



ผลของการอบแห้งสาหร่ายผักกาดทะเล (*Ulva rigida*) ต่อคุณภาพ และการนำไปใช้ประโยชน์ในข้าวเกรียบ

Effect of Drying Condition on the Quality of Sea Lettuce (*Ulva rigida*) and Its Application in Crispy Snack

จารุวรรณ สุพรรณพัยค์ม¹ ปาริสูทธิ์ เฉลิมชัยวัฒน์^{1*} และ ทศนีย์ ลิ้มสุวรรณ¹

¹สาขาอาหารและโภชนาการ ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

Jaruwan Supanpayak¹ Parisut Chalermchaiwat^{1*} and Tassanee Limsuwan¹

¹Food and Nutrition, Department of Home Economics, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok, 10900 Thailand

*Corresponding Author, E-mail: fagrpsch@ku.ac.th

Received: 7 June 2019 | Revised: 14 February 2020 | Accepted: 17 March 2020

บทคัดย่อ

สาหร่ายผักกาดทะเลเป็นแหล่งของสารอาหารที่มีความน่าสนใจ และมีส่วนประกอบที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพแต่เป็นวัตถุดิบที่เสื่อมเสียง่ายเนื่องจากมีความชื้นสูง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะในการอบแห้งที่มีผลต่อคุณภาพของสาหร่ายผักกาดทะเลและการใช้ประโยชน์ในข้าวเกรียบ ศึกษาการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน จัดสิ่งทดลองแบบ 3×2 Factorial in CRD เพื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง 3 ระดับ คือ 50 60 และ 70 °C และเวลา 2 ระดับ คือ 6 และ 8 h จากการทดลองพบว่า อุณหภูมิ และเวลา มีอิทธิพลต่อคุณภาพทางกายภาพ และเคมีของสาหร่ายผักกาดทะเล ผงสาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 °C นาน 8 h มีปริมาณโปรตีน และแคลเซียมสูงที่สุด เท่ากับ 20.60% และ 1333.96 mg/100 g ตามลำดับ จึงเลือกการอบแห้งที่สภาวะนี้มาผลิตข้าวเกรียบด้วยการศึกษาปริมาณผงสาหร่ายผักกาดทะเล 3 ระดับ คือ 4 6 และ 8% ของน้ำหนักแป้ง โดยมีข้าวเกรียบที่ไม่มีการเติมผงสาหร่ายผักกาดทะเลเป็นตัวอย่างควบคุม เมื่อปริมาณผงสาหร่ายผักกาดทะเลเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณโปรตีน และแคลเซียมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในขณะที่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ของปริมาณเกลือ การประเมินทางประสาทสัมผัส แสดงให้เห็นว่าการเติมผงสาหร่ายผักกาดทะเล 6 % ได้รับคะแนนความชอบทุกลักษณะสูงสุด และมีคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบปานกลาง ผลจากงานวิจัยนี้สนับสนุนแนวคิดการใช้ประโยชน์ของผงสาหร่ายผักกาดทะเลในการพัฒนาข้าวเกรียบที่มีคุณค่าทางโภชนาการและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

ABSTRACT

Sea lettuce (*Ulva rigida*), contains an interesting source of nutrients and other health promotion compounds but it can be decomposed easily because of its high moisture content. The objective of this research was to study the effect of drying condition on the quality of sea lettuce and its application in a crispy snack. The hot air drying process was conducted by using 3×2 factorial in CRD on the effect of three different temperatures; 50, 60 and 70 °C and two different times at 6 and 8 h. The results showed that temperature and time effected

on the physical and chemical quality of sea lettuce. The sea lettuce powder obtained from drying condition at 50 °C for 8 h gave the highest protein and calcium content as 20.60% and 1333.96 mg/100g, respectively. Therefore, the sea lettuce powder from this drying condition was selected to produce a crispy snack. The sea lettuce powder was added to crispy snack at 4, 6 and 8 % (by weight of flour). The crispy snack without sea lettuce powder served as the control. The increasing in sea lettuce powder caused an increase in protein and calcium contents. Moreover, there were no significant difference ($p>0.05$) in sodium chloride content. The sensory evaluation revealed that the addition of 6 % the sea lettuce powder received the highest score of all sensory attributes. The overall liking score was like moderately. The result of this research supported the ideas of using sea lettuce powder to develop nutritious crispy snack with consumer acceptability.

คำสำคัญ: สาหร่ายผักกาดทะเล อบแห้ง ข้าวเกรียบ โปรตีน แคลเซียม

Keywords: Sea lettuce (*Ulva rigida*), Drying, Crispy snack, Protein, Calcium

บทนำ

สาหร่ายผักกาดทะเล (Sea lettuce) เป็นสาหร่ายสีเขียว (Chlorophyta) อยู่ใน Genus *Ulva* พันธุ์ที่พบในประเทศไทย คือ *Ulva rigida* พบกระจายตัวตามชายฝั่งและในเขตที่น้ำขึ้น น้ำลง พบมากตามชายฝั่งของจังหวัดภูเก็ต (สุวรรณ และคณะ, 2552) มีความทนต่อการเปลี่ยนแปลงความเค็มได้ดี ซึ่งศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งตรัง จังหวัดตรัง ได้นำมาทดลองปลูกขยายเพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำ ปัจจุบันสามารถเพาะเลี้ยงได้ทั้งแบบเดี่ยว และเลี้ยงร่วมกับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชนิดอื่น (วิชมนิ และคณะ, 2558) สาหร่ายผักกาดทะเลนิยมนำมาบริโภคในรูปแบบสด หรือตากแห้ง มีกลิ่นหอมเฉพาะของสาหร่าย มีเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับสาหร่ายสาโยบที่นิยมนำมาบริโภคในอาหารหรือรู้จักในนามจีโง่หรือโนริ และมีราคาถูกกว่า (Kim et al., 2011) มีองค์ประกอบของโปรตีน 13 - 18% (สุวรรณ และคณะ, 2552) ซึ่งในอนาคตอาจใช้เป็นแหล่งของโปรตีนจากพืชได้ (Oirschot et al., 2017) นอกจากนี้สาหร่ายชนิดนี้ยังมีใยอาหารที่จัดเป็นโพลีแซคคาไรด์ที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย โดยสาหร่าย 100 g มีใยอาหาร 3.8 g แบ่งเป็นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ 2.1 g และใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ 1.7 g (Kritika, 2015) สาหร่ายผักกาดทะเลสามารถดูดซับแร่ธาตุที่ละลายในน้ำด้วยแรงดันออสโมติก โดยการทดลองเติมเฟอร์รัสซัลเฟตลงในสารละลายออสโมซิส พบว่าสาหร่ายผักกาดทะเลมีปริมาณธาตุเหล็กเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสามารถเสริมธาตุเหล็กซึ่งมีประโยชน์ต่อร่างกายลงในสาหร่ายผักกาดทะเลได้ (วิชมนิ และคณะ, 2556) และมีการนำสาหร่ายที่ผ่านกระบวนการออสโมซิส

พัฒนาเป็นสาหร่ายผักกาดอบแห้งปรุงรสสำหรับเด็กวัยเรียน พบว่ากลุ่มผู้ทดสอบให้การยอมรับสาหร่ายอบแห้งปรุงรสและยังสามารถเสริมปริมาณเหล็กในสาหร่ายอบแห้งอีกด้วย (วิชมนิ และคณะ, 2558) นอกจากนี้ยังมีการนำผงสาหร่ายผักกาดทะเลเติมลงในขนมปังสำเร็จรูปที่ไม่ผ่านการทอดเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้กับเส้นขนมปัง (กุลยา และอินชา, 2557)

อาหารขบเคี้ยวจากสาหร่ายเป็นอาหารทางเลือกที่กำลังได้รับความนิยม และมีการเปิดตัวผลิตภัณฑ์ขนม ขบเคี้ยวจากสาหร่ายมากขึ้น โดยผลิตภัณฑ์จากสาหร่าย มีหลายรูปแบบ ตั้งแต่สาหร่ายอบแห้งไปจนถึงข้าวอบกรอบปรุงรสด้วยสาหร่าย ซึ่งได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในตลาดของสหรัฐอเมริกาและยุโรป (Julian, 2016) ประกอบกับในปี พ.ศ. 2561 ตลาดขนมขบเคี้ยวในประเทศไทยมูลค่าสูงถึง 37,236 ล้านบาท ซึ่งผลิตภัณฑ์ประเภทสาหร่าย มีส่วนแบ่ง 8.1% ของขนมขบเคี้ยวทั้งหมด และมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นทุกปี (บริษัทเก่าแก่น้อยฟู้ดแอนด์มาเก็ตติ้ง, 2562) เนื่องจากสาหร่ายเป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระ โยใยอาหาร กรดอะมิโน วิตามิน ฯลฯ (Roohinejad et al., 2016) และในปี พ.ศ. 2561 มีการนำเข้าสาหร่ายทะเลสูงถึง 5,607 ตัน มีมูลค่าสูงถึง 2,919 ล้านบาท (ศูนย์สารสนเทศการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2561) ซึ่งในปัจจุบันกรมประมงสามารถเพาะเลี้ยงสาหร่ายผักกาดทะเลได้สำเร็จ แต่อย่างไรก็ตามสาหร่ายจัดเป็นอาหารที่มีการเน่าเสียได้ง่าย เนื่องจากมีความชื้นสูง (Kadam et al., 2015) การอบแห้งถือเป็นการถนอมอาหารวิธีหนึ่งด้วยการให้ความร้อนแก่อาหารทำให้น้ำในอาหารลดลงส่งผลให้จุลินทรีย์ในอาหารไม่สามารถเจริญได้ ช่วยยืดอายุการ

เก็บรักษา อีกทั้งยังช่วยลดน้ำหนักของอาหารทำให้ลดค่าใช้จ่ายระหว่างการเก็บรักษาและการขนส่ง รวมถึงการเก็บเกี่ยวและการอบแห้งสำหรับรายซึ่งมีผลต่อคุณภาพของสำหรับเช่นกัน (Oirschota et al., 2017) ตู้อบลมร้อนเป็นเครื่องมือที่นิยมใช้ในการทำแห้ง เพราะเป็นเครื่องมือที่ไม่ซับซ้อน มีความสะดวกและสามารถปรับอุณหภูมิให้เหมาะสมต่อผลิตภัณฑ์ ราคาไม่แพงเมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งแบบอื่นๆ การใช้ตู้อบลมร้อนเป็นทางเลือกที่ดีที่สามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ อย่างไรก็ตามยังพบปัญหาการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการในผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบแห้ง โดยคุณค่าทางโภชนาการที่เสียไปนั้นก็ขึ้นอยู่กับสภาวะในการอบแห้งโดยเฉพาะอุณหภูมิและเวลาเป็นสิ่งสำคัญดังรายงานของ Djaeni and Sari (2015) ที่พบว่าองค์ประกอบของโปรตีนและสตาร์ชในสำหรับมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและเวลาในการอบแห้ง ซึ่งการใช้อุณหภูมิสูงสามารถทำให้สำหรับแห้งได้เร็ว แต่ก็ส่งผลต่อการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการของสำหรับ

ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของสภาวะการอบแห้งต่อคุณภาพทางกายภาพและเคมีของสำหรับผักกาดทะเล และการนำไปประยุกต์ใช้ในการผลิตข้าวเกรียบ (Crispy snack) เนื่องจากข้าวเกรียบเป็นอาหารว่างชนิดหนึ่งที่ยิยมบริโภคในชุมชน และเพื่อเป็นแนวทางในการเพิ่มมูลค่าของสำหรับผักกาดทะเล และการเสริมคุณค่าทางโภชนาการจากสำหรับผักกาดทะเลแก่ผู้บริโภคในชุมชน

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมตัวอย่าง

สำหรับผักกาดทะเลสดที่เก็บในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงธันวาคม พ.ศ. 2561 จากศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งจังหวัดเพชรบุรี บรรจุในถุงพอลิเอทิลีนและน้ำทะเลสะอาด ขนส่งในกล่องโฟมปิดสนิท นำมาล้างด้วยน้ำสะอาดแล้วทิ้งให้สะเด็ดน้ำ จากนั้นเก็บวัตถุดิบในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 °C (Kadam et al., 2015) ก่อนนำไปวิเคราะห์คุณภาพ

2. การศึกษาคุณภาพของสำหรับผักกาดทะเล

นำสำหรับผักกาดทะเลสดที่เตรียมในข้อ 1 มาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมี ดังนี้

2.1 วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี ตามระบบ CIE ด้วยเครื่องวัดสี ยี่ห้อ KONICA MINOLTA รุ่น CM-5

และรายงานค่า L^* a^* และ b^* ทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ และคำนวณปริมาณผลผลิต (%) ตามสมการ (1) ดังนี้

$$\text{ปริมาณผลผลิต} = \frac{\text{นน.หลังอบแห้งและบดผง}}{\text{นน.ก่อนอบแห้ง}} \times 100 \quad (1)$$

2.2 วิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ได้แก่ ปริมาณน้ำอิสระ (Water activity, a_w) ด้วยเครื่อง Water activity meter ปริมาณโปรตีน ไขมัน เถ้า ความชื้น และใยอาหาร ตามวิธีของ AOAC (2016) ปริมาณแร่ธาตุ ได้แก่ เกลือ และแคลเซียม ด้วยวิธีของ AOAC (2016) ทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ และรายงานหน่วยเป็นร้อยละโดยเทียบกับน้ำหนักฐานแห้ง (% Dry basis)

3. การศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนต่อคุณภาพทางกายภาพและเคมีของสำหรับผักกาดทะเล

นำสำหรับผักกาดทะเลที่เตรียมได้จากข้อ 1 มาอบในตู้อบลมร้อนแบบถาด (Tray Dryer) โดยจัดสิ่งทดลองแบบ 3x2 Factorial in CRD ศึกษาอุณหภูมิ 3 ระดับ คือ 50 60 และ 70 °C และระยะเวลา 2 ระดับ คือ 6 และ 8 h ได้การอบแห้งทั้งสิ้น 6 สิ่งทดลอง จากนั้นนำออกจากตู้เพื่อให้คลายความร้อนเป็นเวลา 20 min นำสำหรับผักกาดทะเลมาบดให้เป็นผงด้วยเครื่องบดอาหารแห้ง และร่อนผ่านตะแกรง 100 mesh (149 micron) บรรจุสำหรับผักกาดทะเลในถุงออลูมิเนียมฟอยด์เก็บที่อุณหภูมิ -20 °C และนำมาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ และเคมีตามวิธีการในข้อ 2

4. การใช้ประโยชน์ผงสำหรับผักกาดทะเลในข้าวเกรียบ

เลือกผงสำหรับผักกาดทะเล ที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงสุดจากสภาวะอบแห้งในข้อ 3 มาใช้ในการผลิตข้าวเกรียบ โดยวางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) ศึกษาปริมาณการเติมผงสำหรับผักกาดทะเล 3 ระดับ คือ 4 6 และ 8% ของน้ำหนักแป้ง ตามลำดับ โดยมีข้าวเกรียบที่ไม่มีการเติมผง สำหรับผักกาดทะเลเป็นตัวอย่างควบคุม สูตรการผลิตข้าวเกรียบ มีส่วนประกอบ ดังนี้ แป้งมันสำปะหลัง 500 g แป้งสาลี 65 g เกลือ 15 g พริกไทย 5 g และน้ำตาลทราย 30 g (ดัดแปลงจากการแปรรูปสัตว์น้ำ, 2558) ผสมส่วนประกอบเข้าด้วยกันนวดด้วยน้ำร้อนจัดจนเข้ากันดี ปั้นเป็นแท่งยาวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 cm ยาว 15 cm นำไปนึ่งในลังถึงนาน 2 h ทิ้งให้เย็น จากนั้นแช่ในตู้เย็นนาน 24 h เพื่อให้แป้งคงตัว นำมาหั่นเป็นแว่นด้วยเครื่องหั่นสไลด์หนา 1 mm อบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 °C นาน 2 h นำข้าวเกรียบไปทอดในน้ำมัน

