทำนายถึงการดูดซับน้ำตาลของใยอาหารในระบบทางเดินอาหารที่เวลาต่างๆ สำหรับงานวิจัยนี้วิเคราะห์ค่า GRI โดยใช้ถุงไตอะไลซิส (Dialysis) จำลองสภาวะของระบบทางเดินอาหาร ทำได้โดยการเติมผงใยอาหารผสมกับสารละลายน้ำตาลกลูโคส และบรรจุในถุงไตอะไลซิสที่มีสมบัติเป็นเยื่อเลือกผ่าน และแช่อยู่ในน้ำอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส สุ่มตัวอย่างสารละลายนอกถุงไตอะไลซิส และวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลที่แพร่ออกมา แล้วคำนวณเป็น %GRI หากมีค่ามาก แสดงให้เห็นว่า ใยอาหารสามารถชะลอการดูดซับน้ำตาลได้มาก

จากผลการทดลองตารางที่ 4-30 พบว่า ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสีที่ผลิตได้ มีค่า GRI ที่เวลา Dialysis 30 60 120 และ 180 นาที เท่ากับ 22.72% 13.78% 9.96% และ 5.82% ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าเปลือกเสาวรสีที่มีค่า GRI เท่ากับ 15.14% 9.24% 7.58% และ 3.67% ตามลำดับ ($p < 0.05$) แสดงให้เห็นว่าตลอดการไตอะไลซิส 180 นาที ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสีที่ผลิตได้มีความสามารถในการชะลอการดูดซับน้ำตาลได้มากกว่าเปลือกเสาวรสี คิดเป็น 6.29%-7.58% เมื่อพิจารณาจากภาพที่ 4-16 แสดงให้เห็นแนวโน้มความสามารถในการดูดซับน้ำตาลของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสีที่ผลิตได้ และเปลือกเสาวรสี พบว่า ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสีที่ผลิตได้มีค่า GRI (5.82%-22.72%) มากกว่าเปลือกเสาวรสี (3.67%-15.14%) ในทุกช่วงระยะเวลาของการ

dialysis ตั้งแต่เวลา 0-180 นาที แสดงให้เห็นว่าผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมสามารถชะลอการดูดซึมน้ำตาลกลูโคสได้ดีกว่าเปลือกเสาวรสม ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ มีปริมาณใยอาหารทั้งหมดสูงกว่าเปลือกเสาวรสม จึงทำให้ใยอาหารสามารถจับกับน้ำตาลกลูโคส เกิดการพองตัวได้ ซึ่งเป็นการชะลอการแพร่ของน้ำตาลกลูโคสออกมากับน้ำภายนอกถุง dialysis อย่างไรก็ตาม พบว่า เมื่อเวลาการ dialysis เพิ่มขึ้น ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมและเปลือกเสาวรสมมีค่า GRI ลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก เมื่อเวลาการ dialysis นานขึ้น ความหนืดของสารละลายในถุง dialysis และความอึดตัวของ การดูดซึมน้ำตาลกลูโคสไว้กับผงใยอาหารมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงทำให้โอกาสที่น้ำตาลแพร่ ออกมานอกถุง dialysis น้อยลง

ผลการทดลองที่ได้มีแนวโน้มคล้ายกันกับงานวิจัยของผงใยอาหารจากวัสดุเศษเหลือชนิดอื่น เช่น ผงใยอาหารจากเปลือกส้ม (0.84%-26.6%) (Chau & Huang, 2003) และผงใยอาหารจากกากมะนาว (10.12%-22.28%) (Peerajit et al., 2012) ที่พบว่าที่เวลา Dialysis นานขึ้น มีแนวโน้มทำให้ค่า GRI ลดลง นอกจากนี้กระบวนการผลิตผงใยอาหารที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นวัตถุดิบ และการทำแห้งด้วยสภาวะที่เหมาะสม มีผลให้โครงสร้างภายในของผงใยอาหารมีลักษณะความเป็นรูพรุนมากยิ่งขึ้น ทำให้สามารถจับน้ำตาลกลูโคสได้มาก ค่า GRI จึงสูงขึ้น ในขณะที่เปลือกเสาวรสมที่ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้นใด ๆ ลักษณะพื้นผิวของผงมีลักษณะเรียบ ความเป็นรูพรุนน้อย จึงทำให้ความสามารถในการกักเก็บกลูโคสไว้ภายในใยอาหารลดลง ค่า GRI จึงต่ำกว่านั่นเอง

สำหรับการวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาค เมื่อทำการถ่ายภาพผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมและเปลือกเสาวรสม ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่กำลังขยาย 200 เท่า (ภาพที่ 4-17) พบว่า ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมและเปลือกเสาวรสมส่วนใหญ่มีลักษณะรูปร่างและขนาดหลากหลาย โดยสังเกตเห็นได้ว่าผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมที่ผลิตได้ (ดังภาพที่ 4-17 (ก)) มีอนุภาคขนาดใหญ่ และพองตัวมากกว่าเปลือกเสาวรสม (ดังภาพที่ 4-17 (ข)) พัชราภรณ์ วชิรศิริ (2550) สหขวัญ โรจนคุณธรรม และอังคณา จันทรพลพันธ์ (2557) กล่าวว่า การเตรียมขั้นต้นวัตถุดิบก่อนการทำแห้ง ในกระบวนการผลิตผงใยอาหาร เช่น การลวกด้วยน้ำร้อน การแช่ในสารละลาย ซึ่งส่งผลต่อโครงสร้างของใยอาหาร ทำให้ใยอาหารมีความพองตัวมากขึ้น เมื่อนำไปทำแห้งด้วยสภาวะที่เหมาะสม น้ำที่ระเหยออกไปทำให้โครงสร้างของใยอาหารมีความเป็นรูพรุนมากขึ้น จากผลการทดลอง พบว่า โครงสร้างทางจุลภาคของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมที่ผลิตได้ จากภาพที่กำลังขยาย 500 เท่า (ภาพที่ 4-18) ทำให้เห็นโครงสร้างของใยอาหารชัดเจนขึ้น ซึ่งพบว่า มีพื้นผิวที่ขรุขระ และมีโครงสร้างเป็นรูพรุนมาก (ภาพที่ 4-18 (ก)) ในขณะที่เปลือกเสาวรสม มีลักษณะ

พื้นผิวเรียบกว่า และโครงสร้างเป็นรูพรุนน้อยกว่า (ภาพที่ 4-18 (ข)) ซึ่งการที่ผงโยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมิโครงสร้างเป็นรูพรุนมากกว่านั้น จึงเพิ่มความสามารถกักเก็บน้ำไว้ในโมโลกุลได้มากกว่า เป็นสาเหตุหนึ่งที่น่าสนับสนุนให้มีความสามารถในการอุ้มน้ำ ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน ความสามารถในการพองตัว และความสามารถในการชะลอการดูดซับมากกว่าเปลือกเสาวรสมิเอง

ตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของผลิตภัณฑ์อาหารที่มีลักษณะผงแห้ง ซึ่งมักกำหนดเกณฑ์มาตรฐานความปลอดภัยสำหรับการบริโภคด้านคุณภาพทางจุลินทรีย์ไว้ใกล้เคียงกัน ในงานวิจัยนี้เลือกมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของผลิตภัณฑ์ที่มีความใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ ได้แก่ ขมิ้นผง เป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำแห้งและบดเป็นผงสามารถนำไปใช้เป็นส่วนผสมในอาหารได้ (มพช. 676/2547) กำหนดไว้ว่าจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ต้องไม่เกิน 1.0×10^5 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม ยีสต์และรา ต้องไม่พบในตัวอย่าง 100 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2547) ร่วมกับเกณฑ์ของขมิ้นชั้นผงตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 890-2532) กำหนดไว้ว่า ราไม่เกิน 100 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม จากตารางที่ 4-31 ผลการวิเคราะห์ด้านจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์ และรา พบว่า ผงโยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระและเปลือกเสาวรสมิมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด เท่ากับ 4.5×10^2 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม และ 6.0×10^2 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม ตามลำดับ ซึ่งไม่เกินมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนที่กำหนด และตรวจไม่พบ ยีสต์และรา ซึ่งไม่เกินมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่กำหนด แสดงให้เห็นว่ากรรมวิธีการผลิตผงโยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมิและเปลือกเสาวรสมิที่ใช้ สามารถลดจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา ที่อาจปนเปื้อนได้ โดยตัวอย่างผงโยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมิและเปลือกเสาวรสมิ ได้รับความร้อนจากการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 60-62 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 300 นาที-400 นาที จนปริมาณความชื้นไม่เกิน 8 กรัม/100 กรัม นอกจากนี้ในกรณีของการเตรียมขึ้นต้น โดยการใช้ความร้อนและการเตรียมขึ้นต้น โดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ อาจช่วยชะลอการเสื่อมเสียได้

5.5 ผลการศึกษาการใช้ผงโยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมิเป็นส่วนผสมของอาหารจำลองสำหรับผู้สูงอายุ

ขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำผงโยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมิที่ผลิตได้มาใช้เป็นส่วนผสมของอาหารเพื่อสุขภาพสำหรับผู้สูงอายุโดยการเสริมผงโยอาหารลงไปเป็นอาหารจำลองประเภทของเหลว (Liquid model food) ได้แก่ น้ำเสาวรสมิพร้อมดื่ม และอาหารจำลองประเภทเจล (Gel model food) ได้แก่ เต้าหู้เย็น ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์สำหรับผู้สูงอายุ

สามารถรับประทานได้ เพื่อตอบสนองความต้องการด้านการเคี้ยว และการกลืน (สำนักนโยบาย
อุตสาหกรรม, 2556) แต่เนื่องจากปริมาณผงใยอาหารที่เติมในผลิตภัณฑ์อาจมีผลต่อคุณภาพสุดท้าย
ของผลิตภัณฑ์ จึงได้มีการศึกษาผลของปริมาณการเติมผงใยอาหาร และปัจจัยการผลิตที่เกี่ยวข้อง
กับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ดังนี้

5.5.1 ผลของปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสและ อุณหภูมิในการเตรียมต่อคุณภาพของน้ำเสาวรสร่วมดื่ม

งานวิจัยนี้จึงนำผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมาเติมเป็น
ส่วนผสมในน้ำเสาวรสร่วมดื่มสำหรับผู้สูงอายุ โดยศึกษาปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้าน
อนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส 5 ระดับ ได้แก่ 1% 2% 3% 4% และ 5% และอุณหภูมิในการเตรียม
2 ระดับ ได้แก่ 28 ± 2 องศาเซลเซียส และ 60 ± 1 องศาเซลเซียสต่อคุณภาพของน้ำเสาวรสร่วมดื่มทั้ง
คุณภาพทางเคมีกายภาพ ได้แก่ ค่าสี (L^* a^* b^* Hue angle Chroma และ ΔE) ค่าความหนืด ปริมาณ
ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และคุณภาพทางประสาทสัมผัสจากการทดสอบโดยใช้ผู้ทดสอบที่ผ่าน
การฝึกฝนด้วยวิธี Quantitative Descriptive Analysis (QDA) และการทดสอบโดยใช้ผู้ทดสอบกึ่ง
ฝึกฝนด้วยวิธี Scoring Test และการทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัส โดยใช้ผู้ทดสอบเป็น
ผู้สูงอายุ (อายุตั้งแต่ 60 ปี ขึ้นไป) ด้วยวิธี 9-point hedonic scale ผลการวิเคราะห์คุณภาพที่ได้มีดังนี้

จากตารางที่ 4-32 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของคุณภาพทางเคมี
กายภาพของน้ำเสาวรสร่วมดื่ม พบว่า ปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจาก
เปลือกเสาวรสและอุณหภูมิการเตรียม มีอิทธิพลร่วมกันต่อค่าสี (L^* a^* b^* Hue angle Chroma และ
 ΔE) ค่าความหนืด และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

จากภาพที่ 4-19 เมื่อประเมินสีของน้ำเสาวรสร่วมดื่มที่ไม่มีการเติมผงใยอาหาร
(Control) และน้ำเสาวรสร่วมดื่มที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือก
เสาวรสและอุณหภูมิในการเตรียมด้วยตาเปล่า พบว่า น้ำเสาวรสร่วมดื่มที่ไม่มีการเติมผงใยอาหาร
(Control) มีสีเหลืองอ่อน และมีลักษณะค่อนข้างใสตามธรรมชาติของน้ำเสาวรส ในขณะที่น้ำ
เสาวรสร่วมดื่มทั้งที่ใช้อุณหภูมิในการเตรียมที่ 28 ± 2 องศาเซลเซียส และ 60 ± 1 องศาเซลเซียส เมื่อ
เติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสในปริมาณมากขึ้น ทำให้น้ำเสาวรสร่วม
ดื่มมีสีออกส้มแดงเข้มมากกว่าน้ำเสาวรสร่วมดื่ม (Control)

จากตารางที่ 4-33 ผลการวิเคราะห์ค่าสีด้วยเครื่องวัดค่าสี พบว่า ทั้งการเตรียมที่
อุณหภูมิห้อง (28 ± 2 องศาเซลเซียส) และ 60 ± 1 องศาเซลเซียส การเพิ่มปริมาณผงใยอาหารที่มีสาร
ต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมากขึ้น มีแนวโน้มทำให้ค่าสี L^* และ a^* สูงขึ้น ทั้งนี้อาจ

เนื่องจากผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรศ มีสีออกม่วงแดงอ่อนจากรงควัตถุแอนโทไซยานินที่มีสมบัติละลายได้ในน้ำ และเป็นรงควัตถุที่สอดคล้องกับค่าสี a^* มากที่สุด โดยสามารถละลายได้ในน้ำทั้งที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิสูง (ญุณิ จินคามัง และปิยะวิทย์ ทิพรส, 2555; Yang & Zhai, 2010) ดังนั้นเมื่อเติมผงใยอาหารผสมลงไปใต้น้ำเสาวรศพร้อมดื่มเพิ่มขึ้นถึง 5% รงควัตถุที่อยู่ในผงใยอาหารจึงสามารถละลายออกมากับน้ำที่ใช้เตรียมได้ เป็นผลให้น้ำเสาวรศพร้อมดื่มมีความสว่างและความเป็นสีแดงสูงขึ้น

จากผลการทดลอง พบว่า สิ่งทดลองที่ 5 น้ำเสาวรศพร้อมดื่มที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 5% ร่วมกับการใช้อุณหภูมิในการเตรียมที่ 28 ± 2 องศาเซลเซียส มีค่า L^* สูงที่สุด ($p < 0.05$) และรองลงมาคือ สิ่งทดลองที่ 10 น้ำเสาวรศพร้อมดื่มที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 5% ร่วมกับการใช้อุณหภูมิในการเตรียมที่ 60 ± 1 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ($p < 0.05$) สำหรับค่า a^* พบว่า สิ่งทดลองที่ 10 น้ำเสาวรศพร้อมดื่มที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 5% ร่วมกับการใช้อุณหภูมิในการเตรียมที่ 60 ± 1 องศาเซลเซียส มีค่า a^* สูงที่สุด ($p < 0.05$) และรองลงมาคือ สิ่งทดลองที่ 5 น้ำเสาวรศพร้อมดื่มที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 5% ร่วมกับการใช้อุณหภูมิในการเตรียมที่ 28 ± 2 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ($p < 0.05$) และน้ำเสาวรศพร้อมดื่มที่มีค่า Hue angle ที่อยู่ใกล้เฉดสีส้มแดง (ค่า Hue angle 45-90 องศา) มากที่สุด คือ สิ่งทดลองที่ 5 น้ำเสาวรศพร้อมดื่มที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 5% ร่วมกับการใช้อุณหภูมิในการเตรียมที่ 28 ± 2 องศาเซลเซียส และสิ่งทดลองที่ 10 น้ำเสาวรศพร้อมดื่มที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 5% ร่วมกับการใช้อุณหภูมิในการเตรียมที่ 60 ± 1 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ($p < 0.05$) สำหรับค่า b^* ซึ่งหมายถึงความเป็นสีเหลือง พบว่า ทั้งการเตรียมที่อุณหภูมิ 28 ± 2 องศาเซลเซียส และ 60 ± 1 องศาเซลเซียส การเพิ่มปริมาณผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรศเพียง 1% ทำให้มีค่าสี b^* ต่ำ อยู่ในช่วง 20.68-24.59 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปกติ น้ำเสาวรศพร้อมดื่มมีสีออกเหลือง การเติมผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรศปริมาณน้อย มีผลให้ความเป็นสีเหลืองลดลงได้จากสีของผงใยอาหารที่เติมไปรอบกวนให้มีสีเหลืองอ่อนลง แต่เมื่อเติมผงใยอาหารมากขึ้นเป็น 2%-5% มีผลให้ผงใยอาหารซึ่งมีสีม่วงแดงอ่อนมีความเข้มสีมากขึ้น จนส่งผลให้ตัวอย่างมีสีออกทางเหลืองส้มมากขึ้น ทำให้มีค่าสี b^* สูง อยู่ในช่วง 26.22-28.09

สำหรับค่า Chroma ซึ่งหมายถึงค่าความเข้มของสี พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 20.90-29.75 โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรศมากขึ้น ซึ่งเป็นความเข้มสีที่สอดคล้องกับผงใยอาหารที่เติมลงไปนั่นเอง จากการวิเคราะห์ค่าสี L^* a^* และ b^* ของน้ำเสาวรศพร้อมดื่มที่ไม่มีการเติมผงใยอาหาร (Control) พบว่า มีค่าสีเท่ากับ 21.05 -0.51 และ 18.45 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ค่า ΔE ซึ่งหมายถึงค่าการเปลี่ยนแปลงของสี ยืนยันให้เห็นว่า สิ่งทดลองที่ 1

น้ำเสาวรสร่วมดื่มที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส 1% ร่วมกับการใช้ऊณหภูมิในการเตรียมที่ 28 ± 2 องศาเซลเซียส ทำให้ค่าสีเปลี่ยนแปลงไปจากน้ำเสาวรสร่วมดื่มที่ไม่เติมผงใยอาหาร (Control) น้อยที่สุด ($p<0.05$) และสิ่งทดลองที่ 5 น้ำเสาวรสร่วมดื่มที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส 5% ร่วมกับการใช้ऊณหภูมิในการเตรียมที่ 28 ± 2 องศาเซลเซียส ทำให้ค่าสีเปลี่ยนแปลงไปจากน้ำเสาวรสร่วมดื่มที่ไม่มีการเติมผงใยอาหาร (Control) มากที่สุด ($p<0.05$) รองลงมาคือ สิ่งทดลองที่ 10 น้ำเสาวรสร่วมดื่มที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 5% ร่วมกับการใช้ऊณหภูมิในการเตรียมที่ 60 ± 1 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ($p<0.05$)

ผลิตภัณฑ์เพิ่มความหนืด (Thicken foods) นิยมบริโภคในผู้ป่วยที่มีปัญหาเรื่องการกลืนอย่างมาก เนื่องจากการบริโภคอาหารประเภทของเหลว อาจทำให้การกลืนเร็วเกินไป จนเกิดการสำลักได้ การเติมสารเพิ่มความข้นหนืดให้กับผลิตภัณฑ์อาหารเหลวและของเหลว จึงสามารถช่วยให้ผู้ที่มีปัญหาในการกลืนลำบากมีความปลอดภัยมากขึ้น ตัวอย่างเช่น ผลิตภัณฑ์นม UHT เพิ่มความข้นหนืด (Thicken milk) และน้ำผลไม้เพิ่มความเข้มข้นหนืด (Thicken fruit juice) National Dysphagia Diet Task Force (2002) แบ่งระดับความข้นหนืดได้ 4 ระดับ ได้แก่ 1) ความข้นหนืดระดับต่ำ (Thin) มีค่าความหนืดอยู่ในช่วง 1 cP- 50 cP 2) ความข้นหนืดระดับน้ำเชื่อม (Nectar-like) มีค่าความหนืดอยู่ในช่วง 51 cP- 350 cP 3) ความข้นหนืดระดับน้ำผึ้ง (Honey-like) มีค่าความหนืดอยู่ในช่วง 351 cP- 1700 cP และ 4) ความข้นหนืดระดับสูง (Spoon-thick) มีค่าความหนืดตั้งแต่ 1700 cP ขึ้นไป ทั้งนี้ความต้องการระดับความหนืดต่าง ๆ ต้องเลือกให้เหมาะสมกับแต่ละบุคคล ซึ่งอาจทราบได้จากการเข้ารับการศึกษาโดยแพทย์ผู้เชี่ยวชาญ โดยผู้ที่มีปัญหาเรื่องการกลืนควรบริโภคผลิตภัณฑ์เพิ่มความข้นหนืดระดับน้ำผึ้งหรือระดับสูง ขณะที่ผู้ที่มีปัญหาเรื่องการกลืนไม่มากนักอาจบริโภคผลิตภัณฑ์เพิ่มความข้นหนืดระดับความหนืดต่ำหรือระดับน้ำเชื่อม

ในงานวิจัยนี้ได้มีการประยุกต์ใช้ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส ซึ่งนอกจากเป็นแหล่งที่ดีของใยอาหารและสารพฤกษเคมีแล้ว ยังมีสมบัติเชิงหน้าที่ ทั้งความสามารถในการอุ้มน้ำ ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน และความสามารถในการพองตัวที่ดี จึงน่าจะนำมาใช้ในการเพิ่มความข้นหนืดให้กับอาหารประเภทของเหลว เช่น น้ำผลไม้ได้

จากตารางที่ 4-34 ผลการวิเคราะห์ค่าความหนืดของน้ำเสาวรสร่วมดื่ม พบว่า สิ่งทดลองที่ 1 น้ำเสาวรสร่วมดื่มที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 1% ร่วมกับการใช้ऊณหภูมิในการเตรียมที่ 28 ± 2 องศาเซลเซียส มีความหนืดน้อยที่สุด เท่ากับ 9.82 cP ($p<0.05$) ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 10 น้ำเสาวรสร่วมดื่มที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 5% ร่วมกับการใช้ऊณหภูมิในการเตรียมที่ 60 ± 1 องศาเซลเซียส มีความหนืดมากที่สุด เท่ากับ 220.62 cP

($p < 0.05$) โดยน้ำเสาวรสปริมาณที่ที่มีการเติมผงโยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสปริมาณที่ทำให้ น้ำเสาวรสปริมาณที่มีความหนืด (9.82-220.62 cP) มากกว่า น้ำเสาวรสปริมาณที่ไม่มีการเติมผงโยอาหาร (Control) โดยมีค่าความหนืด เท่ากับ 6.07 cP และหากจัดกลุ่มผลิตภัณฑ์ตามระดับความหนืดที่ National Dysphagia Diet Task Force (2002) รายงานไว้ พบว่า ผลิตภัณฑ์ น้ำเสาวรสปริมาณที่ มีการเติมผงโยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสปริมาณที่ทดลองมีความข้นหนืดอยู่ในระดับต่ำ (Thin) และความข้นหนืดระดับน้ำเชื่อม (Nectar-like) โดยพบว่า สิ่งทดลองที่ 1 2 3 6 7 และ 8 ซึ่งใช้ผงโยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสปริมาณ 1%-3% จัดอยู่ในความข้นหนืดระดับต่ำ (ค่าความหนืดอยู่ในช่วง 9.82-31.37 cP) และสิ่งทดลองที่ 4 5 9 และ 10 ซึ่งใช้ผงโยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสปริมาณ 4%-5% จัดอยู่ในความข้นหนืดระดับน้ำเชื่อม (ค่าความหนืดอยู่ในช่วง 60.34-220.62 cP)

ผงโยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสปริมาณที่ใช้มีทั้งส่วนของโยอาหารที่ละลายน้ำและโยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ซึ่งโครงสร้างของโยอาหารประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group) จำนวนมาก จึงสร้างพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bonding) กับน้ำได้ดีมีความเป็น Hydrophilicity สูง โดยโยอาหารที่ละลายน้ำสามารถดูดซับน้ำไว้ แล้วเพิ่มความหนืด และบางครั้งเกิดเจลได้ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม ในขณะที่โยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ไม่สามารถเกิดเจลแต่จะดูดซับน้ำปริมาณมากไว้ในส่วนที่ชอบน้ำได้ (Hydrophilic) แล้วอาจเกิดการพองตัวได้ (หยาตผน ทนงการกิจ , 2557; Lertphatcharanon, 2007) ดังนั้นเมื่อเติมผงโยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระในปริมาณสูงถึง 5% จึงเพิ่มโอกาสให้มีปริมาณโยอาหารที่สามารถจับกับน้ำได้มาก โดยสามารถกักเก็บน้ำในโครงสร้างของโยอาหาร ส่งผลให้ความหนืดของน้ำผลไม้เพิ่มขึ้นได้ นอกจากนี้การเตรียมที่อุณหภูมิสูง 60 ± 1 องศาเซลเซียส ช่วยส่งเสริมให้อนุภาคโยอาหารสามารถบวมน้ำ และสามารถเกิดการอุ้มน้ำได้อย่างเต็มที่ ส่งผลให้ผงโยอาหารมีอนุภาคใหญ่ขึ้น นอกจากนี้โยอาหารบางส่วน เช่น เพคตินสามารถละลายออกมาและทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มความข้นหนืด (Thickening agent) โดยมีรายงานว่าเพคตินจะสามารถละลายออกมาได้ดีขึ้นเมื่อใช้อุณหภูมิการเตรียมที่สูงขึ้น (Espachs-Barroso, Soliva-Fortuny, & Martín-Belloso, 2005) ดังนั้นการใช้ อุณหภูมิการเตรียม 60 ± 1 องศาเซลเซียส ร่วมกับการเติมผงโยอาหารจากเปลือกเสาวรสปริมาณมาก จึงทำให้น้ำเสาวรสปริมาณที่มีความหนืดมากกว่าการเตรียมที่อุณหภูมิห้องร่วมกับการเติมผงโยอาหารจากเปลือกเสาวรสปริมาณน้อยนั่นเอง สอดคล้องกับรายงานของ Thongsombat, Sirichote, and Chanthachum (2007) รายงานว่า น้ำฝรั่งที่เติมผงโยอาหารที่สกัดจากกากฝรั่ง ซึ่งเป็นโยอาหารที่อยู่ในรูปเพคติน มีความหนืดสูงขึ้นเมื่อมีการเตรียมน้ำฝรั่งที่อุณหภูมิสูงร่วมกับการเติมผงโยอาหารปริมาณมากขึ้น และปรอยฝน เลิศวนวัฒนา และคณะ (2551) กล่าวว่า ในการเตรียมให้น้ำสับปะรดพร้อมดื่มที่มีการเติม

ผงใยอาหารจากกากมะนาวปริมาณ 1%-5% ให้มีการอุ้มน้ำได้อย่างเต็มที่ (Full hydration) สามารถดำเนินการโดยการเตรียมโดยใช้ความร้อนอุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส และส่งผลให้ค่าความหนืดของน้ำสับประรดพร้อมดื่มมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

จากข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่า ปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรศและอุณหภูมิในการเตรียมมีผลต่อคุณภาพด้านสีและความหนืดของน้ำเสาวรศพร้อมดื่ม สอดคล้องกับที่ López-Vargas et al. (2013) กล่าวว่า ค่าสีของผงใยอาหาร เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญ ซึ่งส่งผลต่อผลิตภัณฑ์ เมื่อใช้ผงใยอาหารเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหารจะส่งผลต่อทั้งค่าสี รวมถึงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อีกด้วย

สำหรับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด หมายถึง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำทั้งหมด ทั้งนี้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดแสดงถึงส่วนประกอบที่ละลายได้ เช่น น้ำตาล กรดอะมิโน กรดอินทรีย์ และวิตามินที่ละลายน้ำ เป็นต้น (วัชร เทพโยธิน, นันทัชพร เสนาวงค์ และ จุฑาทิพย์ เมืองพรม, 2559) จากตารางที่ 4-34 พบว่า สิ่งทดลองที่ 1 น้ำเสาวรศพร้อมดื่มที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 1% ร่วมกับการใช้อุณหภูมิในการเตรียม 28±2 องศาเซลเซียส มีผลทำให้น้ำเสาวรศพร้อมดื่มมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดค่าที่ต่ำที่สุด เท่ากับ 17.47 องศาบริกซ์ ($p < 0.05$) ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 9 น้ำเสาวรศพร้อมดื่มที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 4% ร่วมกับการใช้อุณหภูมิในการเตรียม 60±1 องศาเซลเซียส และสิ่งทดลองที่ 10 น้ำเสาวรศพร้อมดื่มที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 5% ร่วมกับการใช้อุณหภูมิในการเตรียม 60±1 องศาเซลเซียส มีผลทำให้น้ำเสาวรศพร้อมดื่มมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดสูงที่สุด เท่ากับ 19.60±1 องศาบริกซ์ ($p < 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรศ ยังคงมีของแข็งที่ละลายน้ำได้เป็นองค์ประกอบ เช่น น้ำตาล (3.18 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) ดังนั้นเมื่อมีการเติมผงใยอาหารในปริมาณเพิ่มขึ้นจึงเป็นการเพิ่มปริมาณของแข็งที่ละลายได้ด้วย นอกจากนี้เมื่อใช้อุณหภูมิในการเตรียมสูงถึง 60±1 องศาเซลเซียส มีโอกาสให้องค์ประกอบของแข็งจำพวกเพคติน น้ำตาล และกรดอะมิโน (Espachs-Barroso et al., 2005) ที่เป็นองค์ประกอบของน้ำเสาวรศเข้มข้นมีโอกาสละลายออกมาได้มากขึ้นอีกทางหนึ่ง สอดคล้องกับ ปรอยฝน เลิศวนวัฒนา และคณะ (2551) รายงานว่า การเติมกากมะนาวผงลงในน้ำสับประรดในปริมาณที่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้น เนื่องจากกากมะนาวผงมีของแข็งที่ละลายได้เป็นองค์ประกอบ โดยเฉพาะยังมีกรดอินทรีย์ที่ยังคงอยู่ในกากมะนาว นอกจากนี้การใช้ความร้อนในการเตรียมที่อุณหภูมิ 60±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลารวม 10 นาที มีโอกาสทำให้น้ำระเหยออกได้จึงมีผลให้ผลิตภัณฑ์มีความเข้มข้นมากขึ้น ปริมาณของแข็งที่ละลายได้จึงมีสัดส่วนที่เพิ่มมากขึ้นได้ จากผลการทดลองโดยรวม พบว่า การเติมผงใยอาหารที่มี

สารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มลงในน้ำเสาวรส ทั้งการเตรียมที่อุณหภูมิ 28 ± 2 องศาเซลเซียส และ 60 ± 1 องศาเซลเซียส มีผลทำให้น้ำเสาวรสพร้อมดื่มมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้น (17.47-19.60 องศาบริกซ์) เมื่อเทียบกับน้ำเสาวรสพร้อมดื่มที่ไม่มีการเติมผงใยอาหาร (Control) ที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด เท่ากับ 17.00 องศาบริกซ์ เนื่องจากการเติมของแข็งที่ละลายน้ำได้ให้กับผลิตภัณฑ์นั่นเอง

เมื่อพิจารณาผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของน้ำเสาวรสพร้อมดื่มด้วยวิธี Quantitative Descriptive Analysis (QDA) โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 8 คน ที่ได้รับการฝึกฝนก่อนทำการทดสอบจริง ซึ่งการฝึกฝนผู้ทดสอบนั้นเริ่มต้นจากการให้ผู้ทดสอบคุ้นเคยกับผลิตภัณฑ์น้ำเสาวรสพร้อมดื่มในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส ซึ่งน้ำเสาวรสพร้อมดื่มที่ผลิตได้เมื่อมีการแปรปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสและอุณหภูมิในการเตรียม ให้ผู้ทดสอบได้คิดค้นคำศัพท์จากคุณลักษณะด้านต่าง ๆ ที่ปรากฏ และคัดเลือกคำศัพท์ โดยให้ผู้ทดสอบได้เข้าใจคำศัพท์ที่ใช้และคุณลักษณะปัจจัยที่ต้องการให้ประเมิน ซึ่งจากผลการคิดค้นคำศัพท์และคัดเลือกคำศัพท์ ได้คำศัพท์ทั้งหมด 7 คำศัพท์ ได้แก่ สีส้มแดง การตกตะกอน กลิ่นเสาวรส รสหวาน รสเปรี้ยว ความหนืดในปาก และความสากกลิ่น แสดงดังตารางที่ 4-35

การฝึกฝนผู้ทดสอบเป็นการปรับความรู้สึกของแต่ละคนให้ตรงกันด้วยการพูดคุยและแลกเปลี่ยนความคิดเห็นที่จะยอมรับช่วงคะแนนดังกล่าว เพื่อใช้เป็นพื้นฐานความเข้าใจการให้คะแนนที่ใกล้เคียงกันในการทดสอบทุกครั้ง เปรียบเสมือนกับการใช้เครื่องมือวัด รวมถึงการฝึกฝนการใช้สเกลด้วย สำหรับการทดสอบด้วยวิธี QDA ใช้สเกลเส้นตรงความยาว 15 เซนติเมตร การฝึกฝนจะสำเร็จได้เมื่อผู้ทดสอบให้คะแนนผลิตภัณฑ์ใกล้เคียงกันหรือปรับการให้คะแนนใกล้เคียงกันได้หมดทุกคน โดยค่า SD สำหรับคะแนนแต่ละคุณลักษณะของคำศัพท์ไม่เกิน 1

จากตารางที่ 4-36 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของคุณลักษณะน้ำเสาวรสพร้อมดื่ม พบว่า ปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสและอุณหภูมิในการเตรียมมีอิทธิพลร่วมกันต่อคุณลักษณะด้านสีส้มแดง การตกตะกอน รสเปรี้ยว ความหนืดในปาก และความสากกลิ่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในขณะที่ไม่มีอิทธิพลร่วมกันต่อกลิ่นเสาวรส และรสหวาน ($p \geq 0.05$) และจากตารางที่ 4-37 ผลการประเมินความเข้มของคุณลักษณะน้ำเสาวรสพร้อมดื่มจากการทดสอบโดยวิธี QDA พบว่า น้ำเสาวรสพร้อมดื่มทั้งที่ใช้อุณหภูมิในการเตรียม 28 ± 2 องศาเซลเซียส และ 60 ± 1 องศาเซลเซียส เมื่อเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระในปริมาณที่เพิ่มขึ้น มีแนวโน้มทำให้คะแนนคุณลักษณะด้านสีส้มแดง การตกตะกอน ความหนืดในปาก และความสากกลิ่นเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระที่ใช้เป็นส่วนผสม มีสีออกทางม่วงแดง ซึ่งมาจากการมีอยู่ของรงควัตถุ

แอนโทไซยานิน ด้วยคุณสมบัติของแอนโทไซยานินที่สามารถละลายได้ในน้ำ (ญาณี จินคามัง และปิยะวิทย์ ทิพรส, 2555) เมื่อละลายผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสลงในน้ำโดยเตรียมที่อุณหภูมิ 28 ± 2 องศาเซลเซียส และ 60 ± 1 องศาเซลเซียส ทำให้แอนโทไซยานินสามารถละลายออกมากับน้ำที่ใช่เตรียมได้ น้ำเสาวรสปริมาณเต็มจึงมีสีออกส้มแดงมากขึ้น รวมถึงผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระนี้มีทั้งใยอาหารที่ละลายน้ำได้ และใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ซึ่งโครงสร้างของใยอาหารประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group) จำนวนมาก สามารถสร้างพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bonding) กับน้ำได้มาก ใยอาหารนี้จึงมีความสามารถในการอุ้มน้ำและความสามารถในการพองตัวที่ดี (หยาดฝน ทนงการกิจ, 2557; López-Vargas et al., 2013) เป็นผลให้เมื่อเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระลงไป ปริมาณที่มากขึ้นจึงทำให้น้ำเสาวรสมึความหนืดในปากเพิ่มขึ้นด้วย แต่อย่างไรก็ตามการเติมใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสปริมาณมาก ทำให้ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำซึ่งมีปริมาณมากขึ้น ไม่สามารถละลายได้ จึงทำให้น้ำเสาวรเกิดการตกตะกอน รวมทั้งความสากลิ้นเพิ่มขึ้นด้วย

ที่ผ่านมาได้มีงานวิจัยที่ศึกษาการเพิ่มความชื้นหนืดให้กับน้ำผลไม้สำหรับผู้สูงอายุ โดยมักให้ความสำคัญกับลักษณะเนื้อสัมผัสของน้ำผลไม้ เนื่องจากมีผลต่อความยากง่ายการกลืน โดยลักษณะเนื้อสัมผัสที่มีความสำคัญซึ่งมีผลต่อความยากง่ายในการกลืน ได้แก่ ความหนืด นอกจากนี้ยังเกี่ยวข้องกับลักษณะที่มีผลให้เกิดความรู้สึกฝืดคอหรือระคายคอด้วย เช่น ความสากลิ้น การตกตะกอน เป็นต้น (ปิยะดา อาชายุทธการ, 2554; Cichero & Lam, 2014) ปิยะภัทร เดชพระธรรม (2556) กล่าวว่า ผู้สูงอายุเป็นวัยที่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งทางกายภาพและระบบการทำงานต่างๆ ของร่างกาย รวมทั้งการกลืนด้วย ในกรณีอาหารประเภทของเหลวของผู้สูงอายุ จึงควรมีลักษณะสำคัญที่ต้องเอื้อต่อการกลืนได้ง่ายและไม่เกิดการสำลัก อาหารที่มีความข้นมากกว่าปกติจะช่วยชะลอไม่ให้อาหารเข้าสู่ระยาะคอหอยก่อนเกิดการกลืน ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเหลวสำหรับผู้สูงอายุจึงมีการใช้สารเพิ่มความหนืด (Thickener) เพื่อช่วยให้ผู้สูงอายุหรือผู้ที่มีปัญหาการกลืนลำบากมีความสะดวกและปลอดภัยในการบริโภคอาหารมากขึ้น นอกจากนี้ในต่างประเทศ เช่น ประเทศญี่ปุ่น ได้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์สำหรับผู้สูงอายุโดยเฉพาะ โดยเน้นเรื่องความง่ายและความปลอดภัยในการกลืน มีการใช้สารให้ความหนืดในผลิตภัณฑ์จำพวกเครื่องดื่ม และผงชงละลาย (สำนักนโยบายอุตสาหกรรม, 2556)

จากข้อมูลข้างต้นยืนยันให้เห็นว่า ในการพัฒนาอาหารประเภทของเหลวหรือเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพสำหรับผู้สูงอายุนั้น ควรให้ความสำคัญกับลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ เช่น ความหนืด ความสากลิ้น การตกตะกอน เนื่องจากมีผลต่อความยากง่ายการกลืน ดังนั้นจากผลการประเมินผลคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี QDA จึงเลือกใช้คุณลักษณะที่เกี่ยวข้องกับเนื้อ

สัมพัทธ์ จำนวน 3 คุณลักษณะ ได้แก่ การตกตะกอน ความหนืดในปาก และความสากลิ้น รวมถึงเพิ่มคุณลักษณะที่ใช้เป็นตัวชี้วัดความยากง่ายในการกลืนเพื่อใช้ในการคัดกรองสิ่งทดลองที่เหมาะสมกับการบริโภคอาหารประเภทของเหลวของผู้สูงอายุอีก 1 คุณลักษณะ คือ ความง่ายในการกลืน

สำหรับการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี Scoring Test ใช้ผู้ทดสอบกึ่งฝึกฝน จำนวน 30 คน ประเมินความเข้มของคุณลักษณะของน้ำเสาวรสร่วมดื่ม ได้แก่ การตกตะกอน ความหนืดในปาก ความสากลิ้น และความง่ายในการกลืน โดยให้คะแนนตั้งแต่ 1-5 โดย 1 หมายถึง มีความเข้มคุณลักษณะนั้นน้อยที่สุด และ 5 หมายถึง มีความเข้มคุณลักษณะนั้นมากที่สุด จากตารางที่ 4-38 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของความเข้มคุณลักษณะน้ำเสาวรสร่วมดื่มด้วยวิธี Scoring Test พบว่า ปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสและอนุภูมิภาคเตรียมมีอิทธิพลร่วมกันต่อการตกตะกอน ความหนืดในปาก ความสากลิ้น และความง่ายในการกลืนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

จากตารางที่ 4-39 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยวิธี Scoring Test พบว่า สิ่งทดลองทั้งหมดได้รับคะแนนด้านความง่ายในการกลืนอยู่ในช่วง 1.00-4.75 ซึ่งหมายถึง มีความง่ายในการกลืนน้อยที่สุดถึงมากที่สุด แสดงให้เห็นว่าปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส 1%-5% ร่วมกับการใช้อนุภูมิภาคเตรียมทั้ง 2 ระดับ มีผลให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะที่เอื้อต่อการกลืนแตกต่างกัน ซึ่งพบว่าคุณลักษณะความง่ายในการกลืนนั้น มีผลสอดคล้องกับคะแนนความเข้มนด้านความหนืดในปาก โดยสิ่งทดลองที่ได้รับคะแนนความง่ายในการกลืนมาก มีคะแนนความเข้มนด้านความหนืดในปากน้อย โดยสิ่งทดลองที่ 6 น้ำเสาวรสร่วมดื่มที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 1% ร่วมกับการใช้อนุภูมิภาคเตรียมที่ 60 ± 1 องศาเซลเซียส มีความหนืดในปากต่ำที่สุด ($p < 0.05$) โดยได้รับคะแนนความง่ายในการกลืนสูงที่สุด ($p < 0.05$) ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 5 น้ำเสาวรสร่วมดื่มที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 5% ร่วมกับการใช้อนุภูมิภาคเตรียมที่ 28 ± 2 องศาเซลเซียส และ สิ่งทดลองที่ 10 น้ำเสาวรสร่วมดื่มที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 5% ร่วมกับการใช้อนุภูมิภาคเตรียมที่ 60 ± 1 องศาเซลเซียส มีความหนืดในปากสูงที่สุด ($p < 0.05$) โดยได้รับคะแนนความง่ายในการกลืนต่ำที่สุด ($p < 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสในปริมาณที่เพิ่มขึ้น มีโอกาสให้ผงใยอาหารที่เติมสามารถจับกับน้ำ และเกิดการพองตัวโดยดูดซับน้ำไว้ในโครงสร้างของใยอาหารเอง (หยาดฝน ทนงการกิจ, 2557; López-Vargas et al., 2013) จึงมีแนวโน้มให้ความหนืดเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามการเติมใยอาหารในปริมาณมากอาจมีผลให้เกิดความหนืดมาก รวมทั้งผงใยอาหารส่วนที่ไม่ละลายน้ำมีโอกาสดกตะกอน และทำให้เกิดลักษณะสากลิ้น เกิดความรู้สึกลูกคอกหรือระคายคอได้

