รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การศึกษาปริมาณสารพฤกษเคมีที่สำคัญต่อสุขภาพจากเส้นใยของเห็ดที่เพาะเชิงการค้าและการนำเส้นใยเห็ดผงไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร

Study of Phytonutrients Content from Mycelia of Commercially Mushrooms and Application of Mushroom Micelia Powder used in Food Product

นางสาววิชมณี ยืนยงพุทธกาล หัวหน้าโครงการวิจัย

นางสาวกุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์ ผู้ร่วมวิจัย

โครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้

จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน)

ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558

มหาวิทยาลัยบูรพา

รหัสโครงการ 2558A10802352
สัญญาเลขที่ 48/2558

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การศึกษาปริมาณสารพฤกษเคมีที่สำคัญต่อสุขภาพจากเส้นใยของเห็ด ที่เพาะเชิงการค้าและการนำเส้นใยเห็ดผงไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร

Study of Phytonutrients Content from Mycelia of Commercially Mushrooms and Application of Mushroom Micelia Powder used in Food Product

นางสาววิชมณี ยืนยงพุทธกาล หัวหน้าโครงการวิจัย
นางสาวกุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์ ผู้ร่วมวิจัย

ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

สิงหาคม 2559

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558 มหาวิทยาลัยบูรพา ผ่านสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ เลขที่สัญญา 48/2558 คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณผู้ช่วยวิจัย ได้แก่ นางสาวปณิดา ชัยปัน นายต่อลาภ ศรีเมือง นางสาวโชติรส ประเสริฐกิตติกุล และนางสาวชุติกาญจน์ จิรตระกูลพรหม ขอขอบคุณภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการทำงานวิจัย รวมถึงขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ และนิสิตภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร รวมถึงผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่มีส่วนให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัยครั้งนี้

สิงหาคม 2559

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของส่วนที่นิยมบริโภค (บริเวณลำต้นและหมวกเห็ด) และส่วนเหลือทิ้ง (บริเวณรากหรือเส้นใย) ของเห็ดที่เพาะเชิงการค้า จำนวน 3 ชนิด ได้แก่ เห็ดเข็มทอง (*Flammulina velutipes*) เห็ดนางฟ้า (*Pleurotus sajor-caju (Fr.) Singers*) และเห็ดขอนขาว (*Lentinus squarrosulas* Mont.) สำหรับเห็ดเข็มทอง พบว่า เห็ดส่วนที่นิยมบริโภคและส่วนเหลือทิ้ง มีปริมาณโปรตีน และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ปริมาณกาบา และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) สำหรับเห็ดนางฟ้าและเห็ดขอนขาว พบว่า ปริมาณโปรตีน ปริมาณกาบา ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ของเห็ดส่วนที่นิยมบริโภคมากกว่าส่วนเหลือทิ้ง ($p<0.05$) จากการศึกษาหาวิธีการทำแห้งที่เหมาะสม 1) ผลของอุณหภูมิและเวลาการทำแห้งด้วยลมร้อนต่อปริมาณองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผง พบว่า อุณหภูมิการทำแห้งที่ 65 °C เป็นเวลา 285 นาที ทำให้ได้ส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงที่มีคุณภาพดี โดยได้เส้นใยเห็ดผงที่เป็นผงละเอียด สีเหลืองอ่อน มีปริมาณความชื้นสุดท้าย เท่ากับ 9.41 และมีค่า a_w เท่ากับ 0.35 รวมถึงมีการคงอยู่ของปริมาณสารพฤกษเคมี และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด ($p<0.05$) 2) ผลของวิธีการเตรียมขั้นต้นต่อปริมาณองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางผง โดยแปรปัจจัยที่ศึกษาที่เกี่ยวข้องกับวิธีการเตรียมขั้นต้น 2 ปัจจัย ได้แก่ การลวก (ไม่ลวก ลวกในน้ำ และลวกในสารละลายโซเดียมคลอไรด์) และลักษณะชิ้นก่อนการทำแห้ง (หั่นเป็นชิ้นและบดหยาบ) พบว่า วิธีการเตรียมขั้นต้นก่อนการทำแห้งที่เหมาะสมคือการไม่ลวกร่วมกับการบดหยาบก่อนการทำแห้ง โดยได้ส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงที่มีการคงอยู่ขององค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญที่วิเคราะห์สูงที่สุด ($p<0.05$) 3) ผลของวิธีการทำแห้งต่อปริมาณองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวผง พบว่า การทำแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศภายใต้ความดัน 36 cmHg ที่อุณหภูมิ 65°C เป็นเวลา 213.5 นาที ทำให้ได้ส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวผงที่มีปริมาณองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญและสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระมากกว่าการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 65°C เป็นเวลา 195.6 นาที จากการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำส่วนเหลือทิ้งเห็ดผงไปใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหารต้นแบบ พบว่า การแทนที่แป้งขนมปังด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผง 10% 15% และ 20% มีผลต่อคุณภาพของขนมปังเพรทเซล ($p<0.05$) การแทนที่แป้งขนมปังด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผง 15% เป็นสูตรที่เหมาะสมที่สุด ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมเท่ากับ 6.13 การแทนที่แป้งอเนกประสงค์ด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผง 10% 15% และ 20% มีผลต่อคุณภาพของมัฟฟิน ($p<0.05$) การแทนที่แป้งอเนกประสงค์ด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผง 10% เป็นสูตรที่เหมาะสมที่สุด ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมเท่ากับ 7.62 สำหรับการเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวผง 5% 7% และ 9% มีผลต่อคุณภาพของน้ำสลัด ($p<0.05$) การเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวผง 7% เป็นสูตรที่เหมาะสมที่สุด ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมเท่ากับ 7.51

Abstract

The research was aimed to study the important chemical composition of commonly consumed part (fruiting body) and by- product (mycelia) of commercially mushrooms as follows: golden needle mushroom (*Flammulina velutipes*), grey oyster mushroom (*Pleurotus sajor-caju (Fr.) Singers*) and log white mushroom (*Lentinus squarrosulas* Mont.). For golden needle mushroom, there was a statistically significant different between the commonly consumed part and by-product in protein content and phenolic compound content ($p<0.05$) but there was no statistically significantly different in GABA content and antioxidant activity ($p\geq0.05$). For both grey oyster mushroom and log white mushroom, the commonly consumed part contained chemical composition in terms of protein content, GABA content, total phenolic compound and antioxidant activity were more than their by-product ($p<0.05$). The appropriate drying production was studied as follows: 1) the effects of hot air drying temperature and time on golden needle mushroom by-product powder chemical compound contents were evaluated. It was found that drying temperature at 65°C for 285 minutes made a good quality of golden needle mushroom by-product powder. Its obtained fine and pale yellow color powder with 9.41% moisture content and water activity as 0.35, as well as remained highest quantity of phenolic compound and antioxidant activity ($p<0.05$). The effects of pretreatment on grey oyster mushroom by-product powder chemical compound contents were evaluated. Two factors of blanching pretreatment (without blanching, water blanching and NaCl blanching) combined with size reduction (cutting in pieces and coarse grinding) were carried out. The most appropriate pretreatment condition was coarse grinding without blanching. Grey oyster mushroom by-product powder from this condition had highest amount of phytochemical composition retention ($p<0.05$). 3) The effect of drying method on white log mushroom by-product powder chemical compound contents was evaluated. It was found that drying with vacuum oven under vacuum pressure of 36 cmHg at temperature 65°C for 213.5 minutes resulted white log mushroom by-product powder containing more phytochemicals content and antioxidant properties than the product dried with oven dryer at temperature 65°C for 195.6 minutes. The possibility of using mushroom by-product powder as ingredient of prototype products was evaluated. The supplementation of bread flour with golden needle mushroom by-product powder varied as 0% 10% 15% and 20% was affected on the quality of pretzel bread ($p<0.05$). Substitution of bread flour with 15% of golden needle mushroom by-product powder was the most appropriate formulation which received the overall liking score as 6.13. The supplementation of multipurpose flour with grey oyster mushroom by-product powder varied as 0% 10% 15% and 20% was affected on the quality of muffin ($p<0.05$). Substitution of multipurpose flour with 10% of grey oyster mushroom by-product powder was the most appropriate formulation which received the overall liking score as 7.62. The addition of white log mushroom by-product powder varied as 0% 5% 7% and 9% was affected on the quality of salad dressing ($p<0.05$). Adding 7% of white log mushroom by-product powder was the most appropriate formulation which received the overall liking score as 7.51.

สารบัญ

บทที่		หน้า
	กิตติกรรมประกาศ	ก
	บทคัดย่อ	ข
	Abstract	ค
	สารบัญ	ง
	สารบัญตาราง	ฉ
	สารบัญภาพ	ญ
1	บทนำ	1
2	การตรวจเอกสาร	
	เห็ด	3
	สารพฤกษเคมีที่สำคัญในเห็ด	4
	คุณค่าทางโภชนาการและสรรพคุณของเห็ด	5
	สถิติการเพาะเห็ด	6
	เห็ดที่ศึกษาในงานวิจัยนี้	8
	สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant)	13
	การเตรียมขั้นต้นก่อนการทำแห้ง	16
	การทำแห้ง	19
	ผลิตภัณฑ์อาหารต้นแบบสำหรับงานวิจัยนี้	24
	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	33
3	วิธีดำเนินการทดลอง	
	วัตถุดิบและสารเคมี	40
	อุปกรณ์และเครื่องมือ	40
	วิธีดำเนินการทดลอง	41
4	ผลการทดลองและวิจารณ์	54
5	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	128
	บรรณานุกรม	132

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	ภาคผนวก	143
	ภาคผนวก ก การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี	144
	ภาคผนวก ข การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ	151
	ภาคผนวก ค การทดสอบทางประสาทสัมผัส	156
	ประวัตินักวิจัย	157

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	คุณค่าทางสารอาหารของเห็ดในส่วนที่บริโภคได้ 100 กรัม.....	6
2-2	ข้อมูลสภาวะการผลิตพืช กลุ่มพืชผัก ชนิดเห็ด.....	7
2-3	ข้อมูลการนำเข้า-ส่งออกเห็ดแห้ง ในปี 2552-2556.....	8
2-4	ปริมาณธาตุอาหารและกรดอะมิโนที่จำเป็นในเห็ดนางฟ้า.....	11
2-5	สารต้านอนุมูลอิสระที่สามารถออกฤทธิ์ทางชีวภาพ.....	16
3-1	สิ่งทดลองที่ได้จากการแปรอุณหภูมิและเวลาในการอบแห้ง โดยจัดสิ่งทดลองแบบ Central composite Desing (CCD).....	43
3-2	สิ่งทดลองที่ได้จากการแปรวิธีการเตรียมขั้นต้นก่อนการทำแห้ง.....	45
3-3	ส่วนผสมของขนมปังเพรทเซลเมื่อแทนที่แป้งขนมปังด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผง.....	50
3-4	ส่วนผสมของมัฟฟินเมื่อแทนที่แป้งอเนกประสงค์ด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผง.....	51
3-5	ส่วนผสมน้ำสลัดเมื่อแปรปริมาณการเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวปริมาณต่างๆ.....	52
4-1	องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญจากส่วนของลำต้นและหมวกเห็ด และส่วนเหลือทิ้งของเห็ดเข็มทอง.....	55
4-2	องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญจากส่วนของลำต้นและหมวกเห็ด และส่วนเหลือทิ้งของเห็ดนางฟ้า.....	55
4-3	องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญจากส่วนของลำต้นและหมวกเห็ด และส่วนเหลือทิ้งของเห็ดขอนขาว.....	55
4-4	ลักษณะปรากฏของส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองหลังการทำแห้งและบดจากสิ่งทดลองที่แปรอุณหภูมิการทำแห้งและเวลาในการทำแห้ง.....	59
4-5	ปริมาณผลได้ของส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข้มทองผงจากสิ่งทดลองที่แปรอุณหภูมิการทำแห้งและเวลาการทำแห้ง.....	63
4-6	ความชื้นและค่า a_w ของส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงจากสิ่งทดลองที่แปรอุณหภูมิการทำแห้งและเวลาในการทำแห้ง.....	65
4-7	ค่าสีของส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงจากสิ่งทดลองที่แปรอุณหภูมิการทำแห้งและเวลาในการทำแห้ง.....	68

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4-8	ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบพหุ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทางเคมีในส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผง (Y_1-ปริมาณโปรตีน Y_2-ปริมาณกาบา Y_3-ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด Y_4-สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ) กับอุณหภูมิการทำแห้ง (X_1) และเวลาการทำแห้ง (X_2).....	72
4-9	ปริมาณโปรตีน และปริมาณกาบา ของส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงจากสิ่งทดลองที่แปรอุณหภูมิการทำแห้งและเวลาในการทำแห้ง.....	73
4-10	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงจากสิ่งทดลองที่แปรอุณหภูมิการทำแห้งและเวลาในการทำแห้ง.....	74
4-11	เวลาที่ใช้ในการทำแห้งและปริมาณผลได้ของส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงจากการเตรียมขั้นต้นวิธีต่างๆ.....	79
4-12	องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงจากการเตรียมขั้นต้นวิธีต่างๆ.....	82
4-13	ปริมาณความชื้นและค่า a_w ของส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงจากการเตรียมขั้นต้นวิธีต่างๆ.....	83
4-14	ลักษณะปรากฏของส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงจากการเตรียมขั้นต้นวิธีต่างๆ...	85
4-15	ค่าสีของส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงจากการเตรียมขั้นต้นวิธีต่างๆ.....	86
4-16	เวลาที่ใช้ในการทำแห้งและปริมาณผลได้ของส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวผงจากการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนและตู้อบสุญญากาศ.....	88
4-17	องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวจากการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนและตู้อบสุญญากาศ.....	89
4-18	ปริมาณความชื้นและค่า a_w ของส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวจากการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนและตู้อบสุญญากาศ.....	89
4-19	ค่าสีของส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวจากการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนและตู้อบสุญญากาศ.....	91
4-20	ค่าสีเปลือกของขนมปังเพรทเซลเมื่อแทนที่แป้งขนมปังด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงปริมาณต่างๆ.....	93

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4-21	ค่าสีเนื้อของขนมปังเพรทเซลเมื่อแทนที่แป้งขนมปังด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงปริมาณต่างๆ	93
4-22	ลักษณะเนื้อสัมผัสจากการวิเคราะห์ TPA ของขนมปังเพรทเซลเมื่อแทนที่แป้งขนมปังด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงปริมาณต่างๆ	98
4-23	ปริมาณโปรตีน ปริมาณกาบา ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ของขนมปังเพรทเซลเมื่อแทนที่แป้งขนมปังด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงปริมาณต่างๆ	102
4-24	ลักษณะทางประสาทสัมผัสของขนมปังเพรทเซลเมื่อแทนที่แป้งขนมปังด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงปริมาณต่างๆ	103
4-25	ปริมาณโปรตีน ปริมาณกาบา ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของมัฟฟินเมื่อแทนที่แป้งอเนกประสงค์ด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงปริมาณต่างๆ	107
4-26	ค่าสีเปลือกของมัฟฟินเมื่อแทนที่แป้งอเนกประสงค์ด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงปริมาณต่างๆ	108
4-27	ค่าสีเนื้อของมัฟฟินเมื่อแทนที่แป้งอเนกประสงค์ด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงปริมาณต่างๆ	109
4-28	ลักษณะเนื้อสัมผัสจากการวิเคราะห์ TPA ของมัฟฟินเมื่อแทนที่แป้งอเนกประสงค์ด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงปริมาณต่างๆ	115
4-29	ปริมาตรจำเพาะของมัฟฟินเมื่อแทนที่แป้งอเนกประสงค์ด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงปริมาณต่างๆ	117
4-30	คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของมัฟฟินเมื่อแทนที่แป้งอเนกประสงค์ด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงปริมาณต่างๆ	120
4-31	ปริมาณโปรตีน ปริมาณกาบา ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของน้ำสลัดเมื่อเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวผงปริมาณต่างๆ	123
4-32	ค่าสีของน้ำสลัดเมื่อเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวผงปริมาณต่างๆ	124
4-33	ความหนืดของน้ำสลัดเมื่อเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวผงปริมารต่างๆ	125

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4-34	คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของน้ำสลัดเมื่อเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวผงปริมาณต่างๆ.....	126

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2-1	ลักษณะสัณฐานวิทยาของเห็ด.....	3
2-2	โครงสร้างของ Gamma – aminobutyric acid.....	4
2-3	กระบวนการเกิด Decarboxylation ของกรดอะมิโน Glutamic.....	4
2-4	โครงสร้าง Lovastatin.....	5
2-5	โครงสร้างของ Ergothionine.....	5
2-6	ข้อมูลแนวโน้มการนำเข้า-ส่งออกเห็ดแห้งในปี 2552-2556.....	8
2-7	เห็ดเข็มทอง.....	9
2-8	เห็ดนางฟ้า.....	11
2-9	เห็ดขอนขาว.....	12
3-1	ลักษณะส่วนลำต้นและหมวกเห็ด และลักษณะส่วนเหลือทิ้งบริเวณรากหรือเส้นใยของเห็ด (ก) เห็ดเข็มทอง (ข) เห็ดนางฟ้า (ค) เห็ดขอนขาว.....	42
3-2	ลักษณะชิ้นตัวอย่างก่อนการทำแห้ง (ก) การหั่นเป็นชิ้น และ (ข) การบดหยาบ ที่ใช้ในงานวิจัย.....	46
4-1	กราฟพื้นผิวตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ (X_1) และเวลา (X_2) ที่ใช้ในการทำแห้งต่อปริมาณโปรตีนของส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผง.....	75
4-2	กราฟพื้นผิวตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ (X_1) และเวลา (X_2) ที่ใช้ในการทำแห้งต่อปริมาณกาบาของส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผง.....	75
4-3	กราฟพื้นผิวตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ (X_1) และเวลา (X_2) ที่ใช้ในการทำแห้งต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผง.....	76
4-4	ลักษณะปรากฏของส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวผงจากการทำแห้งด้วย (ก) ตู้อบลมร้อน (ข) ตู้อบสุญญากาศ.....	90
4-5	ลักษณะสีเปลือกของขนมปังเพรทเซลเมื่อแทนที่แป้งขนมปังด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงปริมาณต่างๆ.....	94

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4-6	ลักษณะสีเนื้อของขนมปังเพรทเซลเมื่อแทนที่แป้งขนมปังด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงปริมาณต่างๆ.....	94
4-7	ลักษณะภาพตัดขวางเนื้อขนมปังเพรทเซลที่กำลังขยาย 200 เท่า เมื่อแทนที่แป้งขนมปังด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดผงปริมาณต่างๆ.....	97
4-8	ลักษณะภายนอกของมัฟฟินเมื่อแทนที่แป้งอเนกประสงค์ด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงปริมาณต่างๆ.....	111
4-9	ลักษณะภาพตัดขวางของมัฟฟินเมื่อแทนที่แป้งอเนกประสงค์ด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงปริมาณต่างๆ.....	111
4-10	ลักษณะของน้ำสลัดที่เติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวผงปริมาณต่างๆ.....	124
4-11	ตัวอย่างเอกสารที่ใช้เผยแพร่ความรู้ที่ได้สู่ชุมชน.....	127

บทที่ 1
บทนำ

ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

ปัจจุบันผู้บริโภคมีความใส่ใจสุขภาพกันมากขึ้น เห็ดเป็นวัตถุดิบชนิดหนึ่งที่นิยมบริโภคและได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีสรรพคุณทางยาและเป็นแหล่งของสารพฤกษเคมีที่สำคัญ ได้แก่ กาบา (Gamma-aminobutyric acid, GABA) มีบทบาทสำคัญในการทำหน้าที่เป็นสารสื่อประสาทในระบบประสาทส่วนกลาง โลวาสเตติน (Lovastatin) ช่วยลดไขมันในเส้นเลือด และเออโกไธโอนีน (Ergothionine) เป็นสารที่ร่างกายไม่สามารถสร้างเองได้ มีบทบาทสำคัญในการทำงานของระบบภูมิคุ้มกัน และต้านการอักเสบ (Chen et al., 2012; Wasser & Weis, 1999; Tseng, Yang, & Mau, 2008; Vangkapun et al., 2011) เห็ดมีการเจริญเติบโตแบบเป็นเส้นใย โดยเส้นใยรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนของดอกเห็ด เมื่อเจริญเติบโตจนมีขนาดใหญ่ขึ้นเต็มที่ สัณฐานวิทยาของเห็ดจะประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ คือ ส่วนหมวกและลำต้น (Fruiting body) และส่วนของรากหรือเส้นใย (Mycelia) โดยปกติมักนำเฉพาะส่วนหมวกและลำต้นมาใช้บริโภค ส่วนของเส้นใยมักตัดทิ้งไป ไม่นำมาใช้บริโภค (อดุลย์ รัตนมั่นเกษม, 2543) มีรายงานว่า เห็ดที่นำมาประกอบอาหารมักเพาะจนได้หมวกและลำต้นที่สมบูรณ์เพราะต้องใช้ส่วนหมวกและลำต้นในการบริโภค ส่วนเห็ดที่นำมาใช้ทำยาหรือผลิตภัณฑ์อาหารเสริม ไม่จำเป็นต้องเพาะจนได้หมวกและลำต้นสมบูรณ์ มักใช้ส่วนของเส้นใยเห็ด เนื่องจากส่วนของเส้นใยเห็ดมีสารพฤกษเคมีใกล้เคียงกับส่วนของหมวกและลำต้น (Ulziijargal et al., 2013; Chen et al., 2012) ในประเทศไทยมีการเพาะเห็ดเชิงการค้าหลายชนิด ส่วนใหญ่จำหน่ายสำหรับการบริโภคโดยนำมาประกอบอาหาร ดังนั้นการนำส่วนของรากหรือเส้นใยเห็ดที่เหลือทิ้งมาใช้ประโยชน์ และเพิ่มคุณค่าให้เส้นใยเห็ดจึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจ งานวิจัยนี้สนใจนำเห็ดที่เพาะเชิงการค้าจำนวน 3 ชนิด ได้แก่ เห็ดเข็มทอง (*Flammulina velutipes*) เห็ดนางฟ้า (*Pleurotus sajor-caju (Fr.) singers*) และเห็ดขอนขาว (*Lentinus squarrosulas* Mont.) เนื่องจากมีปริมาณการเพาะมากและมีรายงานว่ามีสารพฤกษเคมีที่สำคัญต่อสุขภาพเป็นองค์ประกอบ (Ulziijargal et al., 2013 ; Wasser & Weis, 1999; Tseng, Yang, & Mau, 2008) โดยงานวิจัยนี้จึงสนใจวิเคราะห์ปริมาณสารพฤกษเคมีที่สำคัญต่อสุขภาพจากส่วนหมวกและลำต้น และส่วนของรากหรือเส้นใยของเห็ดที่เพาะเชิงการค้าเปรียบเทียบกัน

ในปัจจุบันผู้บริโภคให้ความสนใจอาหารเพื่อสุขภาพ (Functional foods) กันมาก ตลาดอาหารและเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพของโลกมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น รวมถึงตลาดในประเทศไทยยังเป็นตลาดที่มีการเติบโตอย่างต่อเนื่อง และคาดว่าในปี พ.ศ. 2558 มูลค่าตลาดอาหารเพื่อสุขภาพของไทยจะอยู่ที่ประมาณ 161,000 ล้านบาท หรือมีการเติบโตขึ้น 6.1% และคาดว่าจะมีการเติบโตขึ้นประมาณ 6.0% ต่อปี ไปจนกระทั่งปี พ.ศ. 2560 (ศูนย์วิจัยกสิกรไทย, 2558) เนื่องจากรากหรือเส้นใยเห็ดเป็นส่วนเหลือทิ้งที่ยังบริโภคได้ และมีศักยภาพด้านคุณค่าทางโภชนาการและสารพฤกษเคมีที่คล้ายคลึงกับส่วนหมวกและลำต้น จึงมีความเหมาะสมในการนำมาเป็นส่วนใช้เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อให้ตอบสนองกับแนวโน้มความต้องการของผู้บริโภคได้

งานวิจัยนี้คณะผู้วิจัยมีแนวคิดสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับส่วนเหลือทิ้งบริเวณรากหรือเส้นใยเห็ดชนิดที่เพาะทางการค้าเนื่องจากมีปริมาณมาก นำมาทำให้เป็นผงแห้งเพื่อความสะดวกในการนำมาใช้เป็นส่วนประกอบอาหารและนำมาใช้กับอาหารได้หลากหลายชนิดมากขึ้น รวมทั้งสามารถยืดอายุการเก็บไว้ได้นานขึ้น โดยเก็บรักษาได้ง่ายและน้ำหนักเบา อย่างไรก็ตามการทำแห้งอาจมีผลทำให้สารพฤกษเคมีที่สำคัญต่อสุขภาพเปลี่ยนแปลงไปจากของสด จึงควรใช้วิธีการทำแห้งที่เหมาะสมเพื่อรักษาสมบัติต่างๆ ไว้ให้ได้มากที่สุดโดยไม่ใช้เครื่องมือที่ราคาแพง หรือใช้ต้นทุนในการผลิตสูง นอกจากนี้นำเส้นใยเห็ดผงมาศึกษาผลของการเติมลงในผลิตภัณฑ์อาหารต้นแบบ ที่มีรูปแบบการใช้ส่วนผสมและการแปรรูปต่างกัน ได้แก่ ขนมปังเพรทเซล มัฟฟิน และน้ำสลัด ทั้งนี้ในการเลือกผลิตภัณฑ์ต้นแบบให้ความสำคัญกับการสามารถนำมาใช้งานได้จริงกับชุมชนและเป็นประโยชน์ในการสร้างผลิตภัณฑ์ที่เป็นเอกลักษณ์ของชุมชนสามารถจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ได้ เช่น ในรูปแบบของฝาก ซึ่งช่วยสนับสนุนการพัฒนาการท่องเที่ยว เพื่อขับเคลื่อนเศรษฐกิจของท้องถิ่น ทำให้ชุมชนมีความเข้มแข็งมากขึ้น และได้เป็นอาหารสุขภาพที่เป็นทางเลือกให้กับผู้บริโภคทั่วไปได้

วัตถุประสงค์

1) เพื่อศึกษาปริมาณสารพฤกษเคมีที่สำคัญต่อสุขภาพจากส่วนที่นิยมบริโภค (ลำต้นและหมวกเห็ด) และส่วนเหลือทิ้ง (รากหรือเส้นใย) ของเห็ดที่เพาะเชิงการค้า
2) เพื่อศึกษาหาวิธีการทำแห้งที่เหมาะสมของส่วนเหลือทิ้งเห็ดผง
3) เพื่อศึกษาการนำส่วนเหลือทิ้งเห็ดผงไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร
4) เพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีและความรู้ที่ได้จากการวิจัยสู่ชุมชน

ขอบเขตของการวิจัย

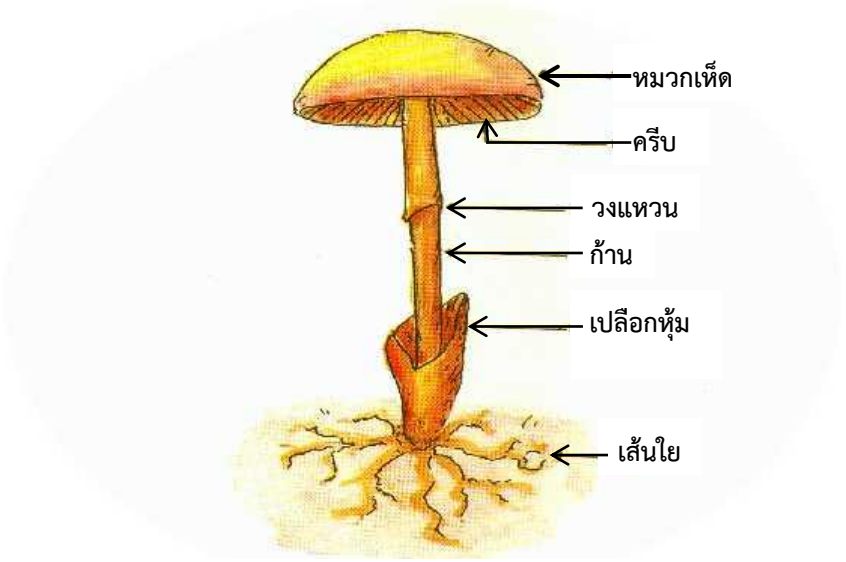
งานวิจัยนี้คณะผู้วิจัยมีแนวคิดสร้างมูลค่าเพิ่มให้เส้นใยเห็ด ซึ่งในที่นี้เส้นใยเห็ด หมายถึง ส่วนเหลือทิ้งบริเวณรากหรือเส้นใย (Mycelia) ที่มักตัดทิ้งไป ไม่นำมาใช้บริโภค โดยนำมาทำให้เป็นผงแห้งเพื่อความสะดวกในการนำมาใช้เป็นส่วนประกอบอาหารและนำมาใช้กับอาหารได้ โดยงานวิจัยนี้สนใจศึกษาเห็ดที่เพาะเชิงการค้าจำนวน 3 ชนิด ได้แก่ เห็ดเข็มทอง เห็ดนางฟ้า และเห็ดขอนขาว แบ่งงานเป็น 3 ส่วน คือ 1) การศึกษาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญจากส่วนของลำต้นและหมวกเห็ด (Fruiting body) และส่วนเหลือทิ้งบริเวณรากหรือเส้นใย (Mycelia) 2) การศึกษาหาวิธีการทำแห้งที่เหมาะสมของส่วนเหลือทิ้งเห็ดผง และ 3) การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำส่วนเหลือทิ้งบริเวณรากหรือเส้นใยเห็ดผงไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารต้นแบบ ได้แก่ ขนมปังเพรทเซล มัฟฟิน และน้ำสลัด

บทที่ 2
การตรวจเอกสาร

2.1 เห็ด

เห็ด (Mushroom) เป็นราที่มีวิวัฒนาการสูงกว่าราชนิดอื่นๆ มีเซลล์แบบยูคาริโอต (Eukaryotic cell) จัดอยู่ในอาณาจักรฟังไจ (Kingdom Fungi) ส่วนใหญ่จัดอยู่ในไฟลัมเบสิดิโอไมโคตา (Basidiomycota) และไฟลัมแอสโคไมโคตา (Ascomycota) เห็ดไม่สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงเองได้เนื่องจากไม่มีคลอโรฟิลล์ มีการเจริญเติบโตเป็นเส้นใยที่แตกแขนงเรียกว่าไฮฟา (Hypha) ซึ่งกลุ่มของเส้นใยเหล่านี้เรียกว่าไมซีเลียม (Mycelium) เห็ดที่พบเห็นทั่วไป ส่วนใหญ่อยู่ในไฟลัมเบสิดิโอไมโคตา สืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ ได้สปอร์ที่เรียกว่า เบสิดิโอสปอร์ (Basidiospore) โดยสปอร์ของเห็ดจะเกิดและติดอยู่บนก้านรูปกระบองที่เรียกว่า เบซิเดียม (Basidium) ซึ่งเรียงกันอยู่บนครีบ (Gills) หรือในรู (Pores) ส่วนเห็ดที่อยู่ในไฟลัมแอสโคไมโคตาจะสร้างสปอร์ที่เรียกว่าแอสโคสปอร์ (Ascospore) ในถุงที่เรียกว่า แอสคัส (Ascus) ที่อยู่ภายในแอสโคคาบ (Ascocarp) (ยุวศรี ต่ายคำ, 2555)

เห็ดเป็นพืชจำพวกเห็ดรา (Fungi) มีการเจริญเติบโตแบบเป็นเส้นใย จากนั้นเส้นใยรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนตุ่มดอกเห็ด แล้วเจริญเติบโตมีขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อเห็ดโตเต็มที่ ตามลักษณะสัณฐานวิทยาเห็ดประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ คือ ส่วนหมวกและลำต้น (Fruiting body) และส่วนของรากหรือเส้นใย (Mycelia) โดยส่วนของ Fruiting body ประกอบด้วย หมวกเห็ด ครีบ วงแหวน ก้าน และเปลือกหุ้ม เป็นต้น ส่วนของ Mycelia เป็นส่วนของรากที่โคนลำต้นหรืออยู่ในก้อนเชื้อเห็ดซึ่งมักเป็นส่วนที่ไม่นำไปบริโภค (อดุลย์ รัตนมั่นเกษม, 2543) ลักษณะสัณฐานวิทยาของเห็ดแสดงดังภาพที่ 2-1

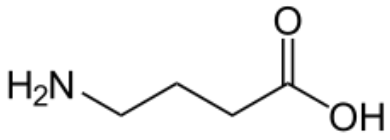


ภาพที่ 2-1 ลักษณะสัณฐานวิทยาของเห็ด
ที่มา: สมชาย แสงทอง (ม.ป.ป.)

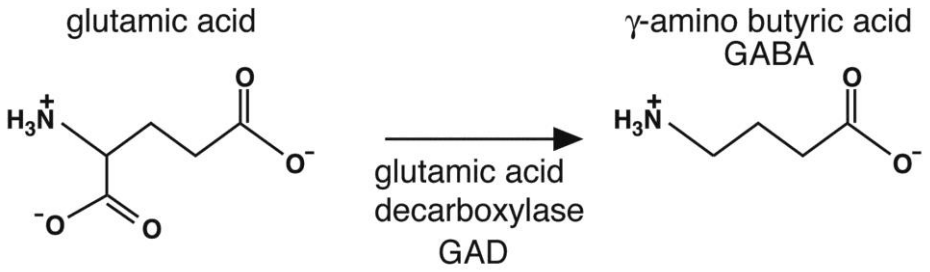
2.2 สารพฤกษเคมีที่สำคัญในเห็ด

2.2.1 Gamma – aminobutyric acid (GABA)

GABA เป็นกรดอะมิโนที่ผลิตจากกระบวนการ Decarboxylation ของกรดอะมิโน Glutamic acid โครงสร้างของ GABA แสดงดังภาพที่ 2-2 และกระบวนการ Decarboxylation แสดงดังภาพที่ 2-3 กรดนี้จะมีบทบาทสำคัญในการทำหน้าที่เป็นสารสื่อประสาท (Neurotransmitter) ในระบบประสาทส่วนกลาง นอกจากนี้ GABA ยังถือเป็นสารสื่อประสาทประเภท สารยับยั้ง (Inhibitor) โดยจะทำหน้าที่รักษาสมดุลในสมองที่ได้รับการกระตุ้นซึ่งช่วยทำให้สมองเกิดการผ่อนคลายและนอนหลับสบาย อีกทั้งยังทำหน้าที่ช่วยกระตุ้นต่อมไร้ท่อ (Anterior pituitary) ซึ่งทำหน้าที่ผลิตฮอร์โมนที่ช่วยในการเจริญเติบโต (HGH) ทำให้เกิดการสร้างเนื้อเยื่อ ทำให้กล้ามเนื้อเกิดความกระชับและเกิดสาร Lipotropic ซึ่งเป็นสารป้องกันการสะสมไขมัน (ศูนย์วิจัยข้าวอุบลราชธานี, ม.ป.ป.)



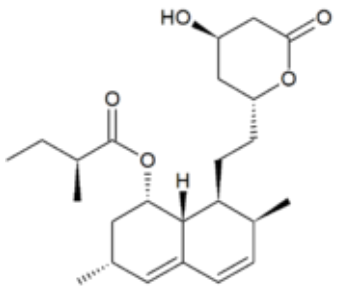
ภาพที่ 2-2 โครงสร้างของ Gamma – aminobutyric acid



ภาพที่ 2-3 กระบวนการเกิด Decarboxylation ของกรดอะมิโน Glutamic
ที่มา : ศูนย์วิจัยข้าวอุบลราชธานี (ม.ป.ป.)

2.2.2 Lovastatin

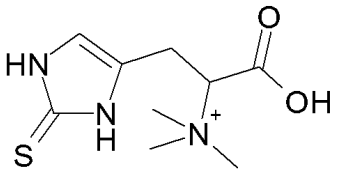
Lovastatin เป็นสารเมทาบอไลท์ทุติยภูมิ (Secondary Metabolite) โครงสร้างของ Lovastatin แสดงดังภาพที่ 2-4 โดยปกติพบมากในราแดงโมแนสคัส (Monascus) และในเห็ดบางชนิด และจัดเป็นสาร Statin (3-Hydroxy-3-Methyl Glutaryl coenzyme A reductase inhibitors) ที่ทำหน้าที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ HMG-CoA reductase (3-Hydroxy-3-Methyl – Glutary CoA) ซึ่งเป็นเอนไซม์สำคัญในการสังเคราะห์คอเลสเตอรอล (Chen et al., 2012)



ภาพที่ 2-4 โครงสร้าง Lovastatin
ที่มา : Fvasconcellos (2010)

2.2.3 Ergothionine

สารเออโกไธโอนีนเป็นอนุพันธ์ของฮีสติดีน (Histidine) ประกอบด้วยอะตอมของซัลเฟอร์ ในวงอะโรมาติก โครงสร้างของ Ergothionine แสดงดังภาพที่ 2-5 พบเป็นครั้งแรกในเม็ดสเคลอโรเตียมของราเออกอต (*Claviceps purpurea*) เมื่อปี ค.ศ. 1909 เออโกไธโอนีนเป็นสารต่อต้านอนุมูลอิสระที่สังเคราะห์ขึ้นมาในสภาพกดดันระหว่างการเจริญของเห็ดและมีฤทธิ์ต่อต้านอนุมูลอิสระได้ดี เออโกไธโอนีนเป็นสารประกอบในกลุ่มฟีนอล ชื่อเคมีคือ 2-mercapto histidine trimethyl betaine เป็นสารที่สังเคราะห์ขึ้นมาตามธรรมชาติโดยความสามารถของแบคทีเรียและเห็ดราบางชนิด แต่สัตว์ไม่สามารถสังเคราะห์สารนี้ขึ้นเองได้ มนุษย์ได้รับสารนี้มาจากการบริโภคเห็ดและเนื้อสัตว์ ในร่างกายของมนุษย์พบสารเออโกไธโอนีนได้ในสมอง เม็ดเลือดแดง ตับ ไต พลาสมาและของเหลว มีบทบาทสำคัญคือ ช่วยในการทำงานของระบบภูมิคุ้มกัน ต้านการอักเสบ ต้านอนุมูลอิสระ (Vangkapun et al., 2011)



ภาพที่ 2-5 โครงสร้างของ Ergothionine
ที่มา : Vickers (2009)

2.3 คุณค่าทางโภชนาการและสรรพคุณของเห็ด

คุณค่าทางโภชนาการของเห็ดต่างๆ เห็ดแต่ละชนิดจะมีคุณค่าทางโภชนาการแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของเห็ด ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะใกล้เคียงกับผัก มีวิตามิน เกลือแร่ โดยโปรตีนในเห็ดจะมีคุณภาพดีกว่าในผักทั่วไป อาหารที่ปรุงจากเห็ดหลายๆ ชนิดเป็นอาหารที่หลายคนคุ้นเคยและชื่นชอบ เนื่องจากเห็ดมีรสชาติดี บางชนิดมีสรรพคุณทางยา แต่บางชนิดเป็นพิษ ดังนั้นจึงควรทำความรู้จักกับเห็ดในแง่มุมต่างๆ กัน เพื่อประโยชน์ทางด้านโภชนาการ และการป้องกันอันตรายที่จะเกิดขึ้นกับ

สุขภาพ เห็ดให้คุณค่าทางโภชนาการและมีสรรพคุณทางยา ซึ่งมีคุณสมบัติที่ช่วยเสริมภูมิคุ้มกันในร่างกาย และช่วยลดอัตราความเสี่ยงจากโรคร้ายต่างๆ เช่น โรคมะเร็ง เบาหวาน อัลไซเมอร์ หลอดเลือดหัวใจอุดตัน และความดันโลหิตสูง เป็นต้น เห็ดจัดเป็นอาหารประเภทผักที่ปราศจากไขมัน มีปริมาณน้ำตาลและเกลือค่อนข้างต่ำ และยังเป็นแหล่งโปรตีนที่ดี เมื่อเทียบกับผักอีกหลายชนิด อีกทั้งยังมีรสชาติและกลิ่นที่ชวนรับประทาน ซึ่งรสชาติที่โดดเด่นนี้ มาจากการที่เห็ดมีกรดอะมิโนกลูตามิคเป็นองค์ประกอบ โดยกรดอะมิโนนี้จะทำหน้าที่ช่วยกระตุ้นประสาทการรับรู้รสอาหารของลิ้นให้ไวกว่าปกติ และทำให้มีรสชาติคล้ายกับเนื้อสัตว์ นอกจากนี้เห็ดยังอุดมไปด้วยวิตามิน โดยเฉพาะวิตามินบีรวม และไนอาซิน ซึ่งจะช่วยควบคุมการทำงานของระบบย่อยอาหาร ในส่วนของเกลือแร่ เห็ดจัดเป็นแหล่งเกลือแร่ที่สำคัญ โดยมีเกลือแร่ต่างๆ เช่น ซิลิเนียม ทำหน้าที่ช่วยต้านอนุมูลอิสระ ลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็ง โรคหลอดเลือดหัวใจอุดตัน โปแตสเซียม ทำหน้าที่ควบคุมจังหวะการเต้นของหัวใจ สมดุลของน้ำในร่างกาย การทำงานของกล้ามเนื้อและระบบประสาทต่างๆ ลดการเกิดโรคความดันโลหิตสูง อัมพฤกษ์ และอัมพาต ส่วนทองแดง ทำหน้าที่ช่วยเสริมสร้างการทำงานของธาตุเหล็ก ที่สำคัญ เห็ดมีองค์ประกอบของพฤกษเคมีที่ชื่อว่า โพลีแซคคาไรด์ (Polysaccharide) จะทำงานร่วมกับแมคโครฟากจ์ (macrophage) ซึ่งเป็นเซลล์คุ้มกันขนาดใหญ่ที่ออกจากหลอดเลือดเข้าสู่เนื้อเยื่อและจะไปจับกับโพลีแซคคาไรด์ที่บริเวณกระเพาะอาหาร และนำไปส่งยังเซลล์คุ้มกันตัวอื่นๆ โดยจะช่วยกระตุ้นวงจรการทำงานของระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย เสริมและช่วยเพิ่มปริมาณและประสิทธิภาพของเซลล์คุ้มกันธรรมชาติ ให้ทำหน้าที่ทำลายเซลล์แปลกปลอมที่เข้ามาในร่างกาย รวมถึงพวกไวรัสและแบคทีเรียอื่นๆ ด้วย (เนตรนภิส ธนนิเวศน์กุล, 2549) คุณค่าทางสารอาหารของเห็ดบางชนิดแสดงดังตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 คุณค่าทางสารอาหารของเห็ดในส่วนที่บริโภคได้ 100 g

เห็ด	พลังงาน (กิโลแคลอรี่)	โปรตีน (g)	ไขมัน (g)	คาร์โบไฮเดรต (g)	ความชื้น (g)
เห็ดฟาง	32.3	3.2	0.07	4.8	89.9
เห็ดโคน	48.7	6.3	0.3	5.3	84.9
เห็ดนางฟ้า	33.3	3.4	0.07	4.8	90.3
เห็ดหอม	26.6	2.2	0.12	4.2	91.6
เห็ดเผาะ	47	2.2	0.4	8.6	87.8

ที่มา : เนตรนภิส ธนนิเวศน์กุล (2549)

2.4 สถิติการเพาะปลูกเห็ด

ในปัจจุบันประเทศไทยมีการปรับปรุงและพัฒนาการเพาะเห็ดไปมาก จนกลายเป็นอาชีพหลักที่สำคัญของเกษตรกรอาชีพหนึ่ง ถ้าจะเปรียบเทียบกับประเทศในภูมิภาคเอเชียแล้ว ประเทศไทยจัดอยู่ในระดับแนวหน้า จากรายงานข้อมูลสภาวะการผลิตพืช กลุ่มพืชผัก ชนิดเห็ด ระดับประเทศ ประจำปี 2556 ตั้งแต่ช่วงเดือน มกราคม พ.ศ. 2556 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2556 จากตารางที่ 2-2

พบว่า เกษตรกรนิยมเพาะปลูกเห็ดกันอย่างแพร่หลาย โดยพบว่ามีการเพาะปลูกเห็ดฟางเป็นอันดับหนึ่ง รองลงมาเป็นเห็ดนางฟ้า เห็ดหูหนู เห็ดขอนขาว และเห็ดชนิดอื่นๆ ที่มีการเพาะปลูกในระดับปานกลาง เห็ดนางฟ้ามีผลผลิตที่เก็บเกี่ยวได้ต่อปีถึง 5,000 ตัน และมีพื้นที่ในการเพาะปลูกที่มากถึง 20,000 ไร่ และจากข้อมูลการนำเข้าและส่งออกเห็ดแห้ง ตั้งแต่ปี 2552 ถึง 2556 แสดงดังตารางที่ 2-3 และภาพที่ 2-6 แสดงให้เห็นว่า ในช่วงตลอดเวลา 5 ปี (2552-2556) ประเทศไทยมีปริมาณการนำเข้าเห็ดแห้งที่สูง โดยปี 2552 มีการนำเข้า 6.54 พันตัน เพิ่มเป็น 8.65 พันตันในปี 2556 ส่วนการส่งออกมีปริมาณน้อย แต่มีปริมาณที่เพิ่มขึ้น โดยปี 2552 ส่งออก 0.68 พันตัน และเพิ่มเป็น 1.08 พันตันในปี 2556

ตารางที่ 2-2 ข้อมูลสภาวะการผลิตพืช กลุ่มพืชผัก ชนิดเห็ด

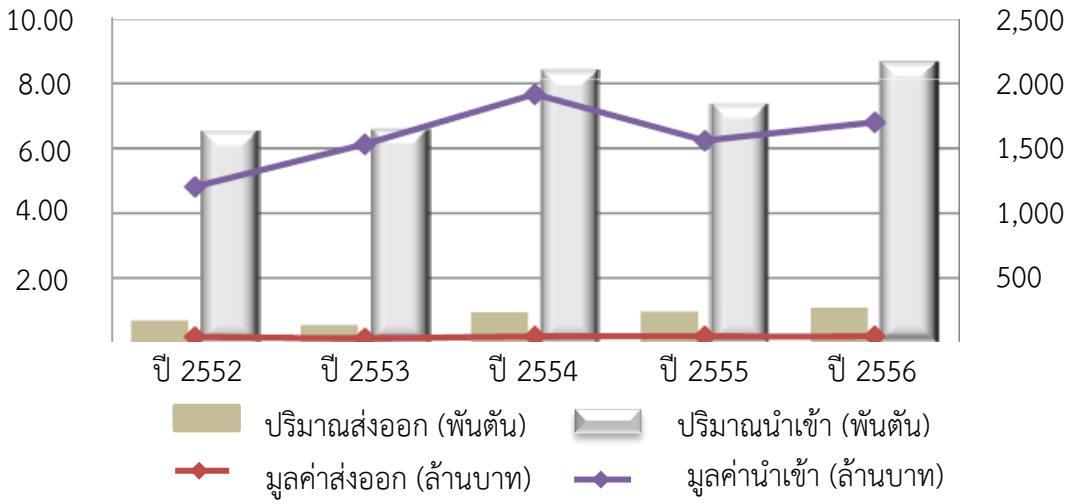
ลำดับ	ชนิดเห็ด	จำนวนครัวเรือนเกษตรกร	เนื้อที่เก็บเกี่ยวผลผลิต (ไร่)	ผลผลิตที่เก็บเกี่ยวได้ (kg)	ผลผลิตเฉลี่ย/เนื้อที่เก็บเกี่ยว (kg)	ราคาที่เกษตรกรขายได้เฉลี่ย (บาท/kg)
1.	เห็ดฟาง	3,163	6,113.50	7,535,570	1,232.61	53.93
2.	เห็ดนางฟ้า	1850	20,213.47	5,596,554	276.87	33.63
3.	เห็ดหูหนู	592	330	870,830	2638.88	35.25
4.	เห็ดขอนขาว	300	35,682.50	155,980	4.37	65.61
5.	เห็ดหอม	151	110.50	19,820	179.37	106.86
6.	เห็ดโคนญี่ปุ่น	57	39.50	49,060	1242.03	85.76
7.	เห็ดนางรมฮังการี	52	130	401,130	3261.22	32.19
8.	เห็ดเป๋าฮื้อ	23	21.02	102,815	4,891.29	36.19
9.	เห็ดอื่นๆ	368	282.50	1,136,977	4,024.70	45.44

ที่มา : กรมส่งเสริมการเกษตร (2557)

ตารางที่ 2-3 ข้อมูลการนำเข้า-ส่งออกเห็ดแห้ง ในปี 2552-2556

ปี พ.ศ.	การส่งออก		การนำเข้า	
	ปริมาณ (พันตัน)	มูลค่า (ล้านบาท)	ปริมาณ (พันตัน)	มูลค่า (ล้านบาท)
2552	0.68	46.88	6.54	1,203.68
2553	0.55	36.01	6.58	1,531.23
2554	0.94	50.53	8.39	1,916.38
2555	0.96	50.08	7.36	1,558.89
2556	1.08	51.98	8.65	1,700.68

ที่มา: กรมส่งเสริมการเกษตร (2557)



ภาพที่ 2-6 ข้อมูลแนวโน้มการนำเข้า-ส่งออกเห็ดแห้งในปี 2552-2556
ที่มา: กรมส่งเสริมการเกษตร (2557)

2.5 เห็ดที่ศึกษาในงานวิจัยนี้

จากการตรวจเอกสารด้านศักยภาพด้านเศรษฐกิจ คุณค่าทางโภชนาการ สารพฤกษเคมี รวมถึงลักษณะทางสัณฐานวิทยาการมีส่วนของรากหรือเส้นใย (Mycilia) จึงเลือกเห็ดที่ศึกษาในงานวิจัยนี้จำนวน 3 ชนิด ได้แก่ เห็ดเข็มทอง เห็ดนางฟ้า และเห็ดขอนขาว

2.5.1 เห็ดเข็มทอง

เห็ดเข็มทองเป็นเห็ดชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ มีการปลูกเชิงการค้าอย่างแพร่หลาย และจากลักษณะสัณฐานวิทยาของเห็ดเข็มทองซึ่งมีส่วนของรากหรือเส้นใยที่ต้องตัดทิ้งเป็นสัดส่วนค่อนข้างมาก จึงควรนำมาใช้ประโยชน์ให้คุ้มค่า นอกจากนี้เห็ดเข็มทองมีคุณค่าทางโภชนาการ

ซึ่งประกอบด้วยโปรตีน ไขมัน เยื่อใย และเถ้า 31.2, 5.8, 3.3 และ 7.6% ตามลำดับ โดยมีข้อมูลว่านิยมปลูกมากในประเทศจีนเพื่อสกัดเป็นเครื่องดื่มบำรุงสุขภาพ (ดำเกิง ป้องพาล และปรีชา รัตนัง, 2548) ถ้ารับประทานเป็นประจำจะช่วยรักษาโรคตับ โรคกระเพาะ และลำไส้อักเสบเรื้อรัง ป้องกันโรคมะเร็ง เนื่องจากมีสารที่มีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนปนนท์, 2552) อย่างไรก็ตามเป็นเห็ดที่ได้รับความนิยมมากและปัจจุบันสามารถเพาะได้ในประเทศไทยและมีราคาดี

เห็ดเข็มทอง *(Flammulina velutipes)* แต่เดิมนั้นเกิดขึ้นเองบนตอไม้ผุในป่า ต่อมาได้นำมาเพาะเลี้ยงและพัฒนาการเพาะเลี้ยงมาเรื่อยๆ ถือเป็นเห็ดที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจอีกชนิดหนึ่ง เห็ดเข็มเงินหรือเข็มทองอยู่ในตระกูลเดียวกันโดยมีลักษณะทางสัณฐานวิทยาแตกต่างกันเล็กน้อย แต่มีคุณค่าทางโภชนาการเหมือนกันทุกประการ ซึ่งประกอบด้วย โปรตีน ไขมัน เยื่อใยและส่วนที่เป็นเถ้า 31.2, 5.8, 3.3 และ 7.6% ตามลำดับ ลักษณะของเห็ดเข็มทองมีก้านดอกและหมวกดอกเหมือนเข็มหมุด สีเหลืองทอง ส่วนบริเวณ โคนก้านมีสีน้ำตาลดำ แสดงดังภาพที่ 2-7

ภาพที่ 2-7 เห็ดเข็มทอง
ที่มา : สหฟาร์มเห็ด (ม.ป.ป.)

มีรายงานถึงสรรพคุณทางยาของเห็ดเข็มทองว่า เมื่อรับประทานเห็ดเข็มทองประจำจะช่วยรักษาโรคตับ กระเพาะและลำไส้อักเสบเรื้อรัง เห็ดเข็มทองมีสาร Flammulin สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งเยื่อบุช่องท้อง (Ehrlich) และเซลล์มะเร็ง Sarcoma 180 ในหนูขาว ได้ผลถึง 81.1-100% และมีคุณสมบัติในการกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันของสิ่งมีชีวิต (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนปนนท์, 2552)

2.5.2 เห็ดนางฟ้า

เห็ดนางฟ้าเป็นเห็ดที่ได้รับความนิยมในการบริโภคและมีการปลูกเชิงการค้ามากชนิดหนึ่งในประเทศไทย (มูลนิธิสวิตา, ศูนย์ความหลากหลายทางชีวภาพ และสมาคมนักวิจัยและเพาะเห็ดแห่งประเทศไทย, 2546; กรมส่งเสริมการเกษตร, 2557) จากข้อมูลของกรมส่งเสริมการเกษตร (2556) รายงานผลผลิตเห็ดที่เก็บเกี่ยวได้ในประเทศไทย ในปี พ.ศ. 2556 พบว่า เห็ดนางฟ้าเป็นเห็ดเศรษฐกิจอันดับ 2 ของประเทศ มีปริมาณผลผลิตเห็ดที่เก็บเกี่ยวได้ 5,596,554 kg รองจากเห็ดฟางที่มีปริมาณ

ผลผลิตเห็ดที่เก็บเกี่ยวได้ 7,535,570 kg ในการเก็บเกี่ยวเห็ดนางฟ้าเกษตรกรจะใช้มือโยกลำต้นเห็ดแล้วดึงเห็ดทั้งต้นออกจากก้อนเชื้อ ก่อนการนำมาจำหน่ายจะต้องตัดเอาส่วนโคนลำต้นและรากที่เป็นเส้นใยออก จึงเป็นส่วนเหลือทิ้งปริมาณมากที่เกิดขึ้นในฟาร์มเห็ด

เห็ดนางฟ้า หรือมีชื่อเรียกอื่นว่า เห็ดนางรมแขก เห็ดนางรมภูฏาน หรือเห็ดนางฟ้าภูฏาน เนื่องจากมีการพบในประเทศอินเดียและภูฏานมาก โดยเห็ดนางฟ้ามีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Pleurotus sajor-caju (Fr.) Singles* จัดอยู่ในวงศ์เดียวกันกับเห็ดนางรม *(Pleurotus ostreatus, Kummer P.Florida)* อยู่ใน Family Pleurotaceae ซึ่งเห็ดทั้งสองชนิดมีลักษณะที่คล้ายกัน (มูลนิธิสวิตา, ศูนย์ความหลากหลายทางชีวภาพ และสมาคมนักวิจัยและเพาะเห็ดแห่งประเทศไทย, 2546) การที่เห็ดนางฟ้าถูกเรียกว่าเห็ดแขกนั้น เนื่องจากถูกพบเห็นครั้งแรกที่ประเทศอินเดีย โดยพบเห็ดนางฟ้าขึ้นตามธรรมชาติบนตอไม้เนื้ออ่อนที่กำลังผุ ในแถบเมืองแจมมูบริเวณเชิงเขาหิมาลัย เห็ดนางฟ้าถูกนำมาเลี้ยงเป็นอาหารวุ้นครั้งแรกโดย Jandaik ในปี ค.ศ. 1947 ต่อมา Rangaswami และ Nadu จาก Agricultural University, Coimbattore ในอินเดียเป็นผู้นำเชื้อบริสุทธิ์ของเห็ดนางฟ้าเข้ามาฝากไว้ที่ American Type Culture Collection (ATCC) ในอเมริกา เมื่อปี ค.ศ. 1975 เห็ดนางฟ้าได้ถูกนำเข้ามาทดลองเพาะในประเทศไทย เมื่อ พ.ศ. 2518 โดย ดร.ศิริพงศ์ บุญหลง ได้ทำการเพาะเลี้ยงเห็ดนางฟ้าที่สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์ประยุกต์แห่งประเทศไทย ปรากฏว่าเห็ดชนิดนี้สามารถเจริญได้ดีในสภาพอากาศของประเทศไทย ต่อมา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้นำมาทดลองเพาะเลี้ยงในอาหารชนิดต่างๆ ปรากฏว่า เห็ดชนิดนี้สามารถเจริญเติบโตได้ดีในอากาศหลายชนิดคล้ายกับเห็ดนางรม และประมาณปี พ.ศ. 2520 ทางกองวิจัยโรคพืช กรมวิชาการเกษตร เป็นผู้นำเชื้อจาก ATCC เข้ามาในประเทศไทยเพื่อทดลองเพาะ พบว่าสามารถเจริญได้ดี เห็ดนางฟ้าจะไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอากาศมาก กล่าวคือ เมื่ออากาศปกติการบ่มเชื้อจะใช้เวลาประมาณ 20-25 วัน แต่หากเป็นช่วงฤดูหนาวจะใช้เวลาบ่มเชื้อเพียง 15-20 วัน และในช่วงอากาศเย็นจะออกดอกเร็ว ดอกมีสีเข้ม แต่ถ้าช่วงหน้าร้อนจะออกดอกช้า สีดอกจะจางลง ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเห็ดนางฟ้าเมื่อเจริญเต็มที่แล้วแสดงดังภาพที่ 2-8 โดยมีส่วนประกอบดังนี้ หมวกดอก (cap) จะมีลักษณะคล้ายกับดอกเห็ดเป๋าฮื้อ และดอกเห็ดนางรม แต่จะหนาและมีเนื้อแน่นกว่า เนื่องจากเห็ดนางฟ้าจะมีครีบอยู่ชิดกันมากกว่า เมื่อเปรียบเทียบสี พบว่า เห็ดนางฟ้ามีสีที่อ่อนกว่าเห็ดเป๋าฮื้อ โดยด้านบนของดอกจะมีสีนวลถึงสีน้ำตาลอ่อน มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3-6 นิ้ว ดอกอาจเป็นดอกเดี่ยวหรือเป็นกระจุกก็ได้ ส่วนก้านดอก (stalk) จะเป็นเนื้อเดียวกับหมวกดอก คล้ายเห็ดนางรม แต่มีเนื้อแน่นสีขาว และไม่มีวงแหวนรอบก้านดอก ถ้าเจริญเติบโตในสภาพธรรมชาติตามขอนไม้ ดอกเห็ดจะมีลักษณะเรียงรายลดหลั่นเป็นชั้นๆ ก้านดอกจะสั้นมาก ครีบดอก (grill) จะมีสีขาว และครีบมีความยาวตลอดจนถึงก้านดอก เส้นใย (mycelium) มีลักษณะค่อนข้างละเอียด และมีสีขาวมากกว่าเห็ดนางรมเล็กน้อย การเจริญเติบโตของเส้นใยจะมีลักษณะคล้ายเห็ดนางรม (กิตติพงศ์ ศิริวานิชกุล และปัญญา โพธิ์ฐิติรัตน์, 2538) สำหรับคุณค่าทางโภชนาการของเห็ดนางฟ้าในส่วนที่บริโภคได้พบว่า เห็ดนางฟ้า 100 g จะให้พลังงาน 260.70 กิโลแคลอรี ความชื้น 88.90% โปรตีน 25.80% คาร์โบไฮเดรต 45.60% ไขมัน 4.10% ใยอาหาร 8.60% และเถ้า 11.8% เป็นแหล่งที่ดีของแร่ธาตุและกรดอะมิโน รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 2-4

ภาพที่ 2-8 เห็ดนางฟ้า
ที่มา : สยามเห็ดฟาร์ม (2556)

ตารางที่ 2-4 ปริมาณธาตุอาหารและกรดอะมิโนที่จำเป็นในเห็ดนางฟ้า

ธาตุอาหาร	ปริมาณ
แคลเซียม	20 mg/100g
ฟอสฟอรัส	760 mg/100g
โพแทสเซียม	3260 mg/100g
เหล็ก	124 ppm
แคดเมียม	0.3 ppm
สังกะสี	12 ppm
ทองแดง	12.2 ppm
ตะกั่ว	3.2 ppm
กรดอะมิโน	ปริมาณ (mg/g ของ crude protein nitrogen)
Isoleucine	78
Leucine	68.1
Lysine	73.5
Methionine+Cystine	62.5
Phenylalanine+Tyrosine	137.8
Threonine	88
Tryptophan	91
Valine	76.1

ที่มา: Oei (1991)

2.5.3 เห็ดขอนขาว

เห็ดขอนขาวสามารถเพาะเชิงการค้าได้ โดยลักษณะเห็ดขอนขาวคือจะมีหมวกดอกสีขาว เกล็ดหรือขนขาวนวล ลักษณะก้านอวบ เกิดเป็นกอ เหนียวน้อย ดึงออกจากวัสดุได้ง่าย อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญของเส้นใยอยู่ระหว่าง 30-32 เซลเซียส โดยเจริญได้ 11-12 มิลลิเมตรต่อวัน ให้ผลผลิตเฉลี่ย 80 gต่อวัสดุเพาะ 1 kg การเก็บเห็ดขอนขาว มักเก็บดอกขณะที่หมวกเห็ดมีเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 3 เซนติเมตร และเก็บส่วนต่างๆ ของดอก ให้หลุดออกจนหมด เพื่อป้องกันการเน่าเสียจากเศษหรือส่วนของดอกเห็ดที่เหลือติดค้างอยู่ที่ก้อนเชื้อ ขนาดของดอกเห็ดที่เก็บขึ้นกับความต้องการของผู้เพาะ โดยปกติดอกเห็ดอ่อนจะมีราคาสูงกว่าดอกเห็ดที่บานเต็มที่ และมีความเหนียวน้อยกว่าเห็ดบาน (กลุ่มงานจุลชีววิทยาประยุกต์ กรมวิชาการเกษตร, 2558) ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเห็ดขอนขาว เมื่อเจริญเต็มที่แล้วแสดงดังภาพที่ 2-9

ภาพที่ 2-9 เห็ดขอนขาว
ที่มา : กลุ่มงานจุลชีววิทยาประยุกต์ กรมวิชาการเกษตร (2558)

สำหรับประเทศไทยเห็ดขอนขาวเป็นเห็ดที่นิยมรับประทานกันในจังหวัดทางภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีคุณค่าทางอาหารโดยเฉพาะโปรตีนสูงเมื่อเทียบกับเห็ดชนิดอื่น และยังให้พลังงานมากกว่าเห็ดหอม (*Lentinula edodes*) และเห็ดหูหนู (*Aauricularia polytricha*) โดยเห็ดขอนขาว 100 g ให้พลังงาน 44 กิโลแคลอรี่ ให้คุณค่าทางอาหาร ได้แก่ โปรตีน เส้นใย และน้ำ เท่ากับ 3.3 3.2 และ 87.9 g อีกทั้งมีแร่ธาตุและวิตามินที่มีประโยชน์ เช่น แคลเซียม โพแทสเซียม ฟอสฟอรัส และวิตามินบี 2 นอกจากคุณค่าทางอาหารแล้ว เห็ดขอนขาวยังมีสมบัติที่ดีในเชิงสมุนไพร ช่วยบำรุงร่างกาย บำรุงกาลัง บำรุงหัวใจ แก้พิษไข้ ช่วยลดความดันและลดโคเลสเตอรอลในกระแสเลือด และยังมีรายงานว่า สารสกัดหยาบจากเห็ดขอนขาว (*Lentinus squarrosulus*) ด้วย ethyl acetate ยังมีสาร **α**–tocopherol กับ phenolic compounds มีฤทธิ์ต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันจากสารอนุมูลอิสระได้ และพบว่าเห็ดขอนขาวยังมีสารพฤกษเคมีซึ่งช่วยในการต่อต้านโรคมะเร็ง และต่อต้านไวรัสได้

ดังนั้นเห็ดขอนขาวจึงเป็นที่ต้องการของตลาดทั้งในรูปเห็ดสดและเห็ดแปรรูป ทำให้มีราคาที่ค่อนข้างสูงและเกษตรกรสนใจเพาะเห็ดชนิดนี้มากขึ้น (กรมวิชาการเกษตร, 2559; นิภาพร อามัสสา, 2548; สาธิต ไทยทัตกุล, 2546; วันดี หวังคะพัน, 2554)

2.6 สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant)

อนุมูลอิสระเป็นสารหรือโมเลกุลที่มีอิเล็กตรอนเดี่ยว (Unpaired electron) อยู่รอบนอกเป็นโมเลกุลที่ไม่เสถียร และว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมี ก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation reaction) แล้วกลายเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ต่อไป ส่วนมากแล้วเกิดกับโมเลกุลของออกซิเจน (โอภา วัชระคุปต์, 2550; จักรพงษ์ ไพบูลย์, 2542) เช่น Superoxide anion radical (O_2) Hydroxyl radical (OH) Peroxide radical (ROO) Hydrogen peroxide (H_2O_2) เป็นต้น อนุมูลอิสระเกิดจากกระบวนการเมตาบอลิซึมในร่างกายมนุษย์ และเกิดจากสิ่งแวดล้อมที่เป็นพิษ เช่น ควันเสียจากเขม่าเครื่องยนต์ ควันบุหรี่ สารเคมีต่างๆ รังสี UV และจากการรับประทานอาหารปิ้งย่างที่ไหม้เกรียม ส่งผลให้เกิดการสะสมของอนุมูลอิสระในสิ่งมีชีวิตเพิ่มมากขึ้น ทำให้เกิดภาวะที่เรียกว่า Oxidative stress ที่ส่งผลกระทบต่อเซลล์ เช่น เซลล์ถูกทำลาย เกิดการเสื่อมของเซลล์ ซึ่งเป็นสาเหตุของการแก่ (Aging) และทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของดีเอ็นเอ ไขมัน โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และเยื่อหุ้มเซลล์รุนแรงไปถึงการเกิดเป็นโรค เช่น โรคไขมันอุดตันในเส้นเลือด โรคหลอดเลือดหัวใจ โรคมะเร็ง โรคเบาหวาน เป็นต้น มนุษย์สามารถป้องกันการทำลายจากอนุมูลอิสระเหล่านี้ได้ (พรทิพย์ วิรัชวงศ์, 2546) โดยใช้เอนไซม์ที่สร้างในร่างกายกำจัด เช่น Superoxide dismutase (SOD) และ Glutathione peroxidase (GPX) แต่การกำจัดอนุมูลอิสระด้วยเอนไซม์มักมีขีดจำกัด เช่น บางคนมีพันธุกรรมที่สามารถสร้างเอนไซม์ได้น้อย และเพิ่มความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระได้โดยรับประทานอาหาร ผัก ผลไม้ที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น วิตามินซี วิตามินอี เบต้า-แคโรทีน และแอนโทไซยานิน (จักรพงษ์ ไพบูลย์, 2542)

สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) คือ โมเลกุลของสารที่สามารถจับตัวรับและสามารถยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของโมเลกุลอื่นๆ ได้ ปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็นปฏิกิริยาเคมีที่เกี่ยวเนื่องกับการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนจากสารหนึ่งไปยังตัวออกซิไดซ์ (โอภา วัชระคุปต์, 2550) ปฏิกิริยาดังกล่าวสามารถให้ผลิตภัณฑ์เป็นอนุมูลอิสระ (Free radical) ซึ่งอนุมูลอิสระเหล่านี้จะเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่และทำลายเซลล์ของร่างกาย สารต้านอนุมูลอิสระจะเข้ายุติปฏิกิริยาลูกโซ่เหล่านี้ด้วยการเข้าจับอนุมูลอิสระและยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยถูกออกซิไดซ์ ดังนั้น สารต้านอนุมูลอิสระจึงถือเป็นตัวรีดิวซ์ สารต้านอนุมูลอิสระเป็นกลุ่มของสารอาหารที่มีมากมายหลายชนิด (พรทิพย์ วิรัชวงศ์, 2546) เช่น กลุ่มของวิตามินเอรวมถึงเบต้า-แคโรทีน วิตามินซีและวิตามินอี รวมเรียกว่า แอนตี้ออกซิเดนซ์วิตามิน (Antioxidant vitamins) เกลือแร่และเอนไซม์ ซึ่งสารแอนตี้ออกซิเดนท์ที่พบในร่างกาย และจัดเป็นเอนไซม์ ได้แก่ Superoxide dismutase (SOD) Catalase (CAT) Glutathione peroxidase (GPX) Glutathione reductase (GR) และ Glutathione S-tranferase (GST) ส่วนสารต้านอนุมูลอิสระที่พบในร่างกาย แต่ไม่จัดเป็นเอนไซม์ ได้แก่ Glutathione Lipoic acid Ceruloplasmin Albumin Tranferrin Haptoglobin Hemopexin Uric acid Bilrubin Cysteine ส่วนสารแอนตี้ออกซิเดนท์ที่พบในสารอาหารและไม่จัดเป็นเอนไซม์ ได้แก่ Tocopherols Carotenoids Ascorbic acid,

Steroids, Ubiquinones, Thiols, Inosine, Taurine, Pyruvate Gallic acid, Flavonoid Trolox BHT BHA

2.6.1 กลไกการทำงานของสารต้านอนุมูลอิสระ (เจนจิรา จิรัมย์ และประสงค์ สีหานาม, 2554)

1) ดักจับอนุมูลอิสระ (radical scavenging) เป็นที่ทราบดีว่า สารต้านอนุมูลอิสระสามารถยับยั้งอนุมูลอิสระได้ โดยการทำให้โมเลกุลของอนุมูลอิสระมีความเสถียรขึ้น ซึ่งกลไกของปฏิกิริยาเกิดโดยการให้ไฮโดรเจนหรืออิเล็กตรอนแก่อนุมูลอิสระ ดังสมการ

$$R^{\cdot} + AH \longrightarrow RH + A^{\cdot}$$

$$RO + AH \longrightarrow ROH + A^{\cdot}$$

$$R^{\cdot} + A^{\cdot} \longrightarrow RA$$

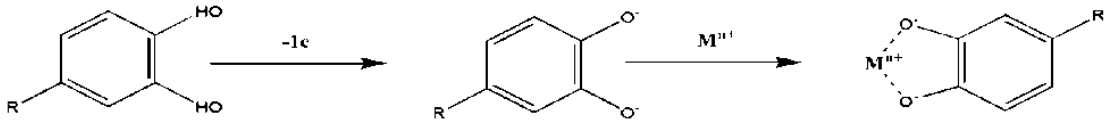
$$RO^{\cdot} + A \longrightarrow ROA$$

2) ยับยั้งการทำงานของ ซิงเกล็ทออกซิเจน (Singlet oxygen quenching, $^1O_2$*) สารกลุ่มแคโรทีนอยด์ (Carotenoids) สามารถยับยั้งการทำงานของซิงเกล็ทออกซิเจน โดยการเปลี่ยน ($^1O_2$*) ให้อยู่ในรูปทริปเปร็ท (Triplet oxygen ($^3O_2$*)) และปล่อยพลังงานที่ได้รับออกไปในรูปความร้อน โดยที่แคโรทีนอยด์ (Car) จำนวน 1 โมเลกุล สามารถทำปฏิกิริยากับซิงเกล็ทออกซิเจนได้ถึง 1,000 โมเลกุล

$$^1O_2 + {}^1Car \longrightarrow 3O_2 + 3Car$$

$$3Car \longrightarrow {}^1Car + \text{thermal energy}$$

3) จับกับโลหะที่สามารถเร่งสารกลุ่มนี้ได้ ได้แก่ ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Metal chelation) โลหะมีผลต่อการเกิดอนุมูลอิสระคือ Fe2+ และ Cu2+ ฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) ฟอสฟอริกแอซิด (Phosphoric acid) และ ซิตริกแอซิด (Citric acid) เป็นต้น สำหรับกลไกการจับโลหะของสารประกอบฟลาโวนอยด์ แสดงดังสมการ



4) หยุดปฏิกิริยาการสร้างอนุมูลอิสระ (Chain-breaking) วิตามินอี (α -tocopherol; Toc-OH) สามารถป้องกันเยื่อหุ้มเซลล์ไม่ให้ถูกทำลายจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน (Lipid autooxidation) โดยทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน (Electron-acceptor antioxidants) จากอนุมูล Peroxyl (ROO•)

5) เสริมฤทธิ์ (Synergism) สารชนิดนี้จะช่วยสนับสนุนให้สารต้านอนุมูลอิสระทำงานได้ดีขึ้น เช่น การทำงานร่วมกันระหว่าง วิตามินอี (α-tocopherol) กับวิตามินซี (Ascorbic acid) โดยที่วิตามินซีไม่สามารถทำงานได้ในสภาวะไม่มีขั้ว (Hydrophobic condition) ได้เหมือนกับวิตามินอี แต่

จะให้ไฮโดรเจนอะตอมแก่อนุมูลแอลฟา-โทโคฟีรอลเปอร์ออกซิล (α-tocopherol peroxal) ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่าง แอลฟา-โทโรฟีรอล กับอนุมูลเปอร์ออกซิล (ROO•) เพื่อเปลี่ยนรูปกลับไปเป็น แอลฟา-โทโรฟีรอล ที่ทำงานได้

6) ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาอนุมูลอิสระ (Enzyme inhibition) สารประกอบฟีนอลิกบางชนิด เช่น ฟลาโวนอยด์ กรดฟีนอลิก (Phenolic acid) และแกลเลต (Gallates) สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ลิโพออกซีจีเนส (Lipoxygenase) โดยสามารถเข้าจับกับไอออนของเหล็กซึ่งโคเฟกเตอร์ (Cofactor) ส่งผลให้เอนไซม์ดังกล่าวไม่สามารถทำงานได้

2.6.2 การวัดความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (เจนจิรา จิรัมย์ และประสงค์ สีหานาม, 2554)

ในปัจจุบันสารต้านอนุมูลอิสระได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก ได้มีการนำสารต้านอนุมูลอิสระมาใช้ในการส่งเสริมสุขภาพ ป้องกันและรักษาโรคต่างๆ เพราะเชื่อว่าสามารถลดปฏิกิริยาออกซิเดชันและต้านการเกิดอนุมูลอิสระได้ ในการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมีความสำคัญเพื่อใช้บอกประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ หากฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมีค่าสูงแสดงว่ามีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระสูงด้วยเช่นกัน วิธีที่นิยมใช้ในการทดสอบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมีหลายวิธีเช่น oxygen radical absorbance capacity (ORAC), 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging assay และ 2,2-azino-bis (3-etylbenzthiazoline-6-sulphonic acid) (ABTS) free radical declorization assay เป็นต้น โดยวิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) นี้ เป็นอนุมูลอิสระสังเคราะห์ที่มีความคงตัว เมื่ออยู่ในรูปสารละลาย DPPH จะมีสีม่วง และสามารถดูดกลืนแสงได้ดีที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ทำการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้โดยผสม DPPH และสารต้านอนุมูลอิสระที่ต้องการทดสอบ (AH) ในหลอดทดลอง ซึ่งเกิดปฏิกิริยาดังสมการนี้

$$DPPH^{\cdot} + (AH) \longrightarrow DPPH\text{-}H + (A^{\cdot})$$

อนุมูลอิสระใหม่ที่เกิดขึ้น ($A^{\cdot}$) จะทำปฏิกิริยาต่อไป (Radical-radical reaction) โดยกระบวนการ Radical disproportionation จนกระทั่งได้เป็นโมเลกุลที่มีความคงตัว (A-A) ดังสมการนี้

$$DPPH^{\cdot} + A^{\cdot}_{(n)} \longrightarrow DPPH\text{-}H + A_{(n)}$$

$$A^{\cdot} + A^{\cdot} \longrightarrow A\text{-}A$$

เมื่ออนุมูลอิสระ $DPPH^{\cdot}$ ได้รับโปรตอนจากสารต้านอนุมูลอิสระที่นำมาทดสอบ สารละลาย DPPH ก็จะเปลี่ยนสีจากสีม่วงเป็นสีเหลือง ส่งผลให้ค่าการดูดกลืนแสงที่ 517 นาโนเมตร ลดลง

2.6.3 สารต้านอนุมูลอิสระที่สามารถออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (เจนจิรา จิรัมย์ และประสงค์ สีหานาม, 2554)

การศึกษาฤทธิ์ทางชีวภาพของสารต้านอนุมูลอิสระได้รับความสนใจเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากอนุมูลอิสระส่งผลเสียต่อร่างกายและเป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดโรคหลายชนิดในมนุษย์ เช่น โรคมะเร็ง ความดันโลหิตสูง เบาหวาน รูมาตอยด์ การศึกษาข้อมูลทางเภสัชวิทยาของสารต้านอนุมูลอิสระ พบว่ามีสารออกฤทธิ์หลายชนิดที่มีส่วนส่งเสริมสุขภาพและป้องกันการเกิดโรคในมนุษย์ ซึ่งตัวอย่างการศึกษาเกี่ยวกับฤทธิ์ทางชีวภาพสูงสารต้านอนุมูลอิสระแสดงดังตารางที่ 2-5

ตารางที่ **2-**5 สารต้านอนุมูลอิสระที่สามารถออกฤทธิ์ทางชีวภาพ

Antioxidant compound	**Perceived health benefit**
β -Carotene, lutein	Antimutagenic
	Protective against breast cancer
Bromophenol	α -Glucosidase inhibition
Carraggeenan, oligosaccharide	Anti-tumor
	Anti-HIV
Fucoidan	Ameliorales hyperoxaluria
	Anticancer
	Protection against neurodegenerative disorder
Fucophlorethols	Chemopreventive effects
Fucoxanthin	Antiangiogenic
	Protective effects against retinol deficiency
Galactan sulfate	Anti-viral
Phlorotannins	Anti-inflammatory
	Bactericide
	Inhibits H2O2 mediated DNA damage
	Hypertension
	Photochemopreventive effects
Phycoerythrin	Amelioration of diabetic complications
Polyphenols	Vascular chemoprotection
	Antiproliferation
	Antimicrobial
	α-Glucosidase inhibition
Porphyran, shinorine	Delays aging process

ที่มา : เจนจิรา จิรัมย์ และประสงค์ สีหานาม (2554)

2.7 การเตรียมขั้นต้นก่อนการทำแห้ง (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2544; วิไล รังสาดทอง, 2552)

ในกระบวนการทำแห้งนั้นมักมีการเตรียมขั้นต้นก่อนการทำแห้ง เพื่อให้วัตถุดิบอยู่ในสภาพที่เหมาะสม และเป็นการเตรียมวัตถุดิบเพื่อให้อยู่ในสภาพที่เอื้ออำนวยต่อการเพิ่มประสิทธิภาพในการอบแห้ง โดยเทคนิคการเตรียมขั้นต้นที่ใช้ในอุตสาหกรรมมีหลายวิธีด้วยกัน ซึ่งรวมถึงการลวก และการใช้สารละลาย จากการตรวจเอกสารพบว่า การเตรียมขั้นต้นก่อนการทำแห้งมีผลต่อการรักษาปริมาณสารพฤกษเคมีที่สำคัญในผลิตภัณฑ์ได้ ลดโอกาสเกิดปฏิกิริยาที่ไม่พึงประสงค์ต่างๆ รวมถึงสามารถช่วยลดเวลาในการทำแห้งลงได้ การเตรียมขั้นต้นมีหลายวิธี ซึ่งในงานวิจัยนี้สนใจเตรียมขั้นต้นด้วยวิธี

อย่างง่าย และใช้ต้นทุนต่ำ ได้แก่ การลวก Walde, Velu, Jyothirmayi & Math (2006) รายงานว่า การลวกเห็ดกระดุมและเห็ดนางรมก่อนการทำแห้งด้วยไมโครเวฟช่วยลดระยะเวลาในการอบแห้งลงได้ โดยพิจารณาจากสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำเท่ากับ 331.02 x 10-6 m2/s เมื่อเทียบกับเห็ดที่ไม่ผ่านการลวก ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำเท่ากับ 0.3225 x 10-6 m2/s เนื่องจากความร้อนที่ใช้ทำให้เกิดการทำลายโครงสร้างบางส่วนทำให้เอื้อต่อการสูญเสียน้ำในระหว่างการทำแห้งได้ Rico et al. (2008) พบว่า การลวกยังช่วยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์จึงช่วยลดโอกาสการสูญเสียสารพฤกษเคมีที่สำคัญ รวมถึงการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ด้วย นอกจากนี้ยังสามารถเตรียมขั้นต้นโดยการลวกในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ Saencom (2011) รายงานว่า การเตรียมขั้นต้นด้วยการลวกในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ช่วยลดการละลายของออกซิเจนในน้ำ จึงช่วยลดโอกาสการสัมผัสออกซิเจนสำหรับเนื้อเยื่อผักผลไม้กับสารละลายได้ ทำให้สามารถลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันขององค์ประกอบที่สำคัญได้ นอกจากนี้การลวกหรือแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ยังสามารถช่วยดึงน้ำออกจากผักผลไม้ได้บางส่วน จากความแตกต่างกันของแรงดันออสโมติก ระหว่างในเซลล์ผักผลไม้และสารละลาย รวมทั้งช่วยลดค่า a_w จากการลดลงของปริมาณน้ำ และการแพร่เข้าของโซเดียมคลอไรด์ (Torringa, Esveld, Scheewe, Berg & Bartels, 2001)

2.7.1 การลวก

การลวกวัตถุดิบประเภทผักและผลไม้ก่อนการแปรรูปมีวัตถุประสงค์เพื่อทำลาย Activity ของเอนไซม์ในผักและผลไม้บางชนิด ก่อนที่จะนำไปแปรรูปในขั้นตอนต่อไป การลวกถือว่าเป็นขั้นตอนหนึ่งที่ใช้ในการเตรียมวัตถุดิบ ขั้นตอนนี้อาจทำร่วมกับการทำความสะอาดวัตถุดิบและการปอกเปลือก เพื่อลดการใช้พลังงาน พื้นที่ และอุปกรณ์ Walde et al. (2006) กล่าวว่า การลวกเห็ดก่อนการทำแห้งช่วยลดระยะเวลาในการทำแห้งลงได้ เนื่องจากความร้อนที่ใช้ทำให้เกิดการทำลายโครงสร้างบางส่วนทำให้เอื้อต่อการสูญเสียน้ำในระหว่างการทำแห้งได้ นอกจากนี้ Fellow (2000) รายงานว่าการลวกผักช่วยลดการทำงานของเอนไซม์ Polyphenoloxidase ในผักที่เป็นสาเหตุของการเกิดสีน้ำตาลในระหว่างการเก็บรักษาได้ พืชส่วนใหญ่ต้องผ่านการลวก แต่มีพืชบางชนิด เช่น หัวหอมแดง ไม่ต้องผ่านการลวก ขั้นตอนนี้ทำโดยการนำวัตถุดิบไปให้ความร้อนอย่างรวดเร็วจนถึงอุณหภูมิที่กำหนด และให้อยู่ที่อุณหภูมินี้ระยะหนึ่ง หลังจากนั้นทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็ว จนถึงอุณหภูมิห้อง ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อระยะเวลาที่ใช้ในการลวก คือ ชนิดของวัตถุดิบ ขนาดของชิ้น อุณหภูมิ และวิธีการให้ความร้อน โดยวัตถุประสงค์ของการลวกมีดังนี้

1) ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ (Enzyme inactivation) วัตถุดิบก่อนนำไปอบแห้งหรือแช่เยือกแข็ง เนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งหรือแช่เยือกแข็งไม่เพียงพอที่จะทำลายเอนไซม์ได้ หากวัตถุดิบไม่ผ่านการลวกจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านประสาทสัมผัส และคุณภาพทางด้านโภชนาการของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษามากกว่าวัตถุดิบที่ผ่านการลวก เพราะความร้อนที่ใช้อาจทำลายเนื้อเยื่อไม่ใช่เอนไซม์ เอนไซม์บางชนิดอาจถูกทำลาย แต่บางชนิดอาจถูกกระตุ้นให้มีการทำงานมากขึ้น ซึ่งจะไปเร่งปฏิกิริยาการเสื่อมสลายให้เกิดเร็วขึ้น เอนไซม์ที่ทนความร้อนได้ดีที่สำคัญและพบในผักหลายชนิด คือเอนไซม์แคแทเลส (Catalase) และเพอร์ออกซิเดส (Peroxidase) ซึ่งใช้เป็นตัวชี้บ่งประสิทธิภาพของการลวก โดยเฉพาะเอนไซม์เพอร์ออกซิเดสที่มีความคงตัวมากกว่าเอนไซม์แคแทเลส หากตรวจวัดเอนไซม์ Activity ในผักที่ผ่านการลวกแล้วไม่พบ Activity ของ

เอนไซม์เพอร์ออกซิเดส แสดงว่าเอนไซม์อื่นๆ ถูกทำลายหมดแล้ว การทำให้เอนไซม์เพอร์ออกซิเดสถูกทำลายอย่างสมบูรณ์ และมีการสูญเสียคุณภาพที่รพดับต่ำที่สุดคือ ทำให้มีปริมาณวิตามินซีเหลืออยู่ได้ถึง 76-85 % นอกจากเอนไซม์ 2 ชนิดนี้แล้ว ยังมีเอนไซม์สำคัญชนิดอื่นๆที่มีผลกระทบต่อคุณภาพด้านประสาทสัมผัสและคุณค่าทางโภชนาการของผักและผลไม้ ได้แก่ เอนไซม์ไลพอกซิจิเนส (Lipoxygenase) พอลิฟีนอลออกซิเดส (Polyphenoloxidase) พอลิกาแล็กตูโรเนส (Polygalacturonase) และคลอโรฟิลล์เลส (Chlorophyllase)

Jha and Phasad (1996) รายงานว่าการลวกเป็นขั้นตอนการเตรียมขั้นต้นผักที่ดี สำหรับการนำไปทำแห้ง การลวกจะช่วยชะลอหรือยับยั้งเอนไซม์ ที่สามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ไม่ต้องการในรสชาติและเนื้อสัมผัสในระหว่างการเก็บและช่วยป้องกันการสูญเสียของวิตามิน และสีของผลิตภัณฑ์อีกด้วย

2) หน้าที่อื่นๆ ผลของการลวกช่วยทำลาย ยับยั้งจุลินทรีย์ และลดจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่บนผิวนอกของอาหาร ช่วยให้เก็บรักษาอาหารได้นานขึ้น ก่อนนำไปแปรรูปในขั้นตอนต่อไป หากขั้นตอนการลวกไม่ดีจะทำให้มีจำนวนจุลินทรีย์เหลืออยู่ในวัตถุดิบมากจะต้องใช้เวลาในการฆ่าเชื้อนานขึ้น จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้เน่าเสียในระหว่างการเก็บรักษาเร็วขึ้น การลวกยังทำให้ผักนิ่มลง สามารถบรรจุลงในภาชนะบรรจุได้ง่าย และช่วยไล่อากาศออกจากช่องว่างระหว่างเซลล์ของเนื้อเยื่อ ซึ่งจะช่วยลดการเกิด Headspace vacuum ขึ้นภายในกระป๋องให้น้อยลงได้ และลดปริมาณออกซิเจนภายในบรรจุภัณฑ์ด้วย

นอกจากนี้การลวกมีผลต่ออาหารในด้านต่างๆ โดยความร้อนจากการลวกมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสและคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร แต่ความร้อนที่ใช้ในการลวกจะต่ำกว่าการสเตอริไลเซชัน จึงมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นไม่มากนัก วัตถุประสงค์หลักของการลวกเพื่อทำลายเอนไซม์ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ร่วมกัน การลวกมีผลต่อเนื้อเยื่อพืชโดยมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น เช่น ผนังเซลล์เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย มีการเปลี่ยนแปลงเมมเบรนของไซโทพลาซึม สตาร์ชเกิดเจลาติไนเซชัน โครงสร้างโมเลกุลของเพกตินเปลี่ยนไป โปรตีนในไซโทพลาสซึมและนิวเคลียสเสียสภาพธรรมชาติ คลอโรพลาสต์และโครโมพลาสต์มีรูปร่างเปลี่ยนไป เป็นต้น ทำให้น้ำและตัวถูกละลายภายในเซลล์ไหลออกมา

2.7.2 การใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์ (สำนักโภชนาการกรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, 2554)

โซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride) มีสูตรโมเลกุล คือ NaCl ในเกลือที่ไม่มีความชื้นอยู่เลยจะมีปริมาณโซเดียมคลอไรด์ 95.5–98.5 %และมีสารอื่นเจือปนอยู่ในปริมาณน้อย เช่น แมกนีเซียม แคลเซียม และซัลเฟต เป็นต้น เกลือโซเดียมคลอไรด์ แยกเป็นโซเดียมกับคลอไรด์ ในเกลือมีโซเดียม 40 % และคลอไรด์ 60 % โซเดียมเป็นอิเล็กโทรไลต์ที่สำคัญในการควบคุมความเข้มข้นของเหลวภายนอกเซลล์และการกระจายของน้ำในร่างกายให้เกิดความสมดุล สำหรับคลอไรด์เป็นส่วนสำคัญของกรดเกลือที่ใช้ย่อยอาหารในกระเพาะอาหารและลำไส้ เกลือโซเดียมคลอไรด์มีบทบาทอย่างมากในอุตสาหกรรมอาหารเนื่องจากมีราคาถูกและใช้ได้หลากหลายทั้งการปรุงอาหารและถนอมอาหาร เช่น การหมักเกลือ (Salt curing) ช่วยลดแอคทิวิตี้ของน้ำ (Water activity, a_w) ทำให้ยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสื่อมเสีย (Microbial spoilage) และจุลินทรีย์

ก่อโรค (Pathogen) ในอาหารที่มีปริมาณเกลือสูง นอกจากนี้เกลือยังกำจัดสารตั้งต้นในการทำปฏิกิริยาต่างๆ และทำให้สามารถลดการเกิดปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงต่างๆที่ออกซิเจนเป็นตัวเร่งได้ เช่น ปฏิกิริยาออกซิเดชัน

เกลือมีสมบัติในการดูดความชื้น (Hygroscopic) ซึ่งการลดความชื้นเป็นการลดค่า a_w ของน้ำในอาหาร เนื่องจากเกลือสามารถละลายได้ในน้ำ และแย่งจับกับน้ำ สมบัติหรือความเป็นอิสระของน้ำจึงเปลี่ยนไป สารละลายเกลือทำให้เกิดแรงดันออสโมติก และเป็นสาเหตุให้เซลล์จุลินทรีย์เสียน้ำอย่างแรง (Plasmolysis) และหยุดการเจริญเติบโต นอกจากนี้น้ำเกลือยังช่วยลดการแพร่ หรือการแทรกซึมของก๊าซออกซิเจน ถ้าหากจำนวนก๊าซออกซิเจนลดลง จุลินทรีย์พวกที่ใช้อากาศในการเจริญ (Aerobic) ก็เจริญไม่ได้ และเกลือยังเป็นตัวทำลายเอนไซม์บางชนิด เนื่องจากเกลือที่มีความเข้มข้นมากสามารถทำให้โปรตีนบางตัวเกิดการแข็งตัว (Denature) และเสียคุณสมบัติได้

Saencom et al., (2008) ศึกษาการลวกใบตำลึงในน้ำร้อนพบว่ามีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) 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

กฤษติยา ทิสมบรณ์ และนิภา เสือเดช (2556) ศึกษาผลของการเตรียมขั้นต้นสาหร่ายผักกาดทะเลก่อนการทำแห้งด้วยวิธีการลวกในน้ำ การลวกในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ และการแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ต่อคุณภาพของสาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้ง พบว่า วิธีการเตรียมขั้นต้นมีผลต่อปริมาณโปรตีน ปริมาณใยอาหาร ปริมาณแคโรทีนอยด์ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ และค่าสีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

2.8 การทำแห้ง

การทำให้แห้งหรือการกำจัดน้ำ (Drying) หมายถึงการใช้ความร้อนภายใต้สภาวะควบคุมเพื่อกำจัดน้ำส่วนใหญ่ที่อยู่ในอาหาร โดยการระเหยน้ำหรือการระเหิดของแข็งในการอบแห้งแบบระเหิด (Freeze drying) คำจำกัดความนี้จะไม่รวมถึงการกำจัดน้ำออกจากอาหารด้วยวิธีอื่นๆ เช่น การแยกโดยทางกล การทำให้เข้มข้นโดยใช้เมมเบรน การระเหย การอบ เนื่องจากในกระบวนการเหล่านี้จะมีการกำจัดน้ำน้อยกว่าการทำให้แห้ง วัตถุประสงค์ของการกำจัดน้ำคือการยืดอายุการเก็บรักษาอาหารโดยการลดค่าวอเตอร์เอคทิวิตี้ ซึ่งมีผลต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์และการทำงานของเอนไซม์ โดยทั่วไปอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ในระหว่างกระบวนการหมักจะไม่สูงพอที่จะยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ นอกจากนั้นการลดน้ำหนักและปริมาณอาหารยังช่วยในการลดค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาและการขนส่ง เพิ่มความหลากหลายและความสะดวกให้แก่ผู้บริโภค วัตถุประสงค์หลักของการออกแบบเครื่องทำแห้งคือ การหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทำอาหารแต่ละชนิดให้แห้ง โดยมีการสูญเสียคุณภาพการบริโภคและคุณค่าทางโภชนาการน้อยที่สุด ตัวอย่างอาหารที่ผลิตในระดับอุตสาหกรรมที่สำคัญ ได้แก่ น้ำตาล กาแฟ นม มันฝรั่ง แป้ง ถั่ว ถั่วลิสง ส่วนผสมสำหรับการทำขนมปัง อาหารเช้าประเภทที่ทำจากธัญพืช ชาและเครื่องเทศ (วิไล รังสาดทอง, 2546)

วิไล รังสาดทอง (2546) กล่าวว่า กลไกการทำแห้งด้วยลมร้อน คือเมื่ออากาศหรือลมพัดผ่านหน้าอาหารที่เปียก ความร้อนจะถูกถ่ายเทไปยังผิวของอาหาร จะระเหยออกมาด้วยความร้อนแฝงของการเกิดไอ ไอน้ำจะแพร่ผ่านฟิล์มอากาศและถูกพัดผ่านไปโดยลมร้อนที่เคลื่อนที่ สภาวะดังกล่าวจะทำให้ความดันไอที่ผิวหน้าของอาหารต่ำกว่าความดันไอด้านในอาหาร เป็นผลให้เกิดความแตกต่างของความดันไอน้ำ อาหารชั้นด้านในจะมีความดันไอสูงและค่อยๆลดต่ำลงเมื่อชั้นอาหารเข้าใกล้อากาศแห้ง ความแตกต่างนี้ทำให้เกิดแรงดันเพื่อไล่น้ำออกจากอาหาร ในการอธิบายการเปลี่ยนแปลงความชื้นต่อเวลาในการทำแห้งมักแสดงด้วยกราฟอัตราการทำแห้งซึ่ง ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 ช่วง คือ

1) ช่วงการปรับสภาวะเบื้องต้น (Initial Adjustment Period) เป็นช่วงที่ความชื้นที่มีอยู่ในอาหารปรับตัวเพื่อมีอุณหภูมิเท่ากับลมร้อน อัตราการทำแห้งจะต่ำและค่อยๆเพิ่มขึ้น จนกระทั่งถึงช่วงที่อัตราการทำแห้งคงที่

2) ช่วงอัตราการทำแห้งคงที่ (Constant Rate Period) เป็นช่วงที่น้ำในอาหารระเหยเป็นไออย่างต่อเนื่อง คล้ายกับการระเหยของน้ำโดยทั่วไป

3) ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (Falling Rate Period) เป็นช่วงที่ความชื้นในอาหารเหลือน้อยจนแพร่ไปยังผิวหน้าอาหารอย่างไม่ต่อเนื่อง ทำให้ชั้นของเหลวที่ปกคลุมอยู่ไม่สม่ำเสมอ อัตราการทำแห้งจึงลดลง และเมื่อเวลาผ่านไปนานขึ้น ความชื้นจะลดลงเรื่อยๆ จนถึงความชื้นสมดุล ซึ่งน้ำในอาหารไม่สามารถระเหยออกมาได้อีก

วิไล รังสาดทอง (2546) กล่าวว่า การทำแห้งแบบสุญญากาศ เหมาะสำหรับอาหารที่ไวต่อความร้อน เนื่องจากสามารถอบแห้งได้อย่างรวดเร็ว เกิดความเสียหายเนื่องจากความร้อนน้อย อย่างไรก็ตามจำเป็นต้องระมัดระวังไม่ให้อาหารแห้งติดถาดในตู้อบสุญญากาศ ฤทธิไกร งามชุ่ม (2547) กล่าวว่าการอบแห้งแบบสุญญากาศ คือเมื่ออากาศที่อยู่ในห้องอบแห้งนั้นอยู่ในสภาวะสุญญากาศทำให้อากาศนั้นมีความดันของไอน้ำต่ำและความเข้มข้นของความชื้นในอากาศต่ำเมื่อมีวัสดุอยู่ในห้องอบแห้งสุญญากาศจะทำให้เกิดการถ่ายเทมวลเกิดขึ้นโดยไอน้ำที่ผิวของวัสดุจะแพร่สู่อากาศเนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้นของความชื้น (Vapor diffusion) และความดันไอ (Partial vapor pressure) และของเหลวที่อยู่ในวัสดุจะเคลื่อนที่ออกมายังผิวด้วยแรง Capillary flow ซึ่งเป็นผลมาจากแรงตึงผิว (Surface force) โดยอากาศที่อยู่ในห้องอบแห้งอาจจะไม่ต้องจำเป็นต้องให้ความร้อนมากเท่ากับการอบแห้งลมร้อน เนื่องจากของเหลวที่อยู่ในวัสดุเมื่ออยู่ในสภาวะความดันสุญญากาศแล้วนั้นอาจจะมีการเดือดเกิดขึ้นในเนื้อวัสดุทำให้เหมือนเป็นการเร่งอัตราการถ่ายเทมวลสารโดยน้ำภายในวัสดุจะเคลื่อนที่มายังผิววัสดุในรูปของเหลวหรือไอน้ำแล้วระเหยอย่างรวดเร็วซึ่งถ้าของเหลวที่อยู่ภายใต้สภาวะความดันสุญญากาศต่ำมากๆแล้วนั้น อาจจะทำให้ผิวของวัสดุที่อบแห้งมีความเป็นรูพรุนสูงเนื่องจากมีการเดือดอย่างรุนแรงในเนื้อวัสดุ

2.81 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำแห้ง (มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, 2549)

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับอัตราการทำแห้งมีหลายประการ ปัจจัยหนึ่งที่สำคัญคือ ขนาดชิ้นของวัตถุดิบก่อนการทำแห้ง มีความเกี่ยวข้องกับพื้นผิวสัมผัสกับอากาศร้อนในห้องอบแห้ง รูปร่างปริมาตร และพื้นที่ผิวของอาหาร ถ้ามีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตรมาก จะมีพื้นที่ระเหยน้ำมากช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพของการส่งผ่านความร้อนไปทั่วชิ้นอาหาร น้ำระเหยออกได้ดีมากขึ้น

จึงมีผลให้อัตราการทำแห้งเร็วขึ้น อย่างไรก็ตามมีผลเกี่ยวเนื่องกับการสูญเสียสารพฤกษเคมีที่สำคัญในวัตถุดิบได้ เนื่องจากหากวัตถุดิบมีช่องเปิดให้เกิดการสัมผัสกับอากาศและความร้อนมากอาจจะเอื้อต่อการสูญเสียมากขึ้น (มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, 2549; นิธิยา รัตนาปนนท์ และพิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, ม.ป.ป.)

การทำแห้งโดยทั่วไป จะอาศัยความร้อนส่งผ่านเข้าไปให้น้ำที่อยู่ในอาหาร เพื่อทำให้น้ำในอาหารเคลื่อนที่และระเหยจากผิวอาหารนั้น ในขณะที่ทำแห้งจะเกิดปรากฏการณ์ที่สำคัญ 2 ประการ คือการส่งผ่านความร้อน (heat transfer) จากแหล่งให้ความร้อนไปยังน้ำในอาหารและการเคลื่อนที่ของมวล (mass-transfer) ของน้ำในอาหารมาที่ผิวอาหารเพื่อระเหยออกไป ดังนั้น อัตราการทำแห้งโดยทั่วไปจะช้าหรือเร็ว ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพในการส่งผ่านความร้อนไปยังโมเลกุลของน้ำในอาหารและประสิทธิภาพในการเคลื่อนที่โมเลกุลของน้ำมายังผิวอาหาร เพื่อระเหยออกไปจากอาหาร ซึ่งอัตราการทำแห้งโดยทั่วไปจะหมายถึง อัตราการระเหยของน้ำหรือการลดลงของปริมาณน้ำในอาหาร (โดยน้ำหนัก) ต่อหน่วยเวลา โดยปัจจัยที่มีผลต่ออัตรา การทำแห้งมีดังต่อไปนี้

1) สภาพธรรมชาติของอาหาร

สภาพธรรมชาติของอาหารหรือคุณลักษณะของอาหารที่นำมาทำแห้งนั้น เป็นปัจจัยที่สุดที่สำคัญประการแรก ซึ่งสภาพธรรมชาติของอาหารนั้นจะเป็นอย่างไรขึ้นอยู่กับโครงสร้าง สภาพของน้ำอาหาร และองค์ประกอบทางเคมีของอาหารดังกล่าว ซึ่งสภาพธรรมชาติของอาหารจะมีผลต่ออัตราการทำแห้ง คือถ้าสภาพของอาหารเอื้ออำนวยต่อการส่งผ่านความร้อนมายังโมเลกุลของน้ำในอาหารและง่ายต่อเคลื่อนที่ของโมเลกุลน้ำและไอน้ำในอาหารให้ระเหยออกไปที่ผิวอาหาร จะทำให้อัตราการทำแห้งของอาหารชนิดนั้นเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว เมื่อพิจารณาโครงสร้างของอาหารนั้นจะมีผลต่อการทำแห้ง คือถ้าอาหารมีโครงสร้างรูพรุนมาก ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นอาหารประเภทที่มีสารเยื่อใย (fiber) สูง เช่นพวกใบผักต่างๆ เป็นต้น ซึ่งสภาวะดังกล่าวจะทำให้โมเลกุลของน้ำในอาหารเคลื่อนที่ออกไปได้ง่ายทำให้อัตราการทำแห้งเร็วขึ้น แต่อย่างไรถ้าโครงสร้างอาหารมีรูพรุนมากเกินไปอาจทำหน้าที่เป็นฉนวนของการนำความร้อน ทำให้อัตราการทำแห้งลดลงไปบางส่วน เนื่องจากทำให้การส่งผ่านความร้อนไปยังโมเลกุลของน้ำในอาหารไม่ค่อยดีนัก ดังนั้น อาหารที่มีโครงสร้างรูพรุนมากอัตราการทำแห้งจะเร็วขึ้น ต่อเมื่อผลของการเคลื่อนที่ของโมเลกุลน้ำเกิดขึ้นได้ง่าย นอกจากนี้น้ำในอาหารอาจอยู่ในรูปของน้ำอิสระหรือน้ำที่ยึดเกาะกับองค์ประกอบของอาหารที่ทำแห้ง พบว่าถ้าน้ำอยู่ในอาหารในรูปของน้ำอิสระจะสามารถดึงออกจากอาหารได้ง่าย ดังนั้นอาหารที่มีน้ำอยู่ในรูปน้ำอิสระมากอัตราการทำแห้งจะเกิดขึ้นได้ง่าย ในแง่องค์ประกอบทางเคมีของอาหารที่จะนำมาทำแห้งนั้น ก็มีความสำคัญต่ออัตราการทำแห้ง อาหารที่มีชนิดและความเข้มข้นของสาอาหารที่เป็นองค์ประกอบต่างกัน จะมีผลทำให้การเคลื่อนที่ของน้ำและการส่งผ่านความร้อนไปยังโมเลกุลของน้ำต่างกันด้วย ทำให้อัตราการทำแห้งต่างกัน เช่น อาหารที่มีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบมากจะมีการยึดเกาะกับน้ำมาก ดังนั้นเมื่อความเข้มข้นของน้ำตาลในอาหารที่จะนำมาทำแห้งมีค่ามาก จะทำให้การทำแห้งเป็นไปได้ยากยิ่งขึ้น อัตราการทำแห้งช้าลง ส่วนอาหารที่มีแป้งอยู่มาก เมื่อได้รับความร้อนขณะทำแห้งในแป้งก็มีน้ำประกอบอยู่ด้วย อาจทำให้เกิดลักษณะเป็นเจลเหนียว อุดตันช่องว่างภายในชิ้นอาหารทำให้การเคลื่อนที่ของน้ำในอาหารช้าลง

2) ขนาด รูปร่าง การเตรียม และการจัดเรียงอาหาร

อาหารที่นำมาทำแห้งที่มีรูปร่างและขนาดที่ต่างกันจะมีผลต่ออัตราการทำแห้งของอาหารนั้น โดยอาหารที่มีขนาดและรูปร่างที่ทำให้อัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรอาหารมาก จะช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพของการส่งผ่านความร้อนไปทั่วชิ้นอาหาร เพื่อระเหยน้ำออกจากอาหารได้ดีขึ้น ทำให้อัตราการทำแห้งเร็วขึ้น เช่นการหั่นชิ้นอาหารเป็นรูปลูกบาศก์ ขนาดยาวด้านละ 1 เซนติเมตร จะมีอัตราการทำแห้งที่เร็วกว่าการด้วยด้วยขนาดความยาวด้านละ 2 ลูกบาศก์เซนติเมตร ทั้งนี้เนื่องมาจากชิ้นอาหารที่มีขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรมากกว่าชิ้นอาหารที่มีขนาดใหญ่กว่า ดังนั้น โดยทั่วไปจะมีการตัดแต่งและลดขนาดก่อนการทำแห้ง ทั้งนี้เพื่อวัตถุประสงค์ในการเพิ่มพื้นที่ผิวอาหารก่อนการทำแห้ง เพื่อให้อัตราการทำแห้งเร็วขึ้น นอกจากนี้อาจจะมีการเตรียมขั้นต้นในวิธีการอื่นๆเช่น การลวกในน้ำร้อนก่อนนำไปทำแห้ง ซึ่งการลวกนี้มีผลช่วยในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหาร และยังเป็นการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของเยื่อหุ้มเซลล์ มีการทำลายเนื้อเยื่อบางส่วน ทำให้การทำแห้งเร็วขึ้น แต่ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ นอกจากนี้อาจจะใช้วิธีการนวดคลึงทำให้การเคลื่อนที่ของน้ำง่ายขึ้น การจัดเรียงอาหารและจัดปริมาณอาหารต่อถาดในการทำแห้งให้เหมาะสม โดยควรจัดเรียงอาหารในถาดเป็นชั้นบางๆ หรือแผ่เป็นชั้นเดียว แล้วแต่ความเหมาะสม เพื่อให้อาหารทุกชิ้นได้รับความร้อนอย่างสม่ำเสมอและทั่วถึงทำให้อัตราการทำแห้งเร็วขึ้นและสม่ำเสมอในอาหารทุกชิ้น

3) สภาวะในขณะทำแห้งอาหาร

นอกจากสภาพธรรมชาติของอาหาร ขนาด รูปราง การเตรียมขั้นต้น และการจัดเรียงอาหารที่จะนำมาทำแห้ง สภาวะในการทำแห้งและเครื่องมือที่ใช้ในการทำแห้งก็เป็นปัจจัยที่สำคัญประการหนึ่ง เนื่องจากถ้าสภาวะในขณะการทำแห้งเอื้ออำนวยให้ประสิทธิภาพการส่งผ่านความร้อนเข้าไปช่วยทำให้น้ำและไอน้ำเคลื่อนที่ออกจากอาหารได้เร็วขึ้น

3.1) อุณหภูมิ

อุณหภูมิในขณะการทำแห้งเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญ มีอิทธิพลต่อการทำแห้ง ถ้าตัวกลางที่ให้ความร้อนแก่น้ำในอาหาร เช่น อากาศร้อนในเครื่องทำแห้งแบบตู้มีอุณหภูมิสูงทำให้อุณหภูมิของอากาศร้อนกับอุณหภูมิของน้ำในอาหารมีความแตกต่างกันมาก ทำให้ความร้อนส่งผ่านให้กับน้ำในอาหารได้ดี ซึ่งจะทำให้น้ำในอาหารเคลื่อนที่และระเหยออกมาได้ง่าย อัตราการทำแห้งเกิดขึ้นสูง แต่ทั้งนี้อุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งอาหารนั้น ควรให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม ไม่ควรสูงจนเกินไป เนื่องจากถ้ามีการใช้อุณหภูมิที่สูงจนเกินไปอาจส่งผลเสียต่อคุณภาพและคุณค่าทางอาหารของอาหารที่นำมาทำแห้ง เช่น การสูญเสียวิตามิน การเกิดสีน้ำตาล และรสขม

3.2) ความชื้นสัมพัทธ์

ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศที่เป็นตัวกลางขณะทำแห้งอาหาร เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการทำแห้ง ไม่ว่าจะเป็นความชื้นสัมพันธ์ของบรรยากาศในอากาศขณะมีการทำแห้งด้วยการตากแดด หรือความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในเครื่องทำแห้งแบบต่างๆ ถ้าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศขณะทำแห้งนั้นมีค่าสูง จะมีผลให้การเคลื่อนที่ของน้ำและการระเหยของไอน้ำออกจากชิ้นอาหารมาสู่อากาศโดยรอบนั้นเป็นไปได้ยากขึ้น เนื่องจากอากาศภายนอกนั้นมีปริมาณน้ำสูงอยู่แล้ว โดยทั่วไปจึงเป็นผลให้อัตราการทำแห้งช้าลงด้วย

3.3) ความดันบรรยากาศ

ในการทำแห้งโดยทั่วไปจะทำแห้งที่ความดัน 1 บรรยากาศหรือ 760 มิลลิเมตรปรอท อย่างไรก็ตาม ถ้าลดความดันของบรรยากาศในขณะทำแห้งจะทำให้จุดเดือดของน้ำในอาหารลดลง ทำให้การเคลื่อนตัวและการระเหยของน้ำออกจากอาหารเป็นไปได้ง่ายขึ้น โดยน้ำสามารถระเหยได้ที่อุณหภูมิต่ำลง ดังนั้นในเครื่องทำแห้งบางประเภทจึงมีการปรับปรุงสภาวะในการทำแห้งให้มีความดันต่ำกว่า 1 บรรยากาศ เหมาะสำหรับอาหารที่เสื่อมเสียได้ง่ายจากความร้อน

3.4) ความเร็วลม

ในขณะการทำแห้งถ้าบรรยากาศโดยรอบมีลมพัดผ่าน จะช่วยทำให้น้ำและไอน้ำเคลื่อนที่มาที่ผิวอาหารและระเหยออกมาจากอาหารได้เร็วขึ้น อัตราการทำแห้งเร็วขึ้น

2.8.2 อิทธิพลของการทำแห้งต่ออาหาร

1) อิทธิพลของการทำแห้งต่อจุลินทรีย์ในอาหาร

อาหารสดไม่ว่าจะเป็นผัก ผลไม้ เนื้อสัตว์ จะมีน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่มากทำให้มีโอกาสในการเสื่อมเสียจากเชื้อจุลินทรีย์ได้ง่าย ทั้งนี้อาหารสดจะมีปริมาณของน้ำอิสระที่เป็นประโยชน์ต่อเชื้อจุลินทรีย์ จึงต้องมีการทำแห้งเพื่อเป็นการช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

2) อิทธิพลของการทำแห้งต่อองค์ประกอบในอาหาร

2.1) อิทธิพลการทำแห้งต่อน้ำในอาหาร

เป็นการลดปริมาณน้ำในอาหาร ทำให้ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งและการเก็บรักษาด้วย

2.2) อิทธิพลของการทำแห้งต่อโปรตีนในอาหาร

การทำแห้งโดยใช้ความร้อนในการระเหยน้ำออกจากอาหาร ความร้อนที่ให้แก่อาหารนั้นอาจมีผลต่อการเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนในอาหาร ซึ่งถ้าอุณหภูมิที่ใช้ไม่สูงมากนักอาจมีผลทำให้โปรตีนในอาหารแห้งสามารถย่อยได้ง่ายโดยเอนไซม์ในร่างกาย แต่ถ้าใช้อุณหภูมิสูงร่วมกับเวลานาน โปรตีนและกรดอะมิโน อาจสลายตัวร่างกายนำไปใช้งานได้น้อยลง

2.3) อิทธิพลของการทำแห้งต่อไขมันในอาหาร

อาหารที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบเมื่อนำมาทำแห้งไขมันในอาหารสามารถเกิดการออกซิเดชัน และเกิดกลิ่นเหม็นหืน จึงต้องมีวิธีการทำแห้งอาหารที่มีไขมันสูงโดยใช้อุณหภูมิต่ำหรือการทำแห้งภายใต้สภาวะสุญญากาศ

2.4) อิทธิพลของการทำแห้งต่อคาร์โบไฮเดรตในอาหาร

สารอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต เช่น น้ำตาล ในขณะที่มีการทำแห้งน้ำตาลอาจเกิดการไหม้ ที่เรียกว่า คาราเมลไรเซชัน และหากมีน้ำตาลรีดิวซ์อยู่ในอาหาร อาจจะทำให้เกิด ปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้

2.5) อิทธิพลของการทำแห้งต่อเอนไซม์ในอาหาร

เอนไซม์เป็นสิ่งสำคัญที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในอาหาร ในขณะทำแห้งความร้อนที่ใช้นั้นอาจจะมีผลทำให้เอนไซม์ต่างๆ ในอาหารสูญเสียสภาพธรรมชาติ และสูญเสียความสามารถในการทำงานไปได้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ อย่างไรก็ตาม ในการเตรียมอาหารแห้งจะมีการเตรียมขั้นต้นก่อน เช่น การลวก การแช่ในกรด การแช่ในสารละลายเกลือ

2.6) อิทธิพลของการทำแห้งต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของอาหาร

การทำแห้งจะมีผลทำให้คุณภาพทางประสาทสัมผัสของอาหาร ในด้านสี ลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส และกลิ่นรสเปลี่ยนแปลงไป

2.9 ผลิตภัณฑ์อาหารต้นแบบสำหรับงานวิจัยนี้

เนื่องจากวิถีชีวิตในปัจจุบันที่เปลี่ยนแปลงไป ผู้คนมีการแข่งขันกันและใช้ชีวิตอย่างเร่งรีบ ส่งผลถึงพฤติกรรมการบริโภค ที่ต้องการความสะดวกและความรวดเร็วในการบริโภค ทำให้ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่เข้ามามีบทบาทต่อชีวิตประจำวันมากขึ้น โดยนิยมบริโภคผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ที่พกพาง่าย รวมถึงให้พลังงานเพียงพอ ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ที่นิยมรับประทาน ได้แก่ ขนมปัง เค้ก คุกกี้ มัฟฟิน เป็นต้น โดยมีแนวโน้มมูลค่าทางการตลาดของผลิตภัณฑ์สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง (ก้าวสยามสามแยก, 2556; เอสแอนด์พี ซินดิเคท, 2555) งานวิจัยจึงมีความสนใจที่จะประเมินความเป็นไปได้ในการนำส่วนเหลือทิ้งบริเวณรากหรือเส้นใยของเห็ดผง มาใช้เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์อาหารต้นแบบ ได้แก่ ขนมปังเพรทเซล และมัฟฟิน ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์อาหารต้นแบบอีกชนิดหนึ่ง ได้แก่ น้ำสลัด เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความนิยมสูงในปัจจุบัน เนื่องจากพฤติกรรมการบริโภคของผู้บริโภคยุคใหม่ส่วนใหญ่นิยมรับประทานอาหารเพื่อสุขภาพ อาหารที่ให้พลังงานต่ำ สลัดประเภทต่างๆจึงเป็นทางเลือกที่ผู้บริโภคให้ความสนใจ น้ำสลัดจึงเป็นส่วนประกอบร่วมที่มีแนวโน้มมูลค่าทางการตลาดของผลิตภัณฑ์สูงขึ้นควบคู่ไปกับอาหารเพื่อสุขภาพกลุ่มสลัด

ขนมปังเพรทเซลเป็นผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ชนิดหนึ่งที่ได้รับความนิยมในปัจจุบันโดยเฉพาะกลุ่มผู้บริโภควัยรุ่น การเติมส่วนเหลือทิ้งบริเวณรากหรือเส้นใยของเห็ดผงลงในขนมปังเพรทเซลน่าจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ใหม่ที่มีเอกลักษณ์ทางประสาทสัมผัส มีคุณค่าทางโภชนาการ และสารพฤกษเคมีที่สำคัญต่อสุขภาพเพิ่มมากขึ้น ได้ผลิตภัณฑ์ทางเลือกใหม่สำหรับผู้ที่รักสุขภาพ ช่วยขยายช่องทางการตลาด และเพิ่มกลุ่มผู้บริโภคเป้าหมายให้มากขึ้น สำหรับมัฟฟินเป็นขนมอบประเภทควิกเบรด (Quick bread) ทำได้ง่าย มีรสชาติที่ดี และสามารถปรุงแต่งเพิ่มเติมได้ มักอบเป็นชิ้นเล็ก มีขนาดชิ้นพอดีกับหน่วยบริโภค มีรสชาติที่หวานน้อยกว่าเค้ก มีลักษณะแข็งเมื่อเปรียบเทียบกับเค้ก ชาวต่างชาตินิยมรับประทานเป็นอาหารเช้าหรืออาหารว่าง ซึ่งแตกต่างจากคนไทยที่จะรับประทานได้ทุกเวลาเหมือนขนมเค้กหรือขนม สำหรับน้ำสลัดเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทอีมัลชันที่มีการกระจายตัวแบบน้ำมันในน้ำ (oil- in- water emulsion) ทำได้ง่าย ใช้บริโภคร่วมกับสลัดชนิดต่างๆ รวมทั้งสามารถใช้เป็นส่วนประกอบร่วมกับอาหารหลายชนิด เช่น แซนวิช แฮมเบอร์เกอร์ เป็นต้น

2.9.1 ขนมปังเพรทเซล (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนปนนท์, ม.ป.ป; Hui et al., 2006)

เพรทเซล (Prezels) เป็นชื่อผลิตภัณฑ์ขนมอบชนิดหนึ่ง มี 2 รูปแบบคือ ชนิดแข็ง ซึ่งจะอบจนกรอบ และชนิดนุ่ม ซึ่งมีเนื้อคล้ายขนมปังแต่เหนียวกว่า วัตถุดิบหลักของการผลิตเพรทเซล คือแป้งสาลี (Wheat flour) ซึ่งมักใช้แป้งขนมปัง นวดผสมกับเนยขาว (Shortening) น้ำตาล หรือน้ำเชื่อมกลูโคส (Glucose syrup) ยีสต์ (Baker yeast) และน้ำ จนได้โด (Dough) แล้วจึงขึ้นรูปเป็นเส้นและนำมาพันกันเป็นรูปร่างเฉพาะคล้ายแขนไขว้กัน เพรทเซล จะมีกลิ่นเฉพาะตัวจากการราดน้ำด่าง (NaOH) ลงบนโด (Dough) ก่อนนำไปอบ (Baking) ให้สุก

ขนมปังเพรทเซลถูกนำเข้ามาในสหรัฐอเมริกาในช่วงต้นปี 1860 ที่ Lititz, Pennsylvania และได้กลายเป็นขนมขบเคี้ยวที่ได้รับความนิยมตั้งแต่นั้นเป็นต้นมา ว่ากันว่าต้นกำเนิดของเพรทเซล

ย้อนไปถึงในคริสต์ศตวรรษที่ 12 โดยเป็นขนมที่มอบให้แก่เด็กๆที่สวดมนต์อย่างสม่ำเสมอ มีตำนานว่าเกลียวขดตรงกลางเพรทเซลเป็นตัวแทนของมือที่ประสานกันของผู้ที่สวดมนต์

ในปี 1980 ได้มีการนำเครื่องผลิตเพรทเซลอัตโนมัติมาใช้ รวมทั้งเครื่องผสมโด เครื่องตัดและเครื่องขึ้นรูปอัตโนมัติ จึงทำให้สามารถผลิตเพรทเซลได้ในวิธีที่หลากหลายมากขึ้น แม้ว่าเพรทเซลจะเป็นขนมที่ได้รับความนิยมแต่กลับมีการวิจัยและพัฒนาขนมปังเพรทเซลน้อยมาก เมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ขนมอบชนิดอื่น เช่น คุกกี้ และแครกเกอร์ อย่างไรก็ตามปัจจุบันเพรทเซลได้มีการพัฒนาให้มีขนาด รูปร่าง และรสชาติหลากหลายมากขึ้น ขนมปังเพรทเซลอาจแบ่งเป็นชนิดได้ดังนี้

1) ขนมปังเพรทเซลชนิดแข็ง

ใช้แป้งสาลีชนิดอ่อน ใช้น้ำในส่วนผสม 42.5% น้ำตาล 2.5% น้ำมัน 2.5% ยีสต์ 0.28% เมื่อเทียบกับน้ำหนักแป้ง ผสมจนได้โด พักโดเป็นเวลา 20 นาที แล้วขึ้นรูปโดยใช้เอกซ์ทรูเดอร์ความดันต่ำ นำไปจุ่มในสารละลายด่าง 1.5% และนำไปอบ โดยแบ่งเป็น 2 ช่วง ช่วงแรกอบที่อุณหภูมิสูงระยะเวลาสั้น และนำไปอบต่อในช่วงที่สองโดยใช้อุณหภูมิต่ำกว่า อบจนกระทั่งความชื้นต่ำกว่า 4% ขนมปังเพรทเซลที่ได้มีลักษณะกรอบ

2) ขนมปังเพรทเซลชนิดนุ่ม

มีลักษณะและวิธีการผลิตคล้ายคลึงกับขนมปัง ความแตกต่างของขนมปังเพรทเซลชนิดนุ่มและขนมปัง คือ ขนมปังเพรทเซลที่ขึ้นรูปแล้วต้องนำไปจุ่มลงในสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต ซึ่งจะทำให้ผิวด้านนอกของขนมปังเพรทเซลเป็นสีน้ำตาลเงา และมีเนื้อสัมผัสที่แน่นขึ้นเล็กน้อย ขนมปังเพรทเซลชนิดนุ่มใช้แป้งสาลีชนิดแข็ง หรือแป้งสาลีที่มีปริมาณโปรตีน 11-14% ใช้น้ำในส่วนผสม 45% ใช้มอลต์ 2% เนยขาว 0.75% และยีสต์ 1.5% เมื่อเทียบกับน้ำหนักแป้ง ส่วนผสมที่ช่วยให้ขึ้นฟูอาจใช้ผงฟูแทนยีสต์ได้ อาจมีการใช้ซิสเตอีน (Cysteine) หรือโซเดียมไบซัลไฟต์ (Sodium bisulfite) เพื่อระงับการสร้างกลูเตนให้ขนมปังนุ่มขึ้น ผสมส่วนผสมจนได้โด นำมาขึ้นรูปแล้วพักโดหลายชั่วโมงก่อนอบนำมาจุ่มสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 260 °C เป็นเวลา 5-7 นาที ลักษณะขนมปังเพรทเซลที่ได้จะเหนียวนุ่ม ปัจจุบันขนมปังเพรทเซลชนิดนุ่มได้มีการพัฒนาให้มีรูปร่างเป็นแท่ง เป็นขนมปังแซนวิช หรือแม้แต่ขนมปังฮอทด็อก โดยมีการนำมาจุ่มหรือพ่นสารละลายด่างเพื่อรักษาลักษณะที่เป็นเอกลักษณ์ของผลิตภัณฑ์เพรทเซลเอาไว้

สำหรับส่วนประกอบที่สำคัญของขนมปังเพรทเซลมีดังนี้

1) แป้งสาลี เป็นส่วนประกอบสำคัญที่สุดของขนมปังเพรทเซล เกี่ยวข้องโดยตรงกับปริมาณกลูเตนในขนมปัง โดยความแข็งของเพรทเซลขึ้นอยู่กับปริมาณโปรตีนในแป้ง รวมทั้งระดับการดูดซับน้ำของโด (Dough water absorbtion level) เวลาการเกิดโด (Dough development time) และความคงตัวของโด (Dough stability)

2) น้ำ ปริมาณน้ำสัมพันธ์กับการสร้างกลูเตน และการเกิดเจลของสตาร์ช โดยหากใช้ปริมาณน้ำน้อยจะทำให้เพรทเซลที่มีลักษณะกรอบ แตกง่าย แต่ถ้าใช้ปริมาณน้ำมาก สตาร์ชจะเกิดเจลได้มาก ส่งผลให้มีเนื้อสัมผัสที่แข็ง

3) ยีสต์ เป็นสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว ขยายพันธุ์โดยการแตกหน่อหรือแบ่งตัว อาหารที่จำเป็นคือน้ำตาลมีอุณหภูมิที่เหมาะสมแก่การเจริญเติบโตคือ 70 – 95 °F ยีสต์มี 3 ชนิด คือ ยีสต์สด ยีสต์แห้งเม็ด และยีสต์แห้งผง ยีสต์มีหน้าที่คือ สร้างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้โดขยายตัว ทำให้เกิด

โครงสร้างและลักษณะของเนื้อของโด ทำให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นรสเฉพาะตัว และช่วยเสริมคุณค่าทางอาหาร

4) น้ำตาล โดยหน้าที่หลักของน้ำตาลที่มีต่อเพรทเซลคือ ให้ความหวานแก่ผลิตภัณฑ์และกลิ่นรส และเป็นอาหารของยีสต์ในระหว่างการหมัก โดยน้ำตาลถูกย่อยด้วยเอ็นไซม์เป็นโมเลกุลน้ำตาลขนาดเล็ก ทำให้สีผิวของขนมสวยขึ้น

5) น้ำมันหรือไขมัน เป็นน้ำมันที่ได้มาจากเมล็ดแห้งของพืชที่ให้น้ำมัน เช่น ปาล์ม ถั่วเหลือง ข้าวโพด และฝ้าย โดยนำมาผ่านขบวนการเพื่อให้ได้น้ำมันบริสุทธิ์ นำเอาสีและสิ่งแปลกปลอมเจือปนออกไป สีของน้ำมันขึ้นกับพืชที่นำมาใช้สกัด โดยส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นสีเหลืองอ่อน มีลักษณะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง และมีปริมาณไขมัน 100% หน้าที่ของน้ำมันและไขมันสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ใช้ยีสต์ เช่น ขนมปัง คือให้ความอ่อนนุ่ม กลิ่นรส ช่วยกักเก็บก๊าซที่เกิดขึ้น ป้องกันอากาศภายนอก ช่วยหล่อลื่นกลูเตน และเพิ่มปริมาตรขนมปัง

2.9.2 มัฟฟิน (จิตธนา แจ่มเมฆ และอรอนงค์ นัยวิกุล, 2539; ณนนท์ แดงสังวาลย์, 2553)

มัฟฟินเป็นชื่อผลิตภัณฑ์ขนมอบชนิดหนึ่ง จัดอยู่ในขนมอบประเภทควิกเบรด (Quick bread) โดยขนมอบประเภทควิกเบรดนี้จะขึ้นฟูด้วยผงฟู จึงไม่ต้องใช้เวลามากในการคอยให้ขนมขึ้นฟู การขึ้นฟูขยายตัวของขนมใช้เวลาเดียวกับที่ขนมอบ นอกจากนี้ยังใช้เวลาผสมเครื่องปรุงสั้นๆ แล้วจึงนำเข้าเตาอบ รสชาติจะดีที่สุดเมื่อเสิร์ฟร้อนๆ ดังนั้นจึงนิยมเสิร์ฟเป็นอาหารเช้า แต่บางชนิดสามารถเสิร์ฟเป็นมื้อกลางวันและมื้อเย็นได้ ใช้เวลาและเทคนิคการทำน้อยกว่าขนมปังที่ขึ้นฟูด้วยยีสต์

มัฟฟินจัดได้ว่าเป็นขนมปังที่ได้รับความนิยมชนิดหนึ่ง เนื่องจากเป็นอาหารที่มีคุณค่าแก่ร่างกาย ง่ายต่อการพกพา และสามารถปรุงแต่งเป็นอาหารคาวหวานได้มากมายหลายชนิด มัฟฟินมีรสชาติที่หวานน้อยกว่าเค้ก และมีลักษณะที่แข็งกว่าเค้ก บางครั้งอาจเรียกมัฟฟินว่า คัพเค้ก เนื่องจากมักนิยมอบในพิมพ์หรือถ้วย

ควิกเบรด (Quick bread) เป็นผลิตภัณฑ์ขนมอบประเภทขนมปังที่ขึ้นฟูด้วยสารเคมี เช่น ผงฟู และใช้เวลาสั้นในการเตรียม โดยการทำมัฟฟินจัดเป็นการทำขนมอบแบบควิกเบรด โดยเทคนิคที่ใช้ในการทำควิกเบรดมีดังนี้

1) ในการอบควรใช้พิมพ์และถาดอลูมิเนียมผิวมัน พิมพ์หรือถาดที่มีผิวมันจะสะท้อนความร้อนช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีผิวสีทองและนุ่ม

2) ควรเลือกใช้ผงฟูหรือผงโซดาที่ใหม่ เพราะผลิตภัณฑ์จะขึ้นฟูด้วยแก๊สคาร์บอนไดออก-ไซด์จากผงฟู ซึ่งมีข้อสังเกตดังนี้

2.1) ผงฟูจะทำปฏิกิริยากับน้ำหรือของเหลวอื่นๆ และเมื่อได้รับความร้อนจากการอบจะเกิดปฏิกิริยาได้เต็มที่ และช่วยดันให้ขนมขึ้นฟู

2.2) ใช้ครีมออฟทาร์ทาร์ ½ ช้อนชา ผสมกับเบคกิ้งโซดา ¼ ช้อนชา แทนผงฟูจำนวน 1 ช้อนชา

2.3) หากจำเป็นต้องใช้ผงฟูเก่าเก็บ ควรตรวจสอบว่ายังสามารถเกิดปฏิกิริยาให้ได้มากน้อยเพียงใด โดยใส่ผงฟู 1 ช้อนชา ลงในน้ำร้อน 1/3 ถ้วยตวง หากเกิดฟองอากาศอย่างรวดเร็วแสดงว่ายังใช้ได้

2.4) ผงโซดาที่ทำปฏิกิริยากับเครื่องปรุงที่เป็นกรด จะเกิดปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วเมื่อถูกน้ำ ต้องรีบเอาเข้าให้เร็วที่สุด

3) อย่าจับต้องหรือคนมากเกินจำเป็น เพราะจะทำให้ควิกเบรดที่อบสุกแล้วมีเนื้อแน่นและเหนียว

4) ควิกเบรดส่วนใหญ่เสิร์ฟทันทีที่อบสุก เพราะทั้งแพนเค้ก และบิสกิตจะมีรสชาติดีที่สุดขณะร้อนจัด สำหรับมัฟฟินและคอฟฟี่เค้กแม้จะคลายร้อนแล้วแต่รสชาติยังพอใช้ได้ ส่วนโลฟควรเก็บค้างคืน

โดยทั่วไปวัตถุดิบสำหรับการผลิตมัฟฟินคล้ายกับวัตถุดิบสำหรับการผลิตเค้กและคุกกี้ ส่วนประกอบที่สำคัญและมีผลต่อการเกิดลักษณะทางโครงสร้าง เนื้อสัมผัส และกลิ่นรส ได้แก่ แป้งสาลี ไข่ไก่ นม ไขมัน น้ำตาล เกลือ สารที่ช่วยฟู และน้ำ โดยอาจมีการปรุงแต่งเพิ่มเติม เช่นการเติมกลิ่นวนิลลา หรือเติมผลไม้ เป็นต้น โดยส่วนประกอบต่างๆมีหน้าที่ ดังนี้

1) แป้งสาลี เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตขนมอบทุกชนิด ซึ่งประกอบด้วยโปรตีน 2 ชนิด รวมกันอยู่ในสัดส่วนที่เหมาะสม คือ กลูเตนิน (Glutenin) และไกลอะดิน (Gliadin) เมื่อแป้งผสมกับน้ำในอัตราส่วนที่ถูกต้องและมีการนวดผสมจะทำให้เกิดกลูเตน (Gluten) ซึ่งกลูเตนเกิดจากการเชื่อมประสานของโปรตีนทั้ง 2 ชนิดดังกล่าวเกิดเป็นโครงข่ายร่างแหและกักเก็บอากาศไว้ ทำให้เกิดโครงสร้างที่จำเพาะของผลิตภัณฑ์และกลายเป็นโครงสร้างแบบฟองน้ำเมื่อได้รับความร้อนจากการอบ

โดยทั่วไปการผลิตมัฟฟินนิยมใช้แป้งสาลีอเนกประสงค์ ซึ่งได้จากการผสมข้าวสาลีชนิดแข็งและชนิดอ่อนเข้าด้วยกันในสัดส่วนที่เหมาะสม มีโปรตีนอยู่ในระดับปานกลาง

2) ไข่ เป็นวัตถุดิบที่มีความสำคัญสำหรับการผลิตมัฟฟิน มีคุณสมบัติเป็นตัวช่วยให้ผลิตภัณฑ์ขึ้นฟู เมื่อตีไข่ขาวจะเกิดฟองซึ่งประกอบด้วยฟองอากาศเล็กๆเป็นจำนวนมาก ฟองอากาศจะขยายตัวเมื่อได้รับความร้อนและฟองอากาศนี้จะคงตัวเมื่ออบ และจับตัวเป็นโครงสร้างที่แข็งแรงของผลิตภัณฑ์ ไข่มีผลทำให้ผลิตภัณฑ์มีสี กลิ่น รส และเพิ่มคุณค่าทางสารอาหารแก่ผลิตภัณฑ์ขนมอบ ไข่มีไขมันช่วยให้ส่วนผสมมีความมันและผสมง่ายขึ้น นอกจากนี้ไข่แดงยังช่วยเพิ่มความนุ่มให้แก่ผลิตภัณฑ์ด้วย

3) นม ประกอบด้วยไขมัน โปรตีน น้ำตาล และแร่ธาตุ โดยทั่วไปนมที่นำมาใช้ในผลิตขนมอบคือนมชนิดที่มีไขมันเต็ม หรือนมสดบริสุทธิ์ และนมปราศจากไขมัน หรือที่เรียกว่าหางนมสด และบัตเตอร์มิลค์

นมจัดเป็นส่วนผสมที่มีผลทำให้เกิดโครงสร้างที่ดีแก่ผลิตภัณฑ์ เสริมคุณค่าทางอาหารและกลิ่นรสแก่ผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติช่วยให้ส่วนผสมอื่นๆเข้ากัน เช่นการละลายน้ำตาล ซึ่งเป็นโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ ความชื้นของนมไม่มีผลต่อความแข็งหรือความนุ่มของผลิตภัณฑ์ แต่เมื่อรวมกับส่วนผสมอื่นๆแล้วอาจช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์มีทั้งความแข็ง หรือความนุ่มได้

4) ไขมันและน้ำมัน สำหรับการผลิตขนมอบเป็นไขมันจากพืชหรือสัตว์ สำหรับไขมันจากสัตว์ได้แก่ เนยสด (Butter) ผลิตจากนมวัว ทำหน้าที่ให้กลิ่นรสแต่มีความสามารถในการเป็นครีมต่ำ นั่นคือเนยจะตีเป็นครีมไม่ดีและขาดความเป็นเนื้อเดียวกัน เค้กที่ทำจากเนยสดโดยทั่วไปจะมีปริมาตรต่ำ เนื้อเค้กหยาบ แต่มีรสชาติหอมหวานน่ารับประทาน ส่วนไขมันจากพืชได้แก่ มะพร้าว ถั่วเหลือง ปาล์ม ถั่วลิสง ข้าว เมล็ดฝ้าย และงา ไขมันพืชนั้นสามารถทำผลิตภัณฑ์ได้หลายชนิดและสามารถตีเป็นครีมได้ดี ในกรณีที่ใช้ไขมันผสมหรือมาร์การีนแทนเนยสด

