วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มรย.
YRU Journal of Science and Technology
ISSN : 2539-5688

อุณหภูมิที่เหมาะสมและสภาวะการเตรียมขั้นต้นร่วมต่อคุณภาพของสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้ง
Suitable Temperature and Combined Pretreatment Methods on Quality of *Caulerpa Lentillifera*

น้ำฝน ไทยวงษ์[1] สุพิชชา คงอินทร์[2] อมรรัตน์ อังอัจฉริยะ[2] และนัฏฐา คเชนทร์ภักดี[2*]
Numphon Thaiwong[1], Supitcha Kongin[2], Amornrat Angajchariya[2] and Natta Kachenpukdee[2*]

[1]สาขาเทคโนโลยีการเกษตรและสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000
[2]สาขาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์ประมง คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
อำเภอสิเกา จังหวัดตรัง 92150
[1]Agricultural Technology and Environment Department, Faculty of Sciences and Liberal Arts,
Rajamangala University of Technology Isan, Muang, Nakhon Ratchasima 30000, Thailand
[2]Aquaculture and Fishery Product Department, Faculty of Science and Fisheries Technology,
Rajamangala University of technology Srivijaya, Sikao, Trang 92150, Thailand
*Corresponding author, e-mail: n.kachenpukdee@yahoo.com
(Received: Feb 22, 2021; Revised: May 29, 2021; Accepted: Jun 14, 2021)

บทคัดย่อ

สาหร่ายพวงองุ่นเป็นสาหร่ายที่มีคุณค่าทางอาหารสูงจึงได้รับการส่งเสริมเพาะเลี้ยงเชิงพาณิชย์ อย่างไรก็ตาม สาหร่ายพวงองุ่นสดมีอายุหลังการเก็บเกี่ยวสั้น การพัฒนาผลิตภัณฑ์สาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งพร้อมรับประทานจึงมีความจำเป็นในการยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ เพื่อเพิ่มช่องทางในการจำหน่ายผลิตภัณฑ์ และเพิ่มโอกาสให้ผู้บริโภคสามารถรับประทานได้สะดวกขึ้น การพัฒนาผลิตภัณฑ์นี้ศึกษาอุณหภูมิอบแห้งที่ 40, 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส และศึกษาวิธีการเตรียมขั้นต้นก่อนการอบแห้งที่มีผลกระทบต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ การเตรียมขั้นต้นแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ ลวก และไม่ลวก แต่ละกลุ่มแช่ตัวอย่างด้วยกรดซิตริกร้อยละ 0.5 หรือแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0.5 ผลการศึกษาพบว่า ค่า a_w ของทุกตัวอย่างต่ำกว่า 0.45 ตั้งแต่เวลา 150 นาที ตัวอย่างอบแห้งที่ 50 และ 60 องศาเซลเซียส มีค่าการคืนตัวใกล้เคียงกันสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้ง คือ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 180 นาที จากการเตรียมขั้นต้น พบว่า ตัวอย่างที่แช่ด้วยกรดซิตริกหรือแคลเซียมคลอไรด์มีค่าความชื้นมากกว่าตัวอย่างอื่น ($p<0.05$) อย่างไรก็ตาม การแช่สาหร่ายพวงองุ่นด้วยกรดซิตริกส่งผลให้สีของผลิตภัณฑ์มีค่าลดลงมากกว่าตัวอย่างอื่น จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสตัวอย่างทุกตัวอย่างได้รับคะแนนความชอบในระดับปานกลางถึงมากทุกคุณลักษณะ ดังนั้น การพัฒนาผลิตภัณฑ์สาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งนี้มีขั้นตอนการผลิตโดยใช้วิธีการลวกหรือไม่ลวกตัวอย่างร่วมกับการแช่แคลเซียมคลอไรด์ และอบแห้ง 50 องศาเซลเซียส เวลา 180 นาที ข้อค้นพบนี้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนากระบวนการผลิตสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งพร้อมรับประทานเพื่อต่อยอดในเชิงพาณิชย์ได้

คำสำคัญ : สาหร่ายพวงองุ่น การอบแห้ง การเตรียมขั้นต้น การคืนตัว

Abstract

C. lentillifera is the seaweed that has high nutritional value, and it has been promoted to commercial culture. However, fresh *C. lentillifera* was a short shelf-life after harvesting. The product development of the ready-to-eat dried *C. lentillifera* was necessary for extending the product shelf life to increase product distribution and opportunities for consumer convenience. This product development studied the drying temperature at 40, 50, 60, and 70°C and the effects of pretreatment on product quality. The pretreatment methods were in two groups: blanching and non-blanching, which sample in each group was soaked in 0.5% citric acid or 0.5% calcium chloride. The result showed that the a_w in all samples showed lower than 0.45 since 150 min. The swelling capacity of dried samples at 50 °C and 60°C had similar values. Then, the suitable condition of dried *C. lentillifera* was at 50°C for 180 min.

The influence of pretreatment for drying *C. lentillifera* indicated that the use of citric acid or calcium chloride provided a higher moisture content than the other samples ($p<0.05$). However, soaked *C. lentillifera* in citric acid affected the product color, which more decreasing of color value than other samples. The sensory evaluation resulted that all samples' sensory attributes showed the range of like moderately to like very much. Thus, the process of dried *C. lentillifera* in this research produce by blanching or non-blanching combined with calcium chloride soaking as a pretreatment method and drying at 50°C for 180 min. This finding could be used as a guideline for developing ready-to-eat dried *C. lentillifera* for further commercialization.

Keywords: *C. lentillifera*, Drying, Pretreatment methods, Swelling capacity

บทนำ

สาหร่ายพวงองุ่น (*C. lentilifer*) หรือ Sea grapes เป็นสาหร่ายทะเลสีเขียวที่เจริญในพื้นที่เขตร้อนแถบมหาสมุทรอินเดียและแปซิฟิก ในประเทศไทยพบมากบริเวณทะเลอ่าวไทยฝั่งตะวันออก และเจริญแพร่ขยายในฝั่งอันดามันและอ่าวไทยตอนบน (Coastal Aquaculture Research and Development Division, 2017, p. 2) เนื่องจากสาหร่ายพวงองุ่นที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง และมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ทั้งนี้ Syamsuddin *et al.* (2019, p. 2) ได้ทบทวนประโยชน์ของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีในสาหร่ายพวงองุ่น ซึ่งเป็นสารที่อยู่ในกลุ่มสารประกอบฟีนอล มีบทบาทสำคัญต่อกลไกการต้านออกซิเดชันภายในร่างกายมนุษย์หรือสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนม และมีสารกลุ่มพอลิแซคคาไรด์และโอลิโกแซคคาไรด์ซึ่งมีฤทธิ์ต้านการแข็งตัวของเลือด ให้ผลดีต่อระบบภูมิคุ้มกัน และมีฤทธิ์ป้องกันมะเร็ง ผู้บริโภคบางกลุ่มบริโภคสาหร่ายพวงองุ่นเพื่อใช้เป็นโภชนเภสัช ปัจจุบันสาหร่ายพวงองุ่นได้รับการส่งเสริมจากกรมประมงให้มีการเพาะเลี้ยงเชิงพาณิชย์ เพราะเป็นที่นิยมของผู้บริโภค เพาะเลี้ยงง่าย และความต้องการภายในประเทศมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามสาหร่ายพวงองุ่นมีอายุหลังการเก็บเกี่ยวสั้น โดยคงความสดได้ 10-12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง (Yuenyongputtakal & Worasingh, 2016, p. 14) การอบแห้งจึงเป็นวิธีที่นำมาใช้ในการยืดอายุการเก็บรักษาสาหร่ายพวงองุ่นให้นานขึ้น และสร้างความหลากหลายให้แก่ผลิตภัณฑ์ การอบแห้งเป็นกระบวนการที่ใช้พลังงานและเวลาในการแปรรูปมาก ทำให้มีการนำวิธีการเตรียมขั้นต้นวัตถุดิบมาใช้ร่วมด้วย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการอบแห้ง ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ และปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้าย การเตรียมขั้นต้นมีหลากหลายวิธี เช่น การลวก การแช่ในสารละลายต่าง ๆ เช่น แคลเซียมคลอไรด์ กรดแอสคอร์บิก กรดซิตริก และแป้งเจลาติไนซ์ เป็นต้น (Deng *et al.*, 2017, p. 1) งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาอุณหภูมิและการเตรียมขั้นต้นก่อนการอบแห้งจึงมีหลากหลาย โดยเฉพาะการลวกเป็นวิธีที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง การลวกมีวัตถุประสงค์เพื่อรักษาสีของผลิตภัณฑ์ และเพิ่มอัตราการอบแห้ง (Deng *et al.*, 2017, p. 2) ยกตัวอย่างการศึกษาเกี่ยวกับสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้ง เช่น Anantpinijwatna *et al.* (2018, p. 2) ศึกษาแบบจำลองทางจลนพลศาสตร์และผลกระทบของอุณหภูมิในการอบแห้งสาหร่ายพวงองุ่น และ Chinnasarn & Krasaechol (2020, p. 668) ศึกษาการผลิตสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งคืนรูปเร็ว ที่เตรียมขั้นต้นด้วยการลวกน้ำ และ ลวก/แช่ในสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนต และอบแห้งด้วยวิธีต่างกัน โดยทั่วไปการอบแห้งผักและผลไม้นิยมใช้แคลเซียมคลอไรด์และกรดซิตริกในการเตรียมขั้นต้น แต่ไม่พบการใช้สารดังกล่าวการเตรียมขั้นต้นสาหร่ายอบแห้ง มีเพียงรายงานการใช้แคลเซียมคลอไรด์และกรดซิตริกในการรักษาปริมาณซี-ไฟโคไซยานิน (C-phycocyanin) จากสาหร่ายเกลียวทอง (*Spirulina platensis*) ในสารละลาย (Mishra *et al.*, 2008, p. 339) เนื่องจากสาหร่ายพวงองุ่นเป็นสาหร่ายสีเขียวเซลล์เดียว ผนังเซลล์ของสาหร่ายสีเขียวมีพอลิเมอร์คล้ายกับพืชบก (Domozych *et al.*, 2012, p. 1) จึงมีความเป็นไปได้ในการใช้กรดซิตริกหรือแคลเซียมคลอไรด์ในการเตรียมขั้นต้นก่อนการอบแห้ง งานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งสาหร่ายพวงองุ่นโดยพิจารณาจากอัตราส่วนความชื้น ค่า a_w และการคืนตัวของผลิตภัณฑ์เมื่อได้อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสม จึงใช้สภาวะดังกล่าวในการศึกษาผลกระทบจากการเตรียมขั้นต้นก่อนการอบแห้งร่วม (Combined method) จากวิธีการลวก การแช่ในกรดซิตริกหรือแคลเซียมคลอไรด์

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์สาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งพร้อมรับประทาน โดยศึกษาจากอุณหภูมิอบแห้งที่ 40, 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส และศึกษาวิธีการเตรียมขั้นต้นก่อนการอบแห้งที่มีผลกระทบต่อสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้ง โดยแบ่งการเตรียมขั้นต้นออกเป็น 2 กลุ่ม คือ ลวก และไม่ลวก แต่ละกลุ่มแช่ตัวอย่างด้วยกรดซิตริกเข้มข้นร้อยละ 0.5 หรือแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 0.5 ทำการอบแห้งตัวอย่างที่เตรียมขั้นต้นด้วยสภาวะที่เหมาะสมจากการศึกษาอุณหภูมิในขั้นต้น

วิธีดำเนินการวิจัย

1) การเตรียมตัวอย่าง

สาหร่ายพวงองุ่นในงานวิจัยเป็นสาหร่ายที่เจริญในพื้นที่จังหวัดตรัง ล้างสาหร่ายพวงองุ่นด้วยน้ำสะอาด 2 ครั้ง เลือกตัวอย่างที่มีความสมบูรณ์ ไม่ฉีกขาด เก็บตัวอย่างในภาชนะปิดสนิทที่บรรจุน้ำทะเล โดยให้ปริมาณน้ำทะเลท่วมตัวอย่าง และเก็บที่อุณหภูมิประมาณ 25 องศาเซลเซียส

2) การวิเคราะห์ความชื้นและอัตราส่วนความชื้น และการคืนตัวของสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้ง

ชั่งสาหร่ายพวงองุ่น 500 กรัม (ความชื้นเริ่มต้นของสาหร่ายพวงองุ่นร้อยละ 85-90) อบแห้งด้วยเครื่องอบลมร้อน (Tray dryer) ที่ 50 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.0 เมตร/วินาที กำหนดเวลาสุดท้ายในการอบแห้งที่ 240 นาที สุ่มตัวอย่างทุก ๆ 15 นาที ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 0 ถึง 2 จากนั้นสุ่มตัวอย่างทุก ๆ 20 นาที จนครบเวลาสุดท้าย ตามวิธีของ Saniso *et al.* (2013, p. 110) ชั่งและบันทึกน้ำหนักตัวอย่างด้วยเครื่องชั่ง (Sartorius BSA822, Sartorius AG, Germany) และวัดค่า a_w (AQUA LAB CX3, METER Group, Inc. USA) ของตัวอย่างที่ได้จากการสุ่มในแต่ละเวลา

2.1) คำนวณค่าความชื้นฐานเปียก (Dry basis moisture content, MC) จากน้ำหนักที่บันทึก ความชื้นเป็นค่าแสดงปริมาณน้ำที่อยู่ในผลิตภัณฑ์เทียบกับมวลของผลิตภัณฑ์ตามมาตรฐาน AOAC 2005 (Saniso *et al.*, 2013, p. 110) ความชื้นมาตรฐานแห้งคำนวณได้จากสมการที่ (1) ดังนี้

$$MC\ (\%\ d.b) = [(M_t-M_d)/M_d]\times 100 \qquad (1)$$

เมื่อ M_t = น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ ณ เวลาใด ๆ ; M_d = น้ำหนักแห้งของผลิตภัณฑ์

2.2) คำนวณอัตราส่วนความชื้น (Moisture ratio, MR) จากน้ำหนักที่บันทึก อัตราส่วนความชื้นเป็นอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงของน้ำที่อยู่ในผลิตภัณฑ์ขณะเวลาใด ๆ เทียบกับเวลาเริ่มต้น (Saniso *et al.*, 2013, p. 110; Pramuang, 2017, p. 898) อัตราส่วนความชื้นคำนวณได้จากสมการที่ (2) ดังนี้

$$MR\ (\text{Moisture ratio}) = (MC_t-MC_{eq})/(MC_0-MC_{eq}) \qquad (2)$$

เมื่อ MC_t = ความชื้นผลิตภัณฑ์ ณ เวลาใด ๆ ; MC_0 = ความชื้นผลิตภัณฑ์ ณ เวลาเริ่มต้น ; MC_{eq} = ความชื้นสมดุลผลิตภัณฑ์

ความชื้นสมดุล (Moisture equilibrium, MC_{eq}) เป็นค่าบ่งบอกปริมาณน้ำที่หลงเหลือในผลิตภัณฑ์ภายใต้อุณหภูมิต่าง ๆ เป็นสภาวะที่ไม่มีการขับไอน้ำออกมาจากผลิตภัณฑ์จากภาวะสมดุลของความชื้นสัมพัทธ์อากาศรอบ ๆ ผลิตภัณฑ์ ความชื้นสมดุลของผลิตภัณฑ์มีค่าแตกต่างกันในสภาพอากาศที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน (Pramuang, 2017, p. 898) ทั้งนี้ ความชื้นของสาหร่ายพวงองุ่นเริ่มต้นมีค่ามากกว่าค่าความชื้นสมดุลมาก ($MC_0 >> MC_{eq}$) จึงคำนวณอัตราส่วนความชื้นจากสมการใหม่ได้สมการที่ (3) ดังนี้

$$MR\ (\text{Moisture ratio}) = MC_t/MC_0 \qquad (3)$$

2.3) การศึกษาการคืนตัวของสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้ง

ชั่งตัวอย่าง 3 กรัม ใส่ในน้ำสะอาด 100 กรัม อุณหภูมิน้ำ 25 องศาเซลเซียส ต้มที่ 95-100 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่ได้จากการกรองทุก 2 นาที เป็นเวลา 14 นาที กรองตัวอย่างโดยกระดาษกรองเบอร์ 1 ประมาณ 5 นาที คำนวณปริมาณน้ำที่สาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งสามารถดูดซับ (Swelling capacity) ดังสมการที่ 4

ปริมาณน้ำที่สาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งสามารถดูดซับ = น้ำหนักสุดท้าย (กรัม)/น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม) (4)

3) การศึกษาผลกระทบของการเตรียมขั้นต้นต่อลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้ง

วัดความชื้นเริ่มต้นของสาหร่ายพวงองุ่นสดก่อนการทดลอง แบ่งตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่ม คือ ไม่ลวก และลวก (ลวกตัวอย่างในน้ำร้อน 80 องศาเซลเซียส เวลา 1 นาที กำหนดอัตราส่วน ตัวอย่าง : น้ำสะอาดที่ใช้ลวก เท่ากับ 1 : 10 ก่อนแช่สารละลายในขั้นตอนต่อไปให้วางตัวอย่างลวกบนตะแกรง ประมาณ 5 นาที เพื่อทำการสะเด็ดน้ำ) แต่ละกลุ่มแบ่งย่อย

วิธีออกเป็น 3 วิธี ได้แก่ 1) ไม่แช่สารละลาย 2) แช่กรดซิตริกร้อยละ 0.5 เวลา 5 นาที และ 3) แช่แคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0.5 นาน 5 นาที (อัตราส่วน ตัวอย่าง:สารละลายที่ใช้แช่ เท่ากับ 1:2 หลังแช่สารละลายให้ล้างตัวอย่างด้วยน้ำสะอาด 2 ครั้ง ทำให้สะเด็ดน้ำก่อนอบแห้ง 5 นาที) อุณหภูมิและเวลาในการอบแห้งตัวอย่าง คือ 50 องศาเซลเซียส 180 นาที วิเคราะห์คุณภาพทางเคมี (ความชื้น และค่า a_w) และลักษณะทางกายภาพ (ค่าสี ; Hunter Color Flex EZ) ของตัวอย่างที่ได้จากการสุ่ม

4) การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้ง

ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสตัวอย่างจากข้อ 3) ด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9-Point Hedonic Scale) ใช้ผู้ทดสอบชิมที่ผ่านการฝึกฝนทางประสาทสัมผัส 30 คน จากคุณลักษณะ 1) ลักษณะปรากฏ 2) สี 3) กลิ่น 4) รสชาติ และ 5) ความชอบโดยรวม