จากตารางที่ 4-39 พบว่าระดับความเข้มข้นลักษณะความง่ายในการกลืนนั้น มีผลสอดคล้องกับคะแนนความเข้มข้นด้านการตกตะกอน และความสาถกิ้นเช่นเดียวกัน ซึ่งพบว่าสิ่งทดลองที่ได้รับคะแนนความง่ายในการกลืนมาก มีคะแนนความเข้มข้นด้านการตกตะกอนและความสาถกิ้นน้อย โดยสิ่งทดลองที่ 6 น้ำเสาวรสปพร้อมดื่มที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 1% ร่วมกับการใช้อุณหภูมิการเตรียมที่ 60 ± 1 องศาเซลเซียส มีการตกตะกอน และความสาถกิ้นต่ำที่สุด ($p<0.05$) โดยได้รับคะแนนความง่ายในการกลืนสูงที่สุด ($p<0.05$) ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 5 น้ำเสาวรสปพร้อมดื่มที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 5% ร่วมกับการใช้อุณหภูมิการเตรียมที่ 28 ± 2 องศาเซลเซียส และ สิ่งทดลองที่ 10 น้ำเสาวรสปพร้อมดื่มที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 5% ร่วมกับการใช้อุณหภูมิการเตรียมที่ 60 ± 1 องศาเซลเซียส มีการตกตะกอน และความสาถกิ้นสูงที่สุด ($p<0.05$) โดยได้รับคะแนนความง่ายในการกลืนต่ำที่สุด ($p<0.05$) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการใช้อุณหภูมิการเตรียมที่ 28 ± 2 องศาเซลเซียส และ 60 ± 1 องศาเซลเซียส โดยใช้สัดส่วนของผงใยอาหารและน้ำเสาวรสปตามการทดลองนี้ อาจเอื้อต่อการพองตัวของผงใยอาหารและการดูดซับน้ำไว้ได้ แต่หากใช้ปริมาณผงใยอาหารมากขึ้น อาจไม่สามารถทำให้ผงใยอาหารทั้งหมดที่เติมในน้ำเสาวรสป เกิดการพองตัวและดูดซับน้ำ จนเป็นเนื้อเดียวกับน้ำเสาวรสปพร้อมดื่มได้ทั้งหมด ผงใยอาหารบางส่วนอาจเกิดการพองตัวและดูดซับน้ำได้ไม่สมบูรณ์ จึงมีโอกาสเกิดการตกตะกอน ทำให้ผู้ทดสอบรู้สึกสาถกิ้น และทำให้ยากต่อการกลืนมากขึ้น

จากการพิจารณาผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสจากวิธี Scoring test เพื่อคัดกรองสิ่งทดลองที่มีความเป็นไปได้ในการเป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบ เพื่อให้การทดสอบความชอบของผลิตภัณฑ์เป็นไปด้วยความเหมาะสม ลดโอกาสการเมือยล้าของผู้ทดสอบ (ผู้สูงอายุ) ในการชิมตัวอย่างจำนวนมากเกินไป จึงพิจารณาส่งทดลองที่ได้รับคะแนนความง่ายในการกลืนมากที่สุด 5 อันดับแรก ได้แก่ น้ำเสาวรสปพร้อมดื่มที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 1% และ 2% ร่วมกับการใช้อุณหภูมิในการเตรียมที่ 28 ± 2 องศาเซลเซียส ในสิ่งทดลองที่ 1 และ 2 ตามลำดับ และ น้ำเสาวรสปพร้อมดื่มที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 1% 2% และ 3% ร่วมกับการใช้อุณหภูมิในการเตรียมที่ 60 ± 1 องศาเซลเซียส ในสิ่งทดลองที่ 6 7 และ 8 ตามลำดับ

สำหรับผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point hedonic scale โดย 1 คะแนน คือ ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 คะแนน คือ ชอบมากที่สุด ใช้ผู้ทดสอบเป็นผู้สูงอายุ (อายุตั้งแต่ 60 ± 1 ปี ขึ้นไป) จำนวน 30 คน ประเมินความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ความง่ายในการกลืน และความชอบโดยรวม จากตารางที่ 4-40 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของลักษณะน้ำเสาวรสปพร้อมดื่มด้วยวิธี 9-point hedonic scale พบว่า ปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสปและอุณหภูมิการเตรียมมีอิทธิพลร่วมกันต่อความชอบ

ลักษณะปรากฏ ความชอบสี ความชอบกลิ่น ความชอบรสชาติ ความชอบด้านการกลืน และ ความชอบโดยรวมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

จากตารางที่ 4-41 พบว่า สิ่งทดลองที่ 4 น้ำเสาวรสพร้อมดื่มที่มีการเติมผงใยอาหารที่มี สารต้านอนุมูลอิสระ 2% ร่วมกับการใช้อุณหภูมิในการเตรียม 60 ± 1 องศาเซลเซียส ได้รับคะแนน ความชอบลักษณะปรากฏ (7.30) ความชอบสี (6.87) ความชอบกลิ่น (6.47) ความชอบรสชาติ (7.63) ความชอบด้านการกลืน (7.33) และความชอบโดยรวม (7.60) สูงที่สุด ($p < 0.05$) แสดงให้เห็นว่าการ ผลิตน้ำเสาวรสพร้อมดื่มในสภาวะนี้ได้รับการยอมรับจากผู้สูงอายุและเหมาะสมสำหรับนำมาผลิต เป็นน้ำเสาวรสพร้อมดื่มต้นแบบมากที่สุด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้าน อนุมูลอิสระ 2% ร่วมกับการใช้อุณหภูมิในการเตรียม 60 ± 1 องศาเซลเซียส ทำให้น้ำเสาวรสพร้อม ดื่มที่ได้มีเจดสีออกส้มแดง และมีความหนืดในระดับความหนืดเหมาะสม ไม่หนืดมากจนเกินไป รวมถึงยังมีความง่ายในการกลืนด้วย จากผลการทดลองพบข้อสังเกตว่า เมื่อพิจารณาน้ำเสาวรส พร้อมดื่มที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส 2% เท่ากัน แต่ เปรียบเทียบระหว่างการเตรียมที่อุณหภูมิ 28 ± 2 องศาเซลเซียส และ 60 ± 1 องศาเซลเซียส พบว่า ได้ น้ำเสาวรสพร้อมดื่มที่มีความหนืดในปากและความง่ายในการกลืนไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) แต่ พบว่า น้ำเสาวรสพร้อมดื่มที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 2% ร่วมกับการใช้ อุณหภูมิการเตรียม 60 ± 1 องศาเซลเซียส ให้เจดสีส้มแดงมากกว่า (ผลดังตารางที่ 4-33) อาจมีผลทำ ให้ผู้สูงอายุชอบมากกว่าเนื่องจากมีสีส้มที่สวยงามน่ารับประทานมากกว่า นอกจากนี้ พบว่า น้ำ เสาวรสพร้อมดื่มที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระตั้งแต่ 3% ขึ้นไป แม้ได้น้ำเสาวรส พร้อมดื่มที่มีเจดสีออกส้มแดง แต่มีความหนืดสูงซึ่งอาจส่งผลให้ความง่ายในการกลืนลดลง เนื่องจากเกิดการตกตะกอนมาก อาจทำให้ผู้สูงอายุรู้สึกฝืดคอหรือระคายคอ จึงได้รับคะแนน ความชอบโดยรวมต่ำ สำหรับน้ำเสาวรสพร้อมดื่มที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ น้อยที่สุดคือ 1% ทั้งที่เตรียมที่อุณหภูมิ 28 ± 2 องศาเซลเซียส และ 60 ± 1 องศาเซลเซียส แม้ว่าน้ำ เสาวรสพร้อมดื่มที่ได้มีความหนืดน้อยที่สุดและความง่ายในการกลืนสูงที่สุด แต่มีสีออกคล้ำไม่ ให้เจดสีส้มแดงชัดเจนนักซึ่งแตกต่างกับน้ำเสาวรสปกติ อาจทำให้รู้สึกไม่คุ้นเคยจึงให้คะแนน ความชอบโดยรวมต่ำ

ดังนั้น น้ำเสาวรสพร้อมดื่มที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 2% ร่วมกับการ ใช้อุณหภูมิการเตรียม 60 ± 1 องศาเซลเซียส จึงเป็นน้ำเสาวรสพร้อมดื่มต้นแบบที่เหมาะสมเพื่อ นำไปวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีเปรียบเทียบกับน้ำเสาวรสพร้อมดื่มสูตรพื้นฐานต่อไป

5.5.2 ผลของปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสและการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ต่อคุณภาพของเต้าหู้เย็น

อาหารจำลองประเภทเจล (Gel model food) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ผู้สูงอายุสามารถรับประทานได้เนื่องจากมีลักษณะเนื้อสัมผัสนุ่มและลื่น มีความเหมาะสมและเพื่อตอบสนองความต้องการด้านการเคี้ยว และการกลืนของผู้สูงอายุ (สำนักนโยบายอุตสาหกรรม, 2556) โดยเต้าหู้ เป็นอาหารประเภทเจลชนิดหนึ่ง จัดเป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำจากถั่วเหลือง มีการใช้สารที่ทำให้เกิดเจลหรือช่วยให้เกิดเจลร่วมด้วย ส่วนลักษณะของเต้าหู้เย็นที่เป็นอาหารว่างอาจมีการใช้น้ำนมร่วมด้วย และมีการเติมน้ำตาล รวมทั้งส่วนประกอบอื่นเพื่อปรุงแต่งกลิ่นรส เช่น กาแฟวานิลลา ชาเขียว และอาจเติมส่วนประกอบอื่น เช่น ผักผลไม้ ธัญพืช มีคุณลักษณะที่ต้องการคือ มีลักษณะเนื้อสัมผัสเป็นวุ้น มีสี กลิ่นรสที่ดีตามธรรมชาติของส่วนประกอบที่ใช้ ปราศจากกลิ่นรสอื่นที่ไม่พึงประสงค์ (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2547) การเสริมใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระให้กับเต้าหู้เย็นเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการเพิ่มคุณประโยชน์ให้กับผลิตภัณฑ์โดยยังคงลักษณะเป็นเจลที่ยังเอื้อต่อการเคี้ยวและกลืนสำหรับผู้สูงอายุ การบริโภคใยอาหารและสารต้านอนุมูลอิสระ ยังมีบทบาทสำคัญในการป้องกันการเกิดโรคต่าง ๆ เช่น โรคท้องผูก โรคริดสีดวง ภาวะไขมันในเลือดสูง และโรคมะเร็งลำไส้ใหญ่ เป็นต้น (Peerajit et al., 2012)

งานวิจัยนี้จึงนำผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมาเติมเป็นส่วนผสมในการผลิตเต้าหู้เย็นสำหรับผู้สูงอายุ แต่เนื่องจากปริมาณผงใยอาหารที่เติมในผลิตภัณฑ์อาจมีผลต่อคุณภาพสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ จึงได้มีการศึกษาผลของปริมาณการเติมผงใยอาหาร และปัจจัยการผลิตที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยศึกษาปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส 5 ระดับ ได้แก่ 2% 4% 6% 8% และ 10% และการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ 2 ชนิด ได้แก่ แคลปป์-การาจีนเนน (κ-carragenan) 1.0% และวุ้น (Agar) 0.5%) ต่อคุณภาพของเต้าหู้เย็นทั้งคุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี (L^* a^* b^* Hue angle Chroma และ ΔE) และลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยวิธี Texture profile analysis (Hardness Adhesiveness Springiness Cohesiveness Gumminess Chewiness และ Resilience) รวมถึงคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยวิธี Quantitative Descriptive Analysis (QDA) และการทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point hedonic scale ผลการวิเคราะห์คุณภาพที่ได้มีดังนี้

จากตารางที่ 4-42 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) คุณภาพทางเคมีกายภาพของน้ำเสาวรสพร้อมดื่ม พบว่า ปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส และการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ มีอิทธิพลร่วมกันต่อค่าคุณภาพของเต้าหู้เย็น ได้แก่ ค่าสี (L^* a^* b^* Hue angle Chroma และ ΔE) และลักษณะเนื้อสัมผัสที่วิเคราะห์ด้วยวิธี Texture profile

analysis (Hardness Adhesiveness Springiness Cohesiveness Gumminess Chewiness และ Resilience) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

จากภาพที่ 4-20 แสดงลักษณะปรากฏของเต้าหู้ยีนสูตรแคปไซซิน-คาราจีแนน และสูตรวุ้นที่ไม่มีการเติมผงใยอาหาร และเต้าหู้ยีนสูตรแคปไซซิน-คาราจีแนน และสูตรวุ้นที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสด้วยตาเปล่า พบว่า เต้าหู้ยีนสูตรพื้นฐาน ทั้งสูตรแคปไซซิน-คาราจีแนน และสูตรวุ้น ที่ไม่มีการเติมผงใยอาหารมีสีออกทางสีขาวถึงเหลืองอ่อน ในขณะที่เต้าหู้ยีนทั้งสูตรแคปไซซิน-คาราจีแนน และสูตรวุ้นที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระมีสีออกทางน้ำตาล โดยพบว่าเมื่อเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ทำให้เต้าหู้ยีนมีน้ำตาลเข้มขึ้นด้วย โดยผลการวิเคราะห์ค่าสี L^* , a^* และ b^* ของเต้าหู้ยีนที่ไม่เติมผงใยอาหาร (Control) ร่วมกับการใช้แคปไซซิน-คาราจีแนน พบว่า มีค่าสีเท่ากับ 78.32 -3.49 และ 9.91 ตามลำดับ และเมื่อใช้ร่วมกับวุ้น พบว่า มีค่าสีเท่ากับ 78.37 -3.47 และ 10.02 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าเต้าหู้ยีนที่ไม่เติมผงใยอาหาร (Control) มีความสว่างมาก โดยมีความเป็นสีเขียวและความเป็นสีเหลืองน้อย สอดคล้องกับผลการประเมินด้วยตาเปล่าที่เห็นว่าเต้าหู้ยีนสูตรพื้นฐานที่ไม่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส (Control) มีสีออกทางสีขาวถึงเหลืองอ่อน ทั้งนี้เนื่องจากส่วนผสมหลักของเต้าหู้ยีน ประกอบด้วยสารไฮโดรคอลลอยด์แคปไซซิน-คาราจีแนนหรือวุ้น ผสมกับน้ำตาลทรายขาว และน้ำตาลไอโซมอลทูลูโลส ซึ่งเมื่อนำมาละลายน้ำจะให้สารละลายสีขาวถึงเหลืองอ่อน ๆ เมื่อผสมกับน้ำนมถั่วเหลืองซึ่งมีออกสีเหลือง ส่วนผสมโดยรวมจึงยังคงมีสีขาวถึงเหลืองอ่อน เมื่อปล่อยให้เกิดเจลจึงยังคงได้เต้าหู้ยีนสีขาวถึงเหลืองอ่อนตามสีของส่วนผสมนั่นเอง

จากตารางที่ 4-43 ผลการวิเคราะห์ค่าสีของเต้าหู้ยีนเต้าหู้ยีนสูตรแคปไซซิน-คาราจีแนน และสูตรวุ้น พบว่า การเพิ่มปริมาณผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมากขึ้น มีแนวโน้มทำให้ค่าสี L^* ต่ำลง และ a^* สูงขึ้น จากการทดลองพบข้อสังเกตว่าเมื่อนำผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสซึ่งเป็นผงมีสีออกทางม่วงแดงอ่อนมาผสมกับน้ำแล้วตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 20 นาที เพื่อให้ผงใยอาหารอูมน้ำและพองตัวอย่างทั่วถึง พบว่า ส่วนผสมที่ได้มีสีน้ำตาลแดง ดังนั้นการเติมผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสมากจึงเป็นการเพิ่มส่วนผสมที่มีสีออกน้ำตาลแดงให้กับเต้าหู้ยีนมากขึ้น เป็นผลให้เต้าหู้ยีนมีความสว่างน้อยลงและความเป็นสีแดงสูงขึ้น จากผลการทดลองจึงพบแนวโน้มว่า สิ่งทดลองที่ 5 และสิ่งทดลองที่ 10 ที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 10% ร่วมกับการใช้แคปไซซิน-คาราจีแนน 1% และวุ้น 0.5% ตามลำดับ มีค่า L^* ต่ำ ในขณะที่มีค่า a^* สูงกว่าสิ่งทดลองอื่น ($p < 0.05$) สำหรับค่า b^* ซึ่งหมายถึงความเป็นสีเหลือง พบว่า เต้าหู้ยีนทั้งสูตรแคปไซซิน-คาราจีแนน 1% และวุ้น 0.5% การเพิ่มปริมาณใยอาหารที่มีสารต้าน

อนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรศ 2%-10% มีผลให้ค่า b^* สูงขึ้น อยู่ในช่วง 13.47-19.03 เมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ไม่มีสารเติมผงใยอาหาร (Control) มีค่า b^* เท่ากับ 9.91

จากการคำนวณค่า Hue angle ของตัวอย่างที่ไม่มีสารเติมผงใยอาหาร (Control) มีค่า Hue angle เท่ากับ 109.42 ซึ่งมีเฉดสีเหลือง-เหลืองเขียว ในขณะที่ตัวอย่างที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรศ มีค่า Hue angle อยู่ในช่วง 73.49-89.01 ซึ่งมีเฉดสีส้มแดงถึงเหลือง โดยพบว่า สิ่งทดลองที่ 5 ตัวอย่างที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 10% ร่วมกับการใช้แคปไซซิน 1% มีค่า Hue angle ต่ำที่สุด ($p < 0.05$) รองลงมาคือ สิ่งทดลองที่ 10 ตัวอย่างที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 10% ร่วมกับการใช้วุ้น 0.5% สำหรับค่า Chroma ซึ่งหมายถึงค่าความเข้มของสี พบว่า ตัวอย่างทุกสิ่งทดลองที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรศมีค่า Chroma อยู่ในช่วง 13.47-19.67 โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรศมากขึ้น ซึ่งเป็นความเข้มสีที่สอดคล้องกับผงใยอาหารที่เติมลงไปนั่นเอง

จากภาพรวมผลการวิเคราะห์ค่าสี พบว่า การเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์ตัวอย่างที่มีการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ ทำให้ตัวอย่างที่ได้มีเฉดสีเปลี่ยนไปจากสีของตัวอย่างที่ไม่มีสารเติมผงใยอาหาร (Control) ซึ่งเป็นสูตรพื้นฐาน โดยให้เฉดสีออกทางสีส้มแดงมากขึ้น เมื่อวิเคราะห์ค่า ΔE ซึ่งหมายถึงค่าการเปลี่ยนแปลงของสี ยืนยันให้เห็นว่า สิ่งทดลองที่ 6 ตัวอย่างที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรศ 2% ร่วมกับการใช้วุ้น 0.5% เป็นสารไฮโดรคอลลอยด์ ทำให้ค่าสีเปลี่ยนแปลงไปจากตัวอย่างที่ไม่มีสารเติมผงใยอาหาร (Control) น้อยที่สุด ($p < 0.05$) และ สิ่งทดลองที่ 10 ตัวอย่างที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรศ 10% ร่วมกับการใช้วุ้น 0.5% เป็นสารไฮโดรคอลลอยด์ ทำให้ค่าสีเปลี่ยนแปลงไปจากตัวอย่างที่ไม่มีสารเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรศ (Control) มากที่สุด ($p < 0.05$)

ตัวอย่างสูตรพื้นฐานที่ไม่มีสารเติมผงใยอาหาร ที่ใช้ในการงานวิจัยนี้ มี 2 สูตรคือ ตัวอย่างสูตรแคปไซซิน-คาราจีแนน (1%) และสูตรวุ้น (0.5%) โดยใช้ส่วนผสมอื่นเหมือนกัน ได้แก่ น้ำตาลทราย 4.00% น้ำตาลไอโซมอลทูลอส 2.00% น้ำนมถั่วเหลือง 25.00% และใช้น้ำ 68.00-68.5% การเติมน้ำตาลทราย (ซูโครส) เข้าไปในส่วนผสมมีหน้าที่หลักเป็นสารให้ความหวานที่มีคุณค่าทางโภชนาการ (Nutritive sweetener) น้ำตาลไอโซมอลทูลอส เป็นน้ำตาลโมเลกุลคู่ประกอบด้วย น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว 2 ชนิด ได้แก่ กลูโคสและฟรุกโตส ซึ่งเหมือนกับซูโครส แต่จะต่างกันที่พันธะที่ยึดระหว่างน้ำตาลทั้ง 2 ชนิด ไอโซมอลทูลอสมีคุณสมบัติที่ไม่ทำให้ฟันผุ (Non-cariogenic) นอกจากนี้ยังมีค่าดัชนีน้ำตาล (Glycemic index) ต่ำ (ธีรารัตน์ อธิธิโสภณกุล, ยิงวิทย์ เจริญสุวรรณ

กิจ และวิชชุณี ปิ่นเกตุ, 2553) อย่างไรก็ตามทั้งน้ำตาลทรายและน้ำตาลไอโซมอลทูลอส มีอิทธิพลต่อระบบโครงสร้างของเจลด้วยเช่นกัน กล่าวคือ การเติมน้ำตาลทำให้โอกาสการเกิดเจลสูงขึ้น เนื่องจากการเกิด Cross-linkage เพิ่มขึ้น โดยพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซี (Hydroxyl groups) ในน้ำตาลและสารไฮโคคอลลอยด์ (Stanley, 1995; สายสมร พูลพันธ์, 2547) สำหรับน้ำนมถั่วเหลือง เป็นแหล่งคุณค่าทางโภชนาการหลักของเต้าหู้ และให้กลิ่นรสที่เป็นเอกลักษณ์ นอกจากนี้ น้ำนมถั่วเหลืองซึ่งมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลัก มีคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับด้านความคงตัวของเจลได้ เช่น การทำปฏิกิริยาของโปรตีนในนมถั่วเหลืองกับการเจี้น้ำ ซึ่งขึ้นกับจำนวน และตำแหน่งของหมู่ซัลเฟต และปริมาณ 3,6-anhydro-D-galactose รวมทั้งค่า isoelectric point หากส่วนผสมมีค่าต่ำกว่า isoelectric point มีผลทำให้โปรตีนมีประจุบวก ส่วนการเจี้น้ำไม่มีค่า isoelectric point และมีประจุลบ ดังนั้นเมื่อผสมสารละลายโปรตีนกับการเจี้น้ำ จะเกิดปฏิกิริยา Protein cation กับ Carrageenan anion ได้เป็น Protein-carrageenan gel ซึ่งมีส่วนที่ทำให้เจลที่ได้มีความคงตัวขึ้น (สายสมร พูลพันธ์, 2547; พนอจิต ชองศิริ, 2543) จากสูตรพื้นฐานของเต้าหู้เย็นที่ใช้มีการใช้น้ำเป็นส่วนผสมปริมาณมากที่สุด โดยทำหน้าที่เป็นตัวทำละลายส่วนผสมและเป็นโครงสร้างหลักของระบบเจลที่เกิดขึ้น

แคปป์-การเจี้น้ำ เป็นสารไฮโคคอลลอยด์ที่ทำหน้าที่ในการเกิดเจล โครงสร้างเป็น galactose-4-sulfate ที่ต่อกันด้วยพันธะ 1-3 และต่อกับ 3,6-anhydro-D-galactose ด้วยพันธะ 1-4 ในโมเลกุลของ 3,6-anhydro-D-galactose คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 จะถูกเอสเตอริไฟด์ด้วยหมู่ซัลเฟต ประมาณ 20%-30% และบางส่วนของพันธะ 1-4 อาจเป็น galactose-6-sulfate แทน 3,6-anhydro-D-galactose สามารถละลายได้ที่อุณหภูมิสูงกว่า 70 องศาเซลเซียส ทำให้การเจี้น้ำที่อยู่ในรูปสารละลายในน้ำเป็นลักษณะของพอลิเมอร์ที่มีโมเลกุลเป็นสาย (Random coil) เมื่อทำให้เย็นลงจะเกิดโครงสร้างเป็นพอลิเมอร์ตาข่าย (Polymer network) 3 มิติ โดยแต่ละสายพอลิเมอร์จะรวมตัวกัน และเกิดจุดร่วม (Junction point) เมื่อปล่อยให้เย็นตัวลงอีกจะมีการเกาะตัวกันของ Junction point มากขึ้น ทำให้เกิดการแข็งตัวของเจล เรียกว่าเป็นกลไกการเกิดเจลแบบ Double-helix คือ สายพอลิเมอร์แต่ละสายเกิดการพันกันเป็นเกลียวในลักษณะเกลียวคู่ (Sharma, 1981; วราภรณ์ วิทยากรณ์, 2543; ศิวฒ ไทยอุดม, 2557) การเจี้น้ำสามารถเกิดเป็นเจลได้ที่อุณหภูมิห้อง ลักษณะเจลของแคปป์-การเจี้น้ำที่ได้จะมีเนื้อเจลใส แข็ง และมีรูปทรง ซึ่งไม่คงตัวต่อการแช่แข็ง-ละลายน้ำแข็ง มีโอกาสเกิด Syneresis อย่างไรก็ตามเมื่อนำมาใช้กับส่วนผสมที่มีโปรตีนเป็นส่วนประกอบ หมู่ซัลเฟตในโมเลกุลของการเจี้น้ำจะสามารถทำปฏิกิริยากับหมู่ที่มีประจุในโมเลกุลของโปรตีนได้ ทำให้เจลมีความคงตัวมากขึ้น (Glicksman, 1982)

วุ้น เป็นสารไฮโดรคอลลอยด์ที่ทำหน้าที่ในการเกิดเจล โครงสร้างประกอบด้วย agarose และ agaropectin ซึ่ง agarose เป็น โพลีแซคคาไรด์ประกอบด้วย 1,4 linked 3,6-anhydro-L-galactose และ 1,3 linked β -D-galactose เรียงสลับกันไป ส่วน agaropectin เป็นโพลีแซคคาไรด์ซัลเฟตที่มีโครงสร้างเหมือน agarose แต่ 3,6-anhydro-L-galactose บาง โมเลกุลถูกแทนที่ด้วยซัลเฟตประมาณ 5%-8% สามารถละลายได้ที่อุณหภูมิในช่วง 85-90 องศาเซลเซียส โดยเมื่อได้รับความร้อน โมเลกุลของ agarose ในสารละลายจะมีลักษณะเป็น Random coil ซึ่งในระยะนี้โครงสร้างของ โมเลกุลจะอยู่กันไม่เป็นระเบียบ กลไกการเกิดเจลเป็นแบบ Double-helix กล่าวคือเมื่ออุณหภูมิของสารละลายลดลง สายพอลิเมอร์แต่ละสายเกิดการพันกันเป็นเกลียวในลักษณะเกลียวคู่ เมื่อลดอุณหภูมิลงอีก ปลายสายของ Double helix แต่ละคู่จะรวมตัวเข้าไกลักกันและเกิดการเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไฮโดรเจน โดยจุดเชื่อมต่อนี้เรียกว่า Junction zone ซึ่งเมื่อเกาะรวมตัวกันมากขึ้นทำให้เกิดการแข็งตัวของเจลมากขึ้น (Dai & Matsukawa, 2012) โดยอุณหภูมิการเกิดเจลที่อุณหภูมิประมาณ 35-40 องศาเซลเซียส เจลที่ได้มีลักษณะเนื้อแข็ง ขุ่นสีเหลืองอ่อน เปราะแตกได้ง่าย (Brittle) เนื้อสัมผัสมีความชุ่มฉ่ำ (Juiciness) และกรอบ (Crunchy) และมีโอกาสเกิด Syneresis ได้ (Lahrech, Safouane, & Peyrelasse, 2005)

โดยกลไกการเกิดเจลของแคปไซซิน-คาราจีแนน และวุ้น มีลักษณะคล้ายกัน คือ การเกิดเจลในขั้นแรกต้องมีความร้อนเข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งความร้อนจะทำให้โมเลกุลของสารไฮโดรคอลลอยด์เปลี่ยนแปลงไป โดยเมื่อให้ความร้อนพันธะที่มีอยู่ตามธรรมชาติของสารไฮโดรคอลลอยด์แตกออกบางส่วน ทำให้โมเลกุลของแคปไซซิน-คาราจีแนนและวุ้น ซึ่งเป็นสารไฮโดรคอลลอยด์ขี้ออก เมื่ออุณหภูมิลดลงในขั้นตอนการทำให้เย็นกลไกการเกิดเจลของของแคปไซซิน-คาราจีแนน และวุ้นแม้เป็นกลไกการเกิดเจลเป็นแบบ Double-helix เหมือนกัน แต่มีความแตกต่างกัน กล่าวคือ การเกิดเจลของแคปไซซิน-คาราจีแนนนอกจากจะเกิดเจลขึ้นในแต่ละ โมเลกุลของคาราจีแนนเองแล้ว ยังเกิดเจลกับโมเลกุลอื่นด้วย เช่น โมเลกุลที่มีประจุบวก (cation) เช่น โปรตีน เกลือโพแทสเซียม สามารถทำปฏิกิริยาเกิดการจัดเรียงตัวกัน ซึ่งจะเพิ่มการเกิดเจลได้ (Carr, 1993) ในขณะที่วุ้นมีโครงสร้างเจลที่เกิดขึ้นในโมเลกุลของตัวเอง โดยองค์ประกอบของวุ้น เช่น agarose ไม่มีประจุที่มีหน้าที่เกี่ยวพัน (Entanglement) แต่ให้สายโซ่โมเลกุลให้มีความแข็งแรง ในขณะที่ agaropectin มีซัลเฟตไอออนน้อย แต่สามารถสร้างร่างแห (Network) กันเองได้ดีและแน่นหนาโดยพันธะไฮโดรเจน

ผงโยเกิร์ตที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส มีองค์ประกอบของทั้งโยเกิร์ตที่ละลายน้ำ และโยเกิร์ตที่ไม่ละลายน้ำ ซึ่งโครงสร้างของโยเกิร์ตทั้งสองชนิดนี้ มีหมู่ไฮดรอกซี

อิสระจำนวนมาก ที่สามารถจับกับน้ำได้ดี โดยโยอาหารที่ละลายน้ำ เช่น เพคติน กัม มีความสามารถในการอุ้มน้ำ และเพิ่มความหนืดให้กับสารละลาย รวมทั้งยังสามารถเกิดเจลได้ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม ขณะที่โยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ เช่น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส อาจไม่สามารถเกิดเจล แต่จะดูดซับน้ำปริมาณมากไว้ในส่วนที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) แล้วอาจเกิดการพองตัวได้

เต้าหู้เย็นจัดเป็นอาหารประเภทเจล ซึ่งอาหารประเภทเจลหมายถึง อาหารที่มีโครงสร้างของระบบคอลลอยด์ที่ไม่แสดงการไหล (No-steady-state flow) เป็นโครงสร้างที่ประกอบด้วยของแข็งที่มีอยู่ใน โครงสร้างทำหน้าที่ประสานกันเป็นร่างแห การเกิด โครงสร้างของเจลขึ้นอยู่กับสมดุลระหว่างแรงดึงดูดกับแรงผลัก ระหว่างอนุภาคคอลลอยด์ด้วยกันเอง และระหว่างอนุภาคคอลลอยด์และสารที่เป็นของเหลว (Schmidt, 1981) พันธะทางเคมีที่เกี่ยวข้องกับการรักษาโครงสร้างของเจล ได้แก่ พันธะไฮโดรเจน พันธะโควาเลนต์ พันธะเชิงไอออน และแรงดึงดูดไฮโดรโฟบิก (Damodaran, 1994; ปาริฉัตร หงสประภาส, 2545) หรือกล่าวได้ว่า เป็นอาหารที่อยู่ในระบบคอลลอยด์ที่มีอนุภาคของแข็งกระจายในตัวกลางที่เป็นของเหลว ระบบคอลลอยด์มีสถานะเป็นของกึ่งแข็ง เป็นระบบที่ไม่มีเสถียรภาพหรือไม่คงตัวในแง่ของเทอร์โมไดนามิกส์ (Thermodynamically unstable) ดังนั้นความคงตัวของคอลลอยด์จึงมีเวลาจำกัด ซึ่งจะเกี่ยวกับการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ด้วย โดยในระหว่างการเก็บผลิตภัณฑ์ประเภทเต้าหู้มีโอกาสเกิดการแยกตัวของน้ำ (Syneresis) ทำให้การยอมรับของผู้บริโภคลดลง การทำให้ระบบคอลลอยด์ของอาหารมีความคงตัวสูง เช่น การเพิ่มความหนืด การเลือกใช้สารที่ทำให้เกิดเจลที่เหมาะสม (ปาริฉัตร หงสประภาส, 2545)

จากตารางที่ 4-42 พบว่า ปริมาณการเติมผงโยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส และการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์มีอิทธิพลร่วมกันกับลักษณะเนื้อสัมผัส วิเคราะห์ด้วยวิธี TPA แสดงให้เห็นว่าปริมาณการเติมผงโยอาหาร 2%-10% ในเต้าหู้เย็นมีผลต่อระบบการเกิดเจล แนวทางการพิจารณาคือหากปริมาณผงโยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระที่เติมลงไปช่วยเสริมให้เจลของคาราจีแนนและวุ้นมีความแข็งแรง ช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสที่เปราะและแตกง่ายให้เป็นเจลที่มีความยืดหยุ่นดีขึ้น และทำให้เกิดการแยกตัวของน้ำ (Syneresis) น้อยลง และยังคงได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคจึงเป็นผลเชิงบวก แต่ถ้าเติมผงโยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสนั้นปริมาณมาก เกิดการรบกวนระบบการเกิดเจลไปมาก และส่งผลต่อการยอมรับจากผู้บริโภคจึงเป็นผลเชิงลบ ลักษณะเนื้อสัมผัสที่วิเคราะห์ด้วยวิธี Texture Profile Analysis โดยใช้เครื่องมือ มี 7 พารามิเตอร์ โดยแต่ละพารามิเตอร์มีความหมายดังนี้ (ดัดแปลงจาก Civille & Szczesniak, 1973)

1) ค่า Hardness (ความแข็ง) หมายถึง แรงที่ใช้ในการทำให้ตัวอย่างเสียรูปร่าง (หน่วยคือ g) หรือเทียบได้กับการเคี้ยวครั้งแรก หากมีค่า Hardness มากแสดงถึงเต้าหู้เหียนมีความแข็งมากต้องใช้แรงในการกดมาก

2) ค่า Adhesiveness (ความสามารถในการยึดเกาะผิววัสดุ) หมายถึง งานที่ใช้ในการเอาชนะแรงระหว่างพื้นผิวของตัวอย่างกับพื้นผิวของวัสดุที่ตัวอย่างสัมผัสอยู่ (หน่วย คือ g.sec) หรือเทียบได้กับความสามารถในการยึดติดของชิ้นอาหารกับพื้นขณะเคี้ยว

3) ค่า Springiness (ความยืดหยุ่น) หมายถึง อัตราการคืนรูปของวัสดุหลังจากการถูกกด หรือเทียบได้กับระดับความสามารถในการคืนตัวกลับมาเหมือนเดิม เมื่อมีการถอนแรงกดออกไปจากเต้าหู้เหียน

4) ค่า Cohesiveness (ความสามารถเกาะรวมตัวกัน) หมายถึง ขอบเขตของวัสดุที่สามารถเสียรูปก่อนที่จะเกิดการแตกหัก หรือเทียบได้กับความสามารถในการยึดเกาะกันภายในอาหาร

5) ค่า Gumminess (ความเหนียวเป็นยางหรือกาว) หมายถึง แรงที่ต้องใช้ในการแยกตัวอย่างที่เป็นกิ่งของแข็งจนกระทั่งเสียรูป (หน่วยคือ g) หรือเทียบได้กับ พลังงานที่ใช้ในการเคี้ยวเต้าหู้เหียน ในอัตราการเคี้ยวที่คงที่จนกระทั่งสามารถที่จะกลืนได้ ในด้านการคำนวณได้จากผลคูณของค่า Hardness กับค่า Cohesiveness

6) ค่า Chewiness (การทนต่อการเคี้ยว) หมายถึง แรงที่ใช้ในการเคี้ยวหรือบดตัวอย่างจนกระทั่งเสียรูป (หน่วยคือ g) หรือเทียบได้กับ ระยะเวลาที่ใช้ในการเคี้ยวบดเต้าหู้เหียนในอัตราการเคี้ยวที่คงที่จนกระทั่งสามารถกลืนได้ ในด้านการคำนวณได้จากผลคูณของค่า Gumminess กับค่า Springiness

7) ค่า Resilience คือ ความสามารถในการหดตัวได้โดยยังไม่เสียรูปร่าง

จากตารางที่ 4-44 แสดงผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสจากการวิเคราะห์ด้วยวิธี TPA ของเต้าหู้เหียน เมื่อแปรปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมและการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ เมื่อพิจารณาค่า Hardness พบว่า เต้าหู้เหียนทั้งสูตรแคปไซซิน-คาราจีแนนและสูตรวุ้น เมื่อเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระปริมาณมากขึ้นถึง 8% มีผลทำให้ค่า Hardness เพิ่มขึ้นด้วย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมมีความสามารถในการอุ้มน้ำ และดูดซับน้ำไว้ภายในโครงสร้างของใยอาหาร ทำให้เพิ่มความหนืดให้กับระบบเจล เมื่อเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมในปริมาณที่มากขึ้นทำให้น้ำในระบบของคาราจีแนน และวุ้นน้อยลง ของเหลวที่ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างหลักของระบบเจลจึงมีปริมาณน้อยลงในขณะที่มีส่วนของแข็งเพิ่มขึ้น ลักษณะเนื้อสัมผัสของเต้าหู้เหียนที่ได้

จึงมีความแข็งขึ้น สอดคล้องกับ ชีรนุช ฉายศิริ และสุวรรณ พิษัยยงค์ดี (2558) รายงานว่าการเติมใยอาหารจากเปลือกส้มโอผงในสูตรการผลิตเต้าหู้นมสดในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ทำให้เต้าหู้นมสดมีแนวโน้มค่า Hardness และค่า Springiness สูงขึ้น เนื่องจากเปลือกส้มโอผงที่ผ่านการอบแห้งมีกากใยสามารถดูดน้ำในส่วนผสม จึงทำให้เต้าหู้นมสดมีความแข็งและปริมาณใยอาหารผงที่ใช้ยังมีผลให้เต้าหู้นมสดมีความอยู่ตัวเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นจากผลการทดลองนี้จึงพบว่า เมื่อมีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระในปริมาณมากขึ้นถึง 8% ทำให้ปริมาณของแข็งในระบบเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งของแข็งนี้ต้องการน้ำในการทำละลาย ดังนั้นด้วยสมบัติของใยอาหารและไฮโดรคอลลอยด์ที่มีความสามารถจับกับน้ำได้ดี จึงทำให้ระบบเจลของคาราจีแนนและวุ้นมีความหนืดมากขึ้น เมื่อทำให้เย็นตัวลงเต้าหู้เย็นที่ได้จะมีลักษณะแข็งมากขึ้น

อย่างไรก็ตามจากผลการทดลอง พบว่า เมื่อเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระปริมาณมากที่สุดถึง 10% ค่า Hardness กลับลดลง โดยสิ่งทดลองที่ 5 เต้าหู้เย็นที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 10% ร่วมกับการใช้แคปไซซิน-คาราจีแนน 1% มีค่า Hardness ต่ำที่สุดเท่ากับ 649.419 g ($p < 0.05$) ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 10 เต้าหู้เย็นที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 10% ร่วมกับการใช้วุ้น 0.5% มีค่า Hardness เท่ากับ 1338.034 g ($p < 0.05$) ซึ่งมีค่า Hardness ไม่แตกต่างจากเต้าหู้เย็นที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 2-6% ร่วมกับการใช้วุ้น 0.5% ทั้งนี้อาจเนื่องจากการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสในปริมาณ 10% เป็นการเพิ่มปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำได้ เช่น เพคติน และกัม ได้มากเพียงพอซึ่งมีความสามารถในการเกิดเจลได้ ทำให้ในส่วนผสมมีสารที่ทำหน้าที่ในการเกิดเจลเพิ่มขึ้น เมื่อปล่อยให้เย็นตัวลงเนื้อสัมผัสของเต้าหู้เย็นนี้จึงมีความแข็งลดลง

จากตารางที่ 4-44 สำหรับค่า Adhesiveness (ความสามารถในการยึดเกาะผิววัสดุ) พบว่า สิ่งทดลองที่ 5 เต้าหู้เย็นที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 10% ร่วมกับการใช้แคปไซซิน-คาราจีแนน 1% มีค่า Adhesiveness สูงที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ -1434.679 ($p < 0.05$) ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 1 เต้าหู้เย็นที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 2% ร่วมกับการใช้แคปไซซิน-คาราจีแนน 1% และสิ่งทดลองที่ 6 เต้าหู้เย็นที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 2% ร่วมกับการใช้วุ้น 0.5% มีค่า Adhesiveness ต่ำที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ -232.403 และ -240.267 g.sec ตามลำดับ ($p < 0.05$) ซึ่งจะเห็นว่าค่า Adhesiveness ต่ำกว่าถึงประมาณ 1200 g

ผงโยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสที่พัฒนาได้นี้มีองค์ประกอบของโยอาหารที่ละลายน้ำได้ 16.32 กรัม/100กรัม ซึ่งโยอาหารที่ละลายน้ำได้นี้ มีสมบัติในการเพิ่มความหนืด และสามารถเกิดเจลได้ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม ตัวอย่างของโยอาหารที่ละลายน้ำได้ เช่น เพคติน และกัม เป็นต้น ดังนั้นการเติมผงโยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสเพิ่มมากขึ้นในส่วนผสมการทำเต้าหู้เย็น จึงเป็นการเพิ่มองค์ประกอบของสารที่ทำให้เกิดเจลในระบบนั่นเอง เมื่อนำมาละลายน้ำและผสมร่วมกับส่วนผสมอื่น ทำให้ได้ลักษณะส่วนผสมที่มีความหนืดมากขึ้น เจลที่ได้จึงมีลักษณะเหนียวและยึดติดกับพื้นผิวมากขึ้น จึงต้องใช้งานในการเอาชนะแรงระหว่างพื้นผิวของตัวอย่างกับพื้นผิวของวัสดุที่ตัวอย่างสัมผัสอยู่มากขึ้น

จากตารางที่ 4-44 สำหรับค่า Springiness (ความยืดหยุ่น) เมื่อพิจารณาเต้าหู้เย็นสูตรวันพบว่า การเติมปริมาณผงโยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสเพิ่มขึ้น มีแนวโน้มทำให้ค่า Springiness ลดลง โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.463-0.646 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเจลที่เกิดจากการใช้วุ้นเป็นไฮโดรคอลลอยด์ เนื้อเจลที่ได้จะมีความใส แข็ง และกรอบ (EntryKitchen, 2010) ซึ่งกลไกการเกิดเจลของวุ้น เกิดเมื่อได้รับความร้อนและหลอมละลายอยู่ในรูปของเหลว ซึ่งโมเลกุลของวุ้นในสารละลายจะมีลักษณะเป็น random coil โครงสร้างโมเลกุลอยู่กันอย่างไม่เป็นระเบียบ เมื่อเติมผงโยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ผงโยอาหารเกิดการดูดซับน้ำไว้มาก ทำให้ส่วนผสมมีความหนืดมากขึ้น เมื่อปล่อยให้เย็นตัวลง สายพอลิเมอร์ของวุ้นกับโยอาหารจะเกาะรวมตัวกัน ทำให้ลักษณะเจลที่ได้ค่อนข้างคงตัวและมีความยืดหยุ่นน้อยลง ซึ่งมีลักษณะเป็น Elastic น้อย ในขณะที่เต้าหู้เย็นสูตรแคปป์-คาราจีแนน เมื่อปริมาณเติมผงโยอาหารจากเปลือกเสาวรส 2% มีผลทำให้ค่า Springiness สูงที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 0.681 ($p < 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเกิดเจลของเต้าหู้เย็น เป็นผลจากเจลของแคปป์-คาราจีแนนร่วมด้วย ซึ่งเป็นเจลจากการเกิดปฏิกิริยาระหว่าง Protein cation ของโปรตีนจากน้ำนมถั่วเหลือง กับ Carrageenan anion ของแคปป์คาราจีแนน ได้เป็น Protein carrageenan gel จึงมีโอกาที่ได้เจลที่ได้มีความแข็งแรงมาก มีคงตัวและยืดหยุ่นมาก การเติมผงโยอาหารในปริมาณต่ำเพียง 2% แม้อาจมีผลต่อการแย่งการอุ้มน้ำในระบบเจล แต่อาจไม่ได้ไปเปลี่ยนแปลงระบบการเกิดเจลมากนัก และเมื่อทำให้เย็นจึงยังเกิดเป็นโครงสร้างสามมิติ (Junction zone) ได้เจลที่ยังคงมีลักษณะที่ยืดหยุ่นตามลักษณะเจลปกติ แต่เมื่อเติมผงโยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสในปริมาณเพิ่มขึ้นเป็น 4% ทำให้ค่า Springiness ลดลง ทั้งนี้เนื่องมาจากการเติมผงโยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระเป็นการเพิ่มปริมาณของแข็งในส่วนผสม เนื่องจากผงโยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมี้องค์ประกอบของโยอาหารที่ไม่ละลายน้ำปริมาณมาก (66.00 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) การเติมผงโยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 4% จึงอาจจะทำให้ส่วนผสมมีของแข็งที่ไม่ละลายน้ำ แต่

สามารถดูดซับน้ำไว้มีสัดส่วนมากขึ้น ทำให้เจลที่ได้มีความยืดหยุ่นน้อยลง อย่างไรก็ตามพบว่าเมื่อเติมในปริมาณที่เพิ่มขึ้นจนถึง 10% มีแนวโน้มทำให้ค่า Springiness สูงขึ้นเรื่อย ๆ จนสิ่งทดลองที่ 5 เค้าหู้เย้นที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรศ มีค่า Springiness (0.691) สูงที่สุด ทั้งนี้อาจเนื่องจากการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรศ ในปริมาณ 10% เป็นการเพิ่มปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำได้ เช่น เพคติน และกัม ได้มากเพียงพอซึ่งมีความสามารถในการเกิดเจลได้ ทำให้ในส่วนผสมมีสารที่ทำหน้าที่ในการเกิดเจลเพิ่มขึ้น เมื่อปล่อยให้เย็นตัวลงเนื้อสัมผัสของเค้าหู้เย้นนี้จึงมีความยืดหยุ่นมาก

จากตารางที่ 4-44 สำหรับค่า Cohesiveness (ความสามารถเกาะรวมตัวกัน) พบว่า การเติมปริมาณผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรศเพิ่มขึ้น มีแนวโน้มทำให้ค่า Cohesiveness สูงขึ้น อยู่ในช่วง 0.177-0.320 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกลไกการเกิดเจลของวุ้น เกิดเมื่อได้รับความร้อนและหลอมละลายอยู่ในรูปของเหลว ซึ่งโมเลกุลของวุ้นในสารละลายจะมีลักษณะเป็น random coil โครงสร้างโมเลกุลอยู่กันอย่างไม่เป็นระเบียบ เมื่อเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรศในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ผงใยอาหารเกิดการดูดซับน้ำไว้มาก ทำให้ส่วนผสมมีความหนืดมากขึ้น เมื่อปล่อยให้เย็นตัวลง สายพอลิเมอร์ของวุ้นกับใยอาหารจะเกาะรวมตัวกันแน่น ทำให้ความสามารถในการยึดเกาะกันภายในอาหารมาก ต้องใช้แรงในการแยกตัวอย่างจนเสียรูปหรือกล่าวได้ว่าต้องใช้พลังงานในการเคลื่อนที่ก่อนกลืนมาก รวมถึงเทียบได้กับการใช้ระยะเวลาในการเคลื่อนที่ก่อนกลืนนั่นเอง ซึ่งเห็นได้จากสิ่งทดลองที่ 6 เค้าหู้เย้นที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 2% ร่วมกับการใช้วุ้น 0.5% เป็นสารไฮโดรคอลลอยด์ ทำให้เค้าหู้เย้นมีค่า Cohesiveness ค่าที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 0.177 ($p < 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากการใช้วุ้นเป็นสารไฮโดรคอลลอยด์จะได้เจลที่มีลักษณะที่ค่อนข้างกรอบ (EntryKitchen, 2010) เมื่อเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรศในระดับต่ำ จึงไม่ได้ไปปรับกวนระบบเจลมากนัก โครงสร้างเจลที่ได้เกิดจากการเกาะกันของวุ้นกับน้ำเป็นหลัก ดังนั้นเค้าหู้เย้นที่ได้จึงมีลักษณะลักษณะกรอบ เนื่องจากมีการเกาะรวมตัวกันภายในโครงสร้างน้อย

ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 5 เค้าหู้เย้นที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 10% ร่วมกับการใช้แคปไซซิน-คาราจีแนน 1% เป็นสารไฮโดรคอลลอยด์ ทำให้เค้าหู้เย้น มีค่า Cohesiveness เท่ากับ 0.475 g ($p < 0.05$) ทั้งนี้เนื่องมาจากกลไกการเกิดเจลของแคปไซซิน-คาราจีแนน เกิดแบบ double-helix carrageenan polymers แคปไซซิน-คาราจีแนนที่อยู่ในรูปสารละลายในน้ำจะเป็นลักษณะของพอลิเมอร์ที่มีโมเลกุลเป็นสาย ในส่วนผสมที่มีประจุบวกของน้ำนมถั่วเหลืองทำให้เจลมีความคงตัวและยืดหยุ่นมากขึ้น เมื่อเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรศ ผงใยอาหารสามารถอุ้มน้ำ และดูดซับน้ำไว้ภายในโครงสร้างของใยอาหาร ทำให้เกิดลักษณะพองตัว นอกจากนี้

ยังเป็นการเพิ่มปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำได้ เช่น เพคติน กัม ซึ่งมีความสามารถทำให้เกิดลักษณะเจลได้ ทำให้ส่วนผสมมีลักษณะข้นหนืด และสามารถรวมตัวเกาะกันแน่นกับโครงสร้างเจลของคาราจีแนนได้ จึงทำให้เกิดการยึดเกาะกันได้ดี Sperling (2006) กล่าวว่า ความสามารถในการเกาะตัวกันของอาหารเจลเกี่ยวข้องกับระยะห่างและความแข็งแรงของพันธะในการเกาะตัวกันของร่างแหของสารที่ทำให้เกิดเจลกับของแข็ง โดย Szczesniak (1987) กล่าวว่า ค่า Cohesiveness หมายถึงพลังงานยึดเกาะกันภายในอาหาร หากมีค่ามากหมายถึงมีความแข็งแรงของพันธะที่เกาะตัวกันในโครงสร้างมากนั่นเอง

จากตารางที่ 4-45 ค่า Gumminess (ความเหนียวเป็นยางหรือกาว) และค่า Chewiness (การทนต่อการเคี้ยว) มีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน หากพิจารณาจากนิยามและการคำนวณค่าของพารามิเตอร์ดังกล่าว พบว่า มีความสัมพันธ์กันโดยค่า Gumminess ที่หาได้จากผลคูณของค่า Hardness กับค่า Cohesiveness นอกจากนี้ค่า Gumminess ก็มีความสัมพันธ์กันกับ ค่า Chewiness ด้วยเช่นกัน กล่าวคือ หากค่า Gumminess มาก แสดงถึง ความสามารถในการยึดเกาะกันภายในอาหารมาก จึงมีความเกี่ยวข้องกับแรงที่ใช้ในการเคี้ยวหรือบดตัวอย่างจนกระทั่งเสียรูป หรือเทียบได้กับการใช้ระยะเวลาในการเคี้ยวก่อนกลืนนั่นเอง ซึ่งสอดคล้องกับการคำนวณค่า Chewiness ที่หาได้จากผลคูณของค่า Gumminess กับค่า Springiness

เมื่อพิจารณาค่า Gumminess และ Chewiness พบว่า เค้าผู้เขียนสูตรแคปป์-คาราจีแนนที่เติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระปริมาณ 2% มีผลทำให้ค่า Gumminess และ Chewiness มีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 476.530 g และ 326.655g ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเติมผงใยอาหารในปริมาณต่ำเพียง 2% อาจไม่ได้ไปเปลี่ยนแปลงระบบการเกิดเจลมากนักจึงยังได้เจลที่มีความแข็งแรง มีความยืดหยุ่นตามลักษณะเจลปกติ แต่เมื่อเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสในปริมาณเพิ่มขึ้นเป็น 4%-10% ทำให้ค่า Gumminess และ Chewiness ลดลง อยู่ในช่วง 304.517 g-407.258 g และ 170.363 g-247.763 g ทั้งนี้เนื่องมาจากการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระเป็นการเพิ่มปริมาณของแข็งในส่วนผสม เนื่องจากผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมีองค์ประกอบของใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำปริมาณมาก (66.00 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) การเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระมากขึ้นจึงอาจจะทำให้ส่วนผสมมีของแข็งที่ไม่ละลายน้ำ แต่สามารถดูดซับน้ำไว้มีสัดส่วนมากขึ้น ทำให้เจลที่ได้มีความแข็งแรงและยืดหยุ่นน้อยลงจึงต้องใช้แรงในการแยกตัวอย่างจนเสียรูปหรือกล่าวได้ว่าต้องใช้พลังงานในการเคี้ยวก่อนกลืนน้อยนั่นเอง โดยพบว่า เมื่อเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระปริมาณมากที่สุดถึง 10% ร่วมกับการใช้แคปป์-คาราจีแนน 1% ค่า Gumminess และ ค่า Chewiness ต่ำที่สุด เท่ากับ 304.517 g และ 212.292 g ตามลำดับ ($p < 0.05$)

ค่า Gumminess และ ค่า Chewiness เมื่อพิจารณาเต้าหู้ยีสีสตรูว์น พบว่า เมื่อเติมใยอาหารเพิ่มขึ้น มีแนวโน้มให้ค่า Gumminess และ ค่า Chewiness เพิ่มขึ้นด้วย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส มีความสามารถในการอุ้มน้ำ และดูดซับน้ำไว้ในโครงสร้างของใยอาหาร ทำให้เพิ่มความหนืดให้กับระบบเจล เมื่อเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสในปริมาณที่มากขึ้น ทำให้น้ำในระบบของน้อยลง ของเหลวที่ทำหน้าที่เป็น โครงสร้างหลักของระบบเจลจึงมีปริมาณน้อยลงในขณะที่มีส่วนของแข็งเพิ่มขึ้น ลักษณะเนื้อสัมผัสของเต้าหู้ยีสีสตรูว์นที่ได้จึงมีความแข็งขึ้น จึงต้องใช้แรงในการแยกตัวอย่างจนเสียรูปหรือกล่าวได้ว่าต้องใช้พลังงานในการเคี้ยวก่อนกลืนมากนั่นเอง โดยพบว่าเต้าหู้ยีสีสตรูว์นที่เติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระปริมาณ 10% มีค่า Gumminess และ ค่า Chewiness สูงที่สุด เท่ากับ 408.431g และ 189.360 g ตามลำดับ

สำหรับค่า Resilience (ความหดตัวได้) จากผลการวิเคราะห์ พบว่า เต้าหู้ยีสีสตรูว์นเมื่อมีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระต่างกัน มีแนวโน้มให้ค่า Resilience ที่วัดได้ไม่แตกต่างกันมากนัก อยู่ในช่วง 0.024-0.064 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเต้าหู้ยีสีสตรูว์นนี้มีความสามารถในการหดตัวได้โดยยังไม่เสียรูปร่างไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเจลที่เกิดจากการใช้วุ้นเป็น ไฮโดรคอลลอยด์ เนื้อเจลที่ได้จะมีความใส แข็ง และกรอบ (EntryKitchen, 2010) อยู่แล้ว การเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสเป็นการเพิ่มของแข็งให้กับส่วนผสม เมื่อเย็นตัวลงลักษณะเนื้อเจลที่ได้ค่อนข้างคงตัว ยังคงมีความแข็ง คงรูปตามลักษณะเจลที่ได้จากสาร ไฮโดรคอลลอยด์ที่ใช้นั่นเอง จึงทำให้การยืดหดตัวไม่แตกต่างกัน ในขณะที่เต้าหู้ยีสีสตรูว์นแคปป์-คาราจีแนนที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสในปริมาณต่ำเพียง 2% มีผลให้ค่า Resilience สูงที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากโดยปกติเจลที่ได้จากแคปป์-คาราจีแนน จะมีลักษณะใส คงตัวดี และยืดหยุ่นอยู่แล้ว เมื่อเติมผงใยอาหารจากที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสในปริมาณน้อยเพียง 2% ทำให้เนื้อสัมผัสของเจลที่ได้ยังคงคล้ายกับเต้าหู้ยีสีสตรูว์นที่ได้จากการใช้แคปป์-คาราจีแนนปกติ คือมีความยืดหยุ่น และสามารถหดตัวได้ด้วย

จากผลการทดลองวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องมือวัดข้างต้น เห็นได้ว่าปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสและการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ที่แตกต่างกัน ส่งผลให้ทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของเต้าหู้ยีสีสตรูว์นที่ผลิตได้แตกต่างกันออกไปด้วย โดย

ไฮโดรคอลลอยด์ที่ใช้ ทั้ง 2 ชนิดมีกลไกการเกิดเจลต่างกัน และให้เนื้อสัมผัสของเจลที่ได้ก็มีความแตกต่างกัน รวมถึงปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสก็มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของเต้าหู้เย็นเช่นกัน ซึ่งนอกจากการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องมือวัดแล้ว ในงานวิจัยนี้ยังมีการทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาด้วยวิธี QDA โดยให้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝน ซึ่งเป็นอีกวิธีหนึ่งในการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส เพื่อเปรียบเทียบกับลักษณะเนื้อสัมผัสที่ได้จากเครื่องมือวัด จากตารางที่ 4-47 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของความเข้มข้นคุณลักษณะเต้าหู้เย็นจากการประเมินด้วยวิธี QDA พบว่า ปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสดและการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ มีอิทธิพลร่วมกันต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านสีน้ำตาล ความเป็นเนื้อเดียวกัน การแยกตัวของน้ำ ความแข็ง ความสากลิ้น และความง่ายในการกลืนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) จากตารางที่ 4-48 ผลการประเมินความเข้มของคุณลักษณะเต้าหู้เย็นจากการทดลองด้วยวิธี QDA พบว่า เต้าหู้เย็นทั้งสูตรแคปไซซิน-การจีแนนและสูตรวัน เมื่อเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระในปริมาณที่เพิ่มขึ้น มีแนวโน้มทำให้คะแนนคุณลักษณะด้านการแยกตัวของน้ำ และความง่ายในการกลืนลดน้อยลง ($p < 0.05$) ในขณะที่สีน้ำตาล ความเป็นเนื้อเดียวกัน ความแข็ง ความสากลิ้นเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสที่ใช้เป็นส่วนผสมในเต้าหู้เย็น ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระที่มีสีออกทางม่วงแดงอ่อน เมื่อนำมาละลายน้ำ ทำให้เกิดการอุ้มน้ำและพองตัว สังเกตเห็นว่าสารละลายผงใยอาหารมีสีออกส้มแดง และเมื่อผสมในเต้าหู้เย็นทั้งสูตรแคปไซซิน-การจีแนน และสูตรวันที่มีสีเหลืองอ่อนมาจากน้ำนมถั่วเหลือง ทำให้สีของเต้าหู้เย็นเปลี่ยนไปจากเหลืองอ่อนเป็นสีออกทางน้ำตาลเข้มขึ้นตามปริมาณการเติมผงใยอาหาร นอกจากสีที่เปลี่ยนไปแล้ว ยังทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของเต้าหู้เย็นเปลี่ยนไปด้วย โดยการเติมผงใยอาหารในปริมาณที่มากขึ้น ทำให้การแยกตัวของน้ำในเต้าหู้เย็นลดลง ในขณะที่ความแข็งและความสากลิ้นเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระที่เติมในระบบเจลของแคปไซซิน-การจีแนน และวัน มีสมบัติเชิงหน้าที่ที่ดี สามารถดูดซับน้ำไว้ในโครงสร้างของใยอาหารได้ จากการที่ใยอาหารมีทั้งส่วนที่เป็นใยอาหารที่ละลายน้ำ สามารถดูดซับน้ำไว้และเพิ่มความหนืด และบางครั้งเกิดเจลได้ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม และใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ไม่สามารถเกิดเจลแต่จะดูดซับน้ำปริมาณมากไว้ในส่วนที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) แล้วอาจเกิดการพอง

ตัวได้ (หยาดฝน ทนงการกิจ , 2557; Lertphatcharanon , 2007) ดังนั้นเต้าหู้เย็นทั้งสูตรแคปป์-คาราจีแนน และวุ้น เมื่อเติมผงโยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสีในปริมาณที่มากขึ้น ทำให้เนื้อสัมผัสเต้าหู้เย็นมีความแข็ง ความเหนียวหนืดมากขึ้น ส่งผลให้ผู้ทดสอบรับรู้ถึงความแข็งแรง และความสากลื่นที่มากขึ้น คะแนนความง่ายในการกลืนของเต้าหู้เย็นจึงลดลงนั่นเอง

จากตารางที่ 4-49 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ความชอบเต้าหู้เย็น พบว่าอิทธิพลร่วมของปัจจัยด้านปริมาณการเติมผงโยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสีและการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์มีผลต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น ความง่ายในการเคี้ยว และความง่ายในการกลืนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ยกเว้นคุณลักษณะด้านสี รสชาติ และความชอบโดยรวม

จากตาราง 4-50 เมื่อพิจารณาผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยรวมทุกด้าน พบว่าสิ่งทดลองที่ 1 เต้าหู้เย็นที่มีการเติมโยอาหารผงที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 2% ร่วมกับการใช้แคปป์-คาราจีแนน 1% และสิ่งทดลองที่ 2 เต้าหู้เย็นที่มีการเติมโยอาหารผงที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 4% ร่วมกับการใช้แคปป์-คาราจีแนน 1% ได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ความง่ายในการเคี้ยว ความง่ายในการกลืน และความชอบโดยรวมอยู่ในระดับสูงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) (อยู่ในช่วง 6.33-7.60 คะแนน) แสดงให้เห็นว่าเต้าหู้เย็นที่มีการใช้แคปป์-คาราจีแนนเป็นสารไฮโดรคอลลอยด์ร่วมกับการเติมผงโยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระในระดับต่ำไม่เกิน 4% ได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสจากผู้สูงอายุมากกว่าสิ่งทดลองอื่น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเต้าหู้เย็นสูตรแคปป์-คาราจีแนน ให้ลักษณะเจลที่ค่อนข้างนิ่ม และมีความยืดหยุ่นสูง เมื่อมีการเติมผงโยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสีในระดับต่ำ 2%-4% สามารถช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสของเต้าหู้เย็นให้มีลักษณะปรากฏที่ดี ไม่ลื่นและยืดหยุ่นจนเกินไป ส่งผลให้มีความง่ายในการเคี้ยว และมีความง่ายในการกลืนสูงกว่าเมื่อเทียบกับเต้าหู้เย็นที่มีการเติมผงโยอาหารปริมาณสูงเกิน 4% ซึ่งทำให้เต้าหู้เย็นที่ได้มีความแข็งมากขึ้น ผู้สูงอายุจึงรับรู้ถึงลักษณะของความแข็ง ซึ่งส่งผลให้ยากต่อการเคี้ยว และการกลืนของผู้สูงอายุ ดังนั้นเต้าหู้เย็นที่มีการใช้แคปป์-คาราจีแนนเป็นสารไฮโดรคอลลอยด์ ร่วมกับการเติมผงโยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระในระดับต่ำ ไม่เกิน 4% จึงได้รับคะแนนโดยรวมทุกด้านในระดับสูงมากกว่าสิ่งทดลองอื่นนั่นเอง

เมื่อพิจารณาจากคะแนนความชอบโดยรวมตามเกณฑ์การคัดเลือกสิ่งทดลองที่เหมาะสม พบว่า ทุกสิ่งทดลองมีคะแนนความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) ดังนั้นจึงพิจารณาความชอบคุณลักษณะด้านอื่น ๆ ประกอบการตัดสินใจ เมื่อพิจารณาด้านความง่ายในการเคี้ยวและความง่ายในการกลืน พบว่า สิ่งทดลองที่ 1 เต้าหู้เย็นที่มีการเติมผงโยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ

2% ร่วมกับการใช้แคปปา-คาราจีแนน 1% และสิ่งทดลองที่ 2 เค้าผู้เขียนที่มีการเติมผงโยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 4% ร่วมกับการใช้แคปปา-คาราจีแนน 1% ได้รับคะแนนความง่ายในการเคี้ยวและความง่ายในการกลืนสูงที่สุด ($p < 0.05$) เท่ากับ 7.36 และ 7.60 ตามลำดับ อยู่ในระดับขอบปานกลาง อย่างไรก็ตามจากเกณฑ์ที่กำหนดไว้ว่าให้เลือกสิ่งทดลองที่ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุดที่สามารถเติมผงโยอาหารมีสารต้านอนุมูลอิสระได้มากที่สุด ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกสิ่งทดลองที่ 2 คือ เค้าผู้เขียนที่มีการเติมผงโยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 4% ร่วมกับการใช้แคปปา-คาราจีแนน 1% ใช้เป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบของเค้าผู้เขียนที่เป็นอาหารเจลได้ โดยสิ่งทดลองดังกล่าวนี้ได้รับคะแนนความชอบโดยรวม 7.17 คะแนน ซึ่งอยู่ในระดับขอบปานกลาง

Hayakawa et al. (2014) ได้ศึกษาลักษณะของความยากในการกลืนเจลไฮโดรคอลลอยด์ที่เป็นอาหารเจลต้นแบบ โดยผลิตเจลที่มีช่วงกว้างของเนื้อสัมผัสแตกต่างกัน 20 ตัวอย่าง ใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนมาประเมินความยากในการกลืนของเจลแต่ละตัวอย่างบนสเกลเส้นตรง 15 เซนติเมตร โดยสามารถร่วมกันคิดคำศัพท์ของลักษณะเนื้อสัมผัสได้ 6 คำศัพท์ ได้แก่ ความแน่นเนื้อ (Firmness) ความยากในการตัด (Cutting effort) ความยืดหยุ่น (Elasticity) การแผ่ขยาย (Extensibility) การยึดเกาะ (Adhesiveness) และอัตราการหลอมเหลวในปาก (Melting rate in the mouth) การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักวิธี PCA พบว่าองค์ประกอบที่ 1 เกี่ยวข้องกับความต้านทานการแตกหัก (Fracture) และองค์ประกอบที่ 2 เกี่ยวข้องกับความเหนอะ (Stickiness) ความยืดหยุ่น (Flexibility) การวิเคราะห์ PCA ของค่าจากเครื่องมือสามารถจัดได้เป็น 2 องค์ประกอบ (PC) เนื่องจากเป็น PC ที่มีค่า Eigen values มากกว่า 1 อธิบายความผันแปรสะสมได้ 85.5% โดย PC1 และ PC2 อธิบายความผันแปรได้ 52.4% และ 33.1% ตามลำดับ PC1 พารามิเตอร์มีความสัมพันธ์กันมากไปในทิศทางบวก ประกอบด้วย Fracture force, Fracture distance, Hardness และ Cohesiveness ซึ่งเกี่ยวข้องกับ การความต้านทานการแตกหัก (Fracture) สำหรับ PC2 พารามิเตอร์ที่มีความสัมพันธ์กันมากไปในทิศทางบวก ประกอบด้วย Adhesiveness Cohesiveness และ Fracture distance ซึ่งเกี่ยวข้องกับและ ความเหนอะและความยืดหยุ่น การวิเคราะห์ PCA ของการประเมินลักษณะเนื้อสัมผัสสามารถจัดได้เป็น 2 องค์ประกอบ เนื่องจากเป็น PC ที่มีค่า Eigen values มากกว่า 1 อธิบายความผันแปรสะสมได้ 85.6% โดย PC1 และ PC2 อธิบายความผันแปรได้ 58.6% และ 26.9% ตามลำดับ PC1 พารามิเตอร์มีความสัมพันธ์กันมากไปในทิศทางบวก ประกอบด้วย ความยากในการตัด (Cutting effort) ความยืดหยุ่น (Elasticity) ความแน่นเนื้อ (Firmness) และการแผ่ขยาย (Extensibility) ซึ่งเกี่ยวข้องกับ การความต้านทานการแตกหัก (Fracture) ในขณะที่ PC2 พารามิเตอร์ที่มีความสัมพันธ์กันมากไปในทิศทางบวก ประกอบด้วย Adhesiveness และการแผ่ขยาย (Extensibility) ซึ่งเกี่ยวข้องกับและ ความเหนอะและความยืดหยุ่น ซึ่ง PC1 และ PC2 ที่ได้จากการ

ประเมินทางประสาทสัมผัสด้วยผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝน และการประเมินลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยวิธี TPA คล้ายกัน

เพื่อทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ทางประสาทสัมผัสกับลักษณะเนื้อสัมผัสที่วัดด้วยเครื่องมือ จึงรวบรวมตัวแปร พารามิเตอร์ (ค่าศัพท์) ทางลักษณะเนื้อสัมผัส และความหมายที่ประเมินทางประสาทสัมผัส (ใช้ผู้ทดสอบวิธี QDA) กับลักษณะเนื้อสัมผัสที่วัดด้วยเครื่องมือ (ใช้เครื่องวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยวิธี TPA แสดงดังตารางที่ 4-51

โดยมีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับเนื้อสัมผัสที่ได้จากผลการประเมินทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี QDA จำนวน 5 พารามิเตอร์ คือ ความเป็นเนื้อเดียวกัน (S1: Homogeneity) การแยกตัวของน้ำ (S2: Syneresis) ความแข็ง (S3: Hardness for QDA) ความสากลิ้น (S4: Rough Tongue) และความง่ายในการกลืน (S5: Easy to Swallow) สำหรับการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยวิธี TPA โดยใช้เครื่องมือ พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับเนื้อสัมผัสที่ได้ จำนวน 7 พารามิเตอร์ คือ ความแข็ง (T6: Hardness) ความสามารถในการเกาะติดผิววัสดุ (T7: Adhesiveness) ความยืดหยุ่น (T8: Springiness) ความสามารถเกาะรวมตัวกัน (T9: Cohesiveness) ความเหนียวเป็นยางหรือกาว (T10: Gumminess) การทนต่อการเคี้ยว (T11: Chewiness) และความหดตัวได้ (T12: Resilience)

ผลของการนำพารามิเตอร์ทั้ง 12 พารามิเตอร์ข้างต้น มาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ทางประสาทสัมผัสกับลักษณะเนื้อสัมผัสที่วัดด้วยเครื่องมือ จากตารางที่ 4-52 พบว่า ค่า Pearson's correlation coefficients ของพารามิเตอร์ ที่วิเคราะห์ได้มีทั้งค่าบวกและค่าลบ หากมีค่าบวก หมายความว่า พารามิเตอร์มีความสัมพันธ์กันแบบแปรผันตามกัน หากมีค่าลบ หมายความว่า พารามิเตอร์มีความสัมพันธ์กันแบบแปรผกผันกัน เมื่อพิจารณาค่า Pearson's correlation coefficients ของพารามิเตอร์ทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี QDA ทั้ง 5 พารามิเตอร์ พบว่า พารามิเตอร์ 4 พารามิเตอร์มีความสัมพันธ์กันมากที่ระดับนัยสำคัญ 0.01($p < 0.01$) โดย S1: Homogeneity มีความสัมพันธ์ในทางลบอย่างมากกับ S2: Syneresis และ S5: Easy to Swallow ในขณะที่มีความสัมพันธ์ในทางบวกอย่างมากกับ S4: Rough Tongue แสดงให้เห็นว่าลักษณะความเป็นเนื้อเดียวกัน (จากการมองด้วยตาเปล่า) ของเต้าหู้เย็นแปรผกผันกับลักษณะการแยกตัวของน้ำ และความง่ายในการกลืน แต่แปรตามกันกับความสากลิ้น ตัวอย่างเช่น หากผู้ทดสอบเห็นว่าเต้าหู้เย็นมีลักษณะความเป็นเนื้อเดียวกันมากจากการที่เติมผงโยอาหารในปริมาณมากจนมีความกลมกลืนเป็นเนื้อเดียวกัน มักทำให้ลักษณะการแยกตัวของน้ำน้อยเนื่องจากผงโยอาหารที่เติมแย่งจับน้ำไว้ได้มาก แต่ทำให้กลืนยากขึ้น (ความง่ายในการกลืนน้อย) และสากลิ้นมากจากผงโยอาหารที่เติม เป็นต้น นอกจากนี้พบว่า S3: Hardness for QDA ไม่มีความสัมพันธ์กับพารามิเตอร์ใดเลย

เมื่อพิจารณาค่า Pearson's correlation coefficients ของพารามิเตอร์ทางลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยวิธี TPA โดยใช้เครื่องมือ ทั้ง 7 พารามิเตอร์ พบว่า พารามิเตอร์ที่มีความสัมพันธ์กันอย่างมากในระดับนัยสำคัญ 0.01 ($p < 0.01$) คือ T6: Hardness มีความสัมพันธ์ในทางลบกับ T9: Cohesiveness สำหรับพารามิเตอร์ที่มีความสัมพันธ์กันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($p < 0.05$) คือ T6: Hardness มีความสัมพันธ์ในทางลบกับ T7: Adhesiveness ตัวอย่างเช่น เต้าหู้เย็นที่มีความแข็งมากจากการเติมผงใยอาหารมากจึงมีความสามารถในการยึดเกาะกันภายในอาหารน้อย เพราะผงใยอาหารที่เติมแย่งจับน้ำไว้ได้มาก ต้องใช้งานที่เอาชนะแรงระหว่างพื้นผิวของตัวอย่างกับพื้นผิวของวัสดุที่ตัวอย่างสัมผัสอยู่น้อยด้วย และพบว่า T10: Gumminess มีความสัมพันธ์อย่างมากในทางบวกกับ T11: Chewiness ($p < 0.01$) และ T12: Resilience ($p < 0.05$) ตัวอย่างเช่น เต้าหู้เย็นที่ต้องใช้แรงในการแยกตัวอย่างจนเล็กรูปมาก แรงที่ใช้ในการบิดเคี้ยวเต้าหู้เย็นมาก จะมีความสามารถในการหดตัวได้มากนั่นเอง

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี QDA กับลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยวิธี TPA โดยใช้เครื่องมือ พบว่า S1: Homogeneity มีความสัมพันธ์ในทางบวกกับ T7: Adhesiveness ($p < 0.01$) ตัวอย่างเช่น เต้าหู้เย็นที่มีความเป็นเนื้อเดียวกันมาก (จากการมองด้วยตาเปล่า) เมื่อนำไปวัดด้วยเครื่องมือจะมีค่า Adhesiveness สูง สำหรับ S2: Syneresis มีความสัมพันธ์ในทางลบกับ T7: Adhesiveness ($p < 0.01$) T9: Cohesiveness ($p < 0.05$) ตัวอย่างเช่น เต้าหู้เย็นที่มีการแยกตัวของน้ำน้อย เนื่องจากมีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระในปริมาณมาก ทำให้มีโอกาสเกิด Syneresis น้อยลง เจลที่ได้มีความแข็งแรง เหนียวหนืด เมื่อนำไปวัดด้วยเครื่องมือ ทำให้ต้องใช้งานในการเอาชนะแรงระหว่างพื้นผิวของตัวอย่างกับวัสดุที่ตัวอย่างสัมผัสอยู่มาก เนื่องจากเต้าหู้เย็นมีความหนืด และมีความสามารถในการยึดเกาะภายในอาหารมาก สำหรับ S3: Hardness for QDA มีความสัมพันธ์ในทางบวกกับ T6: Hardness ($p < 0.05$) ตัวอย่างเช่น เต้าหู้เย็นที่มีความแข็งมาก ผู้ทดสอบต้องใช้แรงกดในการทำให้เต้าหู้เย็นเล็กรูปร่างมาก เมื่อนำไปวัดด้วยเครื่องมือจะมีค่า Hardness สูง สำหรับ S4: Rough Tongue มีความสัมพันธ์ในทางบวกกับ T7: Adhesiveness ($p < 0.01$) ตัวอย่างเช่น เมื่อเต้าหู้เย็นมีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระปริมาณมาก เต้าหู้เย็นมีความแข็ง และเหนียวหนืดมากขึ้น ทำให้ผู้ทดสอบรู้สึกสากลิ้น เมื่อนำไปวัดด้วยเครื่องมือทำให้ต้องใช้งานในการเอาชนะแรงระหว่างพื้นผิวของตัวอย่างกับวัสดุที่ตัวอย่างสัมผัสอยู่มาก ค่า Adhesiveness จึงสูง สำหรับ S5: Easy to Swallow มีความสัมพันธ์ในทางลบกับ T7: Adhesiveness ($p < 0.01$) และ T9: Cohesiveness ($p < 0.05$) ตัวอย่างเช่น เต้าหู้เย็นที่มีลักษณะง่ายต่อการกลืนคือ ต้องมีความแข็งน้อย ความสากลิ้นน้อย โดยเต้าหู้เย็นที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระปริมาณต่ำ จะยังให้เจลที่มีลักษณะง่ายต่อการกลืน เมื่อนำไปวัดด้วยเครื่องมือจึงใช้

งานที่ใช้ในการเอาชนะแรงระหว่างตัวอย่างกับพื้นผิวของวัสดุที่ตัวอย่างสัมผัสอยู่น้อย ความยืดเกาะกันภายใน โครงสร้างของเต้าหู้เย็นน้อย ซึ่งส่งผลต่อความง่ายในการเกี่ยวและกลิ้งนั่นเอง และจากความสัมพันธ์นี้สามารถบอกแนวโน้มได้ว่าพารามิเตอร์ที่มีความสัมพันธ์กันมากสามารถจัดให้อยู่ในกลุ่มเดียวกันได้

การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principle Component Analysis: PCA) จัดเป็นเทคนิคการวิเคราะห์ปัจจัยวิธีหนึ่ง เป็นการลดจำนวนตัวแปรที่นิยมใช้ เพื่อการวิเคราะห์ผลข้อมูลที่ได้ มีเป้าหมายสำคัญคือการสร้างชุดของตัวแปรใหม่ให้เป็นฟังก์ชันเชิงเส้นตรงของตัวแปรชุดเดิม โดยในชุดของตัวแปรใหม่สามารถนำมาวิเคราะห์ถึงความสัมพันธ์กัน แล้วสามารถตั้งชื่อกลุ่มใหม่ให้สอดคล้องกับความสัมพันธ์ดังกล่าว ดังนั้นจึงเป็นประโยชน์การรวมกลุ่มตัวแปรที่มีความเหมือนกันไว้ด้วยกัน (Douka, Papadopoulos, Savakis, Tsoutsos, & Psarras, 2012)

ตารางที่ 4-53 แสดงค่าสถิติที่ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principle Component Analysis) ของพารามิเตอร์ลักษณะเนื้อสัมผัสของเต้าหู้เย็น พบว่า จากการวิเคราะห์พารามิเตอร์ทั้งหมด 12 พารามิเตอร์ จำนวน Component (องค์ประกอบ) ที่มากที่สุดที่จะจัดกลุ่มได้มีจำนวน 12 Component จากการพิจารณาค่า Initial Eigenvalues ซึ่งหมายถึง ค่าความผันแปร หรือความแปรปรวนทั้งหมดในตัวแปรเดิมที่สามารถอธิบายได้ พบว่า องค์ประกอบที่ 1 2 และ 3 มี Eigen value เท่ากับ 5.845 2.850 และ 2.240 ตามลำดับ ซึ่งตามเกณฑ์การพิจารณาองค์ประกอบที่เหมาะสมกำหนดไว้ว่าต้องมีค่า Eigen value มากกว่า 1 (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2544) ดังนั้นจากพารามิเตอร์ทั้งหมด 12 พารามิเตอร์ สามารถจัดกลุ่มได้ 3 องค์ประกอบ จากตารางที่ 4-56 พบว่า องค์ประกอบ 4 ถึง 12 มี Eigen value อยู่ในช่วง 0.814- 2.095E-17 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 1 ไม่เป็นไปตามเกณฑ์การพิจารณา ทั้งนี้การมีองค์ประกอบหลัก 3 องค์ประกอบ มีค่าสัดส่วนสะสมของค่าความแปรปรวน (%Cumulative) เท่ากับ 91.119% แสดงว่าสามารถอธิบายความผันแปรของพารามิเตอร์ได้มาก โดยเป็นการอธิบายความผันแปรจากองค์ประกอบที่ 1 2 และ 3 เท่ากับ 47.713% 21.751% และ 21.655% ตามลำดับ

ในการวิเคราะห์องค์ประกอบ สามารถจัดพารามิเตอร์เข้าไปในองค์ประกอบที่เหมาะสมได้โดยพิจารณาจากค่า Factor loading ซึ่งหมายถึง ค่าน้ำหนักขององค์ประกอบเป็นค่าที่แสดงถึงอิทธิพลของพารามิเตอร์เดิมที่มีต่อองค์ประกอบ แนวทางการพิจารณาคือ ถ้าค่า Factor loading ของตัวแปรในองค์ประกอบใดมีค่ามาก (เข้าสู่ +1 หรือ -1) สามารถจัดพารามิเตอร์นั้นเข้าในองค์ประกอบที่มีค่า Factor loading สูงกว่า (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2544) Hair, Anderson, Tatham, and Black (1998) กล่าวว่า ถ้าค่า Factor loading ของพารามิเตอร์เดิมมีค่ามาก หมายถึง พารามิเตอร์เดิมมีความสัมพันธ์หรือมีส่วนร่วมในการสร้างองค์ประกอบมากนั่นเอง ค่า Factor loading ของ

พารามิเตอร์ที่จะถูกจัดอยู่ในองค์ประกอบ ควรมีค่ามากกว่า 0.3 โดยพารามิเตอร์ที่อยู่ในองค์ประกอบเดียวกันจะมีความสัมพันธ์กันมาก โดยความสัมพันธ์นั้นอาจเป็นในทิศทางบวก (ไปในทางเดียวกัน) คือ Factor loading เป็นเครื่องหมายบวก หรือทิศทางลบ (ไปในทางตรงกันข้าม) คือ Factor loading เป็นเครื่องหมายลบ