ปาล์มจนพองกรอบทั่วทั้งแผ่น จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาศึกษาคุณภาพ ดังนี้

4.1 คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี ตามวิธีการในข้อ 2.1 และลักษณะเนื้อสัมผัส โดยวัดค่าความแข็ง (Hardness) และความเปราะ (Fracturability) ด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส Texture analyzer รุ่น TX-XT2 ประเทศอังกฤษ ใช้หัววัด Sphereicle probe เบอร์ P/0.5s โดยมีสภาวะในการทดสอบ ดังนี้ Test mode: compression, Pre-test speed 1 mm/s, Test speed 1 mm/s, Post-test speed 10 mm/s รายงานหน่วยเป็นนิวตัน (N) ทำการวัดค่า 10 ซ้ำ

4.2 คุณภาพทางเคมีของข้าวเกรียบสาหร่ายผักกาดทะเล วิเคราะห์ปริมาณของโปรตีน เกลือ และแคลเซียม ตามวิธีการข้อ 2

4.3 คุณภาพทางประสาทสัมผัส ด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ (9-Point hedonic scale) ในคุณลักษณะด้านสี ความพองตัว เนื้อสัมผัส (ความกรอบ) กลิ่นรสสาหร่าย รสชาติ และความชอบโดยรวมกับผู้ทดสอบที่ไม่ได้รับการฝึกฝน จำนวน 50 คน

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

โครงการวิจัยผ่านการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เอกสารเลขที่ COE62/044

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาอุณหภูมิและเวลาการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนต่อคุณภาพของสาหร่ายผักกาดทะเล

1.1 คุณภาพทางกายภาพของสาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้ง ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของสาหร่าย

ผักกาดทะเลสดเปรียบเทียบกับอบแห้งที่สภาวะแตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ 1 พบว่าปริมาณผลผลิตของสาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งที่ได้อยู่ระหว่าง 11.76 - 12.89% ซึ่งอุณหภูมิและเวลามีอิทธิพลต่อปริมาณผลผลิต การทดลองแสดงให้เห็นว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 °C นาน 8 h ให้ปริมาณผลผลิตต่ำกว่าการอบแห้งที่เวลา 6 h อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) คุณภาพด้านสีของสาหร่ายผักกาดทะเลเมื่ออบแห้งนานขึ้นมีค่าความสว่าง (L^*) ลดลง ซึ่งค่า L^* เมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิแตกต่างกัน นาน 8 h มีค่าลดลงแสดงให้เห็นว่าสีของสาหร่ายผักกาดทะเลเข้มขึ้น ค่าสีเขียว (a^*) มีค่าติดลบ แสดงถึงความเป็นสีเขียวโดยพบว่าอุณหภูมิและเวลามีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นสีเขียว โดยที่อุณหภูมิและเวลาแตกต่างกันส่งผลให้ค่าความเป็นสีเขียวลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เห็นได้ว่าการอบแห้งนาน 6 h ทำให้สาหร่ายมีการเปลี่ยนแปลงสีไปในทางโซนสีเขียวมากขึ้น แต่เป็นที่น่าสังเกตว่า ค่าสีเหลือง (b^*) ที่ได้จากการทดลองเป็นบวกที่แสดงถึงค่าของสีเหลือง ซึ่งอบแห้งที่เวลา 8 h กลับเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากสาหร่ายประกอบด้วยคลอโรฟิลล์ซึ่งรงควัตถุที่มีสีเขียว (Chen and Roca, 2018) ในการอบแห้งทำให้คลอโรฟิลล์ในสาหร่ายเปลี่ยนเป็นฟิโอฟิตินซึ่งมีสีเขียวมะกอกปนน้ำตาลที่เกิดจากการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ (อาภัสสร และคณะ, 2558) จึงส่งผลให้ค่า b^* เพิ่มขึ้น เมื่ออบนานขึ้นแต่ค่าความเป็นสีเขียวลดลง ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ที่ได้จากการอบแห้ง นาน 8 h สามารถลด a_w ของสาหร่ายสดได้ถึง 2.36 เท่า ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Oirschota et al. (2017) ที่รายงานว่าการอบแห้งสามารถลดน้ำหนักของอาหารช่วยยืดอายุการเก็บรักษา และสามารถลดค่า a_w ให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานสาหร่ายทะเลอบ (มผช. 515/2547) ที่กำหนดไว้ว่าค่า a_w ต้องไม่เกิน 0.6

ตารางที่ 1 ปริมาณผลผลิต ค่า a_w และค่าสีของผงสาหร่ายผักกาดทะเลที่สภาวะการอบแห้งแตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	ปริมาณผลผลิต (%)	a_w	ค่าสี		
			L*	a*	b*
Control	-	0.99±0.00	19.23±0.28	-1.98±0.05	4.99±0.21
50°C 6h	12.87±0.19 ^a	0.58±0.00 ^a	29.20±1.78 ^a	-4.71±0.57 ^c	14.41±1.61 ^a
60°C 6h	12.84±0.14 ^a	0.56±0.00 ^b	24.16±2.38 ^{bc}	-4.29±0.77 ^{bc}	12.01±0.78 ^b
70°C 6h	12.89±0.17 ^a	0.51±0.00 ^c	25.97±3.48 ^{ab}	-3.35±0.18 ^a	8.42±0.18 ^c
50°C 8h	11.86±0.28 ^b	0.47±0.00 ^d	21.27±1.29 ^c	-3.53±0.41 ^{ab}	8.70±1.74 ^c
60°C 8h	11.80±0.10 ^b	0.43±0.00 ^e	16.31±0.88 ^d	-3.27±0.11 ^a	9.27±0.46 ^c
70°C 8h	11.76±0.19 ^c	0.42±0.00 ^f	15.48±0.24 ^d	-3.16±0.14 ^a	10.38±0.30 ^{bc}
P-value					
อุณหภูมิ	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
เวลา	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
อุณหภูมิ*เวลา	0.00	0.00	0.45	0.15	0.00

