

ซอร์ปชันไอโซเทิร์มและการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษา ของขนมขบเคี้ยวจากหอยแมลงภู่มะนาวและข้าวหอมกระดังงา

Sorption Isotherm and Quality Changes during Storage of Snack from Green Mussel and Hom-Kradang-Nga Rice

วิชมนี ยืนยงพุททกาล^{1*} สิริมา ชินนสาร¹ และ พิชญอร์ ไหมสุทธิสกุล²

Wichamanee Yuenyongputtakal^{1*}, Sirima Chinnasarn¹ and Pitchaon Maisuthisakul²

Received: 1 February 2022, Revised: 17 October 2022, Accepted: 7 November 2022

บทคัดย่อ

การศึกษาซอร์ปชันไอโซเทิร์มของความชื้นของขนมขบเคี้ยวจากหอยแมลงภู่มะนาวและข้าวหอมกระดังงาที่อุณหภูมิ 35 และ 45 องศาเซลเซียส และควบคุมความชื้นของตัวอย่างด้วยสารละลายเกลืออิ่มตัว ซึ่งมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.2 ถึง 0.9 พบว่า ที่อุณหภูมิคงที่ค่าความชื้นสมดุลของผลิตภัณฑ์ที่มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่า a_w เพิ่มขึ้น ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์กับค่า a_w มีลักษณะเป็นรูป Sigmoid shape แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ GAB สามารถใช้ทำนายปริมาณความชื้นสมดุลของผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 35 และ 45 องศาเซลเซียส ได้ใกล้เคียงกับข้อมูลจากการทดลอง โดยมีค่า SEE เท่ากับ 1.10 และ 1.13 ตามลำดับ และค่า R^2 เท่ากับ 0.99 สำหรับการติดตามคุณภาพผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า ค่า L^* และค่าความแข็งลดลงระหว่างการเก็บ ($p < 0.05$) ในขณะที่ค่า a^* และ b^* ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) สำหรับปริมาณความชื้นและค่า a_w มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) อย่างไรก็ตาม ผลิตภัณฑ์มีความปลอดภัยสำหรับการบริโภค โดยมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ไม่เกิน 1×10^6 cfu/g ปริมาณยีสต์และรา ไม่เกิน 100 cfu/g รวมทั้งได้รับคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในช่วง 6.70-7.10 (จาก 9 คะแนน) ตลอดการเก็บซึ่งแสดงถึงความชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง

คำสำคัญ: ซอร์ปชันไอโซเทิร์ม, การเปลี่ยนแปลงคุณภาพ, ขนมขบเคี้ยว

¹ ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี 20131

¹ Department of Food Science, Faculty of Science, Burapha University, Mueang, ChonBuri 20131, Thailand.

² สาขาวิชาบูรณาการส่งเสริมสุขภาพและความงาม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย เขตดินแดง กรุงเทพมหานคร 10400

² Integrated Wellness and Beauty Program, Faculty of Science and Technology, University of the Thai Chamber of Commerce, Din Daeng, Bangkok 10400, Thailand.

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, email): wich@go.buu.ac.th

ABSTRACT

Sorption isotherms of mussel and Hom-kradang-nga rice snacks were determined at 35 °C and 45 °C with a controlled humidity system using a saturated salt solution with a_w ranging from 0.2 to 0.9. It was found that the equilibrium humidity of the product increased as the a_w value increased at constant temperature. The characteristic shapes of the curve plotted between moisture content and a_w values of snack were sigmoid. GAB mathematical models highly correlated with the experimental data of the equilibrium moisture content of products at 35°C and 45 °C. The SEE values were 1.10 and 1.13, respectively, and the R^2 value was 0.99. Additionally, L^* color and hardness values decreased during the 4-week storage at room temperature ($p < 0.05$). While moisture content and a_w tended to rise ($p < 0.05$), a^* and b^* color values were not significantly different ($p > 0.05$). Furthermore, the product was safe for consumption because the total microbial count was less than 1×10^6 cfu/g. The yeast and mold content did not exceed 100 cfu/g. The snack product received an overall liking score in the range of 6.70- 7.10 (out of 9) indicating a slightly moderate liking.

Key words: Sorption isotherms, quality change, snack

บทนำ

ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว (Snack food) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมในการบริโภคทั่วโลก เนื่องจากเป็นอาหารที่รับประทานได้ง่าย มีหลากหลายรูปแบบและรสชาติให้เลือก ตลาดผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวในประเทศไทยเป็นตลาดหนึ่งที่ใหญ่ที่สุดและมีความหลากหลายของผลิตภัณฑ์มากที่สุด ในภาคพื้นเอเชียแปซิฟิก โดยในปี พ.ศ. 2563 มีรายงานว่ามูลค่าตลาดขนมขบเคี้ยวในประเทศไทยสูงถึง 48,990.2 ล้านบาท ซึ่งมีมูลค่าเพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2562 ร้อยละ 5.63 และมีแนวโน้มเติบโตอย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตาม การเติบโตนี้เกิดขึ้นพร้อมกับความต้องการของผู้บริโภคที่มีความสนใจผลิตภัณฑ์ที่มีความแตกต่างและแปลกใหม่ รวมทั้งเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพที่มีคุณค่าทางโภชนาการมากขึ้น เช่น ใช้ส่วนผสมที่มีคุณประโยชน์ต่อร่างกายมากขึ้น ใช้ส่วนผสมจากท้องถิ่นธรรมชาติ ไม่ใช้สารปรุงแต่งรส

ใช้กรรมวิธีการแปรรูปโดยการอบแทนการทอด เป็นต้น (Food Intelligence Center, 2021)

ในมุมมองของผู้ผลิตจึงต้องสร้างความแตกต่างแปลกใหม่ให้กับผลิตภัณฑ์ของตนเองอยู่เสมอเพื่อดึงดูดความสนใจและสร้างจุดเด่นให้กับผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดใหม่ จากการทำการทดลองเบื้องต้นพบว่า สูตรต้นแบบขนมขบเคี้ยวจากหอยแมลงภู่และข้าวหอมกระดังงาและทำให้สุกด้วยการอบได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสจากผู้ทดสอบในห้องปฏิบัติการและแนวคิดผลิตภัณฑ์สอดคล้องกับความต้องการของผู้ทดสอบ เมื่อพิจารณาศักยภาพของวัตถุดิบทั้งในแง่ของการจัดหาวัตถุดิบและคุณค่าทางโภชนาการ พบว่ามีความเป็นไปได้ในการผลิต โดยหอยแมลงภู่เป็นหอยเศรษฐกิจที่มีการเพาะเลี้ยงในประเทศไทยปริมาณมากชนิดหนึ่ง แต่อย่างไรก็ตามการนำหอยไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ในเชิงพาณิชย์ยังมีไม่มากนัก จำกัดอยู่ในบางรูปแบบ เช่น หอยแห้งปรุงรส หอยทอดกรอบบรรจุกระป๋อง หอยต้มแช่แข็ง

เป็นต้น ทั้งที่หอยแมลงภู่ เป็นอาหารทะเลที่มีโปรตีนสูง (ประมาณ 12%) มีแร่ธาตุและวิตามินหลากหลายชนิด (Coastal Aquaculture Research and Development Division, 2004) สำหรับข้าวหอมกระดังงา เป็นข้าวพันธุ์พื้นเมืองชนิดหนึ่ง มีเอกลักษณ์ที่สำคัญ คือ มีกลิ่นหอมคล้ายดอกกระดังงา มีสีแดง และเนื้อสัมผัสนุ่ม ข้าวหอมกระดังงามีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยเฉพาะวิตามินอี วิตามินบี และสารกาบา (GABA) นอกจากนี้ยังมีแร่ธาตุหลากหลายชนิด เช่น ธาตุเหล็ก แคลเซียม สังกะสี และมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (Kaewnango *et al.*, 2014) โดยหน่วยงานภาครัฐมีการวิจัยและพัฒนาพันธุ์และส่งเสริมให้ปลูก บริโภค และแปรรูปอย่างต่อเนื่อง

การศึกษาชอร์ปชันไอโซเทิร์ม (Sorption isotherm) ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจัดเป็นการทราบข้อมูลที่ช่วยประเมินสถานะที่เหมาะสมในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญที่ช่วยสนับสนุนการผลิตเพื่อการจัดจำหน่าย โดยชอร์ปชันไอโซเทิร์มเป็นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (a_w) กับปริมาณความชื้นสมดุลของอาหารที่อุณหภูมิหนึ่ง ๆ หรือกล่าวได้ว่าเป็นการศึกษาพฤติกรรมของการเคลื่อนที่ของไอน้ำจากอาหารไปยังอากาศรอบ ๆ โดยลักษณะของชอร์ปชันไอโซเทิร์มเป็นผลจากองค์ประกอบและโครงสร้างของอาหารในการศึกษาชอร์ปชันไอโซเทิร์มของอาหารนิยมใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Guggenheim-Anderson-de Boer (GAB) โดยสามารถทำนายค่าความชื้นสูงสุดใน 1 ชั้นโมเลกุลของ GAB (Mgm) และค่าคงที่ต่าง ๆ จากสมการได้ ซึ่งจะช่วยอธิบายถึงปริมาณน้ำที่เกิดพันธะไฮโดรเจนอย่างแข็งแกร่งกับโมเลกุลของสารในอาหารที่ยากแก่การระเหยออกซึ่งจะสัมพันธ์กับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ รวมทั้งสามารถประเมินรูปแบบของชอร์ปชันไอโซเทิร์มที่ได้ว่าเป็นรูปแบบใด ซึ่งมีประโยชน์ในการเลือกบรรจุภัณฑ์ที่

เหมาะสมเพื่อลดการเคลื่อนย้ายความชื้นระหว่างอาหารกับสถานะแวดล้อมได้ด้วย (Thalermgawachart and Duangmal, 2014; Mathlouthi, 2001; Sorapukdee *et al.*, 2016) เนื่องจากขนมขบเคี้ยวที่ผลิตจากหอยแมลงภู่และข้าวหอมกระดังงาเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการพัฒนาสูตรขึ้นมาใหม่ จากการตรวจสอบจึงยังไม่พบว่ามีการศึกษาชอร์ปชันไอโซเทิร์มของขนมขบเคี้ยวชนิดดังกล่าว ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาชอร์ปชันไอโซเทิร์มของขนมขบเคี้ยวจากหอยแมลงภู่และข้าวหอมกระดังงารวมทั้งติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บ

วิธีดำเนินการวิจัย

1. วัตถุดิบและอุปกรณ์

วัตถุดิบหลักในการผลิตขนมขบเคี้ยว ได้แก่ หอยแมลงภู่แห้ง จากตลาดหนองมน จังหวัดชลบุรี ข้าวหอมกระดังงา จากกลุ่มแม่บ้านเกษตรกรบ้านโคกอิฐ-โคกใน จังหวัดนราธิวาส และกลีเซอรอล (Food grade) และอุปกรณ์ที่ใช้ ได้แก่ เครื่องบดอาหารแห่งระบบใบมีดหมุนด้วยความเร็วสูง (บริษัท โฉวสด หยู, ประเทศไทย) เครื่องผสม (Thai mixer, รุ่น KV-05 ประเทศไทย) ตู้อบลมร้อนแบบถาด (E.K. Food Tech, ประเทศไทย) และตู้อบไฟฟ้า (Severin, รุ่น Typ2024 ประเทศเยอรมนี) สำหรับการศึกษาชอร์ปชันไอโซเทิร์มใช้ชุดสารละลายเกลืออิ่มตัวมาตรฐาน ดังนี้ เกลือโพแทสเซียมอะซิเตด (CH_3COOK) แมกนีเซียมคลอไรด์ (MgCl_2) โพแทสเซียมคาร์บอเนต (K_2CO_3) โซเดียมโบรไมด์ (NaBr) โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) และแบเรียมคลอไรด์ (BaCl_2) และตู้บ่มควบคุมอุณหภูมิ (Mermert รุ่น ULE 500, ประเทศเยอรมนี)

2. การผลิตขนมขบเคี้ยวจากหอยแมลงภู่มะนาวและข้าวหอมกระดังงา

การเตรียมวัตถุดิบดำเนินการโดยนำหอยแมลงภู่มะนาวและข้าวหอมกระดังงามาอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนมีความชื้นประมาณ 7-8 % บดเป็นผงให้ละเอียด แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 50 เมช ได้เป็นหอยแมลงภู่มะนาวผงและแป้งข้าวหอมกระดังงาดิบ นอกจากนี้มีการใช้แป้งข้าวหอมกระดังงาสุกเป็นวัตถุดิบด้วย ซึ่งเตรียมโดยการนำข้าวหอมกระดังงาแช่น้ำ ในอัตราส่วนข้าวต่อน้ำเป็น 1:4 เป็นเวลา 12 ชั่วโมง รินน้ำที่แช่ทิ้ง แล้วต้มข้าวหอมกระดังงาในอัตราส่วนข้าวต่อน้ำเป็น 1:4 ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95 - 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 50 นาที จะได้ข้าว

หอมกระดังงาสุกจากนั้นอบแห้งด้วยเครื่องอบลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนมีความชื้นประมาณ 7-8 % บดเป็นผงให้ละเอียด แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 50 เมช

การผลิตขนมขบเคี้ยวดำเนินการโดยนำส่วนผสมทั้งหมดผสมกันในเครื่องผสม (ตามรายละเอียดในตารางที่ 1) ในการผลิตแต่ละครั้งกำหนดใช้ส่วนผสมทั้งหมด 500 กรัม โดยนำส่วนผสมให้เข้ากันโดยใช้หัวผสมแบบตะขอ เป็นเวลา 5 นาที แล้วนำส่วนผสมมาขึ้นรูปเป็นแท่งทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตร โดยใช้พิมพ์พลาสติกทรงกระบอก ตัดเป็นชิ้นยาวประมาณ 4 เซนติเมตร จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 175 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที จนผลิตภัณฑ์สุก

