

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

ตอนที่ 1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของสาหร่ายผักกาดทะเล

จากการสุ่มตัวอย่างผักกาดทะเลสดมาวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ได้แก่ โปรตีน ไขมัน ไยอาหารทั้งหมด 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 และจากผลการทดลอง สาหร่ายผักกาดทะเลมีองค์ประกอบของไอโอดีน 0.03 กรัม/100กรัม โดยน้ำหนักแห้ง แคลเซียม 0.63 กรัม/100กรัม โดยน้ำหนักแห้ง เหล็ก 0.14 กรัม/100กรัม โดยน้ำหนักแห้ง วิตามินซี 0.15

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

ตอนที่ 2 ผลของการเตรียมขั้นต้นต่อการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิสสาหร่ายผักกาดทะเล

การออสโมซิสอาศัยความแตกต่างของแรงดันออสโมติกระหว่างภายในเซลล์ของชิ้นอาหารกับสารละลายออสโมติก ซึ่งหากสารละลายออสโมติกมีความเข้มข้นสูงกว่าสารละลายภายในเซลล์ของชิ้นอาหาร ส่งผลให้เกิดแรงขับและเกิดการถ่ายเทมวลสาร โดยน้ำภายในชิ้นอาหารจะแพร่ออกมา ในขณะที่ตัวถูกละลายในสารละลายออสโมติกจะแพร่เข้าไปในชิ้นของผักผลไม้เช่นกัน (Escobar et al., 2007) อัตราการถ่ายเทมวลสารที่เกิดขึ้นระหว่างการออสโมซิสเป็นผลสำคัญของกระบวนการออสโมซิส โดยอัตราการถ่ายเทมวลสารจะมีโอกาสเพิ่มมากขึ้นเมื่อเยื่อหุ้มเซลล์ของชิ้นอาหารนั้นถูกทำลายจนยอมให้น้ำหรือตัวถูกละลายสามารถแพร่ผ่านเยื่อเลือกผ่านได้ง่ายขึ้น แต่อย่างไรก็ตามจะต้องไม่ถูกทำลายมากเกินไปจนทำให้อาหารเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะไปจากของสดมาก (ไพบุลย์ ธรรมรัตน์วาลิก, 2539) การเตรียมขั้นต้นก่อนการออสโมซิสเป็นแนวทางหนึ่งที่มีรายงานว่าสามารถช่วยเพิ่มการถ่ายเทมวลสารในระหว่างการออสโมซิสได้ (Dermesontlouoglou et al., 2007; Escobar et al., 2007; Kowalska et al., 2008; Derossi et al., 2010; วรรณรัตน์ 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 น้ำภายในเซลล์น้อยลงและเกิดการสะสมของน้ำที่แพร่ออกมาในสารละลาย ออสโมติก ทำให้สารละลายออสโมซิสเจือจางลงจึงเกิดความแตกต่างของความเข้มข้นของสารละลาย ภายในเซลล์กับสารละลายออสโมติกลดลงจึงเกิดแรงขับในการถ่ายเทมวลสารลดลงเป็นผลทำให้มีค่า WL มีแนวโน้มคงที่ (Flink, 1975; Lerici et al., 1985; Sacchetti & Dalla, 2001; Sereno, Moreira & Martinez, 2001 Aleksandar Jokic et al., 2007)

เมื่อพิจารณาแนวโน้มค่า WL ตลอดการออสโมซิส สามารถเรียงลำดับได้ดังนี้ สำหรับราย ผักกาดทะเลที่เตรียมขึ้นต้นโดยการลวกและแช่ในสภาวะสุญญากาศ มีค่า WL สูงที่สุด (มีค่า WL ในช่วง 14.73-33.72%) รองลงมาคือ สำหรับรายผักกาดทะเลที่เตรียมขึ้นต้นโดยการแช่ในสภาวะ สุญญากาศ (มีค่า WL ในช่วง 11.88-31.11%) สำหรับรายผักกาดทะเลที่เตรียมขึ้นต้นโดยการลวก (มีค่า WL ในช่วง 7.74-20.22%) และสำหรับรายผักกาดทะเลที่ไม่ผ่านการเตรียมขึ้นต้น (มีค่า WL ในช่วง 3.96-13.74%) ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องมาจากการเตรียมขึ้นต้นด้วยการลวกร่วมกับการแช่ในสภาวะ สุญญากาศ เป็นสภาวะที่รุนแรงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่น ซึ่งน่าจะเป็นผลให้โครงสร้างของเซลล์ สำหรับรายถูกทำลายไปมากกว่าวิธีอื่นส่งผลให้เยื่อหุ้มเซลล์ยอมให้น้ำในสำหรับรายแพร่ออกมาได้มากที่สุด ในการลวกทำให้อาหารได้ สัมผัสกับตัวกลางที่ร้อน ความร้อนระหว่างการลวกจึงทำให้โครงสร้างของ เซลล์ฝักอ่อนตัวลง เยื่อหุ้มเซลล์เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพไป โดยสูญเสียคุณสมบัติ การเป็นเยื่อเลือกผ่าน จึงทำให้อัตราการถ่ายเทมวลน้ำออกจากเซลล์เกิดขึ้นได้มากและเร็วขึ้น (Escobar et al., 2007; Kowalska et al., 2008; Saencom et al., 2011; วันวิสาข์ กระแสคุปส์, 2535) ส่วนการใช้สภาวะสุญญากาศทำให้เกิดการถ่ายเทมวลสารดีขึ้นเนื่องจากการใช้สภาวะ สุญญากาศเป็นการลดความดันอากาศลง ทำให้ผนังเซลล์มีลักษณะมีความเป็นรู (Porosity) มากขึ้น อาจกล่าวได้ว่าการลดลงของความดันในสภาวะสุญญากาศทำให้โครงสร้างภายในเซลล์ถูกบีบอัดยุบตัว ลงและอากาศในช่องว่างระหว่างเซลล์อาจถูกดูดออกมาด้วย เมื่อนำมาแช่ต่อที่สภาวะบรรยากาศทำ ให้เนื้อเยื่อเกิดการคลายตัว เป็นผลให้เกิดการถ่ายเทมวลสารมากขึ้น โดยน้ำหรือสารต่างๆที่อยู่ ระหว่างช่องว่างระหว่างเซลล์จะแพร่ออกมาได้ง่ายจากผนังเซลล์ที่มีลักษณะอ่อนนุ่มและมีความเป็นรู มากขึ้น (Fito et al., 1995; Chafer et al., 2003)

จากผลการทดลองพบว่าการเตรียมขึ้นต้นโดยการแช่ในสภาวะสุญญากาศมีผลทำให้ สำหรับรายผักกาดทะเลมีค่า WL มากกว่าการเตรียมขึ้นต้นด้วยการลวก อาจแสดงให้เห็นว่าการใช้ สภาวะสุญญากาศที่ความดัน 200 mbar เป็นเวลา 10 นาที เป็นการเตรียมขึ้นต้นที่รุนแรงกว่า

สามารถทำลายเซลล์ของสาหร่ายจนทำให้เกิดการแพร่ของน้ำออกจากเซลล์ได้มากกว่าการลวกในน้ำเดือดเป็นเวลา 1 นาที ทั้งนี้สอดคล้องกับผลการวิจัยของ พิมพีใจ มณีพันธ์ (2553) ที่พบว่า การเตรียมขั้นต้นโดยการแช่ขึ้นมะพร้าวในสภาวะสุญญากาศที่ความดัน 50 mbar เป็นเวลา 10 นาที ทำให้ปริมาณน้ำที่สูญเสียสูงกว่าการเตรียมขั้นต้นโดยการลวกขึ้นมะพร้าวที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 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 ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นในขึ้นสาหร่ายผักกาดทะเลมีปริมาณเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำที่สูญเสีย เนื่องจากในกลไกการถ่ายเทมวลสารจะเกิดการแพร่ของน้ำจากเซลล์และการแพร่ของของแข็งจากตัวถูกละลายในสารละลายออสโมติกโดยเคลื่อนที่แบบสวนทางกัน 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) มากจึงทำให้แพร่ผ่านเข้าไปในขึ้นสาหร่ายได้น้อยกว่าการแพร่ของน้ำมาก

