วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 30, ฉบับที่ 4 ต.ค.–ธ.ค. 2563
The Journal of KMUTNB., Vol. 30, No. 4, Oct.–Dec. 2020

บทความวิจัย

ผลของสภาวะการเตรียมและการอบแห้งต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์สาหร่ายพวงองุ่นอบแห้ง

สิริมา ชินสาร* และ นิสานารถ กระแสร์ชล
ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 0 3810 3137 อีเมล: sirima@go.buu.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2020.04.003
รับเมื่อ 14 พฤศจิกายน 2562 แก้ไขเมื่อ 21 ธันวาคม 2562 ตอบรับเมื่อ 27 ธันวาคม 2562 เผยแพร่ออนไลน์ 13 เมษายน 2563
© 2020 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

การศึกษากระบวนการผลิตสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งคืนรูปเร็ว โดยนำสาหร่ายพวงองุ่นมาเตรียมขั้นต้นด้วยการลวกในน้ำ ลวกในสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนต 0.09% (w/w) (80 องศาเซลเซียส) และการแช่ในสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนต 0.09% (w/w) (อุณหภูมิห้อง) เป็นเวลา 1 นาที พบว่า สาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งที่ผ่านการลวกในน้ำมีอัตราส่วนการดูดน้ำกลับสูง และมีสีใกล้เคียงกับสาหร่ายพวงองุ่นสด เมื่อนำสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการลวกไปทำการออสโมซิสด้วยสารละลายผสมของน้ำตาลทราย 40% กับโซเดียมคลอไรด์ 10% พบว่า สาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งใช้เวลาในการคืนรูปต่ำลง และมีค่าความแน่นเนื้อสูงขึ้นใกล้เคียงกับสาหร่ายพวงองุ่นสด และในขั้นตอนสุดท้าย การศึกษาผลของวิธีการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (60 องศาเซลเซียส 10 นาที) และตู้อบสุญญากาศ (50 องศาเซลเซียส ความดัน 46 เซนติเมตรปรอท 40 นาที) พบว่า การอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนทำให้สาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการคืนรูปมีความแน่นเนื้อใกล้เคียงกับสาหร่ายพวงองุ่นสด

คำสำคัญ: สาหร่ายพวงองุ่น การลวก การออสโมซิส การทำแห้ง

การอ้างอิงบทความ: สิริมา ชินสาร และ นิสานารถ กระแสร์ชล, "ผลของสภาวะการเตรียมและการอบแห้งต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์สาหร่ายพวงองุ่นอบแห้ง," *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 30, ฉบับที่ 4, หน้า 668–677, ต.ค.–ธ.ค. 2563.

Research Article

Effect of Pretreatment and Drying Conditions on Quality of Dried Green Caviar Product

Sirima Chinnasarn* and Nisanart Krasaechol
Department of Food Science, Faculty of Science, Burapha University, Chon Buri, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 0 3810 3137, E–mail: sirima@go.buu.ac.th
DOI: 10.14416/j.kmutnb.2020.04.003
Received 14 November 2019; Revised 21 December 2019; Accepted 27 December 2019; Published online: 13 April 2020
© 2020 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

The process of quick-rehydrated dried green caviar seaweeds was examined. Green caviar was pretreatment by blanching in water and 0.09% magnesium carbonate solution (80°C) and soaking in 0.09% magnesium carbonate solution (room temperature) for 1 minute. The results showed that dried green caviar blanched in water had a high rehydration ratio and yielded a similar color to the fresh one. Then, blanched green caviar undertook osmosis treatment in a mixture of 40% sugar solution and a 10% NaCl solution. As results, the dried green caviar took less time to rehydrate and had a higher firmness, relatively similar to that of fresh green caviar. Finally, the effect of drying methods, tray drier (60°C, 10 minutes) and vacuum drier (50°C, 46 cm.Hg., 40 minutes), was investigated. The results demonstrated that the firmness of rehydrated product undertaking the tray drying process was comparatively similar to that of the fresh green caviar.

Keywords: Green Caviar, Blanching, Osmosis, Drying

Please cite this article as: S. Chinnasarn and N. Krasaechol, "Effect of pretreatment and drying conditions on quality of dried green caviar product," *The Journal of KMUTNB*, vol. 30, no. 4, pp. 668–677, Oct.–Dec. 2020 (in Thai).

1. บทนำ

สาหร่ายพวงองุ่น (Green Caviar) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Caulerpa lentillifera* J. Agardh เป็นสาหร่ายทะเลสีเขียว มีเม็ดกลมและเป็นช่อคล้ายพวงองุ่น [1] สาหร่ายพวงองุ่นมีคุณค่าทางโภชนาการสูง มีวิตามินเอ บี ซี อี และ เค ที่ร่างกายดูดซึมไปใช้ได้ง่าย แคลอรีต่ำ และกากใยสูง ด้วยเหตุนี้สาหร่ายพวงองุ่นจึงเป็นอาหารสุขภาพที่ได้รับความนิยม และมีราคาสูง แต่ปัญหาของสาหร่ายพวงองุ่น คือ อายุการเก็บรักษาหลังการเก็บเกี่ยวสั้น ประมาณ 10–12 ชั่วโมง การแปรรูปสาหร่ายพวงองุ่นเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่สามารถลดการเน่าเสียของสาหร่ายพวงองุ่น [2] ซึ่งวิธีการอบแห้งเป็นกระบวนการแปรรูปสาหร่ายที่สามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาได้วิธีหนึ่ง แต่การจะคงคุณภาพของสาหร่ายภายหลังการคืนรูปให้เหมือนกับสาหร่ายสดนั้นจำเป็นต้องอาศัยเทคนิคการแปรรูปด้านอื่นๆ เข้ามาช่วย

การเตรียมขั้นต้นด้วยการลวกเป็นขั้นตอนสำคัญที่ช่วยยับยั้งการเปลี่ยนแปลงสีเขียวของสาหร่ายได้ เพราะการลวกช่วยทำลายกิจกรรมของเอนไซม์พอลีฟีนอลออกซิเดส (Polyphenol Oxidase) ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดสีน้ำตาล การเติมเกลือของด่าง เช่น แมกนีเซียมคาร์บอเนตลงในน้ำที่ใช้ลวกยังช่วยปรับ pH ของน้ำให้สูงขึ้นประมาณ pH 7 ซึ่งจะช่วยยับยั้งการเกิดฟีโอไฟตินที่เป็นสาเหตุให้สีเขียวของพืชเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลได้ นอกจากนั้น การลวกในอุณหภูมิที่เหมาะสมยังสามารถช่วยกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์คลอโรฟิลเลส (Chlorophyllase) ซึ่งจะช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีสีเขียวสด โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำงานของเอนไซม์คลอโรฟิลเลสในผักต่างๆ อยู่ในช่วง 60–82.2 องศาเซลเซียส [3]

นอกจากการลวกแล้ว การดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิสก่อนการอบแห้งเป็นวิธีการที่สามารถช่วยปรับปรุงคุณภาพด้านสีและการคืนรูปของผลิตภัณฑ์ภายหลังการอบแห้งได้วิธีการหนึ่ง เนื่องจากการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิสจะเป็นการดึงน้ำออกจากวัตถุดิบก่อนบางส่วน ทำให้ปริมาณน้ำลดลงประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักเริ่มต้น จึงช่วยลดเวลาในการทำแห้ง อีกทั้งยังช่วยเพิ่มปริมาณของแข็งให้กับผลิตภัณฑ์จากการถ่ายเทมวลสารที่เกิดขึ้น ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความคงตัวและสามารถคืนรูปภายหลังการอบแห้งได้ดีขึ้น [4]

สำหรับการอบแห้งเป็นการลดปริมาณความชื้น ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ ให้อยู่ในระดับที่จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ และช่วยปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้าย [5] ซึ่งการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนคือการทำแห้งอาหารด้วยลมร้อนเป็นการใช้ความร้อนในสภาวะควบคุมเพื่อกำจัดน้ำที่อยู่ในอาหารออกโดยการระเหย เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากในการผลิตผักและผลไม้อบแห้ง เพราะเครื่องมือราคาถูก ควบคุมดูแลได้ง่าย [6] ส่วนการอบแห้งแบบสุญญากาศมีหลักการคือ สภาวะสุญญากาศทำให้อากาศในห้องอบแห้งมีความดันของไอน้ำต่ำ และความเข้มข้นของความชื้นในอากาศต่ำ วัสดุที่อยู่ในห้องอบแห้งจะเกิดการถ่ายเทมวลโดยไอน้ำที่ผิวของวัสดุจะแพร่สู่อากาศเนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้นของความชื้น และความดันไอ และของเหลวที่อยู่ในวัสดุจะเคลื่อนที่ออกมายังผิวด้วยแรง Capillary Flow ซึ่งเป็นผลมาจากแรงตึงผิว การอบแห้งด้วยวิธีนี้ไม่จำเป็นต้องให้ความร้อนมากเท่ากับการอบแห้งด้วยลมร้อน เนื่องจากน้ำในอาหารจะเกิดการเดือดขึ้นในเนื้อวัสดุเป็นการเร่งอัตราการถ่ายเทมวลสาร ทำให้การอบแห้งเกิดได้เร็วขึ้น [7]

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการผลิตสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งคืนรูปเร็ว โดยศึกษาการเตรียมวัตถุดิบขั้นต้นด้วยการลวก การออสโมซิส และเปรียบเทียบกระบวนการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนและการอบแห้งแบบสุญญากาศเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์สาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งที่มีคุณภาพภายหลังการคืนรูปใกล้เคียงกับสาหร่ายสด

2.วิธีการวิจัย

2.1 วัตถุดิบ

นำสาหร่ายพวงองุ่นสดอายุประมาณ 2 เดือน ที่รับซื้อจากฟาร์มในจังหวัดเพชรบุรี คัดเลือกสาหร่ายที่มีลักษณะช่อสมบูรณ์ ตัดแต่งให้มีความยาวช่อละ 5 เซนติเมตร ล้างน้ำสะอาด แช่ในสารละลายคลอรีน ความเข้มข้น 0.002% เป็นเวลา 5 นาที สะเด็ดน้ำโดยวางบนตะแกรง เก็บใส่ถุงพลาสติกและแช่เย็นอุณหภูมิไม่เกิน 10 องศาเซลเซียส นำมาใช้งานภายในระยะเวลาการเก็บรักษาไม่เกิน 2 วัน

2.2 ศึกษาผลของการเตรียมวัตถุดิบขั้นต้นที่มีต่อคุณภาพของสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้ง

นำสาหร่ายพวงองุ่นมาเตรียมขั้นต้นโดยแปรสภาวะในการเตรียมขั้นต้นเป็น 3 สภาวะ คือ

1) การลวกในน้ำที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที

2) การลวกในสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนต ความเข้มข้น 0.09 % w/w ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที

3) แช่ในสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 0.09 % w/w อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 นาที

เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม คือ สาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งที่ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้น

โดยนำสาหร่ายพวงองุ่นมาลวกหรือแช่ตามสภาวะที่กำหนดในอัตราส่วนสารละลาย 1 ลิตรต่อสาหร่าย 100 กรัม ภายหลังการลวกหรือแช่สารละลาย นำสาหร่ายแช่น้ำเย็นอุณหภูมิ 5±1 องศาเซลเซียส ทันที เป็นเวลา 3 นาที จากนั้นสะเด็ดน้ำบนตะแกรง แล้วอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนมีความชื้นสุดท้ายไม่เกิน 10% นำสาหร่ายอบแห้งมาวิเคราะห์คุณภาพด้านการคืนรูปในน้ำที่อุณหภูมิห้อง ด้วยการวัดอัตราส่วนการดูดน้ำกลับ [8] และนำสาหร่ายที่ผ่านการคืนรูปมาวิเคราะห์ค่าสี L* a* และ b* ด้วยเครื่องวัดสี (Hunter Lab, USA) คำนวณค่า Hue Angle [9] ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) โดยการวางแผนการทดลองแบบ CRD ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Tukey's Studentized Range Test ด้วยโปรแกรม Minitab version 17.0

2.3 ศึกษาผลของการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิสต่อคุณภาพของสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้ง

เตรียมสารละลายออสโมติกในอัตราส่วน น้ำตาลทราย : โซเดียมคลอไรด์ : น้ำ เป็น 40 : 10 : 50 นำไปให้ความร้อนที่ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที แล้วปล่อยให้เย็นตัวลง [10]

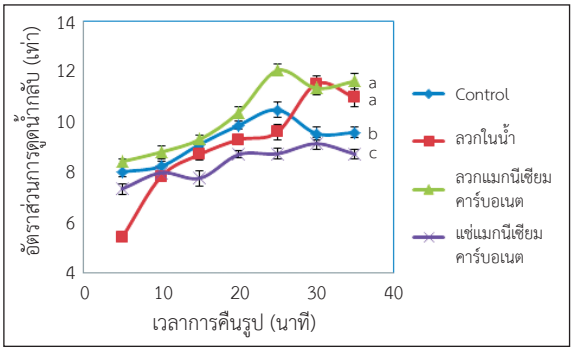
นำสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นตามสภาวะที่คัดเลือกได้จากข้อ 2.2 มาแช่ในสารละลายออสโมติก ใช้อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักสาหร่ายพวงองุ่นและสารละลายออสโมติก เป็น 1 : 10 แช่ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 240 นาที วิเคราะห์ค่าการถ่ายเทมวลสารทุกๆ 3, 5, 10, 20, 30, 60, 90, 120, 150, 180 และ 240 นาที คำนวณปริมาณน้ำที่สูญเสีย และปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น [10] กำหนดเวลาในการออสโมซิสสาหร่ายพวงองุ่นโดยพิจารณาจากค่าการถ่ายเทมวลสาร

ทำการออสโมซิสสาหร่ายพวงองุ่นตามเวลาที่ได้แล้วนำมาอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนมีความชื้นสุดท้ายไม่เกิน 10% นำสาหร่ายอบแห้งมาวิเคราะห์คุณภาพด้านการคืนรูปในน้ำที่อุณหภูมิห้อง ด้วยการวัดอัตราส่วนการดูดน้ำกลับ [8] และนำสาหร่ายที่ผ่านการคืนรูปมาวิเคราะห์ค่าสี L* a* และ b* ด้วยเครื่องวัดสี (Hunter Lab, USA) และค่าความแน่นเนื้อ ด้วยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture analyzer; UK) โดยใช้แรงกด ด้วยหัววัดรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 35 มิลลิเมตร (p/35) บันทึกค่าแรงสูงสุด ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) โดยการวางแผนการทดลองแบบ CRD ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Tukey's Studentized Range Test ด้วยโปรแกรม Minitab Version 17.0

2.4 ศึกษาผลของวิธีการอบแห้งสาหร่ายพวงองุ่นต่อคุณภาพของสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้ง

นำสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นด้วยสภาวะที่เลือกได้จากข้อ 2.2 และออสโมซิสตามสภาวะที่คัดเลือกได้จากข้อ 2.3 มาอบแห้ง โดยแปรวิธีการอบแห้งเป็น 2 วิธี ได้แก่ การอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซสเซียส เป็นเวลา 10 นาที และอบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความดัน 46 เซนติเมตรปรอท เป็นเวลา 40 นาที (เวลาในการอบแห้งได้จากการทำการทดลองเบื้องต้นโดยวิเคราะห์ความชื้นของตัวอย่างระหว่างการอบแห้งทุก 5 นาที และกำหนดความชื้นสุดท้ายของสาหร่ายพวงองุ่นเป็น 8±1%) นำสาหร่ายอบแห้งมาวิเคราะห์คุณภาพด้านการคืนรูป

ในน้ำที่อุณหภูมิห้อง ด้วยการวัดอัตราส่วนการดูดน้ำกลับ [8] และนำสาหร่ายที่ผ่านการคืนรูปมาวิเคราะห์ค่าสี L* a* และ b* ด้วยเครื่องวัดสี (Hunter Lab, USA) และค่าความแน่นเนื้อ ด้วยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer, UK) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) โดยการวางแผนการทดลองแบบ CRD ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Tukey's Studentized Range Test ด้วยโปรแกรม Minitab Version 17.0



รูปที่ 1 อัตราส่วนการดูดน้ำกลับของสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นด้วยสภาวะต่างๆ

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

3.1 ผลของการเตรียมวัตถุดิบขั้นต้นที่มีต่อคุณภาพของสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้ง