ตารางที่ 1 ส่วนผสมสำหรับการผลิตขนมขบเคี้ยวจากหอยแมลงภู่มะนาวและข้าวหอมกระดังงา 500 กรัม

ส่วนผสม	ปริมาณ (กรัม)	คิดเป็น %
หอยแมลงภู่มะนาว	160	32.0
แป้งข้าวหอมกระดังงาสุก	26	5.2
แป้งข้าวหอมกระดังงาดิบ	80	16.0
น้ำ	210	42.0
กลีเซอรอล	24	4.8
รวม	500	100.0

3. การศึกษาข้อสรุปขั้นไอโซเทิร์มของขนมขบเคี้ยวจากหอยแมลงภู่มะนาวและข้าวหอมกระดังงา

บดตัวอย่างขนมขบเคี้ยวจากหอยแมลงภู่มะนาวและข้าวหอมกระดังงา แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 40 เมช ซึ่งตัวอย่างประมาณ 2 กรัม ใส่ในภาชนะเปิดและเก็บไว้ในโถแก้วควบคุมความชื้นที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส สารละลายเกลือ CH_3COOK , MgCl_2 , K_2CO_3 , NaBr , NaCl , KCl และ BaCl_2 โดยมีค่า α_w 0.2-0.9 และควบคุมอุณหภูมิ 35 และ 45 องศาเซลเซียส โดยวาง

ตัวอย่างในตู้อบลมร้อนควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งน้ำหนักตัวอย่างทุกวันจนกว่าน้ำหนักจะคงที่ (Bianco *et al.*, 1997) และวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC, 1995) ใช้รูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ตามสมการของ GAB มาทำนายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นของตัวอย่างที่ระดับ α_w ต่าง ๆ ทดสอบความน่าเชื่อถือของการทำนายจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination, R^2) และ Standard Error of Estimate (SEE) โดยสมการของ GAB มีรูปแบบการดังนี้

$$M = \frac{M_{gm} CKa_w}{(1 - Ka_w)(1 - Ka_w + CKa_w)}$$

เมื่อ	M	คือ ปริมาณความชื้น (g/100 g dry matter)
	a_w	คือ ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี
	M_{gm}	คือ ปริมาณความชื้นสูงสุดใน 1 ชั้นโมเลกุลของ GAB (g/100 g dry matter)
	K, C	คือ ค่าคงที่ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ
โดยที่	$K = K_0 \exp \frac{-E_l}{RT}$ และ $C = C_0 \exp \frac{-E_l}{RT}$	
	E_l	คือ พลังงานชอร์ปชันของมัลติเลเยอร์ (kJ/kmol)
	T	คือ อุณหภูมิของตัวกลางในการอบแห้ง (K)
	R	คือ ค่าคงที่ของก๊าซสากล (8,314 kJ/ mol K)

4. การติดตามคุณภาพของขนมขบเคี้ยวจาก หอยแมลงภูและข้าวหอมกระดังงาระหว่างการเก็บ

นำขนมขบเคี้ยวจากหอยแมลงภูและข้าวหอมกระดังงามาเก็บรักษา โดยบรรจุตัวอย่างจำนวน 5 ชิ้น (น้ำหนักประมาณ 20 กรัม) ในถุงพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเคลือบอะลูมิเนียมฟอยล์ (Aluminiumfoil-LDPE) ขนาดถุง 10*13 เซนติเมตร เก็บที่อุณหภูมิห้อง (28 ± 3 องศาเซลเซียส) เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ เพื่อวิเคราะห์คุณภาพ ได้แก่ ค่าสี วัดด้วยเครื่องวัดสี (Hunter Lab Colorimeter, รุ่น Miniscan XP Plus ประเทศสหรัฐอเมริกา) และรายงานผลเป็นค่า L^* , a^* และ b^* ลักษณะเนื้อสัมผัส วัดด้วยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (Stable Micro System, รุ่น TA.XT Plus ประเทศอังกฤษ) และรายงานเป็นค่า Hardness ค่า a_w วัดด้วยเครื่องวัด a_w (Novasina, รุ่น Thermo constanter TH 200 ประเทศสวิตเซอร์แลนด์) ปริมาณความชื้น (AOAC, 1995) ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา (Bacteriological Analytical Manual (BAM), 2003) และประเมินความชอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-Point Hedonic Scale (1 คะแนน หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 คะแนน หมายถึง ชอบมากที่สุด) คุณลักษณะที่

ทดสอบ คือ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยใช้ผู้ทดสอบ 30 คน

ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) โดยวางแผนการทดลองแบบกลุ่มอย่างสมบูรณ์ (CRD) ยกเว้นการประเมินความชอบทางประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบกลุ่มบล็อกสมบูรณ์ (RCBD) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Tukey Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Minitab version 18

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. ผลการศึกษาชอร์ปชันไอโซเทิร์มของขนมขบเคี้ยว จากหอยแมลงภูและข้าวหอมกระดังงา

จากการผลิตขนมขบเคี้ยวจากหอยแมลงภูและข้าวหอมกระดังงาซึ่งมีลักษณะส่วนผสมหลังการนวด หลังการขึ้นรูปเป็นแท่ง และผลิตภัณฑ์หลังการอบแสดงดังภาพที่ 1 และนำผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่ผลิตได้นี้มาศึกษาชอร์ปชันไอโซเทิร์มที่อุณหภูมิ 35 และ 45 องศาเซลเซียส และค่า a_w 0.2-0.9 สามารถสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากหอยแมลงภูและข้าวหอมกระดังงากับค่า a_w ดังแสดงในภาพที่ 2 ซึ่งพบว่า

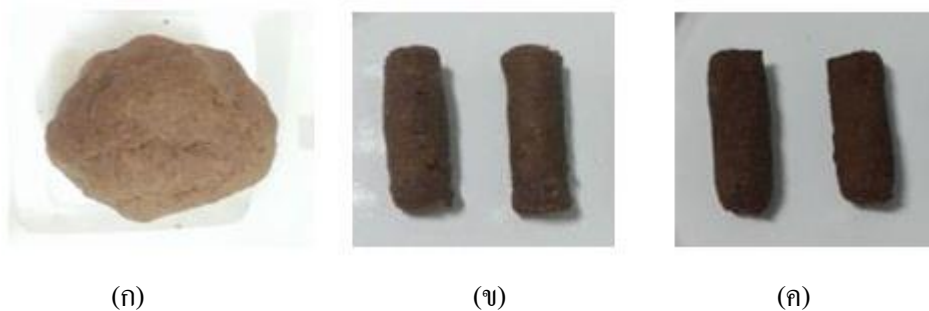
ความสัมพันธ์มีลักษณะเป็นรูป Sigmoid shape หรือ กราฟรูปตัวเอส ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ที่พบในอาหาร โดยทั่วไปที่มีทั้งสารโพลิเมอร์ชีวภาพที่มีขนาด โมเลกุลใหญ่ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน รวมอยู่กับ ตัวถูกละลาย เช่น เกลือ น้ำตาล (Thalerngnawachart and Duangmal, 2014; Pannarunothai, 2000; Aviara, 2020) ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัย ของ Chinnasarn *et al.* (2012) ที่ได้ศึกษาซอร์ปชัน ไอโซเทิร์มของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากซูริมิและ แป้งลูกเดี๋ย ซึ่งมียอดประกอบของผลิตภัณฑ์ ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากหอยแมลงภู่ และข้าวหอมกระดังงา โดยในสูตรของผลิตภัณฑ์มี องค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรต และโปรตีนรวมอยู่ กับเกลือซึ่งเป็นตัวถูกละลาย จากผลการทดลอง พบว่า ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวดังกล่าวมีความสัมพันธ์ ระหว่างปริมาณความชื้นสมดุลของผลิตภัณฑ์กับค่า a_w เป็นรูป Sigmoid shape เช่นเดียวกัน และจาก งานวิจัยของ Farahnaky *et al.* (2009) ที่ศึกษาผลของ การเติมกลีเซอรอลต่อซอร์ปชันไอโซเทิร์มของ มะเดื่อผงอบแห้ง พบว่า การเติมกลีเซอรอลลงใน มะเดื่อผงจะทำให้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ ความชื้นสมดุลของผลิตภัณฑ์กับค่า a_w เปลี่ยนจากรูป J shape เป็นรูป Sigmoid shape ซึ่งผลสอดคล้องกับ ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากหอยแมลงภู่และข้าวหอม กระดังงาซึ่งมีการเติมกลีเซอรอลในสูตรด้วยและ พบว่าได้ความสัมพันธ์เป็นรูป Sigmoid shape เช่นเดียวกัน ทั้งนี้เนื่องจากกลีเซอรอลสามารถเพิ่ม การดูดซับน้ำของผลิตภัณฑ์ได้ โดยโมเลกุลของ กลีเซอรอลที่เข้าไปแทรกอยู่ในโครงสร้างช่วยลดการ อัดแน่นของโครงสร้างตาข่ายของโปรตีน เมื่อ โครงสร้างของผลิตภัณฑ์หลวมขึ้นจึงส่งผลให้การดูด ซับ โมเลกุลของ น้ำใน ผลิตภัณฑ์ดีขึ้น ด้วย (Sorapukdee *et al.*, 2016) โดยเฉพาะที่ความชื้น สัมพัทธ์สูงซึ่งจากภาพที่ 2 จะเห็นได้ว่า เมื่อค่า a_w อยู่

ในช่วง 0.7-0.9 (ความชื้นสัมพัทธ์ 70-90%) ปริมาณ ความชื้นของผลิตภัณฑ์จะเพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน และเมื่อ พิจารณาการเปลี่ยนแปลงความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ อุณหภูมิ 35 และ 45 องศาเซลเซียส พบว่า ทั้งสอง อุณหภูมิมีลักษณะเส้นกราฟของการเปลี่ยนแปลง ความชื้นในรูปแบบเดียวกัน แต่การเปลี่ยนแปลง ความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิต่ำ คือ 35 องศา เซลเซียสนั้นจะเกิดขึ้นต่ำกว่าที่อุณหภูมิ 45 องศา เซลเซียส จึงมีความเป็นไปได้อย่างยิ่งที่หากเก็บรักษา ผลิตภัณฑ์ไว้ที่อุณหภูมิห้องซึ่งเป็นอุณหภูมิในสภาวะ ในการเก็บผลิตภัณฑ์จริง แนวโน้มของการ เปลี่ยนแปลงความชื้นของผลิตภัณฑ์เมื่อค่า a_w สูงขึ้น จะเป็นไปในแนวทางเดียวกันแต่ต่ำกว่าที่อุณหภูมิ 35 และ 45 องศาเซลเซียส นั่นคือ ผลิตภัณฑ์จะสามารถ ดูดความชื้นได้เร็วเมื่อค่า a_w สูงกว่า 0.6 ดังนั้น จึงควร พิจารณานิคมของบรรจุภัณฑ์ที่สามารถป้องกัน ความชื้นได้ดี เช่น บรรจุภัณฑ์ประเภทโลหะ แก้ว หรือซองบรรจุภัณฑ์พลาสติกที่มีการเคลือบแผ่น เปลวอลูมิเนียม เป็นต้น

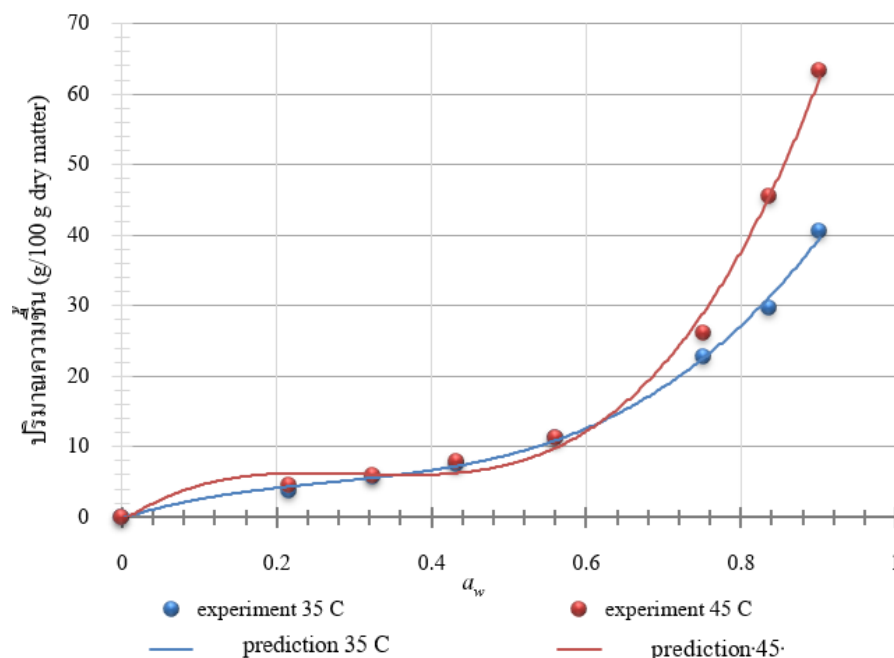
เมื่อทดลองแทนค่าปริมาณความชื้นสมดุล และค่า a_w ลงในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ GAB สามารถหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้แก่ ค่า ความชื้นสมดุลใน 1 ชั้นโมเลกุลของ GAB (M_{gm}) ค่าคงที่ K และ C ได้ดังตารางที่ 2 ซึ่งพบว่า ที่อุณหภูมิ เดียวกัน ค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อค่า a_w สูงขึ้น เมื่อพิจารณาค่าความชื้นสมดุลใน 1 ชั้น โมเลกุลของ GAB หรือค่า M_{gm} พบว่า อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์มีค่า M_{gm} สูงกว่าที่ 35 องศา เซลเซียส เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจะส่งผล ทำให้การระเหยของน้ำที่อาจถูกยึดเหนี่ยวกับ โครงสร้างของคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เส้นใย รวมไปถึงน้ำที่เกาะกับแร่ธาตุในผลิตภัณฑ์ออกมา มากขึ้น ทำให้มีปริมาณความชื้นสมดุลสูง (Mohamed *et al.*, 2004) โดยความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ

ความชื้นสมดุลของผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กี้กับค่า a_w มีลักษณะเป็นรูป Sigmoid shape ซึ่งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ GAB สามารถทำนายปริมาณความชื้นสมดุลในช่วงค่า a_w 0.2 – 0.9 ได้ดี โดยที่อุณหภูมิ 35 และ 45 องศาเซลเซียส มีค่า SEE เท่ากับ 1.10 และ 1.13 ตามลำดับ และค่า R^2 เท่ากับ 0.99 ทั้งสองอุณหภูมิโดยค่า R^2 เป็นพารามิเตอร์ทางสถิติที่บ่งชี้ให้ทราบถึงความสอดคล้องระหว่างสมการและข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ซึ่งค่า R^2 มีค่าอยู่ในช่วง 0

ถึง 1 โดยหากค่า R^2 เข้าใกล้ 1 แสดงว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้มีความสอดคล้องกับข้อมูลผลการทดลองมาก ซึ่งเกณฑ์ในการยอมรับได้คือค่า R^2 มากกว่าหรือเท่ากับ 0.95 นอกจากนี้ยังใช้พารามิเตอร์ทางสถิติในการเปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูลจากการทดลองกับข้อมูลที่ได้จากการคำนวณในรูปแบบของค่า SEE ซึ่งหากสมการได้ค่า SEE ต่ำ แสดงว่าสมการนั้นสามารถนำมาอธิบายผลการทดลองได้ดี



ภาพที่ 1 ลักษณะส่วนผสมของขนมขบเคี้ยวจากหอยแมลงภู่มะนาวและข้าวหอมกระดังงา หลังการนวด (ก) หลังการขึ้นรูปเป็นแท่ง (ข) และผลิตภัณฑ์หลังการอบ (ค)



ภาพที่ 2 ซอร์ปชันไอโซเทิร์มของขนมขบเคี้ยวจากหอยแมลงภู่มะนาวและข้าวหอมกระดังงาระหว่างค่าที่ได้จากการทดลอง (experiment) และค่าที่ได้จากการทำนาย (prediction) ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ GAB ที่อุณหภูมิ 35 และ 45 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 2 ค่าความชื้นสมดุลใน 1 ชั้นโมเลกุลของ GAB (M_{gm}) ค่าคงที่ K ค่าคงที่ C ค่า SEE และค่า R^2 ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ GAB ของขนมขบเคี้ยวจากหอยแมลงภู่และข้าวหอมกระดังงาที่อุณหภูมิ 35 และ 45 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ	M_{gm} (g/100 g dry matter)	C	K	SEE	R^2
35	8.18	1.70	0.73	1.10	0.99
45	8.67	1.07	0.97	1.13	0.99

2. คุณภาพขนมขบเคี้ยวจากหอยแมลงภู่และข้าวหอมกระดังงาระหว่างการเก็บรักษา

จากการเก็บรักษาขนมขบเคี้ยวจากหอยแมลงภู่และข้าวหอมกระดังงาซึ่งบรรจุในถุงพลาสติกชนิด Aluminiumfoil-LDPE ที่อุณหภูมิห้องแล้วสุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์คุณภาพระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 สัปดาห์ ผลการวิเคราะห์คุณภาพด้านค่าสี ค่า Hardness ค่า a_w และปริมาณความชื้นแสดงดังภาพที่ 3 4 และ 5

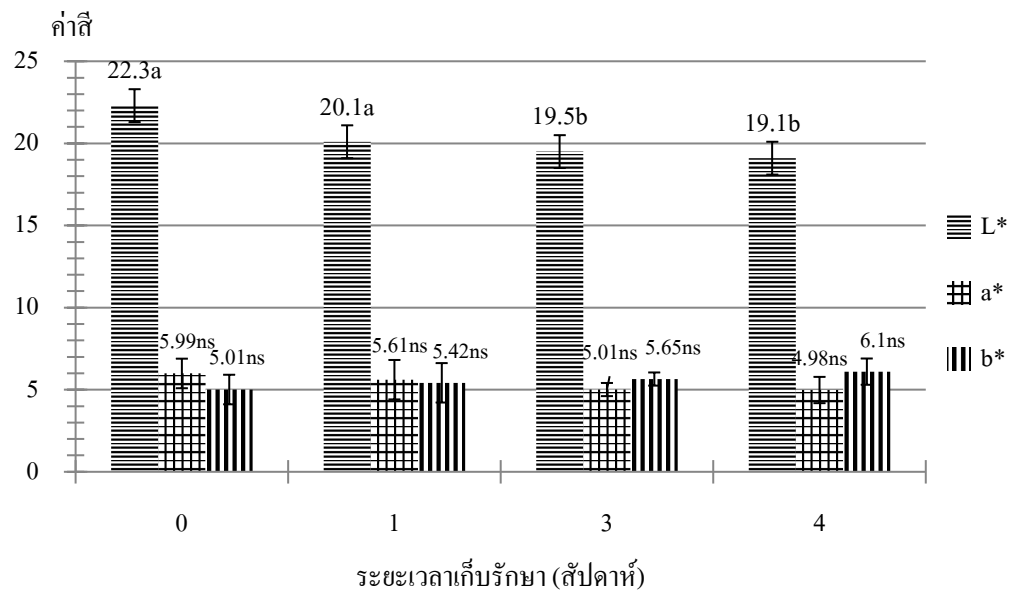
จากภาพที่ 3 พบว่า ค่าสี L^* ลดลงระหว่างการเก็บ 4 สัปดาห์ แสดงถึงมีความสว่างลดลง ($p < 0.05$) ส่วนค่า a^* และ b^* มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย โดยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตามระยะเวลาการเก็บ ($p \geq 0.05$) การที่ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวมีความสว่างลดลงหรือมีแนวโน้มสีคล้ำอาจเนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์ โดยปฏิกิริยาเมลลาร์ดสามารถเกิดขึ้นได้ระหว่างการเก็บรักษาอาหารโดยมีปัจจัยที่เร่งให้เกิดปฏิกิริยา ได้แก่ ความชื้น ค่า a_w และอุณหภูมิ ปฏิกิริยาเมลลาร์ดนี้เกิดจากน้ำตาลรีดิวซิง (Reducing sugar) ได้รับความร้อนในสภาวะที่มีน้ำ (ค่า a_w มากกว่า 0.2) และทำปฏิกิริยากับสารประกอบแอมีน (Amine) โดยเฉพาะกรดแอมิโน (Amino acid) ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะได้สารเมลานอยดิน (Melanoidins) ซึ่งมีสีน้ำตาล (Nursten, 2005) สำหรับงานวิจัยนี้ส่วนผสมที่ใช้เป็นแหล่งของทั้งกรดแอมิโน

และน้ำตาลรีดิวซิง เช่น หอยแมลงภู่เป็นแหล่งของกรดอะมิโนชนิดต่าง ๆ และแป้งข้าวหอมกระดังงาเป็นแหล่งของน้ำตาลรีดิวซิง

คุณสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวมีความสัมพันธ์กับการยอมรับของผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภคอย่างมาก เป็นตัวชี้วัดที่สำคัญในการประเมินการเปลี่ยนแปลงของขนมขบเคี้ยวระหว่างการเก็บรักษา จากภาพที่ 4 พบว่า ตลอดการเก็บ 4 สัปดาห์ ค่า Hardness มีค่าอยู่ในช่วง 7.90 - 8.89 kg โดยค่า Hardness มีแนวโน้มลดลง ($p < 0.05$) อาจเนื่องมาจากการระหว่างการเก็บรักษา ผลิตภัณฑ์ยังมีโอกาสดูดซับความชื้นในช่องว่างภาชนะบรรจุและทำให้ผลิตภัณฑ์นุ่มลงเล็กน้อย อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงนี้อาจไม่ได้มีผลต่อความปลอดภัยและการยอมรับของผู้บริโภค สอดคล้องกับที่ Lucas *et al.* (2018) รายงานว่า เมื่อเก็บรักษาขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวโพดที่เสริมสาหร่ายเกลียวทองที่ผลิตด้วยกระบวนการอัดพอง (Extrusion) บรรจุในถุงพลาสติกชนิดพอลิโพรไพลีนที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ปี พบว่า ปริมาณความชื้นและค่า Hardness ของผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่เมื่อปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ยังไม่เกิน 6% รวมทั้งค่า Hardness เปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อยเท่านั้น จึงยังทำให้มีแนวโน้มปลอดภัยจากการเสื่อมเสียของจุลินทรีย์และยังเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ในสูตรการผลิตขนมขบเคี้ยวจากหอยแมลงภู่และข้าวหอมกระดังงาในงานวิจัยนี้ มีการเติมกลีเซอรอลร่วมด้วยร้อยละ 4.8

ซึ่งกลีเซอรอลเป็นสารควบคุมความชื้น (Humectant) ที่จัดเป็นสารประกอบพอลิไฮดรอกซีแอลกอฮอล์ (Polyhydroxy alcohol) ที่มีหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมาก ซึ่งสามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของน้ำได้ การเติมกลีเซอรอลจึงใช้เพื่อลดค่า a_w และ

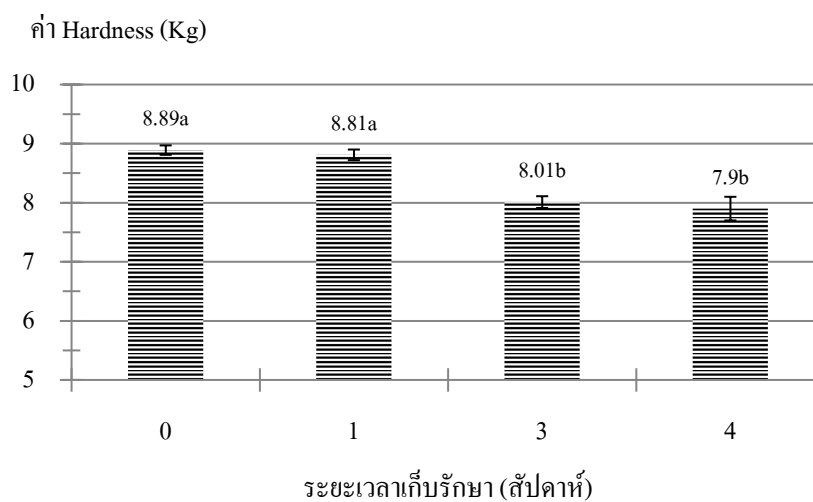
ความชื้นของอาหารให้ต่ำลง ซึ่งเป็นประโยชน์ด้านการลดความเสี่ยงจากการเจริญของจุลินทรีย์ ป้องกันการเปลี่ยนแปลงสี กลิ่นรส และรสชาติระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ (Cauvian and Young, 2000)



ภาพที่ 3 ค่าสี L* a* และ b* ของขนมขบเคี้ยวจากหอยแมลงภู่มะนาวและข้าวหอมกระดังงาระหว่างการเก็บรักษา

a, b,... ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเวลาเก็บรักษาต่างกัน

ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) เมื่อเวลาเก็บรักษาต่างกัน

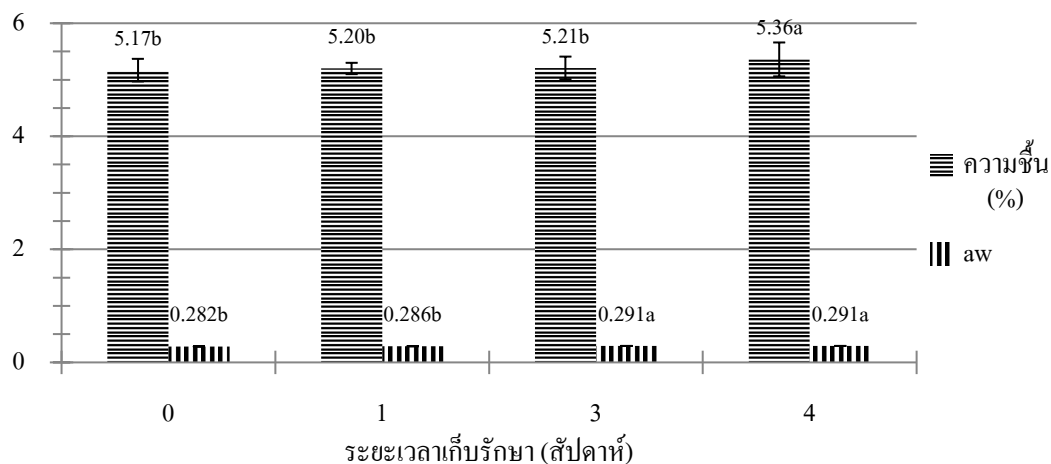


ภาพที่ 4 ค่า Hardness ของขนมขบเคี้ยวจากหอยแมลงภู่มะนาวและข้าวหอมกระดังงาระหว่างการเก็บรักษา

a, b,... ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเวลาเก็บรักษาต่างกัน

จากภาพที่ 5 พบว่า ตลอดเวลาการเก็บ 4 สัปดาห์ ค่า a_w อยู่ในช่วง 0.282-0.291 แสดงให้เห็นว่าค่า a_w เปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แม้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยค่า a_w ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของผลิตภัณฑ์เทียบเคียงคือ ข้าวกรอบปรุงรส (Thai Community Product Standard, 2019) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำข้าวมาทำให้สุก ผสมกับเกลือ พริกไทย และส่วนประกอบอื่น เช่น ปลาป่น อัดให้เป็นชิ้น ทำให้แห้งโดยใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์หรือแหล่งพลังงานอื่นแล้วทอดในน้ำมันจนสุกกรอบ ซึ่งมีมาตรฐานกำหนดไว้ว่าค่า a_w ต้องไม่เกิน 0.6 สำหรับ

ด้านปริมาณความชื้น พบว่า ตลอดเวลาการเก็บ 4 สัปดาห์ มีค่าอยู่ในช่วง 5.17% – 5.36% โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ($p < 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากชนิดวัสดุของบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ยังคงยอมให้น้ำผ่านเข้าออกได้อยู่บ้าง โดยวัสดุนิด Aluminiumfoil-LDPE มีค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (Moisture Vapour Transmission Rate) น้อยกว่า 0.01 กรัม/ตารางเมตร/วัน (ที่ 38 องศาเซลเซียส ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ 90%) (Flexifoil Packaging PVT Ltd, 2012) โดยส่วนผสมของขนมขบเคี้ยวสามารถดูดซับความชื้นในช่องว่างภาชนะบรรจุได้ระหว่างการเก็บ



ภาพที่ 5 ค่า a_w และปริมาณความชื้นของขนมขบเคี้ยวจากหอยแมลงภู่มูและข้าวหอมกระดังงาระหว่างการเก็บรักษา
a, b, ... ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเวลาเก็บรักษาต่างกัน

จากภาพรวมการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ พบว่า ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากหอยแมลงภู่มูและข้าวหอมกระดังงาที่ผลิตได้มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงด้านสี เนื้อสัมผัส และปริมาณความชื้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Wani and Kumar (2016) ที่รายงานว่า ขนมขบเคี้ยวจากแป้งถั่วและแป้งข้าวเจ้าที่ผลิตด้วยกระบวนการอัดพอง (Extrusion) เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 120 วัน โดยบรรจุขนมขบเคี้ยวในถุงพลาสติกชนิด

พอลิเอสเตอร์และพอลิเอทิลีนเคลือบอะลูมิเนียมฟอยล์ (Polyester- Aluminium- Polypropylene) มีแนวโน้มค่าสี L^* ลดลงตามเวลาที่เก็บ ซึ่งหมายถึงขนมขบเคี้ยวมีสีคล้ำ ซึ่งสาเหตุหลักน่าจะมาจากการปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์ สำหรับเนื้อสัมผัสด้านค่า Hardness พบว่า มีค่าลดลงจาก 10.14 N เหลือ 6.66 N โดยค่า Hardness ที่ลดลงมีความสัมพันธ์กับปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นซึ่งเป็นผลจากการสร้างพันธะของโมเลกุลที่ชอบน้ำ

(Hydrophilic bonds) สำหรับปริมาณความชื้น พบว่าผลิตภัณฑ์มีความชื้นเพิ่มขึ้นประมาณ 3% เมื่อเก็บรักษาครบ 120 วัน ทั้งนี้เกิดจากการดูดซับความชื้นในช่องว่างภาชนะบรรจุนั่นเอง

นอกจากการวิเคราะห์ด้านเคมีกายภาพแล้ว ในระหว่างการเก็บรักษาขนมขบเคี้ยวจากหอยแมลงภู่

และข้าวหอมกระดังงาซึ่งบรรจุในถุงพลาสติกชนิด Aluminiumfoil-LDPE ที่อุณหภูมิห้อง ได้สุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์คุณภาพด้านจุลินทรีย์และประสาทสัมผัสระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 สัปดาห์ แสดงดังตารางที่ 3 และ 4 ตามลำดับ

ตารางที่ 3 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และราของขนมขบเคี้ยวจากหอยแมลงภู่และข้าวหอมกระดังงา ระหว่างการเก็บรักษา

ระยะเวลาเก็บรักษา (สัปดาห์)	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (cfu/g)	ปริมาณยีสต์และรา (cfu/g)
0	$<1 \times 10^1$	$<1 \times 10^1$
1	$<1 \times 10^1$	$<1 \times 10^1$
2	$<1 \times 10^1$	$<1 \times 10^1$
3	$<1 \times 10^1$	$<1 \times 10^1$
4	1×10^2	$<1 \times 10^1$

ตารางที่ 4 คะแนนความชอบจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของขนมขบเคี้ยวจากหอยแมลงภู่และข้าวหอมกระดังงาระหว่างการเก็บรักษา

ระยะเวลา เก็บรักษา (สัปดาห์)	คะแนนเฉลี่ย $\pm$ SD					
	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่นรส ^{ns}	รสชาติ ^{ns}	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
0	7.13 $\pm$ 1.00 ^a	6.14 $\pm$ 0.81 ^a	6.50 $\pm$ 1.11	6.69 $\pm$ 1.01	7.10 $\pm$ 1.00 ^a	7.10 $\pm$ 1.14 ^a
1	7.00 $\pm$ 1.01 ^a	6.04 $\pm$ 0.97 ^a	6.51 $\pm$ 1.04	6.60 $\pm$ 1.41	7.09 $\pm$ 1.01 ^a	7.09 $\pm$ 1.90 ^a
2	7.01 $\pm$ 0.81 ^a	6.01 $\pm$ 0.77 ^a	6.47 $\pm$ 1.07	6.79 $\pm$ 0.91	7.05 $\pm$ 0.81 ^a	7.01 $\pm$ 0.81 ^a
3	6.55 $\pm$ 1.09 ^b	6.02 $\pm$ 1.10 ^a	6.41 $\pm$ 0.69	6.59 $\pm$ 1.04	6.70 $\pm$ 1.09 ^b	6.85 $\pm$ 1.47 ^b
4	6.50 $\pm$ 1.10 ^b	5.94 $\pm$ 1.04 ^b	6.50 $\pm$ 1.24	6.60 $\pm$ 1.19	6.59 $\pm$ 1.10 ^b	6.70 $\pm$ 1.09 ^b

^{a, b, ...} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

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

จากตารางที่ 3 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์และรา เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานของข้าวกรอบปรุงรส (Thai Community Product Standard, 2019) พบว่า มีปริมาณ

จุลินทรีย์ทั้งหมด ไม่เกิน 1×10^6 cfu/g ปริมาณยีสต์และรา ไม่เกิน 100 cfu/g แสดงถึงผลิตภัณฑ์ผ่านเกณฑ์ด้านสุขลักษณะทั่วไปในระหว่างการผลิต จากตารางที่ 4 แสดงผลการประเมินคุณภาพทางประสาท

สัมผัส พบว่า คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตามระยะเวลาการเก็บ ($p < 0.05$) ในขณะที่คะแนนความชอบด้านกลิ่นรส และรสชาติ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตามระยะเวลาการเก็บ ($p \geq 0.05$) โดยพบว่า คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมมีแนวโน้มคล้ายกันคือ ที่ระยะเวลาการเก็บ 0 1 และ 2 สัปดาห์ ได้รับคะแนนความชอบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) แต่เมื่อระยะเวลาการเก็บถึง 3 และ 4 สัปดาห์ คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมลดลง ($p \geq 0.05$) แต่อย่างไรก็ตามคะแนนความชอบยังอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย แสดงถึงขนมขบเคี้ยวจากหอยแมลงภู่มะนาวและข้าวหอมกระดังงายังคงเป็นที่ยอมรับ ตามข้อสังเกตจากการเปลี่ยนแปลงด้านค่า Hardness (ภาพที่ 4) ที่พบว่าเมื่อเก็บผลิตภัณฑ์เป็นเวลา 3 และ 4 สัปดาห์ ค่า Hardness ลดลงจากที่ 0 สัปดาห์ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 7.90 kg - 8.01 kg ซึ่งแสดงถึงผลิตภัณฑ์ที่มีความแข็งลดลงจึงมีผลให้คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสลดลงจากที่ 0 สัปดาห์ด้วย โดยได้รับคะแนนความชอบเนื้อสัมผัสในช่วง 6.59-6.70 สำหรับคะแนนความชอบด้านสี พบว่า ที่ระยะเวลาการเก็บ 0 1 2 และ 3 สัปดาห์ ได้รับคะแนนความชอบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยเมื่อระยะเวลาการเก็บถึง 4 สัปดาห์ ได้รับคะแนนความชอบด้านสีลดลง ($p \geq 0.05$) ซึ่งมีแนวโน้มสอดคล้องกับการลดลงของค่า L^* (ภาพที่ 3)