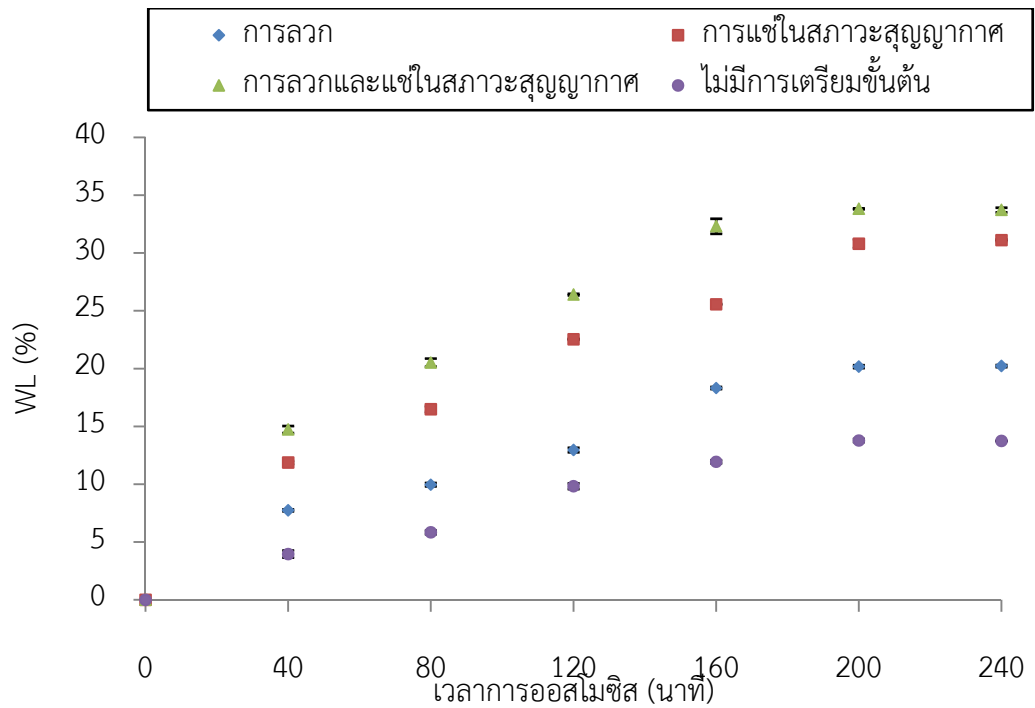
เมื่อพิจารณาแนวโน้มค่า SG ตลอดการออสโมซิส สามารถเรียงลำดับได้ดังนี้ สาหร่ายผักกาดทะเลที่ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้นมีค่า SG สูงที่สุด (มีค่า SG ในช่วง 2.38-5.08%) รองลงมาคือ สาหร่ายผักกาดทะเลที่เตรียมขั้นต้นโดยการลวก (มีค่า SG ในช่วง 0.94-3.78%) สาหร่ายผักกาดทะเลที่เตรียมขั้นต้นโดยการแช่ในสภาวะสุญญากาศ (มีค่า 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 พกเพกติน เกิดการเปลี่ยนรูปไปโดยอาจมีผลให้เกิดโครงสร้าง

ลักษณะคล้ายเจลที่มีลักษณะเป็นตาข่าย (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549: สุวรรณ วรสิงห์ และคณะ, 2552; สุปราณี มนูญ์ชินากร และคณะ, 2555) ทำให้ขีดขวางการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของของแข็งต่างๆเข้าไปในเซลล์และในกรณีการแช่ในสภาวะสุญญากาศซึ่งเป็นการใช้แรงกลในการทำลายเซลล์มีผลทำให้เซลล์ยุบตัวลง และเนื้อเยื่อมีโอกาสเกิดการซ้อนทับกัน เป็นผลทำให้เกิดขวางการแพร่ของของแข็งซึ่งมีมวลโมเลกุลใหญ่กว่าน้ำ การถ่ายเทมวลของแข็งจากสารละลายออสโมติกเข้าไปในเซลล์จึงเกิดได้อย่างจำกัด (Derossi et al, 2011)

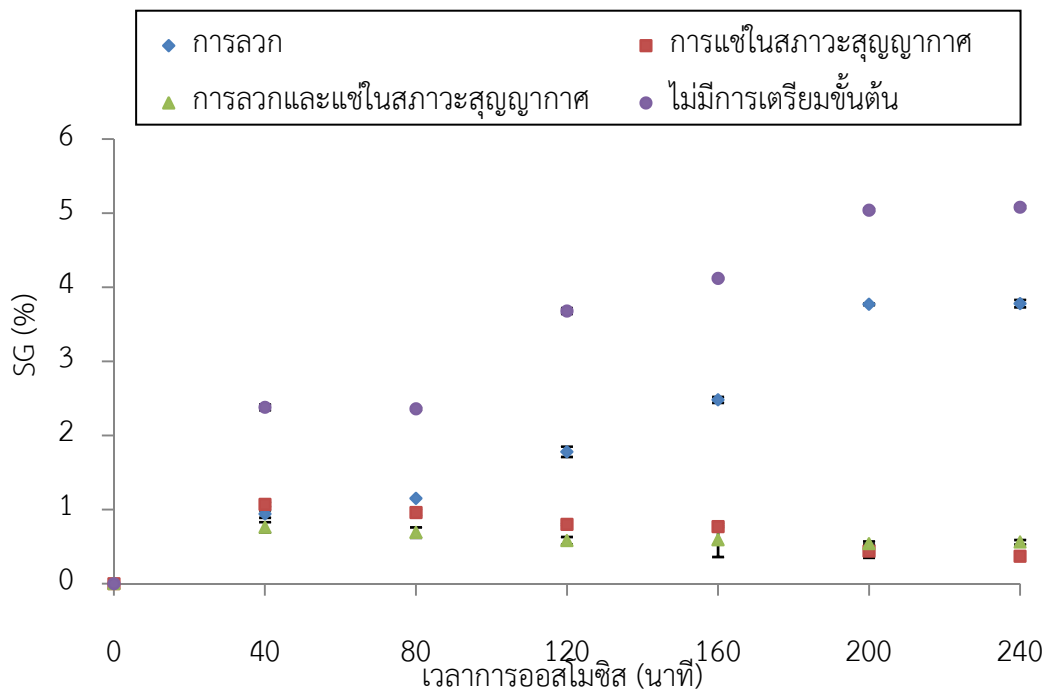
จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การเตรียมชิ้นต้นอาจมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเซลล์ที่ไม่เอื้อต่อการแพร่ของของแข็งเข้าไปในเซลล์ ดังนั้นสำหรับผักกาดทะเลที่ไม่ผ่านการเตรียมชิ้นต้นจึงทำให้ตัวถูกละลายสามารถแพร่เข้าไปในเซลล์ได้มากกว่าจึงมีแนวโน้มค่า SG มากกว่าทุกสิ่งทดลอง

3) ปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (Weight reduction; WR)

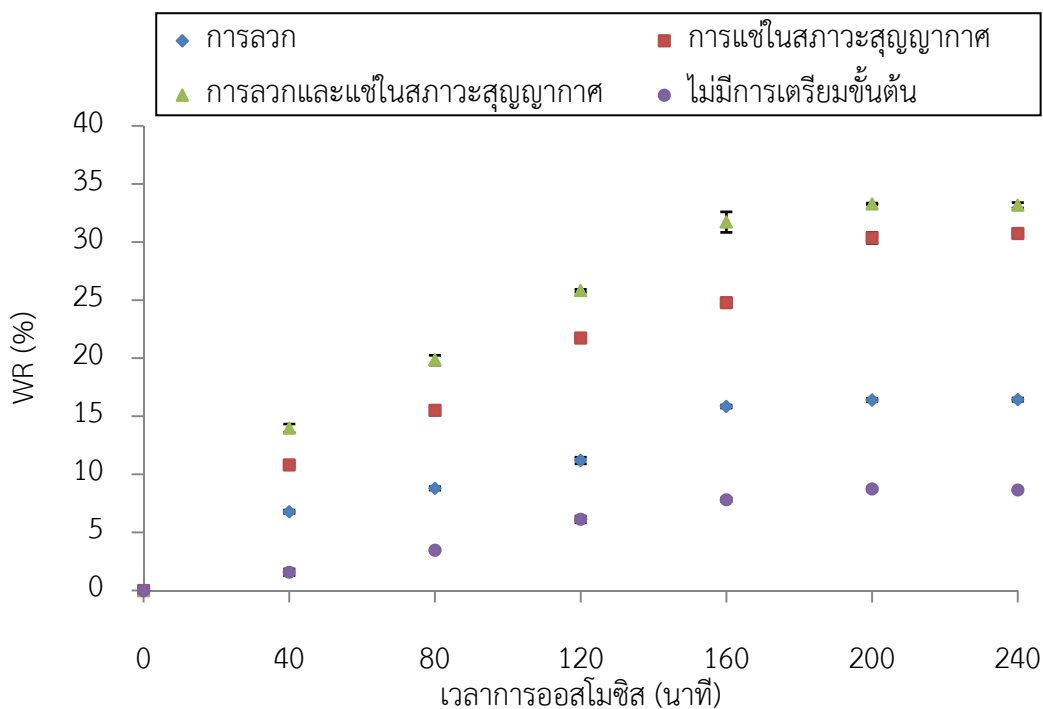
ปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (WR) คือ ปริมาณน้ำหนักสุทธิที่ได้จากกลไกการถ่ายเทมวลสารที่เกิดขึ้นระหว่างการออสโมซิสโดยเป็นผลมาจากปริมาณน้ำที่สูญเสียไปจากชิ้นอาหารกับปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น จากภาพที่ 4-3 พบว่า ค่า WR มีแนวโน้มเช่นเดียวกับค่า WL เนื่องจากค่า SG มีค่าน้อยกว่า WL มาก ดังนั้นน้ำหนักที่ลดลงซึ่งแสดงด้วยค่า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



ภาพที่ 4-1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL, %) กับเวลาการออสโมซิสของสาหร่ายผักกาดทะเลที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นวิธีต่างๆ



ภาพที่ 4-2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG, %) กับเวลาการออสโมซิสของสาหร่ายผักกาดทะเลที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นวิธีต่างๆ



ภาพที่ 4-3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำหนักรที่ลดลง (WR, %) กับเวลาการออสโมซิสของสาหร่ายผักกาดทะเลที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นวิธีต่างๆ

เกณฑ์การตัดสินใจที่กำหนดไว้ คือ เลือกสิ่งทดลองที่ทำให้เกิดการถ่ายเทมวลสารดีที่สุด เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าการถ่ายเทมวลสาร ได้แก่ ปริมาณน้ำที่สูญเสีย ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น และปริมาณน้ำหนักรที่ลดลง 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 ($p \geq 0.05$) 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 ($p \geq 0.05$) โดยมีค่า SG ประมาณ 5.0%

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

Azoubel et al. (2003) และ Manivannan et al. (2009) กล่าวว่า ในการพิจารณาสถานะที่เหมาะสมของการออสโมซิส จากอัตราการถ่ายเทมวลสารด้าน ปริมาณน้ำที่สูญเสีย ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น และปริมาณน้ำหนักลดลง ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของผู้วิจัยเป็นสำคัญ โดยทั่วไปการออสโมซิสมีวัตถุประสงค์หลักคือต้องการลดปริมาณน้ำในวัตถุดิบ ดังนั้น ตัวชี้วัดที่สำคัญของการถ่ายเทมวลสารที่ให้ความสำคัญมากที่สุด คือ ปริมาณน้ำที่สูญเสีย และหากต้องการพิจารณาถึงผลสุทธิของการลดลงของปริมาณน้ำและการเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็ง ตัวชี้วัดที่สำคัญของการถ่ายเทมวลสารที่ให้ความสำคัญมากที่สุดคือ ปริมาณน้ำหนักลดลง นอกจากนี้หากต้องการเพิ่มปริมาณของแข็งในชิ้นอาหาร เช่น ตัวถุกละลายพวกน้ำตาล หรือเกลือ เพื่อช่วยปรับปรุงด้านรสชาติ หรือลดค่า a_w ตัวชี้วัดที่สำคัญของการถ่ายเทมวลสารที่ให้ความสำคัญมากที่สุด คือ ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น สำหรับโครงการวิจัยนี้ต้องการให้เกิดการถ่ายเทมวลสารทุกด้านมากที่สุด ซึ่งผลการทดลองพบว่า ค่า SG ซึ่งแสดงปริมาณการเพิ่มขึ้นของของแข็งมีค่าค่อนข้างต่ำ (ไม่เกิน 5%) จึงเลือกพิจารณาด้วยค่า ปริมาณน้ำที่สูญเสีย และปริมาณน้ำหนักลดลงเป็นสำคัญ ดังนั้นจากผลการทดลองข้างต้น วิธีการเตรียมชิ้นต้นที่เหมาะสมที่สุด คือ การลวกร่วมกับการแช่ในสถานะสุญญากาศ 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
การแช่ในสภาวะ สุญญากาศ	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
การลวกและแช่ในสภาวะ สุญญากาศ	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 ^{bE}	1.15±0.00 ^{bD}	1.78±0.07 ^{bC}	2.48±0.04 ^{bB}	3.77±0.01 ^{bA}	3.78±0.05 ^{bA}
การแช่ในสภาวะสุญญากาศ	1.07±0.03 ^{bA}	0.96±0.04 ^{cB}	0.80±0.01 ^{cC}	0.77±0.01 ^{cC}	0.44±0.09 ^{cD}	0.37±0.00 ^{cD}
การลวกและแช่ในสภาวะสุญญากาศ	0.76±0.07 ^{cA}	0.69±0.07 ^{dA}	0.58±0.05 ^{dA}	0.59±0.23 ^{cA}	0.54±0.03 ^{cA}	0.56±0.03 ^{dA}
ไม่มีการเตรียมขั้นต้น (ควบคุม)	2.38±0.04 ^{aC}	2.36±0.02 ^{aC}	3.68±0.04 ^{aB}	4.12±0.01 ^{aB}	5.04±0.02 ^{aA}	5.08±0.02 ^{aA}

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

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

ตารางที่ 4-3 ปริมาณน้ำหนักรีดที่ลดลง (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
การแช่ในสภาวะ สุญญากาศ	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
การลวกและแช่ในสภาวะ สุญญากาศ	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, %) และปริมาณน้ำหนักรีด (WR, %) ของสาหร่ายผักกาดทะเลหลังการออสโมซิสเป็นเวลา 200 นาที โดยมีการเติมธาตุเหล็กในรูปเฟอร์รัสซัลเฟตในสารละลายออสโมติก พบว่า ปริมาณธาตุเหล็กที่เติมลงในสารละลายออสโมติกมีผลให้ค่า WL SG และ WR แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยพบว่า เมื่อเติมธาตุเหล็กมากขึ้นมีแนวโน้มให้ค่า WL SG และ WR สูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากการเพิ่มธาตุเหล็กเป็นการเพิ่มความเข้มข้นของตัวถูกละลาย จึงเพิ่มแรงขับให้เกิดการถ่ายเทมวลสารได้ดีขึ้น โดยที่ไอออนของเหล็กมีโมเลกุลขนาดเล็กกว่าโมเลกุลของน้ำตาลและเกลือจึงเป็นผลให้สามารถแพร่เข้าไปในชั้นสาหร่ายผักกาดทะเลได้ดีกว่าด้วยกลไกการถ่ายเทมวลสารมากขึ้น และหากมีการเพิ่มปริมาณธาตุเหล็กมากขึ้นยังเป็นการเพิ่มโอกาสในการแพร่ของไอออนของเหล็กเข้าไปได้มากส่งผลให้เกิดการเร่งการสูญเสียน้ำออกนอกเซลล์ (Marani et al., 2007; Sankat, et al., 1996)