จากตารางที่ 4-54 พบว่า องค์ประกอบที่ 1 ประกอบด้วยพารามิเตอร์ 4 พารามิเตอร์ โดยพารามิเตอร์ที่มีค่า Factor loading เป็นเครื่องหมายบวก ได้แก่ ความเป็นเนื้อเดียวกัน (S1: Homogeneity) ความสากลื่น (S4: Rough Tongue) ความสามารถในการเกาะติดผิววัสดุ (T7: Adhesiveness) และความสามารถเกาะรวมตัวกัน (T9: Cohesiveness) ส่วนพารามิเตอร์ที่มีค่า Factor loading เป็นเครื่องหมายลบ ได้แก่ การแยกตัวของน้ำ (S2: Syneresis) และความง่ายในการกลืน (S5: Easy to Swallow) องค์ประกอบที่ 2 ประกอบด้วยพารามิเตอร์ 3 พารามิเตอร์ ได้แก่ ความเหนียวเป็นยางหรือกาว (T10: Gumminess) การทนต่อการเคี้ยว (T11: Chewiness) และความหดตัวได้ (T12: Resilience) องค์ประกอบที่ 3 ประกอบด้วยพารามิเตอร์ 3 พารามิเตอร์ ได้แก่ ความแข็ง (S3: Hardness for QDA) ความแข็ง (T6: Hardness) และความยืดหยุ่น (T8: Springiness) โดยแสดง Component plot ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ลักษณะเนื้อสัมผัสของเต้าหู้ยีนที่ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principle Component Analysis) ดังภาพที่ 4-21

จากการจัดกลุ่มความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ลักษณะเนื้อสัมผัสของเต้าหู้ยีนที่ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principle Component Analysis) สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ที่อยู่ในองค์ประกอบเดียวกันได้ดังนี้ องค์ประกอบที่ 1 เป็นพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความเข้ากันได้หรือความเป็นเนื้อเดียวกันของเต้าหู้ยีน สำหรับพารามิเตอร์ที่มีค่า Factor loading เป็นบวก ได้แก่ พารามิเตอร์จากการประเมินทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี QDA ด้านความเป็นเนื้อเดียวกัน (0.981) และความสากลื่น(0.974) ทั้งสองพารามิเตอร์นี้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนได้ร่วมกันให้นิยามความหมายไว้ซึ่งเกี่ยวข้องกับการพิจารณาความเข้ากันเป็นเนื้อเดียวกันและความสากลื่นที่เกิดขึ้นจากผงใยอาหารที่เติม รวมถึงสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับพารามิเตอร์จากการทดสอบลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยวิธี TPA ค่า Adhesiveness (0.961) และ ค่า Cohesiveness (0.708) ซึ่งเกี่ยวข้องกับความเข้ากัน เป็นเนื้อเดียวกัน ที่จะก่อให้เกิดการยึดติดกับพื้นผิววัสดุและการเกาะรวมตัวกัน ซึ่งเป็นผลเกิดจากการเติมจากผงใยอาหารนั่นเอง อย่างไรก็ตามหากพิจารณาที่ค่า Factor loading แสดงให้เห็นว่า ค่า Factor loading ของ ความเป็นเนื้อเดียวกัน ความสากลื่น และ ค่า Adhesiveness มากกว่า ค่า Cohesiveness ทั้งนี้เต้าหู้ยีนเมื่อมีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระมาก ทำให้เต้าหู้ยีนมีความเป็นเนื้อเดียวกัน (จากการมองด้วยตาเปล่า) และความสากลื่นมากขึ้น ซึ่งมีผลต่อพารามิเตอร์จากการทดสอบเนื้อสัมผัสด้วยวิธี TPA กับค่า

Adhesiveness มากกว่าค่า Cohesiveness สำหรับพารามิเตอร์ที่มีค่า Factor loading เป็นลบ ได้แก่ พารามิเตอร์จากการประเมินทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี QDA ด้านการแยกตัวของน้ำ (-0.979) และ ความง่ายในการกลืน (-0.949) ทั้งสองพารามิเตอร์นี้เกี่ยวข้องกับปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์เต้าหู้เย็น โดยหากมีปริมาณน้ำมากผู้ทดสอบจะสามารถเห็นการแยกตัวของน้ำออกจากเต้าหู้ได้มากซึ่ง สัมพันธ์กับการมีลักษณะเจลที่ลื่นและกลืนได้ง่าย

องค์ประกอบที่ 2 เป็นพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับลักษณะเนื้อสัมผัสด้านแรงในการเคี้ยว เต้าหู้เย็น โดยมีเฉพาะพารามิเตอร์ที่มีค่า Factor loading เป็นบวก ได้แก่ พารามิเตอร์จากการทดสอบ ลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยวิธี TPA ค่า Gumminess (0.912) ค่า Chewiness (0.983) และ ค่า Resilience (0.742) สำหรับพารามิเตอร์ ค่า Gumminess และ Chewiness มีความสัมพันธ์กันอย่างมากรวมทั้งในแง่ ความหมายของพารามิเตอร์ และการคำนวณค่า รวมทั้งผลการทดลองที่ได้โดยมีความเกี่ยวข้องกับ แรงที่ใช้ในการเคี้ยวหรือบดตัวอย่างจนกระทั่งเสียรูป หรือเทียบได้กับการใช้ระยะเวลาในการ เคี้ยวก่อนกลืนนั่นเอง สำหรับค่า Resilience ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการหดตัวได้โดยยังไม่เสีย รูปร่าง ซึ่งมีความสัมพันธ์กับแรงที่ใช้ในการเคี้ยวหรือบดตัวอย่าง กล่าวคือ ความสามารถในการหด ตัวได้โดยยังไม่เสียรูปร่างมาก แสดงถึงตัวอย่างมีความคงตัวมากจึงใช้แรงในการเคี้ยวมากนั่นเอง

อย่างไรก็ตามหากพิจารณาที่ค่า Factor loading แสดงให้เห็นว่า ค่า Factor loading ของ ค่า Resilience น้อยกว่า ค่า Factor loading ของค่า Gumminess และค่า Chewiness พารามิเตอร์

องค์ประกอบที่ 3 เป็นพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความแข็งของ เต้าหู้เย็น สำหรับพารามิเตอร์ที่มีค่า Factor loading เป็นบวก ได้แก่ พารามิเตอร์จากการประเมินทาง ประสาทสัมผัสด้วยวิธี QDA ด้านความแข็ง (0.864) ซึ่งผู้ทดสอบที่ได้รับการฝึกฝนได้ร่วมกันให้ นิยามความหมายไว้ซึ่งเกี่ยวข้องกับความแข็งของเต้าหู้เย็นโดยประเมินจากแรงที่ทำให้เต้าหู้เย็นเสีย รูปร่างไป รวมถึงสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับพารามิเตอร์จากการทดสอบลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยวิธี TPA ค่า Hardness ซึ่งเกี่ยวข้องกับแรงที่ใช้ในการทำให้ตัวอย่างเสียรูปร่าง สำหรับพารามิเตอร์ที่มีค่า Factor loading เป็นลบ ได้แก่ พารามิเตอร์จากการทดสอบลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยวิธี TPA ค่า Springiness (-0.610) ซึ่งเกี่ยวข้องกับอัตราการคืนรูปของเต้าหู้เย็นหลังการถูกกด แสดงให้เห็นว่า หากเต้าหู้เย็นมีเนื้อสัมผัสที่แข็งมาก ต้องใช้แรงในการทำให้เต้าหู้เย็นเสียรูปมาก อัตราการคืนรูป ของเต้าหู้เย็นหลังการถูกกดน้อยลง ค่า Springiness ที่วัดได้มีค่าน้อย อย่างไรก็ตามหากพิจารณาที่ค่า Factor loading แสดงให้เห็นว่า ค่า Factor loading ของ ค่า Springiness น้อยกว่า ความแข็งจากการ ประเมินทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี QDA และค่า Hardness จาก การทดสอบลักษณะเนื้อสัมผัสด้วย วิธี TPA

5.5.3 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์อาหารจำลองสำหรับผู้สูงอายุ ต้นแบบที่พัฒนาได้

จากการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสที่ผลิตได้มาใช้เป็นส่วนผสมของอาหารเพื่อสุขภาพสำหรับผู้สูงอายุโดยการเสริมผงใยอาหารลงไป ในอาหารจำลองประเภทของเหลว (Liquid model food) ได้แก่ น้ำเสาวรสปริมาณ 2% และอาหารจำลองประเภทเจล (Gel model food) ได้แก่ เต้าหู้เย็น พบว่า น้ำเสาวรสปริมาณ 2% ที่เหมาะสม คือ น้ำเสาวรสปริมาณ 2% ที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 2% ร่วมกับการใช้อุณหภูมิในการเตรียมที่ 60 องศาเซลเซียส สำหรับเต้าหู้เย็นต้นแบบที่เหมาะสม คือ เต้าหู้เย็นที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 4% ร่วมกับการใช้แคลปีลา-คาร์จีแนนเป็นสารไฮโดรคอลลอยด์ เมื่อนำผลิตภัณฑ์ต้นแบบที่ผลิตได้มาวิเคราะห์ค่าคุณภาพ ได้แก่ ปริมาณใยอาหารทั้งหมด ปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำ และปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ เปรียบเทียบคุณภาพกับอาหารจำลองสูตรพื้นฐาน

5.5.3.1 ผลการเปรียบเทียบคุณภาพของน้ำเสาวรสปริมาณ 2% ที่พัฒนาได้กับน้ำเสาวรสปริมาณ 2% สูตรพื้นฐาน

จากตาราง 4-55 จากผลการวิเคราะห์ปริมาณใยอาหารทั้งหมด ปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำ และปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ พบว่า น้ำเสาวรสปริมาณ 2% ที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรศ 2% ร่วมกับการใช้อุณหภูมิการเตรียม 60 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นน้ำเสาวรสปริมาณ 2% ต้นแบบที่ผลิตได้ มีปริมาณใยอาหารทั้งหมด ปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำ และปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ เท่ากับ 0.969 0.444 และ 0.542 กรัม/ 100 มิลลิลิตร มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำเสาวรสปริมาณ 2% สูตรพื้นฐานที่ไม่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรศ (Control) คิดเป็นการมีปริมาณใยอาหารทั้งหมด ปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำ และปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ เพิ่มขึ้น 0.917 0.392 และ 0.524 กรัม/ 100 มิลลิลิตร ตามลำดับ เป็นการยืนยันให้เห็นว่าสามารถนำผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรศมาเติมในน้ำผลไม้พร้อมดื่มเพื่อเสริมปริมาณใยอาหารได้ ทั้งนี้เนื่องจากผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรศมีองค์ประกอบของใยอาหารทั้งหมดอยู่ในปริมาณค่อนข้างสูง (82.33 กรัม/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง) ดังนั้นเมื่อเติมในน้ำเสาวรศจึงสามารถเพิ่มปริมาณใยอาหารทั้งหมด ใยอาหารที่ละลายน้ำ โดยเฉพาะใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำให้กับผลิตภัณฑ์ได้ การเสริมปริมาณใยอาหารให้กับเครื่องดื่มมีผลดีต่อสุขภาพ เนื่องจากผงใยอาหารจากผักผลไม้ นอกจากมีปริมาณใยอาหารสูงแล้ว ยังอุดมไปด้วยสารพฤกษเคมีสำคัญที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ ช่วยให้ระบบขับถ่ายดีขึ้น ลดความ

เสี่ยงการเกิดมะเร็งลำไส้ อีกทั้งช่วยลดระดับน้ำตาล และไขมันในเลือด เป็นต้น (Sunprasert, 2010; ปรอยฝน เลิศานวัฒนา และคณะ, 2551)

สำหรับผลการวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของน้ำเสาวรสร่วมดื่ม พบว่า น้ำเสาวรสร่วมดื่มต้นแบบที่ผลิตได้ มีปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับน้ำเสาวรสร่วมดื่มสูตรพื้นฐานที่ไม่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ แสดงให้เห็นว่า ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสสามารถนำมาเติมในผลิตภัณฑ์น้ำเสาวรสร่วมดื่ม เพื่อเพิ่มปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดได้ โดยการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส 2% ร่วมกับการใช้อุณหภูมิในการเตรียมที่ 60 องศาเซลเซียส ทำให้น้ำเสาวรสร่วมดื่มมีปริมาณแอนโทไซยานิน เท่ากับ 0.200 มิลลิกรัม Cyn-3-Glu /100 มิลลิลิตร ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด เท่ากับ 61.756 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/100 มิลลิลิตร ($p < 0.05$) ในขณะที่น้ำเสาวรสร่วมดื่มสูตรพื้นฐานที่ไม่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ มีปริมาณแอนโทไซยานิน เท่ากับ 0.060 มิลลิกรัม Cyn-3-Glu/100 มิลลิลิตร ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด เท่ากับ 53.543 มิลลิกรัมกรดแกลลิก /100 มิลลิลิตร ($p < 0.05$) นอกจากนี้การเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระในน้ำเสาวรสร่วมดื่ม มีผลให้น้ำเสาวรสมีสสมบัติการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน โดยมี %Inhibition เท่ากับ 60.824% ในขณะที่น้ำเสาวรสร่วมดื่มสูตรพื้นฐานที่ไม่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ มี %Inhibition เท่ากับ 44.837%

จากผลการทดลองพบข้อสังเกตว่า น้ำเสาวรสร่วมดื่มสูตรพื้นฐาน วิเคราะห์พบปริมาณแอนโทไซยานิน เท่ากับ 0.060 มิลลิกรัม Cyn-3-Glu /100 มิลลิลิตร สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด เท่ากับ 53.543 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/100 มิลลิลิตร และมีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระที่รายงานเป็น %Inhibition เท่ากับ 44.837% แสดงให้เห็นว่าน้ำเสาวรสสูตรพื้นฐาน มีองค์ประกอบของแอนโทไซยานิน สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดอยู่ด้วยและมีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระได้ อาจเนื่องมาจากในส่วนผสมของน้ำเสาวรสร่วมดื่มมีองค์ประกอบของสารพฤษเคมีกลุ่มโพลีฟีนอล ฟลาโวนอยด์ และแอนโทไซยานินอยู่ด้วย (Dhawan, Dhawan, & Sharma, 2004) ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าแหล่งของแอนโทไซยานิน และสารประกอบฟีนอลิกในน้ำเสาวรสร่วมดื่มสูตรพื้นฐานมาจากองค์ประกอบกลุ่มฟีนอล แอนโทไซยานิน และฟลาโวนอยด์ในน้ำเสาวรส นอกจากนี้ น้ำเสาวรสยังมีวิตามินซีสูง (Vinci et al., 1995) ซึ่งมีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ ดังนั้นสมบัติการต้านอนุมูลอิสระในน้ำเสาวรสร่วมดื่มสูตรพื้นฐานที่วิเคราะห์ได้ จึงมาจากแอนโทไซยานิน สารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และวิตามินซีในน้ำเสาวรสนั่นเอง

จากการตรวจเอกสาร พบว่า ผลผลิตทันทีที่มีการเสริมโยอาหารมักให้ความสำคัญกับการวิเคราะห์ปริมาณโยอาหารเป็นลำดับต้น อย่างไรก็ตามมีงานวิจัยที่มีการรายงานปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดหรือสมบัติการต้านอนุมูลอิสระด้วย คังงานวิจัยของ วัชร บุญถนอม และสุรงค์ ทองสุวรรณ (2557) ศึกษาปริมาณการเติมผงโยอาหารจากกากมะตุมต่อคุณภาพของไอศกรีมไขมันต่ำ พบว่า เมื่อเติมผงโยอาหารจากกากมะตุมมากขึ้น มีผลให้ไอศกรีมไขมันต่ำมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระมากกว่าไอศกรีมไขมันต่ำสูตรควบคุม ($p < 0.05$) และงานวิจัยของ Sudha, Baskaran, and Leelavathi (2007) รายงานว่า การเติมกากแอปเปิ้ลผงในเค้กปริมาณ 25% มีผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (3.15 มิลลิกรัม/ต่อกรัม) เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของเค้กที่ไม่ได้เติมกากแอปเปิ้ลผง (2.07 มิลลิกรัม/กรัม)

5.5.3.2 ผลการเปรียบเทียบคุณภาพของเต้าหู้เย็นที่พัฒนาได้กับเต้าหู้เย็นสูตรพื้นฐาน

จากตารางที่ 4-56 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโยอาหารทั้งหมด ปริมาณโยอาหารที่ละลายน้ำ และปริมาณโยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ พบว่า เต้าหู้เย็นต้นแบบที่ผลิตได้ มีปริมาณโยอาหารทั้งหมด และปริมาณโยอาหารที่ไม่ละลายน้ำเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับเต้าหู้เย็นสูตรพื้นฐานที่ไม่มีการเติมผงโยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรศ ในขณะที่ปริมาณโยอาหารที่ละลายน้ำไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) แสดงให้เห็นว่าผงโยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ สามารถนำมาเติมเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์เต้าหู้เย็น เพื่อเพิ่มปริมาณโยอาหารทั้งหมด และโยอาหารที่ไม่ละลายน้ำได้ โดยการเติมผงโยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรศ 4% ร่วมกับการใช้แคปปา-คาราจีแนนเป็นสารไฮโดรคอลลอยด์ ทำให้เต้าหู้เย็นมีปริมาณโยอาหารทั้งหมด ปริมาณโยอาหารที่ละลายน้ำ และปริมาณโยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ เท่ากับ 2.673 0.551 และ 2.121 กรัม/100 กรัม ตามลำดับ ($p < 0.05$) ในขณะที่เต้าหู้เย็นสูตรพื้นฐานที่ไม่มีการเติมผงโยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรศ มีปริมาณโยอาหารทั้งหมด และปริมาณโยอาหารที่ละลายน้ำ เท่ากับ 0.392 0.392 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง โดยไม่พบโยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ทั้งนี้ปริมาณโยอาหารที่วิเคราะห์ได้จากเต้าหู้เย็นสูตรพื้นฐาน ส่วนใหญ่เป็นโยอาหารที่ละลายน้ำ มาจากแคปปา-คาราจีแนน ซึ่งจัดว่าเป็นโยอาหารชนิดหนึ่ง (Thomas, 1997)

จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อเติมผงโยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรศ มีผลให้ปริมาณโยอาหารทั้งหมด และปริมาณโยอาหารที่ไม่ละลายน้ำเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากผงโยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรศมีองค์ประกอบของโยอาหารอยู่ในปริมาณ

ค่อนข้างสูง 82.33 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง ซึ่งส่วนใหญ่ประกอบด้วยใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ดังนั้นการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสีในเต้าหู้เย็นจึงเป็นการเพิ่มปริมาณใยอาหารทั้งหมด โดยเฉพาะใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำให้กับผลิตภัณฑ์ได้

สำหรับผลการวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของเต้าหู้เย็น พบว่า เต้าหู้เย็นต้นแบบที่ผลิตได้ มีปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับเต้าหู้เย็นสูตรพื้นฐานที่ไม่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ แสดงให้เห็นว่า ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสี สามารถนำมาเติมเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์เต้าหู้เย็น เพื่อเพิ่มปริมาณแอนโทไซยานิน และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด โดยการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสี 4% ร่วมกับการใช้แคปไซซิน-คาร์จินเนนเป็นสารไฮโดรคอลลอยด์ ทำให้เต้าหู้เย็นมีปริมาณแอนโทไซยานิน เท่ากับ 0.765 มิลลิกรัม Cyn-3-Glu/100 กรัม และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด เท่ากับ 10.729 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/100 กรัม ($p < 0.05$) ในขณะที่เต้าหู้เย็นสูตรพื้นฐาน มีปริมาณแอนโทไซยานิน เท่ากับ 0.567 มิลลิกรัม Cyn-3-Glu/100 กรัม และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด เท่ากับ 8.061 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/100 กรัม ($p < 0.05$) นอกจากนี้การเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสีในเต้าหู้เย็น มีผลทำให้เต้าหู้เย็นมีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน โดยมี %Inhibition เท่ากับ 13.188 % ในขณะที่ตรวจไม่พบ %Inhibition ในเต้าหู้เย็นสูตรพื้นฐาน ซึ่งจากการทดลองพบข้อสังเกตว่า เต้าหู้เย็นสูตรพื้นฐาน วิเคราะห์พบปริมาณแอนโทไซยานิน เท่ากับ 0.567 มิลลิกรัม Cyn-3-Glu/100 กรัม ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด เท่ากับ 8.061 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/100 กรัม แสดงให้เห็นว่าเต้าหู้เย็นสูตรพื้นฐานมีองค์ประกอบของแอนโทไซยานิน และสารประกอบฟีนอลิกอยู่ อาจเนื่องจากในส่วนผสมของเต้าหู้เย็น มีน้ำนมถั่วเหลืองซึ่งองค์ประกอบของสารจำพวกสารประกอบฟีนอลิก และสารประกอบไอโซฟลาโวนอยด์ (Kim et al., 2006; Barnes, 2010) ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าแหล่งของสารประกอบฟีนอลิกในเต้าหู้เย็นมาจากสารประกอบฟีนอลิก และสารประกอบไอโซฟลาโวนอยด์ในน้ำนมถั่วเหลืองนั่นเอง

จากการตรวจเอกสาร พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่มีการเสริมใยอาหารมักให้ความสำคัญกับการวิเคราะห์ปริมาณใยอาหารเป็นลำดับต้น อย่างไรก็ตามมีงานวิจัยที่มีการรายงานปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระด้วย ดังงานวิจัยของ ชีรนุช ฉายศิริ โชติ และสุวรรณ พิษยงค์วงศ์ดี (2558) ศึกษาสูตรที่เหมาะสม การยอมรับของผู้บริโภค และอายุการเก็บของเต้าหู้นมสดเสริมใยอาหารจากเปลือกส้มโอผง โดยเมื่อวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของเต้าหู้นมสดที่มีการเติมใยอาหารจากเปลือกส้มโอผง เปรียบเทียบกับเต้าหู้นมสดที่ไม่เติมใย

อาหาร (สูตรควบคุม) พบว่า เต้าหู้นมสดที่เติมใยอาหารร้อยละ 0.5 มีปริมาณใยอาหาร ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

Thai Recommended Dietary Intake (Thai RDI) ได้กำหนดปริมาณใยอาหารที่ร่างกายควรได้รับต่อวัน (อายุ 6 ปีขึ้นไป) เท่ากับ 25 กรัม (กระทรวงสาธารณสุข, 2541) ซึ่งนักโภชนาการแนะนำให้เลือกรับประทานใยอาหารจากแหล่งต่าง ๆ เช่น ผักผลไม้ เมล็ดธัญพืชที่ไม่ขัดสี และถั่ว เมล็ดแห้ง เป็นต้น สอดคล้องกับที่ มยุรา วัฒนพงศ์ไพศาล เรวดี จงสุวัฒน์ และเอกราช บำรุงพีชน (2558) แนะนำว่า ปริมาณใยอาหารที่ควรได้รับต่อวันในช่วง 25-30 กรัม สำหรับวัยผู้ใหญ่ ปริมาณใยอาหารที่แนะนำให้บริโภคต่อวัน เท่ากับ 25 กรัม โดยใยอาหารช่วยในการขับถ่าย ลดการท้องผูก ลดความเสี่ยงในการเป็นมะเร็งลำไส้ใหญ่ (คณะกรรมการอาหารแห่งชาติ, 2559)

Food database and calorie counter (2560) รายงานว่า ในน้ำเสาวรสสดประมาณ 250 มิลลิลิตร (1 serving size) มีปริมาณใยอาหารทั้งหมดประมาณ 0.5 กรัม หากเทียบกับ Thai RDI แสดงให้เห็นว่าการบริโภคน้ำเสาวรสสด 250 มิลลิลิตร จะได้รับปริมาณใยอาหารทั้งหมด 0.5 กรัม ซึ่งคิดเป็น 2% ของปริมาณใยอาหารที่ Thai RDI แนะนำให้บริโภคต่อวัน ในขณะที่หากบริโภคน้ำเสาวรสร่วมดื่มที่พัฒนาได้จากงานวิจัยนี้ 250 มิลลิลิตร จะได้รับปริมาณใยอาหารทั้งหมด 2.42 กรัม ซึ่งคิดเป็น 9.69% ของปริมาณใยอาหารที่ Thai RDI แนะนำให้บริโภคต่อวัน ซึ่งมากกว่าการบริโภคน้ำเสาวรสร่วมดื่มที่ไม่เติมผงใยอาหาร ที่จะได้รับปริมาณใยอาหารทั้งหมด 0.13 กรัม ซึ่งคิดเป็น 0.52% ของปริมาณใยอาหารที่ Thai RDI แนะนำให้บริโภคต่อวัน การบริโภคน้ำเสาวรสร่วมดื่มที่พัฒนาได้จากงานวิจัยนี้นอกจากจะได้รับใยอาหารแล้วยังมีโอกาสได้รับสารพฤกษเคมีที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพร่วมด้วย

ธีรนุช ฉายศิริ โชติ และสุวรรณ พิษัยยงศ์วงศ์ดี (2558) รายงานว่า ในเต้าหู้นมสดที่จำหน่ายในท้องตลาด ขนาดบรรจุ 200 กรัม มีปริมาณใยอาหารทั้งหมดประมาณ 1.18 กรัม หากเทียบกับ Thai RDI คิดเป็น 4.72% ของปริมาณใยอาหารที่ Thai RDI แนะนำบริโภคต่อวัน ในขณะที่หากบริโภคเต้าหู้เย็นที่พัฒนาได้จากงานวิจัยนี้ 200 กรัม จะได้รับปริมาณใยอาหารทั้งหมด 2.67 กรัม ซึ่งคิดเป็น 10.69% ของปริมาณใยอาหารที่ Thai RDI แนะนำให้บริโภคต่อวัน ซึ่งมากกว่าการบริโภคเต้าหู้เย็นที่ไม่เติมผงใยอาหาร ที่จะได้รับปริมาณใยอาหารทั้งหมด 0.78 กรัม ซึ่งคิดเป็น 3.12% ของปริมาณใยอาหารที่ Thai RDI แนะนำให้บริโภคต่อวัน การบริโภคเต้าหู้เย็นที่พัฒนาได้จากงานวิจัยนี้ นอกจากจะได้รับใยอาหารแล้วยังมีโอกาสได้รับสารพฤกษเคมีที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพร่วมด้วยเช่นกัน

ดังนั้นจากการเปรียบเทียบคุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์อาหารจำลองสำหรับผู้สูงอายุ ต้นแบบที่พัฒนาได้ จึงเห็นศักยภาพของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส ที่อาจนำไปประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพอื่น ๆ ต่อไปได้

สรุปผลการวิจัย

1. ในการวิจัยนี้ใช้เปลือกเสาวรสพันธุ์สีม่วงที่เป็นส่วนเหลือทิ้งจากกระบวนการแปรรูป น้ำเสาวรส มีปริมาณความชื้น 84.52 กรัม/ 100 กรัม และมีองค์ประกอบอื่น ๆ ที่พบมากที่สุด คือ น้ำตาลทั้งหมด 2.56 กรัม/ 100 กรัม รองลงมาคือ เถ้า 0.99 กรัม/ 100 กรัม โปรตีน 0.79 กรัม/ 100 กรัม และไขมัน 0.11 กรัม/ 100 กรัม มีค่าสี $L^* a^* b^*$ Hue angle และ Chroma เท่ากับ 35.51 19.95 8.69 23.53 และ 21.76 ตามลำดับ เมื่อนำมาผลิตเป็นเปลือกเสาวรสผงแห้งด้วยวิธีอย่างง่าย คือ อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 400 นาที โดยไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้น พบว่า มีปริมาณใยอาหารทั้งหมด 65.83 กรัม/ 100 กรัม โดยยังคงมีองค์ประกอบของเถ้า 7.72 กรัม/ 100 กรัม น้ำตาลทั้งหมด 6.58 กรัม/ 100 กรัม โปรตีน 5.10 กรัม/ 100 กรัม และไขมัน 0.52 กรัม/ 100 กรัม มีปริมาณแอนโทไซยานิน (7.16 มิลลิกรัม Cyn-3-Glu/ 100 กรัม ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ทั้งหมด 68.11 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/ 100 กรัม และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ %Inhibition เท่ากับ 88.69% รวมทั้งมีค่าสี $L^* a^* b^*$ Hue angle Chroma และ ΔE เท่ากับ 64.57 7.28 21.25 71.08 22.46 และ 34.09 ตามลำดับ

2. ผลของการเตรียมขั้นต้นต่อคุณภาพของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส

2.1 ผลของการเตรียมขั้นต้นโดยการใช้ความร้อน พบว่า อิทธิพลร่วมของปัจจัยด้านวิธีการให้ความร้อนและเวลาการให้ความร้อนมีผลต่อปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณใยอาหารทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และค่าสี ($L^*, a^*, b^*,$ Hue angle, Chroma และ ΔE) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และพบว่าไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างวิธีการให้ความร้อนและเวลาการให้ความร้อนต่อสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ($p \geq 0.05$) โดยวิธีการให้ความร้อน โดยการลวกในน้ำร้อน (90 ± 2 องศาเซลเซียส) และเวลาการให้ความร้อน 3 นาที เพียงพอที่จะสามารถยับยั้งเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสได้ ทำให้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส มีปริมาณใยอาหารมากที่สุด เท่ากับ 83.80 กรัม/100 กรัม มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด เท่ากับ 61.60 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/100 กรัม และ 88.92% ตามลำดับ เป็นสถานะที่เหมาะสมในการเตรียมขั้นต้นโดยการใช้ความร้อน แต่อย่างไรก็ตามพบว่าผงใยอาหารที่ได้ยังคงมีความฝาดขมหลงเหลืออยู่

2.2 ผลของการเตรียมขึ้นต้น โดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ พบว่า อิทธิพลร่วมของปัจจัยด้านเวลาการแช่และการใช้สภาวะสุญญากาศมีผลต่อปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ค่าสี (L^* และ b^*) รวมถึงค่า Chroma และ ΔE อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และพบว่าไม่มีอิทธิพลของปัจจัยใดที่มีต่อ ปริมาณใยอาหารทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานิน ค่าสี a^* และค่า Hue angle ($p \geq 0.05$) การแช่ใน สารละลายโซเดียมคลอไรด์ สามารถลดความฝาดขม และกำจัดกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์ได้ โดยการ แช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์เป็นเวลา 10 นาที ในสภาวะที่ไม่ใช้สุญญากาศ ได้ ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสมที่มีปริมาณใยอาหารทั้งหมดสูงที่สุด เท่ากับ 77.46 กรัม/100 กรัม มี ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด เท่ากับ 57.79 มิลลิกรัมกรดแกล ลิก/100 กรัม และ 83.52% ตามลำดับ

3. ผลการศึกษาหาสภาวะในการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่เหมาะสมของผงใยอาหารที่มี สารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสม โดยศึกษาปัจจัยระหว่างอุณหภูมิการทำแห้ง (50-70 องศา เซลเซียส) และเวลาการทำแห้ง (300-420 นาที) ในการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน จัดสิ่งทดลองแบบ Central Composite Design (CCD) พบว่าการใช้อุณหภูมิการทำแห้ง 62 องศาเซลเซียส ร่วมกับเวลา การทำแห้ง 300 นาที เป็นสภาวะในการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่เหมาะสมที่สุด

4. การผลิตของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมพันธุ์สีม่วง ให้ได้ ใยอาหารที่มีความบริสุทธิ์สูง และมีการคงอยู่ของสารพฤกษเคมีที่สำคัญ สามารถดำเนินการได้โดย ใช้การเตรียมขึ้นต้นและการทำแห้งด้วยลมร้อนในสภาวะที่เหมาะสม โดยนำชิ้นเปลือกเสาวรสมพันธุ์ สีม่วงมาลวกด้วยน้ำร้อน 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที จากนั้นนำมาแช่ในสารละลายโซเดียม คลอไรด์ 3% เป็นเวลา 10 นาที แล้วทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน 62 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 300 นาที บดเป็นผงและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช ผลการวิเคราะห์คุณภาพเปรียบเทียบกับเปลือก เสาวรสมผง พบว่า ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมที่ผลิตได้มีค่าสี L^* a^* b^* Hue angle และ Chroma เท่ากับ 69.22 9.87 12.83 52.42 16.18 และ 9.97 ตามลำดับ มีปริมาณ ใยอาหารทั้งหมด 76.00 กรัม/100 กรัม ประกอบด้วยปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำ 15.07 กรัม/100 กรัม และปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ 60.93 กรัม/100 กรัม ปริมาณแอนโทไซยานิน 15.78 มิลลิกรัม Cyn-3-Glu/100 กรัม ซึ่งมากกว่าเปลือกเสาวรสม สำหรับคุณภาพด้านสมบัติเชิงหน้าที่ พบว่า ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมมีความสามารถในการอุ้มน้ำ (17.01 กรัม/กรัม) ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (3.23 กรัม/กรัม) ความสามารถในการพองตัว (21.35 มิลลิลิตร/กรัม) และความสามารถในการชะลอการดูดซึมน้ำตาลสูงกว่าเปลือกเสาวรสมผง

5. ผลการศึกษาการใช้ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสเป็นส่วนผสมของอาหารจำลองสำหรับผู้สูงอายุ

5.1 ผลของปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสและอนุภูมิในการเตรียมต่อคุณภาพของน้ำเสาวรสปริมาณที่พบว่ามีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสร้อยละ 1% 2% 3% 4% และ 5%) และอนุภูมิในการเตรียม (อนุภูมิห้อง (28 ± 2 องศาเซลเซียส) และ 60 ± 1 องศาเซลเซียส) มีอิทธิพลร่วมกันต่อค่าสี (L^* a^* b^* Hue angle Chroma และ ΔE) ค่าความหนืด และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point hedonic scale โดยผู้สูงอายุ พบว่า น้ำเสาวรสปริมาณที่เติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 2% ร่วมกับการใช้อนุภูมิในการเตรียมที่อนุภูมิ 60 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นสูตรที่เหมาะสมที่สุด โดยได้รับคะแนนความชอบโดยรวม เท่ากับ 7.60 (ระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก)

5.2 ผลของปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสรและการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ต่อคุณภาพของเต้าหู้เย็น พบว่า ปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสร้อยละ 2% 4% 6% 8% และ 10%) และการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ (แคปป์-คาราจีแนน 1.0% และ วุ้น 0.5%) พบว่า มีอิทธิพลร่วมกันต่อค่าคุณภาพของเต้าหู้เย็น ได้แก่ ค่าสี (L^* a^* b^* Hue angle Chroma และ ΔE) ลักษณะเนื้อสัมผัสที่วัดด้วยวิธี TPA (ค่า Hardness ค่า Adhesiveness ค่า Springiness ค่า Cohesiveness ค่า Gumminess ค่า Chewiness และ ค่า Resilience) ลักษณะทางประสาทสัมผัสที่ประเมินด้วยวิธี QDA (ด้านสีน้ำตาล ความเป็นเนื้อเดียวกัน การแยกตัวของน้ำ ความแข็ง ความสากลิ้น และความง่ายในการกลืน) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) สำหรับผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point hedonic scale โดยใช้ผู้ทดสอบเป็นผู้สูงอายุ พบว่า เต้าหู้เย็นที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 4% ร่วมกับการใช้แคปป์-คาราจีแนน 1% เป็นสูตรที่เหมาะสมที่สุด โดยได้รับคะแนนความชอบโดยรวม เท่ากับ 7.17 (ระดับชอบเล็กน้อย)

ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ทางประสาทสัมผัสกับลักษณะเนื้อสัมผัสที่วัดด้วยเครื่องมือ และการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principle Component Analysis: PCA) สามารถจัดองค์ประกอบหลักได้ 3 องค์ประกอบ องค์ประกอบที่ 1 (PC1) ได้แก่ ความเป็นเนื้อเดียวกัน การแยกตัวของน้ำ ความสากลิ้น ความง่ายในการกลืน ค่า Adhesiveness ค่า Cohesiveness องค์ประกอบที่ 2 (PC2) ได้แก่ ค่า Gumminess ค่า Chewiness ค่า Resilience และ องค์ประกอบที่ 3 (PC3) คือ ความแข็ง (จากวิธี QDA) ค่า Hardness (จากวิธี TPA) ค่า Springiness

5.3 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์อาหารจำลองสำหรับผู้สูงอายุต้นแบบที่พัฒนาได้

1) น้ำเสาวรสปพร้อมดื่มที่เติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสป 2% ร่วมกับการใช้ซุณหภูมิการเตรียม 60±1 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นน้ำเสาวรสปพร้อมดื่มต้นแบบที่ผลิตได้ มีปริมาณใยอาหารทั้งหมด ปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำ และปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ เท่ากับ 0.969 0.444 และ 0.542 กรัม/ 100 มิลลิลิตร รวมทั้งมีปริมาณแอนโทไซยานิน 0.200 มิลลิกรัม Cyn-3-Glu /100 มิลลิลิตร ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 61.756 มิลลิกรัมกรดแกลลิก /100 มิลลิลิตร และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ 60.824% มากกว่าน้ำเสาวรสปพร้อมดื่มสูตรพื้นฐานที่ไม่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสป

2) เต้าหู้เย็นที่เติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสป 4% ร่วมกับการใช้แคปไซซิน-คาราจีแนน 1% ซึ่งเป็นเต้าหู้เย็นต้นแบบที่ผลิตได้ มีปริมาณใยอาหารทั้งหมด ปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำ และปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ เท่ากับ 2.673 0.551 และ 2.121 กรัม/ 100 กรัม รวมทั้งมีปริมาณแอนโทไซยานิน 0.765 มิลลิกรัม Cyn-3-Glu /100 กรัม ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 10.729 มิลลิกรัมกรดแกลลิก /100 กรัม และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ 13.188% มากกว่าเต้าหู้เย็นสูตรพื้นฐานที่ไม่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสป

ข้อเสนอแนะ

1. อาจศึกษาการนำผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสปที่ได้ไปใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหารชนิดอื่น ๆ เช่น ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์
2. อาจศึกษาผลของขนาดอนุภาคผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสป ต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของผงใยอาหารและคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารที่เติมผงใยอาหาร
3. อาจศึกษาผลของการทำแห้งด้วยวิธีแบบอื่น ๆ เช่น การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง การทำแห้งแบบสุญญากาศ ต่อคุณภาพของผงใยอาหารที่ผลิตได้
4. อาจมีการวิเคราะห์ปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่หลงเหลืออยู่ในผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสป

บรรณานุกรม

- กระทรวงสาธารณสุข. (2541). *สารอาหารที่แนะนำให้บริโภคประจำวันสำหรับคนไทยอายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป*. บัญชีหมายเลข 3 แนบท้ายประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 182).
- กมลพรรณ อาสาสรรพกิจ. (2555). *การผลิตเปลือกในเสาวรสบแห้งเพื่อใช้เป็นเพกทินเมทอกซีด้า และคาตะเนอายุการเก็บรักษา*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาการพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร, คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- กัลยา วานิชย์บัญชา. (2544). *การวิเคราะห์ตัวแปรหลายตัวด้วย SPSS for Windows*. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- กุลนรี ศาสตร์ประสิทธิ์ และกุลยา ลิมรุ่งเรืองรัตน์. (2552). การใช้เปลือกมังคุดเป็นแหล่งใยอาหารในโดนัทเล็ก. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 40(3), 97-100.
- คณะกรรมการอาหารแห่งชาติ. (2559). *องค์ความรู้ด้านอาหารและโภชนาการสำหรับทุกช่วงวัย*. กรุงเทพฯ: สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา.
- ญาณี จินดามัง และปิยะวิทย์ ทิพรส. (2555). ความคงตัวของสารสีแอนโทไซยานินจากกากกลีบดอกกระเจี๊ยบแดง (*Hibiscus sabdariffa* Linn.) ในผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวมูน. *วารสารสุทธิปริทัศน์*, 26(80), 129-146.
- ณัชชา บุญปลื้ม. (2550). *การประเมินคุณค่าทางโภชนาการและสารต้านอนุมูลอิสระในวัสดุเหลือทิ้งจากการทำน้ำเสาวรสบ*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาตรมหาบัณฑิต, สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ, คณะเกษตรและทรัพยากรธรรมชาติ, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ทิพวรรณ ทองสุข. (2553). ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสและเทคนิคการปรับปรุงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ผักผลไม้แปรรูป. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม*, 29(4), 456-469.
- ธนิกานต์ สันต์สวัสดิ์. (2549). *การผลิตเส้นใยอาหารผงจากกากส้มเขียวหวาน*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ธีรนุช ฉายศิริ โชติ และสุวรรณ พิษัยขังแก้วศักดิ์. (2558). *การพัฒนาเต้าหู้นมสดเสริมใยอาหารจากเปลือกส้มโอผง*. รายงานการวิจัย, หลักสูตรเทคโนโลยีการประกอบอาหารและการบริการ และหลักสูตรเทคโนโลยีการแปรรูป, โรงเรียนการเรือน, มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต.

- ธีรรัตน์ อธิธิโสภณกุล, ยี่งวิทย์ เจริญสุวรรณกิจ และวิษุณี ปิ่นเกตุ. (2553). ผลของการทดแทนน้ำตาลด้วยไอโซมอลทูลออสต่อคุณภาพของคุกกี้. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 41(3/1) (พิเศษ), 9-12.
- นัฏฐนันท์ เตชะวงศ์. (2557). *เสาวรสผลไม้สารพัดประโยชน์*. เชียงราย: โรงเรียนบ้านโป่งเกลือ สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษา ประถมศึกษาเชียงราย เขต 1. เอกสารประกอบการเรียน.
- นันทพร อัครนิจ และสุพัฒน์ชลี สิริโชคกรกิตต์. (2555). *การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตกะเพราทอดสุญญากาศ*. รายงานการวิจัย, มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา.
- นันทน์ภัส เต็มวงษ์. (2551). ปริมาณรวมของสารต้านอนุมูลอิสระ สารประกอบบีฟีนอลิกส์ และวิตามินซีในผักและสมุนไพร. *วารสารก้าวทันโลกวิทยาศาสตร์*, 8(1), 41-48.
- นิธิยา รัตนাপนนท์. (2549). *เคมีอาหาร*. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.
- นิธิยา รัตนাপนนท์. (2553). *เคมีอาหาร (พิมพ์ครั้งที่ 4)*. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.
- ปิยะดา อาชาขุทธร. (2554). *การศึกษาการใช้แป้งข้าวเจ้าเพิ่มความข้นหนืดในน้ำส้มและน้ำสับประรดที่เหมาะสมสำหรับผู้สูงอายุ*. รายงานการวิจัย, มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา.
- พนอจิต ชองศิริ. (2543). *การใช้แคปซูลคาร์บอน โซเดียมอัลจีเนตและแซนแทนกัมในกุนเชียงไขมันต่ำ*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร, ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- พรคارا เขตต์ทองคำ และธีรนุช ฉายศิริโชติ. (2554). *บทปฏิบัติการ หลักการเตรียมและการประกอบอาหาร*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต. เอกสารการสอน.
- พัชรภรณ์ วชิรศิริ. (2550). *การสกัดไขมันจากเปลือกกล้วยน้ำว้า*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาคหกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนापนนท์. (ม.ป.ป.). *สารประกอบฟีนอล*. วันที่ค้นข้อมูล 22 กรกฎาคม 2559, เข้าถึงได้จาก <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/2585/phenolic-compound>
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนापนนท์. (ม.ป.ป.). *อัตราการแห้ง*. วันที่ค้นข้อมูล 22 กรกฎาคม 2559, เข้าถึงได้จาก <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0663/drying-rate>
- ไพโรจน์ วิริยจารี. (2545). *การประเมินทางประสาทสัมผัส (Sensory Evaluation)*. เชียงใหม่: คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ไพโรจน์ หลวงพิทักษ์ และเบญจวรรณ ธรรมธนาภิรักษ์. (2538). เส้นใยอาหารกับคุณภาพชีวิต. *วารสารอุตสาหกรรมเกษตร*. 7(2), 22-31.