เนื่องจากสาหร่ายพวงองุ่นมีองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ ซึ่งให้สีเขียวแก่ผลิตภัณฑ์ และกระบวนการผลิตที่ต้องผ่านความร้อนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของคลอโรฟิลล์ และส่งผลต่อสีของผลิตภัณฑ์สุดท้าย การเลือกใช้วิธีการเตรียมขั้นต้นที่เหมาะสมจะสามารถช่วยลดการสูญเสียคุณภาพด้านต่างๆ รวมทั้งคุณภาพด้านการคืนรูป และความเป็นสีเขียวของผลิตภัณฑ์อบแห้งได้ จากผลการทดลองในรูปที่ 1 พบว่า สาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นด้วยการลวกในน้ำ การลวกในสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนต และการแช่ในสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนต มีอัตราส่วนการดูดน้ำกลับเข้าสู่เซลล์ได้มากในช่วง 25–30 นาทีแรกของการคืนรูป โดยสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นด้วยการลวกในสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนตมีอัตราส่วนการดูดน้ำกลับมากที่สุด เนื่องจากการลวกด้วยสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนตทำให้มีการแพร่ของแมกนีเซียมคาร์บอเนตเข้าไปในเซลล์ของสาหร่าย ซึ่งการให้ความร้อนระหว่างการลวกจะทำให้เยื่อหุ้มเซลล์ของสาหร่ายอ่อนตัวลง ปริมาณของแมกนีเซียมคาร์บอเนตจึงสามารถแพร่เข้าสู่เซลล์ได้มากกว่าการแช่สารละลายดังกล่าวที่อุณหภูมิห้อง [4], [11] ส่วนการลวกในน้ำนั้นจะไม่มีการแพร่ของแข็งใดๆ เข้าสู่เซลล์เลย ดังนั้น เมื่อนำสาหร่ายอบแห้งที่ผ่านการลวกด้วยสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนตมาคืนรูป ผลจากความเข้มข้นภายในเซลล์ของสาหร่ายที่ผ่านการลวกด้วยสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนตที่มากกว่าตัวอย่างสาหร่ายอื่นๆ ทำให้มีความแตกต่างของความเข้มข้นของสารภายในเซลล์กับน้ำที่ใช้คืนรูปมากกว่า ส่งผลให้เกิดการแพร่ของน้ำเข้าสู่เซลล์อย่างรวดเร็ว [6] แต่อย่างไรก็ตาม อัตราส่วนการดูดน้ำกลับของสาหร่ายที่ผ่านการลวกในสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนตไม่แตกต่างจากการลวกในน้ำมากนัก ทั้งนี้ เนื่องจากความร้อนจากการลวกยังมีผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างที่ควบคุมขนาดช่องเปิดของเซลล์ส่งผลให้เกิดการถ่ายโอนมวลสารได้มากขึ้นเมื่อเทียบกับการไม่ลวก ถึงแม้จะเป็นการลวกด้วยน้ำก็ตาม [12]

เมื่อพิจารณาค่าสีของสาหร่ายพวงองุ่นคืนรูปที่ผ่านการลวกในสภาวะต่างๆ ดังตารางที่ 1 พบว่า สาหร่ายที่ผ่านการลวกที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ทั้ง 2 ตัวอย่าง มีค่าความเป็นสีเขียว (–a*) สูงกว่าสาหร่ายพวงองุ่นสด สาหร่ายพวงองุ่นสดอบแห้ง (ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้น) และสาหร่ายพวงองุ่นที่แช่ในสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ทั้งนี้ เนื่องจากการลวกที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำงานของเอนไซม์คลอโรฟิลเลส ซึ่งอยู่ในช่วง 60–82.2 องศาเซลเซียส เอนไซม์ชนิดนี้เร่งให้เกิดการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ โดยเอนไซม์คลอโรฟิลเลสเร่งให้หมู่ไฟตอลแตกตัวออกจากคลอโรฟิลล์เปลี่ยนไปเป็นคลอโรฟิลไลด์ที่มีสีเขียวสด และละลายน้ำได้ดีกว่าคลอโรฟิลล์ [3] ในขณะที่สารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนตซึ่งเป็นเกลือ

ของด่างนั้นมีผลต่อการยับยั้งการเกิดฟีโอไฟตินที่จะส่งผลให้สีเขียวของสาหร่ายเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลจึงส่งผลให้ค่าความเป็นสีเขียวของสาหร่ายพวงองุ่นที่แช่และลวกในสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนตมีค่าสูงเช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตาม พบว่าสีเขียวของสาหร่ายพวงองุ่นในสภาวะการลวกที่แตกต่างกันจะมีลักษณะเฉดสีที่แตกต่างกันถึงแม้จะมีค่าสีเขียวไม่แตกต่างกันหรือแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติก็ตาม ดังนั้น จึงใช้ค่า Hue Angle ร่วมพิจารณาเพื่อคัดเลือกสภาวะการลวกที่ให้เฉดสีใกล้เคียงกับตัวอย่างสาหร่ายพวงองุ่นสด จากการพิจารณาค่า Hue Angle พบว่า ตัวอย่างที่ผ่านการลวกในน้ำอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส มีค่า Hue Angle 105.29 ใกล้เคียงกับตัวอย่างสด ที่มีค่า Hue Angle 102.19 นั่นแสดงให้เห็นว่า สาหร่ายพวงองุ่นที่ลวกในน้ำอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส มีเฉดสีใกล้เคียงกับสาหร่ายพวงองุ่นสดมากกว่าตัวอย่างอื่นๆ

จากผลการทดลองดังกล่าว จึงเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมขั้นต้น คือ การลวกในน้ำอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เวลา 1 นาที ซึ่งทำให้ได้สาหร่ายพวงองุ่นคืนรูปที่มีสีเขียวใกล้เคียงกับสาหร่ายพวงองุ่นสด และมีอัตราส่วนการดูดน้ำกลับสูงไม่แตกต่างจากการลวกในสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนต

ตารางที่ 1 ค่าสีของสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งภายหลังการคืนรูป

การเตรียมขั้นต้น	L*	a*	b*	Hue
สาหร่ายสด	24.15± 1.12^{ab}	−2.97± 0.15^{a}	13.79± 0.98^{b}	102.19
สาหร่ายสดอบแห้ง	25.52± 1.52^{a}	−2.50± 0.09^{a}	15.24± 1.16^{ab}	99.32
ลวกในน้ำ	22.31± 0.47^{b}	−6.54± 0.38^{c}	15.74± 0.29^{a}	105.29
ลวกในสารละลาย	23.10± 0.35^{ab}	−6.51± 0.20^{c}	16.90± 0.19^{a}	111.07
แช่ในสารละลาย	25.14± 0.49^{a}	−4.10± 0.09^{b}	15.03± 0.22^{ab}	112.56

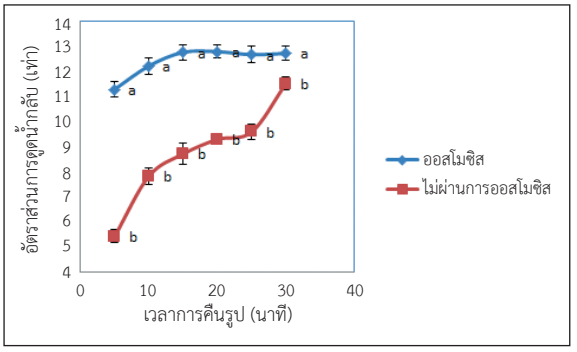
$^{a\ b\ c,\ldots}$ ในแนวคอลัมน์เดียวกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

3.2 ผลของการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิสต่อคุณภาพของสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้ง

การใช้การออสโมซิสด้วยสารละลายน้ำตาลและเกลือเพื่อดึงน้ำออกบางส่วน จะช่วยลดเวลาในการอบแห้ง และลดเวลาที่สาหร่ายสัมผัสกับอุณหภูมิสูง จึงช่วยให้การเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้าง และการหดตัวของสาหร่ายพวงองุ่นลดน้อยลง อีกทั้งการที่โมเลกุลของน้ำตาลและเกลือแพร่เข้าไปในเซลล์ของสาหร่ายยังช่วยคงรูปร่างและช่วยลดค่า aw ทำให้ผลิตภัณฑ์ภายหลังการอบแห้งมีการหดตัวน้อย จึงสามารถคืนรูปได้เร็ว และช่วยลดการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์ได้ จากการวิเคราะห์ค่าการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิส ได้แก่ ปริมาณน้ำที่สูญเสีย และปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นเพื่อกำหนดเวลาที่เหมาะสมในการออสโมซิสสาหร่ายพวงองุ่นพบว่า สาหร่ายพวงองุ่นมีการสูญเสียน้ำอย่างรวดเร็วในช่วง 5 นาทีแรกของการออสโมซิส และเริ่มคงที่ที่ 30 นาทีเป็นต้นไป เช่นเดียวกับปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นที่มีปริมาณสูงสุดภายหลังการออสโมซิสเป็นเวลา 30 นาที เช่นกัน (ไม่ได้แสดงกราฟไว้) ดังนั้น จึงกำหนดเวลาในการออสโมซิสสาหร่ายพวงองุ่นก่อนทำการอบแห้งเป็นเวลา 30 นาที

เมื่อนำสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการออสโมซิสไปทำการอบแห้ง และวิเคราะห์คุณสมบัติด้านการคืนรูปเปรียบเทียบกับตัวอย่างสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิส ผลการทดลองในรูปที่ 2 พบว่า สาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งที่ผ่านการออสโมซิสมีอัตราส่วนการดูดน้ำกลับสูงกว่าสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิสตลอดระยะเวลาของการคืนรูป ทั้งนี้เนื่องจากการออสโมซิสทำให้ภายในเซลล์มีความเข้มข้นของของแข็งภายในเซลล์ ได้แก่ น้ำตาลและเกลือที่แพร่เข้ามาระหว่างการออสโมซิสสูงมาก เมื่อนำไปคืนรูปในน้ำ ความแตกต่างของความเข้มข้นภายในเซลล์และภายนอกเซลล์สาหร่าย ส่งผลให้เกิดการแพร่ของน้ำเข้าสู่เซลล์อย่างรวดเร็ว [6]

จากผลการวิเคราะห์ค่าสีภายหลังการคืนรูปของสาหร่ายพวงองุ่นสด สาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิส และสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งที่ผ่านการออสโมซิส ดังตารางที่ 2 พบว่า ค่า L* ของสาหร่ายพวงองุ่นสด และ



รูปที่ 2 อัตราส่วนการดูดน้ำกลับของสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งที่ผ่านการออสโมซิสและไม่ผ่านการออสโมซิส

สาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการออสโมซิส ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) และมีค่าสูงกว่าสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิส เนื่องจากน้ำตาลและเกลือที่แพร่เข้าไปในเซลล์ของสาหร่ายทำให้เซลล์มีความคงรูปและคืนรูปกลับมาได้ใกล้เคียงกับสาหร่ายสด นอกจากนั้นผลึกของน้ำตาลภายในเซลล์ยังมีผลให้เกิดการกระจายแสงมากขึ้น ส่งผลให้สาหร่ายมีค่าความสว่างสูง [13] สำหรับค่า a* และ b* พบว่า สาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งที่ผ่านการออสโมซิสมีความเป็นสีเขียว (–a*) และความเป็นสีเหลืองสูงกว่าตัวอย่างอื่นๆ เนื่องจากการออสโมซิสก่อนการอบแห้งเป็นการกำจัดน้ำออกไปจากเซลล์บางส่วนจึงช่วยลดเวลาของการอบแห้งลง ซึ่งในการอบแห้งพบว่า ตัวอย่างที่ไม่ผ่านการออสโมซิสต้องใช้เวลาในการอบแห้งนานถึง 30 นาที ในขณะที่การออสโมซิสสามารถลดเวลาในการอบแห้งลงเหลือเพียง 10 นาที จึงทำให้คลอโรฟิลล์ที่เป็นรงควัตถุที่ให้สีเขียวภายในเซลล์เกิดการสลายตัวจากปฏิกิริยา Pheophytinization ทำให้แมกนีเซียมไอออนถูกแทนที่ด้วยไฮโดรเจนอะตอมเปลี่ยนเป็นฟีโอไฟติน [13] น้อยกว่าสาหร่ายอบแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิสที่ต้องสัมผัสกับความร้อนเป็นเวลานาน จึงสามารถรักษาความเป็นสีเขียวของผลิตภัณฑ์ภายหลังการอบแห้งและคืนรูปไว้ได้

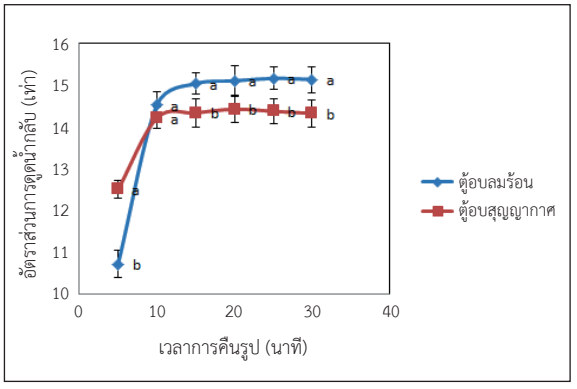
ค่าความแน่นเนื้อเป็นค่าที่แสดงถึงความแข็งหรือความอ่อนนุ่มของเนื้อสัมผัสอาหาร จากตารางที่ 2 พบว่า สาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งที่ผ่านการออสโมซิสมีค่าความแน่นเนื้อภายหลังการคืนรูปใกล้เคียงกับสาหร่ายพวงองุ่นสด เนื่องจากสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการออสโมซิสมีโครงสร้างของเซลล์ที่แข็งแรงจากการเกิด Case Hardening ของน้ำตาลและเกลือในระหว่างการอบแห้งทำให้เซลล์คงรูป และสามารถดูดน้ำกลับสู่เซลล์ได้มากจากความแตกต่างของความเข้มข้นภายในเซลล์และภายนอกเซลล์ ทำให้สาหร่ายคืนตัวกลับมาได้ใกล้เคียงกันกับสาหร่ายพวงองุ่นสด ในขณะที่สาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิสนั้นเมื่อผ่านการลวกอาจสูญเสียลักษณะเนื้อสัมผัสจากการเกิดเจลของสารหมู่คาร์โบไฮเดรต การตกผลึกของเซลลูโลส และเมื่อนำมาแปรรูปด้วยการทำแห้งการเปลี่ยนแปลงความชื้นระหว่างการทำแห้งทำให้ส่วนต่างๆ ของสาหร่ายเกิดความเครียดภายในปัจจัยเหล่านี้จะทำให้เซลล์เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ มีการหดตัวและเสียรูปร่าง [6], [14] เมื่อคืนรูปกลับมาจึงไม่สามารถคงสภาพของเซลล์ให้มีลักษณะคล้ายสาหร่ายสดได้

ดังนั้น การออสโมซิสสาหร่ายพวงองุ่นก่อนการอบแห้งจึงเป็นวิธีการที่สามารถช่วยให้สาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งใช้เวลาในการคืนรูปน้อยลง สามารถรักษาสีเขียวของสาหร่ายไว้ได้ มีค่าความแน่นเนื้อใกล้เคียงกับสาหร่ายพวงองุ่นสด และมีลักษณะของเม็ดและช่องสาหร่ายที่สมบูรณ์ จึงเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมสาหร่ายพวงองุ่นสำหรับใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

ตารางที่ 2 ค่าสีและความแน่นเนื้อภายหลังการคืนรูปของสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งที่ไม่ผ่าน และผ่านการออสโมซิส

การเตรียมขั้นต้น	L*	a*	b*	ความแน่นเนื้อ (N)
สาหร่ายพวงองุ่นสด	27.91± 0.93^{a}	-5.30± 0.28^{a}	13.72± 0.30^{c}	116.67± 0.97^{c}
ไม่ผ่านการออสโมซิส	23.02± 0.25^{b}	-8.95± 0.38^{b}	15.53± 0.13^{b}	382.66± 0.83^{a}
ผ่านการออสโมซิส	26.71± 0.14^{a}	-10.92± 0.11^{c}	18.97± 0.16^{a}	174.65± 0.65^{b}

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



รูปที่ 3 อัตราส่วนการดูดน้ำกลับของสาหร่ายพวงองุ่นที่อบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนและตู้อบสุญญากาศ

3.3 ผลของวิธีการอบแห้งสาหร่ายพวงองุ่นต่อคุณภาพของสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้ง

ปริมาณความชื้นในอาหารมีความสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติต่างๆ ของอาหาร เพราะน้ำเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและชีวเคมี [13] เพื่อลดการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว และช่วยยืดอายุการเก็บจึงมีการลดความชื้นของอาหารลงโดยการแปรรูปอาหารให้เป็นอาหารอบแห้ง จากการวิเคราะห์คุณภาพด้านการคืนรูปของสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการอบแห้ง 2 วิธี ได้แก่ การอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนและการอบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศ ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 3

จากรูปที่ 3 แสดงให้เห็นว่าถึงแม้ใน 5 นาทีแรก สาหร่ายพวงองุ่นที่อบแห้งด้วยตู้สุญญากาศอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความดัน 46 เซนติเมตรปรอท จะมีอัตราส่วนการดูดน้ำกลับที่สูงกว่าการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส แต่เมื่อใช้เวลาในการคืนรูปนานขึ้น สาหร่ายพวงองุ่นที่อบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนกลับมีอัตราส่วนการดูดน้ำกลับที่สูงกว่า เนื่องจากเมื่อตัวอย่างอาหารผ่านการทำแห้งด้วยอุณหภูมิสูงนั้น โครงสร้างเซลล์บริเวณผิวภายนอกของผลิตภัณฑ์จะแข็งอย่างรวดเร็ว เมื่อขอบเขตของการทำแห้งเคลื่อนย้ายเข้าสู่บริเวณใจกลางของชิ้นอาหาร การหดตัวของชิ้นอาหารภายในจะก่อให้เกิดการแตกแยกที่ผิวเกิดเป็นรอยปริเล็กๆ มากมาย ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีความหนาแน่นต่ำทำให้การดูดน้ำกลับคืนเพื่อให้กลับสู่สภาพเดิมได้มาก [8] ส่วนการทำแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศมีสัดส่วนการดูดน้ำกลับต่ำกว่า เพราะการใช้สภาวะสุญญากาศเป็นการลดความดันอากาศลง มีผลทำให้เซลล์ยุบตัวลง [10] เนื้อเยื่อมีโอกาสเกิดการซ้อนทับกันจึงไม่เอื้อต่อการแพร่ของน้ำเข้าสู่เซลล์ ทั้งนี้อาจเกิดจากการที่ใช้เวลาอบแห้งนาน ทำให้เซลล์เกิดความเสียหายจากการรับความร้อนที่นานเกินไป เป็นผลทำให้การดูดน้ำกลับเกิดได้เร็วในช่วงแรกเพราะน้ำสามารถซึมผ่านเซลล์ที่เสียหายเข้าไปได้เร็วกว่า แต่เซลล์ที่เกิดการเสียหายนั้นก็ไม่อาจกักเก็บน้ำไว้ได้มากเท่าที่ควรเพราะมีรอยแตกหรือรอยเปิดของเซลล์มากเกินไปจึงทำให้สัดส่วนของการดูดน้ำกลับต่ำกว่าเมื่อเทียบกับการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน

เมื่อพิจารณาค่าสีของสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งทั้ง 2 วิธี ผลการทดลองในตารางที่ 3 พบว่า ค่า L* และ b* ของสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งทั้ง 2 วิธี ไม่แตกต่างกับสาหร่ายพวงองุ่นสดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) แต่พบว่าสาหร่ายพวงองุ่นที่อบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนมีค่า a* ต่ำที่สุด นั่นคือ มีความเป็นสีเขียวสูงกว่าสาหร่ายพวงองุ่นสด และสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศ ทั้งนี้ เนื่องจากการอบด้วยตู้อบลมร้อนใช้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์คลอโรฟิลเลสที่มีช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 60–82.2 องศาเซลเซียส เอนไซม์นี้จะเปลี่ยนคลอโรฟิลล์ซึ่งมีสีเขียวไปเป็นคลอโรฟิลล์ไลด์จึงทำให้สาหร่ายพวงองุ่นที่อบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนมีสีเขียวสดขึ้น [3] ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยที่พบว่า ใบขลู่ผงที่ผ่านการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์คลอโรฟีเลสมีค่าความเป็นสีเขียวสูงกว่าการอบด้วยตู้อบสุญญากาศ [15]

จากตารางที่ 3 เมื่อพิจารณาค่าความแน่นเนื้อของสาหร่ายพวงองุ่นภายหลังการคืนรูปพบว่า สาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการอบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศมีค่าความแน่นเนื้อสูงกว่าสาหร่ายที่อบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนและสาหร่ายสด เนื่องจากการอบด้วยสภาวะสุญญากาศใช้ระยะเวลาในการทำแห้งนาน ทำให้ตัวอย่างสัมผัสกับความร้อนนานเกินไป

ส่งผลให้โครงสร้างของเซลล์ถูกทำลาย และสภาวะสุญญากาศเป็นการลดความดันอากาศลงทำให้โครงสร้างภายในเซลล์ถูกบีบอัดยุบตัวลงและอากาศในช่องระหว่างเซลล์อาจถูกดูดออกมาด้วย เนื้อเยื่อจึงมีโอกาสเกิดการซ้อนทับกันไม่เอื้อต่อการแพร่ของน้ำเข้าสู่เซลล์ [16], [17] ทำให้คืนรูปกลับมาได้น้อย ผลที่ได้สอดคล้องกับอัตราส่วนการดูดน้ำกลับที่พบว่า สาหร่ายพวงองุ่นที่อบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศมีสัดส่วนการดูดน้ำกลับต่ำกว่าสาหร่ายพวงองุ่นที่อบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนจึงส่งผลให้ค่าความแน่นเนื้อสูงตามไปด้วย ในขณะที่สาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ใช้เวลาในการอบสั้นกว่า จึงทำให้ตัวอย่างสัมผัสกับความร้อนได้น้อยกว่าโครงสร้างของเซลล์จึงไม่ถูกทำลายมาก และสามารถดูดน้ำกลับคืนและอุ้มน้ำไว้ภายในเซลล์ได้มากกว่าและใกล้เคียงกับสาหร่ายพวงองุ่นสด ส่งผลให้มีค่าความแน่นเนื้อใกล้เคียงกับสาหร่ายพวงองุ่นสด

จากผลการทดลองข้างต้น วิธีการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนจึงเป็นวิธีการอบแห้งที่เหมาะสมต่อการแปรรูปสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้ง เพราะจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์สาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งที่สามารถคืนรูปได้ดี มีความแน่นเนื้อใกล้เคียงกับสาหร่ายพวงองุ่นสด

ตารางที่ 3 ค่าสีและความแน่นเนื้อภายหลังการคืนรูปของสาหร่ายพวงองุ่นสดและอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนและตู้อบสุญญากาศ

วิธีการอบแห้ง	L*	a*	b*	ความแน่นเนื้อ (N)
สาหร่ายพวงองุ่นสด	24.18± 0.93^{a}	-5.30± 0.28^{a}	13.22± 0.30^{ab}	116.67± 0.97^{c}
ตู้อบลมร้อน	24.82± 0.36^{a}	-9.90± 0.14^{b}	14.06± 0.31^{a}	167± 18.67^{b}
ตู้อบสุญญากาศ	25.46± 0.30^{a}	-6.54± 0.75^{a}	12.53± 0.55^{b}	229.58± 23.26^{a}

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

4. สรุป

สาหร่ายพวงองุ่นมีคุณค่าทางโภชนาการสูง แต่มีอายุการเก็บรักษาภายหลังการเก็บเกี่ยวสั้น จึงมีความจำเป็นในการพัฒนากรรมวิธีการแปรรูปเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา ซึ่งวิธีการที่เหมาะสมในการแปรรูปเป็นสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้ง ได้แก่ การลวกสาหร่ายพวงองุ่นในน้ำอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที ตามด้วยการออสโมซิสในสารละลายผสมระหว่างน้ำตาลทราย 40 เปอร์เซ็นต์ และโซเดียมคลอไรด์ 10 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 30 นาที แล้วอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ข้อเสนอแนะสำหรับการต่อยอดงานวิจัย ควรมีการศึกษาอายุการเก็บและบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษาเพื่อให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้สามารถนำไปใช้ในการผลิตเพื่อจำหน่ายได้จริง

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2562 มหาวิทยาลัยบูรพา ผ่านสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ

เอกสารอ้างอิง

[1] S. Tunsuwan, M. Tamtin, and S. Saehou. (2012). *Green Caviar*. Department of Fisheries Ministry of Agriculture and Cooperatives. Bangkok, Thailand [Online]. Available: http://www.fisheries.go.th

[2] S. Munlum, “The development of playor (White fish sausage) production mixed with green caviars,” *Dusit Thani College Journal*, vol. 11, no. 2, pp. 17–30, 2017 (in Thai).

[3] P. Meesirisuk, *Thai Cuisine from Edible Flowers for Transferring to the Public*. Chon Buri: Rajamangala University of Technology Tawan-ok Publishing, 2010 (in Thai).

[4] S. Phoungchandang, *Food Drying Technology*. Khon Kaen: Khon Kaen University Publishing,

2012 (in Thai).

[5] W. Yuenyongputtakal and P. Noyphan, "Development of intermediate moisture ginger product enriched with physiologically active compounds from Gac fruit (*Momordica cochinchinensis spreng*) Aril using osmotic dehydration combined with drying," Research Report, Department of Food Science, Faculty of Science, Burapha University, 2016 (in Thai).

[6] V. Rungsardthong, *Fruit and Vegetable Processing Technology*. Bangkok: KMUTNB Textbook Publishing Center, 2009 (in Thai).

[7] R. Ngamchum, "Development of intermediate moisture carunda fruit product using osmotic dehydration combined with vacuum drying," B.Sc. research project, Department of Food Science, Faculty of Science, Burapha University, 2004 (in Thai).

[8] P. Tapbuntom and S. Chinnasarn, "Effects of one-step and two-step dryings on quality of kaffir lime leaves and lemon grass trunks," *Agricultural Science Journal*, vol. 38, no. 6, pp. 135–138, 2007 (in Thai).

[9] A. Mohammadi, S. Rafiee, Z. Emam-Djomeh, and A, Keyhani, "Kinetic medels for colour changes in kiwifruit slices during hot air drying," *World Journal of Agricultural Sciences*, vol. 4, no. 3, pp. 376–383, 2008.

[10] D. Thimthong and W. Bangsri, "Production of dried sea lettuce (Ulva rigida) as a health snack for school children," B.Sc. research project, Department of Food Science, Faculty of Science, Burapha University, 2012 (in Thai).

[11] M. S. Rahman and J. Lamb, "Osmotic dehydration of pineapple," *Journal of Food Science and Technology*, vol. 27, no. 3, pp. 150–152, 1990.

[12] A. I. Varnalis, J. G. Brennan, and D. B. MacDougall, "Proposed mechanism of high temperature puffing of potato. Part II. Influence of blanching and initial drying on the permeability of the partially dried layer to water vapour," *Journal of Food Engineering*, vol. 48, no. 4, pp. 369–378, 2001.

[13] N. Rattanapanone, *Food Chemistry*. Bangkok: Odian Store, 2006 (in Thai).

[14] K. Chanshotikul, "Study of processing and modeling of kaprao leaves drying," M.S. thesis, Department of Food Technology, Faculty of Technology, Khon Kaen University, 2002 (in Thai).

[15] S. Chinnasarn, W. Yuenyongputtakal, and N. Krasaechol, "Effect of pretreatment and drying method on quality of Indian marsh fleabane powder product," *Agricultural Science Journal*, vol. 45, no. 2, pp. 101–104, 2014 (in Thai).

[16] A. Derossi, T. D. Pilli, and C. Severini, "Reduction in the pH of vegetables by vacuum impregnation: A study on pepper," *Journal of Food Engineering*, vol. 99, no. 1, pp. 9–15, 2010.

[17] M. Chafer, C. Gonzalez Martinez, B. Fernandez, L. Perez, and A. Chiralt, "Effect of blanching and vacuum pulse application on osmotic dehydration of pear," *Food Science and Technology International*, vol. 9, no. 5 pp. 321–328, 2003.