รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การพัฒนากรรมวิธีการผลิตสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งคืนรูปเร็ว

Process Development of Quick-rehydrated Dried Green Caviar

หัวหน้าโครงการ นางสิริมา ชินสาร
ผู้ร่วมโครงการ นางสาวนิสานารถ กระแสร์ชล

โครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้
(เงินอุดหนุนจากรัฐบาล) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2562
มหาวิทยาลัยบูรพา

รหัสโครงการ 58884
สัญญาเลขที่ 11.3/2562

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การพัฒนากรรมวิธีการผลิตสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งคืนรูปเร็ว

Process Development of Quick-rehydrated Dried Green Caviar

หัวหน้าโครงการ นางสิริมา ชินสาร
ผู้ร่วมโครงการ นางสาวนิสานารถ กระแสร์ชล

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

พฤศจิกายน 2562

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2562 มหาวิทยาลัยบูรพา ผ่านสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ เลขที่สัญญา 11.3/2562

คณะผู้วิจัย
พฤศจิกายน 2562

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนากรรมวิธีการผลิตสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งคืนรูปเร็ว ขั้นตอนแรก เป็นการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายพวงองุ่นที่ใช้เป็นวัตถุดิบ พบว่า มีปริมาณไขมันต่ำ แต่มีแคลเซียมสูงถึง 589.69 mg/ 100 g ขั้นตอนที่ 2 เป็นการศึกษาการเตรียมขั้นต้นด้วยวิธีการลวกในสารละลายที่แตกต่างกันต่อคุณภาพด้านสีและการคืนรูป พบว่า การลวกในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที สามารถรักษาค่าความเป็นสีเขียวเอาไว้ได้ดีที่สุด และทำให้สาหร่ายมีการคืนรูปที่ดีใกล้เคียงกับสาหร่ายพวงองุ่นสด จากนั้นศึกษาผลของการออสโมซิสในสารละลายผสมระหว่างน้ำตาล 40% และโซเดียมคลอไรด์ 10% (w/w) โดยการแช่ในสารละลายออสโมติกเป็นเวลา 30 นาทีก่อนทำการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน พบว่า สาหร่ายที่ผ่านการออสโมซิสมีค่าสีและความแน่นเนื้อภายหลังการคืนรูปใกล้เคียงกับสาหร่ายพวงองุ่นสด ขั้นตอนสุดท้าย ศึกษาผลของวิธีในการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และตู้อบสุญญากาศ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความดัน 46 cmHg พบว่า การใช้ตู้อบลมร้อนทำให้สาหร่ายมีการคืนรูป ค่าสี และความแน่นเนื้อใกล้เคียงกับสาหร่ายพวงองุ่นสด แต่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตและพลังงานสูงขึ้นจากปริมาณน้ำตาลที่เพิ่มขึ้นในระหว่างการออสโมซิส

ABSTRACT

This research was to develop quick-rehydrated dried green caviar product. First step, chemical composition of raw material was assayed. Fresh green caviar had low fat content but high calcium of 589.69 mg/ 100 g. Second step, pretreatment by blanching with different solutions on color and rehydration properties was studied. Results showed that blanchin with hot water, 80°C for 1 minute, could retain greenness and the rehydrated product was closed to the fresh green caviar. Then, effect of osmosis in mixture solution of 40% sugar and 10% sodium chloride for 30 minutes was studied. Results showed that rehydrated green caviar had color and firmness similar to the fresh one. Finally, effect of drying method by using tray drier (60°C) and vacuum drier (50°C, 46 cmHg) was investigated. Results revealed that drying using the tray drier, product had the rehydration value, color and firmness closed to fresh green caviar. But carbohydrate content and energy content were higher because of sugar obtained during osmosis process.

สารบัญเรื่อง

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบัญเรื่อง	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ซ
บทที่	
1 บทนำ	1
วัตถุประสงค์	2
ขอบเขตการวิจัย	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
สาหร่ายพวงองุ่น	3
ผลิตภัณฑ์คืนรูปเร็ว	4
การลวก	5
การออสโมซิส	5
การทำแห้ง	7
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	9
3 วิธีดำเนินการวิจัย	14
วัตถุดิบ วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี	14
วิธีดำเนินการวิจัย	15
4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	19
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	33
สรุปผลการทดลอง	33
ข้อเสนอแนะ	33
รายการอ้างอิง	34
ประวัตินักวิจัย	40

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

4-1 องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายพวงองุ่นสด..... 19

4-2 ค่าสีหลังลวกและแช่สารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนต..... 20

4-3 ค่าสีหลังการคืนรูปของตัวอย่างลวกและแช่สารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนต..... 21

4-4 ค่าสีภายหลังการคืนรูปของสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้ง และสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการออสโมซิสและอบแห้ง เปรียบเทียบกับสาหร่ายพวงองุ่นสด..... 24

4-5 ค่าความแน่นเนื้อ (Firmness) ภายหลังการคืนรูปของสาหร่ายพวงองุ่นสด สาหร่ายพวงองุ่นอบแห้ง และสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการออสโมซิสและอบแห้ง..... 26

4-6 เวลาในการอบแห้งของสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการเตรียมขั้นต้น ออสโมซิสและอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และตู้อบสุญญากาศอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความดัน 46 cmHg..... 28

4-7 ค่าสีภายหลังการคืนรูปของสาหร่ายพวงองุ่นสด สาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการเตรียมขั้นต้น ออสโมซิสและอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสและตู้อบสุญญากาศ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความดัน 46 cmHg..... 28

4-8 ค่าความแน่นเนื้อ (Firmness) ภายหลังการคืนรูปของสาหร่ายพวงองุ่นสด สาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสและตู้อบสุญญากาศอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความดัน 46 cmHg..... 31

4-9 องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้ง..... 32

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

4-1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการดูดน้ำกลับกับเวลาของสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นด้วยสภาวะต่างๆ..... 22

4-2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการดูดน้ำกลับกับเวลาของสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นด้วยสภาวะต่างๆ..... 22

4-3 อัตราส่วนการดูดน้ำกลับของสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้ง และสาหร่ายพวงองุ่นผ่านการออสโมซิสและอบแห้ง..... 25

4-4 อัตราการดูดน้ำกลับของสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้ง และสาหร่ายพวงองุ่นผ่านการออสโมซิสและอบแห้ง..... 25

4-5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลาในการทำแห้งสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการเตรียมขั้นต้น ออสโมซิส อบแห้ง โดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส..... 27

4-6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลาในการทำแห้งสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการเตรียมขั้นต้น ออสโมซิส อบแห้ง โดยใช้ตู้อบสุญญากาศ 50 องศาเซลเซียส ความดัน 46 cmHg..... 27

4-7 อัตราส่วนการดูดน้ำกลับของสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และตู้อบสุญญากาศอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความดัน 46 cmHg..... 29

4-8 อัตราการดูดน้ำกลับของสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และตู้อบสุญญากาศ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความดัน 46 cmHg..... 30

บทที่ 1
บทนำ

สาหร่ายพวงองุ่นเป็นสาหร่ายทะเลสีเขียว มีเม็ดกลมใสมีลักษณะเป็นช่อคล้ายพวงองุ่น มีรสชาติดี และคุณค่าทางโภชนาการสูง อุดมไปด้วยวิตามิน ได้แก่ วิตามินบี 2 วิตามินอี และวิตามินซี มีแร่ธาตุที่สำคัญ ได้แก่ ไอโอดีน ฟอสฟอรัส สังกะสี แคลเซียม แมกนีเซียม แมงกานีส และโคบอลต์ มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่หลายตำแหน่งปริมาณสูง อีกทั้งยังเป็นแหล่งของกรดอะมิโนจำเป็น สาหร่ายพวงองุ่นสามารถรับประทานสด หรือนำมาปรุงอาหารเหมือนไข่ปลาคาร์เวียร์ จัดเป็นสาหร่ายทะเล 1 ใน 4 ชนิดที่กรมประมงส่งเสริมให้เพาะเลี้ยงเพื่อจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ (กาญจนภาชน์ ลิ้วมโนมนต์, 2519; Ratana-arporn & Chirapart, 2006; สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง, 2552) ซึ่งการส่งเสริมการเพาะเลี้ยงอย่างต่อเนื่อง ทำให้ปัจจุบันมีเกษตรกรหันมาเพาะเลี้ยงสาหร่ายพวงองุ่นเป็นจำนวนมากขึ้น แต่พบว่า สาหร่ายพวงองุ่นมีอายุหลังการเก็บเกี่ยวสั้น ประมาณ 12 ชั่วโมง สำหรับการเก็บที่อุณหภูมิห้อง สาเหตุหลักของการเสื่อมเสียเกิดจากจุลินทรีย์ ทำให้เกิดปัญหาต่อการกระจายสินค้าไปยังแหล่งต่างๆ อีกทั้งการที่มีผู้หันมาเพาะเลี้ยงสาหร่ายพวงองุ่นมากขึ้น ทำให้มีปริมาณสาหร่ายพวงองุ่นในท้องตลาดเพิ่มขึ้น ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการนำสาหร่ายพวงองุ่นที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในประเทศมาทำการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์สาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งที่สามารถคืนรูปได้เร็ว เพื่อเพิ่มรูปแบบการจัดจำหน่ายที่นอกจากการขายในรูปสาหร่ายสด การแปรรูปด้วยการทำแห้งแบบคืนรูปได้เร็วจะช่วยยืดอายุของสาหร่ายพวงองุ่น และช่วยให้จัดจำหน่ายได้หลากหลายช่องทางมากขึ้น

ขั้นตอนของการทำวิจัยได้มีการประยุกต์ใช้หลายวิธีร่วมกัน เพื่อให้ได้สาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งที่มีคุณภาพภายหลังการคืนรูปที่ดี ทั้งด้านสี เนื้อสัมผัส และคุณค่าทางโภชนาการ โดยใช้เทคนิคการลวกเพื่อยับยั้งการเปลี่ยนแปลงของสีภายหลังการอบแห้ง การใช้การออสโมซิสด้วยสารละลายน้ำตาลและเกลือเพื่อดึงน้ำออกบางส่วน จะช่วยลดเวลาในการอบแห้ง และลดเวลาที่สาหร่ายจะสัมผัสกับอุณหภูมิสูง จึงช่วยให้การเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้าง และการหดตัวของสาหร่ายพวงองุ่นลดน้อยลง อีกทั้งการที่โมเลกุลของน้ำตาลและเกลือแพร่เข้าไปในเซลล์ของสาหร่ายยังช่วยคงรูปร่างและช่วยลดค่า aw ทำให้ผลิตภัณฑ์ภายหลังการอบแห้งมีการหดตัวน้อย มีสี กลิ่น รสชาติ และคุณค่าทางโภชนาการใกล้เคียงกับของสด และยังสามารถเก็บรักษาไว้ได้เป็นเวลานานขึ้น นอกจากนั้นยังมีการนำเอาวิธีการอบแห้งแบบสุญญากาศมาใช้ในการทำแห้ง ซึ่งข้อดีของการอบแห้งวิธีนี้ คือ จะทำให้วัตถุดิบแห้งเร็ว เนื่องจากในภาวะสุญญากาศมีค่าสัมประสิทธิ์การนำและการพาความร้อนต่ำ ผลผลิตที่ได้จะมีสีสันสวยงามเหมือนของสด กลิ่นหอม มีคุณค่าสารอาหารสูง มีรูปลักษณะเหมือนของสด (คำนวณ ตั้งพันธุ์ และวัชรพงษ์ ทองสิมา, 2533)

งานวิจัยนี้ผู้วิจัยเลือกใช้วิธีการแปรรูปที่ไม่ซับซ้อนยุ่งยากหรือใช้เทคโนโลยีขั้นสูง เพื่อให้เกษตรกรผู้เพาะเลี้ยงสาหร่ายพวงองุ่นสามารถนำความรู้จากเทคโนโลยีการผลิตดังกล่าวไปต่อยอดและสามารถใช้งานได้จริง อีกทั้งยังสามารถยกระดับและเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ท้องถิ่นให้สูงขึ้น

ผลงานวิจัยจากโครงการวิจัยนี้จะได้ทราบถึงกรรมวิธีการผลิตสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งคืนรูปเร็ว ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ มีคุณค่าทางโภชนาการสูง อายุการเก็บยาวนานขึ้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้ยังสามารถนำไปใช้เพิ่มรายได้ให้กับครอบครัว ยกระดับนวัตกรรมและขยายผลสู่การผลิตและจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ได้

วัตถุประสงค์

1) เพื่อศึกษาวิธีการเตรียมขั้นต้นที่เหมาะสมก่อนการทำแห้งสาหร่ายพวงองุ่น

2) เพื่อศึกษาหาวิธีการอบแห้งที่เหมาะสมต่อการผลิตผลิตภัณฑ์สาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งคืนรูปเร็ว

ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้มีแนวคิดในการพัฒนาผลิตภัณฑ์สาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งคืนรูปเร็ว ขอบเขตของโครงการวิจัยครอบคลุมการศึกษาวิธีการเตรียมขั้นต้นที่เหมาะสมก่อนการทำแห้งสาหร่ายพวงองุ่นและการศึกษาหาวิธีการอบแห้งที่เหมาะสม โดยแบ่งงานเป็น 4 ตอน ได้แก่ ขั้นตอนแรก เป็นการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและโภชนาการของสาหร่ายพวงองุ่น เพื่อทราบข้อมูลพื้นฐานของวัตถุดิบที่ใช้วิจัย ขั้นตอนที่ 2 เป็นการศึกษาผลของการเตรียมขั้นต้นด้วยการลวกก่อนการอบแห้งเพื่อเป็นการรักษาความเป็นสีเขียวของสาหร่ายภายหลังการอบแห้ง และการเตรียมขั้นต้นด้วยการแช่ในสารละลายออสโมติกเพื่อกำจัดน้ำออกจากสาหร่ายบางส่วน เพื่อช่วยลดระยะเวลาในการอบแห้ง และช่วยให้สาหร่ายภายหลังการอบแห้งสามารถคืนรูปได้เร็วขึ้น ขั้นตอนที่ 3 เป็นการศึกษาผลของวิธีการอบแห้ง 2 วิธี ได้แก่ การอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน และการอบแห้งในสภาวะสุญญากาศแล้วทำการวิเคราะห์คุณภาพเปรียบเทียบกับสาหร่ายพวงองุ่นสด จากนั้นถ่ายทอดความรู้ในการผลิตสู่เกษตรกรผู้เพาะเลี้ยงสาหร่ายโดยการจัดทำเอกสาร แผ่นพับ เพื่อเผยแพร่ความรู้

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบกระบวนการในการผลิตสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งคืนรูปเร็ว

2. เป็นการเพิ่มมูลค่าและยืดอายุการเก็บของสาหร่ายพวงองุ่น และสามารถใช้ประโยชน์โดยการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ในรูปแบบใหม่ได้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สาหร่ายพวงองุ่น

สาหร่ายพวงองุ่นเป็นสาหร่ายทะเลสีเขียว (Green algae) หรือมีชื่อสามัญว่า Sea Grapes หรือ Green Caviar เนื่องจากมีเม็ดกลมและเป็นช่อคล้ายพวงองุ่นหรือคล้ายไข่ปลาคาร์เวียร์ นอกจากนี้ยังมีชื่อเรียกว่า Lelato, Ararusip, Lato ชาวญี่ปุ่นเรียกสาหร่ายชนิดนี้ว่า Umibudo มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า Caulerpa lentillifera J. Agardh อยู่ในครอบครัว Caulerpaceae เป็นสาหร่ายที่มีการแพร่กระจายอยู่ในเขต Tropical และ Subtropical พบได้ในประเทศอินโดนีเซีย ฟิลิปปินส์ ไทย เวียดนามและญี่ปุ่น นอกจากนี้ยังแพร่กระจายไปเขตร้อนได้แก่ เคนยา มาดากัสการ์ มอริเชียส โมแซมบิก โซมาเลีย แอฟริกาใต้ แทนซาเนีย และปาปัวนิวกินี เจริญเติบโตได้ดีในน้ำที่มีสารอาหารบริบูรณ์และแสงแดด มีลักษณะคล้ายองุ่นสีเขียวสดมีคุณค่าทางอาหารสูง จัดเป็นอาหารทะเลที่สำคัญในญี่ปุ่นและฟิลิปปินส์ มีทั้งการเก็บเกี่ยวจากธรรมชาติและจากการเลี้ยงในบ่อดิน (นิสราภรณ์ ภักดีพันธ์, 2554)

สาหร่ายพวงองุ่นเป็นหนึ่งในสาหร่ายที่รับประทานได้ของประเทศไทย สำหรับรูปแบบการบริโภคที่นิยมคือ รับประทานสดเหมือนผักสด รับประทานกับสลัดซูชิ ใช้เป็นส่วนประกอบของอาหารญี่ปุ่น เช่น แซลมอนโรล (Salmon roll) และอาหารทะเลต่างๆ ใช้ตกแต่งจานอาหารและสามารถนำมาปรุงอาหารเหมือนไข่ปลาคาร์เวียร์ สาหร่ายชนิดนี้อุดมด้วยแร่ธาตุและวิตามินหลายชนิดที่สำคัญ ได้แก่ วิตามินบี 2 วิตามินอี และวิตามินซี รวมทั้งมีเกลือแร่ที่สำคัญ ได้แก่ ไอโอดีน ฟอสฟอรัส สังกะสี แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก แมงกานีส และโคบอลต์ มีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่หลายตำแหน่ง (Polyunsaturated fatty acid : PUFA) ปริมาณสูง นอกจากนี้สาหร่ายพวงองุ่นยังมีกรดอะมิโนจำเป็นเกือบ 40% ของกรดอะมิโนรวม ซึ่งใกล้เคียงกับในไข่และถั่วเหลือง และยังมีกรดอะมิโนชนิด Aspartic และ Glutamic สูงประมาณ 25% ของปริมาณกรดอะมิโนทั้งหมด ทำให้สาหร่ายมีกลิ่นรสเฉพาะตัว และจัดว่าเป็นอาหารสุขภาพ (กาญจนภาชน์ ลิ้วมโนมนต์, 2519; Ratana-arporn & Chirapart, 2006)

กรมประมงได้มอบหมายให้สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งทำการวิจัยและส่งเสริมการเลี้ยงสาหร่ายทะเล 4 ชนิด ได้แก่ สาหร่ายพวงองุ่น สาหร่ายผมนาง สาหร่ายผักกาดทะเล และสาหร่ายโพรง เนื่องจากเป็นชนิดสาหร่ายที่นิยมบริโภคในท้องถิ่น สามารถทำการเพาะเลี้ยงได้ง่ายและมีลู่ทางการขยายสู่ตลาด (สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง, 2552) ปัจจุบันจึงมีเกษตรกรผู้เพาะเลี้ยงสาหร่ายพวงองุ่นเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการนำสาหร่ายพวงองุ่นที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในประเทศมาทำการแปรรูปเพื่อเพิ่มรูปแบบการจัดจำหน่ายที่นอกจากการขายในรูปสาหร่ายสด การแปรรูปด้วยการทำแห้งแบบคืนรูปได้เร็วจะช่วยยืดอายุของสาหร่ายพวงองุ่นและช่วยให้ส่งขายได้หลากหลายช่องทางมากขึ้น

ผลิตภัณฑ์คืนรูปเร็ว

ผลิตภัณฑ์คืนรูปเร็ว คือ ผลิตภัณฑ์อาหารแห้งที่ใช้เวลาคืนรูปสั้นๆ ด้วยวิธีที่ไม่ยุ่งยากเมื่อต้องการบริโภค หลังจากคืนรูปแล้วผลิตภัณฑ์ยังคงมีรสชาติ กลิ่น และเนื้อสัมผัส ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์สด สามารถเก็บไว้ได้นาน ซึ่งวิธีการในการผลิตอาหารแห้งที่สามารถคืนรูปได้สามารถใช้เครื่องมือในการอบแห้งอาหารหลายชนิด เช่น การอบแห้งด้วยลมร้อน การอบแห้งแบบสุญญากาศ การอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ซึ่งผลิตภัณฑ์จะมีอัตราการคืนรูปแตกต่างกันไปขึ้นกับการเตรียมขั้นต้นก่อนการอบแห้ง เครื่องมือที่ใช้อบแห้ง และสภาวะที่ใช้ในการทำแห้ง

สำหรับการเตรียมขั้นต้นก่อนการอบแห้งในงานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีการลวกเพื่อยับยั้งการเปลี่ยนแปลงของสี อีกทั้งยังส่งผลให้เนื้อเยื่อของสาหร่ายนิ่มลง ทำให้การสูญเสียน้ำระหว่างการอบแห้งเร็วขึ้นและอาจจะส่งผลต่อการคืนรูปของผลิตภัณฑ์อีกด้วย

คลอโรฟิลล์ (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2553)

คลอโรฟิลล์เป็นรงควัตถุสีเขียวที่พบอยู่ในพืช โดยเฉพาะผักใบเขียวและผลไม้ดิบบางชนิด คลอโรฟิลล์มีหน้าที่สำคัญในกระบวนการสังเคราะห์แสง ซึ่งเป็นกระบวนการที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตของพืช คลอโรฟิลล์ที่พบในพืชมี 2 ชนิด คือ คลอโรฟิลล์เอและคลอโรฟิลล์บี และยังมีคลอโรฟิลล์อีก 3 ชนิดที่พบในแบคทีเรียและสาหร่าย เช่น คลอโรฟิลล์ซีและคลอโรฟิลล์ดี สำหรับคลอโรฟิลล์ที่พบในพืชสีเขียวชั้นสูงจะมีอัตราส่วนของคลอโรฟิลล์เอต่อคลอโรฟิลล์บีประมาณ 3 : 1 และพบอยู่ในพลาสติด เรียกว่า คลอโรพลาสต์ ซึ่งประกอบด้วยหน่วยย่อยเล็กๆ เรียกว่า กรานา (grana) และโครงสร้างของกรานาจะประกอบด้วยลาเมลลา (lamellae) โดยมีคลอโรฟิลล์โมเลกุลฝังตัวอยู่ที่ลาเมลลา และเกาะตัวอยู่กับลิพิด โปรตีน และไลโพโปรตีน

คลอโรฟิลล์เอมีสูตรโครงสร้างเป็นเตตระไพโรล ซึ่งวงแหวนพอร์ไฟรินอยู่ในรูปไดไฮโดรและมีแมกนีเซียมอะตอมอยู่ตรงกลางและโมเลกุล มีหมู่เมทิลที่ตำแหน่ง 1, 3, 5 และ 8 มีหมู่ไวนิล (vinyl) ที่ตำแหน่ง 2 หมู่เอทิลที่ตำแหน่ง 4 หมู่โพรพิโอเนต (Propionate) ที่ตำแหน่ง 7 ถูกเอสเทอริไฟด์ด้วยไฟติลแอลกอฮอล์ (phytyl alcohol) มีหมู่คีโต (keto) ที่ตำแหน่ง 9 และมีหมู่คาร์โบเมทอกซี (carbomethoxy) ที่ตำแหน่ง 10 ทำให้คลอโรฟิลล์เอมีสูตรโมเลกุล $C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$

คลอโรฟิลล์บีมีโครงสร้างโมเลกุลคล้ายคลอโรฟิลล์เอมาก ยกเว้นที่ตำแหน่ง 3 ซึ่งในคลอโรฟิลล์เอเป็นหมู่เมทิล แต่ในคลอโรฟิลล์บีเป็นหมู่ฟอร์มิล (formyl) และมีสูตรโมเลกุลเป็น $C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$ สำหรับไฟติลแอลกอฮอล์หรือไฟตอล (phytol) เป็นแอลกอฮอล์ชนิดหนึ่งซึ่งมีจำนวนคาร์บอน 20 อะตอม มีโครงสร้างเป็นไอโซพรีนอยด์ (isoprenoid)

ในกระบวนการแปรรูปพืชผักที่มีสีเขียวโดยใช้ความร้อน จะมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยา pheophytinization คือ แมกนีเซียมไอออนจะถูกแทนที่ด้วยไฮโดรเจนอะตอม ทำ

ให้คลอโรฟิลล์ถูกเปลี่ยนเป็นฟีโอไฟติน (pheophytin) จึงเป็นการสูญเสียแร่ธาตุแมกนีเซียมออกไปจากคลอโรฟิลล์ สีเขียวของพืชจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล (olive-brown) ของฟีโอไฟติน

นอกจากนั้นคลอโรฟิลล์ยังอาจเปลี่ยนเป็นคลอโรฟิลไลด์ (chlorophyllide) ได้โดยอาศัยเอนไซม์คลอโรฟิลเลส เกิดการสูญเสียหมู่ไฟติลออกไปจากโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ทำให้คลอโรฟิลไลด์ละลายในน้ำได้ดีกว่าคลอโรฟิลล์

การเปลี่ยนคลอโรฟีลล์ให้เป็นคลอโรฟิลไลด์ โดยอาศัยเอนไซม์คลอโรฟิลเลส หรือเอสเทอเรส ซึ่งมีอยู่ในพืชตามธรรมชาติจะเกิดการไฮโดรไลซิสแยกเอาหมู่ไฟตอลออก ส่วนที่เหลือ คือ เมทิลคลอโรฟิลไลด์ซึ่งจะละลายได้ในน้ำ และจะมีความคงตัวมากกว่าคลอโรฟิลล์ เอนไซม์คลอโรฟิลเลสจะทำงานได้ดีในตัวกลางที่เป็นน้ำ ที่อุณหภูมิ 65 – 75 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที

การลวกที่อุณหภูมิ 71 องศาเซลเซียส (160 องศาฟาเรนไฮต์) นานถึง 20 นาที ก็ยังรักษาสีการเขียวไว้ได้ การลวกควรใช้อุณหภูมิประมาณ 54 – 76 องศาเซลเซียส โดยเฉพาะผักโขม การลวกที่อุณหภูมิต่ำกว่า 65 องศาเซลเซียส นาน 45 นาที จึงทำให้คลอโรฟิลล์เปลี่ยนเป็นคลอโรฟิลไลด์ได้ด้วยเอนไซม์คลอโรฟิลเลส

การลวก (Blanching)

การลวกเป็นขั้นตอนการให้ความร้อนแก่ชิ้นผลไม้หรือผัก เนื่องจากผลไม้หรือผักมีเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส และโพลีฟีนอลออกซิเดส ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้ผลไม้สูญเสียคุณภาพ เช่น การเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่ทำให้เกิดกลิ่นรสที่ไม่ต้องการ ทำให้เกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ จึงจำเป็นต้องใช้ความร้อนทำลายเอนไซม์นี้ นอกจากนี้ระยะเวลาในการลวกและอุณหภูมิในการลวกขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของผลไม้แต่ละชนิด นอกจากนั้น การลวกยังมีผลต่อการถ่ายเทมวลสารของวัตถุดิบในระหว่างการทอดและการอบแห้งอีกด้วย เนื่องจากความร้อนในระหว่างการลวกจะทำให้เยื่อหุ้มเซลล์อ่อนตัวลง ทำให้อัตราการถ่ายเทมวลสารของน้ำในวัตถุดิบสูงขึ้น (วิไล รังสาดทอง, 2546)

การลวกในสารละลายด่าง

คลอโรฟิลล์มีความคงตัวในด่าง การเติมเกลือของด่างลงในน้ำลวกผักเพื่อปรับไม่ให้ค่า pH ของน้ำลวกลดลง จะสามารถยับยั้งการเกิดฟีโอไฟตินได้ จึงช่วยรักษาสีเขียวของผักเอาไว้ได้ เกลือของด่างที่นิยมใช้ คือ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ และ แมกนีเซียมคาร์บอเนต (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549)

การออสโมซิส

การออสโมซิสในการแปรรูปผักและผลไม้ หมายถึง การกำจัดน้ำออกด้วยการแช่ผักผลไม้ในน้ำเชื่อม หรือน้ำเกลือที่มีความเข้มข้นสูง จะทำให้เกิดกระบวนการออสโมซิสในอาหาร วิธีที่เหมาะสมสำหรับการแปรรูปผักและผลไม้ โดยแช่ชิ้นอาหารในสารละลายออสโมติกซึ่งมีค่า aw ต่ำ

การถ่ายเทมวลสารที่เกิดขึ้นในกระบวนการออสโมซิสจะมีลักษณะสวนทางกัน กล่าวคือ น้ำตาลหรือน้ำเกลือจะแพร่เข้าไปในอาหารทำให้ปริมาณน้ำหรือความชื้นในชิ้นอาหารลดลง 50% ของปริมาณน้ำหรือความชื้นเริ่มต้น ซึ่งการออสโมซิสมีประโยชน์ในด้านช่วยรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตอาหาร เพื่อทำให้กระบวนการผลิตมีประสิทธิภาพมากขึ้น (ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก, 2532)

การออสโมซิสก่อนการอบแห้ง เป็นการดึงน้ำบางส่วนออกจากชิ้นอาหารก่อนนำไปอบแห้งจนได้ความชื้นที่ต้องการ ผลของการลดความชื้นด้วยวิธีออสโมซิสที่อุณหภูมิต่างๆจะช่วยลดการสูญเสียคุณค่าทางสารอาหาร ผลิตภัณฑ์ที่ได้ยังคงคุณค่าของสารอาหารไว้และเป็นการปรับปรุงกลิ่นรส ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ลดการเปลี่ยนแปลงทางด้านสีของผลไม้ เนื่องจากการทำงานของ Enzymatic oxidative browning (Torreggiani, 1993)

ข้อดีของการแปรรูปด้วยวิธีออสโมซิส (คำนวณ ตั้งพันธุ์ และวัชรพงษ์ ทองสิมา, 2533)

1) ลดเวลาและพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งด้วยลมร้อน โดยใช้อุณหภูมิสูงเป็นเวลายาวนานเพื่อการระเหยน้ำเพราะขั้นตอนการออสโมซิสช่วยขจัดน้ำออกจากผักผลไม้ไปส่วนหนึ่งแล้ว

2) การไม่ใช้อุณหภูมิสูงในการอบแห้งจะไม่ทำลายคุณภาพของผลไม้ คือ ไม่ทำให้สีและรสชาติเปลี่ยนแปลงไป แต่จะทำให้สีและรสชาติดีขึ้น

3) น้ำตาลหรือน้ำเชื่อมที่ใช้จะเป็นตัวช่วยป้องกันรสชาติความสดเอาไว้ วิธีการอื่นไม่สามารถป้องกันการสูญเสียกลิ่นและรสได้มากกว่าวิธีนี้

4) น้ำเชื่อมหรือสารละลายเข้มข้นช่วยป้องกันการเกิดปฏิกิริยาของเอนไซม์ไม่ให้สีของผลไม้เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล จึงได้ผลไม้แห้งที่มีสีสดสวยน่ารับประทานยิ่งขึ้น

5) นอกจากน้ำที่ขจัดออกจากผลไม้แล้วยังมีกรดบางส่วนจากผลไม้ถูกขจัดออกไปด้วยมาผสมกับน้ำตาล และน้ำตาลบางส่วนก็อาจติดกับผลไม้เมื่ออบแห้งออกมา ผลไม้ที่ได้จะมีความหวานและความนิ่มนวลกว่าผลไม้ที่อบแห้งด้วยวิธีอื่นๆทั่วไป

ข้อเสียของการแปรรูปด้วยวิธีออสโมซิส (คำนวณ ตั้งพันธุ์ และวัชรพงษ์ ทองสิมา, 2533)

1) ทำให้กรดที่มีอยู่ในผลไม้ลดลง ดังนั้นควรมีการเติมกรดลงไปในสารละลายที่ใช้ในการออสโมติก

2) น้ำตาลทำให้เกิดแผ่นฟิล์มบางบริเวณผิวหน้าผลิตภัณฑ์ สามารถแก้ไขได้โดยการล้างในน้ำอย่างรวดเร็วภายหลังการทำแห้งแบบออสโมติก

3) ผลน้ำตาลที่ใช้อาจทำให้เกิดกลิ่นอับ หรือกลิ่นหืนได้เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง กระบวนการนี้มีค่าใช้จ่ายสูงกว่าการทำแห้งแบบใช้ลมร้อนหรือทำแห้งแบบใช้สุญญากาศ แต่จะมีราคาถูกกว่าการทำแห้งแบบวิธีแช่เยือกแข็ง

4) การจัดการสารละลายออสโมติกที่ใช้แล้ว ทำได้โดยการนำสารละลายไปปรับความเข้มข้นแล้วนำกลับมาใช้ใหม่ แต่มีข้อจำกัดคือ เสียค่าใช้จ่ายในกระบวนการติดตั้งสูง การนำสารละลายกลับมาใช้ใหม่อย่างต่อเนื่องก็มีข้อจำกัดคือ ทำให้สารละลายเกิดการเจือจาง

การทำแห้ง

การทำแห้ง (Drying) หมายถึง การให้ความร้อนภายใต้สภาวะการควบคุมเพื่อกำจัดน้ำที่มีอยู่ในอาหารโดยการระเหยน้ำ วัตถุประสงค์ของการกำจัดน้ำ คือ การยืดอายุการเก็บรักษาอาหารโดยการลดค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (aw) ซึ่งมีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ และการทำงานของเอนไซม์ นอกจากนั้น การลดน้ำหนักและปริมาณของอาหารยังช่วยลดค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาและการขนส่ง เพิ่มความหลากหลายและความสะดวกให้แก่ผู้บริโภค

การอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน

การอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากในการผลิตผักและผลไม้อบแห้ง เพราะมีราคาและค่าบำรุงรักษาเครื่องค่อนข้างต่ำ โดยการอบแห้งในเครื่องอบแห้งชนิดนี้จะอาศัยลมร้อนจากแหล่งความร้อน ซึ่งอาจจะเป็น ฮีทเตอร์ คอล์ยไอน้ำ ก๊าซหุงต้ม หรือน้ำมันเตา ลมร้อนจะไหลผ่านอาหารที่วางเป็นชั้นบางๆ (ประมาณ 2-6 ซม.) ในชั้นของถาดที่อาจจะมีรูพรุนหรือไม่มีก็ได้ ความเร็วลมที่ไหลเวียนอยู่ในช่วง 0.5-5 เมตร/วินาที มีระบบบังคับทิศทางการไหลของลมร้อนภายในเครื่องโดยใช้แผ่นเหล็กบางๆ กั้น เพื่อให้ลมร้อนไหลอย่างสม่ำเสมอและทั่วถึงทุกส่วน

การอบแห้งแบบสุญญากาศ

เป็นเครื่องอบแห้งที่เหมาะสำหรับการอบแห้งพวกเครื่องเทศ ผัก หรือผลไม้ ความดันที่ใช้ในการอบแห้งอยู่ที่ประมาณ 5 mmHg ถึง 60 mmHg ซึ่งจะทำให้น้ำเดือดที่ประมาณ $2^{\circ}C$ ถึง $40^{\circ}C$ การให้พลังงานความร้อนในที่เครื่องอบแห้งสุญญากาศ มีหลายวิธี ที่นิยมกันมากจะเป็น แผ่นถาดความร้อน Heater คลื่นไมโครเวฟ หรือคลื่นอินฟาเรด การใช้คลื่นไมโครเวฟ หรือคลื่นอินฟาเรด จะทำให้วัตถุดิบแห้งเร็ว เนื่องจากในภาวะสุญญากาศ มีค่าสัมประสิทธิ์ การนำและการพาความร้อนต่ำ ผลผลิตที่ได้จะมีสีสัน สวยงามเหมือนของสด กลิ่นหอม มีคุณค่าสารอาหารสูง การอบแห้งใช้เวลาประมาณ 3-8 ชั่วโมง ขึ้นอยู่กับชนิดและความหนาบางของวัตถุดิบ

ข้อดีของเครื่องอบแห้งสุญญากาศ

1. ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบ จะมีคุณค่าทางอาหารสูง มีรูปลักษณะเหมือนของสด
2. สามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน

3. ใช้เวลาในการอบแห้งน้อยกว่า การอบแห้งแบบธรรมดามาก

(โปรเทรด คอมเมอร์เชียล, 2554)

ปัจจัยที่มีผลต่อการทำแห้งของอาหาร

1. ธรรมชาติของอาหาร อาหารที่มีเนื้อโปร่งจะมีอัตราการทำแห้งที่เร็วกว่าอาหารที่มีเนื้อแน่นเนื่องจากมีการเคลื่อนที่แบบผ่านช่องแคบ อาหารที่มีน้ำตาลสูงจะมีอัตราการทำแห้งช้าเนื่องจากน้ำตาลทำให้เกิดความเหนียวเหนอะหนะกีดขวางการเคลื่อนที่ของน้ำ การลวก การนวดคลึงจะทำให้เซลล์แตกจึงช่วยให้ทำแห้งได้เร็วขึ้น

2. ขนาดและรูปร่าง มีผลต่อพื้นที่ผิวต่อน้ำหนัก ขนาดเล็กจะมีผลต่อพื้นที่ผิวต่อน้ำหนักมากกว่าขนาดใหญ่จึงแห้งได้เร็วกว่า

3. ตำแหน่งของอาหารในเตา น้ำในอาหารที่สามารถสัมผัสกับลมร้อนได้เร็วกว่าหรือสัมผัสกับลมร้อนที่มีความชื้นต่ำจะระเหยได้ดีกว่า

4. ปริมาณอาหารต่อถาด ปริมาณอาหารต่อถาดที่มากเกินไปจะทำให้อาหารที่อยู่ส่วนล่างไม่ได้สัมผัสกับอากาศร้อนหรือได้รับลมร้อนแต่ไอน้ำไม่สามารถแพร่กระจายผ่านอาหารที่อยู่ชั้นบนออกมาได้จึงทำให้การทำแห้งช้า

5. ความสามารถในการรับไอน้ำของอากาศร้อน อากาศร้อนที่มีไอน้ำอยู่มากแล้วจะรับไอน้ำได้น้อยมีผลทำให้อัตราการทำแห้งคงที่

6. อุณหภูมิของอากาศร้อน การเพิ่มอุณหภูมิในขณะที่อากาศมีความชื้นคงที่จะเป็นการเพิ่มความสามารถในการรับไอน้ำของอากาศร้อนมีต่อการทำแห้งในช่วงอัตราการทำแห้งคงที่

7. ความเร็วของลมร้อน เมื่อความเร็วของลมเพิ่มขึ้นทำให้การเคลื่อนย้ายของไอน้ำดีขึ้น นอกจากนั้นความเร็วลมทำให้เกิดกระแสปั่นป่วนของอากาศในเตาอากาศจึงสัมผัสกับอาหารได้ดีขึ้น

การเปลี่ยนแปลงของอาหารเนื่องจากการทำแห้ง

1. การหดตัว เกิดขึ้นเนื่องจากการสูญเสียน้ำส่วนที่แข็งจะคงสภาพได้ส่วนที่อ่อนกว่าจะเว้าลงไป การทำแห้งอย่างรวดเร็วจะทำให้อาหารหดตัวน้อยกว่าการทำแห้งแบบช้า

2. การเปลี่ยนแปลงสี อาหารที่ผ่านการทำแห้งมักจะมีสีที่เข้มขึ้นเนื่องจากความร้อนหรือเกิดจากปฏิกิริยาเคมี

3. การเกิดเปลือกแข็ง เป็นลักษณะที่ผิวอาหารแข็งเป็นเปลือกหุ้มส่วนที่ยังไม่แห้งไว้เนื่องจากช่วงแรกให้น้ำระเหยเร็วเกินไปทำให้น้ำด้านในเคลื่อนที่มาที่ผิวหน้าไม่ทันหรือมีสารละลาย

ของน้ำตาล โปรตีน เคลื่อนที่มาแข็งตัวที่ผิว สามารแก้ไขได้โดยไม่ใช้อุณหภูมิที่สูงและใช้อากาศที่มีความชื้นสูงเพื่อไม่ให้ผิวหน้าแห้งเร็วเกินไป

4. ความสามารถในการคืนสภาพ อาหารบางชนิดต้องนำมาคืนสภาพก่อนบริโภค การคืนสภาพโดยการเติมน้ำจะไม่ได้อาหารที่มีลักษณะเหมือนเดิมเนื่องจากเซลล์เสียความยืดหยุ่นของผนังเซลล์ สตาร์ชและโปรตีนเสียความสามารถในการดูดน้ำ

5. การสูญเสียคุณค่าอาหารและสารระเหย เช่นเกิดการเสื่อมสลายของวิตามินซีและแคโรทีนจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ถ้ายิ่งใช้เวลาในการทำแห้งมากการสูญเสียก็จะยิ่งมาก การสูญเสียสารระเหยเนื่องจากความร้อนทำให้กลิ่นรสของอาหารแห้งลดลงหรือแตกต่างไปจากเดิม (จิตธนา แจ่มเมฆ, 2540)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Saencom et al. (2011) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตตำลึงแผ่นอบแห้ง โดยมีการเตรียมขั้นต้นด้วยการนำไปลวกในน้ำร้อนและในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ที่ความเข้มข้น 1% 2% และ 3% w/v พบว่า การลวกใบตำลึงในสารละลาย NaCl 1% ก่อนนำไปทำแห้งแบบสุญญากาศโดยใช้ความดัน 70 kPa ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ทำให้ตำลึงแผ่นอบแห้งมีสีและเนื้อสัมผัสดี

เศรษฐการ นุชนิยม (2554) ศึกษาวิธีการเตรียมตำลึงในการผลิตน้ำตำลึงผงโดยการทำแห้งแบบเยือกแข็ง ในขั้นตอนแรกได้ศึกษาวิธีการเตรียมโดยการแปรระดับอุณหภูมิและเวลาในการลวกเพื่อยับยั้งการทำงานของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส ผลการศึกษาพบว่าการลวกผักตำลึงที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที เพียงพอที่จะยับยั้งการทำงานของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสได้

กัญจน์พัชร์ อุปลศิลป์ (2553) ศึกษาผลของอุณหภูมิ และระยะเวลาในการลวกใบเตยสดที่เหมาะสมที่สุด โดยทำการลวกด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 80 90 และ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 3 และ 5 นาที ตามลำดับ จากนั้นนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง แล้วนำผลิตภัณฑ์ใบเตยอบแห้งมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ คือ ค่าสี ค่าวอเตอร์แอกติวิตี (Aw) วิเคราะห์ทางด้านเคมี คือ ปริมาณความชื้น รวมทั้งการวิเคราะห์ทางด้านจุลินทรีย์ คือ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์ รา และปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรีย จากการศึกษาพบว่าการลวกใบเตยสด ณ อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 นาที เหมาะสมที่สุด ผู้บริโภคให้การยอมรับมากที่สุดจากวิธีการทดสอบแบบ 9-Point Hedonic Scale และมีค่าสี L a b เท่ากับ 51.08, -9.18 และ 13.74 ตามลำดับ ค่า Aw เท่ากับ 0.45 ปริมาณความชื้นร้อยละ 4.10 โดยมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดปริมาณยีสต์ รา และปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรียตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนสมุนไพรแห้ง (มผช. 480/2547) อีกทั้งมีอายุการเก็บได้อย่างน้อย 2 เดือนขึ้นไป โดยคุณสมบัติทางด้านกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ไม่เปลี่ยนแปลงมาก เป็นที่ยอมรับได้ และมีคุณภาพในระดับมาตรฐานอีกด้วย

วรรณารัตน์ ลีสุขสวัสดิ์ และคณะ (2549) ศึกษาผลของกระบวนการในการลวกที่มีต่อกิจกรรมของเอนไซม์ พอลิฟีนอลออกซิเดสในมังคุด โดยศึกษากระบวนการลวกที่อุณหภูมิ 70 80 และ 90 องศาเซลเซียส ที่เวลา1-4 นาที ผลการศึกษาพบว่าอุณหภูมิ และเวลาในการลวกสามารถลดค่ากิจกรรมของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ที่สภาวะอุณหภูมิการลวก 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที สามารถนำไปใช้ในการเตรียมขั้นต้นก่อนการออสโมซิสได้

ดุจเดือน ทิมทอง และ วรัญญา บางศรี (2555) ผลของการเตรียมขั้นต้นต่อค่าการถ่ายเทมวลสารของสาหร่ายผักกาดทะเลระหว่างการออสโมซิส และเพื่อศึกษาผลของปริมาณการเสริมธาตุเหล็กต่อค่าการถ่ายเทมวลสารและปริมาณเหล็กของสาหร่ายผักกาดทะเลที่ผ่านการออสโมซิส เตรียมขั้นต้นสาหร่ายผักกาดทะเลด้วยการลวกในน้ำเดือดเป็นเวลา 1 นาที และการแช่ภายใต้สภาวะสุญญากาศความดัน 200 mbar เป็นเวลา 10 นาที ผลการทดลองพบว่าการเตรียมขั้นต้นด้วยการลวกร่วมกับการแช่ในสภาวะสุญญากาศมีผลให้ตลอดการออสโมซิสสาหร่ายผักกาดทะเลมีปริมาณน้ำที่สูญเสียและปริมาณน้ำหนักที่ลดลงสูงที่สุด แต่มีปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นต่ำที่สุด โดยทำให้ค่าการถ่ายเทมวลสารแตกต่างจากการเตรียมขั้นต้นด้วยการลวกหรือการแช่ในสภาวะสุญญากาศเพียงอย่างเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) การออสโมซิสช่วยลดเวลาในการทำแห้งลดลงได้ ทำแห้งในสภาวะสุญญากาศ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความดัน 36 cmHg โดยใช้เวลาในการทำแห้งสาหร่ายผักกาดทะเลที่ไม่ผ่านและผ่านการออสโมซิสเท่ากับ 285 และ 249 นาที ตามลำดับ

Rodriguez et al. (2003) ได้ศึกษาผลของการเตรียมขั้นต้นด้วยวิธีออสโมซิสสาหร่าย Porphyra โดยการแช่สาหร่ายในสารละลายผสมของน้ำตาลทราย 46% โซเดียมคลอไรด์ 11% และเติมกรดซิตริกเพื่อปรับ pH ให้เป็นกรด เท่ากับ pH 3 และเติมโพแทสเซียมซอร์เบทความเข้มข้น 0.2% แช่สาหร่ายในสารละลายผสมเป็นเวลา 72 ชั่วโมง ในสภาวะกวนสารละลายตลอดเวลา ที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส แล้วนำมาอบแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส พบว่าการเตรียมขั้นต้นด้วยวิธีการออสโมซิสไม่มีผลให้สีผลิตภัณฑ์แตกต่างกับตัวอย่างที่ไม่มีการเตรียมขั้นต้น ($p>0.05$) และลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ใกล้เคียงกัน

Dermesonlouoglou et al. (2007) ศึกษาผลของการเตรียมขั้นต้นด้วยวิธีออสโมซิสต่ออายุการเก็บมะเขือเทศแช่แข็ง โดยนำมะเขือเทศมาสไลด์ตามความยาว หนา 6 มิลลิเมตร นำมะเขือเทศส่วนหนึ่งไปลวกในน้ำเดือดอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 80 วินาที อีกส่วนหนึ่ง นำมาแช่ในสารละลายออสโมติก ความเข้มข้น 56.5% (w/w) โดยใช้สารละลายออสโมติก ดังนี้ 1) กลูโคส 2) High Dextrose Equivalent Maltodextrin (HDEM) 3) oligofrutose 4) trehalose และ 5) สารละลายผสม oligofrutose – trehalose อัตราส่วน 2:1 สารละลายทั้ง 5 ชนิดมีการเติมสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 3.5% (w/w) และสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 1.5% (w/w) ทำการออสโมซิสที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง อัตราส่วนระหว่างตัวอย่างต่อสารละลายออสโมติกเท่ากับ 1:5 (w/w) หลังจากนั้นนำมะเขือเทศทั้งหมดไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -40 องศา

เซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยบรรจุในถุงpouchesm ที่ทำจากฟิล์มลามิเนต biooriented polypropylene หรือ polyethylene และศึกษาอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -12 และ -20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 6 และ 12 เดือน พบว่า การใช้สารละลายกลูโคส และHDEM ทำให้ปริมาณการสูญเสียน้ำมีค่าสูง ส่วนการใช้สารละลายกลูโคสและสารละลายผสมระหว่าง oligofrutose – trehalose ทำให้ของแข็งที่เพิ่มขึ้นมีค่าสูง ส่งผลทำให้ตัวอย่างมะเขือเทศที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นนี้มีลักษณะทางประสาทสัมผัสที่ดีเมื่อผ่านการแช่แข็งเป็นเวลา 12 เดือน เมื่อเปรียบเทียบตัวอย่างมะเขือเทศที่ไม่ได้ผ่านการออสโมซิส ทั้งที่ลวกและไม่ลวก

จิตติมณฑน์ วงศ์ษา และศิระษา เจ็งสุขสวัสดิ์ (2555) รายงานว่า ที่สภาวะความดันสุญญากาศนั้นการอบแห้งมีอัตราการอบแห้งที่สูงกว่าที่สภาวะความดันบรรยากาศ เนื่องจากที่สภาวะความดันสุญญากาศน้ำจะมีจุดเดือดต่ำกว่าที่สภาวะความดันบรรยากาศ ปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้งแบบสุญญากาศในการทดลองนี้ คือ อุณหภูมิ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลในการอบแห้งแบบสุญญากาศ กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นอัตราความชื้นลดลงได้เร็วกว่าที่อุณหภูมิต่ำ และสมการอบแห้งชั้นบางโดยรูปแบบสมการของ Page model สามารถใช้อธิบายการอบแห้งของขนุนพันธุ์ทองสุดใจได้

อาภัสสร ศิริจริยวัตร สุธิชา พืชสิงห์ และ ชาติสยาม ผลวิลัย (2558) การศึกษาอุณหภูมิในการทำแห้งสาหร่ายเทาด้วยตู้อบลมร้อนโดยใช้อุณหภูมิ 50 -70 องศาเซลเซียส พบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมในการแปรรูปสาหร่ายเทา คือ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยสาหร่ายเทาแห้งมีลักษณะเนื้อสัมผัส และปริมาณเบต้าแคโรทีนไม่ต่างจากการทำแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส แต่ใช้ระยะเวลาในการทำแห้งสั้นกว่าการใช้อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังมีค่าสีใกล้เคียงกับสาหร่ายเทาสด และมีปริมาณเบต้าแคโรทีนสูงกว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

อรภรณ์ บัวหลวง (2550) ศึกษาผลของความหนาของชั้นสาหร่ายเกลียวทองและอุณหภูมิต่อเวลา โดยอุณหภูมิอากาศต่อเวลาที่ต้องใช้เพื่อลดความชื้นให้เหลือไม่เกิน 7.5% (มาตรฐานแห้ง) หรือ 7% (มาตรฐานเปียก) โดยใช้เครื่องอบแห้งทรงกระบอก ที่อุณหภูมิ 40-60 องศาเซลเซียส ความเร็วของอากาศอบแห้งเท่ากับ 1 เมตรต่อวินาที และความหนาของชั้นสาหร่ายเท่ากับ 2 และ 4 มิลลิเมตร พบว่า เมื่ออุณหภูมิของอากาศสูงขึ้นสาหร่ายจะแห้งเร็วขึ้นเนื่องจากการถ่ายโอนความร้อนและมวลสูงขึ้น ขณะเดียวกันที่ความหนาของชิ้นสาหร่าย 4 มิลลิเมตร ใช้เวลาในการอบแห้งนานกว่าที่ความหนา 2 มิลลิเมตร ที่ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที ซึ่งอุณหภูมิในการอบแห้งเท่ากับ 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบแห้ง 12 7 และ 5 ชั่วโมง ตามลำดับ โดยทุกสภาวะสามารถลดความชื้นของสาหร่ายจาก 90% ลดลงเหลือ 6% (มาตรฐานเปียก)