- บุหรัน พันธุ์สุวรรณต์. (2556). อนุมูลอิสระ สารต้านอนุมูลอิสระ และการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 21(3), 275-286.
- ปรอยฝน เลิศวนวัฒนา, นภาพร เชี่ยวชาญ และภาวดี เมธะคานนท์. (2551). พฤติกรรมการไหลของน้ำสับประรดผสมโยอาหารผงจากกากมะนาว. *วารสารวิจัยและพัฒนา มจร.*, 31(3), 497-511.
- ปาริฉัตร หงสประภาส. (2545). *เคมีกายภาพของอาหาร คอลลอยด์ อิมัลชัน และเจล*. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ปิยะดา อาชายุทธการ. (2554). *การศึกษาการใช้แป้งข้าวเจ้าเพิ่มความข้นหนืดในน้ำส้มและน้ำสับประรดที่เหมาะสมสำหรับผู้สูงอายุ*. รายงานการวิจัย, สาขาวิชา เทคโนโลยีชีวภาพ, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา.
- ปิยะภัทร เดชพระธรรม. (2556). ปัญหาการกลืนในผู้สูงอายุ (Dysphagia in Elderly). *วารสารเวชศาสตร์ฟื้นฟูสาร*, 23(3), 73-80.
- มณฑิรา ราชอักษร และบุศราภรณ์ มหาโยธี. (2554). การชะลอการเกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์พริกแดงบดคอง. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 42(3)(พิเศษ), 721-724.
- มยุรา วัฒนพงศ์ไพศาล, เรวดี จงสุวัฒน์ และเอกราช บำรุงพีชนัน. (2558). ผลของการบริโภคน้ำผักผลไม้ผสมโยอาหารต่อการขับถ่ายอุจจาระในผู้ที่มีภาวะท้องผูก. *วารสารสาธารณสุขศาสตร์*, 45(2), 210-224.
- มูลนิธิโครงการหลวง งานพัฒนาและส่งเสริมการผลิตไม้ผล. (2544). เสาวรส. *จุลสาร ไม้ผลโครงการหลวง*, 2(6), 8-9.
- มูลนิธิสถาบันวิจัยและพัฒนาผู้สูงอายุไทย. (2557). *สถานการณ์ผู้สูงอายุไทย พ.ศ. 2556*. กรุงเทพฯ: อมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด (มหาชน).
- รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต และไพศาล วุฒิจำนงค์. (2545). *การประเมินอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร*. เอกสารประกอบการสัมมนา-อบรมวิชาการด้านอุตสาหกรรมอาหาร.
- ลพ ภาณุตานนท์. (2545). *การปลูกกระทกรฝรั่ง*. เข้าถึงได้จาก http://www.eto.ku.ac.th/neweto/e-book/plant/tree_fruit/fruit4.pdf
- วารภรณ์ วิทยาภรณ์. (2543). *การศึกษาสมบัติของเจลผสมระหว่างแคปไซซิน-คาร์ราจีแนนกับกลูโคแมนแนน และการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์เยลลี่*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร, ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- วัชรวิทย์ เทพโยธิน, นันทพัชร เสนาวงศ์ และจุฑาทิพย์ เมืองพรม. (2559). คุณภาพและการยอมรับของผู้บริโภคต่อน้ำนมข้าวโพดที่ผลิตโดยวิธีเคลือบผิวน้ำตาลและการพาสเจอร์ไรส์. *วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร ฉบับพิเศษ*, 192-202.
- วิวัฒน์ หวังเจริญ. (2545). บทบาทของสารประกอบฟีนอลิกต่อสุขภาพ. *วารสารอาหาร*. 32(4), 245-253.
- วิไล รังสาดทอง. (2546). *เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร*. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. (2558). *ผลิตภัณฑ์อาหารพร้อมบริโภค* เหมาะกับ 5 โรคฮิตที่พบในผู้สูงอายุ. วันที่ค้นข้อมูล 10 มีนาคม 2558, เข้าถึงได้จาก <http://www.tistr.or.th/tistr/newsboard/shownews.php?Category=newsboard&No=478>
- สรศักดิ์ เหลี้ยวไชยพันธุ์. (2531). *ตำราเภสัชเวทเรื่องพฤษกษแทนนิน*. เชียงใหม่: ภาควิชาเภสัชเวท คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- สหขวัญ โรจนคุณธรรม และอังคณา จันทรพลพันธ์. (2557). คุณสมบัติทางเคมี และเคมีกายภาพของเส้นใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากมะม่วงสายพันธุ์แก้วเขียว (*Mangifera indica L.*). *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 333-341.
- สายสมร พูลพันธ์. (2547). *ผลของสารที่ทำให้เกิดเจลต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเยลลี่รสนมผสมน้ำสตรอเบอร์รี่*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร, ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร, มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2547). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนเต้าหู้นมสด*: มผช. 528/2547.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2547). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนมผง*: มผช. 676/2547.
- สำนักงานสถิติแห่งชาติ. (2554). *สรุปผลที่สำคัญการสำรวจประชากรสูงอายุในประเทศไทย พ.ศ. 2554*. กรุงเทพฯ: สำนักงานสถิติแห่งชาติ.
- สำนักนโยบายอุตสาหกรรม (2556). *รายงานการสำรวจข้อมูลเชิงลึกการพัฒนานวัตกรรมอาหารเชิงสุขภาพเพื่อรองรับสังคมผู้สูงอายุ (Aging Society) ณ ประเทศญี่ปุ่น*. รายงาน, สำนักนโยบายอุตสาหกรรมรายสาขา 2, สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม.
- สุชาติ สุขสถิตย์ และมุสดี ตังวัชรินทร์. (2558). ผลของการเตรียมเปลือกกล้วยไปคิบต่อองค์ประกอบทางเคมี สมบัติทางกายภาพ และคุณภาพทางจุลินทรีย์ของผงเปลือกกล้วย. *วารสารเกษตรพระจอมเกล้า*, 33(2), 38-48.

- สุภาพร อภิรัตน์านุสรณ์. (2554). การพัฒนาแยมมังคุดเคลือบดำผสมเปลือกมังคุด. *วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น*, 16(7), 825-834.
- สุภาพรรณ คงสมเพ็ชร และวิชมนิ ยืนยงพุทธกาล. (2557). ผลของการแช่อบแห้งโดยใช้สภาวะสุญญากาศร่วมด้วยต่อคุณภาพของกล้วยไข่กึ่งแห้ง. ใน *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 52* (หน้า 106-113). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์: สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา.
- สุทธิวัฒน์ แซ่ฮ้อ, ณัฐพัฒน์ วัฒนกฤษฎา, ผาณิต ไทยยันโต, และเบญจวรรณ ธรรมชนารักษ์. (2554). การพัฒนาผลิตภัณฑ์เยลลี่การจีแนนสูตรน้ำผัก. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 42(2), 509-512.
- สุรพล อุปดิศสกุล. (2526). *สถิติการวางแผนการตลาด*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แอสเสทการพิมพ์.
- สุรอรรด ศุภจัตรัส. (2554). *Innovation trend*. เข้าถึงได้จาก <http://www.nia.or.th/innolinks/page.php?issue=201109§ion=6>
- ศรัณย์ ลาภนิธิพร, ณัฐฐา เล่าหกุลจิตต์ และอรพิน เกิดชูชื่น. (2555). องค์ประกอบทางเคมี ภายนอก และคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันมะม่วงหิมพานต์. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร ฉบับพิเศษ*, 43(2), 409-412.
- ศิริวัฒน์ ไทยอุดม. (2557). *ผลของสมบัติทางวิทยากระแสนและกายภาพเคมีของสารผสมโพลีแซคคาไรด์กับแป้งมันสำปะหลังตัดแปรต่อระบบต้นแบบอาหารแช่แข็ง*. รายงานการวิจัย, สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร, สำนักงานวิชาเทคโนโลยีการเกษตร, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- ศุภวัชร สิงห์ทอง, เสนีย์ เครือเนตร และศุภพงษ์ อวารณ์. (2556). *ผลของน้ำเสาวรสต่อการต้านอนุมูลอิสระและด้านการอักเสบในผู้สูงอายุและในหลอดทดลอง*. รายงานฉบับสมบูรณ์, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.
- หยาดฝน ทนงการกิจ. (2557). การใช้ประโยชน์จากเศษผักผลไม้เหลือทิ้งเพื่อผลิตเป็นใยอาหารผง. *วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม*, 9(1), 31-38.
- เหมือนหมาย อภินทนาพงศ์ และเสาวนีย์ เอี้ยวสกุลรัตน์. (2556). การผลิตและการทดสอบการยอมรับบริโภคโคลิทอดสุญญากาศของผู้บริโภค. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 43(2) (พิเศษ), 105-108.
- อรุษา เขาวนลิขิต และอรัญญา มิ่งเมือง. (2550). ปริมาณแอนโทไซยานินและปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของมังคุดและน้ำมังคุด. *วารสารวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ*, 23(1), 68-78.

- อัจฉรา ภาวศุทธิ์, วิรัตน์ ปรามทุกซ์, จิระนิล แจ่มเกิด และณัฐวรรณ ชรรณสุวรรณ. (2557). ผลของรูปแบบค้ำที่มีต่อปริมาณและคุณภาพผลของเสาวรสหวานพันธุ์เบอร์ 2. *แก่นเกษตร*, 42(3), 131-135.
- โอภา วัชรคุปต์. (2550). *สารต้านอนุมูลอิสระ*. กรุงเทพฯ: นิเวศน์มิตรการพิมพ์.
- AACC. (2000). *Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists* (10th ed.). St. Paul, Minnesota, USA.
- AOAC. (1995). *Official method of analysis* (16th ed.). Washington, DC: Association of official analytical chemists.
- AOAC. (2000). *Official method of analysis of AOAC international* (17th ed.). Gaithersburg, MD: Association of Official Analytical Chemists.
- Adams, J. B. (1973). Thermal degradation of anthocyanins with particular reference to the 3-glycosides of cyanidin. I. In acidified aqueous solution at 100°C. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 24, 747-762.
- Agizzio, A. P., Carvalho, A. O., Ribeiro, S. F. F., Machado, O. L. T., Alves, E. W., Okorokov, L. A., Samarao, S. S., Jr, C. B., Prates, M. V., & Gomesa, V. M. (2003). A 2S albumin-homologous protein from passion fruit seeds inhibits the fungal growth and acidification of the medium by *Fusarium oxysporum*. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 416, 188-195.
- Ajila, C. M., Bhat, S. G., & Rao, U. J. S. P. (2007). Valuable components of raw and ripe peels from two Indian mango varieties. *Food Chemistry*, 102, 1006-1011.
- Alzamora, S. M., Salvatori, D., Tapia, M. S., Lopez-Malo, A., Welti-Chanes, J., & Fito, P. (2005). Novel functional foods from vegetable matrices impregnated with biologically active compounds. *Journal of Food Engineering*, 67, 205-214.
- American Association of Cereal Chemists. (2001). The definition of dietary fiber. *Cereal Food World*, 46(3), 112-126.
- Amin, I. & Lee, W. Y. (2005). Effect of different blanching times on antioxidant properties in selected cruciferous vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(13), 2314-2320.

- Bacteriological Analytical Manual (BAM). (2003). *Food Sampling/Preparation of Sample Homogenate Chapter 1*. Retrieved from <http://www.fda.moph.go.th>
- Barnes, S. (2010). The biochemistry, chemistry and physiology of the isoflavones in soybeans and their food products. *Lymphatic research and biology*, 8, 89-98.
- Betancur-Ancona, D., Peraza-Mercado, G., Moguel-Ordoñez, Y., & Fuertes-Blanco, S. (2004). Physicochemical characterization of lima bean (*Phaseolus lunatus*) and jack bean (*Canavalia ensiformis*) fibrous residues. *Food Chemistry*, 84, 287-295.
- Betoret, N., Puente, L., Diaz, M. J., Pagan, M. J., Garcia, M. J., Gras, M. L., Martinez-Monzo, J., & Fito, P. (2003). Development of probiotic-enriched dried fruits by vacuum impregnation. *Journal of Food Engineering*, 56(2-3), 273-277.
- Beuchat, L. R. (1977). Functional and electrophoretic characteristics of succinylated peanut flour protein. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 25(2), 258-261.
- Biswas, A. K., Kumar, V., Bhosle, S., Sahoo, J., & Chatli, M. K. (2011). Dietary fibers as functional ingredients in meat products and their role in human health. *International Journal of Livestock Production*, 2(4), 45-54.
- Blanda, G., Cerretani, L., Bendini, A., Cardinali, A., Scarpellini, A., & Lercker, G. (2008). Effect of vacuum impregnation on the phenolic content of Granny Smith and Stark Delicious frozen apple cvv. *European Food Research and Technology*, 226(5), 1229-1237.
- Brovo, L. (1998). Polyphenols: Chemistry, dietary sources, metabolism, and nutritional Significance. *Nutrition Reviews*, 56(11), 317-333.
- Calvache, J. E. N., Fissore, E. N., Latorre, M. E., Soria, M., Pla, M. F. E., & Gerschenson, L. N. (2015). Obtention of dietary fibre enriched fractions from peach bagasse using ethanol pre-treatment and microwave drying. *LWT - Food Science and Technology*, 62, 1169-1176.
- Canteri, M. H., Scheer, A., Petkowicz, C., Ginies, C., Renard, C., & Wosiacki, G. (2010). Physicochemical composition of the yellow passion fruit pericarp fractions and respective pectic substances. *Journal of Food and Nutrition Research*, 49(3), 113-122.
- Carb Counter. (2006). *Nutrition Facts, Passion Fruit Juice*. [Online]. Available from <http://www.carbcounter.org/nutrition> (11 February 2015).
- Carr, J. M. (1993). Hydrocolloids and stabilizers. *Food Technology*, 40(7), 100.

- Chantaro, P., Devahastin, S., & Chiewchan, N. (2008). Production of antioxidant high dietary fiber power from carrot peels. *LWT - Food Science and Technology*, 41, 1987-1994.
- Chau, C. F., & Huang, Y. L. (2003). Comparison of the chemical composition and physicochemical properties of different fibers prepared from the peel of *Citrus sinensis* L. Cv. Liucheng. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(9), 2615-2618.
- Cichero, J., & Lam, P. (2014). Thickened liquids for children and adults with oropharyngeal dysphagia: The complexity of rheological considerations. *Journal of Gastroenterology and Hepatology Research*, 3(5), 1073-1079.
- Cipriano, P. A., Ekici, L., Barnes, R. C., Gomes, C., & Talcott, S. T. (2015). Pre-heating and polyphenol oxidase inhibition impact on extraction of purple sweet potato anthocyanins. *Food Chemistry*, 180, 227-234.
- Civille, G. V., & Szczesniak, S. (1973). Guidelines to training a texture profile panel. *Journal of Texture Studies*, 4, 204-223.
- Crizel, T. M., Jablonski, A. Rios, A. O., Rech, R., & Flôres, S. H. (2013). Dietary fiber from orange byproducts as a potential fat replacer. *LWT - Food Science and Technology*, 53, 9-14.
- Cummings, J. H. (1976). What is fiber?. In G. A. Spiller and R. J. Amen (Eds.), *Fiber in human nutrition* (pp. 1-30). New York: Plenum press.
- Dai, B., & Matsukawa, S. (2012). NMR studies of the gelation mechanism and molecular dynamics in agar solutions. *Food Hydrocolloids*, 26, 181-186.
- Damodaran, S. (1994). Structure-function relationship of food proteins. In N. S. Hettiarachchy, & Ziegler, G. R. (Eds.). *Protein Functionality in Food Systems*, p1. New York: Marcel Dekker, Inc.
- Davey, M. W., Montagu, M. V., Inze, D., Sanmartin, M., Kanellis, A., Smimoff, N., Benzie, I. J. J., Stain, J. J., Favell, D., & Fletcher, J. (2000). Plant L-ascorbic acid: Chemistry, function, metabolism, bioavailability and effects of processing. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80(7), 825-860.
- Deng, Y., & Zhao, Y. (2008). Effect of pulsed vacuum and ultrasound osmopretreatments on glass transition temperature, texture, microstructure and calcium penetration dried apple (Fuji). *LWT-Food Science and Technology*, 41(9), 1575-1585.

- Deylami, M. Z., Rahman, R. A., Tan, C. P., Bakar, J., & Olusegun, L. (2016). Effect of blanching on enzyme activity, color changes, anthocyanin stability and extractability of mangosteen pericarp: A kinetic study. *Journal of Food Engineering*, 178, 12-19.
- Dhawan, K., Dhawan, S., & Sharma, A. (2004). *Passiflora*: a review update. *Journal of Ethnopharmacology*, 94, 1-23.
- Dhingra, D., Michael, M., Rajput, H., & Patil R. T. (2012). Dietary fibre in foods: a review. *Journal of Food Science and Technology*, 49(3), 255-266.
- Douka, H., Papadopoulos, A., Savakis, N., Tsoutsos, T., & Psarras, J. (2012). Assessing energy sustainability of rural communities using principal component analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 1949-1957.
- Dreher, M. L., Dreher, C. J., & Berry, J. W. (1984). Starch digestibility of foods: a nutritional perspective. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 20(1), 47-71.
- EntryKitchen. (2010). *Agar*. Retrieved from <http://www.entrykitchen.com/index.php?lay=show&ac=article&Id=538964971&Ntype=9>
- Escriche, I., Chiralt, A., Moreno, J., & Serra, J. A. (2000). Influence of blanching-osmotic dehydration treatments on volatile fraction of strawberry. *Journal of Food Science*, 65(7), 1107-1111.
- Espachs-Barroso, A., Soliva-Fortuny, R.C., & Martín-Belloso, O. (2005). A natural clouding agent from orange peels obtained using polygalacturonase and cellulose. *Food Chemistry*, 92, 55-61.
- Farid, R., Rezaieyazdi, Z., Mirfeizi, Z., Hatef, M. R., Mirheidari, M., Mansouri, H., Esmaili, H., Bentley, G., Lu, Y., Foo, Y., & Watson, R. R. (2010). Oral intake of purple passion fruit peel extract reduces pain and stiffness and improves physical function in adult patients with knee osteoarthritis. *Nutrition Research*, 30, 601-606.
- Fellows, P. J. (2000). *Food processing technology: Principles and practice*. Washington, DC: Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC.
- Femenia, A. (2007). High-value co-products from plants: cosmetics and pharmaceuticals. In , K. Waldron (Ed.), *Waste management and coproduct recovery in food processing* (pp. 448-466). Cambridge: Woodhead Publishing Limited.

- Femenia, A., Lefebvre, A. C., Thebaudin, J. Y., Robertson, J. A., & Bourgeois, C. M. (1997). Physical and sensory properties of model foods supplemented with cauliflower fiber. *Journal of Food Science*, 62(4), 635-639.
- Femenia, A., Sastre-Serrano, G., Simal, S., Garau, M. C., Eim, V. S., & Rosselló, C. (2009). Effects of air-drying temperature on the cell walls of kiwifruit processed at different stages of ripening. *LWT—Food Science and Technology*, 42(1), 106-112.
- Fennema, O. R. (1996). *Food Chemistry* (3rd ed.). New York: Marcel Dekker.
- Figuerola, F., Hurtado, M. L., Estevez, A. M., Chiffelle, I., & Asenjo, F. (2005). Fibre concentrates from apple pomace and citrus peel as potential fibre sources for food enrichment. *Food Chemistry*, 91(3), 395-401.
- Fito, P., Andres, A., Chiralt, A., & Pardo, R. (1996). Coupling of hydrodynamic mechanism and deformation-relaxation phenomena during vacuum treatments solid porous food-liquid systems. *Journal of Food Engineering*, 27, 229-240.
- Fito, P., Andres, A., Pastor, R., & Chiralt, A. (1994). *Modelling of vacuum osmotic dehydration of foods*. Boca Raton: CRC Press.
- Fito, P., Chiralt, A., Betoret, N., Gras, M., Chafer, M., Martinez-Monzo, J., Andres, A., & Vidal, D. (2001). Vacuum impregnation and osmotic dehydration in matrix engineering application in functional fresh food development. *Journal of Food Engineering*, 49, 175-183.
- Food database and calorie counter. (2560). *Passion-Fruit Juice (Purple)*. Retrieved from [https://www.fatsecret.com/calories-nutrition/usda/passion-fruit-juice-\(purple\)](https://www.fatsecret.com/calories-nutrition/usda/passion-fruit-juice-(purple))
- Fuentes-Alventosa, J. M., Rodríguez-Gutiérrez, G., Jaramillo-Carmona, S., Espejo-Calvo, J. A., Rodríguez-Arcos, R., Fernández-Bolaños, J., Guillén-Bejarano, R., & Jiménez-Araujo, A. (2009). Effect of extraction method on chemical composition and functional characteristics of high dietary fibre powders obtained from asparagus by-products. *Food Chemistry*, 113(2), 665-671.
- Garau M. C., Simal, S., Rosselló C., & Femenia, A. (2007). Effect of air-drying temperature on physico-chemical properties of dietary fibre and antioxidant capacity of orange (*Citrus aurantium* v. Canoneta) by-products. *Food Chemistry*, 104, 1014-1024.

- Garba, U., Kaur, S., Gurumayum, S., & Rasane, P. (2015). Effect of hot water blanching time and drying temperature on the thin layer drying kinetics of and anthocyanin degradation in black carrot (*Daucus carota* L.) shreds. *Food Technology and Biotechnology*, 53(3), 324-330.
- Giannakourou, M. C., & Taoukis, P. S. (2003). Kinetics modeling of vitamin C loss in frozen green vegetables under variable storage conditions. *Food Chemistry*, 83(1), 33-41.
- Glicksman, M. (1982). *Food Hydrocolloids V.1*. New York: CRC Press, Inc.
- Goni, I., & Martin-Carron, N. (1998). In vitro fermentation and hydration properties of commercial dietary fiber-rich supplements. *Nutrition Research*, 18(6), 1077-1089.
- Greve, L. C., McArdle, R. N., Gohlke, J. R., & Labavitch, J. M. (1994). Impact of heating on carrot firmness: Changes in cell wall components. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42(12), 2900-2906.
- Grigelmo-Miguel, N., Gorinstein, S., & MartõÂn-Belloso, O. (1999). Characterisation of peach dietary fibre concentrate as a food ingredient. *Food Chemistry*, 65, 175-181.
- Grigelmo-Miguel, N., & Martin-Belloso, O. (1999). Comparison of dietary fiber from by-products of processing fruits and greens and from cereals. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie*, 32, 503-508.
- Gustavson, K. H. (1956). *The Chemistry of Tanning Processes*. New York: Academic Press.
- Hair, J. F., Anderson, R. E., Tatham, R. L., & Black, W. C. (1998). *Multivariate Data Analysis* (5th ed.). New Jersey: Prentice-Hall International.
- Halliwell, B. (2009). The wanderings of a free radical. *Free Radical Biology & Medicine*, 46, 531-542.
- Haslam, E. (1966). *Chemistry of Vegetable Tannins*. London: Academic Press.
- Hayakawa, F., Kazami, Y., Ishihara, S., Nakao, S., Nakauma, M., Funami, T., Nishinari, K. & Kohyama, K. (2014). Characterization of eating difficulty by sensory evaluation of hydrocolloid gels. *Food Hydrocolloids*, 38, 95-103.
- Hernandez-Santos, B., Vivar-Vera, M. A., Rodríguez-Miranda, J., Herman-Lara, E., Torruco-Uco, J. G., Acevedo-Vendrell, O., & Martínez-Sánchez, C. E. (2015). Dietary fibre and antioxidant compounds in passion fruit (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) peel and

- depectinised peel waste. *International Journal of Food Science and Technology*, *50*, 268-274.
- Hiranvarachat, B., Devahastin, S., & Chiewchan, N. (2011). Effects of acid pretreatments on some physicochemical properties of carrot undergoing hot air drying. *Food and Bioproducts Processing*, *89*(2), 116-127.
- Hu, C. (1999). Study on rough rice fissuring during intermittent drying. *Drying Technology*, *17*, 1779-1793.
- Ismail, A., Marjan, Z. M., & Foong, C. W. (2004). Total antioxidant activity and phenolic content in selected vegetables. *Food Chemistry*, *87*(4), 581-586.
- Jha, S. N., & Prasad, S. (1996). Determination of processing conditions of gorgon nut (*Euryale ferox*). *Journal of Agricultural Engineering Research*, *63*, 103-112.
- Jimenez-Escrig, A., & Sanchez-Muniz, F. J. (2000). Dietary fibre from edible seaweeds: Chemical structure, physicochemical properties and effects on cholesterol metabolism. *Nursing Research*, *20*, 585-598.
- Julian, J. F. (2004). *Linear Model with R*. London: Chapman and Hall.
- Karaaslan, I., & Dalgıç, A. C. (2014). Spray drying of liquorice (*Glycyrrhiza glabra*) extract. *Journal of Food Science and Technology*, *51*(11), 3014-3025.
- Kendall, P., DiPersio, P., & Sofos, J. (2004). Drying vegetables. *Colorado State University*, *9*, 308.
- Kessy, H. N. E., Hu, Z., Zhao, L., & Zhou, M. (2016). Effect of steam blanching and drying on phenolic compounds of litchi pericarp. *Molecules*, *21*, 729.
- Kidoy, L., Nygard, A. M., Andersen, O. M., Pedersen, A. T., Aksnes, D. W., & Kiremire, B. T. (1997). Anthocyanins in fruits of *Passiflora edulis* and *P. suberosa*. *Journal of Food Composition and Analysis*, *10*, 49-54.
- Kim, D. O., Padilla-Zakour, O. I., & Griffiths, P. D. (2004). Flavonoids and antioxidant capacity of various cabbage genotypes at juvenile stage, *Journal of Food Science*, *69*(9), 685-689.
- Kim, S. L., Berhow, M. A., Kim, J. T., Chi, H. Y., Lee, S. J., & Chung, I. M. (2006). Evaluation of soyasaponin, isoflavone, protein, lipid and free sugar accumulation in developing soybean seeds. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, *54*, 10003-10010.

- Kimura, K. K. (1977). The nutritional significance of dietary fibers. In K. K. Kimura (Ed.), *Bureau of foods* (pp. 8-9). Washington, D. C.: FAD.
- Konta, E. M., Almeida, M. R., Amaral, C. L., Darin, J. D. C., Rosso, V. V., Mercadante, A. Z., Antunes, L. M. G., & Bianchi, M. L. P. (2013). Evaluation of the antihypertensive properties of yellow passion fruit pulp (*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* Deg.) in spontaneously hypertensive rats. *Phytotherapy Research*, 28(1), 28-32.
- Ku, C. S., & Mun, S. P. (2008). Optimization of the extraction of anthocyanin from Bokbunja (*Rubus coreanus* Miq.) marc produced during traditional wine processing and characterization of the extracts. *Bioresource Technology*, 99(17), 8325-8330.
- Kuljarachanan, T., Devahastin, S., & Chiewchan, N. (2009). Evolution of antioxidant compounds in lime residues during drying. *Food Chemistry*, 113, 944-949.
- Lahrech, K., Safouane, A., & Peyrellasse, J. (2005). Sol state formation and melting of agar gels rheological study. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 358, 205-211.
- Lario, Y., Sendra, E., Garc'ia-Pe'rez, J., Fuentes, C., Sayas-Barbera', E., Fern'andez-Lo'pez, J., & Pe'rez-Alvarez, J. A. (2004). Preparation of high dietary fiber powder from lemon juice by-products. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 5, 113-117.
- Larrauri, J. A. (1999). New approaches in the preparation of high dietary fibre powder from fruit by-products. *Trends in Food Science and Technology*, 10, 3-8.
- Laufenberg, G., Kunz, B., & Nystroem, M. (2003). Transformation of vegetable waste into value added products: (A) the upgrading concept; (B) practical implementations. *Bioresource Technology*, 87, 167-198.
- Lazze, M. C., Savio, M., Pizzala, R., Cazzalini, O., Perucca, P., Scovassi, A. I., Stivala, L. A., & Bianchi, L. (2004). Anthocyanins induce cell cycle perturbations and apoptosis in different human cell lines. *Carcinogenesis*, 25(8), 1427-1433.
- Lertphatcharanon, S. (2007). *The extraction and application of dietary fiber from by-product of fresh ground turmeric (Curcuma longa Linn.)*. Master's thesis, Nutrition, Mahidol University.
- Lewicki, P. P. (2006). Design of hot air drying for better foods. *Trends in Food Science and Technology*, 17(4), 153-163.

- Lila, M. A. (2004). Anthocyanins and human health: An in vitro investigative approach. *Journal of Biomedicine and Biotechnology*, 5, 306-313.
- Lima, G. C., Vuolo, M. M., Batista, A. G., Dragano, N. R. V., Solon, C., & Junior, M. R. M. (2016). *Passiflora edulis* peel intake improves insulin sensitivity, increasing incretins and hypothalamic satiety neuro peptide in rats on a high-fat diet. *Nutrition*, 32, 863-870.
- Lin, L., Lei, F., Sun, D., Dong, Y., Yang, B., & Zhao, M. (2012). Thermal inactivation kinetics of *Rabdosia serra* (Maxim.) Hara leaf peroxidase and polyphenol oxidase and comparative evaluation of drying methods on leaf phenolic profile and bioactivities. *Food Chemistry*, 134(4), 2021-2029.
- López-Vargas, J. H., Fernández-López, J., Pérez-Álvarez, J. A., & Viuda-Martos, M. (2013). Chemical, physico-chemical, technological, antibacterial and antioxidant properties of dietary fiber powder obtained from yellow passion fruit (*Passiflora edulis* var. *flavicarpa*) co-products. *Food Research International*, 51(2), 756-763.
- López-Vargas, J. H., Fernández-López, J., Pérez-Álvarez, J. A., & Viuda-Martos, M. (2014). Quality characteristics of pork burger added with albedo-fiber powder obtained from yellow passion fruit (*Passiflora edulis* var. *flavicarpa*) co-products. *Meat Science*, 97(2), 270-276.
- Lu, S., Luo, Y., Turner, E., & Feng, H. (2007). Efficacy of sodium chlorite as an inhibitor of enzymatic browning in apple slices. *Food Chemistry*, 104, 824-829.
- Martínez-Cervera, S., Salvador, A., Mugerza, B., Moulay, L., & Fiszman, S. M. (2011). Cocoa fibre and its application as a fat replacer in chocolate muffins. *LWT - Food Science and Technology*, 44, 729-736.
- Martínez, R., Torres, P., Meneses, M. A., Figueroa, J. G., Pérez-Álvarez, J. A., & Viuda-Martos, M. (2012). Chemical, technological and in vitro antioxidant properties of mango, guava, pineapple and passion fruit dietary fibre concentrate. *Food Chemistry*, 135, 1520-1526.
- Martini, S., D'Addario, C., Bonechi, C., Leone, G., Tognazzi, A., Consumi, M., Magnani, A., & Rossi, C. (2010). Increasing photostability and water-solubility of carotenoids:

- Synthesis and characterization of b-carotene–humic acid complexes. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 101, 355-361.
- McCleary, B. V., & Prosky, L. (2001). *Advanced dietary fiber technology*. Oxford: Blackwell Science Ltd.
- McGuire, R. G. (1992). Report of objective color measurements. *HortScience*, 27(12), 1254-1255.
- McMahon, E. F., & Dawson, L. E. (1975). Effects of salt and phosphates on some functional characteristics of hand and mechanically deboned turkey meat. *Poultry Science*, 55(2), 573-578.
- Méndez-Lagunas, L., Rodríguez-Ramírez, J., Cruz-Gracida, M., Sandoval-Torres, S., & Barriada-Bernal, G. (2017). Convective drying kinetics of strawberry (*Fragaria ananassa*): Effects on antioxidant activity, anthocyanins and total phenolic content. *Food Chemistry*, 230, 174-181.
- Mercadante, A. Z., & Bobbio, F. O. (2008). Anthocyanin in food: Occurrence and physicochemical properties, In C. Socaciu (Ed.), *Food Colorants Chemical and Functional Properties* (pp. 260-261). Boca Raton, Florida: CRC Press.
- Molyneux, P. (2004). The use of the stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity. *Songklanakarinn Journal of Science and Technology*, 26(2), 211-219.
- Moreno, J., Bugueno, G., Velasco, V., Petzold, G., & Tabilo-Munizaga, G. (2004). Osmotic dehydration and vacuum impregnation on physicochemical properties of Chilean papaya (*Carica candamarcensis*). *Journal of Food Science*, 69(3), 102-106.
- Morton, J. (1987). Mangosteen, [Online]. Available from <http://www.hort.purdue.edu/newcrop/morton/mangosteen.html> [July 10, 2016].
- Naowakul, B., Wirjantoro, T. I., & Phianmongkhol, A. (2013). Effects of speed and time of wet milling on properties of dietary fiber powder from pomelo's albedo. *Food and Applied Bioscience Journal*, 1(1), 34-48.
- National Dysphagia Diet Task Force. (2002). *National Dysphagia Diet: Standardization for optimal care*. Chicago, IL: American Dietetic Association.

- Negi, P. S., & Roy, S. K. (2000). Effect of blanching and drying methods on β -carotene, ascorbic acid and chlorophyll retention of leafy vegetables, *LWT - Food Science and Technology*, 33(4), 295-298.
- Nelson, N. (1944). A photometric adaptation of the somogyi method for the determination of glucose. *The Journal of Biological Chemistry*, 153, 375-380.
- Nelson, A. I., Steinberg, M. I., & Wei, L. S. (1976). Illinois process for preparation of soymilk. *Journal of Food Science*, 41(1), 57-61.
- Ni, L., Lin, D., & Barrett, D. M. (2005). Pectin methylesterase catalyzed firming effects on low temperature blanched vegetables. *Journal of Food Engineering*, 70, 546-556.
- Nilnakara, S. (2006). *Effects of blanching and drying on physicochemical properties of high dietary fiber powder produced from cabbage residues*. Master's thesis, Food Engineering, Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi.
- Nishiba, Y., & Suda, I. (1998). Degradation of vitamin E, vitamin C, and lutein in soybean homogenate: A comparison of normal soybean and lipoxygenase-lacking (triple-null) soybean. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 6(9), 3708-3712.
- Norziah, M. H., Foo, S. L., & Karim, A. A. (2006). Rheological studies on mixtures of agar (*Gracilaria changii*) and K-carrageenan. *Food Hydrocolloids*, 20, 204-217.
- Nurhuda, H. H., Maskat, M. Y., Mamot, S., Afiq, J., & Aminah, A. (2013). Effect of blanching on enzyme and antioxidant activities of rambutan (*Nephelium lappaceum*) peel. *International Food Research Journal*, 20(4), 1725-1730.
- Oreopoulou, V., & Tzia, C. (2007). Utilization of Plant By-Products for the Recovery of Proteins, Dietary Fibers, Antioxidants, and Colorants. In V. Oreopoulou, & W. Russ (Eds.), *Utilization of By-Products and Treatment of Waste in the Food Industry* (pp. 209-232). USA: Springer Science.
- Ou, S., Kwok, K., Li, Y., & Fu, L. (2001). In vitro study of possible role of dietary fiber in lowering postprandial serum glucose. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(2), 1026-1029.
- Pagan, J., Ibarz, A., Llorca, M., Pagan, A., & Barbosa-Canovas, G. V. (2001). Extraction and characterization of pectin from stored peach pomace. *Food Research International*, 34, 605-612.

- Patras, A., Brunton, N. P., O'Donnell, C., & Tiwari, B. K. (2010). Effect of thermal processing on anthocyanin stability in foods; mechanisms and kinetics of degradation. *Trends in Food Science & Technology*, *21*, 3-11.
- Peerajit, P., Chiewchan, N., & Devahastin, S. (2012). Effects of pretreatment methods on health-related functional properties of high dietary fibre powder from lime residues. *Food Chemistry*, *132*, 1891-1898.
- Pla, M. F. E., González, P., Sette, P., Portillo, F., Rojas, A. M., & Gerschenson, L. N. (2012). Effect of processing on physico-chemical characteristics of dietary fibre concentrates obtained from peach (*Prunus persica* L.) peel and pulp. *Food Research International*, *49*, 184-192.
- Prakash, S., Jha, S. K., & Datta, N. (2004). Performance evaluation of blanched carrot dried by three different driers. *Journal of Food Engineering*, *62*, 305-313.
- Prosky, L., & Devries, J. W. (1992). Controlling dietary fiber in food products. New York: AVI Book.
- Raghavarao, K. S. M. S., Raghavendra, S. N., & Rastogi, N. K. (2008). Potential of coconut dietary fiber. *Indian Coconut Journal*, 1-7.
- Rahman, S. (1995). Food Properties Handbook. New York, USA: CRC Press, Inc.
- Raoult-Wack, A. L. (1994). Recent advances in the osmotic dehydration foods. *Trends in Food Science & Technology*, *5*(8), 255-260.
- Rein, M. (2005). Copigmentation reactions and color stability of berry anthocyanins, Doctoral dissertation, University of Helsinki, Finland.
- Robertson, J. A., Monredon, F. D., Dysseler, P., Guillon, F., Amado, R., & Thibault, J. F. (2000). Hydration properties of dietary fibre and resistant starch: a European Collaborative Study. *LWT - Food Science and Technology*, *33*(2), 72-79.
- Roy, M. K., Juneja, L. R., Isobe, S., & Tsushida, T. (2009). Steam processed broccoli (*Brassica oleracea*) has higher antioxidant activity in chemical and cellular assay systems. *Food Chemistry*, *114*(1), 263-269.
- Rupasinghe, H. P. V., Wang, L., Huber, G. M., & Pitts, N. L. (2008). Effect of baking on dietary fibre and phenolics of muffins incorporated with apple skin powder. *Food Chemistry*, *107*, 1217-1224.

- Saencom, S., Chiewchan, N., & Devahastin, S. (2011). Production of dried ivy gourd sheet as a health snack. *Food and Bioproducts processing*, 89(4), 414-421.
- Samoticha, J., Wojdylo, A., & Lech, K. (2016). The influence of different the drying methods on chemical composition and antioxidant activity in chokeberries. *LWT - Food Science and Technology*, 66, 484-489.
- Saura-Calixto, F. (1998). Antioxidant dietary fiber product: A new concept and a potential food ingredient. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46, 4303-4306.
- Saurel, R. (2002). The use of vacuum technology to improve processed fruit and vegetables. In W. Jongen (Ed.), *Fruit and Vegetable Processing: Improving Quality* (pp. 363-380). Boca Raton, CRC Press.
- Schmidt, R. (1981). Gelation and coagulation. In J. P. Cherry (Ed.), *Protein Functionality in Foods* (p.131). Washington D.C: ACS Series 147.
- Sengkhampan, N., Chanshotikul, N., Assawajitpukdee, C., & Khamjae, T. (2013). Effects of blanching and drying on fiber rich powder from pitaya (*Hylocereus undatus*) peel. *International Food Research Journal*, 20(4), 1595-1600.
- Severini, C., Baiano, A., Pilli, T. D., Romaniello, R., & Derossi, A. (2003). Prevention of enzymatic browning in sliced potatoes by blanching in boiling saline solutions. *LWT - Food Science and Technology*, 36(7), 657-665.
- Sharma, S.C. (1981). Gum and hydrocolloids in oil-water emulsions. *Food Technology*, 34(1), 59-67.
- Sila, D. N., Duvetter, T., Roeck, A. De., Verlent, I., Smout, C., Moates, G. K., Hills, B. P., Waldron, K. K., Hendrickx, M., & Loey, A. V. (2008). Texture changes of processed fruits and vegetables: potential use of high-pressure processing. *Trends in Food Science & Technology*, 19(6), 309-319.
- Singh, S., Singh, J. & Rai, M. (2008). Nutritional attributes of processed tomatoes. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 7, 335-339.
- Sperling, L. H. (2006). Introduction to physical polymer science (4th ed.). New Jersey: John Wiley & Son, Inc.

- Spiller, G. A. (1986). Suggestions for a basis on which to determine a desirable intake of dietary fibre. In G. A. Spiller, (Ed.), *CRC Handbook of Dietary Fiber in Human Nutrition* (pp. 281-283). Florida: CRC Press.
- Stamatopoulos, K., Katsoyannos, E., Chatzilazarou, A., & Konteles, S. J. (2012). Improvement of oleuropein extractability by optimising steam blanching process as pre-treatment of olive leaf extraction via response surface methodology. *Food Chemistry*, *133*(2), 344-351.
- Stanley, N. F. (1995). Agar. In A. M. Stephen, G. O. Philips, & P. A. Williams (Eds.), *Food Polysaccharide and Their Applications* (pp. 217-230). New York: Marcel Dekker, Inc.
- Stolle-Smits, T., Beekhuizen, J. G., Recourt, K., Voragen, A. G. J., & Dijk, C. V. (1997). Changes in pectic and hemicellulosic polymers of green beans (*Phaseolus vulgaris* L.) during Industrial processing. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *45*, 4790-4799.
- Stone, H. & Sidel, J. L. (1992). *Sensory Evaluation Practices* (2nd Ed.). New York: Academic Press.
- Sudha, M. L., Baskaran, V., & Leelavathi, K. (2007). Apple pomace as a source of dietary fiber and polyphenols and its effect on the rheological characteristics and cake making. *Food Chemistry*, *104*, 686-692.
- Sunprasert, J. (2010). *Physical properties of a model food incorporated with dietary fiber powder from lime residues*. Master's thesis, Food Engineering, Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi.
- Szczesniak, A. S. (1987). Review paper: Correlating sensory with instrumental texture measurements-An overview of recent developments. *Journal of Texture Studies*, *18*, 1-15.
- Tanongkankit, Y. (2011). *Production of dietary fiber powder having antioxidants, glucosinolates and sulforaphane from white cabbage outer leaves*. Master's thesis, Food Engineering, Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi.
- Thomas, W.R. (1997). Carageenan, In A. Imeson (Eds.), *Thickening and Gelling Agents for Food* (pp. 45-49). London: Blackie Academic & Professional.

- Thongsombat, W., Sirichote, A., & Chanthachum, S. (2007). Production of guava juice fortified with dietary fiber. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 29, 187-196.
- Turkmen, N., Sari, F., & Velioglu, Y. S. (2005). The effect of cooking methods on total phenolics and antioxidant activity of selected green vegetables, *Food Chemistry*, 93, 713-718.
- Uysal, H., Bilgiçli, N., Elgün, A., Ibanoglu, S., Herken, E. N., & Demir, M. K. (2007). Effect of dietary fibre and xylanase enzyme addition on the selected properties of wire-cut cookies. *Journal of Food Engineering*, 78, 1074-1078.
- Velioglu, Y. S., Mazza, G., Gao, L., & Oomah, B. D. (1998). Antioxidant activity and total phenolics in selected fruits, vegetables and grain products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46, 4113-4117.
- Vinci, G., Botrè, F., & Mele, G. (1995). Ascorbic acid in exotic fruits: a liquid chromatographic investigation. *Food Chemistry*, 53, 211-214.
- Viuda-Martos, M., Ruiz-Navajas, Y., Martin-Sanchez, A., Sánchez-Zapata, E., Fernández-López, J., Sendra, E., Sayas-Barberá, E., Navarro, C., & Pérez-Álvarez, J. A. (2012). Chemical, physico-chemical and functional properties of pomegranate (*Punica granatum* L.) bagasses powder co-product. *Journal of Food Engineering*, 110, 220-224.
- Volden, J., Borge, G. I. A., Bengtsson, G. B., Hansen, M., Thygesen, I. E., & Wicklund, T. (2008). Effect of thermal treatment on glucosinolates and antioxidant-related parameters in red cabbage (*Brassica oleracea* L. ssp. *capitata* f. *rubra*). *Food Chemistry*, 109(3), 595-605.
- Wachirasiri, P., Julakarangka, S., & Wanlapa, S. (2009). The effects of banana peel preparations on the properties of banana peel dietary fibre concentrate, *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 31(6), 605-611.
- Watson, R.R., Zibadi, S., Rafatpanah, H., Jabbari, F., Ghasemi, R., Ghafari, J., Afrasiabi, H., Foo L. Y., & Faridhosseini, R. (2008). Oral administration of the purple passion fruit peel extract reduces wheeze and cough and improves shortness of breath in adults with asthma. *Nutrition Research*, 28, 166-171.

- Wennberg, M., Ekvall, J., Olsson, K., & Nyman, M. (2006). Changes in carbohydrate and glucosinolate composition in white cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata*) during blanching and treatment with acetic acid, *Food Chemistry*, *95*, 226-236.
- Wongmetinee, T. (2007). *Effection of dietary fiber from lemn grass residue and its application in foods*. Master's thesis, Food and nutrition for development, Mahidol University.
- Yang, Z., & Zhai, W. (2010). Optimization of microwave-assisted extraction of anthocyanins from purple corn (*Zea mays* L.) cob and identification with HPLC–MS. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, *11*, 470-476.
- Yangilar, F. (2013). The application of dietary fibre in food industry: Structural features, effects on health and definition, obtaining and analysis of dietary fibre: A Review. *Journal of Food and Nutrition Research*, *1*(3), 13-23.
- Yapo, B. M., & Koffi, K. L. (2006). Yellow passion fruit rind-A potential source of low-methoxyl pectin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *54*, 2738-2744.
- Yousef, A. E., & Carlstrom, C. (2003). *Food Microbiology: A Laboratory Manual*. Canada: John Wiley & Sons.
- Yu, L. L., Zhou, K. K., & Party, J. (2005). Antioxidant properties of cold-pressed black caraway, carrot, cranberry and hamp seed oils, *Food Chemistry*, *91*, 723-729.
- Zeraik, M. L., Serteyn, D., Deby-Dupont, G., Wauters, J. N., Tits, M., Yariwake, J. H., Angenot, L., & Franck, T. (2011). Evaluation of the antioxidant activity of passion fruit (*Passiflora edulis* and *Passiflora alata*) extracts on stimulated neutrophils and myeloperoxidase activity assays. *Food Chemistry*, *128*, 259-265.
- Zhao, Y., & Xie, J. (2004). Practical applications of vacuum impregnation in fruit and vegetable processing. *Trends in Food Science & Technology*, *15*(9), 434-451.
- Zibadi, S., Farid, R., Moriguchi, S., Lu, Y., Foo, L. Y., Tehrani, P. M., Ulreich, J. B., & Watson, R. R. (2007). Oral administration of purple passion fruit peel extract attenuates blood pressure in female spontaneously hypertensive rats and humans. *Nutrition Research*, *27*, 408-416.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

ก-1 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000)

อุปกรณ์

1. ตู้อบลมร้อน (Hot air oven)
2. ภาชนะหาความชื้น (Moisture can)
3. โถดูดความชื้น (Desiccator)
4. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง

วิธีทำ

1. อบภาชนะสำหรับหาความชื้นในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบใส่ไว้ในโถดูดความชื้น ปล่อยให้เย็นแล้วชั่งน้ำหนัก
2. ทำซ้ำตาม ข้อ 1. จนได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งทั้งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม

มิลลิกรัม

3. ชั่งตัวอย่างที่ต้องการหาความชื้น ให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 1-2 กรัม ใส่ลงในภาชนะหาความชื้น ซึ่งทราบน้ำหนักแล้ว

4. นำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5-6 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบใส่ไว้ในโถดูดความชื้น ปล่อยให้เย็นแล้วชั่งน้ำหนักภาชนะพร้อมตัวอย่างนั้น จากนั้นนำกลับไปเข้าตู้อบ

5. ทำซ้ำตาม ข้อ 2. จนได้ผลต่างของน้ำหนัก ที่ชั่งทั้งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม

มิลลิกรัม

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณความชื้น (กรัม/100 กรัม)} = \frac{(W_1 - W_2) \times 100}{W_1}$$

กำหนดให้ W_1 = น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)

W_2 = น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

ก-2 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน(AOAC, 2000)

อุปกรณ์

1. ชุคเตาย่อย
2. ชุคกั่นโปรตีน
3. บิวเรต ขนาด 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร
4. ปิเปต ขนาด 10 มิลลิเมตร
5. ฟลาสค์ ขนาด 250 มิลลิลิตร
6. กระจกตวง ขนาด 100 มิลลิลิตร
7. ขวดปรับปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร

สารเคมี

1. คอปเปอร์ซัลเฟต
2. โพแทสเซียมซัลเฟต
3. กรดซัลฟิวริก
4. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์
5. กรดบอริก
6. Sher indicator*(ของ Buchi. เป็นอินดิเคเตอร์สำเร็จสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณ

โปรตีนแบบ boric acid titration)

การเตรียมสาร

1. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 40 วิธีการเตรียม คือ ชั่งสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 40 กรัม แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นในขวดปรับปริมาตร

2. กรดบอริก ความเข้มข้นร้อยละ 4 วิธีการเตรียม คือ ชั่งกรดบอริก 4 กรัมแล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นในขวดปรับปริมาตร

3. สารผสมระหว่างคอปเปอร์ซัลเฟต (CuSO_4) และ โพแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4)

อัตราส่วน 0.5:10

4. กรดซัลฟิวริก 20 มิลลิลิตร

วิธีทำ

ขั้นตอนการย่อย

1. ชั่งตัวอย่าง 1-2 กรัม ใส่ในขวดย่อยโปรตีน

2. เติมสารผสมระหว่างคอปเปอร์ซัลเฟตและโพแทสเซียมซัลเฟต ปริมาณ 9.8 กรัม
กรกซัลฟูริก 20 มิลลิลิตร

3. วางขวดย่อยในเตาย่อยแล้วประกอบสายยางระหว่างฝาครอบ ขวดใส่ต่างและเครื่อง
ดักจับไอกรดให้เรียบร้อย

4. เปิดสวิทซ์เครื่องดักจับไอกรดและเตาย่อยแล้วตั้งอุณหภูมิ 200°C นาน 30 นาที
จากนั้นปรับเพิ่มอุณหภูมิเป็น 400°C นาน 60 นาที จนได้สารละลายใส

5. ปลดยंत्रทิ้งไว้ให้เย็น

ขั้นตอนการกลั่นและไตเตรท

1. จัดชุดกลั่น แล้วเปิดสวิทซ์ให้ความร้อน และเปิดน้ำหล่อเย็นเครื่องควบแน่น

2. นำขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมกรดบอริกความเข้มข้นร้อยละ 4 ลงไป 25
มิลลิลิตร และเติมอินดิเคเตอร์ 2 หยด แล้วนำไปรองรับของเหลวที่จะกลั่น โดยให้ส่วนปลายของ
อุปกรณ์ควบแน่นจุ่มลงในสารละลายกรด

3. เติมน้ำกลั่นลงในหลอดย่อย 20 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์
ให้ทำปฏิกิริยาเกินพอสังเกตให้สารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลขุ่น

4. กลั่นประมาณ 3 นาที ล้างปลายอุปกรณ์ควบแน่นด้วยน้ำกลั่นลงในขวดรองรับ

5. ไทเทรตสารละลายที่กลั่นได้กับสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.1
นอร์มัล จะได้จุดยุติเป็นเทาฟ้าจาง ๆ หรือใสไม่มีสี

6. ทำ blank ด้วยวิธีการเช่นเดียวกันตั้งแต่ ขั้นตอนการย่อย ข้อ 2-5 และ ขั้นตอนการกลั่น
และไตเตรท

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณโปรตีน (กรัม/100 กรัม)} = \frac{(a-b) \times N \times 1.4 \times \text{factor}}{W}$$

กำหนดให้ a = ปริมาณของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้เป็นมิลลิลิตร

b = ปริมาณของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้กับ blank เป็นมิลลิลิตร

N = ความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเป็น นอร์มัล

W = น้ำหนักตัวอย่างเป็นกรัม

Factor = ตัวเลขที่เหมาะสม 6.25

ก-3 การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (AOAC, 2000)

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์ชุดสกัดไขมัน (Soxhlet apparatus) ประกอบด้วย ขวดก้นกลมสำหรับใส่ตัวอย่างทำละลาย ซอกเลต (soxhlet) เครื่องควบแน่น (condenser) และเตาให้ความร้อน (heating mantle)
2. ทิมเบิล
3. สำลี
4. ตู้อบไฟฟ้า
5. โถดูดความชื้น
6. เครื่องชั่งไฟฟ้า

วิธีทำ

1. ชั่งตัวอย่างอาหารแห้ง ประมาณ 1-2 กรัม (ทราบน้ำหนักที่แน่นอน) ใสลงในทิมเบิลที่ใช้สกัดผ่านการอบแห้ง ปิดปากทิมเบิลด้วยสำลี
2. ชั่งน้ำหนักพลาสติกที่ผ่านการอบแห้งแล้ว
3. เติมปิโตรเลียมอีเทอร์ ลงในพลาสติก แล้วต่อชุดสกัดไขมันเข้าด้วยกัน ซึ่งประกอบด้วยพลาสติก Soxhlet และคอนเดนเซอร์
4. สกัดลิพิดใน Soxhlet apparatus ด้วยอัตรา 5-6 หยดต่อวินาที เป็นเวลา 4 ชั่วโมง หรือที่ 2-3 หยดต่อนาที เป็นเวลา 6 ชั่วโมง โดยให้ความร้อนแก่พลาสติก
5. ภายหลังการสกัดลิพิดเสร็จแล้ว ปล่อยให้ตัวทำละลายออกจากสารละลาย โดยอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที
6. ปลดพลาสติกให้เย็นใน โถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักของลิพิดที่สกัดได้

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณไขมัน (กรัม/100 กรัม)} = \frac{\text{น้ำหนักของลิพิด} \times 100}{\text{น้ำหนักของตัวอย่าง}}$$

ก-4 การวิเคราะห์ปริมาณกากใย (AOAC, 2000)

อุปกรณ์

1. ชุดวิเคราะห์ปริมาณเส้นใย
2. Hot Plate

3. โถดูดความชื้น
4. เครื่องชั่งไฟฟ้า
5. Hot Oven
6. เตาเผาอุณหภูมิสูง

สารเคมี

1. ปีโตรเลียมอีเทอร์
2. เอทิลแอลกอฮอล์ หรือเอทานอล
3. โซเดียมไฮดรอกไซด์
4. กรดไฮโดรคลอริก
5. ไดเอทิลอีเทอร์
6. กรดซัลฟิวริก

การเตรียมสาร

1. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.313 โมลาร์ วิธีการเตรียม คือ ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.25 กรัม ละลายในน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร
2. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้นร้อยละ 1 (ปริมาตรต่อปริมาตร) วิธีการเตรียม คือ เจือจางกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น จำนวน 10 มิลลิลิตร ให้ได้ปริมาตร 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น
3. เอทิลแอลกอฮอล์ หรือเอทานอล ความเข้มข้นร้อยละ 95 (ปริมาตรต่อปริมาตร)
4. สารละลายกรดซัลฟิวริก ความเข้มข้น 0.1275 โมลาร์ (0.255 นอร์มัล) วิธีการเตรียม คือ เจือจางกรดซัลฟิวริกเข้มข้น จำนวน 1.25 ให้ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

วิธีทำ

1. ชั่งตัวอย่างอาหาร 1-2 กรัม
2. เติมสารละลายซัลฟิวริก ความเข้มข้น 1.25 ปริมาตร 200 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ ไปต้มเดือดนาน 30 นาที ขณะต้มควรปิดปากพลาสติกด้วยกระดาษพิก้า สังเกตไม่ให้ปริมาตรของสารละลายลดลง หากลดลงให้ปรับปริมาตรโดยใช้น้ำร้อน ขณะต้มควรเขย่าพลาสติกเป็นครั้งคราว เพื่อให้ตัวอย่างผสมกันอย่างทั่วถึง
3. นำสารละลายที่ต้มกับตัวอย่าง วางทิ้งไว้ประมาณ 1 นาที
4. กรองตัวอย่างที่ถูกละลายด้วย Buchner funnel ที่รองด้วยกระดาษกรอง กรองกากทั้งหมดให้เสร็จภายใน 10 นาที ล้างกากด้วยน้ำร้อนจนหมดกรด

5. นำกระดาษกรองพร้อมกาก ใสลงในบีกเกอร์ใบเดิม ล้างกากออกจากกระดาษกรองด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1.25 ปริมาตร 200 มิลลิลิตร ใสลงในบีกเกอร์ ต้มเดือด เป็นเวลา 30 นาที
6. กรองตัวอย่างที่ถูกย่อยด้วย Buchner funnel ที่รองด้วยกระดาษกรอง กรองกากทั้งหมดให้เสร็จภายใน 10 นาที ล้างกากด้วยน้ำร้อนจนหมดค้าง
7. นำกระดาษกรองพร้อมกาก ใสลงในบีกเกอร์ใบเดิม ล้างกากด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ แล้วตามด้วยน้ำร้อน จนแน่ใจว่าไม่เหลือกรดอยู่
8. ล้างกากที่ได้ด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ 2 ครั้ง ตามด้วยไดเอทิลอีเทอร์ 3 ครั้ง
9. นำกากสารละลายเทใส่ถ้วยกระเบื้องที่ทราบน้ำหนักแน่นอน ปล่อยให้แห้งอย่างช้าๆ
10. นำถ้วยกระเบื้องที่ระเหยแห้ง แล้วนำไปอบ ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบใส่ไว้ในโถดูดความชื้น ปล่อยให้เย็นแล้วชั่งน้ำหนัก จนได้น้ำหนักที่แน่นอน
11. นำกากที่ได้ไปเผาต่อในเตาเผา ที่อุณหภูมิ 500-550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิเตาเผาลง ครั้งละ 50 องศาเซลเซียส ทุก ๆ 30 นาที จนเหลืออุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส
12. ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น และชั่งน้ำหนัก

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณเส้นใยหยาบ (กรัม/100 กรัม)} = \frac{W_2 - W_1}{W_3} \times 100$$

กำหนดให้ W_1 = น้ำหนักของถ้วยเปล่า (กรัม)

W_2 = น้ำหนักของถ้วยเผาที่รวมเส้นใย (กรัม)

W_3 = น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

ก-5 การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (AOAC, 2000)

อุปกรณ์

1. เตาเผา
2. ถ้วยกระเบื้องเคลือบ
3. โถดูดความชื้น
4. เครื่องชั่งไฟฟ้า

วิธีทำ

1. เฝяд้วยกระเบื้องเคลือบในเตาเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิเตาเผาลง
2. ปิดเตาแล้วจึงนำถ้วยกระเบื้องใส่ในโถดูดความชื้น ปล่อยให้เย็นจนกระทั่งอุณหภูมิของถ้วยกระเบื้องเคลือบลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้องแล้วชั่งน้ำหนัก
3. ทำซ้ำตามข้อ 1. จนได้ผลต่างของน้ำหนักทั้งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม
4. ชั่งตัวอย่างอาหารให้ได้น้ำหนักแน่นอนประมาณ 1-2 กรัม ใส่ในถ้วยกระเบื้องเคลือบที่ทราบน้ำหนักแน่นอน แล้วนำไปเผาในตู้ดูดควันจนหมดควันก่อน
5. นำถ้วยกระเบื้องเคลือบที่ใส่ตัวอย่างอาหารเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส
6. ทำซ้ำตามข้อ 1.-2.

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณเถ้า (กรัม/100 กรัม)} = \frac{(W_2 - W_1) \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$

$$\text{กำหนดให้ } W_1 = \text{น้ำหนักถ้วย}$$

$$W_2 = \text{น้ำหนักถ้วย} + \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา}$$

ก-6 การวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (AOAC, 2000)

ในการวิเคราะห์ส่วนประกอบโดยรวมประมาณ (proximate analysis) ของตัวอย่างอาหาร จะต้องวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ไขมันหรือลิวพิค โปรตีน และเถ้า สำหรับปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด คือ ส่วนที่เหลือโดยผลต่างจึงหาปริมาณคาร์โบไฮเดรตในอาหาร โดยวิธีคำนวณดังนี้

1. การคำนวณ

$$\text{คาร์โบไฮเดรต (กรัม/100 กรัม)} = 100 - (\text{ความชื้น} + \text{ไขมัน} + \text{โปรตีน} + \text{กากใย} + \text{เถ้า})$$

ก-7 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลโดยวิธี Lane and Eynon volumetric method

(AOAC, 2000 Method 923.09)

สารเคมี

1. สารละลาย Carrezl : ละลายซิงค์แอสซิเตตไดไฮเดรต จำนวน 21.9 กรัม ในน้ำกลั่น ที่มีกรดแอสซิดิกจำนวน 3 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นในขวดปรับปริมาตร

2. สารละลาย Carrez II : ละลายโพแทสเซียมเฟอร์โรไซยาไนด์ จำนวน 10.6 กรัมด้วยน้ำกลั่น และปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตร

3. สารละลาย Fehling solution A : ละลายคอปเปอร์ซัลเฟต จำนวน 69.278 กรัม ด้วยน้ำกลั่น และปรับปริมาตรให้ครบ 1,000 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตร

4. สารละลาย Fehling solution B : ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จำนวน 100 กรัม และโซเดียมโพแทสเซียมตาร์เทรต จำนวน 346 กรัม ด้วยน้ำกลั่น และปรับปริมาตรให้ครบ 1,000 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตร

5. สารละลายเมทิลินบลู ความเข้มข้น 1% : สารละลายเมทิลินบลูจำนวน 1 กรัม ด้วยน้ำกลั่น และปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตร

6. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 5 N : ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จำนวน 400 กรัม ด้วยน้ำกลั่น และปรับปริมาตรให้ครบ 1,000 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตร

การเตรียมสารละลายตัวอย่าง

1. ชั่งตัวอย่าง (ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำตาลในอาหาร) ใส่บีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นลงไปเล็กน้อย เพื่อบดตัวอย่างให้เป็นเนื้อเดียวกัน

2. เติม clearing agent (Carrez 1, II ลงไปอย่างละ 5 มิลลิลิตร) เขย่าให้เข้ากัน ปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร (หรือ 250 มิลลิลิตร) ด้วยน้ำกลั่น ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนประมาณ 20-30 นาที

3. กรองสารละลายที่ได้ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ก่อนอินเวอร์ชัน

การหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ก่อนการทำอินเวอร์ชัน (Before inversion, D₁)

Preliminary titration

1. นำสารละลายที่กรองได้ใส่บิวเรต ไล่ฟองอากาศโดยเฉพาะตรงบริเวณส่วนปลายแบ่งแก้วให้หมด

2. ปิเปิดสารละลายผสม Fehling's solution จำนวน 10 มิลลิลิตร (ใช้อย่างละ 5 มิลลิลิตร) หรือ 25 มิลลิลิตร ใส่ในฟลาสก์เติมลูกแก้วเล็ก ๆ (glass beads) ลงไป 8-10 เม็ด เพื่อป้องกันการเดือดจนล้นออกมา

3. นำไปต้มจนเดือด แล้วจึงนำไปไทเทรตกับสารละลายน้ำตาลตัวอย่าง จนสีน้ำเงินจางลง ให้หยดเมทิลินบลูลงไป 2-3 หยด ไทเทรตจนสีฟ้าหายไป เหลือแต่ตะกอนสีส้มแดงของ Cu_2O บันทึกปริมาตรของสารละลายตัวอย่างที่ใช้ ทำ 2 ซ้ำ หากค่าเฉลี่ย

Accurate titration

1. เมื่อได้ความเข้มข้นและปริมาตรสารละลายตัวอย่าง (15-25 มิลลิลิตร) ให้ทำซ้ำเหมือน Preliminary โดยเติมสารละลายน้ำตาลตัวอย่างจากบิวเรตลงในฟลasksทันที (ให้น้อยกว่าปริมาตรที่จะใช้ไทเทรตในช่วง Preliminary ประมาณ 2-3 มิลลิลิตร)
2. ต้มให้เดือด หยดเมทิลินบลูลงไป 2-3 หยด ไทเทรตต่อให้เสร็จภายใน 3 นาที ตั้งแต่เริ่มเดือดจนสารละลายเปลี่ยนจากสีฟ้าเป็นตะกอนสีส้มแดง
3. ทำ 2 ซ้ำ หากค่าเฉลี่ย นำปริมาตรของสารละลายน้ำตาลที่ได้ไปหาปริมาณน้ำตาลในรูปของ invert sugar (มิลลิลิตร/100 มิลลิลิตร) จากตารางมาตรฐาน คำนวณหาปริมาณเปอร์เซ็นต์น้ำตาลรีดิวซ์ ก่อนอินเวอร์ชัน (Before inversion, D_1)

$$\% \text{ reducing sugar } (D_1) = \frac{\text{sugar content (mg/100 ml.)} \times V}{1000 \times W \times D}$$

- เมื่อ
- V = volume made up (ml.)
- W = sample weight (g)
- D = dilution factor

การหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์หลังการทำอินเวอร์ชัน (After inversion, D_2)

1. นำสารละลายตัวอย่างที่เหลือจากการหาน้ำตาลก่อนอินเวอร์ชัน (หรืออาจเตรียมใหม่ก็ได้) ทำการตกตะกอนให้ใส โดยใช้ clearing agent ก่อน ปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร
2. นำสารละลายที่กรองได้มาประมาณ 10-20 มิลลิลิตร เติม HCl 6.34 N จำนวน 10 มิลลิลิตร นำไปอุ่นใน water bath 70 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที ทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็ว ปรับให้เป็นกลางด้วย NaOH 5 N ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 100 มิลลิลิตร (หรือ 250 มิลลิลิตร)
3. นำไปไทเทรตกับสารละลาย Fehling ผสม (10 หรือ 25 มิลลิลิตร) จดปริมาตรของสารละลายตัวอย่างที่ใช้ ทำ 2 ซ้ำ หากค่าเฉลี่ย
4. นำค่าที่ได้ไปเปรียบหาปริมาณน้ำตาล ในรูป invert sugar จากตาราง คำนวณหาปริมาณในรูปของน้ำตาลรีดิวซ์ภายหลังอินเวอร์ชัน (After inversion, D_2) ซึ่งค่าที่ได้จะเป็นปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่มีอยู่ในตัวอย่างอาหารรวมกับน้ำตาลอินเวอร์ส
5. นำค่าปริมาณน้ำตาลที่ได้ (ทั้งค่า D_1 และ D_2) มาคำนวณหาปริมาณน้ำตาล ดังนี้

$$\text{น้ำตาลซูโครส (S, \%)} = (D_2 - D_1) \times 0.95$$

$$\text{น้ำตาลทั้งหมด (\%)} = D_1 + S$$

- เมื่อ
- D_1 = ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ทั้งหมดก่อนทำอินเวอร์ชัน (%)
 - D_2 = ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ทั้งหมดหลังทำอินเวอร์ชัน (%)
 - S = ปริมาณน้ำตาลซูโครส (%)

ก-8 การวิเคราะห์ปริมาณใยอาหารทั้งหมดใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และใยอาหารที่ละลายน้ำได้ (AOAC, 1995 Method 991.43 & AACC Method 32-07.01)

การวิเคราะห์ปริมาณใยอาหารทั้งหมด ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และใยอาหารที่ละลายน้ำได้ จะใช้ชุดวิเคราะห์ใยอาหารและชุดวิเคราะห์โปรตีนในการวิเคราะห์ โดยมีรายละเอียดของขั้นตอนการวิเคราะห์ดังนี้

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องชั่งไฟฟ้าสำหรับงานวิเคราะห์ (Electronic analytical balance)
2. เครื่องวัดค่าความเป็นกรดต่าง (pH-meter)
3. โถดูดความชื้น
4. เต้าเผาไฟฟ้า
5. ตู้อบลมร้อนไฟฟ้า
6. อ่างน้ำแบบควบคุมอุณหภูมิ
7. ชุดกรอง suction flask
8. เทอร์โมมิเตอร์
9. บีกเกอร์ขนาด 250 และ 1000 มิลลิลิตร
10. ครุชีเบิล (crucible)
11. แท่งแก้วคนสาร
12. ช้อนตักสาร
13. กรวยแยก
14. อะลูมิเนียมฟอยล์
15. Hot plate
16. เครื่องกวนสารละลาย (Magnetic Stirrer)
17. แท่งแม่เหล็กกวนสาร (Magnetic Bar)

18. Moisture can

19. ไมโครปิเปต

20. ปิเปต

21. กระดาษลิตมัส

สารเคมีและเอนไซม์

1. สารละลายเอทานอล ความเข้มข้น 95%

2. อะซิโตน

3. สารละลายทรสบับเฟอร์ ความเข้มข้น 0.05 M pH 8.2

4. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 0.561 M

5. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 0.1 M

6. สารละลาย Tris (hydroxymethyl) aminomethane ความเข้มข้น 0.1 M

7. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 5%

8. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 5%

9. เอนไซม์อัลฟาอะมัยเลส (Megazyme International Ireland)

10. เอนไซม์โปรตีเอส (Megazyme International Ireland)

11. เอนไซม์อะไมโลกูโคซิเดส (Megazyme International Ireland)

การเตรียมสารละลาย

เตรียมสารละลายทรสบับเฟอร์ ความเข้มข้น 0.05 M pH 8.2 โดยผสม 0.1 M Tris ปริมาตร 500 มิลลิลิตร กับ 0.1 M HCl ปริมาตร 220.9 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร ตรวจวัด pH ด้วยเครื่องวัดความเป็นกรดต่าง

การวิเคราะห์ปริมาณใยอาหารทั้งหมด (Total dietary fiber: TDF)

ขั้นตอนการย่อยและตกตะกอน

1. ชั่งตัวอย่าง (M_1 และ M_2) 1 ± 0.005 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ทรงสูง 400 มิลลิลิตร โดยมี Blank (B_1 และ B_2) เพื่อควบคุมความแปรปรวนจากการใช้สารเคมี

2. เติมสารละลายทรสบับเฟอร์ ความเข้มข้น 0.05 M pH 8.2 ปริมาตร 40 มิลลิลิตร ลงในแต่ละบีกเกอร์ใส่แท่งแม่เหล็กกวนสาร และคนให้เข้ากันด้วยเครื่องกวนสารละลายจนละลาย

3. เติมเอนไซม์อัลฟาอะมัยเลส ปริมาตร 50 ไมโครลิตร ด้วยไมโครปิเปตลงในแต่ละบีกเกอร์ ปิดปากบีกเกอร์ด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ แล้วนำมาบ่มในอ่างน้ำแบบควบคุมอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ

98-100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที โดยเขย่าบีกเกอร์เบา ๆ ตลอดเวลา จากนั้นทำให้สารละลายเย็นจนถึงอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ชูตัวอย่างที่ติดตามขอบบีกเกอร์ด้วยช้อนตักสาร แล้วล้างน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร

4. เติมเอนไซม์โปรตีเอส ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ด้วยไมโครปิเปต ลงในแต่ละบีกเกอร์ ปิดบีกเกอร์ด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ แล้วนำไปบ่มในอ่างน้ำแบบควบคุมอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที โดยเขย่าบีกเกอร์เบา ๆ ตลอดเวลา แล้ววัดและปรับพีเอชด้วยกระดาษลิตมัสให้ได้ 4.5 โดยเติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.561 M จำนวน 5 มิลลิลิตร ปรับพีเอชต่อด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 5% และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 5% จนได้พีเอช 4.5 หรือประมาณ 4.1-4.8

5. เติมเอนไซม์อะไมโลกลูโคซิเดส ปริมาตร 200 ไมโครลิตร ด้วยไมโครปิเปต ลงในแต่ละบีกเกอร์ ปิดปากบีกเกอร์ด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ แล้วนำไปบ่มในอ่างน้ำแบบควบคุมอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที โดยเขย่าบีกเกอร์เบา ๆ ตลอดเวลา

6. เติมเอทานอล 95% ที่อุ่น (60 องศาเซลเซียส) ปริมาตร 225 มิลลิลิตร (อัตราส่วนเอทานอลต่อปริมาตรของตัวอย่าง ควรจะเป็น 4:1) นำออกจากอ่างควบคุมอุณหภูมิ แล้วปล่อยให้ตกตะกอนที่อุณหภูมิห้องใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง

ขั้นตอนการกรอง

7. เตรียม crucible สำหรับใช้ในการกรองโดยนำ crucible ไปอบในเตาเผาที่ 525 องศาเซลเซียส ชำมคืน ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วล้างด้วยน้ำและปล่อยให้แห้ง

8. ชั่ง celite ประมาณ 1 กรัม ใส่ลงใน crucible และนำไปอบที่ 130 องศาเซลเซียส จนมีน้ำหนักคงที่ ชั่งน้ำหนัก crucible ที่มี celite(D)

9. นำ crucible ที่มี celite ไปใส่ในเครื่องกรอง เทสารละลายปฏิกิริยาที่ได้จากข้อ 6 ลงไป เปิดปั๊มดูดเอาสารละลายที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ออก

10. ล้างสารที่อยู่ใน crucible ด้วย 78% เอทานอล 95% เอทานอลและอะซิโตน ปริมาตร 15 มิลลิลิตร 2 ครั้ง ตามลำดับ

11. นำ crucible ที่มีสารที่ได้จากการกรองและ celite ไปอบให้แห้งที่ 105 องศาเซลเซียส ชำมคืนในตู้อบจนน้ำหนักคงที่ หลังจากนั้นนำออกมาทิ้งไว้ให้เย็นใน desiccator และนำไปชั่งน้ำหนัก (B) นำน้ำหนักที่ชั่งได้ลบออกจากน้ำหนัก crucible ที่มี celite (D) จะได้น้ำหนักตัวอย่างที่เหลือจากขั้นตอนการย่อยและการกรอง (Sample residue, R)

12. นำตัวอย่าง M_1 ที่เหลือใน crucible ไปวิเคราะห์โปรตีนที่ย่อยไม่ได้ (undigestible protein) ด้วยวิธี Kjeldahl ส่วนตัวอย่าง M_2 นำไปวิเคราะห์หาปริมาณแล้ว โดยนำไปเผาในเตาเผาที่

อุณหภูมิ 525 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้เย็นใน desiccator และนำไปชั่งน้ำหนัก (C) นำน้ำหนักที่ชั่งได้ลบออกจากรีน้ำหนัก crucible ที่มี celite (D) จะได้น้ำหนักถ้ำ (Ash sample residue, A)

การวิเคราะห์ปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (Insoluble dietary fiber: IDF)

ขั้นตอนการย่อย

1. ขั้นตอนการย่อยทำเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ใยอาหารทั้งหมด ในข้อ 1-6 แต่ไม่ต้องตกตะกอนด้วยเอทานอล

ขั้นตอนการกรอง

2. เตรียม crucible ที่ทำความสะอาดแล้ว ออบในเตาเผาที่ 525 องศาเซลเซียส ประมาณ 6 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วล้างด้วยน้ำและปล่อยให้แห้ง

3. ชั่ง celite ประมาณ 1 กรัม ใส่ลงใน crucible และนำไปอบที่ 130 องศาเซลเซียส จนมีน้ำหนักคงที่ ชั่งน้ำหนัก crucible ที่มี celite (D)

4. นำ crucible ที่มี celite ไปใส่ในเครื่องกรอง เทสารละลายปฏิกิริยาที่ได้จากขั้นตอนการย่อยลงไป เปิดปั๊มดูดเอาสารละลายที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ออก

5. ล้างสารที่อยู่ใน crucible ด้วยน้ำที่มีอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ปริมาตร 10 มิลลิลิตร 2 ครั้ง

6. ล้างสารที่อยู่ใน crucible ด้วย 78% เอทานอล 95% เอทานอลและอะซิโตน ปริมาตร 15 มิลลิลิตร 2 ครั้ง ตามลำดับ

7. นำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ซ้ำมคินในตู้อบจนมีน้ำหนักคงที่และวิเคราะห์หาปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ปริมาณใยอาหารทั้งหมด

การวิเคราะห์ปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำได้ (Soluble dietary fiber: SDF)

ขั้นตอนการย่อยและการแยกใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ

1. ขั้นตอนการย่อยและการกรองทำเช่นเดียวกันกับการวิเคราะห์ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ แต่ในข้อที่ 4 ให้เก็บสารละลายที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ที่ได้จากการกรองไว้ในบีกเกอร์ทรงสูง 600 มิลลิลิตร ซึ่งเป็นใยอาหารที่ละลายน้ำได้

ขั้นตอนการตกตะกอนและการกรอง

2. ล้างสารที่อยู่ใน crucible ด้วยน้ำที่มีอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ปริมาตร 10 มิลลิลิตร 2 ครั้ง เก็บน้ำที่ได้จากการล้างไปรวมกับสารละลายที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ในข้อ 1

3. เติมเอทานอล 95% ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส (อัตราส่วนเอทานอลต่อ ปริมาตรของตัวอย่าง ควรจะเป็น 4:1) ปล่อยให้ตกตะกอนที่อุณหภูมิห้องใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง

4. นำไปกรองตามขั้นตอนการกรองและวิเคราะห์หาปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำได้ เช่นเดียวกันกับการวิเคราะห์ปริมาณใยอาหารทั้งหมด

การคำนวณ

1. Blank (B, mg)

$$B = [(BR_1 + BR_2)/2] - P_B - A_B$$

เมื่อ BR_1, BR_2 = Blank Residue (g)

P_B = Protein on blank residue (g)

A_B = Ash on blank residue (g)

2. Dietary fiber (DF, g/100 g)

$$DF = \{[(R_1 + R_2)/2] - P - A - B\} / [(M_1 + M_2)/2] \times 100$$

เมื่อ R_1, R_2 = Sample Residue (g)

P = Protein on sample residue (g)

A = Ash on sample residue (g)

B = Blank weight (g)

M_1, M_2 = Sample weight (g)

ก-9 การวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานิน โดยวิธี pH differential (ดัดแปลงจากวิธีของ อรุษา เซาวนลิขิต และอรัญญา มิ่งเมือง, 2550)

การสกัดตัวอย่าง

เติมเอทานอล 95% : น้ำ อัตราส่วน 70:30 ปริมาณ 25 มิลลิลิตร ลงในตัวอย่าง 1 กรัม จากนั้น Sanicator เป็นเวลา 15 นาที กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 และระเหยเอทานอลด้วย Rotary evaporator 5 นาที ปรับปริมาตรเป็น 25 มิลลิลิตรด้วยเอทานอล เก็บสารตัวอย่างสกัดในขวด สีชา ที่อุณหภูมิ - 20°C

วิธีวิเคราะห์

นำสารสกัด ปริมาณ 0.2 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองจำนวน 2 หลอด โดยหลอดที่ 1 นำมาเจือจางด้วยสารละลาย KCl buffer pH 1.0 ปริมาตร 2.8 มิลลิลิตร และหลอดที่ 2 นำมาเจือจางด้วยสารละลาย CH₃COONa pH 4.5 ปริมาตร 2.8 มิลลิลิตร นำทั้ง 2 หลอดทำการผสมด้วยเครื่อง Vortex ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 นาที หลังจากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 nm และ 700 nm ด้วยเครื่อง Spectroscopy โดยใช้ น้ำกลั่นเป็น Blank ควรวัดค่าภายใน 15 นาที ถึง 1 ชั่วโมงหลังจากเตรียมสาร คำนวณแอนโทไซยานินในรูปแบบ Cyanidin 3-glucoside

การคำนวณ

$$\text{Monomeric anthocyanin pigment (mg/l)} = (A \times \text{MW} \times \text{DF} \times 1000) / \epsilon$$

โดยการคำนวณค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดเจือจาง

$$A = (A_{520} - A_{700})_{\text{KCl pH 1.0}} - (A_{520} - A_{700})_{\text{CH}_3\text{COONa pH 4.5}}$$

เมื่อ MW คือ มวลโมเลกุลของ Cyanidin-3-glucoside เท่ากับ 449.2

ϵ คือ Molar absorbtivity เท่ากับ 26900

DF คือ dilution factor เท่ากับ 15 (สารสกัดปริมาณ 0.2 มิลลิลิตร เจือจางด้วยสารละลาย 2.8 มิลลิลิตร จนปริมาตรสุดท้ายเท่ากับ 3 มิลลิลิตร โดยค่า DF คำนวณจาก (ปริมาตรสุดท้าย/ปริมาตรตัวอย่าง) ดังนั้นค่า DF เท่ากับ $3/0.2 = 15$)

ก-10 การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (ดัดแปลงจากวิธีของ Yu et al., 2005)

อุปกรณ์

1. กรวยกรองพร้อมกระดาษกรองสาร No. 1
2. บีเปต ขนาด 10 มิลลิลิตร
3. ไมโครบีเปต
4. หลอด vial
5. เครื่องปั่นผสม (Vortex mixture Heidolph รุ่น REAX 2000 ประเทศเยอรมนี)
6. เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Spectronic รุ่น Genesys 20 ประเทศสหรัฐอเมริกา)

สารเคมี

1. เอทานอล(Ethanol : CH₃CH₂OH) 95% บริษัท Lascan ประเทศไทย

2. โฟลีน ซีโอแคลทู รีเอเจนต์ (Folin-ciocalteu reagent) (Garlo ERBA) (Sigma; USA)
3. เมทานอล (methanol) AR grade 99.8%
4. กรดแกลลิก (Gallic acid : $C_7H_6O_5$) 95% (Fluka, Switzerland)
5. โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate anhydrous : Na_2CO_3) (Ajax Finechem, Australia)

การเตรียมสารเคมี

1. เตรียมโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 20% โดยชั่งโซเดียมคาร์บอเนต 20 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น จากนั้นปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร

การสกัดตัวอย่าง

โดยเติมเอทานอลความเข้มข้น 90% ลงในตัวอย่าง 5 กรัม จากนั้นนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าแบบควบคุมอุณหภูมิที่ $30^{\circ}C$ 120 รอบต่อนาที เป็นเวลา 6 ชั่วโมง กรองสารละลายตัวอย่างด้วยกระดาษกรอง (Whatman) เบอร์ 1 นำไปเพิ่มความเข้มข้นของสารตัวอย่างสกัดด้วยเครื่องระเหย (Rotary evaporator) ที่อุณหภูมิ $50^{\circ}C$ เป็นเวลา 5 นาที ปรับปริมาตรเป็น 5 มิลลิลิตรด้วยเอทานอลความเข้มข้น 90% เก็บสารตัวอย่างสกัดในขวดสีชา ที่อุณหภูมิ $-20^{\circ}C$