จิตธนา และอรอนงค์ (2539) ได้กล่าวว่า ไขมันมีหน้าที่ช่วยในการเกิดครีมที่คุณภาพ หมายถึงความสามารถของไขมันในการที่จะกักเก็บเอาอากาศเข้าไว้ เมื่อไขมันถูกตีแรงๆและเร็ว โดยเฉพาะเมื่อผสมกับส่วนผสมอื่นๆ จะทำให้เนื้อเรียบลื่น ซึ่งมีผลต่อความนุ่มของผลิตภัณฑ์ และถ้าไขมันที่ใช้มีคุณสมบัติในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ จะช่วยให้ส่วนผสมที่เป็นของเหลวกับส่วนผสมน้ำและน้ำตาลเข้ากันได้ดี จึงทำให้เนื้อผลิตภัณฑ์มีความชุ่มฉ่ำและอ่อนนุ่ม

5) น้ำตาล เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่เป็นผลึก ละลายได้ดีในน้ำ มีรสหวาน มีหน้าที่ช่วยให้ความหวานแก่ผลิตภัณฑ์ ช่วยในการตีครีมและไข่ให้มีความคงตัวและขึ้นฟู ช่วยเก็บความชื้นและทำให้ผลิตภัณฑ์มีความชุ่มชื้นอยู่ได้นาน ทำให้เปลือกนอกของผลิตภัณฑ์และเนื้อผลิตภัณฑ์เกิดสี และมีคุณค่าทางอาหารแก่ผลิตภัณฑ์

6) สารที่ช่วยฟู คือสารที่ช่วยให้ขนมขึ้นฟู มีความเบา โปร่ง และพองตัวขึ้น ลักษณะเนื้อเป็นรู สารที่ช่วยฟูที่ผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่นิยมใช้ ได้แก่

6.1) เบคกิ้งโซดา (Baking Soda) หรือโซดาไบคาร์บอเนต เมื่อได้รับความร้อนแล้ว สารดังกล่าวจะให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ การใช้สารเคมีชนิดนี้จะมีผลเสียคือมีสารตกค้างอยู่ในผลิตภัณฑ์ ในกรณีที่ใส่ในปริมาณมากก็จะมีสารตกค้างมาก ซึ่งอาจจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีรสเฝื่อน นอกจากนั้นอุณหภูมิที่ต้องใช้ในการผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของเบคกิ้งโซดายังสูงอีกด้วย ดังนั้นก๊าซส่วนใหญ่จะเกิดใยขั้นตอนสุดท้ายของการอบ ซึ่งเมื่อเสร็จก็จะผลิตก๊าซออกมาได้เพียงครึ่งเดียว ทำให้การขึ้นฟูของผลิตภัณฑ์ไม่เต็มที่หรือไม่ดีเท่าที่ควร ดังนั้นเพื่อให้สารตกค้างหมดไปสามารถปรับได้โดยการเติมกรดอาหารลงไป เช่น นมเปรี้ยว น้ำส้มสายชู เป็นต้น

6.2) เบคกิ้งพาวเดอร์หรือผงฟู (Baking Powder) เป็นสารที่ช่วยให้ผลิตภัณฑ์ขึ้นฟูโดยการผสมเบคกิ้งโซดากับสารเคมีที่ทำหน้าที่เป็นกรด โดยผงฟูที่ใช้ในการผลิตขนมอบนั้นมี 2 ชนิด คือ ผงฟูที่ให้ปฏิกิริยาเร็วหรือผงฟูกำลังหนึ่ง (Single Acting หรือ Fast Action) โดยผงฟูชนิดนี้จะผลิตก๊าซออกมาอย่างรวดเร็วหลังจากผสม จึงต้องนำเข้าอบทันทีหลังผสมเสร็จ ส่วนผงฟูที่ให้ปฏิกิริยาช้าหรือผงฟูกำลังสอง (Double Acting) ผงฟูชนิดนี้นิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรมขนม เพราะไม่จำเป็นต้องรีบนำเข้าอบหลังจากผสมเสร็จ สามารถรอคอยการเข้าอบได้ระยะหนึ่ง

สารที่ช่วยให้ขึ้นฟูสองชนิดนี้จะเกิดปฏิกิริยาในขณะผสม จะได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แทรกตัว นอกจากการขึ้นฟูด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แล้ว มัฟฟินยังอาศัยการขึ้นฟูด้วยอากาศที่แทรกตัวอยู่ในส่วนผสมจากการตีเนยกับน้ำตาลเมื่อทำการผสมแบบครีมเนย หรือไข่กับน้ำตาลในการทำแบบเกิดฟอง หรือการผสมส่วนผสมต่างๆ ให้เข้ากัน และเมื่อผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยการอบจะเกิดการขึ้นฟูด้วยไอน้ำขณะอบด้วย

7) เกลือ ช่วยปรับปรุงกลิ่นรส ทำให้กลูเตนแข็งแรง และยืดหยุ่นเหมาะสม ช่วยยับยั้งเอนไซม์ที่ย่อยโปรตีน จึงไม่เกิดการย่อยสลายกลูเตนมากเกินไป และป้องกันการเจริญของแบคทีเรีย

8) น้ำ ทำให้เกิดกลูเตน ช่วยควบคุมความหนืดของโด ช่วยละลายส่วนผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน ช่วยให้สตาร์ชเกิดการพองตัว ช่วยให้ผลิตภัณฑ์ไม่แห้ง และช่วยให้เอนไซม์ทำงานได้ดี

การผลิตมัฟฟินมีขั้นตอนการผสม 2 แบบ ซึ่งมีลักษณะและวิธีการแตกต่างกัน ดังนี้

1) วิธีการผสมแบบเกิดฟอง (Foaming Method หรือ Sponge Method) คือกรรมวิธีที่มีการคนหรือตีไข่ให้ขึ้นฟูระหว่างการผลิต ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1.1) ละลายเนยด้วยความร้อนเตรียมไว้

1.2) ตีไข่ไก่ และน้ำตาลให้ขึ้นฟู เติมกลิ่นสังเคราะห์

1.3) เติมแป้งสาลี คนจนส่วนผสมเข้ากัน

1.4) เติมเนยที่ละลายแล้วลงในส่วนผสม

1.5) พักแป้งไว้สักครู่

1.6) ตักหยอดลงในพิมพ์ นำเข้าอบที่อุณหภูมิประมาณ 375–400 องศาฟาเรนไฮต์ นาน 10–15 นาที นำออกจากเตาอบ

2) วิธีการผสมแบบครีมเนย (Creaming Method) คือกรรมวิธีที่มีการคนหรือตีส่วนผสมไขมัน เช่น เนยสด เนยขาว หรือเนยเทียมให้ขึ้นฟู วิธีการคนหรือตีส่วนผสมทั้งสองในวิธีนี้มีหน้าที่ในการช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาตรที่ขึ้นฟู ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

2.1) ผสมเนย น้ำตาลทรายเข้าด้วยกัน คนจนส่วนผสมอ่อนนุ่มและเป็นสีขาวนวล

2.2) เติมไข่ไก่ และกลิ่นสังเคราะห์ลงในส่วนผสมครีม

2.3) เติมแป้งสาลีคนจนส่วนผสมเข้ากัน

2.4) พักแป้งไว้สักตรู่

2.5) ตักหยอดลงในพิมพ์ นำเข้าอบที่อุณหภูมิ 375-400 องศาฟาเรนไฮต์ นาน 10-15 นาที นำออกจากเตา

ในการทำมัฟฟินอาจมีเทคนิคเฉพาะดังต่อไปนี้

1) ในการทำมัฟฟินแต่ละครั้งควรเลือกใช้เครื่องมือที่ช่วยในการชั่งตวงวัดส่วนผสมอย่างถูกต้อง หรือศึกษาก่อนการใช้เพื่อให้ได้ขนมที่มีลักษณะที่ดีและมาตรฐานในการทำ

2) การผสมแป้งควรใช้เวลาในการผสมอย่างรวดเร็ว หากผสมนานจะทำให้ขนมมีเนื้อเหนียวและแข็ง โดยคนเครื่องปรุงแห้งกับน้ำ พอเครื่องปรุงแห้งดูดน้ำเข้าไปหมดก็เพียงพอแล้ว การคนใช้เพียง 12-15 ครั้งเท่านั้น แบตเตอร์จะอยู่สภาพเป็นก้อนๆ หากคนจนส่วนผสมเข้ากันเป็นเนื้อเดียวกันเมื่ออบสุกจะเกิดโพรงอากาศภายใน เป็นโพรงยาว และผิวหน้าจะเกิดยอดแหลมขึ้น

3) อุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบควรใช้ตั้งแต่ 375-400 องศาฟาเรนไฮต์ ถ้าใช้อุณหภูมิอ่อนเกินไป ขนมที่ได้ออกมานั้นจะไม่นูนสวยและจะมีลักษณะแบนโดยลักษณะที่ดีของมัฟฟินจะต้องนูนแตกตรงกลาง ดังนั้นจึงควบคุมอุณหภูมิของเตาอบให้ถูกต้อง

4) ก่อนการอบมัฟฟินทุกครั้งควรเปิดเตาอบและปรับอุณหภูมิล่วงหน้าก่อนประมาณ 15-20 นาที เพื่อให้ได้อุณหภูมิที่ต้องการและความร้อนนั้นทั่วถึง

5) การวางชิ้นขนมก่อนอบควรวางเรียงให้ชิ้นขนมห่างกันประมาณ 1 นิ้ว ทั้งนี้เพื่อให้ความร้อนกระจายไปได้ทั่วทุกด้านของพิมพ์ หรือการหยอดแบตเตอร์ลงในพิมพ์ควรหยอดลงในพิมพ์มากน้อยตามตำหรับกำหนด หากยังเหลือช่องพิมพ์ว่างอยู่ พิมพ์ละ 1-2 ช้อนโต๊ะ เพื่อยืดอายุของพิมพ์และยังช่วยไม่ให้เกิดความร้อนจัดแผ่ขยายไปยังมัฟฟินที่อยู่ในช่องพิมพ์ที่อยู่ติดกันจนเป็นเหตุให้เกรียมและแห้งเกินไปด้วย

6) ในการอบมัฟฟินควรอบแค่พอสุก ซึ่งสามารถสังเกตได้จากการใช้หมายปลายแหลมจิ้มทดสอบตรงกลางของขนม ถ้าหากไม่มีเศษมัฟฟินติดขึ้นมากับไม้แสดงว่าสุก หรือใช้นิ้วสัมผัสด้านหน้า

มัฟฟิน ถ้ารอยนิ้วนั้นถูกดันกลับขึ้นมาแสดงว่าขนมสุก ทั้งนี้หากอบนานเกินจะทำให้เนื้อขนมนั้นหยาบแห้งและมีผิวหน้าที่แข็ง

7) ในระหว่างการอบขนมอยู่นั้นไม่ควรเปิดเตาอบบ่อยๆ เพราะจะทำให้ขนมขึ้นไม่ดีเท่าที่ควร และสามารถเปิดดูได้เมื่อเวลาผ่านไป 3 ใน 4 ของระยะเวลาที่อบ

8) ควรทดสอบเวลาอบให้แน่นอนก่อน พิมพ์ขนาดต่างกัน ระยะเวลาการอบไม่เท่ากัน

9) ให้นำมัฟฟินออกจากพิมพ์ทันทีที่นำออกจากเตาอบ เพื่อให้ไอน้ำระเหยออกโดยเร็ว ป้องกันไม่ให้มัฟฟินแฉะ

10) การเก็บรักษา หากต้องการเก็บไว้รับประทานโดยที่มัฟฟินนั้นยังมีสภาพคงเดิม ควรเก็บรักษาอย่างถูกวิธีคือ เก็บในภาชนะที่ปิดสนิท และไว้ในตู้เย็น เพื่อรักษาความชื้นให้อยู่ในมัฟฟิน และเพื่อให้ได้รสชาติและคุณภาพที่ดีที่สุด ก่อนรับประทานควรอุ่นด้วยไมโครเวฟที่มีอุณหภูมิสูง เป็นเวลา 15 วินาที ก่อนรับประทาน

11) ในกรณีที่ต้องการเก็บรักษาในช่องแช่แข็งนั้น ก่อนนำมารับประทานควรนำขนมออกมาคลายความเย็นในอุณหภูมิห้องก่อน 2-3 ชั่วโมง หรือนำเข้าไมโครเวฟเพื่อละลายน้ำแข็ง แล้วจึงค่อยอุ่นด้วยอุณหภูมิสูง

ปัญหาที่อาจเกิดขึ้นในระหว่างการทำมัฟฟิน

1) รอยริ้วบนหน้าเค้ก ซึ่งมีสาเหตุจาก
   1.1) ผสมส่วนผสมไม่เพียงพอ แป้งยังไม่เข้ากับเนย
   1.2) กวาดส่วนผสมด้านข้างอ่างผสมไม่ทั่วถึง
2) มัฟฟินหน้าไม่แตกนูน
   2.1) อุณหภูมิที่ใช้อบต่ำเกินไป
   2.2) พักแป้งน้อยเกินไป
3) ขนมมีเนื้อหยาบ
   3.1) อบนานเกินไป
   3.2) ปริมาณไขมันและน้ำตาลในสูตรน้อยเกินไป
   3.3) แป้งในสูตรมากเกินไป
4) เปลือกของมัฟฟินหนักและหนา
   4.1) แป้งมากเกินไป
   4.2) อบนานเกินไป
   4.3) เตาอบร้อนเกินไป
5) มัฟฟินมีขนาดเล็กกว่าปกติ
   5.1) ปริมาณผงฟูน้อยเกินไป
   5.2) เตาอบร้อนเกินไป
   5.3) พิมพ์มีขนาดใหญ่เกินไป

2.9.3 น้ำสลัด

น้ำสลัด (Dressing) เป็นเครื่องปรุงรสที่ทำให้สลัดมีรสชาติ ที่ได้จากการผสมน้ำมันพืชกับไข่แดงให้เป็นเนื้อเดียวกันหรือเกิดอีมัลชัน และปรุงรสด้วยน้ำตาล น้ำส้มสายชู และส่วนประกอบอื่นๆ ที่

ใช้ปรุงแต่งรสอาหาร เปรี้ยว เค็ม หวาน ลักษณะทั่วไปของน้ำสลัดมีสีขาวนวล มีลักษณะเหลวค่อนข้างข้น เป็นเนื้อเดียวกัน มีปริมาณไขมันทั้งหมด 30-65 %โดยน้ำหนัก และมีความเป็นกรดด่างไม่เกิน 4.1 (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2540) มีลักษณะเนื้อสัมผัสหลายแบบ ตั้งแต่เป็นของเหลวใส ของเหลวข้นเทออกจากภาชนะได้ และข้นแข็งจนใช้ช้อนตักออกจากภาชนะ (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2548) โดยทั่วไปน้ำสลัดแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ (อมราภรณ์ วงษ์ฟัก, 2547)

1) น้ำสลัดใส (French dressing) มีลักษณะเป็นของเหลวประกอบด้วยน้ำมัน น้ำส้มสายชู เกลือ น้ำตาล และเครื่องเทศสมุนไพร มีน้ำมันไม่น้อยกว่า 35% การผสมน้ำสลัดประเภทนี้สามารถผสมโดยวิธีนำส่วนผสมทั้งหมด ผสมใส่ขวดและเขย่าให้ส่วนผสมเข้ากัน

2) น้ำสลัดข้น (Mayonnaise) จะมีลักษณะข้นกว่าน้ำสลัดใส ส่วนประกอบของไข่ดอง น้ำมันพืช น้ำส้มสายชู เกลือ และน้ำตาล หรือเพิ่มเครื่องเทศสมุนไพร ผลไม้สด น้ำผลไม้ เพื่อให้เกิดลักษณะของน้ำสลัดที่แตกต่างกันออกไป น้ำสลัดประเภทนี้จะมีน้ำมันอย่างน้อย 68%

น้ำสลัดเป็นอีมัลชันที่มีการกระจายตัวแบบน้ำมันในน้ำ (oil- in- water emulsion) โดยมีน้ำที่ได้จากน้ำส้มสายชู และไข่เป็นตัวกลาง (continuous phase) ให้เกิดการกระจายตัวของเม็ดน้ำมันขนาดเล็ก (dispersed phase) (McClements, 1999) นอกจากนี้ไข่ยังทำหน้าที่เป็นสารอีมัลซิไฟเออร์ โดยส่วนของไข่แดงจะประกอบด้วยไลโปโปรตีน และไข่ขาวมีอัลบูมิน ที่ทำให้ไข่เป็นสารช่วยกระจายตัวได้ การกระจายตัวของน้ำมันและของเหลวจะอยู่ตัวได้นานมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิในการเก็บน้ำสลัด ความเข้มข้นของสารช่วยกระจายตัว ความเป็นกรดด่าง ประจุบนอนุภาคน้ำมันปริมาณสารแขวนลอยและสารที่มีลักษณะเป็นผง เช่น แป้งและเครื่องเทศต่างๆ ที่ผสมอยู่ในน้ำสลัด เป็นต้น ความข้นหนืดของน้ำสลัดจะขึ้นกับขนาดและปริมาณของเม็ดน้ำมัน (oil droplet) หากเม็ดน้ำมันมีขนาดเล็กและมีปริมาณมาก น้ำสลัดที่ได้จะมีความข้นหนืดได้ (Ford et al., 1997)

คุณสมบัติที่ดีของน้ำสลัด (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, 2547) มีดังนี้

1) ลักษณะทั่วไปต้องละเอียดเป็นเนื้อเดียวกัน ไม่แตกตัวออกจากกัน ถ้ามีการเติมส่วนประกอบอื่นๆ ต้องกระจายตัวสม่ำเสมอ

2) สี ต้องมีสีที่ดีตามธรรมชาติของส่วนประกอบที่ใช้

3) กลิ่น ต้องมีกลิ่นที่ดีตามธรรมชาติของส่วนประกอบที่ใช้ ปราศจากกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์ เช่น กลิ่นอับ กลิ่นเหม็นหืน

4) กลิ่นรส ต้องมีกลิ่นรสที่ดีตามธรรมชาติของส่วนประกอบที่ใช้ ปราศจากกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์

5) สิ่งแปลกปลอม ต้องไม่พบสิ่งแปลกปลอมที่ไม่ใช่ส่วนประกอบที่ใช้ เช่น เส้นผม ขนสัตว์ ดิน ทราย กรวด เป็นต้น

6) ค่าเพอร์ออกไซด์ (กรณีที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ) ต้องไม่เกิน 30 mgสมมูลเพอร์ออกไซด์ออกซิเจน/kg

7) วัตถุเจือปนอาหาร

- สารเพิ่มความเป็นกรดในปริมาณที่เหมาะสม
- สี ห้ามใส่สีสังเคราะห์ทุกชนิด

- สารปรุงแต่งกลิ่นรสมีในปริมาณที่เหมาะสม
- สารให้ความคงตัว มีปริมาณที่เหมาะสม
- หากมีการใช้วัตถุกันเสียให้ใช้ได้ตามชนิดและปริมาณที่กำหนด

8) จุลินทรีย์

- จุลินทรีย์ทั้งหมด ต้องไม่เกิน 1x104 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 g
- *Salmonella* (กรณีมีไข่ไก่เป็นส่วนประกอบ) ต้องไม่พบในตัวอย่าง 25 g
- *Staphylococcus aureus* ต้องไม่พบในตัวอย่าง 1 g
- *E. coli* โดยวิธี MPN ต้องน้อยกว่า 3 ในตัวอย่าง 1 g
- ยีสต์และรา ต้องไม่เกิน 100 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 g

สำหรับส่วนประกอบที่สำคัญของน้ำสลัดมีดังนี้ (Wiess, 1970)

1) น้ำมันสลัด คือ น้ำมันพืชบริโภคผ่านกรรมวิธีคงความใสไว้แม้เก็บในตู้เย็น ได้แก่ น้ำมันข้าวโพด น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน น้ำมันที่อยู่ในสภาพอนุภาคเล็กๆ ทำหน้าที่ให้ความแข็งแรง ถ้าปริมาณน้ำมันยิ่งมากน้ำสลัดจะยิ่งข้นจนกระทั่งทรงตัวเป็นของแข็งที่อ่อนนุ่มได้ แต่ถ้าน้ำมันมากเกินกว่าส่วนน้ำจะอุ้มไว้ได้ น้ำมันจะรวมตัวกันเอง และแยกตัวออกจากน้ำ เรียกว่า Emulsion breakdown โดยทั่วไปนิยมใช้น้ำมันถั่วเหลือง เนื่องจากมีราคาถูกและไม่เป็นไขเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จากการที่น้ำมันถั่วเหลืองมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวในปริมาณมาก จึงป้องกันการเสียสภาพของอิมัลชันเมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ที่อุณหภูมิต่ำ

2) ไข่แดง มีสารประกอบ Lecithin ทำหน้าที่เป็น Emulsifier เชื่อมอนุภาคน้ำมันกับน้ำ ทำให้อนุภาคน้ำมันสามารถกระจายอยู่ในส่วนของน้ำได้ อาจใช้เฉพาะไข่แดงหรือไข่ทั้งฟองก็ได้ ในทางอุตสาหกรรมใช้ไข่แช่แข็งหรือไข่ผงเพื่อความสะดวกในการผลิต ไข่ผงให้ความหนืดสูงกว่าไข่แช่แข็งและไข่สด ตามลำดับ ไข่ที่มีความหนืดสูงจะช่วยให้น้ำมันกระจายตัวได้ดี

3) กรด ที่ใช้เติมอยู่ในน้ำมันสลัดอยู่ในรูปของน้ำส้มสายชูหรือน้ำมะนาว น้ำส้มสายชูให้รสเปรี้ยวของกรดน้ำส้ม (acetic acid) น้ำมะนาวให้รสเปรี้ยวของกรดน้ำมะนาว (citric acid) กรดนอกจากให้รสเปรี้ยวแล้วยังทำหน้าที่ถนอมรักษาน้ำสลัด เนื่องจากการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์โดยทั่วไปนิยมใช้น้ำส้มสายชู ซึ่งมีกรดอะซิติกที่สามารถลดความต้านทานของ *Salmonella* sp. ที่ปนเปื้อน น้ำส้มสายชูมี 2 ชนิด คือ น้ำส้มสายชูที่ได้จากการหมักไวน์ผลไม้หรือไวน์ข้าวเหนียว และน้ำส้มสายชูที่ได้จากหมักแอลกอฮอล์ น้ำส้มสายชูแบบแรกมีกลิ่นหอมกว่าและราคาแพงกว่าโดยทั่วไปใช้แบบหลัง ส่วนน้ำมะนาวให้กลิ่นรสดีกว่าน้ำส้มสายชูแต่มีราคาแพงกว่า

4) เครื่องปรุงรสอื่นๆ ได้แก่ เกลือ น้ำตาล นมข้นหวาน มัสตาร์ด เครื่องเทศ ได้แก่ หอม กระเทียม พริกไทย ห้ามใช้เครื่องเทศที่ให้สี ยกเว้นคัสตาร์ดให้สีเหลือง และปาปริก้ามัสตาร์ดที่ให้สีแดง

5) ส่วนประกอบอื่นๆ อาจมีการเติมสารจับโลหะ ที่นิยมใช้คือ Disodium ethylenediamine tetraacetate (EDTA) ปริมาณไม่เกิน 75 ppm เพื่อป้องกันปฏิกิริยาการเติมออกซิเจนของน้ำมัน ทำให้การเก็บรักษานานขึ้น

ข้อควรคำนึงถึงในการบรรจุน้ำสลัดและการเปลี่ยนแปลงของน้ำสลัดในระหว่างการเก็บรักษา มีดังนี้ การบรรจุน้ำสลัดใช้ขวดแก้วปากกว้างขนาดต่างๆ การบรรจุถ้ามากจนล้นออกมาที่

เกลียวด้านนอก น้ำจะระเหยเหลือแต่น้ำมันสัมผัสกับอากาศ ทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีเกิดกลิ่นเหม็นหืน และเหนียวเป็นยาง กลิ่นเหม็นหืนดังกล่าวอาจแพร่มาที่น้ำสลัดในขวดด้วย แต่ถ้าบรรจุไม่เต็มอากาศเหนือผิวอาหารในขวด ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ การปิดฝาภาชนะบรรจุไม่สนิทหรือเปิดขวดไว้นาน ทำให้น้ำระเหยออกไปมาก เม็ดน้ำมันจะแตกตัวออก หรือเมื่อภาชนะบรรจุได้รับแรงสะเทือนมาก ทำให้เม็ดน้ำมันรวมตัวกันได้ง่าย โดยเฉพาะเมื่อทำการขนส่งเป็นระยะทางไกล ๆ การแตกตัวของน้ำสลัดอาจแก้ไขได้ โดยนำน้ำสลัดที่มีปัญหาใส่ลงในน้ำ น้ำส้มสายชู หรือไข่ก็ได้ โดยใส่ลงไปทีละน้อยๆ สลับกับการตีให้เข้ากัน (ณรงค์ นิยมวิทย์ และ อัญชนีย์ อุทัยพัฒนาชีพ, 2528)

ลักษณะการเสียและอายุการเก็บของน้ำสลัดคล้ายกันกับมายองเนส การแตกตัวจะเกิดขึ้นเมื่อเม็ดน้ำมันรวมตัวกันให้มีขนาดใหญ่ขึ้น ถ้าเกิดขึ้นในขณะทำการผสมแสดงว่าการรวมตัวเป็นอิมัลชันไม่สมบูรณ์ อาจเกิดขึ้นจากการใส่น้ำมันเร็วเกินไป ใช้สารช่วยกระจายไขมันน้อยเกินไปหรือตีน้อยเกินไป หรือการใช้น้ำมากเกินไป เมื่อตั้งน้ำสลัดไว้นานอาจเกิดการแยกชั้นได้ โดยเฉพาะส่วนที่อยู่ล่างสุดของขวด กรณีเช่นนี้เกิดจากมีส่วนผสมของน้ำเกิน 15 %การแช่แข็งทำให้สารอิมัลซิไฟเออร์หลุดออกจากผิวของเม็ดน้ำมัน น้ำมันจะรวมตัวกันและมีขนาดใหญ่ขึ้น การเก็บไว้ที่อุณหภูมิสูงเกินไป ทำให้การขยายตัวของน้ำและน้ำมันไม่เท่ากัน ทำให้น้ำมันแตกตัวออก กัน (ณรงค์ นิยมวิทย์ และ อัญชนีย์ อุทัยพัฒนาชีพ, 2528)

น้ำสลัดที่ดีควรมีความเสถียร (stability)ของอีมัลชันสูง กล่าวคือ ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อเก็บไว้เป็นเวลานาน การสูญเสียความเสถียรของอีมัลชันเกิดจาก 2 สาเหตุ คือ จากแรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งจะทำให้อีมัลชันเกิดการตกตะกอน (sedimentation) หรือเกิดการลอยตัว (creaming) นอกจากนี้ยังเกิดได้จากการที่เม็ดไขมันเคลื่อนที่เข้ามาใกล้กัน จนทำให้เกิดการเกาะกลุ่ม (flocculation) หรือการรวมตัว (coalescence) กันได้ (McClements, 1999)

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการตรวจเอกสารพบว่ามีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาการวิเคราะห์สารพฤกษเคมีในเห็ดชนิดต่างๆ การนำเห็ดมาให้ประโยชน์ การทำแห้ง และการเตรียมขั้นต้นก่อนการทำแห้ง รวบรวมได้ดังนี้

Barros, Cruz, Baptista, Estevinho, and Ferreira (2008) ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเห็ด 8 ชนิด ในด้านองค์ประกอบทางสารอาหาร องค์ประกอบของ Nutraceutical และสารสกัดสารทางยาปฏิชีวนะ สารประกอบทางอาหารที่ตรวจพบคือ ปริมาณโปรตีนพบมากในเห็ดแชมปิญอง (เห็ดกระดุม) ปริมาณไขมันพบมากที่สุดในเห็ดแตรดำ ปริมาณเถ้าพบมากในเห็ดเงา ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดมากที่สุดในเห็ดแชมปิญอง องค์ประกอบของ Nutraceutical จำพวกกรดไขมันที่สำคัญ (กรดลิโนเลอิก กรดโอเลอิก และกรดปลามมิติก) พบมากที่สุดในเห็ดแตรดำ และพบว่าเห็ดทั้ง 8 ชนิดมีสารสกัดสารทางยาปฏิชีวนะ โดยสารสกัดจากเห็ดที่ใช้เป็นสารปฏิชีวนะกับจุลินทรีย์จำพวกแบคทีเรียแก-รมบวกให้ผลในการยับยั้งดีกว่าแบคทีเรียแกรมลบ

Carvajal et. al (2012) ศึกษาสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพส่วนของลำต้นและหมวก (fruiting bodies) และ เส้นใย (mycelia) ที่ได้จากการเลี้ยงในอาหารเหลวของเห็ดกระดุมบราซิล (A. blazei) และคุณสมบัติของสารต้านอนุมูลอิสระ จากข้อมูลเบื้องต้นพบว่าเห็ดกระดุมบราซิลมีสารประกอบโพ

ลีแซกคาไรด์เป็นองค์ประกอบ โดยเฉพาะ β-glucans และในส่วนของ fruiting bodies และเส้นใยมีองค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิค กรดอินทรีย์ และสารต้านอนุมูลอิสระ จากการสกัดสารจาก fruiting bodies เส้นใยระยะอ่อน (อายุประมาณ 4 วัน) และเส้นใยระยะแก่ (อายุประมาณ 8 วัน) ด้วยวิธี Hydroalcoholic extracts พบว่ามีสารประกอบฟีนอลิคอยู่ 10 ชนิด และกรดอินทรีย์ 10 ชนิด โดยจากการทดลองศึกษาสารประกอบฟีนอลิค 3 ชนิด ได้แก่ gallic acid, syringic acid และ pyrogallol โดยเปรียบเทียบกันระหว่างส่วนของ fruiting bodies และส่วนของเส้นใยอ่อนและแก่ พบว่าแต่ละส่วนมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิคแต่ละชนิดที่แตกต่างกันโดย gallic acid มีปริมาณมากที่สุดใน fruiting bodies ส่วน syringic acid มีปริมาณมากในส่วนของเส้นใยระยะอ่อน และ Pyrogallol มีปริมาณมากในส่วนของเส้นใยระยะแก่ แต่เมื่อเปรียบเทียบสารประกอบเคมีพวกคาร์โบไฮเดรต กรดอะมิโน และสารประกอบฟีนอลิค พบว่าในเส้นใยจะมีสารประกอบเคมีมากกว่าในส่วนของ fruiting bodies และเส้นใยระยะแก่และอ่อนมีสารประกอบเคมีเหล่านั้นในปริมาณที่แตกต่างกัน ผลการทดสอบสมบัติการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ ABTS radical scavenging activities การทดสอบความสามารถการจับประจุของอิออนเหล็ก และการทดสอบการยับยั้งการเกิด lipid peroxidation พบว่า สารสกัดจาก fruiting bodies มีความสามารถมากกว่าส่วนของเส้นใย เมื่อใช้วิธี DPPH และการทดสอบการยับยั้งการเกิด lipid peroxidation แต่เมื่อใช้วิธี ABTS และการทดสอบความสามารถการจับประจุของอิออนเหล็ก พบว่าส่วนของเส้นใยมีประสิทธิภาพมากกว่าส่วน fruiting bodies ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าทั้ง Fruiting bodies และเส้นใยสามารถใช้เป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระได้

Li et al. (2014) ศึกษาถึงผลของสาร Volatile คือสารที่ให้กลิ่นรสและสาร non - Volatile คือสารที่ไม่ให้กลิ่นรส สารที่มีความสำคัญในเห็ดที่กินได้ที่กล่าวถึงคือสารตั้งต้นขนาดเล็กที่สามารถละลายได้ในน้ำ รวมไปถึงน้ำตาลที่ละลายได้ในน้ำ กรดอะมิโนอิสระ และ 5 นิวคลีโอไทด์ ตัวอย่างเห็ด 5 ชนิดที่นำมาทดลอง ได้แก่ เห็ดยานางิ (Agrocybe cylindracea) เห็ดเป๋าฮื้อ (Pleurotus cystidiosus) เห็ดกระดุมบราซิล (Agaricus blazei) เห็ดออเรนจิ (Pleurotus eryngi) เห็ดหมึก (Coprinus comatus) ผลการทดลองพบว่าผลรวมน้ำตาลทั้งหมดที่ละลายได้ในน้ำ และปริมาณของโพลีออล (สารสังเคราะห์ที่ให้ความหวานแทนน้ำตาล) พบมากในเห็ดออเรนจิ ส่วนกรดอะมิโนในเห็ดที่กินได้ถูกแบ่งออกเป็นหลายกลุ่มบนพื้นฐาน ของลักษณะรสนิยมของผู้ที่บริโภค กรดแอสพาติก และกรดกลูตามิกเป็นตัวแทนรสชาติของโมโนโซเดียมกลูตาเมต (MSG) สำหรับรสชาติเห็ดโดยทั่วไปที่พบมาก คือรสอูมามิหรือรสอร่อยซึ่งเป็นส่วนประกอบของรสชาติที่พบได้ในเห็ด ผลการตรวจสอบพบว่ากรดอะมิโนอิสระมีค่าอยู่ในช่วง 4.09 - 22.73 mg/g. MSG-like components contents มีค่าอยู่ในช่วง 0.97 - 4.99 mg/g สำหรับปริมาณ 5 – Nucleotide พบว่าอยู่ในช่วง 1.68 mg/g ในเห็ด Pleurotus eryngi ถึง 3.79 mg/g ในเห็ดหมึก

Palacios et al. (2011) ศึกษาถึงเห็ดที่สามารถรับประทานได้ 8 ชนิด Agaricus bisporus, Boletus edulis, Calocybe gambosa, Cantharellus cibarius, Craterellus cornucopioides, Hygrophorus marzuolus, Lactarius deliciosus และ Pleurotus ostreatus พบว่าเห็ด B. edulis และเห็ด A. bisporus มีปริมาณของสารประกอบฟีนอลิคมากที่สุด ขณะที่เห็ด H. marzuolus มีปริมาณของสารประกอบฟีนอลิคน้อยที่สุด สำหรับกรด Homogentisic ซึ่งเป็นกรดฟี

นอลิคอิสระที่มีความสำคัญจากผลการทดลอง พบว่าเห็ด B. edulis, A. bisporus และ C. gambosa แสดงปริมาณของกรด Homogentisic ในช่วงระหว่าง 2.5-4.5 mg/g ของน้ำหนักแห้งเห็ด ขณะที่เห็ด C. cornucopioides, P. ostreatus, L. deliciosus, H. marzuolus และ C. cibarius มีปริมาณของกรด Homogentisic ต่ำกว่า 1 mg/g ของน้ำหนักแห้งเห็ด ส่วนกรดฟีนอลิคตัวอื่นๆเช่น กรดคาเฟอิก กรดพาราโคมาลิก และกรดเฟอรูอิก พบในปริมาณที่น้อยกว่า 0.02 mg/g ของน้ำหนักแห้งเห็ด

Unekwu, Audu, Makun, & Chidi (2014) มีการศึกษาถึงสาร phytochemical และสาร antioxidant ในเห็ดที่สามารถบริโภคได้ของประเทศไนจีเรียด้วยวิธีการวิเคราะห์สาร phytochemical โดยวิธีมาตรฐาน 1,1-Diphenyl picryl hydrazyl (DPPH) พบสารประกอบต่างๆ จำพวก alkaloid, cardiac glycoside, flavonoids, terpenes, steroids, tannins และ phenol โดยพบว่าสารสกัดจากเห็ด Pleutorus ostearus มีปริมาณของสารประกอบฟีนอล (248.80±7.63 mg/g) และมีสารประกอบฟลาโวนอยด์ (42.63±0.63 mg/g) มากที่สุด สารแทนนินพบมากในเห็ด Temitomyces robustus (170.56±0.74 mg/g) และสารประกอบ DPPH มีการตรวจพบมากในเห็ด Lactarus deliciousus

Vaz et al. (2011) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิคในเห็ด 7 ชนิด ของเห็ดที่พบในประเทศโปรตุเกตด้วยวิธีการวิเคราะห์ High-performance liquid chromatography มีการตรวจพบสาร แสดงปริมาณของสารในเห็ดต่างๆ ได้แก่ phenolics acid (111.72 mg/Kg) protocatechuic (67.62 mg/Kg) และ p-hydroxybenzoic acids (41.92 mg/kg) โดยเห็ด Fistulina hepatica มีปริมาณของกรดฟีนอลิคมากที่สุดนภาพร รัตน์สมบูรณ์ (2537) ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งเห็ดหอมเพื่อให้มีการคงอยู่ของสารให้กลิ่นที่สำคัญในเห็ดหอม ได้แก่ Lenthionine โดยแปรอุณหภูมิในการอบแห้งเป็น 4 ระดับ คือ 40, 50, 60 และ 70 °C พบว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 9 ชั่วโมง ทำให้สาร Lenthionine ในเห็ดหอมมีการคงอยู่มากที่สุด

Ulziijargal et al. (2013) ศึกษาคุณภาพของขนมปังที่เสริมด้วยเส้นใยเห็ด โดยใช้เส้นใยเห็ดของ *Antrodia camphorate* (ACM), *Agaricus blazei* (ABM), *Hericium erinaceus* (HEM) และ *Phelinus linteus* (PLM) นำเส้นใยเห็ดมาทำให้เป็นผงแห้งด้วยวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง และใช้ทดแทนแป้งขนมปัง 5% วิเคราะห์คุณภาพของขนมปังดังนี้ ปริมาตรจำเพาะ ค่าสี ปริมาณกรดอะมิโนในรูปของ กรดอะมิโนอูมามิ อูมามิ 5’-นิวคลี โอไทด์ และ Equivalent umami concentration (EUC) ลักษณะเนื้อสัมผัส คุณภาพทางประสาทสัมผัส และปริมาณสารพฤกษเคมี พบว่าขนมปังที่เสริมด้วยเส้นใยเห็ดผงมีปริมาตรลดลงและมีสีน้ำตาลเล็กน้อย มีค่าความสว่างและดัชนีสีขาวต่ำ มีผลกระทบต่อลักษณะเนื้อสัมผัสเล็กน้อย คุณภาพทางประสาทสัมผัสได้รับการยอมรับต่ำ และยังคงมี Gamma-aminobutyric acid (GABA) และErgothionine (0.23 - 0.86 และ 0.79 - 2.10 mg/g ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ) โดยขนมปังขาวสูตรควบคุมมีปริมาณกรดอะมิโนอูมามิและอูมามิ 5’-นิวคลีโอไทด์ต่ำ และแสดงค่า EUC ต่ำมาก พิจารณาผลโดยรวมพบว่า สามารถนำเส้นใยเห็ดผงมาเติมทดแทนแป้งขนมปังในการผลิตขนมปังได้ โดยทำให้ขนมปังมีประโยชน์ต่อสุขภาพมากขึ้น

Chen et al. (2012) ศึกษาปริมาณ Lovastatin, Gamma-aminobutyric acid และ Ergothioneine ในหมวกและลำต้น (Fruiting body) และเส้นใยเห็ด (Mycelia) โดยในการศึกษา

หมวกและลำตัน ใช้เห็ด 29 ชนิด แยกประเภทเห็ดที่สามารถบริโภคได้และเห็ดที่มีสรรพคุณทางยา และในส่วนของเส้นใย ใช้เห็ด 17 ชนิด นำมาทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งแล้ววิเคราะห์หาปริมาณ Lovastatin, Gamma-aminobutyric acid และ Ergothioneine พบว่า หมวกและลำต้นของเห็ด *Pleurotus ostreatus* (Japan) และ *Agaricus bisporus* มีปริมาณ Lovastatin สูงที่สุด คือ 606.5 และ 565.4 mg/kg ตามลำดับ ในส่วนของเส้นใยเห็ด พบว่าเห็ด *Cordyceps sinensis* และ *Antrodia salmonea* มีปริมาณ Lovastatin สูงที่สุด คือ1365 และ 1032 mg/kg ตามลำดับ หมวกและลำต้นของเห็ด *Flammulina velutipes* และ *Boletus edulis* มีปริมาณ GABA สูงที่สุด คือ 229.7 และ 202.1 mg/kg ตามลำดับ เส้นใยเห็ดของ *Cordyceps cicadae*, *C. sinensis* และ *Agaricus blazei* มีปริมาณ GABA สูงที่สุด คือ 254.9, 220.5 และ 200.4 mg/kg ตามลำดับ หมวกและลำต้นของเห็ด *Pleurotus citrinopileatus, P. ostreatus* (Korea), *P. ostreatus* (Taiwan) และ *Pleurotus salmoneostramineus* มีปริมาณ Ergothioneine สูงที่สุด คือ 2850.7, 1829.4, 1458.4 และ 1245.0 mg/kg ตามลำดับ เส้นใยเห็ดของ *Pleurotus eryngii* มีปริมาณ Ergothioneine สูงที่สุด คือ 1514.6 mg/kg

Sogi et al. (2013) ได้ศึกษาการทำแห้งเปลือกและเมล็ดในมะม่วงพันธุ์ Tommy Atkins ด้วยวิธีต่างๆ ต่อปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ และคุณสมบัติเชิงหน้าที่ โดยอบเปลือกและเมล็ดในมะม่วงด้วยวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง การทำแห้งแบบใช้ลมร้อน การทำแห้งแบบสุญญากาศ และการทำแห้งแบบอินฟราเรด และได้ทำการวัดค่าสมบัติการละลายของผงมะม่วงแห้ง พบว่าผงมะม่วงที่ได้จากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีสมบัติการละลายสูงที่สุด และความสามารถในการอุ้มน้ำและน้ำมัน เท่ากับ 4.98 และ 3.10 ตามลำดับ สำหรับการทำแห้งแบบใช้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 4 ชั่วโมง มีความสามารถในการละลายต่ำกว่าการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งเล็กน้อย และความสามารถในการอุ้มน้ำและน้ำมัน เท่ากับ 6.04 และ 2.08 ตามลำดับ

Kong et al. (2010) ได้ศึกษาสภาวะการทำแห้งที่เหมาะสมของผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมทำเพียวเร่ฝรั่งสีชมพู ต่อปริมาณไลโคปีน และปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระไลโปฟีลิก โดย การจัดสิ่งทดลองแบบ CCD 2 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิ (50-80 องศาเซลเซียส) และเวลา (4-6 ชั่วโมง) นำสมการที่ได้จากการสร้างสมการถดถอยมาสร้างภาพพื้นผิวตอบสนอง เพื่อหาสภาวะการทำแห้งที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ปริมาณไลโคปีน และปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระไลโปฟีลิกมากที่สุด พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาจะมีผลต่อค่าปริมาณไลโคปีน และปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระไลโปฟีลิกลดลง โดยสภาวะการทำแห้งที่เหมาะสมได้แก่ ใช้อุณหภูมิ 43.8 องศาเซลเซียส เวลา 6.4 ชั่วโมง มีปริมาณไลโคปีนและปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระไลโปฟีลิกคงอยู่ 14 mg/100 g และ 21 μmol LE/100 g ตามลำดับ

วิชมณี ยืนยงพุทธกาล และคณะ (2555) ศึกษาผลของสภาวะการทำแห้งต่อคุณภาพของกากผลหนามแดงอบแห้งพบว่าสภาวะการทำแห้งทั้งอุณหภูมิและเวลามีผลต่อความคงตัวของสารพฤกษเคมี ซึ่งมีสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ โดยมีแนวโน้มว่าการใช้อุณหภูมิสูงเป็นเวลานานจะมีผลทำให้สารดังกล่าวมีปริมาณลดลง โดยสภาวะที่ยังคงรักษาสารดังกล่าวไว้ได้มากที่สุด คือ การทำแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส (200 นาที) การพัฒนาผลิตภัณฑ์พบว่าผลิตภัณฑ์ได้รับความชอบในระดับชอบเล็กน้อย ถึงชอบปานกลาง

สิชญา สิทธิพจน์ และคณะ (2552) ศึกษาการใช้ประโยชน์จากเศษเหลือในกระบวนการผลิตน้ำลูกหม่อน ด้วยการทำแห้งกากลูกหม่อนที่อุณหภูมิ 50-70°C เป็นเวลา 4-8 ชั่วโมงคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งด้วย tray dryer โดยใช้ปริมาณความชื้นต่ำกว่า 5% และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระที่สูงสุดเป็นเกณฑ์ จากการศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดด้วยวิธี Total Phenolic Assay ปริมาณแอนโทไซยานินด้วยเทคนิค HPLC และคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH Radical Scavenging Activity ของกากลูกหม่อนที่ผ่านการทำแห้ง พบว่าสภาวะการทำแห้งกากลูกหม่อนที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง มีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด คือ 1547 mg ascorbicequi /100 g dry จากผลแสดงให้เห็นว่ามีแนวโน้มว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิสูงระยะเวลาสั้นทำให้คงเหลือกิจกรรมของสมบัติการต้านอนุมูลอิสระมากกว่า เนื่องจากต้องการผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระสูงสุด จึงเลือกสภาวะการทำแห้งที่ 70°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

Katsube et al. (2009) ศึกษาผลของอุณหภูมิในการทำแห้งต่อความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกในใบหม่อน ทำแห้งด้วยลมร้อน (air drying) ที่อุณหภูมิ 40 60 70 80 และ 110 °C สำหรับใบหม่อนสด และอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 70 และ 80°C พบว่า อุณหภูมิในการทำแห้งมีผลต่อความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระและปริมาณของสารประกอบฟีนอลิก โดยการทำแห้งใบหม่อนสดด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 40 และ 60°C มีผลทำให้กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระและระดับของสารประกอบฟีนอลิกในใบหม่อนสดลดลงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.01$) เมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งใบหม่อนสดแบบระเหิด ในทางตรงกันข้ามที่อุณหภูมิ 70 80 และ 110 °C มีผลทำให้กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระและระดับของสารประกอบฟีนอลิกในใบหม่อนสดลดลงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$)

Galvez et al. (2009) ศึกษาผลของอุณหภูมิในการทำแห้งต่อปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของพริกแดง นำพริกแดงที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 5 วัน หั่นเป็นชิ้นให้มีความหนาประมาณ 4 มิลลิเมตร แล้วนำไปทำแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 60 70 80 และ 90°C อัตราความเร็วลม 2 m/s พบว่า สำหรับปริมาณสารประกอบฟีนอลิก การทำแห้งพริกแดงที่อุณหภูมิสูงมีความสำคัญต่อผลของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังเช่นที่อุณหภูมิ 90°C และหากพิจารณากิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระ พบว่าการทำแห้งพริกแดงที่อุณหภูมิสูง 80 และ 90°C มีผลทำให้กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระมีค่าสูงกว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำ 50 60 และ 70°C ซึ่งจากผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นถึงความสำคัญว่า การทำแห้งเป็นเวลานาน มีผลทำให้ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระลดลง

Nazghelichi, Kianmehr, and Aghbashlo (2010) ศึกษาการทำแห้งแครอทหั่นลูกเต๋าโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบ fluidized bed โดยมีการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส และขนาดของแครอทหั่นลูกเต๋า 4, 7 และ 10 มิลลิเมตร พบว่าขนาดของแครอทมีผลต่ออัตราการทำแห้ง โดยแครอทที่มีขนาดเล็กมีการถ่ายเทความร้อนและถ่ายเทมวลมากที่สุด น้ำระเหยออกได้เร็วเพิ่มอัตราเร็วในการทำแห้ง

Saencom et al. (2011) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตตำลึงแผ่นอบแห้ง โดยมีการเตรียมขั้นต้นด้วยการนำใบตำลึงไปลวกในน้ำร้อนและในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ที่ความ

เข้มข้น 1% 2% และ 3% w/v พบว่าการลวกใบตำลึงในสารละลาย NaCl 1% w/v ก่อนนำไปทำแห้งแบบสุญญากาศโดยใช้ความดัน 70 kPa ที่อุณหภูมิ 80 °C จะใช้เวลาในการทำแห้งน้อย มีสีปริมาณเบต้า-แคโรทีน และเนื้อสัมผัสดีกว่าการทำแห้งโดยใช้ลมร้อน

Walde, Velu, Jythirmayi, and Math (2006) ศึกษาผลของการเตรียมขั้นต้นและวิธีการทำแห้งต่อการดึงน้ำออกของเห็ด โดยทำการศึกษาเห็ด 2 ชนิด คือเห็ดกระดุม (*Agaricus biosporus*) และเห็ดนางรม (*Pleurotus flavus*) โดยวิธีการเตรียมขั้นต้นที่ใช้มีดังนี้ การแช่ในนมหมัก (Curd), การลวก, การลวกตามด้วยการแช่ในนมหมัก, การแช่ในเวย์ที่ผ่านการหมัก และการลวกตามด้วยการแช่ในเวย์ที่ผ่านการหมัก โดยการลวกใช้สารละลายเกลือ 2% ที่อุณหภูมิ 90°C และแช่ในสารละลายโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ (potassium metabisulphite) ความเข้มข้น 1000 ppm ผลการทดลองพบว่าสำหรับเห็ดนางรมใช้เวลาลวกประมาณ 3 นาที และเห็ดกระดุมใช้เวลาลวกประมาณ 4 นาที แล้วนำเห็ดที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นไปทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งที่แตกต่างกัน ได้แก่ Hot air cabinet dryer, Fluidized bed dryer, Vacuum dryer และ Microwave oven จากการทดลองสรุปได้ว่า การทำแห้งเห็ดนางรมใช้เวลาน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเห็ดกระดุม การเตรียมขั้นต้นที่ส่งผลให้ใช้เวลาในการทำแห้งน้อยที่สุดคือการแช่ด้วยนมหมักหรือเวย์ที่ผ่านการหมัก รองลงมาคือการลวกร่วมกับการแช่ในนมหมักหรือในเวย์ที่ผ่านการหมัก การลวกเพียงอย่างเดียว และสุดท้ายคือการแช่ในนมหมักเพียงอย่างเดียว และวิธีการทำแห้งที่ใช้เวลาน้อยที่สุดคือการใช้ Microwave oven รองลงมาคือการใช้ Fluidized bed dryer, Cabinet dryer และ Vacuum dryer ตามลำดับ

Zhang et al. (2012) ศึกษาถึงผลกระทบของวิธีการบดลดขนาด (micronization) ที่มีต่อสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเห็ดหอมที่นำมาศึกษา ได้แก่ วิธีการใช้แรงกล (mechanical) การบดเฉือน (shear pulverized) และ การใช้ก๊าซไอพ่นความเร็วสูงบดลดขนาด (jet millings) โดยมีการเตรียมขั้นต้นก่อนการบดลดขนาดด้วยการนำเห็ดสดส่วนของหมวกและครีบไปทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 32 ชั่วโมงและ 38 ชั่วโมง เมื่อนำเห็ดมาผ่านการบดให้เป็นผงด้วยวิธีที่ต่างกันพบว่า การบดด้วย jet millings กับหมวกเห็ด (JMC) ให้ปริมาณความชื้นและเส้นใยที่ละลายน้ำได้มากที่สุด การบดด้วยวิธีการ mechanical กับหมวกเห็ด (MMC) ให้ปริมาณไขมันมากที่สุด การบดด้วยวิธีการ shear pulverized กับหมวกเห็ด (SPC) ให้ปริมาณโปรตีนและเถ้ามากที่สุด ในด้านการศึกษาขนาดของอนุภาคผงเห็ดที่ผ่านการบดแล้วจากวิธีการต่างกัน โดยตรวจวัดค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของผงเห็ด พบว่าวิธีการ SPC ทำให้มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่น และในด้านการดึงน้ำออกจากผงเห็ดพบว่าวิธีการบดลดขนาดแบบ JMC ดีที่สุด

กฤติกา เจียรนัย และจุฑาวรรณ์ แก้วสังข์ (2555) ศึกษาผลของการเตรียมขั้นต้นด้วยการลวกในน้ำ สารละลายโซเดียมคลอไรด์ และสารละลายกรดซิตริก รวมถึงการแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์สารละลายกรดซิตริกต่อคุณภาพของใบชะพลูแห้ง พบว่าการเตรียมขั้นต้นมีผลต่อปริมาณสารพฤกษเคมี สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ และค่าสีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยการเตรียมขั้นต้นที่เหมาะสมที่สุดที่สามารถรักษาสารพฤกษเคมี และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระได้มากที่สุด ได้ใบชะพลูที่มีสีเขียวมากที่สุด คือการแช่ใบชะพลูในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 2 % เป็นเวลา 180 วินาที ก่อนการทำแห้ง จากการศึกษาผลของวิธีทำแห้งต่อ

คุณภาพของใบชะพลูผง พบว่าการทำแห้งใบชะพลูด้วยตู้อบสุญญากาศภายใต้ความดัน 36 เซนติเมตรปรอท ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 82 นาที ทำให้ได้ใบชะพลูผงที่มีคุณภาพดี โดยได้ใบชะพลูผงที่มีปริมาณสารพฤกษเคมีและสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระรวมถึงมีสีเขียวมากกว่าการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 70 นาที ผลการเปรียบเทียบคุณภาพระหว่างใบชะพลูผงกับใบชะพลูสด พบว่าปริมาณสารพฤกษเคมีและโปรตีนที่มีความแตกต่างกันกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ปริมาณแคลเซียม และปริมาณเหล็กไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

กฤษติยา ทิสมบรณ์ และนิภา เสือเดช (2556) ศึกษาการเตรียมขั้นต้นสาหร่ายผักกาดทะเลก่อนการทำแห้งด้วยวิธีการลวกในน้ำ การลวกในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ และการแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ต่อคุณภาพของสาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้ง พบว่า วิธีการเตรียมขั้นต้นมีผลต่อปริมาณโปรตีน ปริมาณใยอาหารทั้งหมด ปริมาณแคโรทีนอยด์ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ และค่าสีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยการเตรียมขั้นต้นด้วยการแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1 % เป็นเวลา 240 วินาที มีความเหมาะสมที่สุด ได้สาหร่ายผักกาดทะเลที่มีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด (%Inhibition เท่ากับ 57.32) และมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงที่สุด (เท่ากับ 5.83 gแกลลิก/100 g) โดยยังคงมีองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญในปริมาณสูงที่สุดได้แก่ ปริมาณใยอาหารทั้งหมด เท่ากับ 22.62 % (โดยน้ำหนักแห้ง) ปริมาณโปรตีน เท่ากับ 22.57 % (โดยน้ำหนักแห้ง) และปริมาณแคโรทีนอยด์ เท่ากับ 2.08 μg/100 g รวมถึงมีปริมาณผลได้สูงที่สุด เท่ากับ 9.79 % โดยสาหร่ายผักกาดทะเลแห้งที่ได้ยังคงมีสีเขียวเข้ม

บทที่ 3
วิธีดำเนินการทดลอง

วัตถุดิบและสารเคมี

1) เห็ดเข็มทอง รับจากบริษัท เอเวอร์ ไทย แอกริโปรดักส์
2) เห็ดนางฟ้า รับมาจากฟาร์มเห็ด อำเภอบ้านฉาง จังหวัดระยอง
3) เห็ดขอนขาว รับมาจากฟาร์มเห็ด อำเภอบ้านฉาง จังหวัดระยอง
4) แป้งขนมปัง ตราหงส์ขาว บริษัท ยูไนเต็ด ฟลาว มิลล์ จำกัด (มหาชน)
5) แป้งสาลีอเนกประสงค์ ตราว่าว บริษัท ยูไนเต็ด ฟลาว มิลล์ จำกัด (มหาชน)
6) น้ำตาลทรายขาว ตรามิตรผล บริษัทมิตรผล จำกัด
7) เกลือป่น ตราปรุงทิพย์ บริษัท อุตสาหกรรมเกลือบริสุทธิ์ จำกัด
8) ยีสต์สำเร็จรูป ตราเพอร์เฟค ห้างหุ้นส่วนจำกัด เกรทฮิลล์
9) น้ำมันปาล์ม ตรามรกต บริษัท มรกต อินดัสตรี้ส์ จำกัด มหาชน
10) เบคกิ้งโซดา ตราแมกกาเรต บริษัท เบนแอนด์โก จำกัด (ประเทศไทย)
11) ผงฟูดับเบิ้ลแอ็คติง ตราเบสท์ฟู้ด บริษัท ยูไนเต็ดแดรี่ฟูดส์ จำกัด
12) เนยขาว ตราใบไม้ทอง บริษัท ล่ำสูง (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน)
13) นมผง ตราเอ็นแซดเอ็มพี บริษัท ฟอนเทียร่า จำกัด
14) ไข่ไก่ ตราท็อปส์ บริษัท เซ็นทรัลฟู้ดรีเทล จำกัด
15) น้ำส้มสายชู ตราทิพรส บริษัท ไพโรจน์ (ทั่งซังฮะ) จำกัด
16) นมข้นหวาน ตรามะลิ บริษัท อุตสาหกรรม นมไทย จำกัด
17) พริกไทยป่น ตรามือ ห้างหุ้นส่วนจำกัด บางกอกชิลลี่
18) มัสตาร์ด ตราเบสท์ฟู้ด บริษัท ยูไนเต็ดแดรี่ฟูดส์ จำกัด
19) เต้าหู้ถั่วเหลือง ตราเกษตร บริษัท โซย่า ฟู้ดส์ จำกัด

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1) ตู้อบลมร้อน BINDER รุ่น FD-53 ประเทศสหรัฐอเมริกา
2) เครื่องบดอาหารแห้ง บริษัท โง้วฮวดหยู ประเทศจีน
3) เครื่องผสม ไทยมิกเซอร์ KV- 05 บริษัท กิตติวัฒนาโฮส อินดัสทรี จำกัด ประเทศไทย
4) เครื่องชั่งละเอียด Sartorius รุ่น BA 2115 ประเทศเยอรมนี
5) เครื่องวัดค่าสี (Colorimeter) Hunter Lab รุ่น Mini Scan XP Plus ประเทศสหรัฐอเมริกา
6) เครื่องวัดค่า Water Activity (a_w) Novasina รุ่น Thermo constanter TH 200 ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
7) อุปกรณ์ในการทดสอบทางประสาทสัมผัส
8) อุปกรณ์เครื่องแก้ว

วิธีดำเนินการทดลอง

3.1 การศึกษาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญจากส่วนของลำต้นและหมวกเห็ด (Fruiting body) และส่วนเหลือทิ้งบริเวณรากหรือเส้นใย (Mycelia) ของเห็ดเข็มทอง เห็ดนางฟ้า และเห็ดขอนขาว

ดำเนินการโดยวิเคราะห์องค์ประกอบจากเห็ด 2 ส่วน ได้แก่ 1) ส่วนลำต้นและหมวกเห็ด (Fruiting body) ซึ่งเป็นส่วนที่นำมาบริโภค และ 2) ส่วนเหลือทิ้งบริเวณรากหรือเส้นใย (Mycelia) เส้นใย (Mycelia) ซึ่งเป็นส่วนที่มักตัดทิ้ง ไม่นำมาบริโภค

การเตรียมตัวอย่าง

ควบคุมคุณภาพวัตถุดิบเห็ดโดยรับมาจากแหล่งเพาะในคราวเดียวกันทั้งการทดลอง กรณีเห็ดเข็มทองเลือกใช้เห็ดที่มีความยาวลำต้นประมาณ 13 - 15 เซนติเมตร กำหนดการแบ่งส่วนของส่วนเหลือทิ้ง คือ วัดความยาวตั้งแต่ส่วนโคนรากขึ้นมาประมาณ 2 เซนติเมตร ส่วนลำต้นและหมวกเห็ดคือส่วนที่ตัดเอาเส้นใยออกแล้ว กรณีเห็ดนางฟ้า กำหนดการแบ่งส่วนของส่วนของลำต้นและหมวกเห็ดคือดอกเห็ดที่มีความยาวตั้งแต่โคนลำต้นถึงหมวกเห็ด 6-9 เซนติเมตร โดยเลือกดอกเห็ดที่มีขนาดเส้นรอบวงลำต้นประมาณ 1.5-2.5 เซนติเมตร ส่วนหมวกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3.0-4.5 เซนติเมตร สำหรับส่วนเหลือทิ้ง ใช้ส่วนรากหรือเส้นใย ที่เป็นส่วนเหลือทิ้งจากการตัดแต่งก่อนการจำหน่าย กำหนดการแบ่งส่วนของส่วนเหลือทิ้ง คือ วัดความยาวตั้งแต่ส่วนโคนรากขึ้นมาประมาณ 1 เซนติเมตร สำหรับกรณีเห็ดขอนขาว กำหนดการแบ่งส่วนของส่วนของลำต้นและหมวกเห็ด คือ ดอกเห็ดที่มีความยาวตั้งแตโคนลำต้นถึงหมวกเห็ด 4-6 เซนติเมตร โดยเลือกดอกเห็ดที่มีขนาดเส้นรอบวงลำต้นประมาณ 1.0-1.5 เซนติเมตร ส่วนหมวกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2.0-3.5 เซนติเมตร สำหรับส่วนเหลือทิ้งใช้ส่วนรากหรือเส้นใย ที่เป็นส่วนเหลือทิ้งจากการตัดแต่งก่อนการจำหน่าย กำหนดการแบ่งส่วนของส่วนเหลือทิ้ง คือ วัดความยาวตั้งแต่ส่วนโคนรากขึ้นมาประมาณ 1 เซนติเมตร ลักษณะส่วนลำต้นและหมวกเห็ด และลักษณะส่วนเหลือทิ้งบริเวณรากหรือเส้นใยของเห็ดเข็มทอง เห็ดนางฟ้า และเห็ดขอนขาว แสดงดังภาพที่ 3-1 นำตัวอย่างเห็ดทั้งส่วนลำต้นและหมวกเห็ด และส่วนเหลือทิ้งบริเวณรากหรือเส้นใย มาทำความสะอาด กำจัดเศษวัสดุ ล้างด้วยน้ำสะอาด 2 ครั้ง แล้วทำให้สะเด็ดน้ำโดยวางพักบนตะแกรง แล้วสุ่มตัวอย่างไปวิเคราะห์คุณภาพ

การวิเคราะห์คุณภาพ

1) ปริมาณโปรตีน (AOAC, 2000)

2) ปริมาณกาบา (Watchararparpaiboon et al., 2010)

3) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Dewanto et al., 2002; Hun et al., 2003)

4) สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ โดยการทดสอบประสิทธิภาพการจับกับอนุมูลอิสระ DPPH (DPPH free radical scavenging activity test) (ดัดแปลงจาก Cotelle et al., 1996; Fenglin, 2004; Karagozler et al., 2008)

การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ t-test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยใช้โปรแกรม SPSS version 17

(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 3-1 ลักษณะส่วนลำต้นและหมวกเห็ด และลักษณะส่วนเหลือทิ้งบริเวณรากหรือเส้นใยของ (ก) เห็ดเข็มทอง (ข) เห็ดนางฟ้า และ (ค) เห็ดขอนขาว

3.2 การศึกษาหาวิธีการทำแห้งที่เหมาะสมของส่วนเหลือทิ้งเห็ดผง

3.2.1 การศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาการทำแห้งด้วยลมร้อนต่อปริมาณองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของส่วนเหลือทิ้งบริเวณรากหรือเส้นใยของเห็ดเข็มทองผง

การแปรรูปส่วนเหลือทิ้งของเห็ดให้เป็นผงแห้ง สามารถช่วยให้เก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้ได้นาน สะดวกต่อการนำไปใช้ประโยชน์เป็นส่วนประกอบของอาหาร และการจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ อย่างไรก็ตาม หากใช้เครื่องมือที่มีราคาแพงอาจต้องใช้ต้นทุนในการผลิตสูง ในขั้นตอนนี้จึงเลือกใช้การทำแห้งที่สามารถทำได้ง่าย ราคาไม่แพง ได้แก่ การทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน อย่างไรก็ตามสภาวะการทำแห้งด้านอุณหภูมิและเวลาอาจมีผลต่อคุณภาพ โดยเฉพาะการคงอยู่ขององค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของส่วนเหลือทิ้งของเห็ด โดยศึกษาในเห็ดเข็มทองเป็นตัวอย่างต้นแบบ

ดำเนินการโดยศึกษาผลของอุณหภูมิการทำแห้ง (40-70 องศาเซลเซียส) และเวลาในการทำแห้ง (180-300 นาที) โดยใช้ตู้อบลมร้อน จัดสิ่งทดลองแบบ CCD (Central composite design) ศึกษา 2 ปัจจัย ปัจจัยละ 5 ระดับได้สิ่งทดลองที่มีความแตกต่างกัน จำนวน 9 สิ่งทดลอง แสดงดังตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 สิ่งทดลองที่ได้จากการแปรอุณหภูมิและเวลาในการอบแห้ง โดยการจัดสิ่งทดลองแบบ Central composite Design (CCD)

สิ่งทดลอง	ค่ารหัส		ค่าจริง	
	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)
1	-1	-1	45	200
2	-1	1	45	285
3	1	-1	65	200
4	1	1	65	285
5	-1.414	0	40	240
6	1.414	0	70	240
7	0	-1.414	55	180
8	0	1.414	55	300
9	0	0	55	240

การเตรียมตัวอย่างและการทำแห้ง

นำส่วนเหลือทิ้งบริเวณรากหรือเส้นใยของเห็ดเข็มทอง มาล้างด้วยน้ำสะอาดแล้วทำให้สะเด็ดน้ำ หั่นเป็นชิ้นความยาวประมาณ 1.0 เซนติเมตร เกลี่ยบนถาดที่ใช้ทำแห้ง แล้วนำมาทำแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนตามอุณหภูมิและเวลาที่กำหนด นำตัวอย่างอบแห้งที่ได้มาบดให้เป็นผงโดยใช้เครื่องบดอาหารแห้ง และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 80 เมช บรรจุส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงในถุงอลูมิเนียมฟอยด์ เก็บไว้ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำมาวิเคราะห์

การวิเคราะห์คุณภาพ

1) ปริมาณผลได้ (Yield)

$$\%\text{Yield} = \frac{\text{น้ำหนักของส่วนเหลือทิ้งเห็ดผง} \times 100}{\text{น้ำหนักของส่วนเหลือทิ้งเห็ดสด}}$$

2) ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000)

3) ค่า a_w วัดด้วยเครื่องวัดค่า a_w (Water activity meter)

4) ค่าสี วัดด้วยเครื่องวัดสี (Colorimeter) และรายงานเป็นค่า L* a* และ b*

5) ปริมาณโปรตีน (AOAC, 2000)

6) ปริมาณกาบา (Watchararparpaiboon et al., 2010)

7) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Dewanto et al., 2002; Hun et al., 2003)

8) สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ โดยการทดสอบประสิทธิภาพการจับอนุมูลอิสระ DPPH (DPPH free radical scavenging activity test) (ดัดแปลงจาก Cotelle et al., 1996; Fenglin, 2004 ; Karagozler et al., 2008)

เกณฑ์ในการคัดเลือก

พิจารณาสภาวะการทำแห้งที่เหมาะสมโดยเลือกสิ่งทดลองที่ทำให้ได้ส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงที่มีการคงอยู่ของปริมาณสารพฤกษเคมี และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด และมีความชื้นสุดท้ายไม่เกิน 10% (Sheikh et al., 2010)

การวิเคราะห์ทางสถิติ

1) วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomize Design: CRD) และวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test โดยใช้โปรแกรม SPSS version 17

2) วิเคราะห์สมการถดถอยแบบพหุ (Mutiple Regressions) ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญในส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงกับปัจจัยที่ศึกษา โดยโปรแกรม SPSS version 17 โดยมีความสัมพันธ์ดังนี้

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

เมื่อ $Y_{1\text{-}4}$ คือ องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญในส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผง (Y_1- ปริมาณโปรตีน Y_2-ปริมาณกาบา Y_3-ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และ Y_4-สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ)

X_1 และ X_2 คือ อุณหภูมิและเวลาในการทำแห้ง ตามลำดับ

ทั้งนี้พิจารณาความน่าเชื่อถือของสมการจาก R^2 (Coefficient of Determination) ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ถ้ามีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่า สมการมีความเหมาะสม ค่า Model Significance ซึ่งบอกความสัมพันธ์ระหว่างค่า Y และค่า X ถ้ามีค่าต่ำกว่า 0.05 แสดงถึงค่า Y และ X มีความสัมพันธ์กันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และถ้ามีค่าต่ำกว่า 0.10 แสดงถึงค่า Y และ X มีความสัมพันธ์กันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 90 (Hu, 1999) และค่า Root Mean Square (RMS) ซึ่งบอกความคลาดเคลื่อนของการทำนายจากการใช้สมการ ถ้ามีค่าต่ำกว่า 20% แสดงว่า ค่าที่ได้จากการทำนายมีความคลาดเคลื่อนจากค่าจริงน้อย (Julian, 2004) ซึ่งคำนวณค่า RMS ได้จากสูตร

$$RMS = 100\sqrt{\sum \frac{[(Yex - Ypred)/(Ypred)]^2}{N}}$$

เมื่อ Yex คือ ค่าตอบสนองที่ได้จากการทดลอง

Ypred คือ ค่าตอบสนองที่ได้จากการทำนาย

N คือ จำนวนข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

3) นำสมการที่น่าเชื่อถือมาสร้างกราฟพื้นผิวการตอบสนอง (Response Surface Plot) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Statistica (Trial Version) เพื่อพิจารณาแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการทำแห้งต่อองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญในส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผง

3.2.2 การศึกษาผลของวิธีการเตรียมขั้นต้นต่อปริมาณองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของส่วนเหลือทิ้งบริเวณรากหรือเส้นใยของเห็ดนางฟ้าผง

การเตรียมขั้นต้นก่อนการทำแห้งมีผลต่อการรักษาปริมาณสารพฤกษเคมีที่สำคัญในผลิตภัณฑ์ได้ลดโอกาสเกิดปฏิกิริยาที่ไม่พึงประสงค์ต่างๆ รวมถึงสามารถช่วยลดเวลาในการทำแห้งลงได้ (Chen, Ho, Hsieh, Wang & Mau, 2012; Walde, Velu, Jyothirmayi & Math, 2006) การเตรียมขั้นต้นที่นิยม สามารถทำได้ง่าย และให้ประสิทธิภาพดีวิธีหนึ่งคือการลวก และการใช้โซเดียมคลอไรด์ร่วมด้วย (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2553; Saencom, 2011;Torringa et al., 2001) สำหรับปัจจัยที่เกี่ยวกับการทำแห้งนั้นมีหลายประการ ประการหนึ่งที่สำคัญคือ ขนาดชิ้นของวัตถุดิบก่อนการทำแห้ง มีความเกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพการระเหยออกของน้ำและการสูญเสียสารพฤกษเคมีที่สำคัญ (มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, 2549; นิธิยา รัตนาปนนท์ และพิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, ม.ป.ป.)

