อภินันทนาการ

สำนักหอสมุด

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

ผลของกระบวนการทำแห้งต่อกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์สาหร่ายเทาน้ำอบแห้ง

โดย

ผศ. ดร. นิติพงศ์ จิตรีโภชน์ และคณะ

12 พฤศจิกายน 2556

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนเรศวร
วันลงทะเบียน 17 มิ.ย. 2558
เลขทะเบียน i. 6785951
เลขเรียกหนังสือ

TX
553
.A7
ป5865
2556

สัญญาเลขที่ R2555B090

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

ผลของกระบวนการทำแห้งต่อกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์สาหร่ายเทาน้ำอบแห้ง

คณะผู้วิจัย

ผศ.ดร. นิติพงศ์ จิตรีโภชน์

รศ. กมลวรรณ โรจน์สุนทรกิตติ

รศ.ดร. ธีรพร กงบังเกิด

ดร. ขนิษฐา รุตรัตนมงคล

ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเกษตรศาสตร์

ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร

สนับสนุนโดยกองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยนเรศวร

ประกาศคุณูปการ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อมหาวิทยาลัยนเรศวรที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยประจำปีงบประมาณ 2555 จนทำให้งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์และทรงคุณค่า

คุณค่าและคุณประโยชน์อันพึงจะมีมาจากรายงานวิจัยฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบและอุทิศแด่ผู้มีพระคุณทุก ๆ ท่าน ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า งานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการนำไปใช้ประโยชน์ทางการเผยแพร่ความรู้แก่ผู้ประกอบการและผู้สนใจที่ถูกต้อง

นิติพงศ์ จิตรีโภชน์

ชื่อเรื่อง	**สภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการทำแห้งต่อกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์สาหร่ายเทาน้ำอบแห้ง**
ผู้วิจัย	**ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นิติพงศ์ จิตรีโภชน์** **รองศาสตราจารย์ กมลวรรณ โรจน์สุนทรกิตติ** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ขนิษฐา รุตรัตนมงคลและ รองศาสตราจารย์ ดร. ธีรพร กงบังเกิด
คำสำคัญ	การทำแห้ง กิจกรรมต้านอนุมูลอิสระ สาหร่ายเทาน้ำ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความต้องการและแนวทางการพัฒนาสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสของผู้บริโภค พบว่าผู้บริโภคมีความคาดหวังผลิตภัณฑ์สาหร่ายอบแห้งปรุงรส ได้แก่ ผู้บริโภคชอบสาหร่ายอบแห้งปรุงรสรสดั้งเดิม (ซีอิ๊วขาว น้ำตาล) มากที่สุด ร้อยละ 33.16 ผู้บริโภคส่วนใหญ่ต้องการเสริมพริกไทยลงในส่วนผสมของสาหร่ายอบแห้งปรุงรส และต้องการให้บรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยด์ การศึกษาผลกระทบของกระบวนการทำแห้งต่อสมบัติบางประการของสาหร่ายเทาน้ำ ได้แก่ ค่าสี ปริมาณคลอโรฟิลล์ ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ โดยทดสอบด้วยวิธี ABTS, DPPH, metal chelating activity, reducing power และ superoxide radical-scavenging โดยนำสาหร่ายเทาน้ำสดมาลวกที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 3 นาที และปั่นผสมกับน้ำเป็นเวลา 90 วินาที เติมแป้งข้าวเหนียว จากนั้นนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 15 นาที และนำมาทำแห้ง โดยการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 °C จนผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 4 และการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งที่อุณหภูมิ 120 130 และ 140 °C ระยะห่างของผิวลูกกลิ้ง 1 มิลลิเมตร ความเร็วรอบ 6 รอบต่อนาที กระทั่งผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 10 พบว่า กระบวนการทำแห้ง และอุณหภูมิมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสาหร่ายเทาน้ำ การทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง พบว่าสาหร่ายเทาน้ำมีปริมาณคลอโรฟิลล์ ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ค่า DPPH และ ABTS สูงที่สุด ($p<0.05$) คือเท่ากับ 10.48 ± 0.01 กรัม/100 กรัมน้ำหนักแห้ง 0.35 ± 0.01 mgGAE/g ร้อยละ 92.00 และร้อยละ 78.00 ตามลำดับ ค่า L* a* และ b* เท่ากับ 35.10 ± 0.19 -3.44 ± 0.42 และ 8.67 ± 0.22 ตามลำดับ ส่วนสาหร่ายเทาน้ำที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งที่อุณหภูมิ 120 °C ระยะห่างของผิวลูกกลิ้ง 1 มิลลิเมตร ความเร็วรอบ 6 รอบต่อนาที มีปริมาณคลอโรฟิลล์ ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ค่า DPPH และ ABTS สูงที่สุด ($p<0.05$) เท่ากับ 11.62 ± 0.01 กรัม/100 กรัมน้ำหนักแห้ง 0.67 ± 0.01 mgGAE/g ร้อยละ 81.00 และร้อยละ 83.00 ตามลำดับ ค่า L* a* และ b* เท่ากับ 45.00 ± 0.98 -1.24 ± 0.13 และ 15.67 ± 0.42 ตามลำดับ การศึกษาสูตรที่เหมาะสม พบว่าสูตรที่เหมาะสมของสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาด ประกอบด้วย สาหร่ายเทาน้ำร้อยละ 19.60 แป้งข้าวเหนียวร้อยละ 39.20

น้ำสะอาดร้อยละ 39.20 และซีอิ๊วขาว พริกไทย และน้ำตาล ร้อยละ 5.00 1.50 และ 1.50 ตามลำดับ และสูตรที่เหมาะสมในการผลิตด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง ประกอบด้วยสาหร่ายเทาน้ำร้อยละ 18.50 แป้งข้าวเหนียวร้อยละ 37.00 น้ำสะอาดร้อยละ 37.00 แบะแซร้อยละ 5.50 และซีอิ๊วขาว พริกไทย และน้ำตาล ร้อยละ 5.00 0.00 และ 3.00 ตามลำดับ ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณ จุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า 100 โคโลนีต่อกรัม ยีสต์และราน้อยกว่า 10 โคโลนีต่อกรัม เอสเชอริเชีย โคไลน้อยกว่า 3 เอ็มพีเอ็นต่อกรัม ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนสาหร่ายน้ำจืดอบ มผช. 516-2547 และจากการศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์สาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่อุณหภูมิห้องสามารถเก็บรักษาได้ไม่น้อยกว่า 56 วัน

Title Optimization of drying process on antioxidant activities of dried spirogyra (*Spirogyra* spp.)

Authors **Assistant Professor, Nitipong jittrepotch, Ph.D.,**
Associate Professor, Kamonwan Rojsuntornkitti
Assistant Proessor, Khanitta Ruttarattanamongkol, Ph.D. and
Associate Professor, Teeraporn Kongbangkerd, Dr.

Keywords Drying, Antioxidant activities, *Spirogyra* spp.

ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate the consumer survey for profiling the desirable development seasoned dried Spirogyra. It was found that 33.16% of expected indicated that consumers to have a product seasoned dried spirogyra. Most consumers want added to the mixture of pepper in seasoned dried seaweed and want to be packed in aluminum foil bags. It was found that influence of drying methods (tray drying and drum dry) on color values, chlorophyll and total phenolic contents and antioxidant activity changes of spirogyra (*Spirogyra* spp.). Antioxidant activities were analyzed using ABTS, DPPH, metal chelating activity, reducing power and superoxide radical-scavenging assays. Fresh *spirogyra* was blanched at 100 °C for 3 mins and blended mixed with water for 90 seconds added glutinous flour, then heated at 70 °C for 15 mins before drying at 50 60 and 70 °C in the tray dryer and at 120 130 and 140 °C using drum dryer. The results show that drying methods and temperatures significantly affected the quality and antioxidant activities of Spirogyra. For tray drying, Spirogyra dried at 70 °C, contained the highest chlorophyll content of 10.48 ± 0.01 g/100g dry weight and total phenolic content of 0.35 ± 0.01 mgGAE/g sample ($p<0.05$). It possessed 92.0 % $DPPH^{\bullet}$ and 78.0 % $ABTS^{+\bullet}$ radical scavenging, respectively. The L* a* b* values were 35.10 ± 0.19 -3.44 ± 0.42 and 8.67 ± 0.22, respectively. For drum drying, Spirogyra dried at 120 °C yielded the highest chlorophyll content (11.62 ± 0.01 g/100g dry weight), total phenolic content (0.67 ± 0.01 mgGAE/g sample) and antioxidant activities (81 % $DPPH^{\bullet}$ and 78 % $ABTS^{+\bullet}$ radical scavenging) ($p<0.05$). The L* a* b* values were 45.00 ± 0.98, -1.24 ± 0.13 and 15.67 ± 0.42, respectively. It was found that the optimum formula of seasoned dried Spirogyra with tray drying were 19.6% Spirogyra, 39.2% glutinous flour, 39.2% water, 5.0% soy sauce, 1.5% pepper and 1.5% sugar, respectively and the optimum formula of

seasoned dried Spirogyra with drum drying were 18.5% Spirogyra, 37.0% glutinous flour, 37.0% water, 5.5% glucose syrup, 5.0% soy sauce, 0.0% pepper and 3.0% sugar, respectively. Total plate count, yeast and mold and *E. coli* of the products were within standard for dried freshwater seaweed of Thai Community Product Standard (TCPS-516-2547). The shelf-life of the products at room temperature was not less than 56 days.

สารบัญ

บทที่		หน้า
1	บทนำ	1
	ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
	วัตถุประสงค์	2
2	เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
	ความหมายของสาหร่ายน้ำจืดอบแห้งปรุงรส	3
	สาหร่ายน้ำจืด (เทาน้ำ)	3
	การตลาดของผลิตภัณฑ์จากสาหร่ายในประเทศไทย	3
	การอบแห้ง (Drying)	6
	ขนมขบเคี้ยว (Snack)	9
	อนุมูลอิสระ (Free radical)	12
3	วิธีดำเนินการวิจัย	16
	อุปกรณ์และวิธีการ	16
	การศึกษาพฤติกรรม ทัศนคติ และความต้องการ เกี่ยวกับสาหร่ายอบแห้งปรุงรส	18
	การศึกษาผลของกระบวนการทำแห้งต่อสมบัติบางประการของผลิตภัณฑ์สาหร่ายเทาน้ำทำแห้ง	18
	ศึกษาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรส	20
	ศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์สาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรส	23
4	ผลการวิจัย	26
	ตอนที่ 1 การศึกษาพฤติกรรม ทัศนคติ และความต้องการเกี่ยวกับสาหร่ายอบแห้งปรุงรส	26
	ตอนที่ 2 การศึกษาผลของกระบวนการทำแห้งต่อสมบัติบางประการของผลิตภัณฑ์สาหร่ายเทาน้ำทำแห้ง	37
	ตอนที่ 3 ศึกษาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรส	52

5 บทสรุป..... 78
สรุปผลการวิจัย..... 79

เอกสารอ้างอิง..... 80

ภาคผนวก..... 85

สารบัญตาราง

ตาราง **หน้า**

1 แสดงการเปลี่ยนแปลงของสารอาหารและสารระเหยเมื่อทำการอบแห้ง..... 8

2 แสดงปริมาณซีอิ๊วขาว พริกไทย และน้ำตาล จากการจัดสิ่งทดลองแบบ Mixture Design..... 21

3 แสดงสูตรคงที่ที่ใช้ในการทดลอง..... 22

4 แสดงลักษณะทางประชากรศาสตร์ของผู้ตอบแบบสอบถามจำนวน 400 คน ในการศึกษาพฤติกรรม ทัศนคติ และความต้องการเกี่ยวกับสาหร่ายอบแห้งปรุงรส..... 27

5 แสดงสมบัติทางเคมีของสาหร่ายเทาน้ำสด 38

6 แสดงปริมาณความชื้น ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และค่าสีของสาหร่ายเทาน้ำสด..... 38

7 แสดงผลของอุณหภูมิต่อปริมาณความชื้น และค่าสีของสาหร่ายเทาน้ำที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาด..... 39

8 แสดงผลของอุณหภูมิต่อปริมาณความชื้น และค่าสีของสาหร่ายเทาน้ำที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง..... 39

9 แสดงปริมาณซีอิ๊วขาว พริกไทย และน้ำตาล จากการจัดสิ่งทดลองแบบ Mixture Design..... 52

10 แสดงปริมาณความชื้น ค่า a_w และค่าความกรอบของสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดหลังผ่านการทอด..... 54

11 แสดงปริมาณความชื้น ค่า a_w และค่าความกรอบของสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งหลังผ่านการทอด..... 55

12 แสดงค่าสีของสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดหลังผ่านการทอด..... 56

13 แสดงค่าสีของสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งหลังผ่านการทอด..... 57

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง **หน้า**

14 **แสดงคะแนนการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสของสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรส** ที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดหลังผ่านการทอด..... 61

15 แสดงคะแนนการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสของสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรส ที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งหลังผ่านการทอด..... 62

16 แสดงคุณภาพด้านจุลชีววิทยาของสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ผ่านการทำแห้ง ด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาด และเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งหลังผ่าน การทอด..... 63

17 แสดงคะแนนการยอมรับด้านกลิ่นหืนของสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ผ่านการ ทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 30 35 และ 45 °C เป็น เวลา 8 สัปดาห์..... 74

18 แสดงคะแนนการยอมรับด้านกลิ่นหืนของสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ผ่านการ ทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 30 35 และ 45 °C เป็นเวลา 8 สัปดาห์..... 75

19 แสดงระยะเวลาสูงสุดในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิเร่งต่าง ๆ (เครื่องทำ แห้งแบบถาด)..... 76

20 แสดงระยะเวลาสูงสุดในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิเร่งต่าง ๆ (เครื่องทำ แห้งแบบลูกกลิ้ง)..... 76

สารบัญภาพ

ภาพ หน้า

1 กรรมวิธีการทำแห้งสาหร่ายเทาน้ำด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาด..... 19
2 กรรมวิธีการทำแห้งสาหร่ายเทาน้ำด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง..... 20
3 การจัดสิ่งทดลองแบบ Mixture Design สำหรับศึกษาอิทธิพลของปริมาณซีอิ๊วขาว (x_1), พริกไทย (x_2), และน้ำตาล (x_3) ต่อคุณภาพของสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรส..... 21
4 ขั้นตอนการผลิตสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาด..... 22
5 ขั้นตอนการผลิตสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง..... 23
6 บุคคลในครอบครัวที่ชอบรับประทานสาหร่ายอบแห้งปรุงรส..... 28
7 เคยรับประทานสาหร่ายอบแห้งปรุงรสหรือไม่..... 28
8 ความชอบและไม่ชอบต่อสาหร่ายอบแห้งปรุงรส..... 29
9 เหตุผลในการชอบสาหร่ายอบแห้งปรุงรส..... 30
10 เหตุผลในการไม่ชอบสาหร่ายอบแห้งปรุงรส..... 30
11 ลักษณะสาหร่ายอบแห้งปรุงรสที่ผู้บริโภคชอบ..... 31
12 รสของสาหร่ายอบแห้งปรุงรสที่ผู้บริโภคชอบ..... 32
13 ส่วนผสมที่ต้องการเพิ่มลงในสาหร่ายอบแห้งปรุงรส..... 32
14 รูปแบบภาชนะที่ใช้ในการบรรจุสาหร่ายอบแห้งปรุงรส..... 33
15 เวลาในการรับประทานสาหร่ายอบแห้งปรุงรส..... 34
16 ราคาของสาหร่ายอบแห้งปรุงรสต่อ 1 ซอง..... 34
17 เวลาโดยเฉลี่ยที่รับประทานสาหร่ายอบแห้งปรุงรสในแต่ละครั้ง..... 35
18 ความถี่โดยเฉลี่ยที่รับประทานสาหร่ายอบแห้งปรุงรสต่อสัปดาห์..... 35
19 สถานที่ที่ซื้อสาหร่ายอบแห้งปรุงรส..... 36
20 ปัญหาที่พบในการรับประทานสาหร่ายอบแห้งปรุงรส..... 36
21 ปริมาณคลอโรฟิลล์ของสาหร่ายเทาน้ำที่ทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิต่างๆ..... 40
22 ปริมาณคลอโรฟิลล์ของสาหร่ายเทาน้ำที่ทำแห้งแบบลูกกลิ้งที่อุณหภูมิต่างๆ..... 40
23 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของสาหร่ายเทาน้ำที่ทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิต่างๆ..... 42
24 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของสาหร่ายเทาน้ำที่ทำแห้งแบบลูกกลิ้งที่อุณหภูมิต่างๆ..... 42
25 ค่า DPPH ของสาหร่ายเทาน้ำที่ทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิต่างๆ..... 44
26 ค่า DPPH ของสาหร่ายเทาน้ำที่ทำแห้งแบบลูกกลิ้งที่อุณหภูมิต่างๆ..... 44

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ **หน้า**

27 ความสามารถในการยับยั้ง $ABTS^{+\bullet}$ radical ของสารสกัดด้วยน้ำของสาหร่ายเทาน้ำในช่วงความเข้มข้น 0.1-8.0 mg/ml (เครื่องทำแห้งแบบถาด)..... 46

28 ความสามารถในการยับยั้ง $ABTS^{+\bullet}$ radical ของสารสกัดด้วยน้ำของสาหร่ายเทาน้ำในช่วงความเข้มข้น 0.1-8.0 mg/ml (เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง)..... 46

29 Scavenging activity of ABTS radical (IC_{50}) ของการสกัดสาหร่ายเทาน้ำที่อุณหภูมิต่าง ๆ (เครื่องทำแห้งแบบถาด)..... 47

30 Scavenging activity of ABTS radical (IC_{50}) ของการสกัดสาหร่ายเทาน้ำที่อุณหภูมิต่าง ๆ (เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง)..... 47

31 ค่า Reducing power ของสาหร่ายเทาน้ำที่ทำแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิต่างๆ 49

32 ค่า Reducing power ของสาหร่ายเทาน้ำที่ทำแห้งแบบลูกกลิ้งที่อุณหภูมิต่างๆ.... 49

33 ค่า Metal chelating activity ของสาหร่ายเทาน้ำที่ทำแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิต่างๆ..... 50

34 ค่า Metal chelating activity ของสาหร่ายเทาน้ำที่ทำแห้งแบบลูกกลิ้งที่อุณหภูมิต่างๆ..... 50

35 ค่า Superoxide radical activity ของสาหร่ายเทาน้ำที่ทำแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิต่างๆ..... 51

36 ค่า Superoxide radical activity ของสาหร่ายเทาน้ำที่ทำแห้งแบบลูกกลิ้งที่อุณหภูมิต่างๆ..... 51

37 ค่า DPPH ของสาหร่ายเทาน้ำปรุงรสที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดทั้ง 9 สิ่งทดลองหลังผ่านการทอด..... 58

38 ค่า DPPH ของสาหร่ายเทาน้ำปรุงรสที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งทั้ง 9 สิ่งทดลองหลังผ่านการทอด..... 58

39 Scavenging activity of ABTS radical (IC_{50}) ของการสกัดสาหร่ายเทาน้ำทั้ง 9 สิ่งทดลอง (เครื่องทำแห้งแบบถาด) หลังผ่านการทอด..... 59

40 Scavenging activity of ABTS radical (IC_{50}) ของการสกัดสาหร่ายเทาน้ำทั้ง 9 สิ่งทดลอง (เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง) หลังผ่านการทอด..... 60

41 ค่า L* ของผลิตภัณฑ์สาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดหลังผ่านการทอดระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ..... 65

42 ค่า a* ของผลิตภัณฑ์สาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดหลังผ่านการทอดระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ..... 65

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ **หน้า**

43 ค่า b* ของผลิตภัณฑ์สาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดหลังผ่านการทอดระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ..... 66

44 ค่า L* ของผลิตภัณฑ์สาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งหลังผ่านการทอดระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ..... 66

45 ค่า a* ของผลิตภัณฑ์สาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งหลังผ่านการทอดระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ..... 67

46 ค่า b* ของผลิตภัณฑ์สาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งหลังผ่านการทอดระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ..... 67

47 การเปลี่ยนแปลงความชื้นในผลิตภัณฑ์สาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดหลังผ่านการทอดระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ..... 68

48 การเปลี่ยนแปลงความชื้นในผลิตภัณฑ์สาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งหลังผ่านการทอดระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ..... 69

49 การเปลี่ยนแปลงค่า a_w ในผลิตภัณฑ์สาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดหลังหลังผ่านการทอดระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ..... 70

50 การเปลี่ยนแปลงค่า a_w ในผลิตภัณฑ์สาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งหลังผ่านการทอดระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ..... 70

51 การเปลี่ยนแปลงค่า TBA ในผลิตภัณฑ์สาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดหลังผ่านการทอดระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ..... 71

52 การเปลี่ยนแปลงค่า TBA ในผลิตภัณฑ์สาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งหลังผ่านการทอดระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ..... 72

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ หน้า

53 ค่า DPPH ของผลิตภัณฑ์สาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดหลังผ่านการทอดระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่าง ๆ 73

54 ค่า DPPH ของผลิตภัณฑ์สาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งหลังผ่านการทอดระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่าง ๆ 73

สภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการทำแห้งต่อกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์สาหร่ายเทาน้ำอบแห้ง

Optimization of drying process on antioxidant activities of dried spirogyra (Spirogyra spp.)

คำนำ

ในปัจจุบันประเทศไทยมีผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวในรูปแบบต่าง ๆ มากมายและมีการบริโภคเพิ่มมากขึ้น เพราะเป็นอาหารว่างที่รับประทานง่าย สะดวกในการพกพาและมีหลากหลายรสชาติให้เลือก ซึ่งนับว่ามีบทบาทในวิถีการดำรงชีวิตของผู้บริโภครุ่นใหม่เป็นอย่างยิ่ง โดยสังเกตเห็นได้ว่ามีการจำหน่ายผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวในร้านค้าทั่วไปจำนวนมาก และมีผลิตภัณฑ์ใหม่ ๆ เข้าสู่ตลาดตลอดเวลา ธุรกิจผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวในประเทศไทยมีการขยายตัวกว้างขวางขึ้นทุกปี จากข้อมูลศูนย์กสิกรไทย โดยการรายงานของกรุงเทพธุรกิจ (2553) คาดว่าตลาดของขนมขบเคี้ยวในปี 2553 จะเพิ่มจาก 15,200 ล้านบาท ในปี 2552 เป็น 16,600 ล้านบาท หรือขยายตัวเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 9.3 โดยการผลิตขนมขบเคี้ยวกลุ่มที่มีแนวโน้มขยายตัวดีได้แก่ ขนมขึ้นรูป มันฝรั่งทอดกรอบ เนื้อปลาและปลาสวรรค์ ถั่ว และสาหร่าย สำหรับทางด้านการส่งออกขนมขบเคี้ยวของไทยนั้น คาดว่ามูลค่าการส่งออกในปี 2553 จะเพิ่มขึ้นเป็น 3,875 ล้านบาท หรือขยายตัวเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 14.6 แม้ว่าขนมขบเคี้ยวไม่ใช่อาหารหลักที่ต้องบริโภคเพื่อให้ร่างกายได้รับสารอาหารครบถ้วน แต่การบริโภคขนมขบเคี้ยวในปริมาณที่มากในระหว่างมื้ออาหารหลักจะมีผลทำให้การบริโภคอาหารหลักลดน้อยลงกว่าเดิม ทำให้ได้รับสารอาหารไม่ครบถ้วน เพราะขนมขบเคี้ยวส่วนใหญ่จะทำจากแป้งชนิดต่าง ๆ คุณค่าทางโภชนาการมีน้อย (ศิรินทร์, 2536) ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวให้มีคุณค่าทางโภชนาการเพิ่มขึ้นเพื่อนำมาใช้ในการเสริมหรือเพิ่มคุณค่าทางโภชนาจากอาหารประจำวันที่บริโภคตามปกติ และในขณะเดียวกันต้นทุนของวัตถุดิบต้องไม่สูงเพื่อที่จะจำหน่ายในราคาที่ไม่แพง โดยใช้วัตถุดิบที่มีอยู่ในประเทศไทย

สาหร่ายน้ำจืด (เทาน้ำ) มีคุณค่าทางโภชนาการประกอบด้วยโปรตีน 23.76 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 2.86 เปอร์เซ็นต์ คาร์โบไฮเดรต 53.98 เปอร์เซ็นต์ เส้นใย 6.24 เปอร์เซ็นต์ โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง (ยุวดี, 2546) นับว่ามีคุณค่าทางโภชนาการ โดยพบมากบริเวณภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (รัชนี, 2535) ถ้านำสาหร่ายชนิดนี้มาดัดแปลงเป็นขนมขบเคี้ยว โดยการอบแห้งและเติมกลิ่นรสลงไปให้น่ารับประทาน คาดว่าน่าจะเป็นที่นิยม อย่างไรก็ตามสภาวะในการอบแห้งทำให้สารอาหารที่มีอยู่ในสาหร่ายเทาน้ำถูกทำลาย ดังนั้นในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพและกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระของสาหร่ายเทาในระหว่างกระบวนการผลิตและระหว่างการเก็บ อีกทั้งยังสามารถเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ได้อีกทางเลือกหนึ่งด้วย

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาสูตรต้นแบบในการผลิตสาหร่ายเทาน้ำอบแห้ง
2. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตสาหร่ายเทาน้ำอบแห้ง
3. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ และกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์สาหร่ายเทาน้ำอบแห้ง
4. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์สาหร่ายเทาน้ำอบแห้ง

เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ความหมายของสาหร่ายน้ำจืดอบแห้งปรุงรส

สาหร่ายน้ำจืดอบแห้งปรุงรส หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำสาหร่ายน้ำจืดสีเขียว มาล้างทำความสะอาดแล้วมาตากหรืออบให้แห้ง อาจทาหรือคั่วหรือทอดน้ำมัน อาจปรุงรสด้วยเครื่องปรุงรส เช่น เกลือ น้ำตาล ซีอิ้ว กระเทียม พริก เป็นต้น และอาจเติมส่วนประกอบอื่น เช่น งา สมุนไพร (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2547)

สาหร่ายน้ำจืด (เทา)

สไปโรจิรา (Spirogyra) นี้มีชื่อสามัญว่า "เตา" หรือ "เทา" หรือ "เทาน้ำ" นำมารับประทานได้โดยเฉพาะในแถบภาคเหนือนิยมนำมาปรุงอาหารที่เรียกว่า "ยำเตา" คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายชนิดนี้ บุญมี (2530) พบว่าประกอบด้วยโปรตีน 23.76 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 2.86 เปอร์เซ็นต์ คาร์โบไฮเดรต 53.98 เปอร์เซ็นต์ เส้นใย 6.24 เปอร์เซ็นต์ โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง ส่วนยุวดี และคณะ (2541) พบว่าประกอบด้วยโปรตีน 18.63 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 5.21 เปอร์เซ็นต์ คาร์โบไฮเดรต 56.31 เปอร์เซ็นต์ เส้นใย 7.66 เปอร์เซ็นต์ และเถ้า 11.78 เปอร์เซ็นต์ นับว่ามีคุณประโยชน์ทางโภชนาการพอสมควร

สาหร่ายชนิดนี้เป็นที่รู้จักกันดีที่สุดใน Division Chlorophyta ด้วยกัน มักเกิดรวมกันเป็นกลุ่มอาจจะอยู่ก้นบ่อเกาะอยู่กับก้อนหิน หรืออาจจะลอยอยู่บริเวณผิวน้ำ จีนัสนี้มีประมาณ 289 ชนิด (แต่ละชนิดมีความแตกต่างกันตามขนาด และรูปร่างของเซลล์ จำนวนคลอโรพลาสต์ การสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ รูปร่าง ขนาด และสีของไซโกท

ลักษณะของสาหร่ายชนิดนี้จะเป็นเส้นสายยาวมากคล้ายเส้นผมสีเขียวสด จับดูจะรู้สึกลื่นมือ เนื่องจากมีเมือกหุ้มอยู่ภายนอก เซลล์จะมีรูปร่างทรงกระบอก ซึ่งมีขนาดตั้งแต่ความยาวเท่าความกว้าง จนกระทั่งถึงความยาวมากกว่าความกว้างหลายเท่า ผนังเซลล์มี 3 ชั้น ชั้นในและชั้นกลางเป็นพวกเซลลูโลส ส่วนชั้นนอกเป็นพวกเพคโตส (Pectose) ภายในเซลล์มีแวคคิวโอลตรงกลางอันใหญ่ มีนิวเคลียสแขวนลอยอยู่ โดยมีสายไซโตพลาสซึม (Cytoplasmic Strand) เชื่อมโยง และยึดไว้กับผนังเซลล์ ภายในไซโตพลาสซึมอาจเกิดปรากฏการไซโคลซิส คลอโรพลาสต์อาจมีตั้งแต่ 1 อันหรือหลาย ๆ อันขึ้นอยู่กับอายุและชนิดมีลักษณะเป็นเส้นขดจากปลายเซลล์ข้างหนึ่งไปยังอีกข้างหนึ่ง ลักษณะการขดของคลอโรพลาสต์เป็นลวดลายสวยมาก บนสายคลอโรพลาสต์จะมีไพรีนอยด์เรียงเป็นแถวตลอดสาย ผนังเซลล์ด้านขวาจะเชื่อมโยง โดยมีความกว้างระหว่างเซลล์ต่อเซลล์ มองดูเป็นรูปตัว "H" สาหร่ายจีนัสนี้บางชนิดสามารถเคลื่อนที่ได้แบบร่อน (Gliding)

การตลาดของผลิตภัณฑ์จากสาหร่ายในประเทศไทย

พบว่าตามร้านค้าทั่วไปในท้องตลาดจะมีผลิตภัณฑ์สาหร่ายและผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของสารสกัดจากสาหร่ายมากมาย แต่การประมาณอุปสงค์ภายในประเทศโดยรวมของผลิตภัณฑ์จากสาหร่ายนั้นทำได้ยาก เนื่องจากมีความหลากหลายของผลิตภัณฑ์และมีกลุ่มของผู้ใช้ทั้งที่เป็นการบริโภคในครัวเรือน การศึกษาการแพทย์ และอุตสาหกรรม ซึ่งถ้าจะพิจารณาลงไปในแต่ละกลุ่มของผู้ใช้ผลิตภัณฑ์จะมีความแตกต่างกันมาก และส่วนใหญ่จะเป็นการนำเข้าจากต่างประเทศโดยมูลค่าทางการตลาดของผลิตภัณฑ์จากสาหร่ายในระดับประเทศ สามารถประเมินได้จากการเก็บภาษีนำเข้าและส่งออกโดยกรมศุลกากร สำหรับการนำเข้าสาหร่ายทะเล ซึ่งกรมศุลกากรไม่ได้แยกว่าเป็นสาหร่ายในรูปแบบใดเพียงแต่บอกว่าเป็นสาหร่ายสำหรับบริโภคเป็นอาหารและใช้ในทางเภสัชกรรม พบว่ามีแนวโน้มมากขึ้น แต่จะพบว่ามีสาหร่ายบางส่วนที่มีการนำเข้าโดยหลบเลี่ยงภาษีซึ่งทำให้ข้อมูลปริมาณการนำเข้าที่ได้จากกรมศุลกากรมีค่าต่ำกว่าความเป็นจริง ขณะที่ปริมาณ

การส่งออกมีแนวโน้มลดลง ดังนั้นจึงควรส่งเสริมให้มีการกระตุ้นให้เกิดอุตสาหกรรมแปรรูปผลิตภัณฑ์สาหร่ายในประเทศโดยการวิจัยและพัฒนาให้มากขึ้น (สรวิศ, 2544)

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายน้ำจืด (เทา) ปัจจุบันได้มีการส่งเสริมให้มีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายน้ำจืด (เทา) มากขึ้น โดยศูนย์ศึกษาและพัฒนาวนศาสตร์ชุมชนที่ 14 (ลำปาง) ได้ทำการศึกษาเรื่องการเพาะเลี้ยงสาหร่ายน้ำจืด (เทาน้ำ) มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาและเผยแพร่ความรู้ ให้แก่ชุมชนและผู้สนใจ จากการศึกษาพบว่าสาหร่ายน้ำจืด (เทา) เป็นสาหร่ายที่มีประโยชน์ และมีคุณค่าทางอาหาร จึงเป็นที่นิยมบริโภค แต่ในทุกวันนี้นั้นเป็นสิ่งของหายาก และบางครั้งไม่กล้ารับประทาน เนื่องจากไม่ทราบแหล่งที่มาว่าปลอดจากสารเคมีโดยเฉพาะยาฆ่าหญ้า หรือเชื้อโรคอื่น ๆ หรือไม่ จึงได้มีการส่งเสริมให้มีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายในแหล่งน้ำสะอาด ดังเช่น บ้านนาคูหา ตำบลสวนเขื่อน อำเภอเมือง จังหวัดแพร่ ซึ่งได้เพาะเลี้ยงมาร่วม 30 ปี (ทำค่อนข้างจริงจังประมาณ 10 ปี) ปรากฏว่าผู้บริโภคตามชุมชนต่าง ๆ มีมากขึ้น ตลาดขยายกว้างขวางมากยิ่งขึ้น มีการนำสาหร่ายน้ำจืด (เทาน้ำ) ไปประกอบอาหารต่าง ๆ มากมาย เช่น ยำเทา ลาบเทา เป็นต้น ซึ่งการเพาะเลี้ยงสาหร่ายน้ำจืด (เทาน้ำ) ก็ทำได้ไม่ยาก เริ่มจากการเตรียมบ่อสาหร่ายเทา เตรียมโดยขุดบ่อรองรับน้ำที่ไหลจากตาน้ำ ชาวบ้านนาคูหาจะใช้ดินที่เคยเป็นที่ปลูกนาข้าวของตน เพื่อรองรับน้ำสะอาดจากภูเขา แหล่งตาน้ำ โดยขุดเป็นบ่อสี่เหลี่ยม ขนาดความกว้างยาว และลึกของบ่อเทา แล้วแต่ลักษณะของพื้นที่จะอำนวยให้ และลดหลั่นกันไปตามความลาดชันของพื้นที่ เมื่อขุดบ่อเสร็จแล้วก็สามารถปล่อยน้ำสะอาดเข้าไปขังในบ่อได้ทันที จากนั้นเป็นการปลูกขยายแม่พันธุ์ เมื่อเตรียมบ่อสาหร่ายเทาไว้เรียบร้อยแล้ว ก็จะนำสาหร่ายเทาที่มีอยู่ในธรรมชาติ หรือที่มีอยู่ในบ่อเลี้ยงเทาของตนอยู่ก่อนแล้ว นำมาหว่านปล่อยลงในบ่อใหม่ แล้วใช้อุปกรณ์ลักษณะเหมือนคราด ทำการเกลี่ยสาหร่ายเทาให้มีการกระจายสม่ำเสมอทั่วทั้งบ่อ การดูแลรักษา ก็จะดูแลรักษาความสะอาดของน้ำในบ่อไว้เสมอ ไม่มีการใช้ปุ๋ย หรือสารเคมีใด ๆ ลงไปในบ่อโดยเด็ดขาด แต่มีข้อระวังคือ หากบ่อสาหร่ายเทาถูกน้ำฝนลงไปขังในบ่อ จะทำให้เทาเสียหาย เก็บไว้ได้ไม่นานเทาจะเน่ามีกลิ่นเหม็น การเก็บเกี่ยวสาหร่ายเทา บ่อสาหร่ายเทาที่ขุดสร้างขึ้นมาใหม่ ๆ และหลังจากได้ปล่อยแม่พันธุ์ลงไปในบ่อแล้ว สาหร่ายเทาจะมีการขยายพันธุ์ออกไปเรื่อย ๆ ค่อนข้างเร็ว โดยใช้เวลาเพียง 3 ถึง 5 วัน จะสังเกตเห็นเป็นสีเขียวลอยอยู่ในน้ำ ก็สามารถเก็บเกี่ยวนำมาใช้ประโยชน์ได้แล้ว และหลังจากนั้น ก็สามารถเก็บเกี่ยวต่อเนื่องไปได้ทุก ๆ วัน นอกจากการเพาะเลี้ยงตามธรรมชาติแล้วยังมีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเทาในห้องปฏิบัติการได้อีกด้วย โดยงานวิจัยของ ยุวดี (2535) ได้ทำการศึกษาการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเทาในห้องปฏิบัติการ พบว่าสาหร่ายสามารถเจริญอยู่ได้ ซึ่งจากการศึกษาการเพาะเลี้ยงสาหร่ายน้ำจืด (เทา) ทำให้ปัจจุบันนี้ได้มีการเพาะลี้ยงสาหร่ายน้ำจืด (เทา) เพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ เพื่อให้เพียงพอกับการต้องการของผู้บริโภค

การอบแห้ง (Drying)

การอบแห้ง คือ การทำให้อาหารแห้งโดยใช้เครื่องจักรช่วย อาจจะแบ่งได้ตามกรรมวิธีที่ทำ โดยการใช้ความร้อนเป่าไปในตู้หรือห้องอบแห้ง แล้วมีที่ระบายความชื้นออกไปด้วยตู้อบชนิดง่าย ๆ อาจสร้างขึ้นโดยการทำเป็นตู้ (วัฒนา, 2526) วัฒนพงษ์ สมชาติ และวิลาส (2531) ได้ให้ความหมายของการอบแห้งคือ กระบวนการที่ความร้อนถูกถ่ายเทด้วยวิธีการใดวิธีหนึ่งไปยังวัสดุที่มีความชื้น เพื่อไล่ความชื้นออกโดยการระเหยโดยที่มีความชื้นจำนวนหนึ่งแฝงอยู่

ชนิดของเครื่องอบแห้ง (Dryer)

เครื่องอบแห้งแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ตามลักษณะการให้ความร้อนคือ

1) Adiabatic Dryer เป็นเตาอบแห้งที่ให้ความร้อนโดยการใช้กระแสลมร้อนเคลื่อนที่สัมผัสกับอาหารโดยอาหารจมอยู่กับที่หรือเคลื่อนที่ด้วยได้แก่ tray dryer, cabinet dryer, tunnel dryer, kiln dryer, spray dryer, flow dryer, และ air-lift dryer เป็นต้น

2) Solid Surface Transfer Dryer เป็นเตาอบแห้งที่ให้อาหารสัมผัสกับแผ่นโลหะร้อน น้ำที่ระเหยกระจายออกไปที่บรรยากาศตามธรรมชาติหรือใช้ลมหมุนเวียนหรือใช้ระบบสุญญากาศได้แก่ drum dryer, vacuum shelf dryer, continuous vacuum dryer เป็นต้น

ในที่นี้จะกล่าวถึงการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้ง 2 วิธีคือ

เครื่องอบแห้งแบบถาด (Tray dryers)

เครื่องอบแห้งแบบถาดประกอบด้วยถาดเตี้ย ๆ ที่มีช่องตาข่ายอยู่ด้านล่าง และบุด้วยฉนวนในแต่ละถาดจะบรรจุชิ้นอาหารบาง ๆ ขนาด 2 ถึง 6 เซนติเมตร อากาศร้อนจะไหลหมุนเวียนอยู่ในตู้ที่มีความเร็วลม 0.5 ถึง 5 เมตรต่อวินาทีต่อเมตร^2 ของพื้นที่ผิวของถาด มีระบบท่อหรือแบฟเพิล เพื่อนำลมร้อนขึ้นไปด้านบนหรือด้านข้างของถาดเพื่อเพิ่มอัตราการทำแห้ง นิยมใช้เครื่องทำแห้งแบบถาดในการผลิตอาหารในปริมาณต่ำ (1 ถึง 20 ตันต่อวัน) หรือสำหรับใช้ในโรงงานต้นแบบเครื่องอบแห้งชนิดนี้ใช้เงินลงทุน และค่าดูแลรักษาต่ำแต่ควบคุมดูแลยาก และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่สม่ำเสมอ (วิไล, 2546)

การทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (Drum drying)

การทำแห้งแบบลูกกลิ้งเป็นวิธีการทำแห้งที่ดีวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ในการทำแห้งอาหารหลายชนิด โดยเฉพาะอาหารที่อยู่ในสภาพของเหลวที่มีความหนืดสูงอยู่ในรูปของ Slurries หรือ Paste และสามารถจับเป็นฟิล์มบาง ๆ รอบลูกกลิ้งได้ จะได้ผลิตภัณฑ์ออกมาลักษณะเป็นแผ่นหรือผง การทำแห้งแบบลูกกลิ้งใช้ทำอาหารแห้งได้ในสภาพบรรยากาศธรรมดาหรืออาจอยู่ในสภาพสุญญากาศ ความร้อนได้จากการนำความร้อนจากตัวกลางนำความร้อน เช่น ไฟฟ้า ไอน้ำ หรือน้ำร้อน ที่อยู่ภายในลูกกลิ้งผ่านผนังลูกกลิ้งสู่แผ่นฟิล์มบาง ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน 1.1 กิโลกรัมไอน้ำต่อ 1 กิโลกรัมน้ำที่ระเหย หรือ 2,500 กิโลจูลต่อกิโลกรัมน้ำที่ระเหย ซึ่งสูงกว่าการทำแห้งด้วยอากาศร้อน (Air drying) (นฤดี, 2542) การทำแห้งอาหารด้วยวิธีนี้เป็นวิธีที่ง่ายและรวดเร็ว ค่าใช้จ่ายในการผลิตต่ำ แต่มีข้อเสียคือการทำแห้งด้วยวิธีนี้ใช้อุณหภูมิสูงจึงมีผลทำให้เกิดสีและกลิ่นของตัวอย่างผิดปกติ และมีการคืนตัวในน้ำได้ช้า เนื่องจากตัวอย่างผงที่ได้มีความหนาแน่นสูง (รัศมน, 2542; จรัสพรรณ, 2544)

หลักการทำแห้งโดยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (ศศธร, 2544)

การทำแห้งแบบลูกกลิ้งเป็นการทำแห้งโดยอาศัยวิธีเชิงกลใช้หลักการส่งผ่านความร้อนเข้าไปในชิ้นอาหารทำให้น้ำหรือความชื้นกลายเป็นไอระเหยออกไปจากผิวหน้าของอาหารมีลักษณะเป็นลูกกลิ้งทรงกระบอกอาหารจะถูกใส่บนช่องว่างของลูกกลิ้งในลักษณะที่ลูกกลิ้งหมุนไปซึ่งสามารถปรับความเร็วของลูกกลิ้งได้โดยลูกกลิ้งทั้งสองจะหมุนสวนทางกัน ภายในลูกกลิ้งทั้งสองจะมีไอน้ำไหลผ่านเข้าไปเป็นตัวให้ความร้อนแก่อาหาร ความร้อนที่ส่งผ่านในลูกกลิ้งจะถ่ายเทแบบการนำความร้อนไปยังผิวลูกกลิ้งซึ่งหมุนและมีอาหารเหลวเป็นแผ่นฟิล์มบาง ๆ ติดอยู่เมื่อหมุนครบ 1 รอบจะแห้งพอดี มีใบมีดคมซึ่งสามารถปรับระยะห่างพอดีจะกรีดเอาอาหารแห้งออก ซึ่งอาหารแห้งที่ได้จะมีสภาพเป็นแผ่นบาง ๆ หรือเป็นผงทำให้ผลิตอาหารแห้งได้เร็วมีอัตราการทำแห้งสูง การควบคุมความเร็วของลูกกลิ้งและช่องว่างระหว่างลูกกลิ้งจะขึ้นกับชนิดของอาหาร และคุณภาพของอาหารแห้งที่ต้องการ การทำแห้งแบบลูกกลิ้งใช้ดีกับวัตถุดิบที่เป็นของเหลวที่มีความข้นหนืดและไหลได้พอสมควร ซึ่งอยู่ในรูปของ Slurries หรือ Paste

การระเหยความชื้นในกระบวนการทำแห้งแบบลูกกลิ้ง

การระเหยความชื้นในกระบวนการทำแห้งแบบลูกกลิ้ง สามารถแบ่งได้เป็น 4 ระยะ คือระยะเริ่มต้น เริ่มจากอาหารถูกป้อนสู่ลูกกลิ้ง อุณหภูมิของอาหารเพิ่มขึ้นจนถึง 100 องศาเซลเซียส อย่างรวดเร็ว อาหารยังมีลักษณะเป็นของเหลว

ระยะที่ 1 เป็นช่วงที่มีการระเหยน้ำอิสระโดยการเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ดังนั้นในช่วงนี้อาหารเริ่มเปลี่ยนสถานะเป็นของแข็งอุณหภูมิของอาหารคงที่ หรือสูงขึ้นเล็กน้อยถ้าการเปลี่ยนสถานะเป็นไปอย่างช้า ๆ

ระยะที่ 2 น้ำในอาหารของระยะนี้เป็น Bound water อุณหภูมิของอาหารเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจาก 100 องศาเซลเซียสเป็น 130 องศาเซลเซียสที่ตำแหน่งก่อนถูกใบมีดขูด

ระยะที่ 3 เป็นระยะหลังจากอาหารถูกใบมีดขูดออกแล้วจนกระทั่งอาหารถูกป้อนสู่ลูกกลิ้งใหม่ในช่วงนี้ไม่มีการถ่ายเทความร้อนไปยังอาหารนอกจากการสูญเสีย เนื่องจากการแผ่รังสี

ประโยชน์ของการอบแห้ง

1. ป้องกันการเน่าเสียจากเชื้อจุลินทรีย์ ปฏิกิริยาเคมีและเอนไซม์
2. ทำให้มีใช้ยามขาดแคลน นอกฤดูหรือในแหล่งที่ห่างไกล
3. เก็บไว้ได้นานโดยไม่ต้องแช่ตู้เย็นไม่ต้องให้เปลืองค่าใช้จ่าย
4. ลดน้ำหนักของอาหาร ทำให้สะดวกในการบรรจุเก็บรักษาและขนส่ง
5. ได้ผลิตภัณฑ์ใหม่ เช่น ลูกเกด เกิดจากการทำแห้งองุ่น
6. ให้ความสะดวกในการใช้ เช่น ผงกาแฟสำเร็จรูป

ปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้ง

ในการทำแห้งทั่ว ๆ ไป มีปัจจัยหลายประการที่ทำให้การอบแห้งนั้นเกิดได้เร็วหรือช้าซึ่งพอสรุปได้ดังนี้

ธรรมชาติของอาหาร

อาหารเนื้อโปร่งมีลักษณะที่เป็นรูพรุนมาก ๆ มีการเคลื่อนที่ของน้ำภายในอาหารแบบผ่านช่องแคบซึ่งเร็วกว่าการแพร่ในอาหารเนื้อแน่น ดังนั้นอาหารเนื้อโปร่งจึงแห้งเร็วกว่าอาหารเนื้อแน่น อาหารที่มีน้ำตาลสูงจะเหนียวเหนอะหนะกีดขวางการเคลื่อนที่ของน้ำจึงแห้งช้า อาหารที่มีการลวก นวดคลึง ทำให้เซลล์แตกจึงแห้งได้เร็ว

ขนาดและรูปร่าง

ขนาดและรูปร่างมีผลต่อพื้นที่ผิวต่อน้ำหนัก เช่น รูปร่างเหมือนกัน ขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวต่อน้ำหนักมากว่าขนาดใหญ่จึงแห้งเร็วกว่า แต่ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงพื้นที่ผิวสัมผัสกับอากาศที่จะเกิดการเคลื่อนย้ายไอน้ำออกไป

ปริมาณอาหารต่อถาด

ถ้าปริมาณอาหารต่อถาดมากเกินไป อาหารส่วนล่างไม่ได้สัมผัสกับอากาศร้อน หรือได้รับความร้อนจากถาดแต่ไอน้ำไม่สามารถแพร่กระจายผ่านชั้นอาหารตอนบนออกมาได้จึงแห้งช้า

ตำแหน่งของอาหารในเตาอบ

น้ำในอาหารที่สัมผัสกับลมร้อนได้ดีกว่า หรือสัมผัสกับลมร้อนที่มีความชื้นต่ำย่อมระเหยได้ดีกว่า

อุณหภูมิของอากาศร้อน

ถ้าอากาศมีความร้อนคงที่ การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเป็นการเพิ่มความสามารถในการป้องกันไอน้ำจึงมีผลต่อการทำแห้งในช่วงอัตราการทำแห้งคงที่และอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้การแพร่กระจายของน้ำดีขึ้นจึงมีผลต่อการอบในช่วงอัตราการทำแห้งลดลงด้วย

ความเร็วของลมร้อน

ความเร็วของลมร้อนมีผลกระทบต่อการเคลื่อนย้ายไอน้ำออกไปด้วย เมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้นจึงเคลื่อนย้ายได้ดีขึ้นการเคลื่อนย้ายเกิดขึ้นเต็มที่ที่ความเร็วลม 244 เมตรต่อนาที นอกจากนั้นความเร็วลมทำให้เกิดกระแสปั่นป่วนของอากาศในเตาอากาศจึงสัมผัสอาหารได้ดีขึ้น

ความดัน

ความดันเกี่ยวเนื่องกับการระเหยของน้ำเนื่องจากในที่ความดันต่ำ ๆ น้ำก็จะเดือดได้ที่อุณหภูมิต่ำลงมา ดังนั้นการทำแห้งภายใต้ความดันจะทำให้อัตราการทำแห้งเร็วขึ้น

การเปลี่ยนแปลงของอาหารเนื่องจากการอบแห้ง

การอบแห้งเกิดการเปลี่ยนแปลงของอาหารมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับธรรมชาติของอาหารและสภาวะที่ใช้ในการอบแห้ง

การหดตัว

โดยธรรมชาติเซลล์อาหารจะอยู่ในลักษณะของเซลล์ที่เต่งเสมอ และผนังเซลล์จะมีคุณสมบัติในการยืดหยุ่นได้ ในลักษณะการทำแห้งอาหาร เมื่อน้ำถูกระเหยออกไป จะทำให้เกิดช่องว่างขึ้นระหว่างผิวของอาหารจะพยายามเข้าไปแทนที่ช่องว่างนั้นทำให้เซลล์ของอาหารหดตัว การหดตัวของผนังเซลล์ไม่สามารถจะหดเข้าไปได้เท่า ๆ กันทุกส่วนของอาหารได้ เนื่องจากธรรมชาติอาหารที่เรียกว่า อินคอมเพรสซิเบิล พาร์ท (Incompressible part) ตรงส่วนที่ไม่สามารถหดตัวได้จะยืดตัวออก อาหารที่มีน้ำมากจะหดตัวบิดเบี้ยวมาก การทำแห้งอย่างรวดเร็วจะหดตัวน้อยกว่าการทำแห้งอย่างช้า ๆ

การเปลี่ยนสี

อาหารที่ผ่านการทำแห้งจะมีสีเข้มขึ้นเนื่องจากความร้อนหรือปฏิกิริยาเคมีการเกิดสีน้ำตาลอุณหภูมิและช่วงเวลาที่อาหารมีความชื้นร้อยละ 10 ถึง 20 มีผลต่อความเข้มข้นของสีจึงควรหลีกเลี่ยงอุณหภูมิสูงในช่วงความชื้นร้อยละ 10 ถึง 20 นี้

การเกิดเปลือกแข็ง

เป็นลักษณะที่ผิวอาหารแข็งเป็นเปลือกหุ้มส่วนในที่ยังไม่แห้งไว้ เกิดจากในช่วงแรกให้น้ำระเหยเร็วเกินไปน้ำจากด้านในเคลื่อนที่มาที่ผิวไม่ทัน หรือมีสารละลายของน้ำตาล โปรตีน เคลื่อนที่มาแข็งที่ผิว สามารถหลีกเลี่ยงได้โดยไม่ใช้อุณหภูมิสูงและใช้อากาศที่มีความชื้นสูงเพื่อไม่ให้ผิวอาหารแห้งก่อนเวลาอันสมควร

การเสียความสามารถในการคืนสภาพ

อาหารแห้งบางชนิดต้องนำมาคืนสภาพ แต่การคืนสภาพโดยการเติมน้ำจะไม่ได้เหมือนเดิมเพราะเซลล์อาหารเสียความยืดหยุ่นของผนังเซลล์ สตาร์ชและโปรตีนเสียความสามารถในการดูดน้ำ อาหารแห้งที่ทำแห้งด้วยการแช่เยือกแข็งจะมีความสามารถในการคืนสภาพดีที่สุด เพราะไม่ได้ใช้ความร้อนที่จะทำลายผนังเซลล์หรือเปลี่ยนโครงสร้างของสตาร์ชและโปรตีน

การสูญเสียคุณค่าอาหารและสารระเหย

ในด้านคุณค่าทางอาหารและสารระเหยมีการเปลี่ยนแปลงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การเปลี่ยนแปลงของสารอาหารและสารระเหยเมื่อทำการอบแห้ง

สารอาหาร/สารระเหย	การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น
โปรตีน แป้ง และไขมัน	มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบต่อน้ำหนัก
สารระเหย	ลดลงหรือแตกต่างไปจากเดิมเนื่องจากความร้อน
สารประกอบ ไฟเบอร์ (Fiber)	ไม่เปลี่ยน
ปริมาณแคลอรี	ไม่เปลี่ยนแปลงแต่ปริมาณมวลของอาหารลดลง โดยการนำความชื้นออกจากอาหาร
วิตามิน เอ	ขึ้นอยู่กับการควบคุมความร้อนในกระบวนการทำแห้ง
วิตามิน ซี	โดยมากถูกทำลายไปในระหว่างการลวกและการทำแห้งของผัก
เกลือแร่	สูญสลายไปบ้างระหว่างการ ดีไฮเดรชัน (Dehydration) ถ้าใช้น้ำไม่มากเกินไป ส่วนธาตุเหล็ก ไม่ถูกทำลายโดยการทำแห้ง
ไทอามีน ไรโบฟลาวิน ไนอาซีน	สูญสลายไปเล็กน้อยระหว่างการลวกแต่ถ้าใช้น้ำไม่มากเกินไปก็ยังคงเหลืออยู่

ผลของการอบแห้งต่อปัจจัยต่าง ๆ ในอาหาร

โปรตีน

โดยลักษณะธรรมชาติของโปรตีนถ้าได้รับความร้อนสูงนาน ๆ จะทำให้เสียสภาพทางธรรมชาติไป (Denature) คุณค่าทางอาหารของโปรตีนจะเหลืออยู่มากหรือน้อยแค่ไหนขึ้นอยู่กับวิธีการทำแห้ง ดังนั้นการเลือกอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมสำหรับเครื่องทำแห้งแต่ละประเภทจะช่วยให้คุณค่าของโปรตีนคงอยู่มากขึ้น

ไขมัน

ไขมันที่มีในอาหารทั่ว ๆ ไปจะเป็นตัวทำให้อาหารนั้นเหม็นหืน ยิ่งมีไขมันสูงและอุณหภูมิสูงจะทำให้เกิดการเหม็นหืนได้เร็วขึ้น ดังนั้นในการทำแห้งจึงต้องคำนึงถึงการเหม็นหืนของอาหารแห้ง ถ้ามีไขมันสูงควรหลีกเลี่ยงการทำแห้งที่ใช้อุณหภูมิสูง อาจทำแห้งโดยใช้อุณหภูมิต่ำหรือภายใต้สภาพสุญญากาศ หรือใช้สารกันหืน

คาร์โบไฮเดรต

แป้งและน้ำตาลในอาหารจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับความร้อนสูงในช่วงความเข้มข้นที่เหมาะสม คือการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล (Browning) โดยเฉพาะในพวกผลไม้จะเกิดการเปลี่ยนสีในขณะทำแห้งจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ (enzymatic browning) หรือคาราเมไลเซชัน (caramelization) ซึ่งจะเกิดขึ้นในอาหารที่มีความชื้นตั้งแต่ร้อยละ 1 ถึง 30

เชื้อจุลินทรีย์

พวกแบคทีเรียและยีสต์จะเจริญเติบโตที่ความชื้นสูง ๆ มากกว่าร้อยละ 30 ขึ้นไป แต่เชื้อราสามารถเจริญเติบโตได้ในที่มีความชื้นน้อยกว่าร้อยละ 12 ดังนั้นอาหารแห้งที่ทำการลดความชื้นจนเหลือน้อยกว่าร้อยละ 10 จึงสามารถเก็บรักษาได้นานถ้าบรรจุในภาชนะหรือหีบห่อที่ดีในความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ

เอนไซม์

ในการทำอาหารแห้งมีเอ็นไซม์หลายตัวที่มีผลต่ออาหารแห้งโดยเฉพาะในแง่ของการเก็บรักษาและคุณภาพของอาหารแห้งที่ได้มีเอนไซม์ที่สำคัญ 2 ตัวคือ เพอร์ออกซิเดส (Peroxidase) และแคทาเลส (Catalase) ซึ่งเป็นตัวที่ทนความร้อนสูงดังนั้นในการทำแห้งอาหาร จึงใช้เอนไซม์ 2 ชนิดนี้เป็นตัวบ่งชี้ สำหรับการทดสอบว่าเอนไซม์ยังมีความสามารถในการทำงานหรือไม่ ลักษณะการทำงานของเอนไซม์ทั่ว ๆ ไปขึ้นอยู่กับความชื้นเมื่อความชื้นของอาหารลดลง ความสามารถในการทำงานของเอนไซม์ก็ลดลงด้วย โดยทั่วไปเอนไซม์หยุดการทำงานอย่างสิ้นเชิงถ้าให้ความร้อนใกล้จุดเดือดของน้ำที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที นอกจากนั้นอาหารแห้งที่มีความชื้นลดลงต่ำกว่าร้อยละ 1 พบว่าความสามารถในการทำงานของเอนไซม์จะไม่เหลืออยู่

การป้องกันการเกิดสีน้ำตาล

การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลของอาหารแห้งเกิดได้จากเอนไซม์และปฏิกิริยาทางเคมี ในกรณีแรกป้องกันได้โดยการลวกทำลายเอนไซม์ โดยใช้เวลาและอุณหภูมิที่เพียงพอในการทำลายเอนไซม์เพอร์ออกซิเดส (Peroxidase) และแคทาเลส (Catalase) ซึ่งทดสอบได้โดยใช้สารละลาย ไกว อะคอล (guaiacol) และไฮโดรเพอร์ออกไซด์ (Hydroperoxide) ตามลำดับสารประกอบซัลเฟอร์ช่วยป้องกันการเปลี่ยนสีของอาหารโดยทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์ (Reducing Agent) ทำปฏิกิริยากับหมู่คาร์บอนิล (Carbonyl Group) ของโปรตีน โปรตีนจึงไม่สามารถรวมตัวกับน้ำตาลเกิดปฏิกิริยาต่อไปเป็นสีน้ำตาล นอกจากนั้นยังทำหน้าที่เป็นตัวฟอกสีอีกด้วย นิยมใช้สารละลายโซเดียมหรือโพแทสเซียมซัลไฟต์ หรือเมตาไบซัลไฟต์ ปริมาณการใช้ 2000 พีพีเอ็ม เพียงพอในการป้องกันการเปลี่ยนสีระหว่างการทำแห้ง มีการสูญเสียระหว่างการทำแห้ง และการประกอบอาหารจนเหลือประมาณ 50 ถึง 100 พีพีเอ็ม เมื่อบริโภค การใช้มากเกินไปจะทำให้มีสีซีดและมีกลิ่นซัลเฟอร์ ข้อเสียของสารประกอบซัลเฟอร์คือทำลายวิตามิน บี และทำให้เกิดการแพ้ในบางคน

ขนมขบเคี้ยว (Snack)

ขนมขบเคี้ยว หมายถึง อาหารที่ใช้รับประทานเล่นระหว่างมื้ออาหารหลัก ลักษณะเด่นของขนมขบเคี้ยวในปัจจุบันคือ น้ำหนักน้อย เก็บรักษาง่าย นำติดตัวไปที่ต่าง ๆ ได้สะดวก ขนมขบเคี้ยวจัดเป็นอาหารให้พลังงานสูง เนื่องจากมีส่วนผสมของคาร์โบไฮเดรตเป็นจำนวนมากจึงช่วยให้อิ่มท้องได้ (นฤศันส์, 2541) นอกจากนั้น Fazzolare และคณะ (1997) ได้ให้คำจำกัดความขนมขบเคี้ยวว่าเป็นอาหารที่สามารถกินได้ทันที โดยทั่วไปนิยมกินระหว่างมื้ออาหารหรืออาจกินแทนอาหารได้ ความนิยมของขนมขบเคี้ยวได้มีเพิ่มมากขึ้นในปัจจุบัน ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่มีจำหน่ายในท้องตลาดมีหลากหลายรูปแบบ ซึ่งผลิตจากวัตถุดิบและใช้กรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน จากความนิยมในการบริโภคขนมขบเคี้ยวที่เพิ่มมากขึ้นบวกกับความเจริญของเทคโนโลยี จึงทำให้มีการพัฒนาเปลี่ยนแปลงการผลิตจากระดับครัวเรือนมาเป็นระดับอุตสาหกรรม ซึ่งทำให้ชนิดและรูปแบบของผลิตภัณฑ์มีความหลากหลายมากขึ้น รวมทั้งการแข่งขันทางการตลาดก็สูงขึ้นด้วย

ลักษณะทั่วไปของขนมขบเคี้ยว

ลักษณะโดยทั่วไปของขนมขบเคี้ยวมีลักษณะดังนี้คือ

1. เป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่รับประทานได้ง่าย
2. สามารถรับประทานได้ทันที
3. ใช้เวลาในการจัดเตรียมเล็กน้อย
4. มีความสะดวกในการพกพา
5. ใช้รับประทานเป็นอาหารว่างหรือตามโอกาส
6. ช่วยประทังความหิวในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ

7. มีรสชาติตอบสนองความพึงพอใจ

8. ไม่มีวัตถุประสงค์ที่จะใช้เป็นอาหารหลัก

9. ไม่ใช่อาหารที่มีคุณลักษณะเฉพาะ เช่น อาหารเพื่อสุขภาพ (ธงชัย, 2535)

คุณภาพของขนมขบเคี้ยว และการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว

คุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว

ปัจจัยที่บ่งชี้ถึงคุณภาพของอาหารมีหลายประการ โดย Bourne (1982) ได้กล่าวถึง ปัจจัยคุณภาพที่สำคัญของอาหารดังนี้ คือ 1) ลักษณะปรากฏ รวมถึงสี รูปร่าง ความมันวาว และอื่น ๆ 2) กลิ่นรส รวมถึงรสชาติ และกลิ่น 3) เนื้อสัมผัส และ 4) คุณค่าทางโภชนาการ ซึ่งลักษณะปรากฏ กลิ่นรส และเนื้อสัมผัสเกี่ยวข้องกับปัจจัยการยอมรับทางประสาทสัมผัส เนื่องจากสามารถรับรู้ได้โดยตรงด้วยการสัมผัส ในขณะที่คุณค่าทางโภชนาการไม่สามารถอธิบายได้ด้วยประสาทสัมผัส

ลักษณะเนื้อสัมผัสที่สำคัญที่สุดที่จะบ่งบอกถึงคุณภาพของขนมขบเคี้ยวคือความกรอบ โดย Moreira et al. (1999) กล่าวว่าขนมขบเคี้ยวจะมีคุณภาพที่ดี และเป็นที่ต้องการของผู้บริโภคเมื่อลักษณะเนื้อยังแน่นและกรอบ ความกรอบเป็นสิ่งสำคัญมากเพราะจะนำไปสู่ความพอใจเมื่อได้บริโภค และจะส่งผลให้เกิดการบริโภคในครั้งต่อไป โดยอาหารที่กรอบจะต้องเนื้อแน่น และแตกง่ายทันทีที่ทำให้ผิดรูปร่าง และเกิดเสียงเมื่อเคี้ยว (crunchy sound) การวัดค่าความกรอบมีหลายวิธี เช่น วิธีการประเมินทางประสาทสัมผัส การวัดค่าทางกล และวิธีการบันทึกคลื่นเสียง เป็นต้น

การเสื่อมเสียคุณภาพของขนมขบเคี้ยว

ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่ผลิตได้เมื่อเก็บไว้ระยะหนึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ ซึ่งจะส่งผลต่อการยอมรับผลิตภัณฑ์ กระบวนการเสื่อมเสียหลัก 2 กระบวนการที่อาจเกิดขึ้นพร้อมกันคือ การสูญเสียลักษณะเนื้อสัมผัสเนื่องจากการดูดซับความชื้น และอีกกระบวนการหนึ่งคือการเกิดกลิ่นเหม็นหืนซึ่งต้องการออกซิเจนและอาจเกิดจากแสงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

การเสื่อมเสียคุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัสของขนมขบเคี้ยว

ปาริฉัตร (2545) ได้อธิบายโครงสร้าง และการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัสของอาหารไว้ดังนี้ คือองค์ประกอบของอาหารเป็นสารประเภทไบโอพอลิเมอร์ ซึ่งมีคุณสมบัติที่สำคัญคือ เป็นสารที่มีโครงสร้างที่เป็นระเบียบ (crystalline structure) และโครงสร้างไม่มีระเบียบ (amorphous structure) โครงสร้างทั้งสองนี้สามารถเปลี่ยนกลับไปมาได้ตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและระดับความชื้น เมื่ออุณหภูมิของอาหารอยู่ต่ำกว่าอุณหภูมิกลาส ทรานสิชัน (T_g) อาหารจะเปราะและแตกง่าย T_g เป็นอุณหภูมิที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกลของวัสดุซึ่งเป็นของแข็งซึ่งมีความหนืดสูงมากคล้ายแก้ว (glass) หรือมีค่ามอดุลัสสูง เป็นวัสดุที่มีความแข็งลดลงและยืดหยุ่นมากขึ้น เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของวัสดุให้สูงกว่า T_g วัสดุยังเป็นของแข็งที่สามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ง่ายขึ้น แต่ไม่สามารถไหลได้เหมือนของเหลว มีลักษณะเหนียวคล้ายหนัง หรือเป็นยาง (rubbery) และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของวัสดุจนกระทั่งสูงกว่าอุณหภูมิหลอมเหลว (T_m) วัสดุจะมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับของเหลว (liquid like) เนื่องจากโครงสร้างมีความแข็งแรงลดลง ดังนั้นหากปล่อยให้อาหารมีความชื้นเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาจะทำให้อาหารมีเนื้อสัมผัสเปลี่ยนไป

ดังนั้นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมขบเคี้ยวคือ ความชื้น และค่า Water activity (a_w) โดย Bourne (1987) กล่าวว่า ค่า a_w มีอิทธิพลอย่างมากต่อคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสของอาหาร ความสัมพันธ์ระหว่างค่า a_w หรือปริมาณความชื้น และคุณสมบัติทางกล หรือลักษณะเนื้อสัมผัสของวัสดุอาหารมีความซับซ้อนมาก นอกจากน้ำจะมีคุณสมบัติในการเป็น plasticizer แล้ว Chang et al. (2000) ยัง

กล่าวว่ามีเหตุผลที่เป็นไปได้ว่าน้ำสามารถทำหน้าที่ได้ทั้ง plasticizer หรือ nonplasticizer ก็ได้ในระบบพอลิเมอร์ของอาหารที่มีความชื้นต่ำ

การเสื่อมเสียคุณภาพจากการเหม็นหืน

เนื่องจากขนมขบเคี้ยวจากสาหร่ายน้ำจืดมีส่วนประกอบที่เป็นน้ำมัน ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้เมื่อเก็บรักษาไว้อาจเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพจากการเหม็นหืน การเหม็นหืนในอาหาร Perkins (1996) อธิบายไว้ว่าสามารถเกิดได้ 3 ทาง ดังนี้

1) Hydrolytic rancidity

เกิดจากการที่ไขมันแตกตัวออก (fat spliting) การเกิดปฏิกิริยานี้ต้องมีน้ำเข้าไปเกี่ยวข้องด้วย และอาจมีเอนไซม์ย่อยไขมัน (lipolytic enzyme) เข้ามาเกี่ยวข้องด้วยซึ่งมักมีอยู่แล้วในอาหารนั้นตามธรรมชาติ หรืออาจเกิดขึ้นจากเชื้อจุลินทรีย์สร้างขึ้นมา การหืนลักษณะนี้ทำให้เกิดกรดไขมันอิสระในปริมาณที่สูงขึ้นกว่าปกติ จึงทำให้มีกลิ่นคล้ายสบู่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์ วิธีป้องกันกำจัดความหืนนี้คือการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ (refining) และการทำลายเอนไซม์นั้นเสีย (Perkins, 1996)

2) Ketonic rancidity

เกิดจากจุลินทรีย์โดยตรง ทำให้เกิดปฏิกิริยา B-oxidation ขึ้นในไขมัน และผลจากการหืนแบบนี้จะได้สารประกอบคีโตน การหืนแบบนี้มักเกิดในน้ำมันมะพร้าวที่ขึ้นรา มีความชื้น และสารอาหารพวกไนโตรเจนเข้ามาเกี่ยวข้องเพื่อการเจริญของราด้วย เมื่อเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวจะทำให้ได้สารประกอบ methyl-amyl ketone นอกจากนี้ยังพบว่าเกิดกับผลิตภัณฑ์นม การหืนนี้พบน้อยมากในอาหารที่ผ่านการแปรรูปและบรรจุในภาชนะที่ดี ถูกต้องและมีสุขลักษณะที่ดี การป้องกันการหืนแบบนี้จึงทำได้โดยการกำจัดความชื้น และสารประกอบไนโตรเจน (Perkins, 1996)

3) Oxidation rancidity

Oxidation rancidity เป็นปัญหาหลักของผลิตภัณฑ์อาหารทอด และเป็นสาเหตุหลักของการเสื่อมเสียของอาหาร (Jonnalagadda et al. 2001) บางครั้งเรียกว่า ออโตออกซิเดชัน (autoxidation) เป็นการหืนที่เกิดขึ้นจากไขมันสัมผัสกับออกซิเจนโดยตรง หรืออาจจะเกิดจากปฏิกิริยาโฟโตเคมี (photochemical reaction) หรือสารบางอย่างที่เติมลงในน้ำมัน ไขมันที่จะเกิดการหืนแบบนี้ได้รวดเร็วมักเป็นพวกที่มีพันธะคู่ในกรดไขมัน (unsaturated fatty acid) ซึ่งปฏิกิริยาแบบนี้เป็นแบบลูกโซ่ ซึ่งจะอธิบายได้เป็น 3 ขั้นตอน คือ ขั้นเริ่มต้นซึ่งได้อนุมูลอิสระ (R^0) เกิดขึ้นแล้วอนุมูลอิสระนี้จะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนเกิดเป็นอนุมูลเพอร์ออกซี (peroxy radical, ROO^0) แล้วจะทำปฏิกิริยาต่อตรงพันธะคู่ของกรดไขมันอีก เกิดเป็นไฮโดรเพอร์ออกไซด์ (hydroperoxide, ROOH) คือเกิด peroxide bridge ตรงพันธะคู่ ดังสมการคือ

Initiation	RH	⟶	R^0
Propagation	$R^0 + O_2$	⟶	ROO^0
	$ROO^0 + RH$	⟶	$ROOH + R^0$
Termination	R0 + R0	⟶	nonradial product

ซึ่งการเกิดปฏิกิริยาในขั้นตอนที่ได้ ROO^0 และ ROOH นี้จะเป็นขั้นตอนที่เรียกว่า propagation โดยทั่วไปไฮโดรเพอร์ออกไซด์จะไม่มีกลิ่นรสเลย แต่จะไม่คงตัวมักสลายให้สารประกอบแอลดีไฮด์ คีโตนพอลิเมอร์ ลิพอเพอร์ออกไซด์ และอนุมูลอิสระ สารเหล่านี้จะกลับไปก่อให้เกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องได้อีกด้วย ซึ่งเป็นการเกิดปฏิกิริยาในขั้นสุดท้าย (Perkins, 1996)

การเหม็นหืนที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว เกิดเป็นสารเพอร์ออกไซด์ ซึ่งสลายตัวไปเป็นสารที่ระเหยง่าย มีกลิ่นเหม็นหืน และมักทำให้วิตามินที่ละลายในไขมันถูกทำลายด้วย ในขณะที่มีการพัฒนากลิ่นรสแปลกปลอม (off-flavor) ในอาหารเหม็นหืน การเกิดอนุมูลอิสระ (free radicals) ในระหว่างกระบวนการ autocatalytic ก็ทำให้เกิดปฏิกิริยาอื่น ๆ ที่ไม่ต้องการด้วย เช่น การสูญเสียวิตามิน การเปลี่ยนสี การเหม็นหืนแบบนี้อาจป้องกันโดยไม่ให้อาหารสัมผัสกับอากาศ ซึ่งทำได้โดยการเก็บที่อุณหภูมิต่ำหรือเก็บในภาชนะที่ปิดสนิท หรือมีการเติมสารกันหืน (antioxidant) ลงไป (รุ่งนภา, 2540)

การยอมรับผลิตภัณฑ์อาหารขึ้นอยู่กับการเสื่อมเสียที่เกิดขึ้น และ Oxidative rancidity เป็นสาเหตุหลักของการเสื่อมเสีย กลิ่นเหม็นหืนเกิดขึ้นเนื่องจากการเกิดออกซิเดชันของไขมัน ทำให้สูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ และเกี่ยวข้องกับความปลอดภัยของอาหารด้วย โดยไขมันที่ถูกออกซิไดซ์มาก ๆ จะทำให้เกิดสารพิษ (toxic) การวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสเป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ในการบอกปริมาณการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์จากการเกิดออกซิเดชันได้ แต่อย่างไรก็ตามวิธีการนี้ไม่เหมาะสำหรับการวิเคราะห์เป็นประจำ ดังนั้นจึงต้องมีการคิดวิธีการวิเคราะห์ทางกายภาพและทางเคมี (Jonnalagadda et al., 2001)

อนุมูลอิสระ (Free radical)

ความหมายของอนุมูลอิสระ (Free radical)

อนุมูลอิสระ คืออะตอมหรือโมเลกุลที่มีอิเล็กตรอนไม่เป็นคู่ อยู่ในวงอิเล็กตรอนวงนอกสุด (outer orbital) เนื่องจากการมีอิเล็กตรอนที่โดดเดี่ยว (unpaired electron) อยู่ในวงโคจรของโมเลกุลทำให้ไม่เสถียร ทำให้อนุมูลอิสระเป็นสารที่มีความไวในการเข้าทำปฏิกิริยาทางเคมีกับสารอื่นสูงมาก โดยอนุมูลอิสระจะไม่แย่งจับหรือดึงเอาอิเล็กตรอนจากโมเลกุลหรืออะตอมสารที่อยู่ข้างเคียงเพื่อให้ตัวมันเสถียร โมเลกุลที่อยู่ข้างเคียงที่สูญเสียหรือรับอิเล็กตรอนจะกลายเป็นอนุมูลอิสระชนิดใหม่ ซึ่งอนุมูลอิสระที่เกิดมาใหม่นี้จะทำปฏิกิริยากับสารโมเลกุลอื่นต่อไป เกิดเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ (chain reaction) ต่อกันไปเรื่อย ๆ (Halliwell, 1991) โดยที่อนุมูลอิสระก็มีสมบัติเหมือนกับสารทั่ว ๆ ไป ตรงที่ความสามารถในการเข้าทำปฏิกิริยากับสารอื่นสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามอุณหภูมิ ความเป็นกรดด่าง (pH) และความชื้น เป็นต้น

อนุมูลอิสระมีทั้งที่อยู่ในสภาวะที่เป็นกลางทางไฟฟ้า และอนุมูลในสภาวะที่มีประจุไฟฟ้า โดยมีทั้งประจุบวกและประจุลบ สัญลักษณ์ทางเคมีของอนุมูลอิสระ คืออิเล็กตรอนเดี่ยวของอนุมูลอิสระจะแสดงด้วยจุดในตำแหน่งข้างบนของสัญลักษณ์ทางเคมี เช่น อนุมูล $R^{\bullet}$ แทนอะตอมในโมเลกุลของอนุมูลอิสระที่ไม่จำเพาะเจาะจง ซึ่งอนุมูลอิสระมีทั้งที่เป็นประจุบวก ($R^{+\bullet}$) เช่น อนุมูล pyridinyl ($NAD^{+\bullet}$) และประจุลบ ($R^{-\bullet}$) เช่น อนุมูล superoxide ($O_2^{-\bullet}$) หรือเป็นกลาง เช่น อนุมูล peroxyl ($ROO^{\bullet}$) หรืออนุมูล thiyl ($RS^{\bullet}$) เป็นต้น ซึ่งจากคำจำกัดความนี้ส่งผลให้อะตอมของธาตุและสารหลายชนิดถูกจัดเป็นอนุมูลอิสระด้วย เช่น คลอรีนอะตอม ($Cl^{\bullet}$) และซิลเวอร์อะตอม ($Ag^{\bullet}$) เป็นต้น (Roberfroid and Calderon, 1995)

วิธีวัดความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ ทำการวัด 2 วิธี ได้แก่

วิธี Scavenging activity of ABTS radical (Re et al., 1999)

วิธีนี้เป็นวิธีวัดทางอ้อมโดยใช้สาร 2, 2'-azino-bis (3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acid) หรือ ABTS มีสูตรโมเลกุล $C_{18}H_{18}N_4O_6S_4$ มาทำให้เป็นอนุมูลอิสระ โดยการถูกออกซิไดซ์ด้วยโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต ให้กลายเป็น $ABTS^{+\bullet}$ ซึ่งเป็นอนุมูลที่มีสีฟ้า-เขียว มีแลมดาแม็ค ที่ 660, 734 และ 820 nm แต่จะนิยมวัดค่าการดูดแสงที่ 734 nm โดยปรับค่าการดูดแสงเริ่มต้น $ABTS^{+\bullet}$ ให้เป็น 0.700 ± 0.02 เมื่อเติมสารทดสอบที่มีกิจกรรมต้านออกซิเดชัน จะทำให้ $ABTS^{+\bullet}$ ลดลง ซึ่งทำให้สีจางลงและสามารถนำไปคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ inhibition ได้ตามสมการ

$$\% \text{ Inhibition} = [(A_{734 \text{ control}} - A_{734 \text{ test sample}})/A_{734 \text{ control}}] \times 100$$

ผลการวิเคราะห์จะคำนวณเป็นค่าที่สัมพันธ์กับสารต้านออกซิเดชันมาตรฐาน Trolox จึงมีชื่อว่า Trolox Equivalent Antioxidant Capacity (TEAC)

ข้อดีของวิธีนี้ คือทำได้ง่าย อนุมูล $ABTS^{+\bullet}$ จะทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วกับสารต้านออกซิเดชัน อนุมูล $ABTS^{+\bullet}$ ละลายได้ทั้งในน้ำและสารทำละลายอินทรีย์ จึงทำให้ศึกษาได้ทั้งในสารที่ละลายในน้ำหรือละลายในไขมัน

ข้อเสียของวิธีนี้ คือ $ABTS^{+\bullet}$ ไม่เป็นสารตามธรรมชาติที่ก่อให้เกิดอนุมูลในเซลล์หรือร่างกาย

$$ABTS^{+\bullet} \quad + \text{antioxidant} \longrightarrow \quad ABTS$$

แลมดาแม็ค 734 nm colourless

วิธี DPPH (2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) radical (Hou et al., 2001)

อนุมูล $DPPH^{\bullet}$ เป็นอนุมูลไนโตรเจนที่คงตัว มีสีม่วง อยู่ในรูปอนุมูลอยู่แล้ว โดยไม่ต้องทำปฏิกิริยาเพื่อให้เกิดอนุมูลเหมือนกับกรณีอนุมูล $ABTS^{+\bullet}$ การวิเคราะห์เป็นการวัดความสามารถของสารทดสอบในการกำจัดอนุมูลอิสระ โดยวิธีให้ไฮโดรเจนอะตอม การวัดทำโดยใช้เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร

DPPH radical ใช้ในการทดสอบความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระของสารตัวอย่าง (scavenging activity) สารละลายของ $DPPH^{\bullet}$ มีสีม่วงในเอทานอล และเมื่อได้รับ H จะเปลี่ยนเป็นสารละลายสีเหลือง ตามสมการดังนี้ (Blois, 1958)

$$DPPH^{\bullet} + RH \longrightarrow DPPH\text{-}H + R^{\bullet}$$

สีม่วง ตัวอย่างทดสอบ สีเหลือง

ค่าที่วัดได้จะแสดงความสามารถในการต้านสารออกซิเดชันออกมาในค่า % inhibition ตามสมการนี้

$$\% \text{ Inhibition} = [(A_{517 \text{ control}} - A_{517 \text{ test sample}})/A_{517 \text{ control}}] \times 100$$

ข้อดีของวิธีนี้ คือทำได้ง่าย นิยมใช้เป็นวิธีเบื้องต้นในการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารต้านออกซิเดชันจากธรรมชาติ

ข้อเสียของวิธีนี้ คืออนุมูล $DPPH^{\bullet}$ มีความคงตัวไม่ไวต่อปฏิกิริยาเหมือนอนุมูลที่เกิดในเซลล์หรือร่างกาย ดังนั้นวิธีนี้จึงไม่สามารถแยกแยะจัดอันดับอนุมูลที่มีความไวสูงได้

ธนิษฐา และยุวดี (2550) ได้ทำการศึกษาสารต้านอนุมูลอิสระในสาหร่าย ไก (*Cladophor* sp.) ลอน (*Nostochopsis* sp.) และเตา (*Spirogyra* sp.) เพื่อเป็นประโยชน์ทางการแพทย์และทางด้านสุขภาพของผู้บริโภค สาหร่ายตัวอย่างที่ได้นำมาทำการศึกษาครั้งนี้เป็นสาหร่ายตากแห้งที่ได้มาจากกลุ่มแม่บ้านจังหวัดน่านและแพร่ โดยนำมาสกัดด้วยน้ำและเอทานอล ทดสอบโดยใช้วิธี ABTS radical cation decolorization assay และนำค่าที่ได้มาหาค่า IC_{50} เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสาหร่ายทั้ง 3 ชนิด และเปรียบเทียบผลของการใช้ตัวทำละลายที่แตกต่างกัน จากการทดสอบพบว่าสาหร่ายที่มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ดีที่สุดคือ *Spirogyra* sp. โดยได้ค่า IC_{50} เท่ากับ 0.25 เมื่อสกัดด้วยน้ำ และ 0.7 เมื่อสกัดด้วยเอทานอล รองลงมาคือ Cladophora sp. โดยได้ค่า IC_{50} เท่ากับ 2.93 เมื่อสกัดด้วยน้ำ และ 31.62 เมื่อสกัดด้วยเอทานอล สาหร่ายที่มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระน้อยที่สุดคือ *Nostochopsis* sp. ได้ค่า IC_{50} เท่ากับ 25.79 เมื่อสกัดด้วยน้ำ และ 5.36 เมื่อสกัดด้วยเอทานอล

ฐิติกานต์ และคณะ (2550) ได้ทำการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากสาหร่ายน้ำจืดขนาดใหญ่ *Spirogry* spp. ซึ่งเก็บรวบรวมมาจากบ่อเลี้ยงสาหร่ายเตา บ้านนาคูหา ต.สวนเขื่อน อ.เมือง จ.แพร่ โดยนำตัวอย่างสาหร่ายมาอบจนแห้งแล้วสกัดด้วยน้ำ นำสารสกัดมาทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ 7 วิธี ได้แก่ Scavenging activity of $ABTS^{+}$ radical cation, 1,1-diphenyl-2picrylhydrazyl (DPPH) radical

scavenging activity, Hydroxyl (OH) radical scavenging activity Lipid peroxidation Metal chelating activity Reducing power และ Superoxide radical-scavenging activity พบว่าวิธีทดสอบสารสกัดที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ดีที่สุดคือ 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging activity รองลงมาคือ Metal chelating activity, Superoxide radical-scavenging activity, Scavenging activity of $ABTS^{+}$ radical cation Hydroxyl (OH) radical scavenging activity และ Lipid peroxidation ตามลำดับ โดยมีความเข้มข้นของสารสกัดที่ลดปริมาณอนุมูลอิสระเริ่มต้นลงได้ 50 เปอร์เซ็นต์ (IC_{50}) เป็น 0.05, 0.24, 0.88,1.58,1.97 และ 7.61 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ และมีกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระจากวิธี reducing power มีค่า 1.73 จากตัวอย่าง 1 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร เทียบเท่ากับ garlic acid 0.08 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร

ปาวลี (2550) ได้ทำการศึกษาความสามรถในการต้านออกซิเดชันของสาหร่ายสีเขียว *Caulerpa recemosa* var. *corynephora* (Montahne) weber-van Bosse ด้วยตัวทำละลายต่างๆ 5 ชนิด พบว่าปริมาณ % yield ในสาหร่ายที่สกัดด้วยเมทานอลมีปริมาณมากที่สุด รองลงมาคือเอทานอล ไดคลอโรมีเทน เอทิลอะซีเตท และอะซิโตน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 5.673, 1.839, 1.273, 0.440 และ 0.126 ตามลำดับ สำหรับการทดสอบฤทธิ์ในการยับยั้งอนุมูลอิสระ $ABTS^{+\cdot}$ radical พบว่าสารสกัดสาหร่ายด้วยอะซีโตน มีฤทธิ์ในการยับยั้งอนุมูลอิสระมากที่สุด รองลงมาคือ สารสกัดด้วยเอทิลอะซิเตท สารสกัดด้วยไดคลอโรมีเทน สารสกัดด้วยเอทานอล และสารสกัดด้วยเมทานอล โดยมีค่าเทียบกับสารมาตรฐาน Trolox เท่ากับ 0.525 ± 0.022, 0.396 ± 0.005, 0.388 ± 0.008, 0.297 ± 0.002 และ 0.280 ± 0.006 µmol Trolox/g ของสารสกัดตามลำดับ

ดวงพร และคณะ (2550) ได้ทำการตรวจสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสาหร่ายทะเล 3 ชนิด ได้แก่ *Ulva recticulata* Forskal (สาหร่ายสีเขียว Division Chlorophyta) *Padina minor* Yamada (สาหร่ายสีน้ำตาล Division Phaeophyta) และ *Gracilaria fisheri* (Xia et Abboutt) Abbott, Zhang et Xia (สาหร่ายสีแดง Division Rhodophyta) โดยทดสอบฤทธิ์กำจัดอนุมูล 1,1-diphenyl-2-picrylhydrzyl (DPPH) พบว่าส่วนสกัดด้วยน้ำของสาหร่ายทั้ง 3 ชนิด มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ โดย *P. minor* มีฤทธิ์แรงที่สุด (EC_{50} = 6.92) ตามมาด้วย *G. fisheri* (EC_{50} = 65.677) และ *U. recticulata* ส่วน glutathione และ gallic acid ซึ่งใช้เป็นมาตรฐานมีค่า EC_{50} = 61.14 และ 7.4 ตามลำดับ

สินีนาฏ (2550) ได้ทำการศึกษาผลของการแปรรูปต่อปริมาณ ซี-ไฟโคไซยานิน (C-Phycocyanin) บีตา-แครอทีน (β-carotene) คลอโรฟิลล์ (Chlorophyll) ปริมาณโปรตีน และสมบัติการต้านออกซิเดชันของสารสกัดสาหร่ายเกลียวทอง (*Spirulina platensis*) โดยศึกษาสมบัติการให้อิเล็กตรอนของสาหร่ายเกลียวทองโดยวิธี Total Phenols การศึกษาสมบัติต้านอนุมูลอิสระ 2,2-Diphenyl-1-picrylyhdrazy (DPPH) และอนุมูลอิสระ 2,2'-azobis (3-ethylbenzthiazoline-6-sulfonic acid) diammonium salt (ABTS) และการตรวจสอบสมบัติการต้านออกซิเดชันโดยวิธี Oxygen Radical Absorbance Capacity (ORAC) พบว่าการทำแห้งมีผลต่อรงควัตถุ และสมบัติต้านออกซิเดชันของสาหร่ายเกลียวทองแห้ง โดยปริมาณซี-ไฟโคไซยานิน บีตา-แครอทีน คลอโรฟิลล์ และปริมาณโปรตีน ของสาหร่ายเกลียวทองที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยมีค่าสูงสุด

ยุวดี (2535) ได้ทำการศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของสาหร่าย *Spirogyra* spp. พบว่ามีปริมาณสารอาหารคิดเป็นกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้งดังนี้ โปรตีน 18.65 ไขมัน 5.21 คาร์โบไฮเดรต 56.31 เส้นใยอาหาร 7.66 และเถ้า 11.78 กรดอะมิโนที่วิเคราะห์มี 18 ชนิด ค่าค่อนข้างต่ำเช่นเดียวกับผักทั่วไป ปริมาณเกลือแร่คิดเป็นมิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้งดังนี้ เหล็ก 33.85 แมงกานีส 35.80 แมกนีเซียม 241.10 โปตัสเซียม 1.19 โซเดียม 1.56 แคลเซียม 26.88 และฟอสฟอรัส 125.76 ปริมาณวิตามินคิดเป็นมิลลิกรัมต่อ

100 กรัมสาหร่ายแห้ง ดังนี้โปรวิตามินเอ 0.25 (4,180 IU) วิตามิน บี1 0.04 วิตามิน บี2 0.55 ไนอาซีน 3.65 วิตามิน บี6 0.84 ไม่พบวิตามินซี ปริมาณความชื้น 8.05 % และพลังงาน 3.12 กิโลแคลอรี่ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง

อุปกรณ์และวิธีการ

1. วัตถุดิบ

1.1 สาหร่ายน้ำจืด จากบ้านนาคูหา ตำบลสวนเขื่อน อำเภอเมือง จังหวัดแพร่ ช่วงเดือนกันยายนถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2554

1.2 แป้งข้าวเหนียว ตรานิวเกรด

1.3 แบะแซ ตราปลาแฟนซีคาร์ฟ

1.4 น้ำตาลทรายขาว ตรามิตรผล

1.5 พริกไทย ตราไร่ทิพย์

1.6 ซีอิ๊วขาว ตราเด็กสมบูรณ์

2. เครื่องมือ

2.1 เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Metler-Toledo รุ่น AG 204)

2.2 เครื่องปั่น Blender

2.3 อุปกรณ์เครื่องครัว

2.4 เครื่องวัดค่าเนื้อสัมผัส QTS 25 Texture Analyzer (Brookflid Engineering Lab., USA)

2.5 เครื่องวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (Buchi-Kjeldahl system รุ่น B-414)

2.6 ถ้วยวิเคราะห์ความชื้น moisture can

2.7 เครื่องวิเคราะห์ปริมาณเยื่อใย (Velp รุ่น Fine)

2.8 ชุดอุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์ปริมาณเถ้า

2.9 เครื่องวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (Buchi, B-810)

2.10 เครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ (Novasina รุ่น Aw-center200)

2.11 เครื่องวัดค่าสี (Hunter Lab, DP900)

2.12 เครื่องสเปคโตโฟโตมิเตอร์ (Metler-Toledo รุ่น AG 204)

2.13 เครื่องเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (HETTICH รุ่น D78532)

2.14 อ่างควบคุมอุณหภูมิ Water bath (Buchi รุ่น B-480)

2.15 ตู้บ่มเชื้อ (Revco รุ่น RI-50-555V)

2.16 เครื่องตีป่นอาหารสำหรับเลี้ยงเชื้อ (Lab System Stomacher รุ่น AG 400)

2.17 ตู้อบลมร้อนแบบถาด (Tray dryer รุ่น Model KPO-700)

2.18 เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง drum dry

2.19 หม้อนึ่งความดัน (Auto clave) (ALP รุ่น KT30)

2.20 อุปกรณ์และเครื่องแก้วสำหรับปฏิบัติติทางชีววิทยา

3. สารเคมี

3.1 กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid) (MERCK)

3.2 โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium hydroxide) (Ajax Finechem)

3.3 เอ็น-ออกทานอล (N-octagon) (Fluka)

3.4 อะซีโตน (Acetone) (LAB-SCAN)

3.5 คะตะลิสต์ผสม (Selenium reagent mixture) (MERCK)

3.6 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide) (Ajax Finechem)

3.7 กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid) (LAB-SCAN)

3.8 เมทิลเรด (Methyl red) (Fluka)

3.9 กรอบอริก (Boric acid) (Fisher)

3.10 อาหารเลี้ยงเชื้อ DRBC agar (Merck)

3.11 อาหารเลี้ยงเชื้อ Plate Count Agar (Merck)

3.12 Peptone Water (CRITERION)

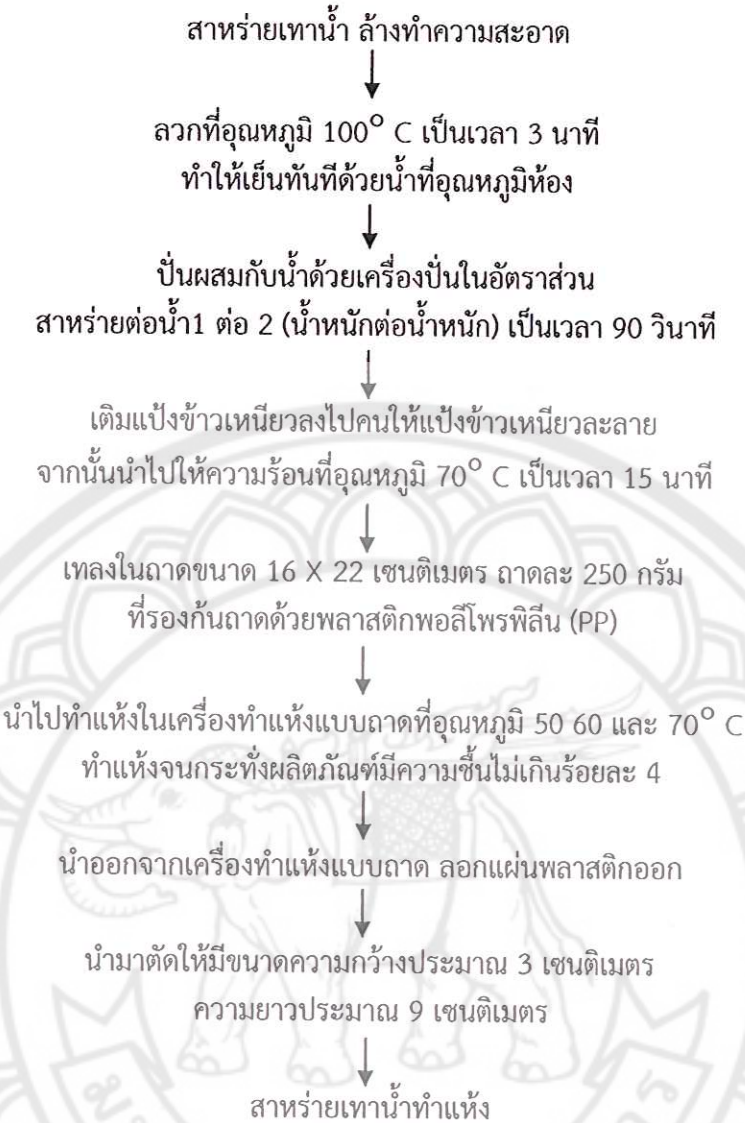
วิธีดำเนินการ

1. การศึกษาพฤติกรรม ทัศนคติ และความต้องการ เกี่ยวกับสาหร่ายเทาน้ำอบแห้ง

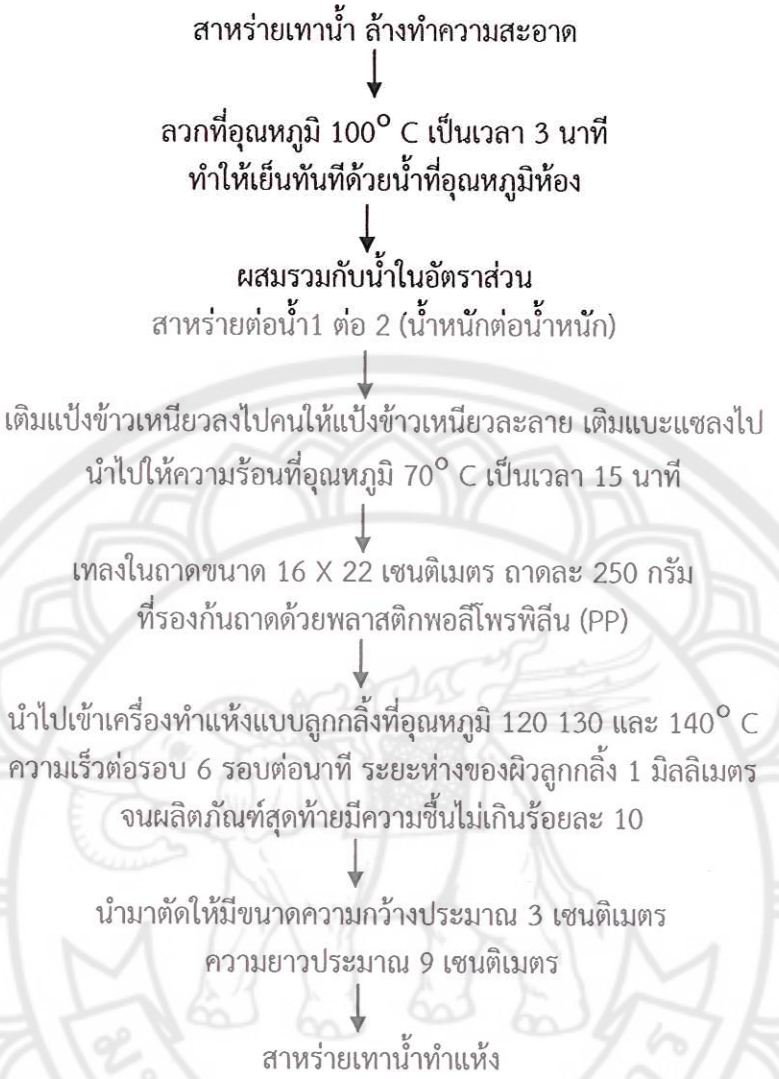
ศึกษาพฤติกรรม ทัศนคติ และความต้องการของผู้บริโภคโดยใช้แบบสอบถามจำนวน 400 ชุด สอบถามในด้านพฤติกรรมการบริโภค ทัศนคติ และความต้องการที่มีต่อสาหร่ายอบแห้ง เพื่อหาข้อมูลเบื้องต้นในการผลิตสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งต้นแบบ

2. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการอบแห้งต่อสมบัติของผลิตภัณฑ์สาหร่ายเทาน้ำอบแห้ง

ศึกษาองค์ประกอบและคุณสมบัติของสาหร่ายเทาน้ำสด โดยทำการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ปริมาณโปรตีน ปริมาณเยื่อใย ปริมาณไขมัน ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ปริมาณเถ้า คลอโรฟิลล์ และกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระ จากนั้นศึกษา 2 ปัจจัย คือ อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง 3 ระดับ และวิธีที่ใช้ในการอบแห้ง 2 วิธี ได้แก่ การอบแห้งด้วยลมร้อน อุณหภูมิที่ใช้คือ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส และการอบแห้งแบบลูกกลิ้ง อุณหภูมิผิวลูกกลิ้งที่ใช้คือ 120 130 และ 140 องศาเซลเซียส อบจนผลิตภัณฑ์มีความชื้นไม่เกินร้อยละ 4 นำผลิตภัณฑ์อบแห้งที่ได้มาทดสอบคุณสมบัติทางด้านกายภาพ ได้แก่ สี ลักษณะเนื้อสัมผัส และทดสอบคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสคุณสมบัติทางด้านเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เยื่อใย ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll) และกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระ โดยวิเคราะห์ดังนี้คือ Scavenging activity of $ABTS^{+}$ radical cation, 1,1-diphenyl-2picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging activity, Lipid peroxidation metal chelating activity Reducing power และ Superoxide radical-scavenging และหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟีนิลิกทั้งหมดกับกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ



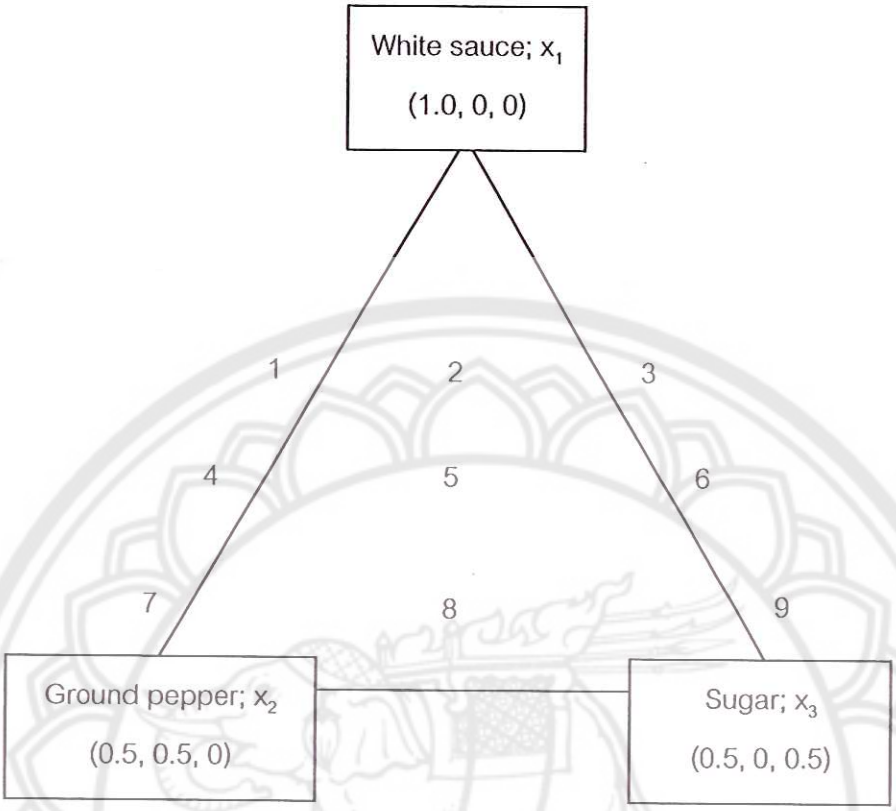
ภาพ 1 กรรมวิธีการทำแห้งสาหร่ายเทาน้ำด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาด



ภาพ 2 กรรมวิธีการทำแห้งสาหร่ายเทาน้ำด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง

ศึกษาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรส

ศึกษาสูตรที่เหมาะสมของสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรส โดยจัดสิ่งทดลองแบบผสมที่มีข้อจำกัด (Mixture Design) กำหนดปัจจัยที่ศึกษา 3 ปัจจัย คือ ซีอิ๊วขาว (ปริมาณการใช้ระดับต่ำร้อยละ 5.00 และระดับสูงร้อยละ 7.00) พริกไทย (ปริมาณการใช้ระดับต่ำร้อยละ 0.00 และระดับสูงร้อยละ 5.00) และน้ำตาล (ปริมาณการใช้ระดับต่ำร้อยละ 0.00 และระดับสูงร้อยละ 5.00) แผนภาพจากการจัดสิ่งทดลองแบบผสมแสดงดังภาพ 3 โดยมีสิ่งทดลองทั้งหมด 9 สิ่งทดลอง แต่ละสิ่งทดลองมีส่วนผสมที่ใช้แสดงดังตาราง 2 ซึ่งแต่ละสิ่งทดลองจะประกอบด้วยสาหร่ายเทาน้ำปั่นผสมกับน้ำร้อยละ 58.80 และเติมแป้งข้าวเหนียวร้อยละ 39.20 (การทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาด) ส่วนการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งจะเติมแบะแซร้อยละ 5.50 ลงไป ดังแสดงในตาราง 3 จากนั้นนำสาหร่ายที่ผ่านการทำแห้งทั้ง 2 วิธี ไปทอดด้วยน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิ 150 °C เป็นเวลา 1 นาที นำสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสทั้ง 9 สิ่งทดลอง ไปวัดคุณภาพดังนี้ วัดค่าสี ค่าความกรอบ ปริมาณความชื้น กิจกรรมต้านอนุมูลอิสระ และการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส จากนั้นคัดเลือกสูตรที่เหมาะสม ไปทดลองในขั้นตอนต่อไป



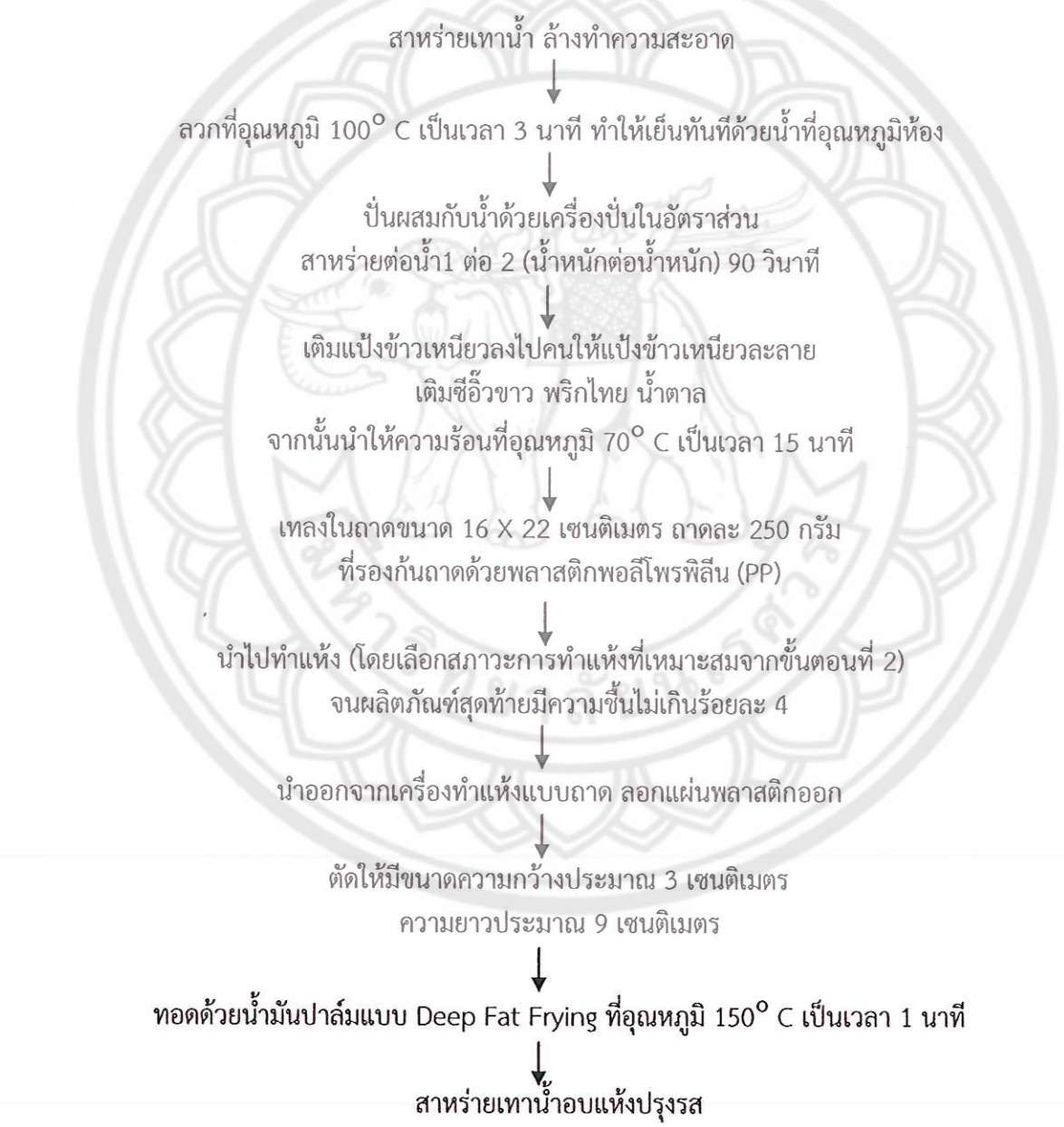
ภาพ 3 การจัดสิ่งทดลองแบบ Mixture Design สำหรับศึกษาอิทธิพลของปริมาณซีอิ๊วขาว (x_1), พริกไทย (x_2), และน้ำตาล (x_3) ต่อคุณภาพของสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรส

ตาราง 2 ปริมาณซีอิ๊วขาว พริกไทย และน้ำตาล จากการจัดสิ่งทดลองแบบ Mixture Design

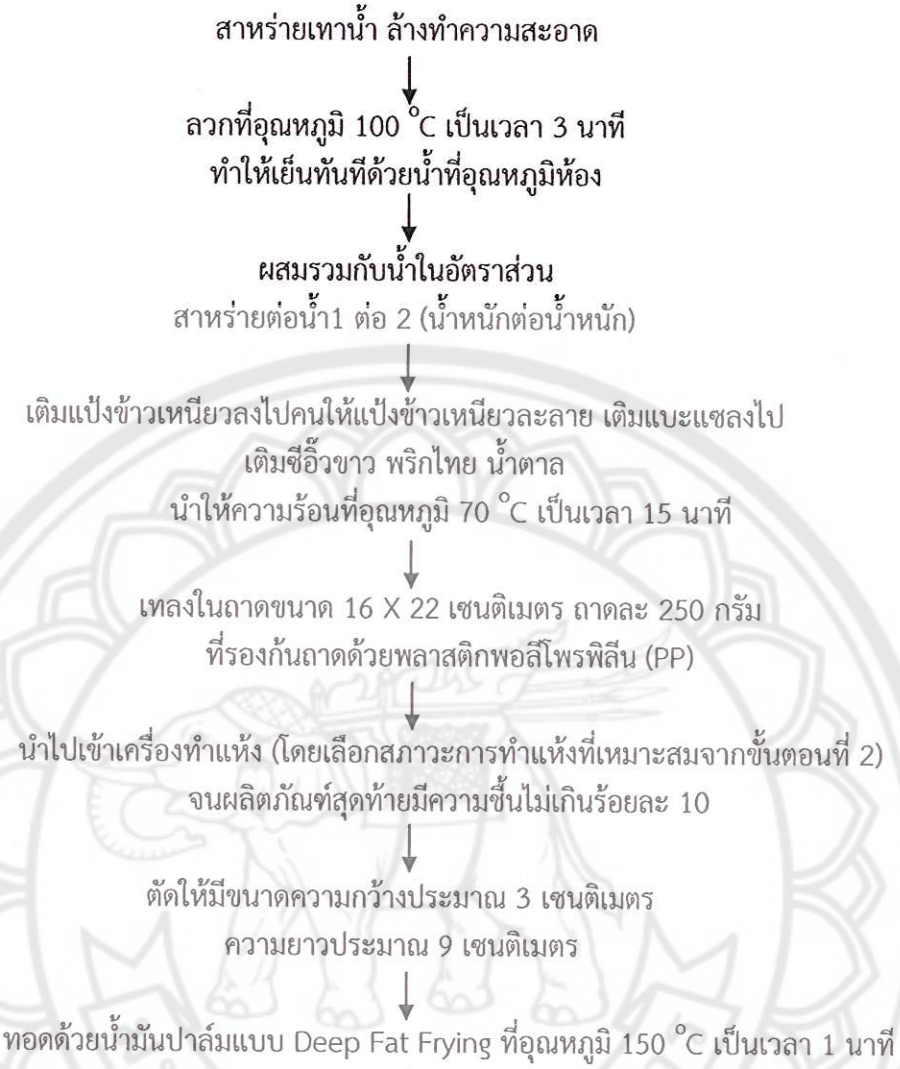
สิ่งทดลองที่	วัตถุดิบ (ร้อยละ)		
	ซีอิ๊วขาว (x_1)	พริกไทยป่น (x_2)	น้ำตาล (x_3)
1	7.0	3.0	0.0
2	7.0	1.5	1.5
3	7.0	0.0	3.0
4	6.0	3.0	0.0
5	6.0	1.5	1.5
6	6.0	0.0	3.0
7	5.0	3.0	0.0
8	5.0	1.5	1.5
9	5.0	0.0	3.0

ตาราง 3 สูตรคงที่ที่ใช้ในการทดลอง

วัตถุดิบ	การทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาด	การทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง
สาหร่ายเทาน้ำ (ร้อยละ)	19.60	18.50
น้ำ (ร้อยละ)	39.20	37.00
แป้งข้าวเหนียว (ร้อยละ)	39.20	37.00
แบะแซ (ร้อยละ)	-	5.50
เครื่องปรุงรส (ร้อยละ)	2.00	2.00



ภาพ 4 ขั้นตอนการผลิตสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาด



ภาพ 5 ขั้นตอนการผลิตสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง

3. ศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์สาหร่ายเทาน้ำอบแห้ง

ศึกษาอายุการเก็บรักษาโดยนำสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งที่ได้มาบรรจุในซองอลูมิเนียมฟอยล์ที่เก็บในสภาวะเร่ง 3 อุณหภูมิ คือ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส ในตู้บ่ม จากนั้นสุ่มตัวอย่างมาตรวจสอบคุณภาพทุก 7 วัน ทำการตรวจสอบจนผู้บริโภคไม่ให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ ปัจจัยคุณภาพที่ตรวจสอบ ได้แก่ ความกรอบ สี a_w ปริมาณกรดไธโอบาบิทูริก (TBA) ตามวิธีของ Pearson (1976) ปริมาณความชื้น กิจกรรมต้านอนุมูลอิสระ คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point hedonic rating scale โดยใช้ผู้ทดสอบชิม 30 คน และวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยา ได้แก่ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด *E. coil* และปริมาณยีสต์และรา ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนสาหร่ายน้ำจืดอบแห้ง (2547) โดยเลือกคุณภาพที่เป็นจุดวิกฤตในการทำนายอายุการเก็บรักษา ได้แก่ กลิ่นหืน และค่าความกรอบ จากนั้นทำนายอายุการเก็บรักษาของสาหร่ายเทาน้ำอบแห้ง ตามวิธี ASLT (Labuza, 1985)

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมี

การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ

1. ค่าสี (colour) (โดยเครื่อง Hunter Lab)
2. ลักษณะเนื้อสัมผัส (โดยเครื่อง INSTRON)

การเปลี่ยนแปลงทางเคมี

1. ความชื้น (AOAC., 2000)
2. ปริมาณโปรตีน (AOAC., 2000)
3. ปริมาณไขมัน (AOAC., 2000)
4. ปริมาณเยื่อใย (AOAC., 2000)
5. ปริมาณเถ้า (AOAC., 2000)
6. ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (โดยการคำนวณ)
7. ปริมาณน้ำอิสระ (Water Activity) (โดยเครื่องวัดค่า a_w)
8. ค่าการเหม็นหืน (โดยวิธี Thiobarbuturic acid reactive substances) ตามวิธีของ Tarladgis, Watt, and Younathan (1960)
9. กิจกรรมต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant activity) โดยวิธี Turkmen, Sari and Velioglu, 2005
   9.1 Scavenging activity of $ABTS^+$ radical cation
   9.2 1,1-diphenyl-2picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging activity
   9.3 Hydroxyl (OH) radical scavenging activity
   9.4 Lipid peroxidation Metal chelating activity Reducing power
   9.5 Superoxide radical-scavenging
10. ค่าเพอร์ออกไซด์ (เฉพาะที่มีการทาหรือคั่วหรือทอดน้ำมัน) ต้องไม่เกิน 30 มิลลิกรัมสมมูลเพอร์ออกไซด์ออกซิเจนต่อกิโลกรัม
11. สารปนเปื้อน
    - ตะกั่ว ต้องไม่เกิน 1 มิลลิกรัมต่อตัวอย่าง 1 กิโลกรัม
    - สารหนู (คำนวณเป็น As_2O_3) ต้องไม่เกิน 2 มิลลิกรัมต่อตัวอย่าง 1 กิโลกรัม
    - ปรอท ต้องไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัมต่อตัวอย่าง 1 กิโลกรัม
    - แคดเมียม ต้องไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัม ต่อตัวอย่าง 1 กิโลกรัม

การประเมินทางด้านประสาทสัมผัส

นำตัวอย่างสาหร่ายนำจืดอบแห้งมาทำการประเมินทางด้านประสาทสัมผัส โดยใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ได้ผ่านการฝึกฝน 50 คน สอบถามคุณลักษณะของสาหร่ายน้ำจืดอบแห้งทางด้านสี ความกรอบ กลิ่น รสชาติ และความชอบรวม ใช้แบบสอบถาม 9-point hedonic scale เมื่อระดับคะแนน 1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด และระดับคะแนน 9 หมายถึง ชอบมากที่สุด

การวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยา

- วิเคราะห์หาปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (Downes and lt o, 2001)
- เอสเชอริเชีย โคไล โดยวิธีเอ็มพีเอ็ม
- วิเคราะห์หาปริมาณเชื้อยีสต์และรา (Downes and lt o, 2001

TX
553
.A7
K5415
2556
i.6985451

สำนักหอสมุด
17 มิ.ย. 2558

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ รายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ Analysis of variance (ANOVA) เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

สถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล

ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและอภิปรายผล

ตอนที่ 1 การศึกษาพฤติกรรม ทัศนคติ และความต้องการเกี่ยวกับสาหร่ายอบแห้งปรุงรสส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

จากข้อมูลการสำรวจพฤติกรรม ทัศนคติ และความต้องการของผู้บริโภคจำนวน 400 คน ต่อสาหร่ายอบแห้งปรุงรสโดยมีเพศชายและเพศหญิงจำนวน 141 และ 259 คน ตามลำดับ พบว่าลักษณะทางประชากรศาสตร์ของผู้ตอบแบบสอบถามซึ่งแสดงในตาราง 4 ส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มอายุ 21-24 ปี (ร้อยละ 51.00) มีการศึกษาอยู่ในระดับปริญญาตรีมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 81.50 รองลงมาคือ ต่ำกว่ามัธยมศึกษาร้อยละ 12.80 มัธยมศึกษาร้อยละ 3.50 อนุปริญญาร้อยละ 1.30 และสูงกว่าปริญญาตรีร้อยละ 1.00 รายได้ส่วนใหญ่อยู่ในช่วงน้อยกว่า 5,000 บาท คิดเป็นร้อยละ 75.5 รองลงมาคือ 5,001-10,000 บาท ร้อยละ 11.50 สถานภาพส่วนใหญ่เป็นคนโสด (ร้อยละ 92.50) และคนที่มีครอบครัวแล้วส่วนใหญ่จะยังไม่มีบุตร (ร้อยละ 7.50)

ตาราง 4 ลักษณะทางประชากรศาสตร์ของผู้ตอบแบบสอบถามจำนวน 400 คน ในการศึกษาพฤติกรรม ทัศนคติ และความต้องการเกี่ยวกับสาหร่ายอบแห้งปรุงรส

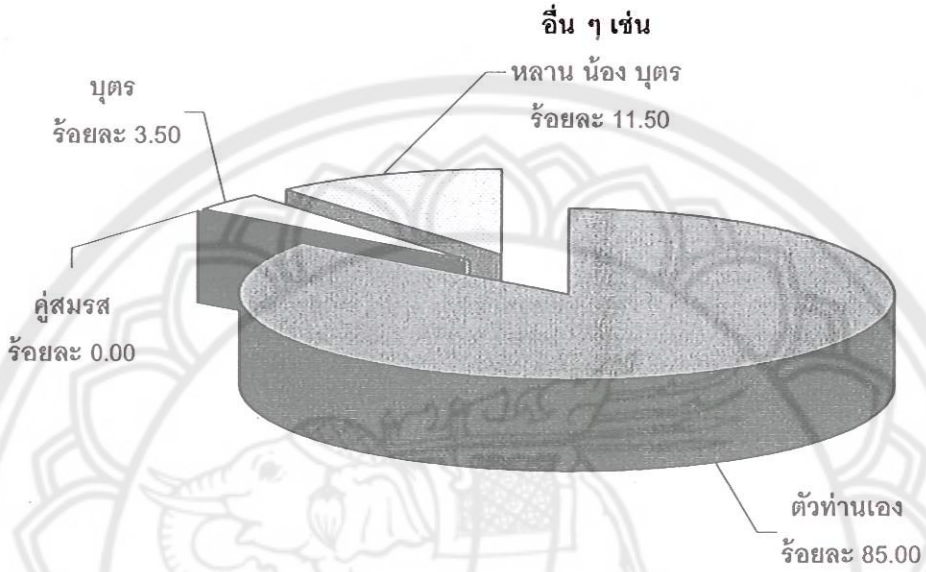
ลักษณะทางประชากรศาสตร์		ร้อยละ
เพศ	ชาย	35.30
	หญิง	64.70
อายุ	10-14 ปี	12.50
	15-20 ปี	24.00
	21-24 ปี	51.00
	25-28 ปี	5.20
	29-32 ปี	0.30
	33-36 ปี	1.70
	41 ปีขึ้นไป	4.00
ระดับการศึกษา	ต่ำกว่ามัธยมศึกษา	12.70
	มัธยมศึกษา	3.50
	อนุปริญญา	1.30
	ปริญญาตรี	81.50
	สูงกว่าปริญญาตรี	1.00
รายได้ต่อเดือน	น้อยกว่า 5,000 บาท	75.50
	5,000-10,000 บาท	11.70
	10,001-15,000 บาท	9.50
	15,001-20,000 บาท	2.80
	20,001-25,000 บาท	0.50
สถานภาพ	โสด	92.50
	มีครอบครัว	7.50
จำนวนบุตรในครอบครัว	ยังไม่มีบุตร	36.70
	1-2 คน	36.70
	3-4 คน	20.00
	มากกว่า 4 คนขึ้นไป	6.60
อายุของบุตรในครอบครัว	ต่ำกว่า 10 ปี	21.10
	10-15 ปี	36.80
	16-20 ปี	26.30
	มากกว่า 20 ปีขึ้นไป	15.80

ส่วนที่ 2 ข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมการบริโภค

ผลการสำรวจทัศนคติและความต้องการของผู้บริโภคจำนวน 400 คน ต่อสาหร่ายอบแห้งปรุงรสมีดังต่อไปนี้

บุคคลใดในครอบครัวที่ชอบรับประทานสาหร่ายอบแห้งปรุงรสมากที่สุด

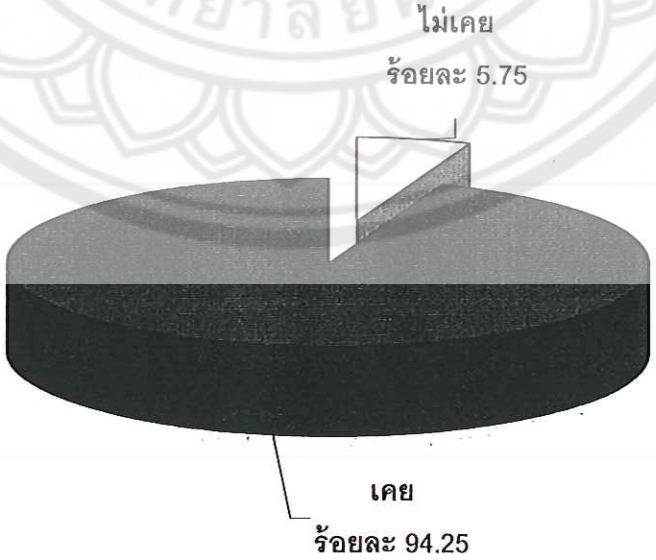
จากผลการสำรวจบุคคลในครอบครัวที่ชอบรับประทานสาหร่ายอบแห้งปรุงรสมากที่สุด คือ ตัวท่านเองคิดเป็นร้อยละ 85.00 รองลงมาคืออื่น ๆ เช่น หลาน บุตร น้อง คิดเป็นร้อยละ 11.50 ดังแสดงในภาพ 6



ภาพ 6 บุคคลในครอบครัวที่ชอบรับประทานสาหร่ายอบแห้งปรุงรส

ท่านเคยรับประทานสาหร่ายอบแห้งหรือไม่

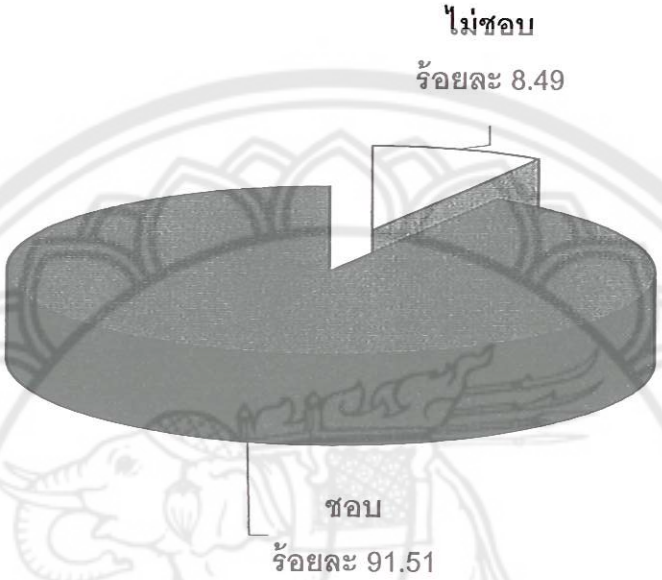
จากการสำรวจผู้บริโภคว่าเคยรับประทานสาหร่ายอบแห้งปรุงรสหรือไม่พบว่า ผู้บริโภคส่วนใหญ่เคยรับประทานสาหร่ายอบแห้งปรุงรสคิดเป็นร้อยละ 94.25 และไม่เคยรับประทานคิดเป็นร้อยละ 5.75 ดังแสดงในภาพ 7



ภาพ 7 เคยรับประทานสาหร่ายอบแห้งปรุงรสหรือไม่

หากเคยรับประทานสาหร่ายอบแห้งปรุงรส ชอบหรือไม่

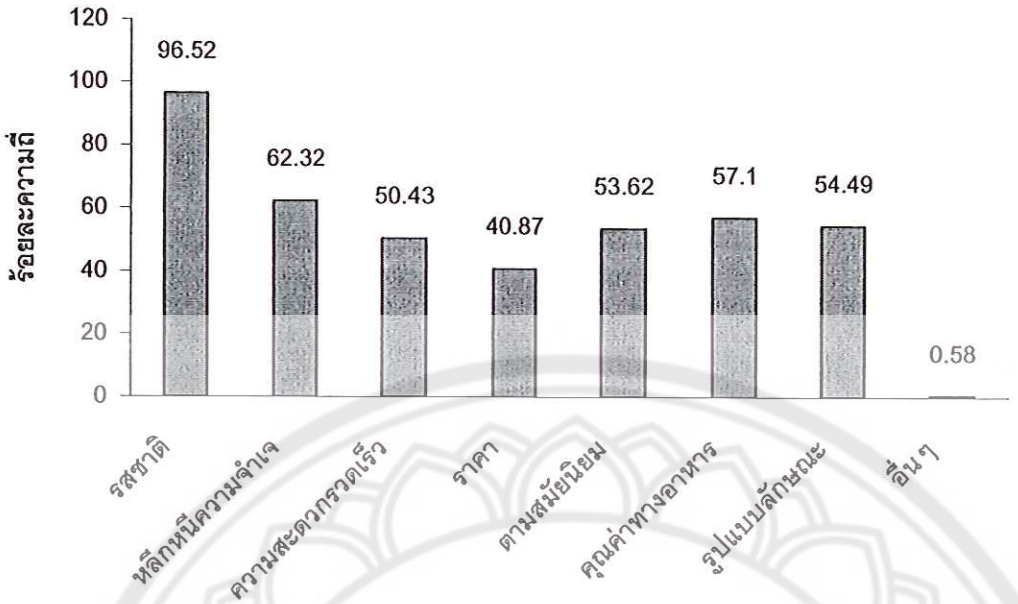
จากผลการสำรวจความชอบต่อสาหร่ายอบแห้งปรุงรสของผู้บริโภคที่เคยรับประทานสาหร่ายอบแห้งปรุงรสพบว่า ผู้บริโภคที่เคยรับประทานสาหร่ายอบแห้งปรุงรสแล้วส่วนใหญ่จะชอบสาหร่ายอบแห้งปรุงรสคิดเป็นร้อยละ 91.51 รองลงมาคือ ไม่ชอบรับประทานสาหร่ายอบแห้งปรุงรสคิดเป็นร้อยละ 8.49 ดังแสดงในภาพ 8



ภาพ 8 ความชอบและไม่ชอบต่อสาหร่ายอบแห้งปรุงรส

เหตุผลในการชอบสาหร่ายอบแห้งปรุงรส

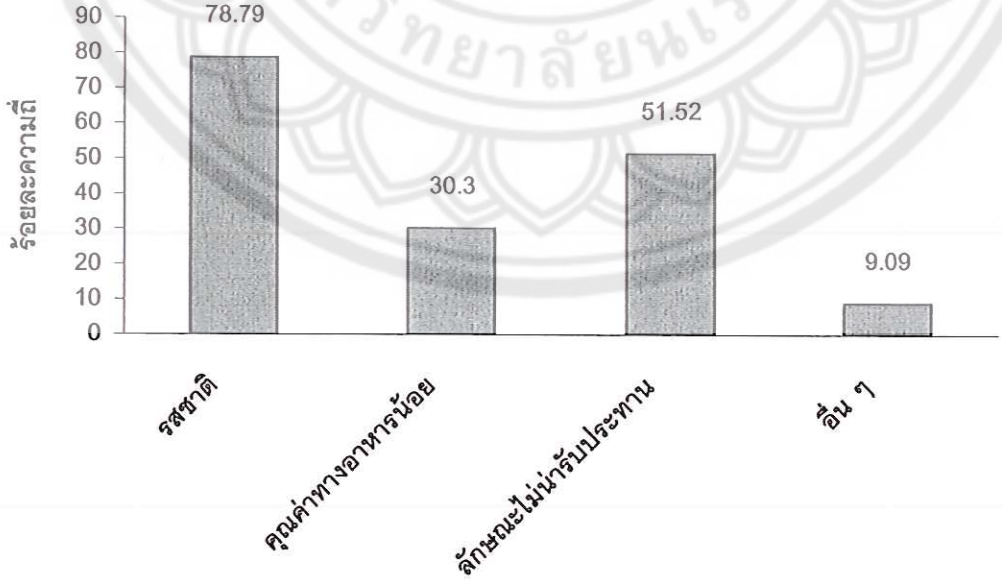
จากผลการสำรวจเหตุผลของผู้บริโภคในการชอบสาหร่ายอบแห้งปรุงรสพบว่า ผู้บริโภคส่วนใหญ่ที่ชอบสาหร่ายอบแห้งปรุงรสเนื่องจากชอบเพราะรสชาติคิดเป็นร้อยละ 96.52 รองลงมาคือ ชอบเพราะหลีกหนีความจำเจคิดเป็นร้อยละ 62.32 ชอบเพราะคุณค่าทางอาหารคิดเป็นร้อยละ 57.10 ชอบเพราะรูปแบบลักษณะของตัวสาหร่ายอบแห้งปรุงรสคิดเป็นร้อยละ 54.49 ชอบเพราะตามสมัยนิยมคิดเป็นร้อยละ 53.62 ชอบเพราะความสะดวกรวดเร็วคิดเป็นร้อยละ 50.43 ชอบเพราะราคาคิดเป็นร้อยละ 40.87 และสุดท้ายคือชอบเพราะเหตุผลอื่น ๆ คิดเป็นร้อยละ 0.58 ดังแสดงในภาพ 9



ภาพ 9 เหตุผลในการชอบสาหร่ายอบแห้งปรุงรส

เหตุผลในการไม่ชอบสาหร่ายอบแห้งปรุงรส

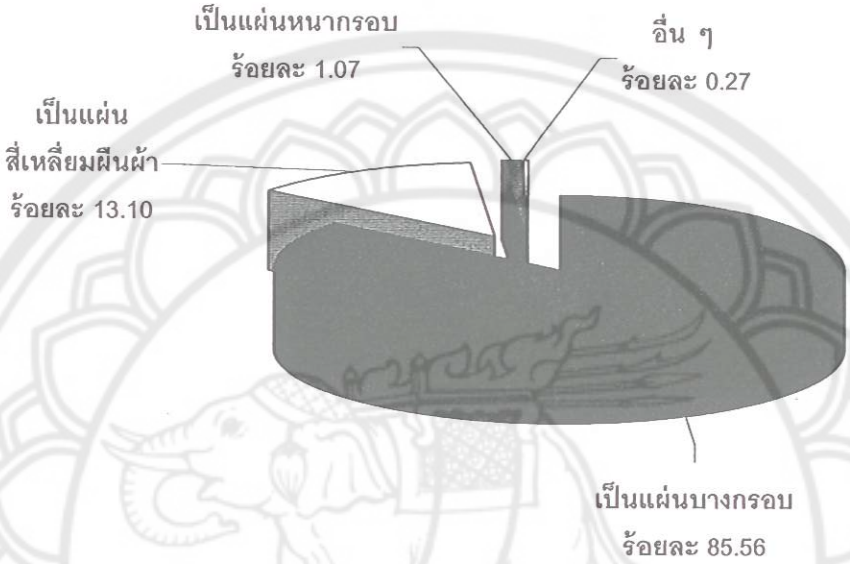
จากผลการสำรวจเหตุผลในการไม่ชอบรับประทานสาหร่ายอบแห้งปรุงรสของผู้บริโภคพบว่า ผู้บริโภคที่เคยรับประทานสาหร่ายอบแห้งปรุงรสแล้วไม่ชอบ ส่วนใหญ่จะไม่ชอบเนื่องจากรสชาติของสาหร่ายอบแห้งปรุงรสคิดเป็นร้อยละ 78.79 รองลงมาคือ ไม่ชอบเพราะลักษณะของตัวสาหร่ายอบแห้งปรุงรสไม่น่ารับประทานคิดเป็นร้อยละ 51.52 คุณค่าทางอาหารน้อยคิดเป็นร้อยละ 30.30 และสุดท้ายไม่ชอบเพราะอื่น ๆ คิดเป็นร้อยละ 9.09 ดังแสดงในภาพ 10



ภาพ 10 เหตุผลในการไม่ชอบสาหร่ายอบแห้งปรุงรส

ลักษณะสาหร่ายอบแห้งปรุงรสที่ชอบ

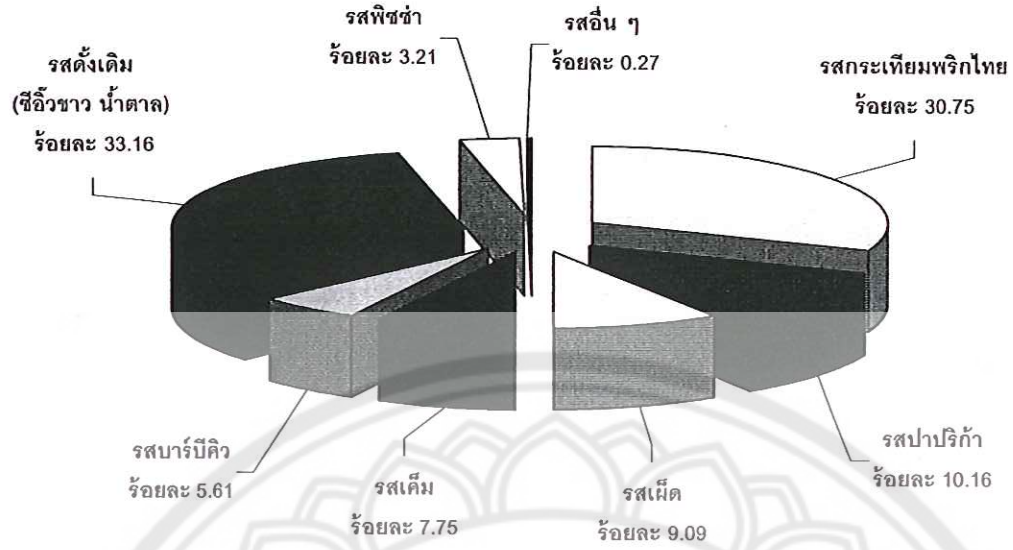
จากผลสำรวจลักษณะสาหร่ายอบแห้งปรุงรส พบว่าผู้บริโภคชอบสาหร่ายอบแห้งปรุงรสในลักษณะเป็นแผ่นบางกรอบมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 85.56 รองลงมาคือ ชอบในลักษณะเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมผืนผ้าคิดเป็นร้อยละ 13.10 ชอบในลักษณะเป็นแผ่นหนากรอบคิดเป็นร้อยละ 1.07 และสุดท้ายชอบในลักษณะอื่น ๆ คิดเป็นร้อยละ 0.27 ดังแสดงในภาพ 11



ภาพ 11 ลักษณะสาหร่ายอบแห้งปรุงรสที่ผู้บริโภคชอบ

ชอบสาหร่ายอบแห้งปรุงรส รสใดมากที่สุด

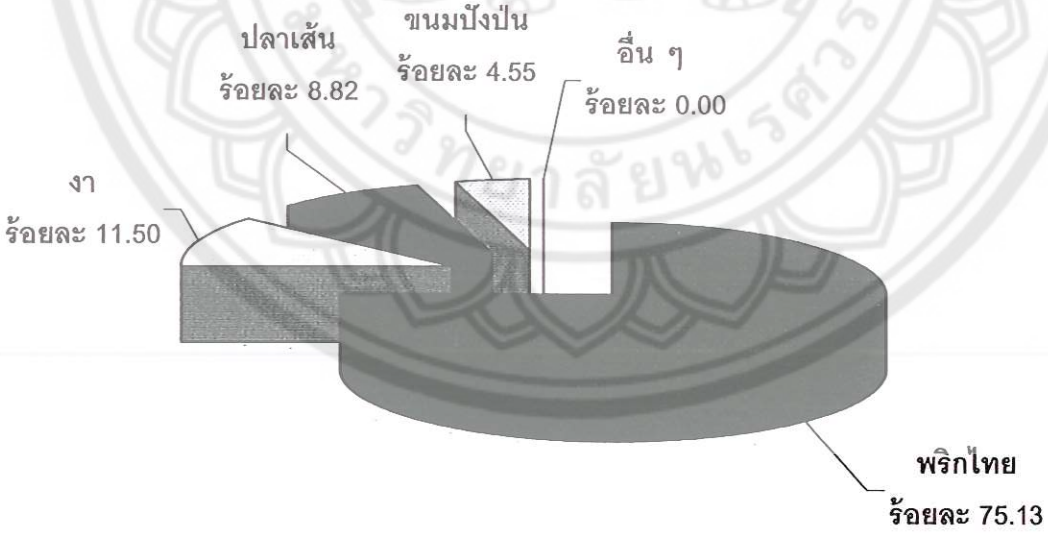
จากผลการสำรวจความชอบของสาหร่ายอบแห้งปรุงรส พบว่าผู้บริโภคชอบสาหร่ายอบแห้งปรุงรสรสดั้งเดิม (ซีอิ๊วขาว น้ำตาล) มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 33.16 รองลงมาคือ รสกระเทียมพริกไทยคิดเป็นร้อยละ 30.75 รสเผ็ดคิดเป็นร้อยละ 9.09 รสเค็มคิดเป็นร้อยละ 7.75 รสบาร์บีคิวคิดเป็นร้อยละ 5.61 รสพิซซ่าคิดเป็นร้อยละ 3.21 และรสของสาหร่ายอบแห้งปรุงรสที่ผู้บริโภคชอบน้อยที่สุดคือ รสอื่น ๆ ดังแสดงในภาพ 12



ภาพ 12 รสของสาหร่ายอบแห้งปรุงรสที่ผู้บริโภคชอบ

ต้องการเสริมอะไรลงในส่วนผสมของสาหร่ายอบแห้งปรุงรสมากที่สุด

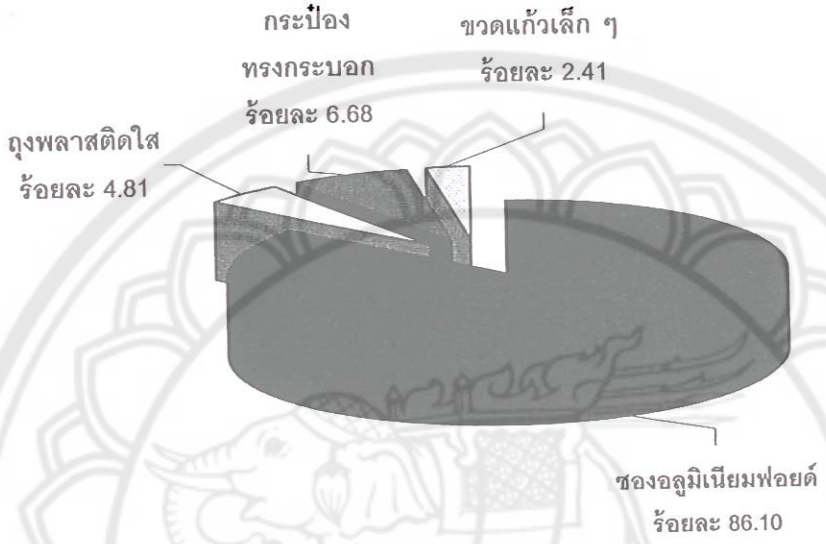
จากผลการสำรวจ พบว่าผู้บริโภคต้องการเสริมพริกไทยลงในส่วนผสมของสาหร่ายอบแห้งปรุงรสมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 75.13 รองลงมาคือ งาคิดเป็นร้อยละ 11.50 ปลาเส้นคิดเป็นร้อยละ 8.82 และผู้บริโภคต้องการเสริมขนมปังป่นลงในส่วนผสมของสาหร่ายอบแห้งปรุงรสน้อยที่สุด ดังแสดงในภาพ 13



ภาพ 13 ส่วนผสมที่ต้องการเพิ่มลงในสาหร่ายอบแห้งปรุงรส

ภาชนะที่ใช้ในการบรรจุสาหร่ายอบแห้งปรุงรส

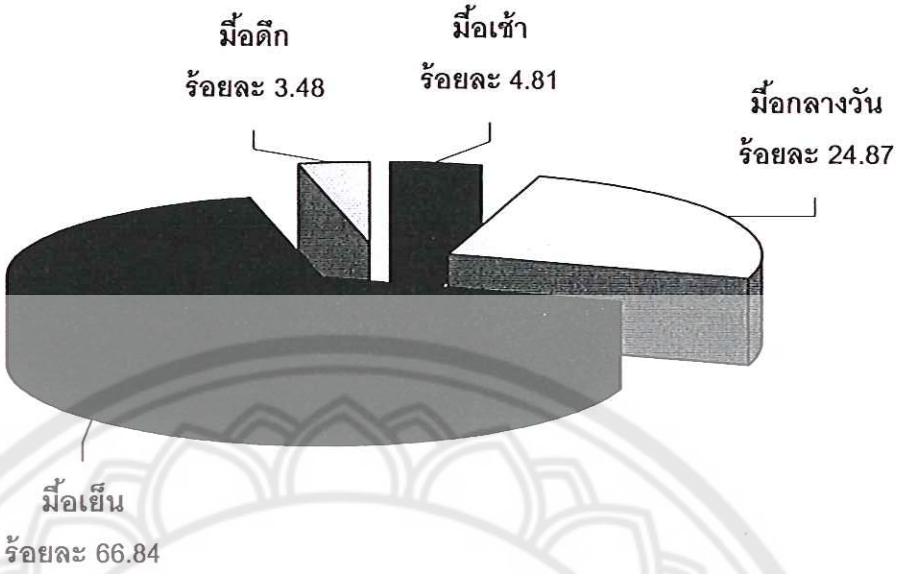
จากผลการสำรวจ พบว่าผู้บริโภคต้องการซองอลูมิเนียมฟอยล์ในการบรรจุสาหร่ายอบแห้งปรุงรสมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 86.10 รองลงมาคือ กระป๋องทรงกระบอกคิดเป็นร้อยละ 6.68 ถุงพลาสติกใสคิดเป็นร้อยละ 4.81 และผู้บริโภคต้องการขวดเล็ก ๆ ในการเป็นภาชนะบรรจุสาหร่ายอบแห้งปรุงรสน้อยที่สุดคิดเป็นร้อยละ 2.41 ดังแสดงในภาพ 14



ภาพ 14 รูปแบบภาชนะที่ใช้ในการบรรจุสาหร่ายอบแห้งปรุงรส

เวลาในการรับประทานสาหร่ายอบแห้งปรุงรส

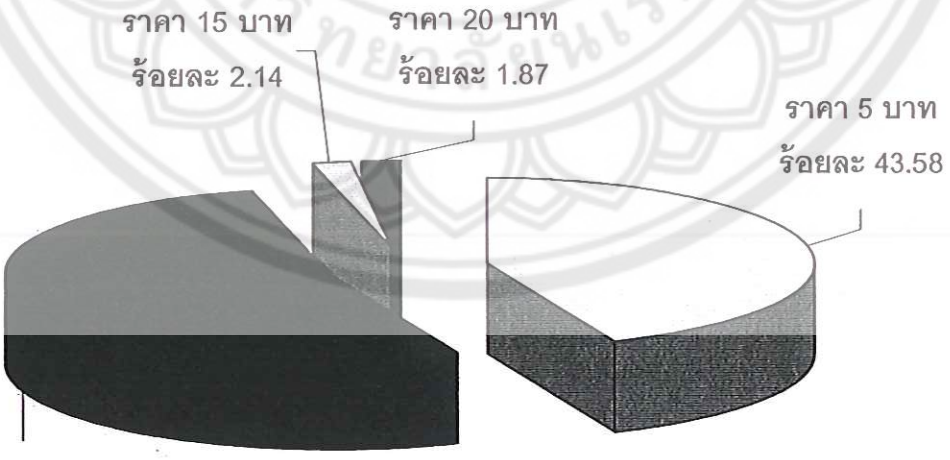
จากผลการสำรวจ พบว่าเวลาโดยส่วนใหญ่ที่ผู้บริโภครับประทานสาหร่ายอบแห้งปรุงรส คือ มื้อเย็น (16.00-20.00 น.) คิดเป็นร้อยละ 66.84 รองลงมาคือ มื้อกลางวัน (12.00-16.00 น.) คิดเป็นร้อยละ 24.87 มื้อเช้า (8.00-12.00 น.) คิดเป็นร้อยละ 4.81 และมื้อที่ผู้บริโภครับประทานน้อยที่สุดคือ มื้อดึก (20.00-24.00 น.) คิดเป็นร้อยละ 3.48 ดังแสดงในภาพ 15



ภาพ 15 เวลาในการรับประทานสาหร่ายอบแห้งปรุงรส

ราคาสาหร่ายอบแห้งปรุงรสต่อ 1 ซอง (น้ำหนัก 10 กรัม)

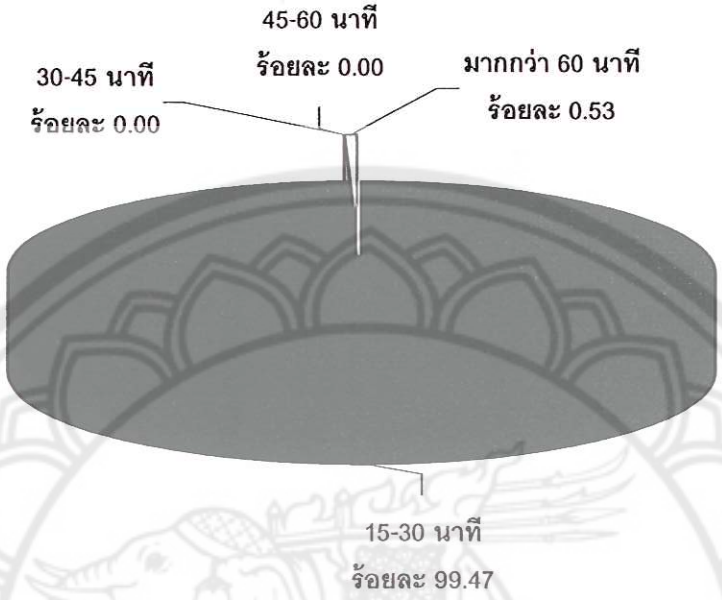
จากผลการสำรวจ พบว่าผู้บริโภคต้องการราคาของสาหร่ายอบแห้งปรุงรสใน ราคา 10 บาทต่อ 1 ซอง มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 52.41 รองลงมาคือ ราคา 5 บาท คิดเป็นร้อยละ 43.58 ราคา 15 บาท คิดเป็นร้อยละ 2.14 และต้องการสาหร่ายอบแห้งปรุงรสในราคา 20 บาทต่อ 1 ซองน้อยที่สุดคิดเป็นร้อยละ 1.87 ดังแสดงในภาพ 16



ภาพ 16 ราคาของสาหร่ายอบแห้งปรุงรสต่อ 1 ซอง

เวลาโดยเฉลี่ยที่รับประทานสาหร่ายอบแห้งปรุงรสในแต่ละครั้ง

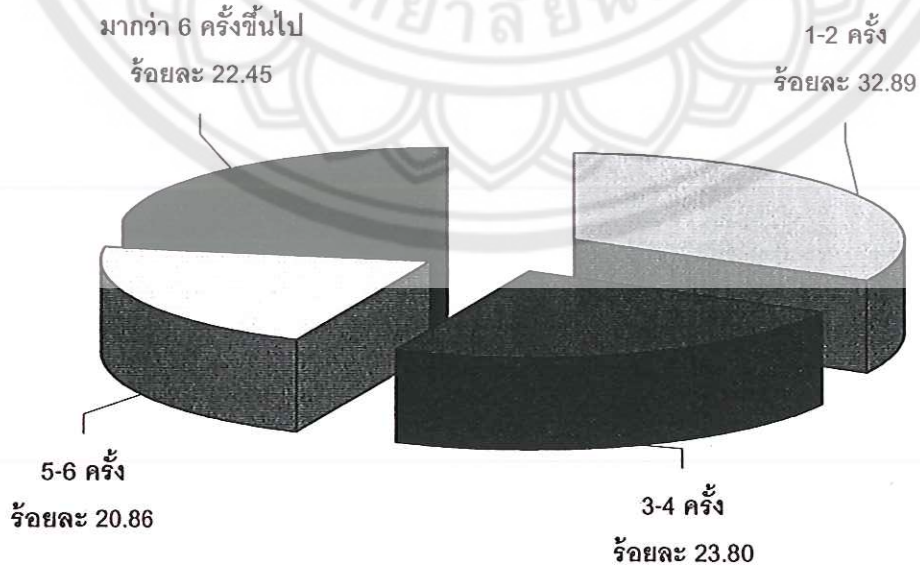
จากผลการสำรวจ พบว่าผู้บริโภคส่วนใหญ่ใช้เวลาในการรับประทานสาหร่ายอบแห้งปรุงรสในแต่ละครั้งประมาณ 15-30 นาที คิดเป็นร้อยละ 99.47 รองลงมาคือ มากกว่า 60 นาที คิดเป็นร้อยละ 0.53 ดังแสดงในภาพ 17



ภาพ 17 เวลาโดยเฉลี่ยที่รับประทานสาหร่ายอบแห้งปรุงรสในแต่ละครั้ง

ความถี่โดยเฉลี่ยที่รับประทานสาหร่ายอบแห้งปรุงรสต่อสัปดาห์

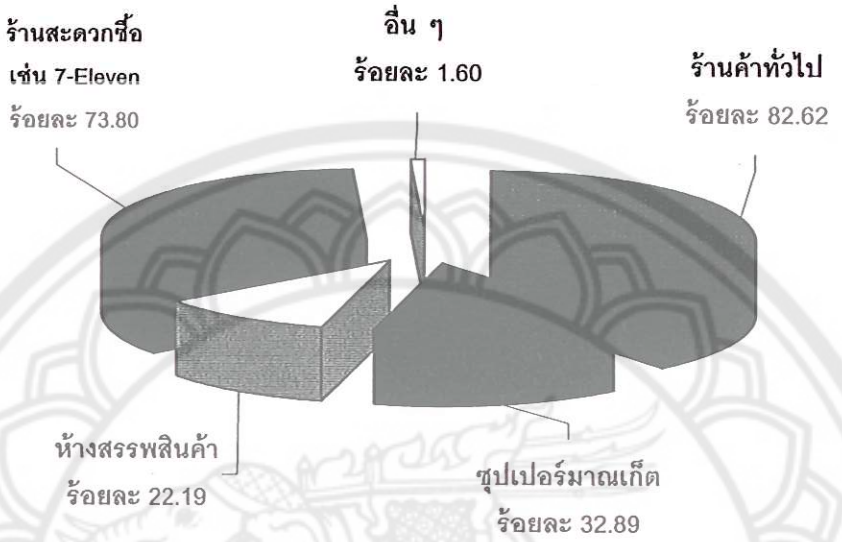
จากผลการสำรวจพบว่า ผู้บริโภคส่วนใหญ่รับประทานสาหร่ายอบแห้งปรุงรส 1-2 ครั้งต่อสัปดาห์ คิดเป็นร้อยละ 32.89 รองลงมาคือ ผู้บริโภครับประทาน 3-4 ครั้งต่อสัปดาห์ คิดเป็นร้อยละ 23.80 ผู้บริโภคที่รับประทานมากกว่า 6 ครั้งต่อสัปดาห์ คิดเป็นร้อยละ 22.45 และรับประทาน 5-6 ครั้งต่อสัปดาห์ คิดเป็นร้อยละ 20.86 ดังแสดงในภาพ 18



ภาพ 18 ความถี่โดยเฉลี่ยที่รับประทานสาหร่ายอบแห้งปรุงรสต่อสัปดาห์

สถานที่ที่ซื้อสาหร่ายอบแห้งปรุงรส

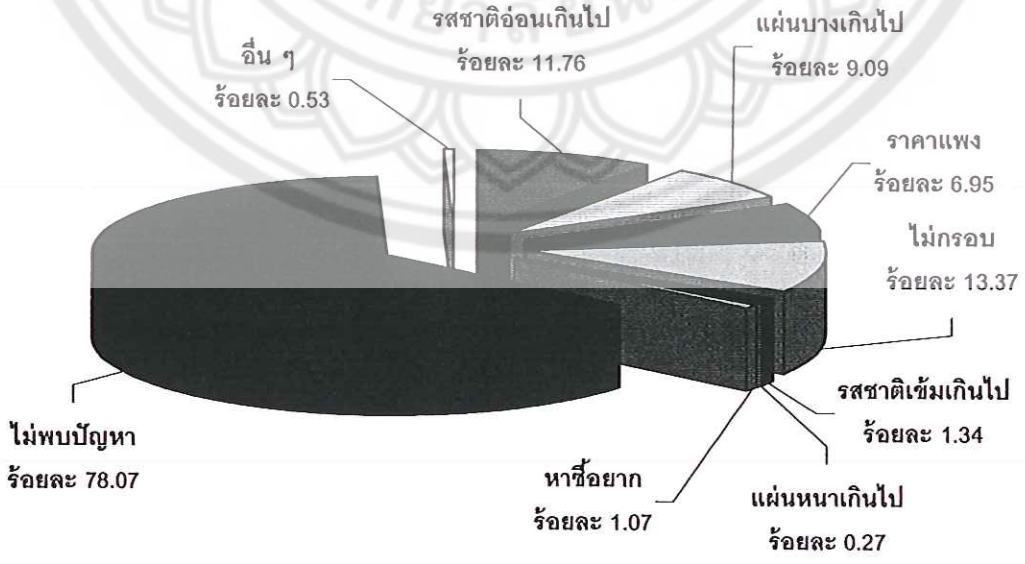
จากผลการสำรวจพบว่า ผู้บริโภคส่วนใหญ่จะซื้อสาหร่ายอบแห้งปรุงรสตามร้านค้าทั่วไปคิดเป็นร้อยละ 82.62 รองลงมาคือ ตามร้านสะดวกซื้อ เช่น 7-Eleven คิดเป็นร้อยละ 73.80 ซุปเปอร์มาร์เก็ต คิดเป็นร้อยละ 32.89 ห้างสรรพสินค้าคิดเป็นร้อยละ 22.19 และผู้บริโภคจะซื้อตามร้านอื่น ๆ เช่น ตามปั๊มน้ำมัน น้อยที่สุดคิดเป็นร้อยละ 1.60 ดังแสดงในภาพ 19



ภาพ 19 สถานที่ที่ซื้อสาหร่ายอบแห้งปรุงรส

ปัญหาที่พบในการรับประทานสาหร่ายอบแห้งปรุงรส

จากผลการสำรวจ พบว่าผู้บริโภคส่วนใหญ่ไม่พบปัญหาในการรับประทานสาหร่ายอบแห้งปรุงรส คิดเป็นร้อยละ 78.07 ปัญหาที่ผู้บริโภคส่วนใหญ่พบคือ ไม่กรอบมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 13.37 รองลงมาคือ แผ่นบางเกินไป คิดเป็นร้อยละ 9.09 ส่วนใหญ่ปัญหาที่ผู้บริโภคพบน้อยที่สุดคือแผ่นหนาเกินไป คิดเป็นร้อยละ 0.27 ดังแสดงในภาพ 20



ภาพ 20 ปัญหาที่พบในการรับประทานสาหร่ายอบแห้งปรุงรส

การศึกษาพฤติกรรม ทัศนคติ และความต้องการเกี่ยวกับสาหร่ายอบแห้งปรุงรส สามารถสรุปได้ดังนี้

จากการสำรวจพฤติกรรม ทัศนคติ และความต้องการของผู้บริโภคเกี่ยวกับสาหร่ายอบแห้งปรุงรส พบว่าผู้บริโภคส่วนใหญ่เคยรับประทานสาหร่ายอบแห้งปรุงรสคิดเป็นร้อยละ 94.25 และผู้บริโภคที่เคยรับประทานสาหร่ายอบแห้งปรุงรสส่วนใหญ่จะซอบซื้อสาหร่ายอบแห้งปรุงรสมารับประทานเอง ซึ่งเหตุผลในการที่ผู้บริโภคชอบรับประทานสาหร่ายอบแห้งปรุงรส เนื่องมาจากผู้บริโภคส่วนใหญ่จะชอบเพราะรสชาติของตัวสาหร่ายอบแห้งปรุงรส คิดเป็นร้อยละ 96.52 รองลงมาคือ เพราะหลีกหนีความจำเจ ลักษณะของสาหร่ายอบแห้งปรุงรสที่ผู้บริโภคต้องการคือ ผู้บริโภคส่วนใหญ่ชอบสาหร่ายอบแห้งปรุงรสในลักษณะเป็นแผ่นบางกรอบมากที่สุด ร้อยละ 85.56 ผู้บริโภคจะชอบสาหร่ายอบแห้งปรุงรสรสดั้งเดิม (ซีอิ๊วขาว น้ำตาล) มากที่สุด ร้อยละ 33.16 รสกระเทียมพริกไทย ร้อยละ 30.75 ผู้บริโภคส่วนใหญ่ต้องการเสริมพริกไทยลงในส่วนผสมของสาหร่ายอบแห้งปรุงรส และต้องการให้บรรจุในซองอลูมิเนียมฟอยล์ เวลาในการรับประทานสาหร่ายอบแห้งปรุงรส พบว่าผู้บริโภครับประทานสาหร่ายอบแห้งปรุงรสในมื้อเย็นมากที่สุด ส่วนราคาสาหร่ายอบแห้งปรุงรสต่อ 1 ซอง (น้ำหนัก 10 กรัม) ผู้บริโภคต้องการในราคา 10 บาท ต่อ 1 ซอง มากที่สุด เวลาโดยเฉลี่ยที่ผู้บริโภครับประทานสาหร่ายอบแห้งปรุงรสในแต่ละครั้ง พบว่าผู้บริโภคส่วนใหญ่รับประทานสาหร่ายอบแห้งปรุงรสในแต่ละครั้งใช้เวลาประมาณ 15-30 นาที ความถี่โดยเฉลี่ยที่รับประทานสาหร่ายอบแห้งปรุงรส พบว่าผู้บริโภคส่วนใหญ่รับประทานสาหร่ายอบแห้งปรุงรส 1-2 ครั้งต่อสัปดาห์ ผู้บริโภคมักจะซื้อสาหร่ายอบแห้งปรุงรสตามร้านค้าทั่วไป และผู้บริโภคส่วนใหญ่ที่รับประทานสาหร่ายอบแห้งปรุงรสจะไม่พบปัญหาในการรับประทาน

ผลการสำรวจความต้องการเกี่ยวกับสาหร่ายอบแห้งปรุงรส คือผู้บริโภคต้องการรสดั้งเดิม (ซีอิ๊วขาว น้ำตาล) และผู้บริโภคต้องการเสริมพริกไทยมากที่สุด ดังนั้นจึงนำความต้องการของผู้บริโภคมาใช้ในการพัฒนาสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสในขั้นตอนต่อไป

ตอนที่ 2 การศึกษาผลของกระบวนการทำแห้งต่อสมบัติบางประการของผลิตภัณฑ์สาหร่ายเทาน้ำทำแห้ง

1. ศึกษาสมบัติทางเคมีและลักษณะทางกายภาพของสาหร่ายเทาน้ำสด

จากการศึกษาสมบัติทางเคมีและลักษณะทางกายภาพของสาหร่ายเทาน้ำสดที่นำมาจากบ้านนาคูหา ตำบลสวนเขื่อน อำเภอเมือง จังหวัดแพร่ ช่วงเดือนกันยายนถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2554 พบว่าสาหร่ายเทาน้ำสด มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 25.44 ± 0.51 ปริมาณเยื่อใยร้อยละ 4.84 ± 1.15 ปริมาณไขมันร้อยละ 4.06 ± 0.30 ปริมาณเถ้าร้อยละ 7.27 ± 0.03 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 54.39 ± 1.59 ซึ่งพบว่าสมบัติทางเคมีที่วัดได้มีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของ บุญมี ปิยะจันทร์ (2530) นอกจากนี้ พบว่าสาหร่ายเทาน้ำสดมีค่า DPPH ร้อยละ 90.79 ± 0.05 และปริมาณความชื้นร้อยละ 90.60 ± 0.05 เมื่อตรวจวัดค่าความสว่าง (L^*) มีค่าเท่ากับ 4.86 ± 0.05 ค่าสีแดง (a^*) มีค่าเท่ากับ -5.20 ± 0.06 และค่าสีเหลือง (b^*) มีค่าเท่ากับ 5.08 ± 0.05 ดังแสดงในตาราง 5 และตาราง 6

ตาราง 5 สมบัติทางเคมีของสาหร่ายเทาน้ำสด

สมบัติทางเคมี	ร้อยละ
โปรตีน	25.44 ± 0.51
เยื่อใย	4.84 ± 1.15
ไขมัน	4.06 ± 0.30
เถ้า	7.27 ± 0.03
คาร์โบไฮเดรต	54.39 ± 1.59

ตาราง 6 ปริมาณความชื้น ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และค่าสีของสาหร่ายเทาน้ำสด

ความชื้น (ร้อยละ)	ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) (ร้อยละ)	ค่าสี		
		L^*	a^*	b^*
90.79 ± 0.05	90.79 ± 0.05	4.86 ± 0.05	-5.20 ± 0.06	5.08 ± 0.05

จากการศึกษา พบว่าสาหร่ายเทาน้ำที่ทำการวิเคราะห์มีสีเขียวเข้ม และมีลักษณะคล้ายเส้นผมลื่น และสมบัติทางเคมีหลักของสาหร่ายเทาน้ำคือ คาร์โบไฮเดรต รองลงมาคือโปรตีน อีกทั้งยังมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระอยู่ในปริมาณที่สูง ซึ่งพบว่ามีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่วัดได้มีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของ ฐิติกานต์ และคณะ (2550)

2. ผลของการทำแห้งต่อปริมาณความชื้น และค่าสีในสาหร่ายเทาน้ำ

จากการศึกษาผลของการทำแห้งต่อปริมาณความชื้น และค่าสีของสาหร่ายเทาน้ำ โดยใช้กระบวนการทำแห้ง 2 วิธี ได้แก่ การทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 °C และการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งที่อุณหภูมิ 120 130 และ 140 °C ระยะห่างของผิวลูกกลิ้ง 1 มิลลิเมตร ความเร็วรอบ 6 รอบต่อนาที พบว่าการทำแห้งทั้ง 2 วิธี มีผลต่อค่า L^* a^* และ b^* โดยค่า L^* a^* และ b^* จะลดต่ำลง เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ทำแห้งสูงขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความร้อนหรือปฏิกิริยาเคมีการเกิดสารสีน้ำตาล (ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก, 2532, หน้า 20) ดังนั้นจึงทำให้ค่าความสว่าง (L^*) ลดต่ำหรือมีสีเข้มขึ้นนั้นเอง ส่วนปริมาณความชื้นที่ทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาด พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เนื่องจากมีการกำหนดให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 4 ระยะเวลาในการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดจะแตกต่างกัน คือที่อุณหภูมิสูงเวลาที่ใช้ในการทำแห้งจะน้อยกว่าที่อุณหภูมิต่ำ (อุณหภูมิ 70 °C ใช้เวลาในการทำแห้ง 3 ชั่วโมง อุณหภูมิ 60 °C ใช้เวลาในการทำแห้ง 5 ชั่วโมง และอุณหภูมิ 50 °C ใช้เวลาในการทำแห้ง 7 ชั่วโมง) ดังแสดงในตาราง 7 และตาราง 8

ตาราง 7 ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณความชื้น และค่าสีของสาหร่ายเทาน้ำที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาด

อุณหภูมิ (°C)	ความชื้น^{ns} (ร้อยละ)	ค่าสี		
		L*	a^{*ns}	b*
50	3.95 ± 0.01	37.14^{a} ± 0.22	-3.74 ± 0.23	10.28^{a} ± 0.06
60	3.92 ± 0.01	35.99^{b} ± 0.37	-3.43 ± 0.15	9.17^{b} ± 0.29
70	3.90 ± 0.01	35.10^{c} ± 0.19	-3.44 ± 0.42	8.67^{c} ± 0.22

หมายเหตุ: ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตาราง 8 ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณความชื้น และค่าสีของสาหร่ายเทาน้ำที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง

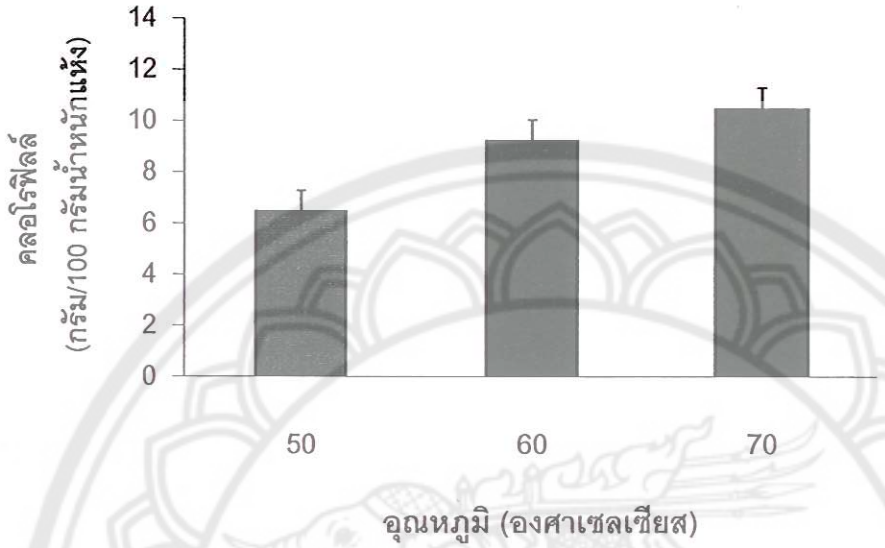
อุณหภูมิ (°C)	ความชื้น (ร้อยละ)	ค่าสี		
		L*	a^{*ns}	b*
120	9.93^{a} ± 0.01	45.00^{a} ± 0.98	-1.24 ± 0.13	15.67^{a} ± 0.42
130	9.56^{b} ± 0.01	30.80^{b} ± 0.13	-1.22 ± 0.14	14.62^{b} ± 0.02
140	8.99^{c} ± 0.01	27.41^{c} ± 0.05	-0.18 ± 1.28	12.47^{c} ± 0.05

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

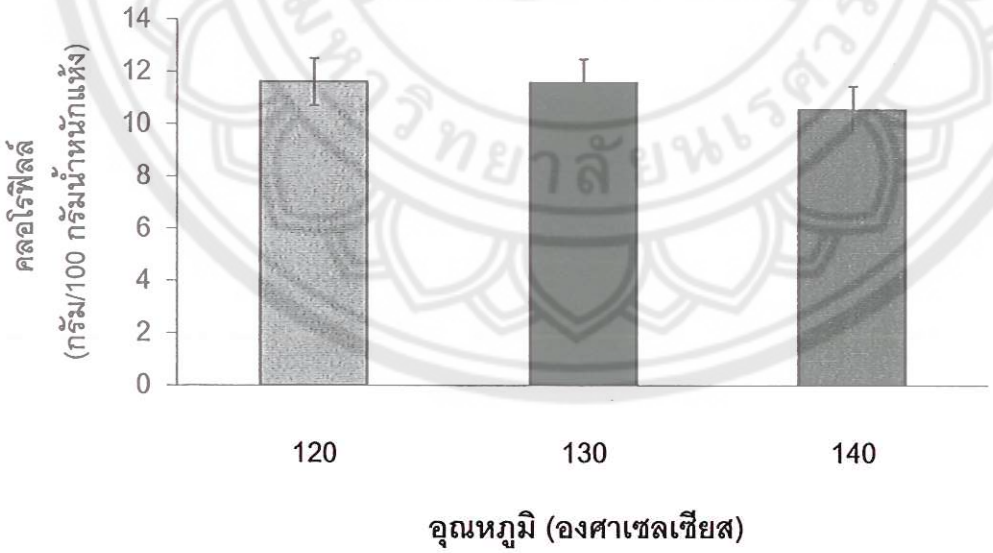
3. ผลของการทำแห้งต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ในสาหร่ายเทาน้ำ

จากการศึกษาผลของกระบวนการทำแห้งต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ของสาหร่ายเทาน้ำ พบว่าสาหร่ายเทาน้ำที่ทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 70 °C (3 ชั่วโมง) ปริมาณคลอโรฟิลล์คงเหลือสูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 10.48 ± 0.01 กรัม/100 กรัมน้ำหนักแห้ง รองลงมาคือที่อุณหภูมิ 60 °C (5 ชั่วโมง) มีค่าเท่ากับ 9.24 ± 0.01 กรัม/100 กรัมน้ำหนักแห้ง และที่อุณหภูมิ 50 °C (7 ชั่วโมง) มีปริมาณคลอโรฟิลล์คงเหลือน้อยที่สุด มีค่าเท่ากับ 6.48 ± 0.01 กรัม/100 กรัมน้ำหนักแห้ง ($p<0.05$) เนื่องจากการทำแห้งที่อุณหภูมิสูงจะทำให้น้ำในอาหารระเหยอย่างรวดเร็ว ดังนั้นทำให้ระยะเวลาในการทำแห้งสั้นลง โดยการทำแห้งที่อุณหภูมิ 70 °C จะใช้เวลาในการทำแห้งน้อยกว่าที่อุณหภูมิ 60 °C ถึง 2 ชั่วโมง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Falade and Abbo (2007) ในการอบแห้ง date plam ที่อุณหภูมิลมร้อน 50 ถึง 80 °C พบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 60 70 และ 80 °C จะใช้เวลาในการอบแห้ง 28 21 14 และ 13 ชั่วโมง ตามลำดับ จึงทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์คงเหลือมากกว่าที่อุณหภูมิ 60 °C ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระ ดังแสดงในภาพ 21 ส่วนสาหร่ายเทาน้ำที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำ

แห้งแบบลูกกลิ้งที่อุณหภูมิ 120 130 และ 140 °C ระยะห่างของผิวลูกกลิ้ง 1 มิลลิเมตร ความเร็วรอบ 6 รอบต่อนาที พบว่ามีปริมาณคลอโรฟิลล์เท่ากับ 11.62 ± 0.01, 11.58 ± 0.01 และ 10.55 ± 0.01 กรัม/100 กรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ($p<0.05$) เนื่องจากเมื่อใช้อุณหภูมิสูงขึ้นแต่ความเร็วรอบของลูกกลิ้งเท่ากันจึงส่งผลทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ดังแสดงในภาพ 22



ภาพ 21 ปริมาณคลอโรฟิลล์ของสาหร่ายเทาน้ำที่ทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิต่าง ๆ

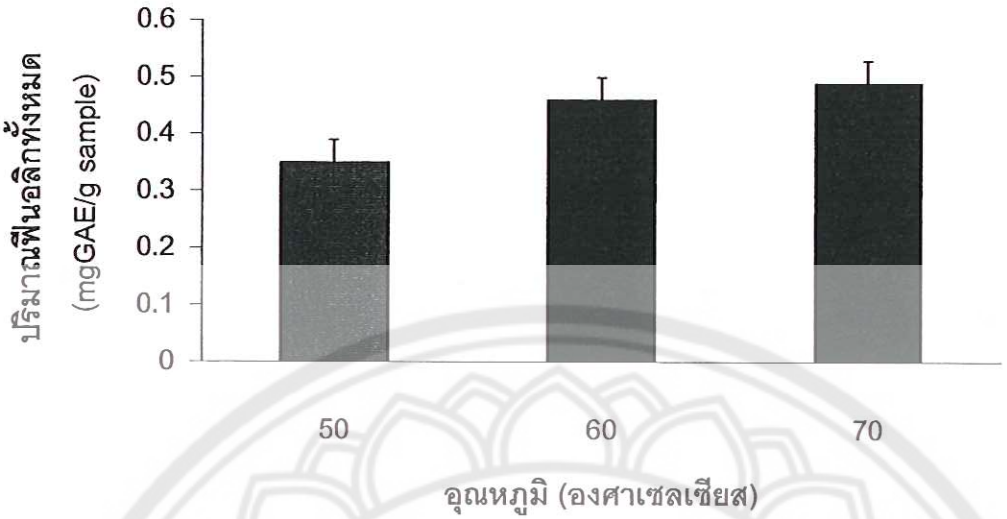


ภาพ 22 ปริมาณคลอโรฟิลล์ของสาหร่ายเทาน้ำที่ทำแห้งแบบลูกกลิ้งที่อุณหภูมิต่าง ๆ

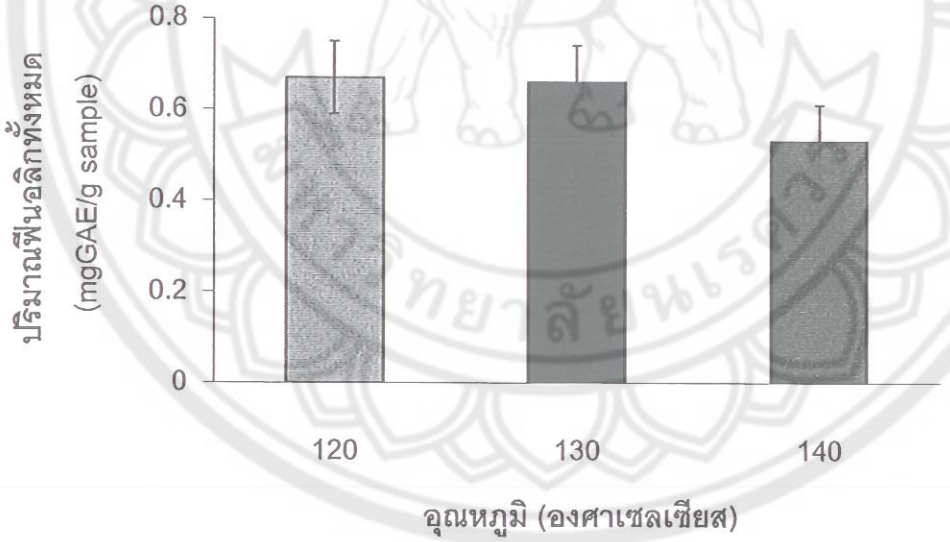
จากภาพ 21 และภาพ 22 พบว่า กระบวนการทำแห้งโดยใช้ความร้อนทำให้คลอโรฟิลล์เกิดการเปลี่ยนแปลงจากสีเขียวเป็นสีเขียวอมน้ำตาล เนื่องจากอะตอมของแมกนีเซียมในโครงสร้างคลอโรฟิลล์ถูกแทนที่โดยอะตอมของไฮโดรเจน คลอโรฟิลล์ในพืชชั้นสูงจะอยู่ในรูปสารประกอบเชิงซ้อนของโปรตีน (chlorophyll-protein complex) โปรตีนที่ติดอยู่กับคลอโรฟิลล์ช่วยป้องกันการเปลี่ยนแปลงของคลอโรฟิลล์เนื่องจากกรดและเอนไซม์ได้ แต่เมื่อโปรตีนได้รับความร้อนเกิดการเสียสภาพทำให้คลอโรฟิลล์เกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นอนุพันธุ์ชนิดอื่น (Lajallo and Lanfer, 1982)

4. ผลของการทำแห้งต่อปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของสาหร่ายเทาน้ำ

จากการศึกษาผลของการทำแห้งต่อปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของสาหร่ายเทาน้ำ พบว่า สาหร่ายเทาน้ำที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาด ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดคงเหลือสูงที่สุดเมื่ออุณหภูมิในการทำแห้งสูงขึ้น โดยสาหร่ายเทาน้ำที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 70 60 และ 50 °C เวลาที่ใช้ในการทำแห้ง 3 5 และ 7 ชั่วโมง ตามลำดับ มีปริมาณ ฟีนอลิก เท่ากับ 0.49 ± 0.01, 0.46 ± 0.01 และ 0.35 ± 0.01 mgGAE/g sample ตามลำดับ เนื่องจากการทำแห้งที่อุณหภูมิสูงจะทำให้น้ำในอาหารระเหยอย่างรวดเร็วทำให้ระยะเวลาในการทำแห้งสั้นลง โดยการทำแห้งที่อุณหภูมิ 70 °C จะใช้เวลาในการทำแห้งน้อยกว่าที่อุณหภูมิ 60 °C ถึง 2 ชั่วโมง จึงทำให้ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดลดลงน้อยกว่าที่อุณหภูมิ 60 °C เพราะเมื่อใช้อุณหภูมิลมร้อนสูงขึ้นแต่ระยะเวลาในการทำแห้งลดลงจึงทำให้ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดถูกทำลายน้อยกว่าการใช้อุณหภูมิต่ำแต่เวลาในการทำแห้งนานกว่า ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Akyildiz, et al. (2004) ที่รายงานว่าการอบแห้งลูกพลับที่อุณหภูมิสูง (70 และ 90 °C) ทำให้ปริมาณ ฟีนอลิกทั้งหมดมากกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ (60 °C) ดังแสดงในภาพ 23 ส่วนการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งที่อุณหภูมิ 120 130 และ 140 °C ระยะห่างของผิวลูกกลิ้ง 1 มิลลิเมตร ความเร็วรอบ 6 รอบต่อนาที พบว่าปริมาณฟีนอลิก เท่ากับ 0.67 ± 0.01, 0.66 ± 0.01 และ 0.53 ± 0.01 mgGAE/g sample ตามลำดับ ($p<0.05$) เนื่องจากเมื่อใช้อุณหภูมิสูงขึ้นแต่ความเร็วรอบของลูกกลิ้งเท่ากันทำให้ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ดังแสดงในภาพ 24



ภาพ 23 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของสาหร่ายเทาน้ำที่ทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาด ที่อุณหภูมิต่าง ๆ



ภาพ 27 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของสาหร่ายเทาน้ำที่ทำแห้งแบบลูกกลิ้ง ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

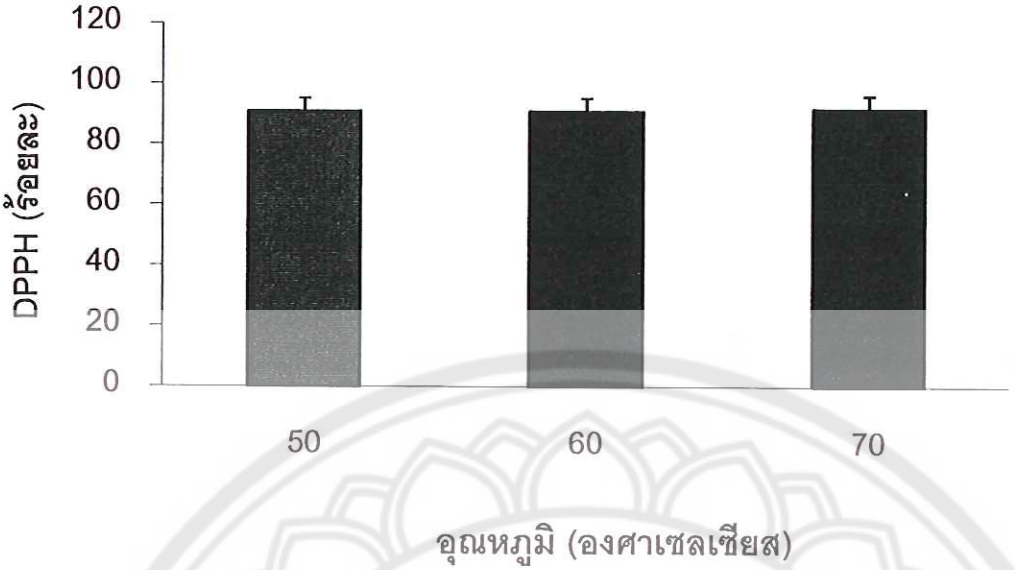
5. ผลของกระบวนการทำแห้งต่อการศึกษากิจกรรมต้านอนุมูลอิสระของสาหร่ายเทาน้ำ

จากการศึกษาผลของกระบวนการทำแห้งต่อกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระของสาหร่ายเทาน้ำ พบว่า สาหร่ายเทาน้ำที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 °C เป็นเวลา 3 5 และ 7 ชั่วโมง ตามลำดับ และการทำแห้งแบบลูกกลิ้งที่อุณหภูมิ 120 130 และ 140 °C ระยะห่างของผิวลูกกลิ้ง 1 มิลลิเมตร ความเร็วรอบ 6 รอบต่อนาที โดยทำการศึกษากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ 2 วิธี ได้แก่ วิธีการทดสอบ DPPH และ ABTS ซึ่งแต่ละวิธีมีความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระต่างชนิดกัน

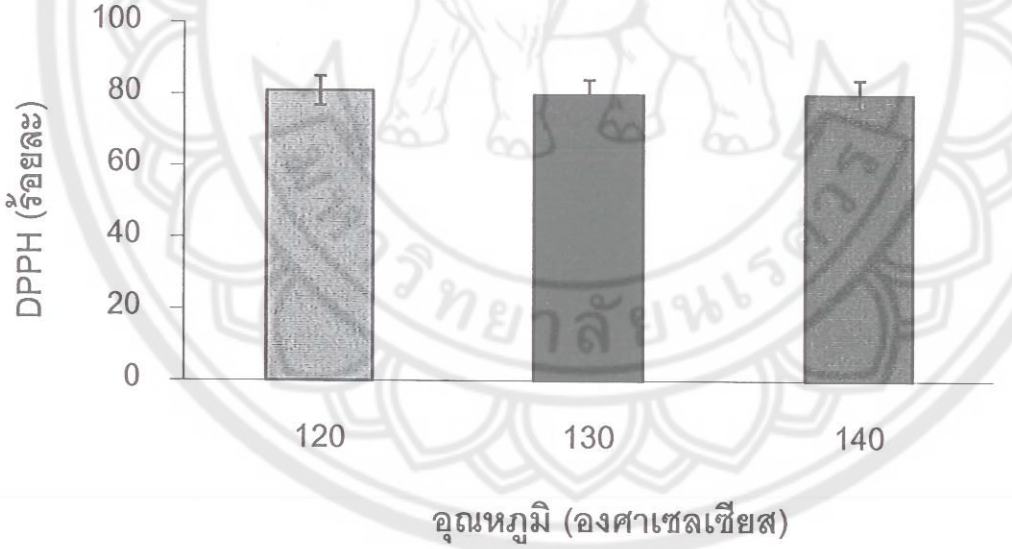
ในการศึกษาความสามารถการยับยั้ง DPPH˙ radical ของสารสกัดด้วยน้ำของสาหร่ายเทาน้ำ โดยผลการทดลอง พบว่า สารละลายสีม่วงของ DPPH˙ radical เปลี่ยนไปเป็นสีเหลืองมากขึ้น หรือมีค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 nm ต่ำลงเรื่อย ๆ เมื่อความเข้มข้นของสารสกัดด้วยน้ำของสาหร่ายเทาน้ำเพิ่มขึ้น และเมื่อนำค่าการดูดกลืนแสงมาคำนวณ เป็น % Inhibition ของการยับยั้ง DPPH˙ radical พบว่า % Inhibition แปรผันตรงกับความเข้มข้นของสารสกัดด้วยน้ำของสาหร่าย แสดงว่าในสารสกัดด้วยน้ำของสาหร่ายดังกล่าว มีสารซึ่งเป็นตัวให้ H แก่ DPPH˙ radical ได้

DPPH˙ radical เป็นสารอนุมูลอิสระสังเคราะห์ เมื่อละลายในเอทานอล จะได้สารละลายที่มีสีม่วง และเมื่อได้รับอะตอมไฮโดรเจน จากสารสกัดที่ใช้ในการทดสอบ สารละลายสีม่วงจะเปลี่ยนเป็นสีเหลือง ซึ่งสามารถทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงได้ที่ความยาวคลื่น 517 nm

เมื่อนำสาหร่ายเทาน้ำที่ผ่านการทำแห้งทั้ง 2 วิธี มาวัดค่า % Inhibition พบว่า สาหร่ายเทาน้ำที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาด สามารถยับยั้ง DPPH˙ radical ที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ได้ดีที่สุด คือ มีค่า DPPH เท่ากับร้อยละ 92.00 ($p<0.05$) เมื่อเทียบกับอุณหภูมิ 60 และ 50 °C มีค่า DPPH เท่ากันคือร้อยละ 91.00 และเมื่อพิจารณาจากปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดแล้ว พบว่าปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดมีความสัมพันธ์กับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งเมื่อสาหร่ายเทาน้ำมีปริมาณฟีนอลิกมากก็จะมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระที่มากตามไปด้วย ดังแสดงในภาพ 25 ส่วนสาหร่ายเทาน้ำที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง สามารถยับยั้ง DPPH˙ radical ที่อุณหภูมิ 120 °C ระยะห่างของผิวลูกกลิ้ง 1 มิลลิเมตร ความเร็วรอบ 6 รอบต่อนาที ได้ดีที่สุด เมื่อเทียบกับอุณหภูมิ 130 และ 140 °C คือ มีค่า DPPH เท่ากับร้อยละ 80.00 79.00 และ 79.00 ตามลำดับ ($p<0.05$) ดังแสดงในภาพ 26



ภาพ 25 ค่า DPPH ของสาหร่ายเทาน้ำที่ทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิต่าง ๆ



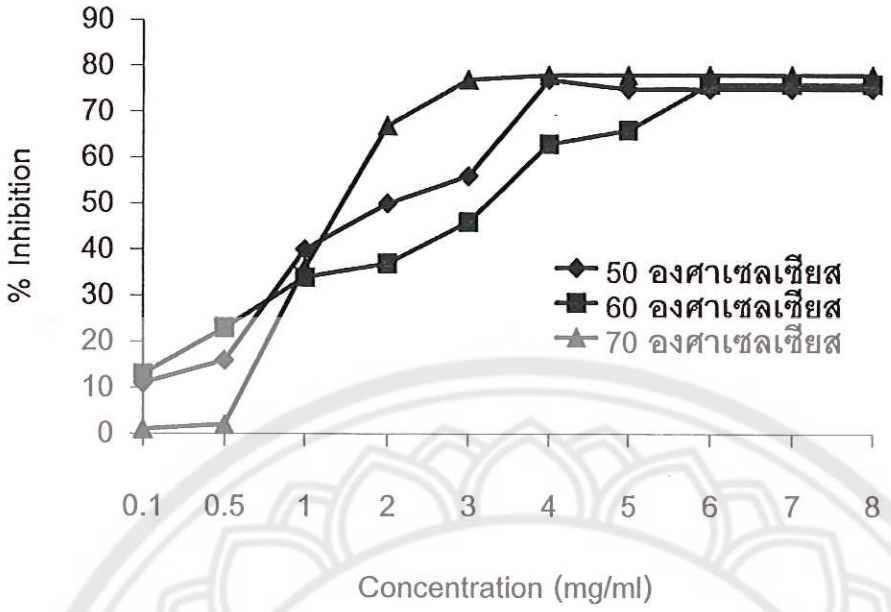
ภาพ 26 ค่า DPPH ของสาหร่ายเทาน้ำที่ทำแห้งแบบลูกกลิ้งที่อุณหภูมิต่าง ๆ

ในส่วนของการศึกษาสมบัติการต้านอนุมูลอิสระโดยใช้วิธี ABTS ได้มีการศึกษาเบื้องต้นเพื่อหาตัวทำละลายที่เหมาะสม โดยใช้เอทานอล และน้ำเป็นตัวทำละลายในการสกัดสาหร่ายเทาน้ำ เนื่องจากมีความเป็นขั้วสูง จากผลการทดลองศึกษาความสามารถในการยับยั้ง $ABTS^{+\bullet}$ radical พบว่า สารสกัดสาหร่ายเทาน้ำที่สกัดด้วยน้ำมีความสามารถในการยับยั้ง $ABTS^{+\bullet}$ radical ได้สูงกว่าสารสกัดสาหร่ายเทาน้ำที่สกัดด้วยเอทานอล ยังมีผลงานวิจัยของ ธนิษฐา มาลัยวรรณ และยุวดี พีรพรพิศาล (2550) ที่ทำการสกัดสาหร่ายเทาน้ำด้วยตัวทำละลายน้ำและ เอทานอล พบว่า น้ำเป็นตัวทำละลายได้ดีที่สุดและได้ปริมาณผลผลิตทั้งหมดมากกว่าตัวทำละลายเอทานอล

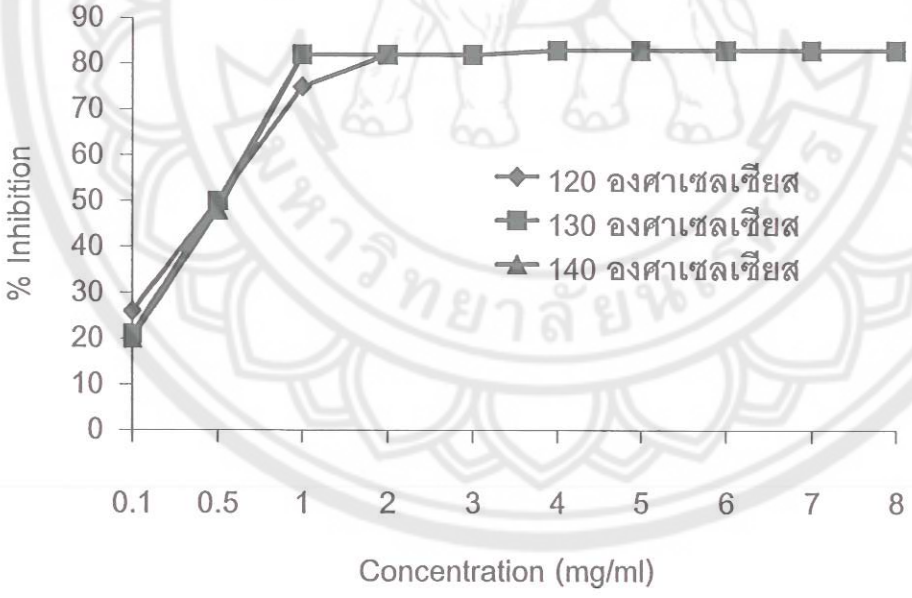
การศึกษาความสามารถในการยับยั้ง $ABTS^{+\bullet}$ radical ของสารสกัดด้วยน้ำของสาหร่ายเทาน้ำ พบว่า สารละลายสีน้ำเงินอมเขียวของ $ABTS^{+\bullet}$ radical มีสีจางลง หรือมีค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 nm ต่ำลงเรื่อย ๆ เมื่อความเข้มข้นของสารสกัดด้วยน้ำของสาหร่ายเทาน้ำเพิ่มขึ้น และเมื่อนำค่าการดูดกลืนแสงมาคำนวณเป็น % Inhibition ของการยับยั้ง $ABTS^{+\bullet}$ radical พบว่า % Inhibition แปรผันตรงกับความเข้มข้นของสารสกัดด้วยน้ำของสาหร่ายเทาน้ำ แสดงว่าในการสกัดด้วยน้ำของสาหร่ายดังกล่าวมีสารซึ่งสามารถเป็นตัวให้ H แก่ $ABTS^{+\bullet}$ radical ได้

ABTS radical cation ($ABTS^{+\bullet}$) เป็นสารอนุมูลอิสระกึ่งสังเคราะห์ ซึ่งเป็นอนุมูลอิสระที่นิยมใช้ในการวัดความสามารถในการต้านออกซิเดชันวิธีหนึ่ง เมื่อนำสาร ABTS ผสมกับสาร Potassium persulfate ($K_2S_2O_8$) จะกลายเป็นสีน้ำเงินอมเขียว และเมื่อได้รับอะตอมไฮโดรเจน จากสารสกัดที่ใช้ในการทดสอบ จะทำให้ $ABTS^{+\bullet}$ ลดลง ซึ่งทำให้สีจางลง ซึ่งสามารถวัดค่าการดูดกลืนแสงได้ที่ความยาวคลื่น 734 nm

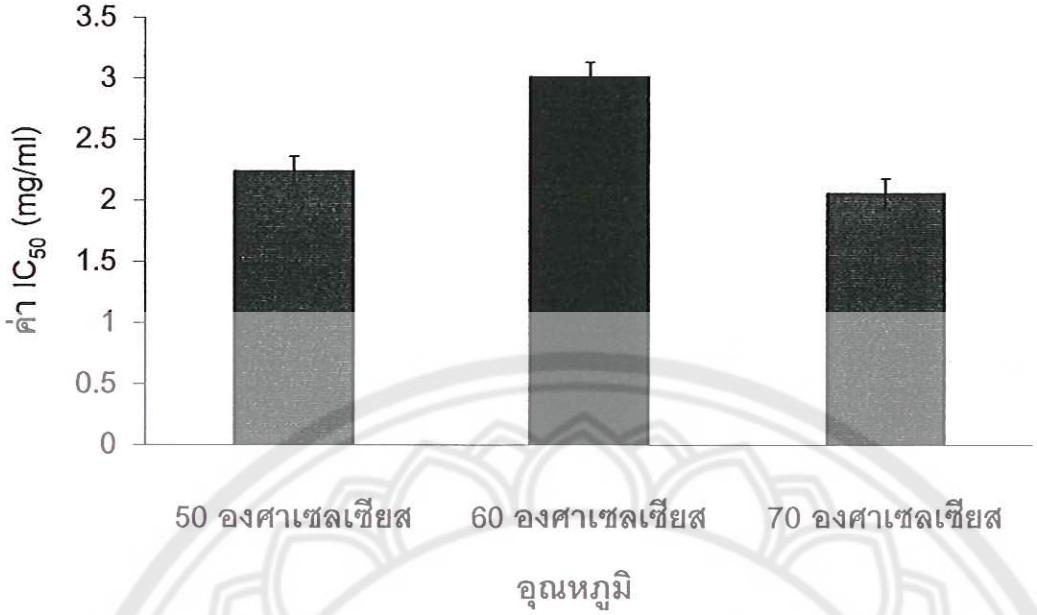
เมื่อนำสารละลายของสารสกัดด้วยน้ำของสาหร่ายเทาน้ำที่ความเข้มข้นต่าง ๆ มาทำปฏิกิริยากับสารละลายของ $ABTS^{+\bullet}$ radical พบว่า สารละลายสาหร่ายเทาน้ำที่ช่วงความเข้มข้น 0.1-8.0 mg/ml สามารถยับยั้ง $ABTS^{+\bullet}$ radical ได้ โดยสาหร่ายเทาน้ำที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 °C ที่ความเข้มข้น 4.00 mg/ml มีค่า ABTS สูงสุดเท่ากับร้อยละ 78.00 ที่อุณหภูมิ 70 °C และมีฤทธิ์ยับยั้ง $ABTS^{+\bullet}$ radical ได้ดีที่สุด ดังแสดงในภาพ 27 ส่วนสาหร่ายที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งที่อุณหภูมิ 120 130 และ 140 °C ระยะห่างของผิวลูกกลิ้ง 1 มิลลิเมตร ความเร็วรอบ 6 รอบต่อนาที ที่ความเข้มข้น 4.00 mg/ml มีค่า ABTS สูงสุดร้อยละ 83.00 ทั้ง 3 อุณหภูมิ และมีฤทธิ์ยับยั้ง $ABTS^{+\bullet}$ radical ได้ดีที่สุด ดังแสดงในภาพ 28



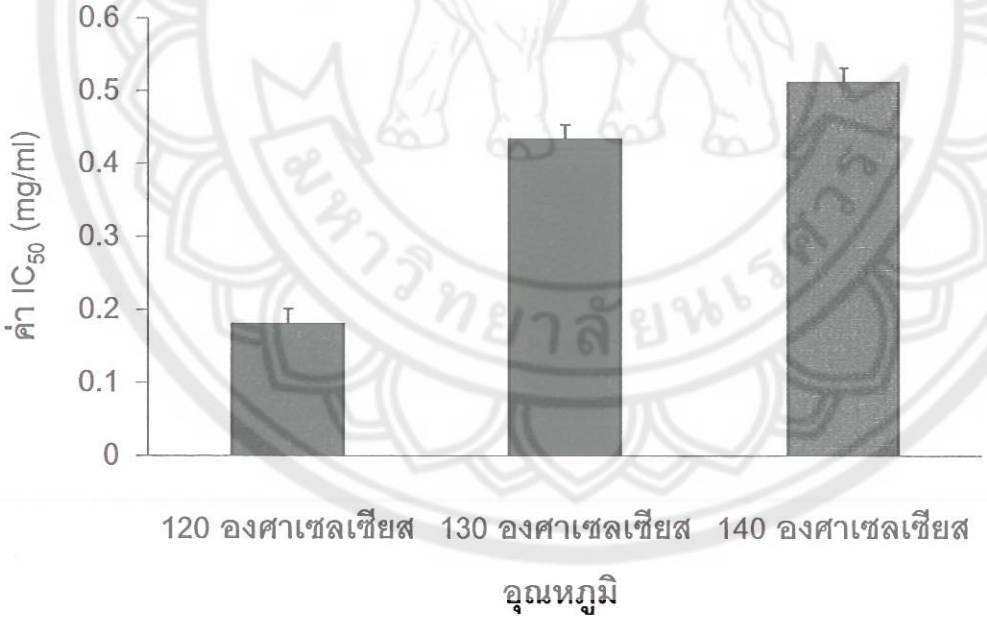
ภาพ 27 ความสามารถในการยับยั้ง ABTS$^{+\cdot}$ radical ของสารสกัดด้วยน้ำของสาหร่ายเทา น้ำในช่วงความเข้มข้น 0.1-8.0 mg/ml (เครื่องทำแห้งแบบถาด)



ภาพ 28 ความสามารถในการยับยั้ง ABTS$^{+\cdot}$ radical ของสารสกัดด้วยน้ำของสาหร่ายเทา น้ำในช่วงความเข้มข้น 0.1-8.0 mg/ml (เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง)



ภาพ 29 Scavenging activity of ABTS radical (IC_{50}) ของการสกัดสาหร่ายเทาน้ำ ที่อุณหภูมิต่างๆ (เครื่องทำแห้งแบบถาด)



ภาพ 30 Scavenging activity of ABTS radical (IC_{50}) ของการสกัดสาหร่ายเทาน้ำ ที่อุณหภูมิต่าง ๆ (เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง)

จากภาพ 29 และภาพ 30 แสดงค่า IC_{50} ซึ่งค่า IC_{50} เป็นค่าความเข้มข้นที่สามารถยับยั้งอนุมูลอิสระได้ร้อยละ 50 ซึ่งถ้าค่า IC_{50} มีค่าน้อยแสดงว่าสารสกัดนั้นมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระได้ดี ซึ่งจากภาพ 29 เป็นการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 $^{\circ}C$ เป็นเวลา 3 5 และ 7 ชั่วโมง

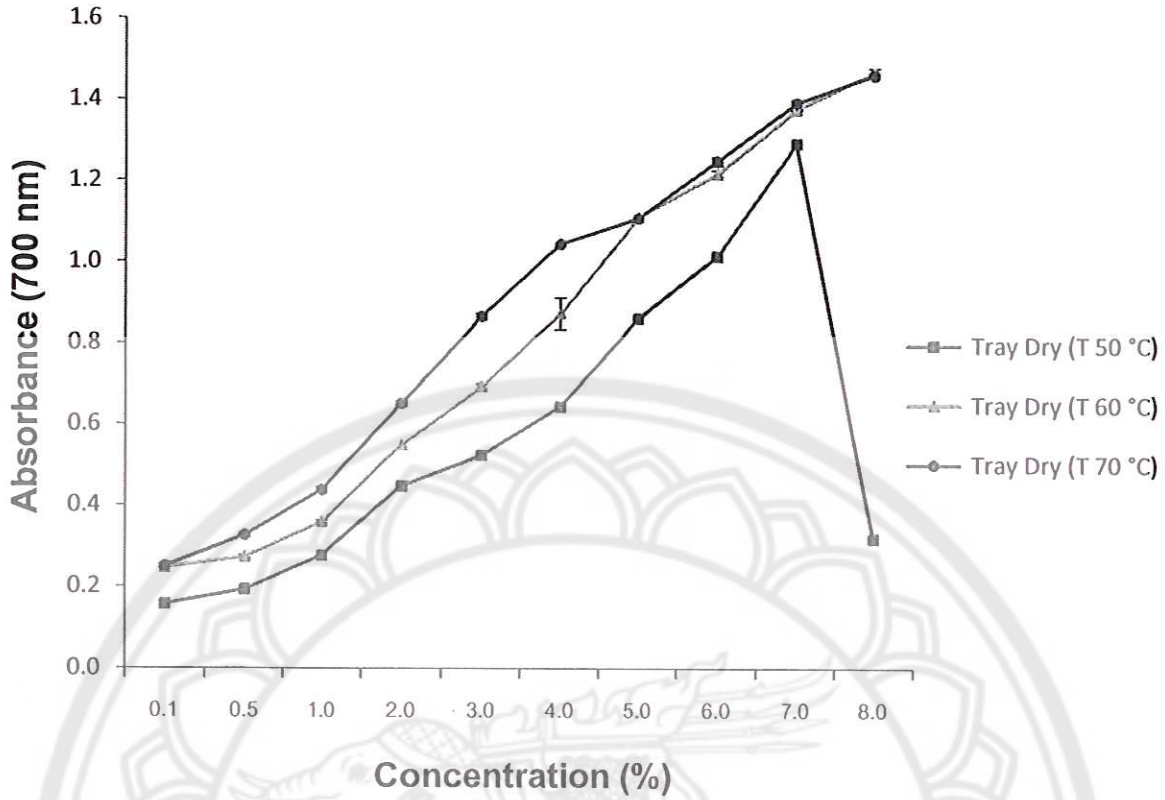
ตามลำดับ พบว่าสาหร่ายเทาน้ำที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง มีค่า IC_{50} น้อยที่สุดเท่ากับ 2.06 mg/ml รองลงมาคือ สาหร่ายเทาน้ำที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 50 °C (7 ชั่วโมง) และ 60 °C (5 ชั่วโมง) ซึ่งมีค่า IC_{50} เท่ากับ 2.24 และ 3.02 mg/ml ตามลำดับ ส่วนสาหร่ายเทาน้ำที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (ภาพ 30) พบว่า ที่อุณหภูมิ 120 °C ระยะห่างของผิวลูกกลิ้ง 1 มิลลิเมตร ความเร็วรอบ 6 รอบต่อนาที มีค่า IC_{50} น้อยที่สุดคือ 0.18 mg/ml รองลงมาคือ สาหร่ายเทาน้ำที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง ที่อุณหภูมิ 130 และ 140 °C ซึ่งมีค่า IC_{50} เท่ากับ 0.43 และ 0.51 mg/ml ตามลำดับ

6. ผลของกระบวนการทำแห้งต่อ reducing power, metal chelating activity และ superoxide radical-scavenging ของสาหร่ายเทาน้ำ

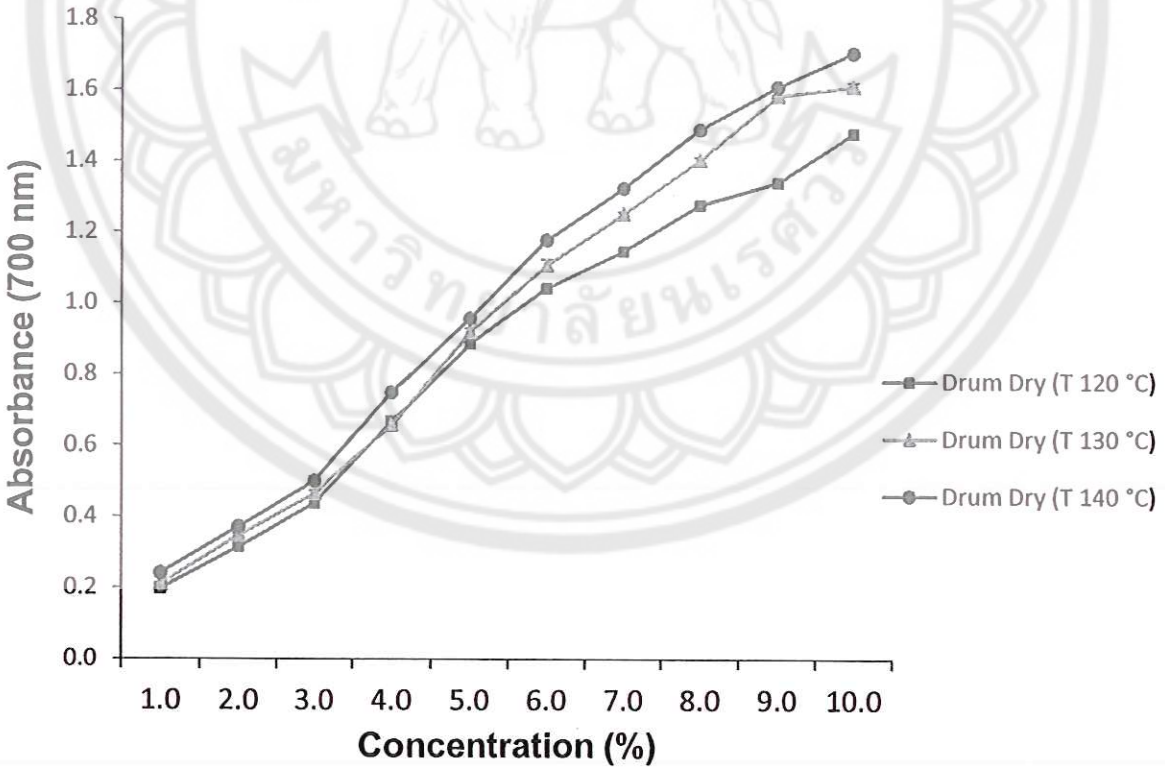
จากการศึกษาผลของกระบวนการทำแห้งต่อกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระของสาหร่ายเทาน้ำ พบว่าสาหร่ายเทาน้ำที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 °C เป็นเวลา 3 5 และ 7 ชั่วโมง ตามลำดับ และการทำแห้งแบบลูกกลิ้งที่อุณหภูมิ 120 130 และ 140 °C ระยะห่างของผิวลูกกลิ้ง 1 มิลลิเมตร ความเร็วรอบ 6 รอบต่อนาที โดยทำการศึกษากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ 2 วิธี ได้แก่ วิธีการทดสอบ reducing power, metal chelating activity และ superoxide radical-scavenging ซึ่งแต่ละวิธีมีความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระต่างชนิดกัน พบว่าเมื่อนำสารละลายของสารสกัดด้วยน้ำของสาหร่ายเทาน้ำที่ความเข้มข้น 0.1-8.0 mg/ml สามารถยับยั้ง reducing power ได้ โดยสาหร่ายเทาน้ำที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 70 °C มีฤทธิ์ในการทำให้เกิดปฏิกิริยา reduction ได้ดีที่สุด ดังแสดงในภาพ 31 ส่วนสาหร่ายที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งที่อุณหภูมิ 120 130 และ 140 °C ระยะห่างของผิวลูกกลิ้ง 1 มิลลิเมตร ความเร็วรอบ 6 รอบต่อนาที พบว่าที่การอบแห้งที่อุณหภูมิ 140 °C มีฤทธิ์ในการทำให้เกิดปฏิกิริยา reduction ได้ดีที่สุด ดังแสดงในภาพ 32

ส่วนการผลของการกระบวนการอบแห้งต่อประสิทธิภาพในการจับโลหะ (metal chelation activity) ของสารเหร่ายเทาน้ำนั้น พบว่าเมื่อนำสารละลายของสารสกัดด้วยน้ำของสาหร่ายเทาน้ำที่ความเข้มข้น 0.1-8.0 mg/ml สามารถในการจับโลหะได้ โดยสาหร่ายเทาน้ำที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 70 °C มีประสิทธิภาพในการจับโลหะได้ดีที่สุด ดังแสดงในภาพ 33 ส่วนสาหร่ายที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งที่อุณหภูมิ 120 130 และ 140 °C ระยะห่างของผิวลูกกลิ้ง 1 มิลลิเมตร ความเร็วรอบ 6 รอบต่อนาที พบว่าที่การอบแห้งที่อุณหภูมิ 120 °C มีประสิทธิภาพในการจับโลหะได้ดีที่สุด ดังแสดงในภาพ 34

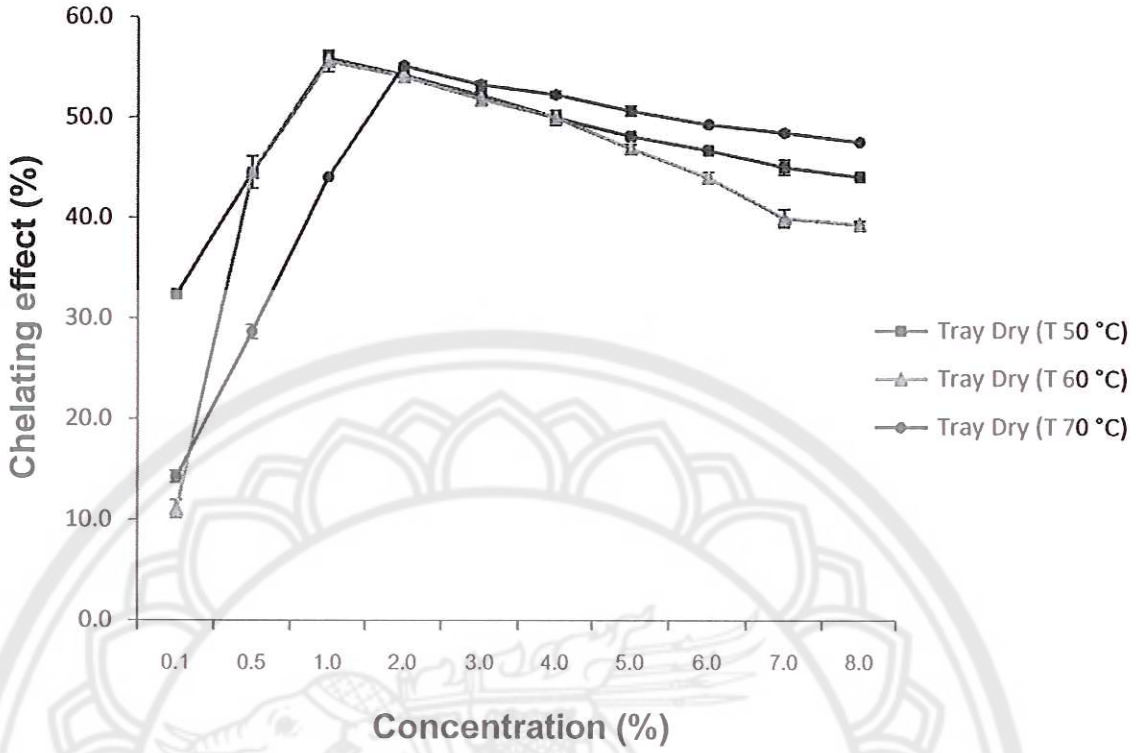
ผลของกระบวนการทำแห้งต่อความสามารถในการขจัดอนุมูลซุปเปอร์ออกไซด์แอนไอออน (superoxide radical-scavenging) สาหร่ายเทาน้ำ แสดงภาพที่ 35 พบว่าเมื่อนำสารละลายของสารสกัดด้วยน้ำของสาหร่ายเทาน้ำที่ความเข้มข้น 0.1-8.0 mg/ml สามารถในการขจัดอนุมูลซุปเปอร์ออกไซด์แอนไอออนได้ โดยสาหร่ายเทาน้ำที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 50 และ 70 °C มีประสิทธิภาพในการขจัดอนุมูลซุปเปอร์ออกไซด์แอนไอออนได้ดีที่สุด ดังแสดงในภาพ 35 ส่วนสาหร่ายที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งที่อุณหภูมิ 120 130 และ 140 °C ระยะห่างของผิวลูกกลิ้ง 1 มิลลิเมตร ความเร็วรอบ 6 รอบต่อนาที พบว่าที่การอบแห้งที่อุณหภูมิ 130 °C มีสามารถในการขจัดอนุมูลซุปเปอร์ออกไซด์แอนไอออนได้ดีที่สุด ดังแสดงในภาพ 36



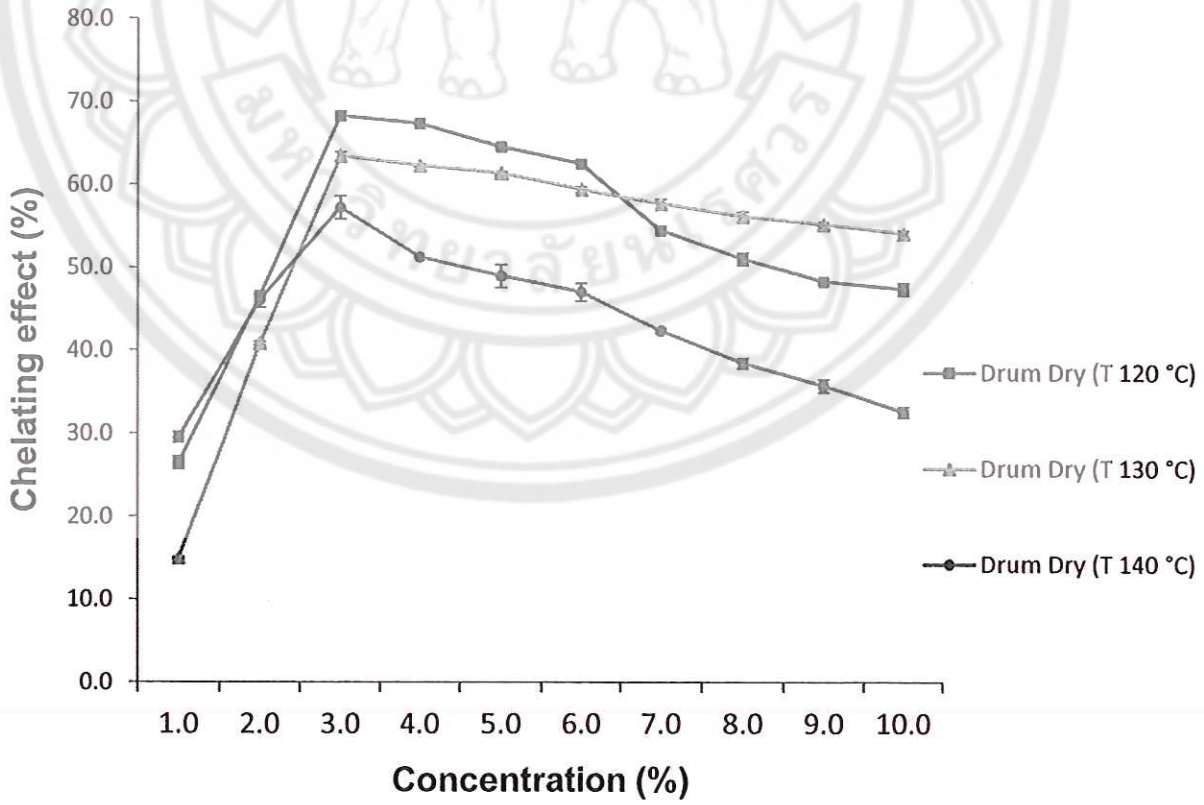
ภาพ 31 ค่า Reducing power ของสาหร่ายเทาน้ำที่ทำแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิต่าง ๆ



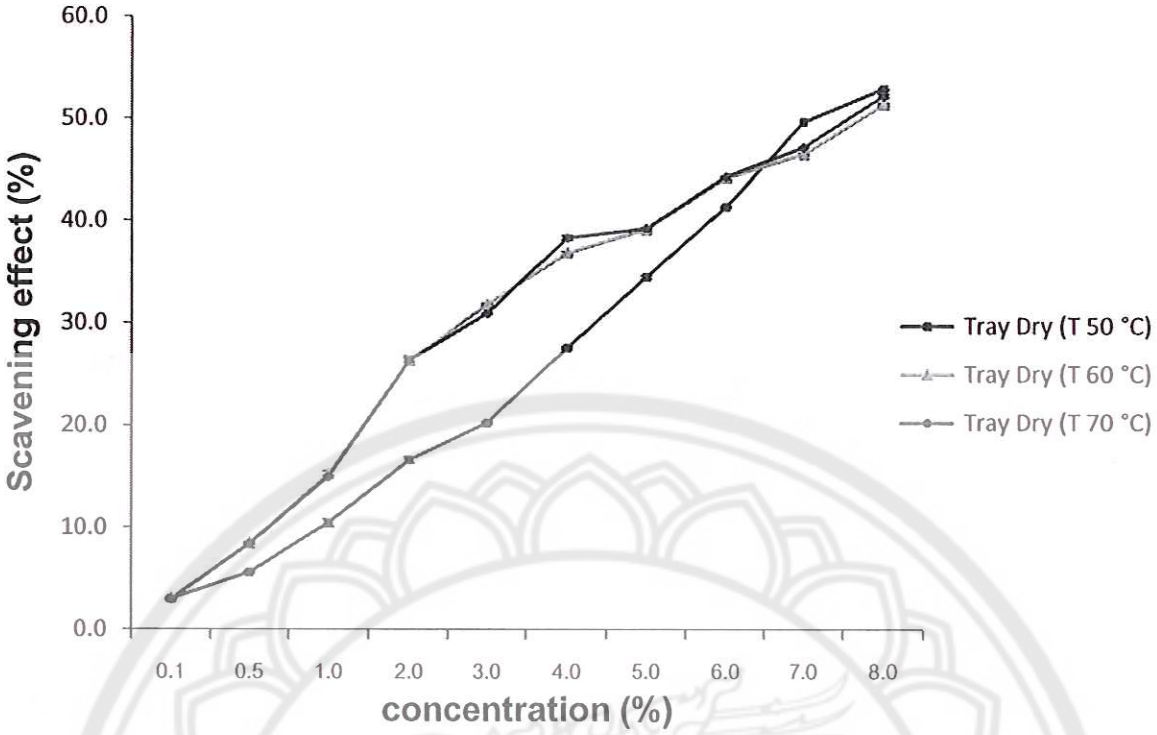
ภาพ 32 ค่า Reducing power **ของสาหร่ายเทาน้ำที่ทำแห้งแบบลูกกลิ้งที่อุณหภูมิต่าง ๆ**



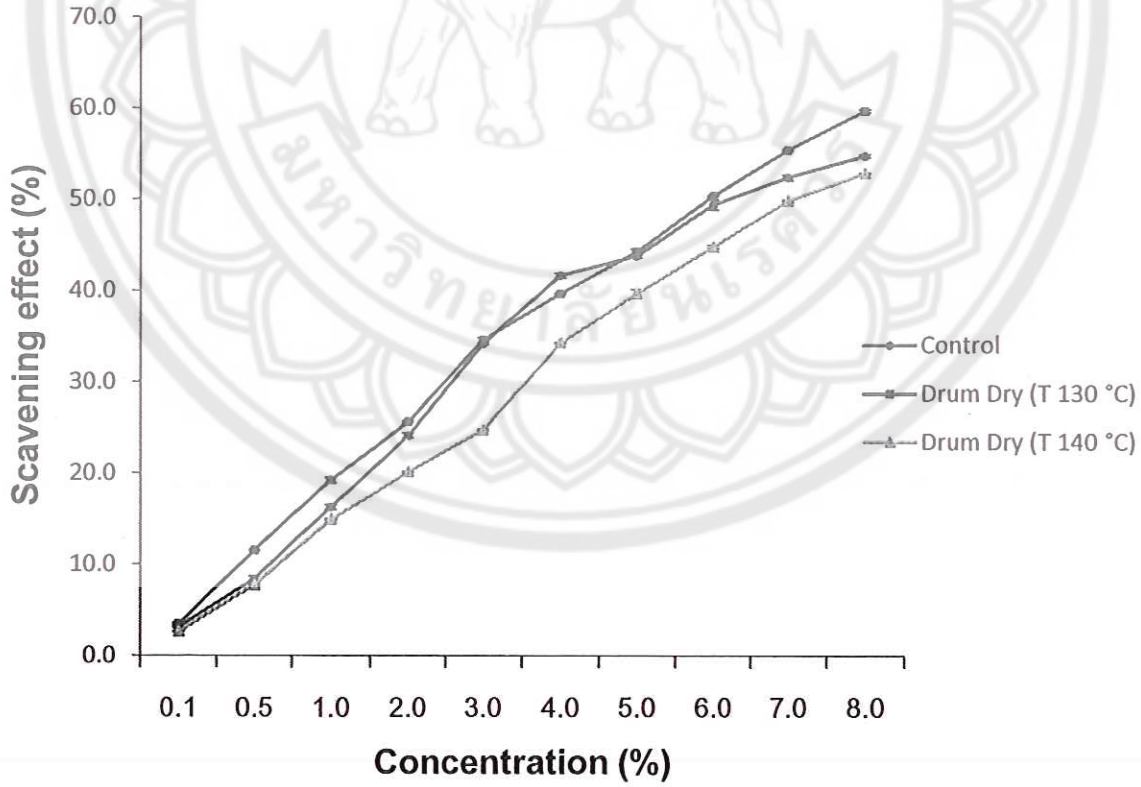
ภาพ 33 ค่า metal chelating activity ของสาหร่ายเทาน้ำที่ทำแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิต่าง ๆ



ภาพ 34 ค่า metal chelating activity ของสาหร่ายเทาน้ำที่ทำแห้งแบบลูกกลิ้งที่อุณหภูมิต่าง ๆ



ภาพ 35 ค่า superoxide radical activity ของสาหร่ายเทาน้ำที่ทำแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิต่าง ๆ



ภาพ 36 ค่า superoxide radical activity ของสาหร่ายเทาน้ำที่ทำแห้งแบบลูกกลิ้งที่อุณหภูมิต่าง ๆ

จากการศึกษาของผลกระทบของกระบวนการทำแห้งต่อสมบัติบางประการของสาหร่ายเทาน้ำ พบว่า การทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 70 °C นาน 3 ชั่วโมง และการทำแห้งแบบลูกกลิ้งที่อุณหภูมิ 120 °C ระยะห่างของผิวลูกกลิ้ง 1 มิลลิเมตร ความเร็วรอบ 6 รอบต่อนาที มีผลต่อค่าสี ปริมาณคลอโรฟิลล์ ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระน้อยที่สุด ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งที่สามารถรักษาปริมาณสารต่าง ๆ ให้คงอยู่ในผลิตภัณฑ์มากที่สุด ดังนั้นจึงเลือกการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 70 °C นาน 3 ชั่วโมง และการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งที่อุณหภูมิ 120 °C ระยะห่างของผิวลูกกลิ้ง 1 มิลลิเมตร ความเร็วรอบ 6 รอบต่อนาที ไปใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

ตอนที่ 3 ศึกษาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรส

ศึกษาสูตรที่เหมาะสมของสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรส โดยจัดสิ่งทดลองแบบผสมที่มีข้อจำกัด (Mixture Design) กำหนดปัจจัยที่ศึกษา 3 ปัจจัย คือ ซีอิ๊วขาว (ปริมาณการใช้ระดับต่ำร้อยละ 5.00 และระดับสูงร้อยละ 7.00) พริกไทย (ปริมาณการใช้ระดับต่ำร้อยละ 0.00 และระดับสูงร้อยละ 5.00) และน้ำตาล (ปริมาณการใช้ระดับต่ำร้อยละ 0.00 และระดับสูงร้อยละ 5.00) การจัดสิ่งทดลองแบบผสมโดยมีสิ่งทดลองทั้งหมด 9 สิ่งทดลอง แต่ละสิ่งทดลองมีส่วนผสมที่ใช้แสดงดังตาราง 9 ซึ่งทำการทำแห้งด้วยกัน 2 วิธีคือ การทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งที่อุณหภูมิ 120 °C ระยะห่างของผิวลูกกลิ้ง 1 มิลลิเมตร ความเร็วรอบ 6 รอบต่อนาที แต่ละสิ่งทดลองจะประกอบด้วยสาหร่ายเทาน้ำปั่นผสมกับน้ำร้อยละ 58.80 แป้งข้าวเหนียวร้อยละ 39.20 ทั้ง 2 วิธี ส่วนการทำแห้งแบบลูกกลิ้งจะเติมแบะแซลงไปร้อยละ 5.50 จากนั้นเติมส่วนผสมที่แสดงในตาราง 9 ลงไป หลังจากนั้นนำสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสทั้ง 9 สิ่งทดลองไปทอดด้วยน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิ 150 °C เป็นเวลา 1 นาที และนำไปวัดคุณภาพดังนี้ วัดค่าสี ลักษณะเนื้อสัมผัส ปริมาณความชื้น ค่า a_w กิจกรรมต้านอนุมูลอิสระ และการประเมินทางด้านประสาทสัมผัส จากนั้นคัดเลือกสูตรที่เหมาะสม ไปทดลองในขั้นตอนต่อไป

ตาราง 9 ปริมาณซีอิ๊วขาว พริกไทย และน้ำตาล จากการจัดสิ่งทดลองแบบ Mixture Design

สิ่งทดลองที่	วัตถุดิบ (ร้อยละ)		
	ซีอิ๊วขาว (x_1)	พริกไทยป่น (x_2)	น้ำตาล (x_3)
1	7.0	3.0	0.0
2	7.0	1.5	1.5
3	7.0	0.0	3.0
4	6.0	3.0	0.0
5	6.0	1.5	1.5
6	6.0	0.0	3.0
7	5.0	3.0	0.0
8	5.0	1.5	1.5
9	5.0	0.0	3.0

1. ปริมาณความชื้น ค่า a_w และค่าความกรอบของสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาด และเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งหลังผ่านการทอด

จากการศึกษาปริมาณความชื้น ค่า a_w และค่าความกรอบของสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรส โดยใช้วิธีการทำแห้ง 2 วิธี ได้แก่ การทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 70 $^{\circ}$C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งที่อุณหภูมิ 120 $^{\circ}$C ระยะห่างของผิวลูกกลิ้ง 1 มิลลิเมตร ความเร็วรอบ 6 รอบต่อนาที พบว่า อัตราส่วนของเครื่องปรุงรสคือ ซีอิ๊วขาว พริกไทย และน้ำตาลที่เติมลงไปในการทำแห้งทั้ง 2 วิธี ไม่มีผลต่อปริมาณความชื้น ค่า a_w และค่าความกรอบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ทำแห้งโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบถาด ที่อุณหภูมิ 70 $^{\circ}$C มีปริมาณความชื้นระหว่างร้อยละ 3.90 ถึง 3.95 ส่วนสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง ที่อุณหภูมิ 120 $^{\circ}$C มีปริมาณความชื้นระหว่างร้อยละ 9.93 ถึง 9.96 โดยมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนสาหร่ายน้ำจืดอบแห้ง (2547) ที่กำหนดให้ค่า a_w ต้องไม่เกิน 0.60 ซึ่งจากการทดลองพบว่าค่า a_w ที่พบมีค่าที่ต่ำกว่าที่กำหนดไว้ทั้ง 9 สิ่งทดลอง คือสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ทำแห้งโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบถาด มีค่า a_w ระหว่างร้อยละ 0.46 ถึง 0.48 และสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งมีค่า a_w ระหว่างร้อยละ 0.56 ถึง 0.58 แสดงว่าผลิตภัณฑ์สาหร่ายเทาน้ำอบแห้ง ปรุงรสที่ผลิตนั้นได้มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของผลิตภัณฑ์สาหร่ายน้ำจืดอบแห้ง และจะเห็นได้ว่าค่า a_w เป็นปัจจัยสำคัญในการคาดคะเนอายุการเก็บรักษา และเป็นตัวบ่งชี้ถึงความปลอดภัยของอาหาร โดยทำหน้าที่ควบคุมการอยู่รอดการเจริญ และการสร้างสารพิษของจุลินทรีย์ ถ้าค่า a_w สูงแสดงว่าอาหารนั้นจะเกิดการเน่าเสียเร็วกว่าอาหารที่มีค่า a_w ที่ต่ำกว่า เมื่อพิจารณาค่าความกรอบของสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ทำแห้งโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบถาด และสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง พบว่าค่าความกรอบไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) อาจเนื่องมาจากอัตราส่วนของเครื่องปรุง คือ ซีอิ๊วขาว พริกไทย และน้ำตาล ไม่มีอิทธิพลที่ทำให้สาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสมีค่าความกรอบที่มากหรือลดลงของทั้ง 9 สิ่งทดลอง ดังแสดงในตาราง 10 และตาราง 11

ตาราง 10 ปริมาณความชื้น ค่า a_w และค่าความกรอบของสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดหลังผ่านการทอด

สิ่งทดลอง	ความชื้น (ร้อยละ) ^{ns}	ค่า a_w ^{ns}	ค่าความกรอบ (gram) ^{ns}
1 (ซีอิ๊วขาว 7.0% พริกไทย 3.0%น้ำตาล 0.0%)	3.93 ± 0.03	0.48 ± 0.02	93.61 ± 5.83
2 (ซีอิ๊วขาว 7.0% พริกไทย 1.5% น้ำตาล 1.5%)	3.93 ± 0.04	0.46 ± 0.04	93.60 ± 5.95
3 (ซีอิ๊วขาว 7.0% พริกไทย 0.0% น้ำตาล 3.0%)	3.94 ± 0.03	0.47 ± 0.03	97.42 ± 5.01
4 (ซีอิ๊วขาว 6.0% พริกไทย 3.0% น้ำตาล 0.0%)	3.95 ± 0.03	0.47 ± 0.02	96.09 ± 6.32
5 (ซีอิ๊วขาว 6.0% พริกไทย 1.5% น้ำตาล 1.5%)	3.94 ± 0.03	0.48 ± 0.01	91.92 ± 9.90
6 (ซีอิ๊วขาว 6.0% พริกไทย 0.0% น้ำตาล 3.0%)	3.92 ± 0.03	0.46 ± 0.03	92.67 ± 9.18
7 (ซีอิ๊วขาว 5.0% พริกไทย 3.0% น้ำตาล 0.0%)	3.91 ± 0.03	0.47 ± 0.02	95.24 ± 7.81
8 (ซีอิ๊วขาว 5.0% พริกไทย 1.5% น้ำตาล 1.5%)	3.94 ± 0.04	0.48 ± 0.02	91.24 ± 7.68
9 (ซีอิ๊วขาว 5.0% พริกไทย 0.0% น้ำตาล 3.0%)	3.90 ± 0.04	0.46 ± 0.02	96.09 ± 5.53

หมายเหตุ: ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตาราง 11 ปริมาณความชื้น ค่า a_w และค่าความกรอบของสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรส ที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งหลังผ่านการทอด

สิ่งทดลอง	ความชื้น (ร้อยละ)^{ns}	ค่า a_w ^{ns}	ค่าความกรอบ (gram)^{ns}
1 (ซีอิ๊วขาว 7.0% พริกไทย 3.0%น้ำตาล 0.0%)	9.96 ± 0.03	0.56 ± 0.04	83.25 ± 5.63
2 (ซีอิ๊วขาว 7.0% พริกไทย 1.5% น้ำตาล 1.5%)	9.96 ± 0.02	0.58 ± 0.02	84.17 ± 7.73
3 (ซีอิ๊วขาว 7.0% พริกไทย 0.0% น้ำตาล 3.0%)	9.94 ± 0.03	0.57 ± 0.02	84.63 ± 8.73
4 (ซีอิ๊วขาว 6.0% พริกไทย 3.0% น้ำตาล 0.0%)	9.95 ± 0.03	0.58 ± 0.03	85.33 ± 8.95
5 (ซีอิ๊วขาว 6.0% พริกไทย 1.5% น้ำตาล 1.5%)	9.94 ± 0.02	0.57 ± 0.03	84.51 ± 7.86
6 (ซีอิ๊วขาว 6.0% พริกไทย 0.0% น้ำตาล 3.0%)	9.95 ± 0.04	0.56 ± 0.03	84.03 ± 7.93
7 (ซีอิ๊วขาว 5.0% พริกไทย 3.0% น้ำตาล 0.0%)	9.95 ± 0.04	0.57 ± 0.04	83.17 ± 6.07
8 (ซีอิ๊วขาว 5.0% พริกไทย 1.5% น้ำตาล 1.5%)	9.93 ± 0.03	0.58 ± 0.02	82.72 ± 6.12
9 (ซีอิ๊วขาว 5.0% พริกไทย 0.0% น้ำตาล 3.0%)	9.94 ± 0.04	0.57 ± 0.04	83.76 ± 6.60

หมายเหตุ: ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. ค่าสีของสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาด และเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งหลังผ่านการทอด

จากการศึกษาค่าสีของสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ผ่านการทำแห้งทั้ง 2 วิธี หลังผ่านการทอดแล้ว พบว่าสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ทำแห้งโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบถาด มีค่า L^* อยู่ในช่วง 28.53 ถึง 29.71 ค่า a^* อยู่ในช่วง -3.15 ถึง -2.83 และค่า b^* อยู่ในช่วง 9.22 ถึง 9.90 ส่วนสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ทำแห้งโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง พบว่า มีค่า L^* อยู่ในช่วง 28.53 ถึง 29.71 ค่า a^* อยู่ในช่วง -3.15 ถึง -2.83 และค่า b^* อยู่ในช่วง 9.22 ถึง 9.90 ซึ่งผลิตภัณฑ์สาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ผ่านการทำแห้งทั้ง 2 วิธี หลังผ่านการทอดแล้ว มีสีเขียวทั้ง 9 สิ่งทดลอง ซึ่งค่าสีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) อาจเนื่องมาจากเครื่องปรุงรสที่เติมลงไปมีปริมาณที่ไม่เท่ากันจึงอาจทำให้มีค่าสีแตกต่างกัน โดยสิ่งทดลองที่ 9 (ซีอิ๊วขาวร้อยละ 5.00 พริกไทยร้อยละ 0.00 และน้ำตาลร้อยละ 3.00) มีค่าความสว่างมากที่สุด อาจเนื่องมาจากมีการเติมซีอิ๊วขาวในปริมาณที่น้อยกว่าสิ่งทดลองอื่น ๆ และสิ่งทดลองที่ 1 (ซีอิ๊วขาว

ร้อยละ 7.00 พริกไทยร้อยละ 3.00 และน้ำตาลร้อยละ 0.00) มีค่าความสว่างน้อยที่สุด เนื่องมาจากมีการเติมซีอิ๊วขาวในปริมาณที่มากกว่าสิ่งทดลองอื่น ๆ ดังแสดงในตาราง 12 และตาราง 13

ตาราง 12 ค่าสีของสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดหลังผ่านการทอด

สิ่งทดลอง	ค่าสี		
	L^*	a^*	b^*
1 (ซีอิ๊วขาว 7.0% พริกไทย 3.0%น้ำตาล 0.0%)	$28.53^{cd} \pm 0.11$	$-2.89^{a} \pm 0.04$	$9.49^{c} \pm 0.07$
2 (ซีอิ๊วขาว 7.0% พริกไทย 1.5% น้ำตาล 1.5%)	$28.56^{cd} \pm 0.12$	$-2.84^{a} \pm 0.07$	$9.55^{c} \pm 0.06$
3 (ซีอิ๊วขาว 7.0% พริกไทย 0.0% น้ำตาล 3.0%)	$28.29^{d} \pm 0.10$	$-2.87^{a} \pm 0.06$	$9.56^{c} \pm 0.07$
4 (ซีอิ๊วขาว 6.0% พริกไทย 3.0% น้ำตาล 0.0%)	$28.55^{cd} \pm 0.15$	$-2.83^{a} \pm 0.06$	$9.66^{b} \pm 0.05$
5 (ซีอิ๊วขาว 6.0% พริกไทย 1.5% น้ำตาล 1.5%)	$28.55^{cd} \pm 0.26$	$-2.87^{a} \pm 0.04$	$9.85^{a} \pm 0.05$
6 (ซีอิ๊วขาว 6.0% พริกไทย 0.0% น้ำตาล 3.0%)	$28.72^{cd} \pm 0.16$	$-2.89^{a} \pm 0.05$	$9.90^{a} \pm 0.04$
7 (ซีอิ๊วขาว 5.0% พริกไทย 3.0% น้ำตาล 0.0%)	$28.86^{ab} \pm 0.06$	$-2.92^{a} \pm 0.05$	$9.89^{a} \pm 0.08$
8 (ซีอิ๊วขาว 5.0% พริกไทย 1.5% น้ำตาล 1.5%)	$29.22^{a} \pm 0.07$	$-3.13^{b} \pm 0.08$	$9.08^{e} \pm 0.05$
9 (ซีอิ๊วขาว 5.0% พริกไทย 0.0% น้ำตาล 3.0%)	$29.71^{a} \pm 0.25$	$-3.15^{b} \pm 0.09$	$9.22^{d} \pm 0.11$

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

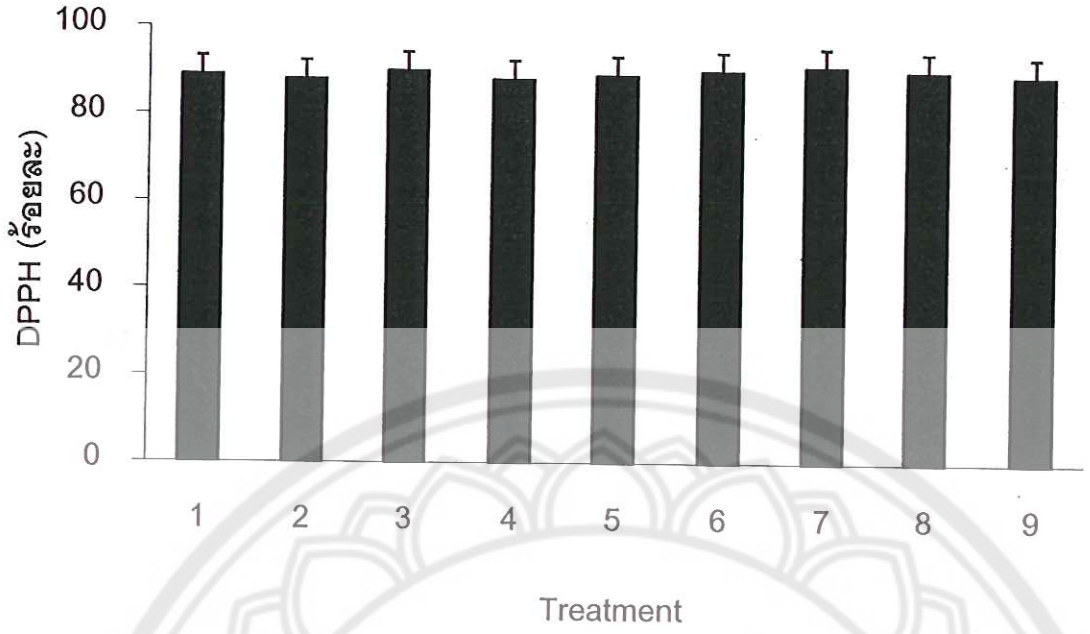
ตาราง 13 ค่าสีของสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งหลังผ่านการทอด

สิ่งทดลอง	ค่าสี		
	L^*	a^*	b^*
1 (ซีอิ๊วขาว 7.0% พริกไทย 3.0%น้ำตาล 0.0%)	$39.60^{b} \pm 0.04$	$-0.89^{a} \pm 0.07$	$15.61^{e} \pm 0.03$
2 (ซีอิ๊วขาว 7.0% พริกไทย 1.5% น้ำตาล 1.5%)	$39.60^{b} \pm 0.04$	$-0.97^{b} \pm 0.03$	$15.67^{d} \pm 0.04$
3 (ซีอิ๊วขาว 7.0% พริกไทย 0.0% น้ำตาล 3.0%)	$39.60^{b} \pm 0.07$	$-1.04^{cd} \pm 0.02$	$15.73^{bc} \pm 0.04$
4 (ซีอิ๊วขาว 6.0% พริกไทย 3.0% น้ำตาล 0.0%)	$39.68^{b} \pm 0.03$	$-0.99^{bc} \pm 0.02$	$15.70^{cd} \pm 0.02$
5 (ซีอิ๊วขาว 6.0% พริกไทย 1.5% น้ำตาล 1.5%)	$39.71^{b} \pm 0.05$	$-1.02^{cd} \pm 0.02$	$15.73^{bc} \pm 0.03$
6 (ซีอิ๊วขาว 6.0% พริกไทย 0.0% น้ำตาล 3.0%)	$39.74^{b} \pm 0.04$	$-1.07^{de} \pm 0.04$	$15.83^{a} \pm 0.03$
7 (ซีอิ๊วขาว 5.0% พริกไทย 3.0% น้ำตาล 0.0%)	$39.77^{b} \pm 0.04$	$-1.03^{cd} \pm 0.03$	$15.71^{cd} \pm 0.02$
8 (ซีอิ๊วขาว 5.0% พริกไทย 1.5% น้ำตาล 1.5%)	$39.83^{b} \pm 0.04$	$-1.07^{de} \pm 0.04$	$15.82^{a} \pm 0.04$
9 (ซีอิ๊วขาว 5.0% พริกไทย 0.0% น้ำตาล 3.0%)	$40.24^{a} \pm 0.59$	$-1.11^{e} \pm 0.02$	$15.77^{b} \pm 0.04$

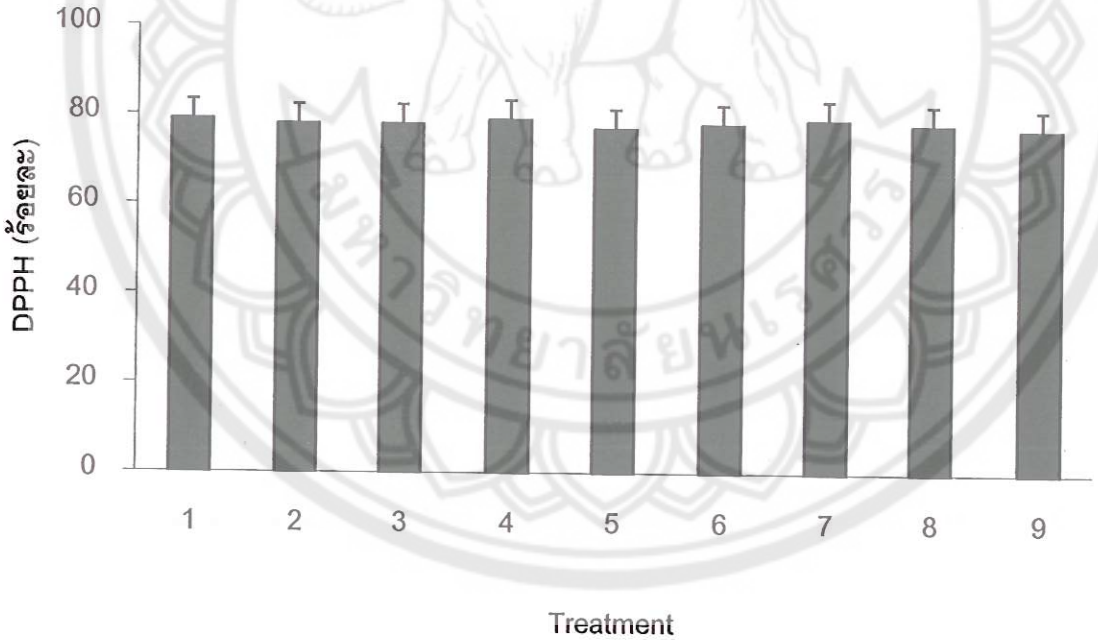
หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3. กิจกรรมต้านอนุมูลอิสระของสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาด และเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งหลังผ่านการทอด

เมื่อนำสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ผ่านการทำแห้งทั้ง 2 วิธี วัดค่า % Inhibition พบว่าสาหร่ายเทาน้ำปรุงรสที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาด สามารถยับยั้ง DPPH$^{\cdot}$ radical ทั้ง 9 สิ่งทดลอง และสิ่งทดลองที่ 7 (ซีอิ๊วขาวร้อยละ 5.00 พริกไทยร้อยละ 3.00 น้ำตาลร้อยละ 0.00) สามารถยับยั้งได้ดีที่สุด คือ มีค่า DPPH เท่ากับร้อยละ 91.00 แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับสิ่งทดลองอื่น ๆ โดยมีค่า DPPH อยู่ในช่วงร้อยละ 88.00 ถึง 91.00 ดังแสดงในภาพ 37 ส่วนสาหร่ายเทาน้ำปรุงรสที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง สามารถยับยั้ง DPPH$^{\cdot}$ radical ได้ทั้ง 9 สิ่งทดลองเช่นกัน และสิ่งทดลองที่ 4 (ซีอิ๊วขาวร้อยละ 6.00 พริกไทยร้อยละ 3.00 และน้ำตาลร้อยละ 0.00) สามารถยับยั้งได้ดีที่สุด คือ มีค่า DPPH เท่ากับร้อยละ 79.00 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับสิ่งทดลองอื่น ๆ เช่นกัน โดยมีค่า DPPH อยู่ในช่วงร้อยละ 77.00 ถึง 79.00 ดังแสดงในภาพ 38



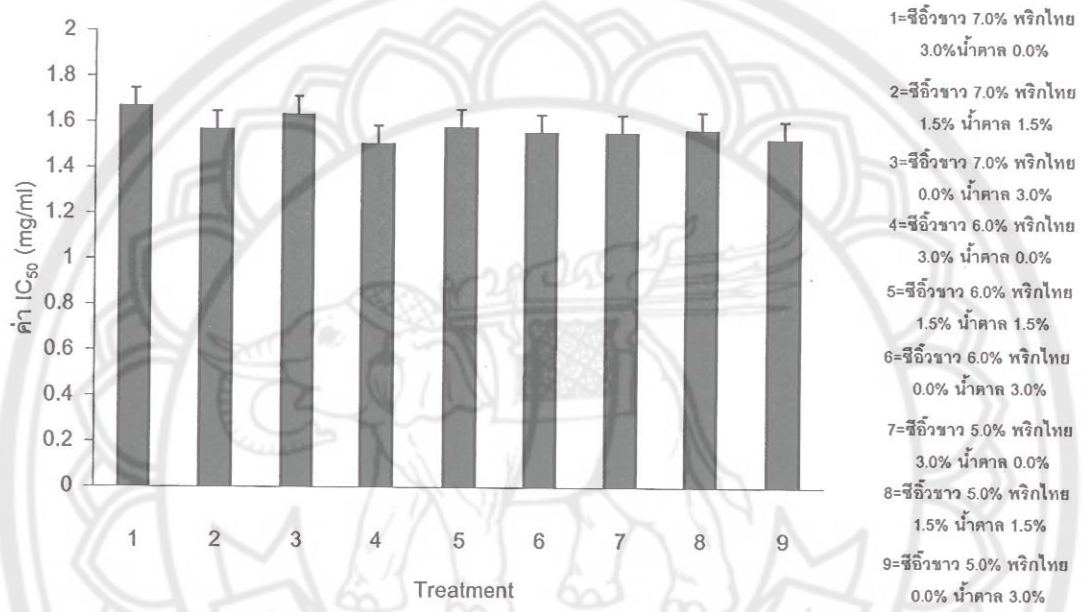
ภาพ 37 ค่า DPPH ของสาหร่ายเทาน้ำปรุงรสที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาด ทั้ง 9 สิ่งทดลองหลังผ่านการทอด



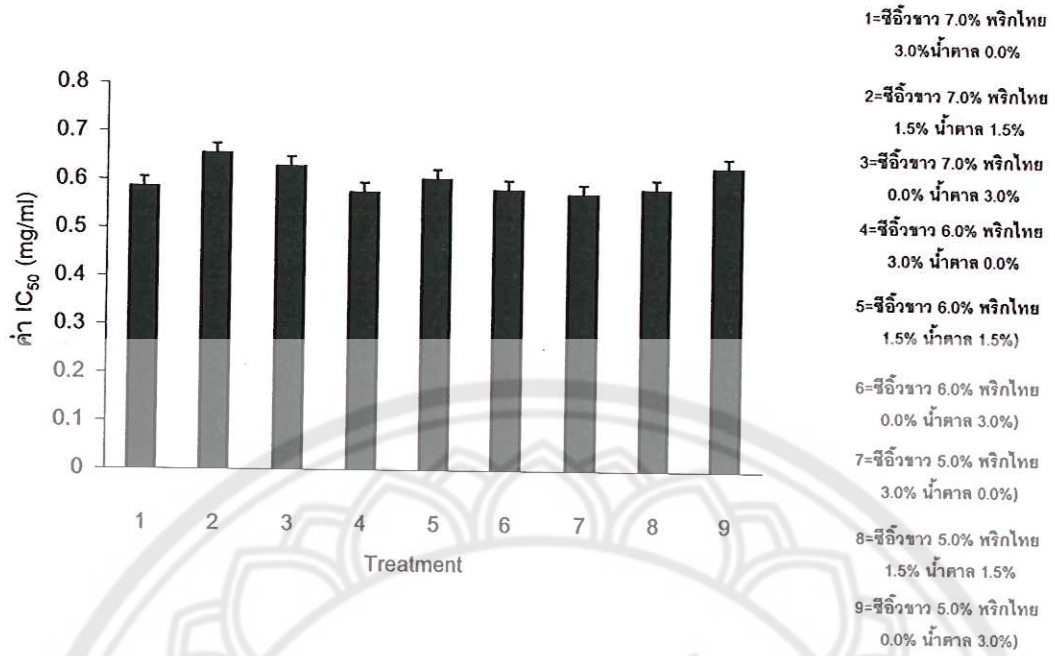
ภาพ 38 ค่า DPPH ของสาหร่ายเทาน้ำปรุงรสที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งทั้ง 9 สิ่งทดลองหลังผ่านการทอด

จากการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ โดยทดสอบด้วยวิธี ABTS และรายงานผลเป็นค่า IC_{50} ซึ่งหมายถึง ความเข้มข้นของสารต้านอนุมูลอิสระ ที่ทำให้ความเข้มข้นของอนุมูลอิสระลดลงร้อยละ 50 โดยพิจารณาจากค่าที่มีค่าน้อยจะมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่สูงกว่าค่าที่มีค่ามาก พบว่า สาหร่ายเทา

น้ำอบแห้งปรุงรสที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดหลังผ่านการทอด ทั้ง 9 สิ่งทดลอง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และสิ่งทดลองที่ 4 มีค่า IC_{50} น้อยที่สุดเท่ากับ 1.51 mg/ml รองลงมาคือ สิ่งทดลองที่ 9 7 6 2 8 5 3 และ 1 ซึ่งมีค่า IC_{50} เท่ากับ 1.53 1.55 1.57 1.57 1.58 1.63 และ 1.67 mg/ml ($p>0.05$) ตามลำดับ ดังแสดงในภาพ 39 ส่วนสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งหลังผ่านการทอด พบว่าสิ่งทดลองที่ 7 8 4 6 และ 1 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่า IC_{50} น้อยที่สุดเท่ากับ 0.57 0.58 0.58 0.58 และ 0.58 mg/ml ตามลำดับ แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับสิ่งทดลองที่ 5 3 9 และ 2 มีค่าเท่ากับ 0.60 0.63 0.63 0.66 mg/ml ตามลำดับ ดังแสดงในภาพ 40



ภาพ 39 Scavenging activity of ABTS radical (IC_{50}) ของการสกัดสาหร่ายเทาน้ำทั้ง 9 สิ่งทดลอง (เครื่องทำแห้งแบบถาด) หลังผ่านการทอด



ภาพ 40 Scavenging activity of ABTS radical (IC_{50}) ของการสกัดสาหร่ายเทาน้ำทั้ง 9 สิ่งทดลอง (เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง) หลังผ่านการทอด

4. ผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสของสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาด และเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งหลังผ่านการทอด

นำตัวอย่างสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาด และเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งหลังผ่านการทอดมาทำการประเมินทางด้านประสาทสัมผัส โดยใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝน 10 คน สอบถามคุณลักษณะของสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสทางด้านสี ความกรอบ กลิ่น รสเค็ม รสหวาน และความชอบรวม ใช้แบบสอบถาม 9-point hedonic scale เมื่อระดับคะแนน 1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด และระดับคะแนน 9 หมายถึง ชอบมากที่สุด ทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสของสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดที่มีอัตราส่วนเครื่องปรุงรส คือ ซีอิ๊วขาว พริกไทย และน้ำตาลในปริมาณที่แตกต่างกัน พบว่า กลิ่น รสหวาน รสเค็ม ความกรอบ ความชอบโดยรวมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ส่วนทางด้านสีไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสสูตรที่ 8 ที่มีการเติมซีอิ๊วขาว พริกไทย และน้ำตาลร้อยละ 5.00 1.50 และ 1.50 ตามลำดับ ได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสทางด้านสี กลิ่น รสหวาน รสเค็ม ความกรอบ และความชอบโดยรวมสูงที่สุด ($p<0.05$) โดยอยู่ในระดับความชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง ดังแสดงในตาราง 14 ดังนั้นจึงเลือกสูตรที่ 8 ที่ได้การยอมรับสูงทุกคุณลักษณะนำไปวิเคราะห์อายุการเก็บรักษาในขั้นตอนต่อไป ส่วนสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งหลังผ่านการทอด พบว่า เมื่อทำการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสในด้าน กลิ่น รสหวาน รสเค็ม ความกรอบ ความชอบโดยรวมของสาหร่ายอบแห้งปรุงรสที่มีอัตราส่วนเครื่องปรุงรส คือ ซีอิ๊วขาว พริกไทย และน้ำตาลในปริมาณที่แตกต่างกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ทุกคุณลักษณะ และพบว่าสาหร่ายอบแห้งปรุงรสสูตรที่ 9 ที่มีการเติมซีอิ๊วขาว พริกไทย และน้ำตาลร้อยละ 1.50 0.00 และ 3.00 ตามลำดับ ได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสทางด้านสี กลิ่น รสหวาน รสเค็ม ความกรอบ และความชอบโดยรวมสูงที่สุด โดยอยู่

ในระดับความชอบเล็กน้อย ดังแสดงในตาราง 15 ดังนั้นจึงเลือกสูตรที่ 9 ที่ได้การยอมรับสูงทุกคุณลักษณะนำไปวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

ตาราง 14 คะแนนการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสของสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดหลังผ่านการทอด

สิ่งทดลอง	คุณลักษณะ					
	สี^{ns}	กลิ่น	รสหวาน	รสเค็ม	ความกรอบ	ความชอบรวม
1 (ซีอิ๊วขาว 7.0% พริกไทย 3.0% น้ำตาล 0.0%)	5.9±1.73	5.5^{c}±1.80	4.5^{c}±1.96	5.5^{c}±1.51	6.2^{c}±1.40	6.0^{bc}±0.82
2 (ซีอิ๊วขาว 7.0% พริกไทย 1.5% น้ำตาล 1.5%)	6.6±0.84	6.8^{abc}±0.92	7.0^{ab}±0.82	6.8^{ab}±0.79	7.0^{abc}±0.67	6.9^{bc}±0.57
3 (ซีอิ๊วขาว 7.0% พริกไทย 0.0% น้ำตาล 3.00%)	6.1±1.66	5.6^{c}±1.90	5.6^{bc}±2.46	6.1^{bc}±1.37	6.6^{c}±1.07	6.5^{bc}±1.02
4 (ซีอิ๊วขาว 6.00% พริกไทย 3.00% น้ำตาล 0.0%)	6.1±1.52	6.1^{bc}±1.80	5.8^{bc}±1.93	6.2^{bc}±1.75	7.0^{abc}±0.82	6.6^{bc}±1.43
5 (ซีอิ๊วขาว 6.0% พริกไทย 1.5% น้ำตาล 1.5%)	6.1±1.91	6.2^{abc}±0.79	6.8^{ab}±0.79	7.1^{ab}±0.74	7.1^{abc}±0.99	6.8^{bc}±0.63
6 (ซีอิ๊วขาว 6.0% พริกไทย 0.0% น้ำตาล 3.0%)	6.8±1.40	7.1^{ab}±1.20	7.3^{a}±0.82	7.1^{ab}±0.88	7.5^{ab}±0.85	7.4^{ab}±0.70
7 (ซีอิ๊วขาว 5.0% พริกไทย 3.0% น้ำตาล 0.0%)	6.5±0.97	6.0^{bc}±1.05	6.5^{ab}±0.85	6.3^{bc}±1.06	7.1^{abc}±0.88	6.6^{bc}±0.70
8 (ซีอิ๊วขาว 5.0% พริกไทย 1.5% น้ำตาล 1.5%)	6.8±0.88	7.5^{a}±0.71	7.4^{a}±1.75	7.7^{a}±0.48	7.7^{a}±0.67	7.9^{a}±0.32
9 (ซีอิ๊วขาว 5.0% พริกไทย 0.0% น้ำตาล 3.00%)	5.8±1.88	5.8^{bc}±1.62	6.5^{ab}±2.17	6.8^{ab}±1.03	6.5^{bc}±1.35	6.8^{bc}±1.23

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตาราง 15 คะแนนการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสของสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งหลังผ่านการทอด

สิ่งทดลอง	คุณลักษณะ					
	สี^{ns}	กลิ่น^{ns}	รสหวาน^{ns}	รสเค็ม^{ns}	ความกรอบ^{ns}	ความชอบรวม^{ns}
1 (ซีอิ๊วขาว 7.0% พริกไทย 3.0% น้ำตาล 0.0%)	6.1±1.20	5.8±0.92	6.4±0.84	5.8±1.48	6.0±1.15	6.1±1.10
2 (ซีอิ๊วขาว 7.0% พริกไทย 1.5% น้ำตาล 1.5%)	6.2±1.14	6.2±1.14	6.0±0.82	6.1±1.10	6.2±1.14	6.5±0.71
3 (ซีอิ๊วขาว 7.0% พริกไทย 0.0% น้ำตาล 3.0%)	6.2±1.14	5.8±1.32	6.6±0.84	6.5±0.85	6.2±1.14	6.7±0.67
4 (ซีอิ๊วขาว 6.0% พริกไทย 3.0% น้ำตาล 0.0%)	6.4±1.07	6.0±1.05	6.6±0.97	6.4±0.84	6.1±1.10	6.2±1.14
5 (ซีอิ๊วขาว 6.0% พริกไทย 1.5% น้ำตาล 1.5%)	6.0±1.25	6.4±1.26	6.1±0.99	6.4±1.26	6.4±0.84	6.6±0.97
6 (ซีอิ๊วขาว 6.0% พริกไทย 0.0% น้ำตาล 3.0%)	6.9±0.99	6.2±1.14	6.5±1.08	6.4±0.84	6.6±0.97	6.3±0.82
7 (ซีอิ๊วขาว 5.0% พริกไทย 3.0% น้ำตาล 0.0%)	6.9±0.74	5.8±1.48	6.5±0.85	6.4±1.26	6.2±0.92	6.8±0.79
8 (ซีอิ๊วขาว 5.0% พริกไทย 1.5% น้ำตาล 1.5%)	6.6±0.97	6.0±0.94	6.3±0.95	6.4±1.07	6.7±0.67	6.6±0.97
9 (ซีอิ๊วขาว 5.0% พริกไทย 0.0% น้ำตาล 3.0%)	6.9±0.74	6.3±1.34	6.4±0.84	6.1±1.10	6.6±0.97	6.9±0.74

หมายเหตุ: ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากการศึกษาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรส พบว่าสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสสูตรที่เหมาะสมในการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาด ประกอบด้วยสาหร่ายเทาน้ำร้อยละ 19.60 แป้งข้าวเหนียวร้อยละ 39.20 น้ำสะอาดร้อยละ 39.20 ซีอิ๊วขาว พริกไทย และน้ำตาล ร้อยละ 5.00, 1.50 และ 1.50 ตามลำดับ ส่วนสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสสูตรที่เหมาะสมในการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง ประกอบด้วยสาหร่ายเทาน้ำร้อยละ18.50 แป้งข้าวเหนียวร้อยละ 37.00 น้ำสะอาดร้อยละ 37.00 แบะแซร้อยละ 5.50 ซีอิ๊วขาว พริกไทย และน้ำตาล ร้อยละ 5.00, 0.00 และ 3.00 ตามลำดับ

ตอนที่ 4 ศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์สาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรส

จากการศึกษาอายุการเก็บรักษาโดยนำสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาด และเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งหลังผ่านการทอดที่คัดเลือกได้จากตอนที่ 3 มาบรรจุในซองอลูมิเนียมฟอยล์ที่เก็บรักษา 3 สภาวะ คือ 30 (อุณหภูมิห้อง) อุณหภูมิเร่ง 35 และอุณหภูมิเร่ง 45 °C ในตู้บ่ม จากนั้นสุ่มตัวอย่างมาตรวจสอบคุณภาพทุก 7 วัน ปัจจัยคุณภาพที่ตรวจสอบ ได้แก่ ความกรอบ สี a_w ปริมาณกรดไธโอบาบิทูริก (TBA) ตามวิธีของ Kirk and Sawyer (1991) ปริมาณความชื้น กิจกรรมต้านอนุมูลอิสระ คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point hedonic ranting scale โดยใช้ผู้ทดสอบชิมที่ผ่านการฝึกฝน 10 คน และปริมาณจุลินทรีย์ โดยเลือกคุณภาพที่เป็นจุดวิกฤตในการทำนายอายุการเก็บรักษา ได้แก่ กลิ่นหืน จากนั้นทำนายอายุการเก็บรักษาของสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรส ตามวิธี ASLT (Labuza, 1985)

1. คุณภาพด้านจุลชีววิทยา

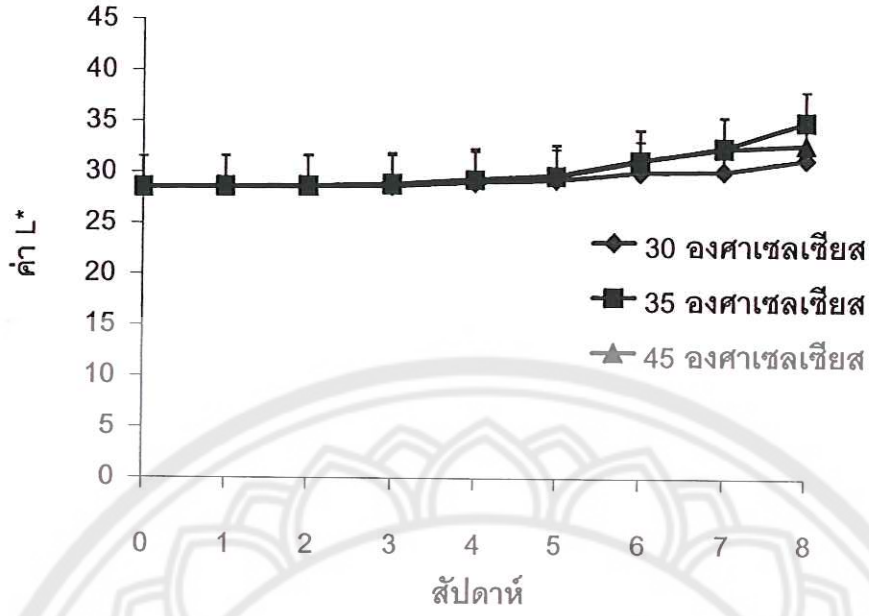
จากการศึกษาคุณภาพด้านจุลชีววิทยา พบว่าผลการตรวจคุณภาพทางจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์สาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาด และเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งหลังผ่านการทอด ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 35 และ 45 °C พบว่ามีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า 100 โคโลนีต่อกรัม จำนวนเชื้อยีสต์และราน้อยกว่า 10 โคโลนีต่อกรัม และเอสเชอ ริเชีย โคไล โดยวิธีเอ็มพีเอ็นน้อยกว่า 3 เอ็มพีเอ็นต่อกรัม ดังแสดงในตาราง 16 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนสาหร่ายน้ำจืดอบ (2547) ตลอดอายุการเก็บรักษา 8 สัปดาห์ ทั้ง 3 อุณหภูมิ อาจเนื่องมาจากสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาด และเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งหลังผ่านการทอด มีค่า a_w ต่ำ โดยเชื้อจุลินทรีย์จะเจริญเติบโตภายใต้ค่า a_w ที่จำกัด จึงทำให้ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ที่ค่า a_w ต่ำกว่า 0.90 และราส่วนใหญ่จะไม่เจริญเติบโตที่ค่า a_w ต่ำกว่า 0.70 ซึ่งเป็นค่าที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ (รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต และไพศาล วุฒิจำนง, 2545, หน้า 87)

ตาราง 16 คุณภาพด้านจุลชีววิทยาของสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาด และเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งหลังผ่านการทอด

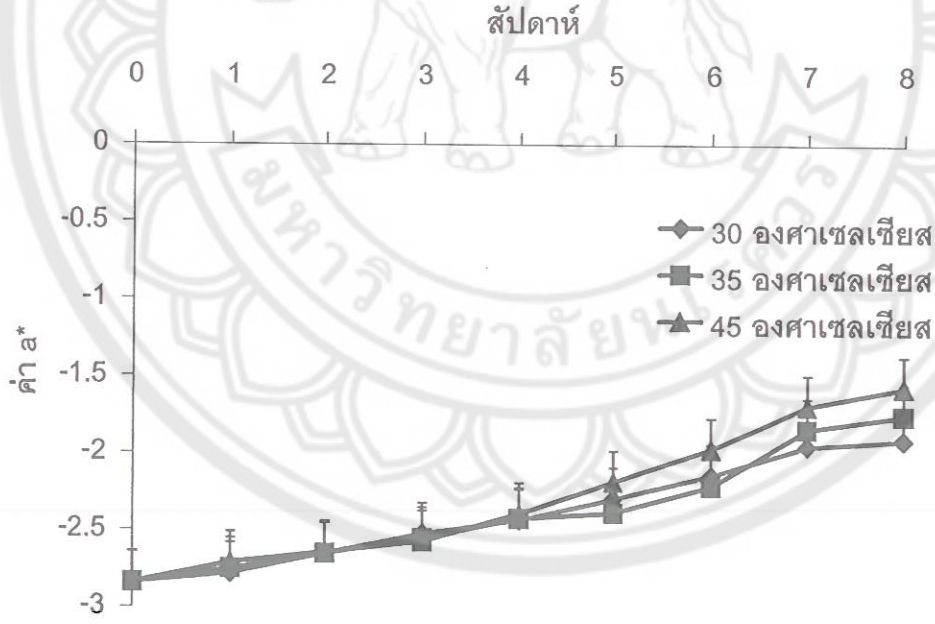
	การอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน	การทำแห้งด้วยลูกกลิ้ง
จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (โคโลนีต่อกรัม)	< 100	< 100
จำนวนเชื้อยีสต์และรา (โคโลนีต่อกรัม)	< 10	< 10
เอสเชอริเชีย โคไล โดยวิธีเอ็มพีเอ็ม (เอ็มพีเอ็นต่อกรัม)	< 3	< 3

2. ค่าสีของสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาด และเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งหลังผ่านการทอดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 35 และ 45 °C

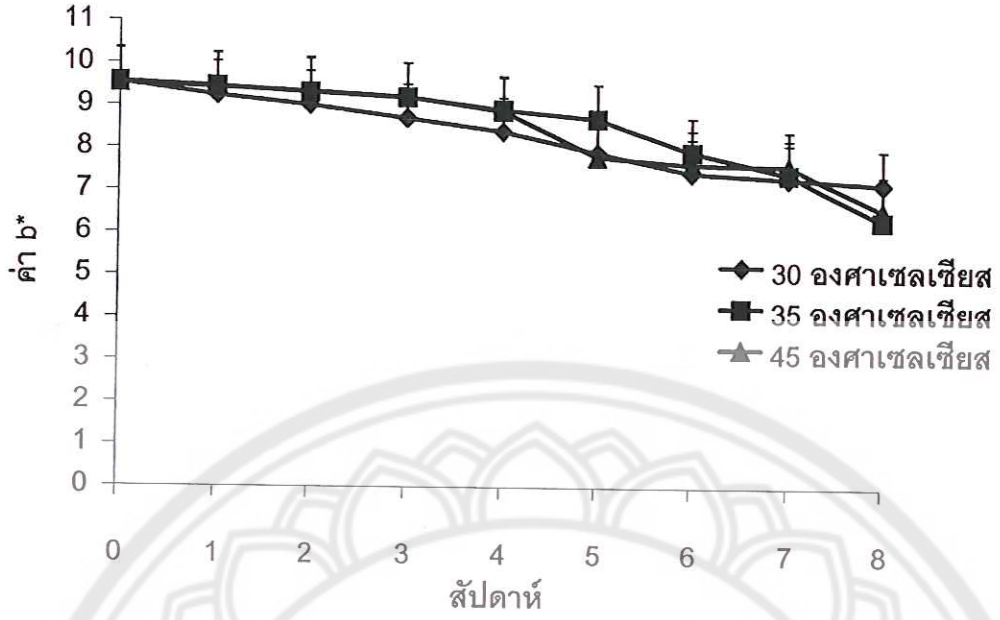
จากการศึกษาค่าสีของสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดหลังผ่านการทอดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 35 และ 45 °C พบว่า ค่า L* ค่า a* และค่า b* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังแสดงในภาพ 41 ภาพ 42 และภาพ 43 ตามลำดับ พบว่าสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสสัปดาห์ที่ 0 มีค่า L* เท่ากับ 28.56 ค่า a* เท่ากับ -2.84 และค่าสี b* เท่ากับ 9.55 ส่วนสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงที่ผ่านการเก็บรักษานาน 8 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 30 °C มีค่า L* เท่ากับ 31.43 ค่า a* เท่ากับ -1.91 และค่า b* เท่ากับ 7.19 ที่อุณหภูมิ 35 °C มีค่า L* เท่ากับ 35.10 ค่า a* เท่ากับ -1.75 และค่า b* เท่ากับ 6.33 ที่อุณหภูมิ 45 °C มีค่า L* เท่ากับ 32.86 ค่า a* เท่ากับ -1.57 และค่า b* เท่ากับ 6.58 จะเห็นได้ว่าค่า L* มีค่าเพิ่มขึ้นทั้ง 3 อุณหภูมิที่เก็บรักษาเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ส่วนค่า a* และค่า b* มีค่าลดลง ซึ่งอาหารที่ผ่านการทำแห้งมักมีสีเข้มขึ้น เนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Irwandi, et al. (1998) พบว่าทุเรียนแผ่นจะมีค่าแสดงความเป็นสีเหลืองลดลง (b*) เมื่อเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น และค่า a_w 0.62-0.65 เป็นช่วงที่เหมาะสมกับการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล และอุณหภูมิที่ใช้ในระหว่างการเก็บรักษายิ่งเก็บไว้ในที่ที่มีอุณหภูมิสูงสีจะคล้ำขึ้น ซึ่ง นิธิยา รัตนาปนนท์ (2544, หน้า 15) กล่าวว่าในอาหารที่มีความชื้นมากกว่าร้อยละ 4 ถึง 5 และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิสูงกว่า 38 °C จะเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้ง่าย ส่วนสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง พบว่า ค่า L* ค่า a* และค่า b* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังแสดงในภาพ 44 ภาพ 45 และภาพ 46 ตามลำดับ พบว่าสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสสัปดาห์ที่ 0 มีค่า L* เท่ากับ 40.24 ค่า a* เท่ากับ -1.11 และค่า b* เท่ากับ 15.77 ส่วนสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงที่ผ่านการเก็บรักษานาน 8 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 30 °C มีค่า L* เท่ากับ 43.62 ค่า a* เท่ากับ -0.89 และค่า b* เท่ากับ 15.39 ที่อุณหภูมิ 35 °C มีค่า L* เท่ากับ 45.12 ค่า a* เท่ากับ -0.78 และค่า b* เท่ากับ 13.64 ที่อุณหภูมิ 45 °C มีค่า L* เท่ากับ 56.75 ค่า a* เท่ากับ -0.64 และค่า b* เท่ากับ 13.42 จะเห็นได้ว่าค่า L* มีค่าเพิ่มขึ้นทั้ง 3 อุณหภูมิที่เก็บรักษาเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ส่วนค่า a* และค่า b* มีค่าลดลงเช่นเดียวกับการทำแห้งแบบตู้อบลมร้อน



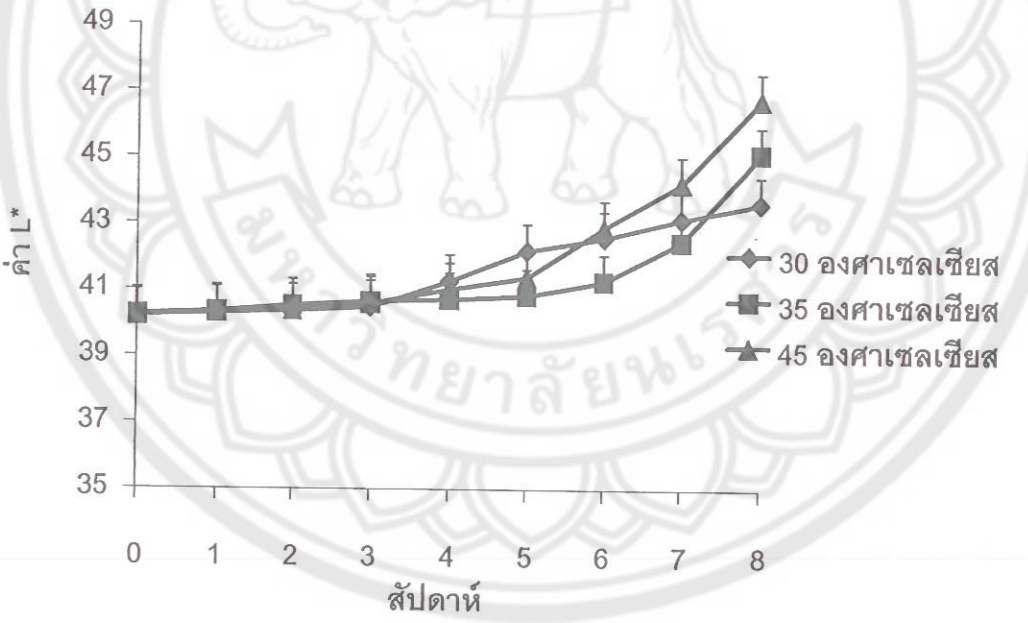
ภาพ 41 ค่า L* ของผลิตภัณฑ์สาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดหลังผ่านการทอดระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่าง ๆ



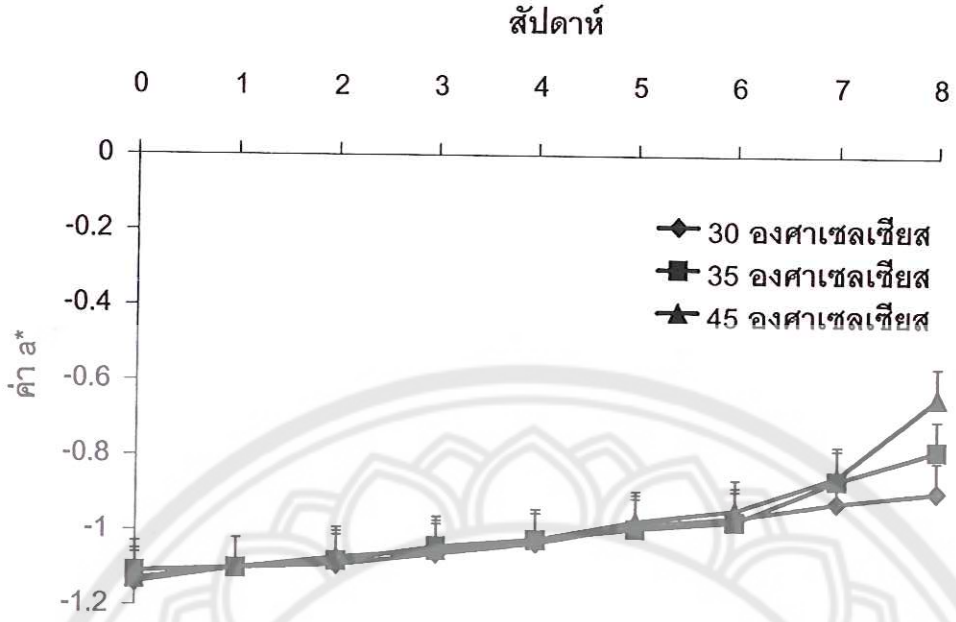
ภาพ 42 ค่า a* ของผลิตภัณฑ์สาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดหลังผ่านการทอดระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่าง ๆ



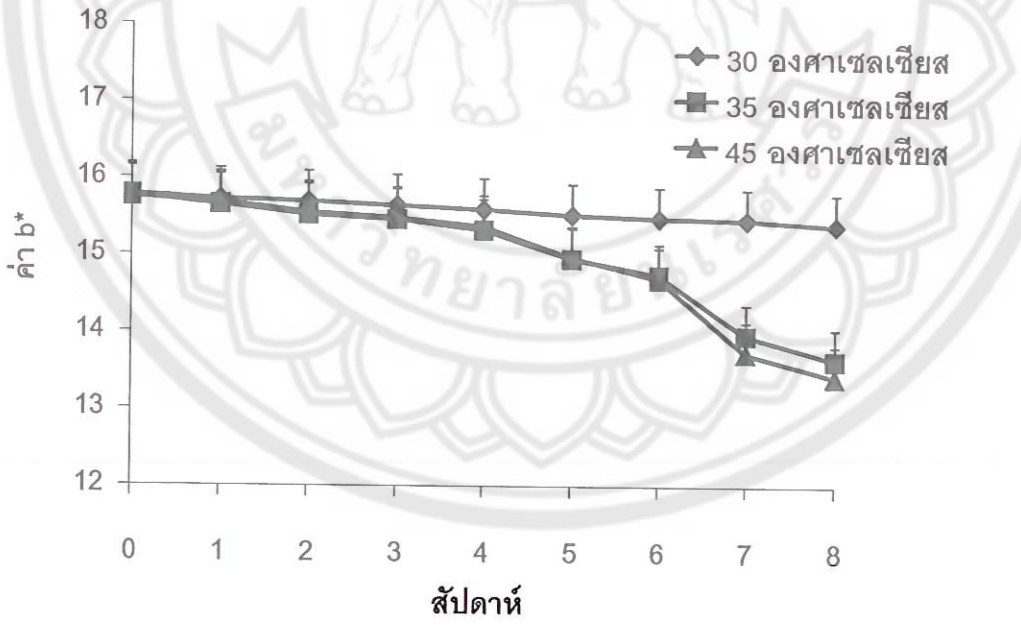
ภาพ 43 ค่า b* ของผลิตภัณฑ์สาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดหลังผ่านการทอดระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่าง ๆ



ภาพ 44 ค่า L* ของผลิตภัณฑ์สาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งหลังผ่านการทอดระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่าง ๆ



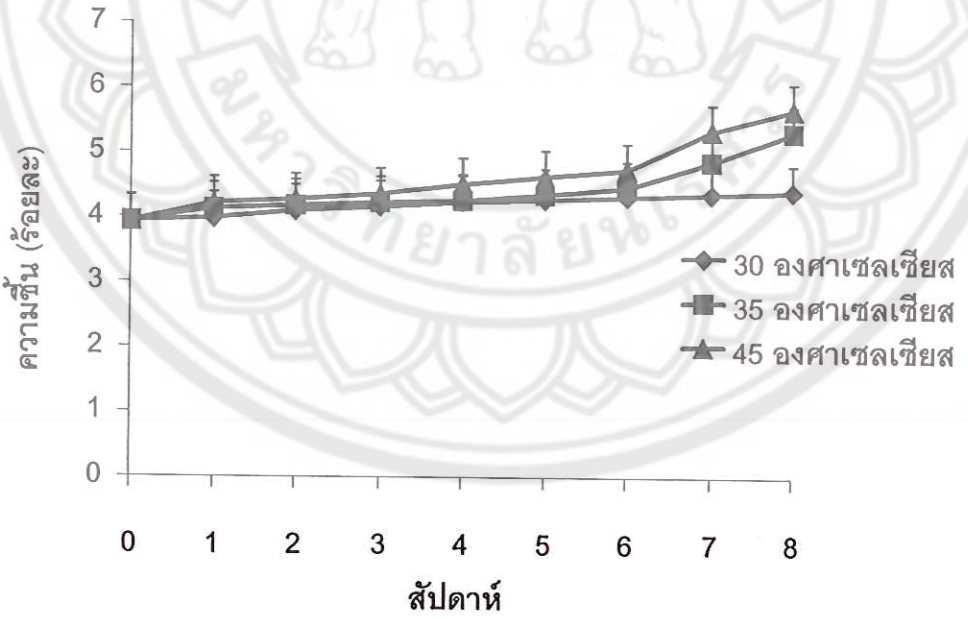
ภาพ 45 ค่า a* ของผลิตภัณฑ์สาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งหลังผ่านการทอดระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่าง ๆ



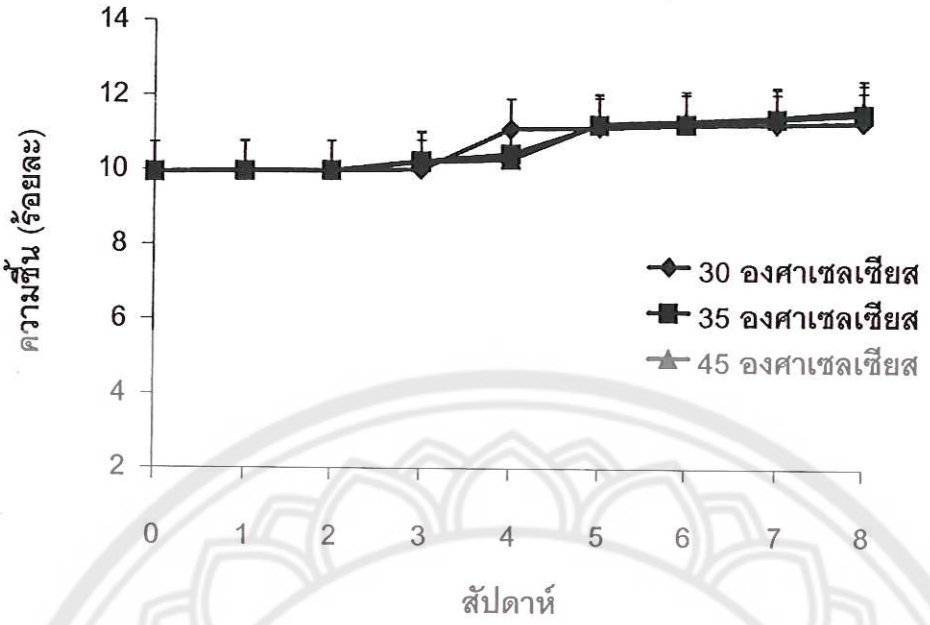
ภาพ 46 ค่า b* ของผลิตภัณฑ์สาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งหลังผ่านการทอดระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่าง ๆ

3. ปริมาณความชื้นของสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาด และเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งหลังผ่านการทอดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 35 และ 45 °C

จากการตรวจสอบปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์สาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดและเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง ระหว่างการเก็บรักษา ดังแสดงในภาพ 47 และภาพ 48 พบว่า เมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์นาน 2 เดือน ปริมาณความชื้นมีค่าเพิ่มขึ้นทั้ง 3 ระดับอุณหภูมิ โดยผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษานาน 8 สัปดาห์ที่อุณหภูมิ 30 35 และ 45 °C มีความชื้นร้อยละ 4.41 5.32 และ 5.67 ตามลำดับ (เครื่องทำแห้งแบบถาด) ส่วนสาหร่ายที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งมีความชื้นร้อยละ 11.32 11.54 และ 11.65 ตามลำดับ แต่เมื่อเทียบที่ 0 สัปดาห์ ปรากฏว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิการเก็บรักษา พบว่าปริมาณความชื้นมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยพบว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์สาหร่าย เทาน้ำอบแห้งปรุงรสระหว่างการเก็บรักษา เนื่องมาจากผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ ซึ่งบรรจุภัณฑ์ชนิดนี้ยังมีอัตราการซึมผ่านของน้ำและก๊าซ (มยุรี ภาคลำเจียก และอมรรัตน์ สวัสดิทัต, 2533, หน้า 28) และอาจเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของค่า a_w แม้ว่าจะใช้บรรจุภัณฑ์เป็นถุงอลูมิเนียมฟอยล์ ที่มีการป้องกันความชื้นได้ดีและมีการปิดผนึก แต่อาหารจะยังดูดซึมและคายน้ำต่อไปจนกระทั่งสภาวะสมดุลของปริมาณอากาศในช่องว่างของบรรจุภัณฑ์เกิดขึ้น ความสัมพันธ์ภายใต้สภาวะสมดุลนี้จะเป็นสภาพที่ไม่ดูดซึมหรือคายน้ำต่อไปอีก ซึ่งค่าสมดุลของอาหารแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน (ปุ่น คงเจริญเกียรติ และสมพร คงเจริญเกียรติ, 2541, หน้า 125-126) ซึ่งความชื้นที่เพิ่มขึ้นนี้จะส่งผลต่อค่าความกรอบทำให้มีค่าความกรอบลดลง และผลการทดสอบชิมผู้บริโภคจะให้คะแนนความชอบโดยรวมน้อยลงด้วย



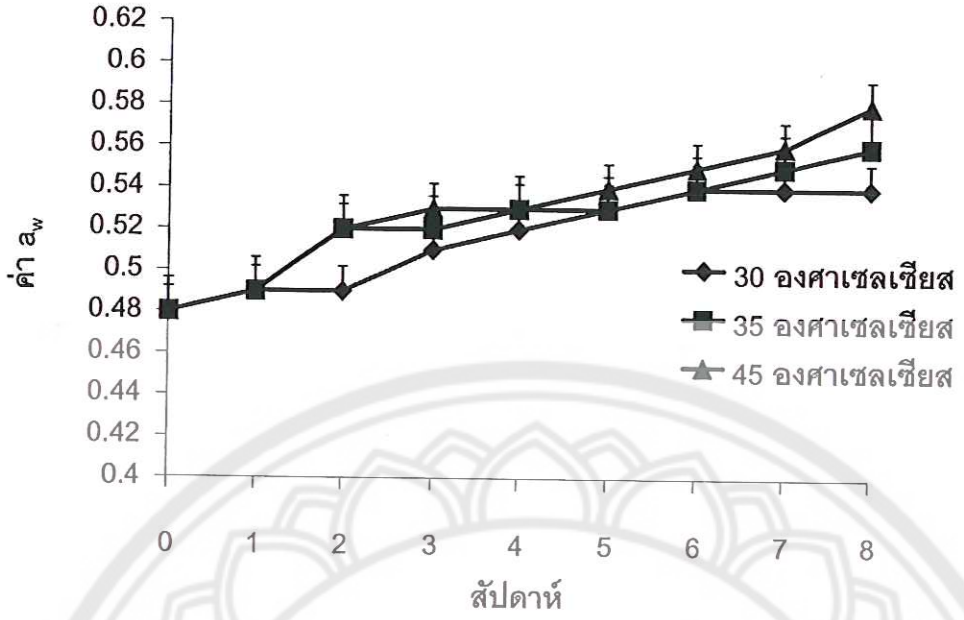
ภาพ 47 การเปลี่ยนแปลงความชื้นในผลิตภัณฑ์สาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดหลังผ่านการทอดระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่าง ๆ



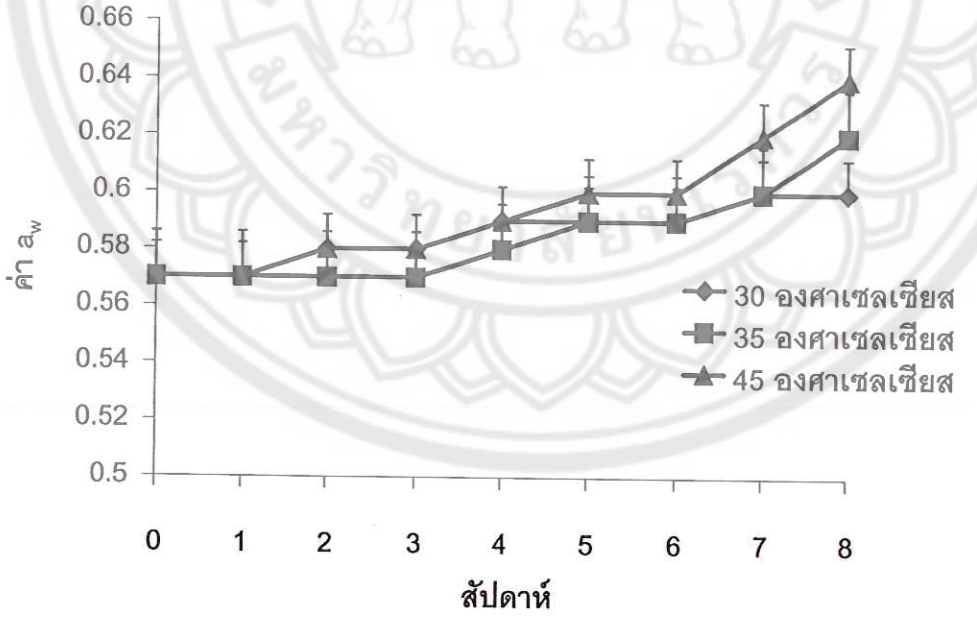
ภาพ 48 การเปลี่ยนแปลงความชื้นในผลิตภัณฑ์สาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งหลังผ่านการทอดระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่าง ๆ

4. ค่า Water Activity (a_w) ของสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาด และเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งหลังผ่านการทอดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 35 และ 45 °C

ค่า Water Activity หรือค่า a_w คือค่าที่ได้จากอัตราส่วนของความดันไอน้ำของสารละลายต่อตัวทำละลายเป็นค่าที่แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ผลจากการวัดค่า a_w ของผลิตภัณฑ์สาหร่ายอบแห้งปรุงรสตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 8 สัปดาห์ แสดงในภาพ 49 และภาพ 50 พบว่า ค่า a_w มีค่าเพิ่มขึ้นทั้ง 3 อุณหภูมิการเก็บรักษาเช่นเดียวกับปริมาณความชื้น กล่าวคือ หลังจากการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 2 เดือนผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 35 และ 45 °C มีค่า a_w เท่ากับ 0.54 0.56 และ 0.58 ตามลำดับ (เครื่องทำแห้งแบบถาด) ส่วนสาหร่ายเทาน้ำที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง มีค่า a_w เท่ากับ 0.60 0.62 และ 0.64 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับ ค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านการเก็บรักษาปรากฏว่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิการเก็บรักษา พบว่า ที่อุณหภูมิการเก็บรักษาที่ 30 °C ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับอุณหภูมิการเก็บรักษาที่ 35 °C ($p>0.05$) แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิการเก็บรักษาที่ 45 °C ($p<0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องจากการบรรจุ หรือการปิดผนึกไม่สมบูรณ์ อาจมีรอยรั่วของถุงอลูมิเนียมฟอยล์ ซึ่งทำให้มีอัตราการซึมผ่านของน้ำและก๊าซได้



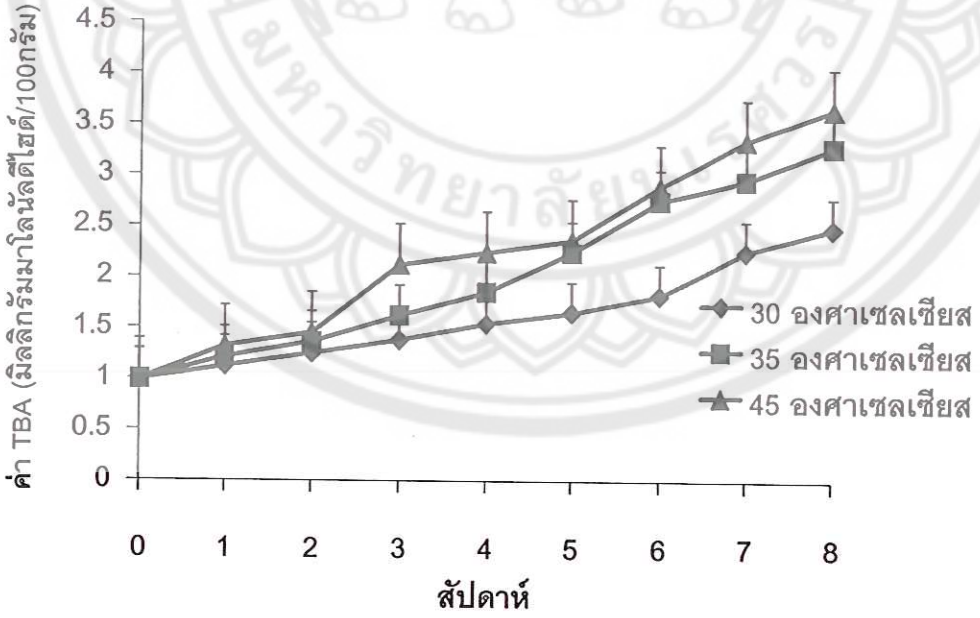
ภาพ 49 การเปลี่ยนแปลงค่า a_w ในผลิตภัณฑ์สาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดหลังผ่านการทอดระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่าง ๆ



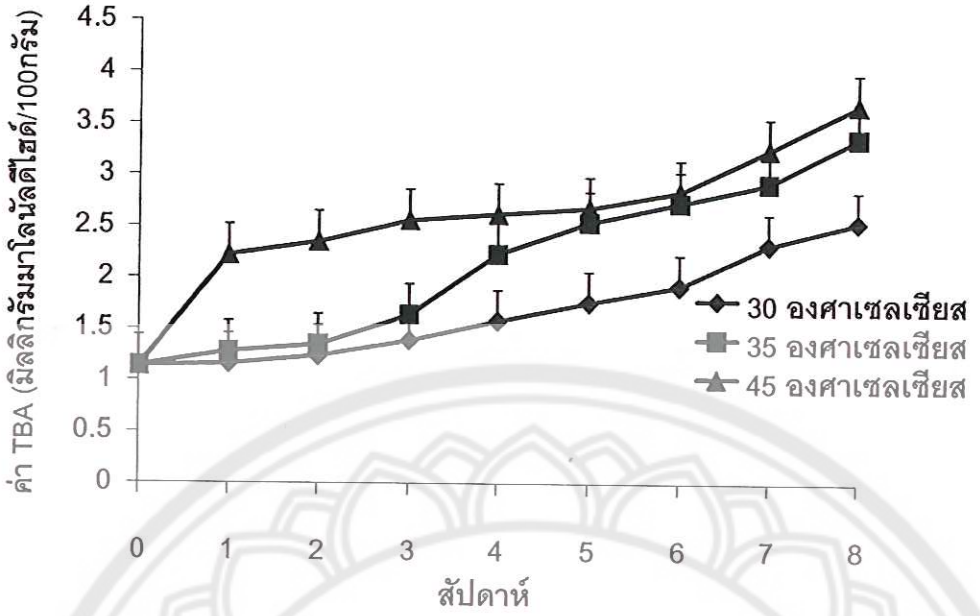
ภาพ 50 การเปลี่ยนแปลงค่า a_w ในผลิตภัณฑ์สาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งหลังผ่านการทอดระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่าง ๆ

5. ปริมาณกรดไธโอบาบิทูริก (TBA) ของสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาด และเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งหลังผ่านการทอดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 35 และ 45 °C

การวัดปริมาณกรดไธโอบาบิทูริก (TBA) เป็นการวัดค่าคุณภาพทางเคมีที่ทำการตรวจสอบในการศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ เพื่อตรวจสอบค่าความหืน และค่า TBA นี้ เป็นค่าที่ใช้ในการบ่งชี้ระดับความหืนของผลิตภัณฑ์ หากค่า TBA สูง ความหืนจะสูงตามไปด้วย ปริมาณ TBA จะแตกต่างกันในแต่ละอาหาร จาการศึกษาปริมาณ TBA ในผลิตภัณฑ์สาหร่ายอบแห้งปรุงรสที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดและเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง พบว่า ปริมาณ TBA มีค่าเพิ่มขึ้นทั้ง 3 อุณหภูมิการเก็บรักษา และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการเก็บรักษา ($p<0.05$) ดังแสดงในภาพ 51 และภาพ 52 สัปดาห์เริ่มต้น ค่า TBA เท่ากับ 0.99 มิลลิกรัมมาโลนัลดีไฮด์/100กรัม (เครื่องทำแห้งแบบถาด) และ 1.14 มิลลิกรัมมาโลนัลดีไฮด์/100กรัม (เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง) และเมื่อเก็บรักษานาน 8 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิเก็บรักษา 3 ระดับได้แก่ 30 35 และ 45 °C ค่า TBA เพิ่มขึ้นเป็น 2.48 3.28 และ 3.65 มิลลิกรัมมาโลนัลดีไฮด์/100กรัม ตามลำดับ (เครื่องทำแห้งแบบถาด) และ 2.54 3.36 และ 3.68 มิลลิกรัมมาโลนัลดีไฮด์/100กรัม ตามลำดับ (เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง) เพราะตลอดเวลาในการเก็บรักษามีการซึมผ่านของอากาศและความชื้นเข้าสู่ภายในบรรจุภัณฑ์ ซึ่งทำให้ไขมันที่เป็นองค์ประกอบของอาหารสัมผัสกับออกซิเจนจึงเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน นอกจากนี้ความร้อนยังเป็นตัวเร่งในการเสื่อมเสียจากปฏิกิริยานี้ (งามทิพย์ ภู่โรดม, 2550, หน้า 64) จึงทำให้ค่า TBA มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น ในขณะเดียวกันอุณหภูมิการเก็บรักษาก็มีผลต่อปริมาณ TBA เช่นเดียวกัน ซึ่ง นิธิยา รัตนาปนนท์ (2544, หน้า 20) กล่าวว่าในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ และค่า a_w อีกด้วย ดังนั้นก๊าซออกซิเจนและปริมาณความชื้นในอาหารจึงเป็นปัจจัยที่ทำให้อาหารทอดเกิดการหืนได้เร็วขึ้น



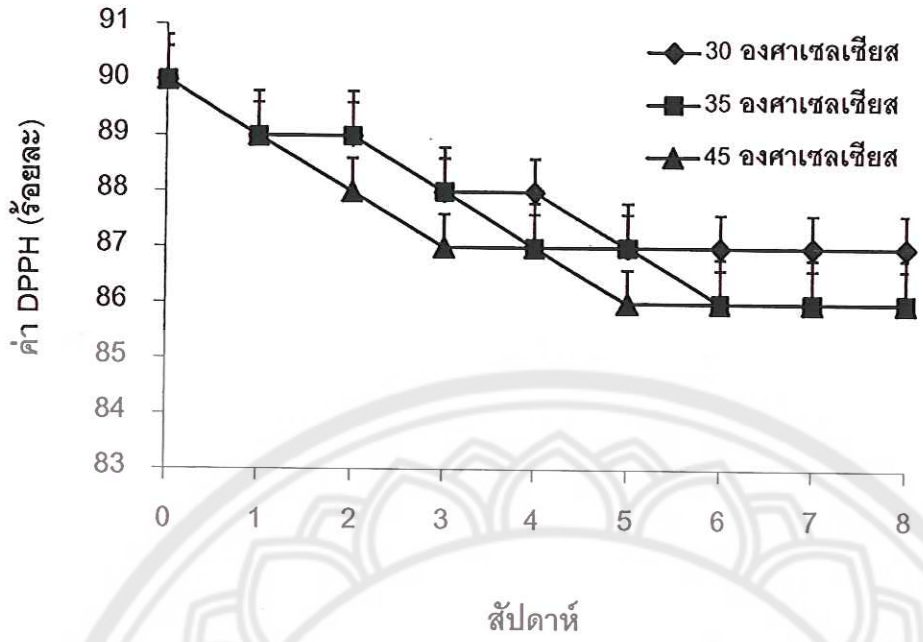
ภาพ 51 การเปลี่ยนแปลงค่า TBA ในผลิตภัณฑ์สาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดหลังผ่านการทอดระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่าง ๆ



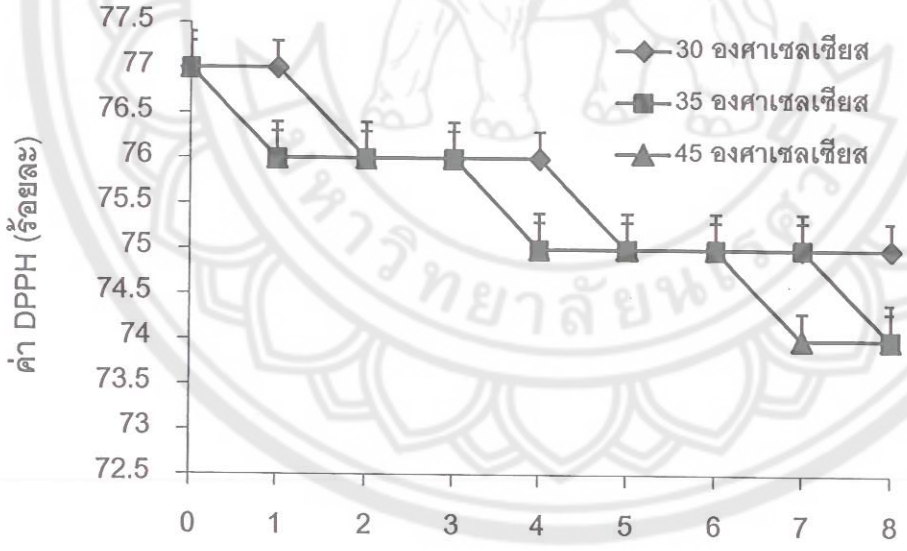
ภาพ 52 การเปลี่ยนแปลงค่า TBA ในผลิตภัณฑ์สาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งหลังผ่านการทอดระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่าง ๆ

6. กิจกรรมต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) ของสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาด และเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งหลังผ่านการทอดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 35 และ 45 °C

จากการวัดค่า % Inhibition ในผลิตภัณฑ์สาหร่ายอบแห้งปรุงรสที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดและเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง ระหว่างการเก็บรักษา ดังแสดงในภาพ 53 และภาพ 54 พบว่าเมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์นาน 2 เดือน ค่า DPPH มีค่าลดลงทั้ง 3 ระดับอุณหภูมิ โดยผลิตภัณฑ์สาหร่ายเทาน้ำที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดที่เก็บรักษานาน 8 สัปดาห์ที่อุณหภูมิ 30 35 และ 45 °C ค่า DPPH เท่ากับร้อยละ 87.00 86.00 และ 86.00 ตามลำดับ ส่วนสาหร่ายเทาน้ำที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งมีค่า DPPH เท่ากับร้อยละ 75.00 74.00 และ 74.00 ตามลำดับ เมื่อเทียบที่ 0 สัปดาห์ ปรากฏว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แสดงว่าเมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้ค่า DPPH จะลดลงเรื่อย ๆ ทั้งนี้อาจเนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ซึ่งมีอัตราการซึมผ่านของน้ำและก๊าซ (มยุรี ภาคลำเจียก และอมรรัตน์ สวัสดิทัต, 2533, หน้า 28) และจะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิสูงค่า DPPH มีค่าลดลงมากที่สุด อาจเนื่องจากอุณหภูมิสูงอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของอาหารนั้นเกิดเร็วขึ้น เช่น การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (พรพล รมย์นุกูล, 2545, หน้า 85-104) จึงส่งผลทำให้ค่า DPPH เกิดการสลายตัว



ภาพ 53 ค่า DPPH ของผลิตภัณฑ์สาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดหลังผ่านการทอดระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่าง ๆ



ภาพ 54 ค่า DPPH ของผลิตภัณฑ์สาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งหลังผ่านการทอดระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่าง ๆ

7. การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส ของสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาด และเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งหลังผ่านการทอดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 35 และ 45 °C

การทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสโดยศึกษาคุณลักษณะที่เป็นจุดวิกฤต คือกลิ่นหืน ด้วยผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 10 คน ด้วยวิธี 9-point hedonic rating scale ซึ่งเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 30 35 และ 45 °C เป็นเวลา 8 สัปดาห์ สุ่มตัวอย่างมาตรวจสอบทุกสัปดาห์ ผลการเปลี่ยนแปลงทางด้านประสาทสัมผัส พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษา ณ อุณหภูมิทั้ง 3 ระดับ นาน 8 สัปดาห์ มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส ซึ่งในการทดลองครั้งนี้จะนำคะแนนทางด้านประสาทสัมผัสที่มีคะแนนต่ำกว่า 5 มาใช้เป็นเกณฑ์ในการตัดสินว่าผู้บริโภคไม่ให้การยอมรับในผลิตภัณฑ์ เพื่อใช้ในการทำนายอายุการเก็บรักษา ดังแสดงในตาราง 17 และตาราง 18

ตาราง 17 คะแนนการยอมรับด้านกลิ่นหืนของสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 30 35 และ 45 °C เป็นเวลา 8 สัปดาห์

สัปดาห์ที่	กลิ่นหืน		
	30 °C	35 °C	45 °C
0	7.60 ± 0.05	7.50 ± 0.05	7.50 ± 0.08
1	7.40 ± 0.01	7.10 ± 0.01	7.10 ± 0.08
2	7.10 ± 0.12	6.80 ± 0.05	6.60 ± 0.05
3	6.80 ± 0.01	6.50 ± 0.01	6.40 ± 0.08
4	6.50 ± 0.12	6.30 ± 0.05	6.20 ± 0.08
5	6.20 ± 0.02	6.20 ± 0.05	6.10 ± 0.05
6	6.10 ± 0.02	6.10 ± 0.01	5.50 ± 0.08
7	6.00 ± 0.02	5.90 ± 0.05	5.20 ± 0.05
8	5.50 ± 0.02	5.90 ± 0.01	5.00 ± 0.12

ตาราง 18 คะแนนการยอมรับด้านกลิ่นหืนของสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 30 35 และ 45 °C เป็นเวลา 8 สัปดาห์

สัปดาห์ที่	กลิ่นหืน		
	30 °C	35 °C	45 °C
0	6.90 ± 0.01	6.80 ± 0.08	6.70 ± 0.08
1	6.80 ± 0.05	6.70 ± 0.07	6.50 ± 0.09
2	6.60 ± 0.02	6.50 ± 0.01	6.40 ± 0.13
3	6.50 ± 0.03	6.40 ± 0.05	6.20 ± 0.12
4	6.50 ± 0.01	6.20 ± 0.10	6.00 ± 0.07
5	6.40 ± 0.02	6.00 ± 0.12	5.50 ± 0.04
6	6.20 ± 0.04	5.60 ± 0.04	5.40 ± 0.06
7	6.00 ± 0.03	5.50 ± 0.07	5.20 ± 0.08
8	5.40 ± 0.05	5.20 ± 0.07	5.00 ± 0.09

ซึ่งพบว่าสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดหลังผ่านการทอดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 35 และ 45 °C คุณลักษณะด้านกลิ่นหืนมีการเปลี่ยนแปลงที่ผู้บริโภคยังให้การยอมรับในสัปดาห์ที่ 8 ทั้ง 3 อุณหภูมิ คือมีคะแนนเท่ากับ 5.50 5.90 และ 5.00 ตามลำดับ แต่หลังจากสัปดาห์ที่ 8 ไปแล้วผู้บริโภคจะไม่ให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ ดังนั้นสัปดาห์ที่ 8 คือระยะเวลาสูงสุดในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ (ตาราง 19) สาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งหลังผ่านการทอดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 35 และ 45 °C คุณลักษณะด้านกลิ่นหืนมีการเปลี่ยนแปลงที่ผู้บริโภคยังให้การยอมรับในสัปดาห์ที่ 8 ทั้ง 3 อุณหภูมิเช่นกัน คือมีคะแนนเท่ากับ 5.40 5.20 และ 5.00 ตามลำดับ แต่หลังจากสัปดาห์ที่ 8 ไปแล้วผู้บริโภคจะไม่ให้การยอมรับ ดังนั้นสัปดาห์ที่ 8 คือระยะเวลาสูงสุดในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เช่นเดียวกันกับสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาด (ตาราง 20) โดยผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิดมีกลิ่นหืนเพิ่มขึ้น เนื่องมาจากในระหว่างการเก็บรักษาอาหารก๊าซออกซิเจนจะทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับไขมันในอาหารทอดเกิดสารพวกไฮโดรเพอร์ออกไซด์ แอลดีไฮด์ คีโตน และกรดอินทรีย์ทำให้เกิดกลิ่นหืนขึ้น ซึ่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ และค่า a_w อีกด้วย (รุ่งนภา วิสิฐอุดรการ, 2541, หน้า 58) ดังนั้นก๊าซออกซิเจนและปริมาณความชื้นในอาหารจึงเป็นปัจจัยที่ทำให้อาหารทอดเกิดการหืนได้เร็วขึ้น ดังนั้นจึงนำระยะเวลาสูงสุดในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์สาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสในสัปดาห์ที่ 8 ไปใช้ในการคำนวณอายุการเก็บรักษา

ตาราง 19 ระยะเวลาสูงสุดในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิเร่งต่าง ๆ (เครื่องทำแห้งแบบถาด)

ปัจจัยคุณภาพ	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)	
	35 °C	45 °C
ค่า Water Activity	8	8
คุณภาพทางประสาทสัมผัส	8	8

ตาราง 20 ระยะเวลาสูงสุดในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิเร่งต่าง ๆ (เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง)

ปัจจัยคุณภาพ	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)	
	35 °C	45 °C
ค่า Water Activity	7	6
คุณภาพทางประสาทสัมผัส	8	8

การทำนายอายุการเก็บรักษาในสภาเร่งโดยใช้เทคนิค Q_{10} นี้ควรพิจารณาปัจจัยคุณภาพที่เหมาะสม ที่จะใช้เป็นค่าในการคำนวณอายุการเก็บรักษา จากการศึกษาพบว่าคุณภาพทางประสาทสัมผัสสามารถให้ค่าที่แสดงถึงการยอมรับในผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภคได้ชัดเจนกว่าปัจจัยคุณภาพด้านอื่น ๆ ซึ่งไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนเช่น ค่า a_w หรือค่าความกรอบ ส่วนค่า TBA เกิดความเปลี่ยนแปลงจนพบความแตกต่างในระยะเวลาที่สั้นในขณะที่ผู้บริโภคยังยอมรับผลิตภัณฑ์อยู่ ฉะนั้นจึงเลือกคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืนเป็นค่าวิกฤตในการคำนวณอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C ดังแสดงในสมการข้างล่าง

เทคนิคที่ใช้ได้แก่ Q_{10} สามารถใช้ทำนายอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ได้เมื่อทราบค่า Q_{10} นี้ ซึ่งได้จากการศึกษาอายุการเก็บโดยมีผลต่างของอุณหภูมิการเก็บรักษา 10 °C ดังสมการที่ (1) และสามารถทำนายอายุการเก็บจากสมการ (2) (Labuza, 1985)

$$Q_{10} = \frac{\text{อายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ } 35\ ^0C}{\text{อายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ } 45\ ^0C} \quad \text{.....(1)}$$

$$Q_{10}^{\square/10} = \frac{\text{อายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ } 25\ ^0C}{\text{อายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ } 35\ ^0C} \quad \text{.....(2)}$$

(เมื่อ $\square$ = ผลต่างของ T_1 และ T_2)

การคำนวณค่า Q_{10} (แทนค่าในสมการที่ 1)

$$Q_{10} = \frac{56 \text{ วัน}}{56 \text{ วัน}}$$

$$= 1.00$$

การคำนวณอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 ^{0}C

อายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 ^{0}C = 1.00 x 56 (แทนค่าในสมการที่ 2)

= 56.00

= 56 วัน

คำนวณอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 ^{0}C

อายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 ^{0}C = $1.05^{/10}$ x 56 (แทนค่าในสมการที่ 2)

= 56

= 56 วัน

จากการศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์สาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่อุณหภูมิ 30 35 และ 45 ^{o}C ที่บรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ พบว่าที่อุณหภูมิเร่ง 35 ^{o}C เก็บผลิตภัณฑ์ได้นาน 8 สัปดาห์ และที่อุณหภูมิเร่ง 45 ^{o}C เก็บผลิตภัณฑ์ได้ 8 สัปดาห์เช่นกัน ทำให้สามารถทำนายอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 ^{o}C ได้นาน 56 วัน และที่อุณหภูมิ 30 ^{o}C สามารถเก็บรักษาได้ 56 วัน

บทที่ 5

บทสรุป

จากการสำรวจพฤติกรรม ทัศนคติ และความต้องการของผู้บริโภคเกี่ยวกับสาหร่ายอบแห้งปรุงรส พบว่า ผู้บริโภคส่วนใหญ่จะเคยรับประทานสาหร่ายอบแห้งปรุงรสคิดเป็นร้อยละ 94.25 และผู้บริโภคที่เคยรับประทานสาหร่ายอบแห้งปรุงรสส่วนใหญ่จะชอบซื้อสาหร่ายอบแห้งปรุงรสมารับประทานเอง ซึ่งเหตุผลในการที่ผู้บริโภคชอบรับประทานสาหร่ายอบแห้งปรุงรส เนื่องมาจากผู้บริโภคส่วนใหญ่จะชอบเพราะรสชาติของตัวสาหร่ายอบแห้งปรุงรส คิดเป็นร้อยละ 96.52 รองลงมาคือ เพราะหลีกหนีความจำเจ ลักษณะของสาหร่ายอบแห้งปรุงรสที่ผู้บริโภคต้องการคือ ผู้บริโภคส่วนใหญ่ชอบสาหร่ายอบแห้งปรุงรสในลักษณะเป็นแผ่นบางกรอบมากที่สุด ร้อยละ 85.56 ผู้บริโภคจะชอบสาหร่ายอบแห้งปรุงรสรสดั้งเดิมมากที่สุด ร้อยละ 33.16 รองลงมาคือ รสกระเทียมพริกไทย ร้อยละ 30.75 ผู้บริโภคส่วนใหญ่จะต้องการเสริมพริกไทยลงในส่วนผสมของสาหร่ายอบแห้งปรุงรสและต้องการให้บรรจุในซองอลูมิเนียมฟอยด์ เวลาในการรับประทานสาหร่ายอบแห้งปรุงรสพบว่า ผู้บริโภคจะรับประทานสาหร่ายอบแห้งปรุงรสในมื้อเย็นมากที่สุด ส่วนราคาสาหร่ายอบแห้งปรุงรสต่อ 1 ซอง (น้ำหนัก 10 กรัม) ผู้บริโภคต้องการในราคา 10 บาท ต่อ 1 ซอง มากที่สุด เวลาโดยเฉลี่ยที่ผู้บริโภครับประทานสาหร่ายอบแห้งปรุงรสในแต่ละครั้งพบว่า ผู้บริโภคส่วนใหญ่จะรับประทานสาหร่ายอบแห้งปรุงรสในแต่ละครั้งใช้เวลาประมาณ 15-30 นาที ความถี่โดยเฉลี่ยที่รับประทานสาหร่ายอบแห้งปรุงรสพบว่า ผู้บริโภคส่วนใหญ่จะรับประทานสาหร่ายอบแห้งปรุงรส 1-2 ครั้งต่อสัปดาห์ ผู้บริโภคมักจะซื้อสาหร่ายอบแห้งปรุงรสตามร้านค้าทั่วไป และผู้บริโภคส่วนใหญ่ที่รับประทานสาหร่ายอบแห้งปรุงรสจะไม่พบปัญหาในการรับประทาน

ผลการศึกษาสมบัติทางเคมีและลักษณะทางกายภาพของสาหร่ายเทาน้ำสด พบว่าสาหร่ายเทาน้ำสดมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 25.44 ± 0.51 ปริมาณเยื่อใยร้อยละ 4.84 ± 1.15 ปริมาณไขมันร้อยละ 4.06 ± 0.30 ปริมาณเถ้าร้อยละ 7.27 ± 0.03 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 54.39 ± 1.59 นอกจากนี้ พบว่าสาหร่ายเทาน้ำสดมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระร้อยละ 90.79 ± 0.05 และปริมาณความชื้นร้อยละ 90.60 ± 0.05 เมื่อตรวจวัดค่าความสว่าง (L^*) มีค่าเท่ากับ 4.86 ± 0.05 ค่าสีแดง (a^*) มีค่าเท่ากับ -5.20 ± 0.06 และค่าสีเหลือง (b^*) มีค่าเท่ากับ 5.08 ± 0.05 และจากการศึกษาผลกระทบของกระบวนการทำแห้งต่อสมบัติบางประการของสาหร่ายเทาน้ำ พบว่า สาหร่ายเทาน้ำที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 70 °C นาน 3 ชั่วโมง และสาหร่ายเทาน้ำที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งที่อุณหภูมิ 120 °C ระยะห่างของผิวลูกกลิ้ง 1 มิลลิเมตร ความเร็วรอบ 6 รอบต่อนาที มีผลต่อค่าสี ปริมาณคลอโรฟิลล์ ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระน้อยที่สุด ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งที่สามารถรักษาปริมาณสารต่างๆ ให้คงอยู่ในผลิตภัณฑ์มากที่สุด

ผลการศึกษาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสพบว่า สูตรที่เหมาะสมในการผลิตสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดประกอบ ด้วยสาหร่ายเทาน้ำร้อยละ 19.60 แป้งข้าวเหนียวร้อยละ 39.20 น้ำสะอาดร้อยละ 39.20 ซีอิ๊วขาว พริกไทย และน้ำตาล ร้อยละ 5.00, 1.50 และ 1.50 ตามลำดับ สูตรที่เหมาะสมในการผลิตสาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่ทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง ประกอบด้วยสาหร่ายเทาน้ำร้อยละ 18.50 แป้งข้าวเหนียวร้อยละ 37.00 น้ำสะอาดร้อยละ 37.00 แบะแซร้อยละ 5.50 ซีอิ๊วขาว พริกไทย และน้ำตาล ร้อยละ 5.00, 0.00 และ 3.00 ตามลำดับ และการทำแห้งทั้ง 2 วิธี ไม่มีผลต่อฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ($p>0.05$)

ผลการศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์สาหร่ายเทาน้ำอบแห้งปรุงรสที่อุณหภูมิ 30 35 และ 45 °C ที่บรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยด์ พบว่าที่อุณหภูมิเร่ง 35 °C เก็บผลิตภัณฑ์ได้นาน 8 สัปดาห์ และที่อุณหภูมิเร่ง 45 °C เก็บผลิตภัณฑ์ได้ 8 สัปดาห์ ทำให้สามารถทำนายอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C ได้นาน 56 วัน และที่อุณหภูมิ 30 °C สามารถเก็บรักษาได้ 56 วัน

เอกสารอ้างอิง

กรุงเทพธุรกิจ. (2553). พรีเมียฯใช้ไฮเทคสร้างแต้มต่อ. 12 กุมภาพันธ์ 2553.

จรัสพรรณ ตันหยง. (2544). **การพัฒนาผลิตภัณฑ์โจ๊กข้าวกล้องผสมกึ่งสำเร็จรูป.** วิทยานิพนธ์. วท.ม., มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.

ฐิติกานต์ ปัญโญใหญ่ ยุวดี พีรพรพิศาล ชยากร ภูมาศ และปานมุก วัชระปิยะโสภณ. (2550). **การศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากสาหร่ายน้ำจืดขนาดใหญ่ *Spirogyra* spp.** เอกสารการประชุมวิชาการสาหร่ายและแพลงก์ตอนแห่งชาติ ครั้งที่ 3 วันที่ 21-23 มีนาคม2550. ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ดวงพร อมรเลิศพิศาล ยุวดี พีรพรพิศาล ไชยยง รุจจนเวท และธวัช แต้โสตถิกุล. (2550). ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสาหร่ายทะเลบางชนิด. เอกสารการประชุมวิชาการสาหร่ายแพลงก์ตอนแห่งชาติครั้งที่ 3 วันที่ 21-23 มีนาคม 2550. ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ธงชัย สุวรรณสิชณน์. (2535). **การพัฒนาอาหารขบเคี้ยวจากแป้งถั่วลิสงไขมันต่ำผสมแป้งมันสำปะหลังชนิดพรีเจลาติไนซ์.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.

ธนิษฐา มาลัยวรรณ และยุวดี พีรพรพิศาล. (2550). **การศึกษาสารต้านอนุมูลอิสระในสาหร่ายไก ลอน และ เตา.** เอกสารการประชุมวิชาการสาหร่ายและแพลงก์ตอนแห่งชาติ ครั้งที่ 3 วันที่ 21-23 มีนาคม 2550. ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

นฤดี พงศ์กิจวิทูร. (2542). **ปัจจัยการผลิตกล้วยหอมผงโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งหมุน.** วิทยานิพนธ์. วศ.ม., มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพมหานคร.

นฤศันส์ วาสิกดิลก. (2541). **การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากปลายข้าวหอมมะลิ.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.

บุญมี ปิยะจันทร์. (2530). **การวิเคราะห์สารอาหารพื้นบ้าน เส้นใย และเถ้า ใน *Spirogyra* sp.** การค้นคว้าแบบอิสระ วิทยาศาสตร์บัณฑิต. ภาควิชาชีววิทยา และวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ประชา บุญญสิริกุล. (2540). การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารด้วยวิธีการหุงต้มแบบเอ็กซ์ทรูชั่น. **วารสารอาหาร** 27(2): 79-99.

ประชา บุญญสิริกุล. (2542). การพัฒนาขนมกรอบมีคุณค่าทางโภชนาการด้วยปลาผงแคลเซียมสูงโดยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชั่น. **วาสารอาหาร** 29(2): 79-91.

ปาริฉัตร หงส์ประภาส. (2545). **เคมีกายภาพอาหาร คอลลอยด์ อิมัลชัน และเจล.** สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร.

ปาวลี ศรีสุขสมวงศ์. (2550). ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากสาหร่ายทะเล *Caulerpa racemosa* var. corynephora (Montagne) Weber-van Bosse. การค้นคว้าแบบอิสระ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาชีววิทยา ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

เพ็ญขวัญ ชมปรีดา และทัศนี ลิ้มสุวรรณ. (2541). **ผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยว**, น. 215-269. ในคณะกรรมการกลุ่มผลิตชุดวิชาผลิตภัณฑ์อาหาร, ผู้รวบรวม. **เอกสารการสอนชุดวิชาผลิตภัณฑ์อาหาร.** มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, กรุงเทพมหานคร.

ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก. (2532). **กรรมวิธีการแปรรูปอาหาร.** โอ.เอส.พริ้นติ้งเฮ้าส์, กรุงเทพมหานคร.

ยุวดี พีรพรพิศาล. (2535). **คุณค่าทางโภชนาการและการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirogyra* spp.** ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, กรุงเทพมหานคร.

ยุวดี พีรพรพิศาล. (2546). **สาหร่ายวิทยา (phycology).** คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

รุ่งนภา วิสิฐอุดรการ. (2540). เอกสารคำสอน: **การประเมินอายุการเก็บของอาหาร.**มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.

รัชนี เขียวเงิน. (2535). **การศึกษาชนิดของสาหร่ายและคุณภาพของน้ำในสระแก้ว และบึงราชนก.** ปริญญานิพนธ์ปริญญาตรี, มหาวิทยาลัยนเรศวร.

รัศมน ชาติสุทธิพันธุ์. (2542). **การปรับปรุงกระบวนการผลิตกล้วยหอมผงโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง.** วิทยานิพนธ์, วท.ม. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.

วิไล รังสาดทอง. (2546). **เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร.** กรุงเทพมหานคร: เท็กซ์แอนด์เจอร์นัลพับลิเคชัน.

วัฒนพงษ์ รักวิเชียร สมชาติ โสภณรณฤทธิ์ และวิลาส ชูวงศ์. (2531). **การพัฒนาเครื่องอบแห้งผลไม้ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดอุตสาหกรรม.** รายงานการวิจัย ภาควิชาฟิสิกส์, คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร.

วัฒนา ประทุมสินธุ์. (2526). **ตำราการถนอมอาหาร.** ประสานมิตร, กรุงเทพมหานคร.

ศิรินทร์ ปุษยไพบูลย์. (2530). **การพัฒนาอาหารขบเคี้ยวที่มีคุณค่าทางโภชนาการ.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.

ศิริโฉม ทุ่งเก้า. (2543). **ปฏิบัติการจุลชีววิทยาทางอาหาร.** ชลบุรี: ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.

ศศธร ธรรมภาณ. (2544). **การพัฒนาขนมกล้วยผงกึ่งสำเร็จรูป.** วิทยานิพนธ์. วท.ม., มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.

ศูนย์กสิกรไทย. (2553). **คาดบอลโลกดันตลาดขนมขบเคี้ยวปีเสือโต 9.3 %.** สืบค้นเมื่อวันที่ 12 กุมภาพันธ์ 2553. จาก http://www.atnnonline.com/index.php?option=com_content&view=article&id=9517:93&catid=35:economics&Itemid=54

ศูนย์ศึกษาและพัฒนาวนศาสตร์ชุมชนที่ 14 (ลำปาง) สำนักจัดการป่าชุมชน กรมป่าไม้. 2551. **การเพาะเลี้ยงสาหร่ายน้ำจืด.** รายงานการศึกษาภูมิปัญญาท้องถิ่น.

สมบัติ ขอทวีวัฒนา. (2529). **กรรมวิธีการอบแห้ง.** ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สรวิศ เผ่าทองสุข. (2544). **สาหร่าย ศักยภาพการวิจัย และพัฒนาเพื่อการใช้ประโยชน์จากสาหร่ายในประเทศไทย.** รายงานการวิจัยภาควิชาจุลชีววิทยา, คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สายสนม ประดิษฐ์ดวง. (2540). **ผลงานรองศาสตราจารย์สายสนม ประดิษฐ์ดวง.** คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.

สายสนม ประดิษฐ์ดวง. (2543). **ผลิตภัณฑ์เครื่องปรุง.** น. 271-315. ใน ปราณี หน่อเพ็ชร และสมพิศ นิชลานนท์, บรรณาธิการ. **เอกสารการสอนชุดวิชา ผลิตภัณฑ์อาหาร.** มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, นนทบุรี.สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2547). **มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนสาหร่ายน้ำจืดอบ.** มผช. 516-2547.

โอภา วัชระคุปต์ ปรีชา บุญจูง จันทนา บุณยะรัตน์ และมาลีรักษ์ อัตต์สินทอง. (2549). **สารต้านอนุมูลอิสระ.** พี.เอส.พริ้นท์, กรุงเทพมหานคร.

AOAC. (2000). Official Method of Analysis of AOAC International. 17th ed. **The Associ on of Official Analytical Chemists.** Washington D.C.

Addesso, K., T. E. Dzureko, M. J. Moisey, H. Levine, L. Slade, J.M. Manns, R. D. Fazzolare, J. Ievolella and M. Y. Wang. (1996). **Production of Chip-like Starch Based Snack.** U.S. Patent. Patent Number 5500240.

Blois, M. S. (1958). Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. **Nature,** 182: 1199-1200.

Bourne, M. C. (1982). **Food Texture and Viscosity.** Academic Press, New York.

Bourne, M. C. (1987). **Effect of water activity on textural properties of food,** pp. 75-99. In Rockland L. B. and L. R. Beuchat. Water activity: Theory and Applications to Food. Marcel Dekker, New York.

Chang, Y. P., P. B. Cheah and C. C. Seow. (2000). Variations in flexural and compressive fracture behavior of a brittle cellular food (dried bread) in response to moisture sorption. **Journal of Texture Studies,** 31: 525-540.

Dinis, T. C. P., Madeira, V. M. C. and Almeida, L. M. 1(994). Action of phenolic derivatives (acetoaminophen, salycilate, and 5-aminosalycilate) as inhibitors of membrane lipid peroxidation and as peroxyl radical scavengers. **Architecture of Biochemical and Biophysical,** 315:161-169.

Downes, F.P. and K, IT O., 2001. **Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods.** 4th ed. American Pubic Health Association.Washington D.C

Fazzolare, R. D., J. A. Szwerc and R. R. Featers. (1997). **Baked Potato Base Chip-like Snack Food and Method of Preparing.** U.S. Patent. Patent Number 5690982.

Frankel, E. N. (1979). **Analytical methods used in the study of study of autoxidation processes.** In Autoxidation in food and biological systems. Simic, M. C. and Karel, M. (Eds.). Plenum Press. Pp. 141-170. New York.

Halliwell, B. (1991). Drug antioxidant effects: A basis for drug selection. **Journal of Drugs in Dermatology,** 42(4): 569-605.

Halliwell, B., Gutteridge, J. M. C. and Aruoma, L. (1987). The deoxyribse method: a simple test-tube assay for determination of rate constants for reactions of hydroxyl ...icals. Journal of Analytical Biochemistry, 165(11): 215-219.

Hiliam, M. (2001). Have a snack, the development of stronger and more authentic flavours are a major feature of the market. The world of Food. Ingredients Sep.: 12-14.

Hou, W. C. Chen, Y. C., Lin, Y. H., Yang, L. L. and Lee, M. H. (2001). Antioxidant activities of trypsin inhibitor a 33 KDa root storage protein of sweet potato (*Ipomoea batates* (L.) Lam cv. Tainong 57). **Journal of Agricultural and Food Chemistry,** 49: 2978-2981.

Hudson, B. J. F. (1990). **Food antioxidant.** Elsevier Science publisher Ltd. England.

Jonnalagadda, P. R., R. V. Bhat, R. V. Sudershan and A. N. Naidn. (2001). Suitability of chemical parameters in setting quality standards for deep-fried snacks. **Food Quality and Preference,** 12: 223-228.

Kappus, H. (1992). **Oxidative stress in chemical toxicity.** In Free radicals and the liver. Csomos, G. and Feher, J. (Eds.). pp. 13. Berlin. Springer-Verleg.

Labuza, T.P. and M.K. Schmild. (1985). Accelerated shelf-life testing of food. **Food Technology,** 39 (9): 57-62.

Mathew, S. and Abraham, T. E. (2006). Studies on the antioxidant activityes of cinnamon (*Cinnamomum Verum*) Bark extracts, through various in vitro models. **Journal of Food Chemistry,** 94: 520-528.

Moreira G R., M. E. Castell-Perez and M. A. Berrufet. (1999). **Deep-Fat Frying: Fundamentals and Applications.** Aspen Publishers, Inc., Gaithersburg, Maryland.

Nikishimi, M., Rao, N. and Yagi, K. (1972). The occurrence of superoxide anion in the reaction of reduced phenazine methosulphate and molecular oxygen. **Journal of Biochemical and Biophysical Research Communications,** 46: 849-854.

Ohkawa, H., Ohishi, N. and Yagi, K. (1979). Assay for lipid peroxides in animal tissues by thiobarbituric acid reaction. **Journal of Analytical Biochemistry,** 95: 351-358.

Oyaizu, M. (1986). Studies on product of browning reaction prepared from glucose amine Jap. **Journal of Nutrition,** 44: 307-315.

Pearson, D. (1976). **The chemical Analysis of Foods.** 7th ed. Longman Group Limited. New York. The united States of America

Perkins, E. G. (1996). **Volatile odor and flavor component formed in deep frying,** pp. 43-48. In Perkins, E. G. and M. D. Erickson (eds.). Deep frying. Chemistry Nutrition and Practical Applications. AOCS Press.

Prinyawiwatkul, W., K.M. Mcwatters, L.R. Beuchat, and R.D. Phillips. 1997. Optimizing acceptability of chicken nuggets containing fermented cowpea and peanut flours. **Journal of Food Science,** 62 (4): 889 – 893.

Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannale, A., Yang, M., and Rice-Evan, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorisation assay. **Journal of Free Radical Biology and Medicine,** 26(9/10): 1231-1237.

Roberfroid, M. B. and Calderon, P. B. (1995). **Free radicals and oxidation phenomena in biological systems.** Marcel Dekker. Inc. New York. V. S. A.Spencer, J. P. E.,

Spencer, J. P. E., Jenner, A., Aruoma, O. I., Evans, P. J., Kaur, H. and Dexter, D. T. (1994). Intense oxidative DNA damage promoted by LL-DOPA and its metabolites, implications forneurogegenerative disease. **FEBS Letters.,** 353: 246-250.

Tarladgis, B. G., Watt, & Younathan, M. T. (1960). A distillation method for the quantitative determination of the malonaldehyde in rancid foods. **Journal of American oil chemistry Societry,** 37(1), 44-48.

Turkmen, N., Sari, F. and Velioglu, Y. S. (2005). The effect of cooking methods on total phenolics and antioxidant activity of selected green vegetables. **Food chemistry**, 93(4), 713-718.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
แบบสอบถามและแบบทดสอบคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส

แบบสอบถามข้อมูลเกี่ยวกับการบริโภคสาหร่ายอบแห้งปรุงรส

เรียน ผู้ตอบแบบสอบถาม

เรื่อง ข้อมูลเกี่ยวกับการบริโภคสาหร่ายอบแห้งปรุงรส

คำชี้แจง แบบสอบถามนี้เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยเพื่อประกอบการเรียบเรียงวิทยานิพนธ์ของนางสาวชวนพิศ เรืองพันธ์ นิสิตปริญญาโท สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยนเรศวร ดังนั้นจึงใคร่ขอความร่วมมือจากท่านกรุณาตอบแบบสอบถามให้สมบูรณ์ ข้อมูลที่ท่านตอบมา จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับงานวิจัยครั้งนี้และจะไม่มีผลกระทบใด ๆ ต่อท่านทั้งสิ้น

ขอขอบคุณในความร่วมมือ
ผู้ทำการวิจัย

<u>ส่วนที่ 1</u> ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

<u>คำแนะนำ</u> : กรุณาใส่เครื่องหมาย / ในวงเล็บ ( ) หน้าคำตอบที่ท่านเห็นว่าเหมาะสม

1. เพศ

( ) ชาย ( ) หญิง

2. อายุ

( ) 10-14 ปี ( ) 15-20 ปี
( ) 21-24 ปี ( ) 25-28 ปี
( ) 29-32 ปี ( ) 33-36 ปี
( ) 37-40 ปี ( ) 40 ปีขึ้นไป

3. การศึกษา

( ) ต่ำกว่ามัธยมศึกษา ( ) มัธยมศึกษา
( ) อนุปริญญา ( ) ปริญญาตรี
( ) สูงกว่าปริญญาตรี

4. รายได้ต่อเดือน

( ) น้อยกว่า 5,000 บาท ( ) 5,000-10,000 บาท
( ) 10,001-15,000 บาท ( ) 15,001-20,000 บาท
( ) 20,001-25,000 บาท ( ) 25,001-30,000 บาท
( ) 30,001-35,000 บาท ( ) 35,001-40,000 บาท
( ) 40,000 บาทขึ้นไป

5. สถานภาพ

( ) โสด ( ) มีครอบครัว

6. จำนวนบุตรในครอบครัว

( ) ยังไม่มีบุตร ( ) 1-2 คน
( ) 3-4 คน ( ) มากกว่า 4 คนขึ้นไป

7. อายุของบุตรในครอบครัว

( ) ต่ำกว่า 10 ปี ( ) 10-15 ปี
( ) 16-20 ปี ( ) มากกว่า 20 ปีขึ้นไป

<u>ส่วนที่ 2</u> ข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมการบริโภค

8. บุคคลใดในครอบครัวที่ชอบรับประทานสาหร่ายอบแห้งปรุงรสมากที่สุด

( ) ตัวท่านเอง ( ) คู่สมรส

( ) บุตร ( ) อื่น ๆ โปรดระบุ.....

9. ท่านเคยรับประทานสาหร่ายอบแห้งปรุงรสหรือไม่

( ) เคย ( ) ไม่เคย (หยุด ไม่ต้องตอบข้อต่อไป)

10. หากท่านเคยรับประทานสาหร่ายอบแห้งปรุงรส ท่านชอบหรือไม่

( ) ชอบ (ไม่ต้องตอบข้อ 12) ( ) ไม่ชอบ (ไม่ต้องตอบข้อ 11)

11. ท่านชอบสาหร่ายอบแห้งปรุงรส เพราะเหตุใด (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)

( ) รสชาติ ( ) ตามสมัยนิยม

( ) หลีกหนีความจำเจ ( ) คุณค่าทางอาหาร

( )ความสะดวกรวดเร็ว ( ) รูปแบบลักษณะ

( ) ราคา ( ) อื่น ๆ โปรดระบุ.....

12. ท่านไม่ชอบสาหร่ายอบแห้งปรุงรส เพราะเหตุใด (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)

( ) รสชาติ ( ) ลักษณะไม่น่ารับประทาน

( ) คุณค่าทางอาหารน้อย ( ) อื่น ๆ โปรดระบุ.....

13. ลักษณะของสาหร่ายอบแห้งปรุงรสที่ท่านชอบ

( ) เป็นแผ่นบางกรอบ ( ) เป็นแผ่นสีเหลี่ยมผืนผ้า

( ) เป็นแผ่นหนากรอบ ( ) อื่น ๆ โปรดระบุ.....

14. ท่านชอบสาหร่ายอบแห้งปรุงรส รสใดมากที่สุด

( ) รสกระเทียมพริกไทย ( ) รสบาร์บีคิว

( ) รสปาปริก้า ( ) รสดั้งเดิม

( ) รสเผ็ด ( ) รสพิซซ่า

( ) รสเค็ม

( ) อื่น ๆ โปรดระบุ.....

15. ท่านต้องการเสริมอะไรในลงในส่วนผสมของสาหร่ายอบแห้งปรุงรสมากที่สุด

( ) งา ( ) ขนมปังป่น

( ) พริกไทย ( ) ปลาเส้น

( ) อื่น ๆ โปรดระบุ.....

16. ท่านต้องการภาชนะที่ใช้ในการบรรจุสาหร่ายอบแห้งปรุงรสในรูปแบบใด

( ) ซองอลูมิเนียมฟอยด์ ( ) กระป๋องทรงกระบอก

( ) ถุงพลาสติกใส ( ) ขวดแก้วเล็ก ๆ

( ) อื่น ๆ โปรดระบุ.....

17. เวลาที่ท่านมักจะรับประทานสาหร่ายอบแห้งปรุงรส

( ) มื้อเช้า (8.00-12.00 น.) ( ) มื้อกลางวัน-บ่าย (12.00-16.00 น.)

( ) มื้อเย็น (16.00-20.00 น.) ( ) มื้อดึก (20.00-24.00 น.)

18. ราคาสาหร่ายอบแห้งปรุงรสต่อ 1 ซอง (น้ำหนัก 10 กรัม)

( ) 5 บาท ( ) 10 บาท

( ) 15 บาท ( ) 20 บาท

19. เวลาโดยเฉลี่ยที่ท่านรับประทานสาหร่ายอบแห้งปรุงรสในแต่ละครั้ง

( ) 15-30 นาที ( ) 30-45 นาที

( ) 45-60 นาที ( ) มากกว่า 60 นาที

20. ความถี่โดยเฉลี่ยที่ท่านรับประทานสาหร่ายอบแห้งปรุงรสต่อเดือน

( ) 1-2 ครั้ง ( ) 3-4 ครั้ง

( ) 5-6 ครั้ง ( ) มากกว่า 6 ครั้งขึ้นไป

21. สถานที่ที่ท่านซื้อสาหร่ายอบแห้งปรุงรส คือที่ใดบ้าง (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)

( ) ร้านค้าทั่วไป ( ) ห้างสรรพสินค้า

( ) ซุปเปอร์มาร์เก็ต ( ) ร้านสะดวกซื้อ เช่น 7-Eleven

( ) อื่น ๆ โปรดระบุ.....

22. ปัญหาที่ท่านพบในการรับประทานสาหร่ายอบแห้งปรุงรส มีอะไรบ้าง (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)

( ) รสชาติอ่อนเกินไป ( ) รสชาติเข้มเกินไป

( ) แผ่นบางเกินไป ( ) แผ่นหนาเกินไป

( ) ราคาแพง ( ) หาซื้อยาก

( ) ไม่กรอบ ( ) ไม่พบปัญหา

( ) อื่น ๆ โปรดระบุ.....

ภาคผนวก ข

วิธีวิเคราะห์ทางเคมี

1. การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC., 2000)

อุปกรณ์

1. ตู้อบอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส
2. เครื่องชั่งไฟฟ้า
3. ถ้วยอลูมิเนียมสำหรับหาความชื้น
4. คีมคีบถ้วยครูซิเบิล
5. โถดูดความชื้น

วิธีการ

1. ชั่งน้ำหนักถ้วยอลูมิเนียมพร้อมฝาที่ผ่านการอบจนมีน้ำหนักคงที่ บันทึกน้ำหนัก
2. ชั่งตัวอย่างที่ต้องการหาความชื้นใส่ลงในถ้วยอลูมิเนียมประมาณ 2 กรัม เกลี่ยให้ตัวอย่างแผ่ด้วยความสม่ำเสมอ ปิดฝาบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน
3. นำเข้าตู้อบลมร้อน โดยเปิดฝาถ้วยอลูมิเนียมบางส่วนอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
4. เมื่อครบเวลาปิดฝาถ้วยนำออกจากตู้อบลมร้อน แล้วนำตัวอย่างใส่ในโถดูดความชื้น ตั้งไว้จนกระทั่งอุณหภูมิลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้อง หรือประมาณ 30 นาที
5. นำมาชั่งพร้อมบันทึกน้ำหนัก นำตัวอย่างเข้าอบอีก 30 นาที ตั้งไว้ให้เย็นนำไปชั่งน้ำหนัก ถ้าน้ำหนักเปลี่ยนแปลงจากครั้งแรกน้อยกว่า 3 มิลลิกรัม จึงหยุดการอบ บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน คำนวณหาปริมาณความชื้นจากน้ำหนักที่หายไป จากสูตรดังนี้

$$\text{ความชื้น (ร้อยละ)} = [(w_1 - w_2)/w_1] \times 100$$

เมื่อ w_1 คือ น้ำหนักตัวอย่างเริ่มแรก

W_2 คือ น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ

2. การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (AOAC., 2000)

อุปกรณ์

1. เครื่องวิเคราะห์โปรตีน รุ่น BUCHI
2. เครื่องชั่ง และอุปกรณ์การชั่ง
3. บิวเรต
4. ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
5. บีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร
6. กระบอกตวงขนาด 100 มิลลิลิตร
7. ขวดปรับปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร
8. ขวดน้ำกลั่น

สารเคมี

1. กรดซัลฟูริกเข้มข้น
2. สารละลายกรดเกลือ 0.02 นอร์มัล
3. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 32 ชั่งสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 32 กรัม ละลายในน้ำกลั่นปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร
4. สารละลายกรดบอริกเข้มข้นร้อยละ 2 ละลายกรดบอริก 20 กรัม ด้วยน้ำกลั่นปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร
5. สารเร่งปฏิกิริยา ใช้คอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSo_4$) 1 ส่วนต่อโปรแตสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) 9 ส่วน
6. อินดิเคเตอร์ใช้ fashion indicator เตรียมเป็น stock solution ซึ่งเมธิลลีนบูล (ethylene blue) 0.2 กรัม ละลายในเอทานอล (ethanol) 200 มิลลิลิตร และชั่งเมธิลเรด (methyl-red) 0.05 กรัม ละลายในเอทานอล 50 มิลลิลิตร เวลานำมาผสมในอัตราส่วน stock solution 1 ส่วน ต่อน้ำกลั่น 2 ส่วน

วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่างอาหารบนกระดาษกรอง ให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน ประมาณ 1-2 กรัม ห่อให้มิดชิด ใส่ลงในขวดย่อยโปรตีน
2. เติมสารเร่งปฏิกิริยา 1 กรัม และกรดซัลฟูริกเข้มข้น 15 มิลลิลิตร
3. นำไปย่อยบนเตาไฟในตู้ควันจนกระทั่งได้สารละลายใส ปล่อยทิ้งให้เย็น
4. นำไปกลั่นโดยเติมน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตร โซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้นร้อยละ 3 ปริมาตร 80 มิลลิลิตร
5. รองรับสิ่งที่กลั่นได้ด้วยร้อยละ 2 ของกรดบอริก 50 มิลลิลิตร
6. เติมอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด
7. กลั่นโดยใช้ส่วนปลายของอุปกรณ์ควบแน่นจุ่มลงในสารละลายกรดบอริก
8. กลั่นจนได้สารละลายในขวดจับก๊าซประมาณ 250 มิลลิลิตร
9. กลั่นประมาณ 10 นาที ล้างปลายอุปกรณ์ควบแน่นด้วยน้ำกลั่นลงในขวดรองรับ
10. ไตเตรทสารละลายที่กลั่นได้กับสรละลายกรดเกลือ ที่มีความเข้มข้น 0.2 นอร์มัล จะได้จุดยุติเป็นสีชมพูอ่อน
11. ทำ blank ด้วยวิธีการเดียวกันตั้งแต่ข้อ 2-10

การคำนวณ

ปริมาณโปรตีน (ร้อยละ) = $\frac{(a - b) \times N \times 14 \times factor}{W}$

โดยที่ a = ปริมาณของสารละลายกรดเกลือที่ใช้เป็นมิลลิลิตร

b = ปริมาณของสารละลายกรดเกลือที่ใช้กับ blank เป็นมิลลิลิตร

N = ความเข้มข้นของสารละลายกรดเกลือเป็น นอร์มัล

W = น้ำหนักตัวอย่างเป็นกรัม

factor = แฟกเตอร์ (ดูจากตาราง)

(น้ำหนักสมบูรณ์ของไนโตรเจน = 14.007)

3. การวิเคราะห์ปริมาณเยื่อใย (AOAC., 2000)

อุปกรณ์

1. เตาเผา
2. ตู้อบลมร้อน
3. เครื่องทำน้ำเย็น
4. โถดูดความชื้น
5. ถ้วยครูซิเบิล
6. คีมคีบถ้วยครูซิเบิล
7. กรวยกรอง
8. หลอดหยด
9. กระบอกตวงขนาด 100 มิลลิลิตร
10. บีกเกอร์ขนาด 2000 มิลลิลิตร
11. บีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร

สารเคมี

1. Sulfuric acid 0.128 M
2. Potassium hydroxide 0.223 M
3. n-Octanol
4. Acetone

วิธีการ

1. เปิดเครื่องทำน้ำเย็น
2. อบตัวอย่างเพื่อไล่ความชื้นด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ประมาณ 60-90 นาที แล้วทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น
3. นำตัวอย่างมาชั่งน้ำหนักประมาณ 1 กรัม (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ใส่ในถ้วยครูซิเบิล แล้วนำเข้าเครื่องหาไฟเบอร์
4. บิดปุ่มควบคุมไปที่ตำแหน่ง Close
5. ใส่กรด Sulfuric acid ร้อยละ 1.25 ปริมาตร 150 มิลลิลิตร ลงในแต่ละตัวอย่าง (กรด Sulfuric acid ร้อยละ 1.25 ควรอุ่นในเตาให้ความร้อนประมาณ 85 องศาเซลเซียส ก่อนเติมลงในเครื่อง)
6. ใส่สารละลาย n-Octanol เพื่อป้องกันการ Foaming ประมาณ 3-5 หยด
7. หมุนปุ่มตั้งเวลาให้ความร้อนไปที่ 30 นาที และหมุนปุ่มตั้งระดับความร้อนประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์
8. กรองสารละลายกรด Sulfuric acid ร้อยละ 1.25 ออกจากเครื่องโดยบิดปุ่มควบคุมไปที่ตำแหน่ง Vacuum
9. ล้างกรดที่เหลือด้วยน้ำกลั่น (น้ำกลั่นให้อุ่นในเตาให้ความร้อนประมาณ 80 องศาเซลเซียส ก่อนเติมลงในเครื่อง) 3 ครั้ง ครั้งละ 30 มิลลิลิตร ดังนี้
    9.1 หมุนปุ่มควบคุมไปที่ตำแหน่ง Pressure
    9.2 เติมน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตร

9.3 หมุนปุ่มควบคุมไปที่ตำแหน่ง Vacuum

10. ทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 4-7 แต่เปลี่ยนสารละลายเป็น Potassium hydroxide เข้มข้นร้อยละ 1.25

12. ล้างด่างที่เหลือด้วยน้ำกลั่น 3 ครั้ง ครั้งละ 50 มิลลิลิตร (ทำเหมือนข้อ 9.1-9.3)

13. ล้างตัวอย่างด้วยสารละลาย Acetone 3 ครั้ง ครั้งละ 25 มิลลิลิตร ดังนี้

13.1 หมุนปุ่มควบคุมไปที่ตำแหน่ง Pressure

13.2 เติม Acetone 25 มิลลิลิตร

13.3 หมุนปุ่มควบคุมไปที่ตำแหน่ง Vacuum

13.4 ทำซ้ำตามข้อ 13.2-13.3 อีก 2 ครั้ง

14. นำถ้วยครูซิเบิลที่มีตัวอย่างอยู่ออกจากเครื่อง แล้วไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ประมาณ 60-90 นาที หรืออบที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น นำถ้วยครูซิเบิลไปชั่งน้ำหนัก

15. นำถ้วยครูซิเบิล จากข้อ 14 ไปเผาในเตาเผา ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ประมาณ 3 ชั่วโมง ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น นำถ้วยครูซิเบิลไปชั่งน้ำหนัก

การคำนวณ

$$\text{สูตร Crude Fiber} = \frac{F1 - F2 \times 100}{F0}$$

F1 = น้ำหนัก Crude Fiber ที่ได้จากการอบที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส

F2 = น้ำหนัก Crude Fiber ที่ได้จากการเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส

F0 = น้ำหนักตัวอย่าง

4. การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (AOAC., 2000)

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์ชุดสกัดน้ำมัน (Soxhlet apparatus) ประกอบด้วยบีกเกอร์สำหรับใส่ตัวทำละลาย ซอคเลต (Soxhlet) เครื่องควบแน่น (condenser) และเตาให้ความร้อน (heating mantle)
2. หลอดใส่ตัวอย่าง (extraction thimble)
3. สำลี
4. ตู้อบไฟฟ้า
5. เครื่องชั่งไฟฟ้า
6. โถดูดความชื้น

วิธีการ

1. อบบีกเกอร์สำหรับหาไขมัน ซึ่งมีขนาดความจุ 1850 มิลลิลิตร ในตู้อบไฟฟ้า ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น และชั่งน้ำหนักที่แน่นอน

2. ชั่งตัวอย่างบนหกระดาษที่ทราบน้ำหนักประมาณ 1-2 กรัม ห่อให้มิดชิด แล้วใส่ลงในหลอดสำหรับใส่ตัวอย่าง คลุมด้วยสำลีเพื่อให้สารละลายมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอ

3. นำหลอดตัวอย่างใส่ลงในซอคเลต

4. เติมปิโตรเลียมอีเทอร์ลงในขวดไขมันปริมาณ 50 มิลลิลิตร แล้ววางบนเตาให้ความร้อน

5. ทำการสกัดไขมันเป็นเวลา 45 นาที โดยปรับความร้อนให้หยดของสารทำละลายกลั่นตัวจากอุปกรณ์ควบแน่นด้วยอัตรา 150 หยดต่อนาที

6. ระเหยจนเหลือสารละลายฝนขวดกลมเพียงเล็กน้อยด้วยเครื่องระเหยตัวทำละลาย

7. นำบีกเกอร์นั้นไปอบในตู้ที่อุณหภูมิ 80-90 องศาเซลเซียส จนแห้งทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น

8. ชั่งน้ำหนัก แล้วอบซ้ำครั้งละ 30 นาที จนกรทั่งผลต่างของน้ำหนักทั้งสองติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณไขมัน (ร้อยละ)} = \frac{100 \times \text{น้ำหนักไขมันหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}}$$

5. การวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรตโดยวิธีการคำนวณ

ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ) = 100 – (ผลรวมระหว่างปริมาณความชื้น ไขมัน โปรตีน เยื่อใย และเถ้า)

6. การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (AOAC., 2000)

อุปกรณ์

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

วิธีการ

1. เผาถ้วยกระเบื้องเคลือบในเตาเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ปิดสวิตช์เตาเผา แล้วรอประมาณ 30-45 นาที เพื่อให้อุณหภูมิเตาเผาลดลงก่อน แล้วนำออกจากเตาเผาใส่ในโถดูดความชื้น ปล่อยให้เย็น จนถึงอุณหภูมิห้องแล้วชั่งน้ำหนัก

2. เผาซ้ำอีกครั้งละประมาณ 30 นาที และกระทำเช่นข้อ 1 จนได้ผลต่างของน้ำหนักทั้ง 2 ครั้ง ติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม

3. ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 2 กรัม ใส่ในถ้วยกระเบื้องเคลือบที่รู้น้ำหนักแน่นอนแล้วนำไปเผาในตู้ควันจนหมดควัน แล้วจึงนำเข้าเตาเผาอุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส และกระทำเช่นเดียวกับข้อ 1-2

การคำนวณ

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

7. การวิเคราะห์กิจกรรมต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH (Turkmen, Sari and Velioglu, 2005)

วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่าง 0.30 กรัม ปั่นผสมด้วยเครื่องสับผสม (blender) ในเมทานอล 50 มิลลิลิตร
2. นำมากรองด้วยกระดาษกรอง เบอร์ 4 นำส่วนใสที่ได้ 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลอง เติม DPPH ในเมทานอล 0.1 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร
3. นำไปเก็บไว้ในที่มืดเป็นเวลา 60 นาที นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ คำนวณหาร้อยละของฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ จากสูตรดังนี้

% Antioxidant = [(Ac – As)/Ac] x 100

เมื่อ Ac คือ absorbance ชุดควบคุม
As คือ absorbance ตัวอย่าง

7. การวิเคราะห์กิจกรรมต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS (Re el al., 1999)

วิธีการ

1. ชั่งสาร ABTS [2,2 –anznobis-(3-ethlbenzothaiazoline-6-sulphonic acid)] 0.0192 กรัม ละลายในน้ำกลั่นปริมาตร 5 มิลลิลิตร จะได้สารละลาย ABTS ที่มีความเข้มข้น 7 mM.
2. ชั่งสาร Potassium persulfate ($K_2S_2O_8$) ละลายในน้ำกลั่นปริมาตร 10 มิลลิลิตร จะได้สารละลาย Potassium persulfate ที่มีความเข้มข้น 140 mM.
3. ผสมสารละลาย 7 mM. ABTS 2 มิลลิลิตร กับสารละลาย 140 mM. $K_2S_2O_8$ 35.5 ไมโครลิตร ในขวดสีชา ตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 16 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้องก่อนนำมาใช้งาน จะได้ stock ABTS radical cation
4. เจือจาง stock ABTS radical cation ด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออนให้ได้ค่าการดูดกลืนแสงที่ 734 นาโนเมตร เท่ากับ 0.700 ± 0.02 (ต้องเตรียมใหม่ทุกครั้งก่อนการใช้งาน)
5. เตรียมตัวอย่างสารสกัดที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ให้ได้ความเข้มข้นของสารละลายคือ 0.1-8.0 ml/mg ปิเปตสารละลายสกัดปริมาตร 0.01 ml ในหลอดทดลองและใช้น้ำกลั่นเป็นชุดควบคุม
6. เติม ABTS 1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 6 นาที และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร
7. นำค่าที่ได้ไปคำนวณหา % inhibition และหาค่า IC_{50} จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % Inhibition กับความเข้มของสารสกัดตามสมการดังนี้

% Antioxidant = [(Ac – As)/Ac] x 100

เมื่อ Ac คือ absorbance ชุดควบคุม
As คือ absorbance ตัวอย่าง

8. การวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ (Vonshak., 1997)

วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่างอบแห้ง 0.1 กรัม ละลายในเมทานอล 20 มิลลิลิตร
2. นำมาเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 3500 rpm เป็นเวลา 5 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส
3. นำส่วนตะกอนที่ได้มาเติมเมทานอล 5 มิลลิลิตร หลังจากนั้นนำไปบ่มที่อ่างน้ำให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที
4. นำไปเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 3500 rpm เป็นเวลา 5 นาที ที่อุณหภูมิ 4 °C นำส่วนใสไปวัดการดูดกลืนแสงที่ 665 นาโนเมตร

9. การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (Shahidi and Naczk., 1995)

วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่าง 20 กรัม ปั่นผสมกับสารละลายเอธิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 80 ด้วยเครื่อง blender นาน 1 นาที
2. นำตัวอย่างที่ปั่นผสมแล้วมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 เจือจางตัวอย่างด้วยน้ำกลั่น โดยใช้อัตราส่วน 1:10 ส่วน ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม Vortex mixer
3. ดูดตัวอย่างที่เจือจางแล้วมา 2 มิลลิลิตร ใส่สารละลาย Folin-Ciocaltue phenol reagent ความเข้มข้นร้อยละ 10 ลงไป 5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที
4. เติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้นร้อยละ 7.5 ลงไป 4 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส 15 นาที ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
5. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร คำนวณปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด โดยเทียบจากกราฟมาตรฐานของ gallic acid (50-250 มิลลิกรัม/ลิตร)

10. การวิเคราะห์ปริมาณกรดไธโอบาบิทูริก (TBA) (Kirk and Sawyer, 1991)

สารเคมี

1. Thiobarbituric acid reagent (TBA reagent) เตรียมโดยการละลายกรด Thiobarbituric 2.883 กรัม ในสารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น ร้อยละ 90 แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 1 ลิตร ด้วยกรดอะซิติกเข้มข้นร้อยละ 90
2. กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 4 โมลาร์

วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่าง 10 กรัม ผสมกับน้ำกลั่น 97.5 มิลลิลิตร ใส่ในขวดก้นกลม
2. เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้น 4 โมล่าร์ จำนวน 2.5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน นำไปกลั่นจนได้ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ปิเปตตัวอย่างมา 5 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองที่มีฝาปิด

3. เติมสารละลายกรด 2–ไทโอบาร์บิทูริก (กรด 2–ไทโอ-บาร์บิทูริก (2–thiobarbituric Acid) 0.2883 กรัม ในกรดอะซิติกเข้มข้น (Glacial Acetic Acid) 90 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร) จำนวน 5 มิลลิลิตร ปิดฝาหลอดแล้วเขย่าให้เข้ากัน

4. นำไปต้มในน้ำเดือด 35 นาที ทำให้เย็น วัดค่าการดูดกลืนแสง (D) ที่ความยาวคลื่น 538 nm เทียบกับสารละลายน้ำกลั่น 5 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลายกรด 2–ไทโอบาร์บิทูริก คำนวณหาค่า TBA (มิลลิกรัมของ malonadehyde / กิโลกรัมของตัวอย่าง) = 7.8. D

11. การวัดค่าปริมาณน้ำอิสระ โดยเครื่องวัดค่า a_w

วัดค่าปริมาณน้ำอิสระ โดยใช้เครื่องวัดค่า a_w โดยใส่ตัวอย่างอาหารที่บดละเอียดลงในตลับสำหรับวัดตัวอย่างประมาณ 1 ใน 3 ของตลับ จากนั้นนำไปวางในเครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ รอจนกระทั่งเครื่องอ่านค่าปริมาณอิสระ จดบันทึกค่าปริมาณน้ำอิสระที่วัดได้ วัดค่า 3 ซ้ำ แล้วหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าปริมาณน้ำอิสระที่ได้

ภาคผนวก ค

วิธีวิเคราะห์ทางกายภาพ

1. การวัดค่าสีด้วยเครื่อง HUNTER LAB (Valencia Rodriguez, et al., 2003)

นำสาหร่ายอบแห้งมาวัดค่าสีด้วยเครื่อง HUNTER LAB ซึ่งบันทึกค่าในระบบ CIE Lab วัดค่า L*, a* และ b* และรายงานผลเป็นค่า

ค่าความแตกต่างของสี (ΔE^*) เท่ากับ $(\Delta L^* + \Delta a^* + \Delta b^*)^{1/2}$ โดยที่

ค่า L* คือค่าแสดงความสว่างของสี ซึ่งค่า L* มีค่า 0 ถึง 100 ถ้าค่า L* มากแสดงว่าสีสว่างมาก โดยที่ระดับ L* เท่ากับ 0 จะเป็นสีดำ

ค่า a* คือค่าแสดงระดับสีแดง-เขียว เมื่อค่า a* เป็นบวกจะแสดงถึงลักษณะสีแดง และเมื่อค่า a* เป็นลบจะแสดงลักษณะสีเขียว โดยที่เมื่อค่าห่างจาก 0 มาก แสดงถึงค่าสีแดง หรือสีเขียวมาก

ค่า b* คือค่าแสดงระดับสีเหลือง-น้ำเงิน เมื่อค่า b* มีค่าบวกจะแสดงถึงลักษณะสีเหลือง และเมื่อค่า b* เป็นลบจะแสดงลักษณะสีน้ำเงิน โดยที่เมื่อค่าห่างจาก 0 มาก แสดงถึงค่าสีเหลืองหรือสีน้ำเงินมากขึ้น

3. การวัดลักษณะทางเนื้อสัมผัส (วัดค่าแรงกดแตก: compression force) (ประชา และ จุฬาลักษณ์, 2542)

การวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมขบเคี้ยว เป็นการวัดค่าแรงกดแตก (compression force) ทำได้โดยใช้เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส QTS 25 Texture Analyzer (Brookflid Engineering Lab., USA) ใช้หัววัดในลักษณะกดเป็น P50 (50 mm. Dia. Cylinder Aluminum) เพื่อวัดแรงที่กดลงบนขนมขบเคี้ยวแล้วทำให้ขนมขบเคี้ยวนี้แตก ค่าแรงกดแตกจะสัมพันธ์กับค่าความแข็ง (hardness) ของขนมขบเคี้ยวที่วัด

สภาวะที่กำหนดในการวัด มีดังนี้

ความเร็วของหัววัดที่เคลื่อนที่ลงก่อนสัมผัส ขนมขบเคี้ยวมีอัตราความเร็ว (pre-test speed) 5.0 มิลลิเมตรต่อวินาที ความเร็วของหัววัดขณะเคลื่อนที่ลงในเนื้อขนมขบเคี้ยว (test speed) 5.0 มิลลิเมตรต่อวินาที ความเร็วของหัววัดและเคลื่อนที่ออกจากขนมขบเคี้ยว (post-testspeed) 10.0 มิลลิเมตรต่อวินาที ระยะทางที่หัววัดเคลื่อนที่ลงในเนื้อขนมขบเคี้ยว 50% stain
ทำการวัด 10 ครั้ง (ในการวัดแต่ละครั้งใช้ขนมขบเคี้ยว จำนวน 1 ชิ้น) หาค่าเฉลี่ย พิจารณาค่าเฉลี่ยของแรงสูงสุดที่กดลงบนขนมขบเคี้ยวแล้วทำให้แตกของแต่ละตัวอย่าง (average maximum peak force) หน่วยเป็นกรัม

ภาคผนวก ง

วิธีวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยา

วิเคราะห์หาปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดทั้งหมด (total plate count) ด้วยวิธีพอร์เพลท (pour plate) และปริมาณเชื้อยีสต์และราด้วยวิธีการสเปรดเพลท (spread plate)

1. การวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (FDA BAM (2001), Ch.3)

วิธีการ

1. ตัวอย่าง 10 กรัม เติมสารละลายสำหรับเจือจาง 90 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันใน stomacher 1 นาที
2. ตัวอย่างเจือจาง 1:10 (ทำให้เจือจางจนกว่าจะอ่านจำนวนจุลินทรีย์ได้ 25-250 โคโลนี)
3. นำระดับความเจือจางที่ต้องการ
4. เทอาหารเลี้ยงเชื้อ Standard Plate Count Agar ที่ฆ่าเชื้อแล้ว หลอมเหลวที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส 15 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วทิ้งให้วุ้นแข็ง
5. อบเพาะเชื้อในลักษณะกลับจานเพาะเชื้อที่ 35-37 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง
6. นับจำนวนโคโลนีเฉพาะจานเพาะเชื้อที่มีปริมาณ 25-250 โคโลนี หาค่าเฉลี่ยแล้วคำนวณโคโลนีต่อกรัมหรือมิลลิลิตร

2. การวิเคราะห์ปริมาณเชื้อยีสต์และรา (FDA BAM (2001),Ch.18)

วิธีการ

1. ตัวอย่างเจือจางที่ความเข้มข้นที่ต้องการ
2. เทอาหารเลี้ยงเชื้อ Potato Dextrose Agar (PDA) ที่ฆ่าเชื้อแล้วและปรับ pH ด้วย Tartaric acid หรือ Chlortetracycline-HCL แล้ว 15 มิลลิลิตร
3. ผสมให้เข้ากันแล้วทิ้งให้วุ้นแข็ง
4. อบเพาะเชื้อในลักษณะกลับจานเพาะเชื้อที่ 20-25 องศาเซลเซียส 5 วัน หรือ 35-37 องศาเซลเซียส 3 วัน
5. นับจำนวนโคโลนี คำนวณค่ายีสต์และราโคโลนีต่อกรัม หรือมิลลิลิตร

2. การวิเคราะห์เอสเชอริเชีย โคไล โดยวิธีเอ็มพีเอ็ม (FDA BAM (2002), Ch.4)

วิธีการ

1. ตัวอย่างเจือจางที่ความเข้มข้นที่ต้องการ
2. เทอาหารเลี้ยงเชื้อ Potato Dextrose Agar (PDA) ที่ฆ่าเชื้อแล้วและปรับ pH ด้วย Tartaric acid หรือ Chlortetracycline-HCL แล้ว 15 มิลลิลิตร
3. ผสมให้เข้ากันแล้วทิ้งให้วุ้นแข็ง
4. อบเพาะเชื้อในลักษณะกลับจานเพาะเชื้อที่ 20-25 องศาเซลเซียส 5 วัน หรือ 35-37 องศาเซลเซียส 3 วัน
5. นับจำนวนโคโลนี คำนวณค่ายีสต์และราโคโลนีต่อกรัม หรือมิลลิลิตร

3. การหาปริมาณโคลิฟอร์ม (Coliform) และ *Escherichia coli.* โดยวิธี MPN (Most probable number method)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. หลอดทดลอง (test tube) พร้อมหลอดดักก๊าซ (durham tube)
2. ปิเปตขนาด 1 และ 10 มิลลิลิตร
3. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ
4. ตู้บ่มเชื้อ
5. หม้อนึ่งความดัน

อาหารเลี้ยงเชื้อและสารละลายสำหรับเจือจาง

1. สารละลายบัฟเฟอร์เปปโตน ความเข้มข้นร้อยละ 0.1
2. อาหารเลี้ยงเชื้อ Lauryl sulphate broth
3. อาหารเลี้ยงเชื้อ Brillant green lactose bile broth

วิธีวิเคราะห์

1. การเตรียมตัวอย่าง

1.1 ใช้มีดและปากคีบที่ปราศจากเชื้อโดยการลนไฟและเช็ดด้วแอลกอฮอล์ ตัดตัวอย่างจากหลายๆ ส่วน ชั่งน้ำหนักได้ 25 กรัม ใส่ในถุงตีบดด้วยเครื่องตีบดอาหาร (stomacher bag) เป็นเวลา 2 นาที จะได้ตัวอย่างอาหารที่มีความเจือจาง 1 : 10 (10-1)

1.2 เขย่าอาหารให้ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน ใช้ปิเปตดูดตัวอย่างอาหารที่เจือจาง 1 : 10 (10-1) ปริมาตร 1 มิลลิลิตรใส่ในหลอดทดลองที่มีสารละลายบัฟเฟอร์เปปโตน 9 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันด้วยเครื่องเขย่า จะได้อาหารที่เจือจาง 1 : 100 (10-2)

2. การวิเคราะห์แบคทีเรียที่คาดว่าเป็นโคลิฟอร์ม (presumptive coliforms)

2.1 ใช้ปิเปตขนาด 1 มิลลิลิตร ดูดตัวอย่างที่ระดับเจือจางต่างๆ (1 :10-1 และ 10-2) ลงในหลอดทดลองที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อ Lauryl sulphate broth ปริมาตร 10 มิลลิลิตร จำนวน 3 ชุด ชุดละ 5 หลอด โดยชุดที่ 1 ปิเปตตัวอย่างจำนวน 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง 3 หลอด ชุดที่ 2 ปิเปตตัวอย่างที่ระดับ 10-1 จำนวน 1 มิลลิลิตรใส่หลอดทดลอง 3 หลอด ชุดที่ 3 ปิเปตตัวอย่างที่ระดับ 10-2 จำนวน 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง 3 หลอด

2.2 บ่มหลอดเลี้ยงเชื้อในตู้บ่มอุณหภูมิ 37±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48±2 ชั่วโมง หากหลอดทดลองใดมีก๊าซเกิดขึ้นในหลอดดักก๊าซ แสดงว่าให้ผลเป็นบวก (positive) ซึ่งคาดว่าจะมีเชื้อจุลินทรีย์ชนิดโคลิฟอร์มเจริญอยู่ในตัวอย่างนั้น ถ้าไม่พบก๊าซในหลอดดักก๊าซใดเลย แสดงว่าให้ผลลบ (negative) และไม่มีเชื้อจุลินทรีย์ชนิดโคลิฟอร์มเจริญอยู่ในตัวอย่าง

2.3 การรายงานจำนวนโคลิฟอร์มในตัวอย่างที่เกิดก๊าซขึ้นให้เปิดตาราง แมคคราดี แล้วรายงานเป็น จำนวนโคลิฟอร์มแบคทีเรียต่อตัวอย่าง 1 กรัม

3. การยืนยันโคลิฟอร์ม

3.1 ใช้ห่วง (loop) เขี่ยเชื้อจากหลอดเลี้ยงเชื้อที่ให้ผลบวก (positive) จากการทดสอบแบคทีเรียที่คาดว่าเป็นโคลิฟอร์ม ลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ Eosin methylene blue agar ในจานเพาะเชื้อ

3.2 บ่มจานเพาะเชื้อในตู้บ่มอุณหภูมิ 37±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ถึง 24 ชั่วโมง

3.3 ตรวจหาโคโลนีที่เป็นลักษณะเฉพาะของโคลิฟอร์ม โดยโคโลนีของโคลิฟอร์มจะมีสีดำ หรือมีสีดำตรงกลางล้อมรอบด้วยบริเวณที่โปร่งใส ไม่มีสี โคลิฟอร์มบางโคโลนี มีลักษณะนูน เปียกเยิ้ม (mucoid)

4. การวิเคราะห์แบคทีเรียที่คาดว่าเป็น *E. coli*

4.1 ใช้เข็มเขี่ยเชื้อ (needle) เขี่ยเชื้อจากหลอดเลี้ยงเชื้อที่ให้ผลบวก (positive) จากการทดสอบแบคทีเรียที่คาดว่าเป็นโคลิฟอร์ม ลงในหลอดทดลองที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อ Brillant green lactose bile broth ปริมาตร 10 มิลลิลิตร โดยหลอดอาหารเลี้ยงเชื้อต้องปรับให้มีอุณหภูมิเท่ากับ 44.5 องศาเซลเซียสก่อนนำไปใช้

4.2 เขี่ยเชื้อ *E. coli* ซึ่งเป็นเชื้อมาตรฐานลงในหลอดทดลองที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อ Brillant green lactose bile broth ปริมาตร 10 มิลลิลิตร อีก 2 หลอด เพื่อใช้เป็นหลอดควบคุม

4.3 บ่มหลอดเลี้ยงเชื้อลงในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ 44.5 ± 0.5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

4.4 หลอดทดลองที่มีก๊าซเกิดขึ้นหรือให้ผลบวก (positive) แสดงว่ามีแบคทีเรียที่คาดว่าจะเป็น *E. coli* ให้ทำการวิเคราะห์เพื่อยืนยัน *E. coli*

5. การวิเคราะห์เพื่อยืนยัน *E. coli*

5.1 เขี่ยเชื้อจากหลอดเลี้ยงเชื้อที่ให้ผลบวก (positive) จากการทดสอบแบคทีเรียที่คาดว่าเป็น *E. coli* ลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ Eosin methylene blue agar ในจานเพาะเชื้อ

5.2 บ่มจานเพาะเชื้อในตู้บ่มเชื้ออุณหภูมิ 37±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ถึง 24 ชั่วโมง

5.3 เลือกโคโลนีที่มีลักษณะเฉพาะของ *E.coli* ซึ่งมีสีน้ำเงินอมดำตรงกลาง มีสีเลื่อมมันอมเขียวสะท้อนแสง โดยบางครั้งสีเลื่อมมันอาจไม่ปรากฏ เขี่ยเชื้อครั้งละ 1 โคโลนีลงในน้ำทริปโตน (tryptone water) แล้วบ่มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ 44.5±0.5 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

5.4 เขี่ยเชื้อ *E.coli* มาตรฐานในหลอดน้ำทริปโตน เพื่อเป็นตัวอย่างควบคุม

5.5 ทดสอบสารอินโดล หลอดทดลองที่มีอินโดลเกิดขึ้น แสดงว่าเป็นเชื้อ *E. coli* จากนั้นบันทึกจำนวนหลอดทดลองที่ให้ผลบวก (positive)

5.6 คำนวณและรายงานค่า MPN ของ Coliform และ *E. coli* ในตัวอย่างผลิตภัณฑ์ 1 กรัม

5.7 การทดสอบยืนยันเพิ่มเติมเกี่ยวกับ Coliform และ *E. coli* ควรทำการทดสอบ Methyl red, Voges-Proskauer และ Citrate test โดยก่อนจะทดสอบปฏิกิริยาเหล่านี้ต้องแยกเชื้อ *E.coli* ให้บริสุทธิ์ก่อน

เลขทะเบียน.....

หนังสือยินยอมการเผยแพร่ผลงานทางวิชาการบนเว็บไซต์ ฐานข้อมูล NU Digital Repository (http://obj.lib.nu.ac.th/media/) สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนเรศวร

ตามที่ข้าพเจ้า ผศ.ดร.นิติพงศ์ จิตรีโภชน์ (ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม) ได้ส่งผลงานทางวิชาการการรายงานการวิจัย (เรื่อง) รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ผลของกระบวนการทำแห้งต่อกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์สาหร่ายเทาน้ำอบแห้ง

ปีที่พิมพ์ 2557

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานทางวิชาการเป็นลิขสิทธิ์ของข้าพเจ้า ผศ.ดร.นิติพงศ์ จิตรีโภชน์ (ผู้วิจัยร่วม) และท่านอื่น ๆ เป็นเจ้าของลิขสิทธิ์ร่วม และเพื่อให้ผลงานทางวิชาการของข้าพเจ้าเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาและสาธารณชน จึงอนุญาตให้เผยแพร่ผลงาน ดังนี้

- ☑ อนุญาตให้เผยแพร่
- ☐ ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ เนื่องจาก.....

.....

.....

ลงชื่อ .....

(ผศ.ดร. นิติพงศ์ จิตรีโภชน์)

วันที่ 6 พ.ย. 58

หมายเหตุ ลิขสิทธิ์ใดๆ ที่ปรากฏอยู่ในผลงานนี้เป็นความรับผิดชอบของเจ้าของผลงาน ไม่ใช่ของสำนักหอสมุด