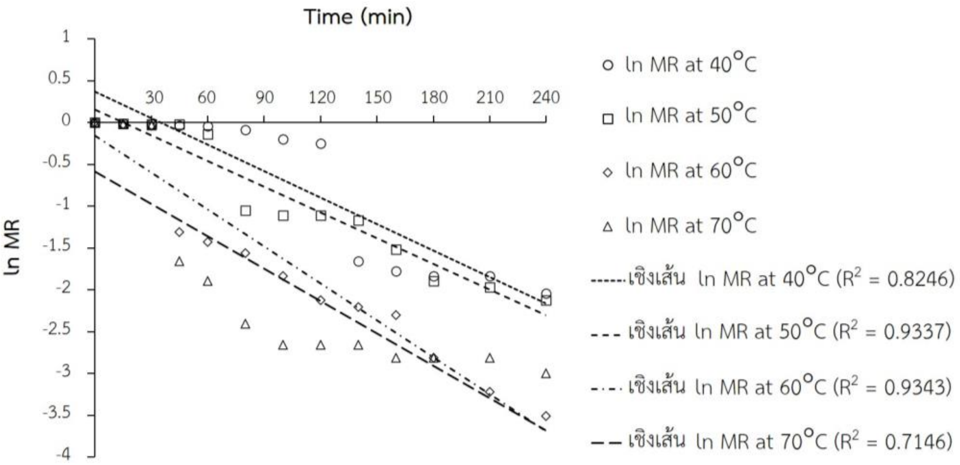
5) การวางแผนการทดลองและวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) วัดค่าหรือวิเคราะห์ผลการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan’s new multiple rang test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS (IBM SPSS Statistics 16)

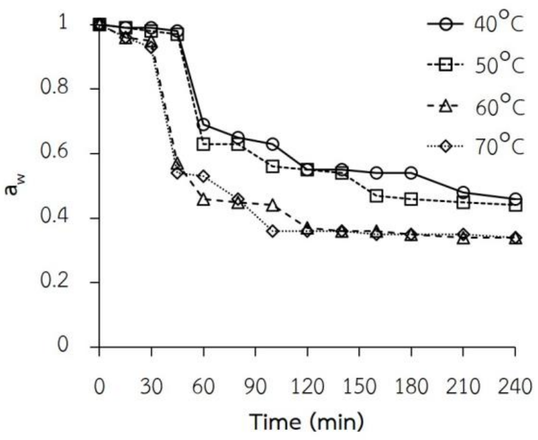
ผลการวิจัย

อุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งสาหร่ายพวงองุ่น

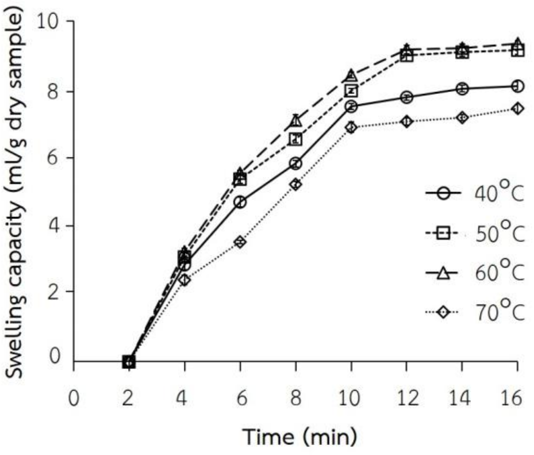
การเปลี่ยนแปลงความชื้นของสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งที่อุณหภูมิ 40, 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส สามารถสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่าลอการิธึมธรรมชาติของอัตราส่วนความชื้นและเวลาของตัวอย่างอบแห้งที่อุณหภูมิต่างกัน ดังภาพที่ 1 แสดงให้เห็นว่า การใช้อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ในการอบแห้งสาหร่ายพวงองุ่นสามารถลดความชื้นได้เร็วกว่าอุณหภูมิ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส จากค่า a_w ของสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้ง (ภาพที่ 2A) พบว่า ค่า a_w ของตัวอย่างทุกอุณหภูมิเริ่มมีค่าคงที่ตั้งแต่เวลาที่ 120 นาที จนกระทั่งถึงเวลาสุดท้าย (240 นาที) โดยที่อุณหภูมิ 40 และ 50 องศาเซลเซียส มีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.44–0.55 และที่อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส มีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.34–0.36 เมื่อพิจารณาการคืนตัวของสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้ง (ภาพที่ 2B) พบว่า ค่าการคืนตัวของตัวอย่างอบแห้งที่ 50 และ 60 องศาเซลเซียส มีค่าใกล้เคียงกันตั้งแต่นาทีที่ 10 ($p \geq 0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 9.12±0.04 และ 9.30±0.06 มิลลิลิตร/ตัวอย่างแห้ง ตามลำดับ ขณะที่ตัวอย่างอบแห้งที่ 40 และ 70 องศาเซลเซียส มีความสามารถในการดูดซับน้ำต่ำกว่าทั้งสองอุณหภูมิ จากการศึกษาอัตราส่วนความชื้น ค่า a_w และการคืนตัวของสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งที่อุณหภูมิ 40, 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส งานวิจัยนี้เลือกใช้อุณหภูมิในการอบแห้งสาหร่ายพวงองุ่นที่ 50 องศาเซลเซียส เวลา 180 นาที ในการศึกษาผลกระทบจากการเตรียมขั้นต้นก่อนการอบแห้งที่มีต่อคุณภาพของสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งในขั้นต่อไป



ภาพที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าลอการิธึมธรรมชาติของอัตราส่วนความชื้นและเวลาของสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้ง



(A)



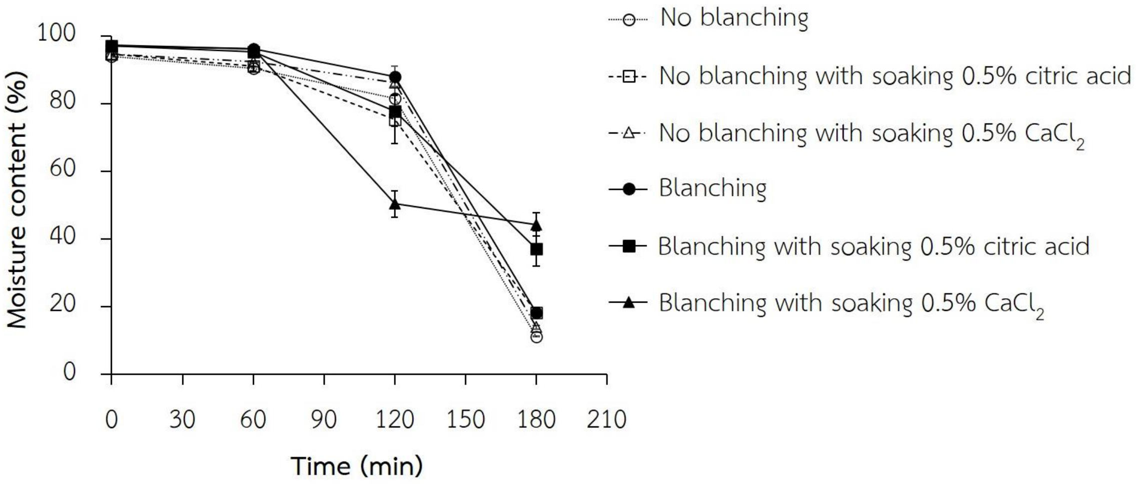
(B)

ภาพที่ 2 (A) ค่า a_w ของสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้ง และ (B) การคืนตัวของสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งที่อุณหภูมิต่างกัน

ผลกระทบจากการเตรียมขั้นต้นก่อนการอบแห้งที่มีต่อคุณภาพของสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้ง

ความชื้นเริ่มต้นของตัวอย่างกลุ่มลวกและไม่ลวกมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) ตัวอย่างกลุ่มลวกมีความชื้นหลงเหลือมากกว่ากลุ่มไม่ลวก ($p<0.05$) การแช่ตัวอย่างด้วยกรดซิตริกหรือแคลเซียมคลอไรด์ในกลุ่มลวกและไม่ลวก ส่งผลให้ความชื้นสุดท้ายของตัวอย่างอบแห้งมีค่ามากกว่าความชื้นสุดท้ายของตัวอย่างที่ไม่แช่ในสารละลาย ($p<0.05$) ดังภาพที่ 3 ทั้งนี้ ผลการวิเคราะห์ค่า a_w ของตัวอย่างอบแห้งที่ไม่ลวก (ไม่แช่สารละลาย), ตัวอย่างที่ไม่ลวกแต่แช่กรดซิตริก, ตัวอย่างที่ไม่ลวกแต่แช่แคลเซียมคลอไรด์, ตัวอย่างลวก (ไม่แช่สารละลาย), ตัวอย่างลวกและแช่กรดซิตริก, ตัวอย่างลวกและแช่แคลเซียมคลอไรด์ มีค่าเท่ากับ 0.46±0.01, 0.58±0.01, 0.49±0.00, 0.66±0.00, 0.58±0.00 และ 0.52±0.00 ตามลำดับ

ลักษณะปรากฏของตัวอย่างอบแห้งที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นด้วยวิธีต่าง ๆ (ตารางที่ 1) แสดงให้เห็นว่า ตัวอย่างในกลุ่มลวกมีสีเข้มกว่ากลุ่มไม่ลวก ขณะที่ตัวอย่างที่แช่กรดซิตริก (ไม่ลวก) มีสีซีดกว่าตัวอย่างอื่น ๆ และจากค่าสีของสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งในตารางที่ 2 พบว่า ตัวอย่างในกลุ่มไม่ลวกส่วนใหญ่มีความสว่าง (*L**) มากกว่ากลุ่มลวก และค่า *a** (สีแดง) ของทั้งสองกลุ่มมีค่าใกล้เคียงกัน ยกเว้นตัวอย่างที่แช่กรดซิตริก (ไม่ลวก) มีค่า *a** น้อยกว่าทุกตัวอย่าง ($p<0.05$) เช่นเดียวกับค่า *b** (สีเหลือง) ($p<0.05$)



ภาพที่ 3 ความชื้นของสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งที่ใช้วิธีการเตรียมขั้นต้นต่างกัน

ตารางที่ 1 ลักษณะปรากฏของสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งที่ใช้วิธีการเตรียมขั้นต้นต่างกัน

Method	Treatments	Soaking 0.5% citric acid	Soaking 0.5% $CaCl_2$
No blanching			
Blanching			

ตารางที่ 2 ค่าสีและการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งที่ใช้วิธีการเตรียมขั้นต้นต่างกัน

Method		Color value			Sensory attribute			
		*L**	*a**	*b**	Appearance	Color	Flavor	Overall
Fresh	-	25.14±1.02^a	4.28±0.70^a	10.98±0.50^c	-	-	-	-
No blanching	-	22.07±7.07^c	3.52±1.02^b	12.77±3.86^a	7.0±0.8^b	8.1±0.7^a	7.7±0.7^a	7.1±0.8^b
	Soaking 0.5% Citric acid	20.24±0.01^d	2.30±0.02^c	9.81±0.02^d	7.0±0.3^b	7.0±0.2^b	7.0±0.4^b	7.0±0.4^b
	Soaking 0.5% $CaCl_2$	23.06±0.01^b	3.30±0.02^b	11.57±0.02^b	7.8±0.4^a	8.0±0.7^a	8.0±0.6^a	7.9±0.4^a
Blanching	-	20.52±0.02^d	3.01±0.01^b	12.26±0.02^a	8.0±0.6^a	8.1±0.7^a	8.0±0.7^a	8.1±0.8^a
	Soaking 0.5% Citric acid	20.56±0.01^d	2.89±0.00^{bc}	9.00±0.01^d	7.3±0.5^b	7.2±0.4^b	7.1±0.5^b	7.2±0.4^b
	Soaking 0.5% $CaCl_2$	20.80±0.02^d	3.17±0.01^b	11.67±0.07^b	7.8±0.4^a	8.0±0.6^a	8.0±0.6^a	7.9±0.4^a

Note: $^{a, b, c, d}$ Means in the same column with different superscripts differ significantly ($p<0.05$).

การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้ง (ตารางที่ 2) พบว่า ตัวอย่างที่เตรียมขั้นต้นด้วยการลวกเพียงขั้นตอนเดียวได้รับคะแนนความชอบสูงสุด และไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตัวอย่างที่เตรียมขั้นต้นด้วยการลวกร่วมกับแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ โดยมีคะแนนอยู่ในระดับชอบมากในทุกคุณลักษณะ ขณะที่การแช่ตัวอย่างด้วยกรดซิตริกส่งผลให้คะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสมีคะแนนน้อยที่สุดในทุกคุณลักษณะ

อภิปรายผลการวิจัย

อุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งสาหร่ายพวงองุ่น

จากภาพที่ 1 การใช้อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส สามารถลดความชื้นได้เร็วที่สุด อย่างไรก็ตาม ค่า R^2 ของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าลอการิธึมธรรมชาติของอัตราส่วนความชื้นและเวลาของสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งที่ 70 องศาเซลเซียส มีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอื่น ๆ (R^2 = 0.7146) เนื่องจากการอบแห้งตัวอย่างที่ 70 องศาเซลเซียส ทำให้ความชื้นของตัวอย่างลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงต้นของการอบแห้ง (นาทีที่ 0-90) และค่อย ๆ ลดลงอย่างคงที่ในเวลาต่อมา ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีการอบแห้ง โดยการใช้อุณหภูมิสูงในการอบแห้งส่งผลให้ความชื้นของตัวอย่างในช่วงต้นของการอบแห้งมีค่าแตกต่างอย่างชัดเจนจากช่วงกลางและปลายของการอบแห้งเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอื่น ๆ (40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส) และที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ค่า a_w ของตัวอย่างมีค่าต่ำที่สุด (ภาพที่ 2A) อย่างไรก็ตาม ความสามารถในการคืนตัวของสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งที่ 70 องศาเซลเซียส มีค่าต่ำสุด ($p<0.05$) (ภาพที่ 2B)

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มรย. YRU Journal of Science and Technology ISSN : 2539-5688

การใช้อุณหภูมิสูงในการทำแห้งเป็นการทำลายสารประกอบอินทรีย์ซึ่งเป็นส่วนประกอบของอาหาร ทำให้สายพอลิแซคคาไรด์ซึ่งเป็นโครงสร้างหลักจำนวนมากเกิดความเสียหาย (Pradana *et al.*, 2019, p. 6) และการอบแห้งสาหร่ายพวงองุ่นโดยการใช้พลังงานแสงอาทิตย์และการใช้ลมร้อนทำให้โพลีแซคคาไรด์และโปรตีนที่เป็นส่วนประกอบของสาหร่ายพวงองุ่นเกิดการสูญโครงสร้าง การสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนในสาหร่ายพวงองุ่นนี้เป็นแบบผันกลับไม่ได้ ดังนั้น สาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งที่ทำแห้งที่อุณหภูมิสูงมีความสามารถในการคืนตัวต่ำกว่าสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งที่ทำแห้งด้วยอุณหภูมิที่ต่ำกว่า (Hoan *et al.*, 2020, p. 627) กลไกหลักที่เกิดขึ้นเมื่อทำการอบแห้งสาหร่าย คือ เมื่อสาหร่ายได้รับความร้อนทำให้เกิดการแพร่ออกของสารละลายที่อยู่ภายในเซลล์สาหร่าย และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้น ทำให้โครงสร้างของสาหร่ายได้รับความเสียหายมากขึ้น และจากข้อมูลที่เป็นข้อเท็จจริง สาหร่ายมีการกักเก็บน้ำในเซลล์สาหร่ายทำให้ใช้เวลานานในการที่น้ำจะเคลื่อนไปยังผิวหน้าของสาหร่ายและระเหยออก (Hosseinizand *et al.*, 2018, p.1049) เมื่อปริมาณความชื้นของสาหร่ายลดลง ทำให้ส่วนประกอบต่าง ๆ ภายในสาหร่ายได้รับความเครียด ส่งผลให้เซลล์สาหร่ายเกิดการหดตัวและเสียรูปทรง (Chinnasarn & Krasaechol, 2020, p. 674) ทั้งนี้ การเพิ่มอุณหภูมิสูงในการแปรรูปมากขึ้น ยิ่งส่งผลให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้ายเกิดความเสียหายมากขึ้น การเลือกใช้อุณหภูมิในระดับที่ต่ำลงจึงเป็นการช่วยลดความสูญเสีย หากแต่ต้องคำนึงถึงความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ด้วย (Janowicz & Lenart, 2018, p. 1333) เมื่อพิจารณาในด้านความปลอดภัยของอาหาร การใช้อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 180 นาที (ค่า a_w ลดลงคงที่) ในการอบแห้งสาหร่ายพวงองุ่นจึงเป็นเวลาที่เพียงพอต่อข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์สาหร่ายอบแห้ง (มผช.๕๑๕/๒๕๔๗) ที่กำหนดให้ผลิตภัณฑ์มีค่า a_w ต่ำกว่า 0.60 ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Pradana *et al.* (2019, p. 1) ที่รายงานว่า ความชื้นของสาหร่ายอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส ลดลงค่อนข้างคงที่ตั้งแต่เวลา 180 นาที ขณะที่ Anantpinijwatna *et al.* (2018, p. 6) รายงาน อัตราส่วนความชื้นของสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เริ่มลดลงอย่างคงที่ที่เวลา 240 นาที และผลการคืนตัวของสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งที่ 50 และ 60 องศาเซลเซียส มีความสามารถในการดูดซับน้ำได้ใกล้เคียงกัน (ภาพที่ 2B) ทั้งนี้ ความสามารถในการคืนตัวของสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งขึ้นอยู่กับปัจจัยภายนอก เช่น อุณภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม เป็นต้น และปัจจัยภายใน เช่น ส่วนประกอบของอาหาร ความชื้น ความหนา และรูปทรง การแพร่กระจายของน้ำ เป็นต้น (Karam *et al.*, 2016, p. 34) นอกจากนี้ การอบแห้งสาหร่าย *Euchema cottoni* dan *Gracilaria* sp ที่ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส เวลา 240 นาที มีความสามารถในการดูดซับน้ำได้เท่ากับ 10.85, 9.21 และ 8.93 มิลลิลิตร/กรัมตัวอย่างแห้ง ตามลำดับ (Pradana *et al.*, 2019, p. 6) ดังนั้นเพื่อให้ได้สาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งที่มีคุณภาพดี โดยที่ยังมีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค และมีการใช้พลังงานในการแปรรูปที่เหมาะสม งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 180 นาที ในการอบแห้งสาหร่ายพวงองุ่น เพื่อศึกษาผลกระทบจากการเตรียมขั้นต้นด้วยวิธีต่าง ๆ ก่อนการอบแห้ง

ผลกระทบจากการเตรียมขั้นต้นก่อนการอบแห้งที่มีต่อคุณภาพของสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้ง

สาหร่ายพวงองุ่นเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีโครงสร้างแบบยูคาริโอติคเซลล์ สามารถสังเคราะห์แสงได้ (Domozych *et al.*, 2012, p. 1) และผนังเซลล์มีซัลเฟตพอลิแซคคาไรด์ (Sulfated polysaccharides) และคาร์บอกซิเลตพอลิแซคคาไรด์ (Carboxylated polysaccharides) เป็นส่วนประกอบ (Jönsson *et al.*, 2020, p.7) ทำให้โครงสร้างของผนังเซลล์สามารถละลายน้ำได้ง่าย หากต้องการสกัดซัลเฟตพอลิแซคคาไรด์ทำได้โดยใช้น้ำร้อน หรือหากเจือจางในกรดหรือเบสต้องใช้สารในปริมาณมากและใช้เวลานาน (Rodríguez-Jasso *et al.*, 2013, p. 32) ผลจากภาพที่ 3 ไม่เป็นไปตามลักษณะโครงสร้างเซลล์ของสาหร่ายพวงองุ่น โดยตัวอย่างกลุ่มลวกควรมีความชื้นเหลือน้อยกว่ากลุ่มไม่ลวก อาจเป็นเพราะระยะเวลาในการลวกหรือการแช่ไม่นานพอ หรือความเข้มข้นของกรดไม่สูงมากพอที่ทำให้ผนังเซลล์ของสาหร่ายพวงองุ่นเกิดความเสียหายการลวกเป็นวิธีทั่วไปที่ใช้ป้องกันหรือยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลจากเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (Polyphenol Oxidase) แต่จากผลการทดลอง ตัวอย่างอบแห้งที่เตรียมขั้นต้นด้วยวิธีการลวกส่งผลให้ค่า L^* ต่ำกว่าที่ไม่ลวก เนื่องจากการลวกทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมเพิ่มขึ้น โดยผนังเซลล์ของสาหร่ายพวงองุ่นเกิดการคลายตัวและพองตัว ทำให้ส่วนประกอบที่ละลายน้ำได้ในสาหร่ายพวงองุ่น (Ahn & Choe, 2015, p. 1267) รวมถึงคลอโรฟิลล์ซึ่งเป็นรงควัตถุที่ละลายน้ำได้ แตกตัวออกมาจากโครงสร้างของสาหร่ายพวงองุ่น ส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ของสาหร่ายพวงองุ่นเพิ่มขึ้นหลังการลวก ทั้งนี้ คลอโรฟิลล์ บี มีความคงตัวต่อความร้อนมากกว่าคลอโรฟิลล์ เอ (Ahn & Choe, 2015, p. 1267) และการลดลงของค่า L^* a^* และ b^* ของสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งเกิดจากการรวมตัวกันของเม็ดสีที่อยู่ในของวัตถุดิบเมื่อเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) (Nyangena *et al.*, 2019, p. 3861) การศึกษานี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ

Anantpinijwatna *et al*. (2018, p. 6) ที่รายงานผลการอบแห้งสาหร่ายพวงองุ่นที่ 50 องศาเซลเซียส นาน 400 นาที ส่งผลให้ค่า *L** และ *a** ของผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มลดลง และค่า *b** มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งตัวอย่างที่ไม่ได้แช่กรดซิตริกทั้งกลุ่มลวกและกลุ่มไม่ลวกมีค่า *a** สูงกว่าตัวอย่างอื่น ๆ อาจมีสาเหตุจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด ขณะที่การใช้แคลเซียมคลอไรด์ในการเตรียมขั้นต้นช่วยให้ผนังเซลล์ของสาหร่ายพวงองุ่นมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น โดยแคลเซียมไอออนทำปฏิกิริยากับกรดเพคติค (Liu *et al.*, 2017, p. 89) ซึ่งแคลเซียมไอออนดึงหมู่คารบอกซิลบนสายของเพคตินสายหนึ่งให้ไปจับกับหมู่คารบอกซิลบนสายเพคตินอีกสายหนึ่งได้เป็นแคลเซียมแพคเตท โดยแคลเซียมแพคเตทนี้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการจับตัวกันของโมเลกุลที่เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์ ทำให้ผนังเซลล์มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น (Liu *et al*., 2017, p. 89) จึงทำให้เกิดการสูญเสียสารละลายต่าง ๆ รวมทั้งคลอโรฟิลล์ที่เป็นส่วนประกอบของสาหร่ายพวงองุ่นน้อยกว่าตัวอย่างที่ไม่ได้แช่ด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส (ตารางที่ 2) คะแนนความชอบของตัวอย่างที่เตรียมขั้นต้นด้วยการลวกเพียงขั้นตอนเดียวและตัวอย่างที่เตรียมขั้นต้นโดยการลวกหรือไม่ลวกร่วมกับการแช่ในแคลเซียมคลอไรด์มีค่าใกล้เคียงกัน การที่คะแนนความชอบของตัวอย่างที่เตรียมขั้นต้นด้วยวิธีเหล่านี้อยู่ในระดับชอบมากอาจเป็นเพราะสีตัวอย่าง ซึ่งสีเป็นลักษณะปรากฏที่ผู้ทดสอบเห็นผลิตภัณฑ์แล้วจินตนาการถึงรสชาติของผลิตภัณฑ์ (Sharif *et al*., 2017, p. 363) ดังนั้นตัวอย่างที่มีสีใกล้เคียงกับตัวอย่างสดจึงได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงกว่าตัวอย่างอื่น

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การลวก หรือการลวกร่วมกับการแช่ตัวอย่างด้วยแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 0.5 นาน 5 นาที เป็นวิธีการเตรียมขั้นต้นที่เหมาะสมก่อนการอบแห้งสาหร่ายพวงองุ่นที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 180 นาที สภาวะนี้เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่พิจารณาจากอัตราส่วนความชื้น ค่า a_w และการคืนตัวของสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้ง อย่างไรก็ตาม สาหร่ายพวงองุ่นที่อบแห้งในทุกตัวอย่างมีค่า a_w ต่ำกว่า 0.6 ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์สาหร่ายอบแห้งตาม มผช.๕๑๕/๒๕๔๗ และการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างมีคะแนนความชอบในระดับชอบมาก การศึกษานี้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาเพื่อต่อยอดกระบวนการผลิตสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งในเชิงพาณิชย์ได้

เอกสารอ้างอิง

Ahn, H. & Choe, E. (2015). Effects of Blanching and Drying on Pigments and Antioxidants of *Daraesoon* (Shoot of the Siberian Gooseberry Tree, *Actinidia arguta* Planchon). *Food Sci. Biotechnol., 24*(4), 1265-1270.