วิธีการวิเคราะห์

วิเคราะห์ตามวิธี Folin-Ciocalteu เติมสารละลายตัวอย่าง 50 ไมโครลิตร ลงในหลอดทดลอง จากนั้นเติมน้ำกลั่น 3 มิลลิลิตร เติม Folin-Ciocalteu 250 ไมโครลิตร และเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 20 % 750 ไมโครลิตร จากนั้นทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดปฏิกิริยา แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร เปรียบเทียบปริมาณด้วยสารละลายมาตรฐานของกรดแกลลิก ซึ่งจะรายงานผลในหน่วยมิลลิกรัม เมื่อเทียบกับกรดแกลลิก (มิลลิกรัม gallic acid equivalent, มิลลิกรัม GAE) ต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง

ก-11 การวิเคราะห์สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (ดัดแปลงจากวิธีของ Turkmen et al., 2005)

อุปกรณ์

1. ปิเปต ชนิด Measuring ขนาด 1 มิลลิลิตร
2. ขวดปรับปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร
3. หลอดทดลอง
4. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

สารเคมี

1. ดีฟีพีเอช (2-diphenyl-1-picrylhydrazyl : $C_{18}H_{12}N_5O_6$) 90% บริษัท Sigma ประเทศเยอรมัน
2. เมทานอล

การเตรียมสารเคมี

เตรียมสารละลาย DPPH ทันทีก่อนใช้ให้มีความเข้มข้น 0.2 mM ปริมาตร 50 มิลลิลิตร โดยชั่ง DPPH 0.004 กรัม ละลายในเมทานอล แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 50 มิลลิลิตร ด้วยเมทานอล เก็บในภาชนะปิดสนิทป้องกันแสงจนกว่าจะนำมาวิเคราะห์

การสกัดตัวอย่าง

ทำได้โดยเติมเมทานอลความเข้มข้น 90% ลงในตัวอย่าง 5 กรัม จากนั้นนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าแบบควบคุมอุณหภูมิที่ 30°C 120 รอบต่อนาที เป็นเวลา 6 ชั่วโมง กรองสารละลายตัวอย่างด้วยกระดาษกรอง (Whatman) เบอร์ 1 นำไปเพิ่มความเข้มข้นของสารตัวอย่างสกัดด้วยเครื่องระเหย (Rotary evaporator) ที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 5 นาที ปรับปริมาตรเป็น 5 มิลลิลิตร ด้วยเมทานอลความเข้มข้น 90% เก็บสารตัวอย่างสกัดในขวดสีชา ที่อุณหภูมิ -20°C

การวิเคราะห์สมบัติในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH•

นำสารตัวอย่างสกัด 0.5 มิลลิลิตรเติมลงในสารละลายของ DPPH• ในเมทานอล (ความเข้มข้น 0.2 มิลลิโมล) ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ผสมสารทั้งสองด้วยเครื่อง vortex-mixer เป็นเวลา 30 วินาที แล้วทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตรและวัดค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างควบคุมโดยใช้ น้ำกลั่นแทนตัวอย่าง กำหนดฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดังสมการ

$$\% \text{ inhibition} = [(A_0 - A_1) / A_0] \times 100$$

กำหนดให้ A_0 คือ ค่าการดูดกลืนแสงของ blank

A_1 คือ ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง

ก-12 กิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส (ดัดแปลงจากวิธีของ Negi & Roy, 2000)

สารเคมีและอุปกรณ์

1. ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 0.5 % (Hydrogenperoxide: H_2O_2)
2. กัวไอเอคอลล (Guaiacol) 1%
3. น้ำกลั่น

4. โกร่งบด
5. หลอดทดลอง
6. กระบอกตวง ขนาด 5ml

การวิเคราะห์

1. นำตัวอย่างที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นมาหั่นเป็นชิ้นเล็กๆแล้วใส่ใน โกร่งบด และบดตัวอย่างให้ละเอียด
2. ใสตัวอย่างที่บดได้ 5 g ลงในหลอดทดลอง
3. เติมน้ำกลั่นปริมาตร 5 ml เติมหิวไอเอคอลลความเข้มข้น 1% ปริมาตร 1 ml และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ความเข้มข้น 0.5 % ปริมาตร 1 ml
4. เขย่าให้ผสมกันและตั้งทิ้งไว้ 2-5 นาที
5. สังเกตการเปลี่ยนแปลงสีของตัวอย่าง

การตรวจผล

- + = ให้สีน้ำตาลแดงแสดงว่ายังมีกิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสอยู่
- = ไม่ปรากฏสีแสดงว่าไม่มีกิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส

ก-13 การวิเคราะห์ค่าแอกติวิตี (Water Activity; a_w)

บรรจุตัวอย่างลงในตลับใส่ตัวอย่าง ประมาณ 2/3 ของความจุ (อย่าให้ส่วนของตัวอย่างสูงเกินขอบผิวหน้า) และทำการวัดค่า a_w ถ้าไม่วัดในทันทีให้ปิดฝาตลับใส่ตัวอย่างไว้

ก-14 การวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total Soluble Solid)

ก่อนวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดทำการสอบเทียบเครื่องรีแฟรคโตมิเตอร์ (Hand refractometer) ด้วยน้ำกลั่นเพื่อปรับค่าที่อ่านได้เท่ากับ 0 องศาบริกซ์นำตัวอย่างน้ำเสาวรสมาวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

ข-1 การวิเคราะห์ค่าสี

วิเคราะห์ค่าสี ด้วยเครื่องวัดค่าสี (Colorimeter) Hunter LAB รุ่น Minican XP Plus โดยทำการทดลองตามขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าสีดังนี้

วิธีวิเคราะห์

1. ก่อนทำการวัดค่าสีทุกครั้ง ต้องทำการปรับมาตรฐานของเครื่อง (Calibration) โดยการวางบนแผ่นสำหรับ Calibrate สีขาวบนหัววัด แล้วกดปุ่ม Measure ซึ่งเครื่องวัดค่าสีจะบันทึกข้อมูลค่าสีขาวของแผ่นสำหรับ Calibrate ไว้

2. นำตัวอย่างผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสใส่ภาชนะสำหรับวัดค่าสี โดยใส่เต็มภาชนะไม่ให้มีช่องว่างที่แสงผ่านได้ขณะวัดตัวอย่างให้ใช้แผ่นสีดำปิดตัวอย่าง (สำหรับการวัดค่าสีของตัวอย่างเปลือกเสาวรสถัดการลวก ทำโดยนำชิ้นเปลือกเสาวรสถัดการลวกใส่ในภาชนะสำหรับวัดค่าสี โดยพลิกเอาส่วนเปลือกนอกที่มีสีม่วงลงด้านล่าง)

3. ทำการวัดสีของตัวอย่างด้วยระบบ CIE ซึ่งวัดค่า L^* a^* และ b^* ซึ่งบอกค่าดังนี้

L^* คือ ความสว่าง โดยสีดำมีค่าเท่ากับ 0 และสีขาวมีค่าเท่ากับ 100

a^* คือ ค่าความเป็นสีแดงและสีเขียว โดยค่าบวกแสดงความเป็นสีแดง และค่าลบแสดงความเป็นสีเขียว

b^* คือ ค่าความเป็นสีเหลืองและสีน้ำเงิน โดยค่าบวกแสดงความเป็นสีเหลือง และค่าลบแสดงความเป็นสีน้ำเงิน

การคำนวณค่า Hue angle และค่า Chroma

นำค่า a^* และ b^* มาคำนวณค่ามุมเฉดสี (Hue angle) และค่าความเข้มของสี (Chroma) สามารถคำนวณได้ ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{Hue angle} &= \arctangent (b^*/a^*) && \text{เมื่อ } a^* > 0 \text{ และ } b^* \geq 0 \\ &= \arctangent (b^*/a^*) + 180^\circ && \text{เมื่อ } a^* < 0 \\ &= \arctangent (b^*/a^*) + 360^\circ && \text{เมื่อ } a^* > 0 \text{ และ } b^* < 0 \end{aligned}$$

ค่า Hue angle หมายถึง ค่าที่แสดงถึงสีที่แท้จริงที่ปรากฏให้เห็น มีค่าอยู่ระหว่าง 0-360 องศา

0-45 องศา แสดงสีม่วงแดงถึงสีส้มแดง 45-90 องศา แสดงสีส้มแดงถึงสีเหลือง

90-135 องศา แสดงสีเหลืองถึงสีเหลืองเขียว	135-180 องศา แสดงสีเหลืองเขียวถึงเขียว
180-225 องศา แสดงสีเขียวถึงสีน้ำเงิน	225-270 องศา แสดงสีน้ำเงินเขียวถึงน้ำเงิน
270-315 องศา แสดงสีน้ำเงินถึงม่วง	315-360 องศา แสดงสีม่วงถึงม่วงแดง

$$\text{Chroma} = (a^2 + b^2)^{1/2}$$

ค่า Chroma มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ หมายถึง วัตถุมีสีซีดจาง (เทา) ถ้ามีค่าเข้าใกล้ 60 หมายถึง วัตถุมีสีเข้ม

การคำนวณค่า (ΔE)

นำค่า L^* , a^* และ b^* ของตัวอย่างที่ใช้เป็นตัวอย่างควบคุมและของตัวอย่างที่ต้องการเปรียบเทียบ มาคำนวณค่าการเปลี่ยนแปลงของสี (ΔE) สามารถคำนวณได้ตามสูตร ดังนี้

$$\Delta E = \sqrt{(L^*_0 - L^*)^2 + (a^*_0 - a^*)^2 + (b^*_0 - b^*)^2}$$

เมื่อ L^*_0 , a^*_0 และ b^*_0 คือ ค่า L^* , a^* และ b^* ของตัวอย่างที่ใช้เป็นตัวอย่างควบคุม

L^* , a^* และ b^* คือ ค่า L^* , a^* และ b^* ของตัวอย่างที่ต้องการเปรียบเทียบ

ข-2 การวิเคราะห์ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water Holding Capacity : WHC)

(Mcmahon & Dawson, 1975)

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่าง 0.5 กรัม ใส่ในหลอกสำหรับนำไปปั่นเหวี่ยงขนาด 50 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำ 50 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วนำสารละลายไปวางบนเครื่องเขย่าที่ความเร็ว 350 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที
3. นำสารละลายมาให้ความร้อนในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที
4. นำสารละลายไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 3500 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที
5. หลังการปั่นเหวี่ยงจะเกิดการแยกส่วนของเหลวใสด้านบนกับตะกอนตัวอย่าง ให้รินส่วนของเหลวใสทิ้งไป และเอียงหลอกเพื่อให้เกิดการแยกส่วนชัดเจนขึ้น ใช้หลอดหยดดูดของเหลวออก ชั่งน้ำหนักที่เหลือในหลอก

การคำนวณ

ความสามารถในการอุ้มน้ำ (กรัม น้ำ/กรัม ตัวอย่าง)

$$= \frac{\text{น้ำหนักตะกอน (กรัม)} - \text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)}}$$

ข-3 การวิเคราะห์ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (Oil Holding Capacity : WHC)

(Beuchat, 1977)

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่าง 0.5 กรัม ใส่ในหลอดสำหรับนำไปปั่นเหวี่ยงขนาด 50 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำมันถั่วเหลือง 10 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน แล้วนำสารละลายไปวางบนเครื่องเขย่าที่ความเร็ว 350 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
3. นำสารละลายไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 10000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที
4. หลังการปั่นเหวี่ยงจะเกิดการแยกส่วนของเหลวใสด้านบนกับตะกอนตัวอย่าง ให้รินส่วนของเหลวใสทิ้งไป และเอียงหลอดเพื่อให้เกิดการแยกส่วนชัดเจนขึ้น ใช้หลอดหยดดูดของเหลวออก
5. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่เหลือในหลอด คำนวณหาความสามารถในการอุ้มน้ำมัน

การคำนวณ

$$\begin{aligned} & \text{ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (กรัมไขมัน/กรัมตัวอย่าง)} \\ &= \frac{\text{น้ำหนักตะกอน (กรัม)} - \text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)}} \end{aligned}$$

ข-4 การวิเคราะห์ความสามารถในการพองตัว (Swelling capacity, SWC) (Robertson

et al., 2000)

วิธีวิเคราะห์

นำตัวอย่างผงใยอาหารมา 0.1 กรัม ผสมกับน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร ใส่ในกระบอก (เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร) ที่อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 30°C) หลังจากนั้นทิ้งไว้เป็นเวลา 18 ชั่วโมง บันทึกปริมาตรที่สังเกตเห็น แสดงเป็น ปริมาตร/กรัมของน้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (น้ำหนักแห้ง)

$$\text{SWC (mL/g)} = \frac{\text{ปริมาตรที่เกิดขึ้น (mL)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (g)}}$$

ข-5 การวิเคราะห์ความสามารถในการชะลอการดูดซึมน้ำตาล (Glucose retardation index) (ดัดแปลงจากวิธีของ Peerajit et al., 2012)

ความสามารถในการชะลอการดูดซึมน้ำตาลเป็นค่าที่ใช้ในการทำนายถึงการดูดซึมน้ำตาลของใยอาหารในระบบทางเดินอาหารที่เวลาต่าง ๆ

วิธีวิเคราะห์

เติมตัวอย่าง 0.5 กรัม ลงในสารละลายกลูโคสความเข้มข้น 50 mmol/L ปริมาตร 25 มิลลิลิตร นำสารละลายผสมใส่ใน Dialysis membrane ที่มีน้ำหนักโมเลกุล 12,000 (P.Intertrade Equipment, 12,000-14,000 MWCO, Seguin, TX) แต่ละถุงจะมีน้ำกลั่นบรรจุอยู่ 100 มิลลิลิตร (อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส) และเขย่าที่ 120 rpm ด้วยเครื่อง Incubator shaker นำสารละลายกลูโคสที่แพร่ออกปริมาณ 1 มิลลิลิตร ที่เวลาต่าง ๆ ได้แก่ 30 60 120 และ 180 นาที ทั้งจากการเติมตัวอย่างและไม่เติมตัวอย่าง (ตัวอย่างควบคุม) นำสารละลายกลูโคสที่แพร่ออกมาไปวิเคราะห์ปริมาณกลูโคสตามวิธีของ Somogyi – Nelson (Nelson, 1944) และนำมาคำนวณค่า GRI ดังนี้

การคำนวณ

$$\text{GRI} = 100 - \left[\frac{\text{Total glucose diffused from fibre sample}}{\text{Total glucose diffused from control sample}} \right] \times 100$$

สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณกลูโคสด้วยวิธี Somogyi – Nelson (Nelson, 1944)

ดำเนินการได้ดังนี้

การเตรียมสารเคมี

Nelson's Reagent A

- | | | |
|---|------|------|
| - ชั่ง Na_2CO_3 (anhydrous) | 6.25 | กรัม |
| - Potassium Sodium tartrate | 6.25 | กรัม |
| - NaHCO_3 | 5.00 | กรัม |
| - Na_2SO_4 (anhydrous) | 50 | กรัม |
| - ละลายในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรสารละลายด้วยน้ำกลั่นเป็น 250 มิลลิลิตร | | |

Nelson's Reagent B

- | | | |
|--|-----|------|
| - $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ | 7.5 | กรัม |
| - Conc. H_2SO_4 | 1 | หยด |
| - ละลายในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรสารละลายด้วยน้ำกลั่นเป็น 50 มิลลิลิตร | | |

Arsenomolybdate Reagent

- $(\text{NH}_4)_6\text{MO}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 12.5 กรัม
- H_2SO_4 10.5 มิลลิลิตร
- ละลายในน้ำกลั่น 225 มิลลิลิตร (สารละลาย 1)
- $\text{Na}_2\text{HAsO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 1.5 กรัม
- ละลายในน้ำกลั่น 12.5 มิลลิลิตร (สารละลาย 2)
- ผสมสารละลาย 1 และ 2 ให้เข้ากัน แล้วเก็บในขวดสีชา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ก่อนใช้งาน

วิธีการวิเคราะห์

1. ผสม Nelson's Reagent A 12.5 มิลลิลิตร กับ Nelson's Reagent B 0.5 มิลลิลิตร
2. ผสม Nelson's Reagent A+B 100 ไมโครลิตร กับสารละลายตัวอย่าง 100 ไมโครลิตร และให้ความร้อนในน้ำเดือดเป็นเวลา 20 นาที
3. เมื่อครบ 20 นาที ทำให้อุณหภูมิเย็นตัวลง
4. เติม Arsenomolybdate Reagent 1 มิลลิลิตร และเขย่าเป็นครั้งคราวนาน 5 นาที เพื่อละลายตะกอนสีแดงของ CuSO_4 และให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ โดยปฏิกิริยาเสร็จสิ้นเมื่อเกิด CO_2
5. เมื่อปฏิกิริยาเสร็จสิ้นเติมน้ำกลั่น 7 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน และวัดความเข้มของสีด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร

ข-6 การวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะโครงสร้างภายในเซลล์ผงใยอาหารด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, LEO 1450 VP, LEO, England) โดยนำแปลงขนาดเล็กจุ่มตัวอย่างผงใยอาหาร แล้วเกาะเบาๆ บน Stub ที่ติดด้วยเทปคาร์บอน (จักรพันธ์ถาวรธิดา และจันทนิษฐ์ นพรัตน์อากาศกุล, ม.ป.ป.) ใช้ลูกโป่งยางเป่าตัวอย่างผงใยอาหารส่วนเกินออก จากนั้นฉาบตัวอย่างด้วยโลหะหนัก แล้วนำตัวอย่างที่ได้มาส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดในช่วงความต่างศักย์ไฟฟ้า 10 โวลต์ (Deng & Zhao, 2008)

ข-7 การวิเคราะห์ค่าความหนืด

วัสดุและอุปกรณ์

1. ตัวอย่างน้ำเสาวรส
2. เครื่อง Brookfield viscometer

วิธีการวิเคราะห์

1. ตรวจสอบระดับลูกน้ำและเปิดสวิตช์ Power ด้านหลังเครื่อง Brookfield DV III (Rheometer)
 2. เปิดเครื่อง computer และ double click ที่ icon Rheocal
 3. ตรวจสอบให้แน่ใจว่าไม่มีหัวหมุนต่ออยู่ที่เครื่อง Brookfield
 4. กดปุ่ม zero ที่โปรแกรม Rheocal ในหน้า Dashboard ซึ่งตัวเครื่อง Brookfield จะทำการปรับศูนย์ที่แกนหมุน ซึ่งเมื่อเสร็จแล้ว ตรงค่า %Torque จะเป็นศูนย์
 5. ใส่หัวหมุน (LV1, LV2) ที่จะใช้วัดเข้ากับแกนหมุนของเครื่อง และใส่ Guardleg
 6. บรรจุตัวอย่างที่ต้องการวัดในบีกเกอร์ขนาดเหมาะสม โดยให้หัวหมุนจมลงในตัวอย่างจนถึงระดับที่กำหนด (รอย mark ที่หัวหมุน) และตัวอย่างไม่ควรมีฟอง
 7. เข้าไปที่หน้า Programme แล้วกำหนดความเร็วรอบ ชนิดของหัวหมุน ตามที่ต้องการ

- Set speed	: SSN = 10 (จากที่ไปหาค่าที่เหมาะสม)
- LSC	: จำนวนครั้งที่วัด 4 ครั้ง
- WTI	: เวลาที่วัดแต่ละครั้ง 30 วินาที หมุนไป 30 วินาที จะ detect ครั้งแรก
- DSP	: ไม่ใส่ค่า
- SSI	: ความเร็วรอบเพิ่มขึ้นในการวัดครั้งที่ 2 20
- LEC	: (หยุดการทำงานเมื่อทำงานครบ 4 ครั้ง) ไม่ต้องใส่
 8. กดปุ่ม Start หัวหมุนจะเริ่มทำงานตามขั้นตอนใน Programme ที่เรากำหนดไว้และแสดงค่า %Torque, viscosity บนหน้าจอ

ข-8 การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส (ดัดแปลงจากวิธีของ Hayakawa et al., 2014)

นำตัวอย่างเต้าหู้เขียนมาทดสอบ เพื่อวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส ด้วยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture analyzer) ด้วยวิธี Texture profile analysis (TPA) การทดสอบ TPA ตัวอย่างเจลนำมาวัดภายใต้สภาวะเหมือนกับที่ใช้ทดสอบการบีบอัด โดยรายงานเป็นค่า Hardness

Adhesiveness Springiness Cohesiveness Gumminess Chewiness และ Resilience

อุปกรณ์

1. เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture Analysis)
2. หัววัดแบบ Compression plate เส้นผ่านศูนย์กลาง 100 mm
3. Probe adapter
4. Flat Plate

วิธีการวิเคราะห์

1. เปิดคอมพิวเตอร์และเครื่อง Texture Analysis
2. เข้าโปรแกรม Texture Exponent 32 คลิก OK จะปรากฏหน้าจอที่พร้อมสำหรับการทดสอบ
3. จากนั้นทำการ Calibrate Force โดยไปที่เมนู T.A. จากนั้นไปที่ Calibrate และเลือก Calibrate Force ตั้งค่า Capacity ว่าถูกต้องหรือไม่ (50 Kg) จากนั้นคลิก Next พิมพ์น้ำหนักลูกตุ้มที่ใช้ 1000 g วางลูกตุ้มน้ำหนักบน Calibration Platform → Next → Finish
4. จากนั้นทำการ Calibrate Height โดยไปที่เมนู T.A. จากนั้นไปที่ Calibrate และเลือก Calibrate Height จากนั้นเลื่อนหัววัดลงมาให้ใกล้ฐานมากที่สุด→OK
5. ตั้งค่า T.A. Setting โดยไปที่เมนู T.A. จากนั้นคลิก T.A. Setting

- ความเร็ว Pre-Test Speed	3 mm/s
- ความเร็ว Test Speed	2 mm/s
- ความเร็ว Post-Test Speed	2 mm/s
- ระยะ Distance	10 mm
6. วางตัวอย่าง เลือกเมนู T.A แล้วเลือก Run a test
7. ตั้งชื่อตัวอย่าง และบันทึกข้อมูล

ภาคผนวก ค

การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ค-1 การประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงปริมาณ (ดัดแปลงจากวิธีของไพโรจน์ วิจารณ์, 2545)

ใช้การทดสอบทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา (Quantitative Descriptive Analysis : QDA) มีแนวทางวิธีการดำเนินการทดสอบ ดังนี้

การคัดเลือกผู้ทดสอบ

คัดเลือกผู้ทดสอบจำนวน 8คน โดยคัดเลือกจากการสอบถามเกี่ยวกับการรับรู้ทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบ ผู้ที่ถูกคัดเลือกจะต้องมีระบบประสาทสัมผัสที่ปกติ สามารถจดจำและแยกแยะรสชาติพื้นฐานได้ คือ รสหวาน รสเปรี้ยว รสเค็ม และรสขม รวมถึงมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการทดสอบทางประสาทสัมผัส

การคิดค้นคำศัพท์และการฝึกฝนการใช้สเกล

นำผลิตภัณฑ์ตัวอย่างและผลิตภัณฑ์อ้างอิงทางการค้าที่มีลักษณะใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง มาทำการฝึกฝนทดสอบเพื่อให้ผู้ทดสอบเกิดความคุ้นเคยกับลักษณะเฉพาะตัวของผลิตภัณฑ์ โดยให้ผู้ทดสอบคิดค้นคำศัพท์เพื่อใช้อธิบายคุณลักษณะของตัวอย่างขึ้นเอง ไม่ปรึกษาหารือกัน จากนั้นให้ผู้ทดสอบแต่ละคนอธิบายคำศัพท์ที่คิดค้นขึ้นมาและให้ผู้ทดสอบทั้งหมดช่วยกันอภิปรายคำศัพท์และคำนิยามศัพท์ เพื่อคัดเลือกคำศัพท์ที่จะนำไปใช้ในการทดสอบ

การประเมินตัวอย่าง

ทำได้โดยให้ผู้ทดสอบแต่ละคนประเมินผลิตภัณฑ์ตัวอย่างตามคุณลักษณะด้านต่าง ๆ ที่ได้ตกลงกันไว้ ภายในบูท (Booth) ของตนเอง โดยขีดเส้นตั้งฉาก (I) บนสเกลความยาว 15 เซนติเมตร พร้อมทั้งเขียนรหัสบนสเกลแนวนอนที่ตรงกับความรู้สึกของตนเองในแต่ละตัวอย่าง

แบบทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาโดยวิธี QDA

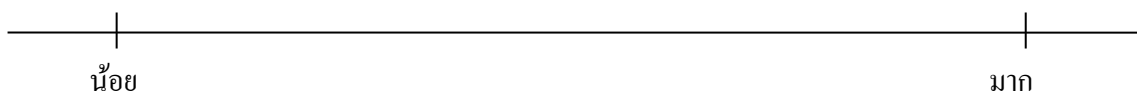
ชื่อผู้ทดสอบ..... วันที่.....

ผลิตภัณฑ์ : ผงโยอาหารจากเปลือกเสาวรศ

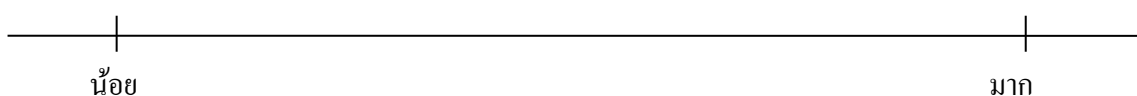
คำชี้แจง : ท่านจะได้รับผงโยอาหารจากเปลือกเสาวรศ กรุณาทดสอบ คุณลักษณะด้านต่าง ๆ ผงโยอาหาร แล้วขีดเส้นตั้งฉาก (I) บนสเกลความยาว 15 เซนติเมตร* พร้อมทั้งเขียนรหัสบนสเกลแนวนอนที่ตรงกับ ความรู้สึกของท่านในแต่ละตัวอย่าง

คำแนะนำ : กรุณาเคี้ยวขนมปังจืดและบ้วนปากทุกครั้งก่อนการชิมตัวอย่าง

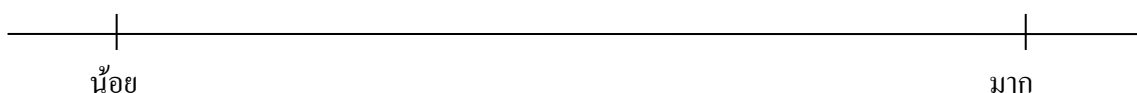
สีม่วงแดง



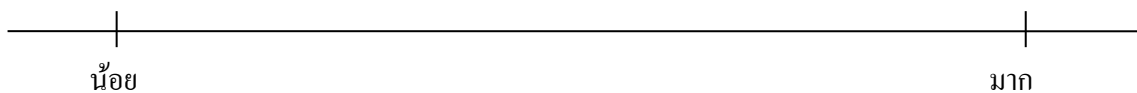
กลิ่นเสาวรศ



รสเค็ม



ความฝาดขม



*รูปแบบสเกลที่ใช้ทดสอบคุณลักษณะ อ้างอิงจาก Stone, H. and Sidel, J. L. (1992). Sensory Evaluation Practices. 2nd Ed. Academic Press, New York.

แบบทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาโดยวิธี QDA

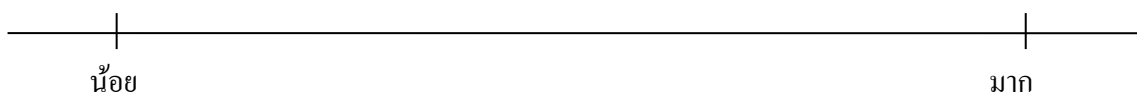
ชื่อผู้ทดสอบ..... วันที่.....

ผลิตภัณฑ์ : สารละลายของผงโยอาหารจากเปลือกเสาวรศ

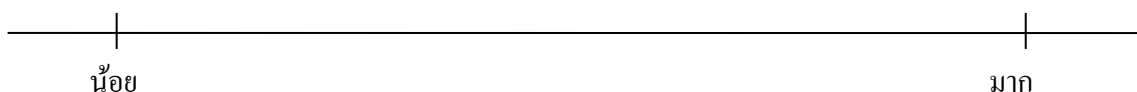
คำชี้แจง : ท่านจะได้รับสารละลายของผงโยอาหารจากเปลือกเสาวรศ กรุณาทดสอบคุณลักษณะ
ด้านต่าง ๆ สารละลายผงโยอาหาร แล้วขีดเส้นตั้งฉาก (I) บนสเกลความยาว 15
เซนติเมตร* พร้อมทั้งเขียนรหัสบนสเกลแนวนอนที่ตรงกับ ความรู้สึกของท่านในแต่ละ
ตัวอย่าง

คำแนะนำ : กรุณาเลียขนมπίงจืดและบ้วนปากทุกครั้งก่อนการชิมตัวอย่าง

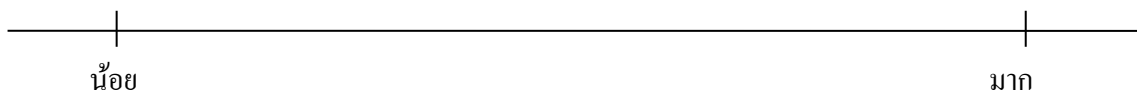
สีม่วงแดง



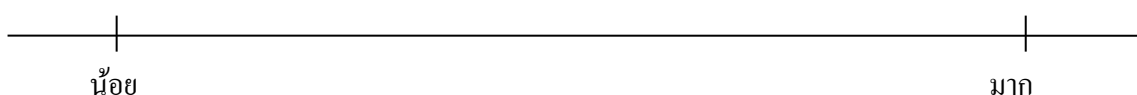
การตกตะกอน



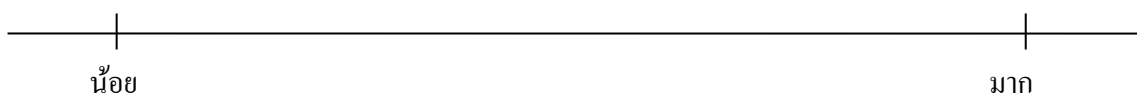
ความขุ่น



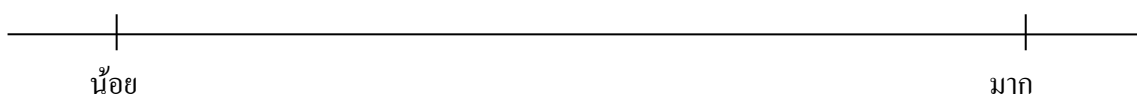
กลิ่นเสาวรศ



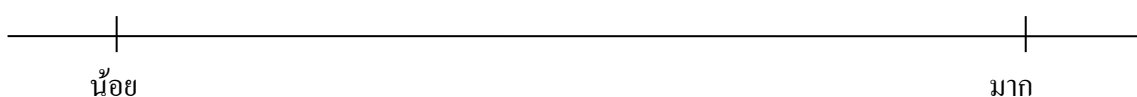
รสเค็ม



ความฝาดขม



ความสากลิ้น



แบบทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาโดยวิธี QDA

ชื่อผู้ทดสอบ..... วันที่.....

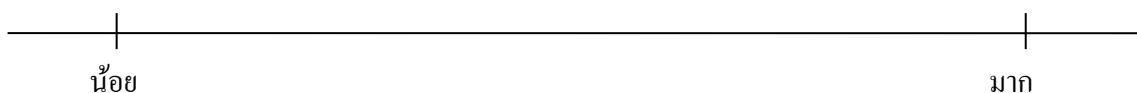
ผลิตภัณฑ์ : น้ำเสาวรสปริพร้อมดื่มเสริมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสป

คำชี้แจง : ท่านจะได้รับผลิตภัณฑ์น้ำเสาวรสปริพร้อมดื่มทั้งหมด 10 ตัวอย่าง กรุณาทดสอบ

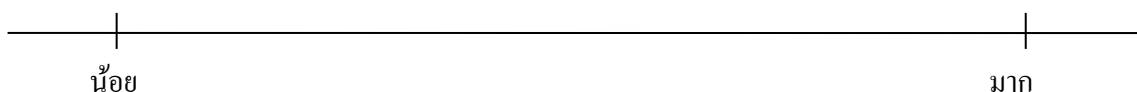
คุณลักษณะด้านต่าง ๆ ของน้ำเสาวรสปริพร้อมดื่ม แล้วขีดเส้นตั้งฉาก (I) บนสเกลความยาว 15 เซนติเมตร* พร้อมทั้งเขียนรหัสบนสเกลแนวนอนที่ตรงกับ ความรู้สึกของท่านในแต่ละตัวอย่าง

คำแนะนำ : กรุณาเคี้ยวขนมปังจืดและบ้วนปากทุกครั้งก่อนการชิมตัวอย่าง

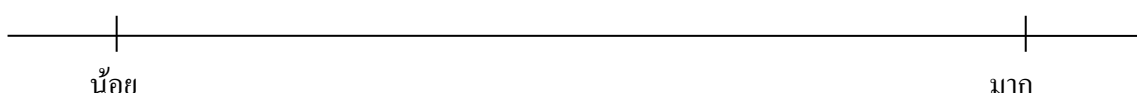
สีส้มแดง



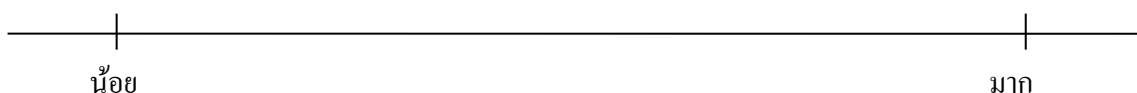
การตกตะกอน



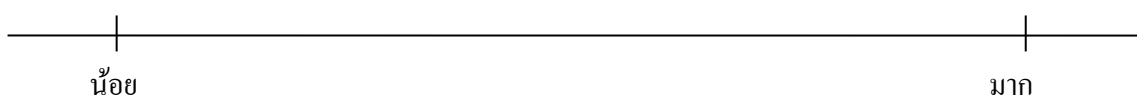
กลิ่นเสาวรสป



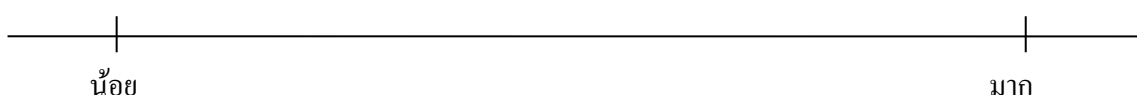
รสหวาน



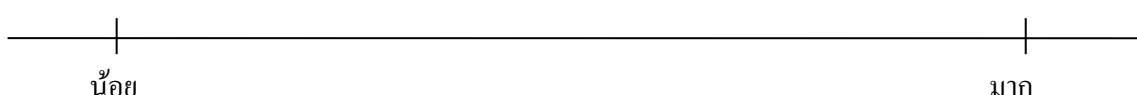
รสเปรี้ยว



ความหนืดในปาก



ความซากลิ้น



แบบทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาโดยวิธี QDA

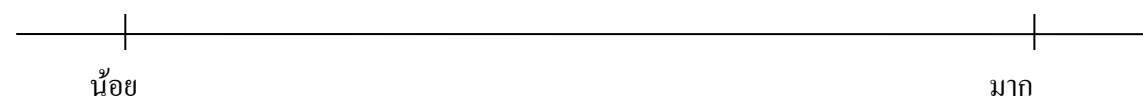
ชื่อผู้ทดสอบ..... วันที่.....

ผลิตภัณฑ์ : เต้าหู้เย็นเสริมผงโยเกิร์ตที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส

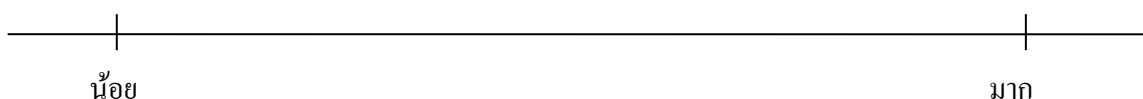
คำชี้แจง : ท่านจะได้รับผลิตภัณฑ์เต้าหู้เย็นทั้งหมด 10 ตัวอย่าง กรุณาทดสอบคุณลักษณะด้านต่าง ๆ ของน้ำเสาวรสพร้อมดื่ม แล้วขีดเส้นตั้งฉาก (I) บนสเกลความยาว 15 เซนติเมตร* พร้อมทั้งเขียนรหัสบนสเกลแนวนอนที่ตรงกับ ความรู้สึกของท่านในแต่ละตัวอย่าง

คำแนะนำ : กรุณาเคี้ยวขนมปังจืดและบ้วนปากทุกครั้งก่อนการชิมตัวอย่าง

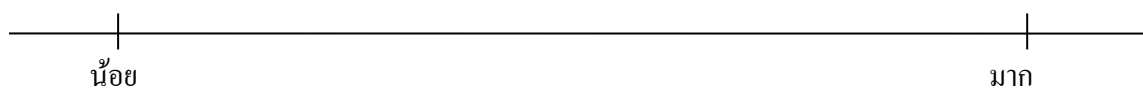
สีน้ำตาล



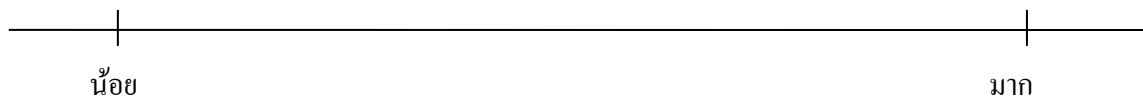
ความเป็นเนื้อเดียวกัน



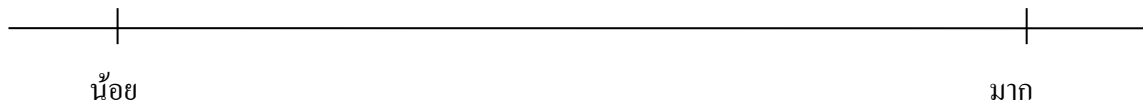
การแยกตัวของน้ำ



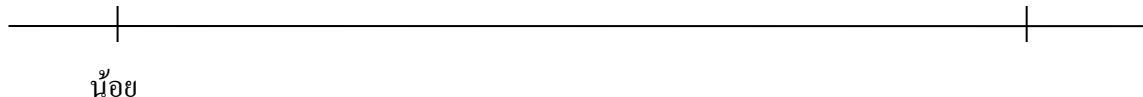
ความแข็ง



ความสากลิ้น



ความง่ายในการกลืน



*รูปแบบสเกลที่ใช้ทดสอบคุณลักษณะ อ้างอิงจาก Stone, H. and Sidel, J. L. (1992). Sensory Evaluation Practices. 2nd Ed. Academic Press, New York.

ก-2 แบบทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี Scoring

ชื่อผู้ทดสอบ..... วันที่.....

ผลิตภัณฑ์ : น้ำเสาวรสปพร้อมดื่มเสริมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส

คำชี้แจง : ท่านจะได้รับผลิตภัณฑ์น้ำเสาวรสปพร้อมดื่มทั้งหมด 10 ตัวอย่าง (โดยจะแบ่งการชิมเป็น 2 ครั้ง ครั้งละ 5 ตัวอย่าง)

กรุณาชิมตัวอย่าง แล้วให้คะแนนความเข้มของค่าคุณภาพได้แก่ การตกตะกอน ความหนืดในปาก ความสากิ้น และความง่ายในการกลืนที่ใกล้เคียงกับความรู้สึกของท่านมากที่สุด

โดย* 1 = ความเข้มคุณลักษณะน้อยที่สุด 2 = ความเข้มคุณลักษณะน้อย 3 = ความเข้มคุณลักษณะปานกลาง
4 = ความเข้มคุณลักษณะมาก 5 = ความเข้มคุณลักษณะมากที่สุด

ค่าคุณภาพ	คะแนนความเข้ม									
	342	704	596	092	310	798	219	936	012	786
การตกตะกอน										
ความหนืดในปาก										
ความง่ายในการเคี้ยว										
ความง่ายในการกลืน										

ขอขอบคุณในความร่วมมือน

*รูปแบบสเกลที่ใช้ทดสอบคุณลักษณะ Scoring test อ้างอิงจาก เหมือนหมาย อภินทนาพงศ์ และ เสาวนีย์ เอี้ยวสกุลรัตน์ (2555)

ค-3 แบบทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบวิธี 9- Point Hedonic Scale

ชื่อผู้ทดสอบ..... วันที่.....

ผลิตภัณฑ์ : น้ำเสาวรสปพร้อมดื่มเสริมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสป

คำชี้แจง : ท่านจะได้รับผลิตภัณฑ์น้ำเสาวรสปพร้อมดื่มทั้งหมด 5 ตัวอย่าง กรุณาทดสอบตัวอย่าง
จากซ้ายไปขวาตามลำดับ แล้วให้คะแนนความชอบที่มีต่อผลิตภัณฑ์

คำแนะนำ : โดยกรุณาเว้นปากกระหว่างตัวอย่างก่อนทดสอบทุกครั้ง

1= ไม่ชอบมากที่สุด 2= ไม่ชอบมาก 3= ไม่ชอบปานกลาง

4= ไม่ชอบเล็กน้อย 5= เฉยๆหรือบอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ

6= ชอบเล็กน้อย 7= ชอบปานกลาง 8= ชอบมาก

9= ชอบมากที่สุด

รหัสตัวอย่าง	.....	.....	.....	.....	.....
ลักษณะปรากฏ	.....	.....	.....	.....	.....
สี	.....	.....	.....	.....	.....
กลิ่น	.....	.....	.....	.....	.....
รสชาติ	.....	.....	.....	.....	.....
ความง่ายในการกลืน	.....	.....	.....	.....	.....
ความชอบโดยรวม	.....	.....	.....	.....	.....

ข้อเสนอแนะ

.....
.....

ขอบคุณทุกท่านที่กรุณาตอบแบบสอบถาม

แบบทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบวิธี 9- Point Hedonic Scale

ชื่อผู้ทดสอบ..... วันที่.....