ในขั้นตอนนี้จึงต้องการศึกษาผลของวิธีการเตรียมขั้นต้นก่อนการทำแห้ง โดยศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับชนิดสารที่ใช้ลวก และลักษณะชิ้นของตัวอย่างต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผงแห้งที่ได้ โดยเฉพาะการคงอยู่ขององค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของเห็ด แปรปัจจัยที่ศึกษาเป็น 2 ปัจจัย ปัจจัยที่ 1 การลวก ได้แก่ ไม่ลวก ลวกในน้ำ และลวกในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ และปัจจัยที่ 2 ลักษณะชิ้นตัวอย่างก่อนการทำแห้ง ได้แก่ หั่นเป็นชิ้น และบดหยาบ โดยศึกษาในเห็ดนางฟ้าเป็นตัวอย่างต้นแบบ ได้วิธีการเตรียมขั้นต้นส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าก่อนการทำแห้ง เป็น 6 วิธี แสดงดังตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 สิ่งทดลองที่ได้จากการแปรวิธีการเตรียมขั้นต้นก่อนการทำแห้ง

สิ่งทดลอง	การลวก	ลักษณะชิ้นตัวอย่างก่อนการทำแห้ง
1	ไม่ลวก	หั่นเป็นชิ้น
2		บดหยาบ
3	ลวกในน้ำ	หั่นเป็นชิ้น
4		บดหยาบ
5	ลวกในสารละลายโซเดียมคลอไรด์	หั่นเป็นชิ้น
6		บดหยาบ

การเตรียมตัวอย่าง

นำส่วนเหลือทิ้งบริเวณรากหรือเส้นใยของเห็ดนางฟ้า มาล้างด้วยน้ำสะอาด 2 ครั้ง และล้างด้วยสารละลายคลอรีนความเข้มข้น 0.1 ppm 1 ครั้ง โดยการแช่ตัวอย่างในสารละลายคลอรีนกำหนดอัตราส่วนตัวอย่างกับสารละลายคลอรีนที่ใช้แช่เท่ากับ 1:10 แล้วทำให้สะเด็ดน้ำโดยวางพักบนตะแกรง (ดัดแปลงจากวิธีของ Uyttendaele, Neyts, Vanderswalmen, Notebaert & Debevere, 2004) นำตัวอย่างมาหั่นให้เป็นชิ้น ขนาดประมาณ 2 x 1 เซนติเมตร ก่อนการนำไปลวก

การลวก

1) การลวกในน้ำ

ดำเนินการได้โดยนำตัวอย่างที่หั่นไว้มาลวกในน้ำที่อุณหภูมิ 90 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที กำหนดอัตราส่วนชิ้นเห็ดกับน้ำที่ใช้ลวก เท่ากับ 1:10 หลังการลวกแช่ในน้ำเย็น (น้ำผสมน้ำแข็ง) ทันที เป็นเวลา 2 นาที วางบนตะแกรงให้สะเด็ดน้ำ แล้วทำให้สะเด็ดน้ำมากขึ้นโดยใช้อุปกรณ์สลัดน้ำออกจากผัก ควบคุมวิธีการสะเด็ดน้ำโดย ชั่งตัวอย่างครั้งละประมาณ 300 กรัม แล้วหมุนเหวี่ยงอุปกรณ์เป็นเวลา 3 นาที (ดัดแปลงจากวิธีของ Walde, Velu, Jyothirmayi, & Math, 2006)

2) การลวกในสารละลายโซเดียมคลอไรด์

ดำเนินการได้โดยนำตัวอย่างเห็ดที่หั่นไว้มาลวกในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 2% ที่อุณหภูมิ 90 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที กำหนดอัตราส่วนชิ้นเห็ดกับน้ำที่ใช้ลวก เท่ากับ 1:10 หลังการลวกแช่ในน้ำเย็น (น้ำผสมน้ำแข็ง) ทันที เป็นเวลา 2 นาที วางบนตะแกรงให้สะเด็ดน้ำ แล้วทำให้สะเด็ดน้ำมากขึ้น โดยใช้อุปกรณ์สลัดน้ำออกจากผัก ควบคุมวิธีการสะเด็ดน้ำโดย ชั่งตัวอย่างครั้งละประมาณ 300 กรัม แล้วปั่นเหวี่ยงอุปกรณ์เป็นเวลา 3 นาที (ดัดแปลงจากวิธีของ Walde, Velu, Jyothirmayi, & Math, 2006)

การเตรียมลักษณะชิ้นตัวอย่างก่อนการทำแห้ง

1) การหั่นเป็นชิ้น

หมายถึงตัวอย่างซึ่งมีลักษณะการหั่นเป็นชิ้น ขนาดประมาณ 2 x 1 เซนติเมตร ตามที่ได้เตรียมตัวอย่างไว้ แสดงดังภาพที่ 3-2 (ก)

2) การบดหยาบ

นำเห็ดทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการลวกตามสิ่งทดลองที่กำหนด ซึ่งมีลักษณะการหั่นเป็นชิ้นแล้วนำมาบดหยาบให้ขนาดเล็กลงโดยใช้เครื่องบดอาหาร ควบคุมการบดโดยชั่งตัวอย่างครั้งละ 200 กรัม แล้วบดด้วยความเร็วเครื่องบดคงที่เป็นเวลา 20 วินาที ตัวอย่างแสดงดังภาพที่ 3-2 (ข)

(ก)

(ข)

ภาพที่ 3-2 ลักษณะชิ้นตัวอย่างก่อนการทำแห้ง (ก) การหั่นเป็นชิ้น และ (ข) การบดหยาบ ที่ใช้ในงานวิจัย

การทำแห้ง

นำตัวอย่างเห็ดที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นตามวิธีที่กำหนด มาเกลี่ยบนถาดที่ใช้ทำแห้ง แล้วนำมาทำแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส จนได้ความชื้นสุดท้ายประมาณ 9±1 % (Sheikh et al., 2010) บันทึกเวลาที่ใช้ในการทำแห้งของแต่ละสิ่งทดลอง นำตัวอย่างอบแห้งที่ได้มาบดให้เป็นผง โดยใช้เครื่องบดอาหารแห้ง และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 80 เมช บรรจุส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงที่ได้ เก็บไว้ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำมาวิเคราะห์

การวิเคราะห์คุณภาพ

1) ปริมาณผลได้ (Yield)

$$\%\text{Yield} = \frac{\text{น้ำหนักของส่วนเหลือทิ้งเห็ดผง} \times 100}{\text{น้ำหนักของส่วนเหลือทิ้งเห็ดสด}}$$

2) ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000)

3) ค่า a_w วัดด้วยเครื่องวัดค่า a_w (Water activity meter)

4) ค่าสี วัดด้วยเครื่องวัดสี (Colorimeter) และรายงานเป็นค่า L* a* และ b*

5) ปริมาณโปรตีน (AOAC, 2000)

6) ปริมาณกาบา (Watchararparpaiboon et al., 2010)

7) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Dewanto et al., 2002; Hun et al., 2003)

8) สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ โดยการทดสอบประสิทธิภาพการจับอนุมูลอิสระ DPPH (DPPH free radical scavenging activity test) (ดัดแปลงจาก Cotelle et al., 1996; Fenglin, 2004 ; Karagozler et al., 2008)

การวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomize Design: CRD) และวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test โดยใช้โปรแกรม SPSS version 17

เกณฑ์ในการคัดเลือก

พิจารณาวิธีการเตรียมตัวอย่างก่อนการทำแห้งที่เหมาะสม โดยเลือกสิ่งทดลองที่ทำให้ได้ส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงที่มีการคงอยู่ของปริมาณสารพฤกษเคมีและสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด โดยพิจารณาร่วมกับคุณภาพอื่นๆที่วิเคราะห์

3.2.3 การศึกษาผลของวิธีการทำแห้งต่อปริมาณองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของส่วนเหลือทิ้งบริเวณรากหรือเส้นใยของเห็ดขอนขาว

การทำแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนเป็นการทำให้อาหารแห้งโดยวางอาหารในสภาพอากาศร้อนแล้วเกิดการถ่ายเทความร้อนไปยังผิวอาหารจนเกิดการระเหยเป็นไอของน้ำในอาหาร ในขณะที่การอบแห้งโดยใช้ตู้อบสุญญากาศเกิดในระบบปิด สภาวะสุญญากาศทำให้อากาศมีความดันของไอน้ำต่ำลงมีผลให้น้ำในอาหารเกิดการระเหยได้ที่อุณหภูมิต่ำลง จากลักษณะการถ่ายเทความร้อนที่แตกต่างกันอาจมีผลต่อคุณภาพของส่วนเหลือทิ้งเห็ดผง ในขั้นตอนนี้จึงต้องการศึกษาผลของวิธีการทำแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อน และใช้ตู้อบสุญญากาศ โดยศึกษาในเห็ดขอนขาวเป็นตัวอย่างต้นแบบ

การเตรียมตัวอย่าง

นำส่วนเหลือทิ้งบริเวณรากหรือเส้นใยของเห็ดขอนขาว มาล้างด้วยน้ำสะอาด 2 ครั้ง และล้างด้วยสารละลายคลอรีนความเข้มข้น 0.1 ppm 1 ครั้ง โดยการแช่ตัวอย่างในสารละลายคลอรีนกำหนดอัตราส่วนตัวอย่างกับสารละลายคลอรีนที่ใช้แช่เท่ากับ 1:10 แล้วทำให้สะเด็ดน้ำโดยวางพักบนตะแกรง (ดัดแปลงจากวิธีของ Uyttendaele, Neyts, Vanderswalmen, Notebaert & Debevere, 2004) นำตัวอย่างมาหั่นให้เป็นชิ้น ขนาดประมาณ 2 x 1 เซนติเมตร แล้วนำมาบดหยาบให้ขนาดเล็กลงโดยใช้เครื่องบดอาหาร ควบคุมการบดโดยชั่งตัวอย่างครั้งละ 200 กรัม แล้วบดด้วยความเร็วเครื่องบดคงที่เป็นเวลา 20 วินาที

นำตัวอย่างเห็ดมาเกลี่ยบนถาดที่ใช้ทำแห้ง แล้วนำมาทำแห้งโดยใช้วิธีการอบแห้ง 2 วิธี คือ การทำแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 65 °C และใช้ตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 65 °C ภายใต้ความดัน 36 cmHg จนได้ความชื้นสุดท้ายประมาณ 9±1 % (Sheikh et al., 2010) บันทึกเวลาที่ใช้ในการทำแห้งของแต่ละสิ่งทดลอง นำตัวอย่างที่ได้มาบดให้เป็นผง โดยใช้เครื่องบดอาหารแห้ง และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 80 เมช บรรจุส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวผงที่ได้ เก็บไว้ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำมาวิเคราะห์

การวิเคราะห์คุณภาพ

1) ปริมาณผลได้ (Yield)

$$\%\text{Yield} = \frac{\text{น้ำหนักของส่วนเหลือทิ้งเห็ดผง} \times 100}{\text{น้ำหนักของส่วนเหลือทิ้งเห็ดสด}}$$

2) ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000)

3) ค่า a_w วัดด้วยเครื่องวัดค่า a_w (Water activity meter)

4) ค่าสี วัดด้วยเครื่องวัดสี (Colorimeter) และรายงานเป็นค่า L* a* และ b*

5) ปริมาณโปรตีน (AOAC, 2000)

6) ปริมาณกาบา (Watchararparpaiboon et al., 2010)

7) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Dewanto et al., 2002; Hun et al., 2003)

8) สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ โดยการทดสอบประสิทธิภาพการจับอนุมูลอิสระ DPPH (DPPH free radical scavenging activity test) (ดัดแปลงจาก Cotelle et al., 1996; Fenglin, 2004 ; Karagozler et al., 2008)

การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ t-test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยใช้โปรแกรม SPSS version 17

เกณฑ์ในการคัดเลือก

พิจารณาวิธีการอบแห้งที่เหมาะสม โดยเลือกสิ่งทดลองที่ทำให้ได้ส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวผงที่มีการคงอยู่ของปริมาณสารพฤกษเคมีและสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด โดยพิจารณาร่วมกับคุณภาพอื่นๆที่วิเคราะห์

3.3 การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำส่วนเหลือทิ้งบริเวณรากหรือเส้นใยเห็ดผงไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารต้นแบบ

3.3.1 การศึกษาผลของการแทนที่แป้งขนมปังด้วยส่วนเหลือทิ้งบริเวณรากหรือเส้นใยเห็ดเข็มทองผงต่อคุณภาพของขนมปังเพรทเซล

ขั้นตอนนี้ต้องการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงตามสภาวะที่เลือกได้จากข้อที่ 3.2.1 มาเติมเป็นส่วนประกอบของอาหาร โดยมีความมุ่งหมายสำคัญในการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ สารพฤกษเคมี และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระให้กับอาหาร ในที่นี้เลือกผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ ได้แก่ ขนมปังเพรทเซล เนื่องจากเป็นขนมอบที่ได้รับความนิยมในปัจจุบัน แต่โดยปกติเนื้อขนมปังเพรทเซลมีรสอ่อน รสชาติเฉพาะมักเกิดจากการเคลือบที่ผิวด้วยน้ำเชื่อมหรือช็อกโกแลต เป็นต้น การเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงซึ่งมีกลิ่นรสเฉพาะตัวน่าจะช่วยเพิ่มรสชาติและเนื้อขนมปังเพรทเซลให้มีความน่าสนใจ และมีความหลากหลายได้มากขึ้น เนื้อสัมผัสของขนมปังเพรทเซลมีลักษณะเป็นโครงสร้างแข็ง และเหนียวกว่าขนมปังขาวซึ่งมีความนุ่มและฟูมากกว่า ซึ่งเกิดจากการหมักส่วนผสมในระยะเวลาสั้น ดังนั้นการปรับเปลี่ยนส่วนผสมที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการหมักในการผลิตขนมปังเพรทเซลจึงน่าจะมีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไม่มากนัก

ดำเนินการโดยเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงทดแทนแป้งขนมปังในสูตรการผลิตขนมปังเพรทเซล 4 ระดับ คือ แทนที่แป้งขนมปังในปริมาณ 0% 10% 15% และ 20% ของน้ำหนักแป้ง รายละเอียดส่วนผสม แสดงดังตารางที่ 3-3

การทำขนมปังเพรทเซล

นำน้ำมาเตรียมให้เป็นน้ำอุ่น อุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส ผสมน้ำอุ่นกับน้ำตาลทราย แล้วคนให้น้ำตาลละลาย เติมยีสต์ลงไปคนให้เข้ากัน พักไว้ 10 นาที ผสมแป้งขนมปัง ส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผง และเกลือเข้าด้วยกัน เติมส่วนผสมยีสต์ลงไป นวดส่วนผสมโดยใช้เครื่องผสมความเร็วระดับ 1 นวดให้เข้ากัน 5 นาที เติมน้ำมันปาล์ม นวดจนได้โดที่เรียบและยืดหยุ่นโดยใช้เวลา 10 นาที พักไว้ให้โดขึ้นฟู 60 นาที นำโดมาขึ้นรูปเป็นแท่งขนาดพื้นที่หน้าตัด 0.5x1.0 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตร เตรียมน้ำร้อนอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ละลายเบคกิ้งโซดา 15 กรัม ลงในน้ำร้อน จากนั้นนำโดที่ขึ้นรูปแล้วแช่ลงในสารละลายเบคกิ้งโซดา 10 วินาที แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิประมาณ 450 องศาฟาเรนไฮซ์ 10 นาที วางขนมปังเพรทเซลที่อุณหภูมิห้องนาน 30 นาที แล้วแบ่งขนมปังเพรทเซลที่ผลิตได้เป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 นำไปวิเคราะห์ค่าสี ลักษณะเนื้อสัมผัส และทดสอบทางประสาทสัมผัส ส่วนที่ 2 เก็บขนมปังเพรทเซลโดยบรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยด์ เก็บไว้ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีต่อไป

การวิเคราะห์คุณภาพ

1) ค่าสี วัดด้วยเครื่องวัดสี (Colorimeter) และรายงานเป็นค่า L* a* และ b*

2) ลักษณะเนื้อสัมผัส ได้แก่ Hardness, Chewiness, Cohesiveness, Springiness and Gumminess วัดด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture analyser) ใช้วิธี Texture profile analysis (Wang et al., 2002)

3) ปริมาณโปรตีน (AOAC, 2000)

4) ปริมาณกาบา (Watchararparpaiboon et al., 2010)

5) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Dewanto et al., 2002; Hun et al., 2003)

6) สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ โดยการทดสอบประสิทธิภาพการจับอนุมูลอิสระ DPPH (DPPH free radical scavenging activity test) (ดัดแปลงจาก Cotelle et al., 1996; Fenglin, 2004 ; Karagozler et al., 2008)

7) ความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยวิธี 9-point hedonic scale ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน

ตารางที่ 3-3 ส่วนผสมของขนมปังเพรทเซลเมื่อแทนที่แป้งขนมปังด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผง

ส่วนผสม	การแทนที่แป้งขนมปังด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผง (%)			
	0	10	15	20
แป้งขนมปัง	100.0	90.0	85.0	80.0
ส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผง	-	10.0	15.0	20.0
น้ำตาลทราย	7.0	7.0	7.0	7.0
เกลือ	1.0	1.0	1.0	1.0
ยีสต์	3.0	3.0	3.0	3.0
น้ำมันปาล์ม	1.5	1.5	1.5	1.5
น้ำ	50	50	50	50

3.3.2 การศึกษาผลของการแทนที่แป้งอเนกประสงค์ด้วยส่วนเหลือทิ้งบริเวณรากหรือเส้นใยเห็ดนางฟ้าผงต่อคุณภาพของมัฟฟิน

มีการรายงานถึงความเป็นไปได้ในการนำผลิตภัณฑ์เห็ดผงมาใช้เป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ประเภทเบเกอรี่โดยการแทนที่แป้ง ตัวอย่างเช่น การใช้ผงเห็ดการบูร เห็ดกระดุม เห็ดยามาบูชิตาเกะ และเห็ดหิ้ง แทนที่แป้งขนมปังในการผลิตขนมปัง (Ulziijargal et al., 2013) ขั้นตอนนี้ต้องการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงตามสภาวะที่เลือกได้จากข้อที่ 3.2.2 มาเติมเป็นส่วนประกอบของอาหาร โดยนำมาศึกษาผลของการแทนที่แป้งอเนกประสงค์ด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงต่อคุณภาพของมัฟฟิน ดำเนินการโดยเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงในสูตรการผลิตมัฟฟิน 4 ระดับ คือ แทนที่แป้งอเนกประสงค์ในปริมาณ 0% 10% 15% และ 20% ของน้ำหนักแป้ง รายละเอียดส่วนผสม แสดงดังตารางที่ 3-4

การทำมัฟฟิน

ร่อนแป้งอเนกประสงค์ ผงฟู ส่วนเหลือทิ้งของเห็ดนางฟ้าผง และเกลือเข้าด้วยกัน แล้วพักไว้ 2 นาที จากนั้นตีเนยขาว น้ำตาล นมผง จนขึ้นฟูเบา 5 นาที ตามด้วยผสมไข่ไก่ลงไปตีให้เข้ากัน 5 นาที ใส่น้ำสลับกับแป้งและส่วนผสมที่ร่อนไว้ ผสมทุกอย่างรวมกัน 2 นาที จากนั้นชั่งน้ำหนักมัฟฟินก่อนเข้าเตาอบในถ้วยจีบ ถ้วยละ 30 กรัม นำไปอบที่อุณหภูมิ 204 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 นาที แล้วแบ่งมัฟฟินที่ผลิตได้เป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 นำไปวิเคราะห์ค่าสี ลักษณะเนื้อสัมผัส และทดสอบทาง

ประสาทสัมผัส ส่วนที่ 2 เก็บมัฟฟินโดยบรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยด์ เก็บไว้ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีต่อไป

ตารางที่ 3-4 ส่วนผสมของมัฟฟินเมื่อแทนที่แป้งอเนกประสงค์ด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผง

ส่วนผสม	การแทนที่แป้งอเนกประสงค์ด้วยเห็ดนางฟ้าผง (%)			
	0	10	15	20
แป้งอเนกประสงค์	100.0	90.0	85.0	80.0
ส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผง	-	10.0	15.0	20.0
น้ำตาลทราย	23.0	23.0	23.0	23.0
เกลือ	1.0	1.0	1.0	1.0
ผงฟู	4.0	4.0	4.0	4.0
นมผง	7.5	7.5	7.5	7.5
น้ำ	50	50	50	50
เนยขาว	70.0	70.0	70.0	70.0
ไข่ไก่	70.0	70.0	70.0	70.0

การวิเคราะห์คุณภาพ

1) ค่าสี วัดด้วยเครื่องวัดสี (Colorimeter) และรายงานเป็นค่า L* a* และ b*

2) ลักษณะเนื้อสัมผัส ได้แก่ Hardness, Chewiness, Cohesiveness, Springiness and Gumminess วัดด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture analyser) ใช้วิธี Texture profile analysis (Wang et al., 2002)

3) ปริมาตรจำเพาะ โดยใช้วิธีการแทนที่ด้วยงา (Singkhornart, Edou-ondo, & Ryu, 2014)

4) ปริมาณโปรตีน (AOAC, 2000)

5) ปริมาณกาบา (Watchararparpaiboon et al., 2010)

6) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Dewanto et al., 2002; Hun et al., 2003)

7) สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ โดยการทดสอบประสิทธิภาพการจับอนุมูลอิสระ DPPH (DPPH free radical scavenging activity test) (ดัดแปลงจาก Cotelle et al., 1996; Fenglin, 2004 ; Karagozler et al., 2008)

8) ความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยวิธี 9-point hedonic scale ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน

3.3.3 การศึกษาผลของการเติมส่วนเหลือทิ้งบริเวณรากหรือเส้นใยเห็ดขอนขาวผงต่อคุณภาพของน้ำสลัด

ขั้นตอนนี้ต้องการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวผงตามสภาวะที่เลือกได้จากข้อที่ 3.2.3 มาเติมเป็นส่วนประกอบของอาหาร โดยมีความมุ่งหมายสำคัญในการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ สารพฤกษเคมี และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระให้กับอาหาร ในที่นี้เลือก

ผลิตภัณฑ์น้ำสลัด เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความนิยมสูงในปัจจุบัน เนื่องจากพฤติกรรมการบริโภคของผู้บริโภคยุคใหม่ส่วนใหญ่นิยมรับประทานอาหารเพื่อสุขภาพ อาหารที่ให้พลังงานต่ำ สลัดประเภทต่างๆจึงเป็นทางเลือกที่ผู้บริโภคให้ความสนใจ น้ำสลัดจัดเป็นเครื่องปรุงรสที่ทำให้สลัดมีรสชาติ การเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวซึ่งมีกลิ่นรสเฉพาะตัวน่าจะช่วยเพิ่มรสชาติให้มีความน่าสนใจมากขึ้นได้ นอกจากนี้มีรายงานว่าเห็ดผงมีองค์ประกอบของเส้นใยอาหาร การนำมาเติมในผลิตภัณฑ์อิมัลชันอาจมีผลต่อการเสริมลักษณะเนื้อสัมผัสได้ (Ulziijargal et al., 2013; Tseng and Zhao, 2013) ดำเนินการโดยเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวเติมเพิ่มลงในน้ำสลัดชนิดข้นสูตรพื้นฐาน 4 ระดับ คือ 0% 3% 5% และ 7% รายละเอียดส่วนผสม แสดงดังตารางที่ 3-5

ตารางที่ 3-5 ส่วนผสมน้ำสลัดเมื่อแปรปริมาณการเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวผงปริมาณต่างๆ

ส่วนผสม	ปริมาณส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวผง (%)			
	0	5	7	9
ส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวผง	-	10.0	15.0	20.0
น้ำส้มสายชู	12.0	12.0	12.0	12.0
น้ำตาลทราย	22.0	22.0	22.0	22.0
นมข้นหวาน	10.0	10.0	10.0	10.0
พริกไทยป่น	1.1	1.1	1.1	1.1
เกลือ	1.1	1.1	1.1	1.1
มัสตาร์ด	2.0	2.0	2.0	2.0
เต้าหู้ถั่วเหลือง	19.8	19.8	19.8	19.8

การทำน้ำสลัด

ดำเนินการโดยผสมน้ำส้มสายชู น้ำตาลทราย นมข้นหวาน พริกไทยป่น เกลือ มัสตาร์ด เต้าหู้ถั่วเหลือง และส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาว ปั่นผสมให้เข้ากันโดยใช้เครื่องปั่นผสมความเร็วสูง เป็นเวลา 45 วินาที แล้วค่อยๆเติมน้ำมันพืช และปั่นส่วนผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน แล้วสุ่มตัวอย่างเพื่อนำไปวิเคราะห์คุณภาพ

การวิเคราะห์คุณภาพ

1) ค่าสี วัดด้วยเครื่องวัดสี (Colorimeter) และรายงานเป็นค่า L* a* และ b*

2) ความหนืด วัดด้วยเครื่องวัดความหนืด (Viscometer) (ดัดแปลงจาก Chang et al., 1995)

3) ปริมาณโปรตีน (AOAC, 2000)

4) ปริมาณกาบา (Watchararparpaiboon et al., 2010)

5) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Dewanto et al., 2002; Hun et al., 2003)

6) สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ โดยการทดสอบประสิทธิภาพการจับอนุมูลอิสระ PPH (DPPH free radical scavenging activity test) (ดัดแปลงจาก Cotelle et al., 1996; Fenglin, 2004 ; Karagozler et al., 2008)

7) ความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยวิธี 9-point hedonic scale ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน

การวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomize Design: CRD) สำหรับการวิเคราะห์คุณภาพทุกค่า ยกเว้นการทดสอบทางประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomize Complete Block Design) วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan’s New Multiple Range Test โดยใช้โปรแกรม SPSS version 17

เกณฑ์ในการคัดเลือก

พิจารณาสิ่งทดลองที่เหมาะสม โดยเลือกสิ่งทดลองที่สามารถเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดผงได้มากที่สุด โดยได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด และมีการคงอยู่ของปริมาณสารพฤกษเคมีและสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระในระดับสูง โดยพิจารณาร่วมกับคุณภาพอื่นๆที่วิเคราะห์

3.4 การถ่ายทอดเทคโนโลยีและความรู้ที่ได้จากการวิจัยสู่ชุมชน

จัดการถ่ายทอดเทคโนโลยีและความรู้ที่ได้แก่ชุมชน โดยการจัดทำเอกสารโดยให้ความรู้โดยเผยแพร่วิธีการผลิตส่วนเหลือทิ้งเห็ดผงและสูตรอาหารที่มีการเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดผงที่พัฒนาได้ ดำเนินการประสานงานส่งมอบให้กับองค์การบริหารส่วนตำบล องค์การบริหารส่วนจังหวัด รวมถึงกลุ่มแม่บ้านในภาคตะวันออก ได้แก่ จังหวัดระยอง และจังหวัดจันทบุรี

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ผลการศึกษาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญจากส่วนของลำต้นและหมวกเห็ด (Fruiting body) และส่วนเหลือทิ้งบริเวณรากหรือเส้นใย (Mycelia) ของเห็ดเข็มทอง เห็ดนางฟ้า และเห็ดขอนขาว

เห็ดเป็นแหล่งที่ดีของโปรตีนและมีสารพฤกษเคมีที่สำคัญต่อสุขภาพได้แก่ กาบา (Gamma-aminobutyric acid, GABA) โลวาสเตติน (Lovastatin) และเออโกไธโอนีน (Ergothionine) และมีองค์ประกอบของสารที่มีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ และเห็ดที่นำมาใช้ทำยามีปริมาณสารพฤกษเคมีที่สำคัญในส่วนลำต้นและหมวกเห็ด และส่วนเส้นใยใกล้เคียงกัน (Chen et al., 2012) ผลการวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญได้แก่ ปริมาณโปรตีน ปริมาณกาบา ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ จากส่วนของลำต้นและหมวกเห็ด และส่วนเหลือทิ้งที่เป็นรากหรือเส้นใยของเห็ดเข็มทอง เห็ดนางฟ้า และเห็ดขอนขาว แสดงดังตารางที่ 4-1 ถึง 4-3

สำหรับกรณีเห็ดเข็มทองแสดงผลดังตารางที่ 4-1 พบว่า ปริมาณกาบา และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของลำต้นและหมวกเห็ด และส่วนเหลือทิ้งของเห็ดเข็มทองไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ในขณะที่ปริมาณโปรตีน และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยพบว่า ปริมาณโปรตีนของส่วนลำต้นและหมวกเห็ด (18.57 g/100g) มากกว่าส่วนเหลือทิ้ง (14.58 g/100g) ($p<0.05$) Cheung (1996) ได้รายงานว่า ปริมาณโปรตีนในส่วนของหมวกเห็ดมีมากกว่าในส่วนของก้านและเส้นใย โดยในส่วนของก้านและเส้นใยมีปริมาณโปรตีนใกล้เคียงกัน เมื่อพิจารณาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด พบว่ามีแนวโน้มแตกต่างจากปริมาณโปรตีน กล่าวคือปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของส่วนเหลือทิ้ง (13.33 g/100g) มากกว่าส่วนของลำต้นและหมวกเห็ด (11.20 g/100 g) ($p<0.05$) สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด เป็นการวิเคราะห์ถึงผลรวมของสารกลุ่มที่มีโครงสร้างเป็นวงอะโรมาติก และมีหมู่แทนที่เป็นหมู่ไฮดรอกซี อย่างน้อย 1 หมู่ ส่วนใหญ่เป็นพวกฟลาโวนอยด์ (Flavonoid) และกรดอินทรีย์ เช่น กรดแกลลิก (Gallic acid) (Vermerris, & Nicholson, 2007) การที่ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของ Fruiting body และ Mycelia ของเห็ดเข็มทองแตกต่างกันอาจเนื่องมาจากเห็ดเป็นพืชจำพวกฟังไจ (Fungi) มีการเจริญเติบโตแบบเป็นเส้นใย ซึ่งหมายถึงส่วนเส้นใยรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนตุ่ม ดอกเห็ด แล้วจึงมีการเจริญเติบโตมีขนาดใหญ่ขึ้น ได้เป็นส่วน ลำต้นและหมวก ดังนั้นอาจเป็นไปได้ว่า ในส่วนของเส้นใยของเห็ดเข็มทองมีองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญบางประการมีปริมาณมากกว่า หรือมีความสมบูรณ์มากกว่า ในขณะที่ส่วนลำต้นและหมวก อยู่ในระหว่างการพัฒนาโครงสร้างให้เจริญเติบโตขึ้น จึงมีองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญบางประการน้อยกว่า หรือมีความสมบูรณ์น้อยกว่า (Carvajal et al., 2012) อย่างไรก็ตามหากพิจารณาผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในส่วนหมวกและลำต้น รวมถึงส่วนเหลือทิ้งของเห็ดเข็มทอง พบว่ามีปริมาณใกล้เคียงกันมาก อยู่ในช่วง 11.20 – 13.33 g/100g ทั้งนี้เมื่อพิจารณาร่วมกับปริมาณโปรตีนที่มีค่าอยู่ในช่วง 14.58 – 18.57 g/100g ปริมาณกาบา มีค่าอยู่ในช่วง 0.10 – 0.12

ตารางที่ 4-1 องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญจากส่วนของลำต้นและหมวกเห็ด และส่วนเหลือทิ้งของเห็ดเข็มทอง

ตัวอย่าง	ค่าเฉลี่ย ± SD			
	ปริมาณโปรตีน (g/100g)*	ปริมาณกาบา (g/100g)* ns	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (gGAE/100g)#	สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (% inhibition) ns
ลำต้นและหมวกเห็ด	18.57 ± 0.95[a]	0.10 ± 0.02	11.20 ± 0.71[b]	53.90 ± 0.60
ส่วนเหลือทิ้ง	14.58 ± 0.57[b]	0.12 ± 0.02	13.33 ± 0.89[a]	54.98 ± 0.32

ns ค่าเฉลี่ยในแนวคอลัมน์เดียวกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

a, b ค่าเฉลี่ยในแนวคอลัมน์เดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

* หมายถึง คิดเทียบจากน้ำหนักฐานแห้ง

\# หมายถึง คิดเทียบจากน้ำหนักสารสกัด

ตารางที่ 4-2 องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญจากส่วนของลำต้นและหมวกเห็ด และส่วนเหลือทิ้งของเห็ดนางฟ้า

ตัวอย่าง	ค่าเฉลี่ย ± SD			
	ปริมาณโปรตีน (g/100g)*	ปริมาณกาบา (mg/100g)*	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mgGAE/100g)*	สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (% inhibition)
ส่วนที่นิยมบริโภค	27.18 ± 0.55[a]	10.03 ± 0.33[a]	306.06 ± 5.62[a]	67.03 ± 0.37[a]
ส่วนเหลือทิ้ง	12.12 ± 0.48[b]	1.31 ± 0.01[b]	122.28 ± 3.47[b]	62.03 ± 0.42[b]

a, b ค่าเฉลี่ยในแนวคอลัมน์เดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

* หมายถึง คิดเทียบจากน้ำหนักฐานแห้ง

ตารางที่ 4-3 องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญจากส่วนของลำต้นและหมวกเห็ด และส่วนเหลือทิ้งของเห็ดขอนขาว

ตัวอย่าง	ค่าเฉลี่ย ± SD			
	ปริมาณโปรตีน (g/100g)*	ปริมาณกาบา (mg/100g)*	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mgGAE/100g)*	สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (% inhibition)
ส่วนที่นิยมบริโภค	18.88 ± 0.35[a]	8.14 ± 0.13[a]	514.24 ± 8.14[a]	88.14 ± 0.79[a]
ส่วนเหลือทิ้ง	12.42 ± 0.94[b]	2.10 ± 0.10[b]	498.89 ± 7.35[b]	86.38 ± 0.98[b]

a, b ค่าเฉลี่ยในแนวคอลัมน์เดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

* หมายถึง คิดเทียบจากน้ำหนักฐานแห้ง

g/100g และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระรายงานในรูป % inhibition มีค่าอยู่ในช่วง 53.90 – 54.98 % พบว่า มีผลการวิเคราะห์สอดคล้องกับรายงานของ Carvajal et al. (2012) ที่พบว่า ปริมาณสารพฤกษเคมีในส่วน Fruiting bodies และ Mycelia ของเห็ดกระดุมบราซิล (*Agaricus brasiliensis)* มีค่าต่างกันเล็กน้อย โดยในส่วน Mycelia มีปริมาณสารพฤกษเคมีสูงกว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้จากส่วน Fruiting bodies, Young mycelia และ Old mycelia เท่ากับ 20.0, 20.8 และ 38.7 g/100g ตามลำดับ และสอดคล้องกับรายงานของ Tsai et al. (2006) ได้ศึกษาสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของเห็ดโคนญี่ปุ่น (*Agrocybe cylindracea*) ที่สกัดด้วยน้ำร้อน โดยเตรียมตัวอย่างเห็ดจาก Fruiting body และ Mycelia วิเคราะห์สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี Scavenging ability on DPPH ซึ่งรายงานเป็น % inhibition พบว่าในส่วนของ Mycelia มีสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระอยู่ในช่วงที่กว้างและมีแนวโน้มสูงกว่าส่วนของ Fruiting body คือ มี % inhibition อยู่ในช่วง 47.7–76.1% และ 58.3–66.2% ตามลำดับ

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญจากส่วนของลำต้นและหมวกเห็ด และส่วนเหลือทิ้งที่เป็นส่วนของรากหรือเส้นใยของเห็ดเข็มทอง แสดงให้เห็นว่า ส่วนเหลือทิ้งจากการบริโภคที่มีศักยภาพด้านเป็นแหล่งของโปรตีนและสารพฤกษเคมีที่สำคัญที่ควรนำมาใช้ประโยชน์ต่อไป

สำหรับกรณีเห็ดนางฟ้า แสดงผลดังตารางที่ 4-2 พบว่า ส่วนของลำต้นและหมวกเห็ดนางฟ้ามีปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีที่วิเคราะห์ทุกค่า ได้แก่ ปริมาณโปรตีน ปริมาณกาบา และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด เท่ากับ 27.18 g/100g dry basis, 10.03 mg/100g dry basis และ 306.06 mg/100g dry basis ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณมากกว่าส่วนเหลือทิ้งของเห็ดนางฟ้า ที่มีปริมาณโปรตีน ปริมาณกาบา และ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด เท่ากับ 12.12 g/100g dry basis, 1.31 mg/100g dry basis และ 122.28 mg/100g dry basis ตามลำดับ ($p<0.05$) ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับกรณีเห็ดขอนขาว ที่แสดงผลดังตารางที่ 4-3 พบว่า ส่วนของลำต้นและหมวกเห็ดขอนขาว มีปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีที่วิเคราะห์ทุกค่า ได้แก่ ปริมาณโปรตีน ปริมาณกาบา และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด เท่ากับ 18.88 g/100g dry basis, 8.14 mg/100g dry basis และ 514.24 mg/100g dry basis ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณมากกว่าส่วนเหลือทิ้งของเห็ดขอนขาวที่มีปริมาณโปรตีน ปริมาณกาบา และ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด เท่ากับ ปริมาณโปรตีน ปริมาณกาบา และ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด เท่ากับ 12.42 g/100g dry basis, 2.10 mg/100g dry basis และ 498.89 mg/100g dry basis ตามลำดับ ($p<0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากส่วนของลำต้นและหมวกเห็ด เป็นส่วนที่มีการสะสมสารอาหารที่จำเป็นในการเจริญเติบโต มากกว่าส่วนที่ไม่นิยมบริโภคที่เป็นส่วนโคนลำต้นและรากที่เป็นเส้นใย ซึ่งส่วนใหญ่เป็นส่วนที่ฝังอยู่ในก้อนเชื้อเห็ด ลักษณะการเจริญของเห็ดแตกต่างจากพืช เนื่องจากเห็ดไม่สามารถสร้างสารอินทรีย์ด้วยการสังเคราะห์แสงเองได้ ต้องดูดซับสารอาหารอินทรีย์จากสิ่งมีชีวิตอื่นที่เห็ดไปเกาะอยู่หรือจากก้อนเชื้อเห็ดมาใช้ในการเจริญเติบโต เมื่ออยู่ในสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสม สปอร์จะเจริญเติบโตเป็นเส้นใย เมื่อเส้นใยอัดตัวกันเข้าจะกลายเป็นดอกเห็ดและก้านดอกต่อไป ในขณะที่ส่วนโคนเห็ดและรากที่เป็นเส้นใยซึ่งเป็นส่วนที่ไม่นิยมบริโภค มักเป็นส่วนที่ฝังอยู่ในก้อนเชื้อเห็ดที่ผ่านการดูดซับสารอาหารไปเพื่อการเจริญแล้ว (นิวัฒ เสนาเมือง, 2553; เนตรนภิส ธนนิเวศน์กุล, 2549) จึงอาจกล่าวได้ว่าส่วนที่นิยมบริโภคของเห็ดนางฟ้าและเห็ดขอนขาว ซึ่งก็คือส่วนลำต้นและหมวกเห็ด เป็นส่วนที่มีโอกาสมี

การสะสมสารอาหารต่างๆไว้ได้มากกว่า จึงมีผลให้ปริมาณโปรตีน ปริมาณกาบา และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด มากกว่าเห็ดส่วนเหลือทิ้ง

ผลการทดลองที่ได้มีความสอดคล้องกับที่ Cheung (1996) ได้รายงานว่า ปริมาณโปรตีนของส่วนหมวกเห็ดซึ่งเป็นส่วนที่นิยมบริโภค มีมากกว่าในส่วนเหลือทิ้ง ได้แก่ ก้านและรากที่เป็นเส้นใยของเห็ดนางฟ้า *(Pleurotus sajor-caju)* โดยในส่วนของก้านและรากที่เป็นเส้นใย มีปริมาณโปรตีนใกล้เคียงกัน Reis, Martis, Barros & Ferreira (2012) รายงานว่า ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของส่วนที่นิยมบริโภคของเห็ดกระดุมและเห็ดนางรม มีปริมาณ เท่ากับ 23.34 และ 12.54 mg GAE/g extract ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าส่วนเหลือทิ้ง ที่มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 4.22 และ 5.19 mg GAE/g extract ตามลำดับ ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าส่วนเหลือทิ้ง ที่มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 4.22 และ 5.19 mg GAE/g extract ตามลำดับ

สำหรับกรณีปริมาณกาบา หรือแกมมาอะมิโนบิวทีริกแอซิด (gamma aminobutyric acid, GABA) ที่เกิดจากการย่อยสลายกรดกลูตามิกโดยเอนไซม์กลูตาเมตดีคาร์บอกซีเลส (glutamate decarboxylase) โดยเกิดขึ้นได้มากในระหว่างการงอก (Ohtsubo et al., 2005) ทั้งนี้ ชนิษฎา วงศ์บาสก์ (2553) รายงานว่า ในส่วนยอดหรือส่วนที่งอกใหม่ของพืช มักตรวจพบปริมาณกาบาได้มากกว่าส่วนอื่น เนื่องจากในระหว่างที่กระบวนการงอกเกิดขึ้นมีการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีที่ช่วยส่งเสริมให้เกิดการย่อยสลายกรดกลูตามิก ทำให้มีการสะสมของกาบาไว้ได้มากกว่าส่วนต่างๆของพืช

สำหรับสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ วิเคราะห์โดยวิธีการทำลายอนุมูลอิสระดีพีพีเอช (DPPH radical scavenging assay) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยการทดสอบด้วยวิธีทางเคมีโดยใช้สารที่มีคุณสมบัติเป็นอนุมูลอิสระ ในที่นี้คืออนุมูลอิสระดีพีพีเอช (DPPH, diphenyl-picryhydrazyl radical) ซึ่งเป็นสารสังเคราะห์ที่อยู่ในรูปอนุมูลอิสระที่คงตัวและมีสีม่วงสามารถดูดกลืนแสงได้สูงสุดโดยใช้เครื่องสเปกโตโฟโตรมิเตอร์ (spectrophotometer) เมื่อดีพีพีเอชทำปฏิกิริยากับสารต้านอนุมูลอิสระจะทำให้สีม่วงจางลงจนเป็นสีเหลือง รายงานในรูป % inhibition จากตารางที่ 4-2 พบว่า กรณีเห็ดนางฟ้า ส่วนลำต้นและหมวกเห็ดมี % inhibition เท่ากับ 67.03 % ซึ่งมากกว่าส่วนเหลือทิ้งที่มี % inhibition เท่ากับ 62.03 % ($p<0.05$) ซึ่งมีแนวโน้มเดียวกันกับกรณีเห็ดขอนขาว ผลจากตารางที่ 4-3 พบว่า ส่วนลำต้นและหมวกเห็ดมี % inhibition เท่ากับ 88.14% ซึ่งมากกว่าส่วนเหลือทิ้งที่มี % inhibition เท่ากับ 86.38% ($p<0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับแนวโน้มปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้ที่ พบว่า ส่วนลำต้นและหมวกเห็ดของเห็ดนางฟ้าและเห็ดขอนขาว มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดมากกว่าส่วนเหลือทิ้ง ($p<0.05$)

Kim et al. (2008) รายงานว่า เห็ดที่บริโภคได้มีสารประกอบฟีนอลิกที่มีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระค่อนข้างหลากหลาย ส่วนใหญ่เป็นกลุ่มฟลาโวนอยด์และกรดแกลลิค Reis, Martis, Barros & Ferreira. (2012) รายงานว่า ผลการวิเคราะห์สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของเห็ดกระดุมบราซิล (*Aguricus bisporus*) เมื่อใช้ส่วนที่นิยมบริโภคบริโภค (ลำต้นและหมวกเห็ด) และส่วนเหลือทิ้ง (โคนลำต้นและรากที่เป็นเส้นใย) เมื่อวิเคราะห์สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH scavenging activity assay โดยรายงานเป็นค่า EC_{50} พบว่า เห็ดส่วนที่นิยมบริโภคมีค่า EC_{50} เท่ากับ 3.13 mg/ml ซึ่งน้อยกว่าส่วนเหลือทิ้งที่มีค่า 39.68 mg/ml ซึ่งแสดงถึงเห็ดส่วนที่นิยมบริโภคมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระมากกว่าส่วนเหลือทิ้ง

จากการพิจารณาองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของส่วนเหลือทิ้งของเห็ดชนิดอื่น พบข้อมูลดังนี้ Tsai et al., (2006) รายงานว่า เส้นใยของเห็ดโคนญี่ปุ่น (*Agrocybe cylindracea*) มีสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ที่รายงานเป็น % Inhibition โดยเฉลี่ยอยู่ในช่วงที่กว้างตั้งแต่ 47.7–76.1% ซึ่งจัดว่าเป็นวัตถุดิบที่มีศักยภาพในการนำมาใช้ประโยชน์เป็นส่วนผสมอาหารและยาได้ Chen et al. (2012) รายงานว่า จากการวิเคราะห์ปริมาณกาบาจากเส้นใยเห็ดจำนวน 17 ชนิด พบว่า โดยเฉลี่ยมีปริมาณกาบาอยู่ในช่วงกว้างเช่นกัน ตั้งแต่ 6.2-254.9 mg/100g โดยพบว่า เส้นใยของเห็ดถั่งเช่า 2 สายพันธุ์ (*Cordyceps cicadae*, *Cordyceps sinensis*) และ เห็ดกระดุมบราซิล (*Agaricus blazei*) มีปริมาณกาบาสูงที่สุด เท่ากับ 254.9, 220.5 และ 200.4 mg/100g ตามลำดับ จากผลการวิเคราะห์จึงกล่าวได้ว่า แม้ส่วนเหลือทิ้งของเห็ดนางฟ้าและเห็ดขอนขาว จะมีองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญน้อยกว่าส่วนที่นิยมบริโภคก็ตาม แต่ยังคงมีปริมาณโปรตีน ปริมาณกาบา ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด รวมถึงมีสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ในปริมาณใกล้เคียงกับกับส่วนเหลือทิ้งเห็ดของชนิดอื่น จึงเป็นวัสดุเหลือทิ้งที่ยังมีคุณค่าและมีศักยภาพในการนำมาเพิ่มมูลค่าและใช้ประโยชน์ต่อไปได้

4.2 ผลการศึกษาหาวิธีการทำแห้งที่เหมาะสมของส่วนเหลือทิ้งเห็ดผง

4.2.1 ผลของอุณหภูมิและเวลาการทำแห้งด้วยลมร้อนต่อปริมาณองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของส่วนเหลือทิ้งบริเวณรากหรือเส้นใยของเห็ดเข็มทองผง

จากการแปรอุณหภูมิการทำแห้ง (40-70 °C) และเวลาในการทำแห้ง (180-300 นาที) ส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทอง โดยใช้ตู้อบลมร้อน จัดสิ่งทดลองแบบ CCD (Central composite design) ได้ 9 สิ่งทดลอง

ลักษณะปรากฏของส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองหลังการทำแห้งและบดแต่ละสิ่งทดลองแสดงดังตารางที่ 4-4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณผลได้ แสดงดังตารางที่ 4-5 คุณภาพทางเคมีและกายภาพของเส้นใยเห็ดเข็มทองผง ได้แก่ ปริมาณความชื้น ค่า a_w และค่าสี แสดงดังตารางที่ 4-6 และ 4-7 ตามลำดับ ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญได้แก่ ปริมาณโปรตีน ปริมาณกาบา ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ รวมถึงผลการสร้างสมการถดถอยแบบพหุ และกราฟพื้นผิวการตอบสนอง แสดงดังตารางที่ 4-8 ถึง 4-10 และภาพที่ 4-1 ถึง 4-3 ผลการทดลองมีรายละเอียดดังนี้

1) ลักษณะปรากฏ

จากตารางที่ 4-4 พบว่า ส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองทั้ง 9 สิ่งทดลอง มีลักษณะปรากฏแตกต่างกัน โดยสิ่งทดลองที่ 1 (45 °C 200 นาที) สิ่งทดลองที่ 2 (45 °C 285 นาที) สิ่งทดลองที่ 5 (40 °C 240 นาที) และสิ่งทดลองที่ 7 (55 °C 180 นาที) มีลักษณะปรากฏคล้ายกันคือ ส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองแห้งลงเพียงเล็กน้อย ยังคงมีลักษณะเหนียวและฉ่ำน้ำ ไม่สามารถบดเป็นผงได้ โดยสังเกตเห็นว่าสิ่งทดลองที่ 2 มีสีออกเหลืองคล้ำมากกว่าสิ่งทดลองที่ 1 5 และ 7 การที่สิ่งทดลองดังกล่าวยังไม่แห้งถึงในระดับที่สามารถบดลดขนาดเป็นผงได้ เนื่องจากสภาวะการทำแห้งดังกล่าวเป็นการใช้อุณหภูมิการทำแห้งระดับต่ำ ร่วมกับเวลาในการทำแห้งน้อยจึงเป็นสภาวะที่ไม่รุนแรงเพียงพอที่จะทำให้น้ำในเส้นใยเห็ดระเหยได้มากนัก เป็นผลให้ส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองไม่แห้ง ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 3 (65 °C

200 นาที) สิ่งทดลองที่ 4 (65 ℃ 285 นาที) สิ่งทดลองที่ 6 (70 ℃ 240 นาที) สิ่งทดลองที่ 8 (55 ℃ 300 นาที) และสิ่งทดลองที่ 9 (55 ℃ 240 นาที) ได้ส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองที่แห้งเพียงพอที่สามารถบดลดขนาดเป็นผงได้ง่าย โดยพบว่าส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงแห้งที่ได้มีลักษณะปรากฏไม่แตกต่างกัน โดยเป็นผงละเอียดและมีสีเหลืองอ่อน

ตารางที่ 4-4 ลักษณะปรากฏของส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองหลังการทำแห้งและบดจากสิ่งทดลองที่แปรอุณหภูมิการทำแห้งและเวลาในการทำแห้ง

สิ่งทดลอง	ลักษณะปรากฏ	
1. อุณหภูมิ 45 ℃ 200 นาที		แห้งลงเล็กน้อย มีลักษณะเหนียว และฉ่ำน้ำ ไม่สามารถบดให้เป็นผงได้ มีสีเหลืองคล้ำเล็กน้อย
2. อุณหภูมิ 45 ℃ 285 นาที		แห้งลงเล็กน้อย มีลักษณะเหนียว และฉ่ำน้ำ ไม่สามารถบดให้เป็นผงได้ มีสีเหลืองคล้ำมาก

ตารางที่ 4-4 ลักษณะปรากฏของส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองหลังการทำแห้งและบดจากสิ่งทดลองที่แปรอุณหภูมิการทำแห้งและเวลาในการทำแห้ง (ต่อ)

สิ่งทดลอง	ลักษณะปรากฏ	
3. อุณหภูมิ 65 °C 200 นาที		เป็นผงละเอียด มีสีเหลืองอ่อน
4. อุณหภูมิ 65 °C 285 นาที		เป็นผงละเอียด มีสีเหลืองอ่อน
5. อุณหภูมิ 40 °C 240 นาที		แห้งลงเล็กน้อย มีลักษณะเหนียว และฉ่ำน้ำ ไม่สามารถบดให้เป็นผงได้ มีสีเหลืองคล้ำเล็กน้อย

ตารางที่ 4-4 ลักษณะปรากฏของส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองหลังการทำแห้งและบดจากสิ่งทดลองที่แปรอุณหภูมิการทำแห้งและเวลาในการทำแห้ง (ต่อ)

สิ่งทดลอง	ลักษณะปรากฏ	
6. อุณหภูมิ 70 ℃ 240 นาที		เป็นผงละเอียด มีสีเหลืองอ่อน
7. อุณหภูมิ 55 ℃ 180 นาที		แห้งลงเล็กน้อย มีลักษณะเหนียว และฉ่ำน้ำ ไม่สามารถบดให้เป็นผงได้ มีสีเหลืองคล้ำเล็กน้อย
8. อุณหภูมิ 55 ℃ 300 นาที		เป็นผงละเอียด มีสีเหลืองอ่อน

ตารางที่ 4-4 ลักษณะปรากฏของส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองหลังการทำแห้งและบดจากสิ่งทดลองที่แปรอุณหภูมิการทำแห้งและเวลาในการทำแห้ง (ต่อ)

สิ่งทดลอง	ลักษณะปรากฏ	
9. อุณหภูมิ 55 ℃ 240 นาที		เป็นผงละเอียด มีสีเหลืองอ่อน

2) ปริมาณผลได้

จากตารางที่ 4-5 พบว่า ส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองสิ่งทดลองที่ 1 2 5 และ 7 ไม่สามารถคำนวณหาปริมาณผลได้ เนื่องจากส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองที่ได้หลังการทำแห้ง ยังคงมีความชื้น มีลักษณะเหนียวจึงไม่สามารถบดเป็นผง และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 80 เมช ได้ สำหรับส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองสิ่งทดลองที่ 3 4 6 8 และ 9 พบว่า มีปริมาณผลได้อยู่ในช่วง 2.61%-10.12% โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) โดยพบว่าส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงจากสิ่งทดลองที่ 6 ที่ทำแห้งที่อุณหภูมิ 70 ℃ 240 นาที มีปริมาณผลได้มากที่สุด (10.12%) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเป็นสภาวะการทำแห้งที่ใช้อุณหภูมิสูงที่สุด จึงทำให้เกิดอากาศร้อนที่อุณหภูมิสูงเพียงพอพัดผ่านผิวหน้าอาหารที่เปียก ความร้อนจะถูกถ่ายเทไปยังผิวของอาหาร จะระเหยออกมาด้วยความร้อนแฝงของการเกิดไอ ไอน้ำจะแพร่ผ่านฟิล์มอากาศและถูกพัดผ่านไปโดยลมร้อนที่เคลื่อนที่ สภาวะดังกล่าวจะทำให้ความดันไอที่ผิวหน้าของอาหารต่ำกว่าความดันไอด้านในอาหาร เป็นผลให้เกิดความแตกต่างของความดันไอน้ำ อาหารชั้นด้านในจะมีความดันไอสูงและค่อยๆลดต่ำลงเมื่อชั้นของอาหารเข้าใกล้อากาศแห้ง ความแตกต่างนี้ทำให้เกิดแรงดันเพื่อไล่น้ำออกจากอาหารได้ (วิไล รังสาดทอง, 2546) จึงเป็นผลให้ส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองแห้งอย่างทั่วถึงสามารถบดเป็นผงละเอียดได้ และสามารถร่อนผ่านตะแกรงขนาด 80 เมช ได้มากที่สุด

ตารางที่ 4-5 ปริมาณผลได้ของส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงจากสิ่งทดลองที่แปรอุณหภูมิการทำแห้งและเวลาในการทำแห้ง

สิ่งทดลอง	ค่ารหัส		ค่าจริง		ค่าเฉลี่ย ± SD
	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	ปริมาณผลได้
1	-1	-1	45	200	-
2	-1	1	45	285	-
3	1	-1	65	200	5.15 ± 0.15^{c}
4	1	1	65	285	9.67 ± 0.77^{a}
5	-1.414	0	40	240	-
6	1.414	0	70	240	10.12 ± 0.88^{a}
7	0	-1.414	55	180	-
8	0	1.414	55	300	6.98 ± 0.22^{b}
9	0	0	55	240	2.61 ± 0.10^{d}

[a, b,...] ค่าเฉลี่ยในแนวคอลัมน์เดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

- หมายถึง ไม่สามารถคำนวณปริมาณผลได้ เนื่องจากส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองที่ได้หลังการทำแห้ง ยังคงมีความชื้น มีลักษณะเหนียว จึงไม่สามารถบดเป็นผงและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 80 เมช ได้

3) ปริมาณความชื้นและค่า a_w

จากตารางที่ 4-6 พบว่าสภาวะการทำแห้งมีผลทำให้ปริมาณความชื้นและค่า a_w ของส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยสิ่งทดลองที่ 1 2 5 และ 7 ซึ่งมีลักษณะปรากฏยังไม่แห้ง และไม่สามารถบดเป็นผงได้นั้นยังมีปริมาณความชื้นสูง อยู่ในช่วง 35.41-69.26 % และมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.83-0.97 แสดงให้เห็นว่าสภาวะดังกล่าวยังไม่สามารถลดปริมาณความชื้นในส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองได้เพียงพอตามที่ต้องการ โดยพิจารณาได้ว่าสิ่งทดลองดังกล่าวเป็นการใช้สภาวะการทำแห้งที่อุณหภูมิระดับต่ำ (40-55 ℃) และใช้เวลาในการทำแห้งสั้น (180-285 นาที) จึงอาจยังไม่รุนแรงเพียงพอที่จะทำให้เกิดสภาวะอากาศร้อนและเวลาที่เหมาะสมที่จะลดความชื้นออกจากตัวอย่างได้และผลการทดลองพบว่า เมื่อใช้อุณหภูมิและเวลาในการทำแห้งเพิ่มขึ้น ในสิ่งทดลองที่ 3 4 6 8 และ 9 ทำให้ค่า a_w และปริมาณความชื้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) การทำแห้งด้วยลมร้อนเป็นการกำจัดความชื้นออกจากตัวอย่างด้วยวิธีทางความร้อนโดยการให้ความร้อนเพื่อการระเหยความชื้นออกสู่ตัวกลางซึ่งเป็นอากาศร้อนและแห้ง โดยอากาศดังกล่าวนอกจากจะเป็นแหล่งความร้อนเพื่อการระเหยแล้ว ยังทำหน้าที่พาความชื้นจากการระเหยออกจากห้องอบด้วย โดยความชื้นสุดท้ายในตัวอย่างนั้นมากน้อยแตกต่างกันไปขึ้นกับสภาวะในการอบ ยิ่งใช้อุณหภูมิสูง น้ำยิ่งมีโอกาสระเหยออกจากตัวอย่างได้มาก (วัฒนา ปิ่นแสม, ม.ป.ป.) จากผลการทดลองพบว่า สิ่งทดลองที่ 6 ซึ่งอุณหภูมิ 70 ℃ เวลา 240 นาที ทำให้ได้ส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงมีค่า a_w และปริมาณความชื้นต่ำที่สุดคือ 0.30 และ 8.31% ตามลำดับ ด้านปริมาณความชื้นพบว่า สิ่งทดลองที่ 6 ไม่แตกต่างกับสิ่งทดลองที่ 4 ($p\geq0.05$) โดยมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 8.31-9.41 % และด้านค่า a_w พบว่า สิ่งทดลองที่ 6 มีค่า a_w ต่ำที่สุด รองลงมาคือ สิ่งทดลองที่ 4 และ 8 มีค่า a_w เท่ากับ 0.35 และ 0.38 ตามลำดับ

ค่า a_w เป็นน้ำอิสระที่จุลินทรีย์สามารถนำมาใช้ในการเจริญเติบโต มีความสำคัญต่ออายุการเก็บรักษา การเสื่อมเสีย และความปลอดภัยของอาหาร ส่วนปริมาณความชื้น เป็นค่าที่บ่งชี้ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในอาหาร (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนปนนท์, ม.ป.ป.) รุ่งนภา วิสิฐอุดรการ (2540) กล่าวว่า แนวทางการถนอมและแปรรูปให้อาหารมีอายุการเก็บได้นานขึ้น และลดโอกาสการเสื่อมเสียจากปฏิกิริยาเคมีที่ไม่พึงประสงค์ คือการลดปริมาณความชื้นและ a_w ลง สมบัติ ขอทวีวัฒนา (2529) กล่าวว่า ปริมาณน้ำหรือความชื้นที่จะสามารถป้องกันการเสื่อมเสียของอาหารเนื่องจากจุลินทรีย์ได้โดยทั่วไปควรจะเหลือความชื้นในอาหารนั้นต่ำกว่า 10% ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดอาหาร และค่า a_w ต่ำสุดที่แบคทีเรียทั่วไปจะสามารถเจริญได้คือ a_w เท่ากับ 0.81 และ Sheikh et al. (2010) รายงานว่า ในการเตรียมเห็ดผงเพื่อใช้เป็นส่วนผสมของขนมเค้กควบคุมความชื้นให้ไม่เกิน 10% และให้มีค่า a_w ต่ำ จากเหตุผลที่กล่าวมาการทดลองนี้จึงกำหนดให้เส้นใยเห็ดเข็มทองผงควรมีปริมาณความชื้นไม่เกิน 10% และมีค่า a_w ต่ำ จากผลการทดลองพบว่า สิ่งทดลองที่ 4 ที่ใช้อุณหภูมิ 65 ℃ 285 นาที และสิ่งทดลองที่ 6 ที่ใช้อุณหภูมิ 70 ℃ 240 นาที มีปริมาณความชื้นและมีค่า a_w อยู่ในช่วงที่ต้องการ คือ มีปริมาณความชื้น 9.41 และ 8.31% ตามลำดับ มีค่า a_w เท่ากับ 0.35 และ 0.30 ตามลำดับ

ตารางที่ 4-6 ความชื้นและค่า a_w ของส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงจากสิ่งทดลองที่แปรอุณหภูมิการทำแห้งและเวลาในการทำแห้ง

สิ่งทดลอง	ค่ารหัส		ค่าจริง		ค่าเฉลี่ย ± SD	
	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	ปริมาณความชื้น	ค่า a_w
1	-1	-1	45	200	53.06 ± 1.35^{b}	0.93 ± 0.00^{b}
2	-1	1	45	285	35.41 ± 0.35^{c}	0.87 ± 0.01^{c}
3	1	-1	65	200	12.66 ± 0.46^{e}	0.48 ± 0.00^{f}
4	1	1	65	285	9.41 ± 0.16^{g}	0.35 ± 0.00^{h}
5	-1.414	0	40	240	69.26 ± 1.38^{a}	0.97 ± 0.00^{a}
6	1.414	0	70	240	8.31 ± 0.23^{g}	0.30 ± 0.00^{i}
7	0	-1.414	55	180	35.77 ± 0.10^{c}	0.83 ± 0.00^{d}
8	0	1.414	55	300	11.00 ± 0.57^{f}	0.38 ± 0.00^{g}
9	0	0	55	240	14.33 ± 0.84^{d}	0.50 ± 0.03^{e}

$^{a, b,...}$ ค่าเฉลี่ยในแนวคอลัมน์เดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

4) ค่าสี

เมื่อนำส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองทุกสิ่งทดลองมาวัดค่าสีในระบบ CIE LAB พบว่า มีค่า a* และ b* เป็นบวก ซึ่งแสดงถึง มีสีออกทางแดงและเหลือง ซึ่งสอดคล้องกับสีของส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองที่เห็นด้วยตาเปล่า (ตารางที่ 4-2) โดยทุกสิ่งทดลอง ค่าความสว่าง (L*) อยู่ในช่วง 37.25-74.67 ค่าสีแดง (a*) อยู่ในช่วง 4.28-7.56 และค่าสีเหลือง (b*) อยู่ในช่วง 23.03-34.66 จากผลการทดลองพบว่า สภาวะการทำแห้งมีผลทำให้ ค่าสี L* a* และ b* ของส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) โดยพบว่าสิ่งทดลองที่ 1 2 5 และ 7 ซึ่งมีลักษณะปรากฏยังไม่แห้งและสามารถบดเป็นผงได้นั้น มีแนวโน้มค่าสี L* a* และ b* ต่ำกว่า ส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองสิ่งทดลองที่ 3 4 6 8 และ 9 ซึ่งมีลักษณะแห้งสามารถบดเป็นผงละเอียดได้ การที่ส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองในสิ่งทดลองที่ 1 2 5 และ 7 มีสีเหลืองคล้ำกว่า เนื่องจากส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองหลังการตัดแต่งก่อนนำไปทำแห้งนั้นมีสีเหลืองคล้ำอยู่แล้ว ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่มีเอนไซม์เข้ามาเกี่ยวข้อง (Enzymatic browning reaction) ปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นเมื่อเซลล์ของผักผลไม้เกิดการช้ำ ฉีก ขาด บด หั่น หรือสับ ทำให้สารประกอบฟีนอลิกที่มีอยู่ในผักผลไม้สัมผัสกับอากาศ โดยมีเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้เป็นสารสีน้ำตาลที่เรียกว่า เมลานิน (Melanin) (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยารัตนปนนท์, ม.ป.ป.) และการทำแห้งในสภาวะที่ไม่รุนแรงซึ่งใช้อุณหภูมิในการทำแห้งต่ำ ร่วมกับเวลาในการทำแห้งน้อย จึงทำให้ส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองหลังการทำแห้งยังคงมีลักษณะช้ำ ฉ่ำน้ำ จึงมีสีเหลืองคล้ำกว่า

จากผลการทดลองพบว่า สีของส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงมีแนวโน้มค่า L* a* และ b* มากขึ้น เมื่อสภาวะการทำแห้งรุนแรงขึ้น ตัวอย่างเช่น สิ่งทดลองที่ 6 ซึ่งทำแห้งที่อุณหภูมิ 70 °C เวลา 240 นาที ทำให้ส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองมีแนวโน้มค่า L* a* และ b* มาก การที่ส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงมีสีออกทางแดงและเหลืองมาก เนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิกของเส้นใยเห็ดผงระหว่างการอบ โดยในเห็ดมีสารประกอบฟีนอลิก และมีเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (Polyphenol oxidase) จึงสามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ เมื่อสารประกอบฟีนอลิกและออกซิเจนสัมผัสกัน โดยมีเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สารมอนอฟีนอล (Monophenol) ซึ่งไม่มีสี จะถูกออกซิไดซ์ เป็นไดฟีนอล (Diphenol) ซึ่งไม่มีสี และถูกออกซิไดซ์ต่อเป็น o-quinone ซึ่งจะทำปฏิกิริยาต่อกับกรดแอมิโนหรือโปรตีนได้เป็นสารสีน้ำตาล และจะรวมตัวกันเป็นพอลิเมอร์ที่มีโมเลกุลใหญ่และมีสีน้ำตาล เช่น เมลานิน (Melanin) (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนปนนท์, ม.ป.ป.) จึงทำให้ส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงที่ได้มีสีออกทางแดงและเหลือง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ulziijargal et al. (2013) รายงานว่าจากการนำเส้นใยเห็ดการบูร (*Antrodia camphorate*) เห็ดกระดุมบราซิล (*Agaricus blazei*) เห็ดหัวลิง (*Hericium erinaceus*) และเห็ดกระถินพิมาน (*Phelinus linteus*) มาทำให้เป็นผงแห้งด้วยวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งพบว่า ได้เส้นใยเห็ดผงมีสีออกน้ำตาล ซึ่งเป็นสีจากรงควัตถุเฉพาะในเห็ด และสีน้ำตาลอาจเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิกกับเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสของส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงในระหว่างการทำแห้ง Pereira et al. (2012) ได้รายงานว่า เห็ดเข็มทองมีรงควัตถุพวกแคโรทีนอยด์ ได้แก่ Beta-carotene และ Lycopene เท่ากับ 0.34 และ 0.02 mg/100g dw จากผลการทดลองที่พบว่า เมื่อสภาวะในการทำแห้งรุนแรงมากขึ้นมีผลให้ส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผง

มีความสว่างมากขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารพวกแคโรทีนอยด์ ที่มีพันธะคู่จำนวนมาก เมื่อสัมผัสกับความร้อน แสง หรืออากาศ แคโรทีนอยด์ถูกออกซิไดซ์จึงทำให้สีจางลง นอกจากนี้ การเปลี่ยนโครงสร้างของแคโรทีนอยด์ที่เกิดจากการเปลี่ยนไอโซเมอร์จากทรานส์ (Trans) ไปเป็นซิส (Cis) เมื่อสัมผัสกับความร้อน ก็มีผลให้สีจางลงได้ เนื่องจากโครงสร้างพันธะคู่แบบซิสทำให้สีจางลง (รัชนี ตัณฑะพาณิชกุล, 2535) จึงส่งผลให้ส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงมีความสว่างมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ เศรษฐการ นุชนิยม (2554) ที่กล่าวว่าตำลึงผงมีรงควัตถุสำคัญคือคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ การซีดจางลงของสี มีผลจากค่าความสว่าง (L*) สูงขึ้น ซึ่งเป็นผลสำคัญจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของรงควัตถุในสภาวะที่มีอากาศและแสง

ตารางที่ 4-7 ค่าสีของส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงจากสิ่งทดลองที่แปรอุณหภูมิการทำแห้งและเวลาในการทำแห้ง

สิ่งทดลอง	ค่ารหัส		ค่าจริง		ค่าเฉลี่ย ± SD		
	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	L*	a*	b*
1	-1	-1	45	200	46.74 ± 0.72^{h}	5.51 ± 0.14^{e}	24.15 ± 0.42^{f}
2	-1	1	45	285	37.25 ± 0.17^{i}	6.71 ± 0.24^{c}	23.08 ± 0.83^{g}
3	1	-1	65	200	67.12 ± 0.15^{d}	6.85 ± 0.11^{bc}	33.02 ± 0.20^{b}
4	1	1	65	285	73.80 ± 0.05^{b}	6.33 ± 0.11^{d}	31.76 ± 0.31^{d}
5	-1.414	0	40	240	51.22 ± 0.48^{f}	4.28 ± 0.10^{g}	23.03 ± 0.37^{g}
6	1.414	0	70	240	74.67 ± 0.04^{a}	7.56 ± 0.07^{a}	33.46 ± 0.14^{b}
7	0	-1.414	55	180	47.73 ± 0.07^{g}	5.65 ± 0.15^{e}	30.26 ± 0.49^{e}
8	0	1.414	55	300	72.41 ± 0.17^{c}	5.28 ± 0.06^{f}	32.43 ± 0.28^{c}
9	0	0	55	240	63.80 ± 0.05^{e}	7.00 ± 0.05^{b}	34.66 ± 0.10^{a}

$^{a, b,...}$ ค่าเฉลี่ยในแนวคอลัมน์เดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

5) องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ

องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญที่วิเคราะห์จากส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองหลังการทำแห้งและบด ได้แก่ปริมาณโปรตีน ปริมาณกาบา ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ จากการสร้างสมการถดถอยแบบพหุ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญดังกล่าว (Y_{1-4}) กับปัจจัยที่ศึกษา ได้แก่ อุณหภูมิในการทำแห้ง (X_1) กับเวลาในการทำแห้ง (X_2) แสดงผลดังตารางที่ 4-8 และผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญดังกล่าวแสดงผลดังตารางที่ 4-9 และ 4-10

จากตารางที่ 4-6 เมื่อนำผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ ได้แก่ ปริมาณโปรตีน ปริมาณกาบา ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ มาสร้างสมการถดถอยแบบพหุ พบว่าสมการของปริมาณโปรตีน ปริมาณกาบา และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการทำนายความสัมพันธ์ได้โดย มีค่า R^2 มากกว่า 0.75 (0.90, 0.76 และ 0.84 ตามลำดับ) ค่า Model Significance ซึ่งบอกความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร พบว่าสมการของปริมาณโปรตีน และปริมาณกาบามีค่าต่ำกว่า 0.05 (0.01 และ 0.03) แสดงว่าค่า Y และ X มีความสัมพันธ์กันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ส่วนค่า Model Significance ของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด มีค่าต่ำกว่า 0.10 (0.09) แสดงว่าค่า Y และ X มีความสัมพันธ์กันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 90 ค่า RMS ของการใช้สมการของปริมาณโปรตีน ปริมาณกาบา และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด เท่ากับ 0.11 4.15 และ 0.40% ตามลำดับ ซึ่งมีค่าต่ำกว่า 20% แสดงว่าสมการมีความน่าเชื่อถือและมีความแม่นยำในการทำนายค่า (Julian, 2004) สำหรับสมการของสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระมีค่า R^2 เท่ากับ 0.52 ค่า Model Significant เท่ากับ 0.19 ซึ่ง R^2 มีค่าน้อยกว่า 0.75 และ Model Significant มีค่ามากกว่า 0.05 สมการจึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการทำนายค่า เมื่อนำสมการที่น่าเชื่อถือมาสร้างกราฟพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface plot) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Statistica (Trial version) แสดงดังภาพที่ 4-1 ถึง 4-3

จากตารางที่ 4-7 พบว่าสภาวะการทำแห้งมีผลทำให้ปริมาณโปรตีนและกาบาของส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) โดยพบแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงไปในทางเดียวกันคือ เมื่อสภาวะการทำแห้งรุนแรงมากขึ้น มีแนวโน้มให้ปริมาณโปรตีนและกาบาลดลง ในขณะที่สภาวะการทำแห้งรุนแรงน้อย มีแนวโน้มให้ปริมาณโปรตีนและกาบายังคงอยู่มากกว่า จากผลการทดลอง พบว่า การใช้อุณหภูมิทำแห้งระดับต่ำ (40-45 °C) และใช้ระยะเวลาทำแห้งสั้น (200-240 นาที) ในสิ่งทดลองที่ 1 และ 5 ทำให้ส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองหลังการทำแห้งและบดยังคงมีปริมาณโปรตีนมากที่สุด (24.06 และ 24.60 g/100g ตามลำดับ) (p<0.05) และพบว่า การใช้อุณหภูมิทำแห้งระดับต่ำที่สุด (40 °C) ร่วมกับการใช้เวลาทำแห้งสั้น (240 °C) ในสิ่งทดลองที่ 5 ทำให้ส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองหลังการทำแห้งและบดยังคงมีปริมาณกาบามากที่สุด (0.73 g/100g) (p<0.05) โปรตีนในอาหารอาจสูญเสียโครงสร้างในระหว่างการทำแห้งได้ จากการเกิดปฏิกิริยาระหว่างโปรตีนในภาวะที่ได้รับความร้อนสูงเป็นเวลานาน ทำให้เกิดครอสลิง (Crosslink) ระหว่างโมเลกุลของโปรตีน และความร้อนทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดอะมิโนบางชนิด ทำให้สูญเสียโครงสร้างไป จึงทำให้ปริมาณโปรตีนลดลงเมื่อสภาวะการทำแห้งรุนแรงขึ้น (รัชนี ตัณฑะพานิช

กุล, 2535) สภาวะการทำแห้งมีผลต่อปริมาณกาบาโดยมีแนวโน้มลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ วรินธร ยิ้มย่อง และสุนัน ปานสาคร (2552) ศึกษาผลของอุณหภูมิในการลดความชื้นที่มีต่อปริมาณกรดกาบาซึ่งเป็นรูปหนึ่งของกรดอะมิโนกลูตามิกในข้าวกล้องงอกที่ผลิตขึ้นเพื่อการเพิ่มมูลค่าผลิตผลทางการเกษตร โดยแปรอุณหภูมิในการลดความชื้นหรือการทำแห้งหลายระดับ ได้แก่ 20, 40, 80 และ 160 ℃ พบว่า การลดความชื้นที่อุณหภูมิสูง (160 ℃) มีผลต่อการสูญเสียปริมาณกาบามากกว่าการลดความชื้นที่อุณหภูมิต่ำ

เมื่อพิจารณาแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการทำแห้งต่อปริมาณโปรตีนของส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองหลังการทำแห้งและบดเป็นผง จากกราฟพื้นผิวการตอบสนองดังภาพที่ 4-1 พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาในการทำแห้งมีผลทำให้ปริมาณโปรตีนมีแนวโน้มลดลง สังเกตได้จากภาพมีพื้นที่สีน้ำตาลหรือแดง (มีปริมาณโปรตีนมาก อยู่ในช่วง 25-29 g/100g) เมื่อใช้อุณหภูมิต่ำเวลาในการทำแห้งน้อย และเปลี่ยนเป็นภาพมีพื้นที่สีเหลืองหรือเขียว (ปริมาณโปรตีนน้อย อยู่ในช่วง 17-24 g/100g) เมื่อใช้อุณหภูมิสูงและเวลาในการทำแห้งนานขึ้น และพบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิในการทำแห้งคงที่ หากเวลาในการทำแห้งเพิ่มขึ้น มีแนวโน้มให้ปริมาณโปรตีนลดลง เช่นเดียวกับเมื่อใช้เวลาในการทำแห้งคงที่ หากอุณหภูมิในการทำแห้งเพิ่มขึ้น มีแนวโน้มให้ปริมาณโปรตีนลดลง และเมื่อพิจารณาแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการทำแห้งต่อปริมาณกาบาของส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองหลังการทำแห้งและบดเป็นผง จากกราฟพื้นผิวตอบสนองดังภาพที่ 4-2 พบว่า มีแนวโน้มคล้ายกับปริมาณโปรตีน คือเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาในการทำแห้งมีผลทำให้ปริมาณกาบา มีแนวโน้มลดลง แต่พบว่าปริมาณกาบามีผลจากการเปลี่ยนระดับอุณหภูมิมากกว่าการเปลี่ยนแปลงเวลาในการทำแห้ง สังเกตได้จากภาพว่า เมื่อใช้เวลาในการทำแห้งคงที่ หากอุณหภูมิในการทำแห้งเพิ่มขึ้น มีแนวโน้มให้ปริมาณกาบาลดลง โดยภาพมีพื้นที่สีน้ำตาลหรือแดงเปลี่ยนเป็นภาพมีพื้นที่สีเหลืองหรือเขียวนั่นเอง

ในขณะที่ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระมีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน แต่แตกต่างจากปริมาณโปรตีน และปริมาณกาบา คือ เมื่ออุณหภูมิในการทำแห้งสูงขึ้น ทำให้ส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองหลังการทำแห้งและบดเป็นผงมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น สำหรับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดพบว่า สิ่งทดลองที่ 4 ซึ่งใช้อุณหภูมิในการทำแห้ง 65 ℃ เวลา 285 นาที มีปริมาณสูงที่สุด (12.80 gGAE/100g) รองลงมาคือ สิ่งทดลองที่ 6 ซึ่งใช้อุณหภูมิในการทำแห้ง 70 ℃ เวลา 240 นาที (10.62 gGAE/100g) สำหรับสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระซึ่งแสดงเป็น % inhibition พบว่า สิ่งทดลองที่ 4 ซึ่งใช้อุณหภูมิการทำแห้ง 65 ℃ เวลา 285 นาที มีค่าสูงที่สุด (76.74 %) รองลงมาคือสิ่งทดลองที่ 6 ซึ่งใช้อุณหภูมิในการทำแห้ง 70 ℃ เวลา 240 นาที (74.49 %) อาจเนื่องจากการทำแห้งที่อุณหภูมิ สูง เป็นสภาวะที่มีความร้อนเพียงพอในการตัดพันธะสารประกอบฟีนอลิกที่อยู่ในรูปที่ไม่แตกตัว (Bound form) เช่น Esterified และ Glycosylated ทำให้มีสารประกอบฟีนอลิกอยู่ในรูปอิสระ (Free form) เพิ่มมากขึ้น (Guihua et al., 2007) และสารประกอบฟีนอลิกอาจจะเพิ่มมากขึ้นจากสารประกอบเชิงซ้อนโพลีฟีนอล ซึ่งเกิดในขั้นตอนสุดท้ายของปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (Browning reaction) จึงทำให้มีสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มมากขึ้น (Robards et al., 1999) และเนื่องจากสารประกอบฟีนอลิกส่วนใหญ่มีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ จึงทำให้มีสมบัติการเป็น

สารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kim et al. (2013) ศึกษาการเปรียบเทียบวิธีการให้ความร้อนที่มีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในกระเทียมดำ โดยนำกระเทียมดำที่ได้จากการบ่มที่อุณหภูมิและความชื้นต่างกันในแต่ละสิ่งทดลอง ได้แก่ 1) อุณหภูมิ 90 ℃ 100% RH เวลาบ่ม 34 ชั่วโมง 2) อุณหภูมิ 60 ℃ 60% RH เวลาบ่ม 6 ชั่วโมง 3) อุณหภูมิ 75 ℃ 70% RH อุณหภูมิบ่ม 48 ชั่วโมง 4) อุณหภูมิ 70 ℃ 60% RH เวลาบ่ม 60 ชั่วโมง และ 5) อุณหภูมิ 65 ℃ 50% RH เวลาบ่ม 192 ชั่วโมง เมื่อวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด พบว่ากระเทียมที่นำไปบ่มทุกสิ่งทดลอง มีปริมาณสารฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์สูงกว่ากระเทียมสดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

เมื่อพิจารณาแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการทำแห้งต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด จากกราฟพื้นผิวการตอบสนองดังภาพที่ 4-3 พบว่าการใช้อุณหภูมิในการทำแห้งระหว่าง 40-64 ℃ ร่วมกับการใช้เวลาในการทำแห้งระหว่าง 200-300 นาที (ตามภาพพื้นที่สีเขียว) มีแนวโน้มทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงหลังการทำแห้งและบดเป็นผงมีปริมาณน้อย (7-9 g/100g) และพบว่าการใช้สภาวะการทำแห้งอุณหภูมิสูงตั้งแต่ 65-70 ℃ (ตามภาพพื้นที่สีแดง) มีแนวโน้มทำให้สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมีปริมาณมาก (12-15 g/100g) อย่างไรก็ตามพบว่า การใช้สภาวะการทำแห้งอุณหภูมิต่ำร่วมกับเวลาในการทำแห้งน้อยสามารถคงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดให้มีปริมาณมากเช่นกัน

ตารางที่ 4-8 ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบพหุ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญในส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผง (Y_1-ปริมาณโปรตีน Y_2-ปริมาณกาบา Y_3-ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และY_4-สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ) กับอุณหภูมิการทำแห้ง (X_1) และเวลาการทำแห้ง (X_2)

องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ	สมการ	R^2	Model Significant	RMS
ปริมาณโปรตีน	$Y_1 = 111.177 - 1.922X_1 - 0.250X_2 + 0.004X_1X_2 + 0.007X_1^2$	0.90	0.01	0.11%
ปริมาณกาบา	$Y_2 = 4.010 - 0.123X_1 + 0.001X_1^2 - 8.361E\text{-}7X_2^2$	0.76	0.03	4.51%
ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด	$Y_3 = 113.314 - 2.155X_1 - 0.383X_2 + 0.014X_1^2 + 0.003X_1X_2 + 4.000E\text{-}4X_2^2$	0.84	0.09	0.40%
สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ	$Y_4 = 192.956 - 2.109X_1 - 0.579X_2 + 0.010X_1X_2$	0.52	0.19	0.11%

ตารางที่ 4-9 ปริมาณโปรตีน และปริมาณกาบาของส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงจากสิ่งทดลองที่แปรอุณหภูมิการทำแห้งและเวลาในการทำแห้ง

สิ่งทดลอง	ค่ารหัส		ค่าจริง		ค่าเฉลี่ย ± SD	
	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	ปริมาณโปรตีน (g/100g)	ปริมาณกาบา (g/100g)
1	-1	-1	45	200	24.06 ± 0.56^{a}	0.52 ± 0.01^{b}
2	-1	1	45	285	18.31 ± 0.33^{d}	0.24 ± 0.01^{ef}
3	1	-1	65	200	18.58 ± 0.66^{d}	0.14 ± 0.01^{g}
4	1	1	65	285	18.33 ± 0.04^{d}	0.23 ± 0.01^{ef}
5	-1.414	0	40	240	24.60 ± 0.49^{a}	0.73 ± 0.03^{a}
6	1.414	0	70	240	18.79 ± 0.13^{d}	0.25 ± 0.01^{de}
7	0	-1.414	55	180	21.59 ± 0.37^{b}	0.27 ± 0.01^{d}
8	0	1.414	55	300	19.61 ± 0.22^{c}	0.31 ± 0.03^{c}
9	0	0	55	240	18.93 ± 0.19^{d}	0.21 ± 0.01^{f}

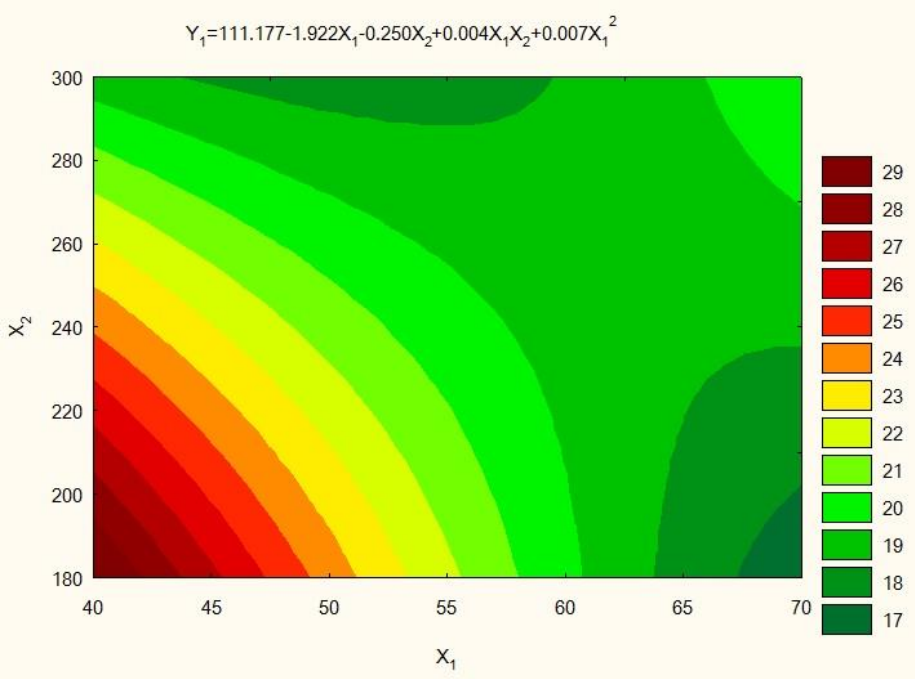
$^{a, b,...}$ ค่าเฉลี่ยในแนวคอลัมน์เดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 4-10 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงจากสิ่งทดลองที่แปรอุณหภูมิการทำแห้งและเวลาในการทำแห้ง

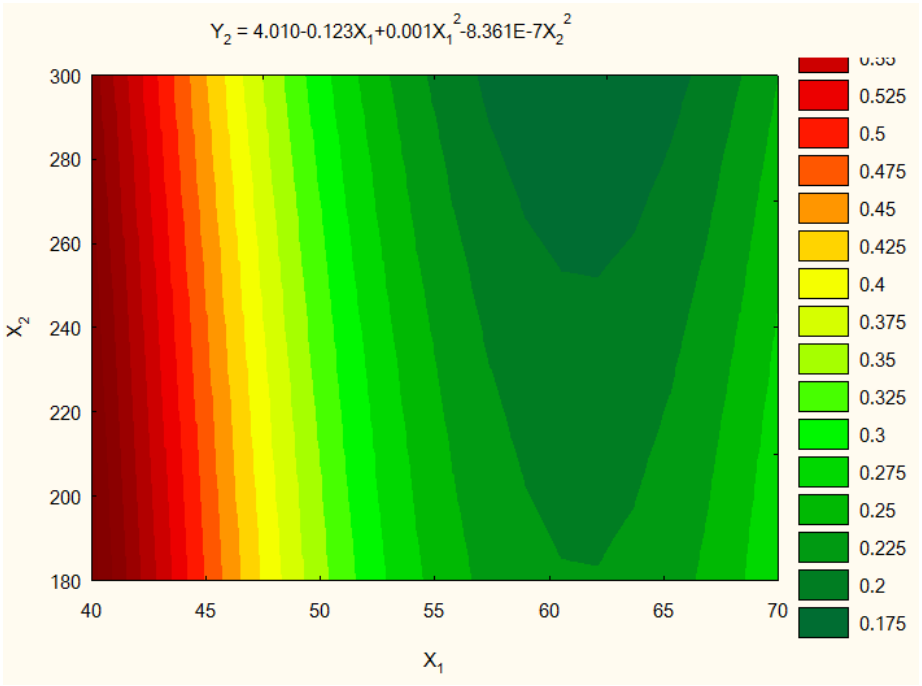
สิ่งทดลอง	ค่ารหัส		ค่าจริง		ค่าเฉลี่ย ± SD	
	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (gGAE/100g)[#]	สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (% inhibition)
1	-1	-1	45	200	11.88 ± 0.69[b]	72.76 ± 0.52[c]
2	-1	1	45	285	6.70 ± 0.35[f]	57.65 ± 0.91[g]
3	1	-1	65	200	10.59 ± 0.35[c]	74.82 ± 0.30[b]
4	1	1	65	285	12.80 ± 0.79[a]	76.74 ± 0.40[a]
5	-1.414	0	40	240	9.68 ± 0.48[d]	70.51 ± 0.61[d]
6	1.414	0	70	240	10.62 ± 0.34[c]	74.49 ± 1.15[b]
7	0	-1.414	55	180	9.98 ± 0.26[cd]	69.25 ± 0.11[e]
8	0	1.414	55	300	9.44 ± 0.35[d]	72.56 ± 0.72[c]
9	0	0	55	240	7.80 ± 0.65[e]	63.02 ± 0.69[f]

[a, b,...] ค่าเฉลี่ยในแนวคอลัมน์เดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

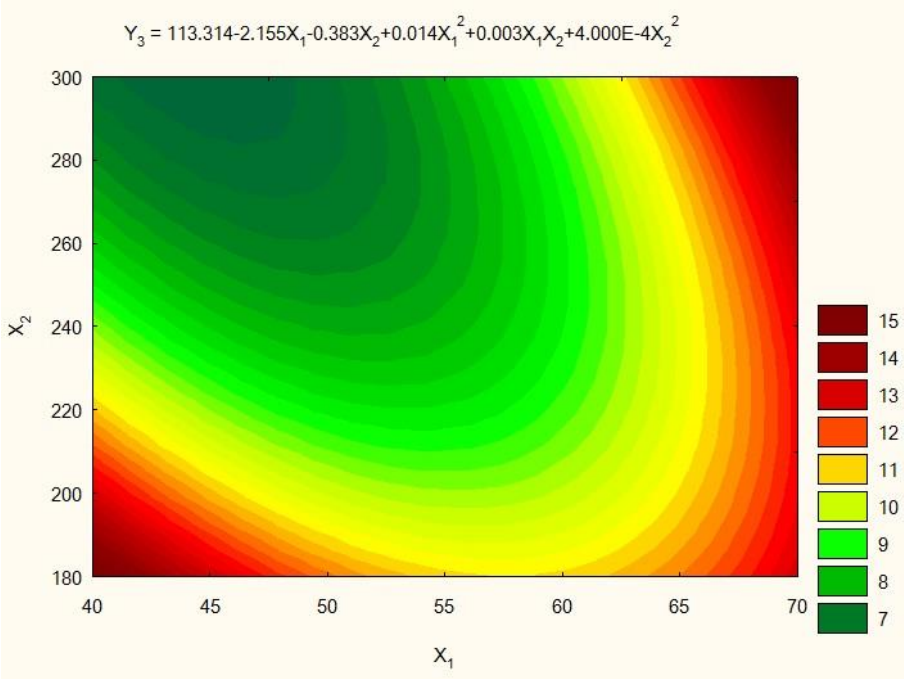
[#] หมายถึง คิดเทียบจากน้ำหนักสารสกัด



ภาพที่ 4-1 กราฟพื้นผิวตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ (X_1) และเวลา (X_2) ที่ใช้ในการทำแห้งต่อปริมาณโปรตีนของส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผง



ภาพที่ 4-2 กราฟพื้นผิวตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ (X_1) และเวลา (X_2) ที่ใช้ในการทำแห้งต่อปริมาณกาบาของส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผง



ภาพที่ 4-3 กราฟพื้นผิวตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ (X_1) และเวลา (X_2) ที่ใช้ในการทำแห้งต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผง

6) ผลการพิจารณาสภาวะการทำแห้งที่เหมาะสม

จากภาพรวมผลการทดลองทั้งหมดพบว่า การศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาการทำแห้งด้วยลมร้อน โดยกำหนดช่วงอุณหภูมิการทำแห้ง 40-70°C และเวลาการทำแห้ง 180-300 นาที โดยวางแผนการทดลองแบบ CCD ได้ 9 สิ่งทดลอง ซึ่งเกิดจากการจัดสิ่งทดลองจากการแปรระดับตามแผนมาตรฐาน อาจมีผลให้บางสิ่งทดลองมีการใช้ระดับปัจจัยด้านอุณหภูมิและเวลาในการทำแห้งที่ไม่รุนแรงเพียงพอกับการทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงที่มีความชื้นไม่เกิน 10% ตามที่กำหนดไว้ ซึ่งเป็นผลที่อาจเกิดขึ้นได้ อย่างไรก็ตามสิ่งทดลองดังกล่าวนั้นยังสามารถนำมาวิเคราะห์คุณภาพได้เพื่อให้ได้ข้อมูลสำหรับนำมาพิจารณาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงคุณภาพตามตัวแปรที่ศึกษา รวมถึงนำมาสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตามได้ ตามข้อดีของการจัดสิ่งทดลองแบบ CCD ที่เลือกใช้ สอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Kong et al. (2010) ที่พบว่าในการจัดสิ่งทดลองแบบ CCD โดยแปรอุณหภูมิการทำแห้ง (50-80 °C) และเวลาการทำแห้ง (4-6 ชั่วโมง) เพื่อศึกษาสภาวะการทำแห้งที่เหมาะสมต่อการคงอยู่ของไลโคปีนและสารต้านอนุมูลอิสระไลโปฟีลิกในผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมผลิตเพียวเร่ฝรั่งสีชมพู พบว่ามีบางสิ่งทดลองที่มีปริมาณไลโคปีนและปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด อย่างไรก็ตามสามารถนำผลการวิเคราะห์คุณภาพของสิ่งทดลองดังกล่าวมาวิเคราะห์ค่าและสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตามได้ นำสมการที่ได้มาสร้างกราฟพื้นผิวตอบสนอง RSM เพื่อพิจารณาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงคุณภาพที่พบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาการทำแห้งมีผลต่อค่าปริมาณไลโคปีนและปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระไลโปฟีลิกลดลง

ในงานวิจัยนี้พิจารณาสภาวะการทำแห้งที่เหมาะสม โดยเลือกสิ่งทดลองที่ทำให้ส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผง มีการคงอยู่ของปริมาณสารพฤกษเคมี และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด มีปริมาณความชื้นสุดท้ายของส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงไม่เกิน 10% และมีค่า a_w ต่ำ จากผลการวิเคราะห์คุณภาพ พบว่า สิ่งทดลองที่ 4 ซึ่งทำแห้งที่อุณหภูมิ 65 °C เวลา 285 นาที และสิ่งทดลองที่ 6 ซึ่งทำแห้งที่อุณหภูมิ 70°C เวลา 240 นาที ทำให้ได้ส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงที่มีปริมาณความชื้นไม่เกิน 10% คือ 9.41 และ 8.31 % ตามลำดับ และมีค่า a_w ระดับต่ำ เท่ากับ 0.35 และ 0.30 ตามลำดับ

สำหรับปริมาณสารพฤกษเคมีได้แก่ ปริมาณกาบา พบว่า สิ่งทดลองดังกล่าวมีปริมาณไม่แตกต่างกัน (0.23-0.25 g/100g) แต่สำหรับด้านปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ พบว่า สิ่งทดลองที่ 4 มีปริมาณมากกว่าสิ่งทดลองที่ 6 (p<0.05) ดังนั้นสิ่งทดลองที่เหมาะสมที่สุดคือ สิ่งทดลองที่ 4 คือการนำส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองมาทำแห้งที่อุณหภูมิ 65°C เป็นเวลา 285 นาที

3.2.2 ผลของวิธีการเตรียมขั้นต้นต่อปริมาณองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของส่วนเหลือทิ้งบริเวณรากหรือเส้นใยของเห็ดนางฟ้าผง

จากการแปรปัจจัยที่ศึกษาที่เกี่ยวข้องกับวิธีการเตรียมขั้นต้น 2 ปัจจัย ได้แก่ การลวก (ไม่ลวก ลวกในน้ำ และลวกในสารละลายโซเดียมคลอไรด์) และลักษณะชิ้นตัวอย่างก่อนการทำแห้ง (หั่นเป็นชิ้น และบดหยาบ) ซึ่งได้วิธีการเตรียมขั้นต้นส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าก่อนการทำแห้ง 6 วิธี แล้วนำตัวอย่างเห็ดที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นตามวิธีที่กำหนดมาทำแห้ง โดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 65°C จนได้ความชื้นสุดท้าย 9 ± 1% แล้วนำตัวอย่างที่อบแห้งได้มาบดให้เป็นผง เวลาที่ใช้ในการทำแห้งและปริมาณผลได้ของส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงแสดงดังตารางที่ 4-11 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงในด้านปริมาณองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ ได้แก่ ปริมาณโปรตีน ปริมาณกาบา ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ แสดงดังตารางที่ 4-12 ปริมาณความชื้นและค่า a_W แสดงดังตารางที่ 4-13 และลักษณะปรากฏ รวมถึงค่าสีของส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผง แสดงดังตารางที่ 4-14 และตารางที่ 4-15 ตามลำดับ ผลการทดลองมีรายละเอียดดังนี้

1) เวลาที่ใช้ในการทำแห้งและปริมาณผลได้

จากตารางที่ 4-11 พบว่า ส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าที่ผ่านการเตรียมขั้นต้น ใช้เวลาในการทำแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนอยู่ในช่วง 144-309 นาที มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) โดยพบว่าส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยลวกในสารละลายโซเดียมคลอไรด์และบดหยาบก่อนการทำแห้ง (สิ่งทดลองที่ 6) ใช้เวลาในการทำแห้งน้อยที่สุด (144 นาที) ในขณะที่สิ่งทดลองที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยหั่นเป็นชิ้นและไม่ผ่านการลวก (สิ่งทดลองที่ 1) ใช้เวลาในการทำแห้งมากที่สุด (309 นาที) รวมทั้งพบแนวโน้มว่าการเตรียมขั้นโดยการบดหยาบก่อนการทำแห้งทำให้ใช้เวลาทำแห้งน้อยกว่าการหั่นเป็นชิ้น ทั้งนี้เนื่องจากขนาดชิ้นของวัตถุดิบก่อนการทำแห้งมีความเกี่ยวข้องกับพื้นผิวสัมผัสกับอากาศร้อนในห้องอบแห้ง ถ้ามีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตรมากจะมีพื้นที่ระเหยน้ำมาก ช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพของการส่งผ่านความร้อนไปทั่วชิ้นอาหาร น้ำจึงระเหยออกได้ดีมากขึ้น (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์, ม.ป.ป.) ซึ่งสอดคล้องกับ

รายงานของ Nazghelichi, Kianmehr, and Aghbashlo (2010) ที่มีการศึกษาการทำแห้งแครอทหั่นลูกเต๋า พบว่า แครอทที่มีขนาดเล็กมีการถ่ายเทความร้อนและถ่ายเทมวลมากกว่า น้ำระเหยออกได้เร็ว จึงช่วยเพิ่มอัตราเร็วในการทำแห้ง สำหรับการลวกในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ช่วยให้ใช้เวลาในการทำแห้งสั้นลงได้

สอดคล้องกับรายงานของ กฤติกา เจียรนัย และจุฑาวรรณ์ แก้วสังข์ (2555) ที่รายงานว่า ใบชะพลูที่ผ่านการลวกเกลือใช้เวลาในการทำแห้งน้อยกว่า (79 นาที) ใบชะพลูที่ไม่ผ่านการลวก (87 นาที) อาจเนื่องมาจากการลวกมีผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของผนังเซลล์ได้โดยทำให้ความแข็งแรงของเนื้อเยื่อลดลง ได้จึงมีผลให้น้ำในชิ้นอาหารมีโอกาสระเหยออกไปเมื่อสัมผัสอากาศร้อนได้มากขึ้นและรวดเร็วขึ้นได้ (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2544) นอกจากนี้การลวกมีผลต่อโครงสร้างเซลล์ซึ่งมีผลให้เพิ่มการยอมให้ผ่าน (permeability) ของเยื่อหุ้มเซลล์ซึ่งเอื้อต่อการแพร่ของน้ำในเซลล์และไอออนของตัวถูกละลายของสารที่ใช้ลวกได้ (ทิพวรรณ ทองสุข, 2553) จากการทดลองนี้จึงอาจมีผลให้โซเดียมไอออน (Na^+) และคลอไรด์ไอออน (Cl^-) สามารถแพร่เข้าไปในชั้นเห็ดได้ จึงมีผลให้เกิดความแตกต่างของแรงดันออสโมติกระหว่างในและนอกเซลล์ ส่งผลให้เกิดการแพร่ของน้ำออกนอกเซลล์จึงเป็นการลดปริมาณของน้ำในชิ้นอาหารได้อีกทางหนึ่ง ซึ่งสอดคล้องกับที่ Saencom, Chiewchan, and Devahastin (2011) (2011) รายงานว่า ใบตำลึงที่ผ่านการลวกในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 1%, 2% และ 3% มีปริมาณความชื้น (9.67-11.71%) ต่ำกว่าปริมาณความชื้นของใบตำลึงที่ผ่านการลวกในน้ำ (14.57%)

นอกจากนี้ จากตารางที่ 4-11 พบว่าผลการคำนวณปริมาณผลได้ของส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงอยู่ในช่วง 5.97-7.35% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยพบว่าส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยหั่นเป็นชิ้นและไม่ผ่านการลวก (สิ่งทดลองที่ 1) มีปริมาณผลได้มากที่สุด (7.35%) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสิ่งทดลองดังกล่าวที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นน้อยที่สุด จึงมีโอกาสสูญเสียผลได้น้อยที่สุด การไม่ผ่านขั้นตอนการลวกสามารถลดโอกาสที่ของแข็งที่ละลายได้ชนิดต่างๆจะสูญเสียไปกับน้ำที่ใช้ลวก รวมถึงการไม่ผ่านการบดลดขนาดให้เล็กลงโดยการใช้เครื่องบดอาหารก็เป็นการลดโอกาสการสูญเสียผลได้ไประหว่างบดอีกประการหนึ่ง แต่อย่างไรก็ตามปริมาณผลได้ของสิ่งทดลองที่ 1 นี้ก็ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) กับสิ่งทดลองที่ 2, 3 และ 6 ซึ่งมีปริมาณผลได้อยู่ในช่วง 6.60-6.6%

ตารางที่ 4-11 เวลาที่ใช้ในการทำแห้งและปริมาณผลได้ของส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงจากการเตรียมขั้นต้นวิธีต่างๆ

สิ่งทดลอง	วิธีการเตรียมขั้นต้น		ค่าเฉลี่ย ± SD	
	การลวก	ลักษณะชิ้นตัวอย่างก่อนการทำแห้ง	เวลาที่ใช้ในการทำแห้ง (นาที)	ปริมาณผลได้ (%)
1	ไม่ลวก	หั่นเป็นชิ้น	309.0 ± 3.0[a]	7.35 ± 0.29[a]
2	ไม่ลวก	บดหยาบ	183.5 ± 3.5[d]	6.96 ± 0.43[ab]
3	ลวกในน้ำ	หั่นเป็นชิ้น	263.0 ± 2.0[b]	6.70 ± 0.61[abc]
4	ลวกในน้ำ	บดหยาบ	157.5 ± 2.5[e]	6.30 ± 0.70[bc]
5	ลวกในสารละลายโซเดียมคลอไรด์	หั่นเป็นชิ้น	254.5 ± 1.5[c]	5.97 ± 0.08[c]
6	ลวกในสารละลายโซเดียมคลอไรด์	บดหยาบ	144.0 ± 2.0[f]	6.60 ± 0.31[abc]

[a,b,c,...] ค่าเฉลี่ยในแนวคอลัมน์เดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

2) องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ

จากตารางที่ 4-12 พบว่าปริมาณสารประกอบเคมีที่วิเคราะห์ ได้แก่ ปริมาณโปรตีน ปริมาณกาบา ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นด้วยวิธีการต่างๆ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ด้านปริมาณโปรตีนและกาบา พบแนวโน้มคล้ายกันคือ ส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงที่ผ่านการบดหยาบก่อนการทำแห้งและไม่ผ่านการลวก (สิ่งทดลองที่ 2) มีปริมาณโปรตีนและกาบามากที่สุดเท่ากับ 10.08 g/100g และ 0.43 mg/100g (dry basis) ตามลำดับ ($p<0.05$) ในขณะที่สิ่งทดลองที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการลวกในสารละลายโซเดียมคลอไรด์และบดหยาบก่อนการทำแห้ง (สิ่งทดลองที่ 6) มีปริมาณโปรตีนและกาบาน้อยที่สุดเท่ากับ 8.32 g/100g และ 0.12 mg/100g (dry basis) ตามลำดับ ($p<0.05$) การที่ผลการทดลองด้านปริมาณโปรตีนและกาบามีแนวโน้มคล้ายกันอาจเนื่องมาจากมีองค์ประกอบที่มีความสัมพันธ์กัน โดยกาบาเป็นรูปหนึ่งของกรดอะมิโนกลูตามิก ในขณะที่โปรตีนมีองค์ประกอบย่อยคือกรดอะมิโนชนิดต่างๆ ดังนั้นปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณโปรตีนและกาบาจึงให้ผลกระทบแนวโน้มคล้ายกัน

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าวิธีการเตรียมขั้นต้น โดยการใช้ความร้อนลวกในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ร่วมกับการบดลดขนาดเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสความร้อนในขั้นตอนการทำแห้ง มีผลให้ปริมาณโปรตีนและกาบาลดลงมากกว่าสิ่งทดลองอื่นๆ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากโปรตีนในอาหารอาจสูญเสียโครงสร้างไปในระหว่างการทำแห้ง จากการเกิดปฏิกิริยาระหว่างโปรตีนในภาวะที่ได้รับความร้อน ทำให้เกิดการเชื่อมข้าม (Cross link) ระหว่างโมเลกุลของโปรตีนและความร้อนทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของกรดอะมิโนบางชนิด ทำให้สูญเสียโครงสร้างไป จึงทำให้ปริมาณโปรตีนลดลงเมื่อได้รับความร้อน (รัชนี ตัณทะพานิชกุล, 2535) ดังนั้นการบดหยาบเพื่อลดขนาดจึงเป็นการ

เพิ่มโอกาสให้ตัวอย่างสัมผัสความร้อนได้มาก ทั่วถึง และต่อเนื่องจึงเอื้อต่อการสูญเสียโครงสร้างของโปรตีนได้มาก นอกจากนี้การลวกยังเป็นการเพิ่มโอกาสทำให้เซลล์เมมเบรนหรือองค์ประกอบของเซลล์เมมเบรนที่มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบถูกทำลายและสารบางส่วนถูกชะออกไปได้ (ทิพวรรณ ทองสุข, 2553) การลวกจึงทำให้โปรตีนที่เป็นองค์ประกอบของเซลล์เมมเบรนสูญเสียโครงสร้าง ทำให้โปรตีนมีปริมาณลดลง ปัจจัยเสริมอีกประการหนึ่งที่ทำให้เกิดการสูญเสียโครงสร้างของโปรตีนง่ายขึ้น คือการใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์ร่วมด้วยในการเตรียมขั้นต้นในการลวก เนื่องจากจัดเป็นการเติมปริมาณเกลือให้กับตัวอย่างจึงทำให้โปรตีนบางชนิดเสียสภาพทางธรรมชาติได้ง่ายขึ้นและเกิดการตกตะกอนในที่สุด เป็นผลให้โปรตีนสูญเสียโครงสร้างไป จึงทำให้ปริมาณโปรตีนลดลงได้ง่ายขึ้นเมื่อสัมผัสกับความร้อน (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2553) และสอดคล้องกับที่ Davoodi, Vijayanand, Kulkarni and Ramana (2007) กล่าวไว้ว่า แม้การลดขนาดชิ้นตัวอย่างรวมถึงการลวกก่อนการทำแห้งจะมีผลดีทำให้เวลาในการทำแห้งสั้นลง แต่การลดขนาดชิ้นตัวอย่างก็เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการสัมผัสความร้อนในระหว่างการทำแห้งที่อาจเอื้อต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและปริมาณของสารที่สำคัญได้ นอกจากนี้การลวกในสารละลายโซเดียมคลอไรด์มีผลให้ผนังเซลล์ของพืชถูกทำลาย และทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของน้ำในเซลล์ออกมานอกชิ้นตัวอย่างได้ง่ายขึ้น รวมถึงสารอาหารต่างๆที่สามารถละลายน้ำได้ก็สามารถแพร่ออกมานอกเซลล์ได้ง่ายขึ้นเช่นกัน ผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของกฤษติยา ทิสมบูรณ์ และนิภา เสือเดช (2556) ที่พบว่า ปริมาณโปรตีนของสาหร่ายผักกาดทะเลแห้งที่ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้น (22.72%) มากกว่าโปรตีนของสาหร่ายผักกาดทะเลแห้งที่ผ่านการลวกในน้ำ (21.18%) และในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (21.92%) ($p<0.05$)

ด้านปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด พบว่า ส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงที่ไม่ผ่านการลวกทั้งหั่นเป็นชิ้นและบดหยาบก่อนการทำแห้ง (สิ่งทดลองที่ 1 และ 2) มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมากที่สุด เท่ากับ 58.26 และ 59.69 mgGAE/100g (dry basis) ตามลำดับ โดยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) ในขณะที่สิ่งทดลองอื่นมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดอยู่ในช่วง 28.02-29.69 mgGAE/100g (dry basis) แสดงให้เห็นว่า การเตรียมขั้นต้นด้วยการลวกทั้งโดยการใช้น้ำและสารละลายโซเดียมคลอไรด์มีผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดลดลงได้ ทั้งนี้เนื่องมาจากการหั่นตัดแต่งให้ตัวอย่างมีขนาดเล็กลงเป็นการเพิ่มรอยตัดที่อาจทำให้สารประกอบฟีนอลิกที่มีสมบัติละลายน้ำได้ เช่น กรดพาราไฮดรอกซีเบนโซอิก (*p*-Hydroxybenzoic acid) ซึ่งเป็นสารประกอบฟีนอลิกที่อาจพบในเห็ด (Carneiro et al., 2013) สามารถถูกชะและแพร่ออกมาสู่น้ำที่ใช้ลวกได้ จึงมีผลให้สิ่งทดลองที่ผ่านการลวกมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดลดลงมากกว่า เมื่อเทียบกับสิ่งทดลองที่ไม่ผ่านการลวก สอดคล้องกับรายงานของ Jaworska, Pogon, Bernas, Skrzyczak and Kapusta (2014) ได้มีการศึกษาถึงผลของการลวกและไม่ลวกเห็ด *Suillus luteus* (L.) Roussel ต่อองค์ประกอบเคมีด้านสารประกอบฟีนอลิก คุณสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสะ และวิตามินอื่นๆ พบว่าการลวกเห็ดก่อนนำไปผ่านการทำแห้งเห็ดมีผลทำให้ปริมาณของโพลีฟีนอล และฟลาโวนอยด์ลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับเห็ดสดโดยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากการลวก (98°C เป็นเวลา 90 วินาที) ทำให้สารประกอบของโพลีฟีนอลและฟลาโวนอยด์บางส่วนถูกชะล้างออกไปได้ในระหว่างการลวก อย่างไรก็ตามมีผู้อธิบายถึงผลดีของการลวกต่อการรักษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกไว้เช่นกัน โดยจากรายงานของ Barros,

Baptista, Correia, Samorais and Ferreira (2007) อ้างถึงใน Jaworska, Pogon, Bernas, Skrzyczak and Kapusta (2014) ได้กล่าวว่าในเห็ดมีเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (Polyphenoloxidase) และเอนไซม์เพอร์ออกซิเดส (Peroxidase) ปริมาณสูงซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้สารประกอบฟีนอลิกถูกออกซิไดซ์ได้ง่ายเมื่อเนื้อเยื่อของเห็ดถูกทำลาย เช่น ผ่านการตัดแต่งเป็นชิ้น Girgin and El (2015) ศึกษาถึงผลกระทบของการลวกดอกกะหล่ำ (98°C เป็นเวลา 10 นาที) โดยอธิบายไว้ว่าในระหว่างการให้ความร้อนในการแปรรูปอาหารสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ต่างๆได้ เช่น เอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส จึงเป็นผลให้สามารถยับยั้งปฏิกิริยาการเสื่อมสลาย (degradation) ของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกโดยเฉพาะกลุ่มโพลีฟีนอลจึงเป็นการรักษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกไว้ได้ แต่จากผลการทดลองดังกล่าวพบว่าการลวกมีผลต่อการลดลงของสารประกอบฟีนอลิกของกะหล่ำดอกถึง 43% และได้อธิบายถึงผลดังกล่าวไว้ว่า การสูญเสียสารประกอบฟีนอลิกในระหว่างการให้ความร้อนโดยการลวก อาจเนื่องมาจากสารประกอบฟีนอลิกเป็นสารกลุ่มใหญ่ที่มีทั้งสมบัติละลายน้ำได้และละลายน้ำไม่ได้ โดยกลุ่มที่ละลายน้ำได้มักจะไม่ทนความร้อนและสามารถละลายออกมาในน้ำที่ใช้ลวก แต่ทั้งนี้ปริมาณการสูญเสียก็ขึ้นอยู่กับปัจจัยร่วมที่ใช้ เช่น วิธีการให้ความร้อนและชนิดของสารละลายที่ใช้

จากผลการทดลองเมื่อพิจารณาสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระจะเห็นได้ว่ามีแนวโน้มค่อนข้างสอดคล้องไปในทิศทางเดียวกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิก โดยพบว่า ส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงที่ไม่ผ่านการลวกมีสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระมากกว่าสิ่งทดลองอื่น ($p<0.05$) โดยสิ่งทดลองที่ 2 ซึ่งหมายถึงส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงที่ไม่ผ่านการลวกและบดหยาบก่อนการทำแห้ง มีสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด เมื่อรายงานเป็น %inhibition เท่ากับ 78.43 รองลงมาคือสิ่งทดลองที่ 1 ซึ่งหมายถึงส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงที่ไม่ผ่านการลวกและหั่นเป็นชิ้นก่อนการทำแห้ง มี %Inhibition เท่ากับ 77.68% ในขณะที่สิ่งทดลองอื่นมีสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระอยู่ในช่วง 73.70-75.92 (%Inhibition) แสดงให้เห็นว่า การเตรียมขั้นต้นด้วยการลวกในน้ำและในสารละลายโซเดียมคลอไรด์มีผลทำให้สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Jaworska et al. (2014) พบว่าเห็ดที่ผ่านการลวกมีสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (0.78 mmol Trolox equivalent) ลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของเห็ดที่ไม่ผ่านการลวก (0.91 mmol Trolox equivalent) ซึ่งการสูญเสียสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระมีสาเหตุเช่นเดียวกับการสูญเสียสารประกอบฟีนอลิกดังที่ได้อภิปรายไปข้างต้น นอกจากนี้ นิธิยา รัตนาปนนท์ (2553) กล่าวว่าสารที่มีสมบัติต้านอนุมูลอิสระบางชนิดไม่ทนต่อความร้อน และออกซิเจน สามารถสูญเสียไปในระหว่างการแปรรูปได้ ดังนั้นกระบวนการแปรรูปที่ใช้ความร้อนสูงและมีการสัมผัสกับออกซิเจนได้มากจึงมีโอกาสให้สูญเสียสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระได้มาก

ตารางที่ 4-12 องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงจากการเตรียมขั้นต้นวิธีต่างๆ

สิ่งทดลอง	วิธีการเตรียมขั้นต้น		ค่าเฉลี่ย ± SD			
	การลวก	ลักษณะชิ้นก่อนการทำแห้ง	ปริมาณโปรตีน (g/100g)*	ปริมาณกาบา (mg/100g)*	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมด (mgGAE/100g)*	สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (%inhibition)
1	ไม่ลวก	หั่นเป็นชิ้น	9.78 ± 0.04^{b}	0.36 ± 0.00^{b}	58.26 ± 1.68^{a}	77.68 ± 0.08^{b}
2	ไม่ลวก	บดหยาบ	10.08 ± 0.18^{a}	0.43 ± 0.03^{a}	59.69 ± 0.29^{a}	78.43 ± 0.18^{a}
3	ลวกในน้ำ	หั่นเป็นชิ้น	9.26 ± 0.04^{c}	0.18 ± 0.02^{d}	29.21 ± 0.11^{bc}	74.61 ± 0.21^{d}
4	ลวกในน้ำ	บดหยาบ	8.94 ± 0.04^{d}	0.26 ± 0.04^{c}	28.02 ± 0.90^{c}	74.82 ± 0.28^{d}
5	ลวกในสารละลายโซเดียมคลอไรด์	หั่นเป็นชิ้น	8.39 ± 0.10^{e}	0.14 ± 0.04^{de}	28.06 ± 0.51^{c}	73.70 ± 0.14^{e}
6	ลวกในสารละลายโซเดียมคลอไรด์	บดหยาบ	8.32 ± 0.04^{e}	0.12 ± 0.00^{e}	29.69 ± 0.73^{b}	75.92 ± 0.33^{c}

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

* หมายถึง คิดเทียบจากน้ำหนักฐานแห้ง

3) ปริมาณความชื้นและค่า a_W

เนื่องจากในการทดลองนี้มีการควบคุมให้ปริมาณความชื้นสุดท้ายหลังการทำแห้งของทุกสิ่งทดลองต้องอยู่ในช่วง 9 ± 1 % ตามที่ Sheikh et al. (2010) แนะนำไว้ว่าในการเตรียมเห็ดผงเพื่อใช้เป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น ขนมเค้ก ควรควบคุมความชื้นให้ไม่เกิน 10% และให้มีค่า a_w ต่ำ จากตารางที่ 4-13 พบว่า ส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงทุกสิ่งทดลองมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 8.51-9.85% เป็นไปตามที่กำหนดไว้ แม้มีปริมาณความชื้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ก็ตาม แสดงให้เห็นว่าส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นทุกวิธีสามารถนำมาทำแห้งด้วยการอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 65°C จนมีความชื้นสุดท้ายไม่เกิน 10% ได้ ทั้งนี้เวลาในการทำแห้งแตกต่างกันตามตารางที่ 4-11 สำหรับค่า a_W พบว่าส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงทุกสิ่งทดลองมีค่า a_W อยู่ในช่วง0.30-0.38 โดย a_W หมายถึง น้ำอิสระที่จุลินทรีย์สามารถนำมาใช้ในการเจริญเติบโต มีความสำคัญต่ออายุการเก็บรักษา การเสื่อมเสีย และความปลอดภัยของอาหาร ส่วนปริมาณความชื้น เป็นค่าที่บ่งชี้ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในอาหาร (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนปนนท์, ม.ป.ป.) รุ่งนภา วิสิฐอุดรการ (2540) กล่าวว่า แนวทางการถนอมและแปรรูปให้อาหารมีอายุการเก็บได้นานขึ้น และลดโอกาสการเสื่อมเสียจากปฏิกิริยาเคมีที่ไม่พึงประสงค์ คือการลดปริมาณความชื้นและ a_w ลง จากผลการทดลองจึงแสดงให้เห็นว่า สามารถนำส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้ามาทำเป็นผงแห้งที่มีปริมาณความชื้นและค่า a_W ที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ประโยชน์และการเก็บรักษา

ตารางที่ 4-13 ปริมาณความชื้นและค่า a_W ของส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงจากการเตรียมขั้นต้นวิธีต่างๆ

สิ่งทดลอง	วิธีการเตรียมขั้นต้น		ค่าเฉลี่ย ± SD	
	การลวก	ลักษณะชิ้นก่อนการทำแห้ง	ปริมาณความชื้น (%)	ค่า a_W
1	ไม่ลวก	หั่นเป็นชิ้น	9.85 ± 0.04^{e}	0.37 ± 0.00^{c}
2	ไม่ลวก	บดหยาบ	8.51 ± 0.06^{a}	0.30 ± 0.00^{a}
3	ลวกในน้ำ	หั่นเป็นชิ้น	9.21 ± 0.02^{c}	0.35 ± 0.00^{b}
4	ลวกในน้ำ	บดหยาบ	8.81 ± 0.14^{b}	0.36 ± 0.01^{b}
5	ลวกในสารละลายโซเดียมคลอไรด์	หั่นเป็นชิ้น	9.62 ± 0.09^{d}	0.38 ± 0.00^{c}
6	ลวกในสารละลายโซเดียมคลอไรด์	บดหยาบ	9.32 ± 0.11^{c}	0.37 ± 0.00^{c}

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

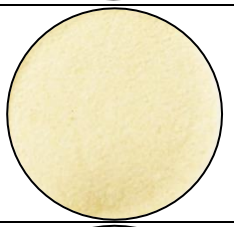
4) ค่าสี

จากการสังเกตด้วยตาเปล่า พบว่า ส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงที่ได้มีสีแตกต่างกันเล็กน้อย แสดงดังตารางที่ 4-14 โดยสิ่งทดลองที่ไม่ผ่านการลวกทั้งที่หั่นเป็นชิ้นและบดหยาบก่อนการทำแห้ง (สิ่งทดลองที่ 1 และ 2) มีสีน้ำตาลอมเหลืองเข้มกว่าสิ่งทดลองอื่นเล็กน้อย

เมื่อนำส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงทุกสิ่งทดลองมาวัดค่าสีในระบบ CIE LAB ได้ผลแสดงดังตารางที่ 4-14 พบว่ามีค่า a* และ b* เป็นบวก ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีค่าเป็นสีแดงและเหลือง ซึ่งสอดคล้องกับสีของผงเห็ดที่เห็นด้วยตาเปล่า โดยทุกสิ่งทดลองมีค่าความสว่าง (L*) อยู่ในช่วง 79.28-83.52 ค่าสีแดง (a*) อยู่ในช่วง 2.39-4.84 และค่าสีเหลือง (b*) อยู่ในช่วง 16.27-24.30 ซึ่งค่าสี L*, a* และ b* ของส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงที่ผ่านการลวกในน้ำและในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ทั้งที่หั่นชิ้นและบดหยาบก่อนการทำแห้ง (สิ่งทดลองที่ 3 4 5 และ 6) มีค่า L* (80.81-83.52) สูง ในขณะที่ส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงที่ไม่ผ่านการลวกทั้งที่หั่นเป็นชิ้นและบดหยาบก่อนการทำแห้ง (สิ่งทดลองที่ 1 และ 2) มีค่า L* (79.28-80.18) ต่ำกว่า นอกจากนี้ส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงที่ผ่านการลวกในน้ำและในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ทั้งที่หั่นเป็นชิ้นและบดหยาบก่อนการทำแห้ง (สิ่งทดลองที่ 3 4 5 และ 6) ยังมีค่า a* (2.39-3.34) และค่า b* (16.27-18.02) ต่ำ ในขณะที่ส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงที่ไม่ผ่านการลวกทั้งที่หั่นเป็นชิ้นและบดหยาบก่อนการทำแห้งมีค่า a* (4.51-4.84) และค่า b* (23.42-24.30) สูงกว่า แสดงให้เห็นว่าส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงที่ไม่ผ่านการลวกนั้นมีสีคล้ำกว่าและมีสีออกทางแดงและเหลืองมากกว่าส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงที่ผ่านการลวกในน้ำและในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ซึ่งสอดคล้องกับสีของผงเห็ดที่สังเกตได้ด้วยตาเปล่า

การที่ส่วนเหลือทิ้งของเห็ดนางฟ้าที่ไม่ผ่านการลวกมีสีคล้ำมากกว่าและมีสีออกทางแดงและเหลืองมากกว่า เนื่องจากส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าหลังการตัดแต่งก่อนการทำแห้งนั้นมีสีเหลืองคล้ำอยู่แล้ว ซึ่งสีเหลืองคล้ำนี้เกิดจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ (Enzymatic browning reaction) ซึ่งปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นกับเนื้อเยื่อพืชเมื่อเซลล์ถูกทำลายทางกล เช่น การปอกเปลือก การหั่นชิ้น หรือการบด ทำให้เกิดปฏิกิริยาของสารประกอบฟีนอลิกที่อยู่ในเซลล์พืชสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ โดยมีเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (PPO) เป็นตัวเร่ง ได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำตาล ซึ่งเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยานี้สามารถถูกทำลายได้ด้วยความร้อน (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2553) ดังนั้นสิ่งทดลองที่ผ่านการลวกจึงเป็นการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ดังกล่าวได้ ทำให้ส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงที่ผ่านการลวกในน้ำและในสารละลายโซเดียมคลอไรด์จึงมีสีคล้ำน้อยกว่า และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าสี L* ของส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงที่ไม่ผ่านการลวก พบว่า สิ่งทดลองที่บดหยาบก่อนการทำแห้ง (สิ่งทดลองที่ 2) มีค่า L* ต่ำกว่าสิ่งทดลองที่หั่นเป็นชิ้นก่อนการทำแห้ง (สิ่งทดลองที่ 1) แสดงให้เห็นว่ามีความสว่างน้อยกว่าหรือคล้ำกว่านั่นเอง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการบดหยาบเป็นการทำให้เซลล์เนื้อเยื่อถูกทำลายมากขึ้นจึงเอื้อต่อการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์มากขึ้นนั่นเอง นอกจากนี้การลดขนาดตัวอย่างเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวให้เซลล์พืชสัมผัสกับออกซิเจนได้มากกว่าจึงมีโอกาสเร่งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้มากกว่าด้วย

ตารางที่ 4-14 ลักษณะปรากฏของส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงจากการเตรียมขั้นต้นวิธีต่างๆ

สิ่งทดลอง			ลักษณะปรากฏ	
1	ไม่ลวก	หั่นเป็นชิ้น		เป็นผงละเอียด มีสีน้ำตาลอมเหลืองเข้มเล็กน้อย
2	ไม่ลวก	บดหยาบ		เป็นผงละเอียด มีสีน้ำตาลอมเหลืองเข้มเล็กน้อย
3	ลวกในน้ำ	หั่นเป็นชิ้น		เป็นผงละเอียด มีสีน้ำตาลอมเหลืองอ่อน
4	ลวกในน้ำ	บดหยาบ		เป็นผงละเอียด มีสีน้ำตาลอมเหลืองอ่อน
5	ลวกในสารละลายโซเดียมคลอไรด์	หั่นเป็นชิ้น		เป็นผงละเอียด มีสีน้ำตาลอมเหลืองอ่อน
6	ลวกในสารละลายโซเดียมคลอไรด์	บดหยาบ		เป็นผงละเอียด มีสีน้ำตาลอมเหลืองอ่อน

ตารางที่ 4-15 ค่าสีของส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงจากการเตรียมขั้นต้นวิธีต่างๆ

สิ่งทดลอง	วิธีการเตรียมขั้นต้น		ค่าเฉลี่ย ± SD		
	การลวก	ลักษณะชิ้นก่อนการทำแห้ง	L*	a*	b*
1	ไม่ลวก	หั่นเป็นชิ้น	80.18 ± 0.10^{e}	4.51 ± 0.03^{b}	23.42 ± 0.14^{b}
2	ไม่ลวก	บดหยาบ	79.28± 0.05^{f}	4.84 ± 0.08^{a}	24.30 ± 0.42^{a}
3	ลวกในน้ำ	หั่นเป็นชิ้น	83.52 ± 0.03^{a}	2.39 ± 0.28^{d}	17.42 ± 0.46^{d}
4	ลวกในน้ำ	บดหยาบ	80.81 ± 0.02^{d}	3.34± 0.07^{c}	18.02± 0.26^{c}
5	ลวกในสารละลายโซเดียมคลอไรด์	หั่นเป็นชิ้น	82.58 ± 0.03^{b}	2.53 ± 0.04^{d}	17.27 ± 0.05^{e}
6	ลวกในสารละลายโซเดียมคลอไรด์	บดหยาบ	81.83 ± 0.03^{c}	2.46 ± 0.08^{d}	16.27 ± 0.24^{d}

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

5) ผลการคัดเลือกสิ่งทดลองที่เหมาะสม

จากเกณฑ์ที่กำหนดไว้คือเลือกวิธีการเตรียมตัวอย่างก่อนการทำแห้งที่เหมาะสมโดยเลือกสิ่งทดลองที่ทำให้ได้ส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงที่มีการคงอยู่ของปริมาณสารพฤกษเคมี และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด โดยพิจารณาร่วมกับคุณภาพอื่นๆ ที่วิเคราะห์ ผลการทดลอง พบว่าส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงที่ไม่ผ่านการลวกและบดหยาบก่อนการทำแห้ง (สิ่งทดลองที่ 2) มีปริมาณสารพฤกษเคมีที่เป็นองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญทุกค่าที่วิเคราะห์ ได้แก่ ปริมาณโปรตีน (10.08 g/100g dry basis) ปริมาณกาบา (0.43 mg/100g dry basis) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (59.69 mg/100g dry basis) และมีสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (78.43 %inhibition) สูงที่สุด รวมถึงใช้เวลาในการทำแห้งไม่มากนัก (183.5 นาที) มีปริมาณผลได้อยู่ในระดับสูง (6.96%) มีปริมาณความชื้น (8.51%) และค่า a_W (0.30) อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับการนำมาใช้ประโยชน์และเก็บรักษา แม้ส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงที่ได้มีสีน้ำตาลอมเหลืองเข้มกว่าสิ่งทดลองที่ผ่านการลวกเล็กน้อยแต่ยังอยู่ในระดับที่สีไม่เข้มมากนัก นอกจากนี้สิ่งทดลองดังกล่าวนี้ใช้เวลาในการเตรียมขั้นต้นน้อย ไม่ต้องเตรียมสารที่ใช้ลวก จึงไม่ยุ่งยาก สะดวกในการเตรียมการ ประหยัดต้นทุนและแรงงาน จึงเลือกวิธีการเตรียมตัวอย่างตามสิ่งทดลองที่ 2 คือ การนำส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้ามาบดหยาบก่อนการทำแห้งเป็นสิ่งทดลองที่เหมาะสมในการเตรียมผงเห็ดเพื่อนำไปใช้ในขั้นตอนต่อไป

4.2.3 ผลของวิธีการทำแห้งต่อปริมาณองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของส่วนเหลือทิ้งบริเวณรากหรือเส้นใยของเห็ดขอนขาว

จากการนำส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวมาทำแห้งโดยใช้วิธีการอบแห้ง 2 วิธี คือ การทำแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อน และใช้ตู้อบสุญญากาศ จนได้ความชื้นสุดท้ายประมาณ 9±1% แล้วนำตัวอย่างที่อบแห้งได้มาบดให้เป็นผง เวลาที่ใช้ในการทำแห้งและปริมาณผลได้ของส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผง แสดงดังตารางที่ 4-16 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวผงในด้านปริมาณองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ ได้แก่ ปริมาณโปรตีน ปริมาณกาบา ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ แสดงดังตารางที่ 4-17 ปริมาณความชื้นและค่า a_W แสดงดังตารางที่ 4-18 และลักษณะปรากฏ รวมถึงค่าสีของส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวผง แสดงดังภาพที่ 4-4 และตารางที่ 4-19 ตามลำดับ ผลการทดลองมีรายละเอียดดังนี้

1) เวลาที่ใช้ในการทำแห้งและปริมาณผลได้

จากตารางที่ 4-16 พบว่า เมื่อใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 65 °C ใช้เวลาในการอบแห้งส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวเท่ากับ 195.6 นาที เมื่อใช้ตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 65 °C ภายใต้ความดัน 36 cmHg ใช้เวลาในการอบแห้งส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวเท่ากับ 213.5 นาที ซึ่งพบว่าการใช้สภาวะสุญญากาศใช้เวลาในการทำแห้งมากกว่าการใช้ตู้อบลมร้อน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการอบแห้งทั้ง 2 วิธีมีลักษณะการถ่ายเทความร้อนที่แตกต่างกัน การอบแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนเป็นการทำให้อาหารแห้งโดยวางอาหารในสภาพอากาศร้อน แล้วเกิดการพาความร้อนจากอากาศร้อนไปยังผิวอาหารจนเกิดการระเหยเป็นไอของน้ำในอาหาร (วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล, 2522) ในขณะที่การอบแห้งโดยใช้ตู้อบสุญญากาศเกิดในระบบปิด ผนังห้องอบมีโอกาสสะสมความร้อนได้มาก สุนันท์ ศรัณยนิตย์ (2545) กล่าวว่า การอบแห้งโดยใช้ตู้อบสุญญากาศเกิดการนำความร้อนของผนังห้องอบได้มากกว่าการพาความร้อนจากอากาศร้อน ดังนั้นหากวัสดุเกษตรที่นำมาอบในตู้อบสุญญากาศได้รับ

ความร้อนจากการถ่ายเทความร้อนในห้องอบไม่เท่ากันหรือไม่สม่ำเสมอทั่วถึงกันอาจมีผลให้ต้องใช้เวลาในการทำแห้งนานเกินไป สอดคล้องกับที่ ประสิทธิ์ โสภา และคณะ (2553) ศึกษาการถ่ายเทความร้อนในห้องอบสภาวะสุญญากาศพบว่าการถ่ายเทความร้อนในสภาวะสุญญากาศจะเกิดขึ้นในลักษณะการนำความร้อนในสภาวะสม่ำเสมอ และจะเกิดขึ้นมากกว่าการพาความร้อนและการแผ่รังสี การที่วัสดุเกษตรจะมีการถ่ายเทความร้อนดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาสร้างผนังห้องอบแห้ง ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าแม้ตามหลักการอบแห้งในสภาวะสุญญากาศจะมีข้อดีคือทำให้อากาศมีความดันของไอน้ำต่ำลง มีผลให้น้ำในอาหารเกิดการระเหยได้ที่อุณหภูมิต่ำลง แต่ประสิทธิภาพในการทำแห้งยังขึ้นอยู่กับความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของเครื่องอบสุญญากาศที่ใช้ด้วย นอกจากนี้เนื่องจากส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาว มีการบดลดขนาดลงมากจึงมีพื้นที่ผิวมาก ทำให้น้ำในตัวอย่างสามารถระเหยได้ง่ายขึ้น การใช้อุณหภูมิ 65 °C ในการอบลมร้อนจึงเพียงพอที่สามารถระเหยน้ำได้อย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตามจากตารางที่ 4-16 พบว่า ปริมาณผลได้ของส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวผงที่ผ่านทำแห้งทั้งสองวิธีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) อยู่ในช่วง 5.89-5.98%

ตารางที่ 4-16 เวลาที่ใช้ในการทำแห้งและปริมาณผลได้ของส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวผงจากการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนและตู้อบสุญญากาศ