ตารางที่ 4-4 ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL, %) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG, %) และปริมาณน้ำหนักรีด (WR, %) ของสาหร่ายผักกาดทะเลหลังการออสโมซิสเมื่อเติมเฟอร์รัสซัลเฟตในสารละลายออสโมติกระดับต่างๆ

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

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

จากตารางที่ 4-5 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเฟอร์รัสซัลเฟตในสารละลายออสโมติกมีผลทำให้ปริมาณเหล็กในสาหร่ายผักกาดทะเลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นแตกต่างกันอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยพบว่า การเติมเพอร์สซัลเฟต 15 % ทำให้สาหร่ายฝักกาดทะเลมีปริมาณเหล็กสูงที่สุดเท่ากับ 11.84 g/100g รองลงมาคือ การเติมเพอร์สซัลเฟต 10 5 และ 0% โดยทำให้สาหร่ายฝักกาดทะเลมีปริมาณเหล็กเท่ากับ 6.76 3.92 และ 0.07 g/100g ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เพอร์สซัลเฟตที่เติมลงไปในการละลายออสโมติก สามารถทำให้สาหร่ายฝักกาดทะเลมีปริมาณเหล็กเพิ่มขึ้นได้โดยปริมาณเหล็กเพิ่มขึ้นเมื่อเติมเพอร์สซัลเฟตมากขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเพิ่มธาตุเหล็กมีผลให้เกิดความแตกต่างของความเข้มข้นของเพอร์สไอออนระหว่างสารละลายออสโมติกกับเนื้อเยื่อของสาหร่าย มีผลให้เกิดแรงขับในการแพร่ของเพอร์สไอออนเข้าไปในเนื้อเยื่อของสาหร่าย ซึ่งเมื่อผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการลวกและแช่ในสภาวะสุญญากาศทำให้เซลล์ของสาหร่ายถูกทำลายไปบ้างโดยเพอร์สไอออนอาจแพร่เข้าไปในชั้นสาหร่ายหรือยึดเกาะบริเวณผนังเซลล์ของสาหร่ายได้ Sankat, et al. (1996) กล่าวว่า ในการออสโมซิสต้องใช้สารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้นสูงกว่าความเข้มข้นภายในชั้นผักผลไม้เพื่อให้เกิดความแตกต่างของแรงดันเกิดเป็นแรงขับให้มีการถ่ายเทมวลสาร ระดับความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกจึงเกี่ยวข้องโดยตรงกับประสิทธิภาพการแพร่ของน้ำและตัวถูกละลาย โดยมีแนวโน้มคือเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกส่งผลให้อัตราการถ่ายเทมวลสารของน้ำและตัวถูกละลายมีค่าเพิ่มขึ้น ในโครงการวิจัยนี้เหล็กคือตัวถูกละลายชนิดหนึ่งที่เติมลงในสารละลายออสโมติกจึงมีโอกาสรูพร่เข้าไปในชั้นสาหร่ายได้มากขึ้นนั่นเอง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Barrera et al. (2003) ได้ศึกษาการเสริมแคลเซียมและเหล็กให้กับโครงสร้างของเนื้อเยื่อชั้นแอปเปิ้ล โดยการเติมแคลเซียมใช้ในรูปแคลเซียมแลคเตท และเติมเหล็กในรูปเพอร์สกลูโคเนตลงในสารละลายออสโมติกที่เตรียมจากน้ำตาลซูโครส 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

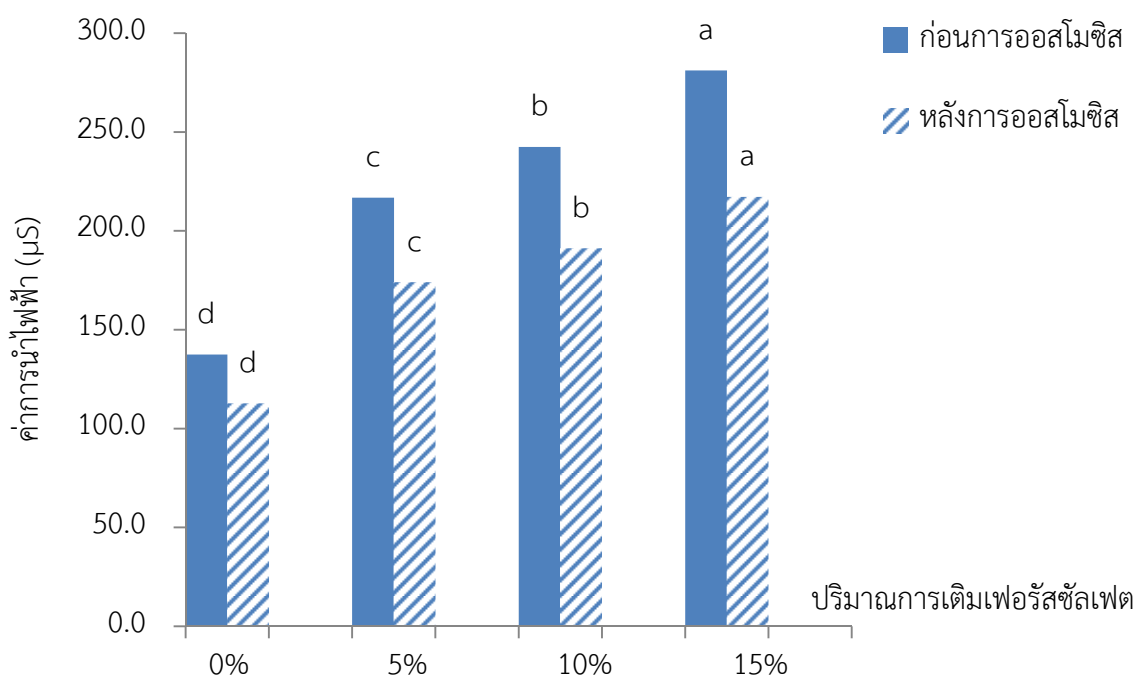
ตารางที่ 4-5 ปริมาณเหล็ก (g/100g) ของสาหร่ายผักกาดทะเลหลังออสโมซิสที่ได้จากการแปร

ปริมาณการเสริมธาตุเหล็ก	
ปริมาณการเติมเฟอร์รัสซัลเฟต (%)	ปริมาณเหล็กเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (g/100g)
0	0.07 \pm 0.05 ^d
5	3.92 \pm 0.06 ^c
10	6.76 \pm 0.59 ^b
15	11.84 \pm 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 ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายออสโมติกมีแนวโน้มมากขึ้นเมื่อเติมเฟอร์รัสซัลเฟตในสารละลายออสโมติกเพิ่มขึ้น โดยมีค่าการนำไฟฟ้าแตกต่างกันระหว่างสิ่งทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และพบว่าจากการออสโมซิสเป็นเวลา 200 นาที ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายออสโมติกมีแนวโน้มลดลง เป็นข้อมูลสนับสนุนที่แสดงให้เห็นว่า ในระหว่างการออสโมซิสสารละลายออสโมติกที่มีการเสริมธาตุเหล็กทุกระดับ สามารถเกิดกลไกการแพร่ของเฟอร์รัสไอออนเข้าไปภายในเนื้อเยื่อของสาหร่ายผักกาดทะเลจึงเป็นผลให้ความเข้มข้นของเฟอร์รัสไอออนลดลง ค่าการนำไฟฟ้าที่เกิดจากประจุของไอออนจึงลดลง โดยผลการทดลองพบว่า สารละลายออสโมติกที่เติมเฟอร์รัสซัลเฟตมากที่สุดคือ 15% มีค่าการนำไฟฟ้าลดลงมากที่สุดคิดเป็น 22.74% (จาก 281.13 μ s เหลือ 217.20 μ s) รองลงมาคือ การเติมเฟอร์รัสซัลเฟต 10 5 และ 0% โดยทำให้สารละลายออสโมติกมีค่าการนำไฟฟ้าลดลงคิดเป็น 21.15 19.70 และ 17.98% ตามลำดับ ซึ่งมีแนวโน้มสอดคล้องกับปริมาณเหล็กที่วิเคราะห์ได้ในสาหร่ายผักกาดทะเล (ตารางที่ 4-6) แสดงให้เห็นว่า การเสริมธาตุเหล็กโดยการเติมลงไปในสารละลายออสโมติกที่ใช้แช่สาหร่าย

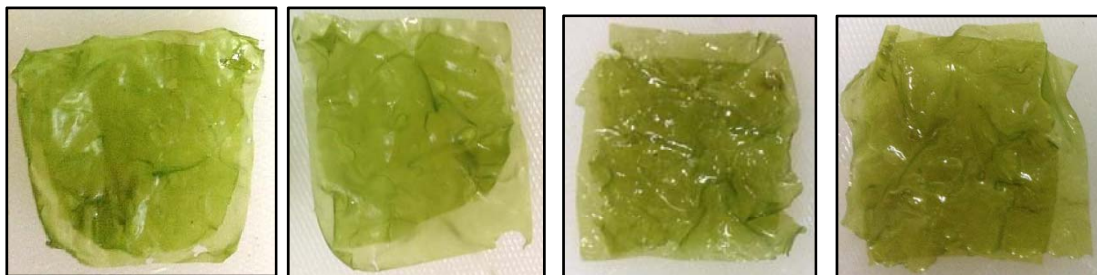
ผักกาดทะเลมีผลให้เกิดการแพร่ของธาตุเหล็กเข้าไปในสาหร่ายผักกาดทะเลได้ โดยหากมีการเติมปริมาณเหล็กเพิ่มขึ้นมีผลให้สาหร่ายผักกาดทะเลมีปริมาณเหล็กมากขึ้นด้วย



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

เกณฑ์การตัดสินที่กำหนดไว้ คือ เลือกสิ่งทดลองที่มีปริมาณเหล็กในสาหร่ายผักกาดทะเลสูงที่สุด โดยยังคงมีลักษณะปรากฏเป็นที่ยอมรับ จากผลการทดลองพบว่า สิ่งทดลองที่เติมเฟอร์รัสซัลเฟตมากที่สุดคือ 15% ทำให้มีปริมาณเหล็กในสาหร่ายผักกาดทะเลหลังการออสโมซิสสูงที่สุด คือ 11.84 g/100g อย่างไรก็ตามพบว่า สิ่งทดลองดังกล่าวมีกลิ่นรสของเหล็กเข้มข้น และมีสีคล้ำจากการเกาะติดของสารละลายเหล็กที่ขึ้นของสาหร่ายมาก แสดงถึงมีลักษณะปรากฏไม่ดีจึงไม่น่าเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคที่เป็นเด็กวัยเรียน ดังนั้นสิ่งทดลองที่เหมาะสมที่สุดคือการเติมเฟอร์รัสซัลเฟตความเข้มข้นรองลงมา คือ สิ่งทดลองที่เติมเฟอร์รัสซัลเฟต 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 เมื่อเติมเพอริสซัลเฟตในสารละลายออสโมติก

ก) 0% ข) 5% ค) 10% และ ง) 15%

ตอนที่ 4 ผลของวิธีการอบแห้งสาหร่ายผักกาดทะเล

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

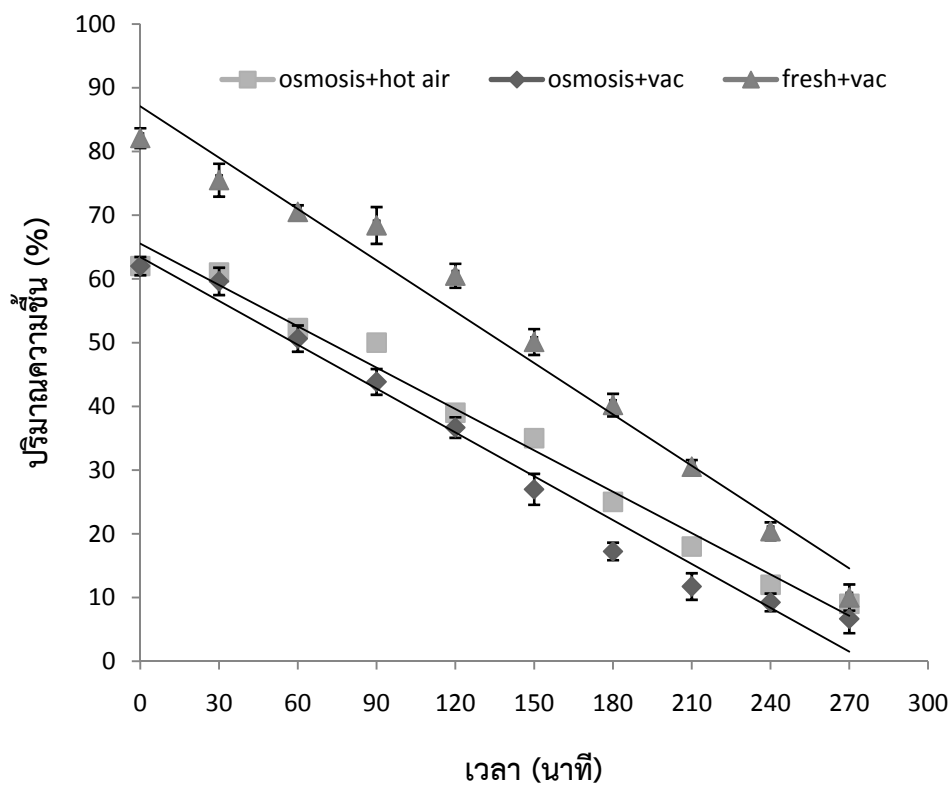
1) ผลการสร้างกราฟการทำแห้งเพื่อทำนายเวลาในการทำแห้ง

จากการทดลองเบื้องต้นพบว่าการทำแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศมีแนวโน้มทำให้สามารถลดความชื้นของสาหร่ายผักกาดทะเลได้เร็วกว่าการใช้ตู้อบลมร้อน จากการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับระยะเวลาในการทำแห้งสาหร่ายผักกาดทะเลที่ไม่ผ่านการออสโมซิสด้วย

การอบแบบสุญญากาศ สำหรับผักกาดทะเลที่ผ่านการออสโมซิสในตู้อบแบบสุญญากาศ และตู้อบลมร้อน ได้ผลการทดลองแสดงในภาพที่ 4-6 พบว่า ปริมาณความชื้นของสาหร่ายผักกาดทะเลมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อเวลาการทำแห้งนานขึ้น ในกรณีการอบในสภาวะสุญญากาศ อากาศที่อยู่ในห้องอบแห้งแบบสุญญากาศนั้นจะอยู่ในสภาวะสุญญากาศที่ทำให้อากาศมีความดันของไอน้ำต่ำ และความเข้มข้นของความชื้นในอากาศต่ำเมื่อมีวัสดุอยู่ในห้องอบแห้งแบบสุญญากาศจะทำให้เกิดการถ่ายเทมวลเกิดขึ้น โดยไอน้ำที่ผิวของวัสดุจะแพร่สู่อากาศ เนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้นของความชื้นและความดันไอ และของเหลวที่อยู่ในวัสดุจะเคลื่อนที่ออกมายังผิวด้วยแรงคาปิลลารี (Capillary) ซึ่งเป็นผลมาจากแรงตึงผิว อีกทั้งยังเกิดความแตกต่างของความดันไอน้ำของความชื้นในอาหารกับความชื้นในห้องอบแห้งซึ่งจะเป็นแรงผลักดันให้น้ำระเหยออกมาจากอาหาร (ฤทธิไกร งามชุ่ม, 2547; นิธิยา รัตนพนนท์, 2549) จากภาพที่ 4-6 หากพิจารณาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความชื้นตามเวลาในการทำแห้ง พบว่า ทั้งสาหร่ายที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิสมีความชื้นลดลงอย่างต่อเนื่อง แต่พบว่าสาหร่ายสดซึ่งไม่ผ่านการออสโมซิสมีความชื้นเริ่มต้นสูงกว่า (ประมาณ 82%) ความชื้นเริ่มต้นของสาหร่ายที่ผ่านการออสโมซิส (ประมาณ 62-63%) จึงทำให้สาหร่ายที่ไม่ผ่านการออสโมซิสมีความชื้นคงเหลือที่เวลาอบแห้งใดๆ สูงกว่าสาหร่ายที่ผ่านการออสโมซิส โดยจากกราฟพบว่า สาหร่ายผักกาดทะเลที่ผ่านการออสโมซิสโดยทำแห้งในตู้อบแบบสุญญากาศ และตู้อบลมร้อน มีปริมาณความชื้นคงเหลือที่เวลาอบแห้งใดๆ 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 ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์สาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งที่มีปริมาณความชื้น

สุดท้าย คือ 7.11 7.09 และ 7.02 ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการนำสาหร่ายผักกาดทะเลมาออสโมซิสสามารถลดความชื้นของผลิตภัณฑ์ลงได้ซึ่งทำให้เวลาในการทำแห้งลดลง โดยการทำให้แห้งด้วยตู้อบสุญญากาศทำให้สามารถลดเวลาการทำแห้งได้ โดยใช้เวลาทำห้าน้อยกว่าการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน 22 นาที ดังนั้นจึงเลือกดำเนินการทำแห้งสาหร่ายผักกาดทะเลที่ผ่านการออสโมซิสด้วยตู้อบสุญญากาศ เปรียบเทียบคุณภาพกับสาหร่ายผักกาดทะเลที่ไม่ผ่านการออสโมซิสและอบด้วยตู้อบสุญญากาศ และสาหร่ายผักกาดทะเลสดในขั้นต่อไป



ภาพที่ 4-6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับระยะเวลาในการทำแห้งสาหร่ายผักกาดทะเลที่ไม่ผ่านการออสโมซิสและอบแห้งโดยใช้ตู้อบสุญญากาศ สาหร่ายผักกาดทะเลที่ผ่านการออสโมซิสแล้วอบแห้งโดยใช้ตู้อบแบบสุญญากาศ และตู้อบลมร้อน

ตารางที่ 4-6 รายละเอียดเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น (y) กับระยะเวลาการอบแห้ง (x) สำหรับผักกาดทะเลที่ไม่ผ่านการออสโมซิสและอบแห้งโดยใช้ตู้อบสุญญากาศ สำหรับผักกาดทะเลที่ผ่านการออสโมซิสแล้วอบแห้งโดยใช้ตู้อบแบบสุญญากาศ และตู้อบลมร้อน

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

2) ผลการเปรียบเทียบคุณภาพของสำหรับผักกาดทะเลอบแห้งที่ไม่ผ่านและผ่านการออสโมซิสและสำหรับผักกาดทะเลสด

2.1 คุณภาพทางด้านเคมีและกายภาพ

ปริมาณความชื้น เป็นปริมาณน้ำทั้งหมดที่มีอยู่ในอาหารโดยน้ำมีความสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติต่างๆของอาหาร เนื่องจากน้ำเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและชีวเคมีของอาหารซึ่งทำให้เกิดผลทั้งในด้านที่เป็นประโยชน์หรือในด้านที่ไม่ต้องการ (นิธิยา

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

ตารางที่ 4-7 ผลการเปรียบเทียบคุณภาพทางเคมีและกายภาพของสาหร่ายผักกาดทะเลที่ผ่านและผ่านการออสโมซิสโดยอบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศและสาหร่ายผักกาดทะเลสด

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

[#] รายงานโดยเทียบกับน้ำหนักฐานแห้ง (Dry basis)

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

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

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

การเติมเกลือในรูปของเฟอร์รัสซัลเฟตความเข้มข้น 10% ในสารละลายออสโมติกสามารถเพิ่มปริมาณเกลือให้กับสาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งได้โดยพบว่า สาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งที่ผ่านการออสโมซิสมีปริมาณเกลือเท่ากับ 6.88 g/100g แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับสาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิสและสาหร่ายผักกาดทะเลสดที่มีปริมาณเกลือเท่ากับ 0.16 และ 0.14 g/100g ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็นการเสริมธาตุเกลือให้กับสาหร่ายผักกาดทะเลโดยมีเกลือเพิ่มขึ้นในผลิตภัณฑ์ประมาณ 49 เท่าของสาหร่ายสด

มีรายงานว่าสาหร่ายเป็นแหล่งที่ดีของไอโอดีน มีความสำคัญอย่างยิ่งโดยเฉพาะกับเด็ก โดยสาหร่ายทะเลเป็นอาหารชนิดหนึ่งที่กรมอนามัยแนะนำให้เด็กและสตรีมีครรภ์ควรบริโภค โดยไอโอดีนและเกลือ จัดเป็นแร่ธาตุประเภท Micro-elements หรือ Trace elements ที่ร่างกายต้องการ ในปริมาณน้อยกว่า 100 mg/วัน (ประสงค์ เทียนบุญ, 2546) สุวรรณ วรสิงห์ 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 ($p < 0.05$) ทั้งนี้เนื่องมาจากในขั้นตอนการออสโมซิสมีการเติมเกลือที่เสริมไอโอดีนความเข้มข้น 10% ในระหว่างการแช่ซึ่งเกิดการแพร่ของตัวถูกละลายเข้าไปในชิ้นสาหร่าย ไอโอดีนที่มีอยู่ในสารละลายออสโมติกจึงมีโอกาสแพร่เข้าไปในชิ้นสาหร่ายได้ด้วย

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

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

วิตามินซีหรือกรดแอสคอร์บิก เป็นอนุพันธ์ของน้ำตาลเฮกโซส ละลายได้ดีในน้ำเป็นตัวริดิซ์ที่มีความคงตัวต่ำ สลายตัวได้ง่ายเมื่อถูกแสง อากาศและความร้อน โดยเฉพาะในสภาวะที่มีโลหะหนักเช่น คอปเปอร์ไอออนและเฟอร์รัสไอออนจะยิ่งเร่งสลายตัวของวิตามินซี (นิธิยา รัตนพนนท์, 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 เหล่าไพบุลย์ และคณะ, 2540; สุมาลี ดุลยอนุกิจ, 2548) และการเติมเฟอร์รัสซัลเฟตในสารละลายออสโมติกแล้วแช่สาหร่ายผักกาดทะเลในสภาวะบรรยากาศ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง มีโอกาสให้เฟอร์รัสไอออนเกิดการออกซิไดซ์ได้เป็นเฟอร์ริกไอออน โดยมีความชื้น และแสง เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเกิดเป็นสารเฟอร์ริกแทนเนท (Ferric tannate) ซึ่งมีสีดำหรือสีเขียว (ณัฐกานต์ อัครเกษมจิตร และปิยาภรณ์ หนูเสริม, 2551)

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

2.2 คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส

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

ตารางที่ 4-8 ผลการทดสอบความชอบโดยรวมทางประสาทสัมผัสของสาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งที่
ไม่ผ่านและผ่านการออสโมซิส

สิ่งทดลอง	ความชอบโดยรวมเฉลี่ย* \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ^{ns}
สาหร่ายอบแห้งที่ผ่านการออสโมซิส	2.83 \pm 0.08
สาหร่ายอบแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิส	2.73 \pm 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) ในขณะที่สาหร่ายอบแห้งที่ผ่านการออสโมซิสแม้สัมผัสได้ว่าการปรุงรสโดยมีรสหวาน และเค็ม แต่ผู้ทดสอบสัมผัสได้กับกลิ่นรสของเกลือซึ่งติดอยู่กับผลิตภัณฑ์จากการตรวจเอกสาร พบว่า การเสริมธาตุเกลือในผลิตภัณฑ์อาหารโดยวิธีการออสโมซิสหรือแช่ขึ้นอาหารในสารละลายที่มีเกลือเป็นส่วนประกอบสามารถใช้ในรูปของ เฟอร์สกลูโคเนต และเฟอร์สซัลเฟต (Barrera et al., 2003; Chanakan et al., 2008; Yanyan Wei et al., 2013) โดยเฟอร์สซัลเฟตมีกลิ่นรสเฉพาะของเกลือค่อนข้างแรงกว่าเฟอร์สกลูโคเนตซึ่งโดยปกติเฟอร์สซัลเฟตจะใช้ในผลิตภัณฑ์ยาสำหรับผู้ป่วยที่เป็นโรคโลหิตจาง แต่อย่างไรก็ตามเฟอร์สซัลเฟตมีความปลอดภัยสำหรับการบริโภค ราคาถูก และหาได้ง่าย (Haro-Vicente et al., 2006; Yanyan Wei et al., 2013) จากงานวิจัยนี้สามารถผลิตสาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งเป็นอาหารว่างเพื่อสุขภาพสำหรับเด็กวัยเรียนได้โดย ผลิตภัณฑ์สาหร่ายผักกาดทะเลผักกาดทะเลอบแห้งที่ผ่านการออสโมซิสโดยไม่ปรับปรุงรสชาติ มีปริมาณเกลือเท่ากับ 6.88 g/100g ทั้งนี้หากพิจารณาสารอาหารที่แนะนำให้บริโภคประจำวันสำหรับเด็กไทยวัยเรียนอายุ 6-12 ปี (Thai Recommended Daily Intakes – Thai RDI) ที่กำหนดไว้ว่าควรได้รับเกลือ 10 mg/วัน (กรมอนามัย, 2546) คำนวณได้ว่าเท่ากับการบริโภค

ผลิตภัณฑ์สำหรับฝักกาดทะเลอบแห้งที่ผ่านการออสโมซิสปริมาณ 0.15 g หรือ 7.5 ช้อน/วัน (ผลิตภัณฑ์สำหรับย่อยแห้ง 1 ช้อน น้ำหนักประมาณ 0.02 g)

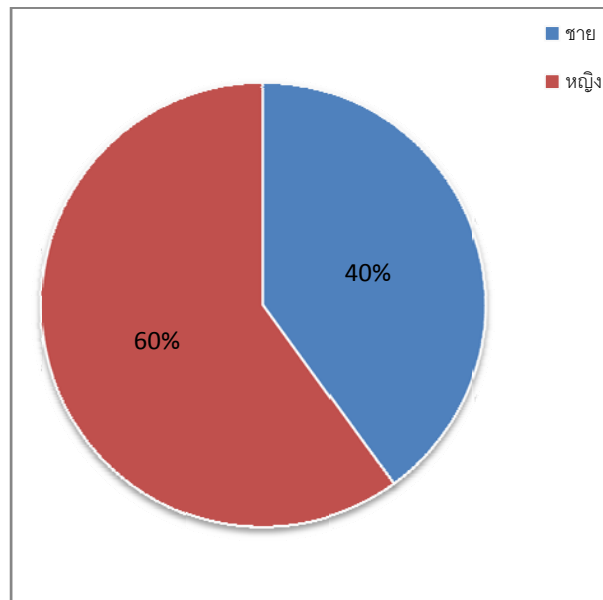
ตอนที่ 5 ผลการปรับปรุงกลิ่นรสของสำหรับฝักกาดทะเลอบแห้ง

จากการอภิปรายกลุ่ม (focus group discussion) โดยใช้เด็กวัยเรียนร่วมสนทนาจำนวน 3 กลุ่ม กลุ่มละ 10 คน เพื่อสอบถามความต้องการด้านปรับปรุงกลิ่นรสของสำหรับฝักกาดทะเลอบแห้งต้นแบบที่ได้จากตอนที่ 4 จากข้อจำกัดด้านกลิ่นรสเฉพาะของผลิตภัณฑ์ดังกล่าวจึงอาจทำให้ผู้ทดสอบไม่คุ้นเคยกับกลิ่นรสผลิตภัณฑ์ ผลการศึกษาการอภิปรายกลุ่ม จากผู้ร่วมอภิปรายซึ่งเป็นผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมาย คือ เด็กวัยเรียน จำนวน 30 คน โดยผู้ร่วมอภิปรายมีอายุระหว่าง 6-12 ปี พบว่า ผู้ร่วมอภิปรายให้ความสนใจในการบริโภคผลิตภัณฑ์อาหารว่างจากสำหรับ โดยส่วนใหญ่มีแนวโน้มการรับประทานอาหารว่างจากสำหรับประมาณ 2-3 ครั้งต่อสัปดาห์ โดยชอบอาหารว่างจากสำหรับในรูปแบบสำหรับแผ่นอบกรอบหรือทอดกรอบมากที่สุด ทั้งนี้เมื่อสอบถามถึงแนวทางการปรับปรุงผลิตภัณฑ์สำหรับฝักกาดทะเลอบแห้ง ผู้ร่วมอภิปรายต้องการให้มีการปรุงกลิ่นรสเพิ่มเติมโดยการโรยด้วยผงปรุงรส พบว่า ผู้อภิปรายให้แนวทางในการปรับปรุงกลิ่นรสจำนวน 4 กลิ่นรส ได้แก่ 1) กลิ่นรสปลา 2) กลิ่นรสกุ้ง 3) กลิ่นรสบาร์บีคิว และ 4) กลิ่นรสชีส รายละเอียดผลจากการอภิปรายกลุ่มแสดงดังภาพที่ 4-7 ถึง 4-11

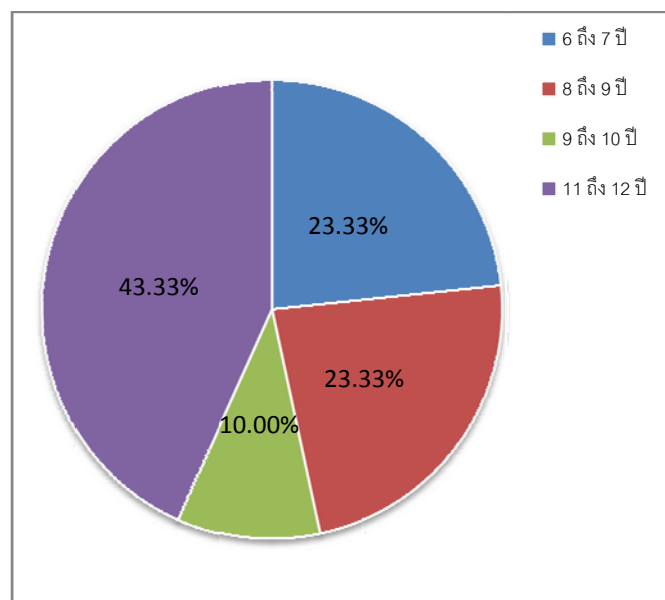
จากแนวความคิดผลิตภัณฑ์ที่กำหนดไว้คือ การปรับปรุงกลิ่นรสผลิตภัณฑ์สำหรับฝักกาดทะเลอบแห้งโดยหลีกเลี่ยงการใช้ผงปรุงรสสังเคราะห์ จึงเลือกที่จะปรับปรุงรสชาติผลิตภัณฑ์จำนวน 2 กลิ่นรส ได้แก่ กลิ่นรสปลาและกลิ่นรสกุ้ง จากแนวทางการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ จึงได้ดำเนินการทดลองเบื้องต้นเพื่อปรับปรุงกลิ่นรสสำหรับฝักกาดทะเลอบแห้งที่ผ่านการออสโมซิสเพื่อให้ได้รับการยอมรับของผู้บริโภคมากขึ้น โดยการโรยด้วยผงปรุงรสปลาและผงปรุงรสกุ้ง เพื่อให้เป็นผลิตภัณฑ์อาหารว่างที่เหมาะสมสำหรับเด็กวัยเรียนจึงหลีกเลี่ยงการใช้ผงปรุงรสสังเคราะห์ ดำเนินการเตรียมผงปรุงกลิ่นรสซึ่งเป็นส่วนผสมของ ปลากระตักผง หรือกุ้งแห้งผง น้ำตาลทรายป่นละเอียด และเกลือไอโอดีน ในอัตราส่วน 60 : 35 : 5 เตรียมตัวอย่างสำหรับทดสอบชิมโดยการฉีดพ่นน้ำมันปาล์มเป็นฝอยลงบนชิ้นสำหรับฝักกาดทะเลอบแห้งปริมาณเล็กน้อยแล้วโรยด้วยผงปรุงกลิ่นรส คลุกเคล้าให้เข้ากัน แล้วเสนอตัวอย่างสำหรับทดสอบชิมทันที

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

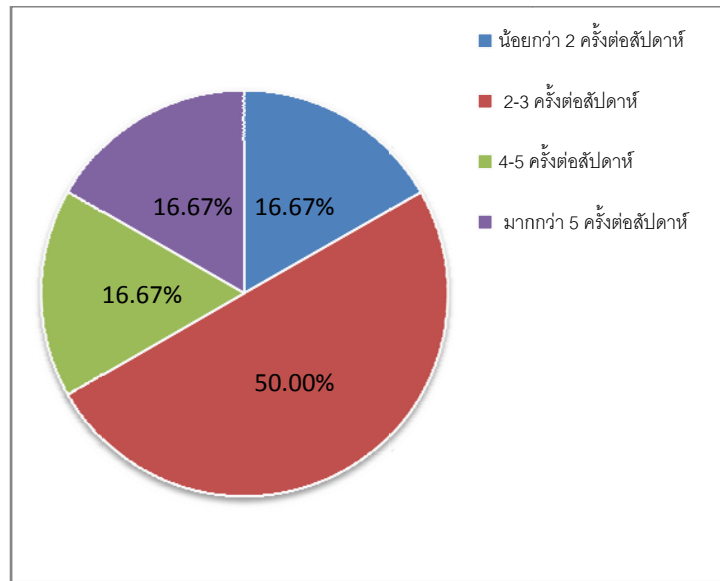
โดยผู้ทดสอบให้ความเห็นว่า การปรับปรุงผลิตภัณฑ์ใหม่ช่วยกลบกลิ่นรสที่ไม่คุ้นเคยต่างๆได้ มีกลิ่นรสปลาหรือกุ้งที่เข้มข้นขึ้นจึงเป็นที่ยอมรับมากขึ้น รายละเอียดผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-9



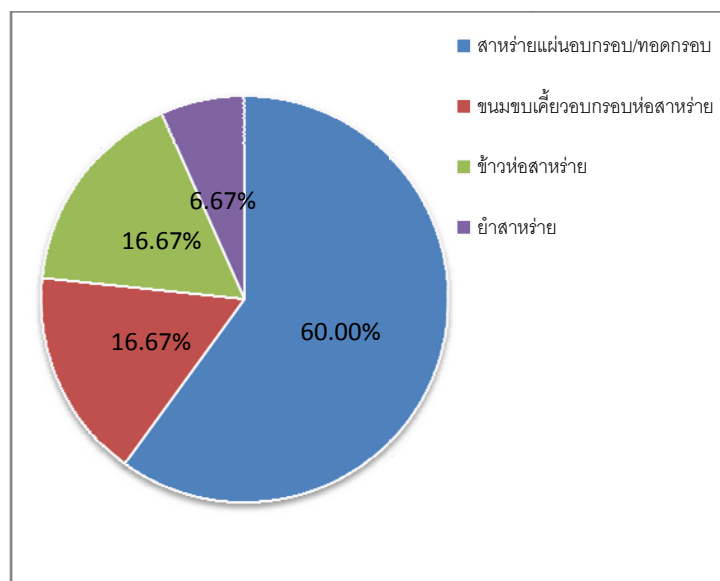
ภาพที่ 4-7 ลักษณะทางประชากรศาสตร์ด้านเพศของผู้ร่วมอภิปราย



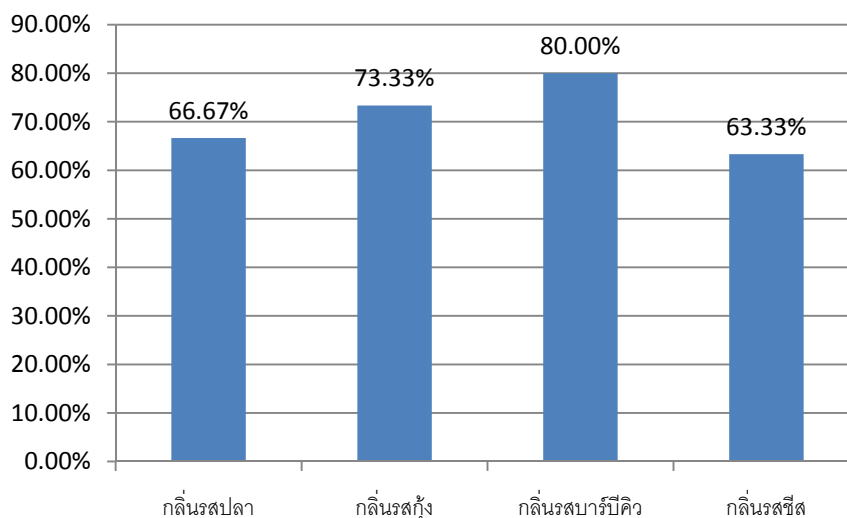
ภาพที่ 4-8 ลักษณะทางประชากรศาสตร์ด้านอายุของผู้ร่วมอภิปราย



ภาพที่ 4-9 ความถี่การบริโภคอาหารว่างจากสาหร่าย



ภาพที่ 4-10 รูปแบบอาหารว่างจากสาหร่ายที่นิยมบริโภค



ภาพที่ 4-11 แนวทางการปรับปรุงกลิ่นรสผลิตภัณฑ์สำหรับรายผักกาดทะเลอบแห้ง

ตารางที่ 4-9 ผลการทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัสของสำหรับรายผักกาดทะเลอบแห้งที่ไม่ผ่าน และผ่านการปรับปรุงกลิ่นรสปลาและกลิ่นรสกุ้ง

สำหรับราย ผักกาด ทะเล อบแห้ง	ความชอบเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				
	ลักษณะปรากฏ	สี ^{ns}	กลิ่นรส	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
ไม่ผ่าน การ ปรับปรุง กลิ่นรส	3.40 ± 0.12 ^b	4.02 ± 0.10	2.49 ± 0.10 ^b	3.05 ± .07 ^b	2.89 ± 0.05 ^b
ปรับปรุง ด้วยกลิ่น รสปลา	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
ปรับปรุง ด้วยกลิ่น รสกุ้ง	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