รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากสาหร่ายผักกาดทะเลสำหรับเด็กวัยเรียน

Development of Snack Product from Sea Lettuce *(Ulva rigida)* for School Children

นางสาววิชมณี ยืนยงพุทธกาล	**หัวหน้าโครงการ**
นางสุวรรณา วรสิงห์	**ผู้ร่วมโครงการ**
นางอาภัสรา แสงนาค	**ผู้ร่วมโครงการ**
นางสาวนิสานารถ กระแสร์ชล	**ผู้ร่วมโครงการ**

โครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้

จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน)

ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2557

มหาวิทยาลัยบูรพา

เลขที่โครงการ 2557A10802193

สัญญาเลขที่ 81/2557

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากสาหร่ายผักกาดทะเลสำหรับเด็กวัยเรียน

Development of Snack Product from Sea Lettuce *(Ulva rigida)* for School Children

นางสาววิชมณี ยืนยงพุทธกาล [1]	หัวหน้าโครงการ
นางสุวรรณา วรสิงห์ [2]	ผู้ร่วมโครงการ
นางอาภัสรา แสงนาค [3]	ผู้ร่วมโครงการ
นางสาวนิสานารถ กระแสร์ชล [1]	ผู้ร่วมโครงการ

[1] ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

[2] ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งตราด

[3] สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

มีนาคม 2558

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้ จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2557 มหาวิทยาลัยบูรพา ผ่านสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ เลขที่สัญญา 81/2557 ข้าพเจ้าและคณะผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้ และขอขอบคุณ นางสาวดุจเดือน ทิมทอง และนางสาววรัญญา บางศรี ผู้ช่วยวิจัยในงานวิจัยครั้งนี้ รวมทั้งขอขอบคุณภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือเพื่อใช้ในการวิจัย ท้ายนี้ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ และนิสิตภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร รวมถึงผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่มีส่วนให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัยครั้งนี้

วิชมณี ยืนยงพุทธกาล

มีนาคม 2558

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการผลิตสาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งให้เป็นอาหารว่างเพื่อสุขภาพสำหรับเด็กวัยเรียน จากการศึกษาวิธีการเตรียมขั้นต้นต่อการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิส พบว่าการเตรียมขั้นต้นด้วยการลวกร่วมกับการแช่ในสภาวะสุญญากาศ มีผลให้ตลอดการออสโมซิสสาหร่ายผักกาดทะเลมีปริมาณน้ำที่สูญเสียและปริมาณน้ำหนักที่ลดลงสูงที่สุด แต่มีปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นต่ำที่สุด โดยค่าการถ่ายเทมวลสารดังกล่าวแตกต่างจากการเตรียมขั้นต้นด้วยการลวกหรือการแช่ในสภาวะสุญญากาศเพียงอย่างเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ผลของการเสริมธาตุเหล็กในสาหร่ายผักกาดทะเลโดยการออสโมซิส พบว่า การเติมเฟอรัสซัลเฟตลงในสารละลายออสโมติกเพิ่มขึ้นทำให้สาหร่ายผักกาดทะเลมีปริมาณเหล็กมากขึ้น โดยพบว่าการเติมเฟอรัสซัลเฟต15% ในสารละลายออสโมติกทำให้สาหร่ายผักกาดทะเลมีปริมาณเหล็กมากที่สุดแต่มีกลิ่นรสของเหล็กเข้มมากและมีสีคล้ำ ปริมาณเฟอรัสซัลเฟตที่เหมาะสม คือ 10% โดยทำให้สาหร่ายผักกาดทะเลมีปริมาณเหล็กเท่ากับ 6.76 g/100g โดยมีกลิ่นรสของเหล็กและสีคล้ำเล็กน้อย การออสโมซิสช่วยลดเวลาในการทำแห้งลงได้ โดยเวลาที่ใช้ในการทำแห้งสาหร่ายผักกาดทะเลที่ไม่ผ่านและผ่านการออสโมซิสเท่ากับ 285 และ 249นาที ตามลำดับ จากการเปรียบเทียบคุณภาพของผลิตภัณฑ์สาหร่ายอบแห้งและสาหร่ายสด พบว่า สาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งที่ผ่านการออสโมซิสมีปริมาณเหล็ก ไอโอดีน น้ำตาลทั้งหมด และโซเดียมมากกว่าสาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิสและสาหร่ายสด ($p<0.05$) แต่มีปริมาณแคลเซียมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสกับเด็กวัยเรียน พบว่า ผลิตภัณฑ์สาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งที่ไม่ผ่านและผ่านการออสโมซิสได้รับคะแนนความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) โดยได้รับคะแนนอยู่ในช่วง 2.73-2.83 คะแนน จาก 5 คะแนน การปรับปรุงกลิ่นรสสาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งด้วยกลิ่นรสปลาและกลิ่นรสกุ้ง ทำให้ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมมากกว่าสาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งแบบเดิม โดยได้รับคะแนนความชอบอยู่ในช่วง 3.70-3.95 คะแนน จาก 5 คะแนน

Abstract

The production of sea lettuce as a health snack food for school children was conducted. Effect of pre-treatments on mass transfer during osmosis was studied. It was found that blanching combined with vacuum impregnation pre-treatment resulted highest both water loss and weight reduction but lowest solids gain. This mass transfer values were significantly difference from blanching or vacuum impregnation pre-treatment alone ($p<0.05$). The result from iron enrichment on sea lettuce using osmosis technique was found that the addition of ferrous sulfate into the osmotic solution increased iron content of sea lettuce. The addition of 15% ferrous sulfate in the osmotic solution could produce the sea lettuce contained the highest iron content but remained strong iron favor and dark color. The optimum content of ferrous sulfate was 10% which made the sea lettuce contained 6.76 g/100g iron content with slightly iron favor and dark color. The osmosis technique could reduce the drying time. Drying time of fresh and osmosed sea lettuce were 285 and 249 minutes, respectively. Qualities of the dried and fresh sea lettuce products were compared. It was found that dried osmosed sea lettuce contained more content of iron, iodine, total sugar and sodium than dried non-osmosed and fresh sea lettuce ($p<0.05$) but not significantly difference on calcium content($p \geq 0.05$). Sensory test with school children was evaluated. It was found that overall liking scores of dried osmosed and non-osmosed sea lettuce were not significant difference ($p \geq 0.05$). The overall liking score ranged 2.73-2.83 from 5 point. Dried sea lettuce flavored with fish and prawn seasoned powder received overall liking scores more than non-flavored dried sea lettuce. The overall liking score ranged 3.70-3.95 from 5 point.

สารบัญ

		หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย		ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		ค
สารบัญ		ง
สารบัญตาราง		ฉ
สารบัญภาพ		ช
บทที่		
1	บทนำ	1
2	การตรวจเอกสาร	5
	สาหร่ายผักกาดทะเล	5
	ขนมขบเคี้ยว	7
	โภชนาการสำหรับเด็กวัยเรียน	10
	สถานการณ์ภาวะโภชนาการของเด็กวัยเรียนในประเทศไทย	14
	หลักการออสโมซิสในการแปรรูปผักผลไม้	19
	การใช้สภาวะสุญญากาศในกระบวนการออสโมซิส	26
	การทำแห้งอาหาร	27
	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	28
3	วิธีดำเนินการทดลอง	33
	วัตถุดิบและสารเคมี	33
	อุปกรณ์และเครื่องมือ	33
	วิธีดำเนินการทดลอง	34
4	ผลการทดลองและวิจารณ์	40

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
5	สรุปผลการทดลอง ข้อเสนอแนะและผลผลิต..	68
บรรณานุกรม	....	70
ภาคผนวก	....	80
ภาคผนวก ก	การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี...	81
ภาคผนวก ข	การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ...	94
ภาคผนวก ค	แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส..	97

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2-1 ความต้องการสารอาหารประเภทต่างๆ ของเด็กไทยวัยเรียน.. 12
4-1 ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL,%) ของสาหร่ายผักกาดทะเลที่ระหว่างการออสโมซิสทั้งที่ไม่ผ่านและผ่านการเตรียมขั้นต้นวิธีต่างๆ.. 48
4-2 ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG,%) ของสาหร่ายผักกาดทะเลที่ระหว่างการออสโมซิส ทั้งที่ไม่ผ่านและผ่านการเตรียมขั้นต้นวิธีต่างๆ.. 49
4-3 ปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (WR,%) ของสาหร่ายผักกาดทะเลที่ระหว่างการออสโมซิสทั้งที่ไม่ผ่านและผ่านการเตรียมขั้นต้นวิธีต่างๆ.. 50
4-4 ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL, %) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG, %) และปริมาณน้ำหนักที่ลดลง(WR, %) ของสาหร่ายผักกาดทะเลหลังการออสโมซิสเมื่อเติมเฟอรัสซัลเฟตในสารละลายออสโมติกระดับต่างๆ.. 51
4-5 ปริมาณเหล็ก (g/100g) ของสาหร่ายผักกาดทะเลหลังออสโมซิสที่ได้จากการแปรปริมาณการเสริมธาตุเหล็ก.. 53
4-6 รายละเอียดเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น (y) กับระยะเวลาการอบแห้ง (x) สาหร่ายผักกาดทะเลที่ไม่ผ่านการออสโมซิสและอบแห้งโดยใช้ตู้อบสุญญากาศ สาหร่ายผักกาดทะเลที่ผ่านการออสโมซิสแล้วอบแห้งโดยใช้ตู้อบแบบสุญญากาศ และตู้อบลมร้อน.. 58
4-7 ผลการเปรียบเทียบคุณภาพทางกายภาพและเคมีของสาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งที่ไม่ผ่านและผ่านการออสโมซิสและสาหร่ายผักกาดทะเลสด.. 59
4-8 ผลการทดสอบความชอบโดยรวมทางประสาทสัมผัสของสาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งทีไม่ผ่านและผ่านการออสโมซิส.. 63
4-9 ผลการทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัสของสาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งที่ไม่ผ่านและผ่านการปรับปรุงกลิ่นรสปลาและกลิ่นรสกุ้ง.. 67

บทที่ 1

บทนำ

สาหร่ายผักกาดทะเล (sea lettuce) เป็นสาหร่ายทะเลชนิดหนึ่งที่มีสีเขียว มีลักษณะแผ่นใบแผ่กว้าง ใบหยักคล้ายใบผักกาด จึงเรียกว่าสาหร่ายผักกาด มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Ulva rigida* สาหร่ายผักกาดทะเลมีคุณค่าทางอาหารหลายชนิดที่มีประโยชน์แก่ร่างกาย มีรายงานว่า องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณประกอบด้วย โปรตีน 13-18% ไขมัน 0.3-1.9% คาร์โบไฮเดรต 53-58% ใยอาหาร 9-12% (น้ำหนักแห้ง) และความชื้น 15-20% มีแร่ธาตุได้แก่ แคลเซียม 388.8 มิลลิกรัม/100 กรัม โซเดียม 1,051.8 มิลลิกรัม/100 กรัม ไอโอดีน 227.7 มิลลิกรัม/1,000 กรัม นอกจากนี้ยังมีวิตามินชนิดต่างๆ เช่น วิตามินบี และวิตามินซี (Padue et al., 2004; สุวรรณา วรสิงห์ และคณะ, 2552) ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งตราด จังหวัดตราด ได้นำพันธุ์สาหร่ายผักกาดทะเลนี้มาทดสอบปลูกขยายเพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งให้มีคุณภาพดีขึ้น พบว่าสาหร่ายสามารถขยายพันธุ์และเจริญเติบโตได้ในปริมาณมาก เมื่อทดลองนำมาแปรรูปรับประทาน พบว่า สาหร่ายชนิดนี้มีกลิ่นรสและรสชาติดีกว่าสาหร่ายทะเลชนิดอื่น และไม่มีมีกลิ่นคาว จึงเห็นว่ามีความเป็นไปได้ที่จะนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหาร (สุวรรณา วรสิงห์ และคณะ, 2552) เมื่อชาวประมงมีความสนใจที่จะเพาะเลี้ยงสาหร่ายเพื่อประโยชน์ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำกันมากจึงทำให้มีสาหร่ายเพิ่มขึ้นในปริมาณมาก ดังนั้นเพื่อให้การส่งเสริมการเพาะเลี้ยงสาหร่ายผักกาดทะเลดำเนินได้อย่างรูปธรรมและครบวงจร การสร้างแนวทางในการนำสาหร่ายผักกาดทะเลมาใช้ประโยชน์อย่างเต็มศักยภาพโดยนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหาร คาดว่าน่าจะเป็นแรงจูงใจที่ดีประการหนึ่งสำหรับชาวประมงและเกษตรกรผู้เพาะเลี้ยงสาหร่ายชนิดนี้ได้

เด็กวัยเรียน หมายถึง เด็กที่มีอายุอยู่ในช่วง 6-12 ปี เป็นวัยที่มีการเจริญเติบโตอย่างสม่ำเสมอจนถึงวัยรุ่น ร่างกายต้องการอาหาร เพื่อสร้างกระดูก ฟัน กล้ามเนื้อ และเลือด ยิ่งไปกว่านั้นเด็กวัยนี้จะมีการออกกำลังกายมากขึ้นจึงจำเป็นต้องได้รับสารอาหารที่มีประโยชน์และเพียงพอต่อร่างกาย การบริโภคอาหารมื้อหลักครบทุกหมู่และเพียงพอจะช่วยทำให้เด็กวัยเรียนสามารถเจริญเติบโตได้อย่างสมวัย แต่อย่างไรก็ตามเด็กวัยเรียนมักมีโอกาสที่จะไม่ได้รับอาหารที่ถูกต้องเพียงพอ สาเหตุหนึ่งที่พบคือ ในการรับประทานอาหารระหว่างมื้อ ในระหว่างพักกลางวัน หรือหลังเลิกเรียนแล้ว เด็กวัยเรียนมักเลือกซื้อขนมขบเคี้ยวรับประทานเองโดยเลือกเฉพาะแบบที่ตนชอบ และโดยส่วนใหญ่แล้วขนมขบเคี้ยวเหล่านี้มักมีคุณค่าทางโภชนาการต่ำ (สำนักงานโภชนาการ กรมอนามัย, 2546) สถานการณ์ภาวะโภชนาการของประเทศไทย ช่วงแผนพัฒนาฉบับที่ 10 พ.ศ. 2550-2554

พบว่า เด็กไทยนิยมบริโภคขนมขบเคี้ยวที่มีน้ำตาล ไขมัน และโซเดียมสูง ทำให้เด็กบางส่วนประสบปัญหากับโรคอ้วน นอกจากนี้เด็กวัยเรียนส่วนใหญ่และสตรีมีครรภ์มีภาวะของการขาดธาตุไอโอดีน นอกจากนี้ผลจากการสำรวจพัฒนาการเด็กไทยโดย กรมอนามัย (2554) พบว่าเด็กไทยมีโภชนาการสมวัยเพียงร้อยละ 73 และการสำรวจ ไอคิวของเด็กนักเรียนไทยอายุ 6-15 ปี โดยกรมสุขภาพจิต พบไอคิวเฉลี่ย 99 จุด ซึ่งต่ำกว่ามาตรฐานสากลคือ 100 จุด สาเหตุหลักเกิดจากการขาดสารไอโอดีน ซึ่งสำคัญต่อการพัฒนาสมองตลอดจนการเลี้ยงดูของพ่อแม่ กระทรวงสาธารณสุขจึงประกาศเจตนารมย์อย่างชัดเจนในการกำหนดมาตรการควบคุมป้องกันโรคขาดสารไอโอดีน โดยตั้งเป้าจะให้เด็กปฐมวัยมีพัฒนาการสมวัยร้อยละ 90 และมีไอคิวเกิน 100 จุด ภายในปี 2559 นอกจากนี้ กองโภชนาการ กรมอนามัย (2552) รายงานสถานการณ์ภาวะโภชนาการของประเทศไทย ช่วงแผนพัฒนาฉบับที่ 10 พ.ศ. 2550-2554 พบว่า เด็กวัยเรียนมีสถิติขาดธาตุเหล็กและเป็นโรคโลหิตจางในปี 2540-2543 อยู่ในช่วงประมาณ 6-12% โดยธาตุเหล็กเป็นธาตุที่ร่างกายต้องการในปริมาณน้อยแต่สำคัญเนื่องจากส่วนประกอบฮีโมโกลบินในเม็ดเลือดแดง มีความสำคัญต่อการพัฒนาการและการเรียนรู้ในเด็กวัยเรียน นอกจากนี้ยังเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ต่างๆ หลายชนิดในสมอง และมีบทบาทในการทำงานของเซลล์เม็ดเลือดขาว ซึ่งเป็นกลไกการต้านโรค (กรมอนามัย, 2552) ประสงค์ เทียนบุญ (2546) กล่าวว่า ไอโอดีน และเหล็ก จัดเป็นแร่ธาตุประเภท micro-elements หรือ trace elements คือร่างกายต้องการในปริมาณ น้อยว่า 100 มิลลิกรัมต่อวัน แต่มีความสำคัญอย่างยิ่งโดยเฉพาะกับเด็ก ทั้งนี้สาหร่ายทะเลเป็นอาหารชนิดหนึ่งที่กรมอนามัยแนะนำให้เด็กและสตรีมีครรภ์ควรบริโภคเนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนาการสูงโดยเฉพาะเป็นแหล่งที่ดีของไอโอดีน

งานวิจัยนี้มีความสนใจพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากสาหร่ายผักกาดทะเลสำหรับเด็กวัยเรียนโดยใช้การออสโมซิสร่วมกับการอบแห้งในสภาวะสุญญากาศ โดยมีแนวคิดผลิตภัณฑ์คือเป็นผลิตภัณฑ์สาหร่ายอบแห้งที่มีองค์ประกอบของธาตุไอโอดีน และธาตุเหล็ก และมีน้ำตาลปริมาณต่ำ รวมถึงหลีกเลี่ยงการแปรรูปโดยการทอดซึ่งใช้น้ำมัน เลือกใช้การอบแห้งแทน ไม่ใช้น้ำตาลซูโครสซึ่งมีความหวานมากเลือกใช้น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส ซึ่งมีความหวานน้อยกว่าน้ำตาล 50% และมีสมบัติเป็นสารพรีไบโอติกที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย เลือกใช้เกลือเสริมไอโอดีนแทนการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ทั่วไปและใช้ในปริมาณต่ำ และมีการเสริมแร่ธาตุที่มีประโยชน์ต่อร่างกายของเด็กวัยเรียนซึ่งมีอยู่ในสาหร่ายผักกาดในปริมาณไม่มากนัก ได้แก่ ธาตุเหล็ก สำหรับการออสโมซิสทำได้โดยแช่ชิ้นอาหารในสารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้นสูง โดยเกิดการถ่ายเทมวลสารระหว่างอาหารกับสารละลายออสโมติก และเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถนำสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกายเข้าสู่ชิ้นอาหารได้ และยังจัดเป็นการดึงน้ำออกบางส่วนออกจากชิ้นอาหารอย่างช้าๆ ซึ่งเป็นการลดปริมาณน้ำในชิ้นอาหารลง โดยชิ้นอาหารมีการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะด้านต่างๆ เพียงเล็กน้อย ผลิตภัณฑ์ยังคงมีสี เนื้อสัมผัส กลิ่นรส

รสชาติ และคุณค่าทางอาหารใกล้เคียงกับของสด (Le Marguar, 1988; Erba, 1994) โครงงานวิจัยนี้ใช้สารละลายออสโมติกในรูปแบบสารละลายผสมโดยเลือกใช้น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสแทนน้ำตาลซูโครสเนื่องจาก มีความหวานน้อยกว่าน้ำตาลซูโครส 50% และมีสมบัติเป็นพรีไบโอติกที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย (Derossi et al., 2011; Derossi et al., 2010; พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, 2550) เลือกใช้เกลือเสริมไอโอดีนแทนการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ทั่วไปและใช้ในปริมาณต่ำ และเสริมธาตุเหล็กซึ่งมีประโยชน์ต่อร่างกายของเด็กวัยเรียน ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก (2532) กล่าวว่า อัตราการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิสจะเพิ่มขึ้น เมื่อเยื่อหุ้มเซลล์ของชิ้นอาหารนั้นถูกทำลาย แต่อย่างไรก็ตามจะต้องไม่ถูกทำลายมากจนทำให้อาหารเกิดการเปลี่ยนแปลงจากของสดไปมาก การเตรียมขั้นต้นเป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถเพิ่มอัตราการถ่ายเทมวลสารได้ งานวิจัยนี้สนใจการเตรียมขั้นต้นก่อนการออสโมซิสโดยการลวกและการแช่ในสภาวะสุญญากาศ การลวกเป็นการให้ความร้อนกับชิ้นอาหารจะทำให้เยื่อหุ้มเซลล์อ่อนตัวลง เป็นผลทำให้เพิ่มอัตราการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิส (Kowalska et al., 2008; Escobar et al., 2007; จุฑามาศ นิวัฒน์, 2542; วรรณารัตน์ ลีสุขสวัสดิ์ และคณะ, 2549; Saencom et al., 2011) และมีรายงานว่า การออสโมซิสภายใต้สภาวะสุญญากาศสามารถเพิ่มการถ่ายเทมวลสารได้ดีกว่าการออสโมซิสในสภาวะบรรยากาศ ช่วยสามารถช่วยลดระยะเวลาการ ออสโมซิสลงได้จึงเป็นการลดโอกาสการเปลี่ยนแปลงที่อาจส่งผลต่อคุณค่าทางโภชนาการ เนื้อสัมผัส และลักษณะปรากฏในระหว่างการออสโมซิสได้ นอกจากนี้ยังสามารถส่งเสริมการแพร่ของสารที่เติมเพิ่มลงไปในสารละลายออสโมติก เช่น แคลเซียม และเหล็ก เป็นต้น (Barrera et al., 2003; Derossi et al., 2010; Aleksandra Rozek et al., 2009; Aleksandra Rozek et al., 2010)

งานวิจัยนี้คณะผู้วิจัยมีแนวคิดยึดหลักเศรษฐกิจพอเพียงในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ ใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์การอาหารมาเลือกใช้กรรมวิธีการแปรรูปที่ไม่ซับซ้อนยุ่งยากหรือใช้เทคโนโลยีชั้นสูงราคาแพง และให้ความสำคัญกับการสามารถนำมาใช้งานได้จริงกับชุมชนและเป็นประโยชน์ในการสร้างผลิตภัณฑ์ที่มีประโยชน์ต่อเยาวชนไทย อีกทั้งได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นเอกลักษณ์ของชุมชน อาจนำไปจำหน่ายในรูปของฝาก ซึ่งสนับสนุนการพัฒนาการท่องเที่ยว เพื่อขับเคลื่อนเศรษฐกิจของท้องถิ่น ทำให้ชุมชนมีความเข้มแข็งมากขึ้น

วัตถุประสงค์

1) เพื่อศึกษาวิธีการเตรียมขั้นต้นที่เหมาะสมก่อนการทำแห้งสาหร่ายผักกาดทะเล

2) เพื่อศึกษาหาวิธีการอบแห้งและการปรับปรุงรสชาติของขนมขบเคี้ยวที่เหมาะสม

ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้มีแนวคิดพัฒนาผลิตภัณฑ์สาหร่ายผักกาดทะเลให้เป็นขนมขบเคี้ยวสำหรับเด็กวัยเรียน กระบวนการแปรรูป ได้แก่ การลวก การดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศ การอบแห้งด้วยลมร้อน และการอบแห้งในสภาวะสุญญากาศ ขอบเขตโครงการวิจัยครอบคลุมตั้งแต่เพื่อศึกษาวิธีการเตรียมขั้นต้นที่เหมาะสมก่อนการทำแห้งสาหร่ายผักกาดทะเล เพื่อศึกษาหาวิธีการอบแห้งและการปรับปรุงรสชาติของขนมขบเคี้ยวที่เหมาะสม โดยแบ่งงานเป็น 5 ตอน ได้แก่ 1) การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและโภชนาการของสาหร่ายผักกาดทะเล เพื่อทราบข้อมูลพื้นฐานของวัตถุดิบที่ใช้วิจัย 2) การศึกษาผลของการเตรียมขั้นต้นก่อนการดึงน้ำออกวิธีออสโมซิส แปรวิธีการเตรียมขั้นต้นเป็น การลวก การแช่ในสภาวะสุญญากาศ การลวกและแช่ในสภาวะสุญญากาศ และตัวควบคุม 3) การศึกษาการเสริมธาตุเหล็กในสาหร่ายผักกาดทะเล โดยเติมเข้าไปในสารละลายผสมที่ใช้ในการแช่ 4) การศึกษาผลของวิธีการอบแห้ง 2 วิธี ได้แก่ การอบแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อน และการอบแห้งในสภาวะสุญญากาศ วิเคราะห์คุณภาพเทียบกับสาหร่ายผักกาดทะเลสด และ 5) การปรับปรุงรสชาติของสาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้ง โดยใช้วิธีการอภิปรายกลุ่ม (focus group discussion) กับเด็กวัยเรียน พิจารณาดำเนินการปรับปรุงโดยมุ่งเน้นปรุงแต่งด้วยสารจากธรรมชาติ หลีกเลี่ยงการใช้สารปรุงรสที่มีประมาณโซเดียมสูง

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

2.1 สาหร่ายผักกาดทะเล

สาหร่ายผักกาดทะเลเป็นสาหร่ายทะเลชนิดหนึ่งที่มีสีเขียว มีลักษณะแผ่นใบแผ่กว้าง ใบหยักคล้ายใบผักกาด จึงเรียกว่าสาหร่ายผักกาดทะเล ซึ่งมีขนาดตั้งแต่ขนาดเล็กมากต้องส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์จนถึงขนาด 65 เซนติเมตร การเจริญเติบโตโดยการแบ่งเซลล์ทั้งในแนวกว้างและแนวยาวจึงแผ่ออกเป็นแผ่นและมีรอบจีบอยู่ตรงขอบ (ภาพที่ 2-1) มีชื่อสามัญเรียกว่า sea lettuce มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Ulva rigida* (สุวรรณา วรสิงห์ และคณะ, 2552)

ภาพที่ 2-1 สาหร่ายผักกาดทะเล

2.1.1) แหล่งที่พบสาหร่ายผักกาดทะเล

สาหร่ายผักกาดทะเลมักขึ้นตามฤดูกาลและพบในบริเวณน้ำลงต่ำสุด นอกจากนี้ยังพบสาหร่ายผักกาดทะเลขึ้นตามชายฝั่งทะเลของจังหวัดภูเก็ต โดยเฉพาะในพื้นที่แหล่งหญ้าทะเลที่มีสาหร่ายชนิดนี้ขึ้นปะปนอยู่หรือหลุดลอยตามผิวน้ำเคลือบทับบนหญ้าทะเลและที่ทางสถานีเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งจังหวัดตราดได้มีการทดลองเพาะเลี้ยงสาหร่ายผักกาดทะเลมาใช้ในการเพาะเลี้ยงปลา

กะรังจุดฟ้า และพ่อแม่พันธุ์หอยหวานเพื่อเป็นอาหารและบำบัดให้น้ำมีคุณภาพดี ด้านการเจริญเติบโตจัดเป็นสาหร่ายที่มีการเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว โดยมีการแบ่งเซลล์ทั้งในแนวกว้างและแนวนอน ซึ่งจะมีการแผ่ออกเป็นแผ่นและมีรอยจีบอยู่ตรงขอบถือเป็นการเพิ่มพื้นที่ในการขยายการเจริญของเซลล์ และพื้นที่ผิวของสาหร่ายที่แผ่กว้างนั้นทำให้สามารถดูดซับธาตุอาหารได้มาก จึงเหมาะแก่การนำมาปรับปรุงคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ (สุวรรณา วรสิงห์, 2552)

2.1.2) ประโยชน์ของสาหร่ายผักกาดทะเล

สุวรรณา วรสิงห์ และคณะ (2552) รายงานว่า สาหร่ายชนิดนี้สามารถนำมาปรุงเป็นอาหารในรูปแบบต่าง ๆ อาทิเช่น สาหร่ายชุบแป้งทอด เทมปูระ ใส่ในสลัด ก๋วยเตี๋ยว ซุปแกงจืด ยำ สปาเก็ตตี้ ฯลฯ นอกจากนี้ยังได้คิดค้นวิธีทำการแปรรูปผักกาดทะเล เพื่อให้สามารถเก็บรักษาไว้ได้นานยิ่งขึ้นโดยการนำสาหร่ายมาล้างน้ำจืดให้สะอาด นำมาลวกด้วยน้ำเดือด 5 วินาที ตากแห้งด้วยแสงแดด หากฤดูฝนอาจใช้วิธีอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที โดยทำการกลับสาหร่ายทุกๆ 2 – 3 นาที เพื่อให้สาหร่ายแห้งทั่วทั้งแผ่น จนได้สาหร่ายอบแห้งที่สามารถเก็บไว้รับประทานได้นานขึ้น โดยการรับประทานสาหร่ายอบแห้งนั้นให้นำมาแช่น้ำจืดประมาณ 2-3 นาที แล้วล้างให้สะอาดอีกครั้งแล้วสามารถนำไปปรุงเป็นอาหารที่ต้องการได้เลย โดยสาหร่ายผักกาดทะเลมีคุณค่าทางอาหารหลายชนิดที่มีประโยชน์แก่ร่างกาย มหาวิทยาลัยแห่งประเทศบราซิลได้รายงานองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายผักกาดทะเลว่าประกอบด้วย โปรตีน 13 – 18 % ไขมัน 0.3 – 1.9 % คาร์โบไฮเดรต 53 – 58 % ใยอาหาร 9 – 12 % น้ำหนักแห้ง และความชื้น 15 – 20 % (Padua et al., 2004 อ้างถึงใน สุวรรณา วรสิงห์, 2552) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับไข่มีโปรตีน 10 – 15 % เนื้อวัวมีโปรตีน 18 – 20 % และในปลาทู ปลาอินทรีย์มีโปรตีน 20 % นอกจากจะมีสารอาหารดังกล่าวแล้ว สาหร่ายผักกาดทะเลยังอุดมไปด้วยวิตามินและเกลือแร่ชนิดต่าง ๆ เช่น วิตามินบี วิตามินซี แคลเซียม และไอโอดีน เป็นต้น อีกทั้งยังเป็นอาหารที่ย่อยง่ายและไขมันต่ำ จึงเหมาะสำหรับผู้ที่ต้องการจะลดน้ำหนัก และยังมีสรรพคุณช่วยรักษาโรคกระดูกผุ ชำระล้างหลอดเลือด ทำให้หลอดเลือดมีความยืดหยุ่น ช่วยลดคลอเลสเตอรอล ลดความดันโลหิต รักษาโรคท้องผูก สมานแผลในกระเพาะอาหาร กระตุ้นภูมิคุ้มกันโรค บรรเทาไขข้ออักเสบ เป็นยาระงับประสาท และ ช่วยกำจัดแบคทีเรียบางชนิดที่ก่อสารมะเร็งได้

อาจกล่าวได้ว่าสำหรับประโยชน์ ด้านอาหาร สาหร่ายทะเลมีคุณสมบัติทั่วไป เช่นเดียวกับพืชบกที่มีโปรตีนและไขมันไม่มากนัก มีแคลเซียมต่ำ แต่กลับมีกากใยอาหารสูง คุณค่าทางอาหารที่

แตกต่างจากพืชบก คือสาหร่ายทะเลจะมีปริมาณวิตามินและเกลือแร่สูง อาทิเช่น วิตามินเอ วิตามินบี วิตามินซี วิตามินดี วิตามินอี และวิตามิน แร่ธาตุแมกนีเซียม แคลเซียม สังกะสี ทองแดง เหล็ก ไอโอดีน เป็นต้น ซึ่งล้วนแต่เป็นพวกที่ร่างกายมนุษย์ต้องการแทบทั้งสิ้น และการที่สาหร่ายผักกาดทะเลมีกากใยสูงถึง 33-75% ของน้ำหนักแห้งส่งผลให้การขับถ่ายสะดวก ป้องกันท้องผูกและเกิดริดสีดวงทวารได้เป็นอย่างดี ตัวอย่างเมนูจากธรรมชาติที่มีคุณค่าต่อสุขภาพ เช่น สาหร่ายเทมปุระ สลัดสาหร่าย สาหร่ายชุบแป้งทอด นอกจากสาหร่ายผักกาดทะเลจะเป็นอาหารของมนุษย์แล้ว สาหร่ายผักกาดทะเลยังเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของพวกแอมฟิพอด หอย ลิ้นทะเล หอยขมทะเล และหอยเม่น (อนุสรา แก่นทอง, 2555)

สุวรรณา วรสิงห์ และคณะ (2552) กล่าวถึงประโยชน์ด้านการประมงและด้านระบบนิเวศ เป็นงานวิจัยต่อยอดในการใช้สาหร่ายผักกาดทะเล บำบัดน้ำเสียในฟาร์มของสถานีเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งจังหวัดตราด พบว่าสาหร่ายชนิดนี้สามารถดูดซับแอมโมเนียจากน้ำทิ้งทางการเกษตร นอกจากนี้ยังดึงสารประกอบไนโตรเจนจากน้ำทิ้งมาเป็นปุ๋ย ทำให้คุณภาพของน้ำดีขึ้นช่วยให้ผู้ประกอบการลดปริมาณการเปลี่ยนถ่ายน้ำ สาหร่ายผักกาดทะเลสามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพ (Bioindicators) ในแหล่งน้ำธรรมชาติได้กล่าวคือ หากมีสาหร่ายชนิดนี้มากในแหล่งน้ำแสดงว่า ในแหล่งน้ำดังกล่าวมีความอุดมสมบูรณ์ของสารอาหารมาก เช่น พวกไนโตรเจน และฟอสเฟต ในทางกลับกันหากสาหร่ายลดจำนวนลงก็จะบ่งชี้ได้ว่าแหล่งน้ำกำลังประสบปัญหาการปนเปื้อน จนทำให้สาหร่ายผักกาดทะเลไม่สามารถเจริญเติบโตได้ตามปกติ

2.2 ขนมขบเคี้ยว

ขนมขบเคี้ยว (Snack foods) หมายถึง อาหารที่ใช้รับประทานเล่นระหว่างมื้ออาหารหลัก ลักษณะเด่นของขนมขบเคี้ยวในปัจจุบัน คือ น้ำหนักน้อย เก็บรักษา นำติดตัวไปในที่ต่างๆได้สะดวก ขนมขบเคี้ยวจัดเป็นอาหารให้พลังงานสูง เนื่องจากมีส่วนผสมของคาร์โบไฮเดรตเป็นจำนวนมาก จึงช่วยให้อิ่มท้องได้

รองรัตน์ รัตนาธรรมวัฒน์ (2546) กล่าวว่า ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวหรืออาหารว่างเป็นผลิตภัณฑ์ที่นิยมบริโภคกันทั่วไปในระหว่างมื้อของอาหาร และความนิยมดังกล่าวได้มีเพิ่มมากขึ้นในปัจจุบัน ผลิตภัณฑ์ที่มีจำหน่ายในท้องตลาดมีหลากหลายรูปแบบ ซึ่งผลิตจากวัตถุดิบและใช้กรรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกันไป จากความนิยมในการบริโภคขนมขบเคี้ยวที่เพิ่มมากขึ้นผนวกกับความเจริญของเทคโนโลยี จึงทำให้มีการพัฒนาเปลี่ยนแปลงการผลิตจากระดับครัวเรือนมาเป็นระดับ

อุตสาหกรรม ซึ่งทำให้ชนิดและรูปแบบของผลิตภัณฑ์มีความหลากหลายมากขึ้น รวมทั้งการแข่งขันทางการตลาดก็สูงขึ้นด้วย

จากการรวบรวมความหมายของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว (Snack) หรืออาหารขบเคี้ยว (snack food) ของ Blenford (1982); Tettweiler (1991); ธงชัย สันติวงษ์ (2535); เพ็ญขวัญ ชมปรีดา และทัศนีย์ คชสีห์ (2541) อ้างถึงใน รองรัตน์ รัตนาธรรมวัฒน์ (2546) สรุปได้ว่า ขนมขบเคี้ยวควรมีลักษณะพื้นฐานดังนี้ มีลักษณะรูปร่างขนาดเล็ก อาจเป็นของหวานหรือของคาว โดยที่ผลิตภัณฑ์ผ่านกระบวนการแปรรูปมาแล้วพร้อมบริโภคได้ทันที หรือมีการเตรียมเพียงเล็กน้อย บริโภคขณะร้อนหรือเย็นในรูปของแข็งหรือของเหลวก็ได้ ใช้รับประทานเป็นอาหารว่างหรือโอกาสต่างๆ ตามที่ผู้บริโภคต้องการ ซึ่งจะทำ ให้เกิดความพึงพอใจและประทังความหิวในช่วงระยะเวลาสั้นๆ ได้ ผลิตภัณฑ์สามารถเก็บรักษาได้นาน 6 สัปดาห์ โดยไม่ต้องอาศัยความเย็น นอกจากอาหารที่ประกอบภายในครัวเรือนแล้วอาหารขบเคี้ยวส่วนใหญ่ยังมีการผลิตในระดับอุตสาหกรรม

ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวในประเทศไทยมีหลากหลายรูปแบบ ซึ่งบริษัทศูนย์วิจัยไทยพาณิชย์ จำกัด (2543) อ้างถึงใน รองรัตน์ รัตนาธรรมวัฒน์ (2546) ได้จำแนกประเภทของขนมขบเคี้ยวที่มีในตลาดส่วนใหญ่เป็น 7 ประเภทหลัก ได้แก่ 1) มันฝรั่งทอด หรืออบเนย ทั้งชนิดแท่ง (stick) และแผ่น 2) ปลาเส้น ปลาแผ่น ปรุงรสต่างๆ 3) ขนมขึ้นรูป ได้แก่ ขนมอบกรอบที่ผลิตจากวัตถุดิบประเภทแป้ง เช่น แป้งข้าวโพดและส่วนผสมอื่น ขึ้นรูปเพื่อให้มีรูปร่างต่างๆกัน 4) ขนมขบเคี้ยวประเภทถั่วต่างๆ 5) ข้าวเกรียบกุ้ง ข้าวเกรียบปลา และอื่นๆ 6) ข้าวโพดอบเนย 7) ปลาหมึกปรุงรส

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 เป็นการทอดในระยะเวลาสั้นๆมักมีลักษณะเป็นแผ่นเพลเลต (Pellet) มีการทำ ให้สุกมาแล้วบางส่วน ซึ่งได้จากมันฝรั่ง แป้งมันฝรั่ง และ/หรือธัญชาติอื่นๆ นำมาทอดที่อุณหภูมิสูง (เช่น ประมาณ 200 องศาเซลเซียส) เป็นเวลาสั้นๆ (10 -15 วินาที) ทำ ให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความพองและเนื้อสัมผัสเบา

3) Extrusion cooked มักเป็นส่วนผสมของมันฝรั่งและธัญชาติอื่นๆ ที่อยู่ในลักษณะเป็นผง นำไปผลิตด้วยเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ที่อุณหภูมิและความดันสูง เพื่อให้ได้เอ็กซ์ทรูเดตที่ทำให้พองด้วยการทอดในภายหลัง จากนั้นทำการเคลือบด้วยน้ำมันและกลิ่นรส ผลิตภัณฑ์ที่วางจำหน่ายในตลาด

เป็นจำนวนมากอยู่ในกลุ่มนี้ และสามารถทำให้ผลิตภัณฑ์มีรูปร่าง ลักษณะเนื้อสัมผัส และกลิ่นรส แตกต่างกัน

4) Roasted เป็นการอบผลิตภัณฑ์ในกลุ่มนี้มักเป็นพวกถั่วต่างๆ (Nuts) เช่น 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 ศูนย์วิจัยกสิกรไทยรายงานว่า ปัจจุบันขนมขบเคี้ยวมีการผลิตออกมาจำหน่ายในท้องตลาดเป็นจำนวนมากมายหลายชนิด ประมาณว่ามีมูลค่าปีหนึ่งๆไม่ต่ำกว่า 4,000-5,000 ล้านบาท และมีแนวโน้มว่าจะขยายตัวได้อีก ขนมขบเคี้ยวที่ผลิตได้ในประเทศสามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ ประเภทกึ่งอาหารหลัก ได้แก่ ขนมปังกรอบ เช่น คุกกี้ แครกเกอร์ ซึ่งมูลค่าตลาดของสินค้าประเภทนี้คาดว่า ประมาณร้อยละ 40 ของตลาดอาหารว่างทั้งหมด ประเภทที่ 2 เป็นอาหารว่างที่รับประทานเป็นอาหารเล่น ซึ่งตลาดกำลังเจริญเติบโตและมีทีท่าว่าจะแย่งตลาดสินค้าประเภทลูกอม ลูกกวาด อีกด้วย ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากแป้งปรุงรส ถั่ว ข้าวเกรียบ เป็นต้น ในปัจจุบัน เมื่อสังคมมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่สถาบันพื้นฐานของครอบครัว ไปจนถึงการพัฒนาเทคโนโลยี ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของผู้บริโภค ซึ่งปัจจุบันมีแนวโน้มที่จะซื้อสินค้าโดยไม่ได้พิจารณาที่ราคาถูกเพียงอย่างเดียว ยิ่งผู้ที่มีรายได้สูงอยู่แล้วจะพยายามเลือกซื้อสินค้าที่มีคุณภาพดีแม้ราคาจะแพงก็ตาม พฤติกรรมของผู้บริโภคไทยเปลี่ยนไปให้ความสำคัญต่อสุขภาพมากขึ้น สนใจกับสินค้าเพื่อสุขภาพตามกระแสที่กำลังเกิดขึ้นในตะวันตก สำหรับอาหารว่างซึ่งมักถูกมองว่าเป็นอาหารที่ไม่มีคุณค่า และเป็นสาเหตุของการเกิดทุพโภชนาการโดยเฉพาะในเด็ก (Sinthavalai, 1984) ก็ได้มีการพัฒนาโดยคำนึงถึงคุณค่าทางโภชนาการและผลต่อสุขภาพเป็นหลัก เรียกได้ว่าเป็นขนมขบเคี้ยวยุคใหม่ (New generation snacks) ซึ่งหมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันต่ำ ใช้วิธีการอบแทนการทอด มีใยอาหารสูง เป็นต้น โดยกลุ่มของผลิตภัณฑ์ที่กำลังได้รับความสนใจ และมีการพัฒนาอย่าง

มาก ได้แก่ ขนมขบเคี้ยวแบบแท่ง (Snack bars) ขนมขบเคี้ยวผสม (Snack mixes) และขนมขบเคี้ยวจากธัญพืช (Granola products)

การตลาดของขนมขบเคี้ยวในประเทศไทยเป็นตลาดที่มีแนวโน้มการขยายตัวค่อนข้างสูงจะเข้าไปเบียดตลาดลูกอมเพราะกลุ่มเป้าหมายกลุ่มเดียวกัน จนทำให้ตลาดลูกอมไม่ค่อยจะมีอัตราการเติบโตมากนัก ประกอบกับตลาดขนมขบเคี้ยวมักจะมีอะไรแปลกๆใหม่ๆ มานำเสนอบริโภคในรูปแบบรสชาติใหม่ รวมทั้งมีกิจกรรมทางการตลาดอย่างสม่ำเสมอจนทำให้ตลาดเกิดความเคลื่อนไหวอยู่ตลอดเวลา ด้านการแข่งขันของตลาดขนมขบเคี้ยวก็มีหลายรูปแบบ เพื่อกระตุ้นผู้บริโภคในรูปแบบต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นการชิงโชค การแจกของพรีเมี่ยม อาทิ ข้าวเกรียบกุ้ง ได้จัดโปรโมชั่นชิงโชค หรือมันฝรั่งอย่างเลย์ ได้จัดโปรโมชั่นอย่างหนัก และต่อเนื่องร่วมกับโรงภาพยนตร์ สื่อวิทยุ เป็นต้น ผู้ประกอบการจะให้ความสนใจในตัวสินค้า คือให้ความสำคัญกับรสชาติและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ การออกสินค้าใหม่ ต้องแตกต่างจากสินค้าชนิดอื่นในท้องตลาด และมีจุดขายที่ชัดเจน มีคุณค่าทางโภชนาการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณค่าทางโภชนาการ ซึ่งผู้บริโภคมีแนวโน้มที่จะมีพฤติกรรมในการใส่ใจสุขภาพของตนเอง เลือกสินค้าที่มีประโยชน์กับร่างกายมากขึ้น ดังนั้นถ้าสินค้าขนมขบเคี้ยวตัวใดที่จัดว่ามีคุณค่าทางอาหาร หรือภาพพจน์ของสินค้าที่ดีก็สามารถเกิดได้เร็วในตลาดสินค้าขนมขบเคี้ยว

2.3 โภชนาการสำหรับเด็กวัยเรียน

สำนักงานโภชนาการ กรมอนามัย (2546) กล่าวว่า เด็กวัยเรียน หมายถึง เด็กอายุ 6-12 ปี เป็นวัยที่มีการเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่อง เด็กวัยเรียนมีอัตราการเจริญเติบโตในช่วงวัยเรียนตอนต้นจะเป็นไปอย่างช้าๆ แต่สม่ำเสมอเพื่อเตรียมความพร้อมเข้าสู่วัยแรกรุ่น ในช่วงวัยเรียนตอนปลายอัตราการเจริญเติบโตของร่างกายจะสูงมากอีกครั้งหนึ่ง เพศหญิง เริ่มเข้าสู่วัยแรกรุ่นเมื่ออายุประมาณ 10 ปี เร็วกว่าเพศชายประมาณ 2 ปี สำหรับการเจริญเติบโตของเนื้อเยื่อสมองและระบบประสาท จะไม่มีการเจริญเติบโตเพิ่มขนาด แต่จะมีการพัฒนาในด้านการเสริมสร้างเชาวน์ปัญญา พฤติกรรมการกินอาหารของเด็กวัยนี้คือ จะไม่ลองอาหารเคยกิน กินอาหารไม่ตรงเวลา มัวแต่เล่นจนลืมกิน เล่นมากจนเพลียไม่อยากกินอาหาร เลือกกินอาหารที่ไม่มีคุณค่าทางโภชนาการ

ดังนั้น เด็กวัยเรียนจึงต้องการอาหารที่ดีให้พลังงานเพียงพอ เพื่อการเจริญเติบโต และพัฒนาการของสมอง โดยมีข้อปฏิบัติในการจัดอาหารสำหรับเด็กวัยเรียน ดังนี้

1) จัดอาหารให้ครบ 5 หมู่ ในแต่ละวันโดยให้มีปริมาณพอเหมาะกับความต้องการ
2) ควรให้เด็กเป็นผู้เสนอรายการอาหารบ้าง เพื่อให้เด็กมีความรู้สึกถึงการมีส่วนร่วม

3) ควรฝึกวินัยในการรับประทานอาหารให้เป็นเวลา ไม่รับประทานอาหารจุบจิบ อย่างไรก็ตามอาจจะยอมให้เด็กกินอาหารผิดเวลาบ้างโดยเฉพาะวันหยุด เพื่อผ่อนคลายความกดดันที่โรงเรียน

4) ควรฝึกให้เด็กรู้จักความพอดีในการรับประทานอาหารแต่ละประเภท ไม่ควรตามใจ หรือใช้อาหารเป็นสิ่งต่อรองให้รางวัล หรือทำโทษ

5) ควรมีอาหารสำรองไว้บ้างเป็นอาหารที่เตรียมได้ง่ายแต่มีแระโยชน์เพราะเด็กวัยนี้นอกจากกินอาหารไม่เป็นเวลาเพราะห่วงเล่น ยังหิวไม่เป็นเวลาอีกด้วย

Bogert et al. (1973) อ้างถึงใน กาญจนา สุภทนต์ (2538) และ กรมอนามัย (2553) กล่าวว่า เด็กที่มีอายุอยู่ในช่วง 7-10 ปี เป็นวัยที่มีการเจริญเติบโตอย่างสม่ำเสมอจนถึงวัยรุ่น ร่างกายต้องการอาหารเพื่อสร้างกระดูก ฟัน กล้ามเนื้อ และเลือด ยิ่งไปกว่านั้นเด็กวัยนี้จะมีการออกกำลังกายมากขึ้นจึงจำเป็นต้องได้รับสารอาหารที่มีประโยชน์และเพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย เด็กช่วงวัยนี้มีปัญหาทั้งการขาดสารอาหารและภาวะโภชนาการเกิน ปัญหาการขาดสารอาหารที่พบบ่อยในเด็กวัยเรียนและวัยรุ่น คือ ภาวะการขาดโปรตีนและพลังงาน โรคโลหิตจางจากการขาดธาตุเหล็ก และโรคขาดสารไอโอดีน ปัญหาดังกล่าวจะทำให้เด็กเจริญเติบโตช้า เจ็บป่วยบ่อย ความสามารถในการเรียนรู้ด้อย ผลสัมฤทธิ์ในการเรียนต่ำ และสมรรถภาพในการทำกิจกรรมและการเล่นกีฬาต่ำ

กรมอนามัย (2546) รายงานว่า ความต้องการพลังงานและสารอาหารประเภทต่างๆ ของเด็กวัยเรียนแสดงดังตารางที่ 2-1 โดยสรุปปริมาณพลังงานสำหรับเด็กวัยเรียนอายุ 6-8 ปี และ 9-12 ปี จากปริมาณสารอาหารอ้างอิงที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทย พ.ศ. 2546 คือผู้ชาย 6-8 ปี 1,400 กิโลแคลอรี่ 9-12 ปี 1,700 กิโลแคลอรี่ ผู้หญิง 6-8 ปี 1,400 กิโลแคลอรี่ ผู้หญิง 9-12 ปี 1,600 กิโลแคลอรี่ โดยมีการกระจายของพลังงานจากสารอาหารโปรตีนร้อยละ 10-12 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 45-65 และไขมันร้อยละ 25-35 ของพลังงานที่ได้รับต่อวัน (กรมอนามัย, 2546)

กรมอนามัย (2546) และ นิรนาม (2526) อ้างถึงใน กาญจนา สุภทนต์ (2538) กล่าวว่า เด็กวัยเรียน เป็นวัยที่ต้องการปริมาณแคลลอรี่เพียงพอ สำหรับการเจริญเติบโตเพราะใช้พลังงานในการวิ่งเล่นและออกกำลังกายมาก พลังงานที่ใช้ควรได้รับจากคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 50 ของอาหารที่เด็กรับประทาน ถ้าเด็กได้รับแคลลอรี่น้อยไป โปรตีนจะถูกนำมาใช้เป็นพลังงานซึ่งเป็นการเสียประโยชน์อย่างมากแทนที่จะใช้อาหารประเภทโปรตีนไปใช้ในด้านที่สำคัญกว่า เช่นสร้างร่างกายให้เจริญเติบโต ซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอของร่างกาย และสร้างความต้านทานโรค ส่วนไขมีนก็มีความสำคัญโดยเฉพาะกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกายซึ่งมักจะมีในน้ำมันพืช การให้เด็กรับประทาน

ตารางที่ 2-1 ความต้องการสารอาหารประเภทต่างๆ ของเด็กไทยวัยเรียน

พลังงาน/สารอาหาร	ปริมาณที่ควรได้รับในแต่ละวัน
พลังงาน (กิโลแคลลอรี)	2,000
โปรตีน (กรัม)	28
วิตามินที่ละลายในไขมัน	
วิตามินเอ (ไมโครกรัมเรตินอล)	700
วิตามินดี (ไมโครกรัม)	10
วิตามินอี (มิลลิกรัม แอลฟาโทโคฟีรอล)	7
วิตามินเค (ไมโครกรัม)	30
วิตามินที่ละลายในน้ำ	
วิตามินซี (มิลลิกรัม)	45
ไทอะมิน (มิลลิกรัม)	1
ไรโบฟลาวิน (มิลลิกรัม)	1.2
ไนอะซิน (มิลลิกรัม)	13
วิตามินบีหก (มิลลิกรัม)	1.4
โฟเลท (ไมโครกรัม)	100
วิตามินบีสิบสอง (ไมโครกรัม)	1.4
ไบโอติน (ไมโครกรัม)	30
กรดเพนโทธีนิค (มิลลิกรัม)	4-5
เกลือแร่	
แคลซียม (มิลลิกรัม)	800
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	800
เกลือแร่ที่ต้องการในปริมาณน้อย	
เหล็ก (มิลลิกรัม)	10
สังกะสี (มิลลิกรัม)	10
ไอโอดีน (ไมโครกรัม)	120
แมกนีเซียม (มิลลิกรัม)	170
ซีลีเนียม (ไมโครกรัม)	30
ทองแดง (มิลลิกรัม)	1-2
มังกานีส (มิลลิกรัม)	2-3
ฟลูออไรด์ (มิลลิกรัม)	1.5-2.5
โครเมียม (ไมโครกรัม)	50-200
โมลิบดินัม (ไมโครกรัม)	50-150

ที่มา : กรมอนามัย (2546)

อาหารที่ใช้วิธีการทอดหรือการผัด หรือรับประทานเนื้อติดมัน จะทำให้เด็กได้รับไขมันในปริมาณที่เพียงพอ ศิริลักษณ์ สินธวาลัย (2533) กล่าวว่า นอกจากนี้ เด็กในวัยเรียนยังต้องการวิตามินและเกลือแร่ซึ่งแม้จะต้องการในปริมาณน้อย แต่ถ้าขาดไปก็จะทำให้เมตาบอลิซึมภายในร่างกายผิดปกติและทำให้เกิดโรคได้ วิตามินและเกลือแร่ที่สำคัญสำหรับเด็กวัยนี้ ได้แก่

- วิตามินเอ ได้จาก น้ำนม ตับ ไข่แดง ฟักทอง มะละกอสุก เป็นต้น วิตามินเอจะช่วยในการเจริญเติบโตและเพิ่มความต้านทานโรค นอกจากนี้ยังช่วยบำรุงผิวหนังและตา ถ้าขาดวิตามินเอจะทำให้เป็นโรคตาฟาง ถ้าเป็นมากอาจทำให้ตาบอดได้

- วิตามินบีหนึ่ง ได้จาก รำข้าว ตับ ข้าวซ้อมมือ ถั่วเมล็ดแห้ง เป็นต้น วิตามินบีหนึ่งจะช่วยบำรุงประสาท เพิ่มความอยากอาหาร ทำให้หัวใจทำหน้าที่ปกติ ถ้าขาดวิตามินบีหนึ่งจะทำให้เป็นโรคเหน็บชา

- วิตามินบีสอง ได้จาก นม เครื่องในสัตว์ ถั่วเมล็ดแห้ง เป็นต้น วิตามินบีสองจะบำรุงผิวหนัง ประสาท ตา ลิ้น และริมฝีปาก ถ้าขาดวิตามินบีสองจะทำให้เป็นโรคปากนกกระจอก

- วิตามินซี ได้จาก ผักใบเขียว โดยเฉพาะผักดิบ น้ำผลไม้ เช่น น้ำส้ม น้ำมะเขือเทศ วิตามินซีจะช่วยเพิ่มความต้านทานโรค ทำให้แผลหายเร็ว ถ้าขาดวิตามินซีทำให้อาจเป็นโรคเลือดออกตามไรฟันและโรคเหงือก

- วิตามินดี ได้จาก ตับ ไข่แดง ช่วยสร้างและบำรุงกระดูกและฟัน ถ้าขาดวิตามินดีจะทำให้เป็นโรคกระดูกอ่อน สำหรับประเทศไทยเด็กไม่ค่อยมีการขาดวิตามินดีเพราะร่างกายสามารถสังเคราะห์ได้เมื่อได้รับแสงแดดอย่างเพียงพอ

- เหล็ก มีมากในตับทุกชนิด เครื่องในสัตว์ ถั่วเมล็ดแห้ง เป็นต้น มีผลในการสร้างและบำรุงโลหิต การขาดธาตุเหล็กทำให้เป็นโลหิตจาง ลือชา วนรัตน์ (2536) อ้างถึงใน กาญจนา สุภทนต์ (2538) กล่าวว่า เด็กวัยเรียนถือเป็นกลุ่มเสี่ยงต่อการขาดธาตุเหล็ก เพราะเด็กในวัยนี้ร่างกายเจริญเติบเร็ว มีการสร้างเม็ดเลือดแดงมากขึ้นจึงมีความจำเป็นที่ต้องการธาตุเหล็กมากขึ้น

- แคลเซียม มีมากใน นม งา ปลาเล็กปลาน้อย เป็นต้น มีผลให้การสร้ากระดูกและฟัน ช่วยให้เลือดแข็งตัวเร็ว ควบคุมระบบประสาทที่ใช้ควบคุมกล้ามเนื้อ ถ้าขาดแคลเซียมจะทำให้เป็นโรคกระดูกอ่อน เจริญเติบโตไม่เต็มที่ แคระแกรน ฟันไม่แข็งแรง และถ้ามีแคลเซียมในเลือดต่ำจะทำให้เลือดแข็งตัวช้า

ในวันหนึ่งๆ เด็กควรได้รับสารอาหารตามที่กล่าวไว้ในตารางที่ 2-1 แต่การรับประทานอาหารมื้อหลักเพียงอย่างเดียวอาจไม่ทำให้เด็กได้รับสารอาหารครบถ้วน เนื่องจากอาหารแต่ละมื้อมีปริมาณมากกว่าเกินที่เด็กจะรับประทานได้ อาหารว่างจึงมีความสำคัญสำหรับเด็กวัยเรียน เพราะนอกจากสามารถประทังความหิวก่อนที่จะถึงอาหารมื้อหลักได้แล้วยังช่วยให้เด็กไดรับสารอาหารครบถ้วนอีกด้วย ถ้าอาหารว่างชนิดนั้นมีคุณค่าทางอาหารใกล้เคียงกับอาหารมื้อหลัก จะช่วยลดปริมาณอาหารมื้อหลักที่เด็กต้องรับประทานลงได้ (Guthrie, 1979 อ้างถึงใน กาญจนา สุภทนต์, 2538)

Munro (1957) อ้างถึงใน กาญจนา สุภทนต์ (2538) พบว่า การรับประทานอาหารว่างก่อนอาหารมื้อเที่ยงเป็นเวลา 2 ชั่วโมงครึ่งจะไม่มีผลต่อความยากอาหารของอาหารมื้อเที่ยง ทั้งยังได้รับพลังงานมากกว่าการรับประทานอาหารมื้อเที่ยงเพียงมื้อเดียว ดังนั้นอาหารว่างจึงมีความสำคัญในการส่งเสริมให้เด็กได้รับสารอาหารที่ครบถ้วนและการรับประทานอาหารปริมาณน้อยแต่บ่อยครั้งนี้จะทำให้ลดการสร้างเนื้อเยื่อไขมันลงถือเป็นการป้องกันโรคอ้วนได้อีกด้วย

2.4 สถานการณ์ภาวะโภชนาการของเด็กวัยเรียนในประเทศไทย

สำหรับพฤติกรรมของเด็กวัยเรียน Stare และ McWilliams (1981) กล่าวว่า เมื่อเด็กเริ่มเข้าโรงเรียนเด็กจะยังคงได้รับประทานอาหารที่บ้านทุกมื้อ ยกเว้นมื้อเที่ยง ในช่วงแรกผู้ปกครองก็ยังดูแลในเรื่องอาหารอย่างใกล้ชิด เด็กยังไม่มีอิสระในการตัดสินใจเลือกอาหารเท่าใดนัก ต่อมารูปแบบการรับประทานอาหารของเด็กวัยเรียนจะเริ่มเปลี่ยนไป การรับประทานอาหารมื้อเช้าจะต้องรีบเร่งมากขึ้น จนบางครั้งเด็กอาจไม่ได้รับประทานอาหารเช้าเนื่องจากต้องรีบเร่งไปโรงเรียน ทั้งนี้จากการศึกษาของ Cereal Institute (1962) พบว่าอาหารเช้านั้นมีคุณค่าต่อร่างการมาก เด็กที่รับประทานอาหารเช้าที่มีประโยชน์จะเรียนหนังสือและทำกิจกรรมต่างๆได้ดีกว่าเด็กที่อดอาหารเช้า

การรับประทานอาหารมื้อเที่ยงที่โรงเรียนมีผลต่อการได้รับสารอาหารต่างๆของเด็กเช่นกัน เด็กที่รับประทานอาหารของโรงงเรียนอาจจะเลือกรับประทานแต่อาหารที่ตนเองชอบ เช่น เนื้อสัตว์ และไม่รับประทานอาหารที่ตนไม่ชอบ เช่น ผักต่างๆ ส่วนเด็กบางคนที่ผู้ปกครองให้เงินมาเพื่อซื้ออาหารเที่ยงรับประทานเอง เด็กยังไม่รู้จักที่จะเลือกซื้ออาหารว่างชนิดที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายมาเพื่อบริโภค จึงอาจนำเงินไปซื้ออาหารประเภททีมีคุณค่าทางโภชนาการต่ำ เช่น ขนมหวาน ทอฟฟี่ ลูกกวาด (นิรนาม, 2526)

นอกจากนี้ Drummond (1989) ยังกล่าวอีกว่า เด็กวัยเรียนจะมีความยากอาหารและหิวบ่อย ประมาณว่ามีความต้องการที่จะรับประทานทุกๆ 4-6 ชั่วโมง เพราะเด็กจะเสียพลังงานไปกับการทำกิจกรรมต่างๆมาก ทำให้ต้องหาอาหารมารับประทานประทังความหิวก่อนที่จะได้รับประทานอาหารมื้อหลัก บางครั้งเด็กรับประทานอาหารว่างจนอิ่ม และทำให้รับประทานอาหารมื้อหลักได้น้อย

ในวันหนึ่งๆเด็กควรได้รับสารอาหารตามที่กล่าวไว้ในตารางที่ 1 แต่การรับประทานอาหารมื้อหลักเพียงอย่างเดียวอาจไม่ทำให้เด็กได้รับสารอาหารครบถ้วน เนื่องจากอาหารแต่ละมื้อมีปริมาณมากกว่าเกินที่เด็กจะรับประทานได้ อาหารว่างจึงมีความสำคัญสำหรับเด็กวัยเรียน เพราะนอกจากสามารถประทังความหิวก่อนที่จะถึงอาหารมื้อหลักได้แล้วยังช่วยให้เด็กไดรับสารอาหารครบถ้วนอีกด้วย ถ้าอาหารว่างชนิดนั้นมีคุณค่าทางอาหารใกล้เคียงกับอาหารมื้อหลัก จะช่วยลดปริมาณอาหารมื้อหลักที่เด็กต้องรับประทานลงได้ (Guthrie, 1979)

Munro (1957) พบว่า การรับประทานอาหารว่างก่อนอาหารมื้อเที่ยงเป็นเวลา 2 ชั่วโมงครึ่งจะไม่มีผลต่อความยากอาหารของอาหารมื้อเที่ยง ทั้งยังได้รับพลังงานมากกว่าการรับประทานอาหารมื้อเที่ยงเพียงมื้อเดียว ดังนั้นอาหารว่างจึงมีความสำคัญในการส่งเสริมให้เด็กได้รับสารอาหารที่ครบถ้วนและการรับประทานอาหารปริมาณน้อยแต่บ่อยครั้งนี้ จะทำให้ลดการสร้างเนื้อเยื่อไขมันลง ถือเป็นการป้องกันโรคอ้วนได้อีกด้วย

2.4.1 ภาวะของการขาดไอโอดีน

กองโภชนาการ กรมอนามัย (2552) รายงานสถานการณ์ภาวะโภชนาการของประเทศไทย ช่วงแผนพัฒนาฉบับที่ 10 พ.ศ. 2550-2554 พบว่า เด็กและสตรีมีครรภ์มีสถิติขาดไอโอดีน จึงเสนอแนวทางแก้ปัญหา โดยกองโภชนาการใช้ยุทธศาสตร์ 6 เรื่อง ในการแก้ไขปัญหาภาวะการขาดไอโอดีน ดังนี้ ยุทธศาสตร์ที่ 1 การผลิตและการกระจายเกลือเสริมไอโอดีนที่มีคุณภาพ โดยการบริหารจัดการที่มีความต่อเนื่องยั่งยืน ยุทธศาสตร์ที่ 2 การจัดทำระบบการเฝ้าระวัง ติดตามและประเมินผลของโครงการ ยุทธศาสตร์ที่ 3 การสร้างความเข้มแข็งให้กับองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น พันธมิตร และภาคีเครือข่าย เพื่อการมีส่วนร่วม ยุทธศาสตร์ที่ 4 การประชาสัมพันธ์ รณรงค์และการตลาดเชิงสังคมเพื่อการบริโภคเกลือเสริมไอโอดีนอย่างต่อเนื่อง ยุทธศาสตร์ที่ 5 การศึกษา และวิจัย สุดท้าย ยุทธศาสตร์ที่ 6 การใช้มาตรการเสริมในระยะเฉพาะหน้าและมาตรการเสริมอื่น

กระทรวงสาธารณสุข ประกาศเจตนารมณ์ส่งเสริมสุขภาพหญิงตั้งครรภ์และเด็กได้รับไอโอดีนที่มีคุณภาพอย่างต่อเนื่องและเพียงพอ ซึ่งเป็นกลยุทธ์ในการเสริมสร้างสติปัญญาเด็กไทยให้

เฉลียวฉลาด เน้นป้องกันเด็กปัญญาอ่อน เร่งพัฒนาระดับสติปัญญาการเรียนรู้และพัฒนาการของเด็ก ทั้งนี้เกี่ยวเนื่องมาจากการสำรวจพัฒนาการเด็กไทย กรมอนามัย (2554) พบว่า เด็กไทยมีโภชนาการสมวัยเพียงร้อยละ73 และการสำรวจ ไอคิวของเด็กนักเรียนไทยอายุ 6-15 ปี โดยกรมสุขภาพจิต พบไอคิวเฉลี่ย 99 จุด โดยสูงสุดที่กรุงเทพฯ 105 จุด ต่ำสุดที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 96 จุด ซึ่งต่ำกว่ามาตรฐานสากลคือ 100 จุด สาเหตุหลักเกิดจากการขาดสารไอโอดีนซึ่งสำคัญต่อการพัฒนาสมอง ตลอดจนการเลี้ยงดูของพ่อแม่ มาตรการควบคุมป้องกันโรคขาดสารไอโอดีน กระทรวงสาธารณสุขตั้งเป้าจะให้เด็กปฐมวัยมีพัฒนาการสมวัยร้อยละ 90 และมีไอคิวเกิน 100 จุด ภายในปี 2559 การดำเนินการใน 4 ปีนี้ โดยจะเน้น 3 เรื่อง ได้แก่

1) การส่งเสริมสุขภาพในประชากร 5 กลุ่ม ได้แก่ หญิงตั้งครรภ์ หญิงให้นมบุตร เด็กทารก เด็กปฐมวัย และเด็กวัยเรียน รวมปีละ 14 ล้านคน โดยในกลุ่มหญิงตั้งครรภ์ปีละ 8 แสนคน จะเน้นให้ฝากครรภ์ทันทีที่รู้ว่าตั้งครรภ์หรืออายุครรภ์น้อยกว่า 12 สัปดาห์ให้ได้มากกว่าร้อยละ 80 เพื่อที่จะป้องกันแก้ไขปัญหาได้ทันท่วงที และจัดระบบเฝ้าระวังระดับไอโอดีนในปัสสาวะของหญิงตั้งครรภ์ให้อยู่ระหว่าง 150-249 ไมโครกรัมต่อเดซิลิตร โดยสนับสนุนให้ได้รับยาเม็ดเสริมไอโอดีน เหล็ก และโฟเลต ทุกคนตลอดการตั้งครรภ์จนถึงหลังคลอด 6 เดือน

2) กำหนดให้เกลือบริโภคทั้งคนและสัตว์ทุกชนิด ต้องเป็นเกลือเสริมไอโอดีน โดยได้ออกกฎหมายให้เกลือบริโภคต้องมีปริมาณไอโอดีน 20-40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สร้างศูนย์เรียนรู้การผลิตเกลือบริโภค เสริมไอโอดีนในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ในปีนี้ได้สนับสนุนเครื่องผสมเกลือไอโอดีนที่ได้มาตรฐานให้กับผู้ประกอบการเกลือบริโภคเสริมไอโอดีนทั้งขนาดกลางและขนาดเล็ก จำนวน 100 เครื่อง และสนับสนุนสารโพแทสเซียมไอโอเดท เพื่อให้ผู้ประกอบการผลิตเกลือเสริมไอโอดีนที่มีคุณภาพและเป็นไปตามหลักกฎหมายที่กำหนด ร่วมมือกับภาคีเครือข่ายทุกภาคส่วนร่วมพัฒนาชุมชนหมู่บ้านทั่วประเทศซึ่งมี 77,000 แห่งให้เป็นชุมชน/หมู่บ้านไอโอดีน และพัฒนาสู่ความยั่งยืนเป็นจังหวัดไอโอดีนทั้งหมด ภายในปี 2558

3) เสริมไอโอดีนในน้ำดื่มในพื้นที่ทุรกันดาร ในโครงการพัฒนาเด็กและเยาวชนในถิ่นทุรกันดาร ตามพระราชดำริสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี และรณรงค์สร้างกระแส ความรู้ ความเข้าใจ และความตระหนักเรื่องไอโอดีนที่มีผลต่อพัฒนาการสมวัยและสติปัญญา

รัฐบาลมีนโยบายส่งเสริมการผลิตและจำหน่ายผลิตภัณฑ์เกลือเสริมไอโอดีนและผลิตภัณฑ์เสริมไอโอดีนมีคุณภาพตามมาตรฐานที่กฎหมายกำหนด กลุ่มผู้บริโภค กลุ่มผู้ประกอบการ

ด้านอาหาร ศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก โรงเรียน และครัวเรือน มีการใช้เกลือบริโภคเสริมไอโอดีนและอาหารอื่นๆที่มีไอโอดีน เช่น ไข่ไก่เสริมไอโอดีน อาหารทะเล เป็นประจำจนอยู่ในวิถีชีวิตของประชาชนทุกกลุ่มวัย (วิทยา บุรณศิริ, 2555)

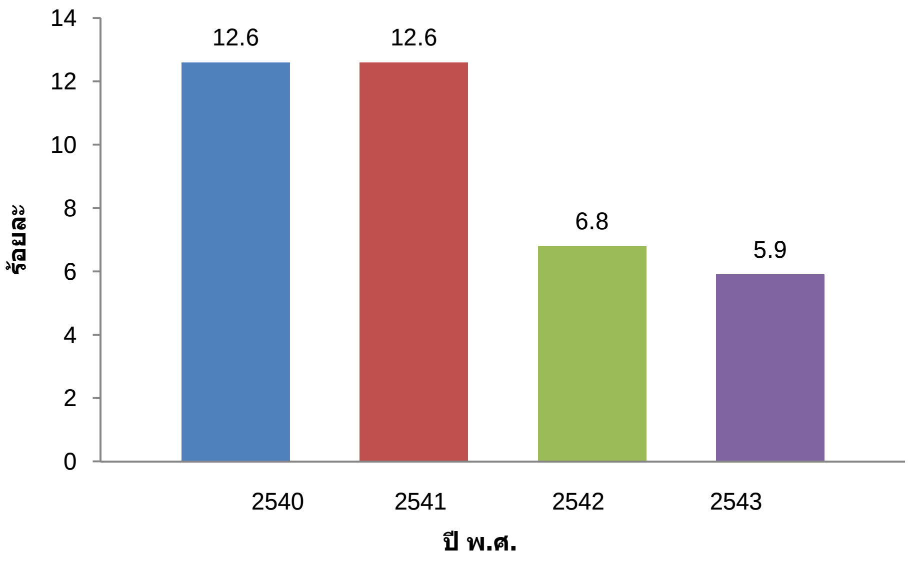
นอกจากนี้ องค์การอาหารและยา (2553) ประกาศนโยบายส่งเสริมให้ผลิตผลิตภัณฑ์เสริมไอโอดีนในผลิตภัณฑ์ 4 ประเภท ทั้ง เกลือบริโภค น้ำปลา น้ำเกลือปรุงอาหาร และผลิตภัณฑ์ปรุงรสที่ได้จากการย่อยโปรตีนของถั่วเหลือง เช่น ซอสปรุงรส ซีอิ๊ว ป้องกันคนไทยไอคิวต่ำ มีผลบังคับใช้วันที่ 31 ธันวาคม 2553 ที่ฉลากเกลือบริโภค ต้องระบุว่า “เกลือบริโภคเสริมไอโอดีน” ส่วนผลิตภัณฑ์ปรุงรสดังกล่าว ต้องระบุว่า “ใช้เกลือบริโภคเสริมไอโอดีน” หรือระบุปริมาณไอโอดีนอย่างใดอย่างหนึ่ง มีผลให้ผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่ใช้ผลิตภัณฑ์ปรุงรสดังกล่าวเสริมไอโอดีนไปด้วย โดยองค์การอาหารและยามีความมุ่งมั่นในการติดตาม ตรวจสอบ รวมทั้งเฝ้าระวังสถานที่ผลิต นำเข้า หรือจำหน่าย ผลิตภัณฑ์กลุ่มดังกล่าว หากพบว่าผู้ประกอบการรายใดไม่ปฏิบัติตามกฎหมายก็จะดำเนินคดีอย่างเคร่งครัด เพื่อสร้างความมั่นใจให้แก่ผู้บริโภคได้ว่า สามารถได้รับสารไอโอดีนอย่างทั่วถึง และป้องกันโรคขาดสารไอโอดีนได้อย่างยั่งยืน เพื่อสติปัญญาของคนไทยจะได้ไม่ด้อยกว่าชาติอื่น

2.4.2 ภาวะของการขาดธาตุเหล็ก

กองโภชนาการ กรมอนามัย (2546) รายงานว่า ธาตุเหล็กเป็นธาตุที่ร่างกายต้องการในปริมาณน้อยแต่สำคัญ เนื่องจากเป็นส่วนประกอบของฮีโมโกลบินในเม็ดเลือดแดง การขาดธาตุเหล็กจะทำให้เป็นโรคโลหิตจาง ซึ่งปัจจุบันยังคงเป็นปัญหาทางโภชนาการและสาธารณสุขที่สำคัญโดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศที่กำลังพัฒนา ธาตุเหล็กมีความสำคัญต่อพัฒนาการและการเรียนรู้ในเด็กโตและในผู้ใหญ่ธาตุเหล็กมีความสำคัญต่อการพัฒนาศักยภาพด้านสมรรถภาพการทำงาน ปริมาณธาตุเหล็กอ้างอิงที่ควรได้รับประจำวันสำหรับ วัยรุ่นชายอายุ 9-18 ปี เท่ากับ 11.8-16.6 มิลลิกรัมต่อวัน วัยรุ่นหญิงอายุ 9-12 ปี เท่ากับ 11.8 มิลลิกรัมต่อวัน แต่เมื่ออยู่ในวัยมีประจำเดือนความต้องการธาตุเหล็กจะเพิ่มขึ้น ธาตุเหล็กจะอยู่ในรูปของฮีมซึ่งอยู่ในเนื้อสัตว์และถูกดูดซึมได้ดีกว่าธาตุเหล็กที่อยู่ในรูปที่ไม่ใช่ฮีมซึ่งพบในพืช ถึงแม้จะมีรายงานว่า วิตามินซีจะช่วยในการดูดซึมของธาตุเหล็กที่ไม่ใช่ฮีมแต่ก็ยังไม่เพียงพอ นอกจากนี้ในพืชมักมีสารทีขัดขวางการดูดซึมของธาตุเหล็ก เช่น ไฟเตท และแทนนิน