ผลิตภัณฑ์ : เต้าหู้เย็นเสริมผงโยเกิร์ตที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส

คำชี้แจง : ท่านจะได้รับผลิตภัณฑ์เต้าหู้เย็นทั้งหมด 10 ตัวอย่าง กรุณาทดสอบตัวอย่างจากซ้าย

ไปขวาตามลำดับ แล้วให้คะแนนความชอบที่มีต่อผลิตภัณฑ์

คำแนะนำ : โดยกรุณาบ้วนปากระหว่างตัวอย่างก่อนทดสอบทุกครั้ง

1= ไม่ชอบมากที่สุด 2= ไม่ชอบมาก 3= ไม่ชอบปานกลาง

4= ไม่ชอบเล็กน้อย 5= เฉยๆหรือบอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ

6= ชอบเล็กน้อย 7= ชอบปานกลาง 8= ชอบมาก

9= ชอบมากที่สุด

รหัสตัวอย่าง	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
ลักษณะปรากฏ	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
สี	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
กลิ่น	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
รสชาติ	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
ความง่ายในการเคี้ยว	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
ความง่ายในการกลืน	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
ความชอบโดยรวม	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....

ข้อเสนอแนะ

.....

ขอบคุณทุกท่านที่กรุณาตอบแบบสอบถาม

ภาคผนวก ง

การวิเคราะห์คุณภาพทางด้านจุลินทรีย์

ง-1 การวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด โดยวิธีนับจำนวนโคโลนีบนอาหารเลี้ยงเชื้อ สำเร็จรูป (BAM, 2003)

วัสดุและสารเคมี

1. อาหารเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูปตรวจเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (Compact Dry TC, Nissui Pharmaceutical, Japan)
2. เปปโตน วอเตอร์ (Peptone Water, Merck Darmstadt, Germany)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องตีผสม (Stomacher, Stomacher 400, Seaward Meduca Limited, England)
2. ตู้บ่มเชื้อ (Incubator, INE 300 39L, Memmert, England)
3. อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์จุลินทรีย์

การเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างผงใยอาหาร 25 กรัม ใส่ลงในถุงพลาสติกที่ปลอดเชื้อ แล้วเติม Peptone Water 225 มิลลิลิตร นำเข้าเครื่องตีผสมนาน 1 นาที จะได้สารละลายตัวอย่างที่มีความเจือจาง 10^{-1}
2. ปิ่เปิดสารละลายตัวอย่างจากข้อ 1. มา 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดที่บรรจุสารละลาย Peptone Water 9 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันจะได้สารละลายตัวอย่างที่มีความเจือจาง 10^{-2}
3. เจือจางสารละลายตัวอย่างเช่นเดียวกับข้อ 2 จนได้ความเจือจาง 10^{-3}
4. ปิ่เปิดสารละลายตัวอย่างที่มีความเจือจาง 10^{-1} มา 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูป แล้วรีบปิดฝาภาควัสดุอาหารเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูป
5. ทำเช่นเดียวกับข้อที่ 4 จนครบสารละลายตัวอย่างที่มีความเจือจาง 10^{-2} และ 10^{-3}
6. นำไปบ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง
7. การตรวจนับจำนวนโคโลนีจากภาควัสดุอาหารเลี้ยงเชื้อ ทำได้โดยนับจำนวนโคโลนีสีแดงทั้งหมดแล้วหาค่าเฉลี่ยจำนวนโคโลนีในแต่ละความเจือจาง และรายงานผลเป็นจำนวนโคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม ที่ความเจือจางต่ำที่สุด (Yousef & Carlstrom, 2003) ได้ตามสูตร ดังนี้

โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม (CFU/1 g) = $n \times df$

เมื่อ n คือ จำนวนโคโลนีเฉลี่ยที่ความเจือจางต่ำที่สุด

Df คือ Dilution Factor หรือ ส่วนกลับของความเจือจางของตัวอย่างที่นำมาเพาะเชื้อในภาชนะที่หาค่า n ได้

7.1 หากทุกความเจือจางมีจำนวนโคโลนีอยู่ในช่วง 1-15 โคโลนี ให้รายงานผลการตรวจนับโคโลนีที่ความเจือจางต่ำที่สุดในรูปของโคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม และให้เขียนคำว่า est. ต่อท้าย

7.2 หากไม่ตรวจพบจำนวนโคโลนีเลยในจำนวน 3 ซ้ำ ให้รายงานว่า $<1.0 \times$ (dilution ที่ความเจือจางต่ำที่สุด)

7.3 หากจำนวนโคโลนีเกิน 300 โคโลนีไม่มากนักให้นับจำนวนโคโลนีทั้งหมดที่พบในความเจือจางสูงสุดคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยและรายงานผลเป็นค่าโดยประมาณแบบที่เรียกทั้งหมด

ถ้าตรวจพบจำนวนโคโลนีมากกว่า 300 โคโลนีเกิน 10 โคโลนีต่อพื้นที่ 1 เซนติเมตร ให้นับจำนวนโคโลนีที่พบใน 1 ตารางเซนติเมตร (โดยแบ่งเป็นช่องขนาด 1 ตารางเซนติเมตรแล้วนับจำนวนโคโลนีที่อยู่ในช่องนั้นจำนวน 13 ช่องแบบสุ่ม) รวมจำนวนโคโลนีโดยประมาณ (โคโลนีต่ออาหาร 1 กรัม) ของตัวอย่างนั้น

ถ้าจำนวนโคโลนีเกิน 300 โคโลนีมากจนไม่สามารถนับได้ให้รายงานว่า “TNTC” (Too Numerous To Count) และต้องเตรียมตัวอย่างให้มีระดับความเจือจางที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ครั้งต่อไป

ง-2 การวิเคราะห์ปริมาณยีสต์และรา โดยวิธีการนับจำนวนโคโลนีบนอาหารเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูป (BAM, 2003)

วัสดุและสารเคมี

1. อาหารเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูปตรวจเชื้อยีสต์และรา (Compact Dry YM, Nissui Pharmaceutical, Japan)
2. เปปโตน วอเตอร์ (Peptone Water, Merck Darmstadt, Germany)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องตีผสม (Stomacher, Stomacher 400, Seaward Meduca Limited, England)

2. ตู้บ่มเชื้อ (Incubator, INE 300 39L, Memmert, England)
3. อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์จุลินทรีย์

การเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์

1. ทำวิธีเดียวกันกับภาคผนวกที่-1 ในข้อที่ 1-5
2. นำไปบ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน
3. การตรวจนับจำนวนโคโลนีจากอาหารเลี้ยงเชื้อ ทำได้โดยนับจำนวนโคโลนีสีฟ้าเขียวอ่อน (Light Bluish Green) ทั้งหมดแล้วหาค่าเฉลี่ยจำนวนโคโลนีในแต่ละความเจือจางและรายงานผลเป็นจำนวนโคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม ที่ความเจือจางต่ำที่สุด เช่นเดียวกันกับภาคผนวก ง-1

ยกเว้นกรณี หากจำนวนโคโลนีเกิน 150 โคโลนีไม่มากนักให้นับจำนวนโคโลนีทั้งหมดที่พบในความเจือจางสูงสุดคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยและรายงานผลเป็นค่าโดยประมาณแบบที่เรียกทั้งหมด

ถ้าตรวจพบจำนวนโคโลนีมากกว่า 150 โคโลนีเกิน 10 โคโลนีต่อพื้นที่ 1 เซนติเมตร ให้นับจำนวนโคโลนีที่พบใน 1 ตารางเซนติเมตร (โดยแบ่งเป็นช่องขนาด 1 ตารางเซนติเมตรแล้วนับจำนวนโคโลนีที่อยู่ในช่องนั้นจำนวน 13 ช่องแบบสุ่ม) รวมจำนวนโคโลนีโดยประมาณ (โคโลนีต่ออาหาร 1 กรัม) ของตัวอย่างนั้น

ถ้าจำนวนโคโลนีเกิน 150 โคโลนีมากจนไม่สามารถนับได้ให้รายงานว่า “TNTC” (Too Numerous To Count) และต้องเตรียมตัวอย่างให้มีระดับความเจือจางที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ครั้งต่อไป

ภาคผนวก จ
การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ตารางที่ จ-1 ผลการวิเคราะห์ T-test ของค่าสี L* ของเปลือกเสาวรสดและเปลือกเสาวรสผง

	t	df	Sig (2-tailed)
เปลือกเสาวรสดและผง	-164.599	4	0.000 ^{sig}

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางที่ จ-2 ผลการวิเคราะห์ T-test ของค่าสี a* ของเปลือกเสาวรสดและเปลือกเสาวรสผง

	t	df	Sig (2-tailed)
เปลือกเสาวรสดและผง	219.818	4	0.000 ^{sig}

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางที่ จ-3 ผลการวิเคราะห์ T-test ของค่าสี b* ของเปลือกเสาวรสดและเปลือกเสาวรสผง

	t	df	Sig (2-tailed)
เปลือกเสาวรสดและผง	-39.999	4	0.000 ^{sig}

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางที่ จ-4 ผลการวิเคราะห์ T-test ของค่า Hue angle ของเปลือกเสาวรสดและเปลือกเสาวรสผง

	t	df	Sig (2-tailed)
เปลือกเสาวรสดและผง	-69.400	4	0.000 ^{sig}

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางที่ จ-5 ผลการวิเคราะห์ T-test ของค่า Chroma ของเปลือกเสาวรสดและเปลือกเสาวรสผง

	t	df	Sig (2-tailed)
เปลือกเสาวรสดและผง	-82.099	4	0.000 ^{sig}

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ จ-6 ผลการวิเคราะห์ T-test ของค่า ΔE ของเปลือกเสาวรสดและเปลือกเสาวรส ผง

	t	df	Sig (2-tailed)
เปลือกเสาวรสดและผง	-675.885	4	0.000 ^{sig}

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ จ-7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสเมื่อผ่านการเตรียมขึ้นต้นวิธีต่าง ๆ

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Blanching	5.552	2	2.776	144.193	0.000 ^{sig}
Time	0.448	1	0.448	23.275	0.001 ^{sig}
Blanching*Time	0.643	2	0.322	16.708	0.001 ^{sig}
rep	0.077	2	0.039	2.012	0.184 ^{ns}
Error	0.193	10	0.019		
Total	6.914	17			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

^{ns} หมายถึง ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางที่ จ-8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณใยอาหารทั้งหมดของผงใยอาหารจากเปลือก
เสาวรสเมื่อผ่านการเตรียมขั้นต้นวิธีต่าง ๆ

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Blanching	393.312	2	196.656	89.662	0.000 ^{sig}
Time	16.994	1	16.994	7.748	0.019 ^{sig}
Blanching*Time	32.165	2	16.083	7.333	0.011 ^{sig}
rep	7.202	2	3.601	1.642	0.242 ^{ns}
Error	21.933	10	2.193		
Total	471.606	17			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

^{ns} หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางที่ จ-9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณแอนโทไซยานินของผงใยอาหารจากเปลือก
เสาวรสเมื่อผ่านการเตรียมขั้นต้นวิธีต่าง ๆ

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Blanching	110.279	2	55.139	56.708	0.000 ^{sig}
Time	28.880	1	28.880	29.702	0.000 ^{sig}
Blanching*Time	56.436	2	28.218	29.021	0.000 ^{sig}
rep	2.650	2	1.325	1.363	0.300 ^{ns}
Error	9.723	10	0.972		
Total	207.968	17			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

^{ns} หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางที่ จ-10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของผงใยอาหารจากเปลือก
เสาวรสมือผ่านการเตรียมชิ้นต้นวิธีต่าง ๆ

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Blanching	3548.534	2	1774.267	278534.885	0.000 ^{sig}
Time	1623.170	1	1623.170	254814.799	0.000 ^{sig}
Blanching*Time	1416.629	2	708.315	111195.385	0.000 ^{sig}
rep	0.022	2	0.011	1.729	0.226 ^{ns}
Error	0.064	10	0.006		
Total	6588.420	17			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

^{ns} หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางที่ จ-11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของผงใยอาหารจาก
เปลือกเสาวรสมือผ่านการเตรียมชิ้นต้นวิธีต่าง ๆ

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Blanching	0.157	2	0.078	0.221	0.806 ^{ns}
Time	0.229	1	0.229	0.645	0.441 ^{ns}
Blanching*Time	1.308	2	0.654	1.843	0.208 ^{ns}
rep	1.270	2	0.635	1.790	0.217 ^{ns}
Error	3.548	10	0.355		
Total	6.512	17			

^{ns} หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางที่ จ-12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสี L* ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสเมื่อผ่าน
การเตรียมชิ้นต้นวิธีต่าง ๆ

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Blanching	7.032	2	3.516	854.745	0.000 ^{sig}
Time	0.182	1	0.182	44.248	0.000 ^{sig}
Blanching*Time	1.803	2	0.901	219.126	0.000 ^{sig}
rep	0.018	2	0.009	2.156	0.167 ^{ns}
Error	0.041	10	0.004		
Total	9.075	17			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

^{ns} หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางที่ จ-13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสี a* ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสเมื่อผ่าน
การเตรียมชิ้นต้นวิธีต่าง ๆ

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Blanching	1.771	2	0.885	159.925	0.000 ^{sig}
Time	0.092	1	0.092	16.701	0.002 ^{sig}
Blanching*Time	0.524	2	0.262	47.351	0.000 ^{sig}
rep	0.006	2	0.003	0.534	0.602 ^{ns}
Error	0.055	10	0.006		
Total	2.448	17			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

^{ns} หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางที่ จ-14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสี b^* ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสเมื่อผ่าน
การเตรียมชิ้นต้นวิธีต่าง ๆ

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Blanching	33.946	2	16.973	1234.102	0.000 ^{sig}
Time	0.144	1	0.144	10.471	0.009 ^{sig}
Blanching*Time	8.091	2	4.046	294.159	0.000 ^{sig}
rep	0.068	2	0.034	2.462	0.135 ^{ns}
Error	0.138	10	0.014		
Total	42.387	17			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

^{ns} หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางที่ จ-15 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า Hue angle ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส
เมื่อผ่านการเตรียมชิ้นต้นวิธีต่าง ๆ

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Blanching	146.673	2	73.337	484.285	0.000 ^{sig}
Time	1.045	1	1.045	6.899	0.025 ^{sig}
Blanching*Time	51.405	2	25.703	169.730	0.000 ^{sig}
rep	0.478	2	0.239	1.578	0.254 ^{ns}
Error	1.514	10	0.151		
Total	201.116	17			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

^{ns} หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางที่ จ-16 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า Chroma ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสเมื่อผ่านการเตรียมชิ้นต้นวิธีต่าง ๆ

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Blanching	23.799	2	11.899	1575.627	0.000 ^{sig}
Time	0.315	1	0.315	41.668	0.000 ^{sig}
Blanching*Time	4.335	2	2.167	286.982	0.000 ^{sig}
rep	0.037	2	0.018	2.433	0.138 ^{ns}
Error	0.076	10	0.008		
Total	28.561	17			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

^{ns} หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางที่ จ-17 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า ΔE ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสเมื่อผ่านการเตรียมชิ้นต้นวิธีต่าง ๆ

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Blanching	34.464	2	17.232	1531.751	0.000 ^{sig}
Time	0.004	1	0.004	0.334	0.576 ^{ns}
Blanching*Time	4.970	2	2.485	220.885	0.000 ^{sig}
rep	0.087	2	0.044	3.886	0.056 ^{ns}
Error	0.112	10	0.011		
Total	39.638	17			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

^{ns} หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางที่ จ-18 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรศ เมื่อเตรียมขึ้นต้น โดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ แปรเวลาการแช่ (Time) และการใช้สภาวะสุญญากาศ (Vacuum) ที่แตกต่างกัน

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Time	0.000	1	0.000	0.027	0.876 ^{ns}
Vacuum	0.317	1	0.317	20.737	0.004 ^{sig}
Time * Vacuum	0.460	1	0.460	30.117	0.002 ^{sig}
rep	0.002	2	0.001	0.076	0.928 ^{ns}
Error	0.092	6	0.015		
Total	0.871	11			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

^{ns} หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางที่ จ-19 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณใยอาหารทั้งหมดของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรศ เมื่อเตรียมขึ้นต้น โดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ แปรเวลาการแช่ (Time) และการใช้สภาวะสุญญากาศ (Vacuum) ที่แตกต่างกัน

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Time	12.505	1	12.505	19.391	0.005 ^{sig}
Vacuum	0.630	1	0.630	0.977	0.361 ^{ns}
Time * Vacuum	0.216	1	0.216	0.335	0.584 ^{ns}
rep	4.822	2	2.411	3.738	0.088 ^{ns}
Error	3.869	6	0.645		
Total	22.042	11			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

^{ns} หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางที่ จ-20 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณแอนโทไซยานินของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรศ เมื่อเตรียมขึ้นต้น โดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ แปรเวลาการแช่ (Time) และการใช้สภาวะสุญญากาศ (Vacuum) ที่แตกต่างกัน

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Time	0.034	1	0.034	0.107	0.754 ^{ns}
Vacuum	20.384	1	20.384	64.140	0.000 ^{sig}
Time * Vacuum	0.295	1	0.295	0.927	0.373 ^{ns}
rep	0.458	2	0.229	0.720	0.524 ^{ns}
Error	1.907	6	0.318		
Total	23.077	11			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

^{ns} หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางที่ จ-21 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรศ เมื่อเตรียมขึ้นต้น โดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ แปรเวลาการแช่ (Time) และการใช้สภาวะสุญญากาศ (Vacuum) ที่แตกต่างกัน

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Time	7.825	1	7.825	46.034	0.001 ^{sig}
Vacuum	8.317	1	8.317	48.928	0.000 ^{sig}
Time * Vacuum	1.159	1	1.159	6.821	0.040 ^{sig}
rep	0.663	2	0.332	1.951	0.222 ^{ns}
Error	1.020	6	0.170		
Total	18.984	11			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

^{ns} หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางที่ จ-22 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของผงโยอาหารจากเปลือกเสาวรส เมื่อเตรียมขั้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ แปรเวลาการแช่ (Time) และการใช้สภาวะสุญญากาศ (Vacuum) ที่แตกต่างกัน

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Time	5.279	1	5.279	18.867	0.005 ^{sig}
Vacuum	2.820	1	2.820	10.080	0.019 ^{sig}
Time * Vacuum	2.665	1	2.665	9.524	0.021 ^{sig}
rep	1.089	2	0.545	1.947	0.223 ^{ns}
Error	1.679	6	0.280		
Total	13.532	11			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

^{ns} หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางที่ จ-23 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสี L* ของผงโยอาหารจากเปลือกเสาวรส เมื่อเตรียมขั้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ แปรเวลาการแช่ (Time) และการใช้สภาวะสุญญากาศ (Vacuum) ที่แตกต่างกัน

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Time	52.752	1	52.752	317.439	0.000 ^{sig}
Vacuum	15.870	1	15.870	95.499	0.000 ^{sig}
Time * Vacuum	7.712	1	7.712	46.408	0.000 ^{sig}
rep	0.242	2	0.121	0.728	0.521 ^{ns}
Error	0.997	6	0.166		
Total	77.573	11			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

^{ns} หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางที่ จ-24 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสี a* ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส เมื่อเตรียมขึ้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ แปรเวลาการแช่ (Time) และการใช้สภาวะสุญญากาศ (Vacuum) ที่แตกต่างกัน

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Time	7.712	1	7.712	219.509	0.000 ^{sig}
Vacuum	0.791	1	0.791	29.882	0.002 ^{sig}
Time * Vacuum	0.087	1	0.087	3.277	0.120 ^{ns}
rep	0.024	2	0.012	0.459	0.653 ^{ns}
Error	0.159	6	0.026		
Total	8.772	11			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

^{ns} หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางที่ จ-25 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสี b* ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส เมื่อเตรียมขึ้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ แปรเวลาการแช่ (Time) และการใช้สภาวะสุญญากาศ (Vacuum) ที่แตกต่างกัน

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Time	13.042	1	13.042	649.468	0.000 ^{sig}
Vacuum	0.042	1	0.042	2.092	0.198 ^{ns}
Time * Vacuum	0.232	1	0.232	11.574	0.014 ^{sig}
rep	0.212	2	0.106	5.290	0.047 ^{sig}
Error	0.120	6	0.020		
Total	13.649	11			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

^{ns} หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางที่ จ-26 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า Hue angle ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส
เมื่อเตรียมขึ้นต้น โดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ แปรเวลาการแช่
(Time) และการใช้สภาวะสุญญากาศ (Vacuum) ที่แตกต่างกัน

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Time	0.001	1	0.001	0.004	0.951 ^{ns}
Vacuum	7.857	1	7.857	32.328	0.001 ^{sig}
Time * Vacuum	8.333E-6	1	8.333E-6	0.000	0.996 ^{ns}
rep	0.614	2	0.307	1.263	0.348 ^{ns}
Error	1.458	6	0.243		
Total	9.930	11			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

^{ns} หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางที่ จ-27 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า Chroma ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส
เมื่อเตรียมขึ้นต้น โดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ แปรเวลาการแช่
(Time) และการใช้สภาวะสุญญากาศ (Vacuum) ที่แตกต่างกัน

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Time	20.698	1	20.698	732.749	0.000 ^{sig}
Vacuum	0.145	1	0.145	5.140	0.064 ^{ns}
Time * Vacuum	0.320	1	0.320	11.333	0.015 ^{sig}
rep	0.191	2	0.096	3.386	0.104 ^{ns}
Error	0.169	6	0.028		
Total	21.524	11			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

^{ns} หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางที่ จ-28 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า ΔE ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรศ เมื่อเตรียมขึ้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ แปรเวลาการแช่ (Time) และการใช้สภาวะสุญญากาศ (Vacuum) ที่แตกต่างกัน

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Time	0.013	1	0.013	0.073	0.796 ^{ns}
Vacuum	8.400	1	8.400	46.065	0.001 ^{sig}
Time * Vacuum	9.612	1	9.612	52.712	0.000 ^{sig}
rep	6.667E-5	2	3.333E-5	0.000	1.000 ^{ns}
Error	1.094	6	0.182		
Total	19.120	11			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

^{ns} หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางที่ จ-29 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านสีม่วงแดงของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรศ ที่ผ่านและไม่ผ่านการเตรียมขึ้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ เมื่อแปรเวลาการแช่ (Time) และการใช้สภาวะสุญญากาศ (Vacuum) ที่แตกต่างกัน

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Time	39.227	2	19.614	611.619	0.000 ^{sig}
Vacuum	0.780	1	0.780	24.332	0.001 ^{sig}
Time * Vacuum	0.009	1	0.009	0.266	0.620 ^{ns}
rep	0.073	2	0.036	1.131	0.369 ^{ns}
Error	0.257	8	0.032		
Total	53.647	14			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

^{ns} หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางที่ จ-30 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นเสาวรสของผง
 ใยอาหารจากเปลือกเสาวรส ที่ผ่านและไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้น โดยการแช่ใน
 สารละลายเกลือ โซเดียมคลอไรด์ เมื่อแปรเวลาการแช่ (Time) และการใช้สภาวะ
 สูญญากาศ (Vacuum) ที่แตกต่างกัน

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Time	27.927	2	13.963	219.499	0.000 ^{sig}
Vacuum	1.568	1	1.568	24.646	0.001 ^{sig}
Time * Vacuum	0.172	1	0.172	2.707	0.139 ^{ns}
rep	2.235	2	1.118	17.569	0.001 ^{sig}
Error	0.509	8	0.064		
Total	31.766	14			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

^{ns} หมายถึง ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางที่ จ-31 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านรสเค็มของผง
 ใยอาหารจากเปลือกเสาวรส ที่ผ่านและไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้น โดยการแช่ใน
 สารละลายเกลือ โซเดียมคลอไรด์ เมื่อแปรเวลาการแช่ (Time) และการใช้สภาวะ
 สูญญากาศ (Vacuum) ที่แตกต่างกัน

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Time	44.240	2	22.120	999.518	0.000 ^{sig}
Vacuum	0.411	1	0.411	18.558	0.003 ^{sig}
Time * Vacuum	0.013	1	0.013	0.573	0.417 ^{ns}
rep	0.183	2	0.091	4.127	0.059 ^{ns}
Error	0.177	8	0.022		
Total	49.775	14			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

^{ns} หมายถึง ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางที่ จ-32 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านความฝืดของผง
ใยอาหารจากเปลือกเสาวรศ ที่ผ่านและไม่ผ่านการเตรียมขึ้นต้น โดยการแช่ใน
สารละลายเกลือ โซเดียมคลอไรด์ เมื่อแปรเวลาการแช่ (Time) และการใช้สภาวะ
สุญญากาศ (Vacuum) ที่แตกต่างกัน

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Time	44.429	2	22.214	16424.735	0.000 ^{sig}
Vacuum	0.052	1	0.052	38.210	0.000 ^{sig}
Time * Vacuum	0.191	1	0.191	140.952	0.000 ^{sig}
rep	0.396	2	0.198	146.541	0.000 ^{sig}
Error	0.011	8	0.001		
Total	52.489	14			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

^{ns} หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางที่ จ-33 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านสีม่วงแดงของ
สารละลายผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรศ ที่ผ่านและไม่ผ่านการเตรียมขึ้นต้น โดยการ
แช่ในสารละลายเกลือ โซเดียมคลอไรด์ เมื่อแปรเวลาการแช่ (Time) และการใช้
สภาวะสุญญากาศ (Vacuum) ที่แตกต่างกัน เตรียมที่ 28°C

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Time	93.698	2	46.849	1994.141	0.000 ^{sig}
Vacuum	29.799	1	29.799	1268.403	0.000 ^{sig}
Time * Vacuum	0.677	1	0.677	28.811	0.001 ^{sig}
rep	0.027	2	0.013	0.567	0.588 ^{ns}
Error	0.188	8	0.023		
Total	98.214	14			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

^{ns} หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางที่ จ-34 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านการตกตะกอนของสารละลายผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส ที่ผ่านและไม่ผ่านการเตรียมขึ้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ เมื่อแปรเวลาการแช่ (Time) และการใช้สถานะสุญญากาศ (Vacuum) ที่แตกต่างกัน เตรียมที่ 28°C

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Time	182.637	2	91.319	96463.317	0.000 ^{sig}
Vacuum	8.484	1	8.484	8961.981	0.000 ^{sig}
Time * Vacuum	6.556	1	6.556	6925.783	0.001 ^{sig}
rep	0.012	2	0.006	6.176	0.024 ^{sig}
Error	0.008	8	0.001		
Total	197.301	14			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

^{ns} หมายถึง ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางที่ จ-35 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านความชุ่มชื้นของสารละลายผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส ที่ผ่านและไม่ผ่านการเตรียมขึ้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ เมื่อแปรเวลาการแช่ (Time) และการใช้สถานะสุญญากาศ (Vacuum) ที่แตกต่างกัน เตรียมที่ 28°C

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Time	58.231	2	29.115	4888.633	0.000 ^{sig}
Vacuum	16.246	1	16.246	2727.785	0.000 ^{sig}
Time * Vacuum	14.603	1	14.603	2451.861	0.000 ^{sig}
rep	0.012	2	0.006	0.967	0.421 ^{ns}
Error	0.048	8	0.006		
Total	75.693	14			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

^{ns} หมายถึง ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางที่ จ-36 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นเสาวรสของ
สารละลายผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส ที่ผ่านและไม่ผ่านการเตรียมขึ้นต้นโดยการ
แช่ในสารละลายเกลือ โซเดียมคลอไรด์ เมื่อแปรเวลาการแช่ (Time) และการใช้
สภาวะสุญญากาศ (Vacuum) ที่แตกต่างกัน เตรียมที่ 28°C

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Time	42.285	2	21.142	7016.975	0.000 ^{sig}
Vacuum	0.175	1	0.175	58.150	0.000 ^{sig}
Time * Vacuum	0.317	1	0.317	105.169	0.000 ^{sig}
rep	0.008	2	0.004	1.255	0.336 ^{ns}
Error	0.024	8	0.003		
Total	48.409	14			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

^{ns} หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางที่ จ-37 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านรสเค็มของ
สารละลายผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส ที่ผ่านและไม่ผ่านการเตรียมขึ้นต้นโดยการ
แช่ในสารละลายเกลือ โซเดียมคลอไรด์ เมื่อแปรเวลาการแช่ (Time) และการใช้
สภาวะสุญญากาศ (Vacuum) ที่แตกต่างกัน เตรียมที่ 28°C

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Time	7.459	2	3.729	1523.256	0.000 ^{sig}
Vacuum	4.380	1	4.380	1789.057	0.000 ^{sig}
Time * Vacuum	0.011	1	0.011	4.660	0.063 ^{ns}
rep	0.007	2	0.004	1.514	0.277 ^{ns}
Error	0.020	8	0.002		
Total	8.646	14			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

^{ns} หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางที่ จ-38 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านความฝาดขมของ
 สารละลายผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส ที่ผ่านและไม่ผ่านการเตรียมขึ้นต้น โดยการ
 แช่ในสารละลายเกลือ โซเดียมคลอไรด์ เมื่อแปรเวลาการแช่ (Time) และการใช้
 สภาวะสุญญากาศ (Vacuum) ที่แตกต่างกัน เตรียมที่ 28°C

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Time	7.961	2	3.980	1238.590	0.000 ^{sig}
Vacuum	0.110	1	0.110	34.295	0.000 ^{sig}
Time * Vacuum	0.001	1	0.001	0.259	0.624 ^{ns}
rep	0.011	2	0.005	1.673	0.247 ^{ns}
Error	0.026	8	0.003		
Total	8.796	14			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

^{ns} หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางที่ จ-39 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านความสากลื่นของ
 สารละลายผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส ที่ผ่านและไม่ผ่านการเตรียมขึ้นต้น โดยการ
 แช่ในสารละลายเกลือ โซเดียมคลอไรด์ เมื่อแปรเวลาการแช่ (Time) และการใช้
 สภาวะสุญญากาศ (Vacuum) ที่แตกต่างกัน เตรียมที่ 28°C

Source of variance	Sum of squares	df	Mean of squares	F	Sig.
Time	104.619	2	52.309	54327.588	0.000 ^{sig}
Vacuum	0.011	1	0.011	11.039	0.011 ^{sig}
Time * Vacuum	0.124	1	0.124	128.367	0.000 ^{sig}
rep	0.004	2	0.002	1.922	0.208 ^{ns}
Error	0.008	8	0.001		
Total	124.621	14			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

^{ns} หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางที่ จ-40 ผลการวิเคราะห์ T-test ของปริมาณผลได้ของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส (ADFP) และเปลือกเสาวรสมวง (PPFPP)

	t	df	Sig (2-tailed)
ADFP และ PPFPP	-36.603	8	0.000 ^{sig}

^{ns} หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางที่ จ-41 ผลการวิเคราะห์ T-test ของค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส (ADFP) และเปลือกเสาวรสมวง (PPFPP)

	t	df	Sig (2-tailed)
ADFP และ PPFPP	0.637	8	0.542 ^{ns}

^{ns} หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางที่ จ-42 ผลการวิเคราะห์ T-test ของปริมาณความชื้นของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส (ADFP) และเปลือกเสาวรสมวง (PPFPP)

	t	df	Sig (2-tailed)
ADFP และ PPFPP	9.363	8	0.000 ^{sig}

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ จ-43 ผลการวิเคราะห์ T-test ของปริมาณโปรตีนของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส (ADFP) และเปลือกเสาวรสมวง (PPFPP)

	t	df	Sig (2-tailed)
ADFP และ PPFPP	-14.898	8	0.000 ^{sig}

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ จ-44 ผลการวิเคราะห์ T-test ของปริมาณไขมันของผงใยอาหารที่มีสารต้าน

อนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส (ADFP) และเปลือกเสาวรสมวง (PPFPP)

	t	df	Sig (2-tailed)
ADFP และ PPFPP	2.063	8	0.073 ^{ns}

^{ns} หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางที่ จ-45 ผลการวิเคราะห์ T-test ของปริมาณกากใยของผงใยอาหารที่มีสารต้าน

อนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส (ADFP) และเปลือกเสาวรสมวง (PPFPP)

	t	df	Sig (2-tailed)
ADFP และ PPFPP	-3.302	8	0.011 ^{sig}

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ จ-46 ผลการวิเคราะห์ T-test ของปริมาณเถ้าของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ

จากเปลือกเสาวรส (ADFP) และเปลือกเสาวรสมวง (PPFPP)

	t	df	Sig (2-tailed)
ADFP และ PPFPP	23.380	8	0.000 ^{sig}

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ จ-47 ผลการวิเคราะห์ T-test ของปริมาณคาร์โบไฮเดรตของผงใยอาหารที่มีสาร

ต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส (ADFP) และเปลือกเสาวรสมวง (PPFPP)

	t	df	Sig (2-tailed)
ADFP และ PPFPP	-6.913	8	0.000 ^{sig}

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ จ-48 ผลการวิเคราะห์ T-test ของปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของผงใยอาหารที่มีสาร
ต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส (ADFP) และเปลือกเสาวรสมวง (PPFPP)

	t	df	Sig (2-tailed)
ADFP และ PPFPP	-35.527	8	0.000 ^{sig}

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ จ-49 ผลการวิเคราะห์ T-test ของปริมาณใยอาหารทั้งหมดของผงใยอาหารที่มีสาร
ต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส (ADFP) และเปลือกเสาวรสมวง (PPFPP)

	t	df	Sig (2-tailed)
ADFP และ PPFPP	4.449	8	0.002 ^{sig}

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ จ-50 ผลการวิเคราะห์ T-test ของปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำของผงใยอาหารที่มี
สารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส (ADFP) และเปลือกเสาวรสมวง (PPFPP)

	t	df	Sig (2-tailed)
ADFP และ PPFPP	1.463	8	0.182 ^{ns}

^{ns} หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางที่ จ-51 ผลการวิเคราะห์ T-test ของปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำของผงใยอาหารที่มีสาร
ต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส (ADFP) และเปลือกเสาวรสมวง (PPFPP)

	t	df	Sig (2-tailed)
ADFP และ PPFPP	5.150	8	0.001 ^{sig}

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ จ-52 ผลการวิเคราะห์ T-test ของปริมาณแอนโทไซยานินของผงใยอาหารที่มีสาร
ต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส (ADFP) และเปลือกเสาวรสมวง (PPFPP)

	t	df	Sig (2-tailed)
ADFP และ PPFPP	14.515	8	0.000 ^{sig}

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ จ-53 ผลการวิเคราะห์ T-test ของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของผงใยอาหารที่มี
สารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมวง (ADFP) และเปลือกเสาวรสมวง (PPFPP)

	t	df	Sig (2-tailed)
ADFP และ PPFPP	-12.477	8	0.000 ^{sig}

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ จ-54 ผลการวิเคราะห์ T-test ของสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของผงใยอาหารที่มีสารต้าน
อนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมวง (ADFP) และเปลือกเสาวรสมวง (PPFPP)

	t	df	Sig (2-tailed)
ADFP และ PPFPP	2.774	8	0.024 ^{sig}

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ จ-55 ผลการวิเคราะห์ T-test ของค่าสี L* ของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ
จากเปลือกเสาวรสมวง (ADFP) และเปลือกเสาวรสมวง (PPFPP)

	t	df	Sig (2-tailed)
ADFP และ PPFPP	82.038	8	0.000 ^{sig}

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ จ-56 ผลการวิเคราะห์ T-test ของค่าสี a* ของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ
จากเปลือกเสาวรส (ADFP) และเปลือกเสาวรสมง (PPFPP)

	t	df	Sig (2-tailed)
ADFP และ PPFPP	52.790	8	0.000 ^{sig}

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ จ-57 ผลการวิเคราะห์ T-test ของค่าสี b* ของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ
จากเปลือกเสาวรส (ADFP) และเปลือกเสาวรสมง (PPFPP)

	t	df	Sig (2-tailed)
ADFP และ PPFPP	-71.889	8	0.000 ^{sig}

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ จ-58 ผลการวิเคราะห์ T-test ของค่า Hue angle ของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ
จากเปลือกเสาวรส (ADFP) และเปลือกเสาวรสมง (PPFPP)

	t	df	Sig (2-tailed)
ADFP และ PPFPP	-75.876	8	0.000 ^{sig}

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ จ-59 ผลการวิเคราะห์ T-test ของค่า Chroma ของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ
จากเปลือกเสาวรส (ADFP) และเปลือกเสาวรสมง (PPFPP)

	t	df	Sig (2-tailed)
ADFP และ PPFPP	-64.959	8	0.000 ^{sig}

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ จ-60 ผลการวิเคราะห์ T-test ของค่า ΔE ของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ
จากเปลือกเสาวรส (ADFP) และเปลือกเสาวรสมวง (PPFPP)

	t	df	Sig (2-tailed)
ADFP และ PPFPP	115.756	8	0.000 ^{sig}

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ จ-61 ผลการวิเคราะห์ T-test ของความสามารถในการอุ้มน้ำของผงใยอาหารที่มี
สารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมวง (ADFP) และเปลือกเสาวรสมวง (PPFPP)

	t	df	Sig (2-tailed)
ADFP และ PPFPP	3.779	8	0.005 ^{sig}

^{ns} หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางที่ จ-62 ผลการวิเคราะห์ T-test ของความสามารถในการอุ้มน้ำมันของผงใยอาหารที่มี
สารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมวง (ADFP) และเปลือกเสาวรสมวง (PPFPP)

	t	df	Sig (2-tailed)
ADFP และ PPFPP	7.110	8	0.000 ^{sig}

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ จ-63 ผลการวิเคราะห์ T-test ของความสามารถในการพองตัวของผงใยอาหารที่มี
สารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมวง (ADFP) และเปลือกเสาวรสมวง (PPFPP)

	t	df	Sig (2-tailed)
ADFP และ PPFPP	7.400	8	0.000 ^{sig}

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ จ-64 ผลการวิเคราะห์ T-test ของความสามารถในการชะลอการดูดซึมน้ำตาลของ
 ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส (ADFP) และเปลือก
 เสาวรสผง (PPFPP) เมื่อ Dialysis เป็นเวลา 30 นาที

	t	df	Sig (2-tailed)
ADFP และ PPFPP	6.759	8	0.000 ^{sig}

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ จ-65 ผลการวิเคราะห์ T-test ของความสามารถในการชะลอการดูดซึมน้ำตาลของ
 ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส (ADFP) และเปลือก
 เสาวรสผง (PPFPP) เมื่อ Dialysis เป็นเวลา 60 นาที

	t	df	Sig (2-tailed)
ADFP และ PPFPP	6.961	8	0.000 ^{sig}

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ จ-66 ผลการวิเคราะห์ T-test ของความสามารถในการชะลอการดูดซึมน้ำตาลของ
 ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส (ADFP) และเปลือก
 เสาวรสผง (PPFPP) เมื่อ Dialysis เป็นเวลา 120 นาที

	t	df	Sig (2-tailed)
ADFP และ PPFPP	4.529	8	0.002 ^{sig}

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ จ-67 ผลการวิเคราะห์ T-test ของความสามารถในการชะลอการดูดซึมน้ำตาลของ
 ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส (ADFP) และเปลือก
 เสาวรสผง (PPFPP) เมื่อ Dialysis เป็นเวลา 180 นาที

	t	df	Sig (2-tailed)
ADFP และ PPFPP	2.645	8	0.029 ^{sig}

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ภาคผนวก ฉ
ผลการวิเคราะห์สมการรีเกรสชัน

ตารางที่ ฉ-1 การวิเคราะห์สมการความสัมพันธ์ปริมาณความชื้นของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส
ที่วางแผนการทดลองแบบ CCD

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.975 ^a	.951	.930	.48906

a. Predictors: (Constant), x1x1, x2, x1

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	32.612	3	10.871	45.450	.000 ^a
	Residual	1.674	7	.239		
	Total	34.286	10			

a. Predictors: (Constant), x1x1, x2, x1

b. Dependent Variable: MC

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	7.528	.205		36.638	.000
	x1	-1.830	.173	-.884	-10.584	.000
	x2	-.600	.173	-.290	-3.471	.010
	x1x1	-.690	.197	-.293	-3.504	.010

a. Dependent Variable: MC

ตารางที่ ๓-2 การวิเคราะห์สัมพัทธ์ความสัมพันธ์ปริมาณแอนโทไซยานินของผงใยอาหารจาก
เปลือกเสาวรสที่วางแผนการทดลองแบบ CCD

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.933 ^a	.870	.814	.64382

a. Predictors: (Constant), x1x1, x2, x1

ANOVA^d

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	19.381	3	6.460	15.586	.002 ^a
	Residual	2.902	7	.415		
	Total	22.282	10			

a. Predictors: (Constant), x1x1, x2, x1

b. Dependent Variable: AC

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	14.899	.270		55.083	.000
	x1	-.573	.228	-.343	-2.515	.040
	x2	-1.136	.228	-.680	-4.989	.002
	x1x1	-1.021	.259	-.538	-3.942	.006

a. Dependent Variable: AC

ตารางที่ ๓-3 การวิเคราะห์สมการความสัมพันธ์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของ
ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่วางแผนการทดลองแบบ CCD

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.876 ^a	.768	.669	.93378

a. Predictors: (Constant), x1x1, x2, x1

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	20.220	3	6.740	7.730	.013 ^a
	Residual	6.104	7	.872		
	Total	26.323	10			

a. Predictors: (Constant), x1x1, x2, x1

b. Dependent Variable: TPC

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	63.166	.392		161.016	.000
	x1	-.399	.330	-.220	-1.209	.266
	x2	-1.339	.330	-.738	-4.055	.005
	x1x1	-.864	.376	-.418	-2.298	.055

a. Dependent Variable: TPC

ตารางที่ ๓-4 การวิเคราะห์สัมพัทธ์ความสัมพันธ์สมบัตการต้านอนุมูลอิสระของผงใยอาหารจาก
เปลือกเสาวรสที่วางแผนการทดลองแบบ CCD

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.959 ^a	.920	.885	.44604

a. Predictors: (Constant), x1x1, x2, x1

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	15.933	3	5.311	26.695	.000 ^a
	Residual	1.393	7	.199		
	Total	17.326	10			

a. Predictors: (Constant), x1x1, x2, x1

b. Dependent Variable: DPPH

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	84.778	.187		452.416	.000
	x1	-.049	.158	-.033	-.308	.767
	x2	-1.386	.158	-.942	-8.790	.000
	x1x1	.296	.179	.177	1.651	.143

a. Dependent Variable: DPPH