Demir et al. (2004) ได้ศึกษาการทำแห้งใบลอเรล (Laurel, Bay leaf) ซึ่งเป็นพืชสมุนไพรมีใบสีเขียวและมีกลิ่นหอม โดยใช้อุณหภูมิลมร้อน 40 – 60 องศาเซลเซียส จากการศึกษาพบว่าการ

ใช้อุณหภูมิในการทำแห้ง 60 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ใบลอเรลมีค่าความแตกต่างของสีรวมไม่แตกต่างกับการใช้อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และยังลดระยะเวลาในการทำแห้งลงได้ ถึง 4 เท่า

วรรณารัตน์ ลีสุขสวัสดิ์ และคณะ (2549) ศึกษาผลของกระบวนการในการลวกที่มีต่อกิจกรรมของเอนไซม์ พอลิฟีนอลออกซิเดสในมังคุด โดยศึกษากระบวนการลวกที่อุณหภูมิ 70 80 และ 90 องศาเซลเซียส ที่เวลา 1-4 นาที ผลการศึกษาพบว่าอุณหภูมิ และเวลาในการลวกสามารถลดค่ากิจกรรมของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสได้อย่างมีนัยสาคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ที่สภาวะอุณหภูมิการลวก 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที สามารถนำไปใช้ในการเตรียมขั้นต้นก่อนการออสโมซิสได้

Doymaz (2008) ศึกษาการลวกต้นกระเทียมหั่นชิ้น (leek slice) ในน้ำร้อน 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที ก่อนการทำแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50±1 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 2.5 เมตร/นาที พบว่าตัวอย่างที่ลวกก่อนการทำแห้งใช้เวลาการทำแห้งน้อยกว่าตัวอย่างที่ไม่ลวก และลวกก่อนทำแห้งช่วยปรับปรุงความสามารถในการดูดคืนน้ำ (rehydration capcity)

Maharaj and Somkat (1996) รายงานว่า การลวกใบเผือก (dasheen leaf) ในน้ำร้อนก่อนการทำแห้งช่วยรักษาสีเขียวของผลิตภัณฑ์หลังการทำแห้งได้ดีกว่าการลวกด้วยไอน้ำและดีกว่าการไม่ลวก

สิริมา ชินสาร วิชมณี ยืนยงพุทธกาล และ นิสานารถ กระแสร์ชล (2557) ศึกษาผลของการเตรียมขั้นต้น และวิธีการในการทำแห้ง ต่อคุณภาพของขลู่ผง ขั้นตอนแรก เป็นการศึกษาผลของวิธีการเตรียมขั้นต้นที่แตกต่างกัน 3 วิธี คือ ไม่มีการเตรียมขั้นต้น (ตัวอย่างควบคุม) การลวกในน้ำ และการลวกในสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนต ความเข้มข้น 0.06% ต่อคุณภาพของขลู่ผง พบว่าวิธีการเตรียมขั้นต้นมีผลต่อค่าสี (ค่า a* และ b*) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ และคะแนนความเข้มด้านสีเขียวแตกต่างกันอย่างมีนัยสาคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ไม่มีผลต่อคะแนนความเข้มด้านกลิ่นรส ($p \geq 0.05$) โดยวิธีการเตรียมขั้นต้นที่เหมาะสมที่สุดคือ การลวกใบขลูในสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนต ซึ่งทาให้ขลู่ผงมีค่าความแตกต่างของสี (ΔE) ต่าที่สุด และได้รับคะแนนความเข้มด้านสีเขียวสูงที่สุด ($p<0.05$)

Islam and Flink (1982) ศึกษาผลของการใช้โซเดียมคลอไรด์ร่วมกับสารละลายน้ำตาลที่ใช้ในการออสโมซิสฝรั่ง พบว่า เมื่อเพิ่มระดับของโซเดียมคลอไรด์ มีผลให้ปริมาณน้ำในมันฝรั่งลดลงอย่างเห็นได้ชัด แต่ในขณะเดียวกัน ปริมาณของแข็งในมันฝรั่งก็เพิ่มขึ้นด้วยและถึงแม้ว่าการใช้โซเดียมคลอไรด์ร่วมกับซูโครสในการออสโมซิส จะทำให้อัตราการออสโมซิสเพิ่มขึ้น แต่การใช้โซเดียมคลอไรด์ต้องจำกัดปริมาณ เนื่องจากโซเดียมคลอไรด์มีรสเค็ม

นอกจากนี้ยังมีการใช้เกลือหรือกรดร่วมกับน้ำตาลซูโครสเพื่อเพิ่มอัตราการถ่ายเทมวลสาร ทั้งนี้เนื่องจากเกลือที่เติมลงไปจะช่วยเพิ่มแรงขับกลาย (Driving Force) ของสารละลาย อีกทั้งก็เกลือยังจะไปช่วยลดค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ของผลิตภัณฑ์ป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ ถึงแม้ว่าการใช้เกลือร่วมกับน้ำตาลซูโครสจะให้ผลดีและต้องใช้ในปริมาณที่พอเหมาะ เนื่องจากถ้าใช้ในปริมาณที่มากเกินไปผลิตภัณฑ์ที่ได้มีรสเค็ม

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

วัตถุดิบและสารเคมี

1. สาหร่ายพวงองุ่น (*Caulerpa Lentillifera*) ฟาร์มโชคอนัน จังหวัดเพชรบุรี

2. คลอรีน (Chlorine) บริษัท Acuchor ประเทศญี่ปุ่น

3. โซเดียมคลอไรด์ (Sodium Chloride) บริษัท Ajax Finechem ประเทศออสเตรเลีย

4. แมกนีเซียมคาร์บอเนต (Magnesium carbonate) บริษัท Fluka ประเทศไทย

5. น้ำตาลทรายขาว ตรามิตรผล ผลิตโดย บริษัท รวมเกษตรอุตสาหกรรม จำกัด

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ตู้อบลมร้อนแบบถาด (tray drier) ประเทศไทย

2. ตู้อบสุญญากาศ (Vacuum dryer) บริษัทอีเค ฟู้ดเท็ค ประเทศไทย

3. ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) Mermert รุ่น 560 ประเทศสหรัฐอเมริกา

4. เครื่องชั่งไฟฟ้า (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) Sartorius รุ่น BA 610 ประเทศเยอรมนี

5. เครื่องวัดค่าสี Hunter Lab รุ่น Mini Scan XE Plus ประเทศสหรัฐอเมริกา

6. เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส Texture analyzer รุ่น TA-XT2 ประเทศอังกฤษ

7. เครื่องวัดค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (a_w) Novasina รุ่น AG Labmaster-aw ประเทศสวิตเซอร์แลนด์

8. โถดูดความชื้น (Desiccator)

9. เครื่องวัดอุณหภูมิ

10. อุปกรณ์เครื่องแก้ว

11. อุปกรณ์งานครัว

12. เตาแก๊ส

วิธีดำเนินการวิจัย

ตอนที่1 การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของสาหร่ายพวงองุ่น

วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองนี้คือ สาหร่ายพวงองุ่นที่รับมาจากเกษตรกรผู้เพาะเลี้ยงสาหร่าย ดังนั้น เพื่อให้ทราบข้อมูลพื้นฐานทางเคมีและโภชนาการของสาหร่ายพวงองุ่นที่ใช้ในการวิจัยจึงทำการสุ่มตัวอย่างสาหร่ายพวงองุ่นที่ได้รับมาแล้ววิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ ได้แก่ ความชื้น ไขมัน โปรตีน เถ้า เยื่อใย และคาร์โบไฮเดรต รวมถึงคุณค่าทางโภชนาการ ได้แก่ ปริมาณแคลเซียม (AOAC, 1990)

ตอนที่ 2 ศึกษาผลของการเตรียมวัตถุดิบขั้นต้นที่มีต่อคุณภาพของสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้ง

2.1 ผลของการเตรียมวัตถุดิบขั้นต้นด้วยการลวกหรือแช่ต่อคุณภาพด้านสีของสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้ง

เนื่องจากสาหร่ายพวงองุ่นมีองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ซึ่งให้สีเขียวแก่ผลิตภัณฑ์ และกระบวนการผลิตที่ต้องผ่านความร้อนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของคลอโรฟิลล์และส่งผลต่อสีของผลิตภัณฑ์สุดท้าย ขั้นตอนนี้ จึงสนใจศึกษาผลของการเตรียมขั้นต้นด้วยการลวกในสารละลายชนิดต่างๆ ต่อคุณภาพด้านสีและการสูญเสียน้ำของสาหร่ายพวงองุ่น โดยแปรชนิดของสารละลายที่ใช้ในการลวกดังนี้

1) สาหร่ายพวงองุ่นสด (ตัวอย่างควบคุม)
2) การลวกในน้ำอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส
3) การลวกในสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนต 0.09 % w/w อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส
4) แช่ในสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนต 0.09 % w/w อุณหภูมิห้อง

การเตรียมสาหร่ายพวงองุ่น

ใช้สาหร่ายพวงองุ่นอายุประมาณ 2 เดือน คัดเลือกสาหร่ายพวงองุ่นที่มีลักษณะช่อที่สมบูรณ์ มีเม็ดสีเขียวเรียงตัวกันแน่น ไม่มีตำหนิ ตัดแต่งให้มีความยาวช่อเท่าๆกัน ประมาณ 5 เซนติเมตร ล้างน้ำสะอาด แช่ในสารละลายคลอรีนความเข้มข้น 0.002% เป็นเวลา 5 นาที สะเด็ดน้ำโดยวางบนตะแกรง (ดัดแปลงจาก ปภัสรา ถิระวิทยากุล และมนฤดี จันทร์แสงกุล, 2557)

การเตรียมขั้นต้น

1. การเตรียมขั้นต้นด้วยการลวกในน้ำ

นำสาหร่ายพวงองุ่นมาลวกในน้ำที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที (สิริมา ชินสาร, 2561;ร่วมกับการทดลองเบื้องต้น) กำหนดปริมาตรสารละลายที่ใช้ลวก 1 ลิตร ต่อสาหร่าย 100

กรัม เมื่อลวกครบกำหนดเวลา แช่ในน้ำเย็นทันที เป็นเวลา 3 นาที จากนั้นนำมาพักบนตะแกรง แล้วนำไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน กำหนดอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนมีความชื้นสุดท้ายไม่เกิน 10%

2. การเตรียมขั้นต้นด้วยการลวกในสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนต

นำสาหร่ายพวงองุ่นมาลวกในสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 0.09 % w/w ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที (สิริมา ชินสาร, 2561;ร่วมกับการทดลองเบื้องต้น) กำหนดปริมาตรสารละลายที่ใช้ลวก 1 ลิตร ต่อสาหร่าย 100 กรัม เมื่อลวกครบกำหนดเวลา แช่ในน้ำเย็นทันที เป็นเวลา 3 นาที จากนั้นนำมาพักบนตะแกรง แล้วนำไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน กำหนดอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนมีความชื้นสุดท้ายไม่เกิน 10%

3. การเตรียมขั้นต้นด้วยการแช่สารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนต

นำสาหร่ายพวงองุ่นมาแช่ในสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 0.09 % w/w อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 นาที (สิริมา ชินสาร, 2561;ร่วมกับการทดลองเบื้องต้น) กำหนดปริมาตรสารละลายที่ใช้ลวก 1 ลิตร ต่อสาหร่าย 100 กรัม เมื่อลวกครบกำหนดเวลา แช่ในน้ำเย็นทันที เป็นเวลา 3 นาที จากนั้นนำมาพักบนตะแกรง แล้วนำไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน กำหนดอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนมีความชื้นสุดท้ายไม่เกิน 10%

จากการทดลองเบื้องต้นพบว่าการลวกในน้ำและลวกในสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนตที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เวลา 1 นาทีและการแช่สารละลายแมกนีเซียมที่อุณหภูมิห้อง เวลา 1 นาที ไม่พบเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส จึงสามารถกำหนดเวลาที่ใช้ในการลวกและแช่ในสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนตได้ นั้นคือ 1 นาที ซึ่งจากผลการทดสอบของการทดลองเบื้องต้นพบว่า ไม่พบเอนไซม์เปอร์ออกสิเดส

การตรวจสอบคุณภาพ

1. การคืนรูปสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้ง โดยใช้สาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งจำนวน 1 ก้าน แช่ในน้ำอุณหภูมิห้อง บันทึกค่าน้ำหนักทุกๆ 5 นาที จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ คำนวณหาอัตราส่วนการดูดน้ำกลับและอัตราการดูดน้ำกลับ (ดัดแปลงจากพรพิมล เทพบรรทม, 2549) โดยมีสูตรคำนวณดังนี้

$$\text{อัตราส่วนการดูดน้ำกลับ (Rehydration ratio)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างที่เวลาใดๆ } (W_f)}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง } (W_i)}$$

$$\text{อัตราการดูดน้ำกลับ (Rate of rehydration)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างที่เวลาใดๆ}(W_t) - \text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง}(W_i)}{\text{เวลา}}$$

2. วัดค่าสีของสาหร่ายพวงองุ่นสด สาหร่ายพวงองุ่นภายหลังการลวกและแช่ และภายหลังการคืนรูป โดยวัดด้วยเครื่อง Colorimeter และรายงานเป็นค่า L*, a*, b* และคำนวณค่าความแตกต่างของสีเทียบกับสาหร่ายพวงองุ่นสด (ตัวควบคุม)

เกณฑ์การเลือก

พิจารณาเลือกสารละลายที่ใช้ในการลวกที่ทำให้ได้สาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งที่มีค่าความแตกต่างของสีต่ำที่สุด

2.2 ผลของการเตรียมวัตถุดิบขั้นต้นด้วยการออสโมซิสต่อคุณภาพด้านการคืนรูปของสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้ง

เตรียมสาหร่ายพวงองุ่น และลวกด้วยสภาวะที่คัดเลือกได้จากตอนที่ 2.1 เมื่อครบกำหนดเวลาแช่ในน้ำเย็นทันทีเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำขึ้นมาพักบนตะแกรง

เตรียมสารละลายออสโมติกโดยเตรียมในรูปสารละลายผสมของน้ำตาลทราย 40% โซเดียมคลอไรด์ 10% นำไปให้ความร้อนที่ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที แล้วปล่อยให้เย็นตัวลง (ดัดแปลงจาก Rodriguez et al., 2003)

นำสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการลวกมาแช่ในสารละลายออสโมติกที่สภาวะบรรยากาศ กำหนดอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักสาหร่ายพวงองุ่นและสารละลายออสโมติก เป็น 1: 10 แช่ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 240 นาที จากนั้นนำขึ้นมาล้างสารละลายออสโมติกที่เกาะติดที่ผิวโดยการจุ่มน้ำสะอาดแล้วยกขึ้นทันที วางบนตะแกรง ใช้กระดาษซับให้แห้ง แล้วนำไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน กำหนดอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนมีความชื้นสุดท้ายไม่เกิน 10%

การตรวจสอบคุณภาพ

นำสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นด้วยสภาวะที่คัดเลือกได้มาอบแห้ง (ตัวอย่างควบคุม) และสาหร่ายที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นด้วยสภาวะที่คัดเลือกได้มาทำการออสโมซิสและอบแห้งมาตรวจวิเคราะห์คุณภาพ

1. การคืนรูป ทำการคืนรูปในน้ำอุณหภูมิห้อง จำนวน 1 ก้าน บันทึกค่าน้ำหนักทุกๆ 5 นาที จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ คำนวณหาอัตราส่วนการดูดน้ำกลับและอัตราการดูดน้ำกลับ (ดัดแปลงจากพรพิมล เทพบรรทม, 2549)

2. ค่าสี ภายหลังการคืนรูป ด้วยเครื่อง Colorimeter และรายงานเป็นค่า L*, a*, b*

3. ค่าความแน่นเนื้อภายหลังการคืนรูป ด้วยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส Texture analyzer วัดโดยใช้แรงกด ด้วยหัววัดรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 35 มิลลิเมตร (p/35) บันทึกค่าแรงสูงสุด รายงานเป็นค่าความแน่นเนื้อ

เกณฑ์การเลือก

พิจารณาเลือกตัวอย่างที่ใช้เวลาในการคืนรูปต่ำ ค่าความแน่นเนื้อใกล้เคียงกับสาหร่ายพวงองุ่นสด และมีลักษณะของเม็ดและช่อสาหร่ายที่สมบูรณ์ร่วมกับค่าสี

ตอนที่ 3 การศึกษาผลของวิธีการอบแห้งสาหร่ายพวงองุ่น

นำสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นด้วยสภาวะที่เลือกได้จากตอนที่ 1 อบแห้งในตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซสเซียส และอบแห้งในตู้อบสุญญากาศ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสในสภาวะสุญญากาศ สุ่มตัวอย่างทุก 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60 นาที เพื่อนำมาหาความชื้น แล้วสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลา ทำนายเวลาในการทำแห้ง จากกราฟความสัมพันธ์ เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นไม่เกิน 10% เมื่อได้เวลาการอบแห้งแล้ว ดำเนินการทดลองโดยอบตัวอย่างสาหร่ายพวงองุ่นตามเวลาที่กำหนด

การวิเคราะห์คุณภาพ

1. ปริมาณความชื้น (AOAC, 1990)
2. ค่า a_w ด้วยเครื่องวัดค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (a_w)
3. ค่าสี ภายหลังการคืนรูป ด้วยเครื่อง Colorimeter และรายงานเป็นค่า L*, a*, b*
4. การคืนรูป (ดัดแปลงจากพรพิมล เทพบรรทม, 2549)
5. ค่าความแน่นเนื้อภายหลังการคืนรูป ด้วยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส Texture analyzer วัดโดยใช้แรงกดด้วยหัววัดรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 35 มิลลิเมตร (p/35) บันทึกค่าแรงสูงสุด รายงานเป็นค่าความแน่นเนื้อ
6. องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ ได้แก่ ความชื้น ไขมัน โปรตีน เถ้า เยื่อใย และคาร์โบไฮเดรต รวมถึงคุณค่าทางโภชนาการ ได้แก่ ไอโอดีน และแคลเซียม (AOAC, 1990)

เกณฑ์การเลือก

พิจารณาเลือกวิธีการอบแห้งที่ให้ผลิตภัณฑ์ภายหลังการคืนรูปใกล้เคียงกับสาหร่ายพวงองุ่นสดมากที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งด้านการคืนรูปและค่าความแน่นเนื้อ โดยพิจารณาร่วมกับค่าสี องค์ประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนาการ

วิธีการประเมินผล / สังเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ผลทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Tukey’s studentized range test ด้วยโปรแกรม Minitab version 17.0

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของสาหร่ายพวงองุ่น

วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองนี้คือ สาหร่ายพวงองุ่นที่รับมาจากเกษตรกรผู้เพาะเลี้ยงสาหร่าย ดังนั้นเพื่อให้ทราบข้อมูลพื้นฐานทางเคมีและโภชนาการของสาหร่ายพวงองุ่นที่ใช้ในการวิจัยจึงทำการสุ่มตัวอย่างสาหร่ายพวงองุ่นที่ได้รับมาแล้ววิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ ได้แก่ ความชื้น ไขมัน โปรตีน เถ้า เยื่อใย คาร์โบไฮเดรต และแคลเซียม (AOAC, 1990) ได้ผลการทดลอง ดังนี้

ตารางที่ 4-1 องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายพวงองุ่นสด

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ
ความชื้น (g/100 g)	9.68
ไขมัน (g/100 g)	2.37
โปรตีน (g/100 g)	13.60
เถ้า (g/100 g)	29.72
เยื่อใย (g/100 g)	8.12
คาร์โบไฮเดรต (g/100 g)	44.63
พลังงาน (kcal/100 g)	254.25
แคลเซียม (mg/ 100 g)	589.69

จากตารางที่ 4-1 พบว่า สาหร่ายพวงองุ่นที่ใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับงานวิจัยครั้งนี้มีปริมาณเถ้า และคาร์โบไฮเดรตสูง รวมทั้งมีปริมาณแคลเซียมสูงถึง 589.69 mg/ 100 g สาหร่ายพวงองุ่นแห้งจึงจัดได้ว่าสาหร่ายพวงองุ่นเป็นแหล่งของสารอาหารที่ดีต่อร่างกายอีกแหล่งหนึ่ง ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับรายงานของเฉลิมขวัญ เมฆสุข และสวรรยา ธรรมอภิพล (2560) ที่กล่าวว่า สาหร่ายพวงองุ่นเป็นหนึ่งในสาหร่ายที่รับประทานได้ของประเทศไทย มีคุณสมบัติทั่วไป เช่นเดียวกันกับพืชบกที่มีโปรตีนและไขมันไม่มาก มีแคลอรี่ต่ำและมีกากใยอาหารสูง แต่แตกต่างจากพืชบกตรงที่มีปริมาณวิตามินและ

เกลือแร่ที่ร่างกายมนุษย์ต้องการสูง ได้แก่ วิตามินอี และวิตามินซี แร่ธาตุ ได้แก่ แมกนีเซียม แคลเซียม และไอโอดีน

4.2 ผลของการเตรียมวัตถุดิบขั้นต้นที่มีต่อคุณภาพของสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้ง

4.2.1 ผลของการเตรียมวัตถุดิบขั้นต้นด้วยการลวกต่อคุณภาพด้านสีและการคืนรูปของสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้ง

เนื่องจากสาหร่ายพวงองุ่นมีองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ซึ่งให้สีเขียวแก่ผลิตภัณฑ์ และกระบวนการผลิตที่ต้องผ่านความร้อนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของคลอโรฟิลล์และส่งผลต่อสีของผลิตภัณฑ์สุดท้าย ขั้นตอนนี้ จึงสนใจศึกษาผลของการเตรียมขั้นต้นด้วยการลวกในสารละลายชนิดต่างๆ ต่อคุณภาพด้านสีและการดูดน้ำกลับของสาหร่ายพวงองุ่น ผลเป็นดังตารางที่ 4-2 4-3 และภาพที่ 4-1 และ 4-2

ตารางที่ 4-2 ค่าสีหลังลวกและแช่สารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนต

ตัวอย่าง	L*	a*	b*	ΔE
ตัวอย่างควบคุม(สด)	24.15 ± 1.12^{b}	-2.97 ± 0.15^{a}	13.79 ± 0.98^{b}	-
แช่ $MgCO_3$	27.41 ± 0.29^{a}	-2.27 ± 0.19^{a}	16.98 ± 0.69^{a}	7.15
ลวกน้ำ	25.74 ± 0.06^{ab}	-6.88 ± 0.01^{b}	16.48 ± 0.10^{a}	8.19
ลวก $MgCO_3$	25.58 ± 1.66^{ab}	-6.92 ± 0.72^{b}	16.20 ± 1.41^{ab}	7.79

$^{a, b, c}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4-3 ค่าสีหลังการคืนรูปของตัวอย่างลวกและแช่สารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนต

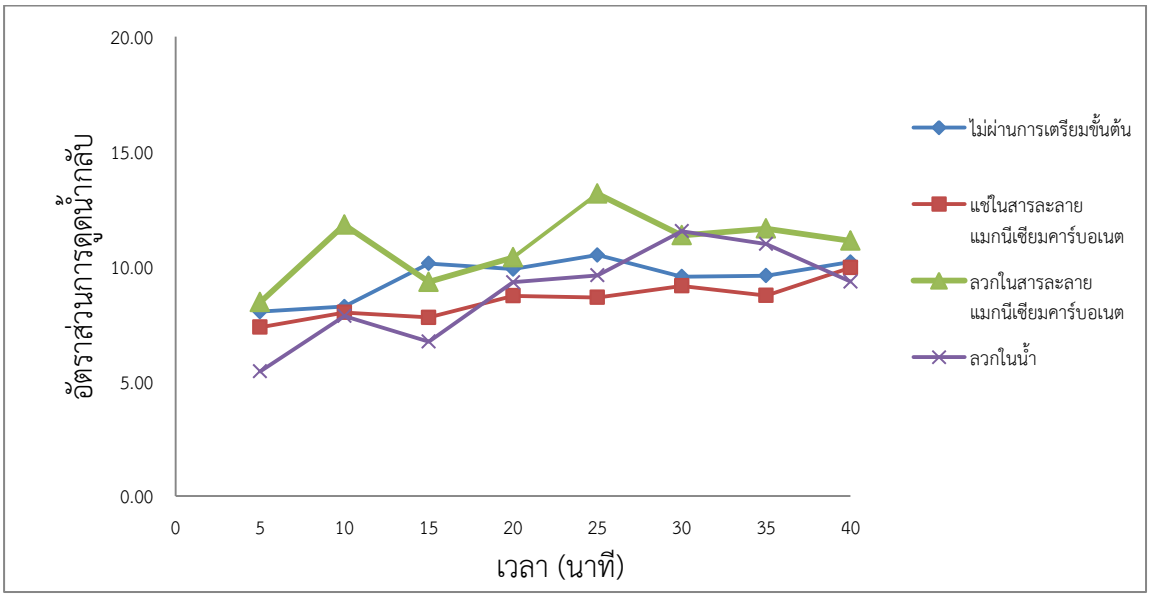
ตัวอย่าง	L*	a*	b*	ΔE	tan-1(b*/a*)	Hue
ควบคุม(สาหร่ายสด)	24.15±1.12.^{ab}	-2.97±0.15^{a}	13.79±0.98^{b}		-77.84	102.19
ตัวอย่างสดอบแห้ง	25.52±1.52^{a}	-2.50±0.09^{a}	15.24±1.16^{ab}	3.29	-80.68	99.32
แช่ $MgCO_3$	22.31±0.47^{b}	-4.10±0.09^{b}	15.03±0.22^{ab}	3.36	-74.71	112.56
ลวก $MgCO_3$	23.10±0.35^{ab}	-6.51±0.20^{c}	16.90±0.19^{a}	7.7	-68.93	111.07
ลวกน้ำ	25.14±0.49^{a}	-6.54±0.38^{c}	15.74±0.29^{a}	7.6	-67.44	105.29

$^{a, b, c}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

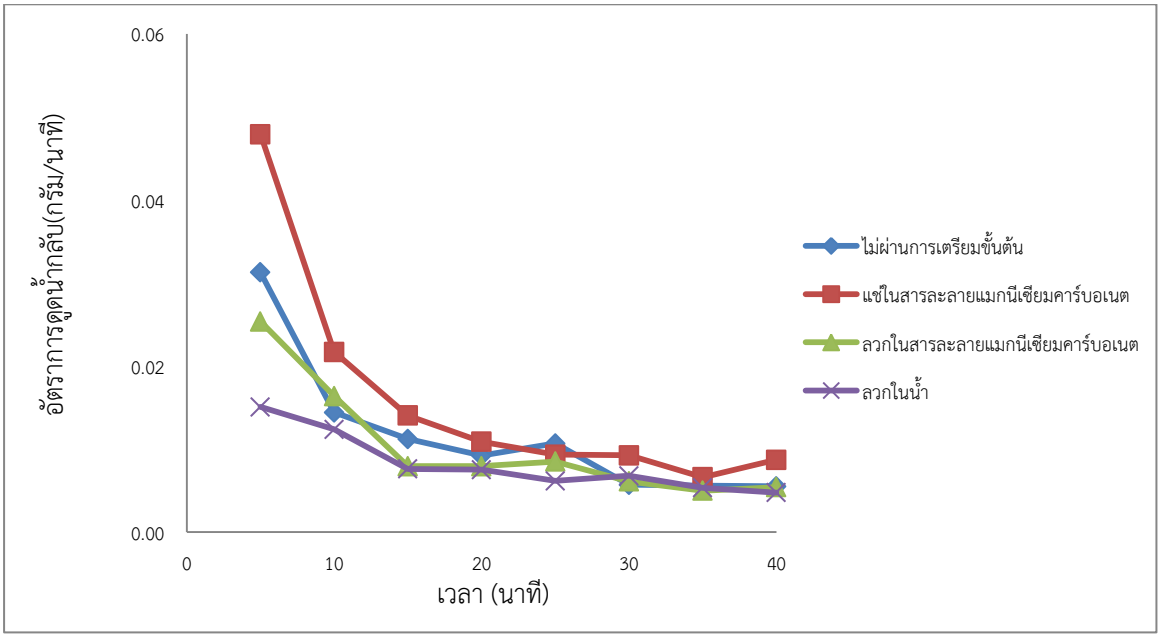
จากตารางที่ 4-2 และ 4-3 พบว่า ภายหลังการลวกและแช่สารละลาย สาหร่ายพวงองุ่นมีค่า L* และ b* ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) แต่สาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการแช่สารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนตมีค่า L* สูงกว่าสาหร่ายพวงองุ่นสดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) และสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการลวกด้วยน้ำและแช่สารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนตมีค่า b* สูงกว่าสาหร่ายพวงองุ่นสดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) แต่เมื่อพิจารณาค่า a* พบว่า สาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการลวกด้วยน้ำและสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนตที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส มีค่า a* ต่ำกว่าสาหร่ายพวงองุ่นสดและสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการแช่ในสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) นั่นแสดงให้เห็นว่าสาหร่ายที่ผ่านการลวกที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสทั้ง 2 ตัวอย่างมีค่าความเป็นสีเขียวสูงกว่าตัวอย่างอื่นๆ ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ค่าสีของสาหร่ายพวงองุ่นภายหลังการคืนรูป ตารางที่ 4-3 ที่พบว่า สาหร่ายที่ผ่านการลวกที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสทั้ง 2 ตัวอย่างมีค่าความเป็นสีเขียวสูงกว่าสาหร่ายพวงองุ่นสด สาหร่ายพวงองุ่นที่ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้นก่อนอบแห้ง และสาหร่ายพวงองุ่นที่แช่ในสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ทั้งนี้เนื่องจากการลวกที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำงานของเอนไซม์คลอโรฟิลเลส ซึ่งอยู่ในช่วง 60-82.2 องศาเซลเซียส เอนไซม์ชนิดนี้เร่งให้เกิดการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ คือ เอนไซม์คลอโรฟีลเลส (chlorophyllase) โดยเร่งให้หมู่ไฟตอลแตกตัวออกจากคลอโรฟิลล์เปลี่ยนไปเป็น คลอโรฟีลไลด์ (chlorophyllide) ที่มีสีเขียวสด และละลายน้ำได้ดีกว่าคลอโรฟิลล์ (ปราณี มีศิริสุข, 2553) เมื่อพิจารณาค่า Hue พบว่า ตัวอย่างที่ผ่านการลวกในน้ำอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส มีค่า Hue 105.29 ใกล้เคียงกับตัวอย่างสด ที่มีค่า Hue 102.19

ผลการคืนรูปของสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นด้วยสภาวะต่างๆ แสดงค่าอัตราส่วนการดูดน้ำกลับ (Rehydration ratio) และอัตราการดูดน้ำกลับ (Rate of rehydration) ดังภาพที่ 4-1 และ 4-2 ตามลำดับ



ภาพที่ 4-1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการดูดน้ำกลับกับเวลาของสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นด้วยสภาวะต่างๆ



ภาพที่ 4-2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการดูดน้ำกลับกับเวลาของสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นด้วยสภาวะต่างๆ

จากผลการทดลองในภาพที่ 4-1 และ ภาพที่ 4-2 พบว่า สาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นด้วยสภาวะต่างๆ ช่วง 5 – 10 นาทีแรก จะมีค่าอัตราการดูดน้ำกลับเข้าสู่เซลล์สาหร่ายพวงองุ่นได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากการทำแห้งมีผลต่อการดูดน้ำกลับเข้าไปในเซลล์ ทั้งนี้เป็นเพราะเซลล์ของสาหร่ายพวงองุ่นมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพในระหว่างการทำแห้งทำให้เกิดการหดตัว มีการเสียรูปร่างของเซลล์ และในการทำแห้งที่อุณหภูมิสูงจะก่อให้เกิดลักษณะแข็งที่ผิวที่เรียกว่า Case hardening นั้นคือ เมื่อตัวอย่างอาหารถูกการทำแห้งด้วยอุณหภูมิสูงนั้น โครงสร้างเซลล์บริเวณผิวภายนอกของผลิตภัณฑ์จะแข็งอย่างรวดเร็ว เมื่อขอบเขตของการทำแห้งเคลื่อนย้ายเข้าสู่บริเวณใจกลางของชิ้นอาหาร การหดตัวของชิ้นอาหารภายในจะก่อให้เกิดการแตกแยกที่ผิวเกิดเป็นรอยปริเล็กๆมากมาย ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีความหนาแน่นต่ำทำให้การดูดน้ำกลับคืนเพื่อให้กลับสู่สภาพเดิมเป็นไปได้อย่างรวดเร็ว (พรพิมล เทพบรรทม, 2549) และสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นด้วยการลวกในสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนต พบว่ามีค่าอัตราการดูดน้ำกลับมากที่สุดและมีค่าอัตราส่วนการดูดน้ำกลับที่ดีที่สุด คือ ช่วงเวลาที่ 25 นาที ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีค่าอัตราส่วนการดูดน้ำกลับและมีค่าอัตราการดูดน้ำกลับมากกว่า การเตรียมขั้นต้นด้วยสภาวะอื่นๆ ภายหลังการคืนรูป เนื่องมาจากผลจากความแตกต่างของความเข้มข้นของสารภายในเซลล์มีความเข้มข้นของสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนต ส่งผลให้เกิดการแพร่ของน้ำเข้าสู่เซลล์อย่างรวดเร็ว และผลของการลวกก่อนการทำแห้ง เป็นการทำให้เนื้อเยื่อของผักผลไม้นุ่มขึ้นและมีปริมาตรลดลง (วิไล รังสาดทอง, 2546)

จากผลการทดลองทั้งหมดสามารถเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมขั้นต้น คือ การลวกในน้ำ อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เวลา 1 นาที

4.2.1 ผลของการเตรียมวัตถุดิบขั้นต้นด้วยการออสโมซิสต่อคุณภาพด้านสีและการคืนรูปของสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้ง