กองโภชนาการ กรมอนามัย (2547) กล่าวว่า ภาวะโลหิตจางจากการขาดธาตุเหล็ก คือภาวะที่ร่างกายมีการขาด หรือพร่องธาตุเหล็ก ไม่เพียงพอที่จะนำไปสร้างเม็ดเลือดแดงได้ เป็นผลให้

ร่างกายมีจำนวนเม็ดเลือดแดง หรือความเข้มข้นของฮีโมโกลบินในเลือดต่ำกว่าปกติ จะพบว่า มีอาการซีดของเล็บ และเปลือกตาด้านในด้วย กองโภชนาการ กรมอนามัย (2552) รายงานสถานการณ์ภาวะโภชนาการ ช่วงแผนพัฒนาฉบับที่ 10 พ.ศ. 2550-2554 พบว่า เด็กวัยเรียนมีสถิติการขาดธาตุเหล็กและเป็นโรคโลหิตจางในปี 2540-2543 อยู่ในช่วงประมาณร้อยละ 6-12 ดังภาพที่ 2-2



ภาพที่ 2-2 ร้อยละของโรคโลหิตจางจากการขาดธาตุเหล็กในเด็กวัยเรียน
ที่มา : nutrition.anamai.moph.go.th/temp/files/NuSitu%2053.doc

กองโภชนาการ กรมอนามัย (2555) กล่าวว่า ธาตุเหล็กเป็นสารอาหารที่จำเป็นต่อชีวิต คือ เป็นส่วนประกอบของโปรตีนชนิด "ฮีโมโกลบิน" ที่อยู่ในเม็ดเลือดแดง และชนิด "ไมโอโกลบิน" ในกล้ามเนื้อ โปรตีนเหล่านี้ทำหน้าที่ขนส่งออกซิเจน จากปอดไปยังเซลล์ร่างกาย ประมาณร้อยละ 70 ของธาตุเหล็กที่มีในร่างกาย อยู่ในฮีโมโกลบิน นอกจากนี้ยังเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ต่างๆ หลายชนิดในสมอง และมีบทบาทในการทำงานของเม็ดเลือดขาว ซึ่งเป็นกลไกต้านทานโรค สาเหตุของการเกิดภาวะโลหิตจาง จากการขาดธาตุเหล็ก ได้แก่

1) การรับประทานอาหารที่มีธาตุเหล็กไม่เพียงพอ กับภาวะที่ร่างกายต้องการธาตุเหล็กสูงขึ้น เช่น เด็กในวัยเจริญเติบโต หญิงตั้งครรภ์ และหญิงให้นมบุตร

2) การรับประทานอาหารที่มีตัวขัดขวางการดูดซึมธาตุเหล็ก เช่น แคลเซียม ไฟเตท ออกซาเลท

3) รับประทานอาหารที่มีวิตามินซีต่ำ เพราะธาตุเหล็กจะดูดซึมได้ดี เมื่อมีอาหารที่มีวิตามินซีสูง

4) การมีภาวะสูญเสียเลือดอย่างเรื้อรัง เช่น โรคพยาธิปากขอ โรคแผลในกระเพาะอาหาร การมีเนื้องอกในระบบทางเดินอาหาร หญิงวัยเจริญพันธุ์ที่มีประจำเดือนมาก การคลอด และการแท้งบุตร

สำหรับผลกระทบต่อเด็กวัยเรียนที่มีภาวะโลหิตจางจากการขาดธาตุเหล็ก กองโภชนาการ กรมอนามัย (2555) รวบรวมไว้ดังนี้คือ

<u>ผลเสียด้านสรีรวิทยา</u>

1) ภาวะซีด ทำให้มีการนำ และสะสมออกซิเจนในเลือดน้อยลง

2) กระบวนการทางชีวเคมีในร่างกายกระทบกระเทือน ส่งผลต่อขีดความสามารถในการทำงาน

3) ส่งผลต่อกระบวนการในร่างกาย เกี่ยวกับการส่งสัญญาณของเส้นประสาทต่างๆ

4) ส่งผลต่อการสร้างสารทางพันธุกรรมบางอย่าง

5) มีการเจริญเติบโตช้ากว่าเด็กปกติ ในช่วงอายุเดียวกัน

<u>ผลเสียด้านพฤติกรรม</u>

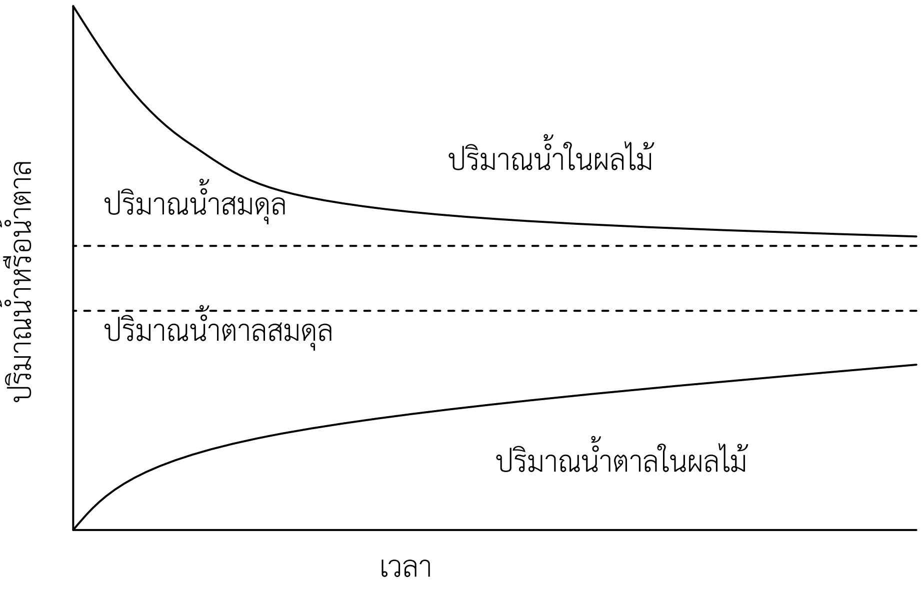
1) มีพัฒนาการต่อการเรียนรู้ช้ากว่าปกติ ในช่วงอายุเดียวกัน

2) มีอาการเฉื่อยชา ไม่กระตือรือร้นในการเรียน ไม่มีสมาธิ เหนื่อยง่าย เบื่ออาหาร

2.5 หลักการออสโมซิสในการแปรรูปผักผลไม้

ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก (2532) กล่าวว่า การออสโมซิสในการแปรรูปผักและผลไม้ หมายถึง การกำจัดน้ำออกด้วยการแช่ผักผลไม้ในน้ำเชื่อม หรือน้ำเกลือที่มีความเข้มข้นสูง จะทำให้เกิดกระบวนการออสโมซิสในอาหาร วิธีที่เหมาะสมสำหรับการแปรรูปผักและผลไม้ โดยแช่ชิ้นอาหารในสารละลายออสโมติกซึ่งมีค่า a_w ต่ำ การถ่ายเทมวลสารที่เกิดขึ้นในกระบวนการออสโมซิสจะมีลักษณะสวนทางกัน กล่าวคือ น้ำตาลหรือน้ำเกลือจะแพร่เข้าไปในอาหารทำให้ปริมาณน้ำหรือความชื้นในชิ้นอาหารลดลง 50% ของปริมาณน้ำหรือความชื้นเริ่มต้น ซึ่งการออสโมซิสมีประโยชน์ในด้านช่วยรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตอาหาร เพื่อทำให้กระบวนการผลิตมีประสิทธิภาพมากขึ้น นอกจากนี้ Torreggiani (1993) กล่าวได้ว่า การดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส เช่น กระบวนการดึงน้ำออกจากชิ้นอาหาร โดยเป็นการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของน้ำจากสารละลายเจือจางไปยังสารละลายที่เข้มข้นกว่า เป็นการดึงน้ำบางส่วนออกจากชิ้นอาหารก่อน

นำไปอบแห้งจนได้ความชื้นที่ต้องการ ผลของการลดความชื้นด้วยวิธีออสโมซิสที่อุณหภูมิต่างๆจะช่วยลดการสูญเสียคุณค่าทางสารอาหาร ผลิตภัณฑ์ที่ได้ยังคงคุณค่าของสารอาหารไว้และเป็นการปรับปรุงกลิ่นรส ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ลดการเปลี่ยนแปลงทางด้านสีของผลไม้ เนื่องจากการทำงานของ Enzymatic oxidative browning ดังนั้น ในการดึงน้ำออกด้วยวิธีการออสโมซิสจึงอาศัยหลักความแตกต่างของอัตราเร็วในการแพร่ระหว่างน้ำตาลกับน้ำ เพื่อใช้ในการควบคุมปริมาณของน้ำในการจะดึงออกและปริมาณของของแข็งที่เพิ่มขึ้น การแลกเปลี่ยนมวลสารที่เกิดขึ้นจะดำเนินไปจนกระทั่งสารละลายมีค่า a_w เข้าสู่สภาวะสมดุล การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำและปริมาณของแข็งก่อนเข้าสู่ภาวะสมดุล โดยที่ภาวะสมดุลของน้ำเกิดได้เร็วกว่าภาวะสมดุลของน้ำตาล (ภาพที่ 2-3) จนถึงภาวะของทั้งน้ำและน้ำตาลจะได้ผลิตภัณฑ์ในลักษณะของผลไม้แช่อิ่มที่มีน้ำตาลสูง โดยกระบวนการออสโมซิสนี้สามารถกำจัดได้ประมาณ 30-50% ของน้ำหนักเริ่มต้นของชิ้นอาหาร หลังจากนั้นจึงนำไปทำการอบแห้งต่อไปด้วยเครื่องทำแห้งแบบต่างๆ จนได้ความชื้นที่ต้องการ (ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก, 2532)

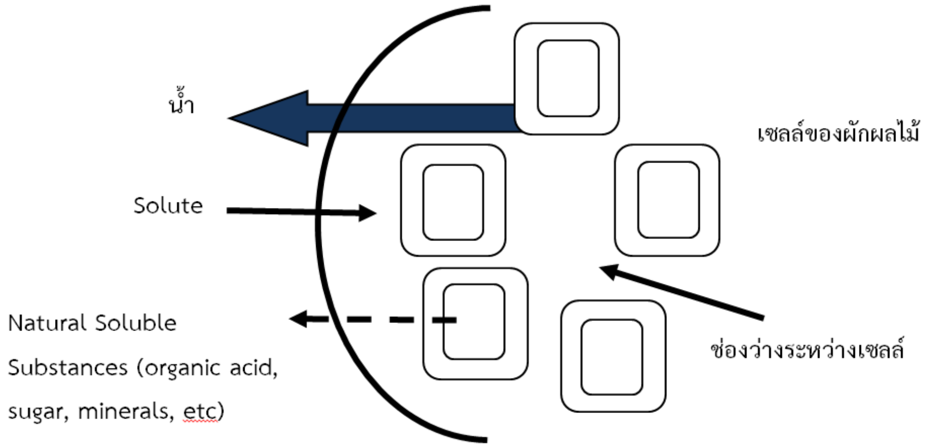


ภาพที่ 2-3 สมดุลของน้ำและน้ำตาลระหว่างการออสโมซิส
ที่มา: ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก (2532)

วันวิสาข์ กระแสคุปส์ (2535) กล่าวว่า การดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส คือ กระบวนการแยกน้ำออกจากเซลล์หรือการกำจัดน้ำออกจากอาหารหรือผักผลไม้ก่อนบางส่วนโดยอาศัยหลักการของการออสโมซิสด้วยการแช่ชิ้นอาหารหรือผักผลไม้ในน้ำเชื่อมหรือน้ำเกลือเข้มข้น โดยการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของน้ำจากสารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำไปยังสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงกว่า

ผ่านเยื่อบาง ๆที่เรียกว่า Semi-permeable membrane จนกระทั่งถึงสภาวะสมดุลหรือจุดสมดุล การกระทำเช่นนี้ทำให้เกิดความแตกต่างของแรงดันออสโมติกระหว่างภายในเซลล์และภายนอกของเซลล์ของผักผลไม้ เกิดเป็นแรงขับเคลื่อน (Driving force) ให้มีการถ่ายเทมวลสารระหว่างผักผลไม้กับสารละลายภายนอกผ่านเยื่อหุ้มเซลล์หรือเซลล์เมมเบรน โดยการถ่ายเทมวลสารที่เกิดขึ้นจะมีการถ่ายเทมวลของน้ำและตัวถูกละลาย (Solute) ในเวลาเดียวกันเป็นการเคลื่อนที่แบบสวนทางกัน (Counter-current mass transfer) แสดงในภาพที่ 2-4 ดังนี้ คือ (อ่อนรวี รัตนาพันธ์, 2533)

- น้ำภายในเซลล์ของผักผลไม้จะแพร่กระจายออกจากเซลล์สู่สารละลายภายนอก
- ขณะเดียวกันตัวถูกละลายภายนอกเช่น น้ำตาลหรือเกลือ จะแพร่กระจายเข้าสู่ภายในเซลล์ของผักผลไม้หรือเนื้อผักผลไม้
- สารบางอย่างที่มีอยู่ในเซลล์ตามธรรมชาติ เช่น กรดอินทรีย์ น้ำตาล เกลือแร่ เป็นต้นจะแพร่กระจายออกนอกเซลล์สู่สารละลายภายนอก



ภาพที่ 2-4 การถ่ายเทมวลสารระหว่างภายในเซลล์และสารละลายภายนอกระหว่างการออสโมซิส
ที่มา : อ่อนรวี รัตนาพันธ์ (2533)

2.5.1 ตัวบ่งชี้สำหรับการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส

ในการศึกษาการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิสอาจทำการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นโดยตัวบ่งชี้กระบวนการซึ่งอาจวัดเป็นปริมาณน้ำที่สูญเสีย (Water loss; WL) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (Weight reduction; WR) และปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (Solid gain; SG)

- ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (Water loss; WL) คำนวณได้จาก

$$WL\ (\%) = \frac{W_i\,(X_i/100) - W_f\,(X_f/100)}{W_i} \times 100$$

- ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (Solid gain; SG) คำนวณได้จาก

$$SG\ (\%) = \frac{[(W_f\,(100 - X_f)/100) - (W_i\,(100 - X_i)/100)]}{W_i} \times 100$$

- ปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (Weight reducing; WR) คำนวณได้จาก

$$WR\ (\%) = \frac{W_i - W_f}{W_i} \times 100$$

เมื่อ W_i = น้ำหนักเริ่มต้นของตัวอย่าง (กรัม)

W_f = น้ำหนักของตัวอย่างที่เวลาใดๆ

X_i = ปริมาณความชื้นเริ่มต้นของตัวอย่าง (กรัมของน้ำ/100 กรัมของน้ำหนักเริ่มต้น)

X_f = ปริมาณความชื้นของตัวอย่างที่เวลาใดๆ (กรัมของน้ำ/100 กรัมของน้ำหนักเริ่มต้น)

2.5.2 ขั้นตอนการออสโมซิส (วันวิสาข์ กระแสคุปส์, 2535)

1) การเตรียมชิ้นผลไม้ การผ่าหรือหั่นชิ้นผลไม้ก่อนที่จะนำไปออสโมซิสมีอยู่หลายวิธีโดยขึ้นอยู่กับชนิดของผลไม้และความต้องการของตลาด เช่น หั่นเป็นชิ้นตามยาว หั่นเป็นชิ้นตามขวาง หั่นเป็นรูปลูกเต๋า เป็นต้น

2) การลวก เป็นขั้นตอนการให้ความร้อนแก่ชิ้นผลไม้ เนื่องจากผลไม้อาจมีเอนไซม์เปอร์ออกซิ-เดส (Peroxidase) โพลีฟีนอลออกซิเดส (Polyphenol oxidase) ซึ่งจะทำให้เกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์จึงจำเป็นต้องใช้ความร้อนทำลายเอนไซม์นี้ และการลวกจะทำให้โครงสร้างบางส่วนเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพไปทำให้อัตราการสูญเสียน้ำจากชิ้นผลไม้เกิดได้เร็วขึ้น ระยะเวลาในการลวกผลไม้แต่ละชนิดจะแตกต่างกันไป นอกจากนี้ผลไม้บางชนิดอาจต้องลวกในสารละลายต่างกันไป เพื่อรักษาสีของผลไม้ให้คงอยู่ตามต้องการ หลังจากการลวกแล้วต้องทำให้เย็นลงทันทีเพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงอันเกิดจากความร้อน

กฤษฎากร บุดดาจันทร์ สวนิต จิรัฏฐิติกาล และ ศิระษา เจ็งสุขสวัสดิ์ (2549) กล่าวว่าการลวกผลไม้ก่อนการแช่อิ่มมีผลต่อการถ่ายเทมวลของสาร เนื่องจากความร้อนระหว่างการลวกจะทำให้โครงสร้างของเซลล์ผลไม้ที่มีส่วนต้านทานการถ่ายเทมวลสาร โดยทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่านเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพ คือ เนื้อเยื่อเกิดการอ่านตัวลงทำให้สูญเสียคุณสมบัติการเป็น

เยื่อเลือกผ่าน จึงทำให้อัตราการถ่ายเทมวลสารของผลไม้และน้ำตาลในสารละลายภายนอกสูงขึ้น การลวกผลไม้ด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 2 - 5 นาที ขึ้นกับชิ้นและขนาดของผลไม้ การใช้ความร้อนในการลวกผลไม้สามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ polyphenol oxidize ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของการสูญเสียคุณภาพ นอกจากนี้การลวกที่เหมาะสมยังช่วยปรับปรุงคุณลักษณะเนื้อสัมผัส เพื่อเพิ่มอัตราการถ่ายเทมวลสารของสารละลายซูโครสเข้าสู่เนื้อผลไม้ในระหว่างกระบวนการออสโมซิส

3) การแช่ในสารละลายออสโมติก การแช่ผลไม้ในสารละลายออสโมติกนี้เป็นขั้นตอนของการลดน้ำหนักหรือลดความชื้นของผลไม้ โดยสารละลายจะมีตัวถูกละลายช่วยให้เกิดแรงดันออสโมติก ตัวถูกละลายต่างชนิดกันจะให้ผลในการลดความชื้นหรือลดน้ำหนักได้ต่างกัน โดยส่วนใหญ่ในขั้นตอนนี้จะลดความชื้นของผลไม้ได้ประมาณ 50 – 60 % ในสารละลายออสโมติกอาจมีการใช้สารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลขึ้นในช่วงการตากแห้งและการเก็บรักษา ตัวอย่างที่ใช้เช่น โพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ เป็นต้น การทำแห้งโดยวิธีออสโมซิสเป็นพื้นฐานของการแช่อิ่มและดองเค็ม โดยการแช่อิ่มจะมีการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำตาลที่ใช้ขึ้นอย่างช้าๆเพื่อให้น้ำตาลซึมเข้าไปได้มากขึ้นและผลิตภัณฑ์มีรสชาติหวานตามต้องการ และถ้าใช้ความเข้มข้นของน้ำตาลสูงมากในครั้งเดียวจะทำให้ผลไม้เกิดการคายน้ำอย่างรวดเร็วผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเสี่ยงต่อการเหนียวและแข็งเกินไป

2.5.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการออสโมซิส

1) ชนิดของผลไม้ พันธุ์ และความสุก ซึ่งผลไม้บางชนิดสามารถทำแห้งด้วยวิธีออสโมซิสได้เร็ว บางชนิดทำได้ช้า เนื่องจากการถ่ายเทมวลสารระหว่างน้ำและตัวถูกละลายขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีและโครงสร้างของผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์ ผลไม้ชนิดเดียวกันแต่คนละพันธุ์มีอัตราในการทำแห้งต่างกัน นอกจากนี้ความสุกยังมีผลด้วย ผลไม้ที่สุกจะทำแห้งได้เร็วกว่าผลไม้ดิบ แต่ถ้าสุกเกิดไปผลไม้จะเละไม่น่ารับประทาน (อ่อนรวี รัตนาพันธ์, 2533)

2) ชนิดของสารละลายออสโมติก โดยสารละลายออสโมติกที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นสารละลายน้ำตาล น้ำเกลือ ซอร์บิทอล เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีน้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตส มอลโตส รวมทั้งน้ำเชื่อมข้าวโพดด้วย โดยสารละลายออสโมติกที่นิยมใช้กับผักผลไม้ได้แก่ น้ำเชื่อมซูโครส น้ำตาลแลคโตสผสมกับน้ำตาลซูโครส สารละลายออสโมติกที่ใช้อาจมีการเติมสารอื่นๆลงไปด้วยเช่น กรดซิตริก เกลือซัลไฟต์ แคลเซียมคลอไรด์ สารออสโมติกที่ใช้ต้องมีค่า a_w ต่ำ มีรสชาติเป็นที่ยอมรับ ในการใช้จะต้องพิจารณาเพิ่มเติมอีก 3 ข้อ คือ

- ต้องไม่ทำให้ลักษณะทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงไป
- มีราคาต่อหน่วยถูก ไม่ส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตสูงขึ้นมาก

- สารละลายที่ใช้ควรมีน้ำหนักโมเลกุลสูง เพราะถ้ามีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะทำให้มีแรงดันออสโมติกสูง เช่น น้ำตาลกลูโคสจะมีแรงดันออสโมติกสูงกว่าน้ำตาลซูโครสจึงทำให้มีปริมาณน้ำตาลซึมเข้าไปในเนื้อเยื่อได้มากและเกิดการสูญเสียน้ำมากกว่าการใช้น้ำตาลซูโครส ซึ่งส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสที่กระด้างขึ้น (ศิริลักษณ์ สินธวาลัย, 2532)

3) ความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกที่ใช้มีความสำคัญมาก เพราะอาจมีส่วนช่วยในการดึงน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ โดยมีผลต่อค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ถ้าความเข้มข้นยิ่งมากขึ้น อัตราการสูญเสียน้ำจะมาก เป็นผลทำให้อัตราการออสโมซิสเร็วขึ้นด้วย ความเข้มข้นของสารละลายจะมีค่าสูงสุดค่าหนึ่ง ซึ่งเมื่อเลยค่านี้ไปแล้วจะไม่มีการสูญเสียน้ำเพิ่มขึ้น และความเข้มข้นของน้ำตาลที่สูงกว่า 65 เปอร์เซ็นต์ จะไม่สามารถเพิ่มความสามารถในการแพร่ของน้ำออกจากผลไม้ได้ สารละลายชนิดเดียวกันเมื่อเพิ่มความเข้มข้นขึ้นจะทำให้น้ำซึมออกได้เร็วขึ้น แต่ในขณะเดียวกันน้ำตาลที่ซึมเข้าไปในผลไม้ได้มากขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น จึงเป็นข้อดีอันหนึ่งของวิธีการออสโมซิสนี้คือ ทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่หวานจนเกินไป (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2544)

จุฑามาศ นิวัฒน์ (2542) ได้ศึกษาการทำแห้งสับปะรดด้วยวิธีออสโมซิสระบบต่อเนื่อง โดยศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล 3 ระดับ คือ 45 50 และ 55 °Brix พบว่า เมื่อความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลเพิ่มขึ้นจะทำให้อัตราการถ่ายเทมวลสารระหว่างน้ำกับน้ำตาลเพิ่มขึ้นด้วย

4) อุณหภูมิในการออสโมซิสก็เป็นสิ่งที่ต้องคำนึงอีกประการหนึ่ง เพราะว่ามีผลต่ออัตราการออสโมซิส เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงไปจะทำให้โครงสร้างบางส่วนเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพไป กล่าวคือ ทำให้เยื่อหุ้มอ่อนตัวลงจึงมีผลทำให้ความแน่นของผลไม้เปลี่ยนไปด้วยทำให้การซึมผ่านดีกว่าและเร็วกว่าการใช้อุณหภูมิต่ำถึงอัตราการออสโมซิสจะสูงขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น การใช้อุณหภูมิสูงในระหว่างการออสโมซิสจำเป็นต้องใช้เวลาในการออสโมซิสให้น้อยลงด้วย ทำให้ เกิดวิธีใหม่ที่เรียกว่า High Temperature Short Osmosis (HTST osmosis) (สุธีรา เลิศวุฒิกุล, 2540 อ้างถึงใน ศิวาพร หงส์ทอง และจุติมา สอนดี, 2554)

5) อัตราส่วนระหว่างสารละลายออสโมติกและผักผลไม้ ถ้าอัตราส่วนเพิ่มขึ้นจะทำให้น้ำซึมออกได้เร็วขึ้น เนื่องจากปริมาณน้ำที่ซึมออกมาไม่ค่อยมีผลให้ความเข้มข้นของน้ำเชื่อมลดลง ในกรณีที่น้ำเชื่อมมีความเข้มข้นมาก ดังนั้น แรงขับ (Driving force) คือ ความแตกต่างระหว่างปริมาณน้ำภายในเซลล์และภายนอกสูงอยู่ตลอดเวลา อย่างไรก็ตาม การใช้น้ำเชื่อมปริมาณมากจะทำให้ค่าใช้จ่ายสูงและมีปัญหาในการขจัดน้ำตาลภายหลังการออสโมซิสด้วย อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดระหว่างสารละลายออสโมติกและผลไม้คือ 2:1 (วันวิสาข์ กระแสคุปส์, 2535)

6) การคนหรือกวน ในขณะที่เกิดการออสโมซิสความเข้มข้นบริเวณรอบๆชิ้นอาหารจะลดลงเนื่องจากน้ำภายในชิ้นอาหารซึมผ่านออกมา ทำให้ประสิทธิภาพการออสโมติกต่ำลงไปด้วย

ดังนั้น การคนหรือกวนจะช่วยทำให้เกิดการกระจายความเข้มข้นโดยทำให้สารละลายที่เข้มข้นมากกว่าไหลมาแทนที่สารละลายที่เจือจางกว่าทำให้การออสโมติกสูงขึ้นด้วย (วันวิสาข์ กระแสคุปส์, 2535)

7) รูปร่างและขนาดของผลไม้ มีผลต่ออัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวสัมผัสต่อปริมาตร ถ้าอัตราส่วนนี้สูงน้ำจะซึมออกมาได้เร็วขึ้นเนื่องจากตัวถูกละลายสามารถสัมผัสกับพื้นที่ผิวของผักผลไม้ได้มากขึ้น ถ้าผักผลไม้มีชิ้นใหญ่น้ำจะซึมออกได้น้อยหรือถ้ามีรูปร่างกลมน้ำจะซึมออกได้น้อยเช่นกันเนื่องจากทั้งสองกรณีมีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรน้อย (อ่อนรวี รัตนาพันธ์, 2533) นอกจากนี้ความเป็นรูพรุนของตัวอย่างยังเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อค่าการสูญเสียน้ำ ผลไม้ที่มีขนาดของรูพรุนสูงมักมีค่าการสูญเสียน้ำสูงแต่ความเป็นรูพรุนไม่สามารถอธิบายการเพิ่มของของแข็งทั้งหมดได้ เนื่องจากมีผลกระทบจากการหดตัวและขนาดโมเลกุลของสารละลายเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย (พีรยา โชติถนอม, 2551)

2.5.4 ข้อดีของการแปรรูปด้วยวิธีออสโมซิส (คำนวณ ตั้งพันธุ์ และวัชรพงษ์ ทองสิมา, 2533)

1) ลดเวลาและพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งด้วยลมร้อน โดยใช้อุณหภูมิสูงเป็นเวลายาวนานเพื่อการระเหยน้ำเพราะขั้นตอนการออสโมซิสช่วยขจัดน้ำออกจากผักผลไม้ไปส่วนหนึ่งแล้ว

2) การไม่ใช้อุณหภูมิสูงในการอบแห้งจะไม่ทำลายคุณภาพของผลไม้ คือ ไม่ทำให้สีและรสชาติเปลี่ยนแปลงไป แต่จะทำให้สีและรสชาติดีขึ้น

3) น้ำตาลหรือน้ำเชื่อมที่ใช้จะเป็นตัวช่วยป้องกันรสชาติความสดเอาไว้ วิธีการอื่นไม่สามารถป้องกันการสูญเสียกลิ่นและรสได้มากกว่าวิธีนี้

4) น้ำเชื่อมหรือสารละลายเข้มข้นช่วยป้องกันการเกิดปฏิกิริยาของเอนไซม์ไม่ให้สีของผลไม้เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล จึงได้ผลไม้แห้งที่มีสีสดสวยน่ารับประทานยิ่งขึ้น

5) นอกจากน้ำที่ขจัดออกจากผลไม้แล้วยังมีกรดบางส่วนจากผลไม้ถูกขจัดออกไปด้วยมาผสมกับน้ำตาล และน้ำตาลบางส่วนก็อาจติดกับผลไม้เมื่ออบแห้งออกมา ผลไม้ที่ไดจะมีความหวานและความนิ่มนวลกว่าผลไม้ที่อบแห้งด้วยวิธีอื่นๆทั่วไป

2.5.5 ข้อเสียของการแปรรูปด้วยวิธีออสโมซิส (คำนวณ ตั้งพันธุ์ และวัชรพงษ์ ทองสิมา, 2533)

1) ทำให้กรดที่มีอยู่ในผลไม้ลดลง ดังนั้นควรมีการเติมกรดลงไปในสารละลายที่ใช้ในการออสโมติก

2) น้ำตาลทำให้เกิดแผ่นฟิล์มบางบริเวณผิวหน้าผลิตภัณฑ์ สามารถแก้ไขได้โดยการล้างในน้ำอย่างรวดเร็วภายหลังการทำแห้งแบบออสโมติก

3) ผลน้ำตาลที่ใช้อาจทำให้เกิดกลิ่นอับ หรือกลิ่นหืนได้เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง กระบวนการนี้มีค่าใช้จ่ายสูงกว่าการทำแห้งแบบใช้ลมร้อนหรือทำแห้งแบบใช้สุญญากาศ แต่จะมีราคาถูกกว่าการทำแห้งแบบวิธีแช่เยือกแข็ง

4) การจัดการสารละลายออสโมติกที่ใช้แล้ว ทำได้โดยการนำสารละลายไปปรับความเข้มข้นแล้วนำกลับมาใช้ใหม่ แต่มีข้อจำกัดคือ เสียค่าใช้จ่ายในกระบวนการติดตั้งสูง การนำสารละลายกลับมาใช้ใหม่อย่างต่อเนื่องก็มีข้อจำกัดคือ ทำให้สารละลายเกิดการเจือจางและลดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์หรือใช้เป็นวัตถุเจือปนในอาหาร เช่น สารให้สี สารให้กลิ่น

2.6 การใช้สภาวะสุญญากาศในกระบวนการออสโมซิส

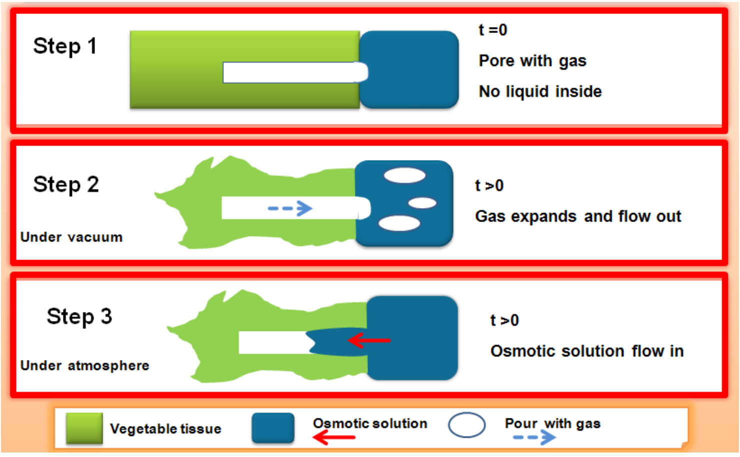
การประยุกต์ใช้สภาวะสุญญากาศในกระบวนการออสโมซิส แบ่งเป็น 2 แบบ คือการดึงน้ำออกแบบออสโมซิสในสภาวะความดันสุญญากาศ (Vacuum Osmotic Dehydration; VOD) และการใช้สภาวะความดันสุญญากาศแบบเป็นจังหวะ (Pulse Vacuum OsmoticDehydration; PVOD) ทำได้โดยการแช่ชิ้นอาหารลงในสารละลายออสโมติกแล้วให้สภาวะสุญญากาศในสภาวะปิดสนิทซึ่งสามารถเรียกสภาวะนี้ว่า Vacuum impregnation; VI ซึ่งเป็นกระบวนการที่ประยุกต์ใช้แรงขับเคลื่อนในการแพร่กระจายของน้ำ (Hydrodynamic Machanism; HDM) จากเนื้อเยื่อของชิ้นอาหารไปสู่แรงดันออสโมซิสที่สูงกว่าผ่านเยื่อเลือกผ่านด้วยการใช้สภาวะสุญญากาศกระบวนการนี้ ทำได้โดยการลดความดันอากาศลง จนทำให้เกิดสภาวะความดันสุญญากาศในภาชนะที่ปิดสนิทเมื่อเริ่มต้นกระบวนการเป็นระยะเวลาหนึ่ง หลังจากนั้นจะปล่อยให้กลับคืนความดันบรรยากาศ ในขณะที่ให้ความดันสุญญากาศ ก๊าซที่อยู่ในโครงสร้างของชิ้นอาหารจะมีปริมาณลดลง เนื่องจากก๊าซถูกบีบอัดจากความดันสุญญากาศทำให้ก๊าซเกิดการแพร่ขยายและเคลื่อนที่ออกนอกเนื้อเยื่ออาหาร หลังจากนั้นเมื่อกลับสู่ความดันบรรยากาศ สารละลายออสโมติกจะแพร่เข้าภายในโครงสร้างของชิ้นอาหาร เนื่องจากก๊าซที่เหลือจากการถูกบีบอัดจะเป็นตัวนำสารละลายเข้าสู่ทางช่องว่างระหว่างเซลล์ ทำให้การเคลื่อนย้ายมวลสารต่อพื้นที่เพิ่มมากขึ้น เป็นเหตุที่ทำให้ปริมาณของตัวที่ถูกละลายที่เข้าสู่ชิ้นอาหารมีปริมาณมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบจากการแช่ชิ้นอาหารแบบดั้งเดิม

Fito et al. (1995) ได้รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการแช่ในสภาวะสุญญากาศและอธิบายว่าในระหว่างการแช่ที่สภาวะดังกล่าวจะเกิดกลไกการถ่ายเทมวลสารและการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างที่เรียกว่า Hydrodinamic machanism (HDM) ดังแสดงได้ในภาพที่ 2-5 โดยมีการเปลี่ยนแปลงแต่ละขั้นตอนดังนี้

1) เมื่อ t=0 เป็นขั้นตอนที่เริ่มมีการแช่ชิ้นผักผลไม้ลงในสารละลายออสโมติก ยังไม่มีการเคลื่อนที่ของก๊าซออกสู่สารละลายภายนอกหรือสารละลายออสโมติกและยังไม่มีการเคลื่อนที่ของสารละลายออสโมติกเข้าสู่ช่องว่างระหว่างเซลล์

2) เมื่อเวลาผ่านไปในสภาวะสุญญากาศ t>0 ก๊าซจากช่องว่างระหว่างระหว่างเซลล์จะถูกดูดออกสู่สารละลายภายนอก อีกทั้งยังเกิดการเปลี่ยนรูปของโครงสร้างของเนื้อเยื่อของผักและผลไม้ด้วย

3) เมื่อสิ้นสุดการใช้สภาวะสุญญากาศ และแช่ชิ้นผักผลไม้ต่อที่สภาวะบรรยากาศ t>0 สารละลายจะแพร่ผ่านเข้ามาในช่องว่างระหว่างเซลล์โดยจะเข้ามาแทนที่ก๊าซที่ถูกดูดออกไปเป็นผลให้ตัวถูกละลายแพร่เข้าไปในเนื้อเยื่อผักผลไม้ได้ และในขณะเดียวกันน้ำในชิ้นผักผลไม้ก็จะสามารถแพร่ออกสู่สารละลายออสโมติกได้เช่นกัน



ภาพที่ 2-5 ขั้นตอนการเกิด Hydrodinamic machanism (HDM) สำหรับการแช่ในสภาวะสุญญากาศ

ที่มา : ดัดแปลงจาก Chiralt & Fito (2003)

2.7 การทำแห้งอาหาร

วิไล รังสาดทอง (2546) กล่าวว่า การทำให้แห้งหรือการกำจัดน้ำ (Drying) หมายถึงการใช้ความร้อนภายใต้สภาวะควบคุมเพื่อกำจัดน้ำส่วนใหญ่ที่อยู่ในอาหาร โดยการระเหยน้ำหรือการระเหิดของแข็งในการอบแห้งแบบระเหิด (Freeze drying) คำจำกัดความนี้จะไม่รวมถึงการกำจัดน้ำออก

จากอาหารด้วยวิธีอื่นๆ เช่น การแยกโดยทางกล การทำให้เข้มข้นโดยการใช้เมมเบรน การระเหย การอบ เนื่องจากในกระบวนการเหล่านี้จะมีการกำจัดน้ำน้อยกว่าการทำให้แห้ง วัตถุประสงค์ของการกำจัดน้ำคือการยืดอายุการเก็บรักษาอาหารโดยการลดค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ ซึ่งมีผลต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์และการทำงานของเอนไซม์ โดยทั่วไปอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ในระหว่างกระบวนการมักจะไม่สูงพอที่จะยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ นอกจากนั้นการลดน้ำหนักและปริมาณอาหารยังช่วยในการลดค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาและการขนส่งเพิ่มความหลากหลายและความสะดวกให้แก่ผู้บริโภค วัตถุประสงค์หลักของการออกแบบเครื่องทำแห้งคือการหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทำอาหารแต่ละชนิดให้แห้งโดยมีการสูญเสียคุณภาพการบริโภคและคุณค่าทางโภชนาการน้อยที่สุด ตัวอย่างอาหารที่ผลิตในระดับอุตสาหกรรมที่สำคัญได้แก่ น้ำตาล กาแฟ นม มันฝรั่ง แป้ง ถั่ว ถั่วลิสง ส่วนผสมสำหรับทำขนมปัง อาหารเช้าประเภทที่ทำมาจากธัญพืช ชาและเครื่องเทศ

ฤทธิไกร งามชุ่ม (2547) กล่าวว่า หลักการอบแห้งแบบสุญญากาศคือ เมื่ออากาศที่อยู่ในห้องอบแห้งนั้นอยู่ในสภาวะสุญญากาศ ทำให้อากาศนั้นมีความดันของไอน้ำต่ำ และความเข้มข้นของความชื้นในอากาศต่ำ เมื่อมีวัสดุอยู่ในห้องอบแห้งสุญญากาศจะทำให้เกิดการถ่ายเทมวลเกิดขึ้น โดยไอน้ำที่ผิวของวัสดุจะแพร่สู่อากาศเนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้นของความชื้น (Vapor difusion) และความดันไอ (Partial vapor pressure) และของเหลวที่อยู่ในวัสดุจะเคลื่อนที่ออกมายังผิวด้วยแรง capillary flow ซึ่งเป็นผลมาจากแรงตึงผิว (Surface force) โดยอากาศที่อยู่ในห้องอบแห้งอาจจะไม่ต้องจำเป็นต้องให้ความร้อนมากเท่ากับการอบแห้งลมร้อน เนื่องจากของเหลวที่อยู่ในวัสดุเมื่ออยู่ในสภาวะความดันสุญญากาศแล้วนั้นอาจจะมีการเดือดเกิดขึ้นในเนื้อวัสดุทำให้เหมือนเป็นการเร่งอัตราการถ่ายเทมวลสาร โดยน้ำภายในวัสดุจะเคลื่อนที่มายังผิววัสดุในรูปของเหลวหรือไอน้ำแล้วระเหยอย่างรวดเร็วซึ่งถ้าของเหลวที่อยู่ภายใต้สภาวะความดันสุญญากาศต่ำมากๆแล้วนั้นอาจจะทำให้ผิวของวัสดุที่อบแห้งมีความเป็นรูพรุนสูง เนื่องจากมีการเดือดอย่างรุนแรงในเนื้อวัสดุ

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Kowalska et al. (2008) ได้ศึกษาผลการเตรียมขั้นต้นด้วยการลวกและการแช่แข็งที่มีต่อการดึงน้ำออกของฟักทองด้วยวิธีออสโมซิส โดยลวกฟักทองในน้ำที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที แล้วแช่น้ำเย็น 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วินาที และการแช่แข็งทำได้โดยแช่แข็งที่อุณหภูมิ 18±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง จากนั้นนำไปแช่ในสารละลายกลูโครสความเข้มข้น 61.5 เปอร์เซ็นต์ สารละลายกลูโครสความเข้มข้น 49.5 เปอร์เซ็นต์ และสตาร์ชไซรัป ความเข้มข้น 67.5 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นาน 180 นาที โดยใช้อัตราส่วนชิ้นตัวอย่าง

ต่อสารละลายเท่ากับ 1:4 พบว่า การลวกและการแช่แข็ง ทำให้มีปริมาณน้ำลดลงเหลือ 71-74 เปอร์เซ็นต์ ใน 30 นาทีแรกของการออสโมซิส ทำให้ตัวอย่างมีปริมาณของแข็งทั้งหมดเพิ่มขึ้นมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้น ตัวอย่างที่มีการสูญเสียน้ำมากที่สุดคือ ตัวอย่างที่ผ่านการลวกและใช้สตาร์ไซรัปเป็นสารละลายออสโมติก ส่วนการใช้สารละลายซูโครสทำให้ตัวอย่างมีปริมาณน้ำที่สูญเสียน้อยที่สุด สำหรับการเตรียมขั้นต้นด้วยการแช่เข็งก่อนการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิสทำให้เกิดการสูญเสียน้ำน้อยกว่าตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่ผ่านการลวกแต่มีปริมาณตัวถูกละลายเพิ่มขึ้น

Escobar et al. (2007) ได้ศึกษาผลการเตรียมขั้นต้นด้วยการลวกต่อกลไกลการดึงน้ำออกจากแครอทด้วยวิธีออสโมซิส ทำได้โดยลวกชิ้นแครอทในน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 20 และ 30 นาที แล้วนำไปแช่ในน้ำเย็นทันที เปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ผ่านการลวก การดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิสทำได้โดยแช่ชิ้นตัวอย่างแครอทในสารละลายซูโครสความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส อัตราส่วนระหว่างสารละลายออสโมติกต่อชิ้นตัวอย่างเท่ากับ 1:45 กวนด้วยอัตราเร็ว 260 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 ชั่วโมง อบแห้งในตู้อบภายใต้สุญญากาศ 70 องศาเซลเซียส ความดัน 100 Pa พบว่า ผลของการเตรียมขั้นต้นด้วยการลวกต่อกลไกลการดึงน้ำออกจากแครอทด้วยวิธีออสโมซิสต่อค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำและสารละลายออสโมติกเป็นไปได้ง่าย และพบว่าเมื่อลวกชิ้นตัวอย่างด้วยเวลานานขึ้นจะทำให้เนื้อเยื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงไปคือ อ่อนนุ่มมากเกินไปและโครงสร้างเซลล์ถูกทำลายมากขึ้น

จุฑามาศ นิวัฒน์ (2542) ได้ศึกษาการดึงน้ำออกจากสับปะรดออกด้วยวิธีออสโมซิสแบบต่อเนื่องโดยทำการศึกษาการลวกสับปะรดที่เวลา 0 2.5 5.0 7.5 และ 10.0 นาทีก่อนการออสโมซิส พบว่าการถ่ายเทมวลสารระหว่างน้ำและสารละลายน้ำตาลเพิ่มขึ้นตามเวลาที่ใช้ในการลวก แต่การลวกนานกว่า 5.0 นาที ทำให้สับปะรดมีลักษณะเปื่อยยุ่ยไม่น่ารับประทาน

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

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

Saencom et al. (2011) ได้ศึกษาผลของผลของการเตรียมขั้นต้นด้วยการลวกในน้ำเกลือที่ความเข้มข้น 0-3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตรเป็นเวลา 1 นาที และนำใบตำลึงมาอบแห้งด้วยลมร้อนและการอบแห้งแบบสุญญากาศ (ที่ความดัน 7 กิโลปาสคาล) อุณหภูมิ 60-80 องศาเซลเซียส พบว่า การลวกตำลึงในน้ำเกลือที่ระดับความเข้มข้นสูงขึ้นและระยะเวลานานขึ้นส่งผลให้ปริมาณความชื้นของผักตำลึงหลังการลวกลดลงทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งสั้นลง นอกจากนี้ยังพบว่า การลวกในน้ำเกลือทำให้สีและเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ดีกว่าผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการลวกในน้ำร้อน สำหรับผลของวิธีการอบแห้ง พบว่า การอบแห้งแบบสุญญากาศสามารถช่วยรักษาปริมาณเบต้าแคโรทีนและคลอโรฟิลล์ได้ดีกว่าการอบแห้งแบบลมร้อน เมื่อเปรียบเทียบที่อุณหภูมิอบแห้งเดียวกัน อย่างไรก็ตาม วิธีการอบแห้งไม่ส่งผลต่อเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ผักตำลึงแผ่นอบแห้งอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

Dermesonlouoglou et al. (2007) ได้ศึกษาผลของการเตรียมขั้นต้นด้วยวิธีออสโมซิสต่ออายุการเก็บมะเขือเทศแช่แข็ง โดยนำมะเขือเทศมาสไลด์ตามความยาว หนา 6 มิลลิเมตร นำมะเขือเทศส่วนหนึ่งไปลวกในน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 80 วินาที อีกส่วนหนึ่งนำมะเขือเทศมาออสโมซิสด้วยสารละลายน้ำเชื่อม High Dextrose Equivalent Maltodextrin (HDEM) 56.5% (w/w) ร่วมกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 3.5% (w/w) และสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 1.5% (w/w) ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง อัตราส่วนระหว่างตัวอย่างต่อสารละลายออสโมติกเท่ากับ 1:5 (w/w) หลังจากนั้นนำมะเขือเทศทั้งหมดไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยบรรจุในถุง pouchesm ที่ทำจากฟิล์มลามิเนต bio-oriented polypropylene หรือ polyethylene พบว่า การเตรียมขั้นต้นด้วยวิธีออสโมซิสสามารถปรับปรุงคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษามะเขือเทศแช่แข็งได้ โดยสามารถลดการเปลี่ยนแปลงของค่า

สี ปริมาณไลโคปีนทั้งหมด และวิตามินซีได้มากกว่าตัวอย่างที่ไม่ได้ผ่านการเตรียมขั้นต้นด้วยวิธีการออสโมซิส (ลวกและไม่ลวก)

Dermesonlouoglou et al. (2007) ได้ศึกษาผลของการเตรียมขั้นต้นด้วยวิธีออสโมซิสต่ออายุการเก็บมะเขือเทศแช่แข็ง โดยนำมะเขือเทศมาสไลด์ตามความยาว หนา 6 มิลลิเมตร นำมะเขือเทศส่วนหนึ่งไปลวกในน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 80 วินาที อีกส่วนหนึ่งนำมะเขือเทศมาดึงน้ำออกด้วยสารละลายออสโมติก 56.5% (w/w) โดยสารละลายที่ใช้ได้แก่ 1) กลูโคส 2) High Dextrose Equivalent Maltodextrin (HDEM) 3) oligofrutose 4) trehalose และ 5) สารละลายผสม oligofrutose – trehalose อัตราส่วน 2:1 โดยสารละลายทุกชนิดใช้ร่วมกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 3.5% (w/w) และสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 1.5% (w/w) ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง อัตราส่วนระหว่างตัวอย่างต่อสารละลายออสโมติกเท่ากับ 1:5 (w/w) หลังจากนั้นนำมะเขือเทศทั้งหมดไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยบรรจุในถุง pouchesm ที่ทำจากฟิล์มลามิเนต pouchesm ที่ทำจากฟิล์มลามิเนต bio-oriented polypropylene หรือ polyethylene และศึกษาอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -12 และ -20 องศาเซลเซียส โดยวิเคราะห์คุณภาพด้านต่างๆ เมื่อครบ 3 6 และ 12 เดือน พบว่า การใช้สารละลายกลูโคส และ HDEM ทำให้ปริมาณการสูญเสียน้ำมีค่าสูง ส่วนการใช้สารละลายกลูโคสและสารละลายผสมระหว่าง oligofrutose – trehalose ทำให้ของแข็งที่เพิ่มขึ้นมีค่าสูง ส่งผลทำให้ตัวอย่างมะเขือเทศที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นนี้มีลักษณะทางประสาทสัมผัสที่ดีเมื่อผ่านการแช่แข็งเป็นเวลา 12 เดือน เมื่อเปรียบเทียบตัวอย่างมะเขือเทศที่ไม่ได้ผ่านการออสโมซิส ทั้งที่ลวกและไม่ลวก โดยพบว่า ตัวอย่างที่มีการเตรียมขั้นต้นด้วยวิธีออสโมซิสด้วยสารละลายกลูโคส, HDEM, oligofrutose trehalose และ oligofrutose – trehalose ที่ทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 เดือน สามารถรักษาปริมาณวิตามินซีของมะเขือเทศได้ 81, 66, 77 และ 88% ตามลำดับ ในขณะที่ตัวอย่างที่ไม่ได้ผ่านการเตรียมขั้นต้นด้วยวิธีออสโมซิส (ลวกและไม่ลวก) มีวิตามินซี 44%

อรภรณ์ บัวหลวง (2550) ศึกษาผลของความหนาของชั้นสาหร่ายเกลียวทองและอุณหภูมิต่อเวลา โดยอุณหภูมิอากาศต่อเวลาที่ต้องใช้เพื่อลดความชื้นให้เหลือไม่เกิน 7.5% (มาตรฐานแห้ง) หรือ 7% (มาตรฐานเปียก) โดยใช้เครื่องอบแห้งทรงกระบอก ที่อุณหภูมิ 40-60 องศาเซลเซียส ความเร็วของอากาศอบแห้งเท่ากับ 1 เมตรต่อวินาที และความหนาของชั้นสาหร่ายเท่ากับ 2 และ 4

มิลลิเมตร พบว่า เมื่ออุณหภูมิของอากาศสูงขึ้นสาหร่ายจะแห้งเร็วขึ้นเนื่องจากการถ่ายโอนความร้อนและมวลสูงขึ้น ขณะเดียวกันที่ความหนาของชิ้นสาหร่าย 4 มิลลิเมตร ใช้เวลาในการอบแห้งนานกว่าที่ความหนา 2 มิลลิเมตร ที่ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที ซึ่งอุณหภูมิในการอบแห้งเท่ากับ 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบแห้ง 12 7 และ 5 ชั่วโมง ตามลำดับ โดยทุกสภาวะสามารถลดความชื้นของสาหร่ายจาก 90% ลดลงเหลือ 6% (มาตรฐานเปียก)

Barrera et al. (2003) ศึกษาการเสริมแคลเซียมและเหล็กให้กับโครงสร้างของเนื้อเยื่อชิ้นแอปเปิ้ลลงไปในสารละลายออสโมติกแคลเซียมใช้ในรูป แคลเซียมแลคเตท และเหล็กใช้ในรูปเฟอรัสกลูโคเนต โดยแปรการทดลองเป็น 3 สิ่งทดลอง คือ 1) sucrose 211.220 g/l 2) สารละลายผสม sucrose 112.297 g/l กับ แคลเซียม 44.229 g/l 3) สารละลายผสม sucrose 146.702 g/l กับ เหล็ก 1.135 g/l จากการพิจารณาค่าการถ่ายเทมวลสารในกระบวนการแช่ในสภาวะสุญญากาศเพื่อประเมินความเป็นไปได้ในการเสริมแร่ธาตุในผลไม้ พบว่า หลังการแช่สารละลายออสโมติกมีปริมาณแคลเซียมลดลง 46% หรือมีแคลเซียมเพิ่มขึ้นในผลิตภัณฑ์สุดท้าย 23 เท่า ของผลไม้สด แสดงถึงตัวอย่าง 200 กรัม มีปริมาณแคลเซียม 18.90% ของค่าที่ RDI กำหนด (800 มิลลิกรัม/วัน) หลังการแช่สารละลายออสโมติกมีปริมาณเหล็กลดลง 32% หรือมีธาตุเหล็กเพิ่มขึ้นในผลิตภัณฑ์สุดท้าย 5.6 เท่า ของผลไม้สด แสดงถึงตัวอย่าง 200 กรัม จะมีปริมาณธาตุเหล็ก 35.44% ของค่าที่ RDI กำหนด (18 มิลลิกรัม/วัน) แสดงให้เห็นว่า มีความเป็นไปได้ที่จะเสริมแร่ธาตุแคลเซียมและเหล็กให้กับให้กับผลไม้ได้โดยเทคนิคการแช่ในสภาวะสุญญากาศ

Derossi et al. (2010) ศึกษาวิธีการลดค่า pH ในพริกหวานหั่นในสภาวะสุญญากาศ โดยประเมินผลของ เวลาที่แช่ในสภาวะบรรยากาศที่เวลา 10 15 และ 30 นาที ระดับสุญญากาศที่ความดัน 200 และ 400 mbar และระยะเวลาการใช้สภาวะสุญญากาศที่ 2 และ 5 นาที ผลการทดลองพบว่าการใช้เทคนิคการแช่พริกหวานในสารละลายออสโมติกในสภาวะสุญญากาศ ทำให้สารละลายกรดแพร่เข้าไปในชิ้นพริกหวานจนทำให้ระดับความเป็นกรดสูงกว่าการแช่ที่สภาวะความดันบรรยากาศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ความดันที่ 400 และ 200 mbar และใช้ระยะเวลาแช่ที่การคลายตัวที่ 30 นาที บรรยากาศที่ 30 นาที ทำให้ปริมาณกรดเพิ่มขึ้นมากที่สุด

บทที่ 3

วิธีดำเนินการทดลอง

วัตถุดิบและสารเคมี

1) สาหร่ายผักกาดทะเล รับจากศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง สถานีเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง จังหวัดตราด
2) โอลิโกฟรุกโตส (Oligofructose) บริษัท ดีพีโอ จำกัด ประเทศไทย
3) เฟอรัสซัลเฟต (Ferrous sulphate) บริษัท Ajax Finechem ประเทศออสเตรเลีย
4) เกลือไอโอดีน ตราปรุงทิพย์ บริษัทสหพัฒนพิบูล จำกัด ประเทศไทย

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1) ตู้อบลมร้อน (Tray dryer) บริษัท อีเค ฟู้ดเท็ค ประเทศไทย
2) ตู้อบแห้งสุญญากาศ (Vacuum dryer) บริษัท อีเค ฟู้ดเท็ค ประเทศไทย
3) ปั๊มสุญญากาศ (Vacuum pump) Buchi รุ่น Vacuum Controller V-800 ประเทศเยอรมนี
4) เครื่องวัดค่า Water Activity (a_w) Novasina รุ่น AWC ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
5) เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 2 ตำแหน่ง Sartorius รุ่น BA 610 ประเทศเยอรมนี
6) เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง Sartorius รุ่น AC 211S ประเทศเยอรมนี
7) เครื่องวัดสี (Colorimeter) Hunter Lab รุ่น Miniscan XP Plus ประเทศสหรัฐอเมริกา
8) เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า (Conductimeter) HM รุ่น COM 100 ประเทศญี่ปุ่น
9) อุปกรณ์สำหรับทดสอบทางประสาทสัมผัส
10) อุปกรณ์เครื่องแก้ว
11) อุปกรณ์งานครัว

วิธีดำเนินการทดลอง

ตอนที่ 1 การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของสาหร่ายผักกาดทะเล

เพื่อทราบข้อมูลพื้นฐานทางเคมีและโภชนาการของสาหร่ายผักกาดทะเลที่ใช้ในการวิจัย ดำเนินการสุ่มตัวอย่างผักกาดทะเลที่ได้รับมา แล้ววิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ ได้แก่ โปรตีน ไขมัน ใยอาหารทั้งหมด ความชื้น และแคโรทีนอยด์ รวมถึงคุณค่าทางโภชนาการ ได้แก่ ไอโอดีน แคลเซียม เหล็ก และวิตามินซี (AOAC, 1990)

ตอนที่ 2 การศึกษาผลของการเตรียมขั้นต้นต่อการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิสสาหร่ายผักกาดทะเล

การเตรียมวัตถุดิบทำได้โดย นำสาหร่ายผักกาดทะเลมาล้างด้วยน้ำสะอาด ตัดเป็นชิ้น ขนาด 5 x 5 เซนติเมตร แล้ววางบนตะแกรงให้สะเด็ดน้ำ (ภาพที่ 3-1) และเตรียมสารละลายออสโมติกสำหรับแช่โดยเตรียมในรูปสารละลายผสมของโอลิโกฟรุกโตสความเข้มข้น 40% (w/w) เกลือไอโอดีนความเข้มข้น 10% (w/w) และปรับ pH ด้วยกรดซิตริก ให้มีค่า pH ประมาณ 3 นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80-85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที (ดัดแปลงจาก Rodriguez et al., 2003)

ก) ข)

ภาพที่ 3-1 ก) สาหร่ายผักกาดทะเลที่ใช้ในโครงงานวิจัย และ ข) สาหร่ายผักกาดทะเลที่ตัดเป็นชิ้น

ในขั้นตอนนี้ต้องการศึกษาผลของการเตรียมขั้นต้นก่อนการนำสาหร่ายไปแช่ในสารละลายออสโมติก โดยแปรวิธีการเตรียมขั้นต้นเป็น 4 วิธีดังนี้

1) การลวก

2) การแช่ในสภาวะสุญญากาศ

3) การลวกและแช่ในสภาวะสุญญากาศ

4) ไม่มีการเตรียมขั้นต้น (ตัวควบคุม)

การลวก ดำเนินการโดยลวกสาหร่ายผักกาดทะเลในน้ำเดือดเป็นเวลา 1 นาที ซึ่งจากการทดลองเบื้องต้นพบว่าเป็นเวลาที่สามารถยับยั้งเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสได้สมบูรณ์ กำหนดอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักสาหร่ายผักกาดทะเลและน้ำที่ใช้ลวกเท่ากับ 1 : 10 เมื่อครบกำหนดเวลาแช่ในน้ำเย็นทันที (ดัดแปลงจาก Saencom et al., 2011)

การแช่ในสภาวะสุญญากาศ ดำเนินการโดยแช่สาหร่ายผักกาดทะเลในสารละลายออสโมติกที่เตรียมไว้ การแช่ดำเนินการในขวดรูปชมพู่ ใช้จุกยางปิดให้อยู่ในระบบปิดแล้วเชื่อมต่อกับปั๊มสุญญากาศ กำหนดที่ความดันสุญญากาศ 200 mbar เป็นเวลา 10 นาที กำหนดอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักสาหร่ายผักกาดทะเลและสารละลายออสโมติกเท่ากับ 1 : 10 (ดัดแปลงจาก Derossi et al., 2010)

นำสาหร่ายผักกาดทะเลทั้ง 4 สิ่งทดลองมาแช่ในสารละลายออสโมติกที่สภาวะบรรยากาศ โดยแช่ในโหลแก้ว ปิดฝาด้วยอลูมิเนียมฟอยด์ กำหนดอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักสาหร่ายผักกาดทะเลและสารละลายออสโมติกเท่ากับ 1 : 10 แช่ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 240 นาที สุ่มตัวอย่างทุก 40 นาที เพื่อวิเคราะห์ค่าการถ่ายเทมวลสารโดยนำสาหร่ายผักกาดทะเลมาล้างน้ำเพื่อกำจัดสารละลายส่วนเกินออกและวางบนตะแกรงผึ่งให้สะเด็ดน้ำ เป็นเวลา 3 นาที แล้วซับด้วยกระดาษ นำไปชั่งน้ำหนักและวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC, 1990) และคำนวณหาค่าการถ่ายเทมวลสาร ได้แก่

1) ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (Water loss; WL) คำนวณได้จาก

$$WL\ (\%) = \frac{W_i\,(X_i/100) - W_f\,(X_f/100)}{W_i} \times 100$$

2) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (Solid gain; SG) คำนวณได้จาก

$$SG\ (\%) = \frac{[(W_f\,(100 - X_f)/100) - (W_i\,(100 - X_i)/100)]}{W_i} \times 100$$

3) ปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (Weight reducing; WR) คำนวณได้จาก

$$WR(\%) = \frac{W_i - W_f}{W_i} \times 100$$

เมื่อ W_i = น้ำหนักเริ่มต้นของตัวอย่าง (กรัม)

W_f = น้ำหนักของตัวอย่างที่เวลาใดๆ (กรัม)

X_i = ปริมาณความชื้นเริ่มต้นของตัวอย่าง (กรัมของน้ำ/100 กรัมของน้ำหนักเริ่มต้น)

X_f = ปริมาณความชื้นของตัวอย่างที่เวลาใดๆ (กรัมของน้ำ/100 กรัมของน้ำหนักเริ่มต้น)

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's new multiple rang test วิเคราะห์ผลทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ด้วยโปรแกรม SPSS version 13 เกณฑ์การตัดสิน คือ เลือกสิ่งทดลองที่ทำให้เกิดการถ่ายเทมวลสารดีที่สุด และพิจารณาเวลาในการออสโมซิสที่ทำให้ค่าการถ่ายเทมวลสารคงที่ เพื่อใช้กำหนดเวลาการออสโมซิสในขั้นตอนต่อไป

ตอนที่ 3 การศึกษาการเสริมธาตุเหล็กในสาหร่ายผักกาดทะเลโดยการออสโมซิส

ในขั้นตอนนี้ต้องการเสริมธาตุเหล็กให้กับสาหร่ายผักกาดทะเลโดยการออสโมซิส เตรียมตัวอย่างขั้นต้นตามวิธีที่เลือกได้จากตอนที่ 2 เติมธาตุเหล็ก ในรูปเฟอรัสซัลเฟตโดยเติมเข้าไปในสารละลายออสโมติก โดยแปรความเข้มข้นเป็น 0 5 10 และ 15% ดำเนินการออสโมซิสตามวิธีในตอนที่ 2 เมื่อครบเวลากำหนดนำสาหร่ายหลังการออสโมซิสมาวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ค่าการถ่ายเทมวลสารและปริมาณเหล็ก และนำสารละลายออสโมติกมาหาค่าการนำไฟฟ้า เพื่อประเมินปริมาณประจุอิสระที่เหลืออยู่ในสารละลายออสโมติก (เปรียบเทียบกับสารละลายออสโมติกก่อนการแช่) โดยมีรายละเอียดในการวิเคราะห์คุณภาพดังนี้

1) ปริมาณความชื้น (AOAC, 1990)
2) ค่าการถ่ายเทมวลสาร ได้แก่ ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (water loss; WL) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (Solid gain; SG) และน้ำหนักที่ลดลง (Weight reducing; WR) ตามวิธีในตอนที่ 2
3) ปริมาณเหล็ก (Iron content) (ดัดแปลงจาก AOAC, 1990)

4) ค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity) ของสารละลายออสโมติก โดยใช้เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's new multiple range test วิเคราะห์ผลทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ด้วยโปรแกรม SPSS version 13 เกณฑ์การตัดสิน คือ เลือกสิ่งทดลองที่มีปริมาณเหล็กในสาหร่ายผักกาดทะเลสูงที่สุด โดยยังคงมีลักษณะปรากฏเป็นที่ยอมรับ

ตอนที่ 4 การศึกษาผลของวิธีการอบแห้งสาหร่ายผักกาดทะเล

ในขั้นตอนนี้ต้องการผลิตสาหร่ายอบแห้งโดยใช้การอบแห้งแบบสุญญากาศ และอบแห้งแบบลมร้อน ให้ได้ความชื้นไม่เกิน 7% นำสาหร่ายผักกาดทะเลที่ผ่านการออสโมซิสตามวิธีที่เลือกได้จากตอนที่ 3 โดยนำสาหร่ายที่ผ่านการออสโมซิส นำมามาล้างด้วยน้ำ เพื่อกำจัดสารละลายส่วนเกินออก วางพักบนตะแกรงให้สะเด็ดน้ำเป็นเวลา 3 นาที แล้วซับด้วยกระดาษ อบแห้งในตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และอบแห้งในตู้อบสุญญากาศ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ในสภาวะสุญญากาศความดัน 36 cmHg กำหนดเวลาอบแห้ง 270 นาที สุ่มตัวอย่างทุก 30 นาที เพื่อนำมาหาความชื้น (AOAC, 1990) แล้วสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับและเวลา พิจารณาความน่าเชื่อถือของสมการความสัมพันธ์จาก ค่า R^2 แล้วทำนายเวลาในการทำแห้งเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้น 7% พิจารณาเลือกวิธีการอบแห้งที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากเวลาที่ใช้ในการอบแห้งน้อยที่สุด แล้วนำมาใช้สำหรับอบแห้งสาหร่ายสดและสาหร่ายที่ผ่านการออสโมซิส

ดำเนินการอบแห้งสาหร่ายผักกาดทะเลที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิสตามวิธีที่เลือกได้ สุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์คุณภาพเปรียบเทียบกับสาหร่ายผักกาดทะเลสด ดังนี้

1) ปริมาณความชื้น (AOAC, 1990)

2) ปริมาณเหล็ก (Iron content) (ดัดแปลงจาก AOAC, 1990)

3) ปริมาณไอโอดีน (Iodine content) (ดัดแปลงจาก AOAC, 1990)

4) ปริมาณแคลเซียม (Calcium content) (AOAC, 1990)

5) ปริมาณโซเดียม (Sodium content) (Mohr Method AOAC, 1985)

6) ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (Total sugar) (Lane and Eynon volumetric method, 1849)

7) ปริมาณวิตามินซี (Ascorbic content) (AOAC, 1990) ดังภาคผนวก ก-7

8) ค่า a_w ด้วยเครื่องวัดค่า a_w

9) ค่าสี L* a* b* ด้วยเครื่องวัดสี และคำนวณหาค่า ΔE

10) ทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวมกับผู้ทดสอบที่เป็นเด็กวัยเรียน (อายุ 6-12 ปี) จำนวน 30 คน โดยใช้วิธีการทดสอบแบบรูปหน้า (Facial Scale) โดยคะแนน 1 = ไม่ชอบมากที่สุด คะแนน 3 = เฉยๆ คะแนน 5 = ชอบมากที่สุด โดยทดสอบเปรียบเทียบเฉพาะสาหร่ายอบแห้งเท่านั้น

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD สำหรับการวิเคราะห์คุณภาพทุกค่ายกเว้นการประเมินทางประสาทสัมผัส วางแผนการทดลองแบบ RCBD เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan’s new multiple rang test วิเคราะห์ผลทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ด้วยโปรแกรม SPSS version 13

ตอนที่ 5 การปรับปรุงกลิ่นรสของสาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้ง

สร้างแนวความคิดกลิ่นรสที่ต้องการโดยใช้วิธีการอภิปรายกลุ่ม (focus group discussion) โดยใช้เด็กวัยเรียน จัดการสนทนาจำนวนอย่างน้อย 3 กลุ่ม กลุ่มละ 10 คน เพื่อสอบถามความต้องการด้านปรับปรุงกลิ่นรสของสาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งต้นแบบที่ได้จากตอนที่ 4 รวบรวมรายการความต้องการในกลิ่นรสของผู้สนทนา แล้วพิจารณาดำเนินการปรับปรุงโดยมุ่งเน้นปรุงแต่งด้วยสารจากธรรมชาติ หลีกเลี่ยงการใช้สารปรุงรสที่มีประมาณโซเดียมสูง เช่น ใช้ผงปรุงรสที่ผลิตจากปลาผงอบแห้ง กุ้งแห้งผงผักหรือผลไม้อบแห้ง เป็นต้น เตรียมสาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งที่ปรุงรสชนิดต่างๆ มาดำเนินการทดสอบคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสด้านความชอบลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส เนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวม ด้วยวิธี 9- Point Hedonic Scale กำหนดระดับความชอบดังนี้ 1 = ไม่ชอบมากที่สุด 5 = เฉยๆ 9 = ชอบมากที่สุด ใช้ผู้ทดสอบเป็นเด็กวัยเรียน จำนวน 30 คน

การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) โดยวางแผนการทดลองแบบ RCBD ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan’s New Multiple Rang Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เกณฑ์ในการคัดเลือก คือ เลือกสิ่งทดลองที่ได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

ตอนที่ 1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของสาหร่ายผักกาดทะเล

จากการสุ่มตัวอย่างผักกาดทะเลสดมาวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ได้แก่ โปรตีน ไขมัน ใยอาหารทั้งหมด ความชื้น และแคโรทีนอยด์ รวมถึงคุณค่าทางโภชนาการ ได้แก่ ไอโอดีน แคลเซียม เหล็ก และวิตามินซี (AOAC, 1990) ได้ผลแสดงดังนี้

ความชื้น	83.95 ± 0.73	(กรัม/100กรัม)
โปรตีน	22.98 ± 0.12	(กรัม/100กรัม โดยน้ำหนักแห้ง)
ไขมัน	0.45 ± 0.03	(กรัม/100กรัม โดยน้ำหนักแห้ง)
ใยอาหารทั้งหมด	31.90 ± 0.85	(กรัม/100กรัม โดยน้ำหนักแห้ง)
แคโรทีนอยด์	3.92 ± 0.18	(ไมโครกรัม/100 กรัม โดยน้ำหนักแห้ง)
ไอโอดีน	0.03 ± 0.01	(กรัม/100กรัม โดยน้ำหนักแห้ง)
แคลเซียม	0.63 ± 0.02	(กรัม/100กรัม โดยน้ำหนักแห้ง)
เหล็ก	0.14 ± 0.03	(กรัม/100กรัม โดยน้ำหนักแห้ง)
วิตามินซี	0.15 ± 0.00	(มิลลิกรัม/100กรัม โดยน้ำหนักแห้ง)

จากผลการทดลอง พบว่าสาหร่ายผักกาดทะเลสดมีปริมาณความชื้น 83.95 กรัม/100กรัม จึงจัดเป็นอาหารประเภทความชื้นสูง (ปริมาณความชื้นมากกว่า 55 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งง่ายต่อการเสื่อมเสีย (Jay,1998) มีโปรตีน 22.98 กรัม/100กรัม โดยน้ำหนักแห้ง และมีใยอาหารทั้งหมด 31.90 กรัม/100กรัม โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งใกล้เคียงกับที่ Padue et al. (2004) รายงานไว้ว่าสาหร่ายผักกาดทะเลมีโปรตีน 23 กรัม/100กรัม โดยน้ำหนักแห้ง และJimenez-Escrig et al. (2000) รายงานว่าสาหร่ายผักกาดทะเลมีใยอาหารทั้งหมด 38.10 กรัม/100กรัม โดยน้ำหนักแห้ง และจากผลการทดลองสาหร่ายผักกาดทะเลมีองค์ประกอบของไอโอดีน 0.03 กรัม/100กรัม โดยน้ำหนักแห้ง แคลเซียม 0.63 กรัม/100กรัม โดยน้ำหนักแห้ง เหล็ก 0.14 กรัม/100กรัม โดยน้ำหนักแห้ง วิตามินซี 0.15

มิลลิกรัม/100กรัม โดยน้ำหนักแห้ง) นอกจากนี้ยังมีองค์ประกอบของ แคโรทีนอยด์ 3.92 ไมโครกรัม/ 100 กรัม โดยน้ำหนักแห้ง โดยมีไขมันต่ำ 0.45 กรัม/100กรัม โดยน้ำหนักแห้ง จากผลการทดลองจึงยืนยันให้เห็นว่าสาหร่ายผักกาดทะเลเป็นวัตถุดิบที่มีศักยภาพด้านคุณค่าทางโภชนาการ

ตอนที่ 2 ผลของการเตรียมขั้นต้นต่อการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิสสาหร่ายผักกาดทะเล

การออสโมซิสอาศัยความแตกต่างของแรงดันออสโมติกระหว่างภายในเซลล์ของชิ้นอาหารกับสารละลายออสโมติก ซึ่งหากสารละลายออสโมติกมีความเข้มข้นสูงกว่าสารละลายภายในเซลล์ของชิ้นอาหาร ส่งผลให้เกิดแรงขับและเกิดการถ่ายเทมวลสาร โดยน้ำภายในชิ้นอาหารจะแพร่ออกมาในขณะเดียวกันตัวถูกละลายในสารละลายออสโมติกจะแพร่เข้าไปในชิ้นของผักผลไม้เช่นกัน (Escobar et al., 2007) อัตราการถ่ายเทมวลสารที่เกิดขึ้นระหว่างการออสโมซิสเป็นผลสำคัญของกระบวนการออสโมซิส โดยอัตราการถ่ายเทมวลสารจะมีโอกาสเพิ่มมากขึ้นเมื่อเยื่อหุ้มเซลล์ของชิ้นอาหารนั้นถูกทำลายจนยอมให้น้ำหรือตัวถูกละลายสามารถแพร่ผ่านเยื่อเลือกผ่านได้ง่ายขึ้น แต่อย่างไรก็ตามจะต้องไม่ถูกทำลายมากจนทำให้อาหารเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะไปจากของสดมาก (ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก, 2539) การเตรียมขั้นต้นก่อนการออสโมซิสเป็นแนวทางหนึ่งที่มีรายงานว่าสามารถช่วยเพิ่มการถ่ายเทมวสารในระหว่างการออสโมซิสได้ (Dermesonlouoglou et al., 2007; Escobar et al., 2007; Kowalska et al., 2008; Derossi et al., 2010; วรรณารัตน์ ลีสุขสวัสดิ์ และคณะ, 2549) งานวิจัยนี้ดำเนินการเตรียมขั้นต้นสาหร่ายผักกาดทะเลก่อนการออสโมซิส 4 วิธี ได้แก่ 1) การลวก 2) การแช่ในสภาวะสุญญากาศ 3) การลวกและแช่ในสภาวะสุญญากาศ และ 4) ไม่มีการเตรียมขั้นต้น (ตัวควบคุม) จากการวิเคราะห์ค่าการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิส ได้แก่ ปริมาณน้ำที่สูญเสีย ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น และปริมาณน้ำหนักที่ลดลง แสดงผลดังภาพที่ 4-1 4-2 และ 4-3 ตามลำดับ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (Water loss; WL)

จากภาพที่ 4-1 พบว่า สาหร่ายผักกาดทะเลทุกสิ่งทดลองมีค่า WL เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการออสโมซิสนานขึ้น แสดงให้เห็นว่าเกิดกลไกการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิส โดยน้ำในชิ้นสาหร่ายสามารถแพร่ออกมานอกเซลล์ได้ โดยพบว่า ทุกสิ่งทดลองมีแนวโน้มการสูญเสียน้ำคล้ายกัน กล่าวคือ ค่า WL เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในช่วงแรกของการออสโมซิส (40-160 นาที) และเมื่อเวลาผ่านไป (200-240 นาที) ค่า WL มีการเปลี่ยนแปลงน้อยลงจนเกือบคงที่ ทั้งนี้เนื่องจากในช่วงแรกของการออสโมซิสมีความแตกต่างของความเข้มข้นของสารละลายภายในเซลล์กับสารละลายออสโมติกมากจึงเกิดแรงขับมาก สามารถเร่งการถ่ายเทมวลสารเป็นผลทำให้มีค่า WL มาก

และเมื่อเวลานานขึ้น น้ำภายในเซลล์น้อยลงและเกิดการสะสมของน้ำที่แพร่ออกมาในสารละลายออสโมติก ทำให้สารละลายออสโมซิสเจือจางลงจึงเกิดความแตกต่างของความเข้มข้นของสารละลายภายในเซลล์กับสารละลายออสโมติกลดลงจึงเกิดแรงขับในการถ่ายเทมวลสารลดลงเป็นผลทำให้มีค่า WL มีแนวโน้มคงที่ (Flink, 1975; Lerici et al., 1985; Sacchetti & Dalla, 2001; Sereno, Moreira & Martinez, 2001 Aleksandar Jokic et al., 2007)

เมื่อพิจารณาแนวโน้มค่า WL ตลอดการออสโมซิส สามารถเรียงลำดับได้ดังนี้ สาหร่ายผักกาดทะเลที่เตรียมขั้นต้นโดยการลวกและแช่ในสภาวะสุญญากาศ มีค่า WL สูงที่สุด (มีค่า WL ในช่วง 14.73-33.72%) รองลงมาคือ สาหร่ายผักกาดทะเลที่เตรียมขั้นต้นโดยการแช่ในสภาวะสุญญากาศ (มีค่า WL ในช่วง 11.88-31.11%) สาหร่ายผักกาดทะเลที่เตรียมขั้นต้นโดยการลวก (มีค่า WL ในช่วง 7.74-20.22%) และสาหร่ายผักกาดทะเลที่ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้น (มีค่า WL ในช่วง 3.96-13.74%) ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องมาจากการเตรียมขั้นต้นด้วยการลวกร่วมกับการแช่ในสภาวะสุญญากาศ เป็นสภาวะที่รุนแรงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่น ซึ่งน่าจะเป็นผลให้โครงสร้างของเซลล์สาหร่ายถูกทำลายไปมากกว่าวิธีอื่นส่งผลให้เยื่อหุ้มเซลล์ยอมให้น้ำในสาหร่ายแพร่ออกมาได้มากที่สุด ในการลวกทำให้อาหารได้ สัมผัสกับตัวกลางที่ร้อน ความร้อนระหว่างการลวกจึงทำให้โครงสร้างของเซลล์ผักอ่อนตัวลง เยื่อหุ้มเซลล์เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพไป โดยสูญเสียคุณสมบัติการเป็นเยื่อเลือกผ่าน จึงทำให้อัตราการถ่ายเทมวลน้ำออกจากเซลล์เกิดขึ้นได้มากและเร็วขึ้น (Escobar et al., 2007; Kowalska et al., 2008; Saencom et al., 2011; วันวิสาข์ กระแสคุปส์, 2535) ส่วนการใช้สภาวะสุญญากาศทำให้เกิดการถ่ายเทมวลสารดีขึ้นเนื่องจากการใช้สภาวะสุญญากาศเป็นการลดความดันอากาศลง ทำให้ผนังเซลล์มีลักษณะมีความเป็นรู (Porosity) มากขึ้น อาจกล่าวได้ว่าการลดลงของความดันในสภาวะสุญญากาศทำให้โครงสร้างภายในเซลล์ถูกบีบอัดยุบตัวลงและอากาศในช่องว่างระหว่างเซลล์อาจถูกดูดออกมาด้วย เมื่อนำมาแช่ต่อที่สภาวะบรรยากาศทำให้เนื้อเยื่อเกิดการคลายตัว เป็นผลให้เกิดการถ่ายเทมวลสารมากขึ้น โดยน้ำหรือสารต่างๆที่อยู่ระหว่างช่องว่างระหว่างเซลล์จะแพร่ออกมาได้ง่ายจากผนังเซลล์ที่มีลักษณะอ่อนนุ่มและมีความเป็นรูมากขึ้น (Fito et al., 1995; Chafer et al., 2003)

จากผลการทดลองพบว่าการเตรียมขั้นต้นโดยการแช่ในสภาวะสุญญากาศมีผลทำให้สาหร่ายผักกาดทะเลมีค่า WL มากกว่าการเตรียมขั้นต้นด้วยการลวก อาจแสดงให้เห็นว่าการใช้สภาวะสุญญากาศที่ความดัน 200 mbar เป็นเวลา 10 นาที เป็นการเตรียมขั้นต้นที่รุนแรงกว่า

สามารถทำลายเซลล์ของสาหร่ายจนทำให้เกิดการแพร่ของน้ำออกจากเซลล์ได้มากกว่าการลวกในน้ำเดือดเป็นเวลา 1 นาที ทั้งนี้สอดคล้องกับผลการวิจัยของ พิมพ์ใจ มณีพันธ์ (2553) ที่พบว่าการเตรียมขั้นต้นโดยการแช่ชิ้นมะพร้าวในสภาวะสุญญากาศที่ความดัน 50 mbar เป็นเวลา 10 นาที ทำให้ปริมาณน้ำที่สูญเสียสูงกว่าการเตรียมขั้นต้นโดยการลวกชิ้นมะพร้าวที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที

2) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (Solid gain; SG)

จากภาพที่ 4-2 พบว่า สาหร่ายผักกาดทะเลทุกสิ่งทดลองมีค่า SG ตลอดระยะเวลาในการออสโมซิส (0.56-5.08%) มีค่าน้อยกว่าค่า WL (3.96-33.82%) มาก แสดงให้เห็นว่า ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นในชิ้นสาหร่ายผักกาดทะเลมีปริมาณเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำที่สูญเสีย เนื่องจากในกลไกการถ่ายเทมวลสารจะเกิดการแพร่ของน้ำจากเซล์และการแพร่ของของแข็งจากตัวถูกละลายในสารละลายออสโมติกโดยเคลื่อนที่แบบสวนทางกัน ผนังเซลล์ทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่านซึ่งจะยอมให้น้ำสามารถแพร่ผ่านมากกว่าตัวถูกละลายซึ่งมีขนาดโมเลกุลใหญ่กว่าโมเลกุลของน้ำ จึงทำให้การแพร่ของของแข็งเกิดขึ้นได้น้อยกว่า (Torregiani, 1993; Harris et al., 1995; Sereno, Moreira & Martinez, 2001) ในงานวิจัยนี้ ของแข็งซึ่งเป็นตัวถูกละลายหลักในสารละลายออสโมติกได้แก่ โอลิโกฟรุกโตส (มวลโมเลกุล 180g/mol) และเกลือโซเดียมคลอไรด์ (มวลโมเลกุล 58.44 g/mol) ซึ่งมีมวลโมเลกุลสูงกว่าน้ำ (มวลโมเลกุล 18.02 g/mol) มากจึงทำให้แพร่ผ่านเข้าไปในชิ้นสาหร่ายได้น้อยกว่าการแพร่ของน้ำมาก

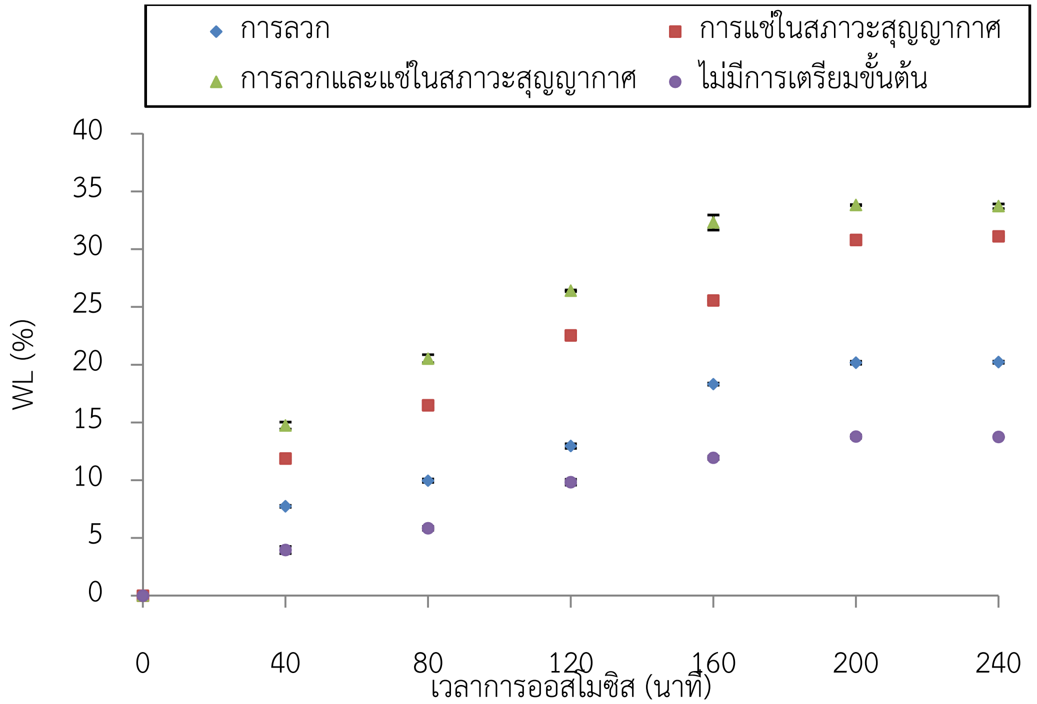
เมื่อพิจารณาแนวโน้มค่า SG ตลอดการออสโมซิส สามารถเรียงลำดับได้ดังนี้ สาหร่ายผักกาดทะเลที่ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้นมีค่า SG สูงที่สุด (มีค่า SG ในช่วง 2.38-5.08%) รองลงมาคือ สาหร่ายผักกาดทะเลที่เตรียมขั้นต้นโดยการลวก (มีค่า SG ในช่วง 0.94-3.78%) สาหร่ายผักกาดทะเลที่เตรียมขั้นต้นโดยการแช่ในสภาวะสุญญากาศ (มีค่า SG ในช่วง 0.37-1.07%) และสาหร่ายผักกาดทะเลที่เตรียมขั้นต้นโดยการลวกและแช่ในสภาวะสุญญากาศ (มีค่า SG ในช่วง 0.56-0.76%) ตามลำดับ ซึ่งแสดงแนวโน้มให้เห็นว่า เมื่อใช้วิธีการเตรียมขั้นต้นโดยการลวกและแช่ในสภาวะสุญญากาศ มีผลทำให้มีค่า SG ต่ำที่สุด ในขณะที่เมื่อไม่มีการเตรียมขั้นต้นมีผลทำให้ค่า SG สูงที่สุด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการทำลายเซลล์ในการเตรียมขั้นต้นทั้งสองวิธีที่ใช้ร่วมกันทำให้เซลล์ถูกทำลายไปมากและมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะโครงสร้างจนไม่เอื้อต่อการแพร่เข้าของของแข็ง กล่าวคือ ในกรณีของการลวกซึ่งมีความร้อนเข้ามาเกี่ยวข้องอาจมีผลให้ ผนังเซลล์ของสาหร่ายผักกาดทะเลซึ่งมีองค์ประกอบของเซลลูโลสและใยอาหารที่ละลายน้ำได้ พวกเพกติน เกิดการเปลี่ยนรูปไปโดยอาจมีผลให้เกิดโครงสร้าง

ลักษณะคล้ายเจลที่มีลักษณะเป็นตาข่าย (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549: สุวรรณา วรสิงห์ และคณะ, 2552; สุปราณี มนูรักษ์ชินากร และคณะ, 2555) ทำให้ขัดขวางการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของของแข็งต่างๆเข้าไปในเซลล์และในกรณีการแช่ในสภาวะสุญญากาศซึ่งเป็นการใช้แรงกลในการทำลายเซลล์มีผลทำให้เซลล์ยุบตัวลง และเนื้อเยื่อมีโอกาสเกิดการซ้อนทับกัน เป็นผลทำให้กีดขวางการแพร่ของของแข็งซึ่งมีมวลโมเลกุลใหญ่กว่าน้ำ การถ่ายเทมวลของแข็งจากสารละลายออสโมติกเข้าไปในเซลล์จึงเกิดได้อย่างจำกัด (Derossi et al, 2011)

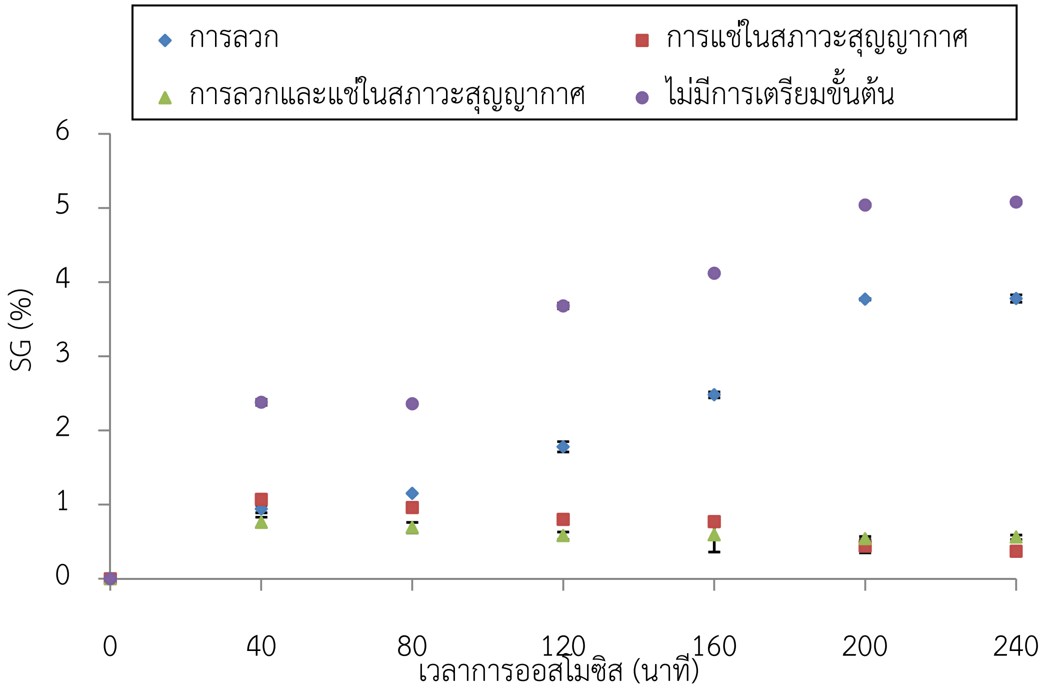
จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การเตรียมขั้นต้นอาจมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเซลล์ที่ไม่เอื้อต่อการแพร่ของของแข็งเข้าไปในเซลล์ ดังนั้นสาหร่ายผักกาดทะเลที่ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้นจึงทำให้ตัวถูกละลายสามารถแพร่เข้าไปในเซลล์ได้มากกว่าจึงมีแนวโน้มค่า SG มากกว่าทุกสิ่งทดลอง

3) ปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (Weight reduction; WR)

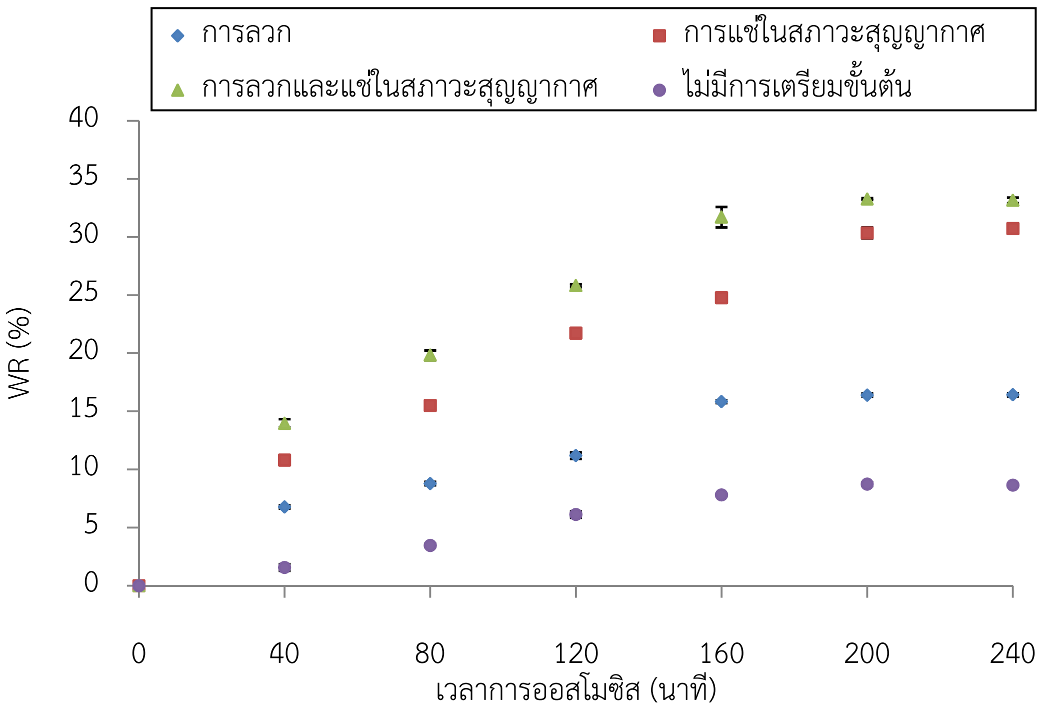
ปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (WR) คือ ปริมาณน้ำหนักสุทธิที่ได้จากกลไกการถ่ายเทมวลสารที่เกิดขึ้นระหว่างการออสโมซิสโดยเป็นผลมาจากปริมาณน้ำที่สูญเสียไปจากชิ้นอาหารกับปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น จากภาพที่ 4-3 พบว่า ค่า WR มีแนวโน้มเช่นเดียวกับค่า WL เนื่องจากค่า SG มีค่าน้อยกว่า WL มาก ดังนั้นน้ำหนักที่ลดลงซึ่งแสดงด้วยค่า WR จึงเป็นผลมาจาก WL เป็นสำคัญ โดยสาหร่ายผักกาดทะเลทุกสิ่งทดลองมีค่า WR มีเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาการออสโมซิสนานขึ้น ทุกสิ่งทดลองมีค่า WR เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในช่วงแรกของการออสโมซิส (40-160 นาที) และเมื่อเวลาผ่านไป (200-240 นาที) ค่า WR มีการเปลี่ยนแปลงน้อยลงจนเกือบคงที่ เมื่อพิจารณาแนวโน้มค่า WR ตลอดการออสโมซิส สามารถเรียงลำดับได้ดังนี้ สาหร่ายผักกาดทะเลที่เตรียมขั้นต้นโดยการลวกและแช่ในสภาวะสุญญากาศ มีค่า WR สูงที่สุด (มีค่า WR ในช่วง 13.97-33.16%) รองลงมาคือ สาหร่ายผักกาดทะเลที่เตรียมขั้นต้นโดยการแช่ในสภาวะสุญญากาศ (มีค่า WR ในช่วง 10.82-30.74%) สาหร่ายผักกาดทะเลที่เตรียมขั้นต้นโดยการลวก (มีค่า WR ในช่วง 6.79-16.44%) และสาหร่ายผักกาดทะเลที่ไม่มีการเตรียมขั้นต้น (มีค่า WR ในช่วง 1.58-8.66%) ตามลำดับ



ภาพที่ 4-1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL, %) กับเวลาการออสโมซิส
ของสาหร่ายผักกาดทะเลที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นวิธีต่างๆ



ภาพที่ 4-2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG, %) กับเวลาการออสโมซิส
ของสาหร่ายผักกาดทะเลที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นวิธีต่างๆ



ภาพที่ 4-3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (WR, %) กับเวลาการออสโมซิส ของสาหร่ายผักกาดทะเลที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นวิธีต่างๆ

เกณฑ์การตัดสินที่กำหนดไว้ คือ เลือกสิ่งทดลองที่ทำให้เกิดการถ่ายเทมวลสารดีที่สุด เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าการถ่ายเทมวลสาร ได้แก่ ปริมาณน้ำที่สูญเสีย ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น และปริมาณน้ำหนักที่ลดลง ได้ผลดังตารางที่ 4-1 4-2 และ 4-3 ตามลำดับ

จากตารางที่ 4-1 พบว่า สิ่งทดลองที่ทำให้เกิดการถ่ายเทปริมาณน้ำดีที่สุด (ค่า WL สูงที่สุด) ตลอดเวลาการออสโมซิส คือ การเตรียมขั้นต้นด้วยการลวกและแช่ในสภาวะสุญญากาศ ($p<0.05$) โดยการออสโมซิสเป็นเวลา 200 และ 240 นาที ทำให้มีค่า WL ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) โดยมีค่า WL ประมาณ 33%

จากตารางที่ 4-2 พบว่า สิ่งทดลองที่ทำให้เกิดการถ่ายเทปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้นมากที่สุด (ค่า SG สูงที่สุด) ตลอดเวลาการออสโมซิส คือ ไม่มีการเตรียมขั้นต้น ($p<0.05$) โดยการออสโมซิสเป็นเวลา 200 และ 240 นาที ทำให้มีค่า SG ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) โดยมีค่า SG ประมาณ 5.0%

จากตารางที่ 4-3 พบว่า สิ่งทดลองที่ทำให้เกิดการถ่ายเทปริมาณน้ำหนักลดลงมากที่สุด (ค่า WR สูงที่สุด) ตลอดเวลาการออสโมซิส คือ การเตรียมขั้นต้นด้วยการลวกและแช่ในสภาวะสุญญากาศ ($p<0.05$) โดยการออสโมซิสเป็นเวลา 200 และ 240 นาที ทำให้มีค่า WR ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) โดยมีค่า WR ประมาณ 33%

Azoubel et al. (2003) และ Manivannan et al. (2009) กล่าวว่า ในการพิจารณาสภาวะที่เหมาะสมของการออสโมซิส จากอัตราการถ่ายเทมวลสารด้าน ปริมาณน้ำที่สูญเสีย ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น และปริมาณน้ำหนักที่ลดลง ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของผู้วิจัยเป็นสำคัญ โดยทั่วไปการออสโมซิสมีวัตถุประสงค์หลักคือต้องการลดปริมาณน้ำในวัตถุดิบ ดังนั้น ตัวชี้วัดที่สำคัญของการถ่ายเทมวลสารที่ให้ความสำคัญมากที่สุด คือ ปริมาณน้ำที่สูญเสีย และหากต้องการพิจารณาถึงผลสุทธิของการลดลงของปริมาณน้ำและการเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็ง ตัวชี้วัดที่สำคัญของการถ่ายเทมวลสารที่ให้ความสำคัญมากที่สุดคือ ปริมาณน้ำหนักที่ลดลง นอกจากนี้หากต้องการเพิ่มปริมาณของแข็งในชิ้นอาหาร เช่น ตัวถูกละลายพวกน้ำตาล หรือเกลือ เพื่อช่วยปรับปรุงด้านรสชาติ หรือลดค่า a_w ตัวชี้วัดที่สำคัญของการถ่ายเทมวลสารที่ให้ความสำคัญมากที่สุด คือ ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น สำหรับโครงงานวิจัยนี้ต้องการให้เกิดการถ่ายเทมวลสารทุกด้านมากที่สุด ซึ่งผลการทดลองพบว่า ค่า SG ซึ่งแสดงปริมาณการเพิ่มขึ้นของของแข็งมีค่าค่อนข้างต่ำ (ไม่เกิน 5%) จึงเลือกพิจารณาด้วยค่าปริมาณน้ำที่สูญเสีย และปริมาณน้ำหนักที่ลดลงเป็นสำคัญ ดังนั้นจากผลการทดลองข้างต้น วิธีการเตรียมขั้นต้นที่เหมาะสมที่สุด คือ การลวกร่วมกับการแช่ในสะภาวะสุญญากาศ สำหรับด้านเวลาในการออสโมซิสที่ทำให้ค่าการถ่ายเทมวลสารคงที่ คือ การออสโมซิสนาน 200 นาที

ตารางที่ 4-1 ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL,%) ของสาหร่ายผักกาดทะเลที่ระหว่างการออสโมซิสทั้งที่ไม่ผ่านและผ่านการเตรียมขั้นต้นวิธีต่างๆ

การเตรียมขั้นต้น	เวลาการออสโมซิส (นาที)					
	40	80	120	160	200	240
การลวก	7.74±0.09^{c}E	9.96±0.15^{c}D	12.98±0.20^{c}C	18.32±0.09^{c}B	20.17±0.13^{c}A	20.22±0.09^{c}A
การแช่ในสภาวะสุญญากาศ	11.88±0.13^{b}E	16.49±0.24^{b}D	22.54±0.04^{b}C	25.56±0.04^{b}B	30.80±0.37^{b}A	31.11±0.07^{b}A
การลวกและแช่ในสภาวะสุญญากาศ	14.73±0.30^{a}E	20.52±0.35^{a}D	26.40±0.07^{a}C	32.31±0.65^{a}B	33.82±0.05^{a}A	33.72±0.20^{a}A
ไม่มีการเตรียมขั้นต้น (ควบคุม)	3.96±0.31^{d}E	5.84±0.16^{d}D	9.82±0.25^{d}C	11.94±0.13^{d}B	13.78±0.13^{d}A	13.74±0.01^{d}A

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

A B C,... ในแนวแถวเดียวกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 4-2 ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG,%) ของสาหร่ายผักกาดทะเลที่ระหว่างการออสโมซิสทั้งที่ไม่ผ่านและผ่านการเตรียมขั้นต้นวิธีต่างๆ

การเตรียมขั้นต้น	เวลาการออสโมซิส (นาที)					
	40	80	120	160	200	240
การลวก	0.94 ± 0.05^{b}E	1.15 ± 0.00^{b}D	1.78 ± 0.07^{b}C	2.48 ± 0.04^{b}B	3.77 ± 0.01^{b}A	3.78 ± 0.05^{b}A
การแช่ในสภาวะสุญญากาศ	1.07 ± 0.03^{b}A	0.96 ± 0.04^{c}B	0.80 ± 0.01^{c}C	0.77 ± 0.01^{c}C	0.44 ± 0.09^{c}D	0.37 ± 0.00^{c}D
การลวกและแช่ในสภาวะสุญญากาศ	0.76 ± 0.07^{c}A	0.69 ± 0.07^{d}A	0.58 ± 0.05^{d}A	0.59 ± 0.23^{c}A	0.54 ± 0.03^{c}A	0.56 ± 0.03^{d}A
ไม่มีการเตรียมขั้นต้น (ควบคุม)	2.38 ± 0.04^{a}C	2.36 ± 0.02^{a}C	3.68 ± 0.04^{a}B	4.12 ± 0.01^{a}B	5.04 ± 0.02^{a}A	5.08 ± 0.02^{a}A

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

A B C,... ในแนวแถวเดียวกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 4-3 ปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (WR,%) ของสาหร่ายผักกาดทะเลที่ระหว่างการออสโมซิสทั้งที่ไม่ผ่านและผ่านการเตรียมขั้นต้นวิธีต่างๆ

การเตรียมขั้นต้น	เวลาการออสโมซิส (นาที)					
	40	80	120	160	200	240
การลวก	6.79±0.14^{c}E	8.80±0.15^{c}D	11.20±0.28^{c}C	15.84±0.13^{c}B	16.40±0.14^{c}A	16.44±0.14^{c}A
การแช่ในสภาวะสุญญากาศ	10.82±0.16^{b}E	15.52±0.28^{b}D	21.74±0.05^{b}C	24.79±0.06^{b}B	30.36±0.47^{b}A	30.74±0.07^{b}A
การลวกและแช่ในสภาวะสุญญากาศ	13.97±0.37^{a}E	19.84±0.42^{a}D	25.82±0.12^{a}C	31.72±0.88^{a}B	33.28±0.08^{a}A	33.16±0.23^{a}A
ไม่มีการเตรียมขั้นต้น (ควบคุม)	1.58±0.28^{d}E	3.47±0.14^{d}D	6.14±0.28^{d}C	7.82±0.15^{d}B	8.75±0.16^{d}A	8.66±0.00^{d}A

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

A B C,... ในแนวแถวเดียวกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตอนที่ 3 ผลของการเสริมธาตุเหล็กในสาหร่ายผักกาดทะเลโดยการออสโมซิส

จากตารางที่ 4-4 แสดงปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL, %) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG, %) และปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (WR, %) ของสาหร่ายผักกาดทะเลหลังการออสโมซิสเป็นเวลา 200 นาที โดยมีการเติมธาตุเหล็กในรูปเฟอรัสซัลเฟตในสารละลายออสโมติก พบว่า ปริมาณธาตุเหล็กที่เติมลงในสารลายออสโมติกมีผลให้ค่า WL SG และ WR แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยพบว่า เมื่อเติมธาตุเหล็กมากขึ้นมีแนวโน้มให้ค่า WL SG และ WR สูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากการเพิ่มธาตุเหล็กเป็นการเพิ่มความเข้มข้นของตัวถูกละลาย จึงเพิ่มแรงขับให้เกิดการถ่ายเทมวลสารได้ดีขึ้น โดยที่ไอออนของเหล็กมีโมเลกุลขนาดเล็กกว่าโมเลกุลของน้ำตาลและเกลือจึงเป็นผลให้สามารถแพร่เข้าไปในชิ้นสาหร่ายผักกาดทะเลได้ดีกว่าด้วยกลไกการถ่ายเทมวลสารมากขึ้น และหากมีการเพิ่มปริมาณธาตุเหล็กมากขึ้นยิ่งเป็นการเพิ่มโอกาสในการแพร่ของไอออนของเหล็กเข้าไปได้มากส่งผลให้เกิดการเร่งการสูญเสียน้ำออกนอกเซลล์ (Marani et al., 2007; Sankat, et al., 1996)

ตารางที่ 4-4 ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL, %) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG, %) และปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (WR, %) ของสาหร่ายผักกาดทะเลหลังการออสโมซิสเมื่อเติมเฟอรัสซัลเฟตในสารละลายออสโมติกระดับต่างๆ

ปริมาณการเติมเฟอรัสซัลเฟต (%)	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%)		
	WL	SG	WR
0	33.73±0.20^{d}	0.56±0.03^{d}	33.16±0.23^{c}
5	37.97±0.32^{c}	3.66±0.14^{c}	34.47±0.47^{c}
10	44.76±0.12^{b}	6.29±0.07^{b}	38.48±0.20^{b}
15	51.53±0.09^{a}	11.14±0.08^{a}	40.06±0.18^{a}

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

จากตารางที่ 4-5 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเฟอรัสซัลเฟตในสารละลายออสโมติกมีผลทำให้ปริมาณเหล็กในสาหร่ายผักกาดทะเลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นแตกต่างกันอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยพบว่า การเติมเฟอรัสซัลเฟต 15 % ทำให้สาหร่ายผักกาดทะเลมีปริมาณเหล็กสูงที่สุดเท่ากับ 11.84 g/100g รองลงมาคือ การเติมเฟอรัสซัลเฟต 10 5 และ 0% โดยทำให้สาหร่ายผักกาดทะเลมีปริมาณเหล็กเท่ากับ 6.76 3.92 และ 0.07 g/100g ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เฟอรัสซัลเฟตที่เติมลงไปในสารละลายออสโมติก สามารถทำให้สาหร่ายผักกาดทะเลมีปริมาณเหล็กเพิ่มขึ้นได้โดยปริมาณเหล็กเพิ่มขึ้นเมื่อเติมเฟอรัสซัลเฟตมากขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเพิ่มธาตุเหล็กมีผลให้เกิดความแตกต่างของความเข้มข้นของเฟอรัสไอออนระหว่างสารละลายออสโมติกกับเนื้อเยื่อของสาหร่าย มีผลให้เกิดแรงขับในการแพร่ของเฟอรัสไอออนเข้าไปในเนื้อเยื่อของสาหร่าย ซึ่งเมื่อผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการลวกและแช่ในสภาวะสุญญากาศทำให้เซลล์ของสาหร่ายถูกทำลายไปบ้างโดยเฟอรัสไอออนอาจแพร่เข้าไปในชิ้นสาหร่ายหรือยึดเกาะบริเวณผนังเซลล์ของสาหร่ายได้ Sankat, et al. (1996) กล่าวว่า ในการออสโมซิสต้องใช้สารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้นสูงกว่าความเข้มข้นภายในชิ้นผักผลไม้เพื่อให้เกิดความแตกต่างของแรงดันเกิดเป็นแรงขับให้มีการถ่ายเทมวลสาร ระดับความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกจึงเกี่ยวข้องโดยตรงกับประสิทธิภาพการแพร่ของน้ำและตัวถูกละลาย โดยมีแนวโน้มคือเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกส่งผลให้อัตราการถ่ายเทมวลสารของน้ำและตัวถูกละลายมีค่าเพิ่มขึ้น ในโครงงานวิจัยนี้เหล็กคือตัวถูกละลายชนิดหนึ่งที่เติมลงในสารละลายออสโมติกจึงมีโอกาสแพร่เข้าไปในชิ้นสาหร่ายได้มากขึ้นนั่นเอง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Barrera et al. (2003) ได้ศึกษาการเสริมแคลเซียมและเหล็กให้กับโครงสร้างของเนื้อเยื่อชิ้นแอปเปิ้ล โดยการเติมแคลเซียมใช้ในรูปแคลเซียมแลคเตท และเติมเหล็กในรูปเฟอรัสกลูโคเนตลงไปในสารละลายออสโมติกที่เตรียมจากน้ำตาลซูโครส แล้วแช่แอปเปิ้ลในสภาวะสุญญากาศ พบว่า การใช้สารละลายผสมระหว่างน้ำตาลซูโครส 12.297 g/l กับแคลเซียม 44.229 g/l สามารถเสริมแคลเซียมได้โดยทำให้แอปเปิ้ลมีแคลเซียมเพิ่มขึ้นในผลิตภัณฑ์สุดท้าย 23 เท่าของแอปเปิ้ลสด และการใช้สารละลายผสมระหว่างน้ำตาลซูโครส 146.702 g/l กับเหล็ก 1.135 g/l สามารถเสริมเหล็กให้กับแอปเปิ้ลได้เช่นกันโดยมีเหล็กเพิ่มขึ้นในผลิตภัณฑ์สุดท้าย 5.6 เท่าของแอปเปิ้ลสด

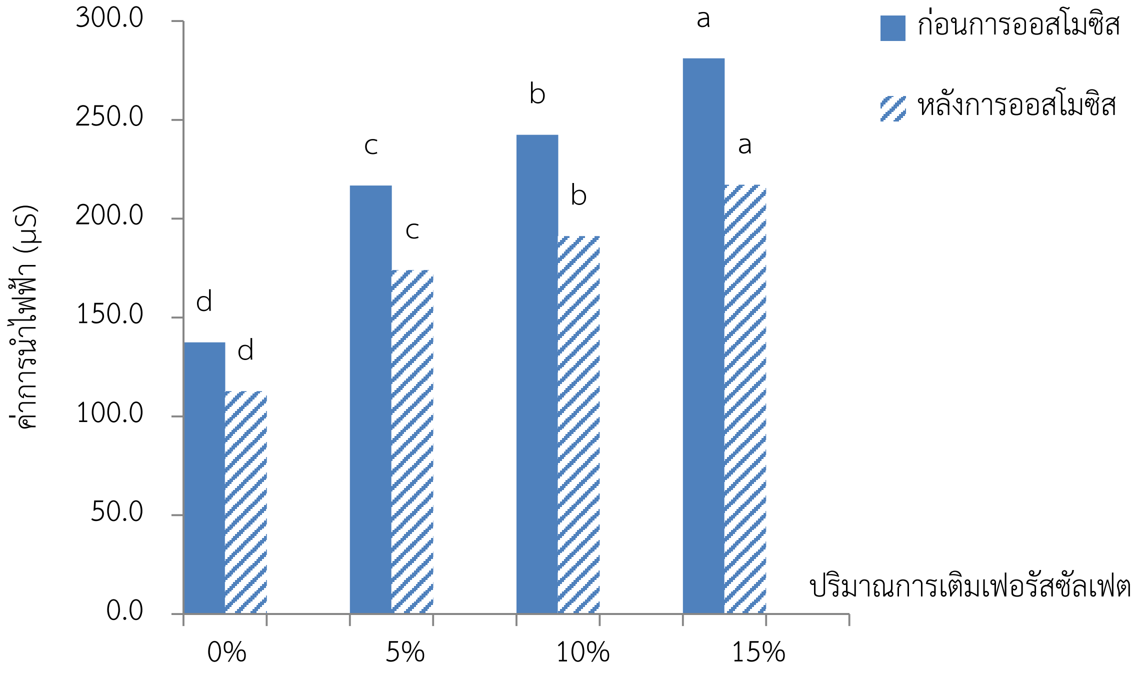
ตารางที่ 4-5 ปริมาณเหล็ก (g/100g) ของสาหร่ายผักกาดทะเลหลังออสโมซิสที่ได้จากการแปร
ปริมาณการเสริมธาตุเหล็ก

ปริมาณการเติมเฟอรัสซัลเฟต (%)	ปริมาณเหล็กเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (g/100g)
0	0.07 ± 0.05^{d}
5	3.92 ± 0.06^{c}
10	6.76 ± 0.59^{b}
15	11.84 ± 0.43^{a}

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

ค่าการนำไฟฟ้า หมายถึง ค่าที่วัดความสามารถของน้ำที่กระแสไฟฟ้าสามารถไหลผ่าน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของไอออนโดยรวมในน้ำ จึงอาจกล่าวได้ว่าค่าการนำไฟฟ้าบ่งบอกถึง ความเข้มข้นของเกลือแร่ และแร่ธาตุทั้งหมดที่ละลายอยู่ในสารละลาย อีกทั้งยังรวมถึงสารต่างๆที่มีสมบัติในการแตกตัวเป็นประจุบวกและประจุลบ ซึ่งประจุบวกและประจุลบที่เกิดขึ้นจะเป็นตัวนำไฟฟ้า (อิทธิสุนทร นันทกิจ, 2551) เมื่อพิจารณาในภาพที่ 4-4 พบว่า ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายออสโมติกมีแนวโน้มมากขึ้นเมื่อเติมเฟอรัสซัลเฟตในสารละลายออสโมติกเพิ่มขึ้น โดยมีค่าการนำไฟฟ้าแตกต่างกันระหว่างสิ่งทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และพบว่าจากการออสโมซิสเป็นเวลา 200 นาที ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายออสโมติกมีแนวโน้มลดลง เป็นข้อมูลสนับสนุนที่แสดงให้เห็นว่า ในระหว่างการออสโมซิสสารละลายออสโมติกที่มีการเสริมธาตุเหล็กทุกระดับ สามารถเกิดกลไกการแพร่ของเฟอรัสไอออนเข้าไปภายในเนื้อเยื่อของสาหร่ายผักกาดทะเลจึงเป็นผลให้ความเข้มข้นของเฟอรัสไอออนลดลง ค่าการนำไฟฟ้าที่เกิดจากประจุของไอออนจึงลดลง โดยผลการทดลองพบว่า สารละลายออสโมติกที่เติมเฟอรัสซัลเฟตมากที่สุดคือ 15% มีค่าการนำไฟฟ้าลดลงมากที่สุดคิดเป็น 22.74% (จาก 281.13 μs เหลือ 217.20 μs) รองลงมาคือ การเติมเฟอรัสซัลเฟต 10 5 และ 0% โดยทำให้สารละลายออสโมติกมีค่าการนำไฟฟ้าลดลงคิดเป็น 21.15 19.70 และ 17.98% ตามลำดับ ซึ่งมีแนวโน้มสอดคล้องกับปริมาณเหล็กที่วิเคราะห์ได้ในสาหร่ายผักกาดทะเล (ตารางที่ 4-6) แสดงให้เห็นว่า การเสริมธาตุเหล็กโดยการเติมลงไปในสารละลายออสโมติกที่ใช้แช่สาหร่าย

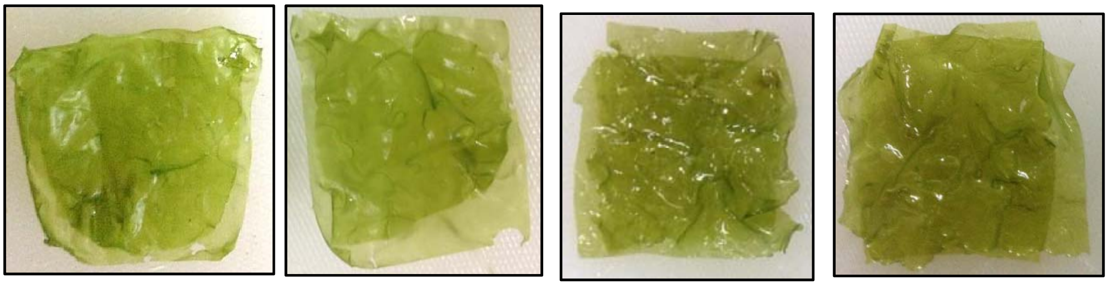
ผักกาดทะเลมีผลให้เกิดการแพร่ของธาตุเหล็กเข้าไปในสาหร่ายผักกาดทะเลได้ โดยหากมีการเติมปริมาณเหล็กเพิ่มขึ้นมีผลให้สาหร่ายผักกาดทะเลมีปริมาณเหล็กมากขึ้นด้วย



ภาพที่ 4-4 ค่าการนำไฟฟ้า (µS) ของสารละลายออสโมติทั้งก่อนและหลังออสโมซิสเมื่อเติมเฟอรัสซัลเฟตในสารละลายออสโมติกระดับต่างๆ (a b c,... แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ระหว่างสิ่งทดลอง)

เกณฑ์การตัดสินที่กำหนดไว้ คือ เลือกสิ่งทดลองที่มีปริมาณเหล็กในสาหร่ายผักกาดทะเลสูงที่สุด โดยยังคงมีลักษณะปรากฏเป็นที่ยอมรับ จากผลการทดลองพบว่า สิ่งทดลองที่เติมเฟอรัสซัลเฟตมากที่สุดคือ 15% ทำให้มีปริมาณเหล็กในสาหร่ายผักกาดทะเลหลังการออสโมซิสสูงที่สุด คือ 11.84 g/100g อย่างไรก็ตามพบว่า สิ่งทดลองดังกล่าวมีกลิ่นรสของเหล็กเข้มมาก และมีสีคล้ำจากการเกาะติดของสารละลายเหล็กที่ชิ้นของสาหร่ายมาก แสดงถึงมีลักษณะปรากฏไม่ดีจึงไม่น่าเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคที่เป็นเด็กวัยเรียน ดังนั้นสิ่งทดลองที่เหมาะสมที่สุดคือการเติมเฟอรัสซัลเฟตความเข้มข้นรองลงมา คือ สิ่งทดลองที่เติมเฟอรัสซัลเฟต 10% ในสารละลายออสโมติก ทำให้มีปริมาณเหล็กในสาหร่ายผักกาดทะเลหลังการออสโมซิส คือ 6.76 g/100g โดยยังคงมีลักษณะปรากฏ

ดี มีแนวโน้มเป็นที่ยอมรับได้มากกว่า สิ่งทดลองดังกล่าวมีกลิ่นรสของเหล็กลดน้อยลง และสีไม่คล้ำมากนัก ทั้งนี้ลักษณะของสาหร่ายผักกาดทะเลหลังการออสโมซิสแสดงดังภาพที่ 4-5



ก) 0% ข) 5% ค) 10% ง) 15%

ภาพที่ 4-5 สาหร่ายผักกาดทะเลหลังการออสโมซิส เมื่อเติมเฟอรัสซัลเฟตในสารละลายออสโมติก ก) 0% ข) 5% ค) 10% และ ง) 15%

ตอนที่ 4 ผลของวิธีการอบแห้งสาหร่ายผักกาดทะเล

การทำแห้งเป็นการลดความชื้นในอาหารรวมทั้งเป็นการลดค่า a_w ของอาหาร กล่าวคือ การทำแห้งเป็นการลดปริมาณน้ำอิสระที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ ซึ่งอาหารที่มีน้ำมากจะเกิดการสูญเสียเร็ว (ชมพู่ ยิ้มโต, 2550) ในการทดลองตอนนี้ต้องการลดความชื้นของสาหร่ายผักกาดทะเลหลังการออสโมซิสลงให้ได้ผลิตภัณฑ์อาหารแห้งโดยให้มีความชื้นไม่เกิน 7% โดยการนำไปอบแห้งภายใต้สภาวะสุญญากาศ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ในสภาวะสุญญากาศความดัน 36 cmHg และอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส โดยนำสาหร่ายผักกาดทะเลที่ผ่านการออสโมซิสตามวิธีที่เลือกได้จากตอนที่ 3 รวมถึงนำสาหร่ายสดมาอบแห้งด้วย กำหนดเวลาอบแห้ง 270 นาที สุ่มตัวอย่างทุก 30 นาที เพื่อนำมาหาความชื้น (AOAC, 1990) แล้วสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับและเวลา พิจารณาความน่าเชื่อถือของสมการความสัมพันธ์จาก ค่า R^2 แล้วทำนายเวลาในการทำแห้งเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้น 7%

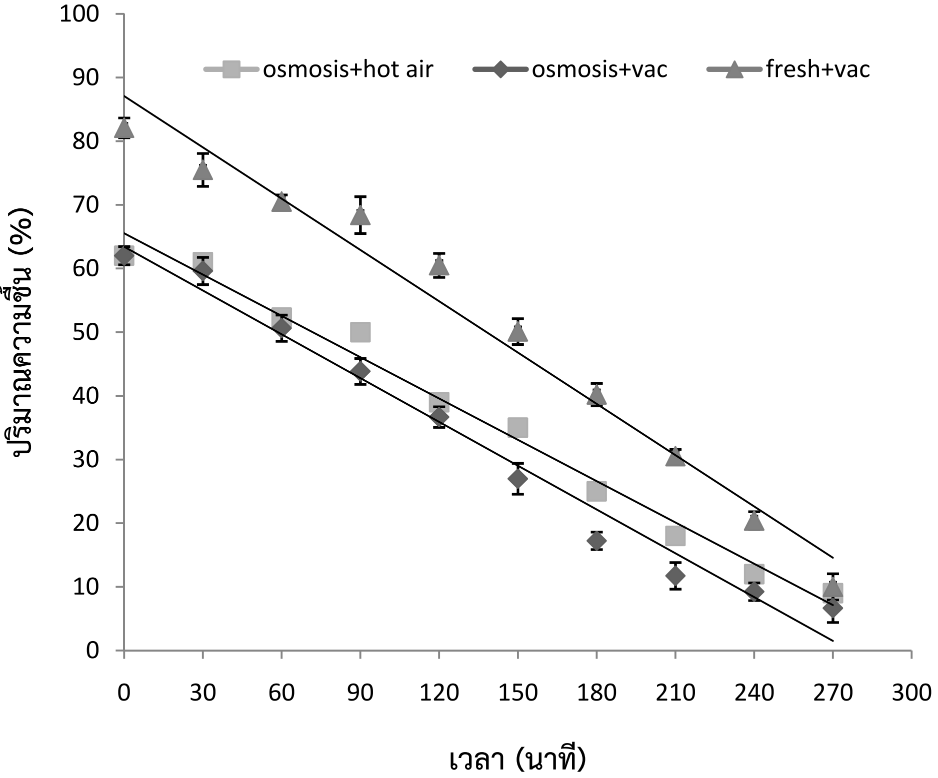
1) ผลการสร้างกราฟการทำแห้งเพื่อทำนายเวลาในการทำแห้ง

จากการทดลองเบื้องต้นพบว่าการทำแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศมีแนวโน้มทำให้สามารถลดความชื้นของสาหร่ายผักกาดทะเลได้เร็วกว่าการใช้ตู้อบลมร้อน จากการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับระยะเวลาในการทำแห้งสาหร่ายผักกาดทะเลที่ไม่ผ่านการออสโมซิสด้วย

การอบแบบสุญญากาศ สาหร่ายผักกาดทะเลที่ผ่านการออสโมซิสในตู้อบแบบสุญญากาศ และตู้อบลมร้อน ได้ผลการทดลองแสดงในภาพที่ 4-6 พบว่า ปริมาณความชื้นของสาหร่ายผักกาดทะเลมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อเวลาการทำแห้งนานขึ้น ในกรณีการอบในสภาวะสุญญากาศ อากาศที่อยู่ในห้องอบแห้งแบบสุญญากาศนั้นจะอยู่ในสภาวะสุญญากาศที่ทำให้อากาศมีความดันของไอน้ำต่ำ และความเข้มข้นของความชื้นในอากาศต่ำเมื่อมีวัสดุอยู่ในห้องอบแห้งแบบสุญญากาศจะทำให้เกิดการถ่ายเทมวลเกิดขึ้น โดยไอน้ำที่ผิวของวัสดุจะแพร่สู่อากาศ เนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้นของความชื้นและความดันไอ และของเหลวที่อยู่ในวัสดุจะเคลื่อนที่ออกมายังผิวด้วยแรงคาปิลารี (Capillary) ซึ่งเป็นผลมาจากแรงตึงผิว อีกทั้งยังเกิดความแตกต่างของความดันไอน้ำของความชื้นในอาหารกับความร้อนในห้องอบแห้งซึ่งจะเป็นแรงผลักทำให้น้ำระเหยออกมาจากอาหาร (ฤทธิไกร งามชุ่ม, 2547; นิธิยา รัตนปนนท์, 2549) จากภาพที่ 4-6 หากพิจารณาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความชื้นตามเวลาในการทำแห้ง พบว่า ทั้งสาหร่ายที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิสมีความชื้นลดลงอย่างต่อเนื่อง แต่พบว่าสาหร่ายสดซึ่งไม่ผ่านการออสโมซิสมีความชื้นเริ่มต้นสูงกว่า (ประมาณ 82%) ความชื้นเริ่มต้นของสาหร่ายที่ผ่านการออสโมซิส (ประมาณ 62-63%) จึงทำให้สาหร่ายที่ไม่ผ่านการออสโมซิสมีความชื้นคงเหลือที่เวลาอบแห้งใดๆ สูงกว่าสาหร่ายที่ผ่านการออสโมซิส โดยจากกราฟพบว่า สาหร่ายผักกาดทะเลที่ผ่านการออสโมซิสโดยทำแห้งในตู้อบแบบสุญญากาศ และตู้อบลมร้อนมีปริมาณความชื้นคงเหลือที่เวลาอบแห้งใดๆ แตกต่างกัน โดยการอบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศมีผลให้ความชื้นคงเหลือน้อยกว่าการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน

ผลการทำนายเวลาแสดงในตารางที่ 4-6 พบว่า สมการการทำแห้งของสาหร่ายผักกาดทะเลที่ไม่ผ่านการออสโมซิสและอบแห้งโดยใช้ตู้อบสุญญากาศ สาหร่ายผักกาดทะเลที่ผ่านการออสโมซิสแล้วอบแห้งโดยใช้ตู้อบแบบสุญญากาศ และตู้อบลมร้อน มีค่า R^2 สูง (0.98-0.99) ซึ่งค่า R^2 แสดงถึงความน่าเชื่อถือของสมการค่อนข้างสูง โดยทั่วไปสมการที่นำมาใช้ควรมีค่า R^2 อย่างน้อย 0.75 หากสูงกว่า 0.90 แสดงว่ามีความน่าเชื่อถือมาก (Hu, 1999) จากสมการสามารถทำนายเวลาในการทำแห้งสาหร่ายผักกาดทะเลที่ไม่ผ่านการออสโมซิสและอบแห้งโดยใช้ตู้อบสุญญากาศ สาหร่ายผักกาดทะเลที่ผ่านการออสโมซิสแล้วอบแห้งโดยใช้ตู้อบแบบสุญญากาศ และตู้อบลมร้อนให้ได้ความชื้น 7% คือ 285.42 249.41 และ 270.97 นาที ตามลำดับ แต่เพื่อให้สะดวกกับการควบคุมเวลาในการทำแห้งจึงใช้เวลาในการทำแห้งจริงเท่ากับ 285 249 และ 271 นาที ตามลำดับ เมื่อนำสาหร่ายผักกาดทะเลมาอบแห้งตามเวลาที่กำหนด ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์สาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งมีปริมาณความชื้น

สุดท้าย คือ 7.11 7.09 และ 7.02 ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการนำสาหร่ายผักกาดทะเลมาออสโมซิสสามารถลดความชื้นของผลิตภัณฑ์ลงได้ซึ่งทำให้เวลาในการทำแห้งลดลง โดยการทำแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศทำให้สามารถลดเวลาการทำแห้งได้ โดยใช้เวลาทำแห้งน้อยกว่าการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน 22 นาที ดังนั้นจึงเลือกดำเนินการทำแห้งสาหร่ายผักกาดทะเลที่ผ่านการออสโมซิสด้วยตู้อบสุญญากาศ เปรียบเทียบคุณภาพกับสาหร่ายผักกาดทะเลที่ไม่ผ่านการออสโมซิสและอบด้วยตู้อบสุญญากาศ และสาหร่ายผักกาดทะเลสดในขั้นตอนต่อไป



ภาพที่ 4-6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับระยะเวลาในการทำแห้งสาหร่ายผักกาดทะเลที่ไม่ผ่านการออสโมซิสและอบแห้งโดยใช้ตู้อบสุญญากาศ สาหร่ายผักกาดทะเลที่ผ่านการออสโมซิสแล้วอบแห้งโดยใช้ตู้อบแบบสุญญากาศ และตู้อบลมร้อน

ตารางที่ 4-6 รายละเอียดเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น (y) กับระยะเวลาการอบแห้ง (x) สาหร่ายผักกาดทะเลที่ไม่ผ่านการออสโมซิสและอบแห้งโดยใช้ตู้อบสุญญากาศ สาหร่ายผักกาดทะเลที่ผ่านการออสโมซิสแล้วอบแห้งโดยใช้ตู้อบแบบสุญญากาศ และตู้อบลมร้อน

สิ่งทดลอง	สมการ	R^2	เวลาจากการทำนายตามสมการ	เวลาในการอบแห้งจริง	ความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ (%)
สาหร่ายผักกาดทะเลที่ไม่ผ่านการออสโมซิสอบและอบแห้งโดยใช้ตู้อบสุญญากาศ	$y = -0.28x + 86.92$	0.99	285.42 นาที	285 นาที	7.11±1.03
สาหร่ายผักกาดทะเลที่ผ่านการออสโมซิสและอบแห้งโดยใช้ตู้อบสุญญากาศ	$y = -0.22x + 61.87$	0.98	249.41 นาที	249 นาที	7.09±1.05
สาหร่ายผักกาดทะเลที่ผ่านการออสโมซิสและอบแห้งโดยตู้อบลมร้อน	$y = -0.22x + 65.53$	0.99	270.97 นาที	271 นาที	7.02±0.57

2) ผลการเปรียบเทียบคุณภาพของสาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งที่ไม่ผ่านและผ่านการออสโมซิสและสาหร่ายผักกาดทะเลสด

2.1 คุณภาพทางด้านเคมีและกายภาพ

ปริมาณความชื้น เป็นปริมาณน้ำทั้งหมดที่มีอยู่ในอาหารโดยน้ำมีความสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติต่างๆของอาหาร เนื่องจากน้ำเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและชีวเคมีของอาหารซึ่งทำให้เกิดผลทั้งในด้านที่เป็นประโยชน์หรือในด้านที่ไม่ต้องการ (นิธิยา

รัตนปนนท์, 2549) เพื่อลดการเปลี่ยนแปลงของอาหารและช่วยยืดอายุการเก็บ จึงมีการให้ความสำคัญกับการลดปริมาณความชื้นในอาหารลงโดยการทำเป็นอาหารแห้ง จากการวิเคราะห์คุณภาพด้านเคมีและกายภาพของสาหร่ายผักกาดทะเลที่ไม่ผ่านและผ่านการออสโมซิสโดยอบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศ และสาหร่ายผักกาดทะเลสด แสดงดังตารางที่ 4-7

ตารางที่ 4-7 ผลการเปรียบเทียบคุณภาพทางเคมีและกายภาพของสาหร่ายผักกาดทะเลที่ผ่านและผ่านการออสโมซิสโดยอบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศและสาหร่ายผักกาดทะเลสด

คุณภาพ	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	สาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิส	สาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งที่ผ่านการออสโมซิส	สาหร่ายผักกาดทะเลสด
ปริมาณความชื้น (%)	7.11 ± 1.27^{b}	7.09 ± 1.04^{b}	83.95 ± 0.73^{a}
ปริมาณเหล็ก (g/100g) #	0.16 ± 0.11^{b}	6.88 ± 0.08^{a}	0.14 ± 0.03^{b}
ปริมาณไอโอดีน (g/100g) #	0.03 ± 0.00^{b}	0.06 ± 0.00^{a}	0.03 ± 0.00^{b}
ปริมาณแคลเซียม (g/100g) # ns	0.62 ± 0.00	0.61 ± 0.01	0.63 ± 0.02
ปริมาณโซเดียม (g/100g) #	1.07 ± 0.02^{b}	1.18 ± 0.04^{a}	1.07 ± 0.06^{b}
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (g/100g)	nd	3.12 ± 0.03	nd
ปริมาณวิตามินซี (mg/100g) #	nd	nd	0.15 ± 0.00
ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (a_w)	0.54 ± 0.02^{b}	0.41 ± 0.09^{c}	0.96 ± 0.00^{a}
ค่าสี L*	29.45 ± 0.37^{a}	25.75 ± 0.34^{c}	28.43 ± 0.33^{b}
ค่าสี a*	-6.33 ± 0.34^{a}	-2.15 ± 0.13^{c}	-5.14 ± 0.12^{b}
ค่าสี b*	16.47 ± 0.38^{a}	14.66 ± 0.32^{b}	16.47 ± 0.36^{a}
ค่า ΔE	1.63 ± 0.10^{b}	4.39 ± 0.25^{a}	-

รายงานโดยเทียบกับน้ำหนักฐานแห้ง (Dry basis)

a,b,c ในแนวแถวเดียวกัน หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

nd หมายถึง Not detected (ตรวจไม่พบ)

จากผลการทดลอง พบว่า สาหร่ายผักกาดทะเลที่ไม่ผ่านและผ่านการออสโมซิสโดยอบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศ มีปริมาณความชื้นใกล้เคียงกันคือประมาณ 7% และมีค่า a_w ประมาณ 0.4-0.5 โดย Jay (1998) กล่าวว่า อาหารแห้งควรมีความชื้นน้อยกว่า 15% และมีค่า a_w น้อยกว่า 0.6 เพื่อป้องกันและควบคุมจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสื่อมเสีย ทั้งจาก รา ยีสต์ และแบคทีเรีย นอกจากนี้ยังสามารถยับยั้งพวกจุลินทรีย์ก่อโรคได้ และยังเป็นสภาวะที่ไม่เอื้อต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของอาหาร

การเติมเหล็กในรูปของเฟอรัสซัลเฟตความเข้มข้น 10% ในสารละลายออสโมติกสามารถเพิ่มปริมาณเหล็กให้กับสาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งได้โดยพบว่า สาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งที่ผ่านการออสโมซิสมีปริมาณเหล็กเท่ากับ 6.88 g/100g แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับสาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิสและสาหร่ายผักกาดทะเลสดที่มีปริมาณเหล็กเท่ากับ 0.16 และ 0.14 g/100g ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็นการเสริมธาตุเหล็กให้กับสาหร่ายผักกาดทะเลโดยมีเหล็กเพิ่มขึ้นในผลิตภัณฑ์ประมาณ 49 เท่าของสาหร่ายสด

มีรายงานว่าสาหร่ายเป็นแหล่งที่ดีของไอโอดีน มีความสำคัญอย่างยิ่งโดยเฉพาะกับเด็กโดยสาหร่ายทะเลเป็นอาหารชนิดหนึ่งที่กรมอนามัยแนะนำให้เด็กและสตรีมีครรภ์ควรบริโภค โดยไอโอดีนและเหล็ก จัดเป็นแร่ธาตุประเภท Micro-elements หรือ Trace elements ที่ร่างกายต้องการ ในปริมาณน้อยว่า 100 mg/วัน (ประสงค์ เทียนบุญ, 2546) สุวรรณา วรรสิงห์ และคณะ (2552) รายงานว่า สาหร่ายผักกาดทะเลสดมีปริมาณไอโอดีนเท่ากับ 227.7 mg/1000g (น้ำหนักฐานเปียก) จากผลการทดลองพบว่า วิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนในสาหร่ายผักกาดทะเลสดได้เท่ากับ 0.03 g/100g (น้ำหนักฐานแห้ง) หรือ เท่ากับ 357.36 mg/1000g (น้ำหนักฐานเปียก) ซึ่งมากกว่าที่เคยมีการรายงานไว้ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความผันแปรของวัตถุดิบ ฤดูของการผลิต ความแก่อ่อนของสาหร่าย รวมถึงวิธีการวิเคราะห์ เป็นต้น เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบปริมาณไอโอดีนในสาหร่ายอบแห้งที่ผ่านการออสโมซิสพบว่า มีปริมาณไอโอดีนเท่ากับ 0.06 g/100g (น้ำหนักฐานแห้ง) ซึ่งมากกว่าสาหร่ายสดและสาหร่ายอบแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิส ($p<0.05$) ทั้งนี้เนื่องมาจากในขั้นตอนการออสโมซิสมีการเติมเกลือที่เสริมไอโอดีนความเข้มข้น10% ในระหว่างการแช่ซึ่งเกิดการแพร่ของตัวถูกละลายเข้าไปในชิ้นสาหร่าย ไอโอดีนที่มีอยู่ในสารละลายออสโมติกจึงมีโอกาสแพร่เข้าไปในชิ้นสาหร่ายได้ด้วย

สาหร่ายไม่มีโครงสร้างของท่อลำเลียงอย่างที่ปรากฏในพืชชั้นสูงแต่สามารถดูดซับแร่ธาตุต่างๆ เช่น แคลเซียม และเหล็ก ผ่านผนังเซลล์จากทุกส่วนของโครงสร้างได้โดยตรง โดยโครงสร้างของสาหร่ายมีใบ เรียกว่า Blades ราก เรียกว่า Holdfast และลำต้นเรียกว่า Thallus ทั้งนี้ส่วนที่สามารถดูดซับแร่ธาตุได้มากคือส่วนของ Thallus (สุวรรณา วรสิงห์, 2552; สุภัทรา พงศ์ภราดร และอัญชนา ประเทพ, 2553) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ากระบวนการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์สาหร่ายอบแห้งไม่มีผลให้ปริมาณแคลเซียมของสาหร่ายเปลี่ยนแปลงไป โดยปริมาณแคลซียมของสาหร่ายผักกาดทะเลสดและสาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งที่ไม่ผ่านและผ่านการออสโมซิสมีปริมาณแคลเซียมไม่แตกต่างกันอย่างมีนับสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.61-0.63 g/100g

สาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งที่ผ่านการออสโมซิสซึ่งมีการแช่ในสารละลายออสโมติกที่เตรียมจากสารละลายผสมโดยมีน้ำตาลโอลิโกฟรุคโตส 40% และเกลือโซเดียมคลอไรด์ 10% มีโอกาสที่ตัวถูกละลายในสารละลายออสโมติกแพร่เข้าไปในชิ้นสาหร่ายได้ จึงเป็นผลให้สาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งที่ผ่านการออสโมซิส มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมด 3.12 g/100g ซึ่งมากกว่าสาหร่ายสดและสาหร่ายอบแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิสที่ซึ่งไม่สามารถวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลได้ และให้ผลทำนองเดียวกันกับปริมาณโซเดียมซึ่งพบว่า สาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งที่ผ่านการออสโมซิส มีปริมาณโซเดียม 1.18 g/100g มากกว่าสาหร่ายสดและสาหร่ายอบแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิส ที่มีปริมาณโซเดียมเท่ากับ 1.07 g/100g ($p<0.05$)

วิตามินซีหรือกรดแอสคอร์บิก เป็นอนุพันธ์ของน้ำตาลเฮกโซส ละลายได้ดีในน้ำเป็นตัวริดิวซ์ที่มีความคงตัวต่ำ สลายตัวได้ง่ายเมื่อถูกแสง อากาศและความร้อน โดยเฉพาะในสภาวะที่มีโลหะหนักเช่น คอปเปอร์ไอออนและเฟอรัสไอออนจะยิ่งเร่งสลายตัวของวิตามินซี (นิธิยา รัตนปนนท์, 2549) จากผลการทดลองพบว่า สาหร่ายผักกาดทะเลสดมีวิตามินซีปริมาณต่ำประมาณ 0.15 mg/100g กระบวนการแปรรูปสาหร่ายผักกาดทะเลด้วยการออสโมซิสร่วมกับการทำแห้ง และการทำแห้งเพียงอย่างเดียวมีผลทำให้ปริมาณวิตามินซีคงเหลือในผลิตภัณฑ์ต่ำลงจนไม่สามารถวิเคราะห์ค่าได้

จากการสังเกตด้วยตาเปล่าพบว่า สาหร่ายผักกาดทะเลสดมีสีเขียวเข้มมากที่สุด รองลงมาคือ สาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิส และสาหร่ายผักกาดทะเลที่ผ่านการออสโมซิสที่สังเกตเห็นสีเขียวคล้ำลง ผลการวิเคราะห์ค่าสีด้วยเครื่องวัดสี พบว่า สาหร่ายผักกาดทะเลสดมีแนวโน้มค่าสี L* a* และ b* มากกว่าสาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้ง โดยสาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งที่ผ่านการออสโมซิสมีแนวโน้มค่าสี L* a* และ b* ต่ำที่สุด ($p<0.05$) การเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์

อาจเกิดขึ้นจากขั้นตอนการออสโมซิสโดยเฉพาะการเตรียมขั้นต้นโดยวิธีการลวกและการทำแห้ง โดยคลอโรฟิลล์ซึ่งเป็นรงควัตถุที่ให้สีเขียวในสาหร่ายเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างไป โดยเอนไซม์คลอโรฟิลเลส (Chlorophyllase) ถูกกระตุ้นให้เร่งปฏิกิริยาให้ไฟตอล (Phytol) หลุดออกจากคลอโรฟิลล์ได้เป็นคลอโรฟิลล์ไรด์ (Chlorophyllide) นอกจากนี้การเติมกรดซิตริกลงในสารละลายออสโมติกช่วยเร่งปฏิกิริยาให้ไฮโดรเจนไอออนไปแทนที่แมกนีเซียมไอออนซึ่งเป็นส่วนประกอบของคลอโรฟิลล์ มีผลทำให้คลอโรฟิลล์เปลี่ยนโครงสร้างไปเป็นฟีโอไฟติน (Pheophytin) ซึ่งมีสีเขียวอมเหลือง และนอกจากนี้คลอโรฟิลล์ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของสารประกอบเชิงซ้อนของโปรตีน ซึ่งโปรตีนที่ติดอยู่กับคลอโรฟิลล์จะช่วยป้องกันการเปลี่ยนแปลงของคลอโรฟิลล์จากเอนไซม์และกรดได้ แต่หากโปรตีนถูกความร้อนจะเกิดการเสียสภาพจึงเป็นผลให้คลอโรฟิลล์เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างไป ทำให้มีสีเขียวจึงเปลี่ยนไป (Lajallo and Lanfer, 1982; Eskin, 1990; ลักขณา เหล่าไพบูลย์ และคณะ, 2540; สุมาลี ดุลยอนุกิจ, 2548) และการเติมเฟอรัสซัลเฟตในสารละลายออสโมติกแล้วแช่สาหร่ายผักกาดทะเลในสภาวะบรรยากาศ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง มีโอกาสให้เฟอรัสไอออนเกิดการออกซิไดซ์ได้เป็นเฟอริกไอออน โดยมีความชื้น และแสง เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเกิดเป็นสารเฟอริคแทนเนท (Ferric tannate) ซึ่งมีสีดำหรือสีเขียว (ณัฏฐกนต์ อัศวเกษมจิตร และปิยาภรณ์ หนูเสริม, 2551)

ค่า ΔE หมายถึง ค่าความแตกต่างกันของสีซึ่งคำนวณได้จากความแตกต่างของค่าสี L* a* และ b* ของตัวอย่างสาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้ง เมื่อเปรียบเทียบกับสาหร่ายสด ดังนั้นหากมีค่ามากหมายถึง ค่าสีแตกต่างจากสาหร่ายผักกาดทะเลสดมาก และหากมีค่าน้อยหมายถึง ค่าสีมีความแตกต่างจากสาหร่ายผักกาดทะเลสดน้อย จากผลการทดลองพบว่า สาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิสมีค่า ΔE เท่ากับ 1.63 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าสาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งที่ผ่านการออสโมซิสที่มีค่า ΔE เท่ากับ 4.39 โดยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) นั่นหมายถึงค่าสีของสาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิสมีความแตกต่างจากสาหร่ายผักกาดทะเลสดน้อยกว่าสาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งที่ผ่านการออสโมซิส

2.2 คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยทดสอบความชอบโดยรวมใช้วิธีการทดสอบแบบรูปหน้า (Facial Scale) เสนอตัวอย่างสาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งที่ไม่ผ่านและผ่านการออสโมซิสกับผู้ทดสอบคือเด็กวัยเรียนอายุ 6 – 12 ปี จำนวน 30 คน ผลการเปรียบเทียบคะแนนความชอบโดยรวมแสดงดังตารางที่ 4-8

ตารางที่ 4-8 ผลการทดสอบความชอบโดยรวมทางประสาทสัมผัสของสาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งที่ไม่ผ่านและผ่านการออสโมซิส

สิ่งทดลอง	ความชอบโดยรวมเฉลี่ย* ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ^{ns}
สาหร่ายอบแห้งที่ผ่านการออสโมซิส	2.83 ± 0.08
สาหร่ายอบแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิส	2.73 ± 0.11

* จากคะแนน 1-5 โดย 1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด 3 หมายถึง เฉยๆ และ 5 หมายถึง ชอบมากที่สุด

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า สาหร่ายอบแห้งที่ไม่ผ่านและผ่านการออสโมซิสได้รับคะแนนความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยได้รับคะแนนความชอบโดยรวม 2.73-2.83 อยู่ในระดับไม่ชอบมากถึงเฉยๆ จากการสอบถามผู้ทดสอบส่วนใหญ่ยอมรับกับลักษณะปรากฏและเนื้อสัมผัสซึ่งมีความกรอบ ผู้ทดสอบให้ความเห็นว่าไม่คุ้นเคยกับรสชาติของสาหร่ายอบแห้งที่ทดสอบ สำหรับสาหร่ายอบแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิสมีกลิ่นรสของสาหร่ายชัดเจน และไม่มีรสชาติ (จืด) ในขณะที่สาหร่ายอบแห้งที่ผ่านการออสโมซิสแม้สัมผัสได้ว่ามีการปรุงรสโดยมีรสหวาน และเค็ม แต่ผู้ทดสอบสัมผัสได้กับกลิ่นรสของเหล็กซึ่งติดอยู่กับผลิตภัณฑ์ จากการตรวจเอกสาร พบว่า การเสริมธาตุเหล็กในผลิตภัณฑ์อาหารโดยวิธีการออสโมซิสหรือแช่ชิ้นอาหารในสารละลายที่มีเหล็กเป็นส่วนประกอบสามารถใช้ในรูปของ เฟอรัสกลูโคเนต และเฟอรัสซัลเฟต (Barrera et al., 2003; Chanakan et al., 2008; Yanyan Wei et al., 2013) โดยเฟอรัสซัลเฟตมีกลิ่นรสเฉพาะของเหล็กค่อนข้างแรงกว่าเฟอรัสกลูโคเนตซึ่งโดยปกติเฟอรัสซัลเฟตจะใช้ในผลิตภัณฑ์ยาสำหรับผู้ป่วยที่เป็นโรคโลหิตจาง แต่อย่างไรก็ตามเฟอรัสซัลเฟตมีความปลอดภัยสำหรับการบริโภค ราคาถูก และหาได้ง่าย (Haro-Vicente et al., 2006; Yanyan Wei et al., 2013) จากงานวิจัยนี้สามารถผลิตสาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งเป็นอาหารว่างเพื่อสุขภาพสำหรับเด็กวัยเรียนได้โดย ผลิตภัณฑ์สาหร่ายผักกาดทะเลผักกาดทะเลอบแห้งที่ผ่านการออสโมซิสโดยไม่ปรับปรุงรสชาติ มีปริมาณเหล็กเท่ากับ 6.88 g/100g ทั้งนี้หากพิจารณาสารอาหารที่แนะนำให้บริโภคประจำวันสำหรับเด็กไทยวัยเรียนอายุ 6-12 ปี (Thai Recommended Daily Intakes – Thai RDI) ที่กำหนดไว้ว่าควรได้รับเหล็ก 10 mg/วัน (กรมอนามัย, 2546) คำนวณได้ว่าเท่ากับการบริโภค

ผลิตภัณฑ์สาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งที่ผ่านการออสโมซิสปริมาณ 0.15 g หรือ 7.5 ชิ้น/วัน (ผลิตภัณฑ์สาหร่ายอบแห้ง 1 ชิ้น น้ำหนักประมาณ 0.02 g)

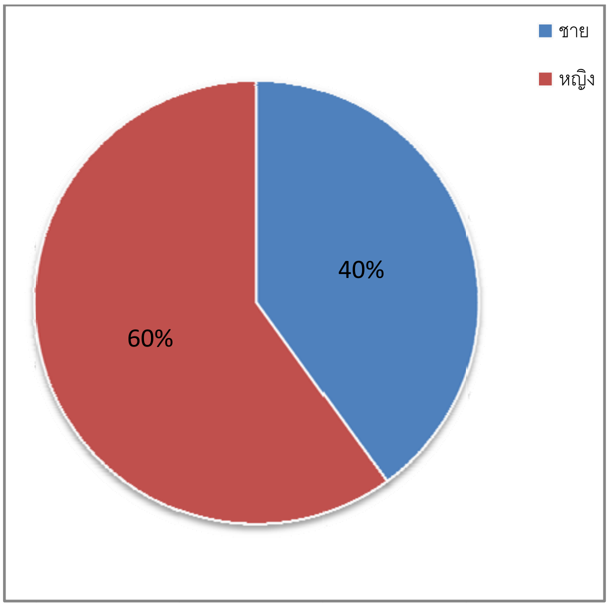
ตอนที่ 5 ผลการปรับปรุงกลิ่นรสของสาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้ง

จากการอภิปรายกลุ่ม (focus group discussion) โดยใช้เด็กวัยเรียนร่วมสนทนาจำนวน 3 กลุ่ม กลุ่มละ 10 คน เพื่อสอบถามความต้องการด้านปรับปรุงกลิ่นรสของสาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งต้นแบบที่ได้จากตอนที่ 4 จากข้อจำกัดด้านกลิ่นรสเฉพาะของเหล็กดังกล่าวจึงอาจทำให้ผู้ทดสอบไม่คุ้นเคยกับกลิ่นรสผลิตภัณฑ์ ผลการศึกษาการอภิปรายกลุ่ม จากผู้ร่วมอภิปรายซึ่งเป็นผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมาย คือ เด็กวัยเรียน จำนวน 30 คน โดยผู้ร่วมอภิปรายมีอายุระหว่าง 6-12 ปี พบว่า ผู้ร่วมอภิปรายให้ความสนใจในการบริโภคผลิตภัณฑ์อาหารว่างจากสาหร่าย โดยส่วนใหญ่มีแนวโน้มการรับประทานอาหารว่างจากสาหร่ายประมาณ 2-3 ครั้งต่อสัปดาห์ โดยชอบอาหารว่างจากสาหร่ายในรูปแบบสาหร่ายแผ่นอบกรอบหรือทอดกรอบมากที่สุด ทั้งนี้เมื่อสอบถามถึงแนวทางการปรับปรุงผลิตภัณฑ์สาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้ง ผู้ร่วมอภิปรายต้องการให้มีการปรุงกลิ่นรสเพิ่มเติมโดยการโรยด้วยผงปรุงรส พบว่า ผู้อภิปรายให้แนวทางในการปรับปรุงกลิ่นรสจำนวน 4 กลิ่นรส ได้แก่ 1) กลิ่นรสปลา 2) กลิ่นรสกุ้ง 3) กลิ่นรสบาร์บีคิว และ 4) กลิ่นรสชีส รายละเอียดผลจากการอภิปรายกลุ่มแสดงดังภาพที่ 4-7 ถึง 4-11

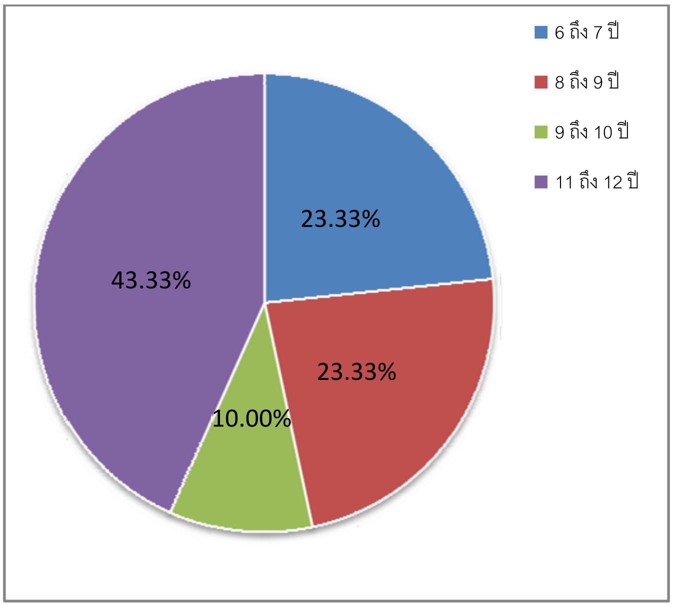
จากแนวความคิดผลิตภัณฑ์ที่กำหนดไว้คือ การปรับปรุงกลิ่นรสผลิตภัณฑ์สาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งโดยหลีกเลี่ยงการใช้ผงปรุงรสสังเคราะห์ จึงเลือกที่จะปรับปรุงรสชาติผลิตภัณฑ์จำนวน 2 กลิ่นรส ได้แก่ กลิ่นรสปลาและกลิ่นรสกุ้ง จากแนวทางการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ จึงได้ดำเนินการทดลองเบื้องต้นเพื่อปรับปรุงกลิ่นรสสาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งที่ผ่านการออสโมซิสเพื่อให้ได้รับการยอมรับของผู้บริโภคมากขึ้น โดยการโรยด้วยผงปรุงกลิ่นรสปลาและผงปรุงกลิ่นรสกุ้ง เพื่อให้เป็นผลิตภัณฑ์อาหารว่างที่เหมาะสมสำหรับเด็กวัยเรียนจึงหลีกเลี่ยงการใช้ผงปรุงรสสังเคราะห์ ดำเนินการเตรียมผงปรุงกลิ่นรสซึ่งเป็นส่วนผสมของ ปลากะตักผง หรือกุ้งแห้งผง น้ำตาลทรายป่นละเอียด และเกลือไอโอดีน ในอัตราส่วน 60 : 35 : 5 เตรียมตัวอย่างสำหรับทดสอบชิมโดยการฉีดพ่นน้ำมันปาล์มเป็นฝอยลงบนชิ้นสาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งปริมาณเล็กน้อยแล้วโรยด้วยผงปรุงกลิ่นรส คลุกเคล้าให้เข้ากัน แล้วเสนอตัวอย่างสำหรับทดสอบชิมทันที

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยทดสอบความชอบโดยรวมด้วยวิธีการทดสอบแบบรูปหน้ากับผู้ทดสอบเด็กวัยเรียนอายุ 6 – 12 ปี จำนวน 30 คน พบว่า สาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งที่ปรับปรุงกลิ่นรสทั้ง 2 กลิ่นรส ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมมากกว่าสาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งแบบเดิม โดยผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบเฉลี่ยอยู่ในช่วง 3.70-3.95 อยู่ในระดับเฉยๆถึงชอบมาก

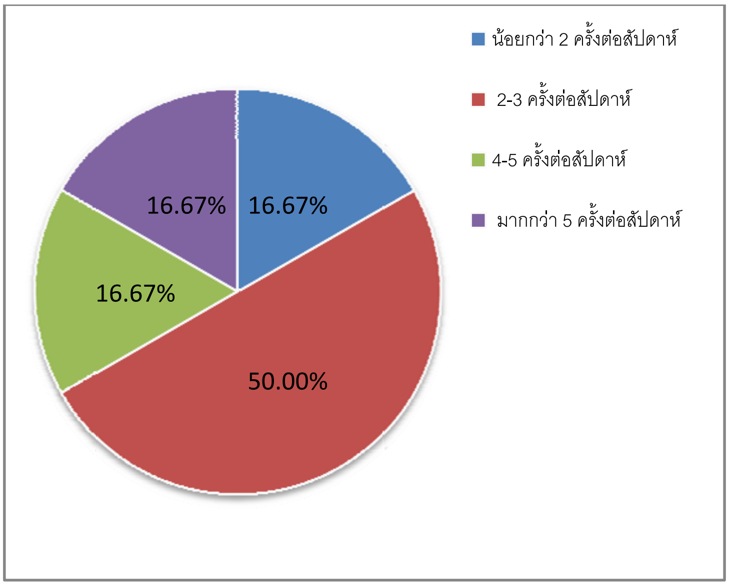
โดยผู้ทดสอบให้ความเห็นว่าการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ใหม่ช่วยกลบกลิ่นรสที่ไม่คุ้นเคยต่างๆได้ มีกลิ่นรสปลาหรือกุ้งที่เข้มข้นขึ้นจึงเป็นที่ยอมรับมากขึ้น รายละเอียดผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-9



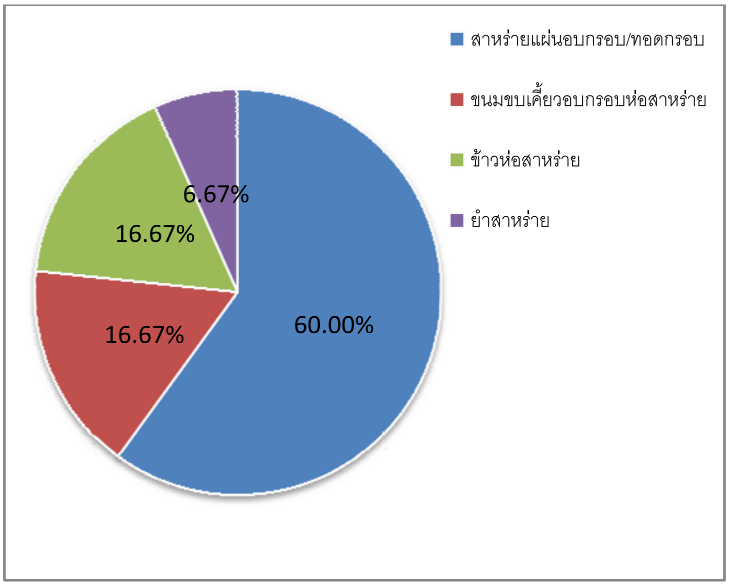
ภาพที่ 4-7 ลักษณะทางประชากรศาสตร์ด้านเพศของผู้ร่วมอภิปราย



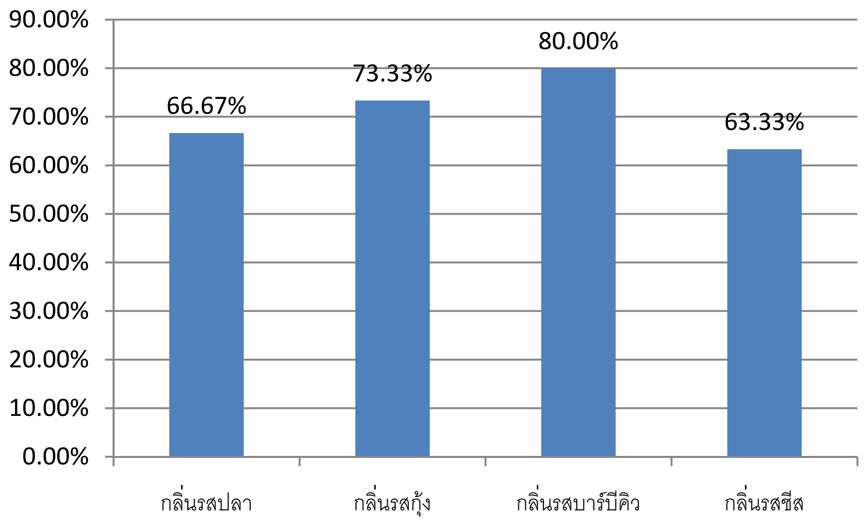
ภาพที่ 4-8 ลักษณะทางประชากรศาสตร์ด้านอายุของผู้ร่วมอภิปราย



ภาพที่ 4-9 ความถี่การบริโภคอาหารว่างจากสาหร่าย



ภาพที่ 4-10 รูปแบบอาหารว่างจากสาหร่ายที่นิยมบริโภค



ภาพที่ 4-11 แนวทางในการปรับปรุงกลิ่นรสผลิตภัณฑ์สาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้ง

ตารางที่ 4-9 ผลการทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัสของสาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งที่ไม่ผ่านและผ่านการปรับปรุงกลิ่นรสปลาและกลิ่นรสกุ้ง

สาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้ง	ความชอบเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				
	ลักษณะปรากฏ	สี ^{ns}	กลิ่นรส	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
ไม่ผ่านการปรับปรุงกลิ่นรส	3.40 ± 0.12^{b}	4.02 ± 0.10	2.49 ± 0.10^{b}	$3.05 \pm .07^{b}$	2.89 ± 0.05^{b}
ปรับปรุงด้วยกลิ่นรสปลา	4.12 ± 0.15^{a}	4.12 ± 0.09^{c}	3.78 ± 0.08^{a}	3.85 ± 0.09^{a}	3.70 ± 0.09^{a}
ปรับปรุงด้วยกลิ่นรสกุ้ง	4.20 ± 0.05^{a}	4.08 ± 0.08	3.85 ± 0.10^{a}	3.78 ± 0.11^{a}	3.95 ± 0.08^{a}

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

* จากคะแนน 1-5 โดย 1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด 3 หมายถึง เฉยๆ และ 5 หมายถึง ชอบมากที่สุด

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง ข้อเสนอแนะ และผลผลิต

5.1) สรุปผลการทดลอง

5.1.1) จากการศึกษาผลของการเตรียมขั้นต้นต่อการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิสสาหร่ายผักกาดทะเล พบว่า การเตรียมขั้นต้นด้วยวิธีการลวกและแช่ในสภาวะสุญญากาศทำให้ตลอดการออสโมซิสสาหร่ายผักกาดทะเลมีค่า WL และ WR สูงที่สุดแต่มีค่า SG ต่ำสุดแตกต่างจากการเตรียมขั้นต้นด้วยวิธีการลวกและการแช่ในสภาวะสุญญากาศอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยสิ่งทดลองที่เหมาะสมที่สุดคือ การเตรียมขั้นต้นด้วยวิธีการลวกและแช่ในสุญญากาศ โดยมีค่า WL SG และ WR เท่ากับ 33% 0.5% และ 33% ตามลำดับ และเวลาในการออสโมซิสที่ทำให้การถ่ายเทมวลสารคงที่ คือ 200 นาที

5.1.2) จากการศึกษาการเสริมธาตุเหล็กในสาหร่ายผักกาดทะเลโดยการออสโมซิส พบว่าการเพิ่มปริมาณเฟอรัสซัลเฟตลงในสารละลายออสโมติกทำให้การถ่ายเทมวลสารเพิ่มขึ้น และเมื่อเติมเฟอรัสซัลเฟตในสารละลายออสโมติก 15% มีค่า WL SG และ WR สูงที่สุดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยมีค่า WL SG และ WR เท่ากับ 52% 11% และ 40% ตามลำดับ โดยมีปริมาณเหล็กในสาหร่ายหลังการออสโมซิสเท่ากับ 11.84g/100g จากการวัดค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายออสโมติก พบว่า เมื่อเติมเฟอรัสซัลเฟต 15% ที่ให้ค่าการนำไฟฟ้าลดลงสูงสุดเท่ากับ 22.74% อย่างไรก็ตามพบว่า สิ่งทดลองดังกล่าว มีกลิ่นรสของเหล็กเข้มมาก และมีสีคล้ำจากการเกาะติดของสารละลายเหล็กที่ชิ้นของสาหร่ายมาก แสดงถึงการมีลักษณะปรากฏไม่ดีไม่น่าเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคที่เป็นเด็กวัยเรียน ดังนั้นสิ่งทดลองที่เหมาะสมที่สุด คือ การเติมเฟอรัสซัลเฟตความเข้มข้นรองลงมา คือ 10% ในสารละลายออสโมติก ทำให้ปริมาณเหล็กในสาหร่ายผักกาดทะเลหลังการออสโมซิส คือ 6.76 g/100g โดยยังคงมีลักษณะปรากฏดี มีกลิ่นรสของเหล็กเล็กน้อยและสีไม่คล้ำมากนัก

5.1.3) การนำสาหร่ายผักกาดทะเลมาออสโมซิสสามารถลดความชื้นเริ่มต้นก่อนการทำแห้งในสภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความดัน 36 cmHg สาหร่ายผักกาดทะเลที่ไม่ผ่านการออสโมซิสใช้เวลาในการอบแห้ง 285 นาที ในขณะที่สาหร่ายที่ผ่านการออสโมซิสใช้เวลา 249

นาที เพื่อให้ได้ความชื้นประมาณ 7% และผลการเปรียบเทียบคุณภาพของสาหร่ายผักกาดทะเลสด สาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งที่ไม่ผ่านและผ่านการออสโมซิส พบว่า สาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งที่ผ่านการออสโมซิสมีปริมาณเหล็ก ไอโอดีน น้ำตาลทั้งหมด และปริมาณโซเดียมมากกว่าสาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิสและสาหร่ายผักกาดทะเลสด แต่มีปริมาณวิตามินซี และค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ น้อยกว่าสาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิสและสาหร่ายผักกาดทะเลสด ในขณะปริมาณแคลเซียมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) สำหรับค่าสี พบว่า สาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งที่ผ่านการออสโมซิสมีค่า ΔE มากกว่าสาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิส

5.1.4) ปรับปรุงกลิ่นรสของสาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้ง โดยปรับปรุงด้วยกลิ่นรสปลาและกลิ่นรสกุ้ง ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสกับเด็กวัยเรียนอายุ 6 – 12 ปี จำนวน 30 คน พบว่า สาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งที่ปรับปรุงกลิ่นรสทั้ง 2 กลิ่นรส ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมมากกว่าสาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งแบบเดิม โดยผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบเฉลี่ยอยู่ในช่วง 3.70-3.95 อยู่ในระดับเฉยๆถึงชอบมาก

5.2) ข้อเสนอแนะ

5.2.1) ศึกษาการเสริมธาตุเหล็กในรูปอื่น เช่น เฟอรัสกลูโคเนต อาจช่วยลดกลิ่นรสเฉพาะของเหล็กทำให้ได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสดีขึ้น

5.2.2) อาจเพิ่มการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์สาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งพัฒนาได้ กับผู้ทดสอบกลุ่มอื่น เช่น กลุ่มวัยรุ่น กลุ่มคนวัยทำงาน เพื่อพิจารณาความเป็นไปได้ในการขยายกลุ่มเป้าหมายที่จะบริโภคผลิตภัณฑ์

5.2.3) ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำวิธีการเตรียมขั้นต้น การเสริมธาตุเหล็ก และการอบแห้งไปใช้กับวัตถุดิบชนิดอื่น เพื่อเพิ่มมูลค่าวัตถุดิบทางการเกษตรอื่น

5.3) ผลผลิต ผลงานส่วนหนึ่งจากการวิจัยนี้ตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารระดับชาติดังนี้

วิชมณี ยืนยงพุทธกาล ดุจเดือน ทิมทอง วรัญญา บางศรี และ สุวรรณา วรสิงห์. (2556). ผลของวิธีการเตรียมขั้นต้นและปริมาณการเสริมธาตุเหล็กกับสาหร่ายผักกาดทะเลในกระบวนการออสโมซิส. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. ปีที่ 21 ฉบับที่ 5 (ฉบับพิเศษ). หน้า 461-473.

บรรณานุกรม

กฤษฎากร บุดดาจันทร์ สวนิต จิรัฏฐิติกาล และ ศิระษา เจ็งสุขสวัสดิ์. (2549). การทำแห้งส้มโอด้วย *วิธีออสโมซิส: โครงงานวิจัยและนวัตกรรมเพื่อการถ่ายทอดเทคโนโลยีชุมชนฐานราก เครือข่ายวิจัยภาคกลางตะวันออก*. ภาควิชาเทคโนโลยีการออกแบบและผลิตเครื่องจักรกลอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีและการจัดการอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ: ปราจีนบุรี.

กรมอนามัย. (2546). *ภาวะโภชนาการอาหารตามวัย.* วันที่สืบค้นข้อมูล 20 ตุลาคม 2555, เข้าถึงได้จาก http://110.164.64.133/nutrition/student.php

กรมอนามัย. (2546). *ปริมาณสารอ้างอิงที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทย.* วันที่สืบค้นข้อมูล 20 ตุลาคม 2555, เข้าถึงได้จาก http://nutrition.anamai.moph.go.th /temp/main/content.php?group=2

กรมอนามัย. (2553). *นโยบายส่งเสริมให้ผลิตผลิตภัณฑ์เสริมไอโอดีนในผลิตภัณฑ์.* วันที่สืบค้นข้อมูล 21 ตุลาคม 2555, เข้าถึงได้จาก www.mcot.net/site/content?id =4ff673270b01dabf3c024c13

กองโภชนาการ กรมอนามัย. (2547). *ภาวะโลหิตจางจากการธาตุเหล็ก.* วันที่สืบค้นข้อมูล 21 ตุลาคม2555, เข้าถึงได้จาก http://nutrition.anamai.moph.go.th /temp/main/service.php

กองโภชนาการ กรมอนามัย. (2552). *สถานการณ์ภาวะโภชนาการ ช่วงแผนพัฒนาฉบับที่ 10 พ.ศ. 2550-2554.* วันที่สืบค้นข้อมูล 20 ตุลาคม 2555, เข้าถึงได้จาก nutrition.anamai.moph.go.th/temp/files/NuSitu%2053.doc

กองโภชนาการ กรมอนามัย. (2542). *สถิติการขาดธาตุเหล็กและเป็นโรคโลหิตจางในปี 2540-2543.* วันที่สืบค้นข้อมูล 21 ตุลาคม 2555, เข้าถึงได้จาก http://nutrition.anamai.moph.go.th/temp/main/service.php

กองโภชนาการ กรมอนามัย. (2555). *ประกาศ ปี'59 เด็กไทยพัฒนาการสมวัย ไอคิวเกิน.* อย. ข่าวเพื่อสื่อมวลชน. สธ. วันที่สืบค้นข้อมูล 21 ตุลาคม 2555, เข้าถึงได้จาก news.mthai.com/politics-news/192238.html

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

จุฑามาศ นิวัฒน์. (2542). *การทำแห้งสับปะรดด้วยวิธีออสโมซิสระบบต่อเนื่อง.* วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชมพู่ ยิ้มโต. (2550). *การถนอมอาหาร.* กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.

ณัฏฐกนต์ อัศวเกษมจิตร และปิยาภรณ์ หนูเสริม. (2551). *การศึกษาความคงตัวของยาเม็ดเสริมธาตุเหล็กในสภาวะการเก็บรักษาต่างๆ.* ภาควิชาเภสัชเคมี คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.

ธงชัย สันติวงษ์. (2535). อ้างถึงใน กาญจนา สุภทนต์. (2538). *การพัฒนาอาหารว่างสำเร็จรูปจากผลไม้ไทยสำหรับเด็กวัยเรียน.* วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต คณะพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์.

นิธิยา รัตนาปนนท์. (2549). *เคมีอาหาร.* (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.

นิรนาม. (2526). *อาหารเลี้ยงลูก.* โครงการหนังสือนานาอาหาร. บริษัท อาเชี่ยน โปรโมชั่น จำกัด, กรุงเทพฯ. 264 น. อ้างถึงใน กาญจนา สุภทนต์. (2538). *การพัฒนาอาหารว่างสำเร็จรูปจากผลไม้ไทยสำหรับเด็กวัยเรียน.* วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ฤทธิไกร งามชุ่ม. (2547). อ้างถึงใน ศิวพร หงส์ทอง และจุติมา สอนดี. (2554). *การพัฒนาผลิตภัณฑ์หนามแดงกึ่งแห้งด้วยวิธีออสโมซิสร่วมกับการอบแห้งในสภาวะสุญญากาศ.* ปัญหาพิเศษ วิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร มหาวิทยาลัยบูรพา.

พิมพ์ใจ มณีพันธ์. (2553). *การพัฒนาผลิตภัณฑ์มะพร้าวกึ่งแห้งด้วยวิธีการดึงน้ำออกแบบออสโมซิสร่วมกับการอบแห้งโดยใช้ความร้อน.* วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร มหาวิทยาลัยบูรพา.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. (2550). วิธีการทาแห้งและเครื่องทำแห้ง. วันที่สืบค้นข้อมูล 21 ตุลาคม 2555, เข้าถึงได้จาก http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0277/dehydration

พีรยา โชติถนอม. (2551). การถ่ายโอนมวลสารระหว่างกระบวนการออสโมติก. *วารสารอาหาร, 38*(2), 105-112.

ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก. (2532). *กรรมวิธีการแปรรูปอาหาร.* กรุงเทพฯ: โอ. เอส. พริ้นติ้ง เฮ้าส์. อ้างถึงใน ศิวพร หงส์ทอง และจุติมา สอนดี. (2554). *การพัฒนาผลิตภัณฑ์หนามแดงกึ่งแห้งด้วยวิธีออสโมซิสร่วมกับการอบแห้งในสภาวะสุญญากาศ.* ปัญหาพิเศษ วิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร มหาวิทยาลัยบูรพา.

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

ประสงค์ เทียนบุญ. (2546). อ้างถึงใน วัฒนา ชาติอภิศักดิ์. (2550). *ความต้องการสารอาหาร.* กรุงเทพฯ: เรือนแก้วการพิมพ์.

รองรัตน์ รัตนาธรรมวัฒน์. (2546). *การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งเผือก.* บัณฑิตวิทยาลัย เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต คณะพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ลักขณา เหล่าไพบูลย์ และคณะ. (2540). ผลของวิธีการทำแห้งต่อปริมาณองค์ประกอบต่างๆในสาหร่ายเกลียวทอง. *วารสารวิจัย ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น.*

ลือชา วนรัตน์. (2536). *ปัญหาโรคโลหิตจางจากการขาดธาตุเหล็ก และโรคคอพอกจากการขาดไอโอดีนในประเทศไทย*, น. 59-102. อ้างถึงใน อารี วัลยะเสรี, ประภาศรี ภูวเสถียร และประไพศรี ศิริจักรวาล (ผู้รวบรวม). อาหารและโภชนาการเพื่อสุขภาพ. การประชุมวิชาการ "โภชนาการ 34". ที. พี. พริ้น, กรุงเทพฯ.

วันวิสา กระแสคุปต์. (2535). *การปรังปรุงคุณภาพของผลไม้อบแห้งด้วยการเคลือบก่อนการทำแห้งแบบออสโมซิส.* วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วิทยา บุรณศิริ. (2555). *100 จุด. แนวหน้า: โลกธุรกิจ/ภูมิภาค*, *33*(11490), 15. วันที่สืบค้นข้อมูล 10 พฤศจิกายน 2555, เข้าถึงได้จาก http://www.naewna.com/local/23321

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

ศิริลักษณ์ สินธวาลัย. (2533). *ทฤษฎีอาหาร เล่ม 2: หลักการถนอมอาหารและการควบคุมคุณภาพอาหาร.* (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: มหาวิยาลัยเกษตรศาสตร์. 263 น.

ศูนย์วิจัยไทยพาณิชย์ จำกัด. (2543). อ้างถึงใน รองรัตน์ รัตนาธรรมวัฒน์. (2546). *การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งเผือก.* บัณฑิตวิทยาลัย เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ .

สำนักงานอาหารและยา. (2552). *คู่มือการตรวจวิเคราะห์เพื่อเฝ้าระวังปริมาณไอโอดีนในเกลือบริโภค***.** อ้างถึงใน AOAC. (1990). Official Method of Analysis (15^{th} ed.). Alington, Viyginia, USA: The Association of ofificail Analysis Chemists**.**

สุปราณี มนูรักษ์ชินากร และคณะ. (2555**).** *โปรตีนในอาหาร เรื่อง การเกิดเจล (gelation).* สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์. วันที่สืบค้นข้อมูล 20 มีนาคม 2556, เข้าถึงได้จาก http://nqf.agro.ku.ac.th/UP/e-courseware/supranee/food-protein/_gelation.html

สุภัทรา พงศ์ภราดร และ อัญชนา ประเทพ. **(**2553). *สาหร่ายลดโลกร้อน.* หน่วยวิจัยสาหร่ายและหญ้าทะเล มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่. วันที่สืบค้นข้อมูล 17 เมษายน 2556, เข้าถึงได้จาก http://www.vcharkarn.com/varticle/41492

สุมาลี ดุลยอนุกิจ. (2548). *ผลของระดับความเข้มข้นต่างๆ ของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในสูตรอาหาร Zarrouk ต่อการเลี้ยงสาหร่ายเกลียวทอง.* วันที่สืบค้นข้อมูล 16 เมษายน 2556, เข้าถึงได้จาก http://web.ku.ac.th/nk40/nk/data/11/spi_wd8.html

สุวรรณา วรสิงห์, ธวัช ศรีวิชัย, อรุณ ศรีอนันต์ และภาคภูมิ วงศ์แข็ง. (2552). *สัณฐานวิทยา การเลี้ยงและการนำมาใช้ประโยชน์ของสาหร่ายผักกาดทะเล Ulva rigida C. Agargh, 1823.* เอกสารวิชาการฉบับที่ 1/2552. ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง จันทบุรี สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง กรมประมง.

สุธีรา เลิศวุฒิกุล. (2540). อ้างถึงใน ศิวพร หงส์ทอง และจุติมา สอนดี. (2554). *การพัฒนาผลิตภัณฑ์หนามแดงกึ่งแห้งด้วยวิธีออสโมซิสร่วมกับการอบแห้งในสภาวะสุญญากาศ.* ปัญหาพิเศษ วิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร มหาวิทยาลัยบูรพา.

อนุสรา แก่นทอง. (2555). *ประโยชน์ของสาหร่ายผักกาดทะเล (Sea Lettuce).* วันที่สืบค้น 1 กันยายน 2555, 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

อิทธิสุนทร นันทกิจ. (2551). ค่าการนำไฟฟ้า อ้างถึงใน การพัฒนาผลิตภัณฑ์มะพร้าวกะทิกึ่งแห้งด้วยการทำแห้งวิธีออสโมซิสร่วมกับการอบแห้งโดยใช้ลมร้อน. ปัญหาพิเศษ วิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร มหาวิทยาลัยบูรพา.

อ่อนรวี รัตนาพันธุ์. (2533). หลักการทำแห้งผลไม้ด้วยวิธีออสโมซิส. *อาหาร*, *20*(4), 240-245.

องค์การอาหารและยา. (2553). *อย. ประกาศ กำหนดข้อความบนฉลากของน้ำปลา น้ำเกลือปรุงอาหาร.* วันที่สืบค้น 1 กันยายน 2555, เข้าถึงได้จาก http://www.oryor.com/1556/index.php?option=com_k2&view=item&layout=item&id=19

อรภรณ์ บัวหลวง. (2550). *การอบแห้งสาหร่ายเกลียวทองในระดับอุตสาหกรรมขนาดเล็ก.* วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

AOAC. (1990). *Official Method of Analysis (15th ed.).* Alington, Viyginia, USA: The Association of ofificail Analysis Chemists.

AOAC 960.29. (1985). *การหาปริมาณโซเดียมโดยวิธี Mohr Method. อ้างถึงใน บทปฏิบัติการวิเคราะห์อาหาร.* ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.

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

Azoubel, P. M., & Murr, F.E.X. (2003). *Optimisation of Osmotic Dehydration of Cashew Apple (Anacardium occidentale L.) in Sugar Solutions*. Department of Food Engineering. 56300-970 Petrolina, PE Brazil.

Aleksandar, J., Julianna, G., Ljubinko, L., & Zoltan, Z. (2007). Osmotic dehydration of sugar beet in combined aqueous solutions of sucrose and sodium chloride. *Journal of Food Engineering, 78*, 47–51.

Barrera, C., Betoret, N., & Fito, P. (2004). Ca^{2+} and Fe^{2+} influence on the osmotic dehydration kinetics of apple slices (var. Granny Smith). *Journal of Food Engineering, 65*, 9–14.

Bogert, L.T., Briggs, G.M. & Calloway, D.H. (1973). *Nutrition and Physical Fitness*. 9th ed., W.B. Saunders Company, New York. 598 p. อ้างถึงใน กาญจนา สุภทนต์. (2538). *การพัฒนาอาหารว่างสำเร็จรูปจากผลไม้ไทยสำหรับเด็กวัยเรียน*. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

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.

Chafer, M., Gonzalez-Martinez, C., Fernandez, B., Perez, L. & Chiralt, A. (2003). Effect of blanching and vacuum pluse application on osmotic dehydration of pear. *Food science and technology/international*, *9*(5), 321-328.

Prom-u-thai, C., Fukai, S., Godwin, I. D., Rerkasen, B., & Huang, L. (2008). Iron-fortified parboiled rice – A novel solution to high iron density in rice-based diets. *Food Chemistry, 110*, 390–398.

Cereal Institute. (1962). *Complete survey of the lowa breakfast studies*, p. 407. Cited by F.J. Stare and M. McWilliams, Living Nutrition.3rd ed., John wiley& sons, Inc., New York. 580 p.

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

Derossi, A., Pilli, T. D., & Severini, C. (2010). Reduction in the pH of vegetables by vacuum impregnation: A study on pepper. *Journal of Food Engineering*, *99*, 9–15.

Derossi, A., Pilli, T. D., Penna, M. P .L. & Severini, C. (2011). pH reduction and vegetable tissue structure changes of zucchini slices during pulsed vacuum acidification. *Journal of Food Science and Technology*. *44*, 1901-1907.

Drummond, K.E. (1989). *Nutrition for the Foodservice Professional*. Van Nostrand Reinhold, New York. 450 p. อ้างถึงใน กาญจนา สุภทนต์. (2538). *การพัฒนาอาหารว่างสำเร็จรูปจากผลไม้ไทยสำหรับเด็กวัยเรียน*. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Erba, M. L., Forni, E., & Colonello, A. (1994). Influence of sugar composition and air dehydration levels on the chemical-physical characteristics of osmodehydrofrozen fruit. *Food Chemistry, 50*, 69-73.

Escobar, M. P., Gomz, F., Wadso, L., Najera, J. R., & Sjoholm, I. (2007). Effect of long-term storage and blanching pre-treatments on the osmotic dehydration kinetics of carrots (Daucus carota L. cv. Nerac). *Journal of Food Engineering*, *81*, 313–317.

Eskin. (1990). อ้างถึงใน ลักขณา เหล่าไพบูลย์ และคณะ. (2540). *ผลของวิธีการทำแห้งต่อปริมาณองค์ประกอบต่างๆในสาหร่ายเกลียวทอง*. ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

Fito et al. (1995). Cradit by Derossi et al. (2010). Reduction in the pH of vegetables by vacuum impregnation: A study on pepper. *Journal of Food Engineering*, 99, 9–15.

Flink. (1975). Processing conditions for improved flavour quality of freeze-dried foods. อ้างถึงใน *การพัฒนาผลิตภัณฑ์มะพร้าวกะทิกึ่งแห้งด้วยการทำแห้งวิธีออสโมซิสร่วมกับการอบแห้งโดยใช้ลมร้อน.* ปัญหาพิเศษ วิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร มหาวิทยาลัยบูรพา.

Guthrie, H.A. (1979). *Introduction Nutrition*. 4th ed., The C.V. Mosby Company, Missouri, U.S.A. 693 p. อ้างถึงใน กาญจนา สุภทนต์. (2538). *การพัฒนาอาหารว่าง*

สำเร็จรูปจากผลไม้ไทยสำหรับเด็กวัยเรียน. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Harris, N., Lazarides, Katsanidis, E., & Nickolaidis. A. (1995). Mass Transfer Kinetics during Osmotic Preconcentration Aiming at Minimal Solid Uptake. *Journal of Food Engineering, 25* (1995), 151-166.

Hu. (1999). Study on rough rice fissuring during inyermittent drying. *Drying technology An international Journal, 17*, 1779-1793.

Haro-Vicente, J.F., Martinez-Gracia, C., & Ros, G. (2006). Optimisation of in vitro measurement of available iron from different fortificants in citric fruit juices. *Food Chemistry, 98*, 639–648.

Kowalska, H., Lenart, A., & Leszczyk, D. (2008). The effect of blanching and freezing on osmotic dehydration of pumpkin. *Journal of Food Engineering*, *86*, 30–38.

Lajallo & Lanfer. (1982). อ้างถึงใน ลักขณา เหล่าไพบูลย์ และคณะ. (2540). ผลของวิธีการทำแห้งต่อปริมาณองค์ประกอบต่างๆในสาหร่ายเกลียวทอง. *วารสารวิจัย*. ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

Lane & Enyon. (1849). *Determination of reducing sugar by Lane-Enyon method*. Retrieved November, 20, 2012, from e-book.ram.edu/ee-book/f/ft332-13-20.pdf

Le Marguer, M. (1988). Osmotic dehydration: review and future directions. *Proceedings of the Symposium in Food Preservation Process. Brussels*, 283-309.

Lerici, C. R., Pinnavaia, G., Rosa, M. D., & Bartolucci, L. (1985). Osmosis dehydration of fruit: influence of osmotic agents on drying behavior and product quality. *Journal of food science*, *50*, 1217-1219.

Manivannan, P., & Rajasimman, M. (2009). Optimization of Osmotic Dehydration of Radish in Sugar Solution. *Food Science Technology Department of*

Chemical Engineering, Annamalai University. Annamalai Nagar-608002, Tamil Nadu, India. 15 (6), 575 – 586.

Marani, C.M., Agnelli, M.E., & Mascheroni, R.H. (2007). อ้างถึงใน Wichamanee Yuenyongputtakal. (2556). *Factors influencing on dewatering by osmotic dehydration of fruits and vegetables.* Department of Food Science, Faculty of Science, Burapha University

Munro, N. (1957). How do snack affect total caloric intake of preschool childen. *J. Amer. Diet. Assoc. 33*, 601. อ้างถึงใน กาญจนา สุภทนต์. (2538). การพัฒนาอาหารว่างสำเร็จรูปจากผลไม้ไทยสำหรับเด็กวัยเรียน. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

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

Reilly & Man. (1989). อ้างถึงใน รองรัตน์ รัตนาธรรมวัฒน์. (2546). *การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งเผือก.* บัณฑิตวิทยาลัย เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ .

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

Rózek, A., Achaerandio, I., Guell, C., Lopez, F., & Ferrando, M. (2009). Grape phenolic impregnation by osmotic treatment: influence of osmotic agent on mass transfer and product characteristics. *Journal of Food Engineering, 94*(1), 59–68.

Rozek, A., Garcia-Perez, J. V., Lopez, F., Guell, C., & Ferrando, M. (2010). Infusion of grape phenolics into fruits and vegetable by osmotic treatment: Phenolic stability during air drying. *Journal of Food Engineering*.

Sankat, C.K., Castaigne, F. & Maharaj, R. (1996). อ้างถึงใน Wichamanee Yuenyongputtakal. (2556). *Factors influencing on dewatering by osmotic dehydration of fruits and vegetables*. Department of Food Science, Faculty of Science, Burapha University.

Saencom, S., Chiewchan, N., & Devahastin, S. (2011). Production of dried ivy gourd sheet as a health snack. *food and bioproducts processing*, *89*, 414–421.

Sacchetti & Dalla. (2001). Sucrse-salt combined effect on mass transfer kinetics and product acceptability: Study on apple osmosis treatment. *Journal of Food Engineering*, 49, 163–173.

Sereno, Moreira & Martinez. (2001). Mass transfer coefficients during osmotic dehydration of apple in single and combined aqueous solutions of sugar and salt. *Journal of Food Engineering*, *47*, 43-49.

Sinthavalai, S. (1984). *Thai Snack Food : basic Information for product development factory of agro-industry*. Kasetsart University, Bangkok. 90 p.

Stare,F.J., & M. McWilliams. (1981). *Living Nutrition*. 3rd ed., John wiley& sons, Inc., Cannada. 580 p.

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

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

Wei, Y., Shohaq, M. J., Ying, F., Yang, X., Wu, C., & Wamg, Y. (2013). Effect of ferrous sulfate fortification in germinated brown rice on seed iron concentration and bioavailability. *Food Chemistry, 138*, 1952–1958.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

ก-1 ปริมาณความชื้น (AOAC, 1990)

1. **อุปกรณ์**
   1) ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) (Memmert, ULE 560, Germany)
   2) โถดูดความชื้น (Desicator)
   3) ภาชนะอลูมิเนียมสำหรับหาความชื้น (Sartorius, AC211S, Germany)
   4) เครื่องชั่งไฟฟ้าละเอียด 4 ตำแหน่ง (Sartorius)
2. **วิธีวิเคราะห์**
   1) อบภาชนะอลูมิเนียมสำหรับหาความชื้นในตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วนำออกจากตู้อบ ทิ้งให้เย็นจนภาชนะของอุณหภูมิลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้องในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนัก (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง)
   2) นำภาชนะอลูมิเนียมไปอบซ้ำ ชั่งหาน้ำหนักที่แน่นอน (แตกต่างไม่เกิน 0.05 กรัม)
   3) ชั่งตัวอย่างอาหารที่ต้องการหาความชื้นให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 5 กรัม บันทึกของน้ำหนักของตัวอย่างอาหารที่ชั่งได้ ใส่ตัวอย่างอาหารลงในภาชนะอลูมิเนียมจนได้น้ำหนักที่คงที่ แล้วนำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 5-6 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบ ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักของภาชนะพร้อมตัวอย่าง จากนั้นนำไปอบซ้ำในตู้อบลมร้อนจนได้น้ำหนักคงที่ โดยผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งไม่เกิน 0.05 กรัม
3. **การคำนวณ**

$$\text{ปริมาณความชื้น (ฐานเปียก)} = \frac{\text{(น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ-น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ) (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)}}$$

ก-2 ปริมาณเหล็ก (ดัดแปลงจาก AOAC, 1990)

สารเคมี

1) $KMnO_4$ 0.1 N
2) 6M HCl
3) $MnSO_4 \bullet 4H_2O$
4) 2.0 F H_2SO_4
5) H_3PO_4
6) $Sncl_2 \bullet 2H_2O$
7) $HgCl_2$
8) HCl
9) $Na_2C_2O_4$

การเตรียมสารเคมี

สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเข้มข้น 0.1 N

1) ชั่ง $KMnO_4$ ประมาณ 1.6 กรัม ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง
2) ถ่าย $KMnO_4$ ลงในบีกเกอร์ขนาด 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร เติมน้ำกลั่นประมาณ 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร
3) ใช้กระจกนาฬิกาปิดฝาบีกเกอร์ไว้ ต้มสารละลายจนเดือดเบาๆ เป็นเวลา 15–30 นาที ทิ้งสารละลายไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
4) กรองสารละลายผ่านกรวยกรองที่มีใยแก้วหรือสำลีอุดไว้ที่ก้านกรวย หรือจะ กรองผ่านเบ้ากูช (Cooch) ก็ได้
5) เก็บสารละลายที่กรองได้ไว้ในขวดสีชา แล้วเก็บไว้ในที่มืด

สารละลายปฐมภูมิโซเดียมออกซาเลต

1) นำโซเดียมออกซาเลตชนิด A.R. grade มาอบที่อุณหภูมิ 105–110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วทำให้เย็นในโถดูดความชื้น
2) นำไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งละเอียดให้ได้น้ำหนักประมาณ 0.6700 กรัม
3) นำโซเดียมออกซาเลตที่ชั่งได้มาละลายในน้ำกลั่นที่บริสุทธิ์ ปรับปริมาตรเป็น 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยใช้ขวดวัดปริมาตร
4) คำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมออกซาเลตที่เตรียมได้จากน้ำหนักที่ชั่งได้

สารละลาย $SnCl_2$

ชั่ง $Sncl_2 \bullet 2H_2O$ มา 30 กรัม ละลายในกรดเข้มข้น 100 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร

สารละลายซิมเมอร์มาน เรนฮาร์ด

ชั่ง $MnSO_4 \bullet H_2O$ มา 50 กรัม ละลายในน้ำ 250 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลายผสม (H_2SO_4 เข้มข้น 100 มิลลิลิตร กับน้ำ 300 มิลลิลิตร และ H_3PO_4 เข้มข้น 100 มิลลิลิตร)

การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย $KMnO_4$ โดยการไทเทรตกับ $Na_2C_2O_4$

1) ปิเปตสารละลาย $Na_2C_2O_4$ มา 25.0 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใส่ลงในขวดรูปพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติม 2.0 F H_2SO_4 75 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
2) ไทเทรตสารละลายด้วย $KMnO_4$ พร้อมทั้งเขย่าไปด้วยจนสารละลายมีสีชมพูอ่อน เมื่อวางทิ้งไว้สีชมพูจะจางหายไปนำสารละลายไปอุ่นให้มีอุณหภูมิประมาณ 50–60 องศาเซลเซียส
3) นำมาไทเทรตกับ $KMnO_4$ จนกระทั่งเกิดสีชมพูขึ้นอีก และไม่จางหายไปภายใน 30 วินาที
4) ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง ให้คำนวณหาความเข้มข้นของสารละลาย $KMnO_4$ เป็นนอร์มอล

การเตรียมตัวอย่าง

1) ชั่งน้ำหนักตัวอย่างให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 10 กรัม อบตัวอย่างที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2-3 ชั่วโมง ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น ใส่ในครูซิเบิ้ล
2) เผาตัวอย่างเพื่อไล่ควันในตู้ดูดควัน จนกระทั่งไม่มีควันสีดำ แล้วนำตัวอย่างไปเผาต่อในเตาเผาจนกระทั่งได้เถ้าสีขาว
3) ละลายเถ้าด้วยกรด HCL เข้มข้น 100 มิลลิลิตร แล้วต้มจนสารละลายมีสีเหลือง
4) กรองสารละลายผ่านกระดาษกรอง

การหาปริมาณของเหล็กโดยไทเทรตกับเปอร์แมงการ์เนต

1) ปิเปตตัวอย่างสารละลายที่เตรียมไว้มา 25 มิลลิลิตรจากน้ำหนัก 10 กรัม อุ่นที่อุณหภูมิ 70–90 องศาเซลเซียส เติม สารละลาย $SnCl_2$ เข้มข้นทีละหยดจากปิเปตหรือบิวเรต พร้อมกับคนสารละลายให้เข้ากันด้วย จนกระทั่งสีเหลืองจางลงจนเกือบจะหายไป
2) ทำการรีดิวซ์ต่อให้สมบูรณ์ โดยใช้สารละลาย $SnCl_2$ ที่เจือจาง (เตรียมโดยใช้ $SnCl_2$ เข้มข้น 1 ส่วน เติม 6 M HCl 2 ส่วน) เติมต่อไปอีกทีละหยด จนกระทั่งสารละลายเป็นสีเขียวอ่อนมากๆ จนถึงใสไม่มีสี (สารละลายจะต้องปราศจากสีเหลืองของ Fe^{3+})
3) เมื่อรีดิวซ์เสร็จแล้วทำให้สารละลายเย็นลงที่ 20 องศาเซลเซียส ทันทีโดยไม่ให้สัมผัสกับอากาศ
4) เติมสารละลาย $HgCl_2$ ที่อิ่มตัว (ประมาณ 5%) 10 มิลลิลิตร อย่างรวดเร็วพร้อมกับคนสารละลาย จะปรากฏตะกอนสีขาวของ Hg_2Cl_2 ที่อิ่มตัว
5) ตั้งทิ้งไว้ 5 นาที ถ่ายสารละลายทั้งหมดลงในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร เติมน้ำ 400 มิลลิลิตร เติมสารละลายซิมเมอร์มาน เรนฮาร์ด 25 มิลลิลิตร คนสารละลายอย่างช้าๆ แล้วนำไปไทเทรตกับสารละลายมาตรฐาน $KMnO_4$ จนถึงจุดยุติเป็นสีชมพู โดยทที่สีชมพูที่จุดยุติจะไม่ปรากฏอย่างถาวร แต่สีชมพูควรปรากฏขึ้นนานประมาณ 15 วินาที
6) คำนวณหาปริมาณเหล็ก

ก-3 ปริมาณไอโอดีน (ดัดแปลงจาก AOAC, 1990)

1. อุปกรณ์

1) เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง
2) กระบอกตวงขนาด 50 หรือ 100 ml
3) ปิเปตขนาด 1, 2, 5 และ 10 ml
4) ลูกยางและจุกยาง
5) ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 ml
6) บิวเรต ขนาด 50 หรือ 100 ml
7) บีกเกอร์
8) ขวดสีชา ขนาด 250, 500 และ1,000 ml

2. สารเคมี

1) กรดซัลฟูริกความเข้มข้น 2 N (Sulfuric acid)

2) 10 % โพแทสเซียมไอโอไดด์ (Potassium iodide)

3) 0.005 M โซเดียมไธโอซัลเฟต (Sodium thiosulfate)

4) น้ำแป้ง (Starch indicator solution)

5) น้ำกลั่น

3. ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง

1) ชั่งตัวอย่างบดละเอียด 10 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 ml

2) ละลายตัวอย่างเกลือด้วยน้ำกลั่น 50 ml

3) เติมสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 2 N จำนวน 1 ml

4) เติม 10% KI จำนวน 5 ml ถ้ามีไอโอดีน สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองปิดปากขวดและนำไปเก็บในที่มืด 10 นาที

4. การเตรียม 2 N Sulfuric acid

1) ปิเปต H_2SO_4 เข้มข้น 6 ml

2) ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 ml ที่มีน้ำกลั่นบรรจุอยู่ 90 ml

3) ปรับปริมาตรให้ได้ตามที่กำหนด

4) เขย่าให้เข้ากัน แล้วเก็บในขวดสีชา ที่อุณหภูมิห้อง

หมายเหตุ ใช้ตัวอย่างละ 1 ml ในการไทเทรท

5. การเตรียม 10%Potassium iodide

1) ชั่ง KI 100 g

2) ละลายด้วยน้ำกลั่น

3) ปรับปริมาตรในขวดปรับปริมาตรขนาด 1000 ml ให้ได้ตามที่กำหนด

4) เขย่าให้เข้ากัน แล้วเก็บในขวดสีชา เก็บในที่มืดและเย็น (เก็บไว้ใช้ได้นาน 6 เดือน)

หมายเหตุ ใช้ตัวอย่างละ 5 ml ในการไทเทรท

6. **การเตรียม Starch indicator solution (น้ำแป้ง)**

1) เตรียมสารละลาย NaCl อิ่มตัวประมาณ 500 ml (โดยใส่น้ำกลั่นในบีกเกอร์ขนาด 1,000 dml ประมาณ 500 ml นำไปให้ความร้อน เติม NaCl พร้อมทั้งคนจน NaCl อิ่มตัว คือ *NaCl ไม่ละลาย*)

2) ชั่ง soluble starch 5 g เติมน้ำกลั่น 50 ml ให้ความร้อนจนแป้งละลายหมด คือ มีลักษณะข้นใส

3) เทใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 500 ml ปรับปริมาตรให้ได้ตามที่กำหนด โดยใช้สารละลาย NaCl อิ่มตัวที่เตรียมไว้เป็นตัวปรับปริมาตร

4) เขย่าให้เข้ากัน แล้วเก็บในขวดสีชา เก็บในที่มืดและเย็น (เก็บไว้ใช้ได้นาน 1 เดือน)

หมายเหตุ ใช้ตัวอย่างละ 2 ml ในการไทเทรท

7. การเตรียม 0.005 M Sodium thiosulfate

1) ชั่ง $Na_2S_2O_3 – 5H_2O$ 1.24 g

2) ละลายด้วยน้ำที่ไม่มี CO_2 (น้ำกลั่นต้มทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิ ห้อง)

3) ปรับปริมาตรในขวดปรับปริมาตรขนาด 1000 ml ให้ได้ตามที่กำหนด

4) เขย่าให้เข้ากัน แล้วเก็บในขวดสีชา เก็บในที่มืดและเย็น (เก็บไว้ใช้ได้นาน 1 เดือน) และก่อนนำไปใช้ควรทำการ standardization

8. การ standardization Sodium thiosulfate

1) อบ $K_2Cr_2O_7$ ที่อุณหภูมิ 100 °C นาน 2 ชม. ทิ้งให้เย็นใน desiccators

2) ชั่ง $K_2Cr_2O_7$ 0.01 - 0.0115 g ใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 ml (บันทึกน้ำหนัก)

3) เติมน้ำที่ไม่มี CO_2 (น้ำกลั่นต้มทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง) 10 ml

4) เติม KI 0.1 g เขย่าให้เข้ากัน

5) ปิเปต 1 N HCl 5 ml เติมลงไป

6) ปิดปากขวดเขย่าให้เข้ากันและนำไปเก็บในที่มืด 10 นาที

7) เตรียมบิวเรต โดยเติมโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ต้องการหาความเข้มข้นที่แน่นอนลงในบิวเรต

8) เอาขวดออกจากที่มืด หยดน้ำแป้ง 2-3 หยด สารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน

9) นำมาไทเทรตกับโซเดียมไธโอซัลเฟตในบิวเรตที่เตรียมไว้โดยสารละลายจะเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นไม่มีสี

10) บันทึกปริมาตรของไธโอซัลเฟตที่ใช้ไปในการไทเทรต แล้วนำไปคำนวณหาความเข้มข้น

การคำนวณหาความเข้มข้นของ Sodium thiosulfate จากการ standardization

Sodium thiosulfate (mol/L) = g of $K_2Cr_2O_7$ ×1000ml of $Na_2S_2O_3$ × 49.032

9. การหาปริมาณไอโอดีนโดยการไทเทรต

1) เตรียมบิวเรต โดยเติม 0.005 M โซเดียมไธโอซัลเฟตลงในบิวเรต ปรับปริมาตรและไล่ฟองอากาศ

2) นำตัวอย่างออกจากที่มืด นำมาไทเทรตกับ 0.005 M โซเดียมไธโอซัลเฟต จนกระทั่งสารละลายมีสีเหลืองอ่อน

3) เติมสารละลายแป้ง จำนวน 2 ml (สารละลายจะมีสีน้ำเงินเข้ม) แล้วไทเทรตต่อไปจนกระทั่ง

สารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพู และจางหายไปในที่สุด

4) บันทึกปริมาตรของไธโอซัลเฟตที่ใช้ไปในการไทเทรต แล้วนำไปคำนวณหาปริมาณไอโอดีน

การคำนวณ

Iodine (mg/kg) = 105.8 × V × M 0.005 × W

เมื่อ : V = Volume of sodium thiosulfate (ml)

M = concentration of sodium thiosulfate (Mol/l)

W = weight of sample (g)

1 ml of 0.005 M sodium thiosulfate = 0.1058 mg iodine

ก-4 ปริมาณแคลเซียม (AOAC, 1990)

อุปกรณ์และสารเคมี

- ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) Memmert รุ่น ULE 560
- เตาเผา (Muffle furnace) Carholite รุ่น RWF 12/23
- เตาไฟฟ้า (Hot plate) รุ่น ECM6
- เครื่องชั่งไฟฟ้าชนิดละเอียด (Checkweigher) Sartorius รุ่น AC 2115-00
- เครื่องวัดพีเอช (pH Meter) รุ่น CG 842
- โถดูดความชื้น (Desiccator)
- ถ้วยครูซิเบิ้ล (Crucible)
- กระดาษกรอง
- โบรโมครีซอลกรีน (Bromocresol green) บริษัท Labchem
- สารละลายโซเดียมอะซิเตต 20 % (Sodium acetate) บริษัท Fluka
- สารละลายกรดออกซาลิก 3 % (Oxalic acid) บริษัท Fluka
- แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (Ammonium hydroxide) บริษัท Labscan Asia
- สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 0.05 นอร์มัล (Potassium permanganate) บริษัท Ajax chemical
- สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 37 % (Hydrochloric acid 37 %) บริษัท Merck
- กรดซัลฟูริก 96 % (Sulfuric 96 %) บริษัท Lab Scan

วิธีการวิเคราะห์

1. อบแห้งตัวอย่างด้วยตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น

2. ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของตัวอย่างประมาณ 10 กรัม ใส่ลงในครูซิเบิ้ลเผาไหม้ตัวอย่างในเตาไฟฟ้าจนไม่มีควันดำเสียก่อน แล้วจึงนำไปเผาต่อในเตาเผาที่อุณหภูมิประมาณ 550 °C จนกระทั่งได้เถ้าสีขาว ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นจนถึงอุณหภูมิห้อง

3. เทเถ้าลงในบีกเกอร์แล้วเติมกรดไฮโดรคลอริก 5 มิลลิลิตร นำไปประเหยให้แห้งบน Steam bath

4. ละลายส่วนที่เหลือโดยเติมกรดไฮโดรคลอริก 2 มิลลิลิตร นำไปให้ความร้อนบน Steam bath นาน 5 นาที

5. เจือจางสารละลายที่ล้างให้ได้เป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น จากนั้นกรองสารละลายผ่านกระดาษกรองชนิด Ashless ลงในบีกเกอร์ขนาด 400 มิลลิลิตร โดยอาจทิ้งสารละลายที่กรองได้ในช่วงแรกไปได้ 15-20 มิลลิลิตร

6. นำสารละลายที่กรองได้มา 50 มิลลิตร ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 400 มิลลิลิตร แล้วเจือจางเป็น 150 มิลลิลิตร

7. เติมโบรโมครีซอลกรีนอินดิเคเตอร์ 7-8 หยด และสารละลายโซเดียมอะซิเตต 20 % เพื่อปรับพีเอชเป็น 4.8-5.0 สารละลายจะมีสีฟ้า จากนั้นปิดด้วยกระจกนาฬิกาแล้วนำไปให้ความร้อนจนเดือด

8. เติมสารละลายกรดออกซาลิก 3 % 1 หยด ทุกๆ 3-5 วินาที ลงในสารละลายเพื่อตกตะกอนแคลเซียม จนกระทั่ง pH เปลี่ยนเป็น 4.4-4.6 ซึ่งเป็นพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนเป็นแคลเซียมออกซาเลต (Calcium oxalate) โดยสารละลายจะมีสีเขียว

9. นำสารละลายไปต้มนาน 1-2 นาที แล้วทิ้งให้ตกตะกอนจนกระทั่งใส 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 °C

12. นำสารละลายที่ได้มาไทเทรตกับสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 0.05 นอร์มัล ที่อุณหภูมิ 70-90 °C จนกระทั่งได้สารละลายสีชมพูอ่อน

ก-5 ปริมาณโซเดียม วิธี Mohr Method (AOAC, 1985)

อุปกรณ์

1) ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 ml
2) Crucible
3) บิวเรต ขนาด 50 ml
4) ปิเปต ขนาด 25 ml
5) ปิเปต ขนาด 1 ml
6) ขวดปรับปริมาตร ขนาด 100 ml
6) ขวดปรับปริมาตร ขนาด 250 ml

สารเคมี

1) โปแตสเซียมโครเมต (K_2CrO_4) เข้มข้น 5%
2) โซเดียมคลอไรด์ (Nacl) มาตรฐาน
3) ซิลเวอร์ไนเตรต ($AgNO_3$) 0.1 M

วิธีของ Mohr เป็นการวิเคราะห์หาปริมาณเกลือในอาหารหลังจากเผาอาหารประมาณ 5 กรัม ในเตาเผาที่อุณหภูมิ 500-550 °C ให้เป็นเถ้า นำเถ้าที่ได้มาละลายด้วยน้ำกลั่น 25 ml ให้ได้ปริมาตรน้อยที่สุด เติมสารละลายโปแตสเซียมโครเมต (K_2CrO_4) เข้มข้น 5% ลงไป 1 ml เพื่อเป็นอินดิเคเตอร์ เขย่าให้เข้ากัน แล้วนำสารละลายที่ได้ไปไทเทรตกับสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตความเข้มข้น 0.1 M จนมีสีส้มปรากฏขึ้น บันทึกปริมาตรของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตที่ใช้ คำนวณหาปริมาณของเกลือในตัวอย่างอาหาร โดย 1 ml ของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตความเข้มข้น 0.1 M ทำปฏิกิริยาสมมูลพอดีกับ Nacl 0.0058 g

ก-6 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด โดยวิธี Lane-Eynon Volumetric method

(Lane-Eynon, 1849)

เครื่องมือ

1. Buret ขนาด 50 ml
2. Erlenmeyer Flask 250 ml
3. Pipet ขนาด 5 10 และ 50 ml
4. Volumetric flask 100 250 และ 1000 ml
5. เตาไฟฟ้า

สารเคมี

1. สารละลาย Fehling reagent ซึ่งประกอบด้วย Fehling’s solution no.1 และ no.2

Fehling's solution no.1 เตรียมโดยละลายคอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$) 69.278 กรัมในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 1 ลิตร โดยใช้ volumetric flask

Fehling's solution no.2 เตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จำนวน 100 กรัม และFโซเดียมโปแตสเซียมดาร์เตรท ($NaKC_4O_6 \cdot 4H_2O$) Rochelle salt 346 กรัมในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 1 ลิตร โดยใช้ volumetric flask

สารละลายทั้งสองนี้ต้องเตรียมแยกกันและเก็บใส่ขวดสีน้ำตาล เมื่อต้องการใช้ให้ผสมสารละลายทั้งสองนี้ด้วยปริมาตรเท่ากันทันทีก่อนใช้

2.สารละลาย 1% Methylene blue ในน้ำกลั่น

3.สารละลาย Zinc ferrocyanide ประกอบด้วยสารละลาย Carrez I & II

สารละลาย Carrez I เตรียมโดยละลาย zinc acitate dehydrate 21.9 กรัมในน้ำกลั่น ที่มีกรดอะซีติก (glacial acetic) 3 ml ปรับปริมาตรให้ครบ 100 มล. ด้วยน้ำกลั่นใน volumetric flask

สารละลาย Carrez II เตรียมโดยละลายโปแตสเฟอร์โรไซยาไนด์ 10.6 กรัมในกลั่น แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 100 ml ใน volumetric flask

การเตรียมตัวอย่าง

ชั่งอาหารตัวอย่างมา 50 g เติมน้ำกลั่นลงไป 100 ml แล้วกรองด้วยกระดาษกรองจะได้เป็นสารละลาย จากนั้นปิเปตสารละลายมา 25 ml ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 250 ml ทำให้ใสโดยใช้สารละลาย zinc ferrocyanide ซึ่งประกอบด้วยสารละลาย Carrez I & II อย่างละ 5 ml เพื่อให้สามารถสังเกตจุดยุติได้ง่ายขณะไตเตรชั่น โดยเติมสารละลาย Carrez I จำนวน 5 ml ลงในตัวอย่าง เขย่าให้เข้ากันแล้วเติมสารละลาย Carrez II ลงไปอีก 5 มล. เขย่าให้เข้ากันอีกครั้งหนึ่งแล้วจึงปรับปริมาตรให้ครบ 250 ml ด้วยน้ำกลั่นใน volumetric flask ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 20 นาที แล้วกรองเก็บสารละลายที่กรองได้ไว้ใช้วิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่งก่อนอินเวอร์ชั่น ซึ่งค่าที่ได้เป็นปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่งทั้งหมดที่มีอยู่ในอาหารตัวอย่างที่ไม่รวมน้ำตาลซูโครส เพราะน้ำตาลซูโครสไม่ใช่น้ำตาลรีดิวซิ่ง

Preliminary titration

สารละลายที่กรองได้ใส่ในบิวเรตขนาด 50 ml ไล่ฟองอากาศออกให้หมด ปิเปตสารละลาย Mixed Fehling reagent มา 10 ml (ใช้อย่างละ 5 ml) ใส่ในฟาสต์ขนาด 250 ml เติมลูกแก้วเล็กๆ ลงไป 8-10 เม็ด เพื่อกันการล้นออกมาของสารละลาย นำไปต้มให้เดือดบนเตาบุนเซ็นจนเดือด แล้วจึงไตเตรทกับสารละลายน้ำตาลตัวอย่างจนสีน้ำเงินจางลง หยดสารละลายเมธิลีนบลูลงไป 1-2 หยด ไตเตรทจนสีฟ้าหายไปหมด เหลือตะกอนสีส้มแดงของคิวปรัสออกไซด์ จดปริมาตรของสารละลายน้ำตาลที่ใช้ ความเข้าข้นที่เหมาสมของสารละลายน้ำตาลต้องสามารถรีดิวซ์สารละลาย Mixed

Fehling reagent 10 ml ได้ด้วยปริมาตรของสารละลายน้ำตาลตัวอย่างอยู่ในช่วง 15-25 ml ต้องทำซ้ำอีก 2 ครั้งเพื่อให้ได้ปริมาตรที่แน่นอน แล้วหาค่าเฉลี่ยของสารลายที่ใช้ หากปริมาตรของสารละลายน้ำตาลที่ใช้ไตเตรทน้อยกว่า 15 ml ควรเจอจางสารละลายน้ำตาลดังกล่าวลงอีกแล้วทำการไตเตรทใหม่ ในทางตรงกันข้ามหากปริมาตรของสารละลายที่ใช้ไตเตรทมากกว่า 50 ml แสดงว่าสารละลายน้ำตาลนั้นเจอจางเกินไป ต้องเตรียมสารละลายน้ำตาลใหม่ ให้มีความเข้มข้นมากขึ้นกว่าเดิม หากสารละลายน้ำตาลมีความเข้มข้นที่เหมาะสมแล้วจะต้องทำการไตเตรชั่นเพื่อให้รู้ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลที่แน่นอนในขั้นตอน Accurate titration

Accurate titration

โดยปิเปตสารละลาย Mixed Fehling reagent มา 10 ml ใส่ในฟาสต์ขนาด 250 ml เติมลูกแก้วลงไป 8-10 เม็ด เติมสารละลายน้ำตาลจากบิวเรตลงไปทันที โดยใช้ปริมาตรน้อยกว่าที่ใช้ในการทำ Preliminary titration ประมาณ 1-2 ml แล้วต้มทันทีบนเตาบุนเซ็นจนเดือด หยดสารละลายเมธิลีนบลูลงไป 1-2 หยด แล้วไตเตรทในอัตราเร็ว 0.25 ml/วินาที พยายามไตเตรทให้เสร็จสิ้นภายในเวลา 3 นาที ตั้งแต่เริ่มเดือดจนสีฟ้าจางหายไปหมดเหลือตะกอนสีส้มแดงของคิวปรัสออกไซด์ จดปริมาตรของสารละลายน้ำตาลที่ใช้ทำซ้ำ 2-3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยปริมาตรของสารละลายน้ำตาลที่ใช้

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลซูโครสด้วยวิธี Lane and Eynon นั้น จะต้องมีการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่งก่อนและหลังอินเวอร์ชั่น โดยที่ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่งก่อนอินเวอร์ชั่น จะเป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่งทั้งหมดที่ไม่รวมซูโครสเนื่องจากซูโครสไม่จัดเป็นน้ำตาลรีดิวซิ่ง ส่วนปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่งหลังอินเวอร์ชั่น จะเป็นค่าบ่งบอกถึงปริมาณน้ำตาลอินเวอร์ท (กลูโคส และฟรุคโตส) และน้ำตาลรีดิวซิ่งทั้งหมดอยู่ในอาหารนั้น ดังนั้นผลต่างของปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่งก่อนและหลังอินเวอร์ชั่น คือ ปริมาณน้ำตาลซูโครส

การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่งก่อนการอินเวอร์ชั่น (D_1)

วิเคราะห์ตามขั้นตอนที่ได้อธิบายไว้ข้างต้น

การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่งก่อนการอินเวอร์ชั่น (D_2)

จากข้อมูลเบื้องต้นในการทดสอบสาหร่ายผักกาดทะเลสด พบว่า สาหร่ายผักกาดทะเลไม่มีองค์ประกอบของน้ำตาลอินเวอร์ชั่น (D_2) จึงไม่ได้ทำการทดลอบหาปริมาณน้ำตาลในขั้นตอนนี้

หมายเหตุ เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่ได้คือ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่ง (Reducing sugar) ก่อนและหลังอินเวอร์ชั่น

ก-7 ปริมาณวิตามินซี (AOAC, 1990)

อุปกรณ์และสารเคมี

- ปิเปต ชนิด Mohr ขนาด 1 มิลลิลิตร
- บิวเรต ขนาด 50 มิลลิลิตร
- ขวดปรับปริมาตร ขนาด 50, 200, 250 และ 500 มิลลิลิตร
- กระบอกตวง ขนาด 10 และ 100 มิลลิลิตร
- ขวดรูปชมพู่ ขนาด 125 มิลลิลิตร
- กระดาษกรอง Whatman No.1
- กรดเมตาฟอสฟอริก (Metaphosphoric acid ; HPO_3)
- กรดอะซิติก (Acetic acid ; CH_3COOH)
- กรดแอสคอร์บิก (L-Ascorbic acid ; $C_6H_8O_6$)
- 2,6-ไดคลอโรอินโดฟีนอล (2,6-Dichloroindophenol ; $O{:}C_6H_2Cl_2{:}N{:}C_6H_4.ONa$)
- โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต (Sodium Hydrogen Carbonate ; $NaHCO_3$)

วิธีการเตรียมสารเคมี

1. สารละลายกรดเมตาฟอสฟอริก-กรดอะซิติก (Metaphosphoric acid - Acetic acid)

ชั่งกรดเมตาฟอสฟอริก (HPO_3) มา 15 กรัม ละลายในกรดอะซิติก 40 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 500 มิลลิลิตร แล้วกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 (ถ้าเก็บรักษาไว้ในตู้เย็น สามารถใช้ได้ภายใน 10 วัน)

2. สารละลายวิตามินซีมาตรฐาน (ความเข้มข้น เท่ากับ 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)

ชั่งกรดแอสคอร์บิก 0.05 กรัม ลงในขวดวัดปริมาตร 50 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยสารละลายกรดเมตาฟอสฟอริก-กรดอะซิติกให้ได้ปริมาตร 50 มิลลิลิตร (ระวังอย่าให้ถูกแสง)

3. สารละลายอินโดฟีนอลมาตรฐาน (Standardardization of dye solution)

ชั่ง 2,6-ไดคลอโรอินโดฟีนอล 0.05 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร ที่มีโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต ($NaHCO_3$) อยู่ 0.042 กรัม จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 200 มิลลิลิตร แล้วกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 (เก็บรักษาไว้ในตู้เย็นใช้ได้ 2-3 สัปดาห์ ระวังอย่าให้ถูกแสง)

วิธีการวิเคราะห์

<u>การปรับมาตรฐานของ Dye solution</u>

1. ปิเปตสารละลายกรดแอสคอร์บิกมาตรฐาน 2.0 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร ซึ่งมีสารละลายกรดเมตาฟอสฟอริก-กรดอะซิติก 5.0 มิลลิลิตร

2. นำไปไทเทรตกับ Dye solution จนกระทั่งถึงจุดยุติ (สีชมพูอ่อน) บันทึกปริมาตรที่ใช้

3. ทำ blank โดยใช้น้ำกลั่นแทนสารละลายกรดแอสคอร์บิกมาตรฐาน จากนั้นคำนวณหา Dye Factor

$$\text{Dye Factor} = \frac{\text{2 mg ascorbic acid}}{\text{(Titre of Dye solution – titre of blank) ml}}$$

<u>การทดสอบตัวอย่าง</u>

1. ชั่งตัวอย่าง 1 กรัม แล้วเติมสารละลายกรดเมตาฟอสฟอริก-กรดอะซิติก 10 มิลลิลิตร จากนั้นกรองสารละลายด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 แล้วปรับปริมาตรด้วยกรดเมตาฟอสฟอริก-กรดอะซิติก ให้ได้ 50 มิลลิลิตร

2. ปิเปตสารละลายตัวอย่างจากข้อ 1. มา 10 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 125 มิลลิลิตร

3. ไทเทรตด้วย Dye solution จนกระทั่งได้สีชมพูอ่อน (จุดยุติ) บันทึกปริมาตรที่ใช้ในการไทเทรต ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

4. ทำ blank โดยใช้สารละลายกรดเมตาฟอสฟอริก-กรดอะซิติก 7 มิลลิลิตร ผสมกับน้ำกลั่น โดยใช้ปริมาตรเท่ากับปริมาตรของ Dye solution ที่ใช้ในการไทเทรต

5. คำนวณปริมาณวิตามินซีจากสมการ

$$\text{Vitamin C (mg/100 g)} = (X-B) \times (F/E) \times (V/Y)$$

กำหนดให้

X = Average ml for sample titration

B = Average ml for sample blank titration

F = Dye Factor

E = Number of ml assayed

V = Volume of initial assay solution

Y = Volume sample aliquot treated

ภาคผนวก ข
การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

ข-1 ค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity) ของสารละลายออสโมติก

การเตรียมตัวอย่าง

การวัดค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity) เป็นการประเมินปริมาณประจุอิสระในสารละลาย สารละลายออสโมติก วัดค่าการนำไฟฟ้าโดยใช้เครื่อง Conductivity ExStik EC400 ทำได้โดยคนสารละลายออสโมติกที่ใช้ในการทดลองก่อนและหลังการออสโมซิสเพื่อกำจัดฟองอากาศ จากนั้นเทสารละลายออสโมติกลงในบีกเกอร์ขนาด 25 มิลลิลิตร ให้มีความสูงอย่างน้อย 2.5 เซนติเมตร (ท่วมหัววัดอิเล็กโทรด)

ขั้นตอนการใช้เครื่อง

1. กดปุ่ม ON
2. กดปุ่ม MODE/HOLD ค้างไว้ เพื่อเปลี่ยนโหมดวัดค่า Conductivity
3. จุ่มหัววัดอิเล็กโทรดให้ท่วมกับสารละลายตัวอย่าง
4. คนสารละลายตัวอย่างช้าๆ ซึ่งยังคงมีหัวอิเล็กโทรดจุ่มอยู่ในสารละลายเพื่อกำจัดฟองอากาศ
5. เมื่อเครื่องบันทึกค่าเสร็จ เครื่องจะมีเสียงเตือน และรายงานค่าการนำไฟฟ้าในหน่วย μS

ข-2 ค่า Water activity (a_w)

วิเคราะห์ค่า Water activity (a_w) ด้วยเครื่อง Novasina รุ่น AWC water activity center ใช้ละลายอิ่มตัวของเกลือโซเดียมคลอไรด์ (ค่า aw = 0.75) เป็นสารละลายมาตรฐาน โดยนำตัวอย่างผลิตภัณฑ์มาแบ่งครึ่งแล้วบรรจุในภาชนะสำหรับวัดค่า a_w บรรจุตัวอย่างประมาณ 2 ใน 3 ของภาชนะ นำไปเข้าเครื่องวัดจนกระทั่งค่าคงที่ อ่านค่า a_w ที่ได้ โดยทำตัวอย่างละ 3 ซ้อ

การใช้เครื่อง NOVASINA วัด หาค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้

<u>วิธี Set-up Calibration</u>

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 จนกระทั่งข้อความบนจอหยุดกระพริบ

6. เครื่องจะทำการ Calibrate จนเสร็จสิ้นกระบวนการ
7. หลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการ Calibrate แล้ว เครื่องจะคืนสู่สภาพปกติ คือพร้อมที่จะวัดและแสดงค่าอุณหภูมิ และ % ERH (a_w = ERH/100) ของตัวอย่าง
8. สำหรับค่าอื่นๆ ให้ทำการ Calibrate ในทำนองเดียวกันกับค่า 98 ดังกล่าวข้างต้น

<u>วิธีการใช้เครื่องเพื่อทำการวัดสารตัวอย่าง</u>

1. หมุนปุ่มสีเหลืองของเครื่อง AWC ในตำแหน่งที่ 2
2. นำตลับพลาสติกมาใส่สารตัวอย่างให้ได้ปริมาตรประมาณ 80-90%
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 ก็จะได้ค่า Water activity (a_w) ตามที่ต้องการ

ข-3 ค่าสี (L* a* และ b*)

วิเคราะห์ค่าสี ด้วยเครื่องวัดสี (Colorimeter) Hunter LAB รุ่น Miniscan XP Plus โดยทำการทดลองตามขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าสี มีดังนี้

วิธีวิเคราะห์

1) ก่อนทำการวัดสีทุกครั้ง ต้องทำการปรับมาตรฐานของเครื่อง (Calibration) โดยการวางหัววัดทาบบนแผ่นสำหรับ Calibrate สีขาวแล้วกดปุ่ม Measure ซึ่งเครื่องวัดสีจะบันทึกข้อมูลค่าสีขาวของแผ่นสำหรับ Calibrate ไว้คือ (x = 81.17, y = 86.12 และ z = 91.78)
2) นำตัวอย่างใส่ภาชนะสำหรับวัดค่าสี โดยใส่ให้เต็มภาชนะไม่ให้มีช่องที่แสงผ่านได้ขณะวัดตัวอย่างให้ใช้แผ่นสีดำปิดตัวอย่าง
3) ทำการวัดสีของตัวอย่างด้วยระบบ Hunter LAB ซึ่งค่าที่ทำการวัดประกอบด้วยค่า L* (Lightness) คือค่าความสว่างของสีเมื่อมีค่าใกล้ 100 แสดงว่า ตัวอย่างมีสีขาว และเมื่อค่าใกล้ 0 แสดงว่า ตัวอย่างมีสีดำ ค่า a* (Redness/Greenness) คือค่าสีแดง/สีเขียว เมื่อมีค่าเป็นบวก แสดงว่าตัวอย่างมีสีแดงและเมื่อมีค่าเป็นลบ แสดงว่าตัวอย่างมีสีเขียว ค่า b* (Yellowness/Blueness) คือ ค่าสีเหลือง/สีน้ำเงิน เมื่อมีค่าเป็นบวกแสดงว่าตัวอย่างสีเหลือง และเมื่อมีค่าเป็นลบ แสดงว่าตัวอย่างสีน้ำเงิน

วัดค่าสีของตัวอย่างเป็นค่า L* a* และ b* และนำมาคำนวณหาค่า ΔE ซึ่งแสดงค่าความแตกต่างของสี โดยใช้สูตร ข้างล่างนี้

สูตร $\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$

โดย $\Delta L = L_1 - L_2$

$\Delta a = a_1 - a_2$

$\Delta b = b_1 - b_2$

ภาคผนวก ค

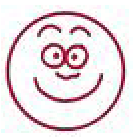
แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

คำแนะนำ : จงวงกลมล้อมรอบตัวเลขตามรูปหน้าแสดงความรู้สึกด้านความชอบที่ท่านมีต่อผลิตภัณฑ์

โดย 1 = ไม่ชอบมากที่สุด 2 = ไม่ชอบมาก

3 = เฉยๆ 4 = ชอบมาก

5 = ชอบมากที่สุด

				
1	2	3	4	5

ข้อเสนอแนะ

....

....

....