# รายงานการวิจัย

## สภาวะที่เหมาะสมของการอบแห้งสาหร่ายพวงองุ่น (*Caulerpa Lentillifera*)
## ด้วยตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven)
## Optimal Condition of Sea Grapes *(Caulerpa Lentillifera)*
## Drying Using Hot Air Oven

นัฏฐา คเชนทร์ภักดี Natta Kachenpukdee
นพรัตน์ มะเห Nopparat Mahea

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ได้รับทุนสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
งบประมาณเงินรายได้ ประจำปี พ.ศ. 2563

# รายงานการวิจัย

สภาวะที่เหมาะสมของการอบแห้งสาหร่ายพวงองุ่น (*Caulerpa Lentillifera*)
ด้วยตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven)
Optimal Condition of Sea Grapes *(Caulerpa Lentillifera)*
Drying Using Hot Air Oven

นัฏฐา คเชนทร์ภักดี Natta Kachenpukdee
นพรัตน์ มะเห Nopparat Mahea

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ได้รับทุนสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
งบประมาณเงินรายได้ ประจำปี พ.ศ. 2563

# สภาวะที่เหมาะสมของการอบแห้งสาหร่ายพวงองุ่น (*Caulerpa Lentillifera*) ด้วยตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven)

**นัฏฐา คเชนทร์ภักดี[1] และ นพรัตน์ มะเห[1]**

## บทคัดย่อ

การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของสาหร่ายพวงองุ่นแบบสดและแบบอบแห้ง ผลของวิธีการทำแห้งต่อคุณภาพในการอบแห้ง สภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้ง ความสามารถในการคืนตัวของสาหร่ายพวงองุ่นหลังการอบแห้ง พบว่า สาหร่ายพวงองุ่นสด มีปริมาณความชื้น เถ้า ไขมัน และโปรตีนร้อยละ 94.05, 3.79, 0.29, และ 0.19 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ส่วนสาหร่ายพวงองุ่นผ่านการอบแห้งมีปริมาณความชื้น เถ้า ไขมัน และโปรตีน ร้อยละ 18.18, 11.34, 0.33, และ 0.30 ตามลำดับ วิธีการทำแห้งต่อคุณภาพในการอบแห้งสาหร่าย เมื่อพิจารณาคุณสมบัติทางกายภาพของชุดการทดลองแบบไม่ลวกและแบบลวกโดยวิธีการทำแห้งทั้ง 3 วิธี พบว่า ชุดการทดลองแบบไม่ลวก ชุดควบคุม มี ปริมาณความชื้น ค่าวอเตอแอคติวีตี้ ($a_w$) น้อยที่สุด เท่ากับ 11.23, 0.46 แต่มีค่าสีที่ค่อนข้างคล้ำกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองแบบผ่านการลวก การอบแห้งสาหร่ายพวงองุ่นด้วยตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 40, 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลา 0-240 นาที พบว่า การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นลดลงเหลือ 0.16, 0.15, 0.06 และ 0.06 ตามลำดับ ในช่วงเวลาที่ 180 นาที โดยอัตราส่วนความชื้นจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงเวลาที่ 0 -120 นาทีแรกของการอบแห้ง หลังจากนั้นจะค่อยๆลดลงจนเข้าสู่สภาวะสมดุล ด้วยผลดังกล่าวทำให้ทราบว่า อุณหภูมิและระยะเวลามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าวอเตอแอคติวีตี้ ($a_w$) จากผลการทดลองพบว่า เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการทำแห้งลดลงในช่วงเวลาที่ 210 นาที มีค่าเท่ากับ 0.48, 0.45, 0.34 และ 0.35 ตามลำดับ ดังนั้น ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 240 นาที มีความเหมาะสมที่สุดในการนำไปคืนรูป เนื่องจากสามารถลดปริมาณน้ำอิสระได้เร็วที่สุด ทำให้อัตราการดูดน้ำกลับของสาหร่ายในการศึกษานี้มีค่าอยู่ระหว่าง 2.40-9.15 ซึ่งมีค่าแตกต่างกันมาก อัตราการดูดน้ำกลับที่ดีจะอยู่ในช่วง 60 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที

**คำสำคัญ:** สาหร่ายพวงองุ่น การอบแห้ง

---

[1] อาจารย์สาขาวิชาอุตสาหกรรมอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง

# Optimal Condition of Sea Grapes (*Caulerpa Lentillifera*) Drying Using Hot Air Oven

Natta kachenpukdee[1] and Nopparat Mahea[1]

## ABSTRACT

The objective of this study was to study the chemical composition and physical properties of fresh and dried grape algae, Effect of drying methods to drying quality, The optimum conditions, Recovery capacity of grape bunch algae after drying, It was found that Puang Grape contained moisture content, Ash, Fat and hot protein was 94.05, 3.79, 0.29 and 0.19 by weight respectively. The drying of Puang Grape contained moisture content, Ash, Fat and hot protein was 18.18, 11.34, 0.33 and 0.30 percent respectively. Drying method on drying quality of algae. When considering the physical properties of the non-blanching and blanching experiments by drying methods, in all 3 method showed that the non-blanching experiment set had the least moisture content, Water activity ($a_w$) value was 11.23, 0.46, but the color value was respectively less. When compared to the blanching experiment set Drying of bunchy algae in a hot air dryer at temperatures of 40, 50, 60 and 70 °C at 0-240 minutes. Showed that moisture ratio was reduced to 0.16, 0.15, 0.06 and 0.06 respectively at 180 minutes. The moisture ratio decreased rapidly during the first 0-120 minutes of drying. After that, it will gradually decrease until reaching a balanced state.

With the above results, it is known that temperature and duration have an effect on the change of $a_w$ values. The results show that as the time increased, the drying rate decreased. In the 210 minute intervals are equal to 0.48, 0.45, 0.34 and 0.35 respectively. Therefore, at 60 °C for 240 minutes It is most suitable to bring it back. Since it can reduce the amount of free water as quickly as possible the water absorption rate of algae in this study was between 2.40-9.15 which is very different. Depending on the temperature and methods of drying the good rate of water recovery will be within 60 °C for 10 minutes.

**Keywords:** *Caulerpa lentillifera*, Drying

[1] Department of Food Industry and Fishery product, Faculty of Science and fisheries Technology. Rajamamgala University of Technology Srivijaya, Sikao, Trang

# กิตติกรรมประกาศ


งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย งบประมาณรายได้ประจำปี 2563 เป็นงานวิจัยพื้นฐานเพื่อก่อให้เกิดองค์ความรู้ใหม่ในการประเมินความเป็นไปได้ที่จะพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีประโยชน์ต่อไปในอนาคต ตลอดจนผลการวิจัยสามารถใช้เป็นแนวทางส่งเสริมให้มีการนำไปใช้ประโยชน์ทางด้านอาหาร และอุตสาหกรรม

ขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยที่ได้ให้การสนับทุนในการทำวิจัยนี้ ขอขอบคุณผู้เกี่ยวข้องทุกฝ่ายที่ได้ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ ทั้งความสะดวกในการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือวิเคราะห์ ตลอดจนสถานที่ในการตรวจวิเคราะห์ตัวอย่าง ขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการที่ให้ความช่วยเหลืออำนวยความสะดวกด้วยดีตลอดมา ขอบคุณผู้ร่วมวิจัยที่อุทิศกำลังกายและกำลังใจช่วยในการวิจัยครั้งนี้ลุล่วงได้ด้วยดี ตลอดจนครอบครัวและเพื่อนที่เป็นกำลังใจให้เสมอมา ประโยชน์อันใดที่เกิดจากงานวิจัยนี้ย่อมเป็นผลมาจากความกรุณาของทุกท่านและหน่วยงาน ผู้วิจัยจึงใคร่ขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

นัฏฐา คเชนทร์ภักดี

นพรัตน์ มะเห

สิงหาคม 2564

# สารบัญ

| เรื่อง | หน้า |
|---|---|
| สารบัญ | (1) |
| สารบัญตาราง | (2) |
| สารบัญภาพ | (3) |
| บทนำ | 1 |
| ตรวจเอกสาร | 3 |
| วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ | 17 |
| ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง | 21 |
| สรุปผลการทดลอง | 35 |
| ข้อเสนอแนะ | 37 |
| เอกสารอ้างอิง | 38 |
| ภาคผนวก | 41 |
| ภาคผนวก ก | 42 |
| ภาคผนวก ข | 43 |
| ภาคผนวก ค | 47 |

# สารบัญตาราง

**ตารางที่** **หน้า**


| ตารางที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 1 | องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายพวงองุ่น | 5 |
| 2 | ปริมาณของวิตามินในสาหร่ายพวงองุ่น | 5 |
| 3 | ปริมาณเกลือแร่ | 6 |
| 4 | ปริมาณโลหะหนัก | 6 |
| 5 | ชุดการทดลองเพื่อศึกษาวิธีการเตรียมสาหร่ายพวงองุ่นโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่ T 50 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง | 18 |
| 6 | ชุดการทดลองเพื่อศึกษาอุณหภูมิต่อระยะเวลาที่เหมาะสมในการอบแห้งสาหร่ายพวงองุ่นด้วยตู้อบลมร้อน | 19 |
| 7 | ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายพวงองุ่นแบบสดและแบบอบแห้ง | 21 |
| 8 | ผลการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของสาหร่ายพวงองุ่นแบบสดและแบบอบแห้ง | 22 |
| 9 | ผลของวิธีการทำแห้งต่อปริมาณความชื้นในสาหร่ายพวงองุ่น | 23 |
| 10 | ผลของวิธีการทำแห้งต่อค่าสีของสาหร่ายพวงองุ่นหลังอบ 3 ชั่วโมง | 24 |
| 11 | คุณภาพทางประสาทสัมผัสของชุดการทดลองสาหร่ายพวงองุ่นในลักษณะต่าง ๆ | 28 |
| 12 | ผลของวิธีการทำแห้งต่อค่า $a_w$ ของสาหร่ายพวงองุ่นหลังการอบ 3 ชั่วโมง | 29 |
| 13 | ชุดการทดลองเพื่อศึกษาอุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมในการอบแห้งสาหร่ายพวงองุ่นด้วยตู้อบลมร้อน | 31 |
| 14 | ชุดการทดลองเพื่อศึกษาอุณหภูมิและระยะเวลาที่มีผลต่อค่า $a_w$ ในการอบแห้งสาหร่ายพวงองุ่นด้วยตู้อบลมร้อน | 33 |
| 15 | ผลของการศึกษาความสามารถในการคืนตัวของสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการอบแห้ง | 34 |

# สารบัญภาพ

**ภาพที่** **หน้า**


| ภาพที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 1 | สาหร่ายพวงองุ่น | 3 |
| 2 | การเปลี่ยนแปลงอัตราการอบแห้ง | 7 |
| 3 | ความสัมพันธ์ของวิธีการเตรียมที่มีผลต่อค่าสีของสาหร่ายพวงองุ่น | 26 |


**ภาพผนวก**


| ภาพผนวก | | หน้า |
|---|---|---|
| 1 | การคัดเลือกและเตรียมสาหร่ายพวงองุ่นสำหรับการวิเคราะห์ | 47 |
| 2 | การชั่งน้ำหนักตัวอย่างก่อนการนำไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน | 47 |
| 3 | การลวกตัวอย่างก่อนการนำไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน | 47 |
| 4 | การแช่สารละลายกรดซิตริกและแคลเซียมคลอไรด์สาหร่ายพวงองุ่นสำหรับการวิเคราะห์ | 48 |
| 5 | การจัดเรียงตัวอย่างสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการเตรียมด้วยวิธีการต่าง ๆ และอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน | 48 |
| 6 | ความสามารถในการคืนรูปของสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการอบแห้ง | 48 |
| 7 | สาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการอบแห้ง | 48 |

# บทนำ

## 1. ความสำคัญและที่มา

สาหร่ายพวงองุ่น เป็นสาหร่ายทะเลที่นิยมบริโภคในต่างประเทศมาเป็นเวลานาน ประเทศที่นิยมบริโภคสาหร่ายทะเล ได้แก่ จีน ญี่ปุ่น เกาหลี ฟิลิปปินส์ เป็นต้น นอกจากนี้สาหร่ายทะเลยังมีประโยชน์หลากหลาย ทั้งในทางด้านอุตสาหกรรมอาหาร ซึ่งใช้เป็นส่วนประกอบของเครื่องสำอาง ปุ๋ย อาหารสัตว์ และใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ เช่น ใช้บริโภคเป็นอาหาร (สุพล และคณะ, 2556) ใช้เป็นยาและอาหารเสริมเพื่อสุขภาพ (Farvin and Jacobsen, 2013) การรับประทานสาหร่ายทำได้โดยการนำสาหร่ายพวงองุ่นมาล้างในน้ำสะอาดหรือน้ำผสมเกลือเล็กน้อยและรับประทานทันที ไม่ควรล้างแล้ววางทิ้งไว้เพราะจะทำให้เม็ดสาหร่ายฟีบแบนขาดความกรอบฉ่ำ การรับประทานคนญี่ปุ่นรับประทานสาหร่ายพวงองุ่นแบบง่ายโดยการนำมารับประทานเป็นสลัด เสิร์ฟพร้อมกับซูชิและรับประทานกับซีอิ๊วหรือซีอิ๊วผสมน้ำส้มข้าวหมักเป็นต้น ส่วนใหญ่เมืองไทยอาจจะรับประทานกับน้ำจิ้มซีฟู๊ด กินกับส้มตำหรือยำต่าง ๆ และรับประทานกับน้ำพริก เป็นต้น (ซากุระ, 2559) สาหร่ายพวงองุ่นเป็นหนึ่งในสาหร่ายที่รับประทานได้ของประเทศไทย จะเจริญตามแนวชายฝั่งอันดามันมีคุณค่าทางโภชนาการสูง (กาญจนภาชน์, 2527) สาหร่ายชนิดนี้อุดมด้วยแร่ธาตุ และวิตามินหลายชนิด ทั้งกรดไขมัน (Polyunsaturated fatty acid : PUFA) วิตามินบี 2 วิตามินอี และเกลือแร่ ได้แก่ Iodine (I), Phosphorus (P), Zinc (Zn), Calcium (Ca), Magnesium (Mg), Selenium (Se), Iron (Fe), Manganese (Mn), Cobalt (Co) เนื่องจากมีรสชาติดีและมีคุณค่าทางอาหารจึงจัดเป็น 1 ใน 5 อาหารแนะนำสำหรับผู้ที่ชอบทานอาหารเพื่อสุขภาพ โดยเชื่อว่าการ รับประทานสาหร่ายทะเลช่วยให้หายป่วยได้เร็วขึ้น เนื่องจากมีวิตามินเอ วิตามินซีและเกลือแร่สูง เป็นแหล่งสำคัญของแมกนีเซียม ที่ช่วยลดความดันโลหิต

สาหร่ายพวงองุ่นเป็น 1 ใน 4 ชนิดของสาหร่ายทะเล ที่ส่งเสริมให้เพาะเลี้ยงเพื่อ จำหน่ายในเชิงพาณิชย์ เนื่องจากเป็นชนิดสาหร่ายที่นิยมบริโภค สามารถทำการเพาะเลี้ยงได้ง่ายและมีลู่ทางการขยายสู่ตลาด โดยการส่งเสริมการเลี้ยงสาหร่ายทะเลในประเทศ จะช่วยลดการนำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งจะเป็นผลดีต่อเศรษฐกิจของประเทศ ได้ผลผลิตสาหร่ายทะเลที่มีคุณภาพสดสะอาดและปลอดภัยต่อผู้บริโภค (สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง, 2552) ในขณะที่การพัฒนาด้านการส่งเสริมการเพาะเลี้ยงสาหร่ายพวงองุ่นมีอยู่อย่างต่อเนื่อง จนในปัจจุบันมีผลผลิตที่สามารถจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ได้ และมีแนวโน้มเป็นที่ต้องการของตลาด แต่พบปัญหาอายุหลังการ เก็บเกี่ยวสั้นประมาณ 10-12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง เนื่องจากยังคงมีกระบวนการหายใจ มีสภาวะเครียดทางกายภาพ และสาเหตุหลักเนื่องมาจากการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์ คุณลักษณะด้านความสดใหม่ของสาหร่ายมีความสำคัญต่อการตอบสนองยอมรับผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภคเป็นอย่างมาก การชะลอการเปลี่ยนแปลงของสาหร่ายหลังการเก็บเกี่ยวในด้านต่าง ๆ จึงเป็นแนวทางที่ควรปฏิบัติ อาจมีความจำเป็นต้องประยุกต์ใช้หลายวิธีร่วมกันใช้ในการยืดอายุการเก็บ เช่น การแช่กรด การแช่ในสารละลายผสมของกรดหรือด่าง การลวก และการปรับแต่งสภาพ บรรยากาศบรรจุ (วิชมณี และคณะ, 2559)

ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการศึกษาสภาวะของการอบแห้งสาหร่ายพวงองุ่นด้วยตู้อบลมร้อน เพื่อการนำไปเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาเรื่องการขนส่ง การยืดอายุในการบริโภคและการเก็บรักษา ทั้งนี้เพื่อใช้เป็นแนวทางการนำสาหร่ายพวงองุ่นมาใช้ประโยชน์ได้หลากหลายมากยิ่งขึ้น และเพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าสาหร่ายพวงองุ่นแทนการขายสดเพียงอย่างเดียว เพื่อให้อำนวยความสะดวกต่อการบริโภค สะดวกต่อการนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดอื่น ๆ และเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวกับการขนส่งในระยะไกล ประโยชน์ในทางอ้อมยังเป็นการช่วยส่งเสริมให้มีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายพวงองุ่นในเชิงธุรกิจเพิ่มมากขึ้นอีกด้วย

## 2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของสาหร่ายพวงองุ่นสดและสาหร่ายพวงองุ่นหลังการอบแห้ง

2.1.1 องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น เถ้า ไขมัน โปรตีน

2.1.2 คุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี ค่า $a_w$

2.2 เพื่อศึกษาผลของวิธีการทำแห้งต่อคุณภาพในการอบแห้งของสาหร่ายพวงองุ่น

2.3 เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งสาหร่ายพวงองุ่น

2.4. เพื่อศึกษาความสามารถในการคืนตัวของสาหร่ายพวงองุ่น

## 3. ขอบเขตการศึกษา

การวิจัยนี้แบ่งเป็น 4 ขั้นตอนการทดลองได้แก่

3.1 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของสาหร่ายพวงองุ่นสดและสาหร่ายพวงองุ่นหลังการอบแห้ง

3.1.1 องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น เถ้า ไขมัน โปรตีน

3.1.2 คุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี ค่า $a_w$

3.2 เพื่อศึกษาผลของวิธีการทำแห้งต่อคุณภาพในการอบแห้งสาหร่ายพวงองุ่น

3.3 เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งสาหร่ายพวงองุ่น

3.4 เพื่อศึกษาความสามารถในการคืนตัวของสาหร่ายพวงองุ่น

## 4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทราบถึงองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของสาหร่ายพวงองุ่นสดและสาหร่ายพวงองุ่นหลังอบแห้ง ทราบถึงผลของวิธีการทำแห้งต่อคุณภาพในการอบแห้งสาหร่ายพวงองุ่น ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งสาหร่ายพวงองุ่น ทราบถึงความสามารถในการคืนตัวของสาหร่ายพวงองุ่น เพื่อชะลอการเสื่อมเสียและช่วยยืดอายุในการเก็บรักษาและสามารถอำนวยความสะดวกในการนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้ง่าย

# ตรวจเอกสาร

## 1. สาหร่ายพวงองุ่น

ภาพที่ 1 สาหร่ายพวงองุ่น

ชื่อภาษาไทย : สาหร่ายพวงองุ่น
ชื่อภาษาอังกฤษ : Sea Grapes หรือ Green Caviar
ชื่อวิทยาศาสตร์ :*Caulerpa lentillifera J. Agardh*

ลักษณะของสาหร่ายพวงองุ่น เป็นสาหร่ายทะเลสีเขียว (green algae) ส่วนลำต้นมีแขนงที่ตั้งตรงคล้ายพวงองุ่น ซึ่งประกอบด้วยทัลลัสที่มีท่อสโตโลนติดตอกันตลอดและสามารถแตกแขนงได้ มีส่วนคล้ายรากที่ เรียกว่า ไรซอยด์ เป็นฝอยทำหน้าที่ยึดเกาะกับพื้น ส่วนที่มีลักษณะเหมือนใบเรียกว่า รามูลัส *(ramulus)* ซึ่งทำหน้าที่ในการสังเคราะห์แสง รามูลัสเป็นส่วนปลายของแขนงย่อย มีทรงกลม ใส มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1-2 มิลลิเมตร ซึ่งแตกปกคลุมหนาแน่นเกือบตลอดความยาวแขนง มีรอยคอดชัดเจนระหว่างปลายแขนงย่อยที่เป็นทรงกลมกับส่วนก้านสั้น สาหร่ายแพร่กระจายอยู่ในเขต tropical และ subtropical มักจะเจริญบนโขดหิน ก้อนกรวด และพื้นทราย ในเขตน้ำขึ้น - น้ำลง ไปตลอดจนถึงเขตน้ำลงต่ำสุดบริเวณชายฝั่งที่มีคลื่นไม่รุนแรง (Ratana, 2015)

การแพร่กระจายของสาหร่ายสกุล *Caulerpa*

สาหร่ายสีเขียวสกุล *Caulerpa* แพร่กระจายทั่วไปตามบริเวณชายฝั่งทะเลเขตร้อน และทะเลเขตอบอุ่นทั่วโลก (Weber–van Bosse,1898; Dawson, 1966) ขึ้นอยู่บริเวณซากปะการังชายฝั่งทะเลที่เป็นก้อนหิน น้ำทะเลค่อนข้างใส ความเค็มประมาณ 32-34% คลื่นลมไม่รุนแรง พบที่-ความลึก 2-5 เมตร (นัยนา, 2529) นอกจากนี้ยังพบสาหร่ายสกุลนี้หลายชนิดในบริเวณป่าชายเลนตามพื้นโคลนเลน หรือโคลนปนทราย และสามารถพบตามรากแสม โกงกาง (กาญจนภาชน์, 2527) คาดว่าสาหร่ายสกุล *Caulerpa* ทั่วโลกมีทั้งหมดประมาณ 73 ชนิด จากรายงานการแพร่กระจายในประเทศออสเตรเลีย พบสาหร่ายสกุลนี้ประมาณ 20 ชนิดในเขตร้อนทางตอนเหนือของออสเตรเลีย ในประเทศญี่ปุ่นพบการแพร่กระจายของ *Caulerpa lentillifera* ตามริมชายหาดจาก Hateruma ถึงเกาะ Okinawa (Toma, 1987) ในประเทศฟิลิปปินส์มีรายงานว่า พบสาหร่าย *Caulerpa* มากกว่า 30 ชนิด (สุพล และคณะ, ม.ป.ป) สำหรับในประเทศไทยพบสาหร่ายสกุล *Caulerpa*

แพร่กระจายทั้งในบริเวณชายฝั่งตะวันออก จังหวัดระยอง และจังหวัดจันทบุรี (พ้วน, 2535) นอกจากนี้ยังพบแพร่กระจายบริเวณชายฝั่งตะวันตกของอ่าวไทย และชายฝั่งทะเลอันดามันมหาสมุทรอินเดียบางส่วน จังหวัดชุมพร, สุราษฎร์ธานี, สงขลา และภูเก็ต (นัยนา, 2529)

ลักษณะทางอนุกรมวิธานของสาหร่ายสกุล *Caulerpa lentillifera J. Agerdh*

ทัลลัสประกอบด้วยสโตลอน (stolon) ที่คืบคลานไปตามพื้นและแตกแขนงได้ ส่วนของแขนงที่ตั้งตรงสูง 1-6 เซนติเมตร มักเกิดเดี่ยว ๆ ไม่ค่อยแตกแขนง ประกอบด้วยรามูลัส (ramulus) เล็ก ๆ ลักษณะกลม เส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5-2.0 มิลลิเมตร มีก้านสั้นๆ เรียงกันคล้ายช่อพริกไทย แต่ละรามูลัส (ramulus) มีรอยคอดระหว่างก้าน เป็นเม็ดกลม สีเขียวใส (Lewmanomont and Ogawa, 1995)

สาหร่ายสีเขียวสกุล *Caulerpa* เป็นสาหร่ายทะเลที่มีลักษณะนิ่มและอวบน้ำ พบแพร่กระจายทั้งในบริเวณอ่าวไทย ชายฝั่งทะเลตะวันตกและตะวันออกตลอดถึงชายฝั่งทะเลอันดามันในบริเวณพื้นที่ชายฝั่งทะเลภาคใต้ของไทยประชาชนในท้องถิ่นรู้จักนำสาหร่าย *Caulerpa* มาใช้ประโยชน์กันเป็นเวลานานแล้ว โดยเก็บรวบรวมจากแหล่งธรรมชาติมาจำหน่ายในสภาพสดตามตลาดท้องถิ่น และนิยมนำมารับประทานเป็นผักสลัดหรือผักจิ้ม เช่นเดียวกับในภาคใต้ของประเทศญี่ปุ่นนิยมนำสาหร่าย *Caulerpa* จากธรรมชาติมาใช้ในการตกแต่งอาหารและบริโภคสด (Toma, 1987) นอกจากนี้ในประเทศฟิลิปปินส์มีการเลี้ยงสาหร่าย *Caulerpa* ในบ่อดินธรรมชาติ เพื่อการบริโภคสดภายในประเทศและส่งออกขายไปยังประเทศญี่ปุ่น ปัจจุบันความต้องการบริโภคสาหร่าย *Caulerpa* ในต่างประเทศกำลังมีแนวโน้มสูงขึ้น

สาหร่ายทะเลเป็นอาหารที่นิยมบริโภคในต่างประเทศมาเป็นเวลานาน ประเทศที่นิยมบริโภคสาหร่ายทะเล ได้แก่ จีน ญี่ปุ่น เกาหลี ฟิลิปปินส์ เป็นต้น นอกจากนี้สาหร่ายทะเลยังมีประโยชน์หลากหลาย ไม่ว่าจะใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เป็นส่วนประกอบของเครื่องสำอาง ปุ๋ย ยารักษาโรค อาหารสัตว์ เป็นต้น ในปัจจุบันมีการนิยมบริโภคสาหร่ายทะเลมากขึ้น เนื่องจากสาหร่ายทะเลมีคุณประโยชน์มากมาย จัดเป็นอาหารสุขภาพประเทศที่มีการเลี้ยงและส่งออกสาหร่ายมีหลายประเทศ เช่น ประเทศจีน เวียดนาม แคนาดา ฟิลิปปินส์ เป็นต้น ในประเทศไทยนั้นมีการบริโภคสาหร่ายทะเลในจังหวัดทางภาคใต้และภาคตะวันออก โดยรับประทานแทนผัก ในปัจจุบันกรมประมงสามารถเพาะเลี้ยงสาหร่ายทะเลได้หลายชนิด โดยหนึ่งในนั้น ได้แก่ สาหร่ายพวงองุ่นซึ่งเป็นสาหร่ายที่มีคุณค่าทางอาหารสูงและเป็นหนึ่งในอาหารยอดนิยมของชาวญี่ปุ่น

### 1.1 คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายพวงองุ่น

เป็นสาหร่ายที่มีรสชาติดีและจัดเป็นอาหารสุขภาพ เนื่องจากมีคุณค่าทางอาหารสูงอุดมไปด้วยเกลือแร่และวิตามินหลายชนิด ทั้งกรดไขมัน Poly Unsaturated Fatty Acid (PUFA) วิตามินบี 2 วิตามินอี และเกลือแร่ ได้แก่ I, P, Zn, Ca, Mg, Se, Fe, Mn, Co มีลักษณะคล้ายองุ่น เนื่องจากมีรสชาติและมีคุณค่าทางอาหารจึงจัดเป็น 1 ใน 5 อาหารที่ช่วยให้หายป่วยได้เร็วขึ้น เนื่องจากมีวิตามินเอ วิตามินซีและเกลือแร่สูง เป็นแหล่งสำคัญของแมกนีเซียม ที่ช่วยลดความดันโลหิต และป้องกันโรคหัวใจล้มเหลว ช่วยต้านมะเร็ง ไอโอดีนสูงจึงช่วยผู้ป่วยที่เป็นโรค ไทรอยด์ นิยมบริโภคกับอาหารทะเล รับประทานสดแทนผัก ตกแต่งจานอาหาร อีกทั้งยังเป็นอาหารที่มีราคาแพง (กรมประมง, 2560)

สาหร่ายพวงองุ่น จัดเป็นอาหารสุขภาพที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง ประกอบอาหารได้หลากหลาย เมนู เช่น ส้มตำสาหร่ายทะเล น้ำพริกสาหร่าย คานาเป้ ฯลฯ และยังมีวิตามินเอ บี ซี อี และ เค ฯลฯ ที่ร่างกาย ดูดซึมไปใช้ได้ง่าย มีแคลอรีต่ำ และกากใยสูง ป้องกันอาการท้องผูกและริดสีดวงทวาร เหมาะสำหรับผู้ต้องการ ลดความอ้วน เป็นแหล่วงแคลเซียมที่สำคัญ สามารถช่วยปรับสมดุลในร่างกาย และรักษาความชุ่มชื้นของเซลล์ผิว บำรุงสมอง บำรุงเส้นผม อีกทั้งยังมีงานวิจัยหลายสถาบันที่เชื่อว่าสาหร่ายให้ผลเป็นยาต่อต้านและยับยั้งเซลล์ หรือมะเร็ง และสามารถรับประทานได้ทุกเพศทุกวัย ด้วยคุณประโยชน์ที่มากมายจึงทำให้สาหร่าย พวงองุ่นกลายเป็นอาหารสุขภาพที่ได้รับความนิยมและมีราคาสูง หลายประเทศจึงให้ความสนใจเลี้ยงสาหร่าย เพื่อการส่งออกและบริโภคภายในประเทศ ได้แสดง คุณค่าทางสารอาหารของสาหร่ายไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายพวงองุ่น

| **องค์ประกอบทางเคมี** | **กรัม/100กรัม น้ำหนักแห้ง** |
|---|---|
| โปรตีน | 8.55 |
| ไขมัน | 1.92 |
| เยื่อใย | 3.87 |
| เถ้า | 56.84 |
| คาร์โบไฮเดรต | 32.69 |
| พลังงานรวม (kcal/100g) | 182 |
| น้ำหนักแห้ง (g/100g) | 4.68 |

ที่มา: Ratana and Chirapart, (2006)

ตารางที่ 2 ปริมาณของวิตามินในสาหร่ายพวงองุ่น

| **วิตามิน** | **มิลลิกรัม/100กรัม น้ำหนักแห้ง** |
|---|---|
| วิตามิน E | 0.13 |
| วิตามิน C | 1.00 |
| Thiamin (B1) | 0.03 |
| Ribofravin (B2) | 0.02 |
| เบต้าเคโรทีน | 0.04 |

ที่มา: Ratana and Chirapart, (2006)

ตารางที่ 3 ปริมาณของเกลือแร่ในสาหร่ายพวงองุ่น

| เกลือแร่ | มิลลิกรัม/100กรัม น้ำหนักแห้ง |
|---|---|
| ฟอสฟอรัส | 106 |
| โปแตสเซียม | 855.6 |
| แคลเซียม | 748.4 |
| แมกนีเซียม | 1505 |
| แมงกานีส | 56.88 |
| เหล็ก | 5.63 |
| ไอโอดีน | 1.32 |

ที่มา: Ratana and Chirapart, (2006

ตารางที่ 4 ปริมาณของโลหะหนักในสาหร่ายพวงองุ่น

| โลหะหนัก | มิลลิกรัม/100กรัม น้ำหนักแห้ง |
|---|---|
| อาร์เซนิก | <0.01 |
| แคดเมียม | <0.001 |
| ตะกั่ว | <0.01 |

ที่มา: โครงการฟาร์มทะเลตัวอย่างฯ (กรมประมง, ม.ป.ป.)

นอกจากนี้สาหร่ายพวงองุ่นยังมีรสชาติที่ดีและจัดเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ เนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนาการสูง อุดมไป ด้วยเกลือแร่และวิตามินหลายชนิด ได้แก่ วิตามินบี 1 วิตามินบี 2 วิตามินอี และมีเบต้าแคโรทีน ซึ่งเป็นสาร ตั้งต้นของวิตามินเอ นอกจากนี้มีเกลือแร่ ได้แก่ ไอโอดีน ฟอสฟอรัส สังกะสี แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก แมงกานีส นอกจากนี้ยังเป็นอาหาร 1 ใน 5 อาหารแนะนำสำหรับผู้ที่ไปเยือน เพราะมีความเชื่อ ว่าการรับประทานสาหร่ายทะเล ช่วยให้หายป่วยได้เร็วขึ้น เนื่องจากมีวิตามินเอ วิตามินซีและเกลือแร่สูง เป็น แหล่งสำคัญของแมกนีเซียมที่ช่วยลดความดันโลหิต และป้องกันโรคหัวใจล้มเหลว ช่วยต้านมะเร็ง ไอโอดีนสูง จึงช่วยผู้ป่วยโรคไทรอยด์ นอกจากนี้สาหร่ายพวงองุ่น *C. lentillifera* ยังมีกรดอะมิโนจำเป็นเกือบ 40% ของ กรดอะมิโนใกล้เคียงกับไข่และถั่วเหลือง

**2. การอบแห้ง**

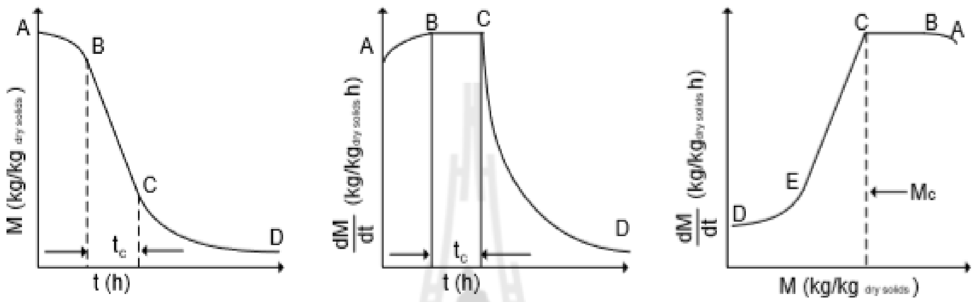
เป็นกระบวนการลดน้ำหนักของอาหารทำให้อาหารมีน้ำหนักเบาขึ้น โดยใช้ตัวกลางทำหน้าที่ถ่ายเทความร้อนจากบรรยากาศไปสู่อาหารที่มีความชื้นอยู่โดยวิธีใดวิธีหนึ่ง แล้วรับความชื้นจากอาหารระเหยไปสู่บรรยากาศภายนอกอาหาร ทำให้อาหารมีความชื้นลดลงไปเรื่อย ๆ จนในที่สุดแห้งเป็นอาหารแห้ง โดยทั่ว ๆ ไปอากาศ จะมีบทบาทสำคัญ ทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนและความชื้นดังกล่าว หลักเกณฑ์การถนอมอาหารตากแห้งคือ จะต้องลดยับยั้งและป้องกันปฏิกิริยา

ทางเคมีทั้งหลายและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ทุกชนิด เพื่อให้ได้อาหารตากแห้งที่เก็บได้นาน ไม่บูดเน่าเพราะการเจริญเติบโตของ จุลินทรีย์ หรือไม่มีสารเคมีตกค้างเนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างกรรมวิธี เตรียมการผลิต หรือระหว่างการเก็บ เช่น ผักหรือผลไม้ต้องลวกน้ำร้อนก่อน นำไปตากแห้งเพื่อหยุดปฏิกิริยาเอนไซม์และลดปริมาณแบคทีเรียที่มีอยู่ เป็นต้น

การอบแห้ง (Drying) คือการกำจัดความชื้นหรือน้ำที่มีอยู่ในวัสดุให้ลดลงจนมีความชื้นอยู่ ในปริมาณที่ปลอดภัยต่อการเก็บรักษา และมีค่าอีกค่าหนึ่งซึ่งเรามักจะพบอยู่เป็นประจำคือ การทำแห้ง (Dehydration) ซึ่งเป็นการกำจัดความชื้นหรือน้ำออกจากวัสดุจะกระทั่งวัสดุนั้นไม่มีความชื้น หรือเขตใกล้มวลแห้ง

การอบแห้งเป็นกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยวที่สำคัญกระบวนการหนึ่งเพื่อให้ผลผลิต ทางการเกษตรมีความเหมาะสมต่อการเก็บรักษา คือสามารถยืดอายุการเก็บรักษาไว้ได้นานโดยไม่เสียหายเนื่องจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ทั้งนี้เนื่องจากผลิตผลทางการเกษตรส่วนใหญ่จะมีความชื้นค่อนข้างสูงขณะทำการเก็บเกี่ยวทำให้เก็บรักษาได้ไม่นาน การอบแห้งจะช่วยให้สามารถ เก็บรักษาผลิตผลได้เป็นระยะเวลายาวนานขึ้น ผลิตผลทางการเกษตรที่สำคัญและต้องทำการอบแห้ง

การอบแห้งส่วนใหญ่ใช้การถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุที่ชื้นเพื่อไล่ความชื้นออกโดยการระเหย (มโน และคณะ, 2551) ปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการอบแห้ง ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ อัตราการไหลของอากาศ และประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้ง โดยพฤติกรรมการอบแห้งโดยใช้ลม-ร้อนเป็นตัวกลางในการพาความชื้นออกจากวัสดุ เมื่อสมุมติให้ อุณหภูมิ ความชื้นและความเร็วของอากาศเหนือผิวของวัสดุอบแห้งมีค่าคงที่ตลอดกระบวนการและมีการถ่ายเทความร้อนสู่วัสดุโดยการพาความร้อน การเปลี่ยนแปลงความชื้นของวัสดุตลอดระบวนการอบแห้ง โดยแบ่งการอบแห้งออกเป็น 3 ช่วงคือ




ภาพที่ 2 การเปลี่ยนแปลงอัตราการอบแห้ง
ที่มา: Brennan (1990)

ช่วง A-B ช่วงนี้เป็นช่วงสภาวะที่ผิวของวัสดุเข้าสู่สมดุลกับอากาศเกิดขึ้นเมื่อเริ่มทำการอบแห้งความร้อนจากลมร้อนจะถ่ายเทสู่ผิววัสดุจนถึงค่าๆ หนึ่งซึ่งมีความสมดุลระหว่างผิววัสดุกับอากาศ

ช่วง B-C ช่วงนี้เป็นช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ (constant rate period of drying) ช่วงนี้ผิว วัสดุยังคงชุ่มไปด้วยน้ำซึ่งจะถูกนำออกจากผิววัสดุด้วยการระเหยซึ่งอัตราการอบแห้งในช่วงนี้จะ

ขึ้นอยู่กับอัตราการถ่ายเทความร้อนไปยังผิวของการอบแห้งอัตราการถ่ายเทมวลมีความสมดุลกับอัตราการถ่ายเทความร้อนจึงทำให้อุณหภูมิที่ผิวของวัสดุอบแห้งคงที่ ซึ่งสอดคล้องกับอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศอบแห้ง

ช่วง C-D ช่วงนี้เป็นช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (falling rate period) เนื่องจากปริมาณความชื้นภายในเนื้อวัสดุเคลื่อนที่มาสู่ผิวด้านนอกลดลง ณ จุด C ในภาพที่ 2 อัตราการอบแห้งเริ่มลดลงความชื้นของวัสดุที่จุดนี้เรียกว่าความชื้นวิกฤต เมื่อกระบวนการอบแห้งดำเนินต่อไปอุณหภูมิที่ผิวของวัสดุจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดกระบวนการ โดยปรกติช่วงอัตราการอบแห้งลดลงประกอบไปด้วยสองช่วงคือ ช่วงของการอบแห้งลดลงส่วนที่ 1 (C-E) ช่วงนี้ผิวของวัสดุจะ แห้งและอัตราการอบแห้งลดลง ช่วงของการอบแห้งลดลงส่วนที่ 2 (E-D) ช่วงนี้ระนาบของการ ระเหยจะเคลื่อนตัวเข้าสู่ภายในเนื้อวัสดุและผลกระทบจากปัจจัยภายนอก เช่น อัตราการไหลของ อากาศ มีค่าน้อยลง เมื่อพิจารณาตลอดกระบวนการอบแห้งจะพบว่าช่วงของการอัตราการจะอบแห้งลดลงตามเวลา (เทวรัตน์ , 2553)

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการอบแห้ง อัตราเร็วของการทำแห้งอาหารขึ้นอยู่กับ

1) ลักษณะธรรมชาติของอาหาร อาหารที่มีลักษณะเป็นรูพรุน มีความพรุน (porosity) มาก จะมีอัตราการอบแห้งเร็วเนื่องจากน้ำในอาหารสามารถเคลื่อนจากภายในออกมาภายนอกได้ง่าย นอกจากนี้อาหารที่มีพื้นที่ผิวมากอัตราการอบแห้งสามารถเกิดได้เร็วเช่นกัน ทั้งนี้ก็เนื่องจากพื้นที่การระเหยของน้ำในวัสดุเพิ่มขึ้นมากนั่นเอง

2) ขนาด รูปร่าง ปริมาตร และพื้นที่ผิวของอาหาร เป็นสมบัติทางกายภาพของอาหารที่มีผลต่อการทำแห้ง อาหารที่มีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตรมาก จะมีพื้นที่ระเหยน้ำมาก จะมีอัตราการทำแห้งเร็วขึ้น ดังนั้นหากอาหารที่มีความหนามากอัตราการอบแห้งจะช้ากว่าอาหารที่มีความหนาน้อยกว่าเนื่องจากอัตราการทำแห้งจะเป็นสัดส่วนผกผันกับความหนาของอาหาร

3) ปริมาณของอาหารที่นำมาอบแห้ง อาหารที่นำมาอบแห้งในปริมาณมาก จะมีอัตราการอบแห้งที่ช้าเนื่องจากอากาศร้อนไม่สามารถสัมผัสกับอาหารที่นำมาอบแห้งได้อย่างทั่วถึง จึงไม่สามารถถ่ายเทความร้อนให้กับอาหารได้ จึงทำให้อัตราการอบแห้งช้าลง

4) ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และความชื้นจำเพาะ (specific humidity) ของอากาศเป็นสิ่งสำคัญมาก การระเหยน้ำออกจะทำได้ดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับความชื้นของอากาศและความเร็วลม

5) ความดัน เกี่ยวเนื่องกับการระเหยของน้ำ เนื่องจากในที่ความดันต่ำลงมาน้ำจะเดือดได้ที่อุณหภูมิต่ำลง ดังนั้นการทำแห้งภายใต้ความดันจะทำให้อัตราการทำแห้งเร็วขึ้น (นิรนาม, ม.ป.ป.)

**2.1 วัตถุประสงค์ของการทำแห้งอาหาร**

2.1.1 ยืดอายุการเก็บรักษา การทำแห้งเป็นการลดปริมาณน้ำในอาหาร เพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ทุกชนิด เช่น รา (mold) ยีสต์ (yeast) แบคทีเรีย (bacteria) ที่เป็นสาเหตุให้อาหารเสื่อมเสีย (microbial spoilage) ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ (enzyme) หรือชะลอปฏิกิริยาต่าง ๆ ทั้งทางเคมีและทางชีวเคมีซึ่งมีน้ำเป็นส่วนร่วมและเป็นสาเหตุให้อาหารเสื่อมเสีย

2.1.2 ทำให้อาหารปลอดภัย การลดปริมาณน้ำในอาหารโดยการทำแห้ง ทำให้อาหารมีค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (water activity) น้อยกว่า 0.6 ซึ่งเป็นระดับที่ปลอดภัยจากจุลินทรีย์ก่อโรค (pathogen) รวมทั้งยับยั้งการสร้างสารพิษของเชื้อรา (mycotoxin) เช่น Aflatoxin

2.1.3 เพื่อทำให้อาหารมีน้ำหนักเบา ลดปริมาตร ทำให้สะดวกต่อการขนส่ง การบริโภค หรือการนำไปเป็นวัตถุดิบในการแปรรูปต่อเนื่องด้วยวิธีอื่น ๆ

2.1.4 สร้างผลิตภัณฑ์ใหม่ที่เป็นทางเลือกของผู้บริโภคมากขึ้น

### 2.2 การเปลี่ยนแปลงของอาหารระหว่างการทำแห้ง

ความชื้น (moisture content) เป็นค่าที่บ่งชี้ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในอาหาร เป็นสมบัติที่สำคัญมากที่สุดอย่างหนึ่งของอาหาร เนื่องจากความชื้นมีผลต่อการเสื่อมเสียของอาหาร (food spoilage) โดยเฉพาะการเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ (microbial spoilage) ซึ่งกระทบต่ออายุการวางจำหน่าย (shelf life) อาหารที่มีความชื้นหรือปริมาณน้ำสูงจะเป็นอาหารที่เสื่อมเสียง่าย (perishable food) เนื่องจากมีสภาวะเหมาะสมกับการเจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสื่อมเสีย เช่น แบคทีเรีย ยีสต์ และรา

ความชื้นมีผลต่อความปลอดภัยทางอาหาร (food safety) อาหารที่มีน้ำสูงเหมาะกับการเจริญของจุลินทรีย์ก่อโรค (pathogen) และการสร้างสารพิษ (toxin) ที่ก่อให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษ รวมถึงการสร้างสารพิษของรา (mycotoxin) เช่น aflatoxin และ patulin ซึ่งเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค

2.2.1 ความชื้นมีผลต่อสมบัติทางกายภาพ และสมบัติเชิงความร้อนของอาหารด้านต่างๆ เช่น จุดหลอมเหลว จุดเดือด การนำความร้อน ความร้อนจำเพาะ (specific heat)

2.2.2 ความชื้นมีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส ซึ่งมีผลต่อการยอมรับของอาหาร ได้แก่ เนื้อสัมผัส (texture) เช่น ความกรอบ ความหนืด (viscosity) การเกาะติดกันเป็นก้อน (caking)

2.2.3 ความชื้นมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ ที่มีผลกระทบทางลบต่ออาหารระหว่างการเก็บรักษา เช่น ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (browning reaction) ปฏิกิริยาออกซิเดชันของลิพิด (lipid oxidation)

2.2.4 ความชื้นมีผลต่อการกำหนดราคาสินค้า เช่น ข้าว เมล็ดธัญพืช กำหนดราคารับซื้อผันแปรตามปริมาณความชื้น

### 2.3 การแสดงค่าความชื้นของอาหาร

ปริมาณความชื้น นิยมบอกเป็นเปอร์เซ็นต์มี 2 รูปแบบคือ

2.3.1 ความชื้นฐานเปียก (wet basis) เป็นค่าความชื้นที่มักใช้ในทางการค้า เป็นค่าที่ใช้บ่งชี้ความชื้นโดยทั่วไปในชีวิตประจำวัน มักบอกเป็นเปอร์เซ็นต์

2.3.2 ความชื้นฐานแห้ง (dry basis) เป็นค่าที่นิยมใช้กันในการวิเคราะห์กระบวนการอบแห้ง (dehydration) เพราะช่วยให้คำนวณได้สะดวก เนื่องจากน้ำหนักแห้งของอาหารจะคงที่ อาจบอกเป็นเปอร์เซ็นต์ หรือ จำนวนกรัมของน้ำต่อจำนวนกรัมของของแข็ง (g $H_2O$/ g solid)

**2.4 การวัดความชื้นของอาหาร**

น้ำที่มีอยู่ในอาหารแต่ละชนิดมีการยึดติดอยู่ในโครงสร้าง หรือโมเลกุลของสารอื่น ๆ ที่เป็นส่วนประกอบของอาหารในรูปแบบ และความแข็งแรงต่างกัน ทำให้เทคนิคที่ใช้สำหรับการหาความชื้นของอาหารแต่ละชนิดแตกต่างกันไป ทั้งความยากง่าย ความซับซ้อนของอุปกรณ์ และความถูกต้องแม่นยำของค่าที่ได้ วัตถุประสงค์หลักของบทนี้จึงเป็นการแนะนำให้รู้จักวิธีการหาความชื้นในอาหารแบบต่าง ๆ ข้อดีและข้อเสียของแต่ละวิธี เพื่อสามารถเลือกนำไปใช้งานได้อย่างเหมาะสม

2.4.1 การวัดความชื้นโดยตรง (direct method) เป็นการวัดปริมาณที่มีอยู่ในอาหารโดยตรง สามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ การแยกเอาน้ำออกด้วยวิธีทางกายภาพ เช่น การอบแห้งทำให้น้ำระเหยออกไป การกลั่นแยกเอาน้ำออกจากอาหาร หรือการใช้วิธีการทางเคมี โดยการใช้สารเคมีทำปฏิกิริยากับน้ำ เป็นต้น วิธีการวัดโดยตรงเป็นการวัดที่ทำลายตัวอย่าง แต่ละวิธีจะมีความถูกต้องแตกต่างกัน วิธีที่มีการยอมรับกันทั่วไปว่ามีความถูกต้องแม่นยำสูง จะนิยมใช้เป็นค่าความชื้นมาตรฐานเพื่อใช้ปรับเทียบค่าที่ได้จากการวัดด้วยวิธีการอื่น ๆ ก่อนนำค่าที่ได้ไปใช้ประโยชน์

1) Karl fischer method การทำปฏิกิริยาเคมี (chemical reaction)

2) การวิเคราะห์ความชื้นด้วยการอบแห้ง

- การวิเคราะห์ความชื้นด้วยการกลั่น (distillation) นำตัวอย่างเมล็ดพืชที่บดเป็นแป้งผสมกับตัวทำละลายโทลูอีน (toluene) แล้วนำไปต้ม น้ำจะระเหยออกมาและควบแน่นเป็นหยดน้ำ ซึ่งวัดเป็นปริมาตรและน้ำหนักได้

- การใช้รังสีอินฟราเรดหรือคลื่นไมโครเวฟ (infrared and microwave radiation) เป็นการใช้รังสีอินฟราเรดหรือคลื่นไมโครเวฟ เพื่อระเหยน้ำในแป้งที่ได้จากการบดตัวอย่างเมล็ดพืช วิธีวัดความชื้นเหล่านี้มีจุดเด่นที่ให้ผลการวัดถูกต้อง แต่จุดด้อยสำคัญคือ อุปกรณ์และเครื่องมือมีราคาแพง การใช้งานต้องเตรียมอุปกรณ์หลายชิ้น และการวัดแต่ละครั้งใช้เวลานาน

2.4.2 การวัดโดยอ้อม (indirect methods) เป็นการวัดสมบัติทางไฟฟ้าของเมล็ดพืชด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น วัดค่าความจุไฟฟ้า การวัดความชื้นโดยทางอ้อมมีจุดเด่นตรงรู้ผลเร็ว สะดวก และทำได้บ่อย จุดด้อยคือ ค่าที่ได้จากการวัดเป็นค่าโดยประมาณการ การวัดโดยอ้อมวัดได้หลายวิธีเช่นกันคือ

1) การวัดความต้านทานไฟฟ้า (resistance) อุปกรณ์วัดความต้านทานไฟฟ้าของเมล็ดพืชทำได้โดยบรรจุเมล็ดพืชตัวอย่างลงช่องว่างระหว่างขั้วไฟฟ้าในภาชนะปิดแน่น ค่าความต้านทานไฟฟ้าที่วัดได้จะแปรเป็นค่าปริมาณความชื้น

2) ความจุไฟฟ้า (capacitance) ตัวอย่างจะถูกบรรจุในภาชนะปิด โดยผนังภาชนะทำหน้าที่ปล่อยกระแสไฟฟ้าความถี่สูงออกมา การวัดวิธีนี้จำเป็นต้องใช้ตารางคาลิเบรชัน (calibration) ประกอบด้วยค่าความชื้นที่ได้จากการวัดด้วยวิธีนี้จะมีความแม่นยำมากกว่าการวัดจากค่าความต้านทานไฟฟ้า

3) ความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity) เป็นวิธีหาค่าความชื้นในเมล็ดพืชจากการวัดความชื้นสัมพัทธ์ในช่องอากาศระหว่างเมล็ด เนื่องจากปริมาณความชื้นในเมล็ดจะทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ในช่องอากาศระหว่างเมล็ดเปลี่ยนแปลง ซึ่งความถูกต้องของค่าความชื้นที่วัดได้จาก

วิธีนี้ขึ้นอยู่กับการกระจายตัวของความชื้น ดังนั้นการวัดด้วยวิธีนี้ต้องรอเวลานานประมาณ 1-2 ชั่วโมง เพื่อให้ความชื้นสัมพัทธ์ในช่องอากาศต่าง ๆ เกิดสมดุลก่อนวัดเพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้อง (พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา, 2553)

**2.5 ซอร์พชั่นไฮโซเทอร์ม (Sorption Isoterm)**

ทฤษฎีการดูดซับ

การดูดซับ (adsorption) หมายถึง การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารที่พื้นผิวของสารถูกดูดซับ (adsorbate) ที่สัมผัสโดยตรงกับสารดูดซับ (adsorbent) โดยสารที่มีพลังงานอิสระที่ผิว (surface free energy) ต่ำจะถูกดูดซับได้ดี แต่สารที่มีพลังงานอิสระที่ผิวสูงจะไม่ถูกดูดซับ กระบวนการดูดซับ จะเกิดขึ้นเมื่อมีการสัมผัสกันโดยตรงระหว่างสารถูกดูดซับกับสารดูดซับ ปริมาณการดูดซับของสารขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ธรรมชาติของสารถูกดูดซับกับสารดูดซับ พื้นที่ผิวของตัวดูดซับ พลังงานกระตุ้นของตัวดูด ซับ และสภาวะการดูดซับ อาทิ อุณหภูมิ ความเข้มข้น ความดัน และพลังงานศักย์ของอันตรกิริยา ระหว่างสารที่ถูกดูดซับ (อาจเป็นของแข็งของเหลวหรือแก๊ส) กับสารดูดซับ (ซึ่งอาจเป็นของเหลวหรือ ของแข็ง) ดังนั้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความดันหรือความเข้มข้น และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจะทำ ให้ปริมาณการดูดซับเปลี่ยนแปลง การดูดซับเกิดขึ้นเฉพาะบริเวณผิวสัมผัส (interface) โดยที่มีวัฏภาคหนึ่งเป็นของแข็งเสมอ และเป็นวัฏภาคคายความร้อน โมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับเกาะอยู่บนผิวหน้าของของแข็งของสารดูดซับ ดังนั้นการดูดซับด้วยของแข็งจะขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวสัมผัสของของสารดูดซับ การดูดซับจะเกิดขึ้น เนื่องจากแรงดึงดูดที่พื้นผิวของของแข็งซึ่งเป็นสารดูดซับมีค่ามากกว่าค่าพลังงานจลน์ของโมเลกุลของ ของเหลวนั้น การดูดซับบนผิวของแข็ง แบ่งออกได้ตามแรงที่ดูดซับระหว่างพื้นผิวโมเลกุลเป็น 2 ชนิด คือ การดูดซับทางกายภาพ และการดูดซับทางเคมี

2.5.1 ไอโซเทอมแบบแลงเมียร (Langmuir isotherm) ใน ปี ค.ศ.1916 แลงเมียร์ (Irving Langmuir) ได้เสนอไอโซเทอมแบบง่ายสุดโดยมีสมมติฐาน คือ

1) ใช้สำหรับการดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayer adsorption)

2) โมเลกุลที่ถูกดูดซับมีจำนวนที่แน่นอนและมีตำแหน่งของการดูดซับที่แน่นอน

3) ในแต่ละโมเลกุลของสารดูดซับจะดูดซับโมเลกุลของสารถูกดูดซับได้เพียงหนึ่งโมเลกุล เท่านั้น ในแต่ละตำแหน่งค่าความร้อนของการดูดซับเท่ากันและคงที่ ไม่มีแรงกระทำระหว่างโมเลกุลที่ อยู่ในตำแหน่งใกล้กัน พลังงานของการดูดซับจะเหมือนกันทุก ๆ พื้นที่ของตัวดูดซับ

4) โมเลกุลที่จะถูกดูดซับไม่สามารถที่จะยายขามผิวหรือเกิดปฏิกิริยากับโมเลกุลข้างเคียงได้ สมการแลงเมียร์เป็นสมการง่ายๆ แบบจำลองเป็นพื้นฐานทางฟิสิกส์และสามารถนำมาใช้งาน ได้ในช่วงที่กว้าง ในขณะที่สมการของแลงเมียร์มีข้อจำกัดของการใช้งาน ได้แก่ พลังงานของการดูดซับ เป็นอิสระจากระดับการควบคุม แรงที่ใช้ในการดึงดูดเป็นแรงอ่อนๆ ที่สามารถผันกลับได้และจะใช้ได้ ในกรณีที่ผิวของตัวดูดซับเกิดขึ้นแบบชั้นเดียวเท่านั้น

2.5.2 ไอโซเทอมแบบ Freundlich (Freundlich isotherm) สมการของ Freundlich มีสมมติฐานของการดูดซับที่ว่าพื้นผิวของตัวดูดซับไม่เป็นเนื้อเดียวกันตลอด (พื้นผิวของตัวดูดซับมีลักษณะขรุขระ) พื้นที่ผิวและพลังงานมีการกระจายตัวเป็นแบบเลขชี้กำลัง ใช้ทั้งกับการดูดซับทางเคมีและการดูดซับทางกายภาพ ไอโซเทอมแบบ Freundlich เป็นไอโซเทอมที่พัฒนาจากไอโซเทอม

แบบแลงค์เมียร์ที่เกิดบนผิวหน้าไม่เป็นเนื้อเดียว (heterogeneous) โดย ที่การดูดซับบนพื้นผิวของตัวถูกดูดซับจะเป็นแบบหลายชั้น (multilayer)

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ

1) ธรรมชาติของตัวดูดซับ พื้นที่ผิวเป็นสมบัติอย่างหนึ่งที่มีผลต่อความสามารถของตัวดูดซับในการดูดซับ เมื่อพื้นที่ผิวของตัวดูดซับเพิ่มขึ้น ความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตาม พื้นที่ผิวของตัวดูดซับอย่างเดียวไม่เพียงพอที่จะบ่งบอกถึงความสามารถในการดูดซับ โครงสร้างของรูพรุนก็มีส่วนช่วยให้พื้นที่ผิวมีความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น ถ้าตัวดูดซับไม่มีรูพรุน พื้นที่ผิวจะเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดของตัวดูดซับมีขนาดเล็กลง ซึ่งทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น แต่ถ้าตัวดูดซับมีรูพรุนมาก พื้นที่ผิวที่ใช้ในการดูดซับอยู่ในรูพรุน ขนาดของตัวดูดซับจะไม่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับ

2) ธรรมชาติของตัวถูกดูดซับ ความสามารถในการละลายน้ำของโมเลกุลตัวถูกดูดซับมีผลต่อการดูดซับ ซึ่งแนวโน้มของการดูดซับบนพื้นที่ผิวตัวดูดซับจะลดลงเมื่อโมเลกุลตัวถูกดูดซับละลายน้ำได้ดี เพราะว่าก่อนที่จะเกิดกระบวนการดูดซับจะต้องมีการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของตัวถูกดูดซับกับโมเลกุลของน้ำ เพื่อให้โมเลกุลของตัวถูกดูดซับหลุดออกจากน้ำไปเกาะบนพื้นผิวของตัวดูดซับ โมเลกุลของตัวถูกดูดซับขนาดใหญ่มีความสามารถในการละลายน้ำลดลง จึงมีแนวโน้มที่จะถูกดูดซับบนพื้นผิวตัวดูดซับมากขึ้น

3) อัตราเร่งการปั่นกวน อัตราเร็วในการดูดซับขึ้นอยู่กับขนส่งโมเลกุลของระบบ ขั้นตอนนี้ประกอบด้วยการแพร่ผ่านฟิล์ม และการแพร่เข้าสู่โพรง ซึ่งแล้วแต่การปั่นกวนของระบบถ การปั่นกวนต่ำฟิล์มน้ำที่ล้อมรอบสารดูดซับ ในทางตรงกันข้ามถ้าการปั่นกวนสูงจะทำให้ความหนาของชั้นฟิล์มลดลง ทำให้โมเลกุลเคลื่อนที่เข้าหาสารดูดซับได้เร็ว ดังนั้นการแพร่เข้าสู่โพรงจะเป็นขั้นตอนในการกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ

4) อุณหภูมิ การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิทำให้การแพร่ผ่านของสารที่ถูกดูดซับลงไปยังรูพรุนของตัวดูดซับเร็วขึ้นแต่จะส่งผลให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับกับพื้นที่ผิวของตัวดูดซับลดลง

5) ผลของความเป็นกรด-เบส ประสิทธิภาพของการดูดซับขึ้นอยู่กับสภาพความเป็นขั้วของพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ เมื่อสารละลายมีสภาพความเป็นกรดต่ำส่งผลให้เกิดไฮโดรเนียมไอออน ($H_3O^+$) บนพื้นผิวตัวดูดซับเพิ่มขึ้น ทำให้กระบวนการดูดซับไอออนลบเพิ่มขึ้น และสามารถดูดซับไอออนบวกได้มากขึ้น แต่ถ้าสารละลายมีความเป็นกรด เบสมากกว่า 9 จะทำให้โลหะไอออนตกตะกอนในรูปไฮดรอกไซด์ และโลหะไอออนจะถูกดูดซับได้น้อยลง

### 2.6 การลวก

ความหมายของการลวก (blanching)

การลวก (blanching) คือ การให้ความร้อนวัตถุดิบก่อนการแปรรูป โดยให้อาหารสัมผัสกับน้ำร้อน ไอน้ำร้อน ไมโครเวฟ (microwave) หรือแหล่งความร้อนใด ๆ โดยอุณหภูมิที่ใช้ลวกอยู่ระหว่าง 70-105°C ใช้ระยะเวลาสั้นๆ ที่เหมาะสมกับอาหารแต่ละชนิด  การลวกมักใช้เพื่อเตรียมวัตถุดิบจากพืช เช่น ผัก ผลไม้ ก่อนจะนำไปแปรรูปด้วยวิธีต่าง ๆ เช่น การ แช่เยือกแข็ง (freezing) การทำแห้ง (dehydration) การผลิตอาหารกระป๋อง (canning)

การลวกผักผลไม้ด้วยน้ำอาจเติมเกลือแคลเซียม (calcium salt) ซึ่งไปรวมตัวกับเพกทิน (pectin) ในเซลล์พืช เพื่อช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัส (texture properties) ทำให้ผักผลไม้มีเนื้อสัมผัสแน่น แข็ง กรอบ

2.6.1 วัตถุประสงค์หลักของการลวก

เพื่อทำลายเอนไซม์ (enzyme) โดยความร้อนจากการลวกจะทำลายเอนไซม์ ที่เป็นสาเหตุของการเสื่อมเสีย เช่น เกิดปฏิกิริยาสีนำตาลที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (enzymatic browning reaction) การหืน (rancidity) จากปฏิกิริยา hydrolytic rancidity เอนไซม์ที่เป็นสาเหตุสำคัญของการเสื่อมเสียของผักและผลไม้ มีหลายชนิด จากกราฟด้านล่าง แสดง D value ซึ่งเป็นเวลาที่ใช้ลดปริมาณของเอนไซม์ชนิดต่าง ๆ ในผักผลไม้ลง 90% จากปริมาณเริ่มต้น เอนไซม์ polyphenoloxidase (PPO) ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดสีน้ำตาลที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ มี D-value ที่อุณหภูมิ ประมาณ 95°C มีค่า เท่ากับ 60 วินาที ขณะที่เอนไซม์เพอร์ออกซิเดส ทนร้อนมากที่สุดมีค่า D value ที่อุณหภูมิ ประมาณ 120°C มีค่า เท่ากับ 60 วินาที

2.6.2 ผลดีของการลวกต่อคุณภาพอาหาร

การลวกมีผลต่อการทำงานของเอนไซม์แล้วยังมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง คือ

1. ช่วยทำความสะอาดและลดปริมาณจุลินทรีย์วัตถุดิบ
2. ช่วยให้การปอกเปลือก (peeling) วัตถุดิบบางชนิดทำได้ง่ายขึ้น
3. ช่วยลดปริมาณแก๊สในเซลล์ของวัตถุดิบ เป็นการช่วยรักษาสภาวะสุญญากาศและลดแรงดันภายในกระป๋องในระหว่างการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน (thermal processing)
4. วัตถุดิบที่หักง่าย เช่น ยอดของหน่อไม้ฝรั่ง การลวกก่อนจะทำให้วัตถุดิบหดตัวนิ่มขึ้น ลดความเปราะ หักง่ายทำให้บรรจุได้ง่าย และควบคุมน้ำหนักระหว่างบรรจุได้ง่ายขึ้น
5. ช่วยลดการเปลี่ยนแปลงสีของผักผลไม้ สีเขียวในผัก เช่น การลวกขัดขวางกลไกการเปลี่ยนแปลง chlorophyll ไปเป็น pheophytin ทำให้สีสดใสขึ้น
6. ช่วยกำจัดกลิ่นดิบ (raw flavor) ในผักที่จะนำไปแช่เยือกแข็ง (freezing)
7. ช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัส (texture) น้ำอาจเติมเกลือแคลเซียม (calcium salt) ซึ่งไปรวมตัวกับเพกทิน (pectin) ในเซลล์พืช เพื่อช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัส (texture) ทำให้ผักผลไม้มีเนื้อแน่น แข็ง และกรอบ

การลวกมีข้อเสีย คือ ทำให้เกิดการสูญเสียวิตามินที่ไวต่อความร้อนและสูญเสียสารอาหารที่ละลายได้ในน้ำ การลวกที่ใช้ปริมาณความร้อนมากเกินไป ทำให้เนื้อสัมผัสของอาหารเสีย

วิธีการลวก

การลวกที่ใช้กันโดยทั่วไปมี 2 วิธีคือ

- การลวกด้วยน้ำร้อน (water blancing) ทำได้ทั้งแบบกะ (batch) โดยจุ่มวัตถุดิบลงในอ่างน้ำร้อน เมื่อครบกำหนดเวลาก็ยกขึ้นแช่น้ำเย็น หรือ แบบต่อเนื่อง ปล่อยให้วัตถุดิบเคลื่อนที่อย่างต่อเนื่องลงในอ่างน้ำร้อนที่มีการควบคุมอุณหภูมิตามต้องการในช่วง 75-100 องศาเซลเซียส การลวกวิธีนี้ก่อให้เกิดการสูญเสียสารอาหารที่ละลายได้ในน้ำ นอกจากนี้ยังต้องระวังการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ที่ชอบความร้อน (thermophile)

- การลวกด้วยไอน้ำ (steam blanching) ทำได้โดยการผ่านผัก ผลไม้ เข้าไปในอุโมงค์ที่มีไอน้ำที่ความดันบรรยากาศ วิธีนี้ทำให้เกิดการสูญเสียสารอาหารน้อยกว่าวิธีแรก แต่ไม่ได้ทำความสะอาดวัตถุดิบเหมือนกับวิธีแรก (นิธิยา, ม.ป.ป)

**3. ตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven)**

การอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนถูกพัฒนามาจากการตากแดด โดยมีการใช้อุปกรณ์เข้าช่วยเพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์จำนวนมากแห้งตามที่ต้องการ และมีความชื้นสม่ำเสมอ ผลิตภัณฑ์ที่ตากแห้งโดยวิธีนี้สะอาด ลดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ได้ดีกว่าการตากแดด การทำแห้งในผลิตภัณฑ์เนื้อที่ตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ หรือผลิตภัณฑ์เนื้อที่สุกแล้วมักใช้วิธีการทำให้แห้งด้วยความร้อนโดยใช้ตู้อบขนาดใหญ่ที่มีลมร้อนเป่าผ่านทำให้น้ำระเหยไปกับลมร้อนโดยทางช่องระบายลมภายในตู้อบ ใช้อุณหภูมิประมาณ 50 - 70 องศา ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากวิธีนี้มีความชื้นประมาณร้อยละ 5.6 - 8.5 แต่จะมีปริมาณไขมันสูงขึ้นถึงร้อยละ 20.4 - 24.2 กรณีที่เป็นเนื้อสุกรตากแห้งอาจเกิดการเหม็นหืนได้ง่าย เมื่อเก็บไว้ 3 - 5 วัน แต่สามารถป้องกันได้โดยการเติมสารกันหืน เช่น Salicylic Acid (BHA) หรือ Butylated hydroxytoluene (BHT) ประมาณร้อยละ 0.01 ผสมเนื้อหมักเกลือก่อนตากแห้ง (นิรนาม, ม.ป.ป)

**3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทำแห้ง**

3.1.1 เครื่องทำแห้งแบบถาด (Tray dryer)

เครื่องอบแห้งแบบถาดมีลักษณะเป็นตู้ที่มีถาดสำหรับใส่อาหารเรียงกันเป็นชั้น ๆ ใช้ลมร้อนเป็นตัวกลางในการให้ความร้อนแก่ชิ้นอาหารและระเหยน้ำออกจากอาหาร อุณหภูมิของลมร้อนสามารถควบคุมได้ ตั้งแต่ 30-120 องศาเซลเซียส เครื่องชนิดนี้เหมาะสำหรับอาหารที่มีชิ้นใหญ่เป็นก้อน แผ่น หรือมีรูปทรงแน่นอน เช่น เนื้อสัตว์ ผักและผลไม้ เป็นเครื่องที่ใช้ได้ง่ายและสะดวกเหมาะสมสำหรับการอบแห้งที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน

3.1.2 เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์ (Fluidized bed dryer)

เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดมีลักษณะเป็นห้องอบที่มีลมร้อนเข้าด้านล่างและพัดพาชิ้นอาหารให้ลอยขึ้นและไหลตามกันไปจนกระทั่งความชื้นลดลง เครื่องอบแห้งนี้มีประสิทธิภาพสูงในการแลกเปลี่ยนความร้อนและพาความชื้นออกจากอาหาร เนื่องจากลมร้อนสัมผัสกับชิ้นอาหารแต่ละชิ้นโดยตรง อาหารที่เหมาะกับการใช้เครื่องมือนี้ต้องมีน้ำหนักเบา ทนต่อแรงฉีกขาด เช่น เมล็ดพืช อาหารที่เป็นชิ้นเล็ก หรือมีลักษณะเป็นเม็ด อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งเริ่มจาก 30 – 200 องศาเซลเซียส (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2547)

**4. ผลของการอบแห้งต่อคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร**

การแปรรูปอาหาร เป็นสิ่งที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในปัจจุบันและมีประโยชน์ต่อประชาชน เพราะด้วยเทคโนโลยีที่เหมาะสม จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์อาหารในปริมาณมากที่มีคุณภาพอย่างสม่ำเสมอนั่นเอง โดยเหตุผลทั่วไปของการแปรรูปอาหารก็คือ

4.1 ทำให้เก็บอาหารไว้เป็นระยะเวลานานขึ้น เพราะการแปรรูปจะช่วยถนอมอาหาร

4.2 ทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค จึงลดการติดเชื้อหรือป่วยได้ดี

4.3 อาหารย่อยได้ดีขึ้นและเพิ่มคุณค่าอาหารให้มีประโยชน์ยิ่งขึ้นไปอีก

4.4 เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค เพราะทานได้อย่างรวดเร็ว ไม่ยุ่งยากและมีรสชาติอร่อย

4.5 สามารถเติมสารอาหารบางอย่างลงไปได้ เช่น วิตามินดีในนม โดยจะยิ่งเพิ่มคุณค่าของอาหารให้มากขึ้นไปอีกนั่นเอง

4.6 ลดสารที่เป็นพิษ จึงป้องกันการสะสมของสารอันตรายในร่างกายได้ดี โดยเฉพาะสารที่จะทำให้เป็นมะเร็งได้

4.7 เปลี่ยนลักษณะทางกายภาพของอาหาร

ดังนั้น การนำวัตถุดิบอาหารมาผ่านการแปรรูป ก็ไม่ได้ทำให้อาหารมีคุณค่าเพิ่มมากขึ้นเสมอไป ในบางครั้งก็อาจทำให้คุณค่าทางอาหารลดน้อยลงได้เหมือนกัน โดยจะขึ้นอยู่กับสภาวะของการแปรรูปนั่นเอง ว่ามีผลต่ออาหารที่นำมาแปรรูปมากแค่ไหน เช่น สภาพการเป็นกรดด่างของส่วนผสม การมีอากาศ ออกซิเจน แสง ความร้อน เป็นต้น โดยจากการศึกษาก็พบว่า การแปรรูปส่วนใหญ่จะทำให้สูญเสียน้ำหนักของอาหารไป ทำให้คุณภาพของโปรตีนลดลงและอาจมีกลิ่นและรสชาติที่เปลี่ยนแปลงไปจากความเป็นจริงได้ โดยเฉพาะการเหม็นหืนที่เกิดตอนการสี โดยจะทำให้วิตามินบี 1 ลดลงได้ในที่สุด นอกจากนี้ในการแปรรูปมักจะสูญเสียวิตามินที่มีการละลายในน้ำไป จากการล้างทำความสะอาดหรือแช่น้ำนั่นเองและวิตามินบางชนิดที่ไม่ทนต่อความร้อนหรือมีการละลายในไขมันได้ ก็อาจเกิดการสูญเสียออกไปเช่นกัน

สำหรับการแปรรูปโดยวิธีการถนอมอาหารก็มีหลายวิธี เช่น การให้ความร้อน การให้ความเย็น การทำให้แห้ง และการหมัก เป็นต้น โดยการแปรรูปก็มักจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกับอาหารในหลายด้านด้วยกัน ไม่ว่าจะเป็นรสชาติ ขนาด สี หรือลักษณะของเนื้ออาหาร ดังนั้นผู้ผลิตส่วนใหญ่จึงพยายามเลือกวิธีการแปรรูปที่จะช่วยถนอมอาหารได้ดีไปพร้อมกับเทคโนโลยีที่มีความเหมาะสมเพื่อคงรสชาติของอาหารให้ยังคงอยู่และมีรสชาติดีมากที่สุด (สิริพันธุ์, 2558)

## 5. การนำสาหร่ายไปใช้ประโยชน์

สาหร่ายพวงองุ่น เป็นพืชชั้นต่ำชนิดหนึ่งที่อาศัยอยู่ในทะเล ซึ่งชนชาติที่อาศัยอยู่ตามฝั่งทะเลรู้จักใช้เป็นอาหารมาเป็นเวลานานแล้ว ซึ่งประชากรในส่วนอื่น ๆของโลกก็รู้จักนำสาหร่ายทะเลมาใช้ประโยชน์เช่นเดียวกัน ทั้งเป็นยารักษาโรค ปุ๋ย อาหารสัตว์ สกัดสารในสาหร่ายเพื่อใช้ประโยชน์ทางด้านอุตสาหกรรม และการค้า เป็นต้น สำหรับในประเทศไทยมีการนำสาหร่ายมาใช้ประโยชน์หลากหลายชนิด ทั้งสาหร่ายน้ำจืด และสาหร่ายทะเล ทั้งสาหร่ายขนาดเล็ก และสาหร่ายขนาดใหญ่ โดยสาหร่ายทะเลที่นำมาใช้ประโยชน์ เช่น สาหร่ายผมนาง สาหร่ายมงกุฎหนาม สาหร่ายโพรง และสาหร่ายพวงองุ่น ซึ่งประโยชน์ของสาหร่ายในประเทศไทยสามารถแยกได้เป็น 3 กลุ่มหลักๆ ตามการนำไปใช้ประโยชน์ คือ เป็นอาหารสัตว์โดยเฉพาะสัตว์น้ำ การบำบัดน้ำ และการผลิตวุ้น เนื่องจากในปัจจุบันความต้องการสาหร่ายโดยเฉพาะสาหร่ายทะเล และในอนาคตมีแนวโน้มจะเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งประเทศไทยนับเป็นอีกประเทศหนึ่งที่มีศักยภาพในการผลิตสาหร่ายได้ทั้งจากการเก็บจาก

ธรรมชาติและจากการเพาะเลี้ยง พื้นที่บริเวณชายฝั่งของประเทศไทย นับเป็นอีกพื้นที่หนึ่งที่มีศักยภาพในการผลิตสาหร่ายได้ เนื่องจากมีแหล่งพันธุ์สาหร่ายขึ้นตามธรรมชาติ นอกจากนี้สภาพภูมิประเทศที่มีพื้นที่ชายฝั่งทะเลยาว จึงเหมาะสมสามารถเป็นแหล่งที่สามารถผลิตสาหร่ายได้ อีกทั้งบริเวณดังกล่าวประชาชนในท้องถิ่นมีการใช้ประโยชน์จากสาหร่ายทะเลมาเป็นเวลานานแล้ว โดยรู้จักนำสาหร่ายทะเลมาบริโภคในลักษณะสด และแปรรูปทั้งเพื่อการบริโภคและจำหน่าย ซึ่งเป็นการเพิ่มรายได้ในครัวเรือน

## 6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อีลีหยั๊ะ และคณะ (2556) เรื่อง สภาวะที่เหมาะสมของการอบแห้งเห็ดนางฟ้า ด้วยพลังงานแสงอาทิตน์ พบว่า อัตราส่วนความชื้นและสภาวะการอบแห้งที่เหมาะสมของเห็ดนางฟ้า ที่อุณหภูมิ 40, 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส การอบแห้งเห็ดนางฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ รังสีอินฟาเรด และพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมรังสีอินฟาเรด ที่อุณหภูมิ 40, 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส เหมาะสมที่สุด มีอัตราส่วนความชื้นลดลงจาก 1.00 เฉลี่ย เท่ากับ 0.23, 0.18, 0.08 และ 0.06 ตามลำดับ ในเวลา 180 นาทีและที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการอบแห้งเห็ดนางฟ้า

อาภัสสร และคณะ (2558) เรื่อง ผลของอุณหภูมิในการทำแห้งต่อคุณภาพของสาหร่ายเทา พบว่า การศึกษาดีซอร์พชั่นไอโซเทอร์มของสาหร่ายเทาในช่วงค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ 0.2 – 0.8 โดยใช้แบบจำลอง ในการศึกษา 3 แบบจำลอง ที่อธิบายดีซอร์พชั่นไอโซเทอร์มของสาหร่ายเทาได้ดีที่สุด การศึกษาอุณหภูมิในการทำแห้ง ด้วยลมร้อนโดยใช้อุณหภูมิ 50 -70 องศาเซลเซียส พบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมในการแปรรูปสาหร่ายเทา คือ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยมีลักษณะเนื้อสัมผัส และปริมาณเบต้าแคโรทีนไม่ต่างจาก การทำแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส แต่ใช้ระยะเวลาในการทำแห้งสั้นกว่าการใช้อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังมีค่าสีใกล้เคียงกับสาหร่ายเทาสด และมีปริมาณ เบต้าแคโรทีนสูงกว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

# วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

## 1. วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี

### 1.1 วัตถุดิบ

1.1.1 สาหร่ายพวงองุ่น

### 1.2. สารเคมี

1.2.1 สารเคมีที่ใช้เตรียมขั้นต้น

- กรดซิตริก (Critric acid, $C_6H_8O_7$)
- แคลเซียมคลอไรด์ (Calciam chloride,$CaCl_2$)

1.2.2 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีน

- กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (Sulfuric acid ,$H_2So_4$)
- คอปเปอร์ซัลเฟต (Copper sulfate, $CuSO_4$)
- โพแทสเซียมซัลเฟต (Potassium sulfate, $K_2SO_4$)
- โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH)
- กรดบอริก (Boric acid, $H_3BO_4$)
- กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid, HCl)
- เอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl alcohol, $C_2H_5OH$)
- เมทธิลเรด (Methy red, $C_{15}H_{15}N_3O_2$)
- โบรโมครีซอลกรีน (Bromocresol green, $C_{21}H_{14}Br_4O_5S$)

1.2.3 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณไขมัน

- ปิโตรเลียมอีเทอร์ (Petroleum ether)

### 1.3 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1.3.1 อุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น

1.3.2 อุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์หาปริมาณเถ้า

1.3.3. อุปกรณ์สำหรับหาปริมาณไขมัน

1.3.4 อุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีน

1.3.5 อุปกรณ์สำหรับวัดค่า $a_w$ (รุ่น AQUA LAB CX3)

1.3.6 ตู้อบไฟฟ้า (Hot air oven)

1.3.7 เครื่องวิเคราะห์ไขมัน

1.3.8. เครื่องวิเคราะห์โปรตีน

1.3.9 เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง

1.3.10 เครื่องวัดค่าสี (Hunter Color Flex EZ)

1.3.11 เตาเผา (muffer furnam)

## 2. วิธีการทดลอง

### 2.1 การเตรียมตัวอย่าง

สาหร่ายพวงองุ่นที่ได้จากเกษตรกร ในพื้นที่จังหวัดตรัง นำมาทำการคัดแยกสิ่งสกปรกที่ติดปะปนมากับสาหร่าย จากนั้นแยกสาหร่ายพวงองุ่นที่มีลักษณะที่ตรงต่อความต้องการ เก็บรักษาในที่ปิดสนิทหรือแช่น้ำทะเล เก็บที่อุณหภูมิห้อง 25 องศาเซลเซียส

### 2.2 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและทางกายภาพของสาหร่ายพวงองุ่นสดและสาหร่ายพวงองุ่นหลังการอบแห้ง

ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและทางกายภาพของสาหร่ายพวงองุ่นสดและสาหร่ายพวงองุ่นหลังการอบแห้ง โดยนำตัวอย่างสาหร่ายพวงองุ่นที่เตรียมได้จากข้อ 2.1 มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและทางกายภาพ ดังนี้

- วิเคราะห์ปริมาณความชื้น ตามวิธี AOAC (2000)
- วิเคราะห์ปริมาณเถ้า ตามวิธี Dry ashing AOAC (2000)
- วิเคราะห์ปริมาณไขมัน ตามวิธี Soxhlet method AOAC (2000)
- วิเคราะห์ปริมาณโปรตีน ตามวิธี AOAC (2000)
- วิเคราะห์ค่าสี ด้วยเครื่อง (Hunter Color Flex EZ)
- วิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ ($a_w$) ด้วยเครื่อง AQUA LAB

### 2.3 การศึกษาวิธีการเตรียมและระยะเวลาในการอบแห้งสาหร่ายพวงองุ่นด้วยตู้อบลมร้อน

การศึกษาวิธีการทำแห้งของสาหร่ายพวงองุ่น จะศึกษาโดยการนำสาหร่ายมาวัดค่าความชื้นด้วยการอบด้วยตู้อบลมร้อน โดยจะแบ่งสาหร่ายพวงองุ่นออกเป็น 2 ชุดการทดลอง คือ ไม่ลวก, ลวก โดยแต่ละชุดจะมี 3 กลุ่มทดลอง กลุ่มที่ 1 นำสาหร่ายมาผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดด้วยลมร้อน กลุ่มที่ 2 นำสาหร่ายมาแช่กรดซิตริก 5 นาที และกลุ่มที่ 3 แช่แคลเซียมคลอไรด์ 5 นาที หลังจากนั้นนำไปทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ดังนี้

ตารางที่ 5 ชุดการทดลองเพื่อศึกษาลักษณะวิธีการเตรียมสาหร่ายพวงองุ่นโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

| ชุดการทดลอง | วิธีการทำแห้ง | ระยะเวลา (ชั่วโมง) |
|---|---|---|
| ไม่ลวก | อบแห้ง | 1,2,3 |
| | แช่กรดซิตริก 5 นาที | 1,2,3 |
| | แช่แคลเซียมคลอไรด์ 5 นาที | 1,2,3 |
| ลวก | อบแห้ง | 1,2,3 |
| | แช่กรดซิตริก 5 นาที | 1,2,3 |
| | แช่แคลเซียมคลอไรด์ 5 นาที | 1,2,3 |

### 2.4 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งสาหร่ายพวงองุ่น

การศึกษาอุณหภูมิในการอบ โดยการนำสาหร่ายพวงองุ่นสดไปหาความชื้นเริ่มต้น จากนั้นชั่งสาหร่ายมาชั่งน้ำหนัก 200 กรัม เพื่อนำไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 40, 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 180-240 นาที โดยในชั่วโมงแรกของการศึกษาทำการสุ่มตัวอย่างออกมาทุก ๆ 15 นาที ชั่วโมงที่ 2 ของการศึกษาทำการสุ่มทุก ๆ 20 นาที จากนั้นทำการสุ่มทุก ๆ 30 นาที หลังจากทำการสุ่ม นำไปวิเคราะห์หาความชื้น หาค่าสี และค่า $a_w$ ดังตารางที่ 6 นำไปประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น เนื้อสัมผัสและความชอบรวม โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน ด้วยการประเมินทางกายภาพแบบให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ ( 9-Point Hedonic Scale) นำผลมาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analaysis of Variance – ANOVA) และวิเคราะห์หาความแตกต่าง (Duncan’s New Multiple’s Rang Test’ DMRT) ดังนี้

ตารางที่ 6 ชุดทดลองของเพื่อศึกษาอุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมในการอบแห้งสาหร่ายพวงองุ่นด้วยตู้อบลมร้อน

| อุณหภูมิในการอบแห้ง (องศาเซลเซียส) | ระยะเวลาในการอบแห้ง (นาที) |
|---|---|
| 40 | 240 |
| 50 | 240 |
| 60 | 240 |
| 70 | 240 |

### 2.5 ศึกษาความสามารถในการคืนตัวของสาหร่ายพวงองุ่น

#### 2.5.1 การศึกษาความสามารถในการคืนตัวของสาหร่ายอบแห้ง

ชั่งตัวอย่างสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการอบ มา 3 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ เติมน้ำอุณหภูมิห้อง (ประมาณ 20 องศาเซลเซียส) ที่ทราบน้ำหนักแน่นอน 10 กรัม ต้ม 5 นาที เมื่อครบเวลาจึงนำมากรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 ทิ้งให้สะเด็ดน้ำ 5 นาที นำส่วนที่กรองได้ไปชั่งน้ำหนัก ทดลอง 3 ซ้ำคำนวณปริมาณน้ำที่ชิ้นของสาหร่ายพวงองุ่น สามารถดูดซับไว้ได้ (กรัมต่อกรัมตัวอย่าง) ดังสมการที่ 1

ปริมาณน้ำที่ถูกดูดซับ (ก./ก. ของตัวอย่าง)

$$= \frac{\text{น้ำหนักสุดท้าย (ก.)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น(ก.)}} \quad \text{สมการ (1)}$$

**2.6 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ**

ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) โดยวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Desigh (CRD) เปรียบเทียบความแตกต่างของ ค่าเฉลี่ย โดยใช้ Duncan’s new multiple rang test วิเคราะห์ผลทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป

# ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

## 1. ผลของการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและทางกายภาพของสาหร่ายพวงองุ่นสดและสาหร่าพวงองุ่นอบแห้ง

ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและทางกายภาพของสาหร่ายพวงองุ่นที่ได้จากเกษตรกร ในพื้นที่ จังหวัดตรัง โดยนำมาวิเคราะห์องประกอบโดยประมาณ ได้แก่ ปริมาณความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมัน ค่า $a_w$ และค่าสี ได้ผลแสดงดังตารางที่ 7 และตารางที่ 8

ตารางที่ 7 องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายพวงองุ่นสดและสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้ง

| องค์ประกอบทางเคมี | ปริมาณ (ร้อยละ) | |
|---|---|---|
| | **สาหร่ายพวงองุ่นสด** | **สาหร่ายพวงองุ่นอบแห้ง** |
| ความชื้น | 94.05±0.04 | 18.18±0.06 |
| เถ้า | 3.79±0.06 | 11.34±4.7 |
| ไขมัน | 0.29±0.01 | 0.33±0.03 |
| โปรตีน | 0.19±0.03 | 0.30±0.03 |

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ

จากตารางที่ 7 ผลจากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายพวงองุ่นสด และสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้ง พบว่า สาหร่ายพวงองุ่นสดมีปริมาณความชื้น เถ้า ไขมัน และโปรตีนร้อยละ 94.05, 3.79, 0.29, และ 0.19 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ส่วนสาหร่ายพวงองุ่นผ่านการอบแห้งมีปริมาณความชื้น เถ้า ไขมัน และโปรตีน ร้อยละ 18.18, 11.34, 0.33, และ 0.30 โดย พบว่า สาหร่ายพวงองุ่นผ่านการอบแห้งมีปริมาณเถ้า ไขมันและโปรตีนสูงกว่าแบบสด เนื่องจากในสาหร่ายพวงองุ่นสดมีปริมาณร้อยละของความชื้นสูง ดังนั้น เมื่อสาหร่ายผ่านการอบแห้ง ซึ่งการอบแห้งเป็นการดึงน้ำออกจากอาหาร จึงทำให้มีสัดส่วนองค์ประกอบอื่น ๆ เพิ่มขึ้นเมื่อนำมาคำนวนเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก นอกจากนี้ยังมีผลต่อองค์ประกอบบางชนิด เช่น กรดแอสคอร์บิก เป็นต้น และองค์ปรกอบบางชนิดจะเพิ่มขึ้น เช่น ปริมาณกรดฟีนอลอิสระ ซึ่งองค์ประกอบดังกล่าวมีผลต่อคุณภาพด้านสี ความชื้นและค่า $a_w$ เป็นต้น ซึ่งผลจากการศึกษาที่ได้ ต่างจากผลการศึกษาของ Ratana-arporn and Chirapart (2006) สาหร่ายพวงองุ่น “Green Caviae” พบว่า ปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 25.31 เถ้า 24.5 ไขมัน 0.29 และ โปรตีน 12.49 . ตามลำดับโดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งผลการทดลองพบว่าองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายพวงองุ่น แตกต่างกัน อาจเป็นผลเนื่องมาจากปัจจัยในการเลี้ยง แหล่งน้ำที่ใช้ในการเลี้ยงสาหร่าย สภาวะและ สภาพแวดล้อม รูปแบบการให้อาหาร รวมถึงวิธีการเตรียมตัวอย่างก่อนนำมาวิเคราะห์ จึงมีผลทำให้องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายพวงองุ่นเกิดความแตกต่างกัน วิจิตรา และคณะ (2557) พบว่า สาหร่ายสไปรูลินาสดมีองค์ประกอบทางเคมีดังนี้ ความชื้น โปรตีนและเถ้าร้อยละ 88.84, 7.03 และ 1.03 ของน้ำหนัก ตามลำดับ มีค่า water activity เท่ากับ 0.991

ตารางที่ 8 คุณสมบัติทางกายภาพของสาหร่ายพวงองุ่นสดและสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้ง

| ลักษณะทางกายภาพ | ปริมาณ | |
|---|---|---|
| | **สาหร่ายพวงองุ่นสด** | **สาหร่ายพวงองุ่นอบแห้ง** |
| ค่าวอเตอร์แอคติวีตี้ ($a_w$) | 0.96±0.00 | 0.46±0.00 |
| ค่าสี L* | 22.07±0.07 | 20.14±0.02 |
| a* | 0.52±0.02 | 0.28±0.07 |
| b * | 12.17±0.02 | 7.98±0.05 |

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ
ค่า L* ที่เข้าใกล้ 100 หมายถึง ตัวอย่างมีความสว่างมากจนเป็นสีขาวหรือสีจาง
ค่า L* ที่เข้าใกล้ 0 หมายถึง ตัวอย่างมีความสว่างน้อยลงจนเป็นสีคล้ำ
ค่า a* ที่เป็นบวก แสดงว่าตัวอย่างเป็นสีแดง
ค่า a* ที่เป็นลบ แสดงว่าตัวอย่างเป็นสีเขียว
ค่า b* ที่เป็นบวก แสดงว่าตัวอย่างเป็นสีเหลือง
ค่า b* ที่เป็นลบ แสดงว่าตัวอย่างเป็นสีน้ำเงิน

ตารางที่ 8 ผลจากการศึกษาลักษณะทางกายภาพของสาหร่ายพวงองุ่นสดและสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้ง พบว่า สาหร่ายพวงองุ่นสดมีค่าวอเตอร์แอคติวีตี้ ($a_w$) เท่ากับ 0.96 ซึ่งมีค่าที่สูงกว่าแบบอบแห้งที่มีค่าวอเตอร์แอคติวีตี้ ($a_w$) เท่ากับ 0.46 ทั้งนี้อาจเกิดจากอุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งโดยผ่านตัวกลางที่ให้ความร้อนจึงส่งผลให้ปริมาณความชื้นในสาหร่ายลดลง ซึ่งสอดคล้องกับ มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน พบว่า ค่าวอเตอร์แอคติวีตี้ ($a_w$) ในสาหร่ายทะเลอบแห้ง ต้องมีค่าไม่เกิน 0.60 เนื่องจากค่า $a_w$ เป็นตัวบ่งชี้ถึงความปลอดภัยของอาหาร โดยจะทำหน้าที่ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ส่วนการวิเคราะห์ค่าสีที่ได้จากการทดลอง พบว่า สาหร่ายพวงองุ่นแบบอบแห้งมีค่าความสว่างแตกต่างกัน มี a* ของสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งมีค่าเป็นบวก คือ มีสีอยู่ในโทนสีแดง และค่า b* ของสาหร่ายมีค่าเป็นบวก คือ มีสีที่อยู่ในโทนสีเหลือง เมื่อเปรียบเทียบกับสาหร่ายพวงองุ่นแบบสด แสดงให้เห็นว่าการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนมีผลต่อค่าสี ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของสีของสาหร่ายพวงองุ่นเกิดจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลและการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ซึ่งเป็นสารสีสำคัญที่พบในพืชพักใบเขียวเปลี่ยนเป็นฟีโอไฟติน ซึ่งมีสีเขียวมะกอกสีน้ำตาล ซึ่งสอดคล้องทฤษฎีของ อาภัสสร และคณะ (2558) พบว่า การอบแห้งต้นหอมด้วยตู้อบลมร้อนทำให้ต้นหอมมีค่าน้อยที่สุด แสดงให้เห็นว่า ต้นหอมมีสีความสว่างลดลงมีสีที่อยู่ในโทนสีเหลือง

## 2. ผลของวิธีการเตรียมและระยะเวลาในการอบแห้งสาหร่ายพวงองุ่นด้วยตู้อบลมร้อน

การศึกษาผลของวิธีการเตรียมและระยะเวลาในการทำแห้งของสาหร่ายพวงองุ่น โดยการนำสาหร่ายมาวัดค่าความชื้นเริ่มต้นด้วยการอบด้วยตู้อบลมร้อน โดยจะแบ่งสาหร่ายพวงองุ่นออกเป็น 2 ชุดการทดลอง คือ ไม่ลวก,ลวก โดยแต่ละชุดจะมี 3 กลุ่มทดลอง กลุ่มที่ 1 นำสาหร่ายมาทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดด้วยลมร้อน กลุ่มที่ 2 นำสาหร่ายมาแช่กรดซิตริก 5 นาที และกลุ่มที่ 3

แช่-แคลเซียมคลอไรด์ 5 นาที โดยตัวอย่างที่ 2,3 จะต้องนำไปผ่านน้ำเย็น และพักสะเด็ดน้ำ 5 นาที หลังจากนั้นนำไปทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วนำไปวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ ได้แสดงดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ผลของวิธีการทำแห้งต่อปริมาณความชื้นในสาหร่ายพวงองุ่น

| ชุดการทดลอง | วิธีการเตรียม | ปริมาณความชื้น (ร้อยละโดยน้ำหนัก) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | ก่อนอบ | หลังอบ 1 ชม | หลังอบ 2 ชม | หลังอบ 3 ชม |
| ไม่ลวก | ชุดควบคุม | $93.89\pm0.23^{aB}$ | $90.37\pm0.72^{aB}$ | $81.57\pm5.31^{bB}$ | $11.23\pm0.16^{cC}$ |
| | แช่กรดซิตริก | $94.61\pm0.18^{aB}$ | $91.01\pm1.56^{aB}$ | $75.31\pm7.21^{bB}$ | $18.34\pm1.37^{cB}$ |
| | แช่แคลเซียม | $94.70\pm0.06^{aB}$ | $92.31\pm0.12^{bB}$ | $86.25\pm1.17^{cA}$ | $13.93\pm0.53^{dC}$ |
| ลวก | ชุดควบคุม | $97.09\pm0.03^{aA}$ | $96.27\pm0.88^{aA}$ | $88.01\pm7.08^{bA}$ | $18.18\pm0.60^{cB}$ |
| | แช่กรดซิตริก | $96.99\pm0.13^{aA}$ | $95.38\pm0.39^{aA}$ | $77.74\pm8.55^{aB}$ | $37.17\pm25.17^{bA}$ |
| | แช่แคลเซียม | $97.18\pm0.27^{aA}$ | $96.18\pm0.27^{aA}$ | $50.41\pm12.87^{bC}$ | $44.29\pm32.5^{bA}$ |

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

$^{a-d}$ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทางสถิติ ($p\leq0.05$)

$^{A-D}$ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ชุดควบคุม หมายถึง สาหร่ายที่ไม่ผ่านการแช่สารละลายใด ๆ

แช่กรดซิตริก หมายถึง สารละลายมีความเข้มข้น 0.5% แช่นาน 5 นาที

แช่แคลเซียมคลอไรด์ หมายถึง สารละลายมีความเข้มข้น 0.5% แช่นาน 5 นาที

ตารางที่ 9 ผลจากการศึกษา พบว่า วิธีการทำแห้งมีผลต่อปริมาณความชื้นในสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการเตรียมด้วยวิธีการต่าง ๆ ชุดการทดลองแบบไม่ลวก ชุดควบคุม แช่กรดซิตริก และแช่แคลเซียม (ก่อนอบ) มีค่าเท่ากับ 93.89, 94.61 และ 94.70 ตามลำดับ อบจนกระทั่งเวลาผ่านไป 3 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 11.23, 18.34 และ 13.93 ตามลำดับ ส่วนชุดการทดลองแบบลวก ชุดควบคุม แช่กรดซิตริก และ แช่แคลเซียมคลอไรด์ (ก่อนอบ) มีค่าเท่ากับ 97.08, 96.99 และ 97.18 ตามลำดับ อบจนกระทั่งเวลาผ่านไป 3 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 18.18, 37.17 และ 44.29 ตามลำดับ จากผลการทดลองที่ได้ศึกษาพบว่า ชุดการทดลองทั้งสองชุด (ก่อนอบ) มีความแตกต่างกันเล็กน้อย โดยชุดการทดลองแบบไม่ผ่านการลวก ชุดควบคุมที่ไม่ได้ผ่านการเตรียมด้วยวิธีใด ๆ มีความชื้นเริ่มต้นอยู่ที่ 93.89 % ร้อยละโดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นปริมาณความชื้นที่ต่ำสุด ส่วนชุดการทดลองแบบที่ผ่านการลวก, ชุดควบคุม แช่กรดซิตริกและแช่แคลเซียมคลอไรด์ มีปริมาณความชื้นสูงกว่าชุดการทดลองแบบไม่ผ่านการลวก ชุดควบคุม และเมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมงจะสังเกตได้ว่า ปริมาณความชื้นจะค่อยๆลดลงจนกระทั่งครบเวลาที่กำหนด พบว่าปริมาณความชื้นของสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการเตรียมด้วยวิธีการ

ต่าง ๆมีความแตกต่างกันทางสถิติ แสดงให้เห็นว่าการเตรียมตัวอย่างสาหร่ายพวงองุ่นมีผลต่อการทำแห้ง เมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองระหว่างแบบไม่ผ่านการลวก,แบบที่ผ่านการลวก โดยใช้วิธีการเตรียมทั้ง 3 วิธีที่เหมือนกัน พบว่า สาหร่ายพวงองุ่นจะมีปริมาณความชื้นลดลงตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น แต่ชุดการทดลองแบบผ่านการลวกที่ผ่านวิธีการเตรียมทั้ง 3 วิธี พบว่า สาหร่ายพวงองุ่นจะมีปริมาณความชื้นก่อนนำไปอบเพิ่มขึ้น แต่เมื่ออบไปเป็นเวลา 3 ชั่วโมง พบว่า ปริมาณความชื้นของชุดการทดลองแบบผ่านการลวกจะอยู่ที่ 18.18, 37.17 และ 44.29 ซึ่งค่อนข้างสูงกว่าชุดการทดลองแบบไม่ลวกซึ่งจะอยู่ที่ 11.23, 18.32 และ 13.93 ทั้งนี้อาจเป็นเพราะชุดการทดลองแบบลวกทั้งก่อนนำไปอบและหลังอบ 3 ชั่วโมง เห็นได้ว่า ปริมาณความชื้นจะเพิ่มขึ้นในช่วงแรก และจะลดลงตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ซึ่งวิธีการอบแห้งมีคุณสมบัติในการช่วยทำให้อาหารมีน้ำหนักเบา ลดปริมาณน้ำในอาหาร ดังนั้นเมื่อระยะเวลาในการอบแห้งเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณความชื้นของสาหร่ายลดลง ผลการศึกษาดังกล่าวสอดคล้องกับทฤษฎีของ สุภวรรณ และคณะ (2556) ที่พบว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นมีการลดลงตามระยะเวลาอบแห้งเพิ่มขึ้น และปัจจัยของอุณหภูมิอบแห้งและกำลังของรังสีอินฟราเรดมีผลโดยตรงต่อการอัตราการเปลี่ยนแปลง ความชื้นของใบบัวบก อาภัสสร และคณะ (2558) ที่พบว่า ต้นหอมมีความชื้นประมาณ 91g / 100 g sample การนำต้นหอมไปลวกทำให้ต้นหอมมีความชื้นเพิ่มขึ้นเป็น 94.92 g/100 g sample

ตารางที่ 10 ผลของวิธีการทำแห้งต่อค่าสีของสาหร่ายพวงองุ่นหลังอบแห้ง 3 ชั่วโมง

| **ชุดการทดลอง** | **วิธีการเตรียม** | **ค่าสี** | | |
|---|---|---|---|---|
| | | **L*** | **a*** | **b*** |
| ไม่ลวก | ชุดควบคุม | $22.07 \pm 7.07^{bA}$ | $3.52 \pm 1.02^{aA}$ | $12.77 \pm 3.86^{aA}$ |
| | แช่กรดซิตริก | $20.14 \pm 0.01^{cD}$ | $2.30 \pm 0.02^{cD}$ | $9.81 \pm 0.02^{cD}$ |
| | แช่แคลเซียม | $23.06 \pm 0.01^{aA}$ | $3.30 \pm 0.02^{bB}$ | $11.57 \pm 0.02^{bC}$ |
| ลวก | ชุดควบคุม | $20.52 \pm 0.02^{bC}$ | $3.01 \pm 0.01^{bC}$ | $12.17 \pm 0.02^{aB}$ |
| | แช่กรดซิตริก | $20.56 \pm 0.01^{bC}$ | $2.89 \pm 0.00^{cC}$ | $9.00 \pm 0.01^{cE}$ |
| | แช่แคลเซียม | $20.80 \pm 0.02^{aB}$ | $3.17 \pm 0.01^{aB}$ | $11.67 \pm 0.07^{bC}$ |

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ

$^{a-c}$ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

$^{A-E}$ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 10 จากผลการศึกษา พบว่า วิธีการทำแห้งมีผลต่อค่าสีของสาหร่ายพวงองุ่น โดยการนำสาหร่ายพวงองุ่นแบบไม่ผ่านการลวกและที่ผ่านการลวกทั้ง 3 วิธี มาอบด้วยตู้อบลมร้อน แล้ววิเคราะห์ค่าสีความสว่าง L* สีแดง a* และสีเหลือง b* พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติเล็กน้อย แสดงให้เห็นว่าการเตรียมสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านวิธีการทำแห้งด้วยวิธีการต่าง ๆ มีความ

แตกต่างกัน ซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าสี เมื่อเปรียบเทียบชุดการทดลองระหว่างสาหร่ายพวงองุ่นแบบที่ไม่ผ่านลวกและแบบที่การผ่านการลวก (ภาพที่ 3) ผลปรากฏว่า สาหร่ายพวงองุ่นสด มีค่าความสว่าง L* และค่าสีเหลือง b* สูงกว่าสาหร่ายพวงองุ่นแบบที่ผ่านการลวก เมื่อเปรียบเทียบค่าความเป็นสีแดง a* กับชุดการทดลองด้วยวิธีการทำแห้งด้วยวิธีอื่น แสดงให้เห็นว่าสาหร่ายพวงองุ่นทั้งแบบไม่ผ่านการลวกและผ่านการลวก แบบแช่กรดซิตริก เกิดการเปลี่ยนแปลงจากโทนสีเขียวไปเป็นโทนสีแดงเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงของค่าสีที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำแห้ง คือ การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล ซึ่งมีความสอดคล้องกับทฤษฎีของ อาภัสสร และคณะ (2558) พบว่า สาเหตุหนึ่งของการเปลี่ยนแปลงของค่าสีที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำแห้ง คือ ค่า a* ของสาหร่ายเท่าสดมีค่าติดลบ คือมีสีอยู่ในโทนสีเขียว การทำแห้งที่อุณหภูมิ 50 และ 70 องสาเซลเซียส ยังส่งผลให้ค่า a* ของสาหร่ายเท่ามีค่าสูงขึ้น

**<u>ชุดการทดลองแบบไม่ผ่านการลวก</u>**

**ชุดควบคุม**

1 ชั่วโมง

2 ชั่วโมง

3 ชั่วโมง

**แช่กรดซิตริก**

1 ชั่วโมง

2 ชั่วโมง

3 ชั่วโมง

**แช่แคลเซียมคลอไรด์**

1 ชั่วโมง

2 ชั่วโมง

3 ชั่วโมง

<u>**ชุดการทดลองแบบผ่านการลวก**</u>

**ชุดควบคุม**

1ชั่วโมง

2 ชั่วโมง

3 ชั่วโมง

**แช่กรดซิตริก**

1ชั่วโมง

2 ชั่วโมง

3 ชั่วโมง

**แช่แคลเซียมคลอไรด์**

1 ชั่วโมง

2 ชั่วโมง

3 ชั่วโมง

ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ของวิธีการเตรียมที่มีผลต่อค่าสีของสาหร่ายพวงองุ่น

ตารางที่ 11 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของชุดการทดลองสาหร่ายพวงองุ่นในลักษณะต่างๆ

| คุณลักษณะ | คะแนนทางประสาทสัมผัส | | |
|---|---|---|---|
| | ชุดควบคุม | แช่กรดซิตริก | แช่แคลเซียมคลอไรด์ |
| **แบบไม่ลวก** | | | |
| ลักษณะปรากฏ | 7±0.8[a] | 7.0±0.3[b] | 7.8±0.4[a] |
| สี | 8.1±0.7[a] | 7.0±0.2[b] | 8±0.7[a] |
| กลิ่น | 7.7±0.7[a] | 7.0±0.4[b] | 8.0±0.6[a] |
| ความชอบรวม | 7.1±0.8[aA] | 7±0.4[b] | 7.9±0.4[a] |
| **แบบลวก** | | | |
| ลักษณะปรากฏ | 8±0.6[a] | 7.3±0.5[b] | 7.8±0.4[a] |
| สี | 8.1±0.7[a] | 7.2±0.4[b] | 8±0.6[a] |
| กลิ่น | 8±0.7[a] | 7.1±0.5[b] | 8±0.6[a] |
| ความชอบรวม | 8.1±0.8[a] | 7.2±0.4[b] | 7.9±0.4[a] |

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยที่อักษรต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของชุดการทดลองทั้ง 2 ชุดการทดลอง ที่ผ่านการเตรียมด้วยวิธีการที่แตกต่างกัน พบว่า การทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น และความชอบรวม มีความแตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบด้านสีของชุดควบคุม ชุดการทดลองแบบลวก โดยมีค่าคะแนนความชอบมาก และให้ค่าคะแนนความชอบด้านสีของชุดการทดลองแบบลวกชุดแช่กรดซิตริกน้อยที่สุด โดยสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการอบแห้งมีสีเขียวมากที่สุด เนื่องจากการลวกเป็นการลวกวัตถุดิบก่อนการนำไปอบแห้ง เพื่อช่วยลดปริมาณจุลินทรีย์ในอาหาร และช่วยลดการเปลี่ยนแปลงสีของสาหร่าย ในระหว่างกระบวนการอบแห้งได้ การทดสอบด้านกลิ่น พบว่า ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบด้านกลิ่น ของชุดการทดลองแบบลวกที่ผ่านการแช่กรดซิตริก โดยมีค่าคะแนนความชอบปานกลาง แต่คะแนนความชอบด้านกลิ่นของชุดการทดลองทั้งสองที่ผ่านวิธีการเตรียมที่แตกต่างกัน มีความแตกต่างกันเล็กน้อย เนื่องจากการแช่กรดซิตริก มีส่วนช่วยให้สาหร่ายมีกลิ่นและความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสม ช่วยชะลอการเกิดการหืนและเป็นสารที่ช่วยจับโลหะได้ ซึ่งในสาหร่ายพวงองุ่นอาจพบการปนเปื้อนของโลหะหนักที่ติดมากับสาหร่าย การเลี้ยงหรือระบบน้ำที่ใช้ในการเลี้ยงแต่ละฤดูกาล การทดสอบด้านลักษณะปรากฏ พบว่า ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏของชุดการทดลองทั้ง 2 ชุดการทดลอง ที่ผ่านการแช่กรดซิตริกและแช่แคลเซียมคลอไรด์และสาหร่ายแบบไม่ลวก ควบคุม มีค่าที่ใกล้เคียงกันโดยมีค่าคะแนนความชอบปานกลาง และผู้ทดสอบให้คะแนนด้านลักษณะปรากฏของชุดการทดลองแบบลวก ควบคุม มีค่าคะแนนความชอบมาก ทั้งนี้อาจเกิดจากการที่นำสาหร่ายที่ผ่านการลวกมาอบแห้ง โดยตรงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่มีผลต่อค่าสี กลิ่น แต่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงต่อผลของลักษณะปรากฏ และส่วนการทดสอบความชอบโดยรวม พบว่า ผู้ทดสอบให้คะแนนด้านลักษณะปรากฏของชุดการทดลองแบบลวก

ชุดควบคุม มีค่าคะแนนความชอบมาก และให้ค่าคะแนนความชอบโดยรวมของชุดการทดลองแบบไม่ลวก แช่กรดซิตริกน้อยที่สุด เนื่องจากการแช่กรดซิตริกอาจมีผลต่อคุณลักษณะทางด้านสี กลิ่น และลักษณะปรากฏของสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้ง

จากการพิจารณาคะแนนที่ผ่านการวิเคราะห์การทดสอบทางประสาทสัมผัสทางด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น และความชอบรวม พบว่า สาหร่ายพวงองุ่นแบบลวกควบคุม มีค่าคะแนนความชอบของผู้ทดสอบให้คะแนนการยอมรับมากที่สุด โดยการทดสอบในครั้งนี้จะเน้นค่าสีมาเป็นเกณฑ์ ในการคัดเลือกตัวอย่างที่เหมาะสมไปใช้ในการทดลองในขั้นตอนต่อไป ดังนั้นผู้วิจัยจึงตัดสินใจเลือกชุดการทดลองแบบลวกควบคุม ศึกษาในขั้นตอนต่อไป สอดคล้องกับผลการทดลองของ ศรีปาน และคณะ (2555) พบว่า เนื้อลำไยที่เตรียมด้วยวิธีการแตกต่างกัน แล้วอบด้วยระบบไมโครเวฟร่วมกับอินฟาเรด ตามด้วยการอบด้วยลมร้อน มีผลต่อการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่นและความยอมรับโดยรวม แต่ไม่มีผลต่อการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านเนื้อสัมผัส สำหรับเงาะและลิ้นจี่เท่านั้น พบว่าผู้ทดสอบให้การยอมรับเนื้อเงาะ และลิ้นจี่อบแห้งที่ผ่านการเตรียมด้วยวิธีการต่างๆ

ตารางที่ 12 ผลของวิธีการทำแห้งต่อค่า $a_w$ ของสาหร่ายพวงองุ่นหลังการอบแห้ง 3 ชั่วโมง

| ชุดการทดลอง | วิธีการเตรียม | ค่า $a_w$ |
|---|---|---|
| ไม่ลวก | ชุดควบคุม | 0.46±0.01 |
| | แช่กรดซิตริก | 0.58±0.01 |
| | แช่แคลเซียม | 0.49±0.00 |
| ลวก | ชุดควบคุม | 0.66±0.00 |
| | แช่กรดซิตริก | 0.58±0.01 |
| | แช่แคลเซียม | 0.52±0.00 |

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ

ตารางที่ 12 จากผลการวิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ ($a_w$) ที่ผ่านการเตรียมด้วยวิธีการต่างๆ จากผลการทดลอง พบว่า ชุดการทดลองที่ผ่านวิธีการเตรียมด้วยวิธีการต่าง ๆ มีค่าที่ใกล้เคียงกัน โดยชุดการทดลองแบบไม่ลวกควบคุมมีปริมาณความชื้นเริ่มต้น 0.46 ซึ่งเป็นปริมาณความชื้นที่ต่ำที่สุด เนื่องจากเซลล์ของสาหร่ายมีลักษณะที่เปราะบาง ทำให้มีอัตราการระเหยของน้ำออกมาในปริมาณมาก ในขณะเดียวกันเมื่อปริมาณความชื้นในสาหร่ายลดลง ปริมาณของแข็งก็จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณความชื้นที่ลดลง จนกระทั่งถึงจุดสมดุลที่เหมาะสม จากผลการทดลอง พบว่า วิธีการทำแห้งด้วยวิธีการต่าง ๆ มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า $a_w$ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชุดการทดลองแบบลวกและผ่านการลวกด้วยวิธีการ 3 วิธี พบว่า ชุดการทดลองควบคุม มีค่าวอเตอร์แอคติวีตี้ ($a_w$) สูงที่สุด คือ 0.66 รองลงมาคือ แช่กรดซิตริก เท่ากับ 0.58 และค่าต่ำสุดคือ แช่แคลเซียม เท่ากับ 0.52 ตามลำดับ โดยชุดการทดลองทั้งสองชุดที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนและวิธีการทำแห้งทั้ง 3 วิธี พบว่า สาหร่ายพวงองุ่นแบบไม่ผ่านการลวกมีอัตราความชื้นที่ลดลงเร็วกว่าสาหร่ายพวงองุ่นแบบผ่านการลวก ทั้งนี้อาจจะขึ้นอยู่กับกระบวนการอบแห้ง อุณหภูมิ ระยะเวลา วัตถุดิบ และวิธีการเตรียมต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น

ระหว่างการทดลอง ซึ่งชุดการทดลองแบบไม่ผ่านการลวกชุดควบคุม มีผลการทดลองที่ สอดคล้องกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อาหารชุมชน (มผช.) เรื่อง สาหร่ายทะเลอบ ได้กำหนดค่าวอเตอแอคตีวีตี้ของสาหร่ายทะเลอบต้องมีค่าไม่เกิน 0.60 ในขณะที่ ชุดการทดลองแบบที่ผ่านการลวก ชุดควบคุม มีค่า $a_w$ ที่เกินมาตรฐานกำหนด ซึ่งอาจเกิดจากการลวก การสะเด็ดน้ำระหว่างรออบไม่เพียงพอ และอาจมีผลมาจากการจัดวางถาดในตู้อบลมร้อนทำให้ความร้อนอาจกระจายไม่ทั่วถึง เตือนใจ และคณะ (2558) เรื่อง การศึกษาวิธีการทำแห้งสาหร่ายไกแผ่น พบว่า การลวกสาหร่ายไกในน้ำเดือด 1 นาที ทำให้เนื้อเยื่อของสาหร่ายไกเกิดการฉีกขาด จึงทำให้สาร ภายในเซลล์สามารถผ่านเข้าออกจากเซลล์ได้ง่ายขึ้น และเมื่อนำไปทำแห้ง โดยการตากแดดและทำแห้งโดยตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ พบว่า สาหร่ายไกที่ผ่านการลวกดังกล่าวมีอัตรา การลดลงของความชื้นเร็วกว่าสาหร่ายไกสด

**3. ผลของการศึกษาอุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมในการอบแห้งสาหร่ายพวงองุ่นด้วยตู้อบลมร้อน**

การศึกษาอุณหภูมิในการอบ จะศึกษาโดยการนำสาหร่ายพวงองุ่นที่ได้จากการทดลองที่ 2 ไปหาความชื้นเริ่มต้น จากนั้นชั่งสาหร่ายมาชั่งน้ำหนัก 200 กรัม เพื่อนำไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 40, 50, 60, และ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0-240 นาที ดังนี้

ตารางที่ 13 ผลการศึกษาอุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมในการอบแห้งสาหร่ายพวงองุ่นด้วยตู้อบลมร้อน

| T (min) | T=40°C | | T=50°C | | T=60°C | | T=70°C | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | MC (%d.b) | MR (decimal) | MC (%d.b) | MR (decimal) | MC (%d.b) | MR (decimal) | MC (%d.b) | MR (decimal) |
| 0 | 200 | 1.00 | 200 | 1.00 | 200 | 1.00 | 200 | 1.00 |
| 15 | 104 | 0.99 | 100 | 0.99 | 75 | 0.98 | 55 | 0.98 |
| 30 | 75 | 0.98 | 70 | 0.98 | 37 | 0.97 | 4 | 0.97 |
| 45 | 60 | 0.97 | 45 | 0.98 | 16 | 0.27 | 4 | 0.19 |
| 60 | 43 | 0.96 | 25 | 0.87 | 8 | 0.24 | 3 | 0.15 |
| 80 | 22 | 0.92 | 11 | 0.35 | 5 | 0.21 | 3 | 0.09 |
| 100 | 11 | 0.82 | 7 | 0.33 | 4 | 0.16 | 3 | 0.07 |
| 120 | 7 | 0.78 | 5 | 0.33 | 3 | 0.12 | 3 | 0.07 |
| 140 | 5 | 0.19 | 4 | 0.31 | 3 | 0.11 | 3 | 0.07 |
| 160 | 3 | 0.17 | 4 | 0.22 | 3 | 0.10 | 3 | 0.06 |
| 180 | 3 | 0.16 | 3 | 0.15 | 3 | 0.06 | 3 | 0.06 |
| 210 | 3 | 0.16 | 3 | 0.14 | 3 | 0.04 | 3 | 0.06 |
| 240 | 3 | 0.13 | 3 | 0.12 | 3 | 0.03 | 3 | 0.05 |

หมายเหตุ: ข้อมูลเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ

MC หมายถึง ความชื้นมาตรฐานแห้ง

MR หมายถึง อัตราส่วนความชื้น

ตารางที่ 13 จากผลการทดลองจากข้อที่ 2 ได้เลือกชุดการทดลองแบบลวกควบคุม ที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง มาใช้ในการทดลองต่อเนื่องจากผลการทดลองดังกล่าวมีค่า $a_w$ สูงกว่าชุดการทดลองอื่น ๆ ซึ่งค่าที่ได้อยู่ในเกณฑ์ที่เกินมาตรฐานกำหนด ซึ่งเป็นตัวบ่งบอกถึงความปลอดภัยของอาหารและสามารถยับยั้งอัตราเจริญเติบโต การอยู่รอด และการสร้างสารพิษของจุลินทรีย์ เนื่องจากปริมาณความชื้นมีผลต่อการเจริญเติบโต ดังนั้นการทดลองในครั้งนี้จะใช้อุณหภูมิในการอบแห้งที่อุณหภูมิ 40, 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลา 0-240 นาที เพื่อเป็นการทดสอบว่าในช่วงอุณหภูมิและระยะเวลาในช่วงใดที่เหมาะสมและสามารถลดปริมาณความชื้นในสาหร่ายได้และมีค่า $a_w$ ที่สอดคล้องกับมาตรฐานที่กำหนด จากผลการทดลอง พบว่า อุณหภูมิและระยะเวลามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความชื้น โดยสามารถสังเกตได้จาก อุณหภูมิที่ใช้และช่วงระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นในแต่ละช่วงการทดลอง ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ใช้ทำการอบแห้งด้วยอุณหภูมิที่แตกต่างกัน แต่ใช้ช่วงระยะเวลาที่เท่ากัน ในระหว่างการอบแห้งจะมีการสุ่มตัวอย่างออกมาวิเคราะห์เพื่อศึกษาปริมาณความชื้น และค่า $a_w$ (ตารางที่ 14) ควบคุมไปในการทดลองด้วย จากการวิเคราะห์ผล

การทดลองผลปรากฏว่า กระบวนการอบแห้งช่วยลดปริมาณความชื้นของสาหร่ายได้ โดยการใช้ความร้อนเป็นตัวกลางในการช่วยระเหยน้ำออกจากสาหร่าย ทำให้น้ำหนักของสาหร่ายลดลงและทำให้เซลล์หดตัว พบว่า การอบแห้งสาหร่ายพวงองุ่นชุดการทดลองแบบลวกควบคุม อบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 40, 50, 60 และ 70 °C มีความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ยอยู่ที่ 200 % d.b และเมื่อเวลาการอบแห้งผ่านไป 1 ชั่วโมงจะพบว่ามีความชื้นเฉลี่ยอยู่ที่ 43, 25, 8 และ 3 % d.b ตามลำดับ เมื่อเวลาการอบแห้งผ่านไป 2 ชั่วโมง จะพบว่ามีความชื้นเฉลี่ยอยู่ที่ 7, 5, 3 และ 3 % d.b เมื่อเวลาการอบแห้งผ่านไป 3 ชั่วโมง จะพบว่ามีความชื้นเฉลี่ยอยู่ที่ 3, 3, 3 และ 3 % d.b และเมื่อเวลาการอบแห้งผ่านไป 4 ชั่วโมงจะพบว่ามีความชื้นเฉลี่ยอยู่ที่ 3, 3, 3 และ 3 % d.b จะเห็นได้ว่าเมื่อเปรียบเทียบ ความชื้นสุดท้ายของสาหร่ายพวงองุ่นค่อนข้างที่จะสม่ำเสมอ แต่เมื่อเปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้น จะเห็นได้ว่ามีค่าอัตราส่วนความชื้นสุดท้ายของการอบแห้ง ด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C มีค่าอัตราส่วนความชื้นสุดท้ายอยู่ที่ 0.03 ซึ่งจะใช้เวลาอยู่ในช่วงประมาณ 4 ชั่วโมง ดังนั้น อุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมในการอบแห้งจะอยู่ในช่วงเวลาประมาณ 180-240 นาที ที่อุณหภูมิ 60 °C ปริมาณความชื้นอยู่ที่ 3 อัตราส่วนความชื้นอยู่ที่ 0.06 - 0.03 ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ อีลีหยีะ และคณะ (2560) เรื่อง สภาวะที่เหมาะสมของการอบแห้งเห็ดนางฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ร่วมรังสีอินฟาเรด พบว่า การอบแห้งเห็ดนางฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมรังสีอินฟาเรดที่อุณภูมิ 40, 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส อัตราส่วนความชื้นจะลดลงเหลือ 0.23, 0.18, 0.08 และ 0.06 ตามลำดับ ในเวลา 180 นาที โดยอัตราส่วนจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 0-120 นาที แรกของการอบแห้ง วรินธร และคณะ (2560) จากผลการทดลองพบว่า กลีบดอกกุหลาบที่ใช้กรรมวิธีการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนใช้ อุณหภูมิที่ 70, 80 และ 90°C มีความชื้นสุดท้ายอยู่ที่ 19.79 -22.96 %db ส่วนดอกกุหลาบทั้งดอก มีความชื้นสุดท้ายอยู่ที่ 19.95 - 28.35 %db ในขณะที่การทำแห้งด้วยตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ใช้เวลา 8 ชั่วโมงต่อ วัน โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 43°C มีความชื้น สุดท้ายของกลีบดอกกุหลาบอยู่ที่ 22.97 - 26.90 %db และดอกกุหลาบทั้งดอกอยู่ที่ 25.99 - 27.57 %db ทุกกรรมวิธีมีค่า Water activity ($a_w$) อยู่ที่ช่วงระหว่าง 0.3 – 0.5 อัตราการทำแห้งของกลีบดอกกุหลาบด้วยตู้อบลมร้อนอยู่ที่ประมาณ 31 g/hr ส่วนตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์มีอัตราการทำแห้งของกลีบดอกกุหลาบอยู่ที่ ประมาณ 5 g/hr ในขณะที่อัตราการทำแห้งของดอก กุหลาบด้วยตู้อบลมร้อนอยู่ที่ประมาณ 7 g/hr และการทำแห้งดอกกุหลาบด้วยตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์อยู่ที่ ประมาณ 0.5 g/hr อย่างไรก็ตามพบว่าชาที่ได้จากทุกกรรมวิธีมีคะแนนการยอมรับจากผู้บริโภคไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 14 ผลการศึกษาอุณหภูมิและระยะเวลาที่มีผลต่อค่า $a_w$ ในการอบแห้งสาหร่ายพวงองุ่นด้วยตู้อบลมร้อน

| T (min) | ค่า $a_w$ | | | |
|---|---|---|---|---|
| | T=40°C | T=50°C | T=60°C | T=70°C |
| 0 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 15 | 0.99 | 0.99 | 0.96 | 0.96 |
| 30 | 0.99 | 0.98 | 0.95 | 0.93 |
| 45 | 0.98 | 0.97 | 0.57 | 0.54 |
| 60 | 0.69 | 0.63 | 0.46 | 0.53 |
| 80 | 0.65 | 0.63 | 0.45 | 0.46 |
| 100 | 0.63 | 0.56 | 0.44 | 0.36 |
| 120 | 0.55 | 0.55 | 0.37 | 0.36 |
| 140 | 0.55 | 0.54 | 0.36 | 0.36 |
| 160 | 0.54 | 0.47 | 0.36 | 0.35 |
| 180 | 0.54 | 0.46 | 0.35 | 0.35 |
| 210 | 0.48 | 0.45 | 0.34 | 0.35 |
| 240 | 0.46 | 0.44 | 0.34 | 0.34 |

หมายเหตุ: ข้อมูลเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ

ตารางที่ 14 จากผลการทดลองศึกษา อุณหภูมิและระยะเวลาที่มีผลต่อการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน พบว่า การทำแห้งสาหร่ายพวงองุ่นด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 40, 50, 60 และ 70 เป็นเวลา 0-240 นาที จากการวิเคราะห์ พบว่า อุณหภูมิและระยะเวลามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ ค่า $a_w$ จะผลการทดลองที่ได้ศึกษาจะสังเกตเห็นว่า เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการทำแห้งจะลดลง ในช่วงเวลาที่ 210 นาที มีค่าเท่ากับ 0.48, 0.45, 0.34 และ 0.35 ตามลำดับ ส่งผลให้การอบแห้งสาหร่ายพวงองุ่นด้วยตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 240 นาที มีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจากสามารถลดปริมาณน้ำอิสระได้เร็วกว่าอุณหภูมิที่ 40, 50 และ 70 ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ 0.34 สอดคล้องกับ มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน พบว่า ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ ($a_w$) ในสาหร่ายทะเลอบแห้งต้องมีค่าไม่เกิน 0.60 เนื่องจากค่า $a_w$ เป็นตัวบ่งชี้ถึงความปลอดภัยของอาหาร โดยจะทำหน้าที่ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

**4 ผลของการศึกษาความสามารถในการคืนตัวสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการอบแห้ง**

ชั่งตัวอย่างสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการอบแห้ง 3 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ เติมน้ำอุณหภูมิห้อง (ประมาณ 20 องศาเซลเซียส) ที่ทราบน้ำหนักแน่นอน 10 กรัม แช่ทิ้งไว้ 2, 4, 6, 8 และ10 นาที เมื่อครบเวลาจึงนำมากรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 ทิ้งให้สะเด็ดน้ำ 5 นาที นำส่วนที่ได้ไป

กรองชั่งน้ำหนัก ทดลอง 3 ซ้ำคำนวณปริมาณน้ำที่ชิ้นของสาหร่ายพวงองุ่น สามารถดูดซับไว้ได้ (กรัมต่อกรัมตัวอย่าง) ดังสมการที่ 1

ปริมาณน้ำที่ถูกดูดซับ (ก./ก. ของตัวอย่าง)

$$= \frac{\text{น้ำหนักสุดท้าย (ก.)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (ก.)}} \qquad \text{สมการ (1)}$$

ตารางที่ 15 ความสามารถในการคืนตัวของสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการอบแห้ง

| Temperature (°C) | ระยะเวลาในการแช่ | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 |
| **40** | 2.43±0.26 | 3.57±0.04 | 5.29±0.04 | 6.99±0.09 | 7.15±0.04 |
| **50** | 2.35±0.12 | 4.36±0.06 | 5.90±0.11 | 7.61±0.07 | 7.87±0.05 |
| **60** | 3.27±0.02 | 5.62±0.04 | 7.20±0.06 | 8.74±0.09 | 9.30±0.06 |
| **70** | 3.12±0.01 | 5.44±0.05 | 6.64±0.09 | 8.07±0.05 | 9.12±0.04 |

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ

ตารางที่ 15 จากผลการทดลองความสามารถในการคืนตัวของสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการอบแห้ง พบว่า อุณหภูมิน้ำที่ใช้สัมพันธ์กับระยะเวลาในการแช่ ซึ่งจะมีผลต่อลักษณะปรากฏของสาหร่ายพวงองุ่น โดยอัตราการดูดน้ำกลับเป็นตัวชี้วัดถึงคุณภาพของอาหารแห้ง เป็นตัวที่มีค่าเชื่อมโยงกับการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมีในระหว่างการอบแห้งซึ่งมีผลมาจากจากกระบวนการก่อนการอบแห้งและอุณหภูมิที่ใช้ในระหว่างการอบแห้ง จึงส่งผลทำให้อัตราการดูดน้ำกลับของสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งในการศึกษานี้มีค่าอยู่ระหว่าง 2.40-9.15 ซึ่งค่าจะมีค่าที่แตกต่างเนื่องจากพื้นผิวที่สัมผัสกับน้ำลักษณะปรากฏ อาจมีผลต่ออัตราการดูดน้ำกลับ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและวิธีในการทำแห้ง อัตราการดูดน้ำกลับที่ดีจะอยู่ในช่วง 60 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที ซึ่งมีทฤษฎีและผลการทดลองที่ใกล้เคียงกับการทดลองของ อาภัสสร และคณะ (2558) เรื่อง ผลของวิธีการทำแห้งต่อสมบัติทางกายภาพของต้นหอม พบว่า อัตราการดูดน้ำกลับของต้นหอมอบแห้งในการศึกษานี้มีค่า 2.07-10.99 และการทำแห้งแบบถาดด้วยตู้อบลมร้อนทำให้ต้นหอมอบแห้งมีอัตราการดูดน้ำกลับต่ำที่สุด การลวกก่อนการทำแห้งช่วยให้อัตราการดูดน้ำกลับของต้นหอมอบแห้งด้วยลมร้อนมีค่าสูงขึ้น กัญญาณัฐ และคณะ (2555) พบว่า การคืนตัวของเนื้อมะกอกป่าแห้ง 3 ขนาด คือ แบบผง แบบสับหยาบ และแบบขนาดชิ้นใหญ่ พบว่ามะกอกแบบผงมีอัตราการคืนตัวสูงที่สุด โดยใช้เวลา 2 นาที รองลงมาได้แก่ แบบสับหยาบและแบบขนาด ชิ้นใหญ่ โดยใช้เวลานาน 8 นาที และ 10 นาที ตาม ลำดับ เนื่องจากมะกอกแบบผงมีพื้นที่ผิวสัมผัสต่อปริมาตร มากกว่าชิ้นมะกอกแบบอื่นจึงทำให้มีความสามารถในการ ดูดคืนน้ำได้มากกว่า ซึ่งเกิดจากแรง capillary ของน้ำกับ ผนังเซลล์ ทำาให้เกิดการดูดคืนน้ำ

# สรุปผลการทดลอง

1. การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของสาหร่ายพวงองุ่นแบบสดและสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการอบแห้งมีปริมาณความชื้น เถ้า โปรตีน และไขมันร้อยละ94.05, 3.79, 0.29, และ 0.19 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ส่วนสาหร่ายพวงองุ่นผ่านการอบแห้งมีปริมาณความชื้น เถ้า ไขมัน และโปรตีน ร้อยละ 18.18, 11.34, 0.33, และ 0.30 ตามลำดับ ส่วนค่า $a_w$ ในสาหร่ายพวงองุ่นแบบสดและสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการอบแห้ง เท่ากับ 0.96, 0.46 และ มีค่าสี L*.a* และ b* ของสาหร่ายพวงองุ่นสด เท่ากับ 22.07, 0.52 และ 12.17 สาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการอบแห้ง 20.14 ,0.28 และ 7.98

2. การศึกษาผลของวิธีการทำแห้งที่มีผลต่อคุณภาพของสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการอบแห้ง โดยจะ ศึกษาปริมาณความชื้น ค่า $a_w$ และค่าสี พบว่า สาหร่ายพวงองุ่น ชุดการทดลองแบบไม่ลวก ชุดควบคุม แช่กรดซิตริก และแช่แคลเซียมคลอไรด์ ( ก่อนอบ) มีค่าเท่ากับ 93.89, 94.61 และ 94.70 ตามลำดับ อบจนกระทั่งเวลาผ่านไป 3 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 11.23, 18.34 และ 13.93 ตามลำดับ ส่วนชุดการทดลองแบบลวก ชุดควบคุมแช่กรดซิตริก และ แช่แคลเซียมคลอไรด์ (ก่อนอบ) มีค่าเท่ากับ 97.08, 96.99 และ 97.18 ตามลำดับ อบจนกระทั่งเวลาผ่านไป 3 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 18.18, 37.17 และ 44.29 ตามลำดับ

เมื่อนำไปวิเคราะห์ค่าสี พบว่า สาหร่ายพวงองุ่นสด มีค่าความสว่าง (L*) และค่าสีเหลือง (b*) สูงกว่าสาหร่ายพวงองุ่นแบบที่ผ่านการลวก แสดงให้เห็นว่าสาหร่ายพวงองุ่นทั้งแบบไม่ผ่านการลวกและผ่านการลวก แบบแช่กรดซิตริก เกิดการเปลี่ยนแปลงจากโทนสีเขียวไปเป็นโทนสีแดงเพิ่มมากขึ้น

วิธีการทำแห้งมีผลต่อค่า $a_w$ ของสาหร่ายพวงองุ่นหลังการอบแห้ง เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชุดการทดลองแบบไม่ผ่านการลวกและผ่านการลวกด้วยวิธีการ 3 วิธี พบว่า ชุดการทดลองแบบไม่ผ่านการลวก ชุดควบคุม มีค่า $a_w$ ต่ำที่สุด คือ 0.46 รองลงมาคือ แช่แคลเซียมคลอไรด์ เท่ากับ 0.49 และ แช่กรดซิตริก มีค่าที่สูงที่สุด เท่ากับ 0.59 ส่วนชุดการทดลองแบบผ่านการลวก ชุดควบคุม มีค่า $a_w$ สูงที่สุด คือ 0.66 รองลงมาคือ แช่กรดซิตริก เท่ากับ 0.58 และค่าต่ำสุดคือ แช่แคลเซียมคลอไรด์ เท่ากับ 0.52 ตามลำดับ

3. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งสาหร่ายพวงองุ่นด้วยตู้อบลมร้อน โดยการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ค่า $a_w$ พบว่า การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นลดลงเหลือ 0.16, 0.15 0.06 และ 0.06 ตามลำดับ ในช่วงเวลาที่ 180 นาที โดยอัตราส่วนความชื้นจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงเวลาที่ 0-120 นาที แรกของการอบแห้ง หลังจากนั้นจะลดลงจนเข้าสู่สภาวะสมดุล อุณหภูมิและระยะเวลามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ ค่า $a_w$ จะผลการทดลองที่ได้ศึกษาจะสังเกตเห็นว่า เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการทำแห้งจะลดลง ในช่วงเวลาที่ 210 นาที มีค่าเท่ากับ 0.48, 0.45, 0.34 และ 0.35 ตามลำดับ ส่งผลให้การอบแห้งสาหร่ายพวงองุ่นด้วยตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 240 นาที มีความเหมาะสมที่สุด

4. การศึกษาความสามารถในการคืนตัวของสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการอบแห้ง พบว่า การเปลี่ยนแปลงจะเกิดขึ้นระหว่างการทำแห้งซึ่งเป็นผลมาจากกระบวนการก่อนการทำแห้งและสภาวะที่

ใช้ในการทำแห้ง ทำให้อัตราการดูดน้ำกลับของสาหร่ายในการศึกษานี้มีค่าอยู่ระหว่าง 2.40-9.15 ซึ่งมีค่าแตกต่างกันมาก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ และวิธีในการทำแห้ง อัตราการดูดน้ำกลับที่ดีจะอยู่ในช่วง 60 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที

## ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาวิธีการทำแห้งที่หลากหลายมากขึ้นเพื่อนำมาใช้ในเปรียบเทียบเกี่ยวกับวิธีการทำแห้งที่มีอยู่ในงานวิจัย

2. ควรมีการศึกษาถึงวิธีการทำแห้งที่มีผลต่อการดูดซับน้ำของสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการอบแห้งและศึกษาระยะเวลาในการเก็บรักษา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

# เอกสารอ้างอิง

กัญญาณัฐ อุตรชนม, กานต์พิชชา ซือหมือ, และบุษบา มะโนแสน สุภาวดี ศรีแย้ม และ จิรรัชต์ กันทะขู้. 2555. การศึกษาการแปรรูปน้ำพริกมะกอกป่าอบแห้ง. **วารสารวิจัยและพัฒนา.** 35(1): 67-68.

กรมประมง. 2560. **คู่มือการปฏิบัติงานตามกระบวนการจัดการความรู้ การเพาะเลี้ยงและการจัดการสาหร่ายพวงองุ่นหลังการเก็บเกี่ยว.** กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.7 น.

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2547. การอนุรักษ์พลังงานในระบบอื่นๆ, น. 33 - 51. *ใน* **ตำราฝึกอบรมผู้รับผิดชอบด้านพลังงานอาวุโส (ผอส.) ด้านความร้อน.** กระทรวงพลังงาน, .กรุงเทพฯ. 200 น.

กาญจนภาชน์ ลิ่วมโนมนต์. 2527. **สาหร่าย.** คณะประมง. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 130 น.

ซากุระ เมืองร้อน. 2559. สาหร่ายพวงองุ่นความอร่อยจากทะเลและคุณค่ามหาศาล. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : **https://anngle.org** (28 ธันวาคม 2561).

เตือนใจ ศิริพาหนะกุล, สุวิมล โชคชัยสวัสดี, เกษร น้อยนาง และ สุธาสินี ครุฑธกะ. 2558. การศึกษาวิธีการทำแห้งสาหร่ายไกแผ่น. **รายงานสืบเนื่อง** การประชุมหาดใหญ่วิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 6. 26 มิถุนายน 2558. มหาวิทยาลัยหาดใหญ่.

เทวรัตน์. ทิพยวิมล 2553. การคงคุณภาพผักอบแห้งกึ่งสำเร็จรูปด้วยเทคนิคการอบแห้งแบบปั๊มความร้อน. **รายงานการวิจัย.** มหาวิทยาลัยเทคโนโลยสุรนารี. 100 น.

นัยนา เพชรแท้. 2529. อนุกรมวิธานของสาหร่ายทะเลที่เกาะสมุย จังหวัดสุราษฎร์ธานี. วิทยานิพน์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพ ฯ.

นิรนาม. 2560. สาหร่ายพวงองุ่น. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : **https://sevemorblog.wordpress.com** ( 28 ธันวาคม 2561).

นิรนาม. ม.ป.ป. ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการอบแห้ง. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก. : https://www.thaismartdryer.com ( 28 ธันวาคม 2561).

นิรนาม. ม.ป.ป. ตู้อบลมร้อน. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : .**https://home.kku.ac.th** (28 ธันวาคม 2561).

นิธิยา รัตนาปนนท์. ม.ป.ป. การลวก (blanching). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : **http://www.foodnetworksolution.com** (28 ธันวาคม 2561).

นิธิยา รัตนาปนนท์. 2547. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน.สาหร่ายทะเลอบ. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : **http://www.foodnetworksolution.com** (28 ธันวาคม 2561).

นิธิยา รัตนาปนนท์. 2553. Drying rate / อัตราการทำแห้ง. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : **http://www.foodnetworksolution.com** ( 28 ธันวาคม 2561).

นิธิยา รัตนาปนนท์. 2553. Dehydration / การทำแห้ง. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : **http://www.foodnetworksolution.com** (28 ธันวาคม 2561).

พ้วน เพ่งเซ้ง. 2535. ศึกษาองค์ประกอบของชนิดของสาหร่ายทะเลที่พบในปัจจุบันที่พบในอดีตที่อ่าวเพ จ.ระยอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มโน สุวรรณคำ,มานพ แย้มแฟง. 2551. เรื่อง การออกแบบและสร้างเครื่องลดความชื้นเริ้มต้นข้าวเปลือก. **รายงานผลการวิจัย.** มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. 103.น

สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง. 2552. สาหร่ายพวงองุ่น. [ออนไลน์]. เข้าได้จาก.: www.coastalaqua.com/oldweb (28 ธันวาคม 2561).

สิริพันธุ์ จุลกรังคะ. 2558. **โภชนศาสตร์เบื้องต้น.** พิมพ์ครั้งที่9. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 314 น.

สุพล ตั่นสุวรรณ มนท้วนติ ท้ามติ้น และ สันติภาพ แซ่เฮ้า. 2556. สาหร่ายพวงองุ่น “Green Caviar” สถาบันวิจัยอาหารสัตว์น้ำชายฝั่งกรมประมง, [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : https://www.fisheries.go.th (28 ธันวาคม 2561).

สุภวรรณ ฏิระวณิชย์กุล , สลิลลา ชาญเชี่ยว และ ยุทธนา ฏิระวณิชย์กุล. 2556. ปัจจัยของเงื่อนไขการอบแห้งต่อจลนพลศาสตร์และคุณภาพของการอบแห้งขนุน. **วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ**. 14(3) : 83-91.

วิจิตรา แดงปรก, และ ทองลา ภูคำวงศ. 2557. เรื่องผลของวิธีการทำแห้งต่อความสามารถในการต้านออกซิเดชันของสาหร่ายสไปรูลินา *(Spirulina platensis).* **รายงานผลการวิจัย.** มหาวิทยาลัยแม่โจ้, 104 น

วิชมณี ยืนยงพุทธกาล, และ สุวรรณา วรสิงห์. 2559. เรื่อง การยืดอายุการเก็บสาหร่ายพวงองุ่นพร้อมบริโภคโดยการเคลือบผลด้วยสารเคลือบที่บริโภคได้. **รายงานวิจัย.** มหาวิทยาลัยบูรพา, 116 น.

วรินธร พูลศรี, ภูรินทร์ อัครกุลธร และ กรรณพต แก้วสอน. 2560. การศึกษาวิธีการอบแห้งในการทำชาจากดอกกุหลาบ. **วารสารวิจัย.** 16(2) : 1-9.

ศรีปาน เชยกลนิเทศ ,กลอยใจ เชยกลนิเทศ และ ทศพร นามโฮง. 2555. การอบแห้งเนื้อผลลำไยลิ้นจี่ และเงาะด้วยไมโครเวฟร่วมกับอินฟาเรด. **รายงานวิจัย.** มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ พระนครศรีอยุธยา.14 น.

อาภัสสร ศิริจริยวัตร สุธิชา พืชสิงห์ และ ชาติสยาม ผลวิลัย. 2558. ผลของอุณหภูมิในการทำแห้งต่อคุณภาพของสาหร่ายเทา. **วารสารวิทยาศาสตร์.** 43(3) : 460-466.

อีลีหย๊ะ สนิโซ มาดีฮะ ประดู่ และ ฟาตีฮะ ยะยี. 2556. สภาวะที่เหมาะสมของการอบแห้งเห็ดนางฟ้า ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ร่วมรังสีอินฟาเรด. **วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา.** 8(2) : 107-117.

AOAC. 2000. **Official Method of Analysis of AOAC Internation**. 17 th ed. The Association of Official Analytical Chemists,Virginia.

Farvin, K.H.S. and Jacobsen C. 2013. Phenolic compounds and antioxidant activities of selected species of seaweeds from Danish Coast. **Food Chemistry.** 138 : 1670-1681.

Lewmanomont, K. and Ogawa. H, 1995. **Common seaweeds and seagrasses of Thailand**. Integrated Promotion Technology Co. Ltd., Thailand. 163 p.

Ratana-arporn, P. and Chirapart, A. 2006. Nutritional Evaluation Tropical Green Seaweeds *C. lentillifera* and *Ulva reticulate*. **Kasertsart J**. 75-83.

Ratana. 2015. สาหร่ายพวงองุ่น *C. lentillifera*. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก. : **http://greencaviarth.blogspot.com** ( 28 ธันวาคม 2561).

# ภาคผนวก

# ภาคผนวก ก
# ใบทดสอบทางประสาทสัมผัส

## ใบรายงานการทดสอบ

คัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งสาหร่ายพวงองุ่นในลักษณะต่างๆ **ชุดที่**................

**ชื่อผู้ตัดสิน**.................................................. **วันที่**........................................... **เวลา**................

**คำแนะนำ :** สังเกตตัวอย่างที่นำเสนอให้จากซ้ายไปขวาแล้วให้คะแนนความชอบจากตัวอย่างในแต่ละปัจจัยที่ใกล้เคียงกับความรู้สึกของท่านมากที่สุด โดยกำหนดให้

9 = ชอบมากที่สุด
4 = ไม่ชอบเล็กน้อย
8 = ชอบมาก
3 = ไม่ชอบปานกลาง
7 = ชอบปานกลาง
2 = ไม่ชอบมาก
6 = ชอบน้อยที่สุด
1 = ไม่ชอบมากที่สุด
5 = เฉยๆ

| ปัจจัย | คะแนนความชอบตัวอย่าง | | |
|---|---|---|---|
| | | | |
| สี | | | |
| กลิ่น | | | |
| ความชอบรวม | | | |

ข้อเสนอแนะ

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

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

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

# ภาคผนวก ข
## การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

**1. การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น** Loss on drying at 135 องศาเซลเซียส (AOAC, 2000)

**1.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ**

1.1.1 ภาชนะอลูมิเนียมสำหรับหาปริมาณความชื้น (moisture can)

1.1.2 ตู้อบไฟฟ้า (hot air oven)

1.1.3 โถความชื้น (desiccator)

1.1.4 เครื่องชั่งไฟฟ้า 4 ตำแหน่ง

**1.2 วิธีการวิเคราะห์**

1.2.1 อบภาชนะสำหรับวิเคราะห์ปริมาณความชื้นพร้อมฝา ในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 100-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 2 – 3 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบใส่ไว้ในโถความชื้น วางทิ้งไว้จนกระทั่งอุณหภูมิของภาชนะลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้อง (ใช้เวลาประมาณ 15-30 นาที) ชั่งน้ำหนักและบันทึกผล

1.2.2 อบภาชนะอะลูมิเนียมซ้ำทำเช่นเดียวกับข้อ 1 จนกระทั่งได้น้ำหนักคงที่ (ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งทั้ง 2 ครั้งที่ติดต่อกันไม่เกิน 0.0001 – 0.0003 กรัม) บันทึกน้ำหนักที่ได้

1.2.3 ชั่งน้ำหนักตัวอย่างให้ได้น้ำหนักแห้งที่แน่นอน 3-5 (บันทึกเป็นน้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ) ใส่ในภาชนะหาความชื้นซึ่งทราบน้ำหนักที่แน่นอนแล้ว

1.2.4 นำไปอบในตู้อบไฟฟ้า โดยเปิดฝาภาชนะ ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 3 – 4 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบไฟฟ้าไว้ในโถกันความชื้นจนกระทั่งอุณหภูมิของภาชนะถึงอุณหภูมิห้อง ชั่งน้ำหนัก

1.2.5 อบซ้ำอีก 30 นาที ชั่งจนกระทั่งน้ำหนักได้คงที่ แล้วนำมาคำนวณปริมาณความชื้นจากน้ำหนักที่หายไป

**1.3 การคำนวณ**

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

$W_1$ = น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)

$W_2$ = น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

**2. การวิเคราะห์หาปริมาณเถ้า ตามวิธีของ** Dry ashing method (AOAC, 2000)

**2.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ**

2.1.1 เตาเผา (Muffle furnace)

2.1.2 ถ้วยกระเบื้องเคลือบ (Porcelain crucible)

2.1.3 โถดูดความชื้น

2.1.4 เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง

**2.2 วิธีการวิเคราะห์**

2.2.1 เผาถ้วยกระเบื้องเคลือบที่เตาเผาอุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 3 ชั่วโมง ปิดสวิตซ์เตาเผาแล้วรอประมาณ 30-45 นาที เพื่อให้อุณหภูมิภายในเตาเผาลดลงก่อนแล้วนำออกจากเตาเผาใส่โถดูดความชื้น ปล่อยให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้องแล้วชั่งน้ำหนัก

2.2.2 เผาซ้ำอีกครั้งละประมาณ 30 นาที และกระทำเช่นข้อ 1 จนได้ผลต่างของน้ำหนักทั้งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม

2.2.3 ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักแน่นอนประมาณ 2 กรัม ใส่ถ้วยกระเบื้องเคลือบที่รู้น้ำหนักแน่นอนแล้ว นำไปเผาในตู้ดูดควัน แล้วจึงนำเข้าเตาเผาอุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส กระทำเช่นเดียวกันกับข้อ 1-2

**2.3 การคำนวณ**

$$\text{ปริมาณเถ้า (ร้อยละโดยน้ำหนัก)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)}}$$

**3. การวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีน** ตามวิธีของ (AOAC, 2000)

**3.1 วัสดุอุปกรณ์**

3.1.1 เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง
3.1.2 Kjeldalh flask
3.1.3 เครื่องย่อย
3.1.4 เครื่องกำจัดไอกรด
3.1.5 เครื่องกลั่น
3.1.6 บิวเรต (Buret) ขนาด 50 มิลลิลิตร
3.1.7 Boiling chip
3.1.8 กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (conc. $H_2SO_4$)
3.1.9 Mixed catalyst: $CuSo_4$: $K_2SO_4$ = 1:10
3.1.10 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้น 40%
3.1.11 สารละลายกรดบอริกเข้มข้น 4%
3.1.12 สารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริก (HCl) เข้มข้น 0.1 N
3.1.13 Mixed indicator
3.1.14 ตัวอย่างอาหาร

**3.2 วิธีการวิเคราะห์**

3.2.1 ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักแน่นอน 2-5 กรัม ใส่ลงในหลอดย่อย (Kjeldalh flask) เติม mixed catalyst ($CuSO_4$: $K_2SO_4$ อัตราส่วน 1:10) จำนวน 10 กรัม ($CuSO_4$ 0.91 กรัม,

$K_2SO_4$9.09 กรัม) เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 25 มิลลิลิตร และใส่ Boiling chip 2-3 เม็ด (การเติมกรดซัลฟิวริกให้ทำในตู้ดูดควัน โดยนำหลอดย่อยใส่ใน insert rack นำไปเตรียมในตู้ดูดควัน)

3.2.2 นำ insert rack ที่มีหลอดย่อยตัวอย่างวางครบทุกช่องวางประกอบเข้ากับเครื่องย่อย และเปิดเครื่องกำจัดไอกรด ตั้งอุณหภูมิในการย่อยตัวอย่างที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นปรับเพิ่มอุณหภูมิเป็น 350 องศาเซลเซียส ทำการย่อยตัวอย่างจนได้สารละลายใส ใช้เวลาประมาณ 60 นาที รอให้ไอกรดถูกดูดไปจนหมดและทิ้งไว้ให้เย็น

3.2.3 นำขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ซึ่งบรรจุสารละลายกรดบอริกเข้มข้นร้อยละ 4 ปริมาตร 25 มิลลิลิตร หยด mixed indicator 2-3 หยด (ได้สารละลายสีส้มแดง) ไปวางไว้ตำแหน่งรองรับของเครื่องกลั่นโดยให้ส่วนปลายของอุปกรณ์ควบแน่นจุ่มอยู่ในสารละลาย

3.2.4 นำหลอดย่อยมาต่อเข้ากับเครื่องกลั่น เติมน้ำกลั่นลงในหลอดย่อยประมาณ 75 มิลลิลิตร ให้ปริมาตรรวมในหลอดเท่ากับ 100 มิลลิลิตร เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 40 ลงไปประมาณ 50 มิลลิลิตร จะได้สารละลายสีน้ำเงินเข้มหรือสีดำ

3.2.5 ทำการกลั่นประมาณ 7 นาที ล้างส่วนปลายของอุปกรณ์ควบแน่นด้วยน้ำกลั่นลงในขวดรูปชมพู่ (ควรทำการกลั่นล้างก่อนทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนตัวอย่าง)

3.2.6 ไทเทรตสารละลายที่กลั่นได้ด้วยสารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 นอร์มอล จนกระทั่งสีของสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วงอมชมพู (ทำตัวอย่างละ 3 ซ้ำ)

3.2.7 ทำ Blank ตามวิธีการในข้อ 1-6 โดยไม่ใส่ตัวอย่าง

3.2.8 คำนวณหาปริมาณไนโตรเจนจากสูตร

**3.3 การคำนวณ**

$$\text{ปริมาณไนโตรเจน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)} = \frac{(A-B)\times NHCL\times 14.007}{Wt.sample}$$

ปริมาณโปรตีน (ร้อยละโดยน้ำหนัก) = ปริมาณไนโตรเจน x F

เมื่อ A คือ ปริมาณสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไทเทรตตัวอย่าง (มิลลิลิตร)
B คือ ปริมาณสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไทเทรต blank (มิลลิลิตร)
N คือ ความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (นอร์มอล)
Wt คือ น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)
F คือ แฟคเตอร์ (Conversion factor)

**4. การวิเคราะห์หาปริมาณไขมัน ตามวิธีของ Soxhlet extraction method (AOAC, 2000)**

**4.1 วัสดุอุปกรณ์**

4.1.1 อุปกรณ์ชุดสกัดไขมัน (Soxhlet apparatus) ประกอบด้วยขวดกลมสำหรับใส่ตัวทำละลายซอคเลต (Soxhlet) เครื่องควบแน่น (Condenser) และเตาให้ความร้อน (Heating mantle)

4.1.2 หลอดใส่ตัวอย่าง

4.1.3 สำลี

4.1.4 ตู้อบไฟฟ้า

4.1.5 เครื่องชั่งไฟฟ้าอย่างละเอียด

4.1.6 โถดูดความชื้น

4.1.7 ปิโตรเลียมอีเทอร์

**4.2 วิธีวิเคราะห์**

4.2.1 อบบีกเกอร์สำหรับหาปริมาณไขมัน ในตู้อบไฟฟ้าทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้นและชั่งน้ำหนักที่แน่นอน

4.2.2 ชั่งตัวอย่างบนกระดาษกรองที่ทราบน้ำหนักประมาณ 1-2 กรัม ห่อให้มิดแล้วใส่ในหลอดสำหรับใส่ตัวอย่าง คลุมด้วยสำลีเพื่อให้สารละลายมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ

4.2.3 นำตัวอย่างใส่ในซอคเลต

4.2.4 เติมตัวทำละลายเฮกเซนลงในขวดหาน้ำมัน 150 มิลลิลิตรแล้ววางบนเตา

4.2.5 ประกอบอุปกรณ์ชุดสกัดไขมัน พร้อมทั้งเปิดน้ำหล่ออุปกรณ์ควบแน่นและเปิดสวิตซ์ให้ความร้อน

4.2.6 ใช้เวลาในการสกัด 14 ชั่วโมง โดยการปรับความร้อนให้หยดของสารทำละลายกลั่นตัวจากอุปกรณ์ควบแน่นด้วยอัตรา 150 หยดต่อนาที

4.2.7 เมื่อครบ 14 ชั่วโมง นำหลอดตัวอย่างออกจากซอคเลตทิ้งให้ตัวทำละลายไหลออกจากซอคเลตลงในขวดกลมจนหมด

4.2.8 ระเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่องระเหยแบบสุญญากาศ

4.2.9 นำขวดหาไขมันอบในตู้อบ 80-90 องศาเซลเซียส จนแห้งใช้เวลาประมาณ 30 นาที ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น

4.2.10 ชั่งน้ำหนักแล้วอบซ้ำนานครั้งละ 30 นาที จนกระทั่งผลต่างของน้ำหนักสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิลิตร

4.2.11 คำนวณปริมาณไขมันจากสูตร

**4.3 การคำนวณ**

$$\text{ปริมาณไขมันคิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)}}$$

## ภาคผนวก ข
## ขั้นตอนในการทดลอง

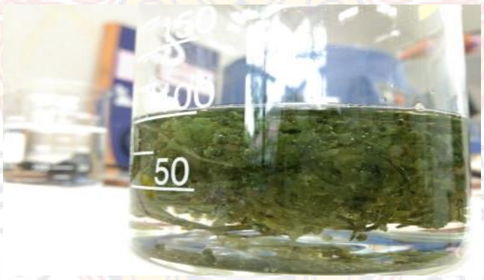
ภาคผนวกที่ 4 การคัดเลือกและเตรียมสาหร่ายพวงองุ่นสำหรับการวิเคราะห์

ภาคผนวกที่ 5 การชั่งน้ำหนักสาหร่ายพวงองุ่นสำหรับการวิเคราะห์

ภาคผนวกที่ 6 การลวกตัวอย่างก่อนการนำไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน

ภาคผนวกที่ 7  การแช่สารละลายกรดซิตริกและแคลเซียมคลอไรด์สาหร่ายพวงองุ่น

ภาคผนวกที่ 8  การจัดเรียงตัวอย่างสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการเตรียมด้วยวิธีการต่างๆ อบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน




ภาคผนวกที่ 9  ความสามารถในการคืนรูปของสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการอบแห้ง

ภาคผนวกที่ 10  สาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการอบแห้ง