หมายเหตุ: ^{a-f} ตัวอักษรที่แตกต่างในแนวคอลัมน์เดียวกันหมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

1.2 คุณภาพทางเคมีของสาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้ง ผลการศึกษาการอบแห้งต่อคุณภาพทางเคมีของสาหร่ายผักกาดทะเล แสดงดังตารางที่ 2 พบว่า การอบแห้งทำให้ความชื้นของสาหร่ายผักกาดทะเลลดลง 78.44 - 85.19% เมื่อเปรียบเทียบกับสาหร่ายผักกาดทะเลสด (Control) โดยพบว่าอุณหภูมิและเวลามีอิทธิพลต่อความชื้นของสาหร่ายผักกาดทะเล ทั้งนี้เกิดจากการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงในการอบแห้ง ทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนสูง และส่งผลอัตราการเร็วในการอบแห้งเพิ่มขึ้น (อาภัสสร และคณะ, 2558) ทำให้น้ำหนักของสาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งลดลงและความชื้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เช่นเดียวกับเวลาที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ความชื้นลดลงเช่นกัน จากงานวิจัยของ Djaeni and Sari (2011) พบว่าการอบแห้งด้วยอุณหภูมิ 70 °C หรือต่ำกว่าทำให้สาหร่ายอบแห้งที่ได้มีการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการน้อย แต่อย่างไรก็ตามจากการทดลองนี้พบว่าการอบแห้งทำให้ปริมาณโปรตีนในสาหร่ายลดลงเนื่องจากการให้ความร้อนต่อโปรตีนส่งผลให้โครงสร้างโปรตีนเกิดการครอสลิงค์ (Crosslink) ระหว่างโมเลกุลของโปรตีนส่งผลให้ปริมาณโปรตีนลดลง (วิชมณี และคณะ, 2560) การทดลองพบว่าเวลาที่ใช้ในการอบแห้งไม่มีผลต่อปริมาณของโปรตีน ซึ่งแตกต่างกันกับอุณหภูมิโดยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นปริมาณของโปรตีนลดลงและพบว่าผงสาหร่ายผักกาดทะเลที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 50 °C นาน 8 h มีปริมาณโปรตีนสูงที่สุดเมื่อเทียบกับสภาวะอื่น ปริมาณใยอาหาร เมื่ออบแห้งนาน 6 h พบว่ามีปริมาณน้อยกว่า

การอบแห้งนาน 8 h ซึ่งสอดคล้องกับ Djaeni and Sari (2015) ที่รายงานว่า องค์ประกอบของโปรตีนและสตาร์ชในสาหร่ายมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงซึ่งอุณหภูมิและเวลาในการอบแห้งเป็นปัจจัยหลักต่อคุณภาพ ซึ่งการใช้อุณหภูมิสูงสามารถทำให้สาหร่ายแห้งได้เร็ว แต่ก็ส่งผลต่อคุณค่าทางโภชนาการของสาหร่าย ซึ่งอุณหภูมิและเวลามีอิทธิพลร่วมต่อปริมาณใยอาหารไขมัน และเถ้า ในขณะที่ปัจจัยด้านเวลาที่ใช้ในการอบแห้งไม่มีผลต่อปริมาณของไขมัน แต่เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้ปริมาณไขมันลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) พบว่าระยะเวลาการอบแห้งที่นานขึ้นจาก 6 h เป็น 8 h ทำให้ปริมาณเถ้าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่ไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ของปริมาณเกลือ อุณหภูมิไม่มีอิทธิพลต่อปริมาณแคลเซียมในการอบแห้ง โดยพบว่าการอบแห้งนาน 6 h มีปริมาณแคลเซียม อยู่ในช่วง 3.54 - 3.64 เท่าของสาหร่ายผักกาดทะเลสด ซึ่งการอบแห้งนาน 8 h ส่งผลให้ปริมาณแคลเซียมเพิ่มสูงขึ้น 4.78 - 5.07 เท่าของสาหร่ายผักกาดทะเลสด เมื่อพิจารณาองค์ประกอบทางเคมีร่วมกับปริมาณผลผลิต ความชื้น และ a_w พบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 °C นาน 8 h ส่งผลให้สาหร่ายผักกาดทะเลมีปริมาณผลผลิตเท่ากับ 12.87% a_w เท่ากับ 0.47 และมีปริมาณความชื้น เท่ากับ 16.88% อีกทั้งยังมีการสูญเสียองค์ประกอบทางเคมีน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับที่สภาวะอบแห้งอื่นๆ ดังนั้นจึงเลือกสาหร่ายผักกาด

ทะเลอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 °C นาน 8 h บดเป็นผงสำหรับ
ผักกาดทะเลเพื่อมาใช้ในผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบต่อไป

**2. ผลการนำผงสำหรับผักกาดทะเลมาใช้ประโยชน์ในการผลิต
ข้าวเกรียบ**

ผลการศึกษาปริมาณผงสำหรับผักกาดทะเลในการ
ผลิตข้าวเกรียบด้วยการเติมปริมาณผงสำหรับผักกาดทะเลใน
ปริมาณ 4 6 และ 8% ของน้ำหนักแป้ง แสดงดังรูปที่ 1 ผลการ
วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ พบว่าการเติมผงสำหรับผักกาด
ทะเลที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความสว่าง (L*) ลดลง ค่าความเป็น
สีเขียว (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) เพิ่มขึ้น เนื่องมาจาก
สีของผงสำหรับผักกาดทะเลที่มีสีเขียวมันเอง ด้านความแข็ง
มีค่า 2.37 - 2.89 N และความเปราะ อยู่ระหว่าง 2.55 - 3.20 N
อย่างไรก็ตามการเพิ่มปริมาณผงสำหรับผักกาดทะเลไม่ส่งผลต่อ
ค่าความแข็ง และความเปราะของข้าวเกรียบอย่างมีนัยสำคัญทาง
สถิติ (p>0.05) คุณภาพทางเคมี พบว่าเมื่อปริมาณผงสำหรับ
ผักกาดทะเลเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้น เท่ากับ 1.58
1.92 และ 2.09 เท่าของสูตรควบคุม ตามลำดับ ปริมาณ

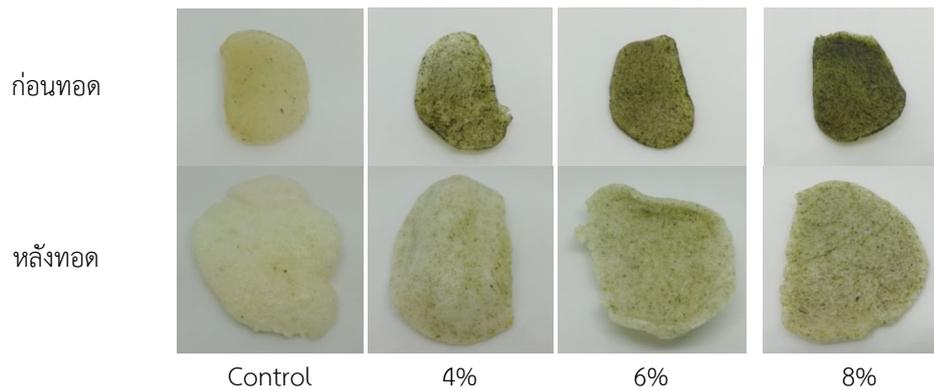
แคลเซียมเพิ่มขึ้น 9.11 10.52 และ 15.53 เท่าของสูตรควบคุม
ตามลำดับ ขณะที่ไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทาง
สถิติ (p>0.05) ของปริมาณเกลือ แสดงดังตารางที่ 3 ทั้งนี้แสดง
ให้เห็นว่าการเพิ่มผงสำหรับในข้าวเกรียบสามารถเพิ่มคุณค่าทาง
โภชนาการให้เพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับสูตรควบคุม เมื่อนำข้าว
เกรียบมาประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่าผู้บริโภคให้
คะแนนความชอบโดยรวมสูตรที่เติมผงสำหรับผักกาดทะเล 6%
มีคะแนนอยู่ในระดับชอบปานกลาง (6.92) โดยในด้านสี กลิ่นรส
ของสำหรับ และรสชาติ ได้คะแนนสูงสุด เท่ากับ 7.14 6.74
และ 6.60 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการเติมผงสำหรับนี้ไม่ทำ
ให้เกิดกลิ่นคาวหรือรสชาติที่ไม่พึงประสงค์ และยังมีคะแนนเป็นที่
ยอมรับของผู้บริโภค ในขณะที่เนื้อสัมผัส และรสชาติคะแนน
ความชอบของผู้บริโภคไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
(p<0.05) เมื่อเทียบกับสูตรอื่น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณผงสำหรับถึง
8% พบว่าคะแนนความชอบลดลงในทุกคุณลักษณะ เนื่องจากสี
ของผงสำหรับผักกาดทะเลในข้าวเกรียบเข้มข้นและมีกลิ่นของ
สำหรับที่ชัดเจน ทำให้ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบลดลง

ตารางที่ 2 คุณภาพทางเคมีของสำหรับผักกาดทะเลที่สภาวะการอบแห้งแตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	ความชื้น (%)	โปรตีน (% db)	ใยอาหาร (% db)	ไขมัน (% db)	เถ้า (% db)	เกลือ (%) ^{ns}	แคลเซียม (mg/100g)
Control	91.64±0.16	20.14±0.24	10.46±0.54	0.92±0.07	18.71±0.24	0.38±0.03	278.80±39.38
50°C 6h	19.76±0.07 ^a	18.20±0.09 ^c	5.79±0.04 ^d	0.29±0.02 ^{bc}	11.21±0.13 ^d	0.51±0.03	987.25±22.39 ^c
60°C 6h	19.61±0.20 ^a	17.74±0.09 ^d	6.47±0.03 ^c	0.24±0.02 ^d	10.85±0.27 ^d	0.51±0.03	1013.83±22.26 ^c
70°C 6h	19.01±0.01 ^b	18.24±0.43 ^c	6.55±0.05 ^c	0.24±0.03 ^d	11.82±0.14 ^c	0.52±0.05	1171.18±38.71 ^b
50°C 8h	16.88±0.11 ^c	20.60±0.09 ^a	6.45±0.09 ^c	0.34±0.03 ^a	13.84±0.14 ^a	0.53±0.02	1333.96±51.03 ^a
60°C 8h	14.40±0.35 ^d	19.67±0.10 ^b	6.96±0.29 ^b	0.32±0.01 ^{ab}	13.53±0.32 ^a	0.51±0.02	1413.70±100.95 ^a
70°C 8h	13.57±0.14 ^e	18.32±0.01 ^c	7.24±0.10 ^a	0.26±0.00 ^{cd}	13.09±0.22 ^b	0.54±0.04	1380.29±18.88 ^a
P-value							
อุณหภูมิ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.49	0.15
เวลา	0.00	0.25	0.00	0.15	0.00	0.58	0.00
อุณหภูมิ*เวลา	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.41	0.00