สรุป

ลักษณะของซอร์ปชันไอโซเทอร์มของขนมขบเคี้ยวจากหอยแมลงภู่มะนาวและข้าวหอมกระดังงาเป็นแบบ sigmoid shape และสามารถใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ GAB เพื่ออธิบายความสัมพันธ์

ระหว่างปริมาณความชื้นสมดุลและค่า a_w ทั้งที่อุณหภูมิ 35 และ 45 องศาเซลเซียสได้ดี โดยผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่พัฒนาได้นี้มีค่าความชื้นในหนึ่งชั้นโมเลกุลเป็น 8.68-8.67 g/100 g dry matter ดังนั้นหากต้องการให้ผลิตภัณฑ์มีความคงตัวและอายุการเก็บนาน จะต้องอบผลิตภัณฑ์ให้ถึงค่าความชื้นในหนึ่งชั้นโมเลกุลนี้ ผลการติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพเมื่อบรรจุผลิตภัณฑ์ในถุงพลาสติก Aluminiumfoil-LDPE ระหว่างการเก็บรักษา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิห้อง พบว่า ผลิตภัณฑ์มีค่าความสว่างและความแข็งลดลงระหว่างการเก็บ ในขณะที่ปริมาณความชื้นและค่า a_w มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ผลการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ผ่านเกณฑ์ด้านสุขลักษณะทั่วไปในระหว่างการผลิตและยังได้รับคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวรวมทั้งใช้เป็นแนวทางประเมินการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะใกล้เคียงกันได้ อย่างไรก็ตาม อาจมีการเพิ่มระยะเวลาในการติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาให้นานขึ้นเพื่อสามารถประเมินอายุการเก็บรักษา รวมทั้งอาจมีการประเมินคุณภาพผลิตภัณฑ์ในด้านอื่น ๆ ร่วมด้วย เช่น กลิ่นหืน เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ทูตสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) มหาวิทยาลัยบูรพา เลขที่สัญญา 147/2561

เอกสารอ้างอิง

- AOAC. 1995. **Official methods of analysis**. 16th ed. Association of official analytical chemists. Washington DC, USA.
- Aviara, N.A. 2020. Moisture sorption isotherms and isotherm model performance evaluation for food and agricultural products, pp. 1-33. *In* Kyzas, G and Lararidis, N., eds. **Sorption in 2020s**. Intech Open, London.
- Bacteriological Analytical Manual (BAM). 2003. **Food Sampling/ Preparation of sample Homogenate Chapter 1**. Available Source: <https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bam-chapter-1-food-samplingpreparation-sample-homogenate>, June 2, 2019.
- Bianco, A.M., Pollio, M.L., Resnik, S.L., Boente, G. and Larumbe, A. 1997. Comparison of water sorption behavior of three rice varieties under different temperatures. **Journal of Food Engineering** 33: 395-403.
- Cauvian, S.P. and Young, L.S. 2000. **Bakery Food Manufacturing and Quality: Water Control and Effects**. Blackwell Science Ltd., Oxford.
- Chinnasarn, S., Yuenyongputtakal, W. and Chinnasarn, K. 2012. **Research Report on Development of healthy snack from surimi and job's tears flour**. NRU & HERP, Bangkok. (in Thai)
- Coastal Aquaculture Research and Development Division. 2004. **Smart Farmer: Clam Cultivation**. Department of Fisheries, Bangkok. (in Thai)
- Farahnaky, A., Ansari, S. and Majzoobi, M. 2009. Effect of glycerol on the moisture sorption isotherms of figs. **Journal of Food Engineering** 93: 468-473.
- Flexifoil Packaging PVT Ltd. 2012. **Barrier Properties of Films**. Available Source: <http://www.flexifoilpackaging.com/barrier-properties-films>, July 21, 2020.
- Food Intelligence Center. 2021. **Snacks Product Trend**. Market Intelligence. Available Source: <http://fic.nfi.or.th/MarketOverviewDomesticDetail.php?id=354>, March 11, 2020. (in Thai)
- Kaewnango, E., Saeng-arun, N., Suwann, S., Thongchai, A., Saeton, S., Panichkij, S., Posiri, W., Dantaweesin, W., Chotechuen, S., Cheaupun, K., Wongpiyachon, S., Akkaravessapong, P., Pantuwan, G., Nookong, B., Srisuwan, C., Plodplong, K. and Moo-na, M. 2014. PTNC09002-59 : Hawm Gra Dang Ngah Narathiwat New Native Landrace Rice, pp.105-117. *In Proceedings of the 31st Rice and Temperate Cereal Crops Annual Conference*. Division of Rice Research and Development, Bangkok. (in Thai)
- Lucas, B.F., de Moraes, M.G., Santos, T.D., Jorge Alberto, J. and Costa, V. 2018. Spirulina for snack enrichment: Nutritional, physical and sensory evaluations. **LWT- Food Science and Technology** 90 (1): 270-276.
- Mathlouthi, M. 2001. Water content, water activity, water structure and the stability of foodstuffs. **Food Control**. 12(7): 409-417.
- Mohamed, L.A., Kouhila, M., Jamali, A., Lahsasni, S. and Mahrouz, M. 2004. Moisture sorption isotherms and heat of sorption of bitter

- orange leaves (*Citrus aurantium*). **Journal of Food Engineering** 67(4): 491-498.
- Nursten, H. 2005. **The Maillard Reaction**. The Royal Society of Chemistry, Cambridge.
- Pannarunothai, R. 2000. The role of water activity in the food industry. **Charpa Journal** 56(7): 57-61. (in Thai)
- Sorapukdee, S., Uesakulrungrueng, C. and Pilasombut, K. 2016. Effects of humectant and roasting on physicochemical and sensory properties of jerky made from spent hen meat. **Korean Journal for Food Science of Animal Resources** 36(3): 326-334.
- Thai Community Product Standard. 2019. **Seasoning Crispy Rice: 10501/2562**. Ministry of Industrial, Bangkok. (in Thai)
- Thalerngnawachart, S. and Duangmal, K. 2014. Moisture sorption isotherms of osmosed-air dried fruits. **KKU Science Journal** 42(1): 25-37. (in Thai)
- Wani, S.A. and Kumar, P. 2006. Moisture sorption isotherms and evaluation of quality changes in extruded snacks during storage. **LWT-Food Science and Technology** 74 (1): 448-455.