วิธีการทำแห้ง	ค่าเฉลี่ย ± SD	
	เวลาที่ใช้ในการทำแห้ง (นาที)	ปริมาณผลได้ (%)^{ns}
ตู้อบลมร้อน	195.6 ± 3.5^{b}	5.89 ± 0.99
ตู้อบสุญญากาศ	213.5 ± 1.5^{a}	5.98 ± 0.75

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

^{ns} ค่าเฉลี่ยในแนวคอลัมน์เดียวกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

2) องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ

จากตารางที่ 4-17 พบว่า ปริมาณสารประกอบเคมีที่วิเคราะห์ ได้แก่ ปริมาณกาบา ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวผงที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนและตู้อบสุญญากาศ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ยกเว้นด้านปริมาณโปรตีน โดยพบว่า ปริมาณโปรตีนของส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวผงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p \geq 0.05$) แต่พบว่า ปริมาณกาบา ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยพบว่าการทำแห้งในสภาวะสุญญากาศสามารถรักษาองค์ประกอบทางพฤกษเคมีของส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวผงได้มากกว่าการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน Rahman et al. (1999) กล่าวว่า การทำแห้งในสภาวะสุญญากาศสามารถทำให้ความชื้นในอาหารลดลงได้ที่อุณหภูมิต่ำลง จากการที่น้ำในอาหารกลายเป็นไอได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าสภาวะบรรยากาศ เป็นเหตุผลสำคัญที่ทำให้ลดการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาต่างๆที่อุณหภูมิสูง ทำให้คงคุณภาพทางเคมีที่สำคัญของอาหารได้ สอดคล้องกับที่รัตนา อัตตปัญโญ และคณะ (2542) ที่กล่าวว่าการทำแห้งในสภาวะ

สุญญากาศเหมาะสำหรับการทำแห้งวัตถุดิบที่ไวต่อความร้อน เช่น สมุนไพรชนิดต่างๆหรือวัตถุดิบที่ไม่ต้องการให้เกิดการสูญเสียองค์ประกอบที่ไวต่อความร้อน โดยการทำแห้งในสภาวะสุญญากาศช่วยรักษาปริมาณสารที่สามารถระเหยง่ายให้ยังคงอยู่ในผลิตภัณฑ์ได้

ตารางที่ 4-17 องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวจากการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนและตู้อบสุญญากาศ

วิธีการทำแห้ง	ค่าเฉลี่ย ± SD			
	ปริมาณโปรตีน (g/100g)^{ns*}	ปริมาณกาบา (mg/100g)*	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mgGAE/100g)*	สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (% inhibition)
ตู้อบลมร้อน	11.28 ± 0.97	1.87 ± 0.18^{b}	410.04 ± 7.41^{b}	75.24 ± 0.74^{b}
ตู้อบสุญญากาศ	11.41 ± 0.98	2.04 ± 0.16^{a}	440.14 ± 8.10^{a}	80.18 ± 0.51^{a}

^{ns} ค่าเฉลี่ยในแนวคอลัมน์เดียวกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

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

* หมายถึง คิดเทียบจากน้ำหนักฐานแห้ง

3) ปริมาณความชื้นและค่า a_W

จากตารางที่ 4-18 พบว่า ส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวผงทุกสิ่งทดลองมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 9.29%-9.41% เป็นไปตามที่กำหนดไว้ โดยมีปริมาณความชื้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) แสดงให้เห็นว่าส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวที่ผ่านการอบทั้งสองวิธีสามารถลดความชื้นลงได้แม้ใช้เวลาในการทำแห้งต่างกันตามตารางที่ 4-16 สำหรับค่า a_W พบว่า ส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวผงทั้งสองสิ่งทดลองไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) เช่นเดียวกันกับปริมาณความชื้น โดยมีค่า a_W ประมาณ 0.4 ซึ่งเป็นค่าที่ค่อนข้างต่ำ จึงมีความเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ประโยชน์และการเก็บรักษาต่อไป

ตารางที่ 4-18 ปริมาณความชื้นและค่า a_W ของส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวจากการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนและตู้อบสุญญากาศ

วิธีการทำแห้ง	ค่าเฉลี่ย ± SD	
	ปริมาณความชื้น (%)^{ns}	ค่า a_W ^{ns}
ตู้อบลมร้อน	9.29 ± 1.10	0.40 ± 0.01
ตู้อบสุญญากาศ	9.41 ± 0.95	0.41 ± 0.01

^{ns} ค่าเฉลี่ยในแนวคอลัมน์เดียวกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

4) ค่าสี

จากการสังเกตด้วยตาเปล่า พบว่า ส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวผงที่ได้มีสีน้ำตาลอ่อนซึ่งมีสีค่อนข้างคล้ายกัน แสดงดังภาพที่ 4-4 เมื่อนำส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวมาวัดค่าสีในระบบ CIE LAB ได้ผลแสดงดังตารางที่ 4-19 พบว่า มีค่า a* และ b* เป็นบวก ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีค่าเป็นสีแดงและเหลือง ซึ่งสอดคล้องกับสีของผงเห็ดที่เห็นด้วยตาเปล่า โดยทุกสิ่งทดลองมีค่าความสว่าง (L*) อยู่ในช่วง 54.21-56.01 ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยพบว่าค่า a* (ค่าสีแดง) และ b*(ค่าสีเหลือง) ของส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนและตู้อบสุญญากาศ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยค่า a* และ b* ของส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวด้วยตู้อบสุญญากาศมีค่าน้อยกว่าส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน อาจแสดงถึงการเกิดสารสีน้ำตาลในสิ่งทดลองที่ทำแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศน้อยกว่า จึงมีสีออกทางแดงเหลือง หรือน้ำตาลได้น้อยกว่าสิ่งทดลองที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการทำแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศเป็นระบบปิด มีปริมาณออกซิเจนน้อย และอยู่ในสภาพที่มีความดันต่ำ ทำให้เอนไซม์ที่เป็นต้นเหตุทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีไม่สามารถทำงานได้หรือทำงานได้น้อยลง จึงส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลโดยเฉพาะแบบที่เกิดจากเอนไซม์ได้น้อยลง จึงกล่าวได้ว่าส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศสามารถรักษาคุณภาพด้านสีได้ดีกว่าการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ตามที่ได้อภิปรายไว้ในข้อ 4.2.2 ว่าส่วนเหลือทิ้งเห็ดหลังการตัดแต่งก่อนการทำแห้งนั้นมีสีเหลืองคล้ำจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ (Enzymatic browning reaction) ซึ่งปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นกับเนื้อเยื่อพืชเมื่อเซลล์ถูกทำลายทางกล เช่น การหั่นชิ้น หรือการบด ทำให้เกิดปฏิกิริยาของสารประกอบฟีนอลิกที่อยู่ในเซลล์พืชสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ โดยมีเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสเป็นตัวเร่ง ได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำตาล (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2553) ดังนั้นการนำส่วนเหลือทิ้งเห็ดมาทำแห้งในสภาวะที่เอื้อต่อการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลจะมีผลให้ได้ผลิตภัณฑ์ผงแห้งที่มีสีน้ำตาลคล้ำขึ้นได้

(ก) (ข)

ภาพที่ 4-4 ลักษณะปรากฏของส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวผงจากการทำแห้งด้วย (ก) ตู้อบลมร้อน และ (ข) ตู้อบสุญญากาศ

ตารางที่ 4-19 ค่าสีของส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวจากการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนและตู้อบสุญญากาศ

วิธีการทำแห้ง	ค่าเฉลี่ย ± SD		
	L*[ns]	a*	b*
ตู้อบลมร้อน	54.21 ± 0.17	5.73 ± 0.19[a]	21.02 ± 0.24[b]
ตู้อบสุญญากาศ	56.01 ± 0.10	5.14 ± 0.15[b]	19.21 ± 0.30[a]

[ns] ค่าเฉลี่ยในแนวคอลัมน์เดียวกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

[a, b] ค่าเฉลี่ยในแนวคอลัมน์เดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

5) ผลการคัดเลือกสิ่งทดลองที่เหมาะสม

จากเกณฑ์ที่กำหนดไว้คือเลือกสิ่งทดลองที่ทำให้ได้ส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวที่มีการคงอยู่ของปริมาณสารพฤกษเคมี และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด โดยพิจารณาร่วมกับคุณภาพอื่นๆ ที่วิเคราะห์ ผลการทดลอง พบว่า ส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศ มีปริมาณสารพฤกษเคมีที่เป็นองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ ได้แก่ ปริมาณกาบา (2.04 mg/100g dry basis) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (440.14 mgGAE/100g dry basis) และมีสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (80.18 %inhibition) สูงกว่าส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน โดยได้ส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวที่มีปริมาณความชื้น (9.41%) และค่า a_W (0.41) อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับการนำมาใช้ประโยชน์และเก็บรักษา แม้การทำแห้งในตู้อบสุญญากาศจะใช้เวลาการทำแห้งมากกว่าการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนอยู่บ้าง (ประมาณ 18 นาที) จึงเลือกวิธีการเตรียมตัวอย่างตามสิ่งทดลองดังกล่าว คือ การนำส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวมาบดหยาบก่อนการทำแห้ง และทำแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 65 °C ภายใต้ความดัน 36 cmHg เป็นสิ่งทดลองที่เหมาะสมในการเตรียมผงเห็ดเพื่อนำไปใช้ในขั้นตอนต่อไป

4.3 ผลการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำส่วนเหลือทิ้งบริเวณรากหรือเส้นใยเห็ดผงไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารต้นแบบ

4.3.1 ผลของการแทนที่แป้งขนมปังด้วยส่วนเหลือทิ้งบริเวณรากหรือเส้นใยเห็ดเข็มทองผงต่อคุณภาพของขนมปังเพรทเซล

จากการนำเส้นใยเห็ดผงตามสภาวะที่เลือกได้จากข้อ 4.2.1 คือ ส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงที่ผ่านการทำแห้งที่อุณหภูมิ 65 °C เวลา 285 นาที มาเติมเป็นส่วนประกอบของขนมปังเพรทเซล โดยการเติมเส้นใยเห็ดเข็มทองผงแทนที่แป้งขนมปังในสูตรการผลิตขนมปังเพรทเซล 4 ระดับ คือ แทนที่แป้งขนมปังในปริมาณ 0% 10% 15% และ 20% ของน้ำหนักแป้ง ผลการวิเคราะห์ค่าสีเปลือกและเนื้อของขนมปังเพรทเซลแสดงดังตารางที่ 4-20 ถึง 4-21 และภาพที่ 4-5 ถึง 4-6 ตามลำดับ ลักษณะเนื้อสัมผัสแสดงดังตารางที่ 4-22 และภาพที่ 4-7 ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ ได้แก่ ปริมาณโปรตีน ปริมาณกาบา ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระแสดงดังตารางที่ 4-23 และผลการทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัส แสดงดังตารางที่ 4-24 ผลการทดลองมีรายละเอียดดังนี้

1) ค่าสี

ค่าสี L* a* แ-ละ b* ทั้งในส่วนเปลือกและส่วนเนื้อของขนมปังเพรทเซลเมื่อแทนที่แป้งขนมปังด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงปริมาณต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4-20 และ 4-21 และลักษณะสีของเปลือกและเนื้อของขนมปังเพรทเซลแสดงดังภาพที่ 4-5 และ 4-6 ตามลำดับ พบว่า ปริมาณการแทนที่แป้งขนมปังด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงมีผลต่อค่าสีเปลือกและเนื้อของขนมปังเพรทเซล (p<0.05) จากการสังเกตด้วยตาเปล่าพบว่า เมื่อเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงมากขึ้น ทำให้ขนมปังเพรทเซลมีสีเปลือกเป็นสีน้ำตาลแดงเข้มขึ้นและสีเนื้อเป็นสีเหลืองอ่อนเข้มขึ้น

เมื่อพิจารณาค่าสีที่วัดได้สำหรับสีของเปลือกขนมปังเพรทเซลด้านค่าความสว่าง (L*) และค่าสีเหลือง (b*) พบว่า มีแนวโน้มคล้ายกันคือ เปลือกขนมปังเพรทเซลสูตรควบคุมมีค่า L* (56.45) และ b* (34.17) สูงที่สุด (p<0.05) เมื่อเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงเป็น 10% และ 15% ทำให้ค่า L* (38.84-41.49) และ b* (21.34-25.91) ลดลง โดยการเพิ่มส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงเป็น 20% ทำให้ค่า L* (38.96) และ b* (22.12) ไม่แตกต่างกับการเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผง 15% (p≥0.05) ด้านค่าสีแดง (a*) พบว่าขนมปังเพรทเซลสูตรควบคุมมีค่า a* (14.78) ต่ำที่สุด (p<0.05) เมื่อเติมเส้นใยเห็ดเข็มทองผงเป็น 10% และ 15% ทำให้ค่า a* (15.27 - 15.85) เพิ่มขึ้น โดยการเพิ่มส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงเป็น 20% ทำให้ค่า a* (15.89) ไม่แตกต่างกับการเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผง 15% (p≥0.05)

สำหรับสีของเนื้อขนมปังเพรทเซลด้านค่า L* และ a* พบแนวโน้มคล้ายกับสีเปลือกคือเนื้อขนมปังเพรทเซลสูตรควบคุมมีค่า L* (80.11) สูงที่สุด และ a* (1.83) ต่ำที่สุด (p<0.05) และเมื่อเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงเพิ่มขึ้นมีแนวโน้มให้ค่า L* ลดลงและค่า a* เพิ่มขึ้น แต่พบว่าเนื้อขนมปังเพรทเซลสูตรควบคุมมีค่า b* (16.29) ต่ำที่สุด เมื่อเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงเพิ่มขึ้นมีแนวโน้มให้ค่า b* เพิ่มขึ้น โดยพบว่าการเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผง20% ทำให้เนื้อขนมปังเพรทเซลมีค่า L* (59.90) ต่ำที่สุด (p<0.05) ในขณะที่ค่า a* (7.22) และค่า b* (26.30) สูงที่สุด (p<0.05)

การที่ขนมปังเพรทเซลที่แทนที่แป้งขนมปังด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงมีสีของเปลือกและเนื้อแตกต่างจากขนมปังเพรทเซลสูตรควบคุม เนื่องจากสีของส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงมีสีเหลืองอ่อน (L* เท่ากับ 73.80, a* เท่ากับ 6.33 และ b* เท่ากับ 37.76) จากรงควัตถุกลุ่มเฉพาะพวกแคโรทีนอยด์ นอกจากนี้ส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงเป็นแหล่งที่ดีของโปรตีน ซึ่งมีองค์ประกอบของกรดอะมิโน ในระหว่างการอบขนมปังเพรทเซลสามารถเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่มีเอนไซม์เข้ามาเกี่ยวข้อง (Non-enzymatic Browning) ที่เรียกว่า ปฏิกิริยาเมลลาร์ด ซึ่งเป็นปฏิกิริยาระหว่างหมู่คาร์บอนิลในน้ำตาลรีดิวซ์กับอะมิโนอิสระ ในสภาวะที่มีความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เกิดผลผลิตเป็นสารสีน้ำตาลเรียกว่า เมลานอยดิน (Melanoidins) (รัชนี ตัณฑะพาณิชกุล, 2535) เป็นผลให้ขนมปังที่แทนที่ด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงมีสีแตกต่างจากขนมปังเพรทเซลสูตรควบคุม ดังนั้นการเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงมากขึ้นจึงเป็นการเพิ่มสีเหลืองจากรงควัตถุในเห็ด และเพิ่มแหล่งของโปรตีนสำหรับการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล จึงมีแนวโน้มให้เห็นว่า เมื่อเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงมากขึ้น ทำให้ขนมปังเพรทเซลมีสีเปลือกเป็นสีน้ำตาลแดงเข้มขึ้นและสีเนื้อเป็นสีเหลืองอ่อนเข้มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ulziijargal et al. (2013) ศึกษาคุณภาพของขนมปังที่เสริมด้วยเส้นใยเห็ดโดยใช้เส้นใยเห็ดการบูร (*Antrodia camphorate*) เห็ดกระดุมบราซิล (*Agaricus blazei*) เห็ดหัวลิง

(*Hericium erinaceus*) และเห็ดกระถินพิมาน (*Phelinus linteus*) นำเส้นใยเห็ดมาทำให้เป็นผงแห้งด้วยวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง และใช้ทดแทนแป้งขนมปัง 5% ผลการวิเคราะห์ค่าสี พบว่าขนมปังสูตรควบคุมมีสีแตกต่างจากขนมปังที่เสริมด้วยเส้นใยเห็ดผงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยค่าความสว่าง (L*) ของสีเปลือกขนมปังขาวสูตรควบคุมมีค่าสูงกว่าขนมปังที่เสริมด้วยเส้นใยเห็ดผง ค่า a* และ b* ของเนื้อขนมปังที่เสริมด้วยเส้นใยเห็ดผงมีค่าเป็นบวก ซึ่งมีสีออกทางแดงและเหลืองมากกว่าขนมปังสูตรควบคุม

อย่างไรก็ตามสีเปลือกของขนมปังเพรทเซลปกติมีสีออกน้ำตาลอยู่แล้ว เนื่องจากในระหว่างการอบสามารถเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดระหว่างหมู่คาร์บอนิลในน้ำตาลรีดิวซ์กับอะมิโนอิสระ เกิดผลผลิตเป็นสารสีน้ำตาลที่เรียกว่า เมลานอยดิน และกระบวนการผลิตขนมปังเพรทเซล มีการเคลือบสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต (Sodium bicarbonate) ก่อนนำไปอบ ซึ่งโซเดียมไบคาร์บอเนตมีสมบัติเป็นเบสอ่อน เมื่อสารประกอบอะมาโดริ (Amadori compound) อยู่ในสภาวะเบสจะสลายตัวเป็นสารพวกรีดักโตน (Reductones) และฟิชชันโพรดักส์ (Fission product) ต่างๆ ซึ่งว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยา สามารถเกิดสารประกอบเมลานอยดินได้อย่างรวดเร็ว (รัชนี ตัณฑะพานิชกุล, 2535, Martins et al., 2001)

ตารางที่ 4-20 ค่าสีเปลือกของขนมปังเพรทเซลเมื่อแทนที่แป้งขนมปังด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงปริมาณต่างๆ

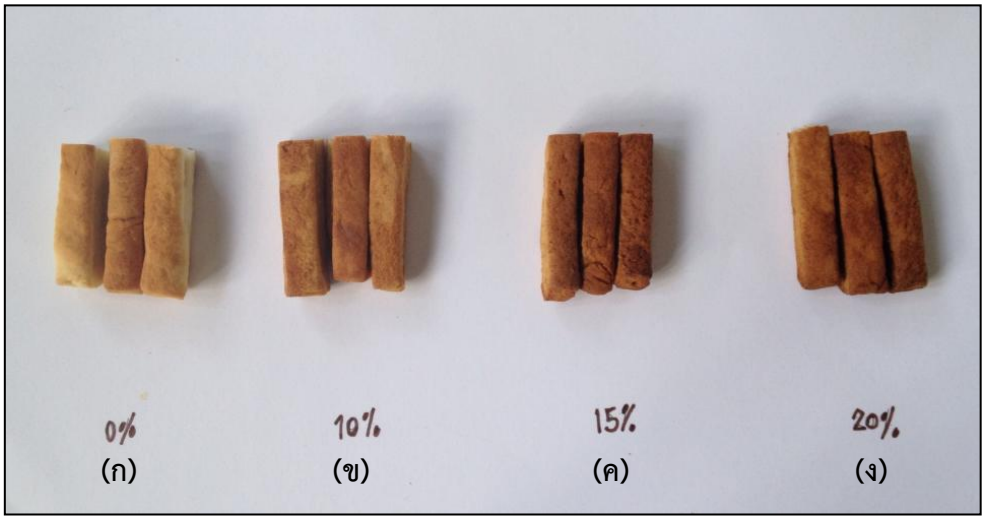
การแทนที่แป้งขนมปังด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผง (%)	ค่าเฉลี่ย ± SD		
	L*	a*	b*
0 (สูตรควบคุม)	56.45 ± 0.29[a]	14.78 ± 0.11[c]	34.17 ± 0.41[a]
10	41.49 ± 0.28[b]	15.27 ± 0.13[b]	25.91 ± 0.42[b]
15	38.84 ± 0.33[c]	15.85 ± 0.14[a]	21.34 ± 1.21[c]
20	38.96 ± 0.28[c]	15.89 ± 0.66[a]	22.12 ± 0.44[c]

[a, b,c, ...] ค่าเฉลี่ยในแนวคอลัมน์เดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

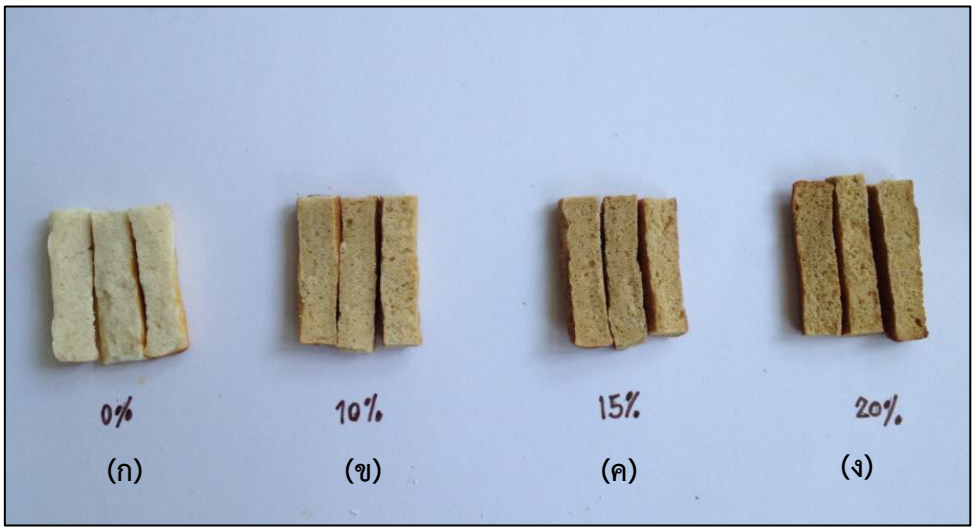
ตารางที่ 4-21 ค่าสีเนื้อของขนมปังเพรทเซลเมื่อแทนที่แป้งขนมปังด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงปริมาณต่างๆ

การแทนที่แป้งขนมปังด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผง (%)	ค่าเฉลี่ย ± SD		
	L*	a*	b*
0 (สูตรควบคุม)	80.11 ± 0.10[a]	1.83 ± 0.06[d]	16.29 ± 0.16[c]
10	65.61 ± 0.08[b]	5.92 ± 0.06[c]	24.94 ± 0.21[b]
15	61.62 ± 0.06[c]	6.95 ± 0.07[b]	24.98 ± 0.35[b]
20	59.90 ± 0.23[d]	7.22 ± 0.04[a]	26.30 ± 0.19[a]

[a, b,c, ...] ค่าเฉลี่ยในแนวคอลัมน์เดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)



ภาพที่ 4-5 ลักษณะสีเปลือกของขนมปังเพรทเซลเมื่อแทนที่แป้งขนมปังด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงปริมาณต่างๆ (ก) 0% (ข) 10% (ค) 15% และ (ง) 20%



ภาพที่ 4-6 ลักษณะสีเนื้อของขนมปังเพรทเซลเมื่อแทนที่แป้งขนมปังด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงปริมาณต่างๆ (ก) 0% (ข) 10% (ค) 15% และ (ง) 20%

2) ลักษณะเนื้อสัมผัส

เมื่อวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมปังเพรทเซลโดยใช้วิธี Texture profile analysis (TPA) ได้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ Hardness Chewiness Cohesiveness Springiness และ Gumminess แสดงดังตารางที่ 4-22 พบว่า ปริมาณการแทนที่แป้งขนมปังด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงมีผลต่อเนื้อสัมผัสของขนมปังเพรทเซลด้านค่า Hardness Chewiness Cohesiveness และ Gumminess ($p<0.05$) แต่ไม่มีผลต่อค่า Springiness ($p\geq0.05$) กล่าวคือขนมปังเพรทเซลมีค่า

Springiness อยู่ในช่วง 0.85-0.88 Springiness หมายถึง ค่าที่บอกถึงความสามารถในการคืนตัวของตัวอย่างหลังการเสียรูปจากการกดครั้งแรก (Szczesniak, 1987) การที่ขนมปังเพรทเซลทุกสิ่งทดลองมีค่าไม่แตกต่างกัน อาจเนื่องมาจากเนื้อสัมผัสของขนมปังเพรทเซลมีลักษณะเป็นโครงสร้างแข็ง ซึ่งเกิดจากการหมักส่วนผสมในระยะเวลาสั้น การปรับเปลี่ยนส่วนผสมแป้งขนมปังบางส่วน (10-20%) และแทนที่ด้วยเส้นใยเห็ดผงจึงไม่มีผลกระทบต่อค่า Springiness มากนัก สอดคล้องกับงานวิจัยของ อุทัยวรรณ ทองทั้งวงศ์ และ สุนทรี สุวรรณสิชณน์ (2556) ได้ศึกษาผลของการใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีที่ระดับร้อยละ 50-100 ต่อคุณภาพทางกายภาพของบัตเตอร์เค้ก ผลการทดลองพบว่า การทดแทนแป้งข้าวสีนิลไม่มีผลต่อค่า Springiness ($p \geq 0.05$) ของบัตเตอร์เค้ก โศรดา วัลภา และคณะ (2553) ได้รายงานว่า การเสริมใยอาหารจากเปลือกทุเรียนด้วยการทดแทนส่วนของแป้งสาลี ที่ระดับ 0%-15% ไม่มีผลต่อค่า Springiness

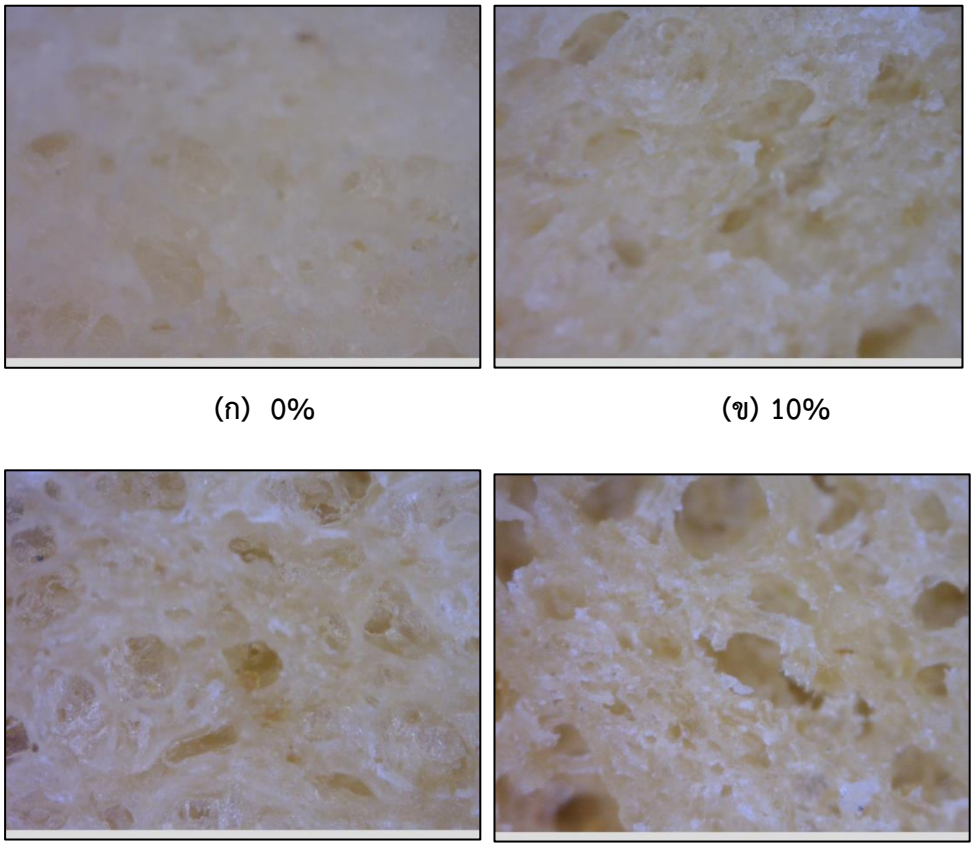
วัตถุดิบหลักของการผลิตขนมปังเพรทเซล คือแป้งขนมปังซึ่งเป็นแป้งสาลีที่มีปริมาณโปรตีน 13-14 g/100g โดยโปรตีนสำคัญได้แก่ กลูเตนิน และ ไกลอะดิน หน้าที่ของแป้งสาลีในขนมปังเป็นโครงร่างที่สำคัญ มีความยืดหยุ่นในขณะผสม ขึ้นฟูขณะหมัก และในที่สุดแข็งตัวเป็นโครงร่างของขนมปัง โดยลักษณะการเปลี่ยนแปลงเกิดจากองค์ประกอบทางเคมีในแป้งสาลีที่สำคัญคือ สตาร์ช (Starch) และโปรตีน ในระหว่างการหมักขนมปัง เอนไซม์หลายชนิดที่มีในยีสต์ เช่น แอลฟา-และบีตา-อะไมเลส (Alpha-and beta-amylase) ทำการย่อยสตาร์ช ได้น้ำตาลกลูโคส จากนั้นยีสต์จะใช้น้ำตาลเป็นอาหาร โดยเปลี่ยนน้ำตาลเป็น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แอลกอฮอล์ และพลังงาน ในขณะเดียวกัน จะเกิดการรวมตัวระหว่าง โปรตีนกลูเตนิน (Glutanin) และไกลอะดิน (Gliadin) ด้วยพันธะไดซัลไฟด์ (Disulfide bond) เกิดเป็นกลูเตน เมื่อรวมตัวกับน้ำในอัตราส่วนที่เหมาะสมจะได้เป็นโดที่สามารถดูดน้ำได้มาก ให้โครงสร้างที่มีความเหนียวและยืดหยุ่น หุ้มก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากยีสต์ไว้ได้ ทนต่อการหมักด้วยยีสต์ หรือการหมักส่วนผสมในระยะเวลาสั้นได้เป็นอย่างดี (จิตธนา แจ่มเมฆ และ อรอนงค์ นัยวิกุล, 2546) ดังนั้นการปรับเปลี่ยนส่วนประกอบแป้งขนมปังบางส่วน (10%-20%) และแทนที่ด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงจึงอาจมีผลกระทบต่อเนื้อสัมผัสเพรทเซลได้

Szczesniak (1987) อธิบายว่า Hardness หมายถึง แรงสูงสุดที่เกิดขึ้นระหว่างการกดหรือเทียบได้กับการเคี้ยวครั้งแรก Chewiness หมายถึง แรงที่ใช้ในการเคี้ยว และ Gumminess หมายถึง แรงที่ใช้บดย่อยอาหารเพื่อพร้อมที่จะกลืน จากผลการทดลองเห็นได้ว่า การเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงทำให้ค่า Hardness Chewiness และ Gumminess มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ($p<0.05$) โดยขนมปังเพรทเซลที่แทนที่ด้วยเส้นใยเห็ดเข็มทองผง 20% มีค่า Hardness (5758.81 g) Chewiness (3674.23 g) และ Gumminess (4216.17 g) สูงที่สุด แสดงให้เห็นว่า การเติมเส้นใยเห็ดเข็มทองมากขึ้น มีผลให้ค่า Hardness Chewiness และ Gumminess มากขึ้น ซึ่งพารามิเตอร์ดังกล่าวเกี่ยวข้องกับแรงที่ใช้ในการกดทำลายตัวอย่างทั้งสิ้น การมีค่าดังกล่าวมากขึ้นแสดงให้เห็นแนวโน้มว่า ขนมปังเพรทเซลมีลักษณะเป็นโครงสร้างแข็งขึ้น เนื่องจากการแทนที่ด้วยเส้นใยเห็ดผงทำให้มีปริมาณแป้งขนมปังน้อยลงจึงทำให้มีสตาร์ชและโปรตีนกลูเตนิน และไกลอะดิน น้อยลง มีผลต่อการสร้างพันธะไดซัลไฟด์ ทำให้ได้กลูเตนและมีผลต่อสัดส่วนการใช้สตาร์ชในการหมักให้ได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยการที่แป้งขนมปังในส่วนผสมน้อยลงจึงมีโอกาสทำให้โครงสร้างโดที่เกิดขึ้นกักเก็บก๊าซ

คาร์บอนไดออกไซด์ได้ไม่สมบูรณ์ ทำให้โดเกิดการพองตัวได้น้อยลง ขนมปังเพรทเซลที่แทนที่ด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงจึงมีแนวโน้มเป็นโครงสร้างแข็งมากกว่าขนมปังเพรทเซลสูตรควบคุม จึงทำให้ใช้แรงในการเคี้ยว และแรงในการบดย่อยอาหารมากขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของนักวิจัยหลายท่านที่แสดงให้เห็นว่าการปรับเปลี่ยนส่วนประกอบของแป้งขนมปังโดยการแทนที่ด้วยส่วนผสมอื่น มีผลกระทบต่อเนื้อสัมผัสของขนมปัง Feili et al. (2013) ได้วิเคราะห์ทางกายภาพและประสาทสัมผัสของขนมปังไฟเบอร์สูงด้วยการแทนที่แป้งสาลีด้วยแป้งเปลือกขนุน 5% 10% และ 15% วิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสพบว่า การเติมแป้งเปลือกขนุนมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) โดยค่า Hardness ของขนมปังเพิ่มขึ้นเมื่อแทนที่แป้งเปลือกขนุนเพิ่มขึ้น ซึ่งค่า Hardness ที่เพิ่มขึ้นนี้มีสาเหตุหลักมาจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณอะไมโลสและอะไมโลเพคตินในส่วนผสมแป้ง จึงเกิดการรวมตัวกันของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินในสัดส่วนที่เปลี่ยนแปลงไปทำให้โครงสร้างของขนมปังแข็งขึ้น เช่นเดียวกับค่า Chewiness และ Gumminess ที่สูงขึ้นเมื่อแทนที่แป้งเปลือกขนุนมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) Gomez et al. (2003) รายงานว่าขนมปังแข็งขึ้นเนื่องจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างกลูเตนและเส้นใยชนิดต่างๆที่เติมลงไปในขนมปังได้แก่ เซลลูโลสผง (Microcrystalline celluose) ถั่ว โกโก้ กาแฟ และส้ม และจากรายงานของ Wang et al. (2002) รายงานว่าขนมปังที่มีการเพิ่มไฟเบอร์ให้ผลไปในทางเดียวกัน คือขนมปังมีค่า Gumminess และ Chewiness เพิ่มขึ้น เมื่อเติมไฟเบอร์มากขึ้น

ค่า Cohesiveness คือพลังงานยึดเกาะกันภายในอาหาร (Szczesniak, 1987) จากผลการทดลอง พบว่า การเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงทำให้ค่า Cohesiveness มีแนวโน้มลดลง (p<0.05) โดยขนมปังเพรทเซลที่แทนที่ด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผง 20% มีค่า Cohesiveness (0.57) ต่ำที่สุด ในขณะที่ขนมปังเพรทเซลสูตรควบคุมมีค่า Cohesiveness (0.75) มากที่สุด เนื่องจากการแทนที่ด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงทำให้มีปริมาณแป้งขนมปังน้อยลง ทำให้โครงสร้างโดที่เกิดขึ้นอาจมีโครงสร้างไม่สมบูรณ์ และอาจมีลักษณะเหนียวยืดหยุ่นไม่เท่ากับขนมปังเพรทเซลสูตรควบคุมและอาจเนื่องจากองค์ประกอบที่เป็นเส้นใยอาหารไปขัดขวางการเชื่อมโครงสร้างของโปรตีนกับสตาร์ชในขนมปัง (Tudorica และคณะ, 2002) จึงทำให้เนื้อขนมปังเพรทเซลที่แทนที่ด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผง เกิดฟองอากาศที่ไม่สม่ำเสมอ มีลักษณะร่วนขึ้น และมีการเกาะตัวกันน้อยลง ทำให้แสดงค่า Cohesiveness ลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Feili et al. (2013) ได้วิเคราะห์ทางกายภาพและประสาทสัมผัสของขนมปังไฟเบอร์สูงด้วยการแทนที่แป้งสาลีด้วยแป้งเปลือกขนุน 5% 10% และ 15% พบว่า ขนมปังที่แทนที่ด้วยแป้งเปลือกขนุนมีค่า Cohesiveness ลดลง จาก 0.72 ในขนมปังสูตรควบคุม เป็น 0.54 ในขนมปังที่แทนที่ด้วยแป้งเปลือกขนุน 15% การลดลงนี้ชี้ให้เห็นว่าขนมปังที่มีแป้งเปลือกขนุนเป็นส่วนผสม มีความสามารถต้านการเสียรูปของโครงสร้างขนมปังในการกัดต่ำ

จากภาพที่ 4-7 แสดงลักษณะภาพตัดขวางเนื้อขนมปังเพรทเซล พบว่าขนมปังเพรทเซลสูตรควบคุมมีฟองอากาศขนาดเล็ก กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ เมื่อเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงมากขึ้น พบว่าฟองอากาศมีขนาดใหญ่ขึ้น โดยมีฟองอากาศไม่สม่ำเสมอ เนื้อขนมปังมีการเกาะตัวกันน้อยลง ซึ่งสอดคล้องกับพารามิเตอร์ที่ได้จากการวิเคราะห์ TPA ดังที่กล่าวไปที่แสดงให้เห็นว่าการเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงเพิ่มขึ้นมีแนวโน้มทำให้โครงสร้างเพรทเซล มีความสม่ำเสมอน้อยลง และมีโครงสร้างแข็งขึ้น รวมถึงมีการเกาะตัวกันน้อย



(ก) 0% **(ข) 10%**

(ค) 15% **(ง) 20%**

ภาพที่ 4-7 ลักษณะภาพตัดขวางเนื้อของขนมปังเพรทเซลที่กำลังขยาย 200 เท่า เมื่อแทนที่แป้งขนมปังด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงปริมาณต่างๆ (ก) 0% (ข) 10% (ค) 15% และ (ง) 20%

ตารางที่ 4-22 ลักษณะเนื้อสัมผัสจากการวิเคราะห์ TPA ของขนมปังเพรทเซลเมื่อแทนที่แป้งขนมปังด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงปริมาณต่างๆ

การแทนที่แป้งขนมปังด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผง (%)	ค่าเฉลี่ย ± SD				
	Hardness (g)	Chewiness (g)	Cohesiveness	Springiness[ns]	Gumminess (g)
0 (สูตรควบคุม)	2166.09 ± 166.13[c]	1398.60 ± 82.81[d]	0.75 ± 0.02[a]	0.85 ± 0.01	1614.47 ± 78.95[d]
10	3948.91 ± 212.83[b]	2361.27 ± 28.81[c]	0.63 ± 0.00[b]	0.88 ± 0.02	2671.44 ± 21.15[c]
15	5113.61 ± 620.86[a]	2964.15 ± 262.13[b]	0.62 ± 0.02[b]	0.88 ± 0.02	3403.34 ± 292.70[b]
20	5758.81 ± 429.63[a]	3674.23 ± 331.51[a]	0.57 ± 0.00[c]	0.87 ± 0.02	4216.17 ± 331.48[a]

[ns] ค่าเฉลี่ยในแนวคอลัมน์เดียวกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

[a, b,c, ...] ค่าเฉลี่ยในแนวคอลัมน์เดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

3) องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ

องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญที่วิเคราะห์จากขนมปังเพรทเซล ได้แก่ ปริมาณโปรตีน ปริมาณกาบา ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ แสดงดังตารางที่ 4-23 พบว่าปริมาณการแทนที่แป้งขนมปังด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงมีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ ($p<0.05$)

เมื่อพิจารณาปริมาณโปรตีนพบว่า ขนมปังเพรทเซลสูตรควบคุมที่ไม่มีการเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงมีปริมาณโปรตีนน้อยที่สุด (12.22 g/100g) และขนมปังเพรทเซลที่แทนที่ด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผง 10% 15% และ 20% มีปริมาณโปรตีนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (13.46 - 13.52 g/100g) การที่ขนมปังเพรทเซลสูตรควบคุมมีปริมาณโปรตีนน้อยกว่าตัวอย่างขนมปังเพรทเซลที่แทนที่ด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผง เนื่องจากขนมปังเพรทเซลสูตรควบคุมมีการใช้แป้งขนมปังเพียงอย่างเดียว ซึ่งโดยปกติแป้งขนมปังมีปริมาณโปรตีน 13-14 g/100g (จิตธนา แจ่มเมฆ และ อรอนงค์ นัยวิกุล, 2546) ในขณะที่ส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงมีปริมาณโปรตีน 18.33 g/100g ดังนั้นการแทนที่แป้งขนมปังด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงจึงมีโอกาสทำให้ขนมปังเพรทเซลมีปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Pizarro Almeida and Sammán (2013) รายงานว่า ผลการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนในแป้งสาลีที่ใช้ทำเค้กมีปริมาณโปรตีน 9.35 g/100g และแป้งจากเมล็ดเชีย (Chia seed) มีปริมาณโปรตีน 20.01 g/100g การแทนที่แป้งสาลีในการผลิตเค้กด้วยแป้งจากเมล็ดเชียปริมาณ 15% ทำให้เค้กที่ผลิตได้มีปริมาณโปรตีน 8.55 g/100g ในขณะที่เค้กสูตรควบคุมมีปริมาณโปรตีน 7.98 g/100g ($p<0.05$) Lu et al. (2010) รายงานว่าการเติมผงชาเขียว (*Camellia sinensis* L.) ในสปันจ์เค้ก (Sponge cake) ในปริมาณ 10 20 และ 30% ทำให้สปันจ์เค้กมีปริมาณโปรตีนเท่ากับ 7.42 7.65 และ 7.99 g/100g ซึ่งพบว่ามีแนวโน้มปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม (7.01 g/100g)

จากผลการทดลองที่พบว่า ขนมปังเพรทเซลที่แทนที่ด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผง 10%-20% มีแนวโน้มปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเติมปริมาณส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงมากขึ้น แต่ปริมาณโปรตีนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากระดับการแปรปริมาณส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงไม่แตกต่างกันมากนักโดยเพิ่มขึ้นเพียงระดับละ5% จึงไม่แสดงความแตกต่างกันของปริมาณโปรตีนที่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนนัก นอกจากนี้อาจเป็นเพราะองค์ประกอบของโปรตีนในส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงบางส่วนอาจไม่เสถียรต่อกระบวนการแปรรูป ซึ่งในการทำเพรทเซลมีขั้นตอนการแปรรูปหลายขั้นตอน เช่น การผสม การหมัก และการอบที่อุณหภูมิสูง อาจมีผลทำให้โปรตีนในส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงมีโอกาสเสียสภาพไปมาก สุนันท์ พงษ์สามารถ และคณะ (2528) ได้วิเคราะห์คุณค่าทางอาหารของเห็ดที่เพาะเลี้ยงและเห็ดรับประทานได้ที่ขึ้นเองตามธรรมชาติ พบว่าเห็ดเป็นแหล่งที่ดีของโปรตีนที่ประกอบด้วยกรดอะมิโนจำเป็นครบถ้วนและมีปริมาณสูง Gupta et al. (2013) รายงานว่า องค์ประกอบของกรดอะมิโนในเห็ดส่วนใหญ่เป็นพวกกรดอะมิโนที่จำเป็น ที่พบปริมาณมากได้แก่ ซีสเตอีน (Cysteine) ลูซีน (Leucine) ไอโซลูซีน (Isoleucine) ฟีนิลอลานีน (Phenylalanine) และไลซีน (Lysine) โดยกรดอะมิโนสามารถเสื่อมสลายหรือเสียสภาพได้เมื่อได้รับความร้อนสูง

เมื่อพิจารณาปริมาณกาบา ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระพบว่ามีแนวโน้มคล้ายกันคือ ขนมปังเพรทเซลที่มีการแทนที่ด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงปริมาณมากขึ้นทำให้มีปริมาณกาบา ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น โดยขนมปังเพรทเซลที่แทนที่ด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผง 20% มีปริมาณกาบา (0.11 g/100g) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (10.90 gGAE/100g) และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (57.54 %) มากที่สุด แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) กับขนมปังเพรทเซลสูตรควบคุม ที่มีปริมาณกาบา (0.02 g/100g) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (5.71 gGAE/100g) และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (18.73 %) ที่มีปริมาณต่ำที่สุด จากผลการทดลองจึงแสดงให้เห็นว่า ขนมปังเพรทเซลที่มีการแทนที่ด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงมีแนวโน้มทำให้มีปริมาณกาบา ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ulziijargal et al. (2013) ได้ศึกษาคุณภาพขนมปังที่เสริมด้วยเส้นใยเห็ดเห็ด โดยใช้เส้นใยเห็ดการบูร (*Antrodia camphorate*) เห็ดกระดุมบราซิล (*Agaricus blazei*) เห็ดหัวลิง (*Hericium erinaceus*) และเห็ดกระถินพิมาน (*Phelinus linteus*) นำเส้นใยเห็ดมาทำเป็นผงแห้งด้วยวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและใช้ทดแทนแป้งขนมปัง 5% ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญได้แก่ โลวาสเตติน (Lovastatin) กาบา (GABA) และเออโกไธโอนิน (Ergothionine) พบว่าขนมปังที่เติมเส้นใยเห็ดผงทุกชนิดทำให้ปริมาณโลวาสเตติน (0.05 mg/g dry matter) กาบา (0.23 – 0.86 mg/g dry matter) และเออโกไธโอนิน (0.79 – 2.10 mg/g dry matter) เพิ่มขึ้นมากกว่าขนมปังสูตรควบคุมที่มีปริมาณปริมาณโลวาสเตติน (ตรวจไม่พบ) กาบา (0.01 mg/g dry matter) และเออโกไธโอนิน (ตรวจไม่พบ) ต่ำกว่า แสดงให้เห็นว่าสามารถนำเส้นใยเห็ดผงมาใช้ประโยชน์โดยการเติมในขนมปังขาวได้

อย่างไรก็ตามพบข้อสังเกตว่า ในขนมปังเพรทเซลสูตรควบคุมสามารถวิเคราะห์พบองค์ประกอบของกาบา สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระทั้งนี้อาจเนื่องมาจากส่วนผสมที่ใช้ทำขนมปังเพรทเซลสูตรควบคุม รวมถึงกระบวนการแปรรูปขนมปัง ทำให้มีปริมาณองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญในผลิตภัณฑ์ได้ Yu et al. (2013) รายงานว่า ในแป้งสาลีมีสารประกอบของเอนโดสเปิร์มที่อุดมไปด้วย คาร์โบไฮเดรต โปรตีน รวมถึงสารพฤกษเคมีต่างๆที่มีตามธรรมชาติของข้าวสาลี ในการวิเคราะห์องค์ประกอบของแป้งขนมปังพบว่า มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเป็นองค์ประกอบ รวมถึงมีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระได้ Guihua et al. (2007) รายงานว่า การทำแห้งที่อุณหภูมิสูง เป็นสภาวะที่มีความร้อนเพียงพอในการตัดพันธะสารประกอบฟีนอลิกที่อยู่ในรูปไม่แตกตัว (Bound form) ทำให้มีสารประกอบฟีนอลิกอยู่ในรูปอิสระ (Free form) เพิ่มมากขึ้น และ Robards et al. (1999) รายงานว่า สารประกอบฟีนอลิกอาจจะเพิ่มมากขึ้นจากสารประกอบเชิงซ้อนโพลีฟีนอล ซึ่งเกิดในขั้นตอนสุดท้ายของปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (Browning reaction) จึงทำให้มีสารประกอบฟีนอลิกเพิ่มมากขึ้น และเนื่องจากสารประกอบฟีนอลิกส่วนใหญ่มีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ จึงทำให้มีสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มมากขึ้น

4) ความชอบทางประสาทสัมผัส

จากการทดสอบความชอบโดยวิธี 9-point hedonic scale แสดงผลดังตารางที่ 4-13 พบว่าปริมาณการแทนที่แป้งขนมปังด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงมีผลต่อความชอบทางประสาทสัมผัส

ด้าน ลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ($p<0.05$) แต่ไม่มีผลต่อความชอบด้านกลิ่น ($p\geq0.05$) สำหรับคะแนนความชอบด้านกลิ่นพบว่า ทุกสิ่งทดลองได้รับคะแนนอยู่ในช่วง 6.00 – 6.27 แสดงถึงความชอบระดับชอบเล็กน้อย เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบโดยรวม พบว่า ขนมปังเพรทเซลสูตรควบคุมและที่เติมเส้นใยเห็ดเข็มทองผง 10% และ 15% ได้รับคะแนนความชอบไม่แตกต่างกัน ($p\geq0.05$) มีค่าเท่ากับ 6.03 – 6.13 แสดงถึงความชอบระดับชอบเล็กน้อย เมื่อเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงเพิ่มเป็น 20% พบว่าได้รับคะแนนลดลงเป็น 5.77 สำหรับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ และเนื้อสัมผัส พบว่า ขนมปังเพรทเซลสูตรควบคุมได้รับคะแนนสูงที่สุด โดยขนมปังเพรทเซลที่แทนที่ด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผง 20% ได้รับคะแนนความชอบดังกล่าวต่ำที่สุด การแทนที่แป้งขนมปังด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงเพิ่มขึ้นมีผลให้ได้คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมต่ำลง อาจเนื่องจากขนมปังเพรทเซลที่ได้มีกลิ่นรสเฉพาะของเห็ดเพิ่มขึ้น มีสีเข้ม จึงส่งผลต่อความคุ้นเคยของผู้บริโภค และจากการศึกษาของ Mostos and Rossel (2012) รายงานว่า สีของขนมปังเป็นปัจจัยสำคัญในการประเมินความชอบทางประสาทสัมผัส จึงทำให้มีแนวโน้มได้รับคะแนนความชอบน้อยกว่าขนมปังเพรทเซลสูตรควบคุม

5) ผลการคัดเลือกสิ่งทดลองที่เหมาะสม

จากเกณฑ์ที่กำหนดไว้คือเลือกสิ่งทดลองที่สามารถเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงได้มากที่สุด โดยได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด และมีการคงอยู่ของปริมาณสารพฤกษเคมีและสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระในระดับสูง โดยพิจารณาร่วมกับคุณภาพอื่นๆที่วิเคราะห์ ผลการทดลอง พบว่า ขนมปังเพรทเซลที่มีการแทนที่แป้งขนมปังด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงปริมาณ 15% เป็นสิ่งทดลองที่เหมาะสมที่สุดโดย ได้รับคะแนนความชอบโดยรวม (6.13 คะแนน) สูงที่สุด มีปริมาณสารพฤกษเคมีที่เป็นองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญทุกค่าที่วิเคราะห์ ได้แก่ ปริมาณโปรตีน (13.46 g/100g) ปริมาณกาบา (0.09 mg/100g dry basis) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (9.68 mgGAE/100g) และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (56.26 %inhibition) ในระดับสูง

ตารางที่ 4-23 ปริมาณโปรตีน ปริมาณกาบา ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของขนมปังเพรทเซลเมื่อแทนที่แป้งขนมปังด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงปริมาณต่างๆ

การแทนที่แป้งขนมปังด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผง (%)	ค่าเฉลี่ย ± SD			
	ปริมาณโปรตีน (g/100g)	ปริมาณกาบา (g/100g)	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (gGAE/100g)	สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (% inhibition)
0 (สูตรควบคุม)	12.22 ± 0.12[b]	0.02 ± 0.00[d]	5.71 ± 0.00[d]	18.73 ± 0.82[c]
10	13.52 ± 0.16[a]	0.06 ± 0.01[c]	7.47 ± 0.35[c]	39.07 ± 0.31[b]
15	13.46 ± 0.12[a]	0.09 ± 0.00[b]	9.68 ± 0.26[b]	56.26 ± 1.29[a]
20	13.52 ± 0.08[a]	0.11 ± 0.01[a]	10.90 ± 0.13[a]	57.54 ± 0.18[a]

[a, b,c, ...] ค่าเฉลี่ยในแนวคอลัมน์เดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 4-24 ลักษณะทางประสาทสัมผัสของขนมปังเพรทเซลเมื่อแทนที่แป้งขนมปังด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงปริมาณต่างๆ

การแทนที่แป้งขนมปังด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผง (%)	ค่าเฉลี่ย ± SD						
	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่น[ns]	กลิ่นรส	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
0 (สูตรควบคุม)	7.63 ± 1.10[a]	7.60 ± 1.19[a]	6.13 ± 1.11	6.43 ± 1.19[a]	6.47 ± 1.17[a]	6.20 ± 0.76[a]	6.53 ± 0.86[a]
10	6.63 ± 1.10[b]	6.53 ± 1.33[b]	6.27 ± 1.44	5.93 ± 1.66[ab]	5.83 ± 1.72[ab]	5.03 ± 1.88[b]	6.03 ±1.45[ab]
15	5.57 ± 1.74[c]	5.33 ± 1.67[c]	6.13 ± 1.61	5.67 ± 1.94[b]	6.20 ± 1.86[a]	5.87 ± 1.96[a]	6.13 ± 1.66[ab]
20	4.90 ± 1.52[c]	4.87 ± 1.68[c]	6.00 ± 1.23	5.43 ± 1.59[b]	5.27 ± 1.70[b]	5.67 ± 1.49[ab]	5.77 ± 1.36[b]

[ns] ค่าเฉลี่ยในแนวคอลัมน์เดียวกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

[a, b, c,...] ค่าเฉลี่ยในแนวคอลัมน์เดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

4.3.2 ผลของการแทนที่แป้งอเนกประสงค์ด้วยส่วนเหลือทิ้งบริเวณรากหรือเส้นใยเห็ดนางฟ้าผงต่อคุณภาพของมัฟฟิน

จากการนำส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงที่เตรียมตามสภาวะที่เลือกได้จากข้อ 4.2.2 คือ ส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าบดหยาบก่อนการทำแห้งและไม่ผ่านการลวก ทำแห้งที่อุณหภูมิ 65°C เป็นเวลา 183.5 นาที นำมาเติมเป็นส่วนประกอบของมัฟฟิน โดยการเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงแทนที่แป้งอเนกประสงค์ในสูตรการผลิตมัฟฟิน 4 ระดับ คือ แทนที่แป้งอเนกประสงค์ในปริมาณ 0% 10% 15% และ 20% ของน้ำหนักแป้ง ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ ได้แก่ ปริมาณโปรตีน ปริมาณกาบา ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ แสดงดังตารางที่ 4-25 ผลการวิเคราะห์ค่าสีเปลือกและเนื้อของมัฟฟิน แสดงดังตารางที่ 4-26 ถึง 4-27 และลักษณะของมัฟฟินที่ได้ แสดงดังภาพที่ 4-8 ถึง4-9 ลักษณะเนื้อสัมผัส แสดงดังตารางที่ 4-28 ปริมาตรจำเพาะ แสดงดังตารางที่ 4-29 และผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส แสดงดังตารางที่ 4-30 ผลการทดลองมีรายละเอียดดังนี้

1) องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ

องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญที่วิเคราะห์จากมัฟฟินทุกสิ่งทดลอง ได้แก่ ปริมาณโปรตีน ปริมาณกาบา ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ แสดงดังตารางที่ 4-25 พบว่า ปริมาณการแทนที่แป้งอเนกประสงค์ด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงมีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ ($p<0.05$)

เมื่อพิจารณาปริมาณโปรตีนพบว่า มัฟฟินสูตรควบคุมที่ไม่มีการเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงมีปริมาณโปรตีนมากที่สุด (8.75 g/100g dry basis) และมัฟฟินที่แทนที่ด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผง 20% มีปริมาณโปรตีนน้อยที่สุด (8.16 g/100g dry basis) ในขณะที่มัฟฟินที่แทนที่ด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผง 10% และ 15% นั้นมีปริมาณโปรตีนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) การที่มัฟฟินที่แทนที่ด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงมีปริมาณโปรตีนน้อยกว่าสูตรควบคุม เนื่องจากมัฟฟินสูตรควบคุมมีการใช้แป้งอเนกประสงค์เพียงอย่างเดียว ซึ่งโดยปกติแป้งอเนกประสงค์มีปริมาณโปรตีน 10-11 g/100g (dry basis) (จิตธนา แจ่มเมฆ และอรอนงค์ นัยวิกุล, 2546) ในขณะที่ส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงมีปริมาณโปรตีน 10.08 g/100g (dry basis) ดังนั้นการแทนที่แป้งอเนกประสงค์ด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงจึงมีโอกาสทำให้มัฟฟินมีปริมาณโปรตีนน้อยลง อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองพบว่า มัฟฟินทุกสิ่งทดลองมีปริมาณโปรตีนอยู่ในช่วงใกล้เคียงกันคือ 8.16-8.75 g/100 g (dry basis) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Rupasinghe, Wang, Huber and Pitts (2008) รายงานว่ามัฟฟินที่มีการแทนที่แป้งเค้กด้วยเปลือกแอปเปิ้ลผงมีปริมาณโปรตีนน้อยกว่าสูตรควบคุม เนื่องจากแป้งเค้กที่ใช้เป็นส่วนประกอบมีปริมาณโปรตีน 7-8 g/100g (dry basis) มากกว่าปริมาณโปรตีนในเปลือกแอปเปิ้ลผงที่มีเพียง 3.2 g/100g (dry basis) ดังนั้นมัฟฟินที่มีการแทนที่แป้งเค้กด้วยเปลือกแอปเปิ้ลผงจึงมีปริมาณโปรตีนต่ำกว่ามัฟฟินสูตรควบคุม นอกจากนี้อาจเป็นเพราะองค์ประกอบของโปรตีนในส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงบางส่วนอาจไม่เสถียรต่อกระบวนการแปรรูป ซึ่งในการทำมัฟฟินนั้นมีขั้นตอนการแปรรูปหลายขั้นตอน เช่น การผสม และการอบที่อุณหภูมิสูง อาจมีผลทำให้โปรตีนในส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงมีโอกาสเสียสภาพไปมาก สุนันท์ พงษ์สามารถ และคณะ (2528) ได้วิเคราะห์คุณค่าทางอาหารของเห็ดที่เพาะเลี้ยง และเห็ด

รับประทานได้ที่ขึ้นเองตามธรรมชาติ พบว่าเป็นแหล่งที่ดีของโปรตีนที่ประกอบด้วยกรดอะมิโนจำเป็นครบถ้วนและมีปริมาณสูง อย่างไรก็ตามอาจขึ้นอยู่กับชนิดเห็ดด้วย นอกจากนี้ Gupta et al. (2013) รายงานว่าองค์ประกอบของกรดอะมิโนในเห็ดส่วนใหญ่เป็นพวกกรดอะมิโนที่จำเป็นที่พบปริมาณมาก ได้แก่ ซีสเตอีน (Cysteine) ลูซีน (Leucine) ไอโซลูซีน (Isoleucine) ฟีนิลอลานีน (Phenylalanine) และไลซีน (Lysine) โดยกรดอะมิโนดังกล่าวสามารถเสื่อมสลายหรือเสียสภาพได้เมื่อได้รับความร้อนสูง

เมื่อพิจารณาปริมาณกาบา ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อมีการแทนที่แป้งอเนกประสงค์ด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงในปริมาณมากขึ้น โดยมัฟฟินที่แทนที่แป้งอเนกประสงค์ด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผง 20% มีปริมาณกาบา (0.78 mg/100g dry basis) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (57.80 mgGAE/100g dry basis) และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่รายงานเป็นค่า%inhibition (25.33%) มากที่สุด ($p<0.05$) โดยมัฟฟินสูตรควบคุมมีปริมาณกาบา (0.40 mg/100g dry basis) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (57.22 mgGAE/100g dry basis) และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่รายงานเป็นค่า %inhibition (22.16%) ต่ำที่สุด จากผลการทดลองจึงแสดงให้เห็นว่าส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงเป็นแหล่งที่ดีของกาบา และสารประกอบฟีนอลิก และส่งผลให้สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ulziijargal et al. (2013) ได้ศึกษาคุณภาพขนมปังที่เสริมด้วยเส้นใยเห็ด โดยใช้เส้นใยเห็ดการบูร (*Antrodia camphorata*) เห็ดกระดุมบราซิล (*Agaricus blazei*) เห็ดหัวลิง (*Hericium erinaceus*) และเห็ดกระถินพิมาน (*Phelinus linteus*) โดยการนำเส้นใยเห็ดที่เป็นส่วนเหลือทิ้งที่ไม่นิยมบริโภคมาทำแห้งด้วยวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง และใช้ทดแทนแป้งขนมปัง 5% ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ ได้แก่ โลวาสเตติน (Lovastatin) กาบา (GABA) และเออโกไธโอนีน (Ergothionine) พบว่าขนมปังที่เติมเส้นใยเห็ดผงทุกชนิดทำให้มีปริมาณโลวาสเตติน (0.05 mg/g dry matter) กาบา (0.23 - 0.86 mg/g dry matter) และเออโกไธโอนิน (0.79 - 2.10 mg/g dry matter) เพิ่มขึ้นมากกว่าขนมปังสูตรควบคุมที่มีปริมาณโลวาสเตติน (ตรวจไม่พบ) กาบา (0.01 mg/g dry matter) และเออโกไธโอนิน (ตรวจไม่พบ) ต่ำกว่า แสดงให้เห็นว่าสามารถนำเส้นใยเห็ดซึ่งเป็นส่วนเหลือทิ้งมาทำเป็นผง และใช้ประโยชน์โดยการเติมในขนมปังขาวได้

อย่างไรก็ตามพบข้อสังเกตว่า ในมัฟฟินสูตรควบคุมสามารถวิเคราะห์พบองค์ประกอบของกาบา สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากส่วนผสมที่ใช้ทำมัฟฟินสูตรควบคุม รวมถึงกระบวนการแปรรูป ทำให้มีปริมาณองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญในผลิตภัณฑ์ได้ Yu, Nanguet and Beta (2013) รายงานว่า ในแป้งสาลีเป็นส่วนประกอบของเอนโดสเปิร์มของข้าวสาลีที่อุดมไปด้วย คาร์โบไฮเดรต โปรตีน รวมถึงสารพฤกษเคมีต่างๆ ที่มีตามธรรมชาติของข้าวสาลี ในการวิเคราะห์องค์ประกอบของแป้งสาลีพบว่า มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเป็นองค์ประกอบ รวมถึงมีสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระได้ และ Ulziijargal et al. (2013) รายงานว่าโดของขนมปังขาวที่ผลิตด้วยสูตรควบคุมที่มีส่วนผสมของ แป้งสาลี นมผง น้ำตาล เกลือ ไข่ ยีสต์ และเนยขาว สามารถตรวจพบปริมาณกาบาได้เท่ากับ 0.26 mg/100g (dry basis) แสดงให้เห็นว่าส่วนประกอบหลักของขนมปังคือแป้งสาลีมีกาบาเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย นอกจากนี้

Guihua, Xingquian, Jiachu, and Donghong (2007) รายงานว่า การทำแห้งที่อุณหภูมิสูง เป็นสภาวะที่มีความร้อนเพียงพอในการตัดพันธะสารประกอบฟีนอลิกที่อยู่ในรูปไม่แตกตัว (Bound form) ทำให้มีสารประกอบฟีนอลิกอยู่ในรูปอิสระ (Free form) เพิ่มมากขึ้น และ Robards et al. (1999) รายงานว่า สารประกอบฟีนอลิกอาจจะเพิ่มมากขึ้นจากสารประกอบเชิงซ้อนโพลีฟีนอล ซึ่งเกิดขึ้นในขั้นตอนสุดท้ายของปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (Browning reaction) จึงทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารที่มีโอกาสเกิดปฏิกริยาสีน้ำตาลมีสารประกอบฟีนอลิกเพิ่มมากขึ้นได้ และเนื่องจากสารประกอบฟีนอลิกส่วนใหญ่มีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ จึงทำให้สามารถวิเคราะห์สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระในผลิตภัณฑ์อาหารได้

2) ค่าสี

ค่าสี L*, a* และ b* ทั้งในส่วนเปลือกและส่วนเนื้อของมัฟฟินเมื่อแทนที่แป้งอเนกประสงค์ด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงปริมาณต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4-26 และ 4-27 ตามลำดับ พบว่าปริมาณการแทนที่แป้งอเนกประสงค์ด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงมีผลต่อค่าสีเปลือกและเนื้อของมัฟฟิน ($p<0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับการสังเกตด้วยตาเปล่าที่พบว่า มัฟฟินแต่ละสิ่งทดลองมีสีเปลือกและสีเนื้อแตกต่างกัน โดยพบว่าเมื่อเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงมากขึ้น ทำให้มัฟฟินมีสีเปลือกเป็นสีน้ำตาลแดงเข้มขึ้น และมีสีเนื้อเป็นสีเหลืองเข้มขึ้น แสดงดังภาพที่ 4-8 และ 4-9 ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาค่าสีที่วัดได้สำหรับสีของเปลือกมัฟฟินด้านค่าความสว่าง (L*) และค่าสีเหลือง (b*) พบว่ามีแนวโน้มคล้ายกันคือ เปลือกมัฟฟินสูตรควบคุมมีค่า L* (61.51) และ b* (38.45) สูงที่สุด ($p<0.05$) เมื่อเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงเป็น 10% 15% และ 20% ทำให้ค่า L* (46.41-55.07) และ b* (30.13-33.36) ลดลง ด้านค่าสีแดง (a*) พบว่ามัฟฟินสูตรควบคุมมีค่า a* (13.65) ต่ำที่สุด ($p<0.05$) เมื่อเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงเป็น 15% และ 20% ทำให้ค่า a* (14.24-15.84) เพิ่มขึ้นแตกต่างจากตัวอย่างควบคุม ($p<0.05$) โดยการเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผง 10% ทำให้ค่า a* (14.24) ไม่แตกต่างกับสูตรควบคุม ($p\geq0.05$) สำหรับสีของเนื้อมัฟฟินด้านค่า L* พบแนวโน้มคล้ายกับสีเปลือกคือเนื้อมัฟฟินสูตรควบคุมมีค่า L* (79.52) สูงที่สุด และเมื่อเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงเพิ่มขึ้นมีแนวโน้มให้ค่า L* ลดลง สำหรับค่า a* พบแนวโน้มคล้ายกับสีเปลือกเช่นกัน คือ เนื้อมัฟฟินสูตรควบคุมมีค่า a* (3.35) ต่ำที่สุด และเมื่อเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงเพิ่มขึ้นมีแนวโน้มให้ค่า a* เพิ่มขึ้น ส่วนค่า b* พบแนวโน้มตรงกันข้ามกับสีเปลือก โดยพบว่าเนื้อมัฟฟินสูตรควบคุมมีค่า b* (28.36) ต่ำที่สุด เมื่อเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงเพิ่มขึ้นมีแนวโน้มให้ค่า b* เพิ่มขึ้น โดยพบว่าการเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผง 20% ทำให้เนื้อมัฟฟินมีค่า L* (69.74) ต่ำที่สุด ในขณะที่ค่า a* (6.93) และค่า b* (32.55) สูงที่สุด ($p<0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับผลการสังเกตด้วยตาเปล่าที่พบว่า เมื่อเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงมากขึ้น มีแนวโน้มเห็นสีเปลือกเป็นสีน้ำตาลแดงเข้มขึ้น และสีเนื้อเป็นสีเหลืองเข้มขึ้นนั่นเอง

ตารางที่ 4-25 ปริมาณโปรตีน ปริมาณกาบา ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของมัฟฟินเมื่อแทนที่แป้งอเนกประสงค์ด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงปริมาณต่างๆ

การแทนที่แป้งอเนกประสงค์ด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผง (%)	ค่าเฉลี่ย ± SD			
	ปริมาณโปรตีน (g/100g)*	ปริมาณกาบา (mg/100g)*	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mgGAE/100g)*	สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (% inhibition)
0 (สูตรควบคุม)	8.75 ± 0.00^{a}	0.40 ± 0.01^{d}	57.22 ± 0.03^{d}	74.37 ± 0.18^{d}
10	8.42 ± 0.05^{b}	0.43 ± 0.02^{c}	59.23 ± 0.10^{c}	75.08 ± 0.18^{c}
15	8.51 ± 0.01^{b}	0.72 ± 0.00^{b}	59.54 ± 0.03^{b}	75.78 ± 0.18^{b}
20	8.16 ± 0.11^{c}	0.78 ± 0.02^{a}	60.20 ± 0.01^{a}	76.48 ± 0.18^{a}

$^{a, b, c, \ldots}$ ค่าเฉลี่ยในแนวคอลัมน์เดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

* คิดเทียบจากน้ำหนักฐานแห้ง

ตารางที่ 4-26 ค่าสีเปลือกของมัฟฟินเมื่อแทนที่แป้งอเนกประสงค์ด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงปริมาณต่างๆ

การแทนที่แป้งอเนกประสงค์ด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผง (%)	ค่าเฉลี่ย ± SD		
	L*	a*	b*
0 (สูตรควบคุม)	61.51 ± 0.41[a]	13.65 ± 0.48[c]	38.45 ± 0.32[a]
10	55.07 ± 0.66[b]	14.24 ± 0.27[c]	33.36 ± 0.08[b]
15	51.81 ± 1.28[c]	15.07 ± 0.26[b]	30.61 ± 0.50[c]
20	46.41 ± 0.24[d]	15.84± 0.34[a]	30.13 ± 0.46[c]

[a, b ,c, ...] ค่าเฉลี่ยในแนวคอลัมน์เดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 4-27 ค่าสีเนื้อของมัฟฟินเมื่อแทนที่แป้งอเนกประสงค์ด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงปริมาณต่างๆ

การแทนที่แป้งอเนกประสงค์ด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผง (%)	ค่าเฉลี่ย ±SD		
	L*	a*	b*
0 (สูตรควบคุม)	79.52 ± 0.05[a]	3.35 ± 0.04[d]	28.36 ± 0.35[d]
10	72.11 ± 0.13[b]	5.73 ± 0.11[c]	30.66 ± 0.22[c]
15	70.73 ± 0.08[c]	5.99 ± 0.08[b]	31.68 ± 0.24[b]
20	69.74 ± 0.09[d]	6.93 ± 0.00[a]	32.55 ± 0.03[a]

[a, b, c, ...] ค่าเฉลี่ยในแนวคอลัมน์เดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

จากการเปรียบเทียบผลการทดลองสีเปลือกมัฟฟินและสีเนื้อมัฟฟิน ที่มีการแทนที่แป้งอเนกประสงค์ด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงที่ระดับปริมาณต่างๆ ซึ่งพบว่ามีความแตกต่างกับมัฟฟินสูตรควบคุม ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสีของส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงมีสีน้ำตาลอมเหลือง (L* เท่ากับ 79.28, a* เท่ากับ 4.51 และ b* เท่ากับ 23.42) อาจเป็นสีจากกลุ่มของรงควัตถุพวกแคโรทีนอยด์ ได้แก่ Beta-carotene และ Lycopene (Pereira et al., 2012) การเติมในมัฟฟินมากขึ้นจึงทำให้มีสีเหลืองมากขึ้น นอกจากนี้เห็ดยังเป็นแหล่งที่ดีของกรดอะมิโนอิสระ รวมถึงมีองค์ประกอบของน้ำตาลรีดิวซ์ เช่น กลูโคส ซูโครส (Barros, Cruz, Baptista, Estevinho, & Ferreira, 2008; Li, Yang, Zhou, Liu & Zhang. 2014) ซึ่งเป็นสารตั้งต้นที่สำคัญของปฏิกิริยาเมลลาร์ดที่สามารถเกิดได้ในระหว่างการอบ เป็นการเกิดปฏิกริยาระหว่างหมู่คาร์บอนิลในน้ำตาลรีดิวซ์กับกรดอะมิโนอิสระ เกิดเป็นสารประกอบสีน้ำตาลที่เรียกว่า เมลานอยดิน (Melaniodin) (รัชนี ตัณฑะพาณิชกุล, 2535) และจากรายงานของ Li et al. (2014) ศึกษาถึงผลของสารที่มีความสำคัญในเห็ดที่กินได้ ซึ่งพบว่า เห็ดมีสารตั้งต้น (Substrate) ที่มีความเป็นอิสระ โมเลกุลขนาดเล็ก และมีสมบัติในการละลายน้ำได้ดี เช่น น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว กรดอะมิโนอิสระ และสารประกอบฟีนอลิกชนิดต่างๆ ซึ่งมีความสำคัญต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่างๆ เช่น ออกซิเดชัน การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล ดังนั้น การที่เติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงในมัฟฟินแทนที่แป้งอเนกประสงค์จึงเป็นการเพิ่มปริมาณสารตั้งต้นที่เอื้อต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่างๆ ให้เกิดได้มากกว่ามัฟฟินสูตรควบคุม โดยปฏิกิริยาที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับสีของมัฟฟินคือปฏิกิริยาเมลลาร์ด ที่เกิดขึ้นได้ในระหว่างการอบมัฟฟิน จึงทำให้เมื่อเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงมากขึ้น มีแนวโน้มให้สีเข้มขึ้นจากสารเมลานอยดินที่เพิ่มขึ้นนั่นเอง จากผลการทดลองสอดคล้องกับรายงานของ Ulziijargal, Yang, Lin, Chen & Mau (2013) ที่ศึกษาคุณภาพของขนมปังที่เสริมด้วยเส้นใยเห็ดซึ่งเป็นส่วนเหลือทิ้งที่ไม่นิยมบริโภค โดยใช้เส้นใยเห็ดการบูร (*Antrodia camphorate*) เห็ดกระดุมบราซิล (*Agaricus blazei*) เห็ดหัวลิง (*Hericium erinaceus*) และเห็ดกระถินพิมาน (*Phelinus linteus*) นำเส้นใยเห็ดมาทำให้เป็นผงแห้งด้วยวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง และใช้ทดแทนแป้งขนมปัง 5% ผลการวิเคราะห์ค่าสี พบว่า ขนมปังสูตรควบคุมมีสีแตกต่างจากขนมปังที่เสริมด้วยเส้นใยเห็ดผงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยค่าความสว่าง (L*) ของสีเปลือกขนมปังขาวสูตรควบคุมมีค่าสูงกว่าขนมปังที่เสริมด้วยเส้นใยเห็ดผง ค่า a* และ b* ของเนื้อขนมปังที่เสริมด้วยเส้นใยเห็ดผงมีค่าเป็นบวก ซึ่งมีสีออกทางแดงและเหลืองมากกว่าขนมปังสูตรควบคุม

(ก) (ข) (ค) (ง)

ภาพที่ 4-8 ลักษณะภายนอกของมัฟฟินเมื่อแทนที่แป้งอเนกประสงค์ด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผง ปริมาณต่างๆ (ก) 0% (ข) 10% (ค) 15% และ (ง) 20%

(ก) (ข) (ค) (ง)

ภาพที่ 4-9 ลักษณะภาพตัดขวางของมัฟฟินเมื่อแทนที่แป้งอเนกประสงค์ด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงปริมาณต่างๆ (ก) 0% (ข) 10% (ค) 15% และ (ง) 20%

3) ลักษณะเนื้อสัมผัส

ส่วนผสมหลักที่มีความสำคัญต่อลักษณะโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ขนมอบ รวมถึงผลิตภัณฑ์มัฟฟิน คือ แป้งสาลี สำหรับโครงงานวิจัยนี้ใช้แป้งอเนกประสงค์ ซึ่งเป็นแป้งสาลีที่มีปริมาณโปรตีน 10-11 g/100 g ได้จากการผสมแป้งสาลีชนิดแข็งซึ่งมีโปรตีนสูง และแป้งสาลีชนิดอ่อนซึ่งมีโปรตีนต่ำเข้าด้วยกัน ในสัดส่วนที่เหมาะสม โดยในแป้งสาลีจะประกอบไปด้วยส่วนประกอบหลักที่เกี่ยวข้องกับการเกิดโครงสร้างของขนมอบ 2 ส่วน ได้แก่ สตาร์ช และโปรตีน (จิตธนา แจ่มเมฆ และอรอนงค์ นัยวิกุล, 2546)

สตาร์ช ประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) จำนวนมาก ยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน จึงมีคุณสมบัติชอบน้ำ (hydrophilic) ทำให้สตาร์ชมีการรวมตัวกับน้ำในส่วนผสมได้ดี เมื่อส่วนผสมได้รับความร้อนในการอบ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงภายในโมเลกุลของเม็ดสตาร์ช (starch granule) มีผลทำให้เม็ดสตาร์ชเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างไป เนื่องจากความร้อนทำลายพันธะไฮโดรเจนภายในโมเลกุลของสตาร์ช สายพอลิเมอร์ของอะไมโลส (amylose) และอะไมโลเพก ทิน

(amylopectin) ที่อัดแน่นอยู่ในเม็ดสตาร์ชจะคลายตัว และรวมกับน้ำที่ล้อมรอบ ทำให้เม็ดสตาร์ชพองตัว และเคลื่อนไหวได้ยากขึ้น จึงทำให้เกิดความหนืด เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การเกิดเจลาทิไนซ์ (Gelatinization) ซึ่งหากส่วนผสมได้รับอุณหภูมิสูงขึ้น เม็ดสตาร์ชจะพองตัวเพิ่มขึ้นและมีความหนืดสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง เกิดลักษณะของน้ำแป้งข้น (starch paste) ความหนืดจะเพิ่มสูงขึ้นจนกระทั่งถึงจุดที่เม็ดสตาร์ชเกิดการพองตัวสูงสุด และให้ความหนืดสูงสุด จากนั้นเม็ดสตาร์ชจะแตกออก ซึ่งไม่สามารถคืนสภาพได้ และเกิดเป็นการสุกของสตาร์ช จึงทำให้การเกิดโครงสร้างของขนมอบ ขึ้นได้ (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546; พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนาปนนท์, ม.ป.ป.)

สำหรับโปรตีนที่สำคัญในแป้งสาลี คือโปรตีน 2 ชนิด ได้แก่ กลูเตนิน (Glutenin) และไกลอะดิน (Gliadin) รวมอยู่ในสัดส่วนที่เหมาะสม เมื่อแป้งผสมกับน้ำในอัตราส่วนที่เหมาะสมและมีการนวดผสม จะทำให้เกิดกลูเตน (Gluten) ซึ่งมีลักษณะเป็นส่วนผสมที่มีความยืดหยุ่น กลูเตนเกิดจากการเชื่อมประสานกันของโปรตีนทั้ง 2 ชนิดดังกล่าว ด้วยพันธะที่สำคัญคือ พันธะไดซัลไฟด์ (Disulfide linkage) โดยกลูเตนินจะมีลักษณะเหนียวคล้ายยาง ทำหน้าที่ให้ความแข็งแรงแก่กลูเตน ส่วนไกลอะดินจะมีลักษณะหนืดและไหลได้ เนื่องจากกลูเตนมีลักษณะยืดหยุ่นและสามารถยืดตัวได้ มีผลทำให้สามารถกักเก็บก๊าซที่เกิดขึ้นในระหว่างการตีผสม และพองฟูขึ้นเมื่อนำไปอบด้วยความร้อน โดยความร้อนในการอบจะทำให้โปรตีนตกตะกอน และเกิดโครงร่างของผลิตภัณฑ์ขึ้นมา (กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์, 2548; พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนาปนนท์, ม.ป.ป.)

ในงานวิจัยนี้มีการใช้ปริมาณแป้งอเนกประสงค์ในสูตรการผลิตมัฟฟินลดลง และแทนที่ด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผง โดยยังคงส่วนผสมอื่นที่เกี่ยวข้องกับการเกิดโครงสร้างของมัฟฟิน เช่น น้ำ และผงฟู รวมถึงใช้กรรมวิธีการผลิตคงแบบเดิม จึงอาจมีผลต่อความสมบูรณ์ของลักษณะโครงสร้างของมัฟฟิน ซึ่งส่งผลต่อลักษณะของเนื้อสัมผัสของมัฟฟินได้ เนื่องจากปริมาณแป้งอเนกประสงค์ซึ่งเป็นส่วนผสมหลักมีปริมาณลดลง ส่งผลต่อการมีปริมาณของสตาร์ช และโปรตีนลดลงด้วยนั่นเอง

จากผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของมัฟฟินโดยใช้วิธี Texture profile analysis (TPA) ซึ่งเป็นการทดสอบแบบกดลงบนชิ้นตัวอย่างสองครั้ง เป็นวิธีการทดสอบแบบใช้แรงกด (Compression) โดยบันทึกผลเป็นกราฟแรงกับเวลา แล้วคำนวณพารามิเตอร์ลักษณะเนื้อสัมผัสต่างๆ ในโครงงานวิจัยนี้รายงานเป็นพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ Hardness Chewiness Cohesiveness Springiness และ Gumminess แสดงดังตารางที่ 4-28 พบว่า ปริมาณการแทนที่แป้งอเนกประสงค์ด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงมีผลต่อเนื้อสัมผัสของมัฟฟิน ด้านค่า Hardness Chewiness Cohesiveness และ Gumminess ($p<0.05$) แต่ไม่มีผลต่อค่า Springiness ($p\geq0.05$)

Ulziijargal, Yang, Lin, Chen, and Mau (2013) จาร์พาเทคเซ็นเตอร์ (2543) และ ปานมนัส ศิริสมบูรณ์ (2554) ได้อธิบายถึงค่าพารามิเตอร์ลักษณะเนื้อสัมผัสต่างๆ จากการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสวิธี TPA ไว้ดังนี้ 1) ค่า Hardness หมายถึง ความแข็ง เป็นแรงสูงสุดในการกดครั้งแรก สามารถรายงานในหน่วยของนิวตัน (N) หรือ กรัมแรง (g force) หรือ กิโลกรัมแรง (kg force) 2) ค่า Springiness หมายถึง ความเด้ง คำนวณได้จากอัตราส่วนระหว่างเวลาซึ่งสมมูลกับระยะทางในการกดลงต่ำที่สุดครั้งที่สองกับเวลาซึ่งสมมูลกับระยะทางในการกดลงต่ำที่สุดครั้งที่หนึ่ง ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการคืนตัวของวัสดุหลังการเสียรูปจากการกดครั้งแรก โดยค่า Springiness นี้ไม่มี

หน่วย ถ้ามีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าวัสดุมีความเด้งมาก หรือยืดหยุ่นมาก 3) ค่า Cohesiveness หมายถึง ความยึดตัวกันเอง ซึ่งแสดงถึงความสามารถที่วัสดุรักษาโครงสร้างเดิมไว้ได้ เป็นการวัดระดับความยากในการทำให้ชิ้นวัสดุสลายโครงสร้าง คำนวณได้จากอัตราส่วนของพื้นที่จากการกดครั้งที่สองกับพื้นที่จากการกดครั้งที่หนึ่ง โดยค่า Cohesiveness นี้ไม่มีหน่วย 4) ค่า Gumminess หมายถึง ความเหนียว ซึ่งแสดงถึงแรงที่ต้องใช้ในการเคี้ยว มักนิยมใช้ในการอธิบายการเคี้ยวอาหารที่เป็นอาหารกึ่งแข็ง (semi-solid) คำนวณได้จากผลคูณของค่า Hardness กับค่า Cohesiveness รายงานในหน่วยแรงเหมือนกับค่า Hardness และ 5) ค่า Chewiness หมายถึง ความเคี้ยวได้ ซึ่งแสดงถึงแรงที่ใช้ในการเคี้ยว มักนิยมใช้ในการอธิบายการเคี้ยวอาหารที่เป็นอาหารแข็ง (solid) คำนวณได้จากผลคูณของค่า Gumminess กับ ค่าSpringiness และรายงานในหน่วยแรงเหมือนกับค่า Hardness

จากตารางที่ 4-28 พบว่า ค่า Springiness ของมัฟฟินทุกสิ่งทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 0.88-0.93 ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยมีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่ามัฟฟินมีความเด้งมาก หรือยืดหยุ่นมาก อาจเนื่องมาจากลักษณะเนื้อสัมผัสของมัฟฟินเป็นโครงสร้างฟูแต่เนื้อค่อนข้างแน่น จัดอยู่ในขนมอบประเภทควิกเบรด (Quick bread) ที่ขึ้นฟูด้วยผงฟูและใช้เวลาสั้นในการตีผสม โดยได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเนื้อแข็งกว่าเค้ก และมีลักษณะเนื้อไม่นุ่มเหมือนขนมปังที่ขึ้นฟูด้วยยีสต์ (จิตธนา แจ่มเมฆ และอรอนงค์ นัยวิกุล, 2539; ณนนท์ แดงสังวาลย์, 2553) หรือกล่าวได้ว่าเนื้อสัมผัสของมัฟฟินมีลักษณะค่อนข้างคงรูป ลักษณะเด้ง หรือคืนตัวได้ดีเมื่อรับแรงกด ไม่นุ่มจนยุบตัวถาวรเหมือนขนมปัง หรือแข็งจนไม่สามารถยุบตัวลงได้ การปรับเปลี่ยนปริมาณแป้งอเนกประสงค์ในส่วนผสมเพียง 10 – 20% จึงไม่มีผลกระทบต่อลักษณะเนื้อสัมผัสด้านค่า Springiness มาก จนเกิดความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สอดคล้องกับงานวิจัยของ สุภาวิณี แสนทวีสุข และ มาลีน่า สันเต๊ะ (2557) ศึกษาผลของการใช้กากถั่วเหลืองทดแทนแป้งเค้กในบัตเตอร์เค้กที่ระดับ 0%-50% (โดยน้ำหนักแป้ง) พบว่า การทดแทนด้วยกากถั่วเหลืองไม่มีผลต่อค่า Springiness ของบัตเตอร์เค้ก ($p \geq 0.05$) เนื่องจากบัตเตอร์เค้กมีลักษณะเนื้อสัมผัสฟู แต่ค่อนข้างแน่น จึงมีลักษณะเด้งหรือคืนตัวได้ดีเมื่อรับแรงกด และซึ่งสอดคล้องกับรายงานของอุทัยวรรณ ทองทั้งวงศ์ และ สุนทรี สุวรรณสิชณน์ (2556) ที่ได้ศึกษาผลของการใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งเค้กที่ระดับ 50-100% พบว่า การทดแทนด้วยแป้งข้าวสีนิลไม่มีผลต่อค่า Springiness ของบัตเตอร์เค้กเช่นกัน ($p \geq 0.05$)

จากตารางที่ 4-28 พบว่า การแทนที่แป้งอเนกประสงค์ด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงในปริมาณเพิ่มขึ้น ทำให้ค่า Hardness Chewiness Cohesiveness และ Gumminess มีแนวโน้มลดลง ($p<0.05$) โดยมัฟฟินที่แทนที่ด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผง 20% มีค่า Hardness (8.55 N) Chewiness (5.10 N) Cohesiveness (0.68 g) และ Gumminess (5.79 N) น้อยที่สุด ในขณะที่มัฟฟินสูตรควบคุมมีค่า Hardness (10.25 N) Chewiness (7.84 N) Cohesiveness (0.82) และ Gumminess (8.39 N) มากที่สุด

ค่า Hardness ค่า Chewiness และ ค่า Gumminess เป็นพารามิเตอร์ลักษณะเนื้อสัมผัสที่เกี่ยวข้องกับแรงที่ใช้กดทำลายตัวอย่างทั้งสิ้น การที่ค่าดังกล่าวน้อยลงแสดงให้เห็นแนวโน้มว่ามัฟฟินมีโครงสร้างอ่อนนุ่มลง รวมถึง ค่า Cohesiveness ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่บ่งบอกถึงความยึดตัวกันเองซึ่งแสดงถึงความสามารถที่วัสดุรักษาโครงสร้างเดิมไว้ได้ เป็นการวัดระดับความยากในการทำให้ชิ้นวัสดุสลายโครงสร้าง หากมีค่าลดลงแสดงถึง การเกาะตัวกันเองของตัวอย่างมีค่าลดลง แสดงให้เห็น

ว่ามัฟฟินมีโครงสร้างลักษณะร่วน และมีการยืดตัวกันน้อยลง ทั้งนี้เนื่องมาจากในสูตรมีการใช้ปริมาณแป้งอเนกประสงค์น้อยลง ส่งผลต่อการมีปริมาณของสตาร์ช และโปรตีนลดลง จึงทำให้ลักษณะโครงสร้างของมัฟฟินที่เกิดขึ้นไม่สมบูรณ์แข็งแรง ซึ่งโดยปกติต้องอาศัยการเกิดเจลาทิไนซ์ ของสตาร์ช และเกิดเป็นการสุกของสตาร์ชเมื่อได้รับความร้อน จึงทำให้การเกิดโครงสร้างของขนมอบ รวมถึงการที่เกิดกลูเตนที่มีความยืดหยุ่นสมบูรณ์ สามารถยืดตัวได้ และกักเก็บก๊าซที่เกิดขึ้นในระหว่างการตีผสมและพองฟูขึ้นเมื่อนำไปอบด้วยความร้อน โดยความร้อนในการอบจะทำให้โปรตีนตกตะกอน และเกิดโครงร่างของผลิตภัณฑ์ขึ้นมา การมีปริมาณของสตาร์ช และโปรตีนลดลง จึงส่งผลให้มัฟฟินมีลักษณะนิ่มลง รวมถึงมีการยึดเกาะตัวกันเองน้อยลง หรือมีลักษณะร่วนขึ้นนั่นเอง

นอกจากนี้อาจเนื่องมาจากองค์ประกอบของส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผง ซึ่งจัดเป็นส่วนเหลือทิ้งที่มีเส้นใยอาหารเป็นองค์ประกอบ มีรายงานว่าเห็ดมีองค์ประกอบของเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้อยู่มาก เช่น เพคติน เบต้ากลูแคน (Ulziijargal, Yang, Lin, Chen and Mau, 2013; Manzi & Pizzoferrato, 2000) การเติมผงเห็ดลงในมัฟฟินจึงมีผลทำให้เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้นี้ดูดซับน้ำไว้กับตัว ทำให้กักเก็บน้ำไว้ในส่วนผสมได้มาก เมื่อถึงขั้นตอนการอบจึงทำให้น้ำระเหยออกไปได้น้อยกว่ามัฟฟินสูตรควบคุม จึงมีแนวโน้มให้มัฟฟินมีเนื้อสัมผัสนุ่มขึ้นจึงมีค่า Hardness ซึ่งแสดงความแข็งลดลง มีค่า Chewiness และ ค่า Gumminess ซึ่งแสดงถึงแรงที่ต้องใช้ในการเคี้ยวลดลง รวมถึง มีค่า Cohesiveness ซึ่งแสดงถึงความยืดตัวกันเองภายในชิ้นมัฟฟินลดลง สอดคล้องกับการทดลองของ Ulziijargal, Yang, Lin, Chen and Mau (2013) ที่มีการนำเส้นใยเห็ดซึ่งเป็นส่วนเหลือทิ้งที่ไม่นิยมบริโภคมาแทนที่แป้งขนมปังในขนมปังขาว โดยใช้เส้นใยเห็ดการบูร (*Antrodia camphorate*) เห็ดกระดุมบราซิล (*Agaricus blazei*) เห็ดหัวลิง (*Hericium erinaceus*) และเห็ดกระถินพิมาน (*Phelinus linteus*) ใช้ทดแทนแป้งขนมปัง 5% พบว่า ค่า Hardness มีแนวโน้มลดลง เนื่องจากโครงสร้างของกลูเตนเกิดได้สมบูรณ์น้อยกว่าสูตรควบคุม Cervera, Salvador, Muguerza, Moulay, and Fiszman (2011) รายงานถึงผลการทดลองการแทนที่ไขมันด้วยเส้นใยจากเปลือกโกโก้ในมัฟฟินช็อกโกแล็ตปริมาณ 25% 50% และ 75% พบว่า ค่า Hardness มีค่าลดลง เมื่อมีการแทนที่เส้นใยจากเปลือกโกโก้ในปริมาณที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเส้นใยที่เติมลงไปมีสมบัติละลายน้ำได้ดี จากการมีองค์ประกอบของเส้นใยที่ละลายน้ำได้ดี เช่น กัม เพคติน ทำให้ส่วนผสมมีความหนืดและสามารถกักเก็บน้ำไว้ได้มาก แม้ได้รับความร้อนจากการอบ ทำให้ยังคงมีปริมาณน้ำที่คงอยู่มากกว่าในมัฟฟินสูตรควบคุม มัฟฟินจึงมีความแข็งน้อยลง มีลักษณะนุ่ม และชุ่มน้ำ มากขึ้น

ตารางที่ 4-28 ลักษณะเนื้อสัมผัสจากการวิเคราะห์ TPA ของมัฟฟินเมื่อแทนที่แป้งอเนกประสงค์ด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงปริมาณต่างๆ

การแทนที่แป้งอเนกประสงค์ด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผง (%)	ค่าเฉลี่ย ± SD				
	Hardness (N)	Chewiness (N)	Cohesiveness	Springiness[ns]	Gumminess (N)
0 (สูตรควบคุม)	10.25 ± 0.04[a]	7.84 ± 1.75[a]	0.82 ± 0.11[a]	0.93 ± 0.09	8.39 ± 1.12[a]
10	9.77 ± 0.25[b]	5.98 ± 0.35[b]	0.69 ± 0.02[b]	0.89 ± 0.01	6.71 ± 0.34[b]
15	8.65 ± 0.45[c]	5.74 ± 0.02[b]	0.73 ± 0.02[ab]	0.91 ± 0.01	6.31 ± 0.11[b]
20	8.55 ± 0.21[c]	5.10 ± 0.13[b]	0.68 ± 0.00[b]	0.88 ± 0.00	5.79 ± 0.12[b]

[ns] ค่าเฉลี่ยในแนวคอลัมน์เดียวกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

[a, b,c, ...] ค่าเฉลี่ยในแนวคอลัมน์เดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

4) ปริมาตรจำเพาะ

จากตารางที่ 4-29 พบว่า ปริมาตรจำเพาะของมัฟฟินที่มีการแทนที่ส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงในปริมาณต่างๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) พบว่าแนวโน้มของปริมาตรจำเพาะของมัฟฟินมีค่าลดลงเมื่อมีการแทนที่ส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้น โดยมัฟฟินสูตรควบคุมมีปริมาตรจำเพาะมากที่สุด 2.25 cm^3/g และมัฟฟินที่มีการแทนที่ด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผง 20% มีปริมาตรจำเพาะน้อยที่สุด 1.58 cm^3/g

ปริมาตรจำเพาะ เป็นค่าที่แสดงอัตราส่วนระหว่างปริมาตรต่อน้ำหนัก หากมีค่ามากแสดงถึงมัฟฟินมีปริมาตรต่อหน่วยน้ำหนักมาก หมายถึง มัฟฟินมีการขึ้นฟูดี มีปริมาตรมาก ในทางกลับกันหากมีค่าน้อย แสดงถึงมัฟฟินมีการขึ้นฟูน้อยกว่านั่นเอง การที่มัฟฟินสูตรควบคุมมีปริมาตรจำเพาะมากที่สุด แสดงถึงลักษณะโครงสร้างมัฟฟินที่มีการขึ้นฟูดี สอดคล้องกับ ลักษณะของมัฟฟิน และภาพตัดขวางของมัฟฟินตามภาพที่ 4-8 และ 4-9 ที่พบว่า มัฟฟินสูตรควบคุมมีลักษณะการขึ้นฟูมากที่สุด และมีรูปร่างเป็นลักษณะสมมาตร คือเกิดการขึ้นฟูทั่วถึง สม่ำเสมอ ขนาดฟองอากาศที่เกิดขึ้นภายในมัฟฟินมีขนาดเท่าๆกัน และเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอ ในขณะที่มัฟฟินที่มีการแทนที่แป้งอเนกประสงค์ด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นจนถึง 20% ทำให้มัฟฟินมีลักษณะขึ้นฟูน้อยที่สุด โครงสร้างแน่น ขนาดฟองอากาศที่เกิดขึ้นไม่สม่ำเสมอ มีทั้งขนาดเล็กและใหญ่ ส่งผลให้ผิวหน้าของมัฟฟินมีลักษณะแตกไม่เรียบเนียน และมีรูปร่างไม่สมมาตร จึงอาจกล่าวได้ว่าการแทนที่ส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงในปริมาณมากขึ้น ทำให้มัฟฟินมีการขึ้นฟูน้อยลง มีความสม่ำเสมอของขนาดฟองอากาศภายในโครงสร้างมัฟฟินลดลง ทั้งนี้เนื่องจากเป็นการลดปริมาณแป้งอเนกประสงค์ ทำให้มีโปรตีนกลูเตนลดลงไปด้วย ซึ่งโปรตีนกลูเตนสามารถกักเก็บก๊าซในระหว่างการผสมทำให้เกิดเป็นโครงสร้างฟองอากาศในระหว่างการผสม และการอบ จึงเกิดการขึ้นฟูดี ดังนั้น เมื่อกลูเตนลดลง จึงทำให้มัฟฟินขึ้นฟูได้น้อย มีขนาด รูปร่างของเซลล์ที่ปิดแน่น ทำให้มีปริมาตรและปริมาตรจำเพาะลดลง (จิตธนา แจ่มเมฆ และอรอนงค์ นัยวิกุล, 2546)

ทั้งนี้สอดคล้องกับผลการทดลองของ อุทัยวรรณ ทองทั้งวงศ์ และ สุนทรี สุวรรณสิชณน์ (2556) ได้ศึกษาผลของการใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งเค้กที่ระดับ 50-100% พบว่า ปริมาตรจำเพาะของบัตเตอร์เค้กจะลดลงตามลำดับเมื่อเพิ่มระดับการทดแทน ($p<0.05$) ซึ่งเป็นผลจากการขาดแป้งเค้กในสูตรมากขึ้น เป็นการเจือจางโปรตีนกลูเตนในส่วนผสมเค้ก ทำให้ความสามารถในการกักเก็บอากาศและความคงตัวของอิมัลชันลดลง ส่งผลให้ความสมบูรณ์ของโครงสร้างน้อยลง โครงร่างของบัตเตอร์เค้กจึงมีลักษณะแน่น ไม่โปร่ง ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีปริมาตรต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมที่ใช้แป้งเค้กล้วน ปริมาตรจำเพาะที่วิเคราะห์ได้จึงลดลง

ตารางที่ 4-29 ปริมาตรจำเพาะของมัฟฟินเมื่อมีการแทนที่แป้งอเนกประสงค์ด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงปริมาณต่างๆ

การแทนที่แป้งอเนกประสงค์ด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผง (%)	ค่าเฉลี่ยปริมาตรจำเพาะ (cm^3/g) ± SD
0 (สูตรควบคุม)	2.25 ± 0.26^a
10	1.86 ± 0.15^b
15	1.60 ± 0.11^c
20	1.58 ± 0.08^d

a, b,c, ... ค่าเฉลี่ยในแนวคอลัมน์เดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

5) ความชอบทางประสาทสัมผัส

จากการทดสอบความชอบโดยวิธี 9-point hedonic scale แสดงผลดังตางรางที่ 4-30 พบว่า ปริมาณการแทนที่แป้งอเนกประสงค์ด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงมีผลต่อความชอบทางด้านประสาทสัมผัส ด้านลักษณะปรากฏ สีเปลือก สีเนื้อ เนื้อสัมผัส กลิ่นรส และความชอบโดยรวม ($p<0.05$) แต่ไม่มีผลต่อความชอบด้านรสชาติ ($p\geq0.05$)

สำหรับความชอบด้านรสชาติ พบว่า ทุกสิ่งทดลองได้รับคะแนนอยู่ในช่วง 6.20 - 6.87 แสดงถึงความชอบระดับเล็กน้อยถึงปานกลาง แสดงให้เห็นว่าการเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงในปริมาณ 10-20% ไม่มีผลต่อความชอบความชอบด้านรสชาติของมัฟฟิน อาจเนื่องมาจากส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงมีรสชาติไม่เข้มจัดมากจนไปกระทบต่อรสชาติของมัฟฟินซึ่งมีการเติมส่วนผสมที่ให้รสชาติเข้มชัดเจนกว่าในสูตร เช่น น้ำตาลที่ให้รสหวาน และเกลือที่ให้รสเค็ม

ด้านความชอบลักษณะปรากฏ สีเปลือก และสีเนื้อของมัฟฟิน พบแนวโน้มคล้ายกัน คือมัฟฟินที่เติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงปริมาณ 20% ได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ ด้านสีเปลือก และสีเนื้อน้อยกว่าสิ่งทดลองอื่น ทั้งนี้เนื่องมาจากมัฟฟินมีลักษณะการขึ้นฟูไม่สมมาตร (ดังภาพที่ 4-7 และ ภาพที่ 4-8) ซึ่งเป็นลักษณะที่ไม่พึงประสงค์ของผู้ทดสอบ รวมทั้งสีของมัฟฟินเข้มขึ้น จึงมีแนวโน้มให้ได้รับคะแนนความชอบด้านสีน้อยลง เมื่อเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงในปริมาณมากถึง 15 และ 20% โดยเฉพาะเมื่อเติมปริมาณมากถึง 20% มีผลให้ได้รับคะแนนความชอบด้านสีเปลือกลดลงโดยได้คะแนนเท่ากับ 6.33 เนื่องจาก มัฟฟินมีสีน้ำตาลเข้มมาก อย่างไรก็ตามพบแนวโน้มว่าการเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงในปริมาณ 10% ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบด้านสีเปลือกและสีเนื้อมีแนวโน้มมากกว่าสูตรควบคุม อาจเนื่องมาจากทำให้มัฟฟินมีสีเหลืองเข้มขึ้นเหมือนเป็นการแต่งสีผลิตภัณฑ์ทำให้ดึงดูดใจผู้ทดสอบได้มากขึ้น อย่างไรก็ตาม คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ ความชอบด้านสีเปลือกและสีเนื้อ ของสิ่งทดลองที่เติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงในปริมาณ 10% ไม่แตกต่างกับสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) อยู่ในระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก (7.00-7.53) Lu, Lee, Mau, and Lin (2010) รายงานว่าการแทนที่แป้งเค้กด้วย

การเติมผงชาเขียวลงในสปันจ์เค้กในปริมาณ 10-30% มีผลให้ผู้ทดสอบมีความชอบสีเปลือกและสีเนื้อของสปันจ์เค้กมากกว่าสูตรควบคุมที่ไม่มีการเติมผงชาเขียว เนื่องจากผงชาเขียวที่เติมมีส่วนช่วยในการแต่งสีของตัวอย่างให้สวยงาม ดึงดูดความสนใจให้กับผู้ทดสอบได้มากขึ้น

จากผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสโดยใช้เครื่อง Texture analyser (ตารางที่ 4-28) พบแนวโน้มว่า การเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงมากขึ้นมีแนวโน้มให้มัฟฟินมีความแข็งลดลง และจากผลการทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัส พบว่า มัฟฟินที่มีการเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงในปริมาณ 10 และ 15% ได้รับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสไม่แตกต่างกับสูตรควบคุม ($p<0.05$) มีคะแนนความชอบในช่วง 6.93-7.00 อยู่ในระดับความชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง แสดงให้เห็นว่าแม้มีลักษณะเนื้อสัมผัสของมัฟฟินที่มีการเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงแตกต่างไปจากสูตรควบคุมก็ตาม แต่ยังมีลักษณะนุ่มและร่วน ซึ่งยังเป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบ

ด้านความชอบกลิ่นรส พบว่า มัฟฟินที่มีการแทนที่แป้งอเนกประสงค์ด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผง 20% ได้รับคะแนนความชอบน้อยที่สุด (6.07) ในขณะที่มัฟฟินสูตรควบคุม มัฟฟินที่มีการแทนที่แป้งอเนกประสงค์ด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้า 10 และ 15% ได้รับคะแนนความชอบมากที่สุดและคะแนนอยู่ในช่วง 6.93-7.43 ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) อาจเนื่องมาจากส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงมีกลิ่นรสเฉพาะของเห็ดที่เป็นเอกลักษณ์อยู่ การเติมในผลิตภัณฑ์มัฟฟินในปริมาณมากถึง 20% อาจส่งผลให้ผู้ทดสอบได้รับสัมผัสกลิ่นรสเห็ดที่เข้มมากเกินไป การยอมรับในกลิ่นรสมัฟฟินจึงมีแนวโน้มลดลง

ด้านคะแนนความชอบโดยรวม พบว่า มัฟฟินที่มีการแทนที่แป้งอเนกประสงค์ด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผง 10% ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมเท่ากับ 7.62 แสดงถึงความชอบระดับปานกลาง ซึ่งได้รับคะแนนความชอบโดยรวมมากกว่ามัฟฟินที่มีการแทนที่แป้งอเนกประสงค์สูตรอื่นๆ ($p<0.05$) แต่ไม่แตกต่างกับสูตรควบคุม ($p\geq0.05$) อาจเนื่องมาจากมัฟฟินที่มีการแทนที่แป้งอเนกประสงค์ด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผง 10% มีสีเปลือกและสีเนื้อที่ดึงดูดผู้ทดสอบมากกว่าสูตรอื่นๆ โดยมีสีไม่เข้มจัด มีเนื้อสัมผัสที่ไม่แข็งและนิ่มจนเกินไป และมีกลิ่นรสในระดับที่ผู้ทดสอบสามารถยอมรับได้ ในขณะที่การแทนที่แป้งอเนกประสงค์ด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผง 15 และ 20% ทำให้คะแนนความชอบโดยรวมมีแนวโน้มลดลง อาจเนื่องมาจากกลิ่นรสเฉพาะของเห็ดมากเกินไป และมัฟฟินมีสีเข้มขึ้นมาก จึงส่งผลต่อความคุ้นเคยของผู้ทดสอบ สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Mostos and Rossel (2012) รายงานว่า ในการพัฒนาสูตรขนมปัง พบว่า ปัจจัยของคุณลักษณะด้านต่างๆ มีผลต่อความชอบโดยรวมของผู้ทดสอบ โดยเฉพาะด้านสีของขนมปังเป็นปัจจัยสำคัญในการประเมินความชอบทางประสาทสัมผัส จึงทำให้ผลิตภัณฑ์ใหม่ที่พัฒนาขึ้นมีแนวโน้มได้รับคะแนนความชอบน้อยกว่าขนมปังสูตรควบคุม

6) ผลการคัดเลือกสิ่งทดลองที่เหมาะสม

จากเกณฑ์ที่กำหนดไว้คือเลือกสิ่งทดลองที่สามารถเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงได้มากที่สุด โดยได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด และมีการคงอยู่ของปริมาณสารพฤกษเคมีและสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระในระดับสูง โดยพิจารณาร่วมกับคุณภาพอื่นๆที่วิเคราะห์ ผลการทดลองพบว่า มัฟฟินที่มีการแทนที่แป้งอเนกประสงค์ด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงปริมาณ 10% เป็นสิ่งทดลองที่เหมาะสมที่สุดโดย ได้รับคะแนนความชอบโดยรวม (7.62 คะแนน) สูงที่สุด มีปริมาณ

สารพฤกษเคมีที่เป็นองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญทุกค่าที่วิเคราะห์ ได้แก่ ปริมาณโปรตีน (8.42 g/100g) ปริมาณกาบา (0.43 mg/100g) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (59.23 mg/100g) และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (75.08 %inhibition) ในระดับสูง มีค่าสีและลักษณะเนื้อสัมผัสที่ใกล้เคียงกับมัฟฟินสูตรควบคุม

ตารางที่ 4-30 คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของมัฟฟินเมื่อแทนที่แป้งอเนกประสงค์ด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงปริมาณต่างๆ

การแทนที่แป้งอเนกประสงค์ด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผง (%)	ค่าเฉลี่ย ± SD						
	ลักษณะปรากฏ	สีเปลือก	สีเนื้อ	เนื้อสัมผัส	รสชาติ^{ns}	กลิ่นรส	ความชอบโดยรวม
0 (สูตรควบคุม)	7.63 ± 1.10^{a}	7.50 ± 1.36^{ab}	7.10 ± 1.24^{ab}	6.97 ± 1.0^{a}	6.20 ± 1.42	6.97 ± 1.13^{a}	7.30 ± 0.84^{ab}
10	7.63 ± 1.03^{a}	7.73 ± 0.91^{a}	7.53 ± 1.25^{a}	7.00 ± 1.17^{a}	6.87 ± 1.25	7.43 ± 1.19^{a}	7.62 ± 1.16^{a}
15	7.20 ± 1.16^{a}	7.20 ± 1.16^{b}	7.00 ± 1.20^{ab}	6.93 ± 1.48^{a}	6.47 ± 1.43	6.93 ± 1.31^{a}	7.05 ± 1.33^{b}
20	6.70 ± 1.12^{b}	6.33 ± 1.15^{c}	6.57 ± 1.36^{b}	6.37 ± 1.21^{b}	6.30 ± 1.90	6.07 ± 1.5^{b}	6.27 ± 1.46^{c}

^{ns} ค่าเฉลี่ยในแนวคอลัมน์เดียวกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

$^{a, b,c, \ldots}$ ค่าเฉลี่ยในแนวคอลัมน์เดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

4.3.3 ผลของการเติมส่วนเหลือทิ้งบริเวณรากหรือเส้นใยเห็ดขอนขาวผงต่อคุณภาพของน้ำสลัด

จากการนำส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงที่เตรียมตามสภาวะที่เลือกได้จากข้อ 4.2.3 คือ ส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวบดหยาบก่อนการทำแห้ง และทำแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศ ที่อุณหภูมิ 65°C ภายใต้ความดัน 36 cmHg เป็นเวลา 213.5 นาที นำมาเติมเพิ่มลงในน้ำสลัดชนิดข้นสูตรพื้นฐาน 4 ระดับ คือ 0% 3% 5% และ 7% ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ ได้แก่ ปริมาณโปรตีน ปริมาณกาบา ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ แสดงดังตารางที่ 4-31 ผลการวิเคราะห์ค่าสีของน้ำสลัด แสดงดังตารางที่ 4-32 และลักษณะของน้ำสลัดที่ได้แสดงดังภาพที่ 4-10 ค่าความหนืด แสดงดังตารางที่ 4-33 และผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสแสดงดังตารางที่ 4-34 ผลการทดลองมีรายละเอียดดังนี้

1) องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ

องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญที่วิเคราะห์จากน้ำสลัดทุกสิ่งทดลอง ได้แก่ ปริมาณโปรตีน ปริมาณกาบา ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ แสดงดังตารางที่ 4-31 พบว่า ปริมาณการเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวผงมีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของน้ำสลัด ($p<0.05$)

เมื่อพิจารณาปริมาณโปรตีน กาบา ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ พบว่า มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวในปริมาณมากขึ้น โดยน้ำสลัดสูตรควบคุมมีปริมาณโปรตีน (3.15 g/100g dry basis) ปริมาณกาบา (0.01 mg/100g dry basis) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (47.52 mgGAE/100g dry basis) และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่รายงานเป็นค่า %inhibition (68.14%) ต่ำที่สุด ในขณะที่น้ำสลัดที่เติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวผง 9% มีปริมาณโปรตีน (5.04 g/100g dry basis) ปริมาณกาบา (0.14 mg/100g dry basis) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (71.44 mgGAE/100g dry basis) และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่รายงานเป็นค่า%inhibition (71.74%) มากที่สุด ($p<0.05$) จากผลการทดลองจึงแสดงให้เห็นว่า ส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวผงเป็นแหล่งที่ดีของโปรตีน กาบา และสารประกอบฟีนอลิก โดยส่งผลให้สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของนักวิจัยหลายท่านที่นำส่วนเหลือทิ้งจากเห็ดมาใช้ประโยชน์เป็นแหล่งของโปรตีนและสารพฤกษเคมีที่สำคัญ เช่น กรณีของ Ulziijargal et al. (2013) ที่ศึกษาการนำเส้นใยเห็ดซึ่งเป็นส่วนเหลือทิ้งมาทำเป็นผง และใช้ประโยชน์โดยการเติมในขนมปังขาวได้ และผลการทดลองส่วนนี้แสดงให้เห็นว่าสามารถนำส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวผงมาใช้ในอาหารประเภทอิมัลชัน เช่น น้ำสลัด ได้ โดยกระบวนการผลิตน้ำสลัดมิได้ทำให้องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญเปลี่ยนแปลงไป การเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดเพิ่มเข้ามาในสูตรมากมีผลให้องค์ประกอบทางเคมีเพิ่มขึ้นมาก อย่างไรก็ตามต้องขึ้นอยู่กับการยอมรับของผู้บริโภคด้วยว่าจะยอมรับสิ่งทดลองที่มีการเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวผงได้มากเพียงใด

2) ค่าสี

ค่าสี L*, a* และ b* ของน้ำสลัดเมื่อมีการเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวผงปริมาณต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4-32 พบว่า ปริมาณการเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวผงมีผลต่อค่าสีของน้ำสลัด ($p<0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับการสังเกตด้วยตาเปล่าที่พบว่า น้ำสลัดแต่ละสิ่งทดลองมีสีแตกต่างกัน โดย

พบว่า เมื่อเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวผงมากขึ้น ทำให้น้ำสลัดมีสีออกสีน้ำตาลเข้มขึ้น แสดงดังภาพที่ 4-10 เมื่อพิจารณาค่าสีของน้ำสลัดที่วัดได้ด้านค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) พบว่า เมื่อเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวผงเพิ่มขึ้นเป็น 5% 7% และ 9% ทำให้ค่า L* และ b* มีแนวโน้มลดลง ในขณะที่ ค่า a* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเติมส่วนเหลือทิ้งจากเห็ดขอนขาวเพิ่มขึ้น ($p<0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับผลการสังเกตด้วยตาเปล่าที่พบว่า เมื่อเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวผงในน้ำสลัดมากขึ้น มีแนวโน้มเป็นสีน้ำตาลแดงเข้มขึ้น โดยน้ำสลัดที่เติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวผงถึง 9% มีสีออกน้ำตาลแดงเข้มที่สุด โดยมีค่า L*(62.35) และ b* (20.43) ต่ำที่สุด ในขณะที่มีค่า a* (19.24) สูงที่สุด ($p<0.05$) ทั้งนี้เป็นผลจากส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวมีสีน้ำตาลอ่อน การเติมเพิ่มในปริมาณมากขึ้นในน้ำสลัดจึงมีโอกาสทำให้น้ำสลัดมีสีน้ำตาลเข้มขึ้นตามสีของส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวที่เติมนั่นเอง

3) ความหนืด

จากตารางที่ 4-33 พบว่า ความหนืดของน้ำสลัดที่มีการแทนที่ส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวผงในปริมาณต่างๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) พบว่า ความหนืดของน้ำสลัดเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวผงในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้น โดยน้ำสลัดสูตรควบคุมมีความหนืดน้อยที่สุด 5102.54 cps และน้ำสลัดที่มีการเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวผง 9% มีความหนืดมากที่สุด 7241.51 cps แสดงให้เห็นว่าการเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวผงช่วยเพิ่มความหนืดได้ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเห็ดมีองค์ประกอบของเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ โดยมีสมบัติในการละลายน้ำได้และสามารถดูดซับน้ำแล้วเกิดลักษณะเจลที่สามารถให้ความหนืดได้ Chatsisvili et al. (2012) กล่าวว่า น้ำสลัดจัดเป็นอิมัลชันแบบ oil-in-water ชนิดหนึ่ง การเติมส่วนผสมจากวัตถุดิบจากธรรมชาติมีข้อดีหลายประการ เช่น สามารถเสริมสมบัติต้านอนุมูลอิสระ สามารถชะลอการเกิด lipid oxidation ได้ รวมถึงช่วยรักษาคุณภาพทางรีโอโลยี (rheological property) และความคงตัวได้ของผลิตภัณฑ์น้ำสลัดได้

4) ความชอบทางประสาทสัมผัส

จากการทดสอบความชอบโดยวิธี 9-point hedonic scale แสดงผลดังตางรางที่ 4-34 พบว่า ปริมาณการเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวผงมีผลต่อความชอบทางด้านประสาทสัมผัส ด้านลักษณะปรากฏ สี เนื้อสัมผัส กลิ่นรส รสชาติ และความชอบโดยรวม ($p<0.05$)

สำหรับความชอบด้านเนื้อสัมผัส กลิ่นรส รสชาติ และความชอบโดยรวม พบแนวโน้มคล้ายกันคือ น้ำสลัดที่มีการเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวผงปริมาณ 0% 5% และ 7% ได้รับคะแนนความชอบเพิ่มขึ้นเมื่อเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวถึงปริมาณ 9% พบว่า คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัส กลิ่นรส รสชาติ และความชอบโดยรวมลดลง ($p<0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวมีกลิ่นรสเฉพาะตัวเป็นเอกลักษณ์ของเห็ด การเติมเพิ่มเข้าไปในสูตรมีผลให้น้ำสลัดกลิ่นรสเห็ดเข้มขึ้น แต่การเติมถึง 9% อาจทำให้มีกลิ่นรสเห็ดเข้มมากเกินไป จนผู้บริโภคมีการยอมรับลดลง ส่วนด้านเนื้อสัมผัสอาจเกี่ยวเนื่องกับความหนืดที่เพิ่มขึ้น เมื่อมีการเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ผู้บริโภครู้สึกถึงความสากลิ้นเมื่อมีการเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4-31 ปริมาณโปรตีน ปริมาณกาบา ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของน้ำสลัดเมื่อเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวผงปริมาณต่างๆ

ปริมาณส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวผง (%)	ค่าเฉลี่ย ± SD			
	ปริมาณโปรตีน (g/100g)*	ปริมาณกาบา (mg/100g)*	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mgGAE/100g)*	สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (% inhibition)
0 (สูตรควบคุม)	3.15 ± 0.14^{c}	0.01 ± 0.02^{b}	47.52 ± 0.14^{d}	68.14 ± 0.19^{c}
5	4.02 ± 0.07^{b}	0.11 ± 0.02^{a}	59.14 ± 0.10^{c}	70.18 ± 0.15^{b}
7	4.21 ± 0.09^{b}	0.14 ± 0.00^{a}	64.14 ± 0.14^{b}	71.24 ± 0.24^{a}
9	5.04 ± 0.10^{a}	0.14 ± 0.02^{a}	71.44 ± 0.11^{a}	71.74 ± 0.14^{a}

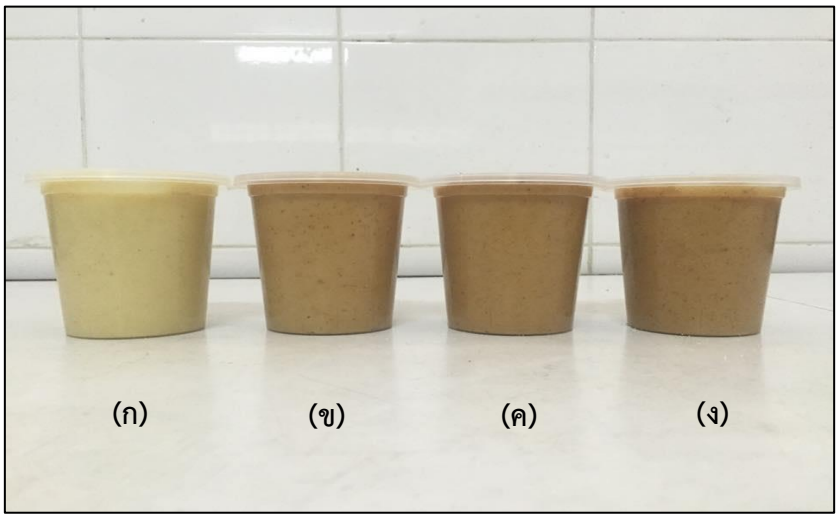
$^{a, b, c, \ldots}$ ค่าเฉลี่ยในแนวคอลัมน์เดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

* คิดเทียบจากน้ำหนักฐานแห้ง

ตารางที่ 4-32 ค่าสีของน้ำสลัดเมื่อเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวผงปริมาณต่างๆ

ปริมาณส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวผง (%)	ค่าเฉลี่ย ± SD		
	L*	a*	b*
0 (สูตรควบคุม)	79.35 ± 0.21[a]	3.74 ± 0.81[c]	34.45 ± 0.74[a]
5	70.09 ± 0.32[b]	11.27 ± 0.31[c]	23.47 ± 0.14[b]
7	67.21 ± 0.74[c]	13.47 ± 0.25[b]	21.22 ± 0.52[c]
9	62.35 ± 0.65[d]	19.24 ± 0.14[a]	20.43 ± 0.24[d]

[a, b ,c, ...] ค่าเฉลี่ยในแนวคอลัมน์เดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)



ภาพที่ 4-10 ลักษณะของน้ำสลัดที่เติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวผงปริมาณต่างๆ (ก) 0% (ข) 5% (ค) 7% และ (ง) 9%

ตารางที่ 4-33 ความหนืดของน้ำสลัดเมื่อเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวผงปริมาณต่างๆ

ปริมาณส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวผง (%)	ความหนืด (cps) ± SD
0 (สูตรควบคุม)	5,102.54 ± 91.26[c]
5	6,847.11 ± 84.04[b]
7	7,048.58 ± 92.44[a]
9	7,241.51 ± 86.18[a]

[a, b,c, ...] ค่าเฉลี่ยในแนวคอลัมน์เดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ด้านความชอบลักษณะปรากฏ และสี พบแนวโน้มคล้ายกัน คือน้ำสลัดที่เติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวผงปริมาณ 0% และ 5% ได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ และสีมากที่สุดและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) ทั้งนี้เนื่องมาจากน้ำสลัดยังคงมีลักษณะปรากฏคล้ายน้ำสลัดสูตรควบคุม ผู้ทดสอบจึงยังมีความคุ้นเคยกับผลิตภัณฑ์ แต่เมื่อเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวผงในปริมาณเพิ่มขึ้นถึง 7% และ 9% มีผลให้ได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏและสีลดลง โดยได้คะแนนอยู่ในช่วง 6.11-6.26 และ 5.90-6.05 ตามลำดับ เนื่องจากผู้ทดสอบอาจเห็นลักษณะผงเห็ดกระจายในน้ำสลัดและน้ำสลัดมีสีน้ำตาลเข้มมากขึ้นเมื่อเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวมากขึ้น อย่างไรก็ตามพบว่า การเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวผงในปริมาณ 7% ผู้ทดสอบยังให้คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ และสี อยู่ในระดับชอบเล็กน้อย

ด้านคะแนนความชอบโดยรวม พบว่า น้ำสลัดที่มีการเติมส่วนเหลือทิ้งผงเห็ดขอนขาว 5% และ 7% ได้รับคะแนนความชอบโดยรวม เท่ากับ 7.43 และ 7.51 ตามลำดับ แสดงถึงความชอบระดับปานกลางซึ่งไม่แตกต่างกับสูตรควบคุม ($p\geq0.05$) อาจเนื่องมาจากน้ำสลัดสูตรดังกล่าวมีสี กลิ่นรส และรสชาติ ของเห็ดอยู่ในระดับพอดี โดยมีสีไม่เข้มจัดหรือมีกลิ่นรส และรสชาติของมากจนเกินไป จึงเป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบ ในขณะที่การเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงมากขึ้นถึง 9% ทำให้คะแนนความชอบโดยรวมลดลง อาจเนื่องมาจากกลิ่นรสเฉพาะของเห็ดมากเกินไป และน้ำสลัดมีสีเข้มขึ้นมาก จึงส่งผลต่อความคุ้นเคยของผู้ทดสอบ

ตารางที่ 4-34 คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของน้ำสลัดเมื่อเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวผงปริมาณต่างๆ

ปริมาณส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวผง (%)	ค่าเฉลี่ย ± SD					
	ลักษณะปรากฏ	สี	เนื้อสัมผัส	รสชาติ	กลิ่นรส	ความชอบโดยรวม
0 (สูตรควบคุม)	6.96 ± 0.80[a]	7.63 ± 0.87[a]	7.11 ± 1.40[a]	6.93 ± 1.74[a]	7.27 ± 0.93[a]	7.61 ± 1.07[a]
5	7.03 ± 1.13[a]	7.53 ± 1.01[a]	7.15 ± 1.47[a]	7.13 ± 1.54[a]	7.22 ± 1.07[a]	7.43 ± 2.01[a]
7	6.26 ± 1.04[b]	6.05 ± 1.06[b]	7.04 ± 1.08[a]	7.21 ± 1.36[a]	7.13 ± 1.24[a]	7.51 ± 1.04[a]
9	6.11 ± 1.02[b]	5.90 ± 1.12[b]	6.30 ± 1.04[b]	6.31 ± 1.03[b]	6.24 ± 1.35[b]	6.01 ± 1.02[b]

[ns] ค่าเฉลี่ยในแนวคอลัมน์เดียวกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

[a, b,c, ...] ค่าเฉลี่ยในแนวคอลัมน์เดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

5) ผลการคัดเลือกสิ่งทดลองที่เหมาะสม

จากเกณฑ์ที่กำหนดไว้คือเลือกสิ่งทดลองที่สามารถเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวผงได้มากที่สุด โดยได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด และมีการคงอยู่ของปริมาณสารพฤกษเคมีและสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระในระดับสูง โดยพิจารณาร่วมกับคุณภาพอื่นๆที่วิเคราะห์ ผลการทดลองพบว่า น้ำสลัดที่มีการเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวผงปริมาณ 7% เป็นสิ่งทดลองที่เหมาะสมที่สุดโดย ได้รับคะแนนความชอบโดยรวม (7.51 คะแนน) สูงที่สุด มีปริมาณสารพฤกษเคมีที่เป็นองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญทุกค่าที่วิเคราะห์ ได้แก่ ปริมาณโปรตีน (4.21 g/100g dry basis) ปริมาณกาบา (0.14 mg/100g dry basis) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (64.14 mgGAE/100g dry basis) และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (71.24 %inhibition) ในระดับสูง

4.4 การถ่ายทอดเทคโนโลยีและความรู้ที่ได้จากการวิจัยสู่ชุมชน

จัดทำเอกสารเผยแพร่ความรู้ที่ได้โดยมีรายละเอียดบทสรุปโดยย่อจากการวิจัย วิธีการผลิตส่วนเหลือทิ้งเห็ดผง และสูตรอาหารที่มีการเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดผงที่พัฒนาได้จำนวน 150 ชุด โดยมุ่งหมายเพื่อเผยแพร่ความรู้ส่งมอบให้กับชุมชน ประสานงานส่งมอบให้กับองค์การบริหารส่วนตำบล องค์การบริหารส่วนจังหวัด รวมถึงกลุ่มแม่บ้านในภาคตะวันออก ได้แก่ จังหวัดระยอง และจังหวัดจันทบุรี และจังหวัดตราด ตัวอย่างเอกสารที่ใช้เผยแพร่ความรู้สู่ชุมชนแสดงดังภาพที่ 4-11

ภาพที่ 4-11 ตัวอย่างเอกสารที่ใช้เผยแพร่ความรู้ที่ได้สู่ชุมชน

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 จากการศึกษาปริมาณสารพฤกษเคมีที่สำคัญต่อสุขภาพจากส่วนที่นิยมบริโภค (ลำต้นและหมวกเห็ด) และส่วนเหลือทิ้ง (รากหรือเส้นใย) ของเห็ดที่เพาะเชิงการค้าจำนวน 3 ชนิด ได้แก่ เห็ดเข็มทอง เห็ดนางฟ้า และเห็ดขอนขาว สรุปได้ดังนี้

1) จากการวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ จากส่วนที่นิยมบริโภคและส่วนเหลือทิ้งของเห็ดเข็มทอง ได้แก่ ปริมาณโปรตีน ปริมาณกาบา ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ พบว่า ปริมาณกาบา และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของส่วนที่นิยมบริโภคและส่วนเหลือทิ้งของเห็ดเข็มทองไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยปริมาณกาบามีค่าอยู่ในช่วง 0.10-0.12 g/100g และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระรายงานในรูป % inhibition มีค่าอยู่ในช่วง 53.90-54.98 % ในขณะที่ปริมาณโปรตีน และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยพบว่าปริมาณโปรตีนของส่วนที่นิยมบริโภค(18.57 g/100g) มากกว่าส่วนเหลือทิ้ง (14.58 g/100g) ($p<0.05$) พิจารณาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด พบว่า มีแนวโน้มแตกต่างจากปริมาณโปรตีน กล่าวคือปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของส่วนเหลือทิ้ง (13.33 g/100g) มากกว่าส่วนที่นิยมบริโภค (11.20 gGAE/100 g) ($p<0.05$)

2) จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญจากส่วนที่นิยมบริโภคและส่วนเหลือทิ้งของเห็ดนางฟ้า โดยวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ พบว่า เห็ดนางฟ้าส่วนที่นิยมบริโภคมีปริมาณโปรตีน 27.18 g/100g dry basis ปริมาณกาบา 10.03 mg/100g dry basis ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 306.06 mgGAE/100g dry basis และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (%Inhibition) 67.03% ซึ่งมากกว่าส่วนเหลือทิ้งของเห็ดนางฟ้าที่มีปริมาณโปรตีน 12.12 g/100g dry basis ปริมาณกาบา 1.31 mg/100g dry basis ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 122.28 mgGAE/100g dry basis และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (%Inhibition) 62.03% ($p<0.05$)

3) จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญจากส่วนที่นิยมบริโภคและส่วนเหลือทิ้งของเห็ดขอนขาว โดยวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ พบว่า เห็ดขอนขาวส่วนที่นิยมบริโภคมี ปริมาณโปรตีน 18.88 g/100g dry basis ปริมาณกาบา 8.14 mg/100g dry basis ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 514.24 mgGAE/100g dry basis และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (%Inhibition) 88.14% ซึ่งมากกว่าส่วนเหลือทิ้งของเห็ดขอนขาวที่มีปริมาณโปรตีน 12.42 g/100g dry basis ปริมาณกาบา 2.10 mg/100g dry basis ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 498.89 mgGAE/100g dry basis และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (%Inhibition) 86.38% ($p<0.05$)

5.1.2 จากการศึกษาหาวิธีการทำแห้งที่เหมาะสมของส่วนเหลือทิ้งเห็ดผงของเห็ดที่เพาะเชิงการค้าจำนวน 3 ชนิด ได้แก่ เห็ดเข็มทอง เห็ดนางฟ้า และเห็ดขอนขาว สรุปได้ดังนี้

1) จากการศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาการทำแห้งด้วยลมร้อนต่อปริมาณองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผง โดยแปรอุณหภูมิการทำแห้ง (40-70 °C) และเวลาการทำแห้ง (180-300 นาที) จัดสิ่งทดลองแบบ CCD (Central composite design) ได้ 9 สิ่งทดลอง พบว่า ลักษณะปรากฏของส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองหลังการทำแห้งและบดแต่ละสิ่งทดลองมีลักษณะปรากฏแตกต่างกัน และพบว่าปริมาณผลได้ ปริมาณความชื้น ค่า a_w ค่าสี ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ ได้แก่ ปริมาณโปรตีน ปริมาณกาบา ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) การทำแห้งส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองที่อุณหภูมิ 65 °C เวลา 285 นาที มีความเหมาะสมที่สุด ได้ส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงที่มีปริมาณความชื้น 9.41% มีค่า a_w ระดับต่ำ เท่ากับ 0.35 มีปริมาณสารพฤกษเคมี ได้แก่ ปริมาณกาบา เท่ากับ 0.23 g/100g ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก เท่ากับ 12.80 gGAE/100g และมีสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ(%Inhibition) เท่ากับ 76.74%

2) จากการศึกษาผลของวิธีการเตรียมขั้นต้นต่อปริมาณองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผง โดยแปรปัจจัยที่ศึกษาที่เกี่ยวข้องกับวิธีการเตรียมขั้นต้น 2 ปัจจัย ได้แก่ การลวก (ไม่ลวก ลวกในน้ำ และลวกในสารละลายโซเดียมคลอไรด์) และลักษณะชิ้นก่อนการทำแห้ง (หั่นเป็นชิ้น และบดหยาบ) ซึ่งได้วิธีการเตรียมขั้นต้นส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าก่อนการทำแห้ง 6 วิธี พบว่าวิธีการเตรียมขั้นต้นมีผลต่อปริมาณองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผง ได้แก่ ปริมาณโปรตีน ปริมาณกาบา ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ รวมถึงปริมาณผลได้ เวลาที่ใช้ในการทำแห้ง และค่าสีของส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงที่เตรียมขั้นต้นโดยการไม่ผ่านการลวกและบดหยาบก่อนการทำแห้งมีความเหมาะสมที่สุด ได้ส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงที่มีปริมาณองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ ได้แก่ ปริมาณโปรตีน เท่ากับ 10.08 g/100g dry basis ปริมาณกาบา เท่ากับ 0.43 mg/100g dry basis ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด เท่ากับ 59.69 mgGAE/100g dry basis และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (%Inhibition) เท่ากับ 78.43% ซึ่งเป็นปริมาณที่สูงที่สุด โดยใช้เวลาในการทำแห้ง 183.5 นาที มีปริมาณผลได้ 6.96% ปริมาณความชื้น 8.51% และมีค่า a_w 0.30

3) จากการศึกษาวิธีการทำแห้งด้วยวิธีการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 65 °C และตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 65 °C ภายใต้ความดัน 36 cmHg ต่อคุณภาพของส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวผง พบว่า วิธีการทำแห้งมีผลต่อปริมาณกาบา ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ($p<0.05$) แต่ไม่มีผลต่อปริมาณโปรตีน ($p\geq0.05$) การทำแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศภายใต้ความดัน 36 cmHg ที่อุณหภูมิ 65°C เป็นเวลา 213.5 นาที ทำให้ได้ส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวผงที่มีปริมาณองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญและสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระมากกว่าการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 65°C เป็นเวลา 195.6 นาที ($p<0.05$)

5.1.3 จากการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำส่วนเหลือทิ้งเห็ดผงไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารต้นแบบ ได้แก่ ขนมปังเพรทเซล มัฟฟิน และน้ำสลัด สรุปได้ดังนี้

1) จากการศึกษาผลของการแทนที่แป้งขนมปังด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงต่อคุณภาพของขนมปังเพรทเซล พบว่า เมื่อเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงมากขึ้นมีผลให้ขนมปังเพรทเซลมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณโปรตีน และปริมาณกาบามากกว่าขนมปังเพรทเซลสูตรควบคุม ($p<0.05$) ด้านลักษณะเนื้อสัมผัสพบว่า เมื่อแทนที่ด้วยเส้นใยเห็ดเข็มทองผงมากขึ้น มีผลให้ค่า Hardness Chewiness และ Gumminess ของขนมปังเพรทเซลมากกว่าขนมปังเพรทเซลสูตรควบคุม แต่ค่า Cohesiveness ของขนมปังเพรทเซลน้อยกว่าขนมปังเพรทเซลสูตรควบคุม ($p<0.05$) และค่า Springiness ไม่แตกต่างกัน ($p\geq0.05$) การแทนที่แป้งขนมปังด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงปริมาณ 10% และ 15% ได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสในด้านรสชาติ และความชอบโดยรวม ไม่แตกต่างจากขนมปังเพรทเซลสูตรควบคุม เมื่อเพิ่มส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงเป็น 20% มีผลให้ลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ และความชอบโดยรวมต่ำลง แต่ความชอบด้านกลิ่นของทุกสิ่งทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) ดังนั้นขนมปังเพรทเซลที่มีการแทนที่แป้งขนมปังด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดเข็มทองผงที่เหมาะสมที่สุด คือการแทนที่ในปริมาณ 15%

2) จากการศึกษาการแทนที่แป้งอเนกประสงค์ด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงต่อคุณภาพของมัฟฟิน พบว่า ปริมาณการแทนที่แป้งอเนกประสงค์ด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงมีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ ค่าสี ปริมาตรจำเพาะ ลักษณะเนื้อสัมผัส และคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัส ($p<0.05$) โดยเมื่อแทนที่แป้งอเนกประสงค์ด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงมากขึ้นทำให้มัฟฟินมีปริมาณโปรตีนน้อยกว่ามัฟฟินสูตรควบคุม แต่มีปริมาณกาบา สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระมากกว่าสูตรควบคุม ($p<0.05$) เมื่อพิจารณาค่าสีเปลือกและสีเนื้อ พบว่าเมื่อแทนที่แป้งอเนกประสงค์ด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงมากขึ้นทำให้มัฟฟินมีเปลือกสีน้ำตาลแดงเข้มขึ้น และสีเนื้อเป็นสีเหลืองเข้มขึ้น ($p<0.05$) ด้านปริมาตรจำเพาะพบว่าการแทนที่แป้งอเนกประสงค์ด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงมากขึ้นส่งผลให้มัฟฟินมีปริมาตรจำเพาะลดลง ($p<0.05$) เมื่อพิจารณาด้านลักษณะเนื้อสัมผัส พบว่า มัฟฟินที่มีการแทนที่แป้งอเนกประสงค์ด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผง มีผลทำให้ค่า Hardness Chewiness Cohesiveness และ Gumminess น้อยกว่ามัฟฟินสูตรควบคุม ($p<0.05$) ในขณะที่ค่า Springiness ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) ด้านคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัส พบว่า มัฟฟินที่มีการแทนที่แป้งอเนกประสงค์ด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผง 10% ได้รับคะแนนความชอบลักษณะปรากฏ สีเปลือก สีเนื้อ เนื้อสัมผัส กลิ่นรส และความชอบโดยรวมสูงที่สุด และไม่แตกต่างกับมัฟฟินสูตรควบคุม ($p\geq0.05$) เมื่อมีการแทนที่แป้งอเนกประสงค์ด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงเพิ่มเป็น 20% ทำให้ได้รับคะแนนความชอบลักษณะปรากฏ สีเปลือก เนื้อสัมผัส กลิ่นรส และความชอบโดยรวมน้อยที่สุด ($p<0.05$) ดังนั้นมัฟฟินที่มีการแทนที่แป้งอเนกประสงค์ด้วยส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงที่เหมาะสมที่สุด คือการแทนที่ในปริมาณ 10%

3) จากการศึกษาปริมาณการเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวผงที่เหมาะสมในน้ำสลัด พบว่า น้ำสลัดที่มีการเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวผง 5% และ 7% ได้รับคะแนนการยอมรับทางประสาท

สัมผัสในด้านรสชาติ กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมมากที่สุด ($p<0.05$) ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับน้ำสลัดสูตรควบคุม โดยเมื่อเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวมากขึ้นทำให้น้ำสลัดมีปริมาณโปรตีน ปริมาณกาบา สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระมากขึ้น ($p<0.05$) เมื่อมีการเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวเพิ่มเป็น 9% ทำให้ได้รับคะแนนความชอบลักษณะปรากฏ สี รสชาติ กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมลดลง ($p<0.05$) ดังนั้นน้ำสลัดที่มีการเติมส่วนเหลือทิ้งเห็ดขอนขาวผงที่เหมาะสมที่สุด คือการแทนที่ในปริมาณ 7%

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) ศึกษาการนำส่วนเหลือทิ้งมาผลิตเป็นสารสกัด เพื่อใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารเสริมสุขภาพและยา

2) ศึกษาการนำส่วนเหลือทิ้งเห็ดผง ไปใช้เป็นส่วนประกอบในอาหารชนิดอื่น เช่น ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ ผลิตภัณฑ์ซุป เป็นต้น

บรรณานุกรม

กรมวิชาการเกษตร. (2559). เห็ดขอน. เข้าถึงได้จาก http://www.ifarm.in.th/index.php?option=com_content&view=article&id=685:2011-09-23-10-10-16&catid=46:mushroom&Itemid=198

กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล. (2546). *เทคโนโลยีแป้ง* (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กิตติพงษ์ ศิริวานิชกุล และปัญญา โพธิ์ฐิติรัตน์. (2538). *เทคโนโลยีการเพาะเห็ด* (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: รั้วเขียว.

กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์. (2548). *เอกสารประกอบการสอน เทคโนโลยีของผลิตภัณฑ์ขนมอบ.* ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

กรมส่งเสริมการเกษตร. (2556). *รายงานข้อมูลสภาวะการผลิตพืช กลุ่มพืชผัก ชนิดเห็ด*. วันที่ค้นข้อมูล 6 สิงหาคม 2557, เข้าถึงได้จาก http://production.doae.go.th/.

กรมส่งเสริมการเกษตร. (2557). *สถิติการส่งออกและการนำเข้าของเห็ด*. วันที่ค้นข้อมูล 5 สิงหาคม 2557, เข้าถึงได้จาก http://production.doae.go.th/report/report_main2.php?report_type=1.

กฤติกา เจียรนัย และจุฑาวรรณ์ แก้วสังข์. (2555). *ผลของสภาวะการแปรรูปต่อสารพฤกษเคมีของใบชะพลูผงและการนำไปใช้ในไอศกรีม*. โครงงานวิจัย, สาขาเทคโนโลยีอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

กฤษติยา ทิสมบูรณ์ และนิภา เสือเดช. (2556). *การผลิตสาหร่ายผักกาดทะเลผงและการใช้เป็นส่วนประกอบของไอศกรีมไขมันต่ำ.* โครงงานวิจัย, ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, มหาวิทยาลัยบูรพา.

ก้าวสยามสามแยก. (2556). เบเกอรี่ ธุรกิจหอม หวาน สร้างงาน สร้างเงิน. *ก้าวสยามสามแยก*, 44-48.

จาร์พาเทคเซ็นเตอร์. (2543). *หลักการพื้นฐานของการวิเคราะห์เนื้อสัมผัส.* กรุงเทพฯ: จาร์พาเทคเซ็นเตอร์.

จิตธนา แจ่มเมฆ และอรอนงค์ นัยวิกุล. (2539). *เบเกอรีเทคโนโลยีเบื้องต้น.* กรุงเทพ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จิตธนา แจ่มเมฆ และอรอนงค์ นัยวิกุล (2546). *เบเกอรี่เทคโนโลยีเบื้องต้น.* กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เจนจิรา จิรัมย์ และประสงค์ สีหานาม. (2554). อนุมูลอิสระและสารต้านอนุมูลอิสระและกลไกการเกิดปฏิกิริยา. *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยราชภัฏกาฬสินธุ์, 1*(1).

จักรพงษ์ ไพบูลย์. (2542). *สารต้านอนุมูลอิสระ Antioxidant*. วันที่ค้นข้อมูล 27 ตุลาคม 2556, เข้าถึงได้จาก http://www.thaiclinic.com/antioxidant.html

ชนิษฎา วงศ์บาสก์. (2553). *การพัฒนาอาหารว่างประเภทนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกล้องงอกไส้ถั่วกวนผสมสตรอเบอร์รี่กวน.* ระดับวิทยานิพนธ์, สาขาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ณนนท์ แดงสังวาลย์. (2553). *Muffins* (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพ: แม่บ้าน.

ณรงค์ นิยมวิทย์ และอัญชนีย์ อุทัยพัฒนาชีพ. (2528). *วิทยาศาสตร์การประกอบอาหาร.* กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ดำเกิง ป้องพาล และปรีชา รัตนัง. (2548). *เห็ดเข็มเงินหรือเห็ดเข็มทอง*. สาขาพืชผัก, ภาควิชาพืชสวน, คณะผลิตกรรมการเกษตร, มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

ทิพวรรณ ทองสุข. (2553). *ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัส และเทคนิคการปรับปรุงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ผักผลไม้แปรรูป.* ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร, คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยนเรศวร.

นิธิยา รัตนาปนนท์. (2544). *หลักการแปรรูปอาหารเบื้องต้น*. กรุงเทพฯ: โอ.เอส.พริ้นติ้ง เฮ้าส์.

นิธิยา รัตนาปนนท์. (2548). *วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน*. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.

นิธิยา รัตนาปนนท์. (2553). *เคมีอาหาร.* กรุงเทพฯ: โอ.เอส.พริ้นติ้ง เฮ้าส์.

นิวัฒ เสนาะเมือง. (2553). *เห็ดป่าเมืองไทย : ความหลากหลายและการใช้ประโยชน์.* ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรการเกษตร, คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

นิภาพร อามัสสา. 2548. *ความหลากหลายของเห็ดหิ้งและแนวทางการใช้ประโยชน์.* วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต, สาขาโรคพืชวิทยา, บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

เนตรนภิส ธนนิเวศน์กุล. (2549). *คุณค่าทางโภชนาการและสรรพคุณของเห็ด.* วันที่ค้นข้อมูล 7 กรกฎาคม 2557, เข้าถึงได้จาก http://www.doctor.or.th/.

ประสิทธิ์ โสภา และคณะ. (2553). *การศึกษาการถ่ายเทความร้อนภายในห้องอบแห้งสภาวะสูญญากาศด้วยวิธีไฟไนท์เอลิเมนต์.* ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปานมนัส ศิริสมบูรณ์. (2554). *เทคโนโลยีเนื้อสัมผัสของผลผลิตเกษตรและอาหาร* (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: มีน เซอร์วิส ซัพพลาย.

พรทิพย์ วิรัชวงศ์. (2546). *อนุมูลอิสระและสารต้านอนุมูลอิสระ.* วันที่สืบค้น 22 สิงหาคม 2557, เข้าถึงได้จาก http://202.129.59.198/rdi/html.antioxidats.html.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนปนนท์. (2552). *เห็ดเข็มทอง*. วันที่ค้นข้อมูล 14 กันยายน 2556, เข้าถึงได้จาก http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/เห็ดเข็มทอง

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนปนนท์. (ม.ป.ป). *ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์.* วันที่ค้นข้อมูล 19 พฤศจิกายน 2556, เข้าถึงได้จาก http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/679/enzymatic-browning-reaction-ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนปนนท์. (ม.ป.ป). แอคติวิตีของน้ำ. วันที่ค้นข้อมูล 16 พฤศจิกายน 2556, เข้าถึงได้จาก http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/ 0551/water-activity-แอคติวิตีของน้ำ

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนปนนท์. (ม.ป.ป). อัตราการทำแห้ง. เข้าถึงได้จาก http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0663/drying-rate-อัตราการทำแห้ง

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนปนนท์. (ม.ป.ป). *Pretzel*. วันที่ค้นข้อมูล 14 พฤศจิกายน 2556, เข้าถึงได้จาก http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/2591/pretzels

มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช. (2549). *การถนอมและการแปรรูปอาหาร* (พิมพ์ครั้งที่ 5). นนทบุรี.

มูลนิธิสวิตา ศูนย์ความหลากหลายทางชีวภาพ และสมาคมนักวิจัยและเพาะเห็ดแห่งประเทศไทย. (2546). *นานาสาระเห็ด* (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: พี.เอ ลีฟวิ่ง จำกัด.

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2540) มายองเนสและสลัดครีม. เข้าถึงได้จาก www2.rid.go.th/research/vijais/.../TIS1402-2540.pdf

ยุวศรี ต่ายคำ. (2555). *เกร็ดความรู้เรื่องเห็ด*. วันที่ค้นข้อมูล 21 สิงหาคม 2556, เข้าถึงได้จาก http://biology.ipst.ac.th

รุ่งนภา วิสิฐอุดรการ. (2540). *สัดส่วนของน้ำที่แข็งตัวและค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ของระบบน้ำ-มาโครโมเลกุล.* กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

รัชนี ตัณฑะพานิชกุล. (2535). *เคมีอาหาร* (พิมพ์ครั้งที่ 4). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

รัตนา อัตตปัญโญ และอัจฉรา เทียมภักดี. (2542). *วิธีการยืดอายุการเก็บรักษาลำไยสดเพื่อการแปรรูปเป็นเนื้อลำไยอบแห้งในเชิงพาณิชย์*. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์เสนอต่อสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.

ฤทธิไกร งามชุ่ม. (2547). *การอบแห้งกล้วยหอมหั่นบางด้วยเครื่องอบแห้งสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล*. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, คณะพลังงานและวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

วรินธร ยิ้มย่อง และสุนัน ปานสาคร. (2552). *ศึกษาผลของอุณหภูมิในการลดความชื้นที่มีต่อปริมาณกรดแกมมาแอมิโนบิวทิริกในผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกเพื่อการเพิ่มมูลค่าผลิตผลทางการเกษตร.* คณะเทคโนโลยีการเกษตร, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

วิชมณี ยืนยงพุทธกาล, อุมาพร ทาไธสง และพิชญอร ไหมสุทธิกุล. (2555). *การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารจากผลหนามแดงเพื่อส่งเสริมการผลิตอาหารสุขภาพ.* โครงงานวิจัยมหาวิทยาลัยบูรพา, สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

วิไล รังสาดทอง. (2546). *เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

วิไล รังสาดทอง. (2552). *เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร* กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล. (2522). *อุปกรณ์อบแห้งอุตสาหกรรม*. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี สืบค้นวันที่ 10 กุมภาพันธ์ 2556 เข้าถึงได้จาก : http://www.thailandindustry.com/guru/view.php?id=13986&section=9

วัฒนา ปิ่นเสม. (ม.ป.ป.). *การอบแห้ง.* เอกสารประกอบการสอนสาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

วันดี หวังคะพัน. (2554). *ความหลากหลายเชิงชนิดและปริมาณสารแอล-เออโกไธโอนิอินในเห็ดขอน (Lentinus Fr.)*. วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์), จุลชีววิทยาทางการเกษตร, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ศิริลักษณ์ สินธวาลัย. (2525). *ทฤษฎีอาหาร* (พิมพ์ครั้งที่ 4). กรุงเทพฯ: บี เอฟ ไอ.

เศรษฐการ นุชนิยม (2554). การผลิตน้ำตำลึงผงโดยการทำแห้งแบบเยือกแข็ง. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 19*(2), เม.ย.-มิ.ย. 54.

ศูนย์วิจัยข้าวอุบลราชธานี. (ม.ป.ป.). *Gamma – aminobutyric acid*. วันที่ค้นข้อมูล 21 สิงหาคม 2556, เข้าถึงได้จาก http://www.foodnetworksolution.com /wiki/word/1269/gamma-aminobutyric-acid-gaba

ศูนย์วิจัยกสิกรไทย. (2558). *อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม.* วันที่สืบค้นข้อมูล30 กันยายน 2558, เข้าถึงได้จาก http://www.kasikornbank.com/SME/Documents/KSMEAnalysis/IndustrySolution_FoodsAndBeverages_2015.pdf

โศรดา วัลภา, กุลรภัส วชิรศิริ, ดารงชัย สิทธิสาอางค์, และ ฐิติชญา สุวรรณทัพ. (2553). ผลของการเสริมใยอาหารจากเปลือกทุเรียนต่อคุณภาพของขนมปังขาว. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 40*(3/1) (พิเศษ), 205-208.

สาธิต ไทยทัตกุล. (2546). *บทความเห็ดสมุนไพร เห็ดไทย.* สมาคมนักวิจัยเห็ดแห่งประเทศไทย.

สุนันท์ ศรัณยนิตย์. (2545). *การถ่ายเทความร้อน* (พิมพ์ครั้งที่ 1). สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

สุนันท์ พงษ์สามารถ, สุรางค์ อัศวมั่นคง, ปิยวรรณ์ สุรินทร์รัฐ, ลำดวน เศวตมาลย์, ธิติรัตน์ ปานม่วง, จงดี ว่องพินัยรัตน์, นรามินทร์ มารคแมน, พันธุ์ทวี ภักดีดินแดน และประเสริฐ วุฒิคัมภีร์ (2528). *การสำรวจคุณค่าอาหารของเห็ด.* รายงานการวิจัย, คณะเภสัชศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สมชาย แสงทอง. (ม.ป.ป.). ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเห็ด. เข้าถึงได้จาก http://www.simuang.ac.th/vichakhan/somchai/content_2.html

สมบัติ ขอทวีวัฒนา (2529). *กรรมวิธีการอบแห้ง.* ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์, คณะอุตสาหกรรมการเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สิชญา สิทธิพจน์, สุภนิช อิศรานุภรณ์ และวรรณี จิรภาคย์กุล. (2552). *ผลิตภัณฑ์อัดเม็ดจากกากลูกหม่อน*. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สยามเห็ดฟาร์ม. (2556). *เห็ดนางฟ้า.* วันที่ค้นข้อมูล 14 กันยายน 2557, เข้าถึงได้จาก http://siammushroom.com

สหฟาร์มเห็ด. (ม.ป.ป.) เห็ดเข็มทอง. เข้าถึงได้จาก http://www.unitedmushroom.com/?file=product

สุภาวิณี แสนทวีสุข และมาลีน่า สันเต๊ะ. (2557). *ผลของการใช้กากถั่วเหลืองทดแทนแป้งสาลีต่อคุณภาพของบัตเตอร์เค้ก*. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2540). มอก.1402-2540 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมมายองเนสและสลัดครีม. กระทรวงอุตสาหกรรม.

สำนักโภชนาการกรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. (2554). *ปริมาณโซเดียมคลอไรด์ในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีเกลือเป็นองค์ประกอบ*. วันที่สืบค้น 10 กรกฎาคม 2557 เข้าถึงได้จาก www.google.co.th/url? Fnutrition.anamai.moph.go.ths. mushroom&catid=46:mushroom&ltemid=198.

อดุลย์ รัตนมั่นเกษม. (2543). *การเพาะเห็ดขาย* (พิมพ์ครั้งที่ 4). กรุงเทพมหานคร: นานมีบุ๊คส์.

อุทัยวรรณ ทองทั้งวงศ์ และสุนทรี สุวรรณสิชณน์. (2556). *ผลของการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวสีนิลต่อคุณภาพของบัตเตอร์เค้ก*. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต.

เอสแอนด์พี ซินดิเคท จำกัด (มหาชน). (2555). ธุรกิจร้านอาหารและเบเกอรี่ภายในประเทศ. *รายงานประจำปี*, 2555.

โอภา วัชระคุปต์. (2550). *สารต้านอนุมูลอิสระ (RADICAL SCAVENGING AGENTS).* กรุงเทพฯ: พี. เอส.พริ้นท์.

อมราภรณ์ วงษ์ฟัก. (2547). *สารพันสลัด.* กรุงเทพฯ: นาคา อินเตอร์มีเดีย.

AOAC. (2000). *Official Method of Analysis of A.O.A.C. (17th ed)*. Gaithersburg: The Association of official Analysis Chemists.

Barros, L., Cruz, T., Baptista, P., Estevinho, L. M., & Ferreira, I., C. F. R. (2008). Wild and commercial mushrooms as source of nutrients and nutraceuticals. *Food and Chemical Toxicology, 46*, 2742-2747.

Carneiro, A. A. J., Ferreira, I. C. F. R., Duenas, M., Barros, L., Silva, R. D., Gomes, E. & Santos-Buelga, C. (2013). Chemical composition and antioxidant activity of dried powder formulations of *Agaricus blazei* and *Lentinus edodes. Food Chemistry, 138*, 2168-2173.

Carvajal, A. E. S. S., Koehnlein, E. A., Soares, A. A., Eler, G. J., Nakashima, A. T. A., Bracht, A., & Peralta, R. M. (2012). Bioactives of fruiting bodies and

submerged culture mycelia of *Agaricus brasiliensis* (*A. blazei*) and their antioxidant properties. *LWT - Food Science and Technology. 46*(2), 493–499.

Cervera, S. M., Salvador, A., Muguerza, B., Moulay, L., & Fiszman, S. M. (2011). Cocoa fibre and its application as a fat replacer in chocolate muffins. *Food Science and Technology, 44*, 729-736.

Chang, J. L., Marchall, R. T., & Heymann, H. (1995). Casein micelles partially hydrolyzed By chymosin to modified the texture of low fat ice cream. *Journal of Dairy Science, 78*(4), 2617-2623.

Chatsisvili, N. T., Amvrosiadis, I., & Kiosseoglou, V. (2012). Physicochemical properties of a dressing-type o/w emulsion as influenced by orange pulp fiber incorporation. *LWT – Food Science and Technology, 46*(1), 335–340.

Chen, S. Y., Ho, K. J., Hsieh, Y. J., Wang, L. T., & Mau, J. L. (2012). Contents of lovastatin, Gamma-aminobutyric acid and ergothioneine in mushroom fruiting bodies and mycelia. *Food Science and Technology, 47*, 274-278.

Cheung, P. C. K. (1996). Dietary Fiber Content and Composition of Some Cultivated Edible Mushroom Fruiting Bodies and Mycelia. *Journal of Agricultural and Food Chemistry. 44*, 468-471.

Cotelle, J. A., Bernier, J. L., Catteau, J. B., Pommery, J., Wallet, J. C., & Gaydou, E. M. (1996). Free Radical. *BiolMed*. *20*, 35.

Davoodia, M. G., Vijayanandb, P., Kulkarnib, S. G., & Ramana, K. V. R. (2007) Effect of different pre-treatments and dehydration methods on quality characteristics and storage stability of tomato powder. *Food Science and Technology, 40*, 1832-1840.

Dewanto, V., Wu, X., Adom, K. K., & Liu, R. H. (2002). Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity. *Agricultural and Food Chemistry*, *50*, 3010-3014.

Feili ,R., Zzaman, W., Abdullah, W. N. W., & Yang, T. A. (2013). Physical and Sensory Analysis of High Fiber Bread Incorporated with Jackfruit Rind Flour. *Food Science and Technology*, *1*(2), 30-36.

Fellows, P. J. (2000). Food processing technology: Principles and practice. *Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC.*

Fenglin, H., Ruili, L., Bao, H., & Liang, M. (2004). Free radical scavenging activity of extracts prepared from fresh leaves of selected Chinese medicinal plants. *Fitoterapia*. *75*, 14-23.

Ford, D. L., Borwankar, R., Martin, R. W. J., & Holcomb, D. N. (1997). *Dressing and sauces*. In Friberg, S. E., & Larsson, K. (eds.). Food emulsion. 3nd ed., New York. Marcel Dekker. pp 361–412.

Fvasconcellos. (2010). *Lovastatin.* วันที่ค้นข้อมูล 14 กันยายน 2557, เข้าถึงได้จาก http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lovastatin.svg.

Galvez, A. V., Scala, K. D., Rodriguez, K., Mondaca, R. L., Miranda, M., Lopez, J., & Won, M.P. (2009). Effect of air-drying temperature on physic-chemical properties, antioxidant capacity, colour and total phenolic content of red pepper. (*Capsicum annuum*, L. var. Hungarian). *Food Chemisty*, *117*, 647-653.

Girgin, N. & El, S. N. (2015). Effects of cooking on in vitro sinigrin bioaccessibility, total phenols, antioxidant and antimutagenic activity of cauliflower (*Brassica oleraceae L.* var. *Botrytis*). *Journal of Food Composition and Analysis, 37*, 119-127.

Gomez, M., Ronda, F., Blanco, C. A., Caballero, P. A., & Apestegula, A. (2003). Effect of dietary fibre on dough rheology and bread quality. *European Food Research and Technology*, *216*, 51-56.

Guihua, X., Xingquian, Y., Jiachu, C., & Donghong, L. (2007). Effect of heat treatment on the phenolic compounds and antioxidant capacity of citrus peel extract. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. *55*, 330–335.

Gupta, A., Sharma, S., Saha, S., & Walia, S. (2013). Yield and nutritional content of Pleurotus sajor caju on wheat straw supplemented with raw and detoxified mahua cake. *Food Chemistry, 141*, 4231–4239.

Hu, Y. (1999). Study on rough rice fissuring during intermittent drying. *Drying Technology An International Journal*, *17*, 1779-1793.

Hui, Y. H., Corke, H., De Leyn, I., Nip, W. K., & Cross, N. (2006). *Bakery Products Science and Technology.* USA: Blackwell Publishing.

Hun, C. L., Chen, W., Weng, Y. M., & Tseng, C. Y. (2003). Chemical composition, physical properties, and antioxidant activities of yam flours as affected by different drying methods. *Food chemistry*, *83*, 85-92.

Jaworska, G., Pogori, K., Bernas, E., Skrzypczak, A., & Kapusta, I. (2014). Vitamins, phenolics and antioxidant activity of culinary prepared Suillus luteus (L.) Roussel mushroom. *Food Science and Technology, 59*, 701-706.

Jha, S. N., & Prasad, S. (1996). Determination of processing conditions of gorgon nut (Euryale ferox). *Journal of Agricultural Engineering Research*, *63*, 103-112.

Julian, J. F. (2004). *Linear Model with R*. London: Chapman and Haill.

Karagozler, A. A., Erdag, B., Emek, Y. C. & Uygun, D. A. (2008). Antioxidant activity and proline content of leaf extracts from *Dorystoechas hastate*. *Food Chemistry, 111* (2), 400-407.

Katsube, T., Tsurunaga , Y., Sugiyama, M., Furuno, T., & Yamasaki, Y. (2009). Effect of air-drying temperature on antioxidant capacity and stability of polyphenolic compounds in mulberry (*Morus alba* L.) leaves. *Food Chemistry*, *113*, 964–969.

Kim, J. S., Kang, O. J., & Gweon, O. C. (2013). Comparison of phenolic acids and flavonoids in black garlic at different thermal processing steps. *Journal of Functional Foods. 5* (1), 80–86.

Kim, M. Y., Seguin, P., Ahn, J. K., Kim, J. J., Chun, S. C., Kim, E. H., Seo, S. H., Kang, E. Y., Kim, S. L., Park, Y. J., Ro, H. M., & Chung, I. M. (2008). Phenolic Compound Concentration and Antioxidant Activities of Edible and Medicinal Mushrooms from Korea. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*., *56*(16), 7265–7270.

Kong, K. W., Ismail, A., Tan, C. P., & Rajab, N. F. (2010). Optimization of oven drying conditions for lycopene content and lipophilic antioxidant capacity in a by-product of the pink guava puree industry using response surface methodology. *LWT- Food Science and Technology, 43,* 729-735.

Li, W., Gu Z., Yang, Y., Zhou, S., Liu, Y., & Zhang, J. (2014). Non-volatile taste components of several cultivated mushrooms. *Food Chemistry, 143*, 427-431.

Lu, T. M., Lee, C. C., Maud, J. L., & Lin, S. D. (2010) Quality and antioxidant property of green tea sponge cake. *Food Chemistry, 119*, 1090–1095.

Manzi, P. & Pizzoferrato, L. (2000). Beta-glucans in edible mushrooms. *Food Chemistry, 68,* 315-318.

Martins, S. I. F. S., Jongen, W. M. F., & Boekel, M. A. J. S. van. (2001). *A review of* Maillard reaction in food and implications to kinetic modeling. *Trends in Food Science & Technology. 11*, 364–373.

McClements, D. .J. (1999). *Food Emulsions: Principles, Practice and Techniques*. CRC Press. Boca Raton, Florida, 378 pages.

Mostos, M. E., & Rosell, C. M. (2012). Relationship between instrumental parameters and sensory characteristics in gluten-free breads. *European Food Research and Technology, 235*, 107–117.

Nazghelichi, T., Kianmehr, M. H., & Aghbashlo, M. (2010). Thermodynamic analysis of

fluidized bed drying of carrot cubes. *Energy, 35*, 4679-4684.

Oei, P. (1991). Manual On Mushroom Cultivation. *Techniques and opportunity for commercial applications in developing countries*. CTA. 21-26.

Ohtsubo, K., Suzuki, K., Yasui, Y., & Kasumi, T. (2005). Bio-Functional components in the process pre-germinated brown by a twin-screw extruder. *Journal of Composition and Analysis*, *18*, 303-316.

Palacios, I., Lozano, M., Moro, C., D'Arrigo, M., Rostagno, M.A., Martinez, J.A., Garcia-Lafuente, A., Guillamon, E., & Villares, A. (2011). Antioxidant properties of phenolic compounds occurring in edible mushrooms. *Food Chemistry, 128*, 674-678.

Pereira, E., Barros, L., Martins, A., & Ferreira, I. C. F. R. (2012). Towards chemical and nutritional inventory of Portuguese wild edible mushrooms in different habitats. *Food Chemistry*, *130*, 304-403.

Pizarro, P. L., Almeida, E. L., Sammána, N. C., & Chang, Y. K. (2013). Evaluation of whole chia (*Salvia hispanica* L.) flour and hydrogenated vegetable fat in pound cake. *LWT - Food Science and Technology, 54*, 73-79.

Rahman., M. S., & Perera, C. O. (1999). Drying and Food Preservation. *In Hand book of Food Preservation*, Rahman., M. S. (Ed), Marcel Dekker, New York, 173-216.

Reis, F. S., Martins, A., Barros, L. & Ferreira, I. (2012). Antioxidant properties and phenolic profile of the most widely appreciated cultivated mushrooms: A comparative study between in vivo and in vitro samples. *Food and Chemical Toxicology, 50*, 1201-1207.

Rico, D., Mart´ın-Diana, A. B., Barry-Ryan, C., Fr´ıas, J. M., Gary T. M., Henehan, G.T.M., & Jose M. Barat, J. M. (2008). Optimisation of steamer jet-injection to extend the shelflife of fresh-cut lettuce. *Postharvest Biology and Technology*, *48*, 431–442.

Robards, K., Prenzler, P. D., Tucker, G., Swatsitang, P., & Glover, W. (1999). Phenolic compounds and their role in oxidant processes in fruits. *Food Chemistry*, *66,* 41–436.

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.

Sheikh, M. A. M., Kumar, A., Islam, M. M., & Mahomud, M. S. (2010). The effects of mushroom powder on the quality of cake. *Progressive Agriculture*. *21*(1 & 2), 205–214.

Singkhornart, S., Edou-ondo, S., Ryu, G.H., (2014). Influence of germination and extrusion with CO2 injection on physicochemical properties of wheat extrudates. *Food Chemistry, 143*, 122–131.

Sogi, D. S., Siddiq, M., Greiby, I., & Dolan, K. D. (2013). Total phenolics, antioxidant activity, and fuctional properties of 'Tommy Atkins' mango peel and kernel as affected by drying methods. *Food Chemistry*, *141*, 2649-2655.

Szczesniak, A. S. (1987). Texture is a sensory property. *Food Quality and Preference, 13*(4), 215–225.

Torringa, E., Esveld, E., Scheeve, E., Berg, R., V., D., & Bartels, P. (2001). Osmotic dehydration as a pre-treatment before combine microwave-hot-air drying in mushroom. *journal of food engineering, 49*, 185-191.

Tsai, S. Y., Huang, S. J., & Mau, J. L. (2006). Antioxidant properties of hot water extracts from *Agrocybe cylindracea*. *Food Chemistry. 98*(4), 670–677.

Tseng, Y. H., Yang, J. H., & Mau, J. L. (2008). Antioxidant properties of polysaccharides from *Ganoderma tsugae. Food Chemistry, 107*, 732-738.

Tseng, A., & Zhao, Y. (2013). Wine grape pomace as antioxidant dietary fibre for enhancing nutritional value and improving storability of yogurt and salad dressing. *Food chemistry, 138*(1), 356-65.

Tudorica, C. M., Kuri, V., & Brennan, C. S. (2002). Nutritional and Physicochemical Characteristics of Dietary Fiber Enriched Pasta. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. *50*, 347-356.

Unekwu, H., R., Audu, J., A, Makun, M., H., & Chidi, E., E. (2014). Phytochemical screening and antioxidant activity of methanolic extract of selected wild edible Nigerian mushrooms. *Asian Pacific Journal of Tropical Disease, 4*, 153-157.

Ulziijargal, E., Yang, J. H., Lin, L. Y., Chen, C. P., & Mau, J. L. (2013). Quality of bread supplemented with mushroom mycelia. *Food Chemistry*, *138*, 70-76.

Uyttendaele, M., Neyts, K., Vanderswalmen, H., Notebaert, E., & Debevere, S. (2004). Control of Aeromonas on minimally processed vegetables by decontamination with lactic acid, chlorinated water or thyme essential oil. *International Journal of Food Microbiology, 90*, 263–271.

Vangkapun, W., Lomthaisong, K., & Sanoamuang, N. (2011). Enhancement of L-Ergothioneine in Khon (*Lentinus* spp.) and Inkcap (*Coprinus comatus*)

Mushrooms by fortifying substrate with L-histidine. *Khon Kaen Agriculture*, *39*, 221-230.

Vaz, J. A., Barros, L., Martins, A., Morais, J., S., Vasconcelos, M. H., & Ferreira, I. C. F. R. (2011). Phenolic profile of seventeen Portuguese wild mushrooms. *LWT - Food Science and Technology*, *44*, 343-346.

Vermerris, W., & Nicholson, R. L. (2007). *Phenolic Compound Biochemistry*. Springer Science + Business Media B. V.

Vickers. (2009). *Ergothionine*. วันที่ค้นข้อมูล 14 กันยายน 2557, เข้าถึงได้จาก http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ergothioneine.png.

Walde, S. G., Velu, V., Jyothirmayi, T., & Math, R. G. (2006). Effect of pretreatments and drying methods on dehydration of mushroom. *Journal of Food Engineering, 74*, 108-115.

Wang, J., Rosella, M. C., & Barber, C. B. (2002). Effect of the addition of different fibres on wheat dough performance and bread quality. *Food Chemistry, 79*, 221–226.

Wasser, S. P., & Wesis, A. L. (1999). Medicinal properties of substances occurring in higher Basidiomycetes mushroom: Current perpective (review). *International Journal of Medicinal Mushroom*, *1*, 31-62.

Watchararparpaiboon, W., Laohakunjit, N., & Kerdchochuen, O. (2010). An improved process for high quality and nutrition of brown rice production. *Food Science and Technology International, 16*(2), 147-158.

Weiss, T. (1970). *Mayonnaise and salad dressings*. In Food Oils and Their Uses. AVI Publishing Company, Inc. Westport, Conn.

Yu, L., Nanguet, A. L., & Beta, T. (2013). Comparison of Antioxidant Properties of Refined and Whole Wheat Flour and Bread. *Antioxidants, 2*, 370-383.

Zhang, Z., Song, H., Peng Z., Luo Q., Ming J., & Zhao G. (2012). Characterization of stipe and cap powders of mushroom (Lentinus edodes) prepared by different grinding methods. *Journal of Food Engineering, 109*, 406-413.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

ก-1 ปริมาณโปรตีน (AOAC, 2000)

อุปกรณ์

1) อุปกรณ์การย่อยโปรตีน ประกอบด้วยเตาเผาและเครื่องดักจับไอกรด
2) อุปกรณ์กลั่นโปรตีน
3) ขวดรูปชมพู่ ขนาด 125 และ 250 มิลลิลิตร
4) ขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร
5) ปิเปต ขนาด 5 และ 10 มิลลิลิตร
6) บิวเรตขนาด 25 มิลลิลิตร
7) เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง

สารเคมี

1) สารผสมระหว่างคอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4.H_2O$) และโพแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) อัตราส่วน1:10
2) กรดซัลฟิวริกเข้มข้น
3) โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 40
4) กรดบอริกเข้มข้นร้อยละ 4
5) กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 N
6) อินดิเคเตอร์เป็นสารผสมระหว่างเมทิลเรต เมธีลีนบลู และโบรโมครีซอลกรีน

การวิเคราะห์

ขั้นตอนการย่อย

1) การชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักแน่นอน 1-3 กรัมใส่ลงในหลอดย่อยโปรตีน
2) ใส่สารผสมระหว่างคอปเปอร์ซัลเฟตและโพแทสเซียมซัลเฟต ปริมาณ 10 กรัม
3) เติมกรดซัลฟูริกปริมาณ 20 มิลลิลิตร
4) วางหลอดย่อยในตัวอย่างย่อยแล้วประกอบสายยางระหว่างฝาครอบ ขวดใส่ด่างและเครื่องดักจับไอกรดให้เรียบร้อย
5) เปิดสวิทช์เครื่องดักจับไอกรดและเตาย่อยแล้วตั้งอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที จากนั้นปรับเพิ่มอุณหภูมิเป็น 400 องศาเซลเซียส ย่อยต่ออีก 60 นาที จนได้สารละลายใส
6) ปล่อยทิ้งไว้ให้เย็น

ขั้นตอนการกลั่นและไตเตรท

1) จัดอุปกรณ์กลั่น แล้วเปิดสวิทช์ให้ความร้อน และเปิดน้ำหล่อเย็นเครื่องควบแน่น
2) นำขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร ซึ่งบรรจุกรดบอริก (เข้มข้นร้อยละ 4) ปริมาตร 25 มิลลิลิตร เติมอินดิเคเตอร์แล้วไปรองรับของเหลวที่กลั่นได้ โดยให้ส่วนปลายของอุปกรณ์ควบแน่นจุ่มลงในสารละลายกรด

3) เติมน้ำกลั่นลงในหลอดย่อย 20 มิลลิลิตร จากนั้นเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้ทำปฏิกิริยาเกินพอสังเกตให้สารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลขุ่น

4) กลั่นให้ได้ของเหลวอยู่ในระดับ 125 มิลลิลิตร

5) ไตเตรทสารละลายที่กลั่นได้ด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.1 N จนสารละลายเปลี่ยนเป็นใสไม่มีสี

6) คำนวณหาปริมาณโปรตีนจากสูตร

$$\text{ปริมาณโปรตีน (เปอร์เซ็นต์) (ฐานเปียก)} = \frac{[(A - B) \times N \times 1.4007 \times F]}{W_1}$$

$$\text{ปริมาณโปรตีน (เปอร์เซ็นต์) (ฐานแห้ง)} = \frac{[(A - B) \times N \times 1.4007 \times F]}{W_2}$$

เมื่อ A คือ ปริมาณกรดที่ใช้ไตเตรทกับตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

B คือ ปริมาณกรดที่ใช้ไตเตรทกับแบลงค์ (มิลลิลิตร)

N คือ ความเข้มข้นของกรด (N)

F คือ แฟคเตอร์ (6.25)

W_1 คือ น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)

W_2 คือ น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น – น้ำหนักน้ำในตัวอย่าง (กรัม)

ก-2 ปริมาณกาบา (Watchararparpaiboon et al., 2010)

อุปกรณ์

1) หลอดฝาเกลียว
2) เครื่องปั่นเหวี่ยง
3) หลอดทดลอง
4) อ่างน้ำเดือด
5) เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (SPECTRONIC GENESYSTH5, USA)

สารเคมี

1) เอทานอล 70% (v/v)
2) borate buffer (0.2M boric acid และ 0.2M sodium tetraborate, pH 9)
3) phenol reagent 6%
4) sodium hypochlorite reagent 7.5%
5) GABA, Sigma, St. Louis, USA

การเตรียมสาร

1) เตรียมสารละลายเอทานอล 70 % โดยตวงเอทานอล 95 % ปริมาตร 736.8 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้ได้ 1000 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น

2) เตรียมสารละลาย 0.2M boric acid โดยชั่ง boric acid 3.092 กรัม (มวลโมเลกุลเท่ากับ 61.84 g/mol) ละลายในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 250 มิลลิลิตร เตรียมสารละลาย 0.2M sodium tetraborate โดยชั่ง sodium tetraborate 19.07 กรัม (มวลโมเลกุล 381.43

g/mol) ละลายในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 250 มิลลิลิตร จากนั้นค่อยๆหยดสารละลาย 0.2M sodium tetraborate จนกระทั่ง pH เท่ากับ 9

3) เตรียมสารละลาย phenol reagent 6% โดยชั่ง phenol 6 กรัม ละลายในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร

การสกัดตัวอย่าง

นำตัวอย่าง 3 กรัม ผสมกับเอทานอล 70% (v/v) 30 มิลลิลิตร ในหลอดฝาเกลียว ผสมให้เข้ากันเป็นเวลา 1 นาที ที่อุณหภูมิห้อง และนำไปปั่นเหวี่ยงที่ 8000g เป็นเวลา 5 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สกัดซ้ำอีก 1 ครั้งเหมือนสภาวะข้างต้น เก็บส่วนสารละลายใสด้านบนมาระเหยแห้งภายใต้สภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จะได้สารสกัดตัวอย่างปริมาณ 3 มิลลิลิตร แบ่งมา 0.1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง เติม borate buffer 0.2 มิลลิลิตร (0.2M boric acid และ 0.2M sodium borate, pH 9) และ 6% phenol reagent 1 มิลลิลิตร หลังจากผสมเข้ากันแล้วนำไปทำให้เย็นในน้ำเย็น และเติม 7.5% sodium hypochlorite reagent 0.4 มิลลิลิตร และนำไปเขย่าอย่างแรงในน้ำเย็น หลังจากนั้นนำไปวางในอ่างน้ำเดือด 10 นาที นำไปทำให้เย็นในน้ำเย็นทันทีเป็นเวลา 5 นาที

การวิเคราะห์ตัวอย่าง

นำสารสกัดที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 630 นาโนเมตร โดย Blank คือสารละลายแบบเดียวกับที่ใช้ในการเตรียมสารละลายตัวอย่าง

การสร้างกราฟมาตรฐาน

สารละลายมาตรฐานเตรียมจาก Stock solution ของ γ-Aminobutyric acid (GABA, Sigma, St. Louis, USA) 500 µg/ml ด้วยน้ำกลั่น ปรับความเข้มข้นของสารมาตรฐานให้เป็น 125, 250, 375 และ 500 µg/ml GABA โดยเตรียมจาก stock solution และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

1) ปิเปตสารละลายมาตรฐาน GABA แต่ละความเข้มข้นมา 0.1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง

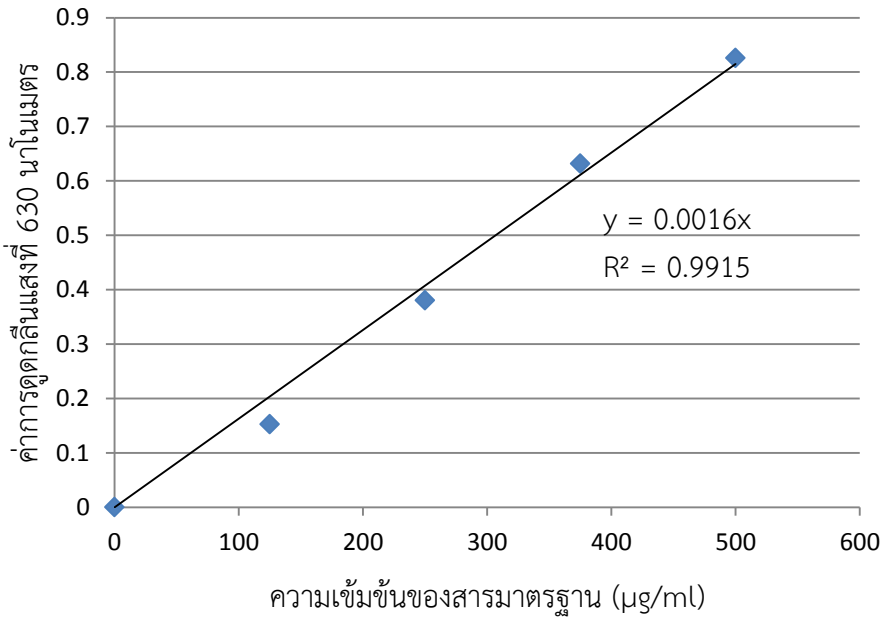
2) เติม borate buffer 0.2 มิลลิลิตร และ 6% phenol reagent 1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วนำไปทำให้เย็นในน้ำเย็น

3) เติม 7.5% sodium hypochlorite reagent 0.4 มิลลิลิตร และนำไปเขย่าอย่างแรงในน้ำเย็น

4) หลังจากนั้นนำไปวางในอ่างน้ำเดือด 10 นาที แล้วนำไปทำให้เย็นในน้ำเย็นทันที เป็นเวลา 5 นาที

5) นำสารละลายมาตรฐานและ blank ที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 630 นาโนเมตร

6) พลอตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารมาตรฐาน (แกน X) และค่าการดูดกลืนแสง (แกน Y)



ภาพภาคผนวก ก-2 กราฟมาตรฐานของกาบา

ก-3 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (Dewanto et al., 2002; Hun et al., 2003)

อุปกรณ์

- เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (SPECTRONIC GENESYSTH5, USA)
- เครื่องผสมสาร (Vortex mixer) (Heidolph, REAX 2000, Germany)
- ปิเปต ชนิด Measuring ขนาด 5 มิลลิลิตร
- ขวดปรับปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร
- หลอดทดลอง

สารเคมี

- ฟอลิน ซิโอแคลทู รีเอเจนต์ (Folin-Ciocalteu reagent) (Garlo ERBA) (Sigma; USA)
- กรดแกลลิก (Gallic acid: $C_7H_6O_5$) 98% (Fluka, Switzerland)
- เอทานอล (Ethanol: CH_3CH_2OH) บริษัท Labscan ประเทศไทย
- โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate anhydrous: Na_2CO_3) (Ajax Finechem, Australia)

การเตรียมสารสกัดตัวอย่าง (ดัดแปลงจาก Fan, Zhang, Yu & Ma, 2006)

นำตัวอย่างไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ (3 ชั่วโมง) ชั่งตัวอย่าง 20 กรัม ทำการสกัดด้วยเอทานอล 95% ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้แท่งแก้วคนเป็นเวลา 3 นาที และตั้งทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 4 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้องจากนั้นนำสารสกัดมากรองผ่านกระดาษกรอง Whatman No.1 และล้างสารสกัดผ่านกระดาษกรองด้วยเอทานอล 10 มิลลิลิตร จากนั้นนำสารสกัดที่ได้มาระเหยตัวละลายออกโดยใช้ water bath ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งได้สารสกัดที่เป็นของแข็ง และเก็บสารสกัดที่ได้ในขวด

แก้วสีชา และเก็บที่สภาวะแช่แข็ง (อุณหภูมิประมาณ -20 องศาเซลเซียส) จนกว่าจะนำมาวิเคราะห์สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

การเตรียมสารเคมี

1) เตรียมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 7 % โดยชั่งโซเดียมคาร์บอเนต 7 กรัม ละลายในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น

2) เตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก ชั่งกรดแกลลิก 0.01 กรัม นำมาละลายด้วยเอทานอลเล็กน้อย และปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น

การทำกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก

เตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก โดยผสมกรดแกลลิกและน้ำกลั่นให้มีความเข้มข้นแตกต่างกัน 5 ระดับ คือ 2, 4, 6, 8 และ 10 µg/ml ดังนี้

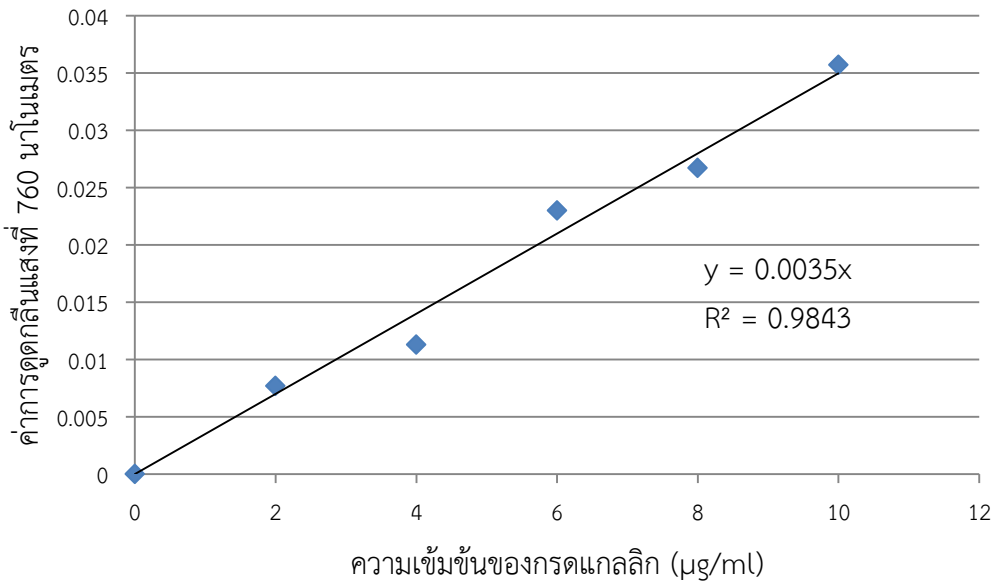
1) ปิเปตสารละลายกรดแกลลิกแต่ละความเข้มข้นมา 0.125 มิลลิลิตร

2) เติมสารละลายโฟลิน ซิโอแคลทู หลอดละ 1.25 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วย Vortex เป็นเวลา 3 วินาที และตั้งทิ้งไว้ 6 นาที

3) เติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 7 % 1.25 มิลลิลิตร โดยสารละลายจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำเงิน และเติมน้ำกลั่น 1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ 90 นาที

4) วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

5) พลอตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของกรดแกลลิก (แกน X) และค่าการดูดกลืนแสง (แกน Y)



ภาพภาคผนวกที่ ก-3 กราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก

การวิเคราะห์

1) ใช้สารสกัดตัวอย่างที่ได้จากการเตรียมข้างต้น โดยชั่งสารมาสกัดมา 0.1 กรัม จากนั้นนำมาละลายเอทานอล 95% แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร ด้วยเอทานอล

2) ปิเปตสารละลายตัวอย่างมา 0.125 มิลลิลิตร

3) เติมสารละลายโฟลิน ซิโอแคลทู หลอดละ 1.00 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วย Vortex เป็นเวลา 3 วินาที และตั้งทิ้งไว้ 6 นาที

4) เติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 7 % 1.25 มิลลิลิตร และเติมน้ำกลั่น 1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ 90 นาที

5) วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

6) คำนวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดได้จากการแทนค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากการวัดจากตัวอย่าง (ค่า Y) ในสมการเส้นตรงที่ได้ จะได้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในรูปกรดแกลลิก (ค่า X) จากนั้นนำมาคำนวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

ก-4 สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (ดัดแปลงจาก Cotelle et al., 1996; Fenglin, 2004 ; Karagozler et al., 2008)

อุปกรณ์

1) ปิเปต ชนิด Measuring ขนาด 1 ml

2) ขวดปรับปริมาตร ขนาด 100 ml

3) หลอดทดลอง

4) เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (SPECTRONIC GENESYSTH 5, USA)

สารเคมี

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

2) เอทานอล (Ethanol: CH_3CH_2OH) บริษัท Labscan ประเทศไทย

การเตรียมสารเคมี

เตรียมสารละลาย DPPH ทันทีก่อนใช้ให้มีความเข้มข้น 0.1 mM ปริมาตร 50 ml โดยชั่ง DPPH 0.004 g ละลายในเอทานอล 95 % แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 100 ml ด้วยเอทานอล เก็บในภาชนะปิดสนิทป้องกันแสงจนกว่าจะนำมาวิเคราะห์

การวิเคราะห์

1) ใช้สารสกัดตัวอย่างที่เตรียมได้เหมือนกับที่วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด โดยนำสารสกัด (สารเหนียว) มา 0.1 g จากนั้นนำมาละลายในเอทานอล 95 % แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 100 ml ด้วยเอทานอล

2) ปิเปตสารละลายตัวอย่าง 3 ml ผสมกับสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมล 1 ml ในหลอดทดลองให้เข้ากันและตั้งทิ้งไว้ในที่มืดประมาณ 30 นาที สำหรับตัวอย่าง blank โดยทำเช่นเดียวกัน แต่ใช้เอทานอล 95 % แทนสารละลายตัวอย่าง

3) นำหลอดทดลองที่เป็นสารละลายตัวอย่างและ blank ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

การคำนวณ

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

กำหนดให้ A_0 คือ ค่าการดูดกลืนแสงของ blank

A_1 คือ ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง

ก-5 ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000)

อุปกรณ์

1) ภาชนะอะลูมิเนียมสำหรับหาความชื้น
2) ตู้อบไฟฟ้า
3) โถดูดความชื้น
4) เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง

การวิเคราะห์

1) อบภาชนะสำหรับหาความชื้นในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 2-3 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบใส่ไว้ในโถดูดความชื้นหลังจากนั้นชั่งน้ำหนัก

2) ทำเช่นเดียวกับข้อ 1 ซ้ำจนได้ผลต่างของน้ำหนักทั้ง 2 ครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม

3) ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนอย่างละเอียดประมาณ 1-2 กรัม ใส่ในภาชนะหาความชื้นที่ทราบน้ำหนักแน่นอนแล้ว

4) นำไปอบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 5-6 ชั่วโมง

5) นำออกจากตู้อบใส่โถดูดความชื้น หลังจากนั้นชั่งหาน้ำหนัก

6) อบซ้ำอีกครั้งประมาณ 30 นาทีและทำเช่นเดิมจนได้ผลต่างของน้ำหนักทั้ง 2 ครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม

7) คำนวณหาปริมาณความชื้นจากสูตร

$$\text{ปริมาณความชื้น (เปอร์เซ็นต์)} = (M_1\text{-}M_2/M_1) \times 100\%$$

เมื่อ M_1 คือน้ำหนักก่อนอบ

M_2 คือน้ำหนักหลังอบ

ภาคผนวก ข
การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

ข-1 ค่า Water activity (a_w)

วิเคราะห์ค่า Water activity (a_w) ด้วยเครื่อง NOVASINA รุ่น AWC water activity center โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ

การวิเคราะห์

เตรียมตัวอย่างโดย บรรจุตัวอย่างประมาณ 2 ใน 3 ในตลับพลาสติก แล้ววัดค่าด้วยเครื่องวัดค่าวอเตอร์แอคทิวิตี ตามขั้นตอนดังนี้

วิธี Set – up Calibration

1) กรณีรู้ค่า a_w ของตัวอย่างที่จะทดสอบโดยประมาณ ให้ Calibrate ด้วยสารละลายความชื้นมาตรฐาน 2 ตัวที่มีค่า a_w มากกว่าและน้อยกว่า a_w โดยประมาณของตัวอย่าง

2) กรณีไม่รู้ค่า a_w ของตัวอย่างที่จะนำมาทดสอบโดยประมาณ ให้ Calibrate ด้วยสารละลายความชื้นมาตรฐานทั้ง 6 ตัว

3) เสียบปลั๊กเครื่อง เปิดสวิตซ์ด้านหลังเครื่อง ปรับสวิตซ์ Temperature preselector เป็นหมายเลข 90

4) เปิด cover และ Measurement head ตามลำดับ นำตลับสารความชื้นมาตรฐานใส่ใน Measurement head ตามลำดับ ตลับสารความชื้นมาตรฐานใส่ใน Measuring bowl ให้เริ่มต้นด้วยสารความชื้นมาตรฐานที่มีค่าสูง ปิด Measurement head และ cover ตามลำดับ

5) หมุนปุ่มสีเหลืองไปยังหมายเลข 2 รอจนอุณหภูมิและค่า a_w ใกล้เคียงกับที่จะ Calibrate

6) กดปุ่มสีฟ้าค้างไว้จจนหน้าจอกระพริบถ้าหน้าจอกระพริบเป็นคำว่า NO CAL รอจนกว่าบนหน้าจอแสดงข้อความที่เป็นตัวเลขของสารความชื้นมาตรฐานที่กำลัง Calibrate พร้อมคำว่า CAL แล้วข้อความกระพริบด้วย

7) ปล่อยมือกดปุ่มสีฟ้าอีกครั้ง จนกระทั้งข้อความบนหน้าจอหยุดกระพริบและแสดงค่าอุณหภูมิ และค่า a_w

8) หลังจากเสร็จสิ้นการ Calibrate แล้ว เครื่องจะคืนสู่สภาพปกติ คือพร้อมที่จะวัดและแสดงค่าอุณหภูมิ และ %ERC (a_w = ERH/100) ของตัวอย่าง

วิธีวัดค่า a_w ของตัวอย่าง

1) ตั้งอุณหภูมิในการอ่านค่าตามต้องการ

2) ปรับปุ่มสีเหลืองให้อยู่หมายเลข 1

3) นำตัวอย่างบรรจุลงในถ้วยตัวอย่าง (sample up) ปริมาณของตัวอย่าง 3 ใน 4 ของความจุถ้วย และตัวอย่างต้องไม่สูงเกินขอบภาชนะโดยเด็ดขาด

4) เปิดฝาเครื่อง Novasina แล้วหมุนฝาครอบทองเหลืองทวนเข็มนาฬิกายกขึ้น

5) เปิดฝาตัวอย่างออกแล้ววางลงใน Chamber ปิดฝาครอบทองเหลือง พร้อมหมุน

ตามเข็มนาฬิกา ปิดฝาเครื่อง Novasina

6) รอจนกระทั่งหน้าจอแสดงค่าอุณหภูมิตามที่ต้องการ และเครื่องหมายสามเหลี่ยมด้านล่างกระพริบพร้อมกัน 4 อัน เมื่อเครื่องหมายกระพริบ เริ่มจับเวลา 10 นาที จึงบันทึกค่า a_w และอุณหภูมิ

7) เปิดฝาเครื่อง Novasina แล้วหมุนฝาครอบทองเหลืองทวนเข็มนาฬิกา ยกขึ้น นำภาชนะบรรจุออกจาก Chamber

8) เมื่อเลิกใช้งานแล้ว ให้วางถ้วยตัวอย่างบรรจุ siliga gel ลงใน Chamber แล้วจึงปิดฝาเครื่อง Novasina

ข-2 ค่าสี

วัดค่าสีโดยใช้เครื่อง Hunter Lab colorimeter (Hunter Lab, รุ่น Miniscan XE Plus)

การวิเคราะห์

1) กอนทำการวัดสีทุกครั้ง ตองทำการปรับมาตรฐานของเครื่อง (Calibration) โดยการวางหัววัดทาบบนแผนสำหรับ Calibrate สีขาวแล่วกดปุม Measure ซึ่งเครื่องวัดสีจะบันทึกข่อมูลคาสีขาวของแผนสำหรับ Calibrate ไวคือ (x = 81.17, y = 86.12 และ z = 91.78)

2) นำตัวอย่างใส่ภาชนะสำหรับวัดค่าสีโดยใส่ให้เต็มภาชนะไม่ให้มีช่องที่แสงผ่านได้ขณะวัดตัวอย่างให้ใช้แผ่นสีดำปิดตัวอย่าง

3) ทำการวัดสีของตัวอยางดวยระบบ CIE ซึ่งวัดค่า L* a* และ b* ซึ่งมีความหมายดังนี้

L* คือ ความสว่าง โดยสีดำมีค่าเท่ากับ 0 และสีขาวมีค่าเท่ากับ 100

a* คือ ค่าความเป็นสีแดงและเขียว โดยค่าบวกแสดงความเป็นสีแดง และค่าลบแสดงความเป็นสีเขียว

b* คือ ค่าความเป็นสีเหลืองและสีน้ำเงิน โดยค่าบวกแสดงความเป็นสีเหลือง และค่าลบแสดงความเป็นสีน้ำเงิน

ข-3 ลักษณะเนื้อสัมผัส

วัดด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture analyser รุ่น TA-XT2, Stable Microsystem, England) สำหรับการวัดขนมปังเพรทเซลใช้หัวกดรูปทรงกระบอก (cylinder probe) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร (P30C) สำหรับการวัดมัฟฟินใช้หัวกดรูปทรงกระบอก (cylinder probe) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร (P50C)

การวิเคราะห์

สำหรับขนมปังเพรทเซลเตรียมตัวอย่างโดยตัดให้มีความยาว 2 เซนติเมตร และการวัดมัฟฟินเตรียมตัวอย่างโดย ให้มีขนาด 5x5x3 เซนติเมตร วัดค่า hardness, chewiness, cohesiveness, springiness and gumminess ใช้วิธีการวัดแบบ Texture Profile Analysis โดยใช้หัวกดรูปทรงกระบอก กดลงตรงกลางชิ้นตัวอย่างด้วยความเร็ว 2 ม.ม./วินาที ระยะการกด 50% ของความสูงของชิ้นตัวอย่าง โดยแต่ละสิ่งทดลองจะวัดซ้ำ 5 ตัวอย่าง รายงานเป็นค่าเฉลี่ยจากการวัด การใช้งาน

1) เปิดคอมพิวเตอร์ และเครื่อง Texture Analyzer รุ่น TA-XT2
คลิกที่ start ⟶ program ⟶ texture expert ⟶ จะปรากฏหน้าต่าง user selection คลิกที่ ok

2) จากนั้นไปที่ file ⟶ new project จะปรากฏหน้าต่างของ project (ถ้าใช้เป็นครั้งแรก) หรือถ้าไม่ต้องการตั้ง project ⟶ restart จะปรากฏหน้าต่างของกราฟ

3) กรณีที่มีข้อมูลแล้วให้คลิกที่ open icon จะปรากฏหน้าต่างของ open แล้วเมื่อเรียกชื่อไฟล์ตามต้องการโดยเปลี่ยนชนิดของไฟล์ที่ได้ list first of type

เมื่อ	*.ARC	คือ ไฟล์ที่เป็นกราฟ
	*.RES	คือ ไฟล์ที่เป็นตารางข้อมูล
	*.RPJ	คือ ไฟล์ที่เป็น project
	Document MAC	คือ ไฟล์ที่เป็น Macro
	*.LIS	คือ ไฟล์ที่เป็นข้อมูลดิบ

4) การเปรียบเทียบ (Calibration)

4.1) จะต้องทำการ calibrate force ทุกครั้งที่ทำการทดสอบ โดยไปที่ T.A. บน menu bar calibrate force จะปรากฏหน้าต่างของ force calibration ให้วางตุ้มน้ำหนัก 5 กิโลกรัม บน calibration platform แล้วคลิก ok

4.2) เมื่อหน้าจอปรากฏข้อความ calibration successful ให้ยกตุ้มน้ำหนักลงแล้วคลิก ok

5) การทำ T.A. setting

5.1) ไปที่ T.A. ⟶ T.A. setting (หรือ FA) จะปรากฏหน้าจอของ Texture Analyzer setting ทำการตั้งค่า parameter ดังนี้

Option:	Measure Force in compression
Pre-Test Speed:	2 mm/s
Test Speed:	2 mm/s
Post-Test Speed:	2 mm/s
Distant:	0.5 mm
Trigger Type:	Auto-5g
Data-Acquisition Rate:	200 pps

5.2) ถ้าต้องการบันทึกข้อมูลให้คลิก save กรณีจะเรียกข้อมูล ให้คลิก Lond

5.3) เมื่อจะทำขั้นต่อไป ให้คลิก update

6) การทำ Run a Test

ข-4 ปริมาตรจำเพาะ (Singkhornart, Edou-ondo, & Ryu, 2014)

อุปกรณ์

1) ภาชนะเปล่าขนาดเท่ากัน 2 ใบ (ที่สามารถใส่ผลิตภัณฑ์ได้)

2) เมล็ดงา

การวิเคราะห์

1) นำภาชนะเปล่าที่เพียงพอสำหรับใส่มัฟฟิน มา 2 ใบ

2) ทำการหาปริมาตรของภาชนะ (ใบที่ 1) ที่ใช้สำหรับใส่มัฟฟิน โดยใช้การแทนที่ด้วยน้ำ หรือการคำนวณโดยใช้สูตรหาปริมาตร (ในที่นี้ภาชนะเป็นทรงกระบอก)

3) การแทนที่ด้วยน้ำ ทำได้โดยนำน้ำใส่ภาชนะจนเต็ม แล้วชั่งน้ำหนัก (ชั่งน้ำหนักภาชนะก่อนเติมน้ำ) คำนวณโดยใช้สมการ

$$V_{ภาชนะ} = \frac{m_{น้ำ}}{D_{น้ำ}}$$

เมื่อ $v_{ภาชนะ}$ = ปริมาตรน้ำ = ปริมาตรภาชนะ (cm^3)

$m_{น้ำ}$ = น้ำหนักของน้ำ (g)

$d_{น้ำ}$ = ความหนาแน่นของน้ำซึ่งมีค่า = 1 g/cm^3

4) ทำการหาความหนาแน่นของงา โดยใส่งาลงในภาชนะที่จะใช้สำหรับใส่มัฟฟินจนเต็ม แล้วทำการชั่งน้ำหนักงา คำนวณ ความหนาแน่นงา ($d_{งา}$) จากสมการ

$$d_{งา} = \frac{m_{งา}}{v_{งา}}$$

เมื่อ $d_{งา}$ = ความหนาแน่นของงา (g/cm^3)

$m_{งา}$ = น้ำหนักงาที่ได้ (g)

$v_{งา}$ = ปริมาตรภาชนะ = ปริมาตรงา (cm^3)

5) ทำการชั่งน้ำหนักภาชนะใบที่ 2 ($m_{ภาชนะ2}$) และใส่งาที่ชั่งได้ลงไป พยายามอย่าให้งาตกหล่นเนื่องจากอาจทำให้ผลคลาดเคลื่อนได้

6) นำมัฟฟินที่ได้มาใส่ลงในภาชนะใบที่ 1 แล้วใส่งาที่เตรียมไว้ลงไปจนเต็มภาชนะ ชั่งน้ำหนักงาส่วนที่เหลือ ($m_{งาที่เหลือ}$) ที่อยู่ในภาชนะใบที่ 2

7) นำไปคำนวณหาปริมาตรมัฟฟิน จากสมการ

$$v_{มัฟฟิน} = \frac{m_{งาที่เหลือ}}{d_{งา}}$$

เมื่อ $v_{มัฟฟิน}$ = ปริมาตรงาที่เหลือ = ปริมาตรมัฟฟิน (cm^3)

$m_{งาที่เหลือ}$ = น้ำหนักงาที่เหลือ (g)

$d_{งา}$ = ความหนาแน่นงา

การหาปริมาตรจำเพาะ

คำนวณจากสมการ

$$\text{ปริมาตรจำเพาะ} = \frac{v_{\text{มัฟฟิน}}}{m_{\text{มัฟฟิน}}}$$

เมื่อ $v_{\text{มัฟฟิน}}$ = ปริมาตรมัฟฟิน (cm^3)

$m_{\text{มัฟฟิน}}$ = น้ำหนักของมัฟฟิน (g)

ข-5 ความหนืด (ดัดแปลงจากวิธีของ Chang et al., 1995)

อุปกรณ์

- เครื่องวัดความหนืด (Brookfield Digital Rheometer)

การวิเคราะห์

นำตัวอย่างน้ำสลัด เทใส่บีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร ให้มีปริมาณน้ำสลัดประมาณ 350 มิลลิลิตร วัดความหนืดโดยใช้เครื่องวัดความหนืด Brookfield Digital Rheometer ใช้หัวหมุน (Spindle) เบอร์ 4 ความเร็วรอบในการหมุน 50 รอบต่อนาที ควบคุมอุณหภูมิที่ 4±0.5 องศาเซลเซียส (โดยใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ TC 500) รายงานความหนืดเป็น เซนติพอยส์ (cps)

ภาคผนวก ค

ค-1 แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส วิธี 9-point hedonic scale

ลำดับที่ผู้ทดสอบ..... วันที่ทดสอบ.....
ผลิตภัณฑ์ .....
คำชี้แจง กรุณาทดสอบตัวอย่างจากซ้ายไปขวาและให้คะแนนในด้าน สี กลิ่น รสชาติ ลักษณะปรากฏ และความชอบโดยรวม ตามเกณฑ์ให้คะแนนดังนี้

กำหนดให้ 1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด
2 หมายถึง ไม่ชอบมาก
3 หมายถึง ไม่ชอบปานกลาง
4 หมายถึง ไม่ชอบเล็กน้อย
5 หมายถึง เฉยๆ
6 หมายถึง ชอบเล็กน้อย
7 หมายถึง ชอบปานกลาง
8 หมายถึง ชอบมาก
9 หมายถึง ชอบมากที่สุด

รหัสตัวอย่าง	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่น	รสชาติ	กลิ่นรส	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....

ข้อเสนอแนะ

.....
.....
.....
.....

ขอขอบพระคุณในความร่วมมือของท่าน

ประวัตินักวิจัย

หัวหน้าโครงการวิจัย

1. ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย) นางสาววิชมณี ยืนยงพุทธกาล

ชื่อ-นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Miss Wichamanee Yuenyongputtakal

2. ตำแหน่งปัจจุบัน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์

3. หน่วยงานที่สังกัด

ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

169 ถนนลงหาดบางแสน ตำบลแสนสุข อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี 20131 e-mail wich@buu.ac.th

4. ประวัติการศึกษา

ปร.ด. (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วท.ม. (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วท.บ. (วิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการ) มหาวิทยาลัยบูรพา

5. สาขาที่มีความชำนาญพิเศษ

Food product development, Sensory evaluation, Processing of fruit and vegetable, Osmotic dehydration

ผู้ร่วมวิจัยคนที่ 1

1. ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย) นางสาวกุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์

ชื่อ-นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Miss KullayaLimroongreungrat

2. ตำแหน่งปัจจุบัน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์

3. หน่วยงานที่สังกัด

ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

169 ถนนลงหาดบางแสน ตำบลแสนสุข อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี 20131 e-mail kullaya@buu.ac.th

4. ประวัติการศึกษา

Ph.D. (Food Science) The University of Georgia, USA

วท.ม. (เทคโนโลยีทางอาหาร) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วท.บ. (อุตสาหกรรมเกษตร) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

5. สาขาที่มีความชำนาญพิเศษ

การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารจากแป้งและพืชหัว การใช้ประโยชน์จากพืชเขตร้อนการใช้ประโยชน์จากผลพลอยได้จากการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร