รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การเพิ่มมูลค่าหอยแมลงภู่และข้าวหอมกระดังงา
โดยการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภค

Adding Value to Green Mussel and Hawm Gra Dang Ngah Rice
for Ready-to-Eat Jerky-Like Product Production

ผศ.ดร.วิชมณี ยืนยงพุทธกาล	หัวหน้าโครงการวิจัย
ดร.สิริมา ชินสาร	ผู้ร่วมวิจัย
ผศ.ดร.สันทัด วิเชียรโชติ	ผู้ร่วมวิจัย

โครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้

(เงินอุดหนุนจากรัฐบาล) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561

มหาวิทยาลัยบูรพา

รหัสโครงการ 256107A1080047

สัญญาเลขที่ 147/2561

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การเพิ่มมูลค่าหอยแมลงภู่และข้าวหอมกระดังงา โดยการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภค

Adding Value to Green Mussel and Hawm Gra Dang Ngah Rice for Ready-to-Eat Jerky-Like Product Production

ผศ.ดร.วิชมณี ยืนยงพุทธกาล[1]	หัวหน้าโครงการวิจัย
ดร.สิริมา ชินสาร[1]	ผู้ร่วมวิจัย
ผศ.ดร.สันทัด วิเชียรโชติ[2]	ผู้ร่วมวิจัย

[1]ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

[2]บัณฑิตวิทยาลัยสหวิทยาการผลิตภัณฑ์เสริมอาหารและอาหารสุขภาพ

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

มกราคม 2562

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561 มหาวิทยาลัยบูรพา ผ่านสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ เลขที่สัญญา 147/2561 คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณผู้ช่วยวิจัย ได้แก่ นางสาวปณิดา ชัยปัน และ นางสาวอนุสรา พลบจู ขอขอบคุณภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการทำงานวิจัย รวมถึงขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ และนิสิตภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร รวมถึงผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่มีส่วนให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัยครั้งนี้

คณะผู้วิจัย
กุมภาพันธ์ 2562

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่มีลักษณะคล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคจากหอยแมลงภู่และข้าวหอมกระดังงา จากการศึกษาหาสูตรที่เหมาะสมโดยแปรปริมาณการเติมหอยแมลงภู่ผง แป้งข้าวหอมกระดังงาสุก และแป้งข้าวหอมกระดังงาดิบ รวมทั้งศึกษาปริมาณการเติมกลีเซอรอลที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพด้านลักษณะปรากฏและเนื้อสัมผัส ผลการทดลอง พบว่า สูตรที่เหมาะสมประกอบด้วยหอยแมลงภู่ผง 31.75% แป้งข้าวหอมกระดังงาสุก 5.29% แป้งข้าวหอมกระดังงาดิบ15.87% น้ำ 42.33% และกลีเซอรอล 4.76% ผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาได้เป็นแหล่งที่ดีของคาร์โบไฮเดรทโดยมีปริมาณ 71.18% รวมทั้งมีโปรตีนสูงปริมาณ 15.90% มีใยอาหารทั้งหมด 11.08 g/100g สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 81.74 mg GAE/100 g sample และมีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งรายงานเป็น % Inhibition เท่ากับ 83.43 เมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ในถุงพลาสติกชนิด Nylon-LDPE เคลือบอะลูมิเนียมฟอยด์ ที่อุณหภูมิห้อง พบว่า ตลอดการเก็บรักษา 1 เดือน ผลิตภัณฑ์ยังคงมีความปลอดภัยในการบริโภคและยังเป็นที่ยอมรับทางประสาทสัมผัส ผลการศึกษา Moisture sorption isotherm ของผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคจากหอยแมลงภู่และข้าวหอมกระดังงาที่พัฒนาได้ พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นสมดุลของผลิตภัณฑ์กับค่า a_w เป็นรูป Sigmoid shape

Abstract

This research was to develop a snack product as ready-to-eat jerky-like from green mussel and Hawm Gra Dang Ngah rice. From the study of finding the optimum formula by varying the amount of green mussel powder, pre-gelatinized Hawm Gra Dang Ngah rice flour and raw Hawm Gra Dang Ngah rice flour. Including studying the appropriate amount of glycerol added to improve the appearance and texture quality. The results showed that the suitable formula consisted of 31.75% mussel powder, 5.29% pre-gelatinized Hawm Gra Dang Ngah rice flour, 15.87% raw Hawm Gra Dang Ngah rice flour, 42.33% water and 4.76% glycerol. The developed product is a good source of 71.18% carbohydrate, including a high protein content of 15.90% with total dietary fiber 11.08 g /100g. A total phenolic content was 81.74 mg GAE/100g and antioxidant properties in terms of % inhibition reported as equal to 83.43. The products packed in Nylon-LDPE plastic bags coated with aluminum foil at room temperature were monitored. It was found that throughout the shelf life of 1 month, the product remained safe for consumption and it was still sensory acceptable. The results of the moisture sorption isotherm study showed that the relationship between equilibrium moisture content and a_w was figure out as sigmoid shape.

สารบัญ

		หน้า
	กิตติกรรมประกาศ	ก
	บทคัดย่อ	ข
	Abstract	ค
	สารบัญ	ง
	สารบัญตาราง	จ
	สารบัญภาพ	ซ
บทที่		
1	บทนำ	1
2	การตรวจเอกสาร	3
3	วิธีดำเนินการทดลอง	11
4	ผลการทดลองและวิจารณ์	18
5	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	42
	บรรณานุกรม	43
	ประวัตินักวิจัย	47

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	คุณค่าทางโภชนาการของเนื้อหอยแมลงภู่ 100 กรัม..	4
2-2	คุณค่าทางโภชนาการของข้าวหอมกระดังงา..	5
3-1	สัดส่วนของการใช้หอยแมลงภู่ผง แป้งข้าวหอมกระดังงาสุก และแป้งข้าวหอมกระดังงาดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภค..................................	13
4-1	ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของหอยแมลงภู่ผง...	18
4-2	ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวหอมกระดังงาดิบผง...............................	19
4-3	ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวหอมกระดังงาสุกผง................................	19
4-4	ลักษณะส่วนผสมหลังการนวด ผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปแล้วก่อนอบ และผลิตภัณฑ์หลังอบ...	22
4-5	ค่าสี L* a* และ b* ของผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคที่แปรปริมาณการใช้หอยแมลงภู่ผง แป้งข้าวหอมกระดังงาสุกผง และแป้งข้าวหอมกระดังงาดิบผง.......	23
4-6	ค่า Hardness ของผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคที่แปรปริมาณการใช้หอยแมลงภู่ผง แป้งข้าวหอมกระดังงาสุกผง และแป้งข้าวหอมกระดังงาดิบผง......	23
4-7	ค่า a_w ของผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคที่แปรปริมาณการใช้หอยแมลงภู่ผงแป้งข้าวหอมกระดังงาสุกผง และแป้งข้าวหอมกระดังงาดิบผง..............................	23
4-8	ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคที่แปรปริมาณการใช้หอยแมลงภู่ผง แป้งข้าวหอมกระดังงาสุกผง และแป้งข้าวหอมกระดังงาดิบผง.......	24
4-9	คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคที่แปรปริมาณการใช้หอยแมลงภู่ผง แป้งข้าวหอมกระดังงาสุกผง และแป้งข้าวหอมกระดังงาดิบผง...	25

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4-10 คะแนนค่าความเข้มในอุดมคติ (I) ค่าความเข้มของคุณลักษณะด้านต่างๆ (S) และคะแนนค่าสัดส่วนความเข้มในอุดมคติกับความเข้มของคุณลักษณะด้านต่างๆ (S/I) ของผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยวิธี Ratio Profile Test 26

4-11 ค่าสี L* a* และ b* ของผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคที่แปรปริมาณการใช้กลีเซอรอล........ 28

4-12 ค่า Hardness ของผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคที่แปรปริมาณการใช้กลีเซอรอล........ 29

4-13 ค่า a_w และปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคที่แปรปริมาณการใช้กลีเซอรอล........ 29

4-14 คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคที่แปรปริมาณการใช้กลีเซอรอล........ 31

4-15 สูตรที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคจากหอยแมลงภู่และข้าวหอมกระดังงา........ 33

4-16 ปริมาณองค์ประกอบทางเคมี ปริมาณใยอาหารทั้งหมด ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคจากหอยแมลงภู่และข้าวหอมกระดังงาที่พัฒนาได้........ 33

4-17 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และราของผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคจากหอยแมลงภู่และข้าวหอมกระดังงาระหว่างการเก็บรักษา........ 36

4-18 คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคจากหอยแมลงภู่และข้าวหอมกระดังงาระหว่างการเก็บรักษา........ 38

4-19 ค่าคงที่ ค่า SEE และค่า R^2 ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ GAB ของผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคจากหอยแมลงภู่และข้าวหอมกระดังงาที่อุณหภูมิ 35 $^{\circ}$C และ 45°C 41

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2-1	ลักษณะกราฟมอยเจอร์ซอร์พชันไอโซเทอร์ม	6
3-1	หอยแมลงภู่และข้าวหอมกระดังงาหลังการอบ...	12
4-1	ลักษณะตัวอย่างของหอยแมลงภู่แห้งและหอยแมลงภู่ผง...	18
4-2	ลักษณะตัวอย่างของแป้งข้าวหอมกระดังงาดิบผง (ก) และแป้งข้าวหอมกระดังงาสุกผง (ข)...	19
4-3	ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวหอมกระดังงาสุกผง..................................	24
4-4	การเปรียบเทียบลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปแล้วก่อนอบและหลังอบของผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคที่แปรปริมาณการใช้หอยแมลงภู่ผง แป้งข้าวหอมกระดังงาสุกผงและแป้งข้าวหอมกระดังงาดิบผงทั้ง 4 สูตร................................	27
4-5	คะแนนค่าความเข้มในอุดมคติ (I) ค่าความเข้มของคุณลักษณะด้านต่างๆ (S) ของผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยวิธี Ratio Profile Test	27
4-6	คะแนนค่าสัดส่วนความเข้มในอุดมคติกับความเข้มของคุณลักษณะด้านต่างๆ (S/I) ของผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยวิธี Ratio Profile Test	27
4-7	ลักษณะส่วนผสมของผลิตภัณฑ์สูตรที่ 4 (เติมกลีเซอรอล 5%) หลังการนวด (ก) ผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปแล้วก่อนอบ (ข) และผลิตภัณฑ์หลังอบ (ค)...	32
4-8	ผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคจากหอยแมลงภู่และข้าวหอมกระดังงา สูตรที่ 1 เติมกลีเซอรอล 0% (ก) และสูตรที่ 2 เติมกลีเซอรอล 5% (ข)	32
4-9	ค่าสี L* a* และ b* ของผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคจากหอยแมลงภู่และข้าวหอมกระดังงาระหว่างการเก็บรักษา...	34
4-10	ค่า Hardness ของผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคจากหอยแมลงภู่และข้าวหอมกระดังงาระหว่างการเก็บรักษา..	35
4-11	ค่า a_w และปริมาณความชื้น ของผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคจากหอยแมลงภู่ และข้าวหอมกระดังงาระหว่างการเก็บรักษา...	35
4-12	ปริมาณเปอร์ออกไซด์ของผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคจากหอยแมลงภู่และข้าวหอมกระดังงาระหว่างการเก็บรักษา	37
4-12	ซอร์พชั่นไอโซเทอร์มของผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคจากหอยแมลงภู่และข้าวหอมกระดังงาระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากการทำนาย ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ GAB ที่อุณหภูมิ 35 $^{\circ}$C และ 45°C.........................	40

บทที่ 1
บทนำ

ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

ผลิตภัณฑ์อาหารว่าง (Snack food) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมในการบริโภคทั่วโลก เนื่องจากเป็นอาหารที่รับประทานได้ง่าย มีหลากหลายรูปแบบและรสชาติให้เลือก ตลาดผลิตภัณฑ์อาหารว่างในประเทศไทยเป็นตลาดหนึ่งที่ใหญ่ที่สุดและมีความหลากหลายของผลิตภัณฑ์มากที่สุดในภาคพื้นเอเชียแปซิฟิค โดยในปี พ.ศ. 2559 มีผลิตภัณฑ์ออกสู่ตลาดหลากหลายมากขึ้น มีมูลค่าตลาดอาหารว่างประเภทขนมขบเคี้ยวสูงถึง 36,859 ล้านบาท ซึ่งเติบโตจากปีก่อนหน้าถึง 6.3% และจะยังคงเติบโตอย่างต่อเนื่องในอีก 4 ปีข้างหน้าผู้ผลิตผลิตภัณฑ์อาหารว่างโดยเฉพาะกลุ่มขนมขบเคี้ยวมีการปรับตัวโดยการนำเสนอผลิตภัณฑ์ใหม่ที่สอดคล้องกับความต้องการของผู้บริโภคที่รักสุขภาพกันมากขึ้น มีการเลือกรับประทานอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการมากขึ้น เช่น นิยมรับประทานขนมขบเคี้ยวที่ไม่ผ่านการทอด เป็นต้น นอกจากนี้ยังให้ความสำคัญกับการพิจารณาการใช้วัตถุดิบที่มีประโยชน์ในการผลิต โดยพบว่าผลิตภัณฑ์อาหารว่างกลุ่มขนมขบเคี้ยวประเภทที่ทำจากสาหร่าย เมล็ดพืช แมลง และอาหารทะเล มีแนวโน้มเติบโตขึ้นถึง 19.0% เมื่อเทียบกับปี 2557 ซึ่งมีมูลค่าถึง 11,869 ล้านบาท (Euromonitor International, 2015)

เจอร์กี (Jerky) เป็นผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทเนื้อกึ่งแห้งชนิดหนึ่ง เป็นการถนอมอาหารโดยการทำให้เค็ม และทำให้แห้งหรือการเติมเครื่องเทศต่าง ๆ เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา โดยไม่ต้องเก็บในตู้เย็นระหว่างการรอการจำหน่าย ผลิตภัณฑ์เจอร์กีพร้อมรับประทานสามารถผลิตได้จากวัตถุดิบหลากหลายชนิด เช่น เนื้อปลา เนื้อไก่ เนื้อแกะ เป็นต้น และยังคงได้รับความนิยม เนื่องจากมีเอกลักษณ์เฉพาะตัวในด้านรสชาติ และรับประทานง่าย (Konieczny et al. 2007; Yang et al. 2009; USDA-FSIS. 2014) ผลิตภัณฑ์เจอร์กีพร้อมรับประทานสามารถผลิตได้หลายรูปแบบ เช่น การใช้เนื้อทั้งแผ่นหั่นเป็นชิ้น หรือใช้เนื้อบดผสมไขมันแล้วขึ้นรูปตามลักษณะที่ต้องการ จากนั้นหมักผสมเครื่องเทศ และทำให้แห้งด้วยวิธีที่แตกต่างกัน (Yang et al. 2009) ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวนับว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำได้ไม่ยุ่งยากนัก ไม่ต้องใช้เครื่องมือขั้นสูงราคาแพง อย่างไรก็ตามหลักการสำคัญของการผลิตคือ การลดความชื้น และค่า a_w ให้เหมาะสม เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ให้นานขึ้น แต่ขณะเดียวกัน ความชื้นที่ลดลงจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะแห้งซึ่งต้องได้รับการยอมรับของผู้บริโภคด้วยโดยเฉพาะลักษณะของการเคี้ยว (Yang et al. 2002) จากแนวโน้มด้านการตลาดของผลิตภัณฑ์อาหารว่าง ผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดที่จะพัฒนาอาหารว่างชนิดใหม่ที่มีลักษณะคล้ายผลิตภัณฑ์เจอร์กี เป็นผลิตภัณฑ์พร้อมรับประทาน (ready to eat) ซึ่งน่าจะสามารถตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคได้ โดยใช้วัตถุดิบที่มีคุณค่าทางโภชนาการ มีความเป็นเอกลักษณ์และหาได้ภายในประเทศ

จากการที่อุตสาหกรรมการแปรรูปอาหารเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่มีบทบาทสำคัญต่อการขับเคลื่อนเศรษฐกิจของไทยมาโดยตลอด และจากความมุ่งมั่นของรัฐบาลที่มีวิสัยทัศน์เชิงนโยบายเพื่อการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศตามโมเดลไทยแลนด์ 4.0 โดยให้ประเทศมีการปรับเปลี่ยนโครงสร้างเศรษฐกิจไปสู่เศรษฐกิจที่ขับเคลื่อนด้วยนวัตกรรม (Value-Based Economy) โดยมีหลักคิดหนึ่งที่สำคัญ คือ การเปลี่ยนจากการผลิตสินค้าโภคภัณฑ์ไปสู่สินค้าเชิงนวัตกรรม หรือกล่าวได้ว่ามุ่งเน้นการ

สร้างมูลค่าเพิ่มให้กับสินค้า คณะผู้วิจัยมีแนวความคิดที่ตอบสนองกับแนวคิดดังกล่าว จากการค้นคว้าข้อมูลทางสถิติ มูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ และการประเมินศักยภาพเบื้องต้น พบว่า หอยทะเล โดยเฉพาะหอยแมลงภู่ ยังคงสัตว์น้ำเศรษฐกิจที่สำคัญของภูมิภาคตะวันออกและของประเทศ รวมถึงข้าวของไทย โดยเฉพาะข้าวพันธุ์พื้นเมือง ได้แก่ ข้าวหอมกระดังงา ซึ่งมีความเป็นเอกลักษณ์ ให้ความรู้สึกทางประสาทสัมผัสขณะรับประทานที่โดดเด่น จัดเป็นต้นทุนทางการเกษตรที่สมควรที่จะนำมาเพิ่มมูลค่าได้

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะนำหอยแมลงภู่และข้าวหอมกระดังงา ซึ่งมีศักยภาพด้านการผลิต มีคุณค่าทางโภชนาการสูง และมีความเป็นเอกลักษณ์ มาใช้ประโยชน์ให้คุ้มค่ามากขึ้น ให้สอดคล้องตามวิสัยทัศน์เชิงนโยบายเพื่อการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศตามโมเดลไทยแลนด์ 4.0 โดยให้ประเทศมีการปรับเปลี่ยนโครงสร้างเศรษฐกิจไปสู่เศรษฐกิจที่ขับเคลื่อนด้วยนวัตกรรม (Value-Based Economy) การพัฒนาผลิตภัณฑ์จากหอยแมลงภู่และข้าวหอมกระดังงาเพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีจึงเป็นแนวทางที่น่าสนใจในการสร้างผลิตภัณฑ์ใหม่ให้แก่ผู้บริโภค โดยมีลักษณะพร้อมบริโภค มีความสะดวกในการบริโภค รูปแบบผลิตภัณฑ์มีความเป็นสากลสามารถส่งจำหน่ายต่างประเทศได้ และมีคุณค่าทางโภชนาการสูงอีกด้วย ภาพรวมของงานวิจัยนี้ จึงเป็นงานวิจัยที่มุ่งเน้นการสร้างผลิตภัณฑ์ใหม่โดยใช้วัตถุดิบที่มีศักยภาพในประเทศซึ่งเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัตถุดิบ โดยเลือกใช้กรรมวิธีการแปรรูปที่ไม่ต้องลงทุนสูง จึงมีโอกาสนำไปใช้ได้จริงในระดับกลุ่มชุมชน ธุรกิจขนาดกลางและขนาดย่อม รวมถึงอุตสาหกรรมการแปรรูปอาหาร ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อการสร้างรายได้ให้กับชุมชนและขับเคลื่อนเศรษฐกิจของประเทศต่อไป

วัตถุประสงค์

1) เพื่อพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคจากหอยแมลงภู่และข้าวหอมกระดังงาที่เหมาะสม
2) เพื่อศึกษาผลของการใช้สารดูดความชื้นต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคจากหอยแมลงภู่และข้าวหอมกระดังงา
3) เพื่อวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคจากหอยแมลงภู่และข้าวหอมกระดังงาที่พัฒนาได้
4) เพื่อวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคจากหอยแมลงภู่และข้าวหอมกระดังงาระหว่างการเก็บรักษา
5) เพื่อศึกษา Moisture sorption isotherm ของผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคจากหอยแมลงภู่และข้าวหอม

บทที่ 2
การตรวจเอกสาร

ลักษณะทั่วไปของเจอร์กี

ผลิตภัณฑ์เนื้อแห้งหรือกึ่งแห้งพร้อมรับประทาน หรือเจอร์กี (Jerky) เป็นผลิตภัณฑ์เนื้อที่เป็นการถนอมอาหารโดยการทำให้เค็ม และทำให้แห้งหรือการเติมเครื่องเทศต่างๆ เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา โดยไม่ต้องเก็บในตู้เย็นระหว่างการรอการจำหน่าย ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวมีค่า a_w ต่ำ (0.70-0.85) ค่าความชื้นต่อโปรตีนเท่ากับ 0.75 : 1.00 (moisture protein ratio) เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่าทางอาหารโปรตีนสูงนับว่าเป็นผลิตภัณฑ์เนื้อพร้อมรับประทานที่ได้รับความนิยมสูงโดยเฉพาะในประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่าธุรกิจผลิตภัณฑ์เนื้อพร้อมรับประทานมีแนวโน้มที่เติบโตมาก โดยยอดขายผลิตภัณฑ์เนื้อพร้อมรับประทานเพิ่มจาก 631.6 ล้านเหรียญสหรัฐ ในปี 1994 เพิ่มเป็น 2.7 พันล้านเหรียญสหรัฐ ในปี 2004 สามารถหาซื้อได้ตามร้านสะดวกซื้อ ห้างสรรพสินค้า ซุปเปอร์มาร์เก็ต หรือ ปั๊มน้ำมัน อย่างไรก็ตามพบว่าในปัจจุบันผลิตภัณฑ์เนื้อแห้งพร้อมรับประทานที่ผลิตในครัวเรือน (homemade) ได้รับความนิยมสูง เนื่องจากมีเอกลักษณ์เฉพาะตัวในด้านรสชาติ (Konieczny et al. 2007; Yang et al. 2009; USDA-FSIS. 2014)

ผลิตภัณฑ์เนื้อกึ่งแห้งพร้อมรับประทานสามารถผลิตได้หลายรูปแบบ เช่น การใช้เนื้อทั้งแผ่นหั่นเป็นชิ้น หรือใช้เนื้อบดผสมไขมันแล้วขึ้นรูปตามลักษณะที่ต้องการ จากนั้นหมักผสมเครื่องเทศและทำให้แห้งด้วยวิธีที่แตกต่างกัน (Yang et al. 2009) ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวนับว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำได้ง่าย สามารถทำได้เองในครัวเรือน โดยวิธีการผลิตที่ไม่ซับซ้อนหรือยุ่งยาก (Albright et al. 2002) อย่างไรก็ตามหลักการสำคัญของการผลิตคือ การลดความชื้น และค่า a_w ให้เหมาะสม เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ให้นานขึ้น แต่ขณะเดียวกัน ความชื้นที่ลดลงจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะแห้งซึ่งต้องได้รับการยอมรับของผู้บริโภคด้วยโดยเฉพาะลักษณะของการเคี้ยว ซึ่งผู้บริโภคให้ความสำคัญค่อนข้างมาก ถ้าผลิตภัณฑ์ทำจากเนื้อแดงเป็นชิ้น ลักษณะจะแห้งมากและเหนียว แต่เก็บรักษาได้นานในขณะที่ผลิตภัณฑ์เตรียมจากเนื้อบดแล้วนำมาขึ้นรูป ลักษณะของผลิตภัณฑ์จะนุ่มกว่า เพราะมีความชื้น และค่า a_w สูงกว่า ทำให้อายุการเก็บรักษาสั้นลง เนื่องจากจุลินทรีย์สามารถเจริญได้ดีกว่าและเหม็นหืนเร็วขึ้น เนื่องจากมีไขมันเป็นองค์ประกอบที่สูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่ใช้เนื้อแดงเป็นชิ้น (Yang et al. 2009)

หอยแมลงภู่

หอยแมลงภู่มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Perna viridis Lineaus* เป็นหอยสองฝาชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจค่อนข้างมากในประเทศไทย เนื่องจากมีปริมาณการผลิตสูงและนิยมรับประทานได้ทั้งสดและแห้ง หอยแมลงภู่เป็นหอยที่อาศัยได้ทั้งในน้ำเค็มและน้ำกร่อย ลักษณะหอยแมลงภู่ประกอบด้วยเปลือกแข็งที่ห่อหุ้มลำตัว มีลักษณะรียาวคล้ายรูปไข่ มีลักษณะเหมือนกัน

และมีขนาดเท่ากันทั้งสองฝา ด้านนอกของฝามีสีเขียวเข้มคล้ายแมลงทับ ส่วนด้านในมีสีขาวคล้ายมุก สำหรับเนื้อหอยเป็นส่วนที่อ่อนนุ่ม จะอยู่ภายในของฝาทั้งสอง ต้องทำการเปิดฝาออกจึงจะมองเห็น ส่วนนี้ประกอบด้วย เยื้อหุ้มลำตัวซึ่งอยู่ติดกับฝาทั้งสองข้าง ส่วนพุง ส่วนของเท้าซึ่งมีขนาดเล็ก และมีรากหรือซังติดกับส่วนของเท้า มีเหงือกขนาดใหญ่ยาวเท่าลำตัวของหอย บนเยื้อหุ้มลำตัวจะเป็นส่วนของอวัยวะเพศ และถัดจากส่วนที่ติดเท้าก็จะเป็นอวัยวะเพศเช่นกัน ในประเทศไทย มีหอยแมลงภู่แพร่กระจายอยู่ทั่วไปแทบทุกจังหวัดชายฝั่งทะเล ทั้งชายฝั่งทะเลอ่าวไทย และชายฝั่งทะเลอันดำมัน จังหวัดที่เลี้ยงหอยแมลงภู่กันมาก และให้ผลผลิตเป็นปริมาณมากได้แก่ ชลบุรี ฉะเชิงเทรา สมุทรปราการ สมุทรสาคร สมุทรสงคราม เพชรบุรี ชุมพร ประจวบคีรีขันธ์ และปัตตานี ส่วนจังหวัดอื่นๆก็เลี้ยงกันไม่มากนัก แต่จะเก็บผลผลิตจากแหล่งเกิดหอยธรรมชาติเสียส่วนใหญ่ ประเทศไทยมีศักยภาพในการผลิตหอยแมลงภู่ได้เป็นอย่างดี เนื้อหอยแมลงภู่สามารถกินได้ทั้งตัว ตัวหอยมีเนื้อมาก เนื้อนุ่มอร่อย จึงนิยมนำมาทำอาหารหลายชนิด เช่น หอยแมลงภู่ลวกหรือนึ่งจิ้ม หอยแมลงภู่ผัดโหระพา เป็นต้น จึงมีการจำหน่ายหอยแมลงภู่ทั้งแบบหอยสด และหอยแมลงภู่ที่นำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ อาทิ หอยแมลงภู่ดอง หอยแมลงภู่อบแห้ง เป็นต้น เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา และเพิ่มมูลค่าให้กับหอยแมลงภู่มากขึ้น (วราวุฒิ วันริโก, 2555) การที่หอยแมลงภู่เป็นสัตว์น้ำที่นิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลายเพราะมีคุณค่าทางโภชนาการและมีประโยชน์ต่อร่างกาย สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ [มกอช.] (2550) ได้รายงานว่าในหอยแมลงภู่สดเป็นแหล่งที่ดีของโปรตีน (11.90%) แสดงดังตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 คุณค่าทางโภชนาการของเนื้อหอยแมลงภู่ 100 กรัม

คุณค่าทางโภชนาการ	ปริมาณ
พลังงาน (กิโลแคลอรี่)	86
โปรตีน (กรัม)	11.90
ไขมัน (กรัม)	2.24
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	3.69
เถ้า (กรัม)	1.59

ที่มา : มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (มกอช. 7018-2550)

ข้าวหอมกระดังงา

ข้าวหอมกระดังงาเป็นข้าวพันธุ์พื้นเมืองของจังหวัดนราธิวาสที่มีการปลูกกันมานาน ในปี 2551 ศูนย์วิจัยข้าวปัตตานี สำรวจความต้องการพันธุ์ข้าวเพื่อนำมาปลูกในพื้นที่จังหวัดนราธิวาส พบว่า ข้าวพันธุ์หอมกระดังงาเป็นพันธุ์ข้าวที่เกษตรกรนิยมปลูกและมีความต้องการเมล็ดพันธุ์มากที่สุด พื้นที่ปลูกส่วนใหญ่อยู่ที่บ้านโคกอิฐ-โคกใน ตำบล พร่อน อำเภอตากใบ จังหวัดนราธิวาส มีพื้นที่ปลูกประมาณ 3,000 ไร่ จุดเด่นของข้าวพันธุ์นี้นอกจากจะมีกลิ่นหอมเหมือนดอกกระดังงาซึ่งเป็นเอกลักษณ์เฉพาะแล้ว ยังมีคุณค่าทางโภชนาการสูงรักษาโรคภัยไข้เจ็บได้เมื่อบริโภคในรูปแบบข้าวกล้องและข้าวซ้อมมือ ดังนั้นด้วยสาเหตุนี้ประกอบกับรายได้จากการจำหน่ายในรูปของข้าวเปลือกนั้น

มีน้อย ชาวบ้านในพื้นที่จึงรวมกลุ่มกันแปรรูปเป็นข้าวซ้อมมือบรรจุถุงเพื่อเพิ่มมูลค่าทางการตลาด โดยรับซื้อข้าวเปลือกจากเกษตรกรที่เป็นสมาชิกและจัดจำหน่ายกันมากขึ้น (เอกราช แก้วนางโอ และคณะ, 2557)

ข้าวหอมกระดังงา มีลักษณะพิเศษคือมีสีแดง นุ่ม และมีกลิ่นหอมคล้ายดอกกระดังงา ซึ่งเป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัวของข้าวชนิดนี้ เหมาะแก่การแปรรูปเป็นข้าวกล้อง และซ้อมมือ ข้าวหอมกระดังงา เพาะปลูกมากมากในตำบล พร่อน ประมาณ 60% ของพื้นที่ ซึ่งเป็นต้นกำเนิดของข้าวพันธุ์หอมกระดังงา โดยในสมัยอดีตชาวนามักจะปลูกไว้เพื่อนำไปถวายพระสงฆ์ในโอกาสสำคัญต่างๆ และใช้ในการหุงรับแขกบ้านแขกเมือง ปัจจุบันกลุ่มแม่บ้านเกษตรกรบ้านโคกอิฐ-โคกใน ได้นำข้าวหอมกระดังงามาแปรรูปเป็นข้าวกล้อง และข้าวซ้อมมือเพื่อเพิ่มมูลค่า จำหน่ายในราคากิโลกรัมละ 60 บาท ซึ่งพบว่าเป็นที่ต้องการของตลาด และผู้บริโภคที่ใส่ใจในเรื่องของสุขภาพ เนื่องจากข้าวหอมกระดังงามีคุณค่าทางโภชนาการที่สูง โดยเฉพาะวิตามินอี วิตามินบี 1 และสารกาบา (GABA) โดยลักษณะของต้นข้าวหอมกระดังงา คือมีลักษณะทรงกอตั้ง ลำต้นค่อนข้างแข็ง ปล้องสีเขียวมีเส้นสีม่วง แผ่นใบสีเขียว ยอดเกสรตัวเมียสีขาว กลีบรองดอกสีม่วง คอรวงยาว มีเมล็ดข้าวเปลือกสีฟาง เมล็ดข้าวเปลือกยาว รูปร่างเรียว ส่วนข้าวกล้องมีสีแดงยาวประมาณ 6 มิลลิเมตร มีปริมาณอะไมโลสปานกลาง (22.7±0.35 %) เมื่อหุงเป็นข้าวสุก มีลักษณะร่วนแต่ไม่แข็งและมีกลิ่นหอมของดอกกระดังงาซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของข้าวหอมกระดังงา (เอกราช แก้วนางโอ และคณะ, 2557; ศูนย์ศึกษาการพัฒนาพิกุลทองอันเนื่องมาจากพระราชดำริ, 2557) สำหรับคุณค่าทางโภชนาการของข้าวหอมกระดังงาแสดงดังตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-2 คุณค่าทางโภชนาการของข้าวหอมกระดังงา

คุณค่าทางโภชนาการ	ปริมาณ
พลังงาน (กิโลแคลลอรี)	346.22
ความชื้น (กรัม)	11.14
โปรตีน (กรัม)	9.03
ไขมัน (กรัม)	1.86
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	73.34
ใยอาหาร (กรัม)	3.83
เถ้า (กรัม)	0.80
GABA (มิลลิกรัม)	27.25

ที่มา : ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี (2553)

ข้าวหอมกระดังงาได้ยื่นจดทำเบียนสินค้า GI ซึ่งเป็นสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ของจังหวัดนราธิวาส โดยสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ (Geographical Indication : GI) เป็นเครื่องหมายที่กระทรวงพาณิชย์ โดยกรมทรัพย์สินทางปัญญา ให้กับสินค้าที่ผ่านกระบวนการตรวจสอบและขึ้นทะเบียนตาม พรบ. สิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ พ.ศ. 2546 แล้วว่าเป็นสินค้าที่มาจากแหล่งผลิตที่เฉพาะเจาะจง มีคุณภาพ มีชื่อเสียง แตกต่างจากสินค้าประเภทเดียวกันที่ผลิตจากพื้นที่อื่น GI จึงเปรียบเสมือนเป็น

แบรนด์ของท้องถิ่นที่บ่งบอกถึงคุณภาพและแหล่งที่มาของสินค้า GI ดังนั้นการขึ้นทะเบียน GI จึงช่วยสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับสินค้าของชุมชน พัฒนาพื้นที่ผลิตสินค้า GI เป็นแหล่งท่องเที่ยวท้องถิ่น ซึ่งจะนำรายได้มาสู่ชุมชนอย่างยั่งยืน (สำนักเลขาธิการนายกรัฐมนตรี, 2559)

กลีเซอรอล

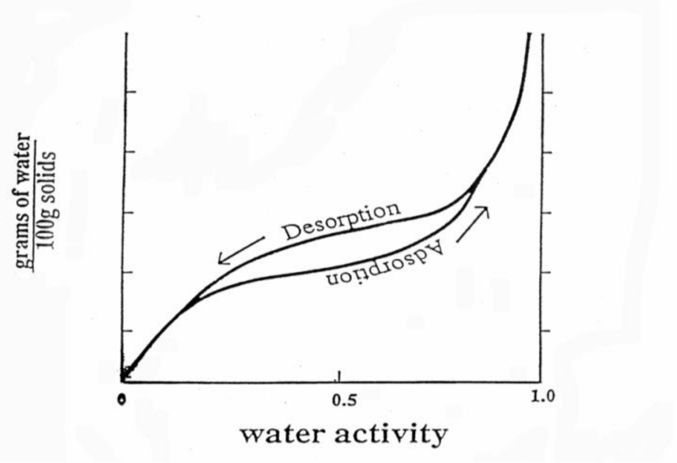
กลีเซอรอลจัดเป็นสารควบคุมความชื้นหรือสารดูดความชื้น (Humectant) ชนิดหนึ่ง โดยสารควบคุมความชื้น คือ สารที่ทำหน้าที่ดูดความชื้นในอาหารใช้ในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการรักษาปริมาณความชื้นไว้ในระดับที่ต้องการ (ธัญวรัตม์ พิมุขมนัสกิจ, บุศรินทร์ แพทย์วิบูลย์ และประไพพรรณ พูลสมบัติ, 2546) สารดูดความชื้นได้ถูกนำมาใช้ในการพัฒนาการผลิตอาหารกึ่งแห้ง เพื่อให้มีปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ให้เหมาะสมและเป็นที่ยอมรับ โดยเกลือหรือน้ำตาลเป็นตัวอย่างที่สำคัญในการนำมาใช้เพื่อผลิตอาหารกึ่งแห้งเพื่อช่วยลดปริมาณน้ำในอาหารให้เหมาะสม และมีลักษณะของอาหารเป็นแบบอาหารกึ่งแห้งคือ มีความอ่อนนุ่ม ไม่แข็งกระด้างมากนัก หรือแห้งจนเกินไป อีกทั้งยังเป็นตัวช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้อีกด้วย (ไพโรจน์ วิริยจารี, 2539) สารดูดความชื้นที่นิยมใช้กันทั่วไป ได้แก่ น้ำตาล กลูโคสไซรัป กลีเซอรอล ซอร์บิทอล โพพีลีน ไกลคอล เป็นต้น (ศิวาพร ศิวเวชช, 2535)

กลีเซอรอลเป็นสารประกอบที่มีลักษณะเป็นของเหลวใส ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น มีความหวานประมาณ 0.6-0.7 เท่าของน้ำตาลซูโครส จัดเป็นสารจำพวกน้ำตาลแอลกอฮอล์หรือโพลิออล ซึ่งอนุพันธ์ของแซคคาไรด์ซึ่งหมู่ของคีโตนหรืออัลดีไฮด์ถูกแทนที่โดยหมู่ไฮดรอกซิล มีคุณสมบัติทนต่อความร้อนและสารเคมีได้ดีจึงไม่สลายตัวได้ง่าย ดูดซับและเก็บความชื้นได้ดี ละลายน้ำได้ดี มีรสหวานน้อยกว่าน้ำตาล โพลิออลเป็นวัตถุเจือปนอาหารที่ได้รับความนิยมใช้ในอาหารเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารมีคุณภาพดีขึ้น คุณสมบัติที่สำคัญของกลีเซอรอลนั้น ได้แก่ ความสามารถในการดูดความชื้นความสามารถในการป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ โดยการลดค่า a_w ของผลิตภัณฑ์อาหาร การให้ความหนืด ความสามารถในการเป็นตัวทำละลายที่ดี นอกจากนี้กลีเซอรอลจัดเป็นสารที่ไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ดังนั้นจึงนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและยาอย่างแพร่หลาย เช่น การใช้กลีเซอรอลในผลิตภัณฑ์ขนมอบเพื่อช่วยในการกักเก็บความชื้นมีผลให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสนุ่มและชุ่มชื้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ศิวาพร ศิวเวชช, 2529)

Moisture Sorption Isotherm

มอยเจอร์ซอร์พชันไอโซเทอร์ม (Moisture Sorption Isotherms) หรือซอร์พชันไอโซเทอร์ม (Sorption Isotherms) เป็นการเคลื่อนที่ของไอน้ำจากอาหารไปยังอากาศรอบๆ ขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นและองค์ประกอบของอาหารรวมทั้งอุณหภูมิและความชื้นของอากาศ ที่อุณหภูมิคงที่ปริมาณความชื้นของอาหารจะเปลี่ยนไปจนกว่าความชื้นในอาหารจะสมดุลกับไอน้ำในอากาศรอบ ๆ นั่นคืออาหารจะไม่มีน้ำหนักเพิ่มหรือลดลงภายใต้การเก็บรักษาในสภาวะดังกล่าว เราเรียกปริมาณความชื้นดังกล่าวว่า ปริมาณความชื้นสมดุลของอาหาร และเรียกความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศการเก็บรักษาว่าความชื้นสัมพัทธ์ที่จุดสมดุล เมื่อนำค่าปริมาณความชื้นสมดุลมาพลอตกับความชื้นสัมพัทธ์จะได้กราฟที่เรียกว่า ซอร์พชั่นไอโซเทอร์ม (Sorption Isotherms) หรือเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำของอาหาร (g Water/g Dry Matter) กับค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ ที่อุณหภูมิคงที่ ซอร์พชั่นไอโซเทอร์มของน้ำ แสดงถึงค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ ที่อาหารจะมีความคงตัวและทำให้สามารถคาดคะเน

การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นต่อค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ และต่อความคงตัวในระหว่างการเก็บรักษาได้ กราฟนี้มีประโยชน์ในการกำหนดอัตราและปริมาณการอบแห้ง (วิไล รังสาดทอง, 2543) ตัวอย่างลักษณะกราฟมอยเจอร์ซอร์พชันไอโซเทอร์มแสดงดังภาพที่ 1-1



ภาพที่ 2-1 ลักษณะกราฟมอยเจอร์ซอร์พชันไอโซเทอร์ม

ที่มา: รัตนันท์ พรรณนารุโณทัย (2543)

ซอร์พชั่นไอโซเทอร์มมี 2 ลักษณะ คือ กระบวนการคายความชื้น (Desorption) และการดูดความชื้น (Adsorption) ทั้ง 2 กระบวนการไม่ได้เกิดขึ้นพร้อมกัน หรือเป็นการเปลี่ยนกลับไปมา แต่มีความแตกต่างกันระหว่างแอดซอร์พชั่น และดีซอร์พชั่นไอโซเทอร์ม ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า ฮิสเทอริซิส (Hysteresis) ขนาด รูปร่างจุดเริ่มหรือจุดปลายของเส้นแตกต่างกัน ขึ้นกับธรรมชาติของอาหาร อุณหภูมิ ปริมาณและอัตราเร็วของการดูดน้ำหรือคายน้ำ ที่ความชื้นหนึ่งๆ ของอาหารค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ ของดีซอร์พชั่นจะต่ำกว่าแอดซอร์พชั่น หรือที่ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้หนึ่งๆ ปริมาณความชื้นของดีซอร์พชั่นจะมากกว่าแอดซอร์พชั่นเสมอ อาหารแต่ละชนิดจะมีซอร์พชั่นไอโซเทอร์มของน้ำ ต่างกันขึ้นอยู่กับโครงสร้างทางกายภาพองค์ประกอบทางเคมีและปริมาณของน้ำที่ถูกยึดอยู่ภายในอาหาร อย่างไรก็ตามรูปกราฟของซอร์พชั่นไอโซเทอร์มโดยทั่วไปจะเป็นรูปซิกมอยด์ (Sigmoid) และแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน ซึ่งจะแตกต่างกันตามปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในอาหาร (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545)

ระยะที่ 1 ของไอโซเทอร์ม เส้นกราฟค่อนข้างชัน จะสอดคล้องกับโมโนโมเลกูลาร์เลเยอร์ (Monomolecular Layer) ของน้ำ ซึ่งเป็นน้ำที่เกาะอยู่กับสารประกอบในอาหารอย่างเหนียวแน่น และมีค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ อยู่ในช่วง 0-0.25 หรือ 0.3

ระยะที่ 2 เส้นกราฟค่อนข้างราบ สอดคล้องกับน้ำในท่อเล็ก ๆ (Capillary Water) ที่มีอยู่ในอาหาร ซึ่งเป็นน้ำที่กำจัดออกได้แต่ค่อนข้างยาก ถ้าปริมาณน้ำส่วนนี้ลดลงจะทำให้ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ลดลง และยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ และปฏิกิริยาทางเคมีส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นในอาหารได้ด้วย

ปริมาณความชื้นจะลดลงเหลือประมาณ 3-7% ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารและอุณหภูมิ ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้อยู่ในช่วง 0.3-0.8

ระยะที่ 3 เป็นน้ำอิสระที่มีอยู่ในเนื้อเยื่ออาหารทั้งจากพืชและสัตว์ สามารถกำจัดออกได้โดยง่าย น้ำเหล่านี้จะทำหน้าที่เป็นตัวทำละลาย และใช้สำหรับการเจริญของจุลินทรีย์และการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี อาหารจะมีน้ำประมาณ 12-25% และ มีค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ สูงถึง 0.8 - 1.0

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

คมแข พิลาสมบัติ และคณะ (2558) ศึกษาผลของการเติมสารฮิวเมกเตนท์ ได้แก่ กลีเซอรอลและซอร์บิทอลลงในผลิตภัณฑ์ ศึกษาความปลอดภัยของกระบวนการผลิตเปรียบเทียบระหว่างการอบเพียงอย่างเดียว กับการอบแล้วนำไปย่าง ศึกษาความคงตัวและประเมินอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ และวิเคราะห์องค์ประกอบเคมีของผลิตภัณฑ์ จากผลการศึกษาผลิตภัณฑ์เจอร์กีเนื้อไก่ไข่ปลดระวางโดยอบผลิตภัณฑ์เจอร์กีเนื้อไก่ไข่ปลดระวางจนมีอุณหภูมิใจกลาง 71 องศาเซลเซียส และ aw $\leq$0.70 พบว่าสารฮิวเมกเตนท์ที่เหมาะสม คือ กลีเซอรอล และระดับกลีเซอรอลที่เหมาะสมที่สุด คือ การเติมกลีเซอรอล 15% เนื่องจากให้ค่าปริมาณความชื้น และค่า a_w ต่ำ และมีจุดเด่นด้านเนื้อสัมผัส คือ ให้ผลที่มีแนวโน้มดีที่สุดในด้านความแข็ง ความสามารถในการเกาะรวมตัวกัน ความเหนียว ความยืดหยุ่น และความเคี้ยวได้ที่ดีกว่าตัวอย่างควบคุม เมื่อนำมาศึกษาต่อด้านความปลอดภัยของกระบวนการผลิตเปรียบเทียบระหว่างการอบเพียงอย่างเดียว กับการอบแล้วนำไปย่าง พบว่าภายหลังกระบวนการอบแห้งตามด้วยกระบวนการย่าง ทำให้ผู้บริโภคมีคะแนนความชอบด้านสี ลักษณะปรากฏ ความหวาน กลิ่นรส และความชอบโดยรวมมากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่ามีคุณภาพทางกายภาพ เคมี จุลินทรีย์ ที่ใกล้เคียงกันอีกทั้งยังเพิ่มความมั่นใจได้ว่าผลิตภัณฑ์ปลอดภัยจากเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคเนื่องจากผ่านการย่างที่อุณหภูมิสูง

Chen et al. (2000) ศึกษาผลของระดับกลีเซอรอลหรือซอร์บิทอลที่แตกต่างกัน ต่อลักษณะเนื้อสัมผัส และอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เจอร์กีแบบจีน โดยแปรระดับของกลีเซอรอลหรือซอร์บิทอลที่เติมในผลิตภัณฑ์เจอร์กี เป็น 3% 6% และ 9% จากนั้นนำผลิตภัณฑ์เจอร์กีที่ได้ มาวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ค่า aw และค่า shear force จากผลการวิจัย พบว่า ตัวอย่างที่มีการเติมกลีเซอรอลหรือซอร์บิทอลในระดับที่สูงขึ้นทำให้ปริมาณความชื้น และค่า aw ลดลง โดยตัวอย่างที่เติมกลีเซอรอลหรือซอร์บิทอล 9% มีปริมาณความชื้น และค่า aw ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม และพบว่าค่า shear force ลดลง เมื่อเติมกลีเซอรอลหรือซอร์บิทอลในระดับที่สูงขึ้น ซึ่งอธิบายได้ว่าสมบัติเชิงหน้าที่ของกลีเซอรอล มีประสิทธิภาพในการทำให้ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์มีเนื้อสัมผัสที่ยืดหยุ่น และทำให้ความแน่นของเนื้อสัมผัสลดลง

Yang et al. (2009) ศึกษาเปรียบเทียบลักษณะทางเคมีกายภาพและจุลชีววิทยาของเจอร์กีเนื้อวัว และเจอร์กีเนื้อสุกร ที่เตรียมจากเนื้อส่วนต่างๆ ได้แก่ beef semimembranosus (BSM) pork semimembranosus (PSM) pork longissimus dorsi (PLD) และ pork psoas major (PPM) ดำเนินการโดยนำตัวอย่างเนื้อส่วนต่างๆ มาหั่นเป็นชิ้นแล้วนำมาผสมและหมักเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ในสารละลายที่มีส่วนประกอบของน้ำ 70% เกลือ 1.5% น้ำตาล 1.0% โซเดียมไนเตรท 0.02% และโซเดียมอีริทอร์เบต 0.03% จากนั้นนำมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส แล้วนำตัวอย่างเจอร์กีที่ทำจากเนื้อแตกต่างกัน มาวิเคราะห์คุณภาพ จากผลการวิจัย แสดงให้เห็นว่าเจอร์กี

เนื้อสุกรมีความชื้นและค่า aw ต่ำกว่าเจอร์กีเนื้อวัว โดยเฉพาะเจอร์กีเนื้อสุกรที่ทำจาก PPM พบว่ามีความสว่าง ค่า shear force และ TBARS สูงกว่าตัวอย่างเจอร์กีอื่นๆ และพบว่าเจอร์กีเนื้อสุกรปลอดภัยจากจุลินทรีย์มากกว่าเจอร์กีเนื้อวัวเนื่องจากมีปริมาณความชื้นและค่า a_w ต่ำ

Kim et al. (2010) ศึกษาผลของการใช้สารฮิวเมกเตนท์ที่แตกต่างกัน เช่น กีวี่ สับปะรด กลีเซอรอล และซอร์บิทอลที่ความเข้มข้นต่างกัน 2 และ 5% ในการปรับปรุงเนื้อสัมผัสและลักษณะทางประสาทสัมผัสของเจอร์กีเนื้อสุกร ดำเนินการโดยแบ่งตัวอย่างออกเป็น 9 กลุ่ม ได้แก่ ตัวอย่างควบคุม (ไม่เติมสารฮิวเมกเตนท์) ตัวอย่างที่เติมกลีเซอรอล 2% ตัวอย่างที่เติมกลีเซอรอล 5% ตัวอย่างที่เติมซอร์บิทอล 2% ตัวอย่างที่เติมซอร์บิทอล 5% ตัวอย่างที่เติมกีวี่ 2% ตัวอย่างที่เติมกีวี่ 5% ตัวอย่างที่เติมสับปะรด 2% และตัวอย่างที่เติมสับปะรด 5% ทำการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ค่า aw เนื้อสัมผัส สี โปรตีน และการประเมินการประสาทสัมผัส จากผลการวิจัยพบว่า เจอร์กีเนื้อสุกรที่มีการเติมกลีเซอรอล กีวี่ หรือสับปะรด 5% มีปริมาณความชื้นและค่า a_w ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม (เจอร์กีเนื้อสุกรที่ไม่เติมสารฮิวเมกเตนท์) ($p<0.05$) การเติมสารฮิวเมกเตนท์ทำให้ค่าแรงเฉือนต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม ($p<0.05$) และพบว่า การเติมกลีเซอรอล 2% และ 5% ทำให้ปริมาณความชื้นสมดุล (equilibrium moisture content (EMC)) สูงกว่าตัวอย่างอื่น และตัวอย่างที่มีการเติมสารฮิวเมกเตนท์มี EMC มากกว่าตัวอย่างควบคุม ($p<0.05$)

Kong et al. (2011) ได้ศึกษาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ขนมคบเคี้ยวเจอร์กีที่ผลิตจากเนื้อปลาแซลมอน โดยวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันในปลาแซลมอนโดยเฉพาะกรดไขมัน Docosahexaenoic acid (DHA) และ Eicosapentaenoic acid (EPA) ในขนมคบเคี้ยวเจอกี้ในระหว่างการเก็บรักษาและผลของสารต้านอนุมูลอิสระต่อโอเมก้า 3 ดำเนินการโดยเตรียมขนมขบเคี้ยวเจอกี้ปลาแซลมอลเป็น 2 ชุด ได้แก่ ขนมคบเคี้ยวเจอร์กีที่เป็นตัวอย่างควบคุม และขนมคบเคี้ยวเจอกี้ที่เติมสารต้านอนุมูลอิสระ (rosemary ; tocopherols ; tertiary butylhydroquinone (TBHQ) ; ascorbyl plamitate (AP)) ขึ้นรูปด้วยเครื่อง extruder แล้วทำแห้งที่อุณหภูมิ 93 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 60 นาที บรรจุใส่ถุงและเติมไนโตรเจน เก็บไม่ให้โดนแสงที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ค่าความชื้นสัมพัทธ์ 75% เป็นเวลา 24 สัปดาห์ พบว่า ภายหลังการเก็บเป็นเวลา 24 สัปดาห์ ทุกตัวอย่างมีปริมาณไขมันทั้งหมด ปริมาณความชื้น และปริมาณ water activity ลดลง และมีปริมาณกรดไขมัน EPA และ DHA ลดลงประมาณครึ่งหนึ่งของปริมาณเริ่มต้น วิเคราะห์การเกิด oxidation ของไขมัน โดยการประเมินค่า peroxide และปริมาณ malonaldehyde พบว่า ขนมขบเคี้ยวเจอกี้ที่เติม rosemary มีค่า peroxide ต่ำที่สุด สำหรับปริมาณ malonadehtde พบว่า มีปริมาณสูงที่สุดในสัปดาห์ที่ 8 จากนั้นปริมาณจะลดลง ในสัปดาห์ที่ 24 ขนมขบเคี้ยวทุกตัวอย่างมีปริมาณ Malonaldehyde ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ปัทมกร พรหมจรรย์ (2545) ศึกษาการลดค่าวอเตอร์แอกติวิตีในผลิตภัณฑ์ปลาข้างเหลืองกึ่งแห้งโดยศึกษาเวลาที่เหมาะสมสำหรับการหมักเครื่องปรุงรสของปลาข้างเหลืองกึ่งแห้งและศึกษาชนิดของฮิวแมคแตนท์ชนิดต่างๆ ได้แก่ กลีเซอรอล ซอร์บิทอล แลคทิทอล และกลูโคสไซรัป ที่ความเข้มข้น 50% ของเครื่องปรุงรส พบว่า เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการหมักส่งผลให้ปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอกติวิตีของปลาข้างเหลืองหลังการหมักมีค่าลดลง ($p<0.05$) ชนิดของฮิวแมคแตนท์ชนิดต่างๆ มีผลให้ความแข็ง แรงเฉือนและค่าสีของปลาข้างเหลืองกึ่งแห้งลดลงเมื่อเทียบกับตัวอย่าง

ควบคุม ($p<0.05$) ผลิตภัณฑ์ที่เติมกลีเซอรอลได้รับคะแนนความชอบรวมสูงที่สุด ในขณะที่ตัวอย่างที่เติมกลูโคสไซรัปได้รับคะแนนความชอบรวมน้อยที่สุด จากการศึกษาซอร์ปชันไอโซเทอร์มแบบดูดความชื้นของตัวอย่างที่เติมกลีเซอรอลและตัวแย่างที่เติมแลคทิทอล 50% พบว่า ปริมาณความชื้นสมดุลของตัวอย่างที่เติมกลีเซอรอลมีค่าสูงกว่าตัวอย่างที่เติมแลคทิทอล

Paakkonen and Roos (1990) ได้ศึกษาเกี่ยวกับ sorption isotherm สำหรับ horseradish roots และการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนที่ผิวหน้าตัวอย่างในขณะทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง โดยพบว่าอุณหภูมิที่ผิวหน้าตัวอย่างจะเพิ่มขึ้นจาก 20 องศาเซลเซียสเป็น 60 องศาเซลเซียสในขณะทำแห้ง ทั้งข้อมูลจาก sorption isotherm และ การเปลี่ยนแปลงทางความร้อนแสดงให้เห็นว่าการทำแห้งโดยที่ตัวอย่างมีอุณหภูมิที่ผิวหน้าสูงส่งผลต่อโครงสร้างทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีการดูดซับน้ำเพิ่มมากขึ้น Tg ลดลง และปริมาณน้ำที่ไม่แข็งตัวมากขึ้น ซึ่งข้อมูลจาก sorption isotherm และการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความร้อนในผลิตภัณฑ์สามารถใช้ในการหาสภาวะในการทำแห้งและการเก็บที่เหมาะสมสำหรับ horseradish root ได้

Lateef et al. (1997) ได้ศึกษา moisture sorption characteristics ของผลิตภัณฑ์จากมันสำปะหลัง ที่เรียกว่า Fufu และ Tapioca ที่ 25, 32 และ 45 องศาเซลเซียส awช่วง 0.1-0.9 ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ปริมาณความชื้นของทั้งสองผลิตภัณฑ์ลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ และมีการเปรียบเทียบผลจากการทดลองกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 8 แบบ พบว่า แบบจำลองของ GAB สอดคล้องกับผลการทดลองมากที่สุด ในขณะที่แบบจำลองของ BET มีความสอดคล้องกับผลการทดลองน้อยที่สุด

บทที่ 3
วิธีดำเนินการทดลอง

วัตถุดิบและสารเคมี

1. หอยแมลงภู่แห้ง จากตลาดหนองมน จังหวัดชลบุรี
2. ข้าวหอมกระดังงา จากกลุ่มแม่บ้านเกษตรกรบ้านโคกอิฐ-โคกใน จังหวัดนราธิวาส
3. กลีเซอรอล (Food grade)
4. ชุดเกลือมาตรฐาน
    - ลิเทียมคลอไรด์ (LiCl) (AR Grade, Merck Darmstadt, Germany)
    - โปแตสเซียมอะซีเตต(CH_3COOK) (AR Grade, Merck Darmstadt, Germany)
    - แมกนีเซียมคลอไรด์ ($MgCl_2$) (AR Grade, Merck Darmstadt, Germany)
    - โปแตสเซียมไนเตรต (KNO_3) (AR Grade, Merck Darmstadt, Germany)
    - โซเดียมไนไตรท์ ($NaNO_2$) (AR Grade, Merck Darmstadt, Germany)
    - โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) (AR Grade, Merck Darmstadt, Germany)
    - โปแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) (AR Grade, Merck Darmstadt, Germany)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องบดอาหาร โง้วฮวดหยู รุ่น XS-08B ประเทศจีน
2. เครื่องชั่งแบบละเอียด Sartorius basis รุ่น BA 610 ประเทศเยอรมนี
3. เครื่องวัดเนื้อสัมผัส Stable Micro System รุ่น TA.XT Plus ประเทศอังกฤษ
4. เครื่องวัดค่าสี Hunter Lab Colorimeter รุ่น Miniscan XP Plus ประเทศสหรัฐอเมริกา
5. เครื่องวิเคราะห์ไขมัน Gerhardth รุ่น S306 AK ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
6. เครื่องวิเคราะห์เส้นใย Labconco รุ่น 3001 ประเทศสหรัฐอเมริกา
7. เครื่องวิเคราะห์โปรตีน Buchi รุ่น B-323 ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
8. ตู้อบลมร้อน Mermert รุ่น ULE 500 ประเทศเยอรมนี
9. อุปกรณ์ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส เช่น ถ้วยชิม แก้วน้ำ ช้อน

วิธีดำเนินการทดลอง

ตอนที่ 1 การวิเคราะห์คุณภาพวัตถุดิบหอยแมลงภู่ผงและแป้งข้าวหอมกระดังงา

ควบคุมคุณภาพหอยแมลงภู่ผง โดยนำหอยแมลงภู่แห้งมาอบด้วยตู้อบลมร้อนเพื่อลดความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนมีความชื้นต่ำกว่า 10 % บดเป็นผงให้ละเอียด แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 50 เมช

เตรียมแป้งข้าวหอมกระดังงาดิบ (ความชื้น เท่ากับ 8.96%) โดยบดข้าวด้วยเครื่องบดแล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 50 เมช บรรจุแป้งที่ได้ในถุงพลาสติกและปิดผนึกแบบสุญญากาศ จากการทำการทดลองเบื้องต้นพบแนวโน้มว่า แป้งข้าวหอมกระดังงาที่เหมาะสมต่อการนำมาผลิตผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีนั้น ควรใช้แป้งข้าวหอมกระดังงาสุกร่วมด้วย เพราะมีการอุ้มน้ำได้ดี เกิดเจลาติไนเซชันได้ง่าย ส่งผลให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ดีกว่าการใช้แป้งข้าวหอมกระดังงาดิบเพียงอย่างเดียว จึงเตรียมแป้งข้าวหอมกระดังงาสุกเป็นวัตถุดิบในการทำการทดลองด้วย ทำโดยการนำข้าวหอมกระดังงาแช่น้ำ ในอัตราส่วนข้าวต่อน้ำเป็น 1:4 เป็นเวลา 12 ชั่วโมง รินน้ำที่แช่ทิ้ง แล้วต้มข้าวหอมกระดังงาในอัตราส่วนข้าวต่อน้ำเป็น 1:4 ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95-100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 50 นาที นำขึ้นสะเด็ดน้ำ จากนั้นอบด้วยเครื่องอบลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนมีความชื้นต่ำกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ (ใช้เวลาอบประมาณ 2 ชั่วโมง) ทิ้งไว้ให้เย็น นำไปบดด้วยเครื่องบด และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 50 เมช (ดัดแปลงจากวิธีของ สิริมา ชินสาร และคณะ, 2554)

สุ่มตัวอย่างหอยแมลงภู่ผง แป้งข้าวหอมกระดังงาดิบผง และแป้งข้าวหอมกระดังงาสุกผงมาวิเคราะห์หาปริมาณองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณโปรตีน ไขมัน เถ้า เส้นใยหยาบ ความชื้นและคาร์โบไฮเดรต (AOAC, 1995) บรรจุอาหารผงที่ได้ในถุงพลาสติกและปิดผนึกแบบสุญญากาศเก็บไว้ใช้เป็นวัตถุดิบในการทดลองต่อไป ลักษณะหอยแมลงภู่และข้าวหอมกระดังงาหลังการอบแสดงดังภาพที่ 3-1

ภาพที่ 3-1 หอยแมลงภู่และข้าวหอมกระดังงาหลังการอบ

ตอนที่ 2 การพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคจากหอยแมลงภู่และข้าวหอมกระดังงาที่เหมาะสม

2.1 การศึกษาหาสูตรพื้นฐานที่เหมาะสม

ขั้นตอนนี้ดำเนินการเพื่อหาสูตรพื้นฐาน โดยเฉพาะการหาสัดส่วนของส่วนผสมหลัก ได้แก่ หอยแมลงภู่ผง แป้งข้าวหอมกระดังงาสุก และแป้งข้าวหอมกระดังงาดิบ โดยใช้สูตรที่ดัดแปลงมาจากการผลิตขนมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพจากซูริมิและแป้งลูกเดือยของสิริมา ชินสาร และคณะ (2554) จัดสิ่งทดลองแบบผสม (mixture design) แปรส่วนผสมตามรูปแบบ trilinear coordinate system โดยกำหนดปริมาณการใช้หอยแมลงภู่ผงอยู่ในช่วง 60%-70% แป้งข้าวหอมกระดังงาสุก 0%-10% แป้งข้าวหอมกระดังงาดิบ 20-30% และเติมน้ำ 80% โดยน้ำหนักส่วนผสมแห้งทั้งหมด ดังรายละเอียดในตารางที่ 3-1

การผลิตผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภค ดำเนินการโดยนำส่วนผสมทั้งหมดผสมกันในเครื่องผสม นวดให้เข้ากัน แล้วนำส่วนผสมมาขึ้นรูปเป็นแท่งทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตร โดยใช้พิมพ์พลาสติกทรงกระบอก จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปอบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 175 องศาเซลเซียส จนผลิตภัณฑ์สุก (ใช้เวลาประมาณ 15 นาที)

ตารางที่ 3-1 สัดส่วนของการใช้หอยแมลงภู่ผง แป้งข้าวหอมกระดังงาสุก และแป้งข้าวหอมกระดังงาดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภค

สูตรที่	หอยแมลงภู่ผง (%)	แป้งข้าวหอมกระดังงาสุก (%)	แป้งข้าวหอมกระดังงาดิบ (%)
1	70	10	20
2	70	0	30
3	60	10	30
4	65	7.5	27.5

การวิเคราะห์คุณภาพ

1) ค่าสี ด้วยเครื่องวัดสี (Colorimeter) และรายงานผลเป็นค่า L* a* และ b*
2) ลักษณะเนื้อสัมผัส ด้วยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture analyzer) รายงานค่า Hardness
3) ค่า a_w ด้วยเครื่องวัด a_w
4) ปริมาณความชื้น (AOAC, 1995)
5) ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-Point Hedonic Scale (1 คะแนน หมายถึง ไม่ชอบมากสุด และ 9 คะแนน หมายถึง ชอบมากที่สุด) คุณลักษณะที่ทดสอบ คือ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยใช้ผู้ทดสอบ 30 คน

การวิเคราะห์ทางสถิติและเกณฑ์ในการคัดเลือก

ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD สำหรับการวิเคราะห์ค่าการถ่ายเทมวลสาร และวางแผนการทดลองแบบ RCBD สำหรับการทดสอบทางประสาทสัมผัส เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เลือกสิ่งทดลองที่ใช้ส่วนผสมหลักที่เหมาะสม ที่ทำให้ได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสสูงที่สุด (ได้คะแนนมากกว่า 6 คะแนน) โดยพิจารณาร่วมกับคุณภาพด้านอื่นๆที่วัดได้

2.2 การหาเค้าโครงคุณภาพและแนวทางการพัฒนาสูตรให้ได้ผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคที่ผู้บริโภคต้องการ

ขั้นตอนนี้ดำเนินการเพื่อให้การดำเนินการพัฒนาสูตรเป็นไปอย่างมีทิศทางที่ชัดเจน โดยเทียบเคียงกับเค้าโครงลักษณะที่ผู้บริโภคชอบหรือต้องการมากที่สุด ดำเนินการโดยการผลิตผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีตามที่เลือกได้จากข้อ 2.1 มาประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยวิธี Ratio Profile Test (RPT) ซึ่งเป็นวิธีที่ทดสอบเค้าโครงคุณภาพที่ผู้บริโภคต้องการในคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆ ในที่นี้กำหนดคุณลักษณะที่ทดสอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นรส และรสชาติ ให้ผู้ทดสอบให้ค่าความเข้มในอุดมคติ (I) และค่าความเข้มของคุณลักษณะด้านต่างๆของผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง (S) ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน

การวิเคราะห์ทางสถิติและเกณฑ์ในการคัดเลือก

วิเคราะห์และแปลผลการทดสอบโดยการหาค่าเฉลี่ยของค่าความเข้มในอุดมคติเปรียบเทียบกับค่าความเข้มของคุณลักษณะด้านต่างๆของผลิตภัณฑ์ สร้างกราฟใยแมงมุม (spider web) เพื่อให้การพิจารณาเค้าโครงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ชัดเจนและเห็นแนวทางในการปรับปรุงสูตรต่อไป แนวทางการพัฒนาสูตรใช้เกณฑ์พิจารณาจากค่า S/I ดังนี้

- หากค่า S/I เท่ากับ 1.0 ± 0.2 หมายถึง ไม่ต้องมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มของคุณลักษณะนั้น
- หากค่า S/I มากกว่า 1.0 ± 0.2 หมายถึง แนวทางการพัฒนาคุณลักษณะนั้นคือต้องลดความเข้มของคุณลักษณะลง
- หากค่า S/I น้อยกว่า 1.0 ± 0.2 หมายถึง แนวทางการพัฒนาคุณลักษณะนั้นคือต้องเพิ่มความเข้มของคุณลักษณะขึ้น

ตอนที่ 3 การศึกษาผลของการใช้สารดูดความชื้นต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคจากหอยแมลงภู่และข้าวหอมกระดังงา

ดำเนินการโดยการผลิตผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีตามที่เลือกได้จากตอนที่ 2 โดยเติมสารดูดความชื้น ได้แก่ กลีเซอรอล โดยเติมกลีเซอรอลเพิ่มในส่วนผสมเป็น 0% 5% 10% และ 15% ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด

การวิเคราะห์คุณภาพ

1) ค่าสี ด้วยเครื่องวัดสี (Colorimeter) และรายงานผลเป็นค่า L* a* และ b*

2) ลักษณะเนื้อสัมผัส ด้วยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture analyzer) รายงานค่า Hardness

3) ค่า a_w ด้วยเครื่องวัด a_w

4) ปริมาณความชื้น (AOAC, 1995)
5) ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-Point Hedonic Scale (1 คะแนน หมายถึง ไม่ชอบมากสุด และ 9 คะแนน หมายถึง ชอบมากที่สุด) คุณลักษณะที่ทดสอบ คือ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยใช้ผู้ทดสอบ 30 คน

การวิเคราะห์ทางสถิติและเกณฑ์ในการคัดเลือก

ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD ยกเว้นการทดสอบทางประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบ RCBD วิเคราะห์ผลทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan’s new multiple range test เลือกสิ่งทดลองที่ทำให้ได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสสูงที่สุด (ได้คะแนนมากกว่า 6 คะแนน) และมีค่า a_w ต่ำ โดยพิจารณาร่วมกับคุณภาพด้านอื่นๆที่วัดได้

ตอนที่ 4 การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคจากหอยแมลงภู่และข้าวหอมกระดังงาที่พัฒนาได้

สุ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคจากหอยแมลงภู่และข้าวหอมกระดังงาที่พัฒนาได้มาวิเคราะห์คุณภาพดังนี้
1) ปริมาณองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า และเส้นใย (AOAC, 1995)
2) ปริมาณใยอาหารทั้งหมด ตามวิธี enzymatic-gravimetric (AOAC, 1999)
3) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ตามวิธี Folin-Ciocalteau procedure (Singleton, Orthofer, & Lamuela-Raventos, 1999)
4) สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี DPPH scavenging activity (Turkmen et al., 2005)

ตอนที่ 5 การวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคจากหอยแมลงภู่และข้าวหอมกระดังงาระหว่างการเก็บรักษา

เตรียมผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคตามวิธีที่เลือกได้จากตอนที่ 3 มาเก็บรักษาโดยบรรจุในถุงพลาสติก Nylon-LDPE เคลือบอะลูมิเนียมฟอยด์ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง สุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์คุณภาพระหว่างการเก็บรักษา

การวิเคราะห์คุณภาพ

1) ค่าสี ด้วยเครื่องวัดสี (Colorimeