รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การเพิ่มมูลค่าสาหร่ายผักกาดทะเลโดยใช้เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ

Value Added of Sea Lettuce (*Ulva rigida*) using as Food Ingredient in Functional Food Product

นางสาววิชมณี ยืนยงพุทธกาล	หัวหน้าโครงการวิจัย
นางสุวรรณา วรสิงห์	ผู้ร่วมวิจัย
นางพรนภา น้อยพันธ์	ผู้ร่วมวิจัย

โครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้
จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน)
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558
มหาวิทยาลัยบูรพา

รหัสโครงการ 2558A10802350
สัญญาเลขที่ 47/2558

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การเพิ่มมูลค่าสาหร่ายผักกาดทะเลโดยใช้เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ

Value Added of Sea Lettuce (*Ulva rigida*) using as Food Ingredient in Functional Food Product

นางสาววิชมณี ยืนยงพุทธกาล[1] หัวหน้าโครงการวิจัย
นางสุวรรณา วรสิงห์[2] ผู้ร่วมวิจัย
นางพรนภา น้อยพันธ์[1] ผู้ร่วมวิจัย

[1]ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
[2]ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งตราด

สิงหาคม 2559

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558 มหาวิทยาลัยบูรพา ผ่านสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ เลขที่สัญญา 47/2558 คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณผู้ช่วยวิจัย ได้แก่ นางสาวกฤษติยา ทิสมบูรณ์ และนางสาวนิภา เสือเดช ขอขอบคุณภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการทำงานวิจัย รวมถึงขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ และนิสิตภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร รวมถึงผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่มีส่วนให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัยครั้งนี้

สิงหาคม 2559

บทคัดย่อ

ศึกษาการเตรียมขั้นต้นด้วยการลวกในน้ำ สารละลายโซเดียมคลอไรด์ และแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ต่อคุณภาพของสาหร่ายผักกาดทะเลแห้ง พบว่าการเตรียมขั้นต้นมีผลต่อปริมาณสารพฤกษเคมี สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระและค่าสีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยการเตรียมขั้นต้นที่เหมาะสมที่สุดที่สามารถรักษาสารพฤกษเคมี และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระได้มากที่สุด และได้สาหร่ายผักกาดทะเลที่มีสีเขียวมากที่สุด คือการเตรียมขั้นต้นด้วยการแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 240 วินาที ก่อนการทำแห้ง จากการศึกษาขนาดอนุภาคผงต่อต่อคุณภาพทางเคมีกายภาพของสาหร่ายผักกาดทะเลผง พบว่าการบดลดขนาดอนุภาคมีผลต่อสมบัติเชิงหน้าที่ด้านต่างๆ ของสาหร่ายผักกาดทะเลผงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ไม่มีผลต่อปริมาณความชื้นและค่า a_w อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) การบดสาหร่ายผักกาดทะเลแห้งให้มีขนาดอนุภาคผงเล็กที่สุด (ขนาดเล็กกว่า 177 ไมครอน) มีความเหมาะสมที่สุด ได้สาหร่ายผักกาดทะเลผงที่มีสมบัติเชิงหน้าที่ด้านความสามารถในการละลาย ความสามารถในการอุ้มน้ำ ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน และความสามารถในการเกิดอิมัลชันสูงที่สุด จากการนำสาหร่ายผักกาดทะเลผงใช้เป็นส่วนประกอบในไอศกรีมไขมันต่ำ (0-2.0 เปอร์เซ็นต์) พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงในไอศกรีมไขมันต่ำมีแนวโน้มทำให้ค่าสี L* a* b* ความหนืดของไอศกรีมเหลว และค่าการขึ้นฟูเพิ่มขึ้น แต่อัตราการละลายมีแนวโน้มลดลง ($p<0.05$) การเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผง 0.5 เปอร์เซ็นต์ ในไอศกรีมไขมันต่ำทำให้ได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมมากที่สุด ($p<0.05$) การเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผง 0.5 และ 1.0 เปอร์เซ็นต์ ในไอศกรีมไขมันต่ำ มีผลทำให้องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ ได้แก่ ปริมาณแคลเซียม ปริมาณแคโรทีนอยด์ ปริมาณใยอาหารทั้งหมด ปริมาณโปรตีน และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นมากกว่าไอศกรีมสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงเพิ่มลงในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว (0-20 เปอร์เซ็นต์) พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงในขนมขบเคี้ยวมีแนวโน้มทำให้ ปริมาณโปรตีน ปริมาณไขมัน และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น รวมทั้งค่าสี a* และ b* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ค่าสี L* และค่าความแข็งมีแนวโน้มลดลง ($p<0.05$) โดยการเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผง 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ ในขนมขบเคี้ยวทำให้ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมมากที่สุด ($p<0.05$)

Abstract

Effect of pre-treament using water and NaCl blanching as well as NaCl- soaking on dried sea lettuce quality were studied. It was found that pre-treament methods effected on the content of phytochemical and antioxidant as well as color values significantly different ($p<0.05$). The most appropriate pre-treatment method which could maintained highest phytochemical content, antioxidant properties and remained most green color of dried sea lettuce was 1% NaCl-soaking for 240 seconds prior to drying. Then effect of particle size on the physicochemical of Sea Lettuce powder was studied. It was found that particle size reduction significantly effected on functional properties of Sea Lettuce powder ($p<0.05$). Whereas, there were no significantly effected on moisture content and aw ($p\geq0.05$). Grinding the dried sea lettuce to smallest particle size powder (smaller than 177 Micron) was the most appropriate. It was resulted Sea Lettuce powder with the best functional properties in terms of solubility, water holding capacity, oil holding capacity and emulsifying ability. Addition of sea lettuce powder (0%-2.0%) as ingredient in low fat ice cream was evaluated. It was found that increasing amounts of sea lettuce powder in low fat ice cream tend to increased L*, a*, b*, ice cream mix viscosity, and overrun, but melting rate tend to decreased ($p<0.05$). Low fat ice cream with 0.5% sea lettuce powder received the highest liking score in terms of appearance, color, odor, taste, flavor, texture and overall liking ($p<0.05$). Addition of sea lettuce powder 0.5% and 1% in low fat ice cream resulted significantly increased important chemical composition such as content of calcium, carotenoid, total dietary fibre, protein and antioxidant properties more than control ice cream ($p<0.05$). Addition of sea lettuce powder (0%-20%) as ingredient in snack was evaluated. It was found that increasing amounts of sea lettuce powder in snack tend to increased protein content, fat content and antioxidant properties as well as a* color value and b* color value, but L* color value and hardness tend to decreased ($p<0.05$). Snack with 10% and 15% sea lettuce powder received the highest overall liking ($p<0.05$).

สารบัญ

		หน้า
	กิตติกรรมประกาศ	ก
	บทคัดย่อ	ข
	Abstract	ค
	สารบัญ	ง
	สารบัญตาราง	ฉ
	สารบัญภาพ	ซ
บทที่		
1	บทนำ	1
2	การตรวจเอกสาร	4
	สาหร่ายผักกาดทะเล	4
	การเตรียมขั้นต้นด้วยการลวกและการใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์	7
	ใยอาหาร	9
	การทำแห้งด้วยสภาวะสุญญากาศ	12
	สารต้านอนุมูลอิสระ	14
	ไอศกรีม	16
	ขนมขบเคี้ยว	20
	ข้าวเนียวดำ	22
	ปลากะตัก	24
	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	25
3	วิธีดำเนินการทดลอง	30
	วัตถุดิบและสารเคมี	30
	อุปกรณ์และเครื่องมือ	30
	วิธีการดำเนินการทดลอง	31
4	ผลการทดลองและวิจารณ์	38
5	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	73
	บรรณานุกรม	75
	ภาคผนวก	84

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ก การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี..... 85

ภาคผนวก ข การวิเคราะห์ทางกายภาพ..... 100

ภาคผนวก ค แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส..... 107

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายผักกาดทะเล (*Ulva rigida*).....	5
2-2	ปริมาณคุณค่าทางอาหารที่มีในสาหร่ายผักกาดทะเลแห้ง (*Ulva rigida*).....	6
2-3	ปริมาณรงควัตถุที่สำคัญในสาหร่ายผักกาดทะเล (*Ulva rigida*).....	6
2-4	ปริมาณกรดอะมิโนจำเป็นในสาหร่ายผักกาดทะเล (*Ulva rigida*).....	6
2-5	ปริมาณกรดอะมิโนไม่จำเป็นในสาหร่ายผักกาดทะเล (*Ulva rigida*).....	7
2-6	ปริมาณใยอาหารที่พบในสาหร่าย ถั่ว ธัญพืช ผักและผลไม้บางชนิด (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง).....	12
2-7	คุณค่าทางโภชนาการของข้าวเหนียวดำ พันธุ์ลืมผัว.....	24
2-8	คุณค่าทางสารอาหารของปลากะตัก 100 กรัม.....	25
3-1	ส่วนผสมไอศกรีมไขมันต่ำสูตรพื้นฐาน.....	35
4-1	ปริมาณผลได้ของสาหร่ายผักกาดทะเลแห้งที่ไม่ผ่านและผ่านการเตรียมขั้นต้น.....	39
4-2	ปริมาณความชื้นของสาหร่ายผักกาดทะเลแห้งที่ไม่ผ่านและผ่านการเตรียมขั้นต้น.....	39
4-3	ปริมาณโปรตีนของสาหร่ายผักกาดทะเลแห้งที่ไม่ผ่านและผ่านการเตรียมขั้นต้น.....	40
4-4	ปริมาณเส้นใยทั้งหมดของสาหร่ายผักกาดทะเลแห้งที่ไม่ผ่านและผ่านการเตรียมขั้นต้น.....	41
4-5	ปริมาณแคโรทีนอยด์ของสาหร่ายผักกาดทะเลแห้งที่ไม่ผ่านและผ่านการเตรียมขั้นต้น.....	41
4-6	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของสาหร่ายผักกาดทะเลแห้งที่ไม่ผ่านและผ่านการเตรียมขั้นต้น.....	43
4-7	ค่าสี L* a* b* ของสาหร่ายผักกาดทะเลแห้งที่ไม่ผ่านและผ่านการเตรียมขั้นต้น....	44
4-8	ปริมาณความชื้น ค่า a_w และความหนาแน่นของสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่มีขนาดอนุภาคต่างๆ.....	47
4-9	ค่าสี L* a* และ b* ของสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่มีขนาดอนุภาคต่างๆ.....	48

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4-10	สมบัติเชิงหน้าที่ด้านความสามารถในการละลาย (Solubility) ความสามารถในการอุ้มน้ำ (WHC) ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (OHC) และความสามารถในการเกิดอิมัลชัน (EC) ของสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่มีขนาดอนุภาคต่างๆ.....	49
4-11	คุณภาพทางเคมีและกายภาพของสาหร่ายผักกาดทะเลสด.....	53
4-12	ค่าสี L* a* b* ของไอศกรีมไขมันต่ำที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงปริมาณต่างๆ...	56
4-13	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของไอศกรีมไขมันต่ำที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงปริมาณต่างๆ.....	57
4-14	ค่าความหนืดของไอศกรีมเหลวที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงปริมาณต่างๆ.....	59
4-15	ค่าการขึ้นฟูของไอศกรีมไขมันต่ำที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงปริมาณต่างๆ.....	59
4-16	อัตราการละลายของไอศกรีมไขมันต่ำเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงปริมาณต่างๆ ที่เมื่อตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิเป็นเวลาต่างๆ.....	62
4-17	คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมไขมันต่ำที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงปริมาณต่างๆ.....	63
4-18	คุณภาพทางเคมีของไอศกรีมไขมันต่ำที่เติมและไม่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผง.....	65
4-19	ค่าสี L* a* b* ของขนมขบเคี้ยวที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงปริมาณต่างๆ.....	67
4-20	ค่าความแข็งของขนมขบเคี้ยวที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงปริมาณต่างๆ.....	68
4-21	ปริมาณโปรตีน ไขมัน และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของขนมขบเคี้ยวที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงปริมาณต่างๆ.....	69
4-22	คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบของขนมขบเคี้ยวที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงปริมาณต่างๆ.....	70

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2-1	สาหร่ายผักกาดทะเล.....	4
4-1	ลักษณะของสาหร่ายผักกาดทะเลแห้งไม่ผ่านและผ่านการเตรียมขั้นต้นวิธีต่างๆ ก) สาหร่ายผักกาดทะเลสด (Fresh) ข) ลวกในน้ำ (Water - blanching) ค) ลวกในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl-blanching) และ ง) แช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์.....	44
4-2	ลักษณะของสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่มีขนาดอนุภาคต่างๆ ก) ขนาดอนุภาคใหญ่กว่า 250 ไมครอน (ร่อนไม่ผ่านตะแกรงขนาด 60 เมช) ข) ขนาดอนุภาค 211-250 ไมครอน (ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 60 เมช) ค) ขนาดอนุภาค 177-210 ไมครอน (ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 70 เมช) และ ง) ขนาดอนุภาคเล็กกว่า 177 ไมครอน (ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 80 เมช).....	46
4-3	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดของสารละลายสาหร่ายผักกาดทะเลผงความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ ที่ผ่านการให้ความร้อนที่ 80 องศาเซลเซียส 30 วินาที กับระยะเวลา (ตัวเลขที่กำกับไว้ที่เส้นคืออุณหภูมิของสารละลายสาหร่ายผักกาดทะเลที่เวลาต่างๆ).....	52
4-4	ลักษณะของไอศกรีมไขมันต่ำที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงปริมาณต่างๆ ก) ไอศกรีมเติมสาหร่ายผง 0 เปอร์เซ็นต์ (ตัวควบคุม) ข) ไอศกรีมเติมสาหร่ายผง 0.5 เปอร์เซ็นต์ ค) ไอศกรีมเติมสาหร่ายผง 1 เปอร์เซ็นต์ ง) ไอศกรีมเติมสาหร่ายผง 1.5 เปอร์เซ็นต์ และ จ) ไอศกรีมเติมสาหร่ายผง 2 เปอร์เซ็นต์.....	56
4-5	ลักษณะของขนมขบเคี้ยวที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงปริมาณต่างๆ ก) ขนมขบเคี้ยวเติมสาหร่ายผง 0 เปอร์เซ็นต์ (ตัวควบคุม) ขนมขบเคี้ยวเติมสาหร่ายผง 5 เปอร์เซ็นต์ ค) ขนมขบเคี้ยวเติมสาหร่ายผง 10 เปอร์เซ็นต์ ง) ขนมขบเคี้ยวเติมสาหร่ายผง 15 เปอร์เซ็นต์.....	67
4-6	ตัวอย่างเอกสารที่ใช้เผยแพร่ความรู้ที่ได้สู่ชุมชน.....	72

บทที่ 1
บทนำ

ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

ในปัจจุบันผู้บริโภคให้ความสำคัญกับการพิจารณาถึงประโยชน์และคุณค่าทางโภชนาการของอาหารก่อนการบริโภคเพื่อให้รับประโยชน์อย่างสูงสุด อาหารที่ผลิตจากวัตถุดิบที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงหรือเป็นแหล่งของสารพฤกษเคมีที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายมักได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคมาก สาหร่ายทะเลที่บริโภคได้จัดเป็นวัตถุดิบชนิดหนึ่งที่มีการยอมรับว่าเป็นแหล่งของคุณค่าทางโภชนาการที่หลากหลายและเป็นประโยชน์ต่อร่างกาย โดยเฉพาะเป็นแหล่งโปรตีนที่ดี และไขมันต่ำ (อนุสรา แก่นทอง, 2555) สาหร่ายเป็นแหล่งที่ดีของแร่ธาตุชนิดต่างๆ ได้แก่ แคลเซียม ไอโอดีน เหล็ก โซเดียม แมกนีเซียม ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และสังกะสี (Davis et al., 2003; Ruperez, 2002) มีองค์ประกอบของกรดไขมันจำเป็นชนิดไม่อิ่มตัว ได้แก่ Eicosapentaenoic acid (EPA) และ Docosahexanoic acid (DHA) (Khotimchenko et al., 2002; Sanchez-Machado et al., 2004) เป็นแหล่งที่ดีของใยอาหาร (Dietary fibre) ทั้งที่ละลายน้ำได้และละลายน้ำไม่ได้ โดยองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นกลุ่มโพลีแซคคาร์ไรด์ที่ย่อยไม่ได้ (Non-digestible polysaccharides) ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีและโครงสร้างที่แตกต่างจากพืชทั่วไป มีส่วนช่วยลดระดับโคเรสเตอรอลและลดความดันโลหิตได้ (Jimenez-Escrig & Sanchez-Muniz, 2000) และมีรายงานว่าสาหร่ายทะเลที่บริโภคได้มีองค์ประกอบของสารพฤกษเคมีที่มีสมบัติต้านอนุมูลอิสระ เช่น สารประกอบโพลีฟีนอล แคโรทีนอยด์ โทโคฟีรอล ซึ่งล้วนมีบทบาทกำจัดอนุมูลอิสระจากร่างกายได้ (Jimenez-Escrig et al., 2001; Sanchez-Machado et al., 2000) จากการตรวจเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่ามีการนำสาหร่ายทะเลที่บริโภคได้มาเตรียมในรูปแบบผงและนำไปใช้ประโยชน์เป็นส่วนประกอบในอาหาร เช่น การใช้สาหร่ายทะเลสีน้ำตาล สาหร่ายวากาเมะ และสาหร่ายโนริผงแห้งเติมในผลิตภัณฑ์เนื้อประเภทอิมัลชัน (Emulsion meat) ที่มีปริมาณเกลือต่ำได้ (Cofrades et al., 2008) และการใช้สาหร่ายทะเลสีเขียว (*Enteromorpha compressa* L.) ผงแห้งเติมในขนมทอดกรอบพาโกดา (Pakoda) ซึ่งเป็นอาหารว่างพื้นเมืองของประเทศอินเดีย พบว่าทำให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณโปรตีน ใยอาหาร เหล็ก แคลเซียม และปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดเพิ่มขึ้น (Mamatha et al., 2007)

สาหร่ายผักกาดทะเล (Sea Lettuce) เป็นสาหร่ายทะเลสีเขียวชนิดหนึ่ง ซึ่งมีการรายงานถึงองค์ประกอบทางเคมีไว้ว่ามีโปรตีนและใยอาหารสูง แต่มีไขมันและพลังงานต่ำ โดยสาหร่ายผักกาดทะเลมีปริมาณโปรตีน 23 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 2.76 เปอร์เซ็นต์ คาร์โบไฮเดรต 25.35 เปอร์เซ็นต์ ใยอาหาร 9.79 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักแห้ง) และพลังงาน 218.2 กิโลแคลอรี่/100 กรัม โดยเป็นแหล่งที่ดีของแร่ธาตุหลายชนิดโดยเฉพาะแร่ธาตุดังนี้ แคลเซียม 388.88 มิลลิกรัม/100 กรัม และไอโอดีน 22.7 มิลลิกรัม/100 กรัม และยังมีวิตามินชนิดต่างๆ เช่น วิตามินบี และวิตามินซี เป็นต้น (Padua et al., 2004; สุวรรณา วรสิงห์ และคณะ, 2552) จุดเด่นที่สำคัญอีกประการหนึ่งของสาหร่ายผักกาดทะเลคือเป็นสาหร่ายทะเลที่ไม่มีกลิ่นคาว จึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นส่วนประกอบของอาหารเพื่อสุขภาพได้หลายหลายรูปแบบทั้งของคาวและของหวาน

การทำแห้งเป็นการถนอมอาหารที่สามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาอาหารได้นานขึ้น นอกจากนี้การทำแห้งทำให้น้ำหนักและปริมาตรของอาหารลดลงซึ่งช่วยลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งและเก็บรักษา และเป็นการแปรรูปให้อยู่ในรูปที่สะดวกต่อการนำไปใช้ประโยชน์ ในกระบวนการทำแห้งมักมีการเตรียมขั้นต้นก่อนการทำแห้ง เพื่อช่วยปรับปรุงคุณภาพของอาหารแห้ง โดยมีความมุ่งหมายสำคัญคือ ลดการเกิดปฏิกิริยาเคมีที่ไม่พึงประสงค์ซึ่งเป็นต้นเหตุของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหารในระหว่างการทำแห้งหรือเก็บรักษา (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2544) เทคนิคการเตรียมขั้นต้นที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารมีหลายวิธี งานวิจัยนี้สนใจนำสาหร่ายผักกาดทะเลมาเตรียมขั้นต้นด้วยการลวกและการแช่โดยใช้น้ำหรือสารละลายโซเดียมคลอไรด์ เนื่องจากเป็นวิธีที่ทำได้ง่าย ต้นทุนต่ำ และโซเดียมคลอไรด์จัดเป็นสารประเภท Generally Recognized as Safe (GRAS) ซึ่งได้รับการรับรองให้ใช้เป็นส่วนประกอบของอาหารที่ปลอดภัย ดังนั้นการเตรียมขั้นต้นดังกล่าวจึงสามารถนำไปปรับใช้ในเชิงพาณิชย์ได้ง่ายและปลอดภัย (Prakash et al., 2004; Hiranvarachat et al., 2011) มีรายงานว่าการเตรียมขั้นต้นก่อนการทำแห้งด้วยการลวกและการแช่ในน้ำหรือสารละลายโซเดียมคลอไรด์มีแนวโน้มสามารถช่วยลดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหารในระหว่างการทำแห้ง โดยช่วยรักษาองค์ประกอบทางเคมี ปริมาณสารพฤกษเคมี และรักษาสีไว้ได้ดีกว่าการไม่เตรียมขั้นต้น (Santis, 2007; Patras et al., 2011; Suwajee et al., 2011; กฤติกา เจียรนัย และจุฑาวรรณ์ แก้วสังข์, 2555)

งานวิจัยนี้สนใจนำสาหร่ายผักกาดทะเลผงมาเติมลงในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพต้นแบบ 2 ชนิด คือ ไอศกรีมไขมันต่ำ และขนมขบเคี้ยวที่ขึ้นรูปจากข้าวและปลา เนื่องจากธุรกิจตลาดไอศกรีมในปัจจุบันมีแนวโน้มเติบโตอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะไอศกรีมชนิดพรีเมียมโฮมเมด (Premium homemade) ซึ่งมีการพัฒนารสชาติที่เป็นเอกลักษณ์ มีความคิดสร้างสรรค์ แปลกใหม่ และเลือกใช้วัตถุที่มีคุณภาพ มีรายงานว่าในปี พ.ศ.2555 ถึง 2556 ธุรกิจของไอศกรีมชนิดโฮมเมดในประเทศไทยเติบโตไม่ต่ำกว่า 40 เปอร์เซ็นต์ต่อปี ปัจจุบันมีมูลค่าตลาดประมาณ 1,635 ล้านบาท โดยคิดเป็นสัดส่วนประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ของมูลค่าตลาดรวมไอศกรีมพรีเมียม ซึ่งมีมูลค่าตลาดรวมประมาณ 5,450 ล้านบาท (ไอศกรีมโซลูชัน, 2556) สำหรับกรณีขนมขบเคี้ยว (Snack foods) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ผู้บริโภคนิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากบริโภคง่าย และสามารถรับประทานได้ทุกเวลาที่ต้องการ ตลาดขนมขบเคี้ยวในประเทศไทยมีมูลค่าสูงถึง 2.9 หมื่นล้านบาท หรือ คิดเป็น 1.42 เปอร์เซ็นต์ของตลาดโลก และมีอัตราการเติบโตในปี 2552-2557 เฉลี่ย 9 เปอร์เซ็นต์ต่อปี (พรพรรณ ปัญญาภิรมย์, 2558) อย่างไรก็ตามในปัจจุบันอาหารสุขภาพกำลังเป็นที่นิยมและต้องการของผู้บริโภคอย่างมาก การพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์อาหารที่มีส่วนผสมของวัตถุดิบที่มีคุณค่าทางโภชนาการจึงเป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถสร้างผลิตภัณฑ์ใหม่ให้กับท้องตลาดซึ่งตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคได้ งานวิจัยนี้มีแนวคิดที่พัฒนาสูตรขนมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพที่มีการเติมสาหร่ายผง เลือกใช้วัตถุดิบที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง มีสีและรสชาติที่เข้ากันได้ โดยวัตถุดิบที่เลือกใช้ ได้แก่ ข้าวเหนียวดำ พันธุ์ลืมผัวซึ่งเป็นข้าวพันธุ์ที่กำลังเป็นที่นิยมสำหรับกลุ่มคนที่รักสุขภาพ โดยมีรายงานว่า ข้าวเหนียวดำพันธุ์นี้มีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระมีโปรตีน เหล็ก และแคลเซียมสูง นอกจากนี้พบว่ามีกรดไขมันไม่อิ่มตัวกลุ่มโอเมก้า 3 6 และ 9 ด้วย (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว, 2553) และใช้ปลากะตักซึ่งเป็นปลา

ทะเลราคาถูกแต่เป็นแหล่งที่ดีของโปรตีน แคลเซียม และเหล็กเช่นกัน (กองโภชนาการ กรมอนามัย, 2544)

โดยงานวิจัยนี้ต้องการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตและปริมาณการเติมสาหร่ายผงที่เหมาะสม โดยให้ความสำคัญกับการสามารถนำมาใช้งานได้จริงกับชุมชนและเป็นประโยชน์ในการสร้างผลิตภัณฑ์ที่เป็นเอกลักษณ์ของชุมชนสามารถจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ได้ เช่น ในรูปแบบของฝาก ซึ่งช่วยสนับสนุนการพัฒนาการท่องเที่ยว เพื่อขับเคลื่อนเศรษฐกิจของท้องถิ่น ทำให้ชุมชนมีความเข้มแข็งมากขึ้น และได้เป็นอาหารสุขภาพที่เป็นทางเลือกให้กับผู้บริโภคทั่วไปได้

วัตถุประสงค์

1) เพื่อศึกษาผลของการเตรียมขั้นต้นก่อนการทำแห้งต่อคุณภาพของสาหร่ายผักกาดทะเลผง
2) เพื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสาหร่ายผักกาดทะเลสดและสาหร่ายผักกาดทะเลผงแห้ง
3) เพื่อพัฒนาสูตรอาหารเพื่อสุขภาพที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผง
4) เพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีและความรู้ที่ได้จากการวิจัยสู่ชุมชน

บทที่ 2
การตรวจเอกสาร

2.1 สาหร่ายผักกาดทะเล

สาหร่ายผักกาดทะเลจัดเป็นพืชชั้นต่ำที่สามารถสังเคราะห์แสงเองได้เช่นเดียวกับพืชบกทั่วๆ ไป และจัดอยู่ในประเภทสาหร่ายสีเขียว มีขนาดตั้งแต่ขนาดเล็กมากต้องส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ จนถึงขนาด 65 เซนติเมตร มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Ulva lactuca* ชื่อสามัญคือ Sea Lettuce สาเหตุที่นิยมเรียกกันว่าสาหร่ายผักกาดทะเลเพราะมีลักษณะของทัลลัส (Thallus) หรือ ลำต้นเทียม บางและแผ่กว้าง มีใบหยักคล้ายใบผักกาด ไม่มีราก ลำต้น และใบที่แท้จริง มีความหนาของเซลล์เพียง 2 ชั้น ที่แผ่เป็นแผ่นเกาะกับพื้นก้อนหิน และเปลือกหอยโดยใช้ไรซอยด์ (Rhizoid) หรือ รากเทียม

ภาพที่ 2-1 สาหร่ายผักกาดทะเล
ที่มา: สุวรรณา วรสิงห์ และคณะ, 2552

2.1.1 ประโยชน์ของสาหร่ายผักกาดทะเล

สุวรรณา วรสิงห์ และคณะ (2552) รายงานว่า สาหร่ายผักกาดทะเลสามารถนำมาปรุงเป็นอาหารในรูปแบบต่างๆ เช่น สาหร่ายชุบแป้งทอด เทมปุระ ใส่ในสลัด ก๋วยเตี๋ยว ซุปแกงจืด ยำ สปาเก็ตตี้ ฯลฯ นอกจากนี้ยังได้คิดค้นวิธีทำการแปรรูปสาหร่ายผักกาดทะเล เพื่อให้สามารถเก็บรักษาไว้ได้นานยิ่งขึ้นโดยการนำสาหร่ายมาล้างน้ำจืดให้สะอาด นำมาลวกด้วยน้ำเดือด 5 วินาที ตากแห้งด้วยแสงแดด หากฤดูฝนอาจใช้วิธีอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที โดยทำการกลับสาหร่ายทุกๆ 2 – 3 นาที เพื่อให้สาหร่ายแห้งทั่วทั้งแผ่น จนได้สาหร่ายอบแห้งที่สามารถเก็บไว้รับประทานได้นานขึ้น โดยการรับประทานสาหร่ายอบแห้งนั้นให้นำมาแช่น้ำจืดประมาณ 2-3 นาที แล้วล้างให้สะอาดอีกครั้งแล้วสามารถนำไปปรุงเป็นอาหารที่ต้องการได้ อย่างไรก็ตามยังไม่ได้มีการ

ตรวจวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการที่มีสารพฤกษเคมีต่างๆ ที่คงอยู่ในสาหร่ายอบแห้ง สาหร่ายผักกาดทะเลสดมีคุณค่าทางอาหารหลายชนิดที่มีประโยชน์แก่ร่างกาย และสาหร่ายผักกาดทะเลยังอุดมไปด้วย วิตามินและเกลือแร่ชนิดต่าง ๆ เช่น วิตามินบี วิตามินซี แคลเซียม และไอโอดีน เป็นต้น อีกทั้งยังเป็นอาหารที่ ย่อยง่ายและไขมันต่ำ จึงเหมาะสำหรับผู้ที่ต้องการจะลดน้ำหนัก และยังมีสรรพคุณช่วยรักษาโรคกระดูกผุ ชำระล้างหลอดเลือด ทำให้หลอดเลือดมีความยืดหยุ่น ช่วยลดคลอเลสเตอรอล ลดความดันโลหิต รักษาโรคท้องผูก สมานแผลในกระเพาะอาหาร กระตุ้นภูมิคุ้มกันโรค บรรเทาไขข้ออักเสบ เป็นยาระงับประสาท และช่วยกำจัดแบคทีเรียบางชนิดที่ก่อสารมะเร็งได้

กล่าวได้ว่า สาหร่ายผักกาดทะเลมีคุณสมบัติทั่วไป เช่นเดียวกับพืชบกที่มีโปรตีน ใยอาหาร (Dietary fibre) สูง โดยองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นกลุ่มโพลีแซคคาร์ไรด์ที่ย่อยไม่ได้ (Non-digestible polysaccharides) ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีและโครงสร้างที่แตกต่างจากพืชทั่วไป และพบว่ามีประสิทธิภาพดีในการช่วยลดระดับคอเรสเตอรอลและลดความดันโลหิต (Jimenez-Escrig & Sanchez-Muniz, 2000) และมีไขมันไม่มากนัก คุณค่าทางอาหารที่แตกต่างจากพืชบก คือสาหร่ายทะเลจะมีปริมาณวิตามินและเกลือแร่สูง อาทิเช่น วิตามินเอ วิตามินบี วิตามินซี วิตามินดี วิตามินอี และวิตามิน แร่ธาตุแมกนีเซียม แคลเซียม สังกะสี ทองแดง เหล็ก ไอโอดีน เป็นต้น ซึ่งล้วนแต่เป็นพวกที่ร่างกายมนุษย์ต้องการแทบทั้งสิ้น และการที่สาหร่ายผักกาดทะเลมีกากใย (Crude fiber) สูงถึง 33-75 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักแห้ง ส่งผลให้การขับถ่ายสะดวก ป้องกันท้องผูกและเกิดริดสีดวงทวารได้เป็นอย่างดี ตัวอย่างเมนูจากธรรมชาติที่มีคุณค่าต่อสุขภาพ เช่น สาหร่ายเทมปุระ สลัดสาหร่าย สาหร่ายชุบแป้งทอด (อนุสรา แก่นทอง, 2555) จากการตรวจเอกสารมีการรายงานองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายผักกาดทะเล แสดงดังตารางที่ 2-1 ถึง 2-5

ตารางที่ 2-1 องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายผักกาดทะเล (*Ulva rigida*)

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ (% น้ำหนักแห้ง)
โปรตีน	13-18
ไขมัน	0.3-1.9
คาร์โบไฮเดรต	53-58
ใยอาหาร	9-12
ความชื้น	15-20

ที่มา: Padua et al. (2004) อ้างถึงใน สุวรรณา วรสิงห์ (2552)

ตารางที่ 2-2 ปริมาณคุณค่าทางอาหารที่มีในสาหร่ายผักกาดทะเลแห้ง (*Ulva rigida*)

สารอาหาร	ปริมาณ
โปรตีน (เปอร์เซ็นต์)	23.0
ไขมัน (เปอร์เซ็นต์)	2.76
คาร์โบไฮเดรต (เปอร์เซ็นต์)	25.35
ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)	20.7
ใยอาหาร (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง)	9.79
โซเดียม (มิลลิกรัม/100กรัม)	1051.8
แคลเซียม (มิลลิกรัม/100กรัม)	388.8
ไอโอดีน (มิลลิกรัม/100กรัม)	22.7
พลังงาน (กิโลแคลอรี่)	218.2

ที่มา: สุวรรณา วรสิงห์ และคณะ (2552)

ตารางที่ 2-3 ปริมาณรงควัตถุที่สำคัญในสาหร่ายผักกาดทะเล (*Ulva rigida*)

รงควัตถุ	ปริมาณ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง)
Total chlorophyll	21.0
Chlorophyll a	13.0
Chlorophyll b	7.5
Carotenoid	4.5

ที่มา: Satpati and Pal (2011)

ตารางที่ 2-4 ปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็นในสาหร่ายผักกาดทะเล (*Ulva rigida*)

กรดอะมิโนที่จำเป็น	ปริมาณ (กรัม/100 กรัมโปรตีน)
Threonine	5.0 ± 0.3
Valine	5.6 ± 0.4
Isoleucine	3.1 ± 0.2
Leucine	5.2 ± 0.2
Lysine	3.7 ± 0.3
Phenylalanine	3.3 ± 0.2
Methionine	1.5 ± 0.2
Arginine	4.6 ± 0.5
Histidine	1.4 ± 0.2

ที่มา: Shuuluka, Bolton, and Anderson (2013)

ตารางที่ 2-5 ปริมาณกรดอมิโนที่ไม่จำเป็นในสาหร่ายผักกาดทะเล (*Ulva rigida*)

กรดอะมิโนที่จำเป็น	ปริมาณ (กรัม/100 กรัมโปรตีน)
Aspartic acid	13.0 ± 1.1
Glutamic acid	9.4 ± 1.0
Proline	4.3 ± 0.4
Serine	6.1 ± 0.8
Giycine	7.8 ± 0.2
Alanine	12.3 ± 0.7
Tyrosine	2.2 ± 0.2

ที่มา: Shuuluka, Bolton, and Anderson (2013)

2.1.2 แหล่งที่พบสาหร่ายผักกาดทะเล

สาหร่ายผักกาดทะเลมักขึ้นตามฤดูกาลและพบบริเวณน้ำลงต่ำสุด นอกจากนี้ยังพบสาหร่ายผักกาดทะเลขึ้นตามชายฝั่งทะเลของจังหวัดภูเก็ต โดยเฉพาะในพื้นที่แหล่งหญ้าทะเลที่มีสาหร่ายชนิดนี้ขึ้นปะปนอยู่หรือหลุดลอยตอมผิวน้ำเคลือบทับบนหญ้าทะเล และที่ทางสถานีเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งจังหวัดตราด ได้มีการทดลองเพาะเลี้ยงสาหร่ายผักกาดทะเลมาใช้ในการเพาะเลี้ยงปลากะรังจุดฟ้า และพ่อแม่พันธุ์หอยหวานเพื่อเป็นอาหารและบำบัดให้น้ำมีคุณภาพดี ด้านการเจริญเติบโตของสาหร่ายผักกาดทะเลมีการเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว โดยมีการแบ่งเซลล์ทั้งในแนวกว้างและแนวนอน ซึ่งจะมีการแผ่ออกเป็นแผ่นและมีรอยจีบอยู่ตรงขอบถือเป็นการเพิ่มพื้นที่ในการขยายการเจริญของเซลล์ และพื้นที่ผิวของสาหร่ายที่แผ่กว้างนั้นทำให้สามารถดูดซับธาตุอาหารได้มาก อย่างไรก็ตามสำหรับโครงงานวิจัยนี้ใช้สาหร่ายผักกาดทะเลจากการเพราะเลี้ยงที่มีการควบคุมสภาพของน้ำทะเลที่ใช้เลี้ยงอย่างดี

2.2 การเตรียมขั้นต้นด้วยการลวกและการใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์

นิธิยา รัตนาปนนท์ (2544) กล่าวว่า การลวกวัตถุดิบประเภทผักและผลไม้ก่อนการแปรรูปมีวัตถุประสงค์เพื่อทำลาย Activity ของเอนไซม์ในผักและผลไม้บางชนิดก่อนที่จะนำไปแปรรูปในขั้นตอนต่อไป การลวกจัดเป็นขั้นตอนหนึ่งที่ใช้ในการเตรียมวัตถุดิบ ขั้นตอนนี้อาจทำร่วมกับการทำความสะอาดวัตถุดิบและการปอกเปลือก เพื่อลดการใช้พลังงาน พื้นที่และอุปกรณ์ พืชส่วนใหญ่ต้องผ่านการลวก แต่มีพืชบางชนิด เช่น หัวหอมและพริกหวานไม่ต้องผ่านการลวก ขั้นตอนนี้ทำโดยการนำวัตถุดิบไปให้ความร้อนอย่างรวดเร็วจนถึงอุณหภูมิที่กำหนด (Pre-set temperature) และให้อยู่ที่อุณหภูมินี้ระยะเวลาหนึ่ง (Pre-set time) หลังจากนั้นทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็วจนถึงอุณหภูมิห้อง ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อระยะเวลาที่ใช้ในการลวก (Blanching time) คือ ชนิดของผักผลไม้ ขนาดของชิ้น อุณหภูมิ และวิธีการให้ความร้อน โดยวัตถุประสงค์ของการลวกมีดังนี้

1) ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ (Enzyme inactivation) วัตถุดิบก่อนนำไปอบแห้งหรือแช่เยือกแข็ง เพราะอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งและแช่เยือกแข็งไม่สูงพอที่จะทำลายเอนไซม์ได้ หากวัตถุดิบไม่ผ่านการลวกจะเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะทางด้านประสาทสัมผัส (Sensory

characterisyic) และคุณภาพทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษามากกว่าวัตถุดิบที่ผ่านการลวก เพราะความร้อนที่ใช้อาจทำลายเนื้อเยื่อแต่ไม่ได้ทำลายเอนไซม์ เอนไซม์บางชนิดอาจถูกทำลาย แต่เอนไซม์บางชนิดอาจถูกกระตุ้นให้มี Activity มากขึ้น ซึ่งจะไปเร่งปฏิกิริยาการเสื่อมสลายให้เกิดเร็วขึ้น เอนไซม์สำคัญที่มีผลกระทบต่อคุณภาพด้านการบริโภคและคุณค่าทางโภชนาการของผักและผลไม้ ได้แก่ เอนไซม์ไลพอกซิจิเนส (Lipoxygenase) พอลิฟีนอลออกซิเดส (Polyphenoloxidase) พอลิกาแล็กตูโรเนส (Polygalacturonase) และคลอโรฟิล (Chlorophyllase) และมีเอมไซม์อีก 2 ชนิด ที่พบในผักหลายชนิดที่ทนต่อความร้อนได้ดี คือ เอนไซม์แคแทเลสและเพอร์ออกซิเดส เอนไซม์เหล่านี้ใช้เป็นตัวชี้บ่งประสิทธิภาพของการลวก โดยเฉพาะ เอนไซม์เพอร์ออกซิเดสมีความคงตัวมากกว่าเอนไซม์แคแทเลส หากตรวจวัดเอนไซม์ Activity ในผักที่ผ่านการลวกแล้วไม่พบ Activity ของเอนไซม์เพอร์ออกซิเดส แสดงว่าเอนไซม์อื่นๆ ถูกทำลายหมดแล้ว การทำให้เอนไซม์เพอร์ออกซิเดสถูกทำลายอย่างสมบูรณ์ และมีการสูญเสียคุณภาพที่ระดับต่ำที่สุดคือ ทำให้มีปริมาณวิตามินซีเหลืออยู่ได้สูงถึง 76-85 เปอร์เซ็นต์

2) หน้าที่อื่นๆ ผลของการลวกยังช่วยทำลายและลดจำนวนจุลินทรีที่ปนเปื้อนอยู่บนผิวนอกของอาหาร ช่วยให้เก็บรักษาอาหารได้นานขึ้น ก่อนนำไปแปรรูปในขั้นตอนต่อไป หากขั้นตอนการลวกไม่ดีจะทำให้มีจำนวนจุลินทรีย์เหลืออยู่ในวัตถุดิบมากจะต้องใช้เวลาในการฆ่าเชื้อนานขึ้น จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้เน่าเสียระหว่างการเก็บรักษาเร็วขึ้น การลวกยังทำให้เนื้อเยื่อของผักนิ่มลง ช่วยให้สามารถบรรจุลงภาชนะบรรจุได้ง่ายและช่วยไล่อากาศออกจากช่องว่างระหว่างเซลล์ของเนื้อเยื่อ ซึ่งจะช่วยลดการเกิด Head-space vacuum ขึ้นภายในกระป๋องให้น้อยลงได้ และลดปริมาณออกซิเจนภายในบรรจุภัณฑ์ด้วย

ความร้อนจากการลวกมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสและคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร แต่ความร้อนที่ใช้ในการลวกจะต่ำกว่าการทำสเตอริไรเซชันจึงมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นไม่มากนัก วัตถุประสงค์หลักของการลวกเพื่อทำลายเอนไซม์ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ร่วมกัน และต้องมั่นใจว่าไม่ได้ใช้ความร้อนมากเกินไปจนทำให้ลักษณะเนื้อนิ่มลงและสูญเสียรสชาติของอาหาร

สำนักโภชนาการกรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข (2554) กล่าวว่า โซเดียมคลอไรด์ (Sodium Chloride) มีสูตรโมเลกุลคือ NaCl ในเกลือที่ไม่มีความชื้นอยู่เลยจะมีปริมาณโซเดียมคลอไรด์ 95.5 - 98.5 เปอร์เซ็นต์ และมีสารอื่นเจือปนในปริมาณน้อย เช่น แมกนีเซียม (Mg) แคลเซียม (Ca) และ ซัลเฟต (SO_4) เกลือโซเดียมคลอไรด์มีบทบาทอย่างมากในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น การหมักเกลือ (Salt curing) ช่วยลด a_w (Water activity) ทำให้ยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสื่อมเสีย (Microbial spoilage) และจุลินทรีย์ก่อโรค (Pathogen) (Lu et al., 2007) เนื่องจากราคาถูกและใช้ได้หลากหลายทั้งในการปรุงอาหารและถนอมอาหาร ในอดีตมีการใช้เกลือในด้านอื่นด้วย เช่น รักษาแผลและผสมปรุงยา สำหรับในด้านการแพทย์ เกลือแยกออกเป็นโซเดียมกับคลอไรด์ โซเดียมเป็นอิเลคโตรไลท์ที่สำคัญในการควบคุมความเข้มข้นของของเหลวภายนอกเซลล์และการกระจายของน้ำในร่างกายให้เกิดความสมดุล และมีบทบาทสำคัญในการเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อ ควบคุมการเต้นของหัวใจและชีพจร การส่งสัญญาณของระบบประสาท

ควบคุมสมดุลของกรดและด่างในเลือด สำหรับคลอไรด์เป็นส่วนสำคัญของกรดเกลือที่ใช้ย่อยอาหาร สำหรับปริมาณที่แนะนำต่อวัน คือ แนะนำให้บริโภคโซเดียม น้อยกว่า 2,400 มิลลิกรัม/วัน

สำหรับการเตรียมขั้นต้นโดยใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์ มักใช้โดยการลวกหรือแช่ มีการตรวจเอกสารพบว่ามีการใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์ด้วยวัตถุประสงค์ต่างๆ ได้แก่ สามารถช่วยควบคุมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ลดการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล ลดค่า a_w ในอาหาร กำจัดสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ลดปริมาณออกซิเจนในช่องว่างระหว่างเซลล์ของอาหาร ช่วยลดการละลายของออกซิเจนในน้ำ จึงช่วยลดโอกาสสัมผัสออกซิเจนสำหรับเนื้อเยื่อผักผลไม้กับสารละลายได้ ทำให้สามารถลดการเกิดปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่ออกซิเจนเป็นตัวเร่งได้ เช่น ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Suwajee, 2011)

2.3 ใยอาหาร (Dietary fiber) (จรรยา วัฒนาทวีกุล, 2545)

ใยอาหารคือส่วนที่กินได้ของพืชโดยเฉพาะผักและผลไม้ซึ่งอาจเป็นส่วนประกอบของเปลือก ราก ใบ ลำต้น ผล หรือเยื่อหุ้มเมล็ดและเมล็ดธัญพืชต่างๆ หรือคาร์โบไฮเดรตซึ่งประกอบไปด้วยโอลิโกแซ็กคาไรด์ (Oligosaccharide) Resistant starches สารประกอบอื่นๆ เช่น พอลีฟีนอล (Polyphenol) และลิกนิล (Lignin) ซึ่งทนต่อการย่อยและการดูดซึมภายในลำไส้มนุษย์ ใยอาหารไม่มีสารอาหารและไม่ให้พลังงานแต่มีบทบาทสำคัญต่อภาวะโภชนาการและสุขภาพ มีผลดีทางสรีระวิทยา เช่น ช่วยในการขับถ่ายอุจจาระ และ/หรือ ลดคอเลสเตอรอลในเลือด และ/หรือ ลดระดับน้ำตาลกลูโคส เป็นต้น (ไพโรจน์ หลวงพิทักษ์ และเบญจวรรณ ธรรมธนารักษ์, 2538; Jimenez-Escrig & Sanchenz-Muniz, 2000) ส่วนกากใย (Crude fiber) หมายถึงส่วนที่เหลือของเซลล์พืชจากการย่อยด้วยกรดและเบสซึ่งจะมีปริมาณน้อยกว่าใยอาหารประมาณ 1.6-15.7 เท่า (วิชัย ตันไพจิตร, 2552)

2.3.1 ประเภทของใยอาหาร

ใยอาหารแบ่งได้เป็น 2 ประเภทตามความสามารถในการละลายน้ำ (Jimenez-Escrig & Sanchez-Muniz, 2000) ได้แก่

1) ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (Insoluble dietary fiber) ประกอบด้วย เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน คิวตินและแวกซ์ ใยอาหารประเภทนี้มีรายละเอียดดังนี้

1.1) เซลลูโลส เป็นสายพอลิแซ็กคาไรด์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสที่ต่อกันแบบเบต้า 1,4 เป็นส่วนประกอบโครงสร้างหลักของพืชทั่วๆ ไปโดยเฉพาะผนังเซลล์ของพืชชั้นสูง ในอาหารจำพวกผักและธัญพืชจะมีปริมาณเซลลูโลสถึงร้อยละ 20-50 ของน้ำหนักแห้ง

1.2) เฮมิเซลลูโลส โครงสร้างหลักประกอบด้วยกลุ่มของน้ำตาลหลายชนิด โดยน้ำตาลกลุ่มใหญ่ที่สุดจะเป็นน้ำตาลที่มีคาร์บอน 5 ตัว เช่น น้ำตาลไซโลส (Xylose) นอกจากนี้ยังมีน้ำตาลกลุ่มอื่นที่ต่ออยู่กับโครงสร้างหลักเช่น น้ำตาลกลูโคส น้ำตาลอะราบิโนส (Arabinose) และกรดกลูคูโรนิก (Glucuronir acid) ความแตกต่างของเฮมิเซลลูโลสกับเซลลูโลสคือเฮมิเซลลูโลสสามารถละลายได้ในสารละลายด่างอ่อนในขณะที่เซลลูโลสไม่สามารถละลายได้ ในพืชสามารถพบเฮมิเซลลูโลสอยู่ร่วมกับเพกตินแทรกอยู่ในชั้นของผนังเซลล์

1.3) ลิกนิน พบในพืชจำพวกไม้เนื้อแข็ง เป็นโครงสร้างพอลิเมอร์ที่ไม่ละลายน้ำ เกิดจากการรวมตัวกันของโมเลกุลแอลกอฮอล์ที่มีรูปร่างเป็นวงแหวน เช่น ซินนามิล (Cinnamyl) ไซริงจิง (Syringyl) กัวไอซิง (Guaicyl) หน้าที่ของลิกนินจะช่วยให้ความแข็งแรงและทนต่อการย่อยสลายโดยแบคทีเรีย

1.4) คิวตินและแวกซ์ พบร่วมกับส่วนที่เป็นโครงสร้างของพืช โดยมีองค์ประกอบของไขมันที่ไม่รวมกับน้ำ ปกติจะพบในปริมาณที่น้อย (ไพโรจน์ หลวงพิทักษ์ และเบญจวรรณ ธรรมธนารักษ์, 2538)

2) ใยอาหารที่ละลายน้ำ (Soluble dietary fiber) ประกอบด้วย เพกติน เบต้า-กลูแคน กัมชนิดต่างๆ ในอาหารประเภทนี้มีรายละเอียดดังนี้

2.1) เพกติน โครงสร้างเป็นสายพอลิเมอร์ของกรดกาแล็กทูโรนิก (D-galacturonic acid) ที่ต่อกันแบบอัลฟา 1,4 โดยมีน้ำตาลหลายชนิดที่อยู่รวมกันในโครงสร้างหลัก เช่น น้ำตาลกาแล็กโทส น้ำตาลกลูโคส น้ำตาลแรมโนส น้ำตาลอะราบิโนส การละลายน้ำของเพกตินขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน (Esterification) ของกรดกาแล็กทูโรนิก เพกตินสามารถพบได้ในผลไม้ตระกูลส้ม เช่น ส้ม ฝรั่ง และแอปเปิ้ล เป็นต้น

2.2) เบต้า-กลูแคน ประกอบด้วยสายของน้ำตาลกลูโคสที่ต่อกันแบบเบต้า 1,3 และเบต้า 1,4 คุณสมบัติโดยทั่วไปสามารถละลายน้ำได้ มีเพียงส่วนน้อยที่ไม่ละลายน้ำพบในข้าวโอ๊ต ข้าวไรน์ ข้าวบาร์เล่

2.3) กัมชนิดต่างๆ เช่น

- วุ้น (Agar) เป็นมิวซิเลจ (Mucilage) ที่ได้จากสาหร่ายโครงสร้างโมเลกุลประกอบด้วย Sulfanoated polymer ของ Anhydrogalactose น้ำตาลกาแลกโตสที่อยู่ในรูป D และ L น้ำตาลไซโลส

- แอลจีแนต (Alginate) สกัดได้จากสาหร่ายสีน้ำตาล โครงสร้างประกอบด้วยสายพอลิเมอร์ของกลูโคโรนิก และกรดแอนไฮโดรแมนนูโลนิก (Anhydromanulonic acid) โดยทั่วไปจะอยู่ในรูปของเกลือโซเดียม เกลือโพแทสเซียม หรือเกลือแมกนีเซียม ทำให้สามารถละลายได้ดีทั้งในน้ำร้อนและน้ำเย็น

- กัมอะราบิก (Arabic gum) สกัดได้จากต้นอะคาเซีย (Acacia) มีองค์ประกอบที่เป็นน้ำตาลหลักๆ คือ น้ำตาลอะราบิโนส น้ำตาลกาแลกโตส น้ำตาลแรมโนส และกลูโรนิก

- คาราจีแนน (Carageenan) โครงสร้างเป็นสายพอลิเมอร์ของ Sulfanoated galactose

- กัวร์กัม (Guar gum) สกัดมาจากเอโดสเปิร์มของเมล็ดถั่ว *Cyamopsis tetragonobus* เป็นพืชตระกูลถั่วที่พบในประเทศแถบอินเดียและปากีสถาน ประกอบด้วยสายพอลีเมอร์ของน้ำตาลแมนโนสเป็นโครงสร้างหลักและมีน้ำตาลแมนโนสเป็นโครงสร้างหลักและมีน้ำตาลกาแล็กโตสเป็นสาขาเกาะอยู่ที่โครงสร้างหลัก ลักษณะโดยทั่วไป ไม่มีรส ไม่มีกลิ่น สามารถละลายได้ดีในน้ำร้อนและน้ำเย็น

-แซนแทนกัม (Xanthan gum) พบในแบคทีเรียชื่อ *Xanthomanas campestris* โดยเกิดจากปฏิกริยาหมู่อะซิทิลและหมู่ไพรูเวทในน้ำตาลกลูโคส น้ำตาลแมนโมส (Mannose) และ

กรดกลูโคโลนิก นอกจากนี้ยังมีอินเดียมกัม คารายากัม โลคัสบีนกัม ไซเลียมซีดกัม (Psylium seed gum) เป็นต้น และยังพบว่ามีเฮมิเซลลูโลสบางชนิดสามารถละลายน้ำได้ด้วยแต่มีปริมาณน้อย (ไพโรจน์ หลวงพิทักษ์ และเบญจวรรณ ธรรมธนารักษ์, 2538) ใยอาหารมีโครงสร้างทางเคมีที่ซับซ้อน ปริมาณและสารประกอบในโครงสร้างจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับแหล่งที่พบ องค์ประกอบของใยอาหารชนิดต่างๆ แบ่งตามโครงสร้างของหมู่น้ำตาลและชนิดของพันธะ

2.3.2 คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของใยอาหาร

ใยอาหารแต่ละชนิดมีคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพที่แตกต่างกันในรายละเอียดดังนี้ (ดวงจันทร์ เฮงสวัสดิ์, 2545)

1) คุณสมบัติในการอุ้มน้ำ มีความสัมพันธ์โดยตรงกับความสามารถในการละลายน้ำ ใยอาหารที่มีเพกตินและเฮมิเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบจะสามารถดูดซับน้ำเข้าไปในโครงสร้างของใยอาหาร เกิดการอุ้มน้ำไว้ในโครงสร้างได้มากจนเกิดเป็นลักษณะเจล ในขณะที่ใยอาหารที่มีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบจะไม่เกิดลักษณะดังกล่าว ใยอาหารที่มีการอุ้มน้ำมักเป็นพวกที่มีขนาดอนุภาคขนาดใหญ่ ละลายน้ำไม่ได้ เช่น รำข้าวสาลี เป็นต้น

2) คุณสมบัติการดูดซับสารอินทรีย์ กรดอินทรีย์ เช่น กรดน้ำดี คอเลสเตอรอล และสารพิษบางชนิด คุณสมบัติในการดูดซับกรดน้ำดีได้น้อยจะสัมพันธ์กับประสิทธิภาพในการลดคอเลสเตอรอลใน พลาสม่าของใยอาหารบางชนิด เช่น รำข้าวโอ๊ต เพกติน และกัวร์กัม เป็นต้น

3) การเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากแบคทีเรีย ใยอาหารเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ร่างกายไม่สามารถใช้ใยอาหารได้โดยการหมักซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้น แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและโครงสร้างของใยอาหารรวมถึงชนิดของแบคทีเรียที่อยู่ในลำไส้ใหญ่ด้วย

4) คุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนประจุ ความสามารถในการใช้ และการดูดซับแร่ธาตุของร่างกายจะลดลงหากบริโภคอาหารที่มีใยอาหารสูง เนื่องจากแร่ธาตุต่างๆ และสารอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) จะถูกใยอาหารจับไว้และขับออกมาในรูปของเสีย

5) ขนาดของอนุภาค ใยอาหารที่มีอนุภาคใหญ่จะช่วยเพิ่มน้ำหนักของเสียของร่างกายและช่วยลดความดันภายในลำไส้ใหญ่ได้ดีกว่าชนิดที่มีอนุภาคเล็กหรือละเอียด

2.3.3 แหล่งของใยอาหาร

ใยอาหารพบมากในรำข้าวที่มาจากข้าวสาลีและข้าวโพด แหล่งของใยอาหารที่รองลงมาคือพืชตระกูลถั่วจะมีปริมาณสูงกว่าใยอาหารจากผักและผลไม้ซึ่งจะมีปริมาณใยอาหารเพิ่มขึ้นเมื่อพืชนั้นมีอายุมากขึ้น (ดวงจันทร์ เฮงสวัสดิ์, 2545) แหล่งของใยอาหารที่สำคัญ ได้แก่ ธัญพืช ผัก ผลไม้ ถั่วเมล็ดแห้ง และเมล็ดพืช ธัญพืชมีใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำในปริมาณสูง โดยเฉพาะข้าวกล้อง ข้าวโพด ข้าวสาลีไม่ขัดขาว รวมทั้งผลิตภัณฑ์ที่ทำจากธัญพืชดังกล่าว เช่น ขนมปังโฮลวีต ผักหลายชนิด เช่น แครอท ดอกกะหล่ำ ถั่วฝักยาว ผักกวางตุ้ง มีใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำสูง ในขณะที่ผลไม้ เช่น ละมุด ฝรั่ง แอปเปิ้ล กล้วยน้ำว้า น้อยหน่า มีใยอาหารที่ละลายน้ำในปริมาณสูง (จรรยา วัฒนาทวีกุล, 2545) โดยสาหร่ายผักกาดทะเล (*Ulva lactuca*) และสาหร่ายโนริ (Nori) เป็นแหล่งของใยอาหารที่สำคัญแหล่งหนึ่งเมื่อเปรียบเทียบชนิดและปริมาณใยอาหารกับพืชชนิดต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2-6

ตารางที่ 2-6 ปริมาณใยอาหารที่พบในสาหร่าย ถั่ว ธัญพืช ผักและผลไม้บางชนิด (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง)

Origin of fiber	Insoluble fiber (% dry weight basis)	Soluble fiber (% dry weight basis)	Total fiber (% dry weight basis)
Nori	16.80	17.90	34.70
Ulva lactuca	16.80	21.30	38.10
Whole soy	65.24	7.08	72.32
Whole corn	87.47	0.40	87.87
Beans	25.64	10.85	36.49
Potatoes	4.85	2.14	6.99
Apple	55.57	18.56	74.13

ที่มา : Jimenez-Escrig and Sanchez-Muniz (2000); Abdul-Hamid and Luan (2000)

2.4 การทำแห้งด้วยสภาวะสุญญากาศ

การทำแห้ง หมายถึง การลดปริมาณน้ำในอาหาร เพื่อลดค่า a_w ลงมาให้อยู่ในระดับต่ำพอที่จะสามารถหยุดยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่จะก่อให้เกิดการเสื่อมเสียคุณภาพและการเน่าเสียของอาหาร และทำให้ค่า a_w อยู่ในระดับที่ปฏิกิริยาเคมีและปฏิกิริยาการทำงานของเอนไซม์ ที่ทำให้อาหารเสื่อมเสียคุณภาพนั้นอยู่ในระดับต่ำสุด ดังนั้นการทำแห้งจึงจัดเป็นการถนอมอาหาร เนื่องจากช่วยยืดอายุการเก็บรักษาอาหารให้เสื่อมเสียได้ยากขึ้น สามารถเก็บได้นานขึ้นที่อุณหภูมิห้อง นอกจากนี้ โดยทั่วไปผลจากการทำแห้งจะทำให้น้ำหนักและปริมาตรของอาหารลดลง ซึ่งช่วยลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งและเก็บรักษา และเป็นการแปรรูปอาหารให้อยู่ในรูปที่สะดวกต่อการนำไปใช้ประโยชน์ และบริโภค หรือเพื่อพัฒนาให้เป็นรูปแบบใหม่ของผลิตภัณฑ์อาหารต่อผู้บริโภค ได้แก่ การผลิตอาหารแห้งรูปผง เช่น เครื่องดื่มผง ซุปผง เป็นต้น ดังนั้น การทำแห้งนอกจากจะเป็นการถนอมอาหารแล้ว ยังจัดเป็นการแปรรูปอาหารวิธีหนึ่งด้วย ตามปกติผลิตภัณฑ์อาหารที่ได้จากการถนอมและแปรรูป โดยการทำแห้งนั้น จะหมายถึงอาหารที่มีความชื้นต่ำ (Low moisture food) ซึ่งโดยทั่วไปมีความชื้นไม่เกิน 25 เปอร์เซ็นต์ และมีค่า a_w ต่ำกว่า 0.6 และผลิตภัณฑ์อาหารแห้งนั้นสามารถนำมาบริโภคได้เลย เช่น เนื้อแห้ง ปลาแห้ง หรือผลิตภัณฑ์อาหารแห้งบางชนิดอาจมีการนำมาทำให้คืนสภาพ (Rehydration) ในน้ำเพื่อให้ดูดน้ำกลับเข้าไปในอาหารก่อนบริโภค เช่น ผักตากผง นมผง ชาผง น้ำผลไม้ผง เป็นต้น การทำแห้งเพื่อลด a_w ของอาหาร โดยการดึงหรือลดปริมาณน้ำในอาหารนั้น ส่วนจะอาศัยความร้อนในการระเหย (Vaporization) น้ำออกจากอาหาร

ฤทธิไกร งามชุ่ม (2547) กล่าวว่า หลักการอบแห้งแบบสุญญากาศคือ เมื่ออากาศที่อยู่ในห้องอบแห้งนั้นอยู่ในภาวะสุญญากาศ ทำให้อากาศนั้นมีความดันไอน้ำต่ำ และความเข้มข้นของความชื้นในอากาศต่ำ เมื่อมีวัสดุอยู่ในห้องอบแห้งสุญญากาศจะทำให้เกิดการถ่ายเทมวลเกิดขึ้น โดยไอน้ำที่ผิวของวัสดุจะแพร่สู่อากาศเนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้นของความชื้น (Vapor diffusion) และความดันไอ (Partial vapor pressure) และของเหลวที่อยู่ในวัสดุจะเคลื่อนที่ออกมายังผิวด้วยแรง Carpillary flow ซึ่งเป็นผลมาจากแรงตึงผิว (Surface force) โดยอากาศที่อยู่ในห้องอบแห้งอาจไม่จำเป็นต้องให้ความร้อนมากเท่ากับการอบแห้งลมร้อน เนื่องจากของเหลวที่อยู่ในวัสดุเมื่ออยู่ในสภาวะความดันสุญญากาศแล้วนั้นอาจจะมีการเดือดเกิดขึ้นในเนื้อวัสดุทำให้เหมือนเป็นการเร่งอัตราการถ่ายเทมวลสาร โดยน้ำภายในวัสดุจะเคลื่อนที่เข้ามายังผิววัสดุในรูปของเหลวหรือไอน้ำแล้วระเหยอย่างรวดเร็วซึ่งถ้าของเหลวที่อยู่ภายใต้สภาวะความดันสุญญากาศต่ำมากๆ แล้วนั้นอาจทำให้ผิวของวัสดุที่อบแห้งมีความเป็นรูพรุนสูง เนื่องจากมีการเดือดอย่างรุนแรงในเนื้อวัสดุ

2.4.1 ผลของการทำแห้งต่ออาหาร

1) การทำแห้งยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์บางชนิดได้ เนื้อสัตว์ที่อบแห้งแล้วมีความชื้นประมาณไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ราเจริญเติบโตได้ในอาหารที่มีน้ำ 12 เปอร์เซ็นต์ แบคทีเรียและยีสต์ปกติต้องการความชื้นกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตาม ราบางชนิดอาจเจริญได้ในอาหารที่มีความชื้นต่ำถึง 2 เปอร์เซ็นต์ และแบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรคทางเดินอาหารและทำให้เกิดอาหารเป็นพิษบางชนิด ก็สามารถเจริญได้ในอาหารแห้ง

2) การทำแห้งทำให้ปฏิกิริยาของเอ็นไซม์ลดลง ปฏิกิริยาของเอนไซม์ที่ลดลงจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณน้ำที่ลดลง และเมื่อความชื้นลดเหลือน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ ปฏิกิริยาของเอนไซม์แทบจะไม่มีเลย ความร้อนเปียกจะทำลายเอนไซม์อย่างรวดเร็ว เช่น การใช้น้ำเดือดเอนไซม์จะถูกทำลายภายใน 1 นาที แต่ถ้าใช้ความร้อนในการอบแห้งอาหาร แม้จะใช้อุณหภูมิสูงถึง 400 องศาฟาเรนไฮต์ ก็มีผลต่อเอ็นไซม์น้อยมาก ดังนั้น ก่อนที่จะทำให้อาหารแห้งควรทำลายเอ็นไซม์เสียก่อน

3) การทำแห้งมีผลต่อคุณค่าทางโภชนาการ ดังนี้

- วิตามิน หากเป็นการตากแห้งที่ใช้ความร้อน วิตามินที่ไม่คงตัวต่อความร้อนอาจสูญเสียได้ง่าย เช่น วิตามินบี 1 ในเนื้อสัตว์ จะเกิดการสูญเสียตลอดเวลาของการทำแห้ง วิตามินบี 2 ก็อาจสูญเสียมากหากทำแห้งด้วยการตากแดด เพราะวิตามินบี 2 ถูกทำลายได้ด้วยแสง

- โปรตีน การตากแห้งหรืออบแห้งโดยใช้ความร้อนเป็นเวลานาน ทำให้โปรตีนเสียสภาพธรรมชาติ ทำให้ย่อยยาก ร่างกายจึงใช้ประโยชน์ได้น้อยลง

- ไขมัน การทำแห้งอาจทำให้ไขมันในอาหารเกิดการเหม็นหืน ที่เกิดจากการเติมออกซิเจนซึ่งมักเกิดที่อุณหภูมิสูงได้มากกว่าอุณหภูมิต่ำ อาจป้องกันได้โดยการเติมสารกันหืน

2.4.2 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการทำแห้ง

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

2) ขนาด รูปร่าง ปริมาตร และพื้นที่ผิวของอาหาร เป็นสมบัติทางกายภาพของอาหาร ที่มีผลต่อการทำแห้ง อาหารที่มีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตรมาก จะมีพื้นที่ระเหยน้ำมาก จะมีอัตราการทำแห้งเร็วขึ้น ดังนั้นการอาหารที่มีความหนามากอัตราการอบแห้งจะช้ากว่าอาหารที่หนาน้อยกว่าเนื่องจาก อัตราการทำแห้งจะเป็นสัดส่วนผกผันกับความหนาของอาหาร

3) ปริมาณของอาหารที่นำมาอบแห้ง อาหารที่นำมาอบแห้งในปริมาณมากๆ จะมีอัตราการอบแห้งที่ช้าเนื่องจาก อากาศร้อนไม่สามารถสัมผัสกับอาหารที่นำมาอบแห้งได้อย่างทั่วถึงจึงไม่สามารถถ่ายเทความร้อนให้กับอาหารได้ จึงทำให้อัตราอบแห้งช้าลง

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

5) ความดัน เกี่ยวเนื่องกับการระเหยของน้ำ เนื่องจากในที่ความดันต่ำๆ ลงมา น้ำก็จะเดือดได้ที่อุณหภูมิต่ำลง ดังนั้นการทำแห้งภายใต้ความดันจะทำให้อัตราการทำแห้งเร็วขึ้น

2.4.3 การเก็บอาหารแห้ง

อาหารแห้งจะเก็บได้นานถ้าเก็บไว้ในภาชนะมิดชิดแต่ไม่อับชื้น ก่อนเก็บก็ต้องแน่ใจว่าอาหารแห้งแล้ว และต้องคอยหมั่นดู ทั้งต้องหมั่นเอาตากแดดเสมอเพื่อมิให้เกิดราขึ้นได้ การเก็บไว้ในที่เย็นจะช่วยยืดอายุการเก็บให้ยาวนานขึ้น

ในอุตสาหกรรมการบรรจุหีบห่ออาหารแห้งเป็นเรื่องสำคัญมาก ภาชนะบรรจุที่อากาศและน้ำเข้าไม่ได้จะช่วยรักษาคุณภาพของอาหาร อาหารที่บรรจุถุงพลาสติกก็เก็บไว้ได้ชั่วคราวเท่านั้น เพราะแมลงอาจกัดเจาะถุงเข้าไปกินอาหารได้ ถ้าเป็นถุงพลาสติกซึ่งโปร่งแสง จะทำให้อาหารเสื่อมคุณภาพได้อีกด้วย

2.5 สารต้านอนุมูลอิสระ

สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) คือสารปริมาณน้อยที่สามารถป้องกันหรือชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของอนุมูลอิสระได้ (Halliwell, 2009) สารเหล่านี้มีกลไกในการต้านอนุมูลอิสระหลายแบบ เช่น ดักจับ (Scavenge) อนุมูลอิสระโดยตรง ยับยั้งการสร้างอนุมูลอิสระหรือเข้าจับ (Chelate) กับโลหะ เพื่อป้องกันการสร้างอนุมูลอิสระ (Sies, 1992) สารต้านอนุมูลอิสระเป็นสารประกอบที่ทนต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในเซลล์ (Chattopadhyay et al., 2008) โดยทั่วไป สารต้านอนุมูลอิสระสามารถพบได้ในธรรมชาติจากสารหลายชนิด เช่น สารประกอบฟีนอลิก (Phenolic compounds) สารประกอบไนโตรเจน (Nitrogen compounds) และแคโรทีนอยด์ (Catotinoid) (Velioglu et al., 1998) บทบาทสำคัญของสารต้านอนุมูลอิสระคือ ป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในร่างกาย ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดโรคต่างๆ ของมนุษย์ ป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันที่เป็นสาเหตุหลักของการเสื่อมคุณภาพในอาหาร ปัจจุบันองค์กรที่เกี่ยวข้องในอุตสาหกรรมอาหารและยา ได้พยายามพัฒนาสารต้านอนุมูลอิสระที่มาจากธรรมชาติ เช่น สาหร่ายทะเล แบคทีเรีย เชื้อรา และพืชชั้นสูง (Chattopadhyay et al., 2008)

สารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญจากธรรมชาติ เป็นสารกลุ่มที่ได้รับความสนใจและมีการค้นคว้าอย่างมากในปัจจุบันเนื่องจากความเชื่อมั่นว่ามีความปลอดภัยในการบริโภคมากกว่าสารต้านอนุมูล

อิสระสังเคราะห์ สารต้านอนุมูลอิสระเหล่านี้พบได้ทั้งในจุลชีพ สัตว์ และพืช ซึ่งมีทั้งที่เป็นวิตามิน เช่น วิตามินซี วิตามินอี เบต้าแคโรทีน และสารที่ไม่ให้คุณค่าทางโภชนาการ (Non-nutrient) ซึ่งมีโครงสร้างเป็นสารประกอบฟีนอลิก โดยเฉพาะกลุ่มโพลีฟีนอล (Polyphenols) เช่น แซนโธน (Xanthone) และฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) ซึ่งประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลที่เกาะบนวงเบนซีน (Aromatic hydroxyl) ตั้งแต่ 2 หมู่ขึ้นไป หมู่ฟังก์ชั่น (Functional group) เหล่านี้มีบทบาทสำคัญในการดักจับอนุมูลอิสระไม่ให้ไปกระตุ้น หรือก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้โดยการให้อนุมูล $H^{\bullet}$ แก่อนุมูลอิสระเหล่านั้น นอกจากนี้สารประกอบโพลีฟีนอลที่มีโครงสร้างของ Ortho-dihydroxyl phenol อยู่ในโมเลกุลยังสามารถยับยั้งการเกิดอนุมูล $OH^{\bullet}$ ในปฏิกิริยาที่มีอนุมูลโลหะทรานซิชัน คือ Fe^{2+} และ Cu^{2+} เป็นตัวเหนี่ยวนำได้โดยการเข้าจับกับโลหะดังกล่าวเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (Complex) (Sanchez-Moreno et al., 2000) ตัวอย่างสารต้านอนุมูลอิสระที่มีความสำคัญ ดังนี้

1) วิตามินอี เป็นวิตามินที่ละลายในไขมัน เป็นตัวขัดขวางปฏิกิริยาลูกโซ่ของการเกิดออกซิเดชันในไขมันที่ไม่อิ่มตัว ซึ่งพบมากในน้ำมัน จากเมล็ดพืชต่างๆ เช่น ข้าวโพด ทานตะวัน ดอกคำฝอย ถั่วเหลือง รำข้าว เป็นต้นนอกจากนี้ พบในถั่วต่างๆ ปลา เนื้อสัตว์ (โดยเฉพาะตับ) ส่วนในผักที่มีสีเขียวปนเหลืองก็พบบ้างแต่ไม่มากนักปริมาณที่แนะนำสำหรับคนไทยคือ 15 มิลลิกรัม/วัน

2) วิตามินซี เป็นวิตามินที่ละลายน้ำได้มีคุณสมบัติในการทำลายฤทธิ์อนุมูลอิสระและยังทำงานร่วมกับวิตามินอี โดยช่วยรักษาสภาพของวิตามินอีให้ยังคงทำหน้าที่ได้ พบมากในผักใบเขียวทั่วไป โดยใบเขียวมีวิตามินซีมากกว่าใบสีอ่อน ผลไม้รสเปรี้ยว เช่น มะขามป้อมส้ม มะขาม ฝรั่ง แต่ก็ไม่จำเป็นต้องมีรสเปรี้ยวเท่านั้นที่มีวิตามินซี ทั้งนี้วิตามินซีสลายตัวได้ง่ายมากเมื่อถูกความร้อน

3) แคโรทีนอยด์ แคโรทีนอยด์ตัวสำคัญได้แก่ เบต้า-แคโรทีน สามารถจับอนุมูลอิสระ และออกซิเจนพลังงานสูงทำให้มีพลังงานลดลงและมีความไวในการทำปฏิกิริยา หรือทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเซลล์ในร่างกายลดลง พบมากในพืชสีเหลืองส้ม หรือเขียวส้มเช่น ผักใบเขียวทั่วไป ฟักทอง แครอท เป็นต้น ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มของวิตามินเอ พบมากในพืชสีเหลืองส้ม หรือเขียวเข้ม เช่น ผักใบเขียวทั่วไป ฟักทอง แครอท เป็นต้น ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มของวิตามินเอ ซึ่งเบต้า-แคโรทีนเป็นรงควัตถุในกลุ่มแคโรทีนอยด์ที่พบในพืช ให้สีเหลือง ส้ม และส้มแดง มีสมบัติไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ดีในน้ำมัน และตัวทำละลายอินทรีย์ เบต้า-แคโรทีนยังทำหน้าที่เป็นสารต้านออกซิเดชันให้แก่ร่างกาย ช่วยทำลายอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในร่างกาย จึงเป็นสารที่ช่วยชะลอความแก่และยับยั้งการเกิดมะเร็งได้ โดยที่พบในอาหารส่วนใหญ่จะอยู่ในรูป Trans-form อาจพบในรูป Cis-form บ้างแต่น้อย แคโรทีนอยด์ที่มีโครงสร้างอยู่ในรูป Trans-form จะมีสีเข้มกว่า Cis-form

การเสื่อมเสียแคโรทีนอยด์ในอาหารส่วนใหญ่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน เนื่องจากโมเลกุลของแคโรทีนอยด์เป็นระบบไม่อิ่มตัว เมื่อทิ้งไว้ให้ถูกอากาศเป็นเวลานาน อาจถูกออกซิไดส์เองโดยออกซิเจนในอากาศ อัตราเร็วของปฏิกิริยาออกซิเดชันขึ้นกับแสง ความร้อนและการมีโปรออกซิเดนท์ (Pro-oxtidants) หรือแอนติออกซิเดนท์ (Antioxidants) อยู่ การหุงต้มธรรมดาไม่มีผลต่อสีและคุณค่าทางโภชนาการของแคโรทีนอยด์ สีของแคโรทีนอยด์ทนกรดด่างและไม่ถูกชะออกโดยน้ำ และในการหุงต้มเป็นเวลานาน ไม่ทำให้สีของแคโรทีนอยด์เปลี่ยนแปลงไปมากนัก ในผักและผลไม้ที่มีปริมาณแคโรทีนอยด์สูงจะยังคงมีสีสวยหลังหุงต้มแล้ว แต่แคโรทีนอยด์ในอาหารที่ตากแห้งอาจเปลี่ยนสีได้ เมื่อทิ้งไว้ในอากาศเป็นเวลานาน (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549)

4) สารประกอบฟีนอลิก พบได้ทั่วไปในพืชแทบทุกชนิดรวมถึงสาหร่าย สารต้านอนุมูลอิสระในกลุ่มนี้ ได้แก่ ฟลาโวนอยด์พบมากในชาเขียว แอปเปิล (มีสารคาเทชิน) ถั่วเหลือง และผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลือง เมื่อบริโภคถั่วเหลือง แล้วจะได้สารที่มีส่วนประกอบที่ทำหน้าที่คล้ายเอสโตรเจน (Phytoestrogen) เช่น สารเจนิสทีนที่มีผลดีต่อหญิงวัยหมดประจำเดือน และลดการเกิดมะเร็งบางชนิด เช่น มะเร็งเต้านม นอกจากนี้ยังมีกรดคลอโรจินิคและกรดคาแฟอิคซึ่งพบมากในชา กาแฟ กรดแกลลิคพบมากในผักพื้นบ้าน เช่นกระถิ่น ผักชีล้อม ผักหนามปู่ย่า สะระแหน่ กรดชีแนพพิค พบมากในหญ้าหวาน และสารประกอบฟินอลิกที่พบในใบแคล เช่น Quercetin, Caffeic acid, P-coumaric acid, Sinapic acid, Ferulic acid, Keampferol อย่างไรก็ตาม Su et al., (2004) รายงานว่าสารประกอบฟีนอลิกในพืชมีทั้งชนิดที่ละลายและไม่ละลายน้ำและบางชนิดสามารถสลายตัวได้ง่ายด้วยความร้อนในการทำแห้ง สกัด และแปรรูป จึงมีผลต่อการลดลงของปริมาณฟีนอลิกโดยรวมในพืชได้

2.6 ไอศกรีม

ไอศกรีมเป็นผลิตภัณฑ์นมแช่แข็ง ทำโดยการแช่แข็งส่วนผสมไอศกรีม (Ice cream mix) ที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์แล้ว ร่วมกับการกักเก็บอากาศเข้าไปในผลิตภัณฑ์ เพื่อให้ได้ไอศกรีมที่มีความข้นหนืด (Consistency) ที่สม่ำเสมอไอศกรีมมีส่วนประกอบที่สำคัญ ได้แก่ ผลิตภัณฑ์จากนม น้ำตาล และน้ำ โดยอาจเติมไข่ สารปรุงแต่งสี และกลิ่นรส รวมทั้งสารเพิ่มความคงตัว (Stabilizer) และอิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier) ด้วย (Marshell & Arbuckie, 1996; Goff, 2003)

2.6.1 ประเภทของไอศกรีม

จากการตรวจเอกสารพบว่ามีการแบ่งประเภทไอศกรีมตามปริมาณไขมัน ดังนี้

วรรณนา ตั้งเจริญชัย (2531) กล่าวว่า ไอศกรีมสามารถแบ่งตามปริมาณไขมันได้เป็น 5 ประเภท คือ

1) ไอศกรีมปราศจากไขมัน (Non-fat ice cream) เป็นไอศกรีมที่มีปริมาณไขมันต่ำกว่า 0.5 กรัมต่อหนึ่งหน่วยบริโภค (Serving)

2) ไอศกรีมไขมันต่ำ (Low-fat ice cream) เป็นไอศกรีมที่มีปริมาณไขมันต่ำกว่า 3 กรัมต่อหนึ่งหน่วยบริโภค (Serving) หรือประมาณ 4 ออนซ์

3) ไอศกรีมไลท์ (Light ice cream) เป็นไอศกรีมที่มีปริมาณไขมันต่ำกว่าไอศกรีมปกติ 50 เปอร์เซ็นต์ หรือมีปริมาณแคลอรีต่ำกว่าปกติ 1/3 เท่า

4) ไอศกรีมลดไขมัน (Reduced-fat ice cream) เป็นไอศกรีมที่มีปริมาณไขมันต่ำกว่าไอศกรีมปกติ 25 เปอร์เซ็นต์

5) ไอศกรีมปกติ (Regular ice cream) เป็นไอศกรีมที่มีปริมาณไขมัน 8-18 เปอร์เซ็นต์

อภิญญา เจริญกูล (2558.) กล่าวว่า ไอศกรีมสามารถแบ่งตามปริมาณไขมันได้เป็น 4 ประเภท คือ

1) ไอศกรีมปราศจากไขมัน (Non-fat ice cream) มีปริมาณไขมันต่ำกว่า 0.8 เปอร์เซ็นต์

2) ไอศกรีมไขมันต่ำ (Low-fat ice cream) มีปริมาณไขมัน 2-4 เปอร์เซ็นต์

3) ไอศกรีมไลท์ (Light ice cream) มีปริมาณไขมัน 5-6 เปอร์เซ็นต์

4) ไอศกรีมปกติ (Economy ice cream) มีปริมาณไขมัน 10-12 เปอร์เซ็นต์

2.6.2 ส่วนผสมของไอศกรีม (Marshell & Arbuckie, 1996; Goff, 2003)

ส่วนผสมของไอศกรีมอาจแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ไขมันซึ่งจะกระจายตัวเป็นน้ำเป็นอิมัลชัน (Oli-in-water emulsion) โปรตีนซึ่งเป็นส่วนของของแข็งที่มาจากนม และสารคงตัว ละลายอยู่ในรูปของคอลลอยด์ และน้ำตาลแลคโตส เป็นน้ำตาลที่เติมลงไปซึ่งปริมาณต่างๆ จะแตกต่างกันตามชนิดของไอศกรีม สำหรับงานวิจัยนี้ต้องการผลิตไอศกรีมไขมันต่ำ ซึ่งมีส่วนประกอบโดยประมาณดังนี้ ไขมันนม 2-6 เปอร์เซ็นต์ สารทดแทนไขมัน (มอลโตเด็กซ์ตริน) 6-8 เปอร์เซ็นต์ ของแข็งนมไม่รวมมันเนย 12-14 เปอร์เซ็นต์ สารให้ความหวาน 18-20 เปอร์เซ็นต์ สารเพิ่มความคงตัว 0.6-0.8 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณของแข็งทั้งหมด 35-38 เปอร์เซ็นต์

1) ไขมันนม (Milk fat) ไขมันนมในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมได้มาจากครีม (ทั้งในรูปของครีมสด (Fresh cream) ครีมแช่แข็ง (Frozen cream) และพลาสติกครีม (Plastic cream) เนยเหลว (Butter) น้ำมันเนย (Butter oil) และครีมข้นหวาน (Condensed sweetened cream) เป็นต้น

2) ของแข็งนมไม่รวมมันเนย (Milk solids non-fat) ของแข็งนมไม่รวมมันเนยในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมได้มาจาก น้ำนมขาดมันเนย (Skimmilk) นมผงขาดมันเนย (Skimmilk powder) หางเนยเหลวผง (Buttermilk powder) เวย์ผง (Whey powder) นอกจากนี้ยังสามารถใช้ นมผง (Whole milk powder) และผลิตภัณฑ์จากโปรตีนนมอื่นๆ เช่น โซเดียมเคซีเนต (Sodium caseinate) เป็นต้น

3) น้ำตาล (Sugar) น้ำตาลที่นิยมใช้ในไอศกรีม คือ น้ำตาลทราย (Cane sugar) ซึ่งประกอบด้วยน้ำตาลซูโครสเป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้สามารถใช้น้ำตาลชนิดอื่นร่วมด้วย เช่น คอร์นไซรัป (ทั้งในรูปของ Liquid และ Dried corn syrup) เด็กซ์โทรส (Dextrose) และ น้ำผึ้ง (Honey) เป็นต้น

4) สารเพิ่มความคงตัว (Stabilizer) ชนิดของสารเพิ่มความคงตัวซึ่งสามารถให้ความหนืดที่นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมได้แก่ Agar, Sodium alginate, Propylene glycol alginate, Gelatin, Gum acacia, Guar gum, Gum karaya, Locust bean gum, Gum tragacanth, Carrageenan, Pectin และ CMC (Carboxymethyl cellulose) เป็นต้น

5) อิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifiers) เป็นสารที่ช่วยลดแรงตึงผิวที่ทำให้ส่วนผสมต่างๆ เข้ากันดี นิยมใช้ Glycerol esters of fatty acid ได้แก่ Momodiglycerides

6) สารปรุงแต่งสี และกลิ่นรสในการปรุงแต่งรสชาติของไอศกรีมให้มีรสชาติต่างๆ สามารถทำได้โดยการเติมส่วนผสมที่ให้กลิ่นรส ได้แก่ วานิลลา (Vanilla) ช็อกโกแลต (Chocolate) หรือโกโก้ (Cocoa) ผลไม้ต่างๆ เช่น ผลไม้สด (Fresh fruit) ผลไม้เชื่อม (Candied & glaced fruit) ผลไม้แห้ง (Dried fruit) และน้ำเชื่อมผลไม้ (Fruit syrup) และถั่วต่างๆ (Nut) รวมทั้งอาจปรุงแต่งด้วยสารปรุงแต่งกลิ่นรส (Flavors) และสีผสมอาหาร (Colors) ได้แก่ สีน้ำตาลคาราเมล (caramel) และสีชมพู (Rose pink) เป็นต้น

2.6.3 กระบวนการผลิตไอศกรีม (Marshell & Arbuckie, 1996; วรรณา ตั้งเจริญชัย และวิบูลย์ศักดิ์ กาวิละ, 2531 และสมจิตร สุรพัฒน์, 2544) มีขั้นตอนดังนี้

1) การผสม (Mixing) เติมพวกส่วนผสมที่เป็นของเหลว (Liquid ingredients) ได้แก่ น้ำนม ครีม และน้ำ เป็นต้น ลงในถังผสม (Mixing vat) ก่อน โดยถ้ามีการใช้เนยเหลว (Butter) น้ำมันเนย (Butter oil) หรือ ไขมันพืช (Hydrogenated vegetable oil) ร่วมด้วยสามารถผสมได้โดยการหลอมเหลว (Melting) ก่อน หรืออาจใช้วิธีผสมร้อน (Hot mixing) คือการเพิ่มอุณหภูมิของส่วนผสมที่เป็นของเหลวก่อน แล้วจึงเติมเนยเหลวหรือ น้ำมันเนยหรือไขมันพืช ต่อจากนั้นจึงค่อยเติมพวกส่วนผสมแห้ง (Dry ingredients) ได้แก่ นมผง น้ำตาล Stabilizer และ Emulsifier เป็นต้น ซึ่งในการเติมส่วนผสมแห้งนี้ อาจทาให้เกิดการจับตัวเป็นก้อน (Lumping) ได้ ซึ่งสามารถป้องกันได้โดยการผสมส่วนผสมแห้งกับน้ำตาลก่อน หรือโดยการเติมลงไปทีละน้อยและช้าๆ เช่น การใช้วิธีการร่อน (Sifting) หรือเติมในขณะที่มีอุณหภูมิที่เหมาะสมในการละลายของส่วนผสมแห้งนั้น

2) การพาสเจอร์ไรส์ (Pasteurisation) ในการพาสเจอร์ไรส์ส่วนผสมไอศกรีม (Ice cream mix) ซึ่งมีปริมาณไขมัน และน้ำตาลรวมทั้งความหนืดสูงกว่าน้ำนมค่อนข้างมาก จึงต้องใช้อุณหภูมิและเวลาในการพาสเจอร์ไรส์มากกว่าน้ำนม และนิยมใช้วิธีการพาสเจอร์ไรส์แบบ HTST ที่อุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 79.4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วินาที เช่น ที่อุณหภูมิ 82-87 องศาเซลเซียส นาน 15-30 วินาที

3) การโฮโมจีไนซ์ (Homogenisation) การโฮโมจีไนซ์เป็นการทำให้เม็ดไขมันมีขนาดเล็กลงและกระจายตัว และจะทำให้ อิมัลซิไฟเออร์กระจายตัวอยู่ที่ผิวรอบๆเม็ดไขมัน โดยการโฮโมจีไนซ์จะใช้อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และอยู่ในตำแหน่ง “Down stream” กล่าวคือ ตำแหน่งหลังจากการพาสเจอร์ไรส์ ซึ่งต่างจากผลิตภัณฑ์นมอื่น

4) การบ่ม (Ageing) หลังจากการพาสเจอร์ไรส์ และโฮโมจีไนซ์แล้ว จึงทำให้เย็น (Cooling) ทันที โดยใช้แผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนจนมีอุณหภูมิ 0-5 องศาเซลเซียส แล้วจึงบ่ม (Ageing) ต่อที่อุณหภูมินี้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งในระหว่างการบ่มเกิดการเปลี่ยนแปลงดังนี้ Complete hydration of dairy ingredients ส่วนผสมแห้ง โดยเฉพาะนมผงขาดมันเนย และ Stabilizer จะยังละลายน้ำไม่สมบูรณ์ในระหว่างขั้นตอนการผสม ต้องการเวลาอีกระยะหนึ่งเพื่อให้เกิดการจับตัวกับน้ำได้สมบูรณ์ ซึ่งจะทำให้ส่วนผสมมีความหนืดสูงขึ้น และจะทำให้ไอศกรีมมีลักษณะดีทั้งในด้าน เนื้อสัมผัส (Body) ความข้นมัน (Creaminess) ความต้านทานต่อการหลอมละลาย (Melting resistance) และความมีเสถียรภาพในระหว่างการเก็บรักษา (Storage stability) Crystallization of fat ในช่วงแรกของการบ่มจะเกิดการตกผลึกของไขมัน โดยเริ่มจากไขมันที่มีจุดหลอมเหลวสูงจะเกิดเป็นผลึกที่ผิวของเม็ดไขมันก่อน แล้วค่อยๆเพิ่มเป็นชั้นของผลึกไขมัน ตามลำดับจนเป็นส่วนของไขมันเหลว (Liquid fat) ที่แกนกลาง (Core) ของเม็ดไขมันในท้ายสุด Protein desorption from the globule surface การหลุดตัวของโปรตีนออกจากผิวของเม็ดไขมันเป็นผลจากอิมัลซิไฟเออร์ที่หุ้มอยู่รอบเม็ดไขมันก่อนชั้นของโปรตีน ซึ่งจะลดเสถียรภาพของอิมัลชันลง

5) การปั่นไอศกรีม (Freezing) ก่อนที่จะนำส่วนผสมไอศกรีม (Ice cream mix) มาทำการปั่นไอศกรีม (Freezing) จะต้องนำส่วนผสมไอศกรีมมาเติมส่วนผสมต่างๆ เพื่อการปรุงแต่งรสชาติ แล้วจึงป้อนส่วนผสมไอศกรีมเข้าสู่เครื่องปั่นไอศกรีม (Freezer)

6) การทำให้แข็งตัว (Hardening) นำไอศกรีมที่ได้ออกมาจากเครื่องปั่นไอศกรีม แล้วบรรจุในภาชนะบรรจุ เช่น ถ้วยไอศกรีม หรือถังไอศกรีม ตามต้องการ แล้วจึงผ่านเข้าไปใน เครื่องทำให้

แข็งตัวแบบอุโมงค์ (Hardening tunnel) ที่อุณหภูมิ -35 องศาเซลเซียส โดยการทำให้แข็งตัวนี้ต้องทำให้ได้อุณหภูมิแกนกลางของผลิตภัณฑ์ (Product core temperature) ไม่สูงกว่า -15 องศาเซลเซียส ซึ่งที่จุดนี้จะมีน้ำประมาณ 82 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำทั้งหมดในไอศกรีมที่เปลี่ยนไปเป็นผลึกน้ำแข็ง อย่างไรก็ตาม จุดที่น้ำในไอศกรีมจะเปลี่ยนเป็นผลึกน้ำแข็งมากที่สุดซึ่งก็เพียง 90 องศาเซลเซียส ของน้ำทั้งหมดในไอศกรีม จะอยู่ที่อุณหภูมิประมาณ -30 องศาเซลเซียส ส่วนในกรณีของการผลิตไอศกรีมแท่ง สำหรับวิธีการดังเดิมจะบรรจุไอศกรีมที่ออกมาจากเครื่องปั่นไอศกรีมลงในแท่งแม่แบบที่เตรียมไว้ ซึ่งอาจมีรูปร่างกลม หรือ เหลี่ยมก็ได้ แล้วแช่แม่แบบนี้ลงในน้ำเกลือที่อุณหภูมิ -40 ถึง -42 องศาเซลเซียส แล้วจึงเสียบไม้ลงในไอศกรีมที่มีลักษณะแข็งตัวดีแล้ว ต่อจากนั้นอาจนำไปเคลือบด้วยช็อกโกแลต ในปัจจุบันใช้วิธีการเอ็กซ์ทรูชัน (Extrusion) เพื่อให้ได้ไอศกรีมออกมาเป็นรูปแบบต่างๆ โดยการป้อนไอศกรีมที่ออกมาจากเครื่องปั่นไอศกรีมที่อุณหภูมิ -5.5 องศาเซลเซียส นั้น เข้าไปในเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ (Extruder) เพื่อให้ได้รูปร่างและสีตามต้องการ แล้วตัดเป็นชิ้นด้วยลวดร้อนไฟฟ้า และเสียบไม้ในไอศกรีม ต่อจากนั้นจึงลำเลียงเข้าสู่เครื่องทำให้แข็งตัวที่อุณหภูมิ -41.7 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นนำไปเคลือบด้วยช็อกโกแลต หรืออื่นๆ ตามต้องการ

7) การเก็บรักษา (Storage) แม้ว่าอุณหภูมิที่ต้องการในขั้นตอนการทำให้แข็งตัวจะอยู่ที่เพียง -15 องศาเซลเซียส แต่สำหรับผลิตภัณฑ์ไอศกรีมควรเก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่านั้น คือควรเก็บที่อุณหภูมิ -25 ถึง -30 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่น้ำในไอศกรีมจะเปลี่ยนเป็นผลึกน้ำแข็งมากที่สุด คือ 90 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำทั้งหมดในไอศกรีมนั่นเอง อย่างไรก็ตามการรักษาอุณหภูมิของห้องเก็บรักษาให้คงที่เป็นสิ่งที่สำคัญที่สุด เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจะทำให้ผลึกน้ำแข็งหลอมละลายและเมื่ออุณหภูมิลดลงอีกจะทำให้น้ำไปเกาะกับผลึกน้ำแข็งที่มีอยู่ ทำให้เกิดเป็นผลึกน้ำแข็งที่ใหญ่ขึ้น ทำให้คุณภาพของไอศกรีมลดลง ตัวอย่างเช่น ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส จะทำให้ผลึกน้ำแข็งเกิดการหลอมละลาย 7 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ ที่อุณหภูมิ -30 องศาเซลเซียส จะทำให้ผลึกน้ำแข็งเกิดการหลอมละลายไม่เกิน 2 เปอร์เซ็นต์

จากการตรวจเอกสารพบว่า มีรายงานการพัฒนาผลิตภัณฑ์ไอศกรีมลดไขมันหรือไอศกรีมลดพลังงานดังนี้

จุฑารัตน์ โกวิทยา และคณะ (2549) รายงานว่า การลดไขมันในไอศกรีมวานิลามีผลทำให้คุณภาพของไอศกรีมด้อยลง จึงได้ศึกษาการใช้อินนูลินเพื่อปรับปรุงคุณภาพของไอศกรีมวานิลาลดไขมันที่มีไขมัน 3 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก พบว่าไอศกรีมวานิลาสูตรควบคุมที่มีไขมัน 9 เปอร์เซ็นต์ กับไอศกรีมวานิลาลดไขมันที่มีไขมัน 3 เปอร์เซ็นต์ ที่เติมอินนูลิน 3-9 เปอร์เซ็นต์ มีความหนืดของไอศกรีมมิกซ์ การขึ้นฟูและมีความแข็งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ไอศกรีมวานิลาลดไขมันที่เติมอินนูลิน 6 เปอร์เซ็นต์ ให้การขึ้นฟูและมีความแข็งไม่แตกต่างกับไอศกรีมวานิลาสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) แต่มีการละลายเร็วกว่า นอกจากนี้ขนาดของสายอินนูลินมีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของไอศกรีมด้วย เมื่อเติมอินนูลิน 6 เปอร์เซ็นต์ อินนูลินสายยาว (HP) ให้ไอศกรีมมิกซ์ที่มีความหนืดสูงกว่า ไอศกรีมแข็งมากกว่า การขึ้นฟูต่ำกว่าและมีการละลายช้ากว่าอินนูลินสายสั้น (GR) ($p<0.05$) เมื่อเติมอินนูลินผสมสายยาวและสายสั้นอัตราส่วน 3:3 (รวมเป็น 6 เปอร์เซ็นต์) ช่วยลดการละลายของไอศกรีมและรักษารูปร่างในระหว่างการละลายได้ดีกว่าการใช้อินนูลินสายสั้นอย่างเดียว และให้ลักษณะทางประสาทสัมผัสและการยอมรับที่ใกล้เคียงกับไอศกรีมสูตรควบคุม

ภัทรา กุลกิจวโรภาส (2540) รายงานว่า การพัฒนาสูตรไอศกรีมลดพลังงานกลิ่นผลไม้ไทย (มะพร้าวอ่อน) ว่าไอศกรีมที่ได้มีความเข้มข้นของกลิ่นผลไม้ รสหวาน และความเนียนปานกลางซึ่งใกล้เคียงกับไอศกรีมวอลล์กลิ่นผลไม้ จากการพัฒนาสูตรพบว่า สูตรที่เหมาะสมประกอบด้วย ไขมันนม 4 เปอร์เซ็นต์ สารละลายมอลโตเด็กซตริน ค่า D.E.7 (ความเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์) 6 เปอร์เซ็นต์ ธาตุน้ำนมไม่รวมมันเนย 11 เปอร์เซ็นต์ น้ำตาลทราย 8 เปอร์เซ็นต์ สารให้ความคงตัว/อิมัลซิไฟเออร์ 0.65 เปอร์เซ็นต์ เนื้อมะพร้าวอ่อน 15 เปอร์เซ็นต์ น้ำมะพร้าวอ่อน 55.35 เปอร์เซ็นต์ และกรรมวิธีการผลิตที่เหมาะสม คือ ปั่นด้วยเครื่องปั่นไอศกรีมแบบ Direct expansion นาน 20 นาที จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพทางกายภาพดังนี้ มีสีขาว ค่าสี L* a* และ b* เท่ากับ 88.5 -4.77 และ 10.47 ตามลำดับ ความหนืดมีค่าเท่ากับ 1085.20 เซนติพอยท์ อัตราการละลาย 12.5 มิลลิลิตร/30 นาที ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ 32.5 คุณภาพทางเคมี คือ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่งส์ 3.22 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด 26.5 เปอร์เซ็นต์ pH 6.28 ค่า TBA 0.15 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ไม่พบจุลินทรีย์ที่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค คุณภาพทางด้านโภชนาการคือ มีไขมัน 4.80 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 3.48 เปอร์เซ็นต์ น้ำตาลแลคโตส 17.99 เปอร์เซ็นต์ พลังงาน 134.07 กิโลแคลอรี/80 กรัม โดยพบว่าสามารถใช้มอลโตเด็กซตรินทดแทนไขมันได้ถึง 60 เปอร์เซ็นต์ และลดพลังงานได้ถึง 52.16 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับสูตรพื้นฐาน และมีคุณภาพทางประสาทสัมผัสใกล้เคียงกับสูตรพื้นฐาน จากการทดสอบการยอมรับของผลิตภัณฑ์ พบว่าผู้บริโภคส่วนใหญ่มีความชอบระดับปานกลาง การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ในถ้วยพลาสติกโพลีสไตรีน ที่อุณหภูมิ -30 องศาเซลเซียส นาน 12 สัปดาห์ พบว่าไอศกรีมมีการเปลี่ยนแปลงสี L* a* b* และ pH เพียงเล็กน้อย ส่วนความหนืดและค่า TBA จะเพิ่มขึ้น ส่วนคุณภาพทางประสาทสัมผัสพบว่า ในสัปดาห์ที่ 6 ความเนียนของไอศกรีมมีค่าลดลงและขนาดเกล็ดน้ำแข็งใหญ่ขึ้น กลิ่นรสรวมของผลิตภัณฑ์ไม่มีการเปลี่ยนแปลง และพบว่าในสัปดาห์ที่ 8 ไอศกรีมมีกลิ่นหืนเพิ่มขึ้น

2.7 ขนมขบเคี้ยว

รองรัตน์ รัตนาธรรมวัฒน์ (2546) กล่าวว่า ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวหรืออาหารว่างเป็นผลิตภัณฑ์ที่นิยมบริโภคกันทั่วไปในระหว่างมื้อของอาหาร และความนิยมดังกล่าวได้เพิ่มมากขึ้นในปัจจุบัน ผลิตภัณฑ์ที่มีจำหน่ายในท้องตลาดมีหลากหลายรูปแบบ ซึ่งผลิตจากวัตถุดิบและใช้กรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกันไป จากความนิยมในการบริโภคขนมขบเคี้ยวที่เพิ่มมากขึ้นบวกกับความเจริญของเทคโนโลยี จึงทำให้มีการพัฒนาเปลี่ยนแปลงการผลิตจากระดับครัวเรือนมาเป็นระดับอุตสาหกรรม ซึ่งทำให้ชนิดและรูปแบบของผลิตภัณฑ์มีความหลากหลายมากขึ้น รวมทั้งการแข่งขันทางการตลาดก็สูงขึ้นด้วย

จากการรวบรวมความหมายของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว (Snack) หรืออาหารขบเคี้ยว (Snack food) ของ Blenford (1982); Tettweiler (1991); ธงชัย สันติวงศ์ (2535); เพ็ญขวัญ ชมปรีชา และทัศนีย์ คชสีห์ (2541) อ้างถึงใน รองรัตน์ รัตนาธรรมวัฒน์ (2546) สรุปได้ว่า ขนมขบเคี้ยวควรมีลักษณะพื้นฐานดังนี้ มีลักษณะรูปร่างขนาดเล็ก อาจเป็นของหวานหรือของคาว โดยที่ผลิตภัณฑ์ผ่านกระบวนการแปรรูปมาแล้วพร้อมบริโภคได้ทันที หรือมีการเตรียมเพียงเล็กน้อย บริโภคขณะร้อนหรือเย็นในรูปของแข็งหรือของเหลวก็ได้ ใช้รับประทานเป็นอาหารว่างหรือโอกาสต่างๆ ตามที่

ผู้บริโภคต้องการ ซึ่งจะทำให้เกิดความพึงพอใจและประทังความหิวในช่วงระยะเวลาสั้นๆได้ ผลิตภัณฑ์สามารถเก็บรักษาได้นาน 6 สัปดาห์ โดยไม่ต้องอาศัยความเย็น นอกจากอาหารที่ประกอบภายในครัวเรือนแล้วอาหารขบเคี้ยวส่วนใหญ่ยังมีการผลิตในระดับอุตสาหกรรม

ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวในประเทศไทยมีหลากหลายรูปแบบ บริษัทศูนย์วิจัยกสิกรไทย (2553) จำแนกขนมขบเคี้ยว ออกเป็น 7 ประเภทหลัก ดังนี้ 1) ขนมขบเคี้ยวประเภทแป้ง 2) ขนมขบเคี้ยวประเภทมันฝรั่งทอด 3) ขนมขบเคี้ยวประเภทข้าวเกรียบกุ้ง 4) ขนมขบเคี้ยวประเภทข้าวโพด 5) ขนมขบเคี้ยวประเภทปลาเส้น 6) ขนมขบเคี้ยวประเภทปลาหมึกปรุงรส และ 7) ขนมขบเคี้ยวประเภทถั่วต่างๆ

นอกจากนั้น Reilly and Man (1989) อ้างถึงใน รองรัตน์ รัตนาธรรมวัฒน์ (2546) ได้แบ่งขนมขบเคี้ยวออกเป็น 4 กลุ่ม ตามกลุ่มเทคโนโลยีที่ใช้ในการการแปรรูปผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว ดังต่อไปนี้

1) Deep-fat fried เป็นการทอดแบบน้ำมันท่วมชิ้นอาหาร (Deep-fat frying) ได้แก่ มันฝรั่งทอดกรอบ และมันฝรั่งแท่ง และถือได้ว่าเป็นธุรกิจส่วนใหญ่ของผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยว

2) Quick fried มักทำเป็นแผ่นเพลเลต (Pellet) มีการทำให้สุกบางส่วน ส่วนผสมอาจได้จากมันฝรั่ง แป้งมันฝรั่ง และ/หรือธัญชาติอื่นๆ นำมาทอดที่อุณหภูมิสูง (เช่น ประมาณ 200 องศาเซลเซียส) เป็นเวลาสั้นๆ (10 -15 วินาที) ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความพองและเนื้อสัมผัสเบา

3) Extrusion cooked มักใช้ส่วนผสมของมันฝรั่งและธัญชาติอื่นๆ ที่อยู่ในลักษณะเป็นผง นำไปผลิตด้วยเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ที่อุณหภูมิและความดันสูง เพื่อให้ได้เอ็กซ์ทรูเดตที่ทำให้พองด้วยการทอดในภายหลัง จากนั้นทำการเคลือบด้วยน้ำมันและกลิ่นรส ผลิตภัณฑ์ที่วางขายในตลาดเป็นจำนวนมากอยู่ในกลุ่มนี้ และสามารถทำให้ผลิตภัณฑ์มีรูปร่าง ลักษณะเนื้อสัมผัส และกลิ่นรสแตกต่างกัน

4) Roasted เป็นการทำให้สุกโดยการอบหรือคั่วผลิตภัณฑ์ในกลุ่มนี้มักเป็นพวกถั่วต่างๆ (Nuts) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในรูปถั่วลิสงคั่ว

Tettweiler (1991) อ้างถึงใน กาญจนา สุภทนต์ (2538) อธิบายว่า การบริโภคอาหารขบเคี้ยว (Snacking) เป็นการบริโภคที่ง่ายต่อการจัดการ ลักษณะผลิตภัณฑ์อาจร้อนหรือเย็นในรูปของแข็งหรือของเหลว ซึ่งอาศัยการเตรียมเพียงเล็กน้อยหรือบริโภคโดยตรงและสามารถทำให้เกิดความพึงพอใจได้เมื่อเกิดความรู้สึกหิว โดยอาหารขบเคี้ยวจะมีลักษณะพื้นฐานดังนี้ คือ มีความสะดวกสบายในการใช้หรือการบริโภค สามารถแบ่งเป็นส่วนเล็กส่วนน้อยได้ ช่วยประทังความหิว และมีรสชาติตอบสนองความพึงพอใจของความหิวในช่วงเวลาสั้นๆ อาจเป็นของหวานหรือของคาว มีน้ำหนักเบาหรือแน่น อาจใช้เป็นอาหารที่มีคุณลักษณะเฉพาะ เช่น อาหารเพื่อสุขภาพ หรืออาหารว่างในงานสังสรรค์

ขนมขบเคี้ยวนั้นมีบทบาทในวิถีการดำรงชีวิตของคนไทย และได้รับความนิยมบริโภคมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ศูนย์วิจัยกสิกรไทย (2553) รายงานว่า มูลค่าตลาดขนมขบเคี้ยวในปี 2553 ขยายตัวเพิ่มสูงขึ้นจากปี 2552 ประมาณ 9.3 เปอร์เซ็นต์ หรือมีมูลค่าตลาดเพิ่มขึ้นจาก 15,200 ล้านบาท เป็น 16,600 ล้านบาท โดยกลยุทธ์สำคัญๆ ที่คาดว่าผู้ประกอบการจะนำมาใช้ ได้แก่ การเพิ่มปริมาณสินค้าในราคาจำหน่ายที่เท่าเดิม เพื่อเป็นการทำให้ผู้บริโภคเกิดความรู้สึกว่าได้ซื้อสินค้าในราคาที่ถูกลง ซึ่ง

จะเป็นการกระตุ้นให้เกิดการอยากซื้อในปริมาณที่มากขึ้น การพัฒนารสชาติและออกแบบบรรจุภัณฑ์ใหม่ เพื่อช่วยกระตุ้นยอดขายสินค้าให้ได้มากขึ้น โดยเฉพาะการพัฒนารสชาติให้มีความแตกต่างไปจากผู้ผลิตรายอื่น และออกแบบบรรจุภัณฑ์ให้มีความโดดเด่น มีสีสันที่สดใส รูปทรงแปลกตา และสามารถพกพาไปทานได้สะดวกในทุกที่ ซึ่งจะช่วยดึงดูดให้ผู้บริโภคเกิดการทดลองซื้อเพิ่มมากขึ้น รวมถึงการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ เพื่อลดภาพลักษณ์ของขนมขบเคี้ยวในมุมมองของผู้บริโภคที่มองว่าเป็นอาหารที่ไม่ให้คุณประโยชน์ใดๆ แก่ร่างกาย ด้วยการเพิ่มคุณค่าทางสารอาหารต่างๆ เข้าไป ขณะที่กระแสรักสุขภาพที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ก็ยิ่งเป็นปัจจัยผลักดันที่ทำให้ตลาดขนมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพ (Healthy snack) ขยายตัวมากขึ้น จึงนับว่าเป็นความท้าทายใหม่ของผู้ประกอบการที่จะต้องพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ ให้ตอบสนองความต้องการของตลาดที่เปลี่ยนแปลงไป

การพัฒนาและนำเสนอกลยุทธ์ทางการตลาดของผู้ประกอบการจะมุ่งเน้นไปที่การใช้วัตถุดิบจากธรรมชาติเป็นกลยุทธ์สำคัญ โดยเฉพาะการนำสินค้าเกษตรที่มีการคัดสรรคุณภาพมาผ่านกระบวนการแปรรูปเป็นขนมขบเคี้ยวประเภทต่างๆ ตลอดจนพัฒนาขนมขบเคี้ยวที่ทำมาจากผักและผลไม้ชนิดต่างๆ ด้วย เพื่อเข้าถึงตลาดทั้งในและต่างประเทศมากขึ้น ศูนย์วิจัยกสิกรไทย (2553) ยังรายงานว่า จากข้อมูลสถิติมูลค่าจากการส่งออกขนมขบเคี้ยวของไทยในช่วงหลายปีที่ผ่านมาที่ขยายตัวเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้ศูนย์วิจัยกสิกรไทยคาดว่า การส่งออกขนมขบเคี้ยวของไทยในปี 2553 จะขยายตัวเพิ่มขึ้นจากปี 2552 ประมาณ 14.6 เปอร์เซ็นต์ หรือมีมูลค่าการส่งออกเพิ่มขึ้นเป็น 3,875 ล้านบาท โดยขนมขบเคี้ยวที่ทำจากธัญพืชและที่ทำจากถั่วจะเป็นประเภทที่ไทยมีมูลค่าการส่งออกมากที่สุดประเภทละ 1,900 ล้านบาท หรือขยายตัวเพิ่มขึ้นจากปี 2552 ประมาณ 14.8 และ 14.3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ขณะที่ขนมขบเคี้ยวที่ทำจากมันฝรั่งเป็นประเภทที่มีมูลค่าการส่งออกน้อยที่สุด ซึ่งในปี 2553 คาดว่าจะมีมูลค่าการส่งออกประมาณ 75 ล้านบาท ขยายตัวเพิ่มขึ้นจากปี 2552 12.8 เปอร์เซ็นต์ โดยตลาดส่งออกขนมเคี้ยวที่สำคัญของไทย คือ ประเทศต่างๆ ในภูมิภาคเอเชีย อาทิ จีน ฮ่องกง ไต้หวัน สิงคโปร์ และประเทศในแถบอินโดจีน อย่างไรก็ตาม การส่งออกขนมขบเคี้ยวของไทยยังมีปัจจัยที่ต้องระวัง คือ การเพิ่มความเข้มงวดในการตรวจสอบ และลดรายการวัตถุเจือปนที่อนุญาตให้มีในอาหาร ตามมาตรฐานของคณะกรรมาธิการโครงการมาตรฐานอาหาร FAO/WHO (CODEX) ที่อาจส่งผลกระทบต่อการส่งออกขนมขบเคี้ยวของไทย โดยเฉพาะการส่งออกไปยังตลาดในสหรัฐอเมริกาและสหภาพยุโรป ซึ่งผู้ประกอบการควรเตรียมการเพื่อรับมือ และใช้โอกาสนี้เพื่อปรับปรุงคุณภาพและมาตรฐานผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวให้เป็นที่ยอมรับในตลาดโลกมากขึ้น

2.8 ข้าวเหนียวดำ

งานวิจัยนี้สนใจใช้ข้าวเหนียวดำ พันธุ์ลืมผัว ซึ่งมีแหล่งกำเนิดจากกลุ่มชาติพันธุ์ชาวม้ง บ้านรวมไทยพัฒนาที่ 3 ตำบลรวมไทยพัฒนา อำเภอพบพระ จังหวัดตาก ปลูกในสภาพไร่สูงจากระดับน้ำทะเลประมาณ 650 เมตร และมีการนำเมล็ดพันธุ์มาปลูกในบริเวณรอยต่อระหว่างอำเภอนครไทยและอำเภอชาติตระการ จังหวัดพิษณุโลก ปี 2533 ศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก ดำเนินการรวบรวมพันธุ์และนำมาปลูกเปรียบเทียบกับข้าวที่ปลูกจากแหล่งเดิม (อำเภอพบพระ) และคัดเลือกพันธุ์ให้บริสุทธิ์ ระหว่างปี 2534-2538 ดำเนินการคัดเลือกพันธุ์บริสุทธิ์โครงการตามพระราชเสาวนีย์ของสมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์ พระบรมราชินีนาถ และมีการพัฒนาพันธุ์มาอย่างต่อเนื่อง เพื่อลดปัญหา

ที่มีการปลูกแบบชาวเขาที่มักปลูกข้าวหลายพันธุ์ใกล้กันหรือปลูกด้วยกัน ทำให้ข้าวเหนียวลืมผัวมีเมล็ดพันธุ์ข้าวพันธุ์อื่นปน และไม่เป็นพันธุ์บริสุทธิ์ ปี 2550 ศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก และศูนย์วิจัยข้าวแพร่ จึงได้เริ่มทำการคัดเลือกพันธุ์บริสุทธิ์อีกครั้ง เริ่มจากการคัดเลือกแบบหมู่ (Mass selection) และคัดเลือกรวงในปี 2551 เพื่อมาทำเป็นพันธุ์บริสุทธิ์โดยปลูกแบบรวงต่อแถวแล้วนำไปเปรียบเทียบผลผลิตเบื้องต้นที่ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรตาก ทดสอบการปรับตัวในแปลง เกษตรกรที่อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ ปลูกเปรียบเทียบผลผลิตระหว่างสถานี และในนาราษฎร์ วิเคราะห์คุณค่าเมล็ดทางโภชนาการ ทดสอบปฏิกิริยาการตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจน ทดสอบปฏิกิริยาต่อโรคและแมลง ศัตรูข้าวที่สำคัญ วิเคราะห์คุณภาพเมล็ดทางกายภาพ เคมี คุณภาพสี การหุงต้มรับประทาน และทำลายพิมพ์เอกลักษณ์ (DNA fingerprint) จนสามารถควบคุมให้พันธุ์มีความบริสุทธิ์มากขึ้นในปัจจุบัน

ข้าวเหนียวดำ พันธุ์ลืมผัว เป็นข้าวเหนียวที่มีเยื่อหุ้มเมล็ดข้าวกล้องสีดำ ไวต่อช่วงแสง น้ำหนักเบา เก็บเกี่ยวประมาณกลางเดือนตุลาคม ลักษณะทรงกอตั้ง ต้นแข็ง ไม่ล้มง่าย ปล้องสีเหลืองอ่อน กาบใบและใบสีเขียว ลิ้นใบสีน้ำตาลอ่อน หูใบสีเหลืองน้ำตาล ใบธงหักลง คอรวงยาว รวงค่อนข้างแน่น กลีบดอกระยะออกรวง 50 เปอร์เซ็นต์ มีสีเขียวอ่อน เมื่อระยะน้ำนมกลีบดอกเปลี่ยนสีเป็นแถบสีม่วงบนพื้นสีเขียวอ่อน ต่อมาเมื่อเข้าสู่ระยะแป้งแข็งสีกลีบดอกจะเปลี่ยนเป็นสีฟางแถบม่วงดำ และเมื่อข้าวระยะสุกแก่สีเปลือกเมล็ดเปลี่ยนสีฟางแถบดำหรือสีฟาง ความสูงเฉลี่ย 151 เซนติเมตร น้ำหนักข้าวเปลือก 10.4 กิโลกรัมต่อถัง ข้าวเปลือก 1,000 เมล็ด หนัก 38.1 กรัม เปลือกเมล็ดสีฟางแถบดำ ข้าวเปลือกยาว 10.7 มิลลิเมตร หนา 1.9 มิลลิเมตร คุณภาพการสีดีได้ข้าวเมล็ดเต็มและต้นข้าว 48.2 เปอร์เซ็นต์ คุณภาพเมล็ดทางเคมีการสลายเมล็ดในด่างที่ 1.4 และ 1.7 % KOH ต่ำ อุณหภูมิแป้งสุกต่ำ อัตราการยืดตัวปกติ ระยะพักตัว 5 สัปดาห์ ข้าวเหนียวดำพันธุ์ลืมผัว มีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยเฉพาะสารต้านอนุมูลอิสระรวม สารเหล่านี้ ได้แก่ แอนโทไซยานิน และแกมมาโอไรซานอล ในด้านกรดไขมันไม่อิ่มตัว ได้แก่ โอเมก้า 3 โอเมก้า 6 และโอเมก้า 9 วิตามิน ได้แก่ วิตามินบี1 วิตามินบี2 ธาตุอาหาร ได้แก่ เหล็ก แคลเซียม แมงกานีส นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งที่ดีของโปรตีนอีกด้วย (กองวิจัยและพัฒนาข้าว, 2555) แสดงดังตารางที่ 2-7

ตารางที่ 2-7 คุณค่าทางโภชนาการของข้าวเหนียวดำพันธุ์ลืมผัว

สารอาหาร	ปริมาณ
สารต้านอนุมูลอิสระรวม	833.77 mg Ascorbic acid/100g
โปรตีน	10.63 g/100g
แอนโทไซยานิน	46.56 mg/100g
โอเมก้า 3	33.94 mg/100g
โอเมก้า 6	1,160.08 mg/100g
โอเมก้า 9	1,146.41 mg/100g
แคลเซียม	169.75 mg/kg
แมงกานีส	35.38 mg/kg
เหล็ก	84.18 mg/kg
วิตามินบี 1	0.05 mg/100g
วิตามินบี 2	0.035 mg/100g
ไนอะซิน	6.48 mg/100g

ที่มา: สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว (2553)

2.9 ปลากะตัก

ปลาสกุลปลากะตัก (*Stolephorus* spp.) หรือที่เรียกกันในภาษาอังกฤษว่า Anchovy เป็นปลาผิวน้ำขนาดเล็กชนิดหนึ่งที่มีการแพร่กระจายอย่างกว้างขวางตามบริเวณชายฝั่งทะเลและหมู่เกาะต่างๆ ตั้งแต่บริเวณฮาวาย ฟิลิปปินส์ อินโดนิเซีย และตามบริเวณชายฝั่งทะเลของกลุ่มประเทศในเอเชีย ตลอดจนหมู่เกาะต่างๆ ในมหาสมุทรอินเดีย ทะเลอาหรับ ทะเลแดง เป็นต้น ปลากะตักในสกุล *Stolephorus* ของเขตอินโด-แปซิฟิก ซึ่งพบว่ามีรวมกันทั้งสิ้น 18 ชนิดในจำนวนนี้ 10 ชนิดที่พบในเขตน่านน้ำไทยในอ่าวไทยฝั่งตะวันออก และชนิดที่มีมากที่สุด (86.6%) คือ ปลากะตักชนิด *Stolephorus heterolobus*

ปลากะตัก เป็นปลาผิวน้ำขนาดเล็ก อาศัยอยู่รวมกันเป็นฝูง ลำตัวเรียวยาว แบนข้างมีสันหนามที่ท้อง ขากรรไกรบนยาวเลยหลังตา ครีบหลังตอนเดียว ครีบหางเว้าลึก มีแถบสีเงินพาดผ่านในแนวยาวของลำตัว ขนาดมีความยาวประมาณ 3-10 เซนติเมตร แพร่กระจายอยู่ทั่วไปบริเวณอ่าวไทยและบริเวณห่างฝั่งประมาณ 10-20 ไมล์ตามบริเวณชายฝั่งและหมู่เกาะต่างๆ ทั้งในน่านน้ำไทยและใน

เขตอินโด-แปซิฟิก นิยมใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการทำน้ำปลาชั้นดี บูดู และปลาป่น เป็นต้น นอกจากนี้ ปลากะตักยังนิยมนำมาแปรรูปเป็นปลาตากแห้ง หรือปลาต้มตากแห้งก็ได้ หรือเป็นที่รู้จักในชื่อของปลาไส้ตันตากแห้งหรือปลาฉิ้งฉ้าง เพราะเป็นปลาที่มีคุณค่าทางด้านโภชนาการสูง สามารถจำหน่ายทั้งในประเทศและต่างประเทศ (ไพโรจน์ ช้ายเกลี้ยง, 2533) กองโภชนาการ กรมอนามัย (2544) รายงานว่า ปลากะตักเป็นแหล่งของพลังงานที่ดี มีโปรตีนสูง มีแร่ธาตุที่มีประโยชน์ต่อร่างกายมาก โดยเฉพาะแคลเซียม ฟอสฟอรัส และเหล็ก รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 2-8

ตารางที่ 2-8 คุณค่าทางสารอาหารของปลากะตัก 100 กรัม

สารอาหาร	ปริมาณ	
พลังงาน	327	kg cal
ไขมัน	4.0	g
โปรตีน	68.20	g
แคลเซียม	2,062.00	mg
ฟอสฟอรัส	1,377.00	mg
เหล็ก	20.30	mg
วิตามินบี 1	0.04	mg
วิตามินบี 2	0.20	mg
ไนอะซิน	14.20	mg

ที่มา : กองโภชนาการ กรมอนามัย (2544)

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.10.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเตรียมขั้นต้นก่อนการทำแห้ง

Mazzeo (2011) ศึกษาผลกระทบจากการต้มและการนึ่งต่อสารพฤกษเคมี ได้แก่ แคโรทีนอยด์ คลอโรฟิลล์ โพลีฟีนอล วิตามินซี ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธีของ TEAC และวิธี FRAP รวมทั้งการตรวจค่าสี (L*, a*, b*, C, H°) โดยทำการวิเคราะห์ผักแช่แข็ง 3 ชนิด คือ แครอท กะหล่ำ และ ผักโขม ผลการทดลองพบว่าผักโขมมีปริมาณโพลีฟีนอลเพิ่มขึ้นและปริมาณแคโรทีนอยด์ลดลงเมื่อผ่านการต้มและการนึ่ง สำหรับแครอทและผักโขมที่ผ่านการนึ่ง ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระยังคงอยู่ การต้มมีผลกระทบต่อคุณค่าทางโภชนาการของผักแช่แข็งและส่งผลต่อการสูญเสียสารพฤกษเคมีและสารต้านอนุมูลอิสระ สำหรับวิตามินซีในกะหล่ำดอกพบว่าลดลงหลังจากการให้ความร้อนทั้ง 2 วิธี สีของผักแช่แข็งลดลงในปริมาณเล็กน้อยซึ่งเป็นผลมาจากการเตรียมขั้นต้น

ค่าความเป็นสีแดง (a*) ในแครอทลงซึ่งสอดคล้องกับปริมาณแคโรทีนอยด์ที่สูญเสียไปและค่าความเป็นสีเขียว (b*) ในผักโขมที่สูญเสียไปตามปริมาณของคลอโรฟิลล์ โดยสรุปแล้วพบแนวโน้มว่าการนึ่งทำให้สารต้านนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น โพลีฟีนอลมีปริมาณคงเดิม ในขณะที่การต้มทำให้เกิดการสูญเสียแคโรทีนอยด์และสารประกอบโพลีฟีนอลลดลงเมื่อเทียบกับการไม่เตรียมขั้นต้นก่อนการแช่แข็ง

Jaiswal et al. (2012) ศึกษาการลวกกะหล่ำปลียอร์ค ระหว่างอุณหภูมิ 80 และ 100 องศาเซลเซียส โดยแปรอุณหภูมิเพิ่มขึ้นสิ่งทดลองละ 5 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 14 นาที พบว่าลักษณะเนื้อสัมผัส สี โพลีฟีนอล และปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ ลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการลวกอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์มีปริมาณเพิ่มขึ้นจากช่วง 19.6-24.5 เปอร์เซ็นต์ เป็น 22.0-25.7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระสูญเสียมากถึง 74.0-82.0 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นผลมาจากการลวก ความแน่นเนื้อของกะหล่ำปลี ที่ผ่านการลวกมีการลดลง 24.0-73.2 เปอร์เซ็นต์ และมีแนวโน้มที่คล้ายกับสีของกะหล่ำปลีที่ผ่านการลวก

Rodriguez et al. (2003) ได้ศึกษาผลของการเตรียมขั้นต้นด้วยวิธีออสโมซิสสาหร่าย Porphyra โดยการแช่สาหร่ายในสารละลายผสมระหว่าง น้ำตาลทราย 46 เปอร์เซ็นต์ โซเดียมคลอไรด์ 11 เปอร์เซ็นต์ และเติมกรดซิตริกเพื่อปรับให้เป็นกรด pH 3 และมีการเติมโพแทสเซียมซอร์เบทความเข้มข้น 0.2 เปอร์เซ็นต์ โดยแช่สาหร่ายในสารละลายผสมนี้เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ในสภาวะกวนสารละลายตลอดเวลา ที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส แล้วนำมาอบแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส พบว่าการเตรียมขั้นต้นด้วยวิธีการออสโมซิสไม่มีผลให้สีผลิตภัณฑ์แตกต่างกับตัวอย่างที่ไม่มีการเตรียมขั้นต้น ($p>0.05$) และลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ใกล้เคียงกัน

Patras et al. (2011) ได้ศึกษาผลของการลวกร่วมกับการแช่แข็งเพื่อรักษา สารต้านอนุมูลอิสระ สารประกอบฟีนอลิก วิตามินซีและสี ของบลอคโคลี่ แครอท และถั่วฝักยาว พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงของสารต้านอนุมูลอิสระเมื่อทำการลวกร่วมกับการแช่แข็งในบลอคโคลี่ แครอทและถั่วฝักยาว เปรียบเทียบกับการไม่ลวกและแช่แข็งที่พบว่าปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระและวิตามินซีลดลง การลวกร่วมกับการแช่แข็งมีผลให้รักษาสารต้านอนุมูลอิสระและวิตามินซีได้ดีกว่าการไม่ลวกและแช่แข็งซึ่งให้ผลคล้ายกันกับการแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน โดยปริมาณสารประกอบฟีนอลจะไม่มีการเปลี่ยนแปลง ปริมาณวิตามินซีมีค่าลดลงแม้ว่าผ่านหรือไม่ผ่านการลวกก็ตาม จากผลการทดลองพบว่าการลวกเป็นการรักษาสารอาหารที่มีอยู่ในผักให้มีความคงตัวได้ดีกว่าผักที่ไม่ผ่านการลวก แล้วนำมาแช่แข็งหรือเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน

Negi and Roy (2000) ได้ศึกษาผลของการลวกต่อปริมาณเบต้าแคโรทีนในผักกาดซาวอย (Savoy beet) ผักโขม (Amaranth) และลูกซัด (Fenugreek) โดยนำมาลวกในสภาวะต่างๆ คือ การลวกในน้ำเปล่า สารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ 2 เปอร์เซ็นต์ สารละลายผสมระหว่างโซเดียมไบคาร์บอเนตและแมกนีเซียมออกไซด์ และโปตัสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ (KMS) ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลาต่างๆ พบว่า การลวกที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส นาน 1 นาที เพียงพอในการยับยั้งเอมไซม์เปอร์ออกซิเดส โดยผักกาดซาวอย ผักโขม และลูกซัดสดมีปริมาณเบต้าแคโรทีนเท่ากับ 84.1 59.4 และ 36.3 มิลลิกรัม/100 กรัม ส่วนที่ผ่านการลวกในน้ำเปล่ามีปริมาณเบต้าแคโรทีนเท่ากับ 41.0 54.9 และ 29.9 มิลลิกรัม/100 กรัม ตามลำดับ ที่ผ่านการลวกในสารละลายเกลือมีปริมาณเบต้าแคโรทีนเท่ากับ 39.4 57.2 และ 27.4 มิลลิกรัม/100กรัม

ตามลำดับ และที่ผ่านการลวกในสารละลายผสมมีปริมาณเบต้าแคโรทีนเท่ากับ 41.1 56.8 และ 31.8 มิลลิกรัม/100 กรัม ตามลำดับ การลวกทำให้ผักกาดซาวอย ผักโขม และลูกซัด มีปริมาณเบต้าแคโรทีนลดลงเนื่องจากความร้อนจากการลวกทำให้สูญเสียเบต้าแคโรทีนจากปฏิกิริยาออกซิเดชันและการเกิดไอโซเมอร์ไรเซชัน อย่างไรก็ตามการลวกยังเป็นการเตรียมขั้นต้นที่จำเป็นก่อนการทำแห้งและการแช่แข็ง

Santis (2007) ได้ศึกษาผลของการลวกและการแช่ของโซเดียมคลอไรด์ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน ซึ่งชิ้นมันฝรั่งจะถูกลวกในน้ำร้อนอุณหภูมิ (60, 65, 70, 75 และ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที) และจากนั้นนำชิ้นมันฝรั่งแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 3 เปอร์เซ็นต์ (w/w) เป็นเวลา 5 นาที อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ได้ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่ใช้แช่แตกต่างกันจากการลวกที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที โดยนำชิ้นมันฝรั่งแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (0.6 1.2 1.8 2.4 3.0 6.0 หรือ 9.0 เปอร์เซ็นต์) และแช่ในน้ำบริสุทธิ์เป็นเวลา 5 นาที อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส หลังจากลวกและแช่ มันฝรั่งนำมาล้างด้วยน้ำประปาเป็นเวลา 15 วินาที เพื่อล้างเอาสารละลายโซเดียมคลอไรด์ออกจากผิวหน้าของชิ้นมันฝรั่งและเช็ดด้วยกระดาษ จากผลการทดลองพบว่าการลวกที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส 5 นาที ร่วมกับการแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์ (w/w) ทำให้สีของชิ้นมันฝรั่งเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคได้คือ มีสีอ่อน และระยะเวลาในการเกิดสีน้ำตาลโดยไม่อาศัยเอนไซม์ของชิ้นมันฝรั่งเกิดขึ้นช้าลงซึ่งเป็นผลมาจากสารละลายโซเดียมคลอไรด์สามารถกำจัดสารตั้งต้นในการเกิดสีน้ำตาลได้

Suwajee et al. (2011) การเตรียมขั้นต้นด้วยการนำใบตำลึงไปลวกในน้ำร้อนและสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ที่มีความเข้มข้น 1 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์ (w/v) อุณหภูมิ 100±2 องศาเซลเซียส พบว่าการลวกใบตำลึงในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1 เปอร์เซ็นต์ (w/v) นาน 1 นาที ก่อนนำไปทำแห้งแบบสุญญากาศโดยใช้ความดัน 70 กิโลปาสคาล ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จะใช้เวลาในการทำแห้งน้อยลง มีสีปริมาณเบต้าแคโรทีน และเนื้อสัมผัสดีกว่าการทำแห้งโดยใช้ลมร้อน

กฤติกา เจียรนัย และจุฑาวรรณ์ แก้วสังข์ (2555) ศึกษาผลของการเตรียมขั้นต้นด้วยการลวกในน้ำ สารละลายโซเดียมคลอไรด์ และสารละลายกรดซิตริก รวมถึงการแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์สารละลายกรดซิตริกต่อคุณภาพของใบชะพลูแห้ง พบว่าการเตรียมขั้นต้นมีผลต่อปริมาณสารพฤกษเคมี สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ และค่าสีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยการเตรียมขั้นต้นที่เหมาะสมที่สุดที่สามารถรักษาสารพฤกษเคมี และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระได้มากที่สุด ได้ใบชะพลูที่มีสีเขียวมากที่สุด คือการแช่ใบชะพลูในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 180 วินาที ก่อนการทำแห้ง จากการศึกษาผลของวิธีทำแห้งต่อคุณภาพของใบชะพลูผง พบว่าการทำแห้งใบชะพลูด้วยตู้อบสุญญากาศภายใต้ความดัน 36 เซนติเมตรปรอท ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 82 นาที ทำให้ได้ใบชะพลูผงที่มีคุณภาพดี โดยได้ใบชะพลูผงที่มีปริมาณสารพฤกษเคมีและสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระรวมถึงมีสีเขียวมากกว่าการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 70 นาที ผลการเปรียบเทียบคุณภาพระหว่างใบชะพลูผงกับใบชะพลูสด พบว่าปริมาณสารพฤกษเคมีและโปรตีนที่มีความแตกต่างกันกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ปริมาณแคลเซียม และปริมาณเหล็กไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

2.10.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำสาหร่ายทะเลที่บริโภคได้มาใช้เป็นอาหาร

Cofrades et al. (2008) ศึกษาผลของการใช้สาหร่ายทะเลที่บริโภคได้ 3 ชนิด ได้แก่ สาหร่ายสีน้ำตาลสปาเก็ตตี้ (*Himanthalia elongata*) สาหร่ายวากาเมะ (Wakame) (*Undaria pinnatifida*) และ สาหร่ายโนริ (Nori) (*Porphyra umbilicalis*) โดยใช้ผงแห้งปริมาณ 2.5 และ 5 เปอร์เซ็นต์ พบว่ามีผลต่อลักษณะทางกายภาพและลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเจลจากระบบอิมัลชันของผลิตภัณฑ์เนื้อ โดยทำให้มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดีขึ้น ($p<0.05$) การใช้สาหร่ายโนริ 2.5 เปอร์เซ็นต์ ทำให้เจลของผลิตภัณฑ์เนื้อที่ได้มีค่า Hardness และ Chewiness เพิ่มขึ้น ($p<0.05$) และพบว่าค่า Springiness และ Cohesiveness ลดลง ($p<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม การเปลี่ยนแปลงสีมีผลจากชนิดของสาหร่ายผงที่ใช้ ลักษณะทางกายภาพของอิมัลชันของผลิตภัณฑ์เนื้อที่ได้เมื่อเติมสาหร่ายสีน้ำตาลสปาเก็ตตี้และสาหร่ายวากาเมะมีความคล้ายกัน และแตกต่างจากผลิตภัณฑ์ที่เติมสาหร่ายทะเลโนริซึ่งเป็นสาหร่ายสีแดง จากงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ที่จะนำสาหร่ายทะเลที่บริโภคได้มาเติมในอาหารประเภทอิมัลชันได้

Sanchez-Machado et al. (2004) ศึกษาเกี่ยวกับปริมาณสารอาหารในสาหร่ายทะเลคือ ปริมาณไขมันทั้งหมด โปรตีน เถ้า และปริมาณกรดไขมัน ในสาหร่ายทะเลกระป๋อง (*Saccorhiza polyschides* และ *Himanthalia elongata*) และสาหร่ายทะเลอบแห้ง *(H. elongate, Laminaria ochroleuca, Undaria pinnatifida, Palmaria sp. and Porphyra sp.)* หาปริมาณกรดไขมันโดยวิธีใช้แก๊สโครมาโตรกราฟฟี ซึ่งปริมาณกรดไขมันทั้งหมดอยู่ในช่วง 0.70 ± 0.09 ถึง 1.80 ± 0.14 กรัม/100 กรัมน้ำหนักแห้ง มีกรดไขมัน 4 ชนิดที่ความสมบูรณ์ที่สุด คือ C16:0, C18:1ω9, C20:4ω6 and C20:5ω3 ซึ่งกรดไขมันไม่อิ่มตัวจะพบมากในสาหร่ายสีน้ำตาลและกรดไขมันอิ่มตัวพบมากที่สาหร่ายสีแดง แต่ทั้งสองกลุ่มเป็นแหล่งที่มาของกรดไขมัน ω3 และ ω6 ปริมาณเถ้าจะอยู่ในช่วง 19.07±0.61 ถึง 34.00±0.11 กรัม/100 กรัมน้ำหนักแห้ง และปริมาณโปรตีนอยู่ในช่วง 5.46±0.16 ถึง 24.11±1.03 กรัม/100 กรัมน้ำหนักแห้ง ปริมาณโปรตีน เถ้า และ ω3 และ ω6 อาจถูกทำลายบ้างในระหว่างกระบวนการบรรจุกระป๋องและทำแห้ง

Mamatha et al. (2007) รายงานว่าสาหร่ายเป็นพืชทะเลที่มีคุณค่าทางอาหาร อุดมด้วยวิตามิน แร่ธาตุ และใยอาหาร แต่แคลอรี่ต่ำ *Enteromorpha compressa* (Linnaeus) เป็นสาหร่ายสีเขียว (Chlorphyta) ซึ่งมี Chlorophyll b และแร่ธาตุ เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม และเหล็กรวมถึงใยอาหารด้วย ได้มีการนำสาหร่ายนี้ไปเป็นส่วนประกอบของ Pakoda ซึ่งเป็นขนมขบเคี้ยวที่ทำจากแป้งทอดซึ่งเป็นอาหารว่างพื้นเมืองของอินเดีย ปกติ Pakoda มีส่วนประกอบของแป้งถั่ว (Chickpea flour) 55 ส่วน หัวหอมสับ 40 ส่วน แป้งข้าวเจ้า 5 ส่วน แต่งรสด้วยพริกเขียว ใบสาระแหน่ เครื่องเทศ และเกลือ ในการทดลองใช้ผงสาหร่ายอบแห้งแทนที่แป้งถั่วในระดับ 5 7.5 10 12.5 และ 15 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ตัวอย่าง Pakoda มีเถ้า (Ash) โปรตีน และใยอาหารทั้งหมด เพิ่มขึ้นตามปริมาณของผงสาหร่ายที่เติมเข้าไป นอกจากนี้ปริมาณเหล็กยังเพิ่มขึ้นเกือบ 5 เท่า (26.4-126 มิลลิกรัม/100กรัม) ปริมาณแคลเซียมเพิ่มขึ้น 4 เท่า (30.1-124 มิลลิกรัม/100กรัม) ที่ pH 7.5 (สภาวะเหมือนในลำไส้) Bioavailability ของเหล็กในสาหร่ายผง และ Pakoda ที่มีสาหร่ายผง 7.5 เปอร์เซ็นต์ ไม่แสดงให้เห็นความแตกต่างกันทางสถิติ (55-56 เปอร์เซ็นต์) แต่ที่ pH 1.35 (สภาวะเหมือนในกระเพาะอาหาร) Bioavailability ของเหล็กใน Pakoda ที่มีสาหร่ายผงสูงขึ้นกว่าใน

สาหร่ายผงเล็กน้อย (27.1 เปอร์เซ็นต์) ค่า Reducing power (155-222 ไมโครกรัม/กรัม) เพิ่มขึ้นตามระดับของสาหร่ายผงที่เพิ่มขึ้น 0-15 เปอร์เซ็นต์ การเพิ่มสาหร่ายผงทำให้ลด Free-radical-scavenging activity (กิจกรรมการกำจัดอนุมูลอิสระ) และปริมาณฟีนอลทั้งหมดของ Pakoda ที่มีสาหร่ายผง 7.5 เปอร์เซ็นต์ มีคุณภาพของรสชาติเทียบได้กับ Pakoda ที่ไม่ได้เติมสาหร่ายผง จึงสรุปได้ว่า สามารถใช้สาหร่ายผงในการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการในอาหารว่างได้

ดุจเดือน ทิมทอง และวรัญญา บางศรี (2555) ศึกษาการผลิตสาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งให้เป็นอาหารว่างเพื่อสุขภาพสำหรับเด็กวัยเรียน โดยศึกษาวิธีการเตรียมขั้นต้นต่อการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิส พบว่าการเตรียมขั้นต้นด้วยการลวกร่วมกับการแช่ในสภาวะสุญญากาศ มีผลให้ตลอดการออสโมซิสสาหร่ายผักกาดทะเลมีปริมาณน้ำที่สูญเสียและปริมาณน้ำหนักที่ลดลงสูงสุด แต่มีปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นต่ำที่สุด โดยค่าการถ่ายเทมวลสารดังกล่าวแตกต่างจากการเตรียมขั้นต้นด้วยการลวกหรือการแช่ในสภาวะสุญญากาศเพียงอย่างเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ผลของการเสริมธาตุเหล็กในสาหร่ายผักกาดทะเลโดยการออสโมซิส พบว่า การเติมเฟอรัสซัลเฟตลงในสารละลายออสโมติกเพิ่มขึ้นทำให้สาหร่ายผักกาดทะเลมีปริมาณเหล็กมากขึ้น โดยพบว่าการเติมเฟอรัสซัลเฟต 15 เปอร์เซ็นต์ ในสารละลายออสโมติกทำให้สาหร่ายผักกาดทะเลมีปริมาณเหล็กมากที่สุดแต่มีกลิ่นรสของเหล็กเข้มมากและมีสีคล้ำ มีปริมาณเฟอรัสซัลเฟตที่เหมาะสม คือ 10 เปอร์เซ็นต์ โดยทำให้สาหร่ายผักกาดทะเลมีปริมาณเหล็กเท่ากับ 6.76 กรัม/100 กรัม โดยมีกลิ่นรสของเหล็กและมีสีคล้ำเล็กน้อย การออสโมซิสช่วยลดเวลาในการทำแห้งลงได้ โดยเวลาที่ใช้ในการทำแห้งสาหร่ายผักกาดทะเลที่ไม่ผ่านและผ่านการออสโมซิสเท่ากับ 285 และ 249 นาที ตามลำดับ จากการเปรียบเทียบคุณภาพคุณภาพของผลิตภัณฑ์สาหร่ายอบแห้งและสาหร่ายสด พบว่า สาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งที่ผ่านการออสโมซิสมีปริมาณเหล็ก ไอโอดีน น้ำตาลทั้งหมด และโซเดียมมากกว่าสาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิสและสาหร่ายสด ($p<0.05$) แต่มีปริมาณแคลเซียมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสกับเด็กวัยเรียนพบว่า ผลิตภัณฑ์สาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งที่ไม่ผ่านและผ่านการออสโมซิสได้รับคะแนนความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกันอย่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) โดยได้รับคะแนนอยู่ในช่วง 2.73-2.83 คะแนน จาก 5 คะแนน

บทที่ 3
วิธีดำเนินการทดลอง

วัตถุดิบและสารเคมี

1) สาหร่ายผักกาดทะเล รับจากสถานีเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งทะเล จังหวัดตราด

2) โซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride) บริษัท Ajex finechem ประเทศออสเตรเลีย

3) หางนมผง (Skimmed milk powder) บริษัท เอฟ เอ กรุ๊ป จำกัด มหาชน

4) ครีม (Cream) ไขมัน 8 เปอร์เซ็นต์ ตรา Millac gold บริษัท สยามฟูด เซอร์วิส จำกัด

5) น้ำตาลทราย (Sucrose) ตรามิตรผล บริษัท มิตรผล จำกัด

6) สารเพิ่มความคงตัว (Stabilizer) Fulfill I 400 บริษัท บอร์เนต คอร์เปอเรชั่น จำกัด

7) มอลโตเด็กตริน (Maltodextrin) บริษัท บริษัท อีเบส จำกัด

8) ข้าวเหนียวดำ พันธุ์ลืมผัว ซื้อจากศูนย์การเรียนรู้เครือข่ายกสิกรรมไร้สารพิษ อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี

9) ปลากะตักแห้ง ซื้อจากร้านขายอาหารทะเลแห้ง ตำบลแสนสุข อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี

10) น้ำมันปาล์ม ตรา โอลีน บริษัท โอลีน จำกัด

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1) ตู้อบแห้งแบบสุญญากาศ บริษัท อีเคฟู้ดเท็ค ประเทศไทย

2) ตู้อบแห้งแบบถาด บริษัท อีเคฟู้ดเท็ค ประเทศไทย

3) เครื่องบดอาหารแห้ง โง้วฮวดหยู รุ่น XS-08B ประเทศจีน

4) เครื่องปั่นผสม Warring รุ่น HGBTWT ประเทศสวีเดน

5) เครื่องปั่นไอศกรีม Dolce รุ่น IL Gelato ประเทศอิตาลี

6) เครื่องชั่งน้ำหนักละเอียด Satorius รุ่น BA 2115 ประเทศเยอรมนี

7) เครื่องวัดสี Hunterlab รุ่น Mini Scan XP Plus ประเทศสหรัฐอเมริกา

8) เครื่องวัดค่า a_w Novasina รุ่น Thermo constanter TH200 ประเทศสวิตเซอร์แลนด์

9) เครื่องวัดความหนืด Brookfield Rheometer รุ่น DV-III Ultra ประเทศสหรัฐอเมริกา

10) ตะแกรงร่อนขนาดมาตรฐาน ASTM ขนาด 60 70 และ 80 เมช

11) ตู้แช่ Mirage รุ่น FZ–269 บริษัทพรีเมียร์โสน แอพพลายแอนซ์ จำกัดประเทศไทย

12) อุปกรณ์ในการทดสอบทางประสาทสัมผัส เช่น ถ้วยชิม แก้วน้ำ ช้อน กระดาษเช็ดปาก

13) อุปกรณ์เครื่องแก้ว

14) อุปกรณ์งานครัว

วิธีดำเนินการทดลอง

3.1 การศึกษาผลของการเตรียมขั้นต้นก่อนการทำแห้งต่อคุณภาพของสาหร่ายผักกาดทะเลแห้ง

การเตรียมขั้นต้นก่อนการทำแห้ง มีส่วนช่วยปรับปรุงคุณภาพของอาหารแห้งได้ โดยส่งผลต่อการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์และปฏิกิริยาเคมีที่ไม่พึงประสงค์ที่เป็นสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหาร โดยเฉพาะองค์ประกอบทางเคมีและปริมาณสารพฤกษเคมีที่สำคัญต่างๆ ในอาหาร ขั้นตอนนี้จึงต้องการศึกษาผลของการเตรียมขั้นต้นโดยการลวกและแช่ต่อคุณภาพของสาหร่ายผักกาดทะเลแห้ง

การเตรียมวัตถุดิบ

นำสาหร่ายผักกาดทะเลมาล้างด้วยน้ำสะอาด ตัดสาหร่ายเป็นชิ้นขนาดประมาณ 3x3 เซนติเมตร แล้ววางบนตะแกรงให้สะเด็ดน้ำ

การเตรียมขั้นต้น

นำสาหร่ายผักกาดทะเลมาเตรียมขั้นต้นโดยการลวกและแช่ โดยดัดแปลงจากวิธีของกฤติกา เจียรนัย และจุฑาวรรณ แก้วสังข์ (2555) กำหนดอัตราส่วนสาหร่าย:สารละลายที่ใช้ลวกหรือแช่เท่ากับ 1 : 10 (w/w) โดยควบคุมปริมาณสาหร่ายที่ใช้ครั้งละ 100 กรัม แปรวิธีการเตรียมขั้นต้นก่อนการทำแห้ง 4 วิธี ดังนี้

1) สาหร่ายผักกาดทะเลสด (Fresh) เป็นตัวควบคุมซึ่งไม่มีการเตรียมขั้นต้น

2) การลวกในน้ำ (Water-blanching) ทำได้โดย ลวกในน้ำที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 วินาที แล้วแช่ในน้ำเย็น (น้ำที่ผสมน้ำแข็งอุณหภูมิประมาณ 0 องศาเซลเซียส) ทันที เป็นเวลา 240 วินาที

3) การลวกในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl-blanching) ทำได้โดย ลวกในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ (w/w) ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 วินาที แล้วแช่ในน้ำเย็น (น้ำที่ผสมน้ำแข็งอุณหภูมิประมาณ 0 องศาเซลเซียส) ทันที เป็นเวลา 240 วินาที

4) การแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl-soaking) ทำได้โดย แช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ (w/w) ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 240 วินาที

การทำแห้ง

นำสาหร่ายผักกาดทะเลที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นมาวางบนตะแกรงให้สะเด็ดน้ำ 5 นาที ซับด้วยกระดาษ แล้วนำมาเกลี่ยบนถาด ทำแห้งโดยใช้ตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดัน 36 มิลลิเมตรปรอท จนมีความชื้นสุดท้ายประมาณ 7 เปอร์เซ็นต์

การวิเคราะห์คุณภาพ

สุ่มตัวอย่างสาหร่ายผักกาดทะเลแห้งที่ได้ นำมาวิเคราะห์คุณภาพดังนี้

1) ปริมาณความชื้น (AOAC, 1990)

2) ปริมาณโปรตีน (AOAC, 2000)

3) ปริมาณใยอาหารทั้งหมด (AOAC, 1990)

4) ปริมาณแคโรทีนอยด์ (ดัดแปลงจาก Georges & Olivier, 1993)

5) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (ดัดแปลงจาก Fan, Zhang, Yu & Ma, 2006 และ Dewanto et al., 2002)

6) สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ โดยการทดสอบประสิทธิภาพการจับกับอนุมูลอิสระ DPPH (DPPH free radical free radical scavenging activity test) (ดัดแปลงจาก Fan, Zhang, Yu & Ma, 2006 และ Karagözler et al., 2008)

7) ค่าสี ด้วยเครื่องวัดสี (Colorimeter) และรายงานเป็นค่า L* a* และ b*

8) ปริมาณผลได้ (Yield) ของสาหร่ายผักกาดทะเลแห้ง รายงานเป็นเปอร์เซ็นต์ปริมาณผลได้ (%Yield)

$$\%\text{Yield} = \frac{\text{น้ำหนักสาหร่ายผักกาดทะเลแห้ง}}{\text{น้ำหนักสาหร่ายผักกาดทะเลสด}} \times 100$$

เกณฑ์ในการเลือก

พิจารณาเลือกวิธีการเตรียมขั้นต้นที่ทำให้ได้สาหร่ายผักกาดทะเลแห้งที่มีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด และมีการคงอยู่ของปริมาณองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญปริมาณมาก โดยพิจารณาร่วมกับคุณภาพอื่นๆ ที่วิเคราะห์

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomize Design: CRD) วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

3.2 การศึกษาผลของขนาดอนุภาคต่อคุณภาพทางเคมีกายภาพของสาหร่ายผักกาดทะเลผง

ขนาดอนุภาคเป็นสมบัติหนึ่งที่มีความสำคัญต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารผง เนื่องจากขนาดอนุภาคมีความเกี่ยวข้องกับปริมาณพื้นที่ผิวสัมผัส ลักษณะโครงสร้างของเซลล์ รวมถึงคุณภาพทางเคมีกายภาพของอาหารผง (มุกดา เจริญสินทรัพย์, 2548) ดังนั้นก่อนที่จะนำสาหร่ายผักกาดทะเลผงมาใช้เป็นส่วนประกอบของอาหาร จึงควรศึกษาผลของขนาดอนุภาคผงต่อคุณภาพทางเคมีกายภาพซึ่งอาจส่งผลต่อคุณภาพอาหารและการยอมรับของผู้บริโภค และเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการผลิตสาหร่ายผักกาดทะเลผงให้มีขนาดอนุภาคเหมาะสมกับการนำไปใช้ในอาหาร

นำสาหร่ายผักกาดทะเลแห้งที่เลือกได้จากข้อ 3.1 มาบดลดขนาดอนุภาคโดยใช้เครื่องบดอาหารแห้ง ควบคุมสภาวะการบดดังนี้ บดสาหร่ายครั้งละ 100 กรัม โดยใช้ความเร็วสูงและบดเป็นเวลา 90 วินาที โดยหยุดพักทุก 30 วินาที เพื่อเกลี่ยตัวอย่าง นำสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่ได้มาร่อนแผ่นตะแกรง 3 ขนาด ได้แก่ 60 70 80 เมช เพื่อแปรขนาดอนุภาคของสาหร่ายผักกาดทะเลผงเป็น 4 ขนาด ดังนี้

1) ขนาดอนุภาคใหญ่กว่า 250 ไมครอน (ร่อนไม่ผ่านตะแกรงขนาด 60 เมช)

2) ขนาดอนุภาค 211-250 ไมครอน (ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 60 เมช แต่ไม่ผ่านขนาด 70 เมช)

3) ขนาดอนุภาค 177-210 ไมครอน (ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 70 เมช แต่ไม่ผ่านขนาด 80 เมช)

4) ขนาดอนุภาคเล็กกว่า 177 ไมครอน (ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 80 เมช)

การวิเคราะห์คุณภาพ

สุ่มตัวอย่างสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่ได้ นำมาวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีกายภาพดังนี้

1) ปริมาณความชื้น (AOAC, 1990)

2) ค่าสี ด้วยเครื่องวัดสี (Colorimeter) และรายงานเป็นค่า L* a* และ b*

3) ค่า a_w ด้วยเครื่องวัดค่า a_w (Water activity meter)

4) ความสามารถในการละลาย (Solubility) (Fermandez, 2003)

5) ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water Holding Capacity) (McMaHon & Dawson, 1975)

6) ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (Oil Binding Capacity) (Beuchat, 1977)

7) ความสามารถในการเกิดอิมัลชัน (Emulsion capacity)

8) ค่าความหนืดของสารละลาย ด้วยเครื่องวัดความหนืด (Viscosity meter)

9) ค่าความหนาแน่น (ดัดแปลงจาก Jaya et al., 2006)

เกณฑ์ในการเลือก

พิจารณาเลือกขนาดอนุภาคของสาหร่ายผักกาดทะเลผง ที่มีความสามารถในการเกิดอิมัลชันดีที่สุดรวมถึงมีความสามารถในการละลาย ความสามารถในการอุ้มน้ำ และความสามารถในการอุ้มน้ำมันสูง โดยพิจารณาร่วมกับคุณภาพอื่นๆ ที่วิเคราะห์

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomize Design: CRD) วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

3.3 การเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสาหร่ายผักกาดทะเลสดและสาหร่ายผักกาดทะเลผงแห้ง

สาหร่ายผักกาดทะเลผงแห้งมีข้อดีด้านความสะดวกในการนำมาใช้งานและช่วยยืดอายุการเก็บรักษา อย่างไรก็ตามกระบวนการแปรรูปจากสาหร่ายสดเป็นผงแห้งอาจมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณองค์ประกอบทางเคมีและสารพฤกษเคมีที่สำคัญรวมถึงสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสาหร่ายผักกาดทะเล ขั้นตอนนี้จึงต้องการเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสาหร่ายผักกาดทะเลสดและสาหร่ายผักกาดทะเลผงแห้ง

การวิเคราะห์คุณภาพ

สุ่มตัวอย่างสาหร่ายผักกาดทะเลสดและผงแห้งที่ได้ นำมาวิเคราะห์คุณภาพดังนี้

1) องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า เส้นใย และคาร์โบไฮเดรต (AOAC, 2000)

2) ปริมาณแร่ธาตุ ได้แก่ แคลเซียม เหล็ก และไอโอดีน (AOAC, 1990)

3) ปริมาณใยอาหารทั้งหมด (AOAC, 2000)

4) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (ดัดแปลงจาก Dewanto et al., 2002)

5) สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ โดยการทดสอบประสิทธิภาพการจับกับอนุมูลอิสระ DPPH (DPPH free radical scavenging activity test) (ดัดแปลงจาก Fan, Yu & Ma, 2006)

การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ t-test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

3.4 การศึกษาผลของการเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงต่อคุณภาพของไอศกรีมไขมันต่ำ

ขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำสาหร่ายผักกาดทะเลผงมาใช้ประโยชน์เป็นส่วนประกอบอาหาร โดยเติมลงในไอศกรีมไขมันต่ำ

นำสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่เลือกได้จากข้อ 3.2 มาแปรปริมาณการเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงเพิ่มลงในไอศกรีมไขมันต่ำสูตรพื้นฐานซึ่งดัดแปลงจากสูตรของ ภัทรา กุลกิจวโรภาศ (2540) (แสดงส่วนผสมในตารางที่ 3-1) เป็น 5 ระดับ คือ 0 (ตัวควบคุม) 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด

การผลิตไอศกรีม

ควบคุมการผลิตไอศกรีมตามขั้นตอน 5 ขั้นตอน ดังนี้คือ (ดัดแปลงจาก สมจิตร สุรพัฒน์, 2544; BENEO-Orafti, 2010)

1) การผสม (Mixing) ทำได้โดยชั่งส่วนผสมของแห้ง ได้แก่ หางนมผง น้ำตาลทราย สารเพิ่มความคงตัว มอลโตเด็กตริน และสาหร่ายผักกาดทะเลผงผสมให้เข้ากัน นำไปละลายกับน้ำ เติมครีมและนำไปให้ความร้อนจนอุณหภูมิถึง 80 องศาเซลเซียส และคงไว้เป็นเวลา 30 วินาที ทำให้เย็นโดยการแช่ภาชนะส่วนผสมลงในอ่างน้ำ (อุณหภูมิห้อง) จนอุณหภูมิส่วนผสมถึง 55 องศาเซลเซียส แล้วผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องปั่นผสมที่ความเร็วปานกลาง นาน 1 นาที

2) การพาสเจอร์ไรส์ (Pasteurization) ทำได้โดยให้ความร้อนส่วนผสมในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิให้ส่วนผสมมีอุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที

3) การทำให้เย็น (Cooling) ทำได้โดยแช่ภาชนะส่วนผสมลงในอ่างน้ำ (อุณหภูมิห้อง) จนอุณหภูมิส่วนผสมลดลงถึงอุณหภูมิห้อง

4) การบ่ม (Aging) ทำได้โดยนำส่วนผสมมาแช่เย็นในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะได้เป็นส่วนผสมของไอศกรีมเหลว

5) การปั่นไอศกรีม (Ice cream freezing) เป็นการทำให้แข็งด้วยเครื่องปั่นไอศกรีม นำส่วนผสมที่บ่มแล้วมาปั่นจนไอศกรีมขึ้นฟูทั้งหมด กำหนดใช้เวลาในการปั่น 30 นาที ในขณะที่ปั่นไอศกรีมควบคุมอุณหภูมิไม่เกิน 0 องศาเซลเซียส โดยการเติมน้ำแข็งผสมเกลือลงในถังให้ความเย็นของเครื่องปั่นไอศกรีม เมื่อครบกำหนดเวลานำไอศกรีมเก็บที่ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ตารางที่ 3-1 ส่วนผสมไอศกรีมไขมันต่ำสูตรพื้นฐาน

ส่วนผสม	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
หางนมผง	11.00
มอลโตเด็กซ์ตริน	8.00
น้ำตาลทราย	8.00
ครีม	24.00
สารเพิ่มความคงตัว	0.65
น้ำ	48.35
รวม	100.00

การวิเคราะห์คุณภาพ

สุ่มตัวอย่างไอศกรีมที่ได้ นำมาวิเคราะห์คุณภาพดังนี้

1) ค่าสี ด้วยเครื่องวัดสี (Colorimeter) รายงานเป็นค่า L* a* และ b*

2) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ด้วยเครื่อง Hand Refractometer

3) ค่าความหนืดของไอศกรีมเหลวก่อนการแช่แข็ง ด้วยเครื่องวัดความหนืด (Viscosity meter) (ดัดแปลงจาก Chang et al., 1995)

4) การขึ้นฟู (Over run) (Marshall & Arbuckle, 1996)

5) อัตราการละลายของไอศกรีม (ดัดแปลงมาจาก Koxholt et al., 2001)

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

เกณฑ์ในการเลือก

เลือกไอศกรีมที่มีการเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด ไอศกรีมสูตรที่เหมาะสมควรได้รับคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบ (ได้คะแนนอย่างน้อย 6 คะแนน) และพิจารณาร่วมกับคุณภาพอื่นที่วิเคราะห์

จากนั้นนำไอศกรีมไขมันต่ำเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงสูตรที่เหมาะสมที่เลือกได้ มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและปริมาณสารพฤกษเคมีที่สำคัญ โดยเปรียบเทียบกับไอศกรีมไขมันต่ำสูตรพื้นฐาน

การวิเคราะห์คุณภาพ

สุ่มตัวอย่างไอศกรีม นำมาวิเคราะห์คุณภาพดังนี้

1) ปริมาณโปรตีน (AOAC, 2000)

2) ปริมาณไอโอดีน (AOAC, 1990)

3) ปริมาณแคลเซียม (AOAC, 1990)

4) ปริมาณไขมัน (AOAC, 2000)

5) ปริมาณแคโรทีนอยด์ (ดัดแปลงจาก Georges & Olivier, 1993)

6) ปริมาณใยอาหารทั้งหมด (AOAC, 1990)

7) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (ดัดแปลงจาก Dewanto et al., 2002)

8) สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ โดยการทดสอบประสิทธิภาพการจับกับอนุมูลอิสระ DPPH (DPPH free radical free radical scavenging activity test) (ดัดแปลงจาก Fan, Yu & Ma, 2006)

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomize Design: CRD) สำหรับการวิเคราะห์คุณภาพทุกค่า ยกเว้นการทดสอบทางประสาทสัมผัส วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomize Complete Block Design) วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

3.5 การศึกษาผลของการเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงต่อคุณภาพของขนมขบเคี้ยวที่ขึ้นรูปจากข้าวและปลา

ขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำสาหร่ายผักกาดทะเลผงมาใช้ประโยชน์เป็นส่วนประกอบอาหาร โดยเติมลงในขนมขบเคี้ยวที่ขึ้นรูปจากข้าวและปลา เพื่อเพิ่มคุณค่าทางอาหาร โดยเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงเพิ่มในสูตรขนมขบเคี้ยวที่มีส่วนประกอบหลักได้แก่ ข้าวเหนียวดำ ปลากะตัก และน้ำ ดัดแปลงสูตรมาจากขนมขบเคี้ยวจากปลายข้าวหอมมะลิ ของนฤศันส์ วาสิกดิลก (2541) จากการทดลองทำปฏิบัติการเบื้องต้น ได้สูตรพื้นฐานที่ใช้อัตราส่วนระหว่าง ข้าวเหนียวดำ : ปลากะตักป่น : น้ำ เท่ากับ 45 : 5 : 50 นำสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่เลือกได้จากข้อ 3.2 มาแปรปริมาณการเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงเพิ่มเข้าไปในสูตรพื้นฐาน 4 ระดับ ได้แก่ 0 (ตัวควบคุม) 5 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด

การผลิตขนมขบเคี้ยว

ควบคุมการผลิตขนมขบเคี้ยว โดยการเตรียมวัตถุดิบ ทำได้ดังนี้ 1) ข้าวเหนียวดำ คัดเลือกสิ่งแปลกปลอมและเมล็ดข้าวที่ลีบออก แช่น้ำในอัตราส่วน ข้าวเหนียวดำ : น้ำ เท่ากับ 1 : 2 เป็นเวลา 10 ชั่วโมงน้ำแล้วผึ่งบนตะแกรงให้สะเด็ดน้ำ 2) ปลากะตัก นำปลากะตักแห้งมาอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 นาที เพื่อควบคุมความชื้นให้วัตถุดิบปลากะตักมีความสม่ำเสมอกัน นำมาบดให้ละเอียดโดยใช้เครื่องบดอาหารแห้ง การผลิตขนมขบเคี้ยวทำได้โดยผสมส่วนผสมทั้งหมด ได้แก่ ข้าวเหนียวดำ ปลากะตักป่น สาหร่ายผักกาดทะเลผง และน้ำ เข้าด้วยกัน เทใส่ภาชนะ แล้วนำไปนึ่งโดยใช้ไอน้ำ (ใช้ลังถึง) เป็นเวลา 45 นาที เมื่อครบเวลาทิ้งให้ส่วนผสมเย็น นำมาขึ้นรูปเป็นแท่งโดยการอัดส่วนผสมในพิมพ์พลาสติกทรงกระบอกที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร ความยาว 5 เซนติเมตร ควบคุมให้มีน้ำหนักเท่ากันประมาณ 2.80 กรัม/แท่ง นำผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปแล้วไปอบแห้งโดยใช้เตาอบไฟฟ้า 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำมาทอดให้สุกด้วยการทอดแบบน้ำมันท่วม (Deep-Frying) โดยใช้น้ำมันปาล์ม ที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 วินาที (ดัดแปลงจาก นฤศันส์ วาสิกดิลก, 2541)

การวิเคราะห์คุณภาพ

สุ่มตัวอย่างขนมขบเคี้ยวที่ได้ นำมาวิเคราะห์คุณภาพดังนี้

1) ค่าสี ด้วยเครื่องวัดสี (Colorimeter) และรายงานเป็นค่า L* a* และ b*
2) ค่าความแข็ง โดยใช้เครื่อง Texture analyzer
3) ปริมาณโปรตีน (AOAC, 2000)

4) ปริมาณไขมัน (AOAC, 2000)

5) สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ โดยการทดสอบประสิทธิภาพการจับกับอนุมูลอิสระ DPPH (DPPH free radical free radical scavenging activity test) (ดัดแปลงจาก Fan, Yu & Ma, 2006)

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

เกณฑ์ในการเลือก

เลือกขนมขบเคี้ยวที่ขึ้นรูปจากข้าวและปลาที่มีการเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด ขนมขบเคี้ยวสูตรที่เหมาะสมควรได้รับคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบ (ได้คะแนนอย่างน้อย 6 คะแนน) และพิจารณาร่วมกับคุณภาพอื่นที่วิเคราะห์

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomize Design: CRD) สำหรับการวิเคราะห์คุณภาพทุกค่า ยกเว้นการทดสอบทางประสาทสัมผัส วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomize Complete Block Design) วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan’s New Multiple Range Test

3.6 การถ่ายทอดเทคโนโลยีและความรู้ที่ได้จากการวิจัยสู่ชุมชน

จัดการถ่ายทอดเทคโนโลยีและความรู้ที่ได้แก่ชุมชน โดยการจัดทำเอกสารโดยให้ความรู้โดยเผยแพร่วิธีการผลิตสาหร่ายผักกาดทะเลผงและสูตรอาหารเพื่อสุขภาพที่มีการเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่พัฒนาได้ ดำเนินการประสานงานส่งมอบให้กับองค์การบริหารส่วนตำบล องค์การบริหารส่วนจังหวัด รวมถึงกลุ่มแม่บ้านในภาคตะวันออก ได้แก่ จังหวัดระยอง และจังหวัดตราด

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ผลของการเตรียมขั้นต้นก่อนการทำแห้งต่อคุณภาพของสาหร่ายผักกาดทะเลแห้ง

จากการนำสาหร่ายผักกาดทะเลที่ผ่านการเตรียมขั้นต้น คือ ลวกในน้ำ (Water-blanching) ลวกในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl-blanching) แช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl-soaking) และไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้น (Fresh) นำมาทำแห้งในตู้อบสุญญากาศที่ความดัน 36 มิลลิเมตรปรอท อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส จนมีความชื้นสุดท้ายประมาณ 7 เปอร์เซ็นต์และสุ่มตัวอย่างนำไปวิเคราะห์ปริมาณผลได้ และคุณภาพต่างๆ แสดงผลดังตารางที่ 4-1 ถึง 4-7 ผลการทดลองมีรายละเอียดดังนี้

4.1.1 ปริมาณผลได้

จากตารางที่ 4-1 พบว่าวิธีการเตรียมขั้นต้นก่อนการทำแห้งส่งผลให้ปริมาณผลได้ของสาหร่ายผักกาดทะเลแห้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กล่าวคือสาหร่ายผักกาดทะเลแห้งที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการแช่สารละลายโซเดียมคลอไรด์มีปริมาณผลได้มากที่สุด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการแช่ตัวอย่างในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ มีผลทำให้น้ำในตัวอย่างลดลงเนื่องจากความเข้มข้นที่แตกต่างกันของสารละลาย ในตัวอย่างและน้ำที่ใช้แช่ส่งผลให้น้ำในตัวอย่างแพร่ออกมาและในขณะเดียวกันโซเดียมคลอไรด์สามารถแพร่เข้าในตัวอย่างได้ทำให้ตัวอย่างมีปริมาณของแข็งเพิ่มมากขึ้นกว่าสิ่งทดลองอื่น (Severini et al., 2003) จึงอาจมีผลทำให้สาหร่ายผักกาดทะเลที่ผ่านการแช่สารละลายโซเดียมคลอไรด์จึงมีปริมาณผลได้มากกว่าสิ่งทดลองอื่น สิ่งทดลองที่มีผลได้รองลงมาคือ สาหร่ายผักกาดทะเลที่ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้น สาหร่ายผักกาดทะเลที่ลวกในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ และสาหร่ายผักกาดทะเลที่ลวกในน้ำตามลำดับ โดยพบว่าสิ่งทดลองที่เตรียมขั้นต้นด้วยการลวก มีแนวโน้มทำให้ปริมาณผลได้ต่ำกว่าสิ่งทดลองอื่น อาจเนื่องมาจากสิ่งทดลองได้รับความร้อนสูงในการลวก และลดอุณหภูมิอย่างรวดเร็วเป็นผลทำให้เซลล์ของตัวอย่างเสียสภาพ และขาดเป็นชิ้นเล็กๆ ได้ง่าย สอดคล้องกับงานวิจัยของ Garrote et al. (1988) กล่าวว่าการนำหน่อไม้ฝรั่งมาเตรียมขั้นต้นด้วยการลวก และทำให้เย็นทันทีทำให้เซลล์สูญเสียความคงตัว มีเนื้อเยื่อบางส่วนหลุดออกไปในน้ำลวก จึงทำให้ปริมาณผลได้ลดลง

ตารางที่ 4-1 ปริมาณผลได้ของสาหร่ายผักกาดทะเลแห้งที่ไม่ผ่านและผ่านการเตรียมขั้นต้น

การเตรียมขั้นต้น	ปริมาณผลได้เฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (เปอร์เซ็นต์)
Fresh	9.65 ± 0.03[b]
Water-blanching	8.16 ± 0.01[d]
NaCl-blanching	9.31 ± 0.01[c]
NaCl-soaking	9.79 ± 0.03[a]

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

4.1.2 ปริมาณความชื้น

จากตารางที่ 4-2 พบว่าความชื้นของทุกสิ่งทดลองไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) ทั้งนี้เนื่องมาจากในการอบแห้งมีการควบคุมสภาวะการทำแห้ง เพื่อให้ทุกสิ่งทดลองมีความชื้นสุดท้ายประมาณ 7 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามพบว่าแต่ละสิ่งทดลองใช้เวลาในการทำแห้งเพื่อให้ได้ความชื้นตามที่กำหนดแตกต่างกัน โดยใช้เวลาอยู่ในช่วง 268.0-282.3 นาที

ตารางที่ 4-2 ปริมาณความชื้นของสาหร่ายผักกาดทะเลแห้งที่ไม่ผ่านและผ่านการเตรียมขั้นต้น

การเตรียมขั้นต้น	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	ปริมาณความชื้น[ns] (เปอร์เซ็นต์)	เวลาทำแห้ง (นาที)
Fresh	7.04 ± 0.26	272.7 ± 2.52[c]
Water-blanching	7.18 ± 0.17	276.7 ± 2.89[b]
NaCl-blanching	7.05 ± 0.16	282.3 ± 2.52[a]
NaCl-soaking	7.30 ± 0.39	268.0 ± 2.64[d]

[ns] แสดงถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

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

4.1.3 ปริมาณโปรตีน

จากตารางที่ 4-3 พบว่าปริมาณโปรตีนของสาหร่ายผักกาดทะเลแห้งมีปริมาณแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กล่าวคือสาหร่ายผักกาดทะเลที่ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้นและผ่านการเตรียมขั้นต้นด้วยการแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์มีปริมาณโปรตีน (22.72-22.57 เปอร์เซ็นต์) สูงกว่าสาหร่ายที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นด้วยการลวกในน้ำและสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (21.92-21.18 เปอร์เซ็นต์) อาจเนื่องมาจากแต่ละสิ่งทดลองมีโอกาสสัมผัสกับความร้อนในการเตรียมขั้นต้น และทำแห้งไม่เท่ากัน สิ่งทดลองที่ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้น และผ่านการเตรียมขั้นต้นด้วยการ

แช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ไม่ได้สัมผัสความร้อนในการเตรียมขั้นต้นและใช้เวลาในการทำแห้งในตู้อบน้อยกว่าสิ่งทดลองที่ผ่านการลวกในน้ำและสารละลายโซเดียมคลอไรด์สัมผัสความร้อนทั้งจากการลวกและใช้เวลาในการทำแห้งในตู้อบนานกว่า และเนื่องจากความร้อนเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการเสียสภาพของโปรตีน โดยเมื่ออาหารได้รับอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้พันธะไฮโดรเจนระหว่างสายโพลิเพปไทด์ (Polypeptide) ถูกทำลาย โครงสร้างของโปรตีนจึงถูกทำลายด้วย โดยเฉพาะพันธะระหว่างสายของโปรตีนกับโปรตีน หรือโปรตีนกับน้ำ (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Haquea et al. (2013) กล่าวว่าการทำแห้งเวย์โปรตีนที่อุณหภูมิที่แตกต่างกันคือ 85 และ 65 องศาเซลเซียส ทำให้โปรตีนเสียสภาพถึง 90 และ 68.3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังนั้นการใช้อุณหภูมิในการทำแห้งสูงขึ้นทำให้โปรตีนเสียสภาพมากขึ้นด้วย และมีผลให้ปริมาณโปรตีนหยาบ (Crude protein) ที่วิเคราะห์ได้ลดลง

ตารางที่ 4-3 ปริมาณโปรตีนของสาหร่ายผักกาดทะเลแห้งที่ไม่ผ่านและผ่านการเตรียมขั้นต้น

การเตรียมขั้นต้น	ปริมาณโปรตีนเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (เปอร์เซ็นต์)
Fresh	22.72 ± 0.08[a]
Water-blanching	21.18 ± 0.19[c]
NaCl-blanching	21.92 ± 0.13[b]
NaCl-soaking	22.57 ± 0.04[a]

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

4.1.4 ปริมาณใยอาหารทั้งหมด

จากตารางที่ 4-4พบว่าปริมาณใยอาหารทั้งหมดของสาหร่ายผักกาดทะเลแห้งมีปริมาณแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กล่าวคือสาหร่ายผักกาดทะเลที่ไม่ผ่านการลวกมีใยอาหารมากกว่าสาหร่ายผักกาดทะเลที่ผ่านการลวก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในขั้นตอนการลวกมีโอกาสทำให้ใยอาหารชนิดที่ละลายน้ำได้ เช่น เพคติน เบต้า-กลูแคน และกัมชนิดต่างๆ สามารถละลายน้ำและสูญเสียไปกับน้ำที่ใช้ลวก (Svanberg et al., 1997) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Marin et al. (2007) กล่าวว่าการเตรียมใยอาหารผงจากเปลือกส้มโอโดยมีการเตรียมขั้นต้นด้วยการต้ม แล้วนำไปแช่แข็ง มีผลทำให้ปริมาณใยอาหารลดลงได้ โดยในขั้นตอนการต้มทำให้ใยอาหารชนิดที่ละลายน้ำได้ เช่น เพคติน รวมถึงแร่ธาตุในเปลือกส้มโอสูญเสียไป

ตารางที่ 4-4 ปริมาณใยอาหารทั้งหมดของสาหร่ายผักกาดทะเลแห้งที่ไม่ผ่านและผ่านการเตรียมขั้นต้น

การเตรียมขั้นต้น	ปริมาณใยอาหารทั้งหมดเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง)
Fresh	21.29 ± 0.06[b]
Water-blanching	21.08 ± 0.05[c]
NaCl-blanching	20.92 ± 0.06[c]
NaCl-soaking	22.62 ± 0.05[a]

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

4.1.5 ปริมาณแคโรทีนอยด์

จากตารางที่ 4-5 พบว่าปริมาณแคโรทีนอยด์ของสาหร่ายผักกาดทะเลแห้งมีปริมาณแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยพบว่าสาหร่ายผักกาดทะเลแห้งที่ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้นมีปริมาณแคโรทีนอยด์คงเหลือมากกว่าที่ผ่านการเตรียมขั้นต้น แคโรทีนอยด์เป็นรงควัตถุที่มีโครงสร้างเป็นพวกไฮโดรคาร์บอนชนิดไม่อิ่มตัวมีพันธะคู่หลายตำแหน่งสามารถสลายตัวเมื่อได้รับความร้อนและสัมผัสอากาศจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยปกติแคโรทีนอยด์ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของ Trans-form ซึ่งเปลี่ยนเป็น Cis-form ได้ด้วย แสง และความร้อน เมื่ออาหารได้รับอุณหภูมิสูงจะเกิด Trans-cis isomerization ได้ หากอยู่ในรูป Cis มากขึ้นจะทำให้แคโรทีนอยด์สลายตัวได้ง่ายขึ้น (วีระศักดิ์ สามี, 2550; นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549) ดังนั้นสิ่งทดลองที่ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้นยังคงมีปริมาณแคโรทีนอยด์มากกว่าสิ่งทดลองอื่น อาจเนื่องมาจากสัมผัสความร้อนน้อยกว่าสิ่งทดลองอื่น ทั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Wen-ping et al. (2008) พบว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณแคโรทีนอยด์ในระหว่างการทำแห้งโกจิเบอรี่ที่ใช้เวลาในการอบแห้ง 42 ชั่วโมง เป็นดังนี้ในช่วง 9 ชั่วโมงแรกปริมาณแคโรทีนอยด์สูญเสียไป 28 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเวลาผ่านไป 18 ชั่วโมง ปริมาณแคโรทีนอยด์สูญเสียไป 50 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อสิ้นสุดการทำแห้งปริมาณแคโรทีนอยด์สูญเสียไปทั้งหมดประมาณ 77 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นว่าการสัมผัสกับความร้อนเป็นเวลานานขึ้น ทำให้เปอร์เซ็นต์การสูญเสียแคโรทีนอยด์เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4-5 ปริมาณแคโรทีนอยด์ของสาหร่ายผักกาดทะเลแห้งที่ไม่ผ่านและผ่านการเตรียมขั้นต้น

การเตรียมขั้นต้น	ปริมาณแคโรทีนอยด์เฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ไมโครกรัม/100กรัม)
Fresh	2.13 ± 0.15[a]
Water-blanching	1.26 ± 0.33[b]
NaCl-blanching	1.39 ± 0.24[b]
NaCl-soaking	2.08 ± 0.07[a]

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

4.1.6 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ

สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) คือสารปริมาณน้อยที่สามารถป้องกันหรือชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของอนุมูลอิสระได้ (Halliwell, 2009) สารต้านอนุมูลอิสระสามารถพบได้ในธรรมชาติจากสารหลายชนิด เช่น สารประกอบฟีนอลิก สารประกอบไนโตรเจน และแคโรทีนอยด์ (Velioglu et al., 1998) จากตารางที่ 4-6 พบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของสาหร่ายผักกาดทะเลแห้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) จากผลการทดลองพบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและสมบัติการต้านอนุมูลอิสสระของสาหร่ายผักกาดทะเลมีค่าที่สอดคล้องกัน โดยพบว่าสิ่งทดลองที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นมีปริมาณสารประกอบ ฟีนอลิกทั้งหมดคงอยู่มากกว่า และรักษาสมบัติการต้านอนุมูลอิสระไว้ได้มากกว่าการไม่เตรียมขั้นต้น โดยวิธีการเตรียมขั้นต้นที่ยังคงรักษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของสาหร่ายผักกาดทะเลแห้งไว้ได้มากที่สุด คือ การแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ รองลงมาคือการลวกในสารละลายโซเดียมคลอไรด์และน้ำ และไม่เตรียมขั้นต้น ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการเตรียมขั้นต้นด้วยการแช่ในสารละลายโซเดียมครอไรด์ช่วยลดการสูญเสียสารประกอบฟีนอลิกและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระได้ เนื่องจากความเข้มข้นที่แตกต่างกันของสารละลายในตัวอย่างและสารละลายที่ใช้แช่น้ำในตัวอย่างจึงเกิดแรงขับให้แพร่ออกมาภายนอก ในขณะเดียวกันสารละลายโซเดียมคลอไรด์สามารถแพร่เข้าไปในตัวอย่างทำให้ตัวอย่างมีความชื้นต่ำลงจึงใช้เวลาในการทำแห้งน้อยกว่าสิ่งทดลองอื่น จึงลดโอกาสการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกจากความร้อนได้ (Severini et al., 2003) และนอกจากนี้การแช่หรือลวกสารละลายโซเดียมคลอไรด์ยังช่วยลดการละลายของออกซิเจนในน้ำ จึงช่วยลดโอกาสการสัมผัสออกซิเจนสำหรับเนื้อเยื่อผักผลไม้กับสารละลายได้ ทำให้สามารถลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิกได้ (Suwajee, 2011)

สารประกอบฟีนอลิกประกอบด้วย ฟลาโวนอยด์ (Flavonoid) กรดอะมิโน Tyrosine และ Phenylalanine (Shuluka, Bolton, & Anderson, 2013) และสารที่มีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระในพืชมีทั้งชนิดที่ละลายและไม่ละลายน้ำและบางชนิดสามารถสลายตัวได้ง่ายด้วยความร้อนในการทำแห้ง สกัด และแปรรูป (Su et al., 2004) การไม่เตรียมขั้นต้นจึงไม่ช่วยลดโอกาสการสูญเสียหรือสลายตัวของสารประกอบฟีนอลิกหรือสารที่มีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระดังกล่าว จึงทำให้สาหร่ายผักกาดทะเลที่ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้นมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระคงอยู่ต่ำที่สุดเนื่องจากการแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์มีผลทำให้น้ำในตัวอย่างลดลง

ตารางที่ 4-6 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของสาหร่ายผักกาดทะเลแห้งที่ไม่ผ่านและผ่านการเตรียมขั้นต้น

การเตรียมขั้นต้น	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (กรัมแกลลิก/100 กรัม)[#]	สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (%Inhibition)
Fresh	1.26 ± 0.11[d]	52.32 ± 0.22[c]
Water-blanching	2.86 ± 0.11[b]	53.71 ± 0.11[b]
NaCl-blanching	2.40 ± 0.11[c]	54.14 ± 0.26[b]
NaCl-soaking	5.83 ± 0.11[a]	57.32 ± 0.77[a]

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

[#]รายงานโดยเทียบกับน้ำหนักของสารสกัดตัวอย่าง

4.1.7 ค่าสี

สาหร่ายผักกาดทะเลแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้นมีสีที่แตกแต่งกัน แสดงดังภาพที่ 4-1 โดยจากการสังเกตพบว่าสาหร่ายผักกาดทะเลแห้งที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นด้วยการลวกในน้ำและในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (ภาพที่ 4-1 ข) และ ค)) มีสีคล้ำกว่าสาหร่ายผักกาดทะเลแห้งที่ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้นและผ่านการเตรียมขั้นต้นด้วยการแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (ภาพที่ 4-1 ก) และ ง)) และเมื่อนำสาหร่ายผักกาดทะเลแห้งทุกสิ่งทดลองมาวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสีรายงานเป็นค่า L* a* b* แสดงดังตารางที่ 4-7 พบว่าค่า a* ของสาหร่ายผักกาดทะเลแห้งทุกสิ่งทดลองยังคงให้ค่าสีเขียวโดย a* มีค่าเป็นลบ (-) และให้ค่าสีเหลืองโดย b* มีค่าเป็นบวก (+) และพบว่าค่าสี L* a* และ b* ของสาหร่ายผักกาดทะเลแห้งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีเขียว (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) มีแนวโน้มในการเปลี่ยนแปลงคล้ายคลึงกันในแต่ละสิ่งทดลอง กล่าวคือสาหร่ายผักกาดทะเลแห้งที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นด้วยการแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์และไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้น มีค่า L* (24.68-25.66) ค่า a* (5.67-6.41) และค่า b* (12.57-10.41) สูง ในขณะที่สาหร่ายผักกาดทะเลแห้งที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นด้วยการลวกทั้งในน้ำและสารละลายโซเดียมคลอไรด์ มีค่า L* (22.47-23.21) ค่า a* (3.54-4.56) และค่า b* (7.88-9.60) ต่ำกว่า แสดงให้เห็นว่าสาหร่ายผักกาดทะเลแห้งที่ผ่านการลวกมีสีที่คล้ำลง มีความเป็นสีเขียวและสีเหลืองลดลง ทั้งนี้เนื่องมาจากการลวกเป็นการให้ความร้อนกับตัวอย่างทำให้รงควัตถุสีเขียวในสาหร่าย คือ คลอโรฟิลล์เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างไป โดยเมื่อคลอโรฟิลล์ได้รับความร้อนอะตอมแมกนีเซียมที่อยู่ตรงศูนย์กลางของ Porphyrin ring หลุดออก และถูกแทนที่ด้วยอะตอมของไฮโดรเจน กลายเป็นโมเลกุลที่เรียกว่า Pheophytin ซึ่งการเปลี่ยนของโครงสร้างนี้เองที่ทำให้สีเขียวสดของพืชเปลี่ยนเป็นสีเขียวแก่หรือสีเขียวมะกอก (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549)

ก) Fresh

ข) Water - blanching

ค) NaCl-blanching

ง) NaCl-soaking

ภาพที่ 4-1 ลักษณะของสาหร่ายผักกาดทะเลแห้งไม่ผ่านและผ่านการเตรียมขั้นต้นวิธีต่างๆ ก) สาหร่ายผักกาดทะเลสด (Fresh) ข) ลวกในน้ำ (Water - blanching) ค) ลวกในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl-blanching) และ ง) แช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl-soaking)

ตารางที่ 4-7 ค่าสี L* a* b* ของสาหร่ายผักกาดทะเลแห้งที่ไม่ผ่านและผ่านการเตรียมขั้นต้น

การเตรียมขั้นต้น	ค่าสีเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	L*	a*	b*
Fresh	24.68 ± 0.42^{b}	-6.41 ± 0.29^{a}	12.57 ± 0.14^{a}
Water-blanching	22.47 ± 0.26^{c}	-3.54 ± 0.18^{d}	7.88 ± 0.36^{d}
NaCl-blanching	23.21 ± 0.65^{b}	-4.56 ± 0.12^{c}	9.60 ± 0.17^{c}
NaCl-soaking	25.66 ± 0.10^{a}	-5.78 ± 0.06^{b}	10.41 ± 0.32^{b}

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

4.1.8 ผลการคัดเลือกสิ่งทดลอง

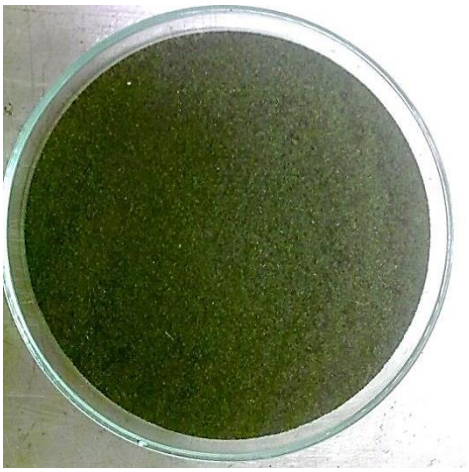
จากเกณฑ์ที่กำหนดไว้คือเลือกวิธีการเตรียมขั้นต้นที่ทำให้ได้สาหร่ายผักกาดทะเลแห้งที่มีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด และมีการคงอยู่ของปริมาณองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญปริมาณมาก โดยพิจารณาร่วมกับคุณภาพอื่นๆ ที่วิเคราะห์ ผลการทดลอง พบว่า การเตรียมขั้นต้นด้วยการแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลานาน 240 นาที ทำให้สาหร่ายผักกาดทะเลแห้งที่มีค่า %Inhibition เท่ากับ 57.32 ซึ่งแสดงสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด ($p<0.05$) และสิ่งทดลองดังกล่าวมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุด เท่ากับ 5.83 กรัมแกลลิก/100 กรัม โดยยังคงมีองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญในปริมาณสูงที่สุด ได้แก่ ปริมาณใยอาหารทั้งหมด เท่ากับ 22.62 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนักแห้ง) ปริมาณโปรตีน เท่ากับ 22.57 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนักแห้ง) และปริมาณแคโรทีนอย์ เท่ากับ 2.08 ไมโครกรัม/100 กรัม รวมถึงมีปริมาณผลได้สูงที่สุด เท่ากับ 9.79 เปอร์เซ็นต์ โดยสาหร่ายผักกาดทะเลแห้งที่ได้ยังคงมีสีเขียวเข้ม

4.2 ผลของขนาดอนุภาคต่อคุณภาพทางเคมีกายภาพของสาหร่ายผักกาดทะเลผง

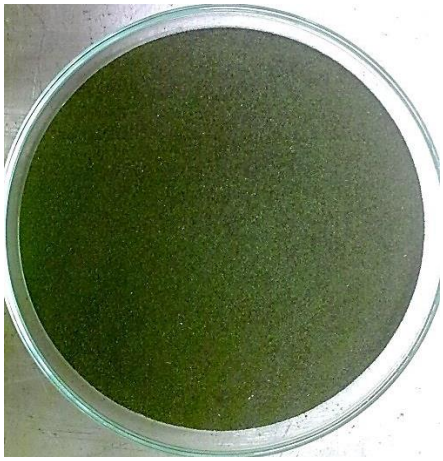
จากการนำสาหร่ายผักกาดทะเลแห้งที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นด้วยการแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ มาบดลดขนาดด้วยเครื่องบดอาหารแห้ง และนำสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่ได้มาร่อนผ่านตะแกรง 3 ขนาด คือ 60 70 และ 80 เมช เพื่อแปรขนาดอนุภาคเป็น 1) ขนาดอนุภาคใหญ่กว่า 250 ไมครอน 2) ขนาดอนุภาค 211-250 ไมครอน 3) ขนาดอนุภาค 177-210 ไมครอน และ 4) ขนาดอนุภาคเล็กกว่า 177 ไมครอน ตามลำดับ ลักษณะของสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่มีขนาดอนุภาคต่างๆ แสดงดังภาพที่ 4-2

จากการสุ่มตัวอย่างสาหร่ายผักกาดทะเลผงมาวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีกายภาพ ได้แก่ ปริมาณความชื้น ค่า a_w (ตารางที่ 4-8) ค่าสี (ตารางที่ 4-9) ค่าความหนาแน่น และสมบัติเชิงหน้าที่ต่างๆ ได้แก่ ความสามารถในการละลาย ความสามารถในการอุ้มน้ำ ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน ความสามารถในการเกิดอิมัลชัน (ตารางที่ 4-10) และค่าความหนืดของสารละลายสาหร่ายผักกาดทะเล (ภาพที่ 4-3) ผลการทดลองมีรายละเอียดดังนี้

ก) ขนาดอนุภาค >250 ไมครอน



ข) ขนาดอนุภาค 211-250 ไมครอน



ค) ขนาดอนุภาค 177-210 ไมครอน

ง) ขนาดอนุภาค <177 ไมครอน

ภาพที่ 4-2 ลักษณะของสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่มีขนาดอนุภาคต่างๆ ก) ขนาดอนุภาคใหญ่กว่า 250 ไมครอน (ร่อนไม่ผ่านตะแกรงขนาด 60 เมช) ข) ขนาดอนุภาค 211-250 ไมครอน (ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 60 เมช) ค) ขนาดอนุภาค 177-210 ไมครอน (ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 70 เมช) และ ง) ขนาดอนุภาคเล็กกว่า 177 ไมครอน (ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 80 เมช)

4.2.1 คุณภาพทางเคมีกายภาพ

จากตารางที่ 4-8 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น และค่า a_w ของสาหร่ายผักกาดทะเลผงขนาดอนุภาคต่างๆ พบว่า สาหร่ายผักกาดทะเลผงแห้งทุกขนาดอนุภาคมีปริมาณความชื้นและค่า a_w ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยมีปริมาณความชื้น 7.61-7.69 เปอร์เซ็นต์ และค่า a_w 0.47-0.49 แสดงให้เห็นว่าการบดลดขนาดอนุภาคของสาหร่ายผักกาดทะเลผงไม่ได้มีผลต่อปริมาณความชื้นและค่า a_w ของสาหร่ายผักกาดทะเลแห้ง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Hemery et al. (2009) รายงานว่าการนำรำข้าวสาลีแห้งความชื้น 2 เปอร์เซ็นต์ มาบดด้วยเครื่องบด Hammer mill ให้มีขนาดอนุภาคแตกต่างกันไม่มีผลให้ปริมาณความชื้นแตกต่างกัน ($p \geq 0.05$)

สำหรับด้านค่าความหนาแน่นของสาหร่ายผักกาดทะเลผง แสดงดังตารางที่ 4-8 เช่นกัน พบว่า สาหร่ายผักกาดทะเลผงขนาดอนุภาคต่างๆ มีความหนาแน่นแตกต่างกัน ($p<0.05$) โดยพบแนวโน้มว่าค่าความหนาแน่นมากขึ้น เมื่อขนาดอนุภาคเล็กลงโดยสาหร่ายผักกาดทะเลผงขนาดอนุภาคเล็กที่สุด มีความหนาแน่นที่สุด ($p<0.05$) สาหร่ายผักกาดทะเลผงมีขนาดอนุภาคเล็กลง ทำให้มีค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้น เนื่องจากขนาดอนุภาคผงที่มีขนาดเล็กทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสมากขึ้น สามารถลดช่องว่างระหว่างอนุภาคกับอนุภาคลงได้ ทำให้อาหารผงมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันจึงมีน้ำหนักต่อปริมาตรมาก ค่าความหนาแน่นของผงขนาดอนุภาคเล็กจึงมีค่ามาก (Zhao et al., 2010)

ตารางที่ 4-8 ปริมาณความชื้น ค่า a_w และความหนาแน่นของสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่มีขนาดอนุภาคต่างๆ

ขนาดอนุภาค	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	ปริมาณความชื้น^{ns} (เปอร์เซ็นต์)	a_w^{ns}	ความหนาแน่น (กรัม/ซม^3)
> 250 ไมครอน	7.69 ± 0.02	0.49 ± 0.02	0.070 ± 0.001^{d}
211-250 ไมครอน	7.66 ± 0.09	0.49 ± 0.01	0.088 ± 0.001^{c}
177-210 ไมครอน	7.67 ± 0.13	0.47 ± 0.01	0.137 ± 0.004^{b}
< 177 ไมครอน	7.61 ± 0.07	0.47 ± 0.02	0.176 ± 0.005^{a}

^{ns} แสดงถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

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

สำหรับผลการวิเคราะห์ค่าสี L* a* b* ของสาหร่ายผักกาดทะเลผง แสดงดังตารางที่ 4-9 เมื่อพิจารณาร่วมกับลักษณะสีของสาหร่ายผักกาดทะเลผง แสดงดังภาพที่ 4-2 พบว่า สาหร่ายผักกาดทะเลผงขนาดอนุภาคต่างๆ มีค่าสี L* a* b* แตกต่างกัน ($p<0.05$) โดยพบแนวโน้มว่าสาหร่ายผักกาดทะเลผงขนาดอนุภาคเล็กที่สุด (<177 ไมครอน) มีค่าความสว่าง (L*) มากที่สุด ในขณะที่ค่า

ความเป็นสีเขียว (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) น้อยที่สุด ($p<0.05$) สอดคล้องกับสีที่เห็นว่าสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่ขนาดอนุภาคเล็กมีสีสว่างมากและมีสีเขียวเข้มน้อยกว่าสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่า ซึ่งหากพิจารณาค่าสี L* a* และ b* เปรียบเทียบกับค่าสีของสาหร่ายผักกาดทะเลแห้งก่อนการบด (ค่า L* 25.66 ค่า a* -5.78 และค่า b* 10.41) พบว่า การบดเป็นผงขนาดอนุภาคใหญ่ยังคงรักษาสีให้ใกล้เคียงกับสาหร่ายผักกาดทะเลหลังการทำแห้งก่อนนำมาบดได้มากกว่า อาจเนื่องมาจากชิ้นสาหร่ายหลังการทำแห้งมีสีเขียวเข้มโดยเฉพาะสีที่ผิวชิ้นสาหร่าย การบดซึ่งทำให้ขนาดอนุภาคเล็กลง มีโอกาสเห็นสีภายในชิ้นสาหร่ายได้มากกว่าสีที่ผิว ซึ่งอาจมีสีเขียวไม่เข้มเท่ากับที่ผิวชิ้นสาหร่าย นอกจากนี้การบดเป็นการให้แรงกลกระทำต่อวัตถุอาจมีความร้อนเกิดขึ้นในระหว่างการบด เพิ่มโอกาสให้สาหร่ายผงที่มีขนาดอนุภาคเล็กมีโอกาสสัมผัสความร้อนได้มากและเกิดปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างรงควัตถุในสาหร่ายได้มาก ทั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ahmed et al. (2014) ที่รายงานว่าการบดลดขนาดโดยใช้เครื่องบดความเร็วสูงในลักษณะการบดของแห้งสามารถเกิดความร้อนในระหว่างการบดได้ โดยความร้อนมีผลทำให้รงควัตถุที่มีในวัตถุดิบแห้งเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างไป และมีผลทำให้วัตถุดิบแห้งมีสีเปลี่ยนไป กรณีศึกษาแป้งฟักทองพบว่าการบดลดขนาดแป้งให้อนุภาคเล็กลงจากขนาดอนุภาค 149 ไมครอน เป็น 74 ไมครอน มีผลให้ปริมาณรงควัตถุสำคัญ ได้แก่ ลูทีนและเบต้าแคโรทีนลดลง และมีแนวโน้มให้ค่า L* เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4-9 ค่าสี L* a* และ b* ของสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่มีขนาดอนุภาคต่างๆ

ขนาดอนุภาค	ค่าสีเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	L*	a*	b*
> 250 ไมครอน	30.13 ± 0.16^{d}	-4.58 ± 0.06^{a}	13.81 ± 0.12^{a}
211-250 ไมครอน	33.82 ± 0.02^{c}	-4.23 ± 0.04^{b}	13.02 ± 0.05^{b}
177-210 ไมครอน	34.55 ± 0.15^{b}	-4.12 ± 0.01^{b}	11.55 ± 0.07^{c}
< 177 ไมครอน	37.57 ± 0.25^{a}	-3.74 ± 0.04^{c}	10.14 ± 0.21^{d}

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

รงควัตถุที่สำคัญในสาหร่ายผักกาดทะเลได้แก่ รงควัตถุกลุ่มคลอโรฟิลล์ และแคโรทีนอยด์ (Satpati & Pal, 2011) หากสัมผัสกับความร้อนและออกซิเจนในระหว่างการบดอาจมีโอกาสให้คลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์เปลี่ยนแปลงไป โดยคลอโรฟิลล์เปลี่ยนแปลงเป็นฟีโอไฟติน เนื่องจากคลอโรฟิลล์สูญเสียอะตอมของแมกนีเซียมไอออน (Mg^{2+}) ที่อยู่ตรงศูนย์กลางของ Porphyrin ring หลุดออก และถูกแทนที่ด้วยอะตอมของไฮโดรเจน กลายเป็นโมเลกุลที่เรียกว่า Pheophytin ทำให้สีเขียวของคลอโรฟิลล์เปลี่ยนเป็นสีเขียวอมน้ำตาลของฟีโอไฟติน (สุวรรณา พิชัยยงค์วงศ์ดี และคณะ, 2554) และแคโรทีนอยด์เปลี่ยนรูปจาก Trans-form เป็น Cis-form เมื่ออาหารได้รับอุณหภูมิสูงจะ

เกิด Trans-cis isomerization หากอยู่ในรูป Cis มากขึ้นจะทำให้แคโรทีนอยด์สลายตัวได้ง่าย (วีระศักดิ์ สามี, 2550; นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549)

4.2.2 สมบัติเชิงหน้าที่

สมบัติเชิงหน้าที่ของอาหารผงมีความสำคัญต่อคุณภาพและลักษณะปรากฏของอาหารที่มีการใช้อาหารผงนั้นเป็นส่วนผสมซึ่งส่งผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค สมบัติดังกล่าวนี้จะขึ้นอยู่กับ ขนาด รูปร่างและลักษณะการเรียงตัวของเซลล์ สำหรับขนาดอนุภาคผงที่แตกต่างกันอาจส่งผลต่อสมบัติเชิงหน้าที่ เช่น ความสามารถในการละลาย ความสามารถในการอุ้มน้ำ ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน และความสามารถในการเกิดอิมัลชัน (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549)

จากตารางที่ 4-10 พบว่า สาหร่ายผักกาดทะเลผงที่มีขนาดอนุภาคแตกต่างกันมีสมบัติเชิงหน้าที่ ได้แก่ ความสามารถในการละลาย ความสามารถในการอุ้มน้ำ ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน และความสามารถในการเกิดอิมัลชันแตกต่างกัน ($p<0.05$) โดยพบแนวโน้มเดียวกันคือเมื่อสาหร่ายผักกาดทะเลผงขนาดอนุภาคเล็กลงทำให้ความสามารถในการละลาย ความสามารถในการอุ้มน้ำ ความสามารถในการอุ้มน้ำมันและความสามารถในการเกิดอิมัลชันเพิ่มขึ้น โดยสาหร่ายผักกาดทะเลผงแห้งที่มีขนาดอนุภาคเล็กที่สุด (<177 ไมครอน) มีความสามารถตามสมบัติเชิงหน้าที่วิเคราะห์ทุกด้านมากที่สุด ($p<0.05$) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่มีขนาดอนุภาคขนาดเล็กสามารถละลายน้ำได้ดีกว่าอนุภาคขนาดใหญ่

ตารางที่ 4-10 สมบัติเชิงหน้าที่ด้านความสามารถในการละลาย (Solubility) ความสามารถในการอุ้มน้ำ (WHC) ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (OHC) และความสามารถในการเกิดอิมัลชัน (EC) ของสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่มีขนาดอนุภาคต่างๆ

ขนาดอนุภาค	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
	Solubility (เปอร์เซ็นต์)	WHC (กรัมน้ำ/กรัม)	OHC (กรัมน้ำมัน/กรัม)	EC (เปอร์เซ็นต์)
> 250 ไมครอน	50.29 ± 0.17^{c}	12.11 ± 0.37^{b}	1.78 ± 0.04^{c}	4.51 ± 0.13^{a}
211-250 ไมครอน	51.44 ± 0.89^{b}	12.23 ± 0.34^{b}	2.53 ± 0.22^{b}	8.83 ± 0.23^{b}
177-210 ไมครอน	51.99 ± 0.27^{a}	12.27 ± 0.44^{b}	2.57 ± 0.04^{b}	12.77 ± 0.27^{b}
< 177 ไมครอน	52.14 ± 0.13^{a}	14.74 ± 0.24^{a}	3.24 ± 0.11^{a}	20.71 ± 0.56^{a}

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

เนื่องจากเมื่ออนุภาคผงขนาดใหญ่แช่อยู่ในน้ำจะมีบริเวณที่เปียก (Wet surface) ซึ่งอยู่โดยรอบอนุภาคในปริมาณมาก ทำให้น้ำในบริเวณดังกล่าวเกิดการดึงดูดกันเอง เป็นผลให้มีโอกาสที่อนุภาคผงเข้ารวมกันเป็นก้อนมากกว่าละลายเป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำ จึงมีความสามารถในการละลายลดลง (Micha, 2005) อย่างไรก็ตามความสามารถในการละลายยังขึ้นอยู่กับธรรมชาติของตัวถูกละลาย ตัวทำละลาย อุณหภูมิ ความดัน ขนาดของอนุภาค และการกวนผสม (Rahman, 1995) สำหรับความสามารถในการอุ้มน้ำ และความสามารถในการอุ้มน้ำมันของสาหร่ายผักกาดทะเล สามารถอธิบายได้ว่า เนื่องจากขนาดอนุภาคที่เล็กลง ทำให้พื้นที่ผิว การจัดเรียงตัวของอนุภาค และปริมาณรูพรุนเพิ่มขึ้น ทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำและความสามารถในการอุ้มน้ำมันเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Raghavendra et al. (2006) กล่าวว่าการลดขนาดอนุภาคของเส้นใยอาหารจากมะพร้าวจาก 1,127 ไมครอน เป็น 550 ไมครอน จะทำให้สมบัติในการจับกับน้ำเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามหากขนาดอนุภาคเล็กเกินไป อาจเกิดความเสียหายกับโครงสร้างที่เป็นเมทริกซ์ (Matrix) ทำให้เกิดการยุบตัวของรูพรุน ส่งผลให้ความสามารถในการอุ้มน้ำลดลงได้ (Elleuch et al., 2011) ความสามารถในการอุ้มน้ำและอุ้มน้ำมันแปรผันตรงกับความสามารถในการเกิดอิมัลชัน กล่าวคือ อนุภาคผงที่มีขนาดเล็กมีความสามารถในการละลายสูงมีโอกาสทำให้เกิดระบบอิมัลชันได้ดีเช่นกัน (นิธิมา อรรถวานิช, 2546; นพรัตน์ ราชจินดา และสุทธินีย์ อิรนพไพบูลย์, 2551; Raghavendra et al., 2006) การเกิดอิมัลชันหมายถึงการเกิดระบบคอลลอยด์ที่ประกอบด้วยของเหลว 2 ชนิด ที่ไม่ละลายซึ่งกันและกัน โดยทั่วไปจะเป็นน้ำและน้ำมันซึ่งประกอบด้วยเฟสที่กระจายตัวและเฟสต่อเนื่อง (Dickinson, 1992) การที่อาหารผงมีความสามารถในการเกิดอิมัลชันสูงหมายถึงอาหารผงนั้นสามารถผสมเป็นเนื้อเดียวกันกับส่วนผสมอื่นได้ง่าย และเป็นเนื้อเดียวกันกับระบบอิมัลชันไม่แยกชั้น รวมถึงทำให้เฟสของน้ำและน้ำมันผสมเข้ากันได้ดีขึ้น โดยสามารถช่วยลดแรงตึงผิวระหว่างของเหลวสองชนิด ทำให้สามารถผสมเข้ากันได้ จึงกล่าวได้ว่าอาหารผงดังกล่าวมีสมบัติเหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารที่เป็นอิมัลชัน (Emulsion) เนื่องจากสามารถช่วยลดการแยกตัวของน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ และช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสให้กับผลิตภัณฑ์อาหาร โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์อาหารที่ต้องการความชุ่มชื้น เช่น ผลิตภัณฑ์แยม ไอศกรีม เป็นต้น (รัชนี ตัณฑะพานิชกุล, 2535; อภิรักษ์ เพียรมงคล, 2549; Grigelmo-Miguel & Martin-Belloso, 2000)

ความสามารถในการอุ้มน้ำเกี่ยวข้องกับความสามารถในการดูดน้ำไว้ในโมเลกุล ซึ่งมีความสัมพันธ์กับสมบัติในการจับน้ำ (Hydration properties) ของอนุภาคผง นอกจากนี้อาจเกี่ยวข้องกับความสามารถในการกระจายตัวในน้ำได้ (Dispersible) จึงมีโอกาสรวมตัวได้ดีกับน้ำ (Nelson, 2001) สำหรับความสามารถในการอุ้มน้ำมันเกี่ยวข้องกับสมบัติการเกิดเป็นชั้นฟิล์มบางๆ ล้อมรอบส่วนประกอบที่เป็นหยดน้ำมันที่ถูกอิมัลซิไฟด์ไว้ไม่ให้เกิดการรวมตัวกันใหม่ (Salvador et al., 2012) จากผลการทดลองพบว่า สาหร่ายผักกาดทะเลผงทุกขนาดอนุภาค มีความสามารถในการ

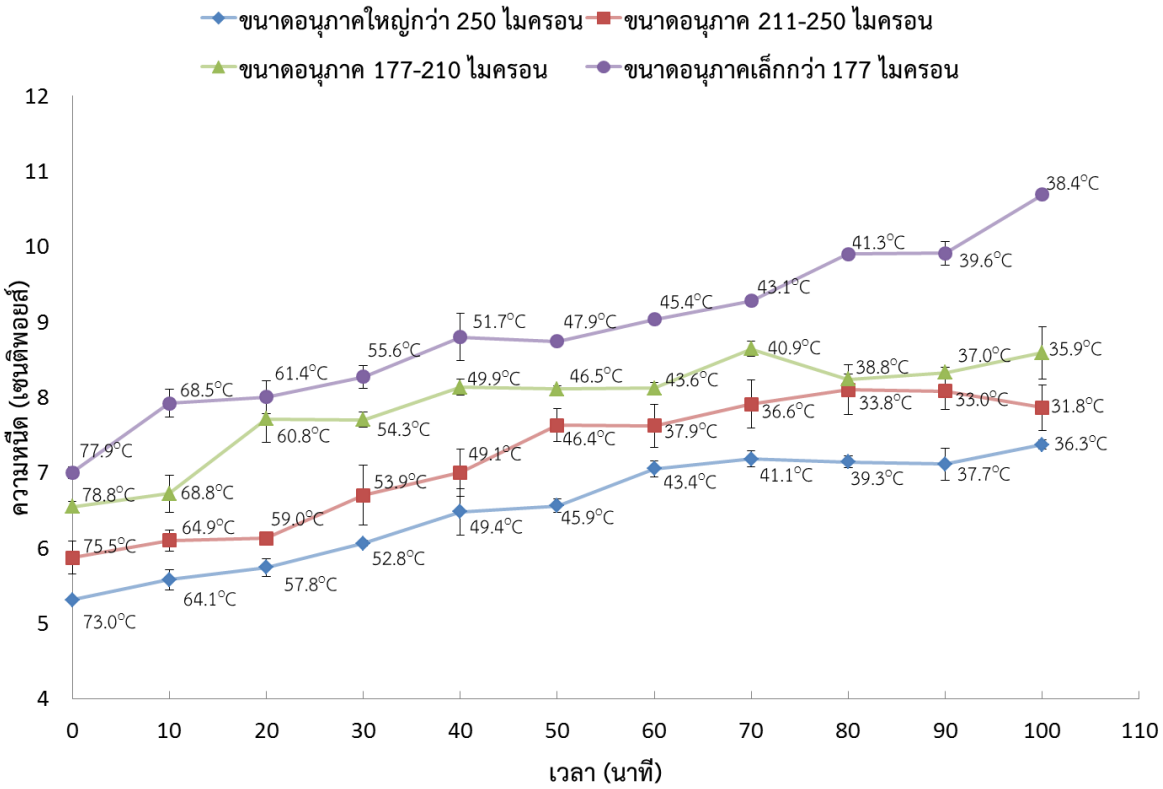
อุ้มน้ำ (14.74-12.1 กรัมน้ำ/กรัม) มากกว่าความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (3.24-1.78 กรัมน้ำมัน/กรัม) จึงอาจเนื่องจากสาหร่ายผักกาดทะเลมีใยอาหารที่ละลายน้ำได้อยู่สูง (ไพโรจน์ หลวงพิทักษ์ และเบญจวรรณ ธรรมธนารักษ์, 2538) จึงมีสมบัติในการจับน้ำและกระจายตัวในน้ำได้ดีมากกว่าสมบัติการเกิดเป็นชั้นฟิล์มบางๆ ล้อมรอบส่วนประกอบที่เป็นหยดน้ำมัน จึงมีความสามารถในการอุ้มน้ำมากกว่าความสามารถในการอุ้มน้ำมัน

ความหนืดของสารละลาย หมายถึง สมบัติของของเหลวในการต้านทานการไหล (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549) จากการทดลองต้องการวัดความหนืดของสารละลายสาหร่ายผักกาดทะเลผงเพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานเบื้องต้นในการเข้าใจสมบัติของสาหร่ายผักกาดทะเลผงเมื่อนำมาเติมในอาหาร โดยเตรียมสารละลายสาหร่ายผักกาดทะเลที่ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ นำไปให้ความร้อนจนอุณหภูมิถึง 80 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นการเลียนแบบจากขั้นตอนการให้ความร้อนส่วนผสมกรณีทำไอศกรีม คงไว้เป็นเวลา 30 วินาที และหยุดให้ความร้อน สุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์ความหนืดทุก 10 นาที เป็นเวลา 100 นาที (อัจฉราพรรณ มหพันธ์, 2556)

จากภาพที่ 4-3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดของสารละลายสาหร่ายผักกาดทะเลกับเวลาที่วางสารละลายไว้หลังการให้ความร้อน พบว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความหนืดของสารละลายสาหร่ายผักกาดทะเลตามเวลามีลักษณะเดียวกันคือหลังการให้ความร้อน (เวลา 0 นาที) สารละลายสาหร่ายผักกาดทะเลทุกสิ่งทดลองมีความหนืดต่ำที่สุด และมีความหนืดเพิ่มขึ้นเมื่อตั้งทิ้งไว้นานขึ้น (อุณหภูมิต่ำลง) แสดงให้เห็นว่าความหนืดของสารละลายมีผลจากอุณหภูมิของสารละลาย ที่อุณหภูมิสูงมีผลให้โมเลกุลในของเหลวเคลื่อนที่เร็วกว่าอุณหภูมิต่ำ เป็นผลให้พลังงานจลน์ในโมเลกุลเพิ่มขึ้น และมากกว่าแรงกระทำระหว่างโมเลกุลทำให้เกิดการดึงดูดระหว่างโมเลกุลกันน้อยลง จึงส่งผลต่อพฤติกรรมการไหลของของเหลวที่ให้ความหนืดน้อยลง (ฐิศิรักษ์ วรพัฒน์ผดุง และคณะ 2555) หากพิจารณาผลของขนาดอนุภาคต่อค่าความหนืดของสารละลายสาหร่ายผักกาดทะเล พบว่าสารละลายสาหร่ายผักกาดทะเลผงขนาดอนุภาคเล็กที่สุด (<177 ไมครอน) ให้ค่าความหนืดสูงที่สุดตลอดการติดตาม อยู่ในช่วง 7.00-10.69 เซนติพอยส์ ในขณะที่ สารละลายสาหร่ายผักกาดทะเลผงขนาดอนุภาคใหญ่ที่สุด (>250 ไมครอน) ให้ค่าความหนืดต่ำที่สุดตลอดการติดตาม อยู่ในช่วง 5.31-8.10 เซนติพอยส์

จากการตรวจเอกสารพบว่าขนาดอนุภาคผงอาจมีผลและไม่มีผลต่อความหนืดของสารละลาย ทั้งนี้อาจขึ้นอยู่กับความแตกต่างกันของขนาดอนุภาคและส่วนประกอบของอาหารผงนั้น ตัวอย่างเช่น สำหรับอาหารผงที่มีส่วนประกอบของแป้งพบว่าขนาดอนุภาคมีผลต่อความหนืด โดย Ahmed et al. (2014) รายงานว่าขนาดอนุภาคและอุณหภูมิมีผลต่อคุณสมบัติการไหลและโครงสร้างการกระจายตัวของแป้งฟักทอง การให้ความร้อนสูงกับแป้งฟักทองทำให้ค่าความหนืดลดลง และเมื่อลดขนาดอนุภาคลงจาก 841 ไมครอน เป็น 74 ไมครอน ทำให้ค่าความหนืดเพิ่มขึ้น 7.00-10.69 เซนติพอยส์ Wang

et al. (2006) รายงานว่าอาหารผงที่มีส่วนประกอบหลักพวกโพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช้สตาร์ช เช่น กาแลคโตส แมนแนน กัม และเพคติน เป็นต้น ขนาดอนุภาคเล็กมีโอกาสทำให้สารละลายมีความหนืดสูงกว่า เนื่องจากอาหารผงที่มีขนาดอนุภาคเล็กสามารถมีการกระจายตัวได้ดีในน้ำ ทำให้มีอัตราการแทรกซึมของน้ำเข้าไปในโมเลกุลของอาหารผงได้มากและเร็วกว่าขนาดอนุภาคใหญ่ มีผลให้สารละลายมีความหนืดมากกว่า



ภาพที่ 4-3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดของสารละลายสาหร่ายผักกาดทะเลผงความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ ที่ผ่านการให้ความร้อนที่ 80 องศาเซลเซียส 30 วินาที กับระยะเวลา (ตัวเลขที่กำกับไว้ที่เส้นคืออุณหภูมิของสารละลายสาหร่ายผักกาดทะเลที่เวลาต่างๆ)

4.2.3 ผลการคัดเลือกสิ่งทดลอง

จากเกณฑ์ที่กำหนดไว้คือเลือกขนาดอนุภาคของสาหร่ายผักกาดทะเลผง ที่มีความสามารถในการเกิดอิมัลชันดีที่สุด รวมถึงมีความสามารถในการละลาย ความสามารถในการอุ้มน้ำ และความสามารถในการอุ้มน้ำมันสูง โดยพิจารณาร่วมกับคุณภาพอื่นๆ ผลการทดลองพบว่าสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 177 ไมครอน (ร่อนผ่านตะแกร่งขนาด 80 เมช) มีความสามารถในการเกิดอิมัลชันดีที่สุด เท่ากับ 20.71 เปอร์เซ็นต์ และยังมีสมบัติเชิงหน้าที่ด้านต่างๆ ดีที่สุด ได้แก่ ความสามารถในการละลาย เท่ากับ 52.14 เปอร์เซ็นต์ ความสามารถในการอุ้มน้ำ

เท่ากับ 14.74 กรัมน้ำ/กรัม และความสามารถในการอุ้มน้ำมัน เท่ากับ 3.24 กรัมน้ำมัน/กรัม โดยมีค่าความหนาแน่นสูงที่สุด เท่ากับ 0.176 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร และมีสีเขียวสว่าง

4.3 ผลการเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสาหร่ายผักกาดทะเลสดและสาหร่ายผักกาดทะเลผงแห้ง

จากการสุ่มตัวอย่างสาหร่ายผักกาดทะเลสดและสาหร่ายผักกาดทะเลผงแห้งที่เลือกได้จากข้อ 4.2 คือ สาหร่ายผักกาดทะเลผงที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 240 วินาที ก่อนการทำแห้ง นำมาทำแห้งโดยอบด้วยตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดัน 36 มิลลิเมตรปรอท จนมีความชื้นสุดท้ายประมาณ 7 เปอร์เซ็นต์ แล้วบดลดขนาดอนุภาคให้ได้สาหร่ายผักกาดทะเลผงแห้งขนาดเล็กกว่า 177 ไมครอน ผลการวิเคราะห์คุณภาพ แสดงผลดังตารางที่ 4-11

ตารางที่ 4-11 คุณภาพทางเคมีและกายภาพของสาหร่ายผักกาดทะเลสด

ค่าคุณภาพ	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	สาหร่ายผักกาดทะเลสด	สาหร่ายผักกาดทะเลผงแห้ง
ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)	75.69 ± 1.03[a]	7.02 ± 0.04[b]
โปรตีน (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง)[ns]	22.98 ± 0.12	22.41 ± 0.09
ไขมัน (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง)[ns]	1.01 ± 0.05	1.04 ± 0.08
เถ้า (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง)	20.18 ± 0.12[a]	18.28 ± 1.10[b]
เส้นใย (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง)	25.61 ± 1.12[a]	20.57 ± 1.83[b]
คาร์โบไฮเดรต (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง)	51.93 ± 1.14[a]	49.98 ± 1.12[b]
แคลเซียม (มิลลิกรัม/100กรัมโดยน้ำหนักแห้ง)	630.12 ± 11.23[a]	621.02 ± 10.14[b]
เหล็ก (มิลลิกรัม/100กรัมโดยน้ำหนักแห้ง)	120.15 ± 9.87[a]	102.05 ± 10.13[b]
ไอโอดีน (มิลลิกรัม/100กรัมโดยน้ำหนักแห้ง)	29.08 ± 1.24[a]	22.07 ± 2.10[b]
ใยอาหารทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง)	31.90 ± 0.85[a]	21.74 ± 0.09[b]
สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (กรัมแกลลิก/100กรัม)[#]	8.80 ± 1.62[a]	5.15 ± 0.84[b]
สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (%Inhibition)	57.43 ± 0.40[a]	53.14 ± 1.04[b]

[#]รายงานโดยเทียบกับน้ำหนักของสารสกัดตัวอย่าง

[ns] แสดงถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

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

สาหร่ายผักกาดทะเลจัดเป็นสาหร่ายทะเลประเภทที่สามารถบริโภคได้ มีรายงานว่าเป็นแหล่งที่ดีของโปรตีนและใยอาหาร รวมถึงมีองค์ประกอบของสารพฤกษเคมีที่มีสมบัติต้านอนุมูลอิสระ เช่น สารประกอบโพลีฟีนอล และแคโรทีนอยด์ ซึ่งมีบทบาทกำจัดอนุมูลอิสระจากร่างกายได้ (Jimenez-Escrig et al., 2001; Sanchez-Machado et al., 2000) จากตารางที่ 4-11 พบว่าสาหร่ายผักกาดทะเลสดมีปริมาณความชื้น 75.69 เปอร์เซ็นต์ จึงจัดเป็นอาหารประเภทความชื้นสูง (ปริมาณความชื้นมากกว่า 55 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งง่ายต่อการเสื่อมเสีย การนำสาหร่ายผักกาดทะเลมาทำแห้งจัดเป็นการแปรรูปวิธีหนึ่งที่สามารถกำจัดความชื้นในอาหารลงได้ จึงช่วยยืดอายุการเก็บรักษาให้นานขึ้น จากผลการทดลองพบว่า สาหร่ายผักกาดทะเลสดมีโปรตีน 22.98 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนักแห้ง) และมีใยอาหารทั้งหมด 31.90 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนักแห้ง) ซึ่งใกล้เคียงกับที่ Padue et al. (2004) รายงานไว้ว่าสาหร่ายผักกาดทะเลมีโปรตีน 23 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนักแห้ง) และ Jimenez-Escrig et al. (2000) รายงายว่าสาหร่ายผักกาดทะเลมีใยอาหารทั้งหมด 38.10 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนักแห้ง) และจากผลการทดลองวิเคราะห์องค์ประกอบของสารพฤกษเคมีที่มีสมบัติต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญของสาหร่าย พบว่า มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 8.80 กรัมแกลลิก/100 กรัม และมีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระซึ่งรายงานในรูปแบบ %Inhibition เท่ากับ 57.43 จึงยืนยันให้เห็นว่าสาหร่ายผักกาดทะเลเป็นวัตถุดิบที่มีศักยภาพด้านคุณค่าทางโภชนาการและเป็นแหล่งสารพฤกษเคมีที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย

จากการนำสาหร่ายผักกาดทะเลมาแปรรูปเป็นผงแห้ง พบว่า องค์ประกอบทางเคมีส่วนใหญ่และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระลดลงจากสาหร่ายผักกาดทะเลสด โดยพบว่า เส้นใย คาร์โบไฮเดรต แคลเซียม เหล็ก ไอโอดีน และใยอาหารทั้งหมด รวมทั้งปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระDPPH ของสาหร่ายผักกาดทะเลผงแห้งมีปริมาณน้อยกว่าสาหร่ายผักกาดทะเลสด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่โปรตีนและไขมันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) การที่ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีส่วนใหญ่ของสาหร่ายผักกาดทะเลผงแห้งมีปริมาณน้อยกว่าสาหร่ายผักกาดทะเลสด เนื่องมาจากการสูญเสียองค์ประกอบดังกล่าวไประหว่างการแปรรูปผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะการได้รับความร้อนในระหว่างการอบมีผลให้องค์ประกอบทางเคมีเสื่อมสลายตัว เปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีไป จึงมีผลให้มีปริมาณสารและความบริสุทธิ์ลดลง รวมทั้งในขั้นตอนการบดลดขนาดมีโอกาสเกิดการสัมผัสกับอากาศและการได้รับความร้อนในระหว่างการบดซึ่งมีผลต่อการสลายตัวขององค์ประกอบทางเคมีไปได้ อย่างไรก็ตามการทำแห้งสาหร่ายและบดลดขนาดเป็นผง เป็นการถนอมอาหารที่สามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาอาหารได้นานขึ้น นอกจากนี้การทำแห้งทำให้น้ำหนักและปริมาตรของอาหารลดลงซึ่งช่วยลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งและเก็บรักษา และเป็นการแปรรูปให้อยู่ในรูปที่สะดวกต่อการนำไปใช้ประโยชน์ รวมทั้งการเตรียมขั้นต้นที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้มีแนวโน้มช่วยลดการสูญเสียองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระได้ดีกว่าการไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้น โดยยังคงรักษาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระให้อยู่ในปริมาณสูงได้

4.4 ผลของการเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงต่อคุณภาพของไอศกรีมไขมันต่ำ

จากการนำสาหร่ายผักกาดทะเลผงขนาดอนุภาคเล็กกว่า 177 ไมครอน มาเติมลงในไอศกรีมไขมันต่ำ โดยแปรปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงเป็น 0 (ตัวควบคุม) 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด และสุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีกายภาพ ได้แก่ ค่าสี ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ค่าความหนืด การขึ้นฟู อัตราการละลาย และคุณภาพทางประสาทสัมผัส แสดงผลดังตารางที่ 4-12 ถึง 4-14 ผลการทดลองมีรายละเอียดดังนี้

4.4.1 คุณภาพทางเคมีกายภาพ

ลักษณะปรากฏของไอศกรีมไขมันต่ำที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงปริมาณต่างๆ แสดงดังภาพที่ 4-4 พบว่าปริมาณการเติมสาหร่ายผักกาดทะเลมีผงมีผลต่อค่าสี L* a* และ b* ของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมนมไขมันต่ำแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) จากผลการทดลองพบว่าค่า a* มีค่าเป็นลบ (-) แสดงถึงค่าสีเขียว ส่วนค่า b* มีค่าเป็นบวก (+) แสดงถึงค่าสีเหลือง โดยเมื่อเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงในปริมาณมากขึ้นทำให้ค่าความสว่าง (L*) มีแนวโน้มลดลง ในขณะที่ค่าความเป็นสีเขียว (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งแนวโน้มดังกล่าวเป็นไปตามสีของสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่เติมนั่นเอง โดยการเติมมากส่งผลให้ไอศกรีมมีความสว่างลดลง มีสีเขียวเหลืองมากขึ้น จากผลการทดลองพบว่าไอศกรีมที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงมากที่สุด (2 เปอร์เซ็นต์) มีค่า L* น้อยที่สุด ในขณะที่มีค่า a* และ b* มากที่สุด ($p<0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของกุลรภัส วชิรศิริ และคณะ (2555) กล่าวว่าการเติมใยอาหารจากเปลือกเงาะในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมนมเปลี่ยนแปลงไปตามสีของเงาะผงที่ใช้ โดยสีของเปลือกเงาะผงมีสีขาวนวล จึงทำให้สีของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมสีเหลืองหม่นมากขึ้น กฤติกา เจียรนัย และจุฑาวรรณ์ แก้วสังข์ (2555) รายงานว่าการเติมใบชะพลูผงที่มีสีเขียวเข้มลงในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมนมในปริมาณเพิ่มขึ้น ทำให้ไอศกรีมมีสีเขียวเข้มมากขึ้นและมีความสว่างน้อยลง

ก) ไอศกรีมเติมสาหร่ายผง 0 เปอร์เซ็นต์ (ตัวควบคุม)

ข) ไอศกรีมเติมสาหร่ายผง 0.5 เปอร์เซ็นต์

ค) ไอศกรีมเติมสาหร่ายผง 1 เปอร์เซ็นต์

ง) ไอศกรีมเติมสาหร่ายผง 1.5 เปอร์เซ็นต์

จ) ไอศกรีมเติมสาหร่ายผง 2 เปอร์เซ็นต์

ภาพที่ 4-4 ลักษณะของไอศกรีมไขมันต่ำที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงปริมาณต่างๆ ก) ไอศกรีมเติมสาหร่ายผง 0 เปอร์เซ็นต์ (ตัวควบคุม) ข) ไอศกรีมเติมสาหร่ายผง 0.5 เปอร์เซ็นต์ ค) ไอศกรีมเติมสาหร่ายผง 1 เปอร์เซ็นต์ ง) ไอศกรีมเติมสาหร่ายผง 1.5 เปอร์เซ็นต์ และ จ) ไอศกรีมเติมสาหร่ายผง 2 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4-12 ค่าสี L* a* b* ของไอศกรีมไขมันต่ำที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงปริมาณต่างๆ

ปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผง (เปอร์เซ็นต์)	ค่าสีเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	L*	a*	b*
0	86.01 ± 0.04[a]	-1.64 ± 0.02[a]	19.02 ± 0.03[e]
0.5	64.68 ± 0.18[b]	-8.29 ± 0.04[b]	25.74 ± 0.08[d]
1.0	59.71 ± 0.11[c]	-8.43 ± 0.02[c]	27.27 ± 0.12[c]
1.5	55.15 ± 0.09[d]	-9.98 ± 0.02[d]	28.61 ± 0.11[b]
2.0	45.91 ± 0.13[e]	-10.23 ± 0.06[e]	31.42 ± 0.07[a]

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

ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของไอศกรีมไขมันต่ำที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงปริมาณต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4-13 พบว่าปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่เติมไม่มีผลต่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ($p \geq 0.05$) โดยทุกสิ่งทดลองมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีค่าอยู่ในช่วง 40.07-40.45 $^{\circ}$Brix แสดงให้เห็นว่าสาหร่ายผักกาดทะเลผงปริมาณช่วง 0.5-2.0 เปอร์เซ็นต์ ที่เติมเพิ่มลงไปในส่วนผสมไม่ได้มีผลต่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเป็นการเติมในปริมาณน้อยและปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดที่วิเคราะห์ โดยใช้เครื่อง Hand refractometer เป็นการวัดดัชนีการหักเหของแสง (Refractive index) เมื่อแสงเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางหนึ่งสู่อีกตัวกลาง ทำให้มุม (Angle) และความเร็ว (Velocity) ของแสงแตกต่างกัน (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549) การเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงในปริมาณน้อยอาจมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ปริมาณน้อยมากจนไม่มีผลต่อการหักเหของแสงหรือมีผลน้อยมากจนไม่สามารถตรวจวัดได้ว่าแตกต่างกัน

ตารางที่ 4-13 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของไอศกรีมไขมันต่ำที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงปริมาณต่างๆ

ปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผง (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้เฉลี่ย^{ns} ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($^{\circ}$Brix)
0	40.07 ± 0.78
0.5	40.28 ± 0.25
1.0	40.32 ± 0.37
1.5	40.40 ± 0.36
2.0	40.45 ± 0.15

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

ค่าความหนืดของไอศกรีมเหลวก่อนการแช่แข็งของไอศกรีมไขมันต่ำเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงปริมาณต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4-14 พบว่าปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่เติมมีผลต่อค่าความหนืดของไอศกรีมเหลว ($p<0.05$) โดยการเพิ่มปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงมีผลให้ค่าความหนืดเพิ่มมากขึ้น สอดคล้องกับผลการทดลองที่เป็นข้อมูลพื้นฐานด้านความหนืดของสารละลาย (ภาพที่ 4-3) ที่แสดงให้เห็นว่าสารละลายสาหร่ายผักกาดทะเลผงสามารถให้ความหนืดได้

จากข้อสังเกต พบว่า ขั้นตอนการให้ความร้อนกับส่วนผสม ส่วนผสมสูตรควบคุมและสูตรที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงมีความหนืดแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดเจน กล่าวคือเมื่อปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่เติมในส่วนผสมเพิ่มขึ้น ทำให้ส่วนผสมมีความหนืดเพิ่มขึ้น และมีความหนืดแตกต่างกับส่วนสูตรควบคุมมาก ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ความหนืดของไอศกรีมเหลวที่ได้ พบว่าเมื่อ

เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงเพิ่มขึ้น ทำให้ไอศกรีมเหลวมีความหนืดมากขึ้น ($p<0.05$) โดยการเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผง 0.5 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ค่าความหนืดของไอศกรีมเหลวเพิ่มขึ้นถึงประมาณ 7 เท่าของไอศกรีมเหลวสูตรควบคุม

สาหร่ายผักกาดทะเลผงสามารถช่วยเพิ่มความหนืดให้กับไอศกรีมได้ ทั้งนี้เนื่องมาจากสาหร่ายผักกาดทะเลผงจัดเป็นเส้นใยที่มีองค์ประกอบของใยอาหารที่ละลายน้ำได้ประกอบด้วยพวกเพคติน เบต้า-กลูแคน และกัมชนิดต่างๆ มีสมบัติในการละลายน้ำได้และสามารถดูดซับน้ำได้ไว้กับตัวเองได้ เมื่อดูดซับน้ำแล้วจะมีลักษณะเป็นเจลจึงสามารถให้ความหนืดได้ (Escrig & Muniz, 2000) การเติมเพิ่มในไอศกรีมแม้ในช่วงประมาณ 0.5-2.0 เปอร์เซ็นต์ จึงเป็นผลในการเพิ่มความหนืดให้ไอศกรีมเหลวได้ และอาจเนื่องมาจากในขั้นตอนการให้ความร้อนกับสารละลายผสม อาจมีผลทำให้องค์ประกอบภายในสาหร่ายผักกาดทะเลจำพวกใยอาหารที่ละลายน้ำได้ ได้รับความร้อนสามารถส่งเสริมการดูดซับน้ำไว้ได้มากขึ้นทำให้สารละลายผสมมีความหนืดเพิ่มขึ้น เมื่อนำสารละลายผสมดังกล่าวมาโฮโมจีไนซ์ และพาสเจอร์ไรด์จึงส่งผลให้องค์ประกอบดังกล่าวละลายผสมกับองค์ประกอบอื่นในสารละลายผสมทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น (Dikeman et al., 2006) สอดคล้องกับแนวโน้มงานวิจัยของ อัจฉราพรรณ เนลสัน (2556) รายงานว่าการเติมโอลิโกแซคคาไรด์ที่สกัดได้จากแก้วมังกรลงในไอศกรีมทำให้ไอศกรีมมีค่าความหนืดที่สูงขึ้น เนื่องจากโอลิโกแซคคาไรด์จัดเป็นใยอาหารประเภทใยอาหารที่ละลายน้ำได้ สามารถละลายน้ำได้จึงดูดซับน้ำไว้เป็นผลให้ผลิตภัณฑ์มีความหนืดสูงขึ้น

จากผลการทดลองพบว่าไอศกรีมเหลวสูตรควบคุมมีความหนืดอยู่แล้ว ทั้งนี้เนื่องจากไอศกรีมไขมันต่ำสูตรควบคุมนี้ มีการเติมส่วนผสมที่สามารถให้ความหนืดได้ เช่น มอลโตเด็กซ์ตริน และน้ำตาลทราย รวมถึงมีการใช้สารเพิ่มความคงตัว การให้ความร้อน และการปั่นผสมที่เหมาะสมในการผลิต จึงสามารถเพิ่มความหนืดให้กับไอศกรีมเหลวได้ โดยไอศกรีมเหลวสูตรควบคุมมีค่าความหนืด เท่ากับ 679.85 เซนติพอยส์ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าไอศกรีมเหลวลดพลังงานกลิ่นผลไม้ไทยของ ภัทรา กุลกิจวโรภาส (2540) มีความหนืด เท่ากับ 1085.3 เซนติพอยส์ อาจเนื่องมาจากใช้ส่วนผสมบางอย่างไม่เหมือนกัน เช่น ไอศกรีมลดพลังงานกลิ่นผลไม้ไทยใช้น้ำมะพร้าวเป็นส่วนผสมแทนน้ำ ทำให้ไอศกรีมเหลวที่ได้มีค่าความหนืดมากกว่า นอกจากนี้อาจเกี่ยวข้องกับวิธีการเตรียมตัวอย่างและวิธีการวัด รวมถึงการใช้หัววัดความหนืดขนาดแตกต่างกัน

ตารางที่ 4-14 ค่าความหนืดของไอศกรีมเหลวที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงปริมาณต่างๆ

ปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผง (เปอร์เซ็นต์)	ค่าความหนืดเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (เซนติพอยส์)
0	679.85 ± 6.92[e]
0.5	4373.07 ± 6.93[d]
1.0	5006.93 ± 6.93[c]
1.5	7158.47 ± 6.00[b]
2.0	7274.45 ± 6.93[a]

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

การขึ้นฟู (Over run) หมายถึงปริมาตรที่เพิ่มขึ้นของไอศกรีมจากส่วนผสมไอศกรีมเหลว เนื่องจากการอัดอากาศในระหว่างการผลิต (อุมาพร มีเดช และคณะ, 2556) หากไอศกรีมมีค่าการขึ้นฟูสูง หมายถึงปริมาตรของอากาศในไอศกรีมมีมาก และหากมีค่าการขึ้นฟูต่ำ หมายถึงปริมาตรอากาศในไอศกรีมมีน้อย การจับอากาศไว้ในโครงสร้างไอศกรีมไม่ดี (Marshall & Arbuckle, 1996) การขึ้นฟูของไอศกรีมที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงปริมาณต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4-15 พบว่าการเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงมากขึ้นมีผลให้ค่าการขึ้นฟูมากขึ้น ($p<0.05$) โดยไอศกรีมที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผง 2.0 เปอร์เซ็นต์ มีการขึ้นฟูมากที่สุด เท่ากับ 39.17 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4-15 ค่าการขึ้นฟูของไอศกรีมไขมันต่ำที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงปริมาณต่างๆ

ปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผง (เปอร์เซ็นต์)	ค่าการขึ้นฟูเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (เปอร์เซ็นต์)
0	13.03 ± 0.60[e]
0.5	14.32 ± 0.55[d]
1.0	22.85 ± 0.08[c]
1.5	35.39 ± 0.13[b]
2.0	39.17 ± 0.28[a]

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

จากผลการทดลองพบแนวโน้มที่มีความสัมพันธ์กันระหว่างค่าความหนืดกันการขึ้นฟู โดยพบว่าสิ่งทดลองที่มีความหนืดของไอศกรีมเหลวก่อนการแช่แข็งมากทำให้มีค่าการขึ้นฟูมาก ทั้งนี้เนื่องมาจากความหนืดของไอศกรีมเหลวมีส่วนช่วยให้เกิดการจับอากาศดีขึ้น ส่งผลให้ไอศกรีมมีค่าการขึ้นฟูสูง ถ้าไอศกรีมเหลวมีค่าความหนืดต่ำเกินไปหรือมีความเหลวมาก เมื่อนำมาตีอากาศด้วยเครื่องปั่นไอศกรีมจะจับกับอากาศได้น้อย และส่งผลให้ค่าการขึ้นฟูต่ำ (อุษา นาคจิรังกูร, 2541; ปิยนุสร์ น้อยดวง และ พัชรี โพธิ์ชัย, 2554) Marshall and Arbuckle (1996) กล่าวว่าโครงสร้าง

หลักของไอศกรีมได้แก่ ไขมัน โปรตีน และเซลล์อากาศ ในกระบวนการตีปั่นไอศกรีมเป็นการจับอากาศไว้ในโครงสร้าง ส่วนผสมไอศกรีมเหลวต้องมีความสามารถกักเก็บอากาศให้เหมาะสม จึงจะได้ไอศกรีมที่มีปริมาตรเพิ่มขึ้น มีลักษณะขึ้นฟู โดยปกติโครงสร้างในการกักเก็บอากาศที่สำคัญคือสามารถเกิดร่างแหของไขมัน (Fat coalescence) ที่แข็งแรงเพียงพอที่จะกักเก็บอากาศที่ได้จากกระบวนการตีปั่นไอศกรีม สอดคล้องกับงานวิจัยของ กนกพร คละวรรณดี และกรกนก สุมติร (2554) กล่าวว่าการศึกษาปริมาณการเติมเนื้อมังคุดและเจลาตินลงในไอศกรีมเซอร์เบทมังคุด พบว่าการเติมเนื้อมังคุดและเจลาตินมีผลให้ไอศกรีมเหลวมีความหนืดเพิ่มขึ้น และส่งผลให้ค่าการขึ้นฟูมากขึ้นด้วย และ Guven and Bkaraca (2002) รายงานว่าจากการศึกษาการเพิ่มปริมาณน้ำตาลและเนื้อสตรอเบอรี่ลงในไอศกรีมวนิลาโยเกิร์ต พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำตาลและเนื้อสตรอเบอรี่แช่แข็ง มีผลให้ความหนืดของไอศกรีมเหลวมีค่าเพิ่มขึ้น และมีความแตกต่างจากความหนืดของไอศกรีมสูตรควบคุมอย่างชัดเจน โดยทำให้ไอศกรีมมีค่าการขึ้นฟูเพิ่มขึ้นมากกว่าไอศกรีมสูตรควบคุม

อัตราการละลายของไอศกรีมไขมันต่ำเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงปริมาณต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4-16 พบว่าปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่เติมมีผลต่ออัตราการละลายของไอศกรีมที่เวลาใดๆ ($p<0.05$) โดยการเพิ่มปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงมีผลให้อัตราการละลายที่เวลาใดๆ ลดลง อาจเนื่องจากการเติมส่วนผสมที่มีความสามารถในการอุ้มน้ำสูงสามารถช่วยจับน้ำในไอศกรีมทำให้เกิดช่องว่างหรือฟองอากาศในไอศกรีมมากขึ้น เมื่อช่องว่างดังกล่าวเพิ่มขึ้นเม็ดไขมันในไอศกรีมจึงเกิดการรวมกันและเกิดโครงร่างตาข่ายที่แข็งแรงทำให้อัตราการละลายของไอศกรีมช้าลง (El-Rahman et al., 1997) และการเติมส่วนผสมที่มีสมบัติการจับกับน้ำและเป็นใยอาหารประเภทละลายน้ำได้ เมื่อใยอาหารดูดน้ำในส่วนผสม จะทำให้น้ำที่จะกลายเป็นน้ำแข็งมีปริมาณน้อยลง ส่งผลให้การนำความร้อนของไอศกรีมเกิดขึ้นช้า ไอศกรีมจึงมีอัตราการละลายน้อยลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Erkaya et al. (2012) กล่าวว่าการเพิ่มปริมาณของเนื้อเคพกูสเบอรี่ (Cape gooseberry) ซึ่งมีความสามารถในการอุ้มน้ำสูง เมื่อเติมลงในไอศกรีม 15 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณส่วนผสมทั้งหมด ช่วยชะลอการละลายของไอศกรีมได้ โดยไอศกรีมที่เพิ่มเนื้อเคพกูสเบอรี่ใช้เวลาที่ทำให้ไอศกรีมละลายหมด 4515 วินาที ซึ่งมากกว่าไอศกรีมสูตรควบคุมที่ใช้เวลาให้ไอศกรีมละลายหมด 4005 วินาที

เมื่อพิจารณาจากผลการทดลองพบว่าเมื่อวางไอศกรีมทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 60 นาที ไอศกรีมไขมันต่ำสูตรควบคุมซึ่งไม่มีการเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผง ไอศกรีมมีอัตราการละลายที่สูงที่สุด เท่ากับ 96.09 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่การเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงมากที่สุด 2.0 เปอร์เซ็นต์ ไอศกรีมมีอัตราการละลายต่ำที่สุด เท่ากับ 3.52 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้พบว่าไอศกรีมที่มีการเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผง 1.0 1.5 และ 2.0 เปอร์เซ็นต์ เมื่อตั้งทิ้งไว้ 10 นาที ไม่สามารถวัดอัตราการละลายได้ เนื่องจากของเหลวที่ละลายออกจากไอศกรีมยังไม่ไหลหยดลงภาชนะอย่างสมบูรณ์ สังเกตเห็นลักษณะเป็นของเหลวหนืดที่ละลายเคลือบอยู่ที่ผิวของไอศกรีมเท่านั้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีไอศกรีมที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผง 2.0 เปอร์เซ็นต์ เมื่อตั้งทิ้งไว้ 20 นาที ยังคงไม่สามารถวัดอัตราการละลายได้ จะสามารถวัดอัตราการละลายได้เมื่อตั้งทิ้งไว้ 30 นาที ซึ่งมีอัตราการละลายเริ่มต้นเพียง 0.10 เปอร์เซ็นต์ เท่านั้น แสดงให้เห็นว่าการเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงสามารถช่วยชะลอการละลายของไอศกรีมได้

4.4.2 คุณภาพทางประสาทสัมผัส

จากตารางที่ 4-17 พบว่าไอศกรีมไขมันต่ำที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเล 0.5-1.0 เปอร์เซ็นต์ ได้รับคะแนนความชอบทุกด้านอย่างน้อยเท่ากับ 6 (6.0-7.1) ซึ่งหมายถึงชอบระดับเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง ส่วนไอศกรีมไขมันต่ำเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผง 1.5-2.0 เปอร์เซ็นต์ ได้รับคะแนนความชอบทุกด้านอยู่ในช่วงต่ำกว่า (4.6-6.8) ซึ่งหมายถึงไม่ชอบเล็กน้อยถึงชอบเล็กน้อย แสดงให้เห็นแนวโน้มว่าการเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงปริมาณมากขึ้น (1.5-2.0 เปอร์เซ็นต์) มีผลทำให้ได้รับคะแนนความชอบด้านต่างๆ ลดลง

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสกับไอศกรีมไขมันต่ำสูตรควบคุม พบแนวโน้มคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ และความชอบด้านสี เป็นไปในแนวทางเดียวกันคือการเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงเพิ่มมากขึ้น ตั้งแต่ 0.5-1.5 เปอร์เซ็นต์ทำให้ได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ และความชอบด้านสีไม่แตกต่างจากไอศกรีมไขมันต่ำสูตรควบคุม ($p \geq 0.05$) แต่การเพิ่มปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงเป็น 2.0 เปอร์เซ็นต์ มีผลให้คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ และความชอบด้านสีน้อยกว่าไอศกรีมไขมันต่ำสูตรควบคุม ($p<0.05$) คะแนนความชอบด้านกลิ่นรส พบว่าการเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงเพิ่มมากขึ้น ตั้งแต่ 0.5-1.0 เปอร์เซ็นต์ ได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่นรสไม่แตกต่างจากไอศกรีมไขมันต่ำสูตรควบคุม ($p \geq 0.05$) แต่การเพิ่มปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงเป็น 1.5-2.0 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ความชอบด้านกลิ่นรสลดลงจนต่างกับไอศกรีมไขมันต่ำสูตรควบคุม ($p<0.05$) คะแนนความชอบด้านรสชาติ และความชอบด้านเนื้อสัมผัสมีแนวโน้มเป็นไปในทางเดียวกัน พบว่าการเติมสาหร่ายผักกาดผง 0.5 เปอร์เซ็นต์ ได้รับคะแนนความชอบด้านรสชาติ และความชอบด้านเนื้อสัมผัสไม่แตกต่างจากไอศกรีมไขมันต่ำสูตรควบคุม ($p \geq 0.05$) แต่การเพิ่มปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงเป็น 1.0-2.0 เปอร์เซ็นต์ ทำให้คะแนนความชอบด้านรสชาติ และความชอบด้านเนื้อสัมผัสลดลงและต่างกับไอศกรีมไขมันต่ำสูตรควบคุม ($p<0.05$) เมื่อพิจารณาคะแนนด้านความชอบโดยรวม พบว่าการเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผง 0.5 เปอร์เซ็นต์ ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมไม่แตกต่างจากไอศกรีมไขมันต่ำสูตรควบคุม ($p \geq 0.05$) โดยได้คะแนนความชอบโดยรวม เท่ากับ 7.1 และ 7.3 ตามลำดับ ซึ่งหมายถึงระดับชอบปานกลาง การเพิ่มปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงเป็น 1.0 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ความชอบโดยรวมลดลงและต่างกับไอศกรีมไขมันต่ำสูตรควบคุม ($p<0.05$) โดยได้คะแนนความชอบโดยรวม เท่ากับ 6.2 ซึ่งหมายถึงชอบเล็กน้อย และการเพิ่มปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงเป็น 1.5 และ 2.0 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ความชอบโดยรวมต่ำที่สุดเท่ากับ 5.5 และ 5.0 ตามลำดับซึ่งหมายถึงเฉยๆ (บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ)

ตารางที่ 4-16 อัตราการละลายของไอศกรีมไขมันต่ำเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงปริมาณต่างๆ เมื่อตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิเป็นเวลาต่างๆ

ปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผง (เปอร์เซ็นต์)	อัตราการละลายเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (เปอร์เซ็นต์)					
	นาทีที่ 10	นาทีที่ 20	นาทีที่ 30	นาทีที่ 40	นาทีที่ 50	นาทีที่ 60
0	1.59 ± 0.25[a]	17.69 ± 0.69[a]	37.26 ± 0.70[a]	60.46 ± 0.40[a]	84.16 ± 0.43[a]	96.09 ± 0.34[a]
0.5	0.88 ± 0.04[b]	9.13 ± 0.11[b]	30.14 ± 0.41[b]	55.03 ± 0.58[b]	80.32 ± 0.44[b]	94.21 ± 0.30[b]
1.0	0.00 ± 0.00*	0.08 ± 0.01[c]	3.52 ± 0.15[c]	18.10 ± 0.11[c]	37.69 ± 0.20[c]	62.05 ± 0.22[c]
1.0	0.00 ± 0.00*	0.06 ± 0.002[d]	0.17±0.004[d]	1.02 ± 0.04[d]	4.72±0.06[d]	7.41 ± 0.16[d]
2.0	0.00 ± 0.00*	0.00 ± 0.00*	0.10±0.004[d]	1.03 ± 0.03[d]	1.58±0.08[e]	3.52 ± 0.08[e]

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

* หมายถึงไม่สามารถวัดอัตราการละลายได้ อัตราการละลาย เท่ากับ 0

ตารางที่ 4-17 คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบของไอศกรีมไขมันต่ำเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงปริมาณต่างๆ

ปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผง (เปอร์เซ็นต์)	ค่าคุณภาพ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน					
	ความชอบด้านลักษณะปรากฏ	ความชอบด้านสี	ความชอบด้านกลิ่นรส	ความชอบด้านรสชาติ	ความชอบด้านเนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
0	7.3 ± 1.05[a]	7.4 ± 1.13[a]	6.6 ± 1.33[a]	6.7 ± 1.39[a]	6.8 ± 1.06[a]	7.3 ± 1.17[a]
0.5	7.0 ± 1.43[a]	6.8 ± 1.44[a]	6.6 ± 1.16[a]	6.8 ± 1.17[a]	6.7 ± 1.31[a]	7.1 ± 1.12[a]
1.0	7.1 ± 1.09[a]	7.1 ± 1.05[a]	6.4 ± 1.25[a]	6.0 ± 1.69[b]	6.3 ± 1.44[b]	6.2 ± 1.59[b]
1.5	6.8 ± 1.31[a]	6.7 ± 1.07[a]	5.2 ± 1.49[b]	5.0 ± 1.87[c]	5.8 ± 1.32[c]	5.5 ± 1.38[c]
2.0	6.2 ± 1.54[b]	5.9 ± 1.57[b]	5.2 ± 1.45[b]	4.6 ± 1.99[c]	5.7 ± 1.70[d]	5.0 ± 1.86[c]

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

4.4.3 ผลการคัดเลือกสิ่งทดลอง

จากเกณฑ์ที่กำหนดไว้คือเลือกไอศกรีมที่มีการเติมสาหร่ายผักกาดทะเลที่ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด และไอศกรีมสูตรที่เหมาะสมควรได้รับคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบ (ได้คะแนนอย่างน้อย 6 คะแนน) ผลการทดลองพบว่าไอศกรีมไขมันต่ำที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเล 0.5 เปอร์เซ็นต์ มีคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด ได้รับคะแนนเท่ากับ 7.1 คะแนน รองลงมาคือ ไอศกรีมไขมันต่ำที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเล 1.0 เปอร์เซ็นต์ ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมเท่ากับ 6.2 คะแนน จากผลการพิจารณาพบว่าไอศกรีมไขมันต่ำที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผง 0.5 และ 1.0 เปอร์เซ็นต์ ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมมากกว่า 6 คะแนน ทั้ง 2 สูตร แสดงถึงความเป็นไปได้ที่จะได้รับการยอมรับจากผู้บริโภค การเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงในปริมาณมากมีแนวโน้มให้คุณภาพทางเคมีกายภาพดีมากขึ้น จึงนำไอศกรีมไขมันต่ำที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผง 0.5 และ 1.0 เปอร์เซ็นต์ มาวิเคราะห์ต่อในขั้นตอนต่อไป

จากการนำไอศกรีมไขมันต่ำเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผง 0.5 และ 1.0 เปอร์เซ็นต์ มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและปริมาณสารพฤกษเคมีที่สำคัญ โดยเปรียบเทียบกับไอศกรีมไขมันต่ำสูตรควบคุม แสดงผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4-18 พบว่าการเติมสาหร่ายผักกาดทะเล 0.5 และ 1.0 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ไอศกรีมไขมันต่ำมีปริมาณแคลเซียม ปริมาณแคโรทีนอยด์ และปริมาณใยอาหารทั้งหมดเพิ่มขึ้นมากกว่าไอศกรีมไขมันต่ำสูตรควบคุม โดยการเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผง 1.0 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณสารดังกล่าวสูงที่สุด ($p<0.05$) และพบว่าการเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผง 0.5 และ 1.0 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ไอศกรีมไขมันต่ำมีปริมาณโปรตีนและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นมากกว่าไอศกรีมไขมันต่ำสูตรควบคุม แต่การเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผง 0.5 และ 1.0 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณสารดังกล่าวไม่แตกต่างกัน ($p\geq0.05$) นอกจากนี้พบว่าการเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผง 0.5 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ไอศกรีมไขมันต่ำมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกไม่แตกต่างกับไอศกรีมไขมันต่ำสูตรควบคุม ($p\geq0.05$) แต่การเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผง 1.0 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ไอศกรีมไขมันต่ำมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมากที่สุด ($p<0.05$) ในขณะที่ปริมาณไอโอดีนและไขมันของไอศกรีมทุกสูตรไม่มีความแตกต่างกัน ($p\geq0.05$)

จากผลการทดลองจึงแสดงให้เห็นว่าการนำสาหร่ายผักกาดทะเลมาทำแห้งและบดเป็นผงสามารถนำมาเติมในไอศกรีมเพื่อเพิ่มปริมาณองค์ประกอบทางเคมีและปริมาณสารพฤกษเคมีที่สำคัญได้ โดยไอศกรีมที่ได้ยังจัดเป็นไอศกรีมไขมันต่ำ (Low-fat ice cream) มีปริมาณไขมันอยู่ในช่วง 2-4 เปอร์เซ็นต์ โดยไอศกรีมไขมันต่ำเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผง 0.5 เปอร์เซ็นต์ มีโปรตีน 2.36 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนักแห้ง) แคลเซียม 9.843 มิลลิกรัม/100 กรัม ไขมัน 2.77 เปอร์เซ็นต์ แคโรทีนอยด์ 0.0987 ไมโครกรัม/100กรัม สารประกอบฟีนอลิก 40.42 กรัม/100กรัม ใยอาหารทั้งหมด 0.1644 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนักแห้ง) และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระรายงายในรูปแบบ %Inhibition เท่ากับ 44.40 ส่วนไอศกรีมไขมันต่ำเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผง 1.0 เปอร์เซ็นต์ มีโปรตีน 2.53 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนักแห้ง) แคลเซียม 14.835 มิลลิกรัม/100 กรัม ไขมัน 2.78 เปอร์เซ็นต์ แคโรทีนอยด์ 0.1143 ไมโครกรัม/100กรัม สารประกอบฟีนอลิก 41.56 กรัม/100 กรัม ใยอาหารทั้งหมด 0.277 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนักแห้ง) และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระรายงายในรูปแบบ

%Inhibition เท่ากับ 45.13 โดยปริมาณไอโอดีนในไอศกรีมทุกสิ่งทดลองได้มีปริมาณต่ำมาก (น้อยกว่า 10 มิลลิกรัม/100 กรัม)

ตารางที่ 4-18 คุณภาพทางเคมีของไอศกรีมไขมันต่ำที่เติมและไม่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผง

ค่าคุณภาพ	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (เปอร์เซ็นต์)		
	สูตรควบคุม	เติมสาหร่าย 0.5 เปอร์เซ็นต์	เติมสาหร่าย 1.0 เปอร์เซ็นต์
โปรตีน (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง)	2.06 ± 0.02[b]	2.36 ± 0.03[a]	2.53 ± 0.06[a]
ไอโอดีน[ns] (มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง)	<10.00	<10.00	<10.00
แคลเซียม (มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักแห้ง)	4.932 ± 0.003[c]	9.834 ± 0.003[b]	14.835 ± 0.020[a]
ไขมัน[ns] (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง)	2.64 ± 0.13	2.77 ± 0.17	2.78 ± 0.21
แคโรทีนอยด์ (ไมโครกรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง)	0.0828 ± 0.0005[c]	0.0987 ± 0.0001[b]	0.1143 ± 0.0006[a]
สารประกอบฟีนอลิก[#] (กรัม/100กรัม)	40.04 ± 0.17[b]	40.42 ± 0.33[b]	41.56 ± 0.17[a]
ใยอาหารทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง)	0.051 ± 0.0005[c]	0.1644 ± 0.0002[b]	0.2775 ± 0.0005[a]
สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (%Inhibition)	38.39 ± 0.61[b]	44.40 ± 0.80[a]	45.13 ± 0.60[a]

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

[a,b,c,...] ค่าในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

[#] รายงานโดยเทียบกับน้ำหนักของสารสกัดตัวอย่าง

4.5 ผลของการเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงต่อคุณภาพของขนมขบเคี้ยวที่ขึ้นรูปจากข้าวและปลา

จากการนำสาหร่ายผักกาดทะเลผงขนาดอนุภาคเล็กกว่า 177 ไมครอน มาเติมลงในขนมขบเคี้ยวที่ขึ้นรูปจากข้าวและปลา โดยแปรปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงเป็น 0 (ตัวควบคุม) 10 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด ผลิตขนมขบเคี้ยวตามขั้นตอนที่กำหนดและนำมาทอดให้สุก แล้วนำผลิตภัณฑ์มาวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีกายภาพ ได้แก่ ค่าสี ค่าความแข็ง ปริมาณโปรตีน ปริมาณไขมัน สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ และคุณภาพทางประสาทสัมผัส แสดงผลดังตารางที่ 4-19 ถึง 4-22 ผลการทดลองมีรายละเอียดดังนี้

4.5.1 คุณภาพทางเคมีกายภาพ

ลักษณะปรากฏของขนมขบเคี้ยวที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงปริมาณต่างๆ แสดงดังภาพที่ 4-5 จากตารางที่ 4-19 พบว่า ปริมาณการเติมสาหร่ายผักกาดทะเลมีผงมีผลต่อค่าสี L* a* และ b* ของขนมขบเคี้ยว ($p<0.05$) จากผลการทดลองพบว่าค่า a* มีค่าเป็นบวก (+) แสดงถึงค่าสีแดง ส่วนค่า b* มีค่าเป็นบวก (+) แสดงถึงค่าสีเหลือง โดยเมื่อเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงในปริมาณมากขึ้นทำให้ค่าความสว่าง (L*) มีแนวโน้มลดลง ในขณะที่ค่าความเป็นสีแดง (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนผสมหลักของขนมขบเคี้ยวคือข้าวข้าวเหนียวดำซึ่งมีสีออกม่วงคล้ำ และปลากะตักป่นซึ่งมีสีออกน้ำตาลอ่อน การเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงเพิ่มขึ้นมีแนวโน้มทำให้ลดสีออกม่วงคล้ำและสีน้ำตาลอ่อนลงได้ เนื่องจากสาหร่ายผักกาดทะเลผงมีสีเขียว อย่างไรก็ตามการเติมในช่วง 10-20 เปอร์เซ็นต์ ไม่ได้ทำให้ขนมขบเคี้ยวมีสีเขียวมากนัก นอกจากนี้เมื่อผ่านกระบวนการทอด สีเขียวของสาหร่ายเปลี่ยนเป็นสีเขียวคล้ำจึงทำให้สีโดยรวมของขนมขบเคี้ยวมีสีเขียวคล้ำมากขึ้น ผลการทดลอง พบว่า ขนมขบเคี้ยวที่มีการเติมสาหร่ายผงมากถึง 20 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้ขนมขบเคี้ยวมีค่า L* น้อยที่สุด ในขณะที่มีค่า a* และ b* ไม่แตกต่างกันกับขนมขบเคี้ยวที่เติมสาหร่ายผง 15 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)

จากตารางที่ 4-20 พบว่า ปริมาณการเติมสาหร่ายผักกาดทะเลมีผงมีผลต่อค่าความแข็งของขนมขบเคี้ยว ($p<0.05$) จากผลการทดลอง พบว่า เมื่อเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงถึง 15-20 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ขนมขบเคี้ยวมีความแข็งลดลง (0.84-0.89 กิโลกรัม) และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับขนมขบเคี้ยวสูตรควบคุมและขนมขบเคี้ยวที่มีการเติมสาหร่ายผง 10 เปอร์เซ็นต์ (1.08-1.11 กิโลกรัม)ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสาหร่ายผักกาดทะเลผงมีความสามารถในการอุ้มน้ำ จึงสามารถดูดน้ำไว้ในโมเลกุลได้ดี หรือกล่าวได้ว่าการเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงสามารถไปกับน้ำในส่วนผสมได้มากขึ้น จึงมีผลให้โครงสร้างของขนมขบเคี้ยวมีความแข็งลดลง นอกจากนี้สาหร่ายผักกาดทะเลผงมีความสามารถในการอุ้มน้ำมันด้วย จึงสามารถดูดซับน้ำมันในระหว่างการทอดไว้ ส่งผลให้เนื้อสัมผัสมีความแข็งลดลงได้ ทั้งนี้องค์ประกอบสำคัญที่เกี่ยวข้องกับสมบัติการอุ้มน้ำและอุ้มน้ำมันคือ การที่สาหร่ายผักกาดทะเลมีองค์ประกอบของใยอาหารที่ละลายน้ำได้อยู่สูงนั่นเอง (ไพโรจน์ หลวงพิทักษ์และเบญจวรรณ ธรรมธนารักษ์, 2538)

ก) ขนมขบเคี้ยวเติมสาหร่ายผง 0 เปอร์เซ็นต์ (ตัวควบคุม)

ข) ขนมขบเคี้ยวเติมสาหร่ายผง 10 เปอร์เซ็นต์

ค) ขนมขบเคี้ยวเติมสาหร่ายผง 15 เปอร์เซ็นต์

ง) ขนมขบเคี้ยวเติมสาหร่ายผง 20 เปอร์เซ็นต์

ภาพที่ 4-5 ลักษณะของขนมขบเคี้ยวที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงปริมาณต่างๆ ก) ขนมขบเคี้ยวเติมสาหร่ายผง 0 เปอร์เซ็นต์ (ตัวควบคุม) ขนมขบเคี้ยวเติมสาหร่ายผง 10 เปอร์เซ็นต์ ค) ขนมขบเคี้ยวเติมสาหร่ายผง 15 เปอร์เซ็นต์ ง) ขนมขบเคี้ยวเติมสาหร่ายผง 20 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4-19 ค่าสี L* a* b* ของขนมขบเคี้ยวที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงปริมาณต่างๆ

ปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผง (เปอร์เซ็นต์)	ค่าสีเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	L*	a*	b*
0	20.78 ± 0.17[a]	4.72 ± 0.18[c]	5.57 ± 0.35[c]
10	18.61 ± 0.19[b]	6.15 ± 0.94[b]	7.59 ± 0.97[b]
15	17.25 ± 0.11[c]	9.07 ± 0.87[a]	10.17 ± 0.87[a]
20	15.19 ± 0.19[d]	9.79 ± 0.22[a]	10.09 ± 0.24[a]

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

ตารางที่ 4-20 ค่าความแข็งของขนมขบเคี้ยวที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงปริมาณต่างๆ

ปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผง (เปอร์เซ็นต์)	ค่าความแข็งเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (กิโลกรัม)
0	1.08 ± 0.04[a]
10	1.11 ± 0.18[a]
15	0.89 ± 0.11[b]
20	0.84 ± 0.09[b]

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

จากการนำขนมขบเคี้ยวที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผง 0 10 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ มาวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน ปริมาณไขมัน และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ แสดงผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4-21 พบว่า ขนมขบเคี้ยวที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลปริมาณมากขึ้นทำให้มีปริมาณโปรตีนมากขึ้น แสดงให้เห็นว่าสาหร่ายผักกาดทะเลผงเป็นแหล่งที่ดีของโปรตีน สามารถใช้เสริมปริมาณโปรตีนให้กับผลิตภัณฑ์ได้ โดยขนมขบเคี้ยวที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผง 20 เปอร์เซ็นต์ ทำให้มีปริมาณโปรตีนสูงที่สุดเท่ากับ 27.48 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง อย่างไรก็ตามการเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงปริมาณมากขึ้นทำให้มีแนวโน้มปริมาณไขมันเพิ่มขึ้นด้วย ขนมขบเคี้ยวที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเล 15-20 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณไขมัน (15.65-15.94 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง) สูงกว่าปริมาณไขมันของขนมขบเคี้ยวสูตรควบคุมและขนมขบเคี้ยวที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผง 10 เปอร์เซ็นต์ (12.64-13.10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสาหร่ายผักกาดทะเลผงมีความสามารถในการอุ้มน้ำมันได้ 3.24 กรัมน้ำมัน/กรัม จึงมีโอกาสอุ้มน้ำมันไว้ในระหว่างการทอดมากขึ้นเมื่อเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงมากขึ้น สำหรับด้านสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ พบว่า ขนมขบเคี้ยวที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเล 15-20 เปอร์เซ็นต์ ทำให้มีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (%inhibition 41.28-47.62) มากกว่าขนมขบเคี้ยวสูตรควบคุมและขนมขบเคี้ยวที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเล 10 เปอร์เซ็นต์ (%inhibition 38.14-39.04) ($p<0.05$) มีความเป็นไปได้ว่าสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญในขนมขบเคี้ยวมาจากองค์ประกอบหลัก คือข้าวเหนียวดำพันธุ์ลืมผัว (ใช้ข้าวเหนียวดำในสัดส่วน 45 เปอร์เซ็นต์ ปลากะตักป่น 5 เปอร์เซ็นต์ และน้ำ 50 เปอร์เซ็นต์) โดยมีสารต้านอนุมูลอิสระสำคัญคือแอนโทไซยานิน ซึ่งเป็นรงควัตถุที่มีมากบริเวณเยื่อหุ้มเมล็ด นอกจากนี้ยังมีสารต้านอนุมูลอิสระอื่นได้แก่ ทองแดง เหล็ก แคลเซียม แมงกานีส วิตามินอี แกมมา-โอไรซานอล ในปริมาณสูง (กองวิจัยและพัฒนาข้าว, 2556) อย่างไรก็ตามมีรายงานว่าการนำข้าวที่มีรงควัตถุจำพวกแอนโทไซยานินไปแปรรูปโดยเฉพาะการผ่านความร้อน จะมีโอกาสให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระลดลง (กองบรรณาธิการการเกษตร, 2557) อย่างไรก็ตามในสาหร่ายผักกาดทะเลผงก็มีสมบัติต้านอนุมูลอิสระที่รายงานในรูป % inhibition อยู่ถึง 53.14% เนื่องจากมีองค์ประกอบของสารพฤกษเคมีที่มีสมบัติ

ต้านอนุมูลอิสระ เช่น สารประกอบโพลีฟีนอล และแคโรทีนอยด์ (Jimenez-Escrig et al.,2001; Sanchez-Machado et al., 2002)

ตารางที่ 4-21 ปริมาณโปรตีน ไขมัน และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของขนมขบเคี้ยวที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงปริมาณต่างๆ

ปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผง (เปอร์เซ็นต์)	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	ปริมาณโปรตีน (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง)	ปริมาณไขมัน (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง)	สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (%inhibition)
0	13.58 ± 0.84^{d}	12.64 ± 0.82^{c}	38.14 ± 0.25^{b}
10	18.24 ± 1.04^{c}	13.10 ± 0.22^{b}	39.04 ± 0.48^{b}
15	21.51 ± 1.28^{b}	15.65 ± 0.42^{a}	41.28 ± 0.49^{a}
20	27.48 ± 0.89^{a}	15.94 ± 0.55^{a}	47.62 ± 0.51^{a}

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

4.5.2 คุณภาพทางประสาทสัมผัส

เมื่อนำผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวทุกสิ่งทดลองมาทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัสพบว่าปริมาณการเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงมีผลต่อคะแนนความชอบของขนมขบเคี้ยวทุกด้านได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ($p<0.05$) แสดงตังตารางที่ 4-22 เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏพบว่า ขนมขบเคี้ยวสูตรควบคุมได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏสูงที่สุด ($p<0.05$) ขนมขบเคี้ยวที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผง 10-20 เปอร์เซ็นต์ได้คะแนนไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) ซึ่งได้คะแนนความชอบระดับชอบเล็กน้อย (6.21–6.82) สำหรับคะแนนความชอบด้านสี พบว่า มีแนวโน้มคะแนนคล้ายกับด้านลักษณะปรากฏกล่าวคือเมื่อเพิ่มปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงในผลิตภัณฑ์มากขึ้นทำให้ได้รับคะแนนความชอบด้านสีลดลง โดยขนมขบเคี้ยวสูตรควบคุมได้รับคะแนนสูงที่สุด ($p<0.05$) ขนมขบเคี้ยวที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผง 10-20 เปอร์เซ็นต์ได้คะแนนไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) ซึ่งได้คะแนนความชอบระดับชอบเล็กน้อย (6.15–6.32) ทั้งนี้เนื่องมาจากขนมขบเคี้ยวที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงมีสีเขียวคล้ำมากขึ้น

สำหรับคะแนนความชอบด้านรสชาติ พบว่า ขนมขบเคี้ยวที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผง 10 เปอร์เซ็นต์ ได้รับคะแนนความชอบสูงที่สุด ($p<0.05$) แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับคะแนนความชอบของขนมขบเคี้ยวที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผง 15 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามเมื่อเติมเลือดปลาทูน่าผงมากถึง 20 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ได้รับคะแนนความชอบด้านรสชาติลดลงจนได้คะแนนความชอบระดับเฉยๆ (5.05) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงมากขึ้นทำ

ตารางที่ 4-22 คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบของขนมขบเคี้ยวที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงปริมาณต่างๆ

ปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผง (เปอร์เซ็นต์)	คะแนนความชอบเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				
	ความชอบด้านลักษณะปรากฏ	ความชอบด้านสี	ความชอบด้านรสชาติ	ความชอบด้านเนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
0	7.31 ± 1.08[a]	7.35 ± 1.22[a]	6.17 ± 0.58[b]	5.89 ± 0.58[c]	6.33 ± 1.01[b]
10	6.21 ± 1.32[b]	6.25 ± 0.39[b]	7.21 ± 1.01[a]	6.81 ± 0.39[a]	7.11 ± 0.89[a]
15	6.55 ± 1.11[b]	6.15 ± 1.05[b]	7.18 ± 1.17[a]	6.92 ± 1.01[a]	7.23 ± 0.65[a]
20	6.82 ± 1.36[b]	6.32 ± 1.32[b]	5.05 ± 0.58[c]	6.18 ± 1.01[b]	5.71 ± 0.88[c]

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

ให้มีรสชาติคล้ายน้ำมันมากขึ้นผู้ทดสอบจึงมีแนวโน้มไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณไขมันที่วิเคราะห์ได้ที่พบว่าการเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงปริมาณมากขึ้นมีแนวโน้มให้มีการอุ้มน้ำมันในผลิตภัณฑ์มากขึ้น ทำให้ผู้ทดสอบอาจรู้สึกถึงรสชาติของน้ำมันได้ชัดเจนขึ้น จึงให้คะแนนความชอบด้านรสชาติลดลง

สำหรับคะแนนความชอบด้านรสชาติ พบว่า ขนมขบเคี้ยวที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผง 10 เปอร์เซ็นต์ ได้รับคะแนนความชอบสูงที่สุด ($p<0.05$) แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับคะแนนความชอบของขนมขบเคี้ยวที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผง 15 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามเมื่อเติมเลือดปลาทูน่าผงมากถึง 20 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ได้รับคะแนนความชอบด้านรสชาติลดลงจนได้คะแนนความชอบระดับเฉยๆ (5.05) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงมากขึ้นทำให้มีรสชาติคล้ายน้ำมันมากขึ้นผู้ทดสอบจึงมีแนวโน้มไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณไขมันที่วิเคราะห์ได้ที่พบว่าการเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงปริมาณมากขึ้นมีแนวโน้มให้มีการอุ้มน้ำมันในผลิตภัณฑ์มากขึ้น ทำให้ผู้ทดสอบอาจรู้สึกถึงรสชาติของน้ำมันได้ชัดเจนขึ้น จึงให้คะแนนความชอบด้านรสชาติลดลง

ด้านคะแนนความชอบเนื้อสัมผัส พบว่า ขนมขบเคี้ยวที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผง 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ ได้รับคะแนนความชอบสูงที่สุด ($p<0.05$) ในขณะที่ขนมขบเคี้ยวที่เติมเลือดปลาทูน่าผง 20 เปอร์เซ็นต์ ได้รับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสรองลงมา โดยพบว่าขนมขบเคี้ยวที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงทั้ง 3 ระดับ ได้รับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสมากกว่าสูตรควบคุม ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงเพิ่มลงในส่วนผสมทำให้ผลิตภัณฑ์มีโครงสร้างแข็งแรงลดลงเนื่องจากมีการอุ้มน้ำในส่วนผสมได้มากขึ้น เมื่อผ่านการทอดทำให้ได้ผลิตภัณฑ์มีความแห้งแข็งลดลง ผู้ทดสอบจึงชอบผลิตภัณฑ์มากกว่า เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบโดยรวมพบว่าขนมขบเคี้ยวที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผง 10 และ 15% ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด ($p<0.05$) ได้รับคะแนนความชอบระดับเล็กน้อย (6.11-6.23)

4.5.3 ผลการคัดเลือกสิ่งทดลอง

จากเกณฑ์ที่กำหนดไว้คือเลือกขนมขบเคี้ยวที่มีการเติมสาหร่ายผักกาดทะเลที่ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด และขนมขบเคี้ยวสูตรที่เหมาะสมควรได้รับคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบ (ได้คะแนนอย่างน้อย 6 คะแนน) ผลการทดลองพบว่าขนมขบเคี้ยวที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเล 10 เปอร์เซ็นต์ และ 15 เปอร์เซ็นต์ ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด($p<0.05$) ได้รับคะแนนเท่ากับ 7.11 และ 7.23 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาร่วมกับคุณภาพทางเคมีกายภาพ พบว่า ขนมขบเคี้ยวที่มีการเติมสาหร่ายผักกาดทะเล 15 เปอร์เซ็นต์ เป็นสิ่งทดลองที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากเป็นปริมาณการเติมสาหร่ายผักกาดทะเลที่สูงที่สุดที่สามารถเติมลงในผลิตภัณฑ์โดยผู้บริโภคยังคงให้ความชอบระดับสูง มีคุณค่าทางโภชนาการด้านปริมาณโปรตีนเท่ากับ 21.51 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

แห้งและปริมาณไขมันเท่ากับ 15.65 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง รวมทั้งมีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 41.28 % inhibition

4.6 การถ่ายทอดเทคโนโลยีและความรู้ที่ได้จากการวิจัยสู่ชุมชน

จัดทำเอกสารเผยแพร่ความรู้ที่ได้โดยมีรายละเอียดบทสรุปโดยย่อจากการวิจัย วิธีการผลิตสาหร่ายผักกาดทะเลผง และสูตรอาหารเพื่อสุขภาพที่มีการเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่พัฒนาได้จำนวน 100 ชุด โดยมุ่งหมายเพื่อเผยแพร่ความรู้ส่งมอบให้กับชุมชน ประสานงานส่งมอบให้กับองค์การบริหารส่วนตำบล องค์การบริหารส่วนจังหวัด รวมถึงกลุ่มแม่บ้านในภาคตะวันออก ได้แก่ จังหวัดระยอง และจังหวัดตราด ตัวอย่างเอกสารที่ใช้เผยแพร่ความรู้สู่ชุมชนแสดงดังภาพที่ 4-6

ภาพที่ 4-6 ตัวอย่างเอกสารที่ใช้เผยแพร่ความรู้ที่ได้สู่ชุมชน

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1) จากการศึกษาการเตรียมขั้นต้นสาหร่ายผักกาดทะเลก่อนการทำแห้งด้วยวิธีการลวกในน้ำ การลวกในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ และการแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ต่อคุณภาพของสาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้ง พบว่า วิธีการเตรียมขั้นต้นมีผลต่อปริมาณโปรตีน ปริมาณใยอาหารทั้งหมด ปริมาณแคโรทีนอยด์ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ และค่าสีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยการเตรียมขั้นต้นด้วยการแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 240 วินาที มีความเหมาะสมที่สุด ได้สาหร่ายผักกาดทะเลที่มีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด (%Inhibition เท่ากับ 57.32) และมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงที่สุด (เท่ากับ 5.83 กรัมแกลลิก/100 กรัม) โดยยังคงมีองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญในปริมาณสูงที่สุดได้แก่ ปริมาณใยอาหารทั้งหมด เท่ากับ 22.62 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนักแห้ง) ปริมาณโปรตีน เท่ากับ 22.57 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนักแห้ง) และปริมาณแคโรทีนอยด์ เท่ากับ 2.08 ไมโครกรัม/100 กรัม รวมถึงมีปริมาณผลได้สูงที่สุด เท่ากับ 9.79 เปอร์เซ็นต์ โดยสาหร่ายผักกาดทะเลแห้งที่ได้ยังคงมีสีเขียวเข้ม

5.1.2) จากการศึกษาขนาดอนุภาคผงต่อต่อคุณภาพทางเคมีกายภาพของสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นด้วยการแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ พบว่า ขนาดอนุภาคผงมีผลต่อค่าสี ค่าความหนาแน่น ความสามารถในการละลาย ความสามารถในการอุ้มน้ำ ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน และความสามารถในการเกิดอิมัลชัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ไม่มีผลต่อปริมาณความชื้นและค่า aw อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) การบดสาหร่ายผักกาดทะเลแห้งให้มีขนาดอนุภาคผงเล็กที่สุด (ขนาดเล็กกว่า 177 ไมครอน) มีความเหมาะสมที่สุด ได้สาหร่ายผักกาดทะเลผงที่มีค่าความสว่าง (L*) มากที่สุด เท่ากับ 37.57 มีค่าความหนาแน่นสูงที่สุด เท่ากับ 0.176 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร และมีสมบัติเชิงหน้าที่ทุกด้านสูงที่สุด ได้แก่ ความสามารถในการละลาย เท่ากับ 52.14 เปอร์เซ็นต์ ความสามารถในการอุ้มน้ำ เท่ากับ 14.74 กรัมน้ำ/กรัม ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน เท่ากับ 3.24 กรัมน้ำมัน/กรัม และความสามารถในการเกิดอิมัลชัน เท่ากับ 20.71 เปอร์เซ็นต์

5.1.3) จากการศึกษาปริมาณการเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงต่อคุณภาพของไอศกรีมไขมันต่ำที่เหมาะสม พบว่า ปริมาณการเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงมีผลต่อค่าสี ค่าความหนืดของไอศกรีมเหลว ค่าการขึ้นฟู อัตราการละลาย และคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัส แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ไม่มีผลต่อปริมาณของแข็งทั้งหมด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) ไอศกรีมไขมันต่ำที่มีการเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผง 0.5 เปอร์เซ็นต์ ได้รับคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมมากที่สุด ($p<0.05$) แต่ไอศกรีมไขมันต่ำที่มีการเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผง 1.0 เปอร์เซ็นต์ยังคงได้รับคะแนนความชอบทุกด้านอยู่ในระดับสูง โดยได้รับคะแนนความชอบโดยรวมเท่ากับ 6.2

คะแนน คุณภาพทางเคมีของไอศกรีมไขมันต่ำที่มีการเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผง 0.5 และ 1.0 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบกับไอศกรีมไขมันต่ำสูตรควบคุม พบว่า องค์ประกอบทางเคมีและปริมาณสารพฤกษเคมีที่สำคัญ ได้แก่ ปริมาณแคลเซียม ปริมาณแคโรทีนอยด์ ปริมาณใยอาหารทั้งหมด ปริมาณโปรตีน และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นมากกว่าไอศกรีมสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ส่วนปริมาณไอโอดีนและไขมันไม่มีความแตกต่างกับไอศกรีมสูตรควบคุม ($p\geq0.05$)

5.1.4) จากการศึกษาปริมาณการเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงต่อคุณภาพของขนมขบเคี้ยวที่ขึ้นรูปจากข้าวและปลาที่เหมาะสม พบว่า ปริมาณการเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงมีผลต่อ ปริมาณโปรตีน ปริมาณไขมัน สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ค่าสี ค่าความแข็ง และคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัส แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ขนมขบเคี้ยวที่มีการเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผง 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมมากที่สุด เท่ากับ 7.11 คะแนน และ 7.23 คะแนน ตามลำดับ คุณภาพทางเคมีของขนมขบเคี้ยวที่มีการเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผง 15 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบกับขนมขบเคี้ยวสูตรควบคุม พบว่า ปริมาณโปรตีน ปริมาณไขมัน และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นมากกว่าขนมขบเคี้ยวสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1) สามารถนำแนวทางการผลิตสาหร่ายผักกาดทะเลผงไปปรับใช้กับสาหร่ายที่บริโภคได้ชนิดอื่นๆ

5.2.2) ศึกษาการนำสาหร่ายผักกาดทะเลผงไปใช้เป็นส่วนประกอบในอาหารชนิดอื่น เช่น ผลิตภัณฑ์ขนมอบ เครื่องดื่มเสริมใยอาหาร เป็นต้น

รายการอ้างอิง

อภิญญา เจริญกูล. (2558). เทคโนโลยีของผลิตภัณฑ์นม. วันที่สืบค้น 31 ตุลาคม 2558. เข้าถึงได้จาก elearning2.utcc.ac.th/officialtcu/econtent/SF411/Lecture.swf.

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

กนกพร คละวรรณดี และกรกนก สุมิตร. (2554). *การศึกษาปริมาณเนื้อมังคุดและเจลาตินที่เหมาะสมในการผลิตไอศกรีมเชอร์เบทมังคุด*. สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร, คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมการเกษตร, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี.

กุลรภัส วชิรศิริ, โศรดา วัลภา, ดารงชัย สิทธิสาอางค์ และฐิติชญา สุวรรณทัพ. (2555). *การศึกษาผลของการเสริมใยอาหารจากเปลือกเงาะที่มีต่อคุณภาพของไอศกรีมนม*. ฝ่ายเทคโนโลยีอาหาร, สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.

กาญจนา สุภทนต์. (2538*). การพัฒนาอาหารว่างสำเร็จรูปจากผลไม้ไทยสำหรับเด็กวัยเรียน.* วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์, คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กองบรรณาธิการการเกษตร. (2557). *ไรซ์เบอร์รี่: ข้าวหอมสายพันธุ์ใหม่ พลิกชีวิตชาวนาไทย.* กรุงเทพฯ : ปัญญาชน.

กองโภชนาการ กรมอนามัย. (2544). *ตารางแสดงคุณค่าทางโภชนาการของอาหารไทย*. กระทรวงสาธารณสุข.

กองวิจัยและพัฒนาข้าว. (2555). *ข้าวเหนียวลืมผัว*. วันที่สืบค้น 31 ตุลาคม 2558. เข้าถึงได้จาก : http://www.brrd.in.th

จรรยา วัฒนาทวีกุล. (2545). ใยอาหารเพื่อสุขภาพ. *วารสารกรมวิทยาศาตร์บริการ, 50*, 28-31.

จุฑารัตน์ โกวิทยา, มาศอุบล ทองงาม และสมจิต สุรพัฒน์. (2549). *การปรับปรุงคุณภาพของไอศกรีมวานิลาลดไขมันโดยใช้อินนูลิน*. ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ฐิศิรักษ์ วรพัฒน์ผดุง, แสงระวี สุทธิปริญญานนท์ และผดุงขวัญ จิตโรภาส. (2555). *คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งมันสำปะหลังดัดแปรด้วยเทคนิคการใช้ด่างในแอลกอฮอล์.* สาขาวิชาเภสัชภัณฑ์, คณะเภสัชศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ดวงจันทร์ เฮงสวัสดิ์. (2545). ใยอาหารเพื่อสุขภาพ. *วารสารอาหาร, 32*, 157-159.

ดุจเดือน พิมทอง และวรัญญา บางศรี. (2555). *การผลิตสาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งเป็นอาหารว่างเพื่อสุขภาพสำหรับเด็กวัยเรียน*. สาขาเทคโนโลยีอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

ธงชัย สันติวงษ์. (2535). *อ้างถึงใน* กาญจนา สุภทนต์ (2538) *การพัฒนาอาหารว่างสำเร็จรูปจากผลไม้ไทยสำหรับเด็กวัยเรียน*. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นพรัตน์ ราชจินดา และสุทธินีย์ อิรนพไพบูลย์. (2551). *การศึกษาผลของชนิดและปริมาณของเส้นใยอาหารผงที่มีต่อคุณภาพของไอศกรีมนมสดเสริมเส้นใยอาหารผง*. ปัญหาพิเศษ, ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

นฤศันส์ วาสิกดิลก. (2541). *การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากปลายข้าวหอมมะลิ.* วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นิธิมา อรรถวานิช. (2546). *ใยอาหารผงจากเปลือกส้มเขียวหวานและการประยุกต์.* วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นิธิยา รัตนาปนนท์. (2549). *เคมีอาหาร.* กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.

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

ปิยนุสร์ น้อยดวง และพัชรี โพธิ์ชัย. (2554). การใช้ผงเมือกจากกระเจี๊ยบเขียวเป็นสารให้ความคงตัวในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมใบย่านาง. *วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม, 6*, 35-43.

พรพรรณ ปัญญาภิรมย์ *(2558).* ผู้ประกอบการ สู้ศึกขนมขบเคี้ยวไทย. วันที่สืบค้น 31 ตุลาคม 2558. เข้าถึงได้จาก http://www.forbesthailand.com/news-detail.php?did=650

เพ็ญขวัญ ชมปรีดา และทัศนีย์ คชสีห์. (2541). *อ้างถึงใน* รองรัตน์ รัตนาธรรมวัฒน์ (2546). *การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งเผือก.* ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ไพโรจน์ ช้ายเกลี้ยง. (2533). ปลากะตักในอ่าวไทย (รายงานทางวิชาการฉบับที่ 1/2533). กรุงเทพฯ: กรมประมง, กองประมงทะเล, กลุ่มประเมินสภาวะและทรัพยากรทะเล.

ไพโรจน์ หลวงพิทักษ์ และเบญจวรรณ ธรรมธนาภิรักษ์. (2538). เส้นใยอาหารกับคุณภาพชีวิต. *วารสารคุณค่าเพื่อชีวิต, 2*, 63-67.

ภัทรา กุลกิจวโรภาส. (2540). *การพัฒนาผลิตภัณฑ์ไอศกรีมลดพลังงานกลิ่นผลไม้ไทย*. สาขาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมการเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มุกดา เจริญสินทรัพย์, กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์, พัลลภ มนเดชา และอาภัสรา แสงนาค. (2548). *ผลของขนาดอนุภาคต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของเซลลูโลสผงจากฟางข้าว*. คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

รัชนี ตัณฑะพานิชกุล. (2535). *เคมีอาหาร*. (พิมพ์ครั้งที่ 4). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 356-374.

รองรัตน์ รัตนาธรรมวัฒน์. (2546). *การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งเผือก.* ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

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

วรรณา ตั้งเจริญชัย และวิบูลย์ศักดิ์ กาวิละ. (2531). *นมและผลิตภัณฑ์นม*. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.

วิชัย ตันไพจิตร. (2552). มากินใยอาหารกันเถอะ. *วารสารใกล้หมอ, 3*, 75-78.

วีระศักดิ์ สามี. (2550). แคโรทีนอยด์: โครงสร้างทางเคมีและกลไกที่มีต่อการทำหน้าที่ของร่างกาย. *ศรีนครินทรวิโรฒเภสัชสาร, 10*(1), 58-66.

ศูนย์วิจัยกสิกรไทย *(2553).* ขนมขบเคี้ยว. วันที่สืบค้น 31 ตุลาคม 2558. เข้าถึงได้จาก www.kasikornresearch.com/

สมจิตร สุรพัฒน์. (2544). *ไอศกรีมและผลิตภัณฑ์*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สำนักโภชนาการกรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. (2554). *ปริมาณโซเดียมคลอไรด์ในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีเกลือเป็นส่วนประกอบ*. วันที่สืบค้น 30 ตุลาคม 2556, เข้าถึงได้จาก: http://www.google.co.th/url?Fnutrition.anamai.moph.go.ths

สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว. (2553). ผลวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของข้าวเหนียวดำลืมผัว. ศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก.

สุวรรณา พิชัยวงศ์ดี นันทพร รุจิขจร และศวรรญา ปั่นดลสุข. (2554). เอกสารประกอบการสอนวิทยาศาสตร์การประกอบอาหาร. กรุงเทพฯ: ห้างหุ้นส่วนจำกัด เอ็ม แอนด์เอ็ม เลเซอร์พริ้นต์.

อนุสรา แก่นทอง. (2555). *ประโยชน์ของสาหร่ายผักกาดทะเล (Sea Lettuce)*. วันที่สืบค้น 1 พฤศจิกายน 2556, เข้าถึงได้จาก http://www.nicaonline.com/index.php?option=com_content&view=article&id=522:-sea-lettuce&catid=39:2012-02-20-02-59-03&Itemid=121

อภิรักษ์ เพียรมงคล. (2549). *ผลของความเร็วและระยะเวลาในการบดเปียกต่อสมบัติของเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอ.* ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

อภิญญา เจริญกูล. (2558). เทคโนโลยีของผลิตภัณฑ์นม. วันที่สืบค้น 31 ตุลาคม 2558. เข้าถึงได้จาก elearning2.utcc.ac.th/officialtcu/econtent/SF411/Lecture.swf.

อุมาพร มีเดช, น้องนุช ศิริวงศ์ และศิริพร เรียบร้อย. (2556). *ผลของชนิดของไขมันพืชต่อคุณภาพทางกายภาพและประสาทสัมผัสของไอศกรีมดัดแปลง*. ภาควิชาคหกรรมศาสตร์, คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อุษา นาคจิรังกูร. (2541). *ผลของสารคงตัวต่อไอศกรีมเชอร์เบทมิกซ์รสผลไม้*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร, คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อัจฉราพรรณ มหพันธ์. (2556). *การพัฒนาไอศกรีมเสริมโอลิโกแซคคาไรด์จากแก้วมังกรและโพรไบโอติก.* วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

ไอศกรีมโซลูชัน. (2556). *ภาพรวมตลาดธุรกิจไอศครีมโฮมเมด ในประเทศไทย.* วันที่สืบค้น 5 พฤศจิกายน 2556, เข้าถึงได้จาก http://www.i-creamsolutions.com/

Abdul-Hamid, A. & Luan, Y.S. (2000). Functional properties of dietary fibre prepared from defatted rice bran. *Food Chem*. *68*,15-19.

Ahmed, J., Al-Foudari, M., Al-Salman, F., & Almusallam, A. S. (2014). "Effect of particle size and temperature on rheological, thermal, and structural properties of pumpkin flour dispersion". *Journal of Food Engineering, 124*, 43-53.

AOAC. (1990). Officail of Analysis (15th ed.). Alington, Viyginia, USA: The Association of official Analysis Chemists.

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

BENEO-Orafti, (2010). Ice-cream. Retrieved from http://www.beneo-orafti.com

Beuchat , L.R. (1977). Functional and electrophoretic characteristics of succinylated peanut flour properties. J. Agric. Food Chem. 25: 258-261.

Blendford, D. E. (1982). *What is a snack ?. Food Flavourings, Ingredients, Processing and Packagings, 4*(11), 30-37. *อ้างถึงใน* กาญจนา สุภทนต์. (2538). *การพัฒนาอาหารว่างสำเร็จรูปจากผลไม้ไทยสำหรับเด็กวัยเรียน.* วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์.

Salvador, P., Saguer, E., Parés, D., Carretero, C. & Toldrà M. (2010). Foaming and emulsifying properties of porcine red cell protein concentrate. Food Sci Technol Int. 16(4), 289-296.

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

Chattopadhyay, K., & Chattopadhyay, B. D. (2008). "Effect of nicotine on lipid profile, peroxidation & antioxidant enzymes in female rats with restricted dietary protein". *Journal of research and education in indian medicine, 127*, 571-576.

Cofrades, S., López-López, I., Solas, M. T., Bravo, L., & Jiménez-Colmenero, F. (2008). Influence of different types and proportions of added edible seaweeds on

characteristics of low-salt gel/emulsion meat systems. *Meat Science, 79*(4), 767-776.

Davis, T. A., Llanes, F., Volesky, B., Diaz-Pulido, G., McCook, L., & Mucci, A. (2003). 1H-NMR study of Na alginates extracted from Sargassum spp. in relation to metal biosorption. *Appl Biochem Biotechnol, 110*(2), 75-90.

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

Dikeman, C. L., Murphy, M. R., & Fahey Jr, G. C. (2006). Dietary Fibers Affect Viscosity Of Solutions and Simulated Human Gastric and Small Intestinal Digesta. *Nutrient Physiology, Metabolism, and Nutrient-Nutrient Interactions*, 913-919.

EL-Rahman, A. M. A., Madkor, S. A., Ibrahim, F. S., & Kilara, A. (1997). *"Physical Characteristics of Frozen Desserts Made with Cream, Anhydrous Milk Fat, or Milk Fat Fractions"*. Food Technology and Dairy Department, Faculty of Agriculture, Minia University, El-Minia, Egypt.

Elleuch, M., Bedigian, D., Roiseux, O., Besbes, S., Blecker, C., and Attia, H. (2011). Dietary fibre and fibre-rich by-product of food processing: Characterization, technological functionality and commercial application: A review. *Food Chemistry. 124*(2), 411-421.

Erkaya, T., Dagdemir, E., & Şengul, M. (2012). "Influence of Cape gooseberry (Physalis peruviana L.) addition on the chemical and sensory characteristics and mineral concentrations of ice cream". *Food Research International*, *45*, 331-335.

Fan, L. Zhang, S. Yu, L. & Ma, L. (2006). Evaluation of antioxidant property and quality of breads containing *Auricularia auricula* polysaccharide flour. *Food Chemistry.101* (3), 1158–1163.

Fernandez, E., Schebor, C. & Chirife, J. (2003). Glass transition temperature of regular and lactose hydrolyzed milk powders. *LWT, 36,* 547-551.

García-Salas, P., Gómez-Caravaca, A. M., Arráez-Román, D., Segura-Carretero, A., Guerra-Hernández, E., García-Villanova, B., & Fernández-Gutiérrez, A. (2013). Influence of technological processes on phenolic compounds, organic acids, furanic derivatives, and antioxidant activity of whole-lemon powder. *Food Chemistry, 141*(2), 869-878.

Garrote, R. L., Silva, E. R., & Bertone, R. A. (1988). Yields, solids loss and effluents

generation during blanching and cooling of asparagus spears. *International Journal of Refrigeration, 11*, 367-370.

Georges, C. & Olivier, H. (1993). Carotenoid pigment of the algae Haematococcus pluvialis assay on Rainbow trout. *Aqua. Culture,* 112, 217-226.

Grigelmo-Miguel, N., & Martin-Belloso, O. (2000). "The quality of peach jams stabilized with peach dietary fiber". *European Food Research and Technological*, *221*, 336-341.

Guven, M., & Karaca, O. B. (2002). *"The effects of varying sugar content and fruit concentration on the physical properties of vanilla and fruit ice-cream-type frozen yogurts"*. Cukurova University, Food Engineering Department, Adana, Turkey.

Halliwell, B. (2009). "The wanderings of a free radical". *Free Radical Biology and Medicine, 46*, 531-542.

Haquea, M. A., Aldreda, P., Chenb, J., Barrowc, C. J., & Adhikaria, B. (2013). Comparative study of denaturation of whey protein isolate (WPI) in convective air drying and isothermal heat treatment processes. *Food Chemistry*, *141*, 702-711.

Hirancarachat,B., Devahastin, S. Chiewchan. N., (2011). Effects of acid pretreatments on some physicochemical properties of carrot under-going hot air drying. *Food Bioprod.Process*, *89*, 116-127.

Jaiswal, A. K., Gupta, S., & Abu-Ghannam, N. (2012). "Kinetic evaluation of colour, texture, polyphenols and antioxidant capacity of Irish York cabbage after blanching treatment". *Food Chemistry, 131*, 63–72.

Jaya, S., Das, H., & Mani, S. (2006). Optimization of maltodextrin and tricalcium phosphate for producing vacuum dried mango powder. *Jorunal of Food Properties*, *9*, 13-24.

Jimenez-Escrig, A., & Sanchez-Machado, F.J. (2000). Dietary fiber from edible seaweeds: chemical structur, physicochemical properties and effects on cholesterol metabolism. *Nursing Research, 20*, 585-598.

Jimenez-Escrig, A., Rincom, M., Pulido, R., & Saura-Calixto, F. (2001). Guava fruit (*Psidium guajava L*.) as a new source of antioxidant dietary fiber. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 49*, 5489-5493.

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

Khotimchenko, S. V., Vaskovsky,V.E., Titlyanova, T.V. (2002). Fatty acids of marine algae from the Pacific coast of North California. *Bot.Mar.45*, 17-22.

Khotimchenko, S. V., & Yakovleva, I. M. (2005). Lipid composition of the red alga Tichocarpus crinitus exposed to different levels of photon irradiance. *Phytochemistry, 66*(1), 73-79.

Koxholt N M R, Eisenmann, B. & Hinrichs, J. (2001). Effect of the fat globule size, on meltdown of ice cream. *Journal of Dairy Science, 84*, 31 -37.

Lu, Z. , Zhang, L. Lu, F. Bie, X. & Yu, Z. (2007). Model of microbial growth on fresh-cut lettuce treated with chlorinated water during storage under different temperatures. *Journal of Food Process Engineering*. 30 (1), 106–118.

Mamatha, B. S., Namitha, K. K., Senthil, A., Smitha, J., & Ravishankar, G. A. (2007). Studies on use of Enteromorpha in snack food. *Food Chemistry, 101*(4), 1707-1713.

Marín, F. R., Soler-Rivas, C., Benavente-García, O., Castillo, J., & Pérez-Alvarez, J. A. (2007). Byproducts from different citrus processes as a source of customized functional fibers. *Food Chemistry, 100*(2), 736-741.

Mazzeo. T., N'Dri, D., Chiavaro. E. & Pellegrini, N. (2011). Effect of two cooking procedures on phytochemical compounds, total antioxidant capacity and colour of selected frozen vegetables. *Food Chemistry*, *128*(3) :627-633.

Marshell & Arbuckie. (1996). *Ice cream.* 5th ed., New York : Champman & Hall, 222.

Mcmahon, E. F., & L. E. Dawson. (1975). Effect of salt and phosphates on some foundational characteristics of hand and mechanically deboned turkey meat. *Poultry Science*, *55*, 573-578.

Micha, P. (2005). *Physical properties of food powders*. Department Food Science, Chenoweth Laboratory, University of Massachusetts, USA.

Negi, P. S., & Roy, S. K. (2000). Effect of Blanching and Drying Methods on β-carotene, Ascorbic acid and chlorophyll retention of leafy vegetables. *LWT- Food Science and Technology, 33*(4), 295-298.

Nelson, A. L. (2001). High-fiber ingredients: Eagan press handbook series. St Paul, MN: Eagan Press.

Padua et al. (2004) *อ้างถึงใน* สุวรรณา วรสิงห์, ธวัช ศรีวิชัย, อรุณ ศรีอนันต์ และภาคภูมิ วงศ์แข็ง. (2552). *สัณฐานวิทยา การเลี้ยงและการนำมาใช้ประโยชน์ของสาหร่ายผักกาดทะเล Ulva rigida C. Agargh, 1823.* เอกสารวิชาการฉบับที่ 1/2552. ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมง

ชายฝั่ง จันทบุรี สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง กรมประมง

Patras, A., Tiwari, B. K., & Brunton, N. P. (2011). Influence of blanching and low temperature preservation strategies on antioxidant activity and phytochemical content of carrots, green beans and broccoli. *LWT-Food Science and Technology, 44*(4), 299-306.

Prakash, S., Jha, S. K., & Datta, N. (2004). Performance evaluation of blanched carrots dried by three different driers. *Journal of Food Engineering, 62*, 305–313.

Raghavendra, S. N., Ramachandra Swamy, S. R., Rastori, N. K., Raghavarao, K. S. M. S., Kumar S., Tharanathan, R. N. (2006). Grinding characteristics and hydration properties of coconut residue: A source of dietary fiber. *Journal of Food Engineering, 72*(3), 281-286.

Rahman, & Shafiur, M. (1995). *Mechanical properties of food*. Department Food Science and Nutrition, Sultan Qaboos University, Muscat, Sultanate of Oman.

Rodriguez, T. V., Rojas, A. M., Campos, C. A., & Gerschenson, L. N. (2003). Effect of osmotic ehyration on the quality of air-dried Porphyra. *LWT-Food Science and Technology, 36*(4), 415-422.

Rupérez, P. (2002). Mineral content of edible marine seaweeds. *Food Chemistry, 79*(1), 23-26.

Sanchez-Machado, D. I., Lopez-Cervantes, J., Lopez-Hernandez, J., & Paseiro-Losada, P. 2004). Fatty acid, total lipid, protein and ash contents of processed edible seaweeds. *Food Chemistry, 85*(4), 439-444.

Sanchez-Moreno, C., Jimenez-Escria, A. & Saura-Calixto, J. (2000). Study of low-density lipoprotein oxidizability indexes to measure the antioxidant activity of dietary polyphenols**.** *Nutrition Research, 20*, 941-953.

Santis, N., Mendoza, F., Moyano, P., Pedreschi, F., & Dejmek, P. (2007). “Soaking in a NaCl solution produce paler potato chips”. *LWT- Food Science and Technology, 40,* 307–312.

Satpati, G.G. and Pal, R. (2011). Biochemical composition and lipid characterization of Marine green alga Ulva rigida - a nutritional approach. *Journal of Algal Biomass Utilization*, *2,* 10-13.

Severini, C., Baiano, T., De pilli, T., Romanniello, R. & Derossi, A. (2003). Prevention of enzymatic browning in sliced potatoes by blanching in boiling saline solutions. *LWT-Food Science and Technology, 36*, 657-665.

Shuuluka, D., Bolton,J.J. & Anderson, R.J. (2013). Protein content, amino acid Composition and nitrogen-to-protein conversion factors of Ulva rigida and Ulva capensis from natural populations and Ulva lactuca from an aquaculture system, in South Africa. *Journal of Applied Phycology, 25 (2).* 677–685.

Sies, H., Stahl, W. & Sundquist, A. (1992). "Antioxidant functions of vitamins, vitamin E and C, beta-carotene and other carotenoids". *Annals of the New York Academy of sciences, 368*, 7-19.

Su, T., Kozo, N., & Hiroshi, K. (2004). Analysis of Phenolic Compounds in White Rice, Brown Rice, and Germinated Brown Rice. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 52*(15), 4808-4813.

Suwajee, S., Naphaporn, C., & Sakamon, S. D. (2011). Production of dried ivy gourd sheet as a health snack. *Food and Bioproducts processing, 4*, 414-421.

Svanberg, S.J.M., Nyman,E.M.G.L.,Andersson, R. & Nilsson,T. (1997). Effects of boiling and storage on dietary fibre and digestible carbohydrates in various culivars of carrots. *Journal of Science Food Agricultural*. *73*(2), 245-254.

Tettweiler, P. (1991). *Snack food worldwide*. Food technol, *45*(2), 58-60. *อ้างถึงใน* กาญจนา สุภทนต์. (2538). *การพัฒนาอาหารว่างสำเร็จรูปจากผลไม้ไทยสำหรับเด็กวัยเรียน.* วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์, คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Velioglu, Y. S., Mazza, G. Gao, L., & Oomah, B. D. (1998). Antioxidant activity and total phenolics in selected fruits, vegetables and grain products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 46,* 4113-4117.

Wen-ping, M. A., Zhi-jingl, N. I., He, L.I. & Min, C. H. E. N. (2008). Changes of the Main Carotenoid Pigment Contents During the Drying Processes of the Different Harvest Stage Fruits of *Lycium barbarum L*. *Agricultural Sciences in China, 7*, 363-369.

Zhaoa, X., Ao, Q., Du, F., Zhu, J., & Liu, J. (2010). "Surface characterization of ginger Powder examined by X-ray photoelectron spectroscopy and scanning electron microscopy". *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 79*, 494-500.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

ก-1 ปริมาณความชื้น (AOAC, 1990)

อุปกรณ์

- ตู้อบลมร้อน (Hot air oven)
- โถดูดความชื้น (Desiccator)
- ภาชนะอลูมิเนียมสำหรับหาความชื้น
- เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Sartorius)

การวิเคราะห์

1) อบภาชนะอลูมิเนียมในตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วนำออกจากตู้อบทิ้งให้เย็นจนกระทั่งอุณหภูมิของภาชนะลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้องในโถดูดความชื้น และชั่งน้ำหนัก (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง)

2) นำภาชนะอลูมิเนียมไปอบซ้ำ ชั่งน้ำหนักอีกครั้งจนได้น้ำหนักที่แน่นอนแตกต่างกันไม่เกิน 0.05 กรัม

3) ชั่งตัวอย่างที่ต้องการหาความชื้น ให้ได้น้ำหนัก 1-3 กรัม บันทึกน้ำหนักของตัวอย่างที่ชั่งได้ ใส่ตัวอย่างลงในภาชนะอลูมิเนียม จนได้น้ำหนักคงที่แล้ว น้ำไปอบในตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 5-6 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วชั่งน้ำหนักของภาชนะพร้อมตัวอย่าง จากนั้นนำไปอบซ้ำในตู้อบลมร้อนจนได้น้ำหนักคงที่ โดยผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งไม่เกิน 0.05 กรัม

4) คำนวณหาปริมาณความชื้นจากสูตร

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณความชื้นฐานเปียก (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ - น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ) (กรัม)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)}} \times 100$$

ก-2 ปริมาณโปรตีน (AOAC, 2000)

อุปกรณ์

- อุปกรณ์การย่อยโปรตีน ประกอบด้วยเตาเผาและเครื่องดักจับไอกรด
- อุปกรณ์กลั่นโปรตีน
- ขวดรูปชมพู่ ขนาด 125 มิลลิลิตร
- ขวดปรับปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร
- บิวเรต ขนาด 25 มิลลิลิตร

สารเคมี

- Catalyst mix (Selenium reaction mixture)
- 98 เปอร์เซ็นต์ กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (Sulfuric acid)
- 2 นอร์มอล โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide)
- 2 เปอร์เซ็นต์ กรดบอริกเข้มข้น (Boric acid)
- 0.2 นอร์มอล กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (Hydrochloric acid)
- 0.1 นอร์มอล โพแทสเซียม ไฮโดรเจน พทาเลต (Potassium hydrogen phthalate)
- Sher indicator
- Phenolphthalein

การวิเคราะห์

1. ขั้นตอนการย่อย

1) ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักแน่นอน 1-3 กรัม ใส่ลงในหลอดย่อยโปรตีน

2) ใส่สารผสม Catalyst mix ปริมาณ 9.8 กรัม และเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้นปริมาณ 20-25 มิลลิลิตร

3) ประกอบ Digestion tube เข้าเครื่อง Digestion Unit (ควรเปิด Cooling bath ก่อนการย่อยประมาณ 1 ชั่วโมง (อุณหภูมิต่ำกว่า 12 องศาเซลเซียส) เปิดวาล์วน้ำเข้าส่วน Condenser)

4) ประกอบส่วนของ Digestion Unit เข้ากับ Scrubber Unit เปิดสวิทช์เครื่องดักจับไอกรดและเตาย่อยและปรับระดับความร้อนของเครื่อง Digestion Unit ไปที่ No.5 นาน 5 นาที จากนั้นปรับเป็น No.9 เริ่มจับเวลาในการย่อยประมาณ 50 นาที (จนสารละลายใส) แล้วปิดเฉพาะเครื่อง Digestion Unit

5) ปล่อยทิ้งไว้ให้เย็น (เครื่อง Scrubber Unit เปิดทิ้งไว้จน Digestion tube เย็น)

<u>หมายเหตุ</u> น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น ปริมาณกรดซัลฟิวริก และแฟคเตอร์ที่ใช้ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์

2. ขั้นตอนการกลั่นและไทเทรต

1) จัดอุปกรณ์กลั่น แล้วเปิดสวิทช์ให้ความร้อน และเปิดน้ำหล่อเย็นเครื่องควบแน่น

2) นำ Digestion tube ที่ผ่านการย่อยมาประกอบในเครื่อง Distillation Unit แล้วตั้งคำสั่งระบบดิจิตอล โดยกำหนด เติม H_2O:conc.H_2SO_4 ที่ใช้ = 5:1 เติม NaOH 32 เปอร์เซ็นต์ (w/v):conc.H_2SO_4 ที่ใช้ 4-5:1 (การเติม NaOH จะต้องเติมให้สารละลายทั้งหมดเป็นด่างมากเกินพอ โดยจะมีสีน้ำตาลดำ หากยังเป็นสีขาวใสให้กดปุ่มเติม NaOH ที่หน้าจอจนเป็นสีน้ำตาลดำ)

3) นำขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร (เติม Sher indicator 2-3 หยด) มาประกอบในเครื่อง Distillation Unit แล้วตั้งคำสั่งของสภาวะในการกลั่นเป็น สารละลายกรดบอริก 2 เปอร์เซ็นต์ (w/v) 60 มิลลิลิตร กลั่นเป็นเวลา 3 นาที

4) นำสารละลายที่กลั่นได้มาไทเทรตกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริก จนถึงจุดยุติ โดยสารละลายจะเปลี่ยนจากสีเขียวใสเป็นสีฟ้าจางๆ หรือใสไม่มีสี หากเป็นสีส้มจางๆ แสดงว่าเลยจุดยุติไปแล้ว บันทึกปริมาตรของไฮโดรคลอริกที่ใช้

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณไนโตรเจน (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{\text{N of HCl} \times \text{Vol.of HCl (ml)} \times 1.4}{\text{weight of dry sample}}$$

ปริมาณโปรตีน (เปอร์เซ็นต์) = ปริมาณไนโตรเจน x F

เมื่อ N of HCl คือ ควาวมเข็มข้นของไฮโรคลอริกที่ใช้ในการไทเทตร (นอร์มอล)

Vol.of HCl คือ ปริมาณไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไทเทรต (มิลลิลิตร)

weight of dry sample คือ น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)

F คือ แฟคเตอร์

ก-3 ปริมาณไอโอดีน (AOAC, 1990)

อุปกรณ์

- เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง
- กระบอกตวงขนาด 50 หรือ 100 มิลลิลิตร
- ปิเปตขนาด 1, 5, และ 10 มิลลิลิตร
- ลูกยางและจุกจาง
- ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
- บิวเรตขนาด 50 หรือ 100 มิลลิลิตร
- บีกเกอร์
- ขวดแก้วสีชาขนาด 250, 500 และ 1000 มิลลิลิตร

สารเคมี

- 2 นอร์มอล กรดซัลฟิวริกความเข้มข้น (Sulfuric acid)
- 10 เปอร์เซ็นต์ โพแทสเซียมไอโอไดด์ (Potassium iodide)
- 0.005 M โซเดียมไธโอซัลเฟต (Sodium thiosulfate)
- น้ำแป้ง (Starch indicator solution)
- น้ำกลั่น

การเตรียมสารเคมี

1. การเตรียม 2 N Sulfuric acid

1) ปิเปต H_2SO_4 เข้มข้น 10.88 มิลลิลิตร

2) ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ที่มีน้ำกลั่นบรรจุอยู่ 90 มิลลิลิตร

3) ปรับปริมาตรให้ได้ตามที่กำหนด

4) เขย่าให้เข้ากัน แล้วเก็บในขวดแก้วสีชา ที่อุณหภูมิห้อง

<u>หมายเหตุ</u> ใช้ตัวอย่างละ 1 มิลลิลิตร ในการไทเทรต

2. การเตรียม 10% Potassium iodide

1) ชั่ง KI 10 กรัม

2) ละลายด้วยน้ำกลั่น

3) ปรับปริมาตรในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ให้ได้ตามที่กำหนด

4) เขย่าให้เข้ากัน แล้วเก็บในขวดสีชา เก็บในที่มืดและเย็น (เก็บไว้ใช้ได้นาน 6 เดือน)

<u>หมายเหตุ</u> ใช้ตัวอย่างละ 5 มิลลิลิตร ในการไทเทรต

3. การเตรียม Starch indicator solution

1) ชั่ง Solution starch 5 กรัม เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร ให้ความร้อนจนแป้งละลายหมด คือมีสีลักษณะข้นใส

3) เทใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้ได้ตามที่กำหนด โดยใช้น้ำกลั่น

4) เขย่าให้เข้ากัน แล้วเก็บในขวดสีชา เก็บในที่มืดและเย็น (เก็บไว้ใช้ได้นาน 1 เดือน)

<u>หมายเหตุ</u> ใช้ตัวอย่างละ 2 มิลลิลิตร ในการไทเทรต

4. การเตรียม 0.005 M Sodium thiosulfate

1) ชั่ง $Na_2S_2O_3 - 5H_2O$ 1.24 กรัม

2) ละลายด้วยน้ำที่ไม่มี CO_2 (น้ำกลั่นต้มให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง)

3) ปรับปริมาตรในขวดปรับปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร ให้ได้ตามที่กำหนด

4) เขย่าให้เข้ากัน แล้วเก็บในขวดสีชา เก็บในที่มืดและเย็น (เก็บไว้ใช้ได้นาน 1 เดือน) และก่อนน้ำไปใช้ควรทำการ Standardization

การวิเคราะห์

1. การเตรียมตัวอย่าง

1) ชั่งตัวอย่าง 10 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร

2) ละลายตัวอย่างด้วยน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร

3) เติมสารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 2 N จำนวน 1 มิลลิลิตร

4) เติม 10 เปอร์เซ็นต์ KI จำนวน 5 มิลลิลิตร ถ้ามีไอโอดีน สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีเหลือง ปิดปากขวดแล้วนำไปเก็บในที่มืด 10 นาที

2. การ Standardization Sodium thiosulfate

1) อบ $K_2Cr_2O_7$ ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น

2) ชั่ง $K_2Cr_2O_7$ 0.01 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร (บันทึกน้ำหนัก)

3) เติมน้ำที่ไม่มี CO_2 (น้ำกลั่นต้มให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง) 10 มิลลิลิตร

4) เติม KI 0.01 กรัม เขย่าให้เข้ากัน

5) ปิเปต 1 N HCl 5 มิลลิลิตร เติมลงไป

6) ปิดปากขวดเขย่าให้เข้ากันและนำไปเก็บในที่มืด 10 นาที

7) เตรียมบิวเรต โดยเติมโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ต้องการหาความเข้มข้นที่แน่นอนลงในบิวเรต

8) เอาขวดออกจากที่มืด หยดน้ำแป้ง 2-3 หยด สารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน

9) นำมาไตเตรทกับโซเดียมไธโอซัลเฟตในบิวเรตที่เตรียมไว้จนสารละลายเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นใสไม่มีสี

10) บันทึกปริมาตรของโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้ในการไตเตรท แล้วนำไปคำนวณหาความเข้มข้น

3. การหาปริมาณไอโอดีนโดยการไทเทรต

1) เตรียมบิวเรต โดยเติม 0.005 M โซเดียมไธโอซัลเฟตลงในบิวเรต ปรับปริมาตรและไล่ฟองอากาศ

2) นำตัวอย่างที่เตรียมใน 1. มาไทเทรตกับ 0.005 M โซเดียมไธโอซัลเฟต จนกระทั่งสารละลายมีสีเหลืองอ่อน

3) เติมสารละลายแป้ง จำนวน 2 มิลลิลิตร (สารละลายจะมีสีน้ำเงินเข้ม) แล้วไทเทรตต่อจนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพู และจางหายไปในที่สุด

4) บันทึกปริมาณของโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้ในการไทเทรต แล้วนำไปคำนวณหาปริมาณไอโอดีน

การคำนวณ

1. หาความเข้มข้นของ Sodium thiosulfate จากการ Standardization

$$\text{โซเดียมไธโอซัลเฟต (โมล/ลิตร)} = \frac{\text{น้ำหนักโพแทสเซียมไดโครเมท (กรัม)} \times 1000}{\text{ปริมาตรไธโอซัลเฟตโซเดียม (มิลลิลิตร)} \times 49.032}$$

2. คำนวณหาปริมาณไอโอดีน

$$\text{ปริมาณไอโอดีน (มิลลิกรัม/กรัม)} = \frac{\text{ml of } Na_2S_2O_3 \times \text{M of } Na_2S_2O_3 \times 21.15 \times 1000}{\text{Sample weight}}$$

เมื่อ : ml of $Na_2S_2O_3$ = ปริมาตรของโซเดียมไธโอซัลเฟต (มิลลิลิตร)

M of $Na_2S_2O_3$ = ความเข้มข้นของโซเดียมไธโอซัลเฟต (โมล/ลิตร)

Sample weight = น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

<u>หมายเหตุ</u> หากปริมาณของโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้ในการไทเทรตน้อยกว่า 0.05 มิลลิลิตร แสดงว่าปริมาณไอโอดีนน้อยกว่า 0.54 มิลลิกรัม/กรัม

ก-4 ปริมาณแคลเซียม (AOAC, 1990)

อุปกรณ์

- ตู้อบลมร้อน (Hot air oven)
- เตาเผา (Muffle furnace)
- เตาไฟฟ้า (Hot plate)
- เครื่องชั่งไฟฟ้าชนิดละเอียด (Checkweigher)
- เครื่องวัดพีเอช (pH Meter)
- โถดูดความชื้น (Desiccator)
- ถ้วยครูซิเบิล (Crucible)
- กระดาษกรอง

สารเคมี

- โบรโมครีซอลกรีน (Bromocresol green)
- 20 เปอร์เซ็นต์ สารละลายโซเดียมอะซิเตต (Sodium acetate)
- 3 เปอร์เซ็นต์ สารละลายกรดออกซาลิก (Oxalic acid)
- แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (Ammonium hydroxide)

- 0.05 นอร์มอล สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (Potassium permanganate)
- 37 เปอร์เซ็นต์ สารละลายไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid)
- 96 เปอร์เซ็นต์ กรดซัลฟิวริก (Sulfuric)

การวิเคราะห์

1) อบแห้งตัวอย่างด้วยตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น

2) ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของตัวอย่างประมาณ 10 กรัม ใส่ลงในครูซิเบิล เผาไหม้ตัวอย่างในเตาไฟฟ้าจนไม่มีควันดำเสียก่อน แล้วจึงนำไปเผาต่อในเตาเผาที่อุณหภูมิประมาณ 550 องศาเซลเซียส จนกระทั่งได้เถ้าสีขาว ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นจนถึงอุณหภูมิห้อง

3) เทเถ้าในบีกเกอร์แล้วเติมกรอไฮโดรคลอริก 5 มิลลิลิตร นำไประเหยให้แห้งบน Water bath

4) ละลายส่วนที่เหลือโดยเติมกรดไฮโดรคลอริก 2 มิลลิลิตร นำไปให้ความร้อนบน Water bath นาน 5 นาที

5) เจือจางสารละลายที่ได้ให้เป็น 100 มิลลิลิตร ด้วนน้ำกลั่น จากนั้นกรองสารละลายผ่านกระดาษกรองชนิด Ashless ลงในบีกเกอร์ขนาด 400 มิลลิลิตร โดยอาจทิ้งสารละลายที่กรองได้ในช่วงแรกไป 15-20 มิลลิลิตร

6) นำสารละลายที่กรองได้มา 50 มิลลิลิตร ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 400 มิลลิลิตร แล้วเจือจางเป็น 150 มิลลิลิตร

7) เติมโบรโมครีซอลกรีนอินดิเคเตอร์ 7-8 หยด และสารละลานโซเดียมอะซิเตต 20 เปอร์เซ็นต์ เพื่อปรับพีเอชเป็น 4.8-5.0 สารละลายจะมีสีฟ้า จากนั้นปิดด้วยกระจกนาฬิกาแล้วนำไปให้ความร้อนจนเดือด

8) เติมสารละลายกรดออกซาลิก 3 เปอร์เซ็นต์ 1 หยด ทุกๆ 3-5 วินาที ลงในสารละลายเพื่อตกตะกอนแคลเซียม จนกระทั่ง pH เปลี่ยนเป็น 4.4-4.6 ซึ่ง pH ที่เหมาะสมในการตกตะกอนเป็นแคลเซียมออกซาเลต (Calcium oxalate) โดยสารละลายจะมีสีเขียว

9) นำสารละลายไปต้มนาน 1-2 นาที และทิ้งให้ตกตะกอนจนกระทั่งใส จากนั้นกรองส่วนใสออกผ่านกระดาษกรอง Quantitative

10) ล้างบีกเกอร์ที่มีตะกอนอยู่และตกตะกอนอีกครั้งด้วยสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (ในอัตราส่วนแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ 1 มิลลิลิตร ต่อน้ำ 50 มิลลิลิตร) ประมาณ 50 มิลลิลิตร แล้วนำสารละลายไปกรอง

11) เจาะรูกระดาษกรอง แล้วล้างกระดาษกรองเพื่อชะตะกอนทั้งหมดด้วยสารละลายผสมของน้ำ 125 มิลลิลิตร และกรดซัลฟูริก 5 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 80-90 องศาเซลเซียส

12) นำสารละลายที่ได้มาไทเทรตกับสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 0.05 N ที่อุณหภูมิ 70-90 องศาเซลเซียส จนกระทั่งได้สารละลายสีชมพูอ่อน

การคำนวณ

ปริมาณแคลเซียม (มิลลิลิตร/กรัม) = (a/b) x 100

เมื่อ a = ปริมาณแคลเซียม (มิลลิกรัม)

โดยที่ 1 มิลลิลิตรของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 0.05 นอร์มอล ที่ใช้ในการไทเทรต = 1 มิลลิกรัมของแคลเซียม

b = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

ก-5 ปริมาณไขมัน (AOAC, 2000)

สารเคมี ปิโตรเลียมอีเทอร์

การวิเคราะห์

1) อบบีกเกอร์ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักบีกเกอร์ด้วยเครื่องชั่งละเอียด (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน

2) ชั่งตัวอย่างด้วยเครื่องชั่งละเอียด แล้วห่อด้วยกระดาษกรองที่ปราศจากไขมัน พับแล้วใส่ใน Extraction thimble

3) เทตัวทำละลาย (Solvent) ปิโตรเลียมอีเทอร์ 140 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์

5) นำ Extraction thimble ประกอบเข้ากับ Holder วางลงในบีกเกอร์ แล้วนำไปประกอบเข้ากับเครื่องวิเคราะห์ไขมัน

6) เมื่อครบเวลาที่กำหนด นำบีกเกอร์ไปไล่ปิโตรเลียมอีเทอร์ที่ยังเหลืออยู่ โดยวางในบีกเกอร์ในน้ำเดือด (ควรทำในตู้ดูดควัน)

7) เมื่อปิโตรเลียมอีเทอร์แห้งสนิท นำบีกเกอร์ไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น

8) ชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งละเอียด

การคำนวณ

ปริมาณไขมัน (%) = $\frac{\text{น้ำหนักบีกเกอร์หลังอบ (กรัม)} - \text{น้ำหนักบีกเกอร์ก่อนอบ (กรัม)}}{\text{น้ำหนักสารตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)}} \times 100$

(ฐานเปียก)

ก-6 ปริมาณใยอาหารทั้งหมด (Total Dietary fiber) (AOAC, 1990)

อุปกรณ์

- ครูซิเบิล (ให้ความร้อนที่ 130 องศาเซลเซียส เพื่อให้ได้น้ำหนักคงที่)
- ปั๊มสุญญากาศ (Vaccum pump)
- โถดูดความชื้น (Desiccator)
- อ่างน้ำร้อน
- บีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร
- พีเอชมิเตอร์ (pH meter)
- ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร
- เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง

สารเคมี

- เอทานอล 78 เปอร์เซ็นต์ และ 95 เปอร์เซ็นต์
- อะซิโตน
- ซีไลต์
- 0.5 M MES/TRIS buffer pH 8.2
- เอนไซม์แอลฟาอะไมเลส
- เอนไซม์โปรตีเอส
- เอมไซม์อะไมโลกลูโคซิเดส
- 5 เปอร์เซ็นต์ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์
- 0.561 นอร์มอล และ 5 เปอร์เซ็นต์ สารละลายไฮโดรคลอริก
- ซีไลต์

การเตรียมสารเคมี

1) 0.5 M MES/TRIS buffer pH 8.2

- ชั่ง 0.1 M Tris $C_4H_{11}NO_3$ (มวลโมเลกุล 121.14) 12.114 กรัม
- ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น
- แล้วนำมาปรับค่า pH ด้วย 0.1 M HCl จนได้ pH 8.2

2) เอทานอล 78 เปอร์เซ็นต์

- เติมน้ำปริมาตร 207 มิลลิลิตร ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 1 ลิตร
- ปรับปริมาตรด้วยเอทานอลให้ได้ตามที่กำหนด เขย่าให้เข้ากัน

3) กรดไฮโดรคลอลิค 0.1 โมลาร์

- ตวงกรดไฮโดรคลอลิค 2.272 มิลลิลิตร เทลงขวดปรับปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร ที่มีน้ำกลั่นบรรจุอยู่ประมาณ 50 มิลลิลิตร
- ปรับปริมาตรให้ได้ตามที่กำหนด เขย่าให้เข้ากัน

4) กรดไฮโดรคลอริก 0.561 N

- ตวงกรดไฮโดรคลอลิค 12.75 มิลลิลิตร เทลงขวดปรับปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร ที่มีน้ำกลั่นบรรจุอยู่ประมาณ 50 มิลลิลิตร
- ปรับปริมาตรให้ได้ตามที่กำหนด เขย่าให้เข้ากัน

5) กรดไฮโดรคลอริก 5 เปอร์เซ็นต์

- ตวงกรดไฮโดรคลอลิค 14.71 มิลลิลิตร เทลงขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ที่มีน้ำกลั่นบรรจุอยู่ประมาณ 50 มิลลิลิตร
- ปรับปริมาตรให้ได้ตามที่กำหนด เขย่าให้เข้ากันการเตรียม

6) โซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 เปอร์เซ็นต์

- ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 กรัม
- ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นในขวดปรับปริมาตร 100 มิลลิลิตร

การวิเคราะห์

1) เตรียมตัวอย่างโดยทำแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ บดให้ละเอียด ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งตัวอย่าง 1 กรัม โดยทำ 2 ตัวอย่าง (น้ำหนัก m1 และ m2) และทำ Blank ควบคู่ไปด้วย (Blank ไม่ใส่ตัวอย่าง)

<u>หมายเหตุ</u> การวิเคราะห์ 1 ตัวอย่างให้ทำ 2 บีกเกอร์ เพื่อแยกไปวิเคราะห์โปรตีนและเถ้า

2) ใส่ตัวอย่างในบีกเกอร์ทรงสูง ขนาด 400 มิลลิลิตร เติม 0.5 M MES/TRIS buffer 40 มิลลิลิตร กวนจนละลาย

3) เติมเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส 50 ไมโครลิตร ปิดบีกเกอร์ด้วยอะลูมิเนียมฟลอยด์ แล้วนำไปให้ความร้อนใน Water bath อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เขย่าบีกเกอร์ทุก 5 นาที

4) ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และล้างด้วยน้ำ 10 มิลลิลิตร

5) เติมเอมไซม์โปรติเอส 100 ไมโครลิตร ปิดปากบีกเกอร์ด้วยอะลูมิเนียมฟลอยด์ ให้ความร้อนใน Water bath อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เขย่าบีกเกอร์ทุก 5 นาที

6) ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้องและปรับ pH เป็น 4.1-4.8 ด้วยสารละลายไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.561 นอร์มอล ปริมาตร 5 มิลลิลิตร (ปรับด้วย ไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ และโซเดียมไฮดรอไซด์ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์)

7) เติมเอมไซม์อะไมโลกลูโคซิเดส 200 ไมโครลิตร ให้ความร้อนใน Water bath อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เขย่าบีกเกอร์ทุก 5 นาที

8) นำตัวอย่างที่ได้มาตกตะกอนทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ (ให้ความร้อนเอทานอลจนมีอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสก่อน เติมเอทานอล 4 เท่าของปริมาณตัวอย่างที่ได้) ทิ้งให้ตกตะกอนที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

9) ชั่งครูซิเบิลที่เคลือบด้วยซีไลต์ 1 กรัม จากนั้นชะด้วยเอทานอลความเข้มข้น 78 เปอร์เซ็นต์ ต่อครูซิเบิลกับปั๊ม (Suction) แล้วถ่ายสารที่ย่อยได้จากข้อ 8) ลงกรอง

9) ล้างส่วนที่เหลือ (Residue) ด้วยเอทานอล 78 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 15 มิลลิลิตร 2 ครั้ง เอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 15 มิลลิลิตร 2 ครั้ง และอะซิโตนปริมาตร 15 มิลลิลิตร 2 ครั้ง

10) อบส่วนที่เหลือที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส (Over night) แล้วทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักที่แน่นอน หักลบน้ำหนักครูซิเบิลและซีไลต์ออก (น้ำหนัก R1 และ R2) เพื่อคำนวณหาน้ำหนักส่วนที่เหลือ

11) นำตัวอย่างที่ได้ไปวิเคราะห์โปรตีน (R1) และเถ้า (R2)

การคำนวณ

$$\text{ใยอาหารทั้งหมด (ดปอร์เซ็นต์)} = \frac{\frac{R1+R2}{2}-P-A-B}{\frac{m1+m2}{2}} \times 100$$

เมื่อ R1 และ R2 คือ น้ำหนักตัวอย่างส่วนที่เหลือ

B คือ Blank (มิลลิกรัม)

P คือ น้ำหนักโปรตีน (กรัม)

A คือ น้ำหนักเถ้า (กรัม)

m1 และ m2 คือ น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น

ก-7 ปริมาณแคโรทีนอยด์ (ดัดแปลงจาก Georges and Olivier, 1993)

อุปกรณ์

- เครื่อง Spectrophotometer
- เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge)
- ตู้อบลมร้อน (Hot air oven)
- เครื่องชั่งไฟฟ้าชนิดละเอียด (Checkweigher)

สารเคมี

- เอทานอล (Absolute ethanol, C_2H_5OH)
- 60 เปอร์เซ็นต์ โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium Hydroxide, KOH)

- ปิโตรเลียมอีเทอร์ (Petrolium ether)

- 6 เปอร์เซ็นต์ โซเดียมคลอไรด์ (Sodium Chlorice, NaCl)

- โซเดียมซัลเฟต (Sodium sulphate, Na_2SO_4)

การวิเคราะห์

1) ชั่งตัวอย่างที่บดละเอียดแล้วทราบน้ำหนักที่แน่นอน (ประมาณ 0.25 กรัม) และเติมเอทานอล 10 มิลลิลิตร และ 60 เปอร์เซ็นต์ โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 มิลลิลิตร

2) ทำการสกัดในอ่างน้ำเดือด (Water bath) ที่อุณหภูมิ 45-50 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที

3) นำตัวอย่างที่สกัดได้ใส่ในหลอด Centrifuge นำไปใส่ในเครื่องปั่นเหวี่ยงให้ตกตะกอน นาน 5-10 นาที ที่ความเร็วรอบ 3500 รอบต่อนาที

4) รินสารละลายลงในกรวยแยก (อย่าให้มีตะกอนปน)

5) เติมเอทานอล 2 มิลลิลิตร ลงในตะกอนแล้วทำซ้ำข้อที่ 3 และ 4 (เพื่อให้ได้สารละลายปริมาณมากขึ้น)

6) เติมปิโตรเลียมอีเทอร์ 15-20 มิลลิลิตร และ 6 เปอร์เซ็นต์ โซเดียมคลอไรด์ 20 มิลลิลิตร

7) เขย่าให้เข้ากัน และตั้งทิ้งไว้จนสารละลายแยกเป็น 2 ชั้น ค่อยๆ ไขชั้นล่างทิ้ง

8) เติมโซเดียมคลอไรด์ 20 มิลลิลิตร ในชั้นบน เขย่าให้เข้ากัน และตั้งทิ้งไว้จนสารละลายแยกเป็น 2 ชั้น ค่อยๆ ไขชั้นล่างทิ้ง

9) นำสารชั้นบนมาเติมโซเดียมซัลเฟต เพื่อดูดซับน้ำ

10) นำมาวัดค่าการดูดกลืนแสง ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร ($OD_{450\ nm}$)

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณแคโรทีนอยด์ (ไมโครกรัม/100กรัม)} = \frac{OD_{450} \times 100}{260 \times \text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}}$$

ก-8 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (ดัดแปลงจาก Dewanto et al., 2002)

อุปกรณ์

- เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer)

- เครื่องผสมสาร (Vortex mixter)

- ปิเปต ชนิด Measuring ขนาด 5 มิลลิลิตร

- ขวดปรับปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร
- หลอดทดลอง
- กระดาษกรอง Whatman No.1

สารเคมี

- ฟอลิน ซิโอแคลทู รีเอเรนต์ (Folin-Ciocalteu reagent)
- 98 เปอร์เซ็นต์ กรดแกลลิก (Gallic acid: $C_7H_6O_5$)
- เอทานอล (Ethanol: CH_3CH_2OH)
- โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate anhydrous: Na_2CO_3)

การเตรียมสารเคมี

1) เตรียมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 7 เปอร์เซ็นต์ โดยชั่งโซเดียมคาร์บอเนต 7 กรัม ละลายในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

2) เตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก 0.01 กรัม นำมาละลายด้วยเอทานอลเล็กน้อย และปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

การวิเคราะห์

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

นำตัวอย่างไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ แล้วชั่งมา 20 กรัม ทำการสกัดด้วยเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน โดยใช้แท่งแก้วคนเป็นเวลา 3 นาที และตั้งทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 4 ชั่งโมงที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำสารสกัดมากรองผ่านกระดาษกรอง Whatman No.1 และล้างสารสกัดผ่านกระดาษกรองด้วยเอทานอล 10 มิลลิลิตร จากนั้นนำสารสกัดที่ได้มาระเหยตัวละลายออกโดยใช้ Rotary evaporator จนกระทั่งได้สารสกัดที่เป็นของแข็ง (สารเหนียว) และเก็บสารสกัดที่ได้ในขวดแก้วสีชาที่สภาวะแช่แข็ง (อุณหภูมิประมาณ -20 องศาเซลเซียส) จนกว่าจะนำมาวิเคราะห์สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

2. การทำกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก

เตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกโดยผสมกรดแกลลิดและน้ำกลั่นให้มีความเข้มข้นต่างกัน 5 ระดับ คือ 2, 4, 6, 8 และ 10 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ดันนี้

1) ปิเปตสารละลายกรดแกลลิกแต่ละความเข้มข้นมา 0.125 มิลลิลิตร

2) เติมสารละลายโฟลิน ซิโอแคลทูหลอดละ 1.00 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วย Vortex เป็นเวลา 3 วินาที และตั้งทิ้งไว้ 6 นาที

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

4) วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

5) พล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความเข้มข้นของกรดแกลลิก (แกน X) และค่าการดูดกลืนแสง (แกน Y)

3. การวิเคราะห์ตัวอย่าง

1) ใช้สารสกัดตัวอย่างที่ได้จากการเตรียมขั้นต้น โดยชั่งสารสกัดมา 0.1 กรัม จากนั้นนำมาละลายด้วย เอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร ด้วยเอทานอล

2) ปิเปตสารละลายตัวอย่างมา 0.125 มิลลิลิตร

3) จากนั้นเติมสารละลายโฟลิน ซิโอแคลทูหลอดละ 1.00 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วย Vortex เป็นเวลา 3 วินาที และตั้งทิ้งไว้ 6 นาที

4) เติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 7 เปอร์เซ็นต์ 1.25 มิลลิลิตร โดยสารละลายจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำเงิน และเติมน้ำกลั่น 1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ 90 นาที

5) วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

6) คำนวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดได้จากการแทนค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากการวัดตัวอย่าง (ค่า Y) ในสมการเส้นตรงที่ได้ จะได้ปริมาณวารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในรูปกรดแกลลิก (ค่า X) จากนั้นนำมาคำนวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

ก-9 สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (ดัดแปลงจากวิธีของ Karagozler et al., 2008)

โครงงานวิจัยวิเคราะห์สมบัติการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH radical scavenging assay

อุปกรณ์

- เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์
- ปิเปต ชนิด Measuring ขนาด 5 มิลลิลิตร
- ขวดปรับปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร
- หลอดทดลอง

สารเคมี

- เอทานอล (Ethanol: CH_3CH_2OH)

- 90 เปอร์เซ็นต์ ดีพีพีเอช (2-diphenyl-1picrylhydrazyl: $C_{18}H_{12}N_5O_6$)

เตรียมสาร DPPH ทันทีก่อนใช้ให้มีความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร โดยชั่ง DPPH 0.004 กรัม ละลายในเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยเอทานอล เก็บในภาชนะปิดสนิทป้องกันแสงจนกว่าจะนำมาวิเคราะห์

การวิเคราะห์

1) ใช้สารสกัดตัวอย่างที่เตรียมได้เหมือนกับที่วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดโดยนำสารสกัด (สารเหนียว) มา 0.1 กรัม จากนั้นนำมาละลายในเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยเอทานอล

2) ปิเปตสารละลายตัวอย่าง 3 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมล 1 มิลลิลิตร ในหลอดทดลองให้เข้ากัน และตั้งทิ้งไว้ในที่มืดประมาณ 30 นาที สำหรับตัวอย่าง Blank ทำเช่นเดียวกันแต่ใช้เอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ แทนสารละลายตัวอย่าง

3) นำหลอดทดลองที่เป็นสารละลายตัวอย่างและ Blank ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

การคำนวณ

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

กำหนดให้ A_0 คือ ค่าการดูดกลืนแสงของ Blank

A_1 คือ ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง

ภาคผนวก ข
การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

ข-1 ค่าสี

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

การวิเคราะห์

1) ก่อนทำการวัดสีทุกครั้ง ต้องทำการปรับมาตรฐานของเครื่อง (Calibration) โดยการวางหัววัดทาบบนแผ่นสำหรับ Calibrate สีขาวแล้วกดปุ่ม Measure ซึ่งเครื่องวัดสีจะบันทึกข้อมูลค่าสีขาวของแผ่นสำหรับ Calibrate

2) นำตัวอย่างใส่ภาชนะสำหรับวัดค่าสีโดยใส่ให้เต็มภาชนะไม่ให้มีช่องที่แสงผ่านได้ขณะวัดตัวอย่างให้ใช้แผ่นสีดำปิดตัวอย่าง

3) ทำการวัดสีของตัวอย่างด้วยระบบ CIE ซึ่งวัดค่า L* a* และ b* ซึ่งรายงานค่าสีตามความหมายดังนี้

L* คือ ความสว่าง โดยสีดำมีค่าเท่ากับ 0 และสีขาวมีค่าเท่ากับ 100

a* คือ ค่าความเป็นสีแดงและสีเขียว โดยค่าบวกแสดงความเป็นสีแดง และค่าลบแสดงความเป็นสีเขียว

b* คือ ค่าความเป็นสีเหลืองและสีน้ำเงิน โดยค่าบวกแสดงความเป็นสีเหลือง และค่าลบแสดงความเป็นสีน้ำเงิน

ข-2 ค่า a_w

วิเคราะห์ค่า a_w ด้วยเครื่อง Novasina รุ่น AWC water activity center ใช้สารละลายอิ่มตัวของเกลือโซเดียมคลอไรด์ (ค่า a_w = 0.75) เป็นสารละลายมาตรฐาน โดยนำตัวอย่างบรรจุในภาชนะสำหรับวัดค่า a_w บรรจุตัวอย่างประมาณ 2 ใน 3 ของภาชนะ นำไปเข้าเครื่องวัดจนกระทั่งค่าคงที่ อ่านค่า a_w ที่ได้ โดยทำตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

การวิเคราะห์

1. การ Set-up Calibration

1) นำตลับ Salt Standard SAL-98 (98% ERH)

2) ปิดฝาครอบให้เรียบร้อย

3) ให้หมุนปุ่มสีเหลืองตรงด้านซ้ายมือของเครื่องไปยังหมายเลข 2

4) รอจนอุณหภูมิใกล้เคียงกับที่วัดและค่า a_w ใกล้เคียงกับที่จะ Calibrate แล้วจึงค่อยกดปุ่มสีฟ้า ENTER แช่จน 98CAL กระพริบแล้วปล่อย

5) กดปุ่มสีฟ้า ENTER อีกครั้ง จนกระทั่งข้อความบนหน้าจอหยุดกระพริบ

6) เครื่องจะทำการ Calibrate จนเสร็จสิ้นกระบวนการ

7) หลังจากเสร็จสิ้นกระบวกการ Calibrate แล้ว เครื่องจะคืนสู่สภาพปกติ คือพร้อมที่จะวัดและแสดงค่าอุณหภูมิ และ %ERH (a_w=ERH/100) ของตัวอย่าง

8) สำหรับค่าอื่นๆ ให้ทำการ Calibrate ในทำนองเดียวกันกับค่า 98 ดังกล่าวข้างต้น

2. การใช้เครื่องเพื่อทำการวัดสารตัวอย่าง

1) หมุนปุ่มสีเหลืองของเครื่อง AWC ในตำแหน่งที่ 2

2) นำตลับพลาสติกมาใส่สารตัวอย่างให้ได้ปริมาณ 80-90 เปอร์เซ็นต์

3) นำตลับตัวอย่างมาใส่ไว้ใน Measuring Chamber

4) ปิดฝาให้เรียบร้อย

5) ตั้งอุณหภูมิที่ได้ตามต้องการ เช่น ถ้าต้องการควบคุมตัวอย่างให้ได้ 25 องศาเซลเซียส ก็ให้ตั้งปุ่มสีดำตรงขวามือให้ได้หมายเลข 190 เป็นต้น

6) จากนั้นรอจนกระทั่งอ่านอุณหภูมิได้ตามที่ตั้งไว้ และ Relative Humidity ของอากาศที่วัดได้อยู่ในสภาวะที่สมดุลกับสารตัวอย่าง สภาวะนี้เรียกว่า Equilibrium Relative Humidity (REH) เมื่อหารด้วย 100 จะได้ค่า a_w ตามที่ต้องการ

ข-3 ความสามารถในการละลาย (Solubility) (Fermandez, 2003)

อุปกรณ์

- เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge)

การวิเคราะห์

1) ชั่งตัวอย่าง 0.5 กรัม ใส่ในหลอกสำหรับนำไปปั่นเหวี่ยงขนาด 50 มิลลิลิตร

2) เติมน้ำ 10 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วปั่นเหวี่ยงที่ 3000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที

3) หลังการปั่นเหวี่ยงจะเกิดการแยกส่วนของเหลวด้านบน (Supernatant) กับตะกอนตัวอย่างให้นำ Supernatant ใส่ในภาชนะอลูมิเนียมสำหรับหาความชื้น แล้วอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง

การคำนวณ

$$\text{ความสามารถในการละลาย (กรัม/กรัม)} = \frac{\text{มวลแห้งของตัวอย่างที่ละลายใน Supernatant (กรัม)}}{\text{มวลแห้งของตัวอย่างทั้งหมด (กรัม)}} \times 100$$

ข-4 ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water Holding Capacity) (Mcmahon and Dawson, 1975)

อุปกรณ์

- เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge)
- เครื่องเขย่า (Shaker)

การวิเคราะห์

1) ชั่งตัวอย่าง 0.4 กรัม ใส่ในหลอดสำหรับนำไปปั่นเหวี่ยงขนาด 50 มิลลิลิตร

2) เติมน้ำ 40 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วนำสารละลายไปวางบนเครื่องเขย่าที่ความเร็ว 350 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที

3) นำสารละลายมาให้ความร้อนในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที

4) นำสารละลายไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 3500 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที

5) หลังการปั่นเหวี่ยงจะเกิดการแยกส่วนของเหลวใสด้านบนกับตะก่อนตัวอย่าง ให้รินส่วนของเหลวใสทิ้งไป และเอียงหลอดเพื่อให้เกิดการแยกส่วนชัดเจนขึ้น ใช้หลอดหยดดูดของเหลวออก ชั่งน้ำหนักที่เหลือในหลอด

การคำนวณ

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

ข-5 ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (Oil Binding Capacity) (Beuchat, 1977)

อุปกรณ์

- เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge)
- เครื่องเขย่า (Shaker)

การวิเคราะห์

1) ชั่งตัวอย่าง 0.5 กรัม ใส่ในหลอกสำหรับนำไปปั่นเหวี่ยงขนาด 50 มิลลิลิตร

2) เติมน้ำมันถั่วเหลือง 10 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน แล้วนำสารละลายไปวางบนเครื่องเขย่าที่ความเร็ว 350 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

3) นำสารละลายไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 10000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

4) หลังการปั่นเหวี่ยงจะเกิดการแยกส่วนของเหลวใสด้านบนกับตะก่อนตัวอย่าง ให้รินส่วนของเหลวใสทิ้งไป และเอียงหลอดเพื่อให้เกิดการแยกส่วนชัดเจนขึ้น ใช้หลอดหยดดูดของเหลวออก

5) ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่เหลือในหลอด คำนวณหาความสามารถในการอุ้มน้ำมัน

การคำนวณ

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

ข-6 ความสามารถในการเกิดอิมัลชัน (Emulsion capacity) (ดัดแปลงจากวิธีของ Cui et al., 1993)

อุปกรณ์

- หลอดทดลอง
- เครื่องผสมสาร (Vortex maxter)

การวิเคราะห์

ปิเปตสารละลายสาหร่ายผักกาดทะเลความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณ 9 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง เติมน้ำมันข้าวโพด 1 มิลลิลิตร วางบนเครื่องผสม เป็นเวลา 5 นาที วัดความสูงของชั้นอิมัลชันในหลอดทดลอง คำนวณการเกิดอิมัลชันตามสมการ

การคำนวณ

$$\text{Emulsion capacity (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{\text{ความสูงของชั้นอิมัลชัน}}{\text{ความสูงของชั้นของเหลวทั้งหมด}} \times 100$$

ข-7 ค่าความหนืดของสารละลายสาหร่ายผักกาดทะเลผง (ดัดแปลงจาก อัจฉราพรรณ มหพันธ์, 2556)

อุปกรณ์

- เครื่องวัดความหนืด (Brookfield Digital Rheometer)

การวิเคราะห์

เตรียมสารละลายสาหร่ายผักกาดทะเลผงให้มีความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลายเทใส่บีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร ประมาณ 350 มิลลิลิตร นำไปให้ความร้อนจนอุณหภูมิถึง 80 องศาเซลเซียส และคงไว้เป็นเวลา 30 วินาที สุ่มตัวอย่างวัดความหนืดทุกๆ 10 นาที จนถึงอุณหภูมิลดลงถึงอุณหภูมิห้อง วัดความหนืดโดยใช้เครื่องวัดความหนืด Brookfield Digital Rheometer ใช้หัวหมุน (Spindle) เบอร์ 1 ความเร็วรอบในการหมุน 250 รอบต่อนาที รายงานค่าความหนืดเป็นเซนติพอยท์

ข-8 ค่าความหนาแน่น (ดัดแปลงจาก Jaya et al., 2006)

อุปกรณ์

- กระบอกตวง

การวิเคราะห์

นำตัวอย่างผงแห้ง 20 กรัม ใส่ในกระบอกตวง 50 มิลลิลิตร และมีรัศมี 1.5 เซนติเมตร เคาะกระบอกตวง 100 ครั้ง เพื่อให้เกิดความสม่ำเสมอของผง แล้ววัดความสูงของตัวอย่างนกระบอกตวง

การคำนวณ

$$\text{ค่าความหนาแน่น (กรัม/ตารางเซนติเมตร)} = \frac{W}{\pi r^2 h}$$

กำหนดให้ W คือ น้ำหนักตัวอย่าง

r คือ รัศมีของกระบอกตวง (เท่ากับ 1.5 เซนติเมตร)

h คือ ความสูงของตัวอย่างในกระบอกตวง

ข-9 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด

นำของเหลวที่ได้จากการนำไอศกรีมมาวางทั้งไว้ที่อุณหภูมิห้องจนละลายทั้งหมดมาวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ด้วยเครื่อง Hand Refractometer ที่มีช่วงการวัด 0-32°Brix ที่อุณหภูมิห้อง โดยก่อนวัดทำการสอบเทียบเครื่องรีแฟรคโตรมิเตอร์ด้วยน้ำกลั่นเพื่อปรับค่าที่อ่านได้เท่ากับ 0°Brix

ข-10 ความหนืดของไอศกรีมเหลว ดัดแปลงจากวิธีของ (Chang et al., 1995 อ้างจาก พัชรินทร์ รักถาวร, 2552)

อุปกรณ์

- เครื่องวัดความหนืด (Brookfield Digital Rheometer)

การวิเคราะห์

นำตัวอย่างไอศกรีมเหลวหลังผ่านการบ่มที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เทใส่บีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร มีปริมาณไอศกรีมเหลวประมาณ 350 มิลลิลิตร วัดความหนืดโดยใช้เครื่องวัดความหนืด Brookfield Digital Rheometer ใช้หัวหมุน (Spindle) เบอร์ 4 ความเร็วรอบในการหมุน 50 รอบต่อนาที ควบคุมอุณหภูมิไอศกรีมเหลวที่ 4±0.5 องศาเซลเซียส (โดยใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ TC 500) รายงานความหนืดเป็น เซนติพอยส์

ข-11 การขึ้นฟู (Over run) (Marshall and Arbuckle, 1996)

การวิเคราะห์

ชั่งน้ำหนักตัวอย่างไอศกรีมเหลวหลังผ่านการบ่มที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่บรรจุเต็มด้วยถ้วยพลาสติกขนาด 3 ออนซ์ บันทึกน้ำหนักไอศกรีมเหลว นำไอศกรีมเหลวทั้งหมดไปปั่นด้วยเครื่องปั่นไอศกรีมจนกระทั่งไอศกรีมขึ้นฟู ชั่งน้ำหนักไอศกรีมที่บรรจุพอดีถ้วยไอศกรีมใบเดิม พยายามอย่าให้เกิดช่องว่างและห้ามกดอัด บันทึกน้ำหนัก นำข้อมูลไปคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์การขึ้นฟูดังสมการ

การคำนวณ

$$\text{การขึ้นฟู (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{\text{น้ำหนักไอศกรีมเหลว} - \text{น้ำหนักไอศกรีม}}{\text{น้ำหนักไอศกรีม}} \times 100$$

ข-12 อัตราการละลายของไอศกรีม (ดัดแปลงมาจาก Koxholt et al., 2001)

การวิเคราะห์

บรรจุไอศกรีมลงในถ้วยพลาสติกขนาด 3 ออนซ์ ชั่งน้ำหนักที่แน่นอน แช่ในตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง วัดอัตราการละลายที่อุณหภูมิห้อง โดยเทไอศกรีมลงบนตะแกรงสแตนเลส ที่มีรูตะแกรงขนาด 10 เมช ซึ่งวางบนกรวยกรองรองรับด้วยภาชนะเปล่า ชั่งน้ำหนักไอศกรีมส่วนที่ละลายทุกๆ 10 นาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และนำข้อมูลไปคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์การละลายของไอศกรีม

การคำนวณ

$$\text{อัตราการละลาย (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{\text{น้ำหนักไอศกรีมส่วนที่ละลาย}}{\text{น้ำหนักไอศกรีมเริ่มต้น}} \times 100$$

ข-13 ค่าความแข็ง

วิเคราะห์ค่าความแข็งโดยใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัส Stable Micro Systems รุ่น TA-XT2 วัดโดยใช้แรงกด (Compression) โดยใช้หัววัดรูปทรงกระบอก (cylinder probe) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร กดบริเวณกึ่งกลางของชิ้นตัวอย่าง รายงานเป็นค่าความแข็ง (กิโลกรัม)คือค่าแรงที่สูงสุด โดยแต่ละสิ่งทดลองใช้ตัวอย่าง 5 ชิ้น นำค่าที่วัดได้มาหาค่าเฉลี่ย ขั้นตอนการใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัส มีดังนี้

1. การ calibration

1) ไปที่ T.A. บน menu bar Calibrate Force จะปรากฏหน้าต่างของ Force Calibration ตรวจดูให้แน่ใจว่าไม่มีหัววัด (probe) ติดอยู่ที่ calibration platform แล้วคลิก OK

2) จากนั้นจะปรากฏหน้าต่างของใหม่ของ Force Calibration ให้วางตุ้มน้ำหนัก 5 กิโลกรัม บน calibration platform จากนั้นให้คลิก OK

3) เมื่อปรากฏข้อความว่า “Calibration Successful” ให้ยกตุ้มน้ำหนักลงแล้วคลิก OK

4) หลังจากนั้น Calibrate Probe ทุกครั้งที่ทดสอบ โดยไปที่ T.A. บน menu bar Calibrate Probe จะปรากฏหน้าต่างของ Probe Calibration กำหนดระยะทางให้ probe เคลื่อนที่ขึ้นหลังจากสัมผัสตัวอย่าง แล้วคลิก OK

2. การตั้งค่า

ไปที่ T.A. Setting (หรือF4) จะปรากฏหน้าต่างของ Texture Analyzer Setting ตั้งค่าพารามิเตอร์ดังนี้

Mode Measure Force in Compression

Option Return to Start

Pre – Test Speed	2.0 mm./s
Test Speed	2.0 mm./s
Post Test Speed	10.0 mm./s
Distance	3 mm.
Trigger Force	Auto- 10 g
Data Acqiusition Rate	200 pps

3. การวัดค่า

1) วางตัวอย่างบนแท่นทดสอบหรือ probe ชุดล่างเรียบร้อยแล้ว ให้เลือก T>A> บน menu bar Run a Test (หรือF2) จะปรากฏหน้าต่างของ Run a Test ให้ตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น ตั้งค่า Auto Save ตั้งชื่อไฟล์ ตั้งชื่อกราฟแสดงผล เป็นต้น

2) เมื่อตั้งค่าต่างๆ เรียบร้อยแล้ว ให้คลิก OK เครื่องจะเริ่มการทดสอบพร้อมปรากฏเส้นกราฟบนหน้าต่างกราฟ ส่วนการทดสอบขั้นต่อไป ถ้าไม่มีการเปลี่ยนแปลงสภาวะ ให้เลือก T.A. บน menu bar Quick Test Run (หรือ Ctrl+Q)

3) อ่านค่าที่ได้จากกราฟ ในที่นี้พิจารณาค่าความแข็ง (กิโลกรัม) คือ ค่าแรงที่สูงสุด

ภาคผนวก ค

ค-1 แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส วิธี 9-point hedonic scale

หมายเลขผู้ทดสอบ..... วันที่ทดสอบ.....

ผลิตภัณฑ์ ไอศกรีม

<u>คำชี้แจ้ง</u> กรุณาทดสอบตัวอย่างจากซ้ายไปขวาและให้คะแนนในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ตามเกณฑ์คะแนนดังนี้

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

	.....	.....	.....	.....
ลักษณะปรากฏ	.....	.....	.....	.....
สี	.....	.....	.....	.....
กลิ่นรส	.....	.....	.....	.....
รสชาติ	.....	.....	.....	.....
เนื้อสัมผัส	.....	.....	.....	.....
ความชอบโดยรวม	.....	.....	.....	.....

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

ประวัตินักวิจัย

หัวหน้าโครงการวิจัย

1. ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย) นางสาววิชมณี ยืนยงพุทธกาล

ชื่อ-นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Miss Wichamanee Yuenyongputtakal

2. ตำแหน่งปัจจุบัน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์

3. หน่วยงานที่สังกัด

ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

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

4. ประวัติการศึกษา

ปร.ด. (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วท.ม. (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วท.บ. (วิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการ) มหาวิทยาลัยบูรพา

5. สาขาที่มีความชำนาญพิเศษ

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

ผู้ร่วมวิจัยคนที่ 1

1. ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย) นางสุวรรณา วรสิงห์

ชื่อ-นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Ms. Suwanna Worasing

2. ตำแหน่งปัจจุบัน

นักวิชาการประมงชำนาญการพิเศษ

3. หน่วยงานที่สังกัด

ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งตราด

205 ม. 2 ตำบลอ่าวใหญ่ อำเภอเมือง จังหวัดตราด 23000 e-mail lactuca2007@gmail.com

4. ประวัติการศึกษา

วท.ม. (วิทยาศาสตร์การประมง) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วท.บ. (ประมง) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5. สาขาที่มีความชำนาญพิเศษ

สาหร่ายทะเล คุณภาพน้ำ

ผู้ร่วมวิจัยคนที่ 2

1. ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย นางสาวนิสานารถ กระแสร์ชล

ชื่อ-นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Miss Nisanart Krasaechol

2. ตำแหน่งปัจจุบัน

อาจารย์

3. หน่วยงานที่สังกัด

ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

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

4. ประวัติการศึกษา

วท.ด. (เทคโนโลยีทางอาหาร) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วท.ม. (เทคโนโลยีทางอาหาร) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วท.บ. (วิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการ) มหาวิทยาลัยบูรพา

5. สาขาที่มีความชำนาญพิเศษ

Food chemistry, Food processing, Protein in Food