Anantpinijwatna, A., Nuntamongkol, S., Tudkesorn, B., Sukchoy, O. & Deetae, P. (2018). The Kinetic Model and Temperature Effect of *Caulerpa Lentillifera* Drying Process [Online]. In *AIP Conference Proceedings*. Indonesia: AIP Conference Proceedings. Retrieved December 2, 2020, from https://www.researchgate.net/publication/328609464_The_kinetic_model_and_temperature_effect_of_Caulerpa_Lentillifera_drying_process

Chinnasarn, S. & Krasaechol, N. (2020). Effect of Pretreatment and Drying Conditions on Quality of Dried Green Caviar Product. *The Journal of KMUTNB*, *30*(4), 668-677. (in Thai)

Coastal Aquaculture Research and Development Division. (2017). *Cultivation and Post-harvest Management of Caulerpa lentillifera.* Thailand: Department of Fisheries, Ministry of Agriculture and Cooperatives [Online]. Retrieved December 2, 2020, from https://www4.fisheries.go.th/local/file_document/20170808161509_file.pdf (in Thai)

Deng, L., Mujumdar, A. S., Zhang, Q., Yang, X., Wang, J., Zheng, Z., Gao, Z. & Xiao, H. (2017). Chemical and physical pretreatments of fruits and vegetables: Effects on drying characteristics and quality attributes – a comprehensive review [Online]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. Retrieved December 2, 2020, from https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1409192

Domozych, D. S., Ciancia, M., Fangel, J. U., Mikkelsen, M. D., Ulvskov, P. & Willats, W. G. T. (2012). The cell walls of green algae: a journey through evolution and diversity. *Front. Plant Sci.*, *3*(82), 1-7.

Hoan, N. X., Quan, D. H., Dong, D. H., Phuong, N. T., Yen, D. T., Cuong, D. X., et al. (2020). Effect of Drying Methods on Sensory and Physical Characteristics, Nutrient and Phytochemistry Compositions, Vitamin, and Antioxidant Activity of Grapes Seaweed *Caulerpa lentillifera* Grown in Vietnam. *J. Pharm. Sci. & Res., 12*(5), 624-630.

Hosseinizand, H., Sokhansanj, S. & Lim, C. J. (2018). Studying the drying mechanism of microalgae *Chlorella vulgaris* and the optimum drying temperature to preserve quality characteristics. *Drying Technology, 36*(9), 1049-1060.

Janowicz, M. & Lenart, A. (2018). The impact of high pressure and drying processing on internal structure and quality of fruit. *European Food Research and Technology, 244*, 1329–1340.

Jönsson, M., Allahgholi, L., Sardari, R. R. R., Hreggviðsson, G. O. & Karlsson, E. N. (2020). Extraction and Modification of Macroalgal Polysaccharides for Current and Next-Generation Applications. *Molecules*, 25, 930.

Karam, M. C., Petit, J., Zimmer, D., Djantou, E. B. & Scher, J. (2016). Effects of drying and grinding in production of fruit and vegetable powders: A review. *Journal of Food Engineering*, *188*, 32-49.

Liu, H., Chen, F., Lai, S., Tao, J., Yang, H. & Jiao, Z. (2017). Effects of calcium treatment and low temperature storage on cell wall polysaccharide nanostructures and quality of postharvest apricot (*Prunus armeniaca*). *Food Chem., 225*, 87–97.

Nyangena, I., Owino, W., Ambuko, J. & Imathiu, S. (2019). Effect of selected pretreatments prior to drying on physical quality attributes of dried mango chips. *Journal of Food Science and Technology*, *56*(8), 3854–3863.

Pramuang, S. (2017). Moisture diffusivity and energy consumption in palm oil fruit drying. *KKU Science Journal*, *45*(4), 896-903. (in Thai)

Pradana, G. B., Prabowo, K. B., Hastuti, R. P., Djaeni, M. & Prasetyaningrum, A. (2019). Seaweed Drying Process Using Tray Dryer with Dehumidified Air System to Increase Efficiency of Energy and Quality Product. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, *292*, 012070.

Rodríguez-Jasso, R. M., Mussatto, S. I., Pastrana, L., Aguilar, C. N. & Teixeira, J. A. (2013). Extraction of sulfated polysaccharides by autohydrolysis of brown seaweed Fucus vesiculosus. *Journal of Applied Phycology, 25*, 31–39.

Saniso, E., Prado, M. & Yayee, F. (2013). Optimal Condition of Mushroom Drying Using Solar Energy Combined with Infrared Radiation. *Journal of Yala Rajabhat University, 8*(2), 107-117.

Sharif, M. K., Butt, M. S., Sharif, H. R. & Nasir, M. (2017). Sensory Evaluation and Consumer Acceptability. In M.S. Butt & T. Zahoor. (Eds.), *HandBook of Food Science & Technology*. Pakistan: UAF Press.

Syamsuddin, R., Azis, H.Y., Badraeni, B. & Rustam. (2019). Comparative study on the growth, carotenoid, fibre and mineral content of the seaweed *Caulerpa lentillifera* cultivated indoors and in the sea. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, *370*, 012019.

Yuenyongputtakal, W. & Worasingh, S. (2016). *Shelf Life Extension of Ready to Eat Green Caviar (Caulerpa lentillifera) using Edible Film Coating* [Online]. Research report, Faculty of Science, Burapha University. Retrieved December 2, 2020, from http://dspace.lib.buu.ac.th/xmlui/handle/1234567890/3506?show=full. (in Thai)