หมายเหตุ: ^{a-e} ตัวอักษรที่แตกต่างในแนวคอลัมน์เดียวกันหมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

^{ns} ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)



รูปที่ 1 ข้าวเกรียบผสมผงสาหร่ายผักกาดทะเลที่ปริมาณแตกต่างกัน

ตารางที่ 3 คุณภาพทางกายภาพและเคมีของข้าวเกรียบผสมผงสาหร่ายผักกาดทะเลที่ปริมาณแตกต่างกัน

คุณภาพ	ปริมาณของผงสาหร่ายผักกาดทะเลในข้าวเกรียบ			
	สูตรควบคุม	4 %	6 %	8 %
ทางกายภาพ				
ค่าสี				
L*	48.46±2.52 ^a	49.12±0.99 ^a	44.83±0.15 ^b	38.22±1.56 ^c
a*	-0.38±0.03 ^c	-0.44±0.03 ^{bc}	-0.53±0.05 ^b	-0.76±0.12 ^a
b*	4.37±0.83 ^c	8.24±1.03 ^b	8.19±0.43 ^b	10.46±0.75 ^a
ค่าความแข็ง (N) ^{ns}	2.79±0.39	2.89±0.63	2.37±0.16	2.82±2.30
ความเปราะ (N) ^{ns}	3.04±0.97	3.07±0.59	2.55±0.64	3.20±0.73
ทางเคมี				
โปรตีน (%)	0.78±0.03 ^d	1.23±0.03 ^c	1.50±0.02 ^b	1.63±0.05 ^a
เกลือ (%)	0.81±0.01 ^b	0.96±0.02 ^a	0.97±0.01 ^a	0.97±0.01 ^a
แคลเซียม (mg/100g)	19.57±0.01 ^d	178.35±0.32 ^c	205.96±6.60 ^b	303.86±6.21 ^a

หมายเหตุ: ^{a-d} ตัวอักษรที่แตกต่างในแนวนอนเดียวกันหมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

^{ns} ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4 คะแนนความชอบของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบผสมผงสาหร่ายผักกาดทะเล

คุณลักษณะ	ปริมาณของผงสาหร่ายผักกาดทะเลในข้าวเกรียบ			
	สูตรควบคุม	4%	6%	8%
สี	5.80±1.79 ^c	6.92±1.12 ^{ab}	7.14±1.23 ^a	6.36±1.51 ^{bc}
ความพองตัว ^{ns}	7.06±1.45	6.92±1.14	7.10±1.25	6.74±1.21
เนื้อสัมผัส(ความกรอบ) ^{ns}	7.36±1.19	7.74±0.72	7.48±0.99	7.38±0.94
กลิ่นรสสาหร่าย	5.72±1.70 ^c	6.44±1.76 ^{ab}	6.74±1.51 ^a	5.80±1.91 ^{bc}
รสชาติ ^{ns}	6.22±1.56	6.52±1.66	6.60±1.36	6.34±1.55
ความชอบโดยรวม	6.28±1.40 ^b	6.70±1.36 ^{ab}	6.92±1.21 ^a	6.30±1.40 ^b

หมายเหตุ: ^{a-c} ตัวอักษรที่แตกต่างในแนวนอนเดียวกันหมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

^{ns} ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

สรุปผลการวิจัย

สาหร่ายผักกาดทะเลเป็นสาหร่ายที่มีความชื้นสูงจึงทำให้เกิดการเสื่อมเสียได้ง่าย การศึกษาสภาวะในการอบแห้ง พบว่าสามารถช่วยลดปริมาณความชื้น และปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ในสาหร่ายได้ ทำให้สามารถลดน้ำหนักของสาหร่ายและช่วยยืดอายุการเก็บรักษา ซึ่งการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 °C นาน 8 h ให้ปริมาณผลผลิต 11.86% ค่า a_w เท่ากับ 0.47 ปริมาณความชื้นโปรตีน ไขมัน ไชอาหาร ไขมัน เกล็ด และเกลือ เท่ากับ 16.88 20.60 6.45 0.34 13.84 และ 0.53% ตามลำดับ และมีปริมาณแคลเซียม 1333.96 mg/100 g เมื่อเติมผงสาหร่ายผักกาดทะเลในข้าวเกรียบปริมาณ 4 6 และ 8% พบว่าคุณค่าทางโภชนาการด้านโปรตีน และแคลเซียมสูงขึ้น ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสพบว่าการเติมผงสาหร่ายผักกาดทะเล 6% ในข้าวเกรียบได้รับคะแนนความชอบทุกคุณลักษณะสูงสุด และมีคะแนนความชอบโดยรวม 6.92 คือ ชอบปานกลาง

งานวิจัยนี้เป็นแนวทางในการนำสาหร่ายผักกาดทะเลมาเพิ่มมูลค่า เพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้กับผลิตภัณฑ์ และการใช้ประโยชน์ให้หลากหลายยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง จังหวัดเพชรบุรีที่ให้การอนุเคราะห์วัสดุสาหร่ายผักกาดทะเล และขอขอบคุณกองวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ กรมประมง ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ และอุปกรณ์ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- กองวิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ กรมประมง. (2558). การแปรรูปสัตว์น้ำ. นนทบุรี: ห้างหุ้นส่วนจำกัดวนิดาการพิมพ์. หน้า 52-53.
- กุลยา ลี้มรุ่งเรืองรัตน์ และ อโนชา สุขสมบุญ. (2557). ผลของการเติมสาหร่ายผักกาดทะเลและความชื้นของส่วนผสมแป้งต่อคุณภาพของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอด. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 45(2): 533-536.
- ศูนย์สารสนเทศการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2562). สถิติการค้าสินค้าเกษตรไทยกับต่างประเทศ ปี 2561. แหล่งที่มา: <http://www.oae.go.th/assets/portals/1/files/ebook/2562/tradestat61.pdf>. ค้นเมื่อวันที่ 5 มิถุนายน 2562.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน. (2547). มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน สาหร่ายทะเลอบ ม ผช .5 15/2547. แหล่งที่มา: <http://www.tisi.go.th>. ค้นเมื่อ 6 ตุลาคม 2560.
- วิชมนิ ยินยงพุทธกาล ดุจเดือน ทิมทอง วรรณญา บางศรี และสุวรรณา วรสิงห์. (2556). ผลของวิธีการเตรียมขั้นต้นและปริมาณการเสริมธาตุเหล็กกับสาหร่ายผักกาดทะเลในกระบวนการออสโมซิส. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 21(5): 461-473.
- วิชมนิ ยินยงพุทธกาล สุวรรณา วรสิงห์ อาภัสรา แสงนาค และนิตราภกกระแสรชล. (2558). โครงการการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากสาหร่ายผักกาดทะเลสำหรับเด็กวัยเรียน Development of Snack Product from Sea Lettuce (*Ulva rigida*) for School Children. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ มหาวิทยาลัยบูรพา. 105 หน้า.
- วิชมนิ ยินยงพุทธกาล กุลยา ลี้มรุ่งเรืองรัตน์ ปณิตา ชัยปิ่น และต่อลาภ ศรีเมือง. (2560). ผลของอุณหภูมิและเวลาทำแห้งด้วยลมร้อนต่อคุณภาพของเห็ดเข็มทองผงที่ผลิตจากส่วนที่ไม่นิยมบริโภค. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 25(6): 1001-1014.
- บริษัทเจ้าแกน้อยฟู้ดแอนด์มาเก็ตติ้ง จำกัด. (2562). มูลค่าขนมขบเคี้ยว (สแน็ค) ปี 2561. แหล่งที่มา: <https://today.line.me/th/pc/article/มูลค่าขนมขบเคี้ยว+สแน็ค+ปี+2561-Ky9N9a>. ค้นเมื่อ 24 เมษายน 2562.
- สุวรรณา วรสิงห์ ธวัช ศรีวีระชัย อรุณ ศรีอนันต์ และ ภาคภูมิ วงศ์แข็ง. (2552). สันฐานวิทยาการเลี้ยงและการนำมาใช้ประโยชน์ของสาหร่ายผักกาดทะเล *Ulva rigida* C. Agardh, 1823. เอกสารเผยแพร่ฉบับที่ 1/2552. สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- อาภัสสร ศิริจริยวัตร สุธิชา พิขสิงห์ และชาติสยาม ผลวิสัย. (2558). ผลของอุณหภูมิในการทำแห้งต่อคุณภาพของสาหร่ายทะเล. วารสารวิทยาศาสตร์ มช. 43(3): 459-468.
- AOAC (2016). Official methods of analyses (20th Ed.). Washington DC: Association of Official Analytical Chemists.
- Chen, K. and Roca, M. (2018). Cooking effects on chlorophyll profile of the main edible seaweeds. Food Chemistry 266: 368-374
- Djaeni, M. and Sari, D. A. (2015). Low temperature seaweed drying using dehumidified air. Procedia Environmental Sciences 23: 2-10
- Kadam, S. U., Alvarez, C., Tiwari, B.K. and O'Donnell, C.P. (2015). Processing of seaweed. Seaweed Sustainability Chapter 4: 61-78.
- Kim, S., Pangestuti, R. and Rahmadi, P. (2011). Sea lettuces: Culinary uses and nutritional value. Advances in Food and Nutrition Research 64: 57-70.
- Mahadevan, K. (2015). Chapter 13 seaweeds: A sustainable food source. Seaweed Sustainable 347-364.

Mellentin, J. (2016). Seaweeds snacks: The next big opportunity in snacking. *Food Focus Thailand* 11(119): 54-55.

Oirschota, P. V., Thomas, J. E., Gröndahl, F., Fortuin, K. P. J., Brandenburg, W. and Potting, J. (2017). Explorative environmental life cycle assessment for system design of seaweed cultivation and drying. *Algal Research* 27: 43-54.

Roohinejad, S., Koubaa, M., Barja, F.J., Saljoughian, S., Amid, M. and Greiner, R. (2016). Application of seaweeds to develop new food products with enhanced shelf-life, Quality and health related beneficial properties. *Food Research International* 99(3): 1066-1083.