จากการวิเคราะห์ค่าการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิส ได้แก่ ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (Water loss; WL) และ ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (Solid gain; SG) พบว่า สาหร่ายพวงองุ่นมีการสูญเสียน้ำอย่างรวดเร็วในช่วง 5 นาทีแรกของการออสโมซิส จากนั้นค่าจะคงที่อยู่ที่ 96-97% สอดคล้องกับปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นที่จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 5 นาทีแรกเช่นกันจากนั้นจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จนกระทั่งคงที่ที่เวลาในการออสโมซิส 30 นาที จะมีค่า SG สูงที่สุดอยู่ที่ 0.94% จากนั้นจะคงที่ตลอดช่วงระยะเวลาของการออสโมซิส ดังนั้น จึงกำหนดระยะเวลาที่เหมาะสมในการออสโมซิสที่ 30 นาที เนื่องจากต้องการให้มีปริมาณของแข็งได้แก่ น้ำตาลและเกลือเข้าไปในเซลล์ของสาหร่ายให้มากที่สุดเพื่อช่วยเพิ่มความแข็งแรงของเซลล์สาหร่ายภายหลังการอบแห้งและการคืนรูป เป็นการรักษาสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของสาหร่ายพวงองุ่นให้มีความแน่นเนื้อใกล้เคียงกับสาหร่ายสดให้มากที่สุด

เมื่อนำสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการออสโมซิสตามเวลาดังกล่าวมาทำการอบแห้งและคืนรูป ผลการวิเคราะห์คุณภาพด้านสี อัตราการคืนรูป และเนื้อสัมผัส ให้ผลดังตารางที่ 4-4 4-5 และภาพที่ 4-3 และ 4-4 ดังนี้

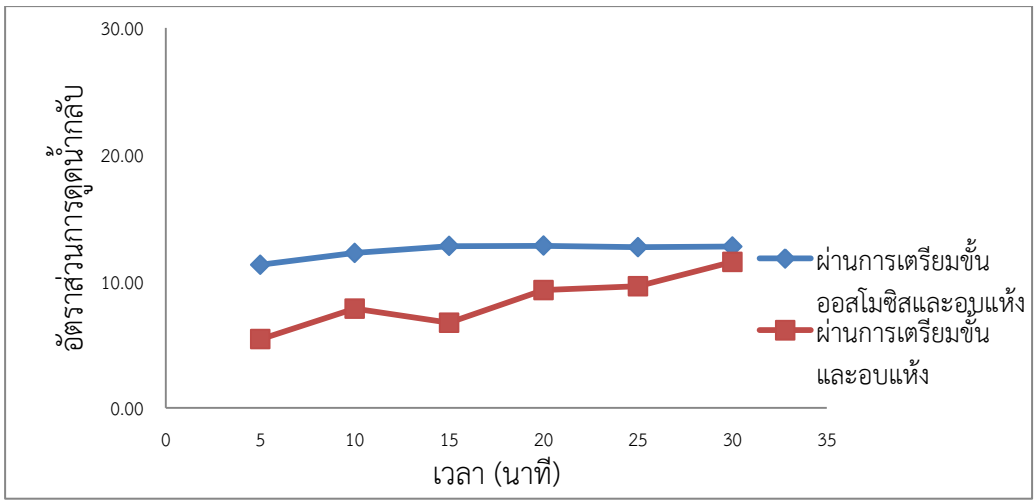
ตารางที่ 4-4 ค่าสีภายหลังการคืนรูปของสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้ง และสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการออสโมซิสและอบแห้ง เปรียบเทียบกับสาหร่ายพวงองุ่นสด

สภาวะในการเตรียมขั้นต้น	L*	a*	b*
สาหร่ายพวงองุ่นสด (ควบคุม)	27.91±0.93[a]	-5.30±0.28[a]	13.72±0.30[c]
สาหร่ายพวงองุ่นอบแห้ง	23.02±0.25[b]	-8.95±0.38[b]	15.53±0.13[b]
สาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการออสโมซิส	26.71±0.14[a]	-10.92±0.11[c]	18.97±0.16[a]

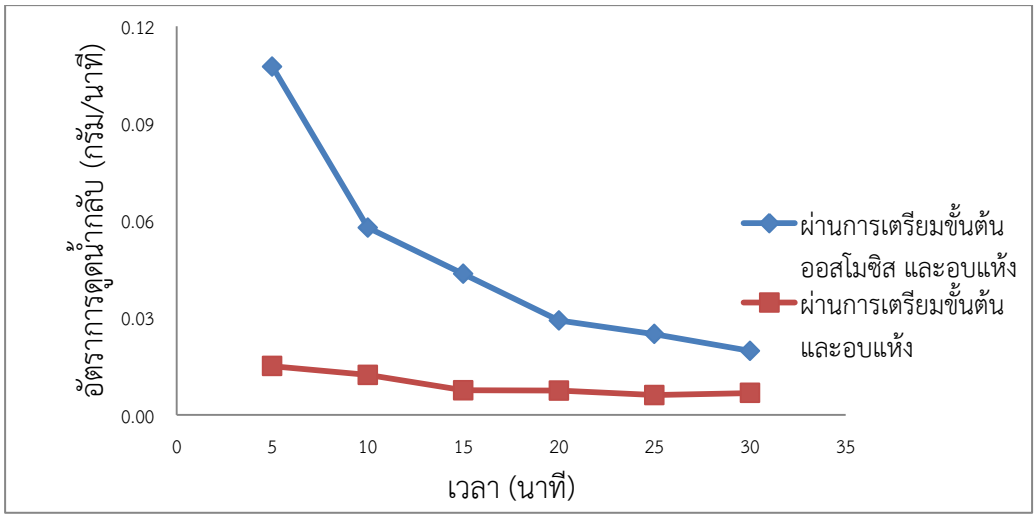
[a b c,...] ในแนวคอลัมน์เดียวกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4-4 พบว่า สาหร่ายพวงองุ่นภายหลังการคืนรูปที่ผ่านการออสโมซิสก่อนอบแห้งมีค่า L* ไม่แตกต่างจากสาหร่ายพวงองุ่นสด แต่มีค่าความเป็นสีเขียวและสีเหลืองสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องจากสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการออสโมซิสมีปริมาณของแข็งสูงกว่าตัวอย่างอื่นๆ และโมเลกุลของน้ำตาลเมื่อผ่านการให้ความร้อนระหว่างการทำแห้งอาจทำให้น้ำตาลมีสีน้ำตาลเข้มขึ้นส่งผลให้ค่าสีเหลืองสูงกว่าตัวอย่างอื่นๆ อย่างชัดเจน ประกอบกับปริมาณของแข็งที่มากขึ้นทำให้เกิดการกระเจิงแสงที่เปลี่ยนไปทำให้ค่าสีของสาหร่ายเปลี่ยนแปลงไปด้วย

เมื่อพิจารณาค่าการดูดน้ำกลับ ดังภาพที่ 4-3 และ 4-4 พบว่า พบว่าสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการออสโมซิสและอบแห้ง มีค่าอัตราส่วนการดูดน้ำกลับที่ดีที่สุด คือ ช่วงเวลา 15 นาที และจากภาพที่ 4-4 เมื่อเปรียบเทียบค่าอัตราการดูดน้ำกลับของสาหร่ายพวงองุ่นที่อบแห้ง และสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการออสโมซิสและอบแห้ง จะเห็นได้ว่าสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการออสโมซิสและอบแห้ง มีค่าอัตราการดูดน้ำกลับในช่วง 5-10 นาทีแรกสูงกว่า เนื่องจากผลของการออสโมซิสทำให้ภายในเซลล์มีความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกสูงมาก ส่งผลให้เกิดการแพร่ของน้ำเข้าสู่เซลล์อย่างรวดเร็ว และการทำแห้งมีผลต่อการดูดน้ำกลับเข้าไปในชิ้นอาหารทั้งนี้เป็นชิ้นอาหารเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพในระหว่างการแห้งทำให้เกิดการหดตัวมีการเสียรูปร่างของเซลล์ และในการทำแห้งที่อุณหภูมิสูงจะก่อให้เกิดลักษณะแข็งที่ผิวที่เรียกว่า Case hardening นั้นคือ เมื่อตัวอย่างอาหารถูกการทำแห้งด้วยอุณหภูมิสูงนั้น โครงสร้างเซลล์บริเวณผิวภายนอกของผลิตภัณฑ์จะแข็งอย่างรวดเร็ว เมื่อขอบเขตของการทำแห้งเคลื่อนย้ายเข้าสู่บริเวณใจกลางของชิ้นอาหาร การหดตัวของชิ้นอาหารภายในจะก่อให้เกิดการแตกแยกที่ผิวเกิดเป็นรอยปริเล็กๆมากมาย ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีความหนาแน่นต่ำทำให้การดูดน้ำกลับคืนเพื่อให้กลับสู่สภาพเดิมเป็นไปได้อย่างรวดเร็ว (พรพิมล เทพบรรทม, 2549) จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้ง ใช้เวลาในการคืนรูปมากกว่าเป็นเวลา 30 นาที เนื่องจากไม่ผ่านการออสโมซิสจึงทำให้น้ำผ่านเข้าไปยังเซลล์ได้ช้า เพราะไม่มีแตกต่างของความเข้มข้นสารละลายออสโมติกภายในเซลล์ โดยที่สาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการออสโมซิสและอบแห้ง ใช้เวลาในการคืนรูป 15 นาที ซึ่งใช้เวลาในการคืนรูปน้อยกว่าสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้ง (ตัวอย่างควบคุม)



ภาพที่ 4-3 อัตราส่วนการดูดน้ำกลับของสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้ง และสาหร่ายพวงองุ่นผ่านการออสโมซิสและอบแห้ง



ภาพที่ 4-4 อัตราการดูดน้ำกลับของสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้ง และสาหร่ายพวงองุ่นผ่านการ ออสโมซิสและอบแห้ง

เมื่อพิจารณาค่าความแน่นเนื้อ พบว่า สาหร่ายพวงองุ่นสด มีค่าความแน่นเนื้อน้อยกว่าหรือมีเนื้อสัมผัสที่นิ่มกว่า สาหร่ายพวงองุ่น ผ่านการเตรียมขั้นต้นและอบแห้ง และสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการเตรียมขั้นต้น ออสโมซิสและอบแห้ง เนื่องจากสาหร่ายพวงองุ่น ผ่านการเตรียมขั้นต้นและอบแห้ง และสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการเตรียมขั้นต้น ออสโมซิสและอบแห้ง ผ่านการแปรรูปโดยการทำแห้งมีผลต่อการดูดน้ำกลับเข้าไปในชิ้นอาหารทั้งนี้เป็นชิ้นอาหารเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพในระหว่างการแห้งทำให้เกิดการหดตัวมีการเสียรูปร่างของเซลล์ (กฤษณ์ จันท์โชติกุล, 2545) เมื่อคืนรูปกลับมาจึงไม่สามารถคงสภาพของเซลล์ให้มีลักษณะคล้ายสาหร่ายสดได้ เนื่องจากเมื่อผ่านการลวก

อาจสูญเสียลักษณะเนื้อสัมผัสจากการเกิดเจลของสารหมู่คาร์โบไฮเดรต การตกผลึกของเซลลูโลส และการเปลี่ยนแปลงความชื้นระหว่างการทำแห้งส่วนต่างๆ ของอาหารทำให้เกิดความเครียดภายใน ปัจจัยเหล่านี้จะเปลี่ยนให้รูปร่างเซลล์ที่ค่อนข้างแข็งไปเป็นอาหารที่มีลักษณะเหี่ยวย่น เมื่อดูดน้ำกลับคืน จะไม่มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่แน่นเหมือนวัตถุดิบเดิม (วิไล รังสาดทอง, 2546) แต่จากแนวโน้มของค่าความแน่นเนื้อสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการเตรียมขั้นต้น ออสโมซิสและอบแห้ง มีค่าความแน่นเนื้อใกล้เคียงกับค่าความแน่นเนื้อของสาหร่ายสด เนื่องมาจากการสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการเตรียมขั้นต้น ออสโมซิสและอบแห้ง สามารถคืนรูปได้ดีกว่าสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นและอบแห้ง เพราะเกิดจากการระเหยของน้ำทำให้สารละลายออสโมติกที่ผิวอาหารมีความเข้มข้นมากขึ้น ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและกายภาพอย่างซับซ้อนที่ผิวหน้าอาหารและทำให้เกิดผิวแห้งแข็ง (case hardening) (วิไล รังสาดทอง, 2546) และผลของสารละลายออสโมติกของน้ำตาลและเกลือที่ช่วยให้โครงสร้างของเซลล์มีความแข็งแรงและทำให้มีค่าความแน่นเนื้อใกล้เคียงกับสาหร่ายพวงองุ่นสด

ตารางที่ 4-5 ค่าความแน่นเนื้อ (Firmness) ภายหลังการคืนรูปของสาหร่ายพวงองุ่นสด สาหร่ายพวงองุ่นอบแห้ง และสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการออสโมซิสและอบแห้ง

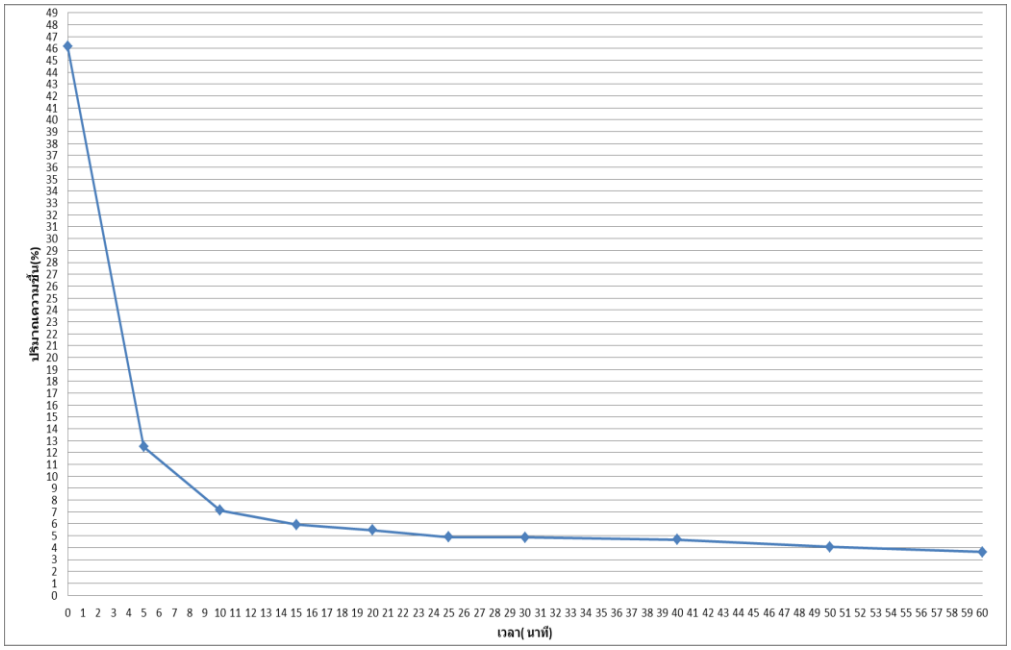
สภาวะในการเตรียมขั้นต้น	ความแน่นเนื้อ (N)
สาหร่ายพวงองุ่นสด (ควบคุม)	116.67±0.97[c]
สาหร่ายพวงอบแห้ง	382.66±0.83[a]
สาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการออสโมซิสและอบแห้ง	174.65±0.65[b]

[a b c,...] ในแนวคอลัมน์เดียวกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

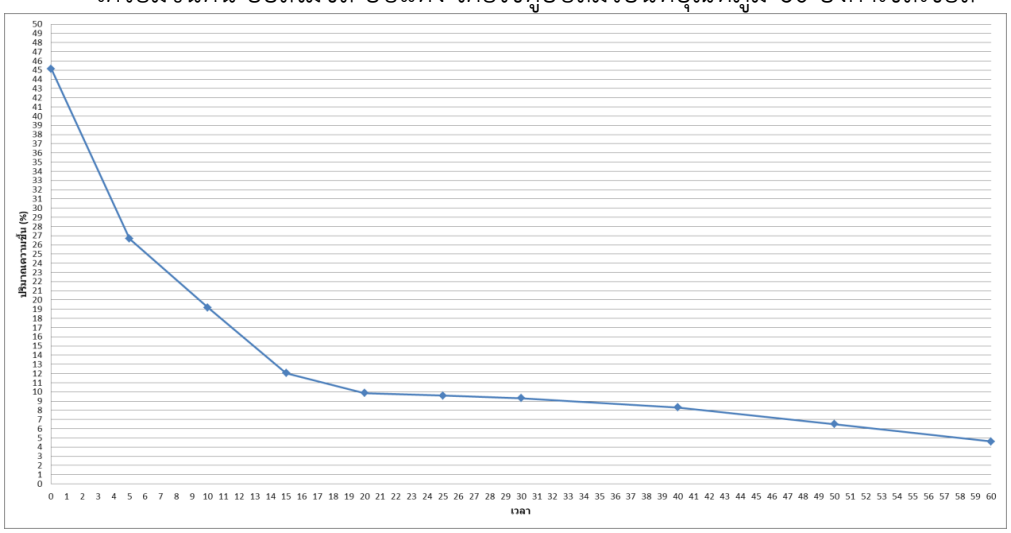
ดังนั้น สาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการออสโมซิสเมื่ออบแห้งและนำมาคืนรูป เป็นตัวอย่างที่ใช้เวลาในการคืนรูปต่ำ มีค่าความแน่นเนื้อใกล้เคียงกับสาหร่ายพวงองุ่นสด และมีลักษณะของเม็ดและช่อสาหร่ายที่สมบูรณ์ และมีสีเขียวที่สดมากขึ้น จึงเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งของขั้นตอนต่อไป

4.2 ผลของวิธีการอบแห้งต่อคุณภาพของสาหร่ายพวงองุ่นภายหลังการคืนรูป

จากการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลาในการทำแห้งของสาหร่ายพวงองุ่นที่อบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และตู้อบสุญญากาศอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความดัน 46 cmHg แสดงดังภาพที่ 4-5 และ 4-6



ภาพที่ 4-5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลาในการทำแห้งสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการเตรียมขั้นต้น ออสโมซิส อบแห้ง โดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4-6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลาในการทำแห้งสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการเตรียมขั้นต้น ออสโมซิส อบแห้ง โดยใช้ตู้อบสุญญากาศ 50 องศาเซลเซียส ความดัน 46 cmHg

ตารางที่ 4-6 เวลาในการอบแห้งของสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการเตรียมขั้นต้น ออสโมซิสและอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และตู้อบสุญญากาศอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความดัน 46 cmHg

วิธีอบแห้ง	เวลาในการอบแห้ง (นาที)	ความชื้น(%)	ค่า a_w
ตู้อบลมร้อน	9	8.33	0.446
ตู้อบสุญญากาศ	40	8.13	0.613

จากกราฟความสัมพันธ์ของความชื้นกับเวลาสามารถหาระยะเวลาในการอบแห้งของสาหร่ายพวงองุ่น ได้ดังตารางที่ 4-6 คือ การอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบแห้ง 9 นาที สาหร่ายมีความชื้นภายหลังการอบแห้ง 8.33% ค่า a_w 0.446 และการอบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความดัน 46 cmHg ใช้เวลา 40 นาที สาหร่ายมีความชื้นสุดท้าย 8.13% และค่า a_w 0.613 ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานด้านความชื้นของอาหารแห้ง ที่กล่าวว่าอาหารแห้งควรมีความชื้นไม่เกิน 12% และมีค่า a_w ไม่เกิน 0.6 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2558) เพื่อป้องกันและควบคุมจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสื่อมเสีย ทั้งจาก รา ยีสต์ และแบคทีเรียและยังเป็นสภาวะที่ไม่เอื้อต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมีอาหาร

จากนั้นเมื่อนำสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งไปวิเคราะห์คุณภาพด้านต่างๆ ผลที่ได้แสดงดังนี้

ตารางที่ 4-7 ค่าสีภายหลังการคืนรูปของสาหร่ายพวงองุ่นสด สาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการเตรียมขั้นต้น ออสโมซิสและอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสและตู้อบสุญญากาศอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความดัน 46 cmHg

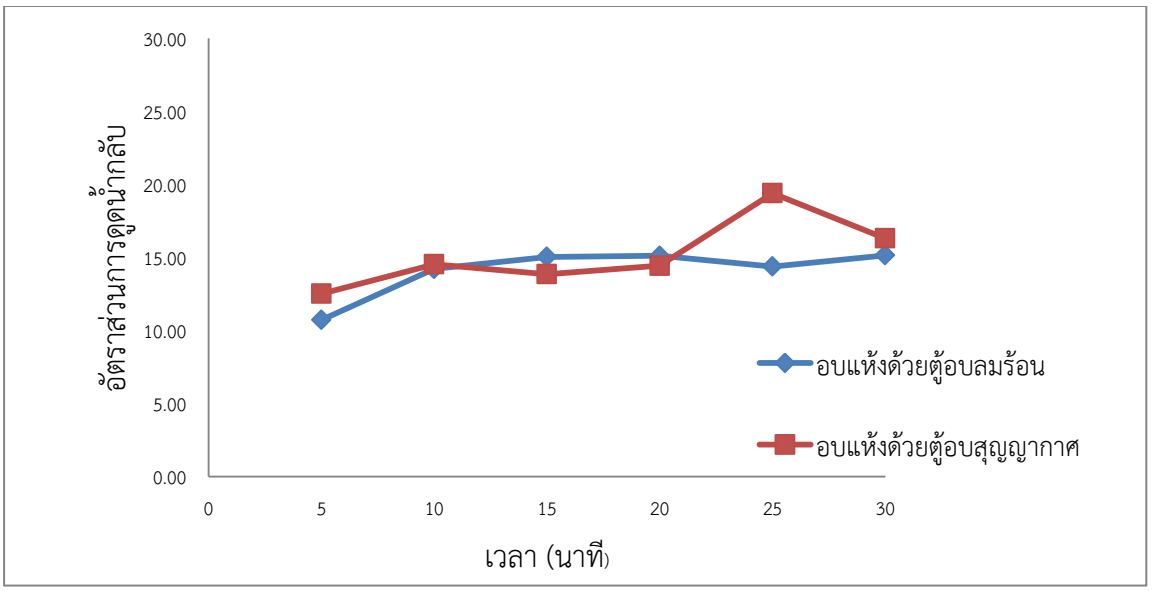
วิธีอบแห้ง	L*	a*	b*
สาหร่ายพวงองุ่นสด (ควบคุม)	27.91 ± 0.93^{a}	-5.30 ± 0.28^{a}	13.72 ± 0.30^{ab}
ตู้อบลมร้อน	23.82 ± 0.36^{a}	-9.90 ± 0.14^{b}	16.18 ± 0.35^{a}
ตู้อบสุญญากาศ	25.46 ± 4.30^{a}	-6.54 ± 1.75^{a}	10.20 ± 3.55^{b}

$^{a\ b\ c,\ldots}$ ในแนวคอลัมน์เดียวกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

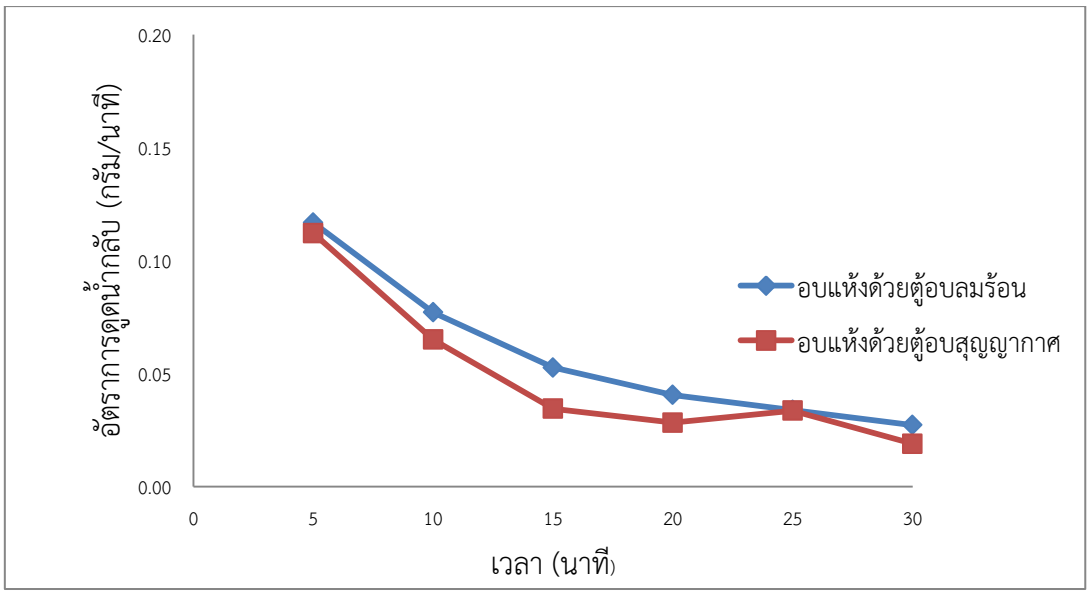
จากผลการทดลองในตารางที่ 4-7 พบว่า ค่า L* ของสาหร่ายพวงองุ่นสด (ควบคุม) และสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการเตรียมขั้นต้น ออสโมซิสและอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน และสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการเตรียมขั้นต้น ออสโมซิสและอบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่จากค่า a* ของสาหร่ายพวงองุ่นสาหร่ายพวงองุ่นสด (ควบคุม) และสาหร่ายพวง

องุ่นที่ผ่านการเตรียมขั้นต้น ออสโมซิสและอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน และสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการเตรียมขั้นต้น ออสโมซิสและอบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยจากแนวโน้มของค่าจะพบว่า สาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการเตรียมขั้นต้น ออสโมซิสและอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน มีค่าความเป็นสีเขียวมากที่สุด อาจเกิดขึ้นจากอุณหภูมิในการอบของตู้อบลมร้อนนั้น คือ 60 องศาเซลเซียส ที่ไปกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์คลอโรฟีเลส ซึ่งมีช่วงอยู่ระหว่าง 60-82.2 องศาเซลเซียส ซึ่งเอนไซม์นี้จะเปลี่ยนคลอโรฟิลล์ซึ่งมีสีเขียวไปเป็นคลอโรฟิลล์ไลด์ จะทำให้มีสีเขียวที่สดขึ้น (ปราณี ศิริสุข, 2553)

จากการทดลอง พบว่าสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการเตรียมขั้นต้น ออสโมซิสและอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสและตู้อบสุญญากาศอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความดัน 46 cmHg เมื่อนำมาคืนรูป จะมีอัตราส่วนการดูดน้ำกลับ (Rehydration ratio) และ อัตราการดูดน้ำกลับ (Rate of rehydration) แสดงดังภาพที่ 4-7 ถึง 4-8



ภาพที่ 4-7 อัตราส่วนการดูดน้ำกลับของสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และตู้อบสุญญากาศอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความดัน 46 cmHg



ภาพที่ 4-8 อัตราการดูดน้ำกลับของสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และตู้อบสุญญากาศ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความดัน 46 cmHg

จากผลการทดลองในภาพที่ 4-8 จะเห็นได้ว่าในช่วง 5 นาทีแรกของการอบแห้งทั้งสองวิธีนั้น สาหร่ายพวงองุ่นมีค่าอัตราการดูดน้ำกลับที่ใกล้เคียงกัน แต่จากแนวโน้มของค่า พบว่า สาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการเตรียมขั้นต้น ออสโมซิสและอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีค่าอัตราการดูดน้ำกลับมากกว่าสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการเตรียมขั้นต้น ออสโมซิสและอบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความดัน 46 cmHg และจากผลการทดลองในภาพที่ 4-7 พบว่าสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นออสโมซิสและอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีค่าอัตราส่วนการดูดน้ำกลับที่ดีที่สุด คือ ช่วงเวลาที่ 15 นาที และ สาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการเตรียมขั้นต้น ออสโมซิสและอบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความดัน 46 cmHg มีค่าอัตราส่วนการดูดน้ำกลับที่ดีที่สุด คือ ช่วงเวลาที่ 25 นาที โดยการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนใช้เวลาในการคืนรูปที่ต่ำกว่า เมื่อตัวอย่างอาหารถูกการทำแห้งด้วยอุณหภูมิสูงนั้น โครงสร้างเซลล์บริเวณผิวภายนอกของผลิตภัณฑ์จะแข็งอย่างรวดเร็ว เมื่อขอบเขตของการทำแห้งเคลื่อนย้ายเข้าสู่บริเวณใจกลางของชิ้นอาหาร การหดตัวของชิ้นอาหารภายในจะก่อให้เกิดการแตกแยกที่ผิวเกิดเป็นรอยปริเล็กๆมากมาย ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีความหนาแน่นต่ำทำให้การดูดน้ำกลับคืนเพื่อให้กลับสู่สภาพเดิมเป็นไปได้อย่างรวดเร็ว (พรพิมล เทพบรรทม, 2549) และการทำแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศใช้เวลานานกว่าในการคืนรูป เพราะการใช้สภาวะสุญญากาศเป็นการลดความดันอากาศลง และเป็นการใช้แรงกลในการทำลายเซลล์มีผลทำให้เซลล์ยุบตัวลง (ดุจเดือน ทิมทอง และ วรัญญา บางศรี, 2555) เนื้อเยื่อมีโอกาสเกิดการซ้อนทับกันจึงไม่เอื้อต่อการแพร่ของน้ำเข้าสู่เซลล์ ทั้งนี้อาจเกิดจากการที่ใช้เวลาอบแห้งนาน ทำให้เซลล์เกิดความเสียหายจากการรับความร้อนที่นานเกินไป เป็นผลทำให้ใช้เวลาการคืนรูปช้ากว่าเมื่อเทียบกับการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน

ตารางที่ 4-8 ค่าความแน่นเนื้อ (Firmness) ภายหลังการคืนรูปของสาหร่ายพวงองุ่นสด สาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสและตู้อบสุญญากาศอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความดัน 46 cmHg

วิธีการในการอบแห้ง	ความแน่นเนื้อ (N)
สาหร่ายพวงองุ่นสด (ควบคุม)	116.67 ± 0.97^{c}
ตู้อบลมร้อน	167 ± 18.67^{b}
ตู้อบสุญญากาศ	229.58 ± 23.26^{a}

$^{a\ b\ c,\ldots}$ ในแนวคอลัมน์เดียวกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เมื่อเปรียบเทียบค่าความแน่นเนื้อของสาหร่ายพวงองุ่นสด (ควบคุม) สาหร่ายพวงองุ่น ผ่านการเตรียมขั้นต้นและอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน และสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการเตรียมขั้นต้น ออสโมซิสและอบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการอบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศ มีค่าความแน่นเนื้อมากกว่าหรือมีเนื้อสัมผัสที่แข็งกว่าสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน และสาหร่ายพวงองุ่นสด เนื่องจากการอบด้วยสภาวะสุญญากาศเป็นการใช้แรงกลในการทำลายเซลล์ และการใช้ระยะเวลาในการทำแห้งนาน ทำให้ตัวอย่างสัมผัสกับความร้อนนานเกินไป ส่งผลให้โครงสร้างของเซลล์ถูกทำลาย และการลดลงของความดันในสภาวะสุญญากาศทำให้โครงสร้างภายในเซลล์ถูกบีบอัดยุบตัวลงและอากาศในช่องระหว่างเซลล์อาจถูกดูดออกมาด้วย (ดุจเดือน ทิมทอง และ วรัญญา บางศรี, 2555) ซึ่งเนื้อเยื่ออาจมีโอกาสเกิดการซ้อนทับกันจึงไม่เอื้อต่อการแพร่ของน้ำเข้าสู่เซลล์ ทำให้ไม่สามารถคืนตัวกลับคืนมาได้ใกล้เคียงกับสาหร่ายพวงองุ่นสด โดยสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ใช้เวลาในการอบสั้นกว่า จึงทำให้ตัวอย่างสัมผัสกับความร้อนได้น้อยกว่า โครงสร้างของเซลล์จึงไม่ถูกทำลายมาก ส่งผลให้มีค่าความแน่นเนื้อใกล้เคียงกับสาหร่ายพวงองุ่นสดมากกว่า

เมื่อนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ ได้แก่ ความชื้น ไขมัน โปรตีน เถ้า เยื่อใย และคาร์โบไฮเดรต รวมถึงคุณค่าทางโภชนาการ ได้แก่ ไอโอดีน และแคลเซียม พบว่า สาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสมีองค์ประกอบต่างๆ ดังนี้

ตารางที่ 4-9 องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้ง

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ
ความชื้น (g/100 g)	10.51
ไขมัน (g/100 g)	1.41
โปรตีน (g/100 g)	5.44
เถ้า (g/100 g)	15.21
เยื่อใย (g/100 g)	7.99
คาร์โบไฮเดรต (g/100 g)	67.43
พลังงาน (kcal/100 g)	304.17
แคลเซียม (mg/ 100 g)	70.97

จากตารางที่ 4-9 พบว่า สาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนมีปริมาณองค์ประกอบต่างๆ เปลี่ยนไปจากสาหร่ายพวงองุ่นสดเล็กน้อย เนื่องจาก การออสโมซิสสาหร่ายพวงองุ่นก่อนการอบแห้ง ทำให้สาหร่ายมีปริมาณคาร์โบไฮเดรต และพลังงานเพิ่มสูงขึ้นจากน้ำตาลที่แพร่เข้าไปในเซลล์ จึงทำให้สัดส่วนขององค์ประกอบอื่นๆ เปลี่ยนแปลงไป แต่อย่างไรก็ตาม ผลิตภัณฑ์ยังมีปริมาณแคลเซียมที่ค่อนข้างสูง คือ 70.97 mg/ 100 g (d.b.)

ดังนั้น กระบวนการผลิตสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งที่เหมาะสม ได้แก่ การลวกสาหร่ายพวงองุ่นด้วยน้ำ อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 นาที แล้วนำมาออสโมซิสในสารละลายผสมของน้ำตาลทรายและโซเดียมคลอไรด์ ในอัตราส่วน น้ำตาลทราย 40% และโซเดียมคลอไรด์ 10% เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นจึงทำการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 นาที

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

สภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมขั้นที่มีต่อคุณภาพของสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้ง คือ การลวกในน้ำอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที และการออสโมซิสเป็นเวลา 30 นาที โดยสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นด้วยการลวก การออสโมซิสและอบแห้ง เมื่อนำมาคืนรูปใช้เวลาในการคืนรูปต่ำที่สุดและมีค่าความแน่นเนื้อใกล้เคียงกับสาหร่ายพวงองุ่นสด และมีสีเขียวที่สดขึ้น

สำหรับวิธีการในการอบแห้งสาหร่ายพวงองุ่น พบว่า การอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และตู้อบสุญญากาศ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความดัน 46 cmHg ใช้เวลาในการอบแห้งเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์สุดท้าย ความชื้นประมาณ 8% และ ค่า a_W ระหว่าง 0.4-0.6 คือ 9 และ 40 นาที ตามลำดับ ซึ่งสาหร่ายพวงองุ่นที่อบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ใช้เวลาในการอบและการคืนรูปต่ำกว่าและมีค่าความแน่นเนื้อและสีเขียวใกล้เคียงกับสาหร่ายพวงองุ่นสด

ข้อเสนอแนะ

เพื่อให้ผลิตภัณฑ์สาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งสามารถพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อการจำหน่ายได้ จึงควรมีการพัฒนาในด้านบรรจุภัณฑ์เพื่อให้เอื้อต่อการเก็บรักษาเป็นเวลานาน และสะดวกต่อการขนส่ง

รายการอ้างอิง

กองวิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง. (2560). *การเพาะเลี้ยงและการจัดการสาหร่ายพวงองุ่นหลังการเก็บเกี่ยว*. วันที่ค้นข้อมูล 4 มกราคม 2562, เข้าถึงได้จาก www4.fisheries.go.th

กฤษฎา บุดดาจันทร์, สวนิต จิรัฏฐิติกาล และ ศิระษา เจ็งสุขสวัสดิ์. (2549). *การทำแห้งส้มโอด้วยวิธีออสโมซิส.* ภาควิชาเทคโนโลยีการออกแบบและผลิตเครื่องจักรกลอุตสาหกรรมเกษตร, คณะเทคโนโลยีและการจัดการอุตสาหกรรม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, ปราจีนบุรี.

กฤษณ์ จันท์โชติกุล. (2545). *การศึกษากรรมวิธีและแบบจำลองในการทำแห้งกะเพรา.* วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์ สาขาเทคโนโลยีอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

กัญจน์พัชร์ อุปลศิลป์. (2553). การพัฒนากระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ใบเตยอบแห้ง. สาขาอุตสาหกรรมเกษตร, คณะเทคโนโลยีการเกษตร, มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่.

กาญจนภาชน์ ลิ้วมโนมนต์. (2519). พรรณสาหร่ายบริเวณป่าชายเลน. ในรายงานการประชุมปฏิบัติการระบบนิเวศวิทยาทางทรัพยากรธรรมชาติชายเลนครั้งที่ 1 (หน้า 202-215). กรุงเทพฯ: สภาวิจัยแห่งชาติ.

คำนวณ ตั้นพันธุ์ และวัชรพงษ์ ทองสิมา. (2533). การอบแห้งผลไม้ด้วยวิธี Osmotic. วิศวกรรมสาร มก. 4(11): 85-106.

จิตธนา แจ่มเมฆ. (2540). วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จิตติมณฑน์ วงศ์ษา และ ศิระษา เจ็งสุขสวัสดิ์. (2555). การศึกษาคุณลักษณะการอบแห้งแบบสุญญากาศของขนุนพันธุ์ทองสุดใจ. งานประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13 ประจำปี 2555.

จริงแท้ ศิริพานิช. (2544). อ้างอิงถึงใน ปภัสรา ถิระวิทยากุล และ มนฤดี จันทร์แสงกุล. (2557). *ผลของการลวก ความเข้มข้นของกรดซิตริกในสารเคลือบจากเจลว่านหางจระเข้ และเวลาการแช่ภายใต้สภาวะสุญญากาศต่อคุณภาพของสาหร่ายพวงองุ่นระหว่างการเก็บ*. ปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต,สาขาเทคโนโลยีอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

เฉลิมขวัญ เมฆสุข และสวรรยา ธรรมอภิพล. (2560). การสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับสาหร่ายพวงองุ่นจากต้นน้ำสู่ปลายน้ำ, *วารสารธุรกิจปริทัศน์, 9*(2), 68-80 วันที่ค้นข้อมูล 4 มกราคม 2562, เข้าถึงได้จากhttps://www.tcithaijo.org/index.php/bahcuojs/article/.../90396/

ชมพู่ ยิ้มโต. (2550). การถนอมอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์

ดุจเดือน ทิมทอง และ วรัญญา บางศรี. (2555). *ผลของวิธีการเตรียมขั้นต้นและปริมาณการเสริมธาตุเหล็กกับสาหร่ายผักกาดทะเลในกระบวนการออสโมซิส*. ปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต, สาขาเทคโนโลยีอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์,มหาวิทยาลัยบูรพา.

นฤมล พงษ์พิริยะเดชะ. (2539). *การพัฒนาผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งด้วยวิธีออสโมซิส*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาเทคโนโลยีอาหาร, คณะวิทยาศสาตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

นิธิยา รัตนาปนนท์. (2545). *เคมีอาหาร.* กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์

นิธิยา รัตนาปนนท์. (2549). หลักการแปรรูปอาหารเบื้องต้น. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.

นิธิยา รัตนาปนนท์. (2558). *หลักการแปรรูปอาหารเบื้องต้น.* กรุงเทพฯ: โอ. เอส. พริ้นติ้งเฮ้าส์

นิสราภรณ์ ภักดีพันธ์. (2554). การเจริญเติบโตและคุณค่าทางอาหารของสาหร่ายพวงองุ่น. วิทยานิพนธ์การศึกษามหาบัณฑิต, สาขาวิทยาศาสตร์การประมง, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ฤทธิ์ไกร งามชุ่ม (2547). *การพัฒนาผลิตภัณฑ์หนามแดงกึ่งแห้งด้วยวิธีออสโมซิสร่วมกับการอบแห้งในสภาวะสุญญากาศ*. ปัญหาพิเศษวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร มหาวิทยาลัยบูรพา.

ปภัสรา ถิระวิทยากุล และ มนฤดี จันทร์แสงกุล. (2557). *ผลของการลวก ความเข้มข้นของกรดซิตริกในสารเคลือบจากเจลว่านหางจระเข้ และเวลาการแช่ภายใต้สภาวะสุญญากาศต่อคุณภาพของสาหร่ายพวงองุ่นระหว่างการเก็บ.* ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต, สาขาเทคโนโลยีอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

ปราณี มีศิริสุข. (2553). *เคมีอาหาร.* สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก.

โปรเทรด คอมเมอร์เชียล. (2554). การอบแห้งแบบสุญญากาศ. วันที่สืบค้นข้อมูล 29 กันยายน 2559, เข้าถึงได้จากhttp://protradecommercial.igetweb.com/index.php?mo=3&art=35992

พนารัตน์ สังข์อินทร์. (2553). การอบแห้งปลากะตักสด แช่น้ำเกลือและต้มด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

พรพิมล เทพบรรทม. (2550). ผลของการอบแหงแบบขั้นตอนเดียวและสองขั้นตอนตอคุณภาพของใบมะกรูดและตะไคร้, *ว.วิทยาศาสตรเกษตร* 38(6)(พิเศษ): 135-138.

ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก. (2532). *กรรมวิธีการแปรรูปอาหาร.* กรุงเทพฯ: โอ. เอส. พริ้นติ้ง เฮ้าส์.

วิชมณี ยืนยงพุทธกาล และ พรนภา น้อยพันธ์.(2559). *การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขิงกึ่งแห้งเสริมสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกายจากเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวโดยวิธีการออสโมซิสร่วมกับการทำแห้ง.* ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

วิชมณี ยืนยงพุทธกาล, อุดมลักษณ์ สุขอัตตะ และ ธีรารัตน์ อิทธิโสภณกุล. (2558). *โครงการการพัฒนาผลิตฝรั่งกึ่งแห้งที่เสริมสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย โดยใช้การดึงน้ำออกวิธีออสโมซิสร่วมกับการทำแห้ง.* ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

วิไล รังสาดทอง. (2552). *เทคโนโลยีการแปรรูปผักและผลไม้.* (พิมพ์ครั้งที่ 5). กรุงเทพฯ: เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น.

วรรณารัตน์ ลีสุขสวัสดิ์ และคณะ. (2549). *ผลของการลวกต่อกิจกรรมของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสในมังคุด และผลของสารละลายซูโครสร่วมกับกรดซิตริกในการถ่ายโอนมวลสารระหว่างการออสโมซิส. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 49 คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.*

เศรษฐการ นุชนิยม. (2554). การผลิตน้ำตำลึงผงโดยการทำแห้งแบบเยือกแข็ง.*วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*. 19(2): 51-63.

สิริมา ชินสาร วิชมณี ยืนยงพุทธกาล และ นิสานารถ กระแสร์ชล. (2557). ผลของการเตรียมขั้นต้นและวิธีการในการทำแห้งต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ใบขลู่ผง. *ว. วิทยาศาสตร์เกษตร,*45(2), 101-104

สิริมา ชินสาร. (2561). *การพัฒนากรรมวิธีผลิตผักแผ่นและการจำลองลักษณะไอโซเทอมการดูดซับความชื้น.* ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

สิงหนาท พวงจันทน์แดง. (2555). *เทคโนโลยีการทำแห้งอาหาร.* ขอนแก่น: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น

สถิตย์พงษ์ มั่นหลา. (2560). *การพัฒนาผลิตภัณฑ์ปลายอเสริมสาหร่ายพวงองุ่น The Development of Playor (White Fish Sausage) Production Mixed with Green Caviars ,วารสารวิทยาลัยดุสิตธานี. 11*(2), 17-31 วันที่ค้นข้อมูล 4 มกราคม 2562, เข้าถึงได้จาก http://www.dtc.ac.th/th/faculty-staff/journal.

สุพล ตั่นสุวรรณ มนทกานติ ท้ามติ้น และ สันติภาพ แซ่เฮ้า. (2555). *สาหร่ายพวงองุ่น "Green Caviar".* วันที่ค้นข้อมูล 4 มกราคม 2562, เข้าถึงได้จาก https://www.fisheries.go.th

สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม (สมอ.). (2558). มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน. วันที่ค้นข้อมูล 4 มีนาคม 2562, เข้าถึงได้จาก http:// library. Tisi.go.th

สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง. (2552). การเพาะเลี้ยงสาหร่ายเชิงพานิชย์. วันที่สืบค้นข้อมูล 20 สิงหาคม 2559, เข้าถึงได้จาก http://www.jobgovern.com/7448

อาภัสสร ศิริจริยวัตร สุธิชา พืชสิงห์ และ ชาติสยาม ผลวิลัย. (2558). ผลของอุณหภูมิในการทาแห้งต่อคุณภาพของสาหร่ายเทา. *วารสารวิทยาศาสตร์ มข.* 43(3), 459-468

อรภรณ์ บัวหลวง. (2550). *การอบแห้งสาหร่ายเกลียวทองในระดับอุตสาหกรรมขนาดเล็ก.* วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

AOAC (1990). *Official Method of Analysis (15th ed)*. Arlington, Virginia, USA: The Association of Official Analysis Chemists.

Azouble et al. (2003) อ้างอิงใน วิชมณี ยืนยงพุทธกาล, อุดมลักษณ์ สุขอัตตะ และ ธีรารัตน์ อิทธิโสภณกุล. (2558). *โครงการการพัฒนาผลิตฝรั่งกึ่งแห้งที่เสริมสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกายโดยใช้การดึงน้ำออกวิธีออสโมซิสร่วมกับการทำแห้ง.* ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

Dermesonlouoglou, E. K., Giannakourou, M. C., Taoukis, P. (2007). Stability of dehydrofrozen tomatoes pretreated with alternative osmotic solutes. *Journal of Food Engineering*. 78: 272–280.

Demir, V., Gunhan, T., Yagcioglu, A.K. and Degirmencioglu, A. (2004). Mathematical modeling and determination of some quality parameters of air-dried bay leaves. Biosystems Engineering 88(3), 325-335.

Doymaz, I. (2008). Influence of blanching and slice thickness on drying characteristic of leek slice. Chemical Engineering and Processing 47, 41-47

Fellows. (2000). อ้างอิงถึงใน วิชมณี ยืนยงพุทธกาล และ อุดมลักษณ์ สุขอัตตะ. (2558). *การพัฒนาผลิตภัณฑ์เงาะกึ่งแห้งให้เป็นอาหารเพื่อสุขภาพมูลค่าสูงโดยใช้การดึงน้ำออกวิธีออสโมซิสร่วมกับการทำแห้ง.* ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

Giannakourou and Taoukis. (2003). อ้างอิงถึงใน วิชมณี ยืนยงพุทธกาล และ อุดมลักษณ์ สุขอัตตะ. (2558). *การพัฒนาผลิตภัณฑ์เงาะกึ่งแห้งให้เป็นอาหารเพื่อสุขภาพมูลค่าสูงโดยใช้การดึงน้ำออกวิธีออสโมซิสร่วมกับการทำแห้ง.* ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

Jha & Prasad. (1996). อ้างอิงถึงใน วิชมณี ยืนยงพุทธกาล และ อุดมลักษณ์ สุขอัตตะ. (2558). *การพัฒนาผลิตภัณฑ์เงาะกึ่งแห้งให้เป็นอาหารเพื่อสุขภาพมูลค่าสูงโดยใช้การดึงน้ำออกวิธีออสโมซิสร่วมกับการทำแห้ง.* ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

Islam, M. N., and Flink, J. N. 1982. Dehydration of potato : II. Osmotic concentration and Its effect on air drying behavior. *Journal of Food Technology*. 17 :403.

Lewmanomontand Ogawa. (1995). อ้างอิงถึงใน กองวิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง. (2560). *การเพาะเลี้ยงและการจัดการสาหร่ายพวงองุ่นหลังการเก็บเกี่ยว*. วันที่ค้นข้อมูล 4 มกราคม 2562, เข้าถึงได้จาก www4.fisheries.go.th

Maharaj, V. & Somkat, C. K. (1996). Commercial vegetable processing. America: The AVI Publishing.

Manivannan et al. (2009). อ้างอิงใน วิชมณี ยืนยงพุทธกาล, อุดมลักษณ์ สุขอัตตะ และ ธีรารัตน์ อิทธิโสภณกุล. (2558). *โครงการการพัฒนาผลิตฝรั่งกึ่งแห้งที่เสริมสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย โดยใช้การดึงน้ำออกวิธีออสโมซิสร่วมกับการทำแห้ง*. ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

Phoungchandang and Woods. (2000). อ้างอิงถึงใน สิงหนาท พวงจันทน์แดง. (2555). *เทคโนโลยีการทำแห้งอาหาร*. ขอนแก่น: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

Rahman and Lamp. (1990) อ้างอิงถึงใน สิงหนาท พวงจันทน์แดง. (2555). *เทคโนโลยีการทำแห้งอาหาร*. ขอนแก่น: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

Ratana-arporn, D.S. and Chirapart, A.L. (2006). Growth performance of *Caulerpa lentillifera* (lato) in lowered seawater pH. *Annual Review of Nutrition*. 10: 357-382.

Robert & Nancy. (2008) อ้างอิงถึงใน ปภัสรา ถิระวิทยากุล และ มนฤดี จันทร์แสงกุล.(2557).*ผลของการลวก ความเข้มข้นของกรดซิตริกในสารเคลือบจากเจลว่านหางจระเข้ และเวลาการแช่ภายใต้สภาวะสุญญากาศต่อคุณภาพของสาหร่ายพวงองุ่นระหว่างการเก็บ*. ปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต,สาขาเทคโนโลยีอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

Rodriguez, T, V., Rojas, A, M., Compos, C, A., & .Gerschenson, L, N, (2003), Effect of osmotic dehydration on the quality of air dried Porohyra. *Lebensm. Wiss. U. Technol*. 36:415-422.

Saencom, S., Chiewchan, N. and Devahastin, S. (2011). Production of dried ivy gourd sheet as a health snack. *Food and Bioproducts processing*. 4: 414-421.

Sun, J. Y. You., E. G. Garcia., X. Long and J. Wang. 2010. Biochemical properties and potential endogenous substrates of polyphenoloxidase from chufa (Eleocharis tuberosa) corms. Food Chemistry. 118: 799-803.

Swasdisevi, T., Devahastin, S., Sa-Adchom, P., & Soponronnarit, S. (2009). Mathematical modeling of combined far-infrared and vacuum drying banana slice. *Jounal of Food Engineering,* 92, 100-106

Thuwapanichayanan, R., Prachayawarakorn, S., Kunwisawa, J., & Soponronnarit, S. (2011). Determination of effective moisture diffusivity and assessment of quality attributes of banana slices during drying. *LWT – Food Science and Technology*, *44, 1502-1510.*

Toma, T. (1987). อ้างอิงถึงใน สุพล ตั่นสุวรรณ มนทกานติ ท้ามติ้น และ สันติภาพ แซ่เฮ้า. (2555). *สาหร่ายพวงองุ่น“Green Caviar”*. วันที่ค้นข้อมูล 4 มกราคม 2562, เข้าถึงได้จาก https://www.fisheries.go.th

Torreggiani. (1993). Osmosis dehydration in fruit and vegetable processing. *Food Research International*. 26: 59-69.

Trono G.C., Jr. & Toma, T. (1993). อ้างอิงถึงใน สุพล ตั่นสุวรรณ มนทกานติ ท้ามติ้น และ สันติภาพ แซ่เฮ้า. (2555). *สาหร่ายพวงองุ่น “Green Caviar”*. วันที่ค้นข้อมูล 4 มกราคม 2562, เข้าถึงได้จาก https://www.fisheries.go.th

Woods et al. (2003) อ้างถึงใน สิงหนาท พวงจันทน์แดง. (2555). *เทคโนโลยีการทำแห้งอาหาร.* ขอนแก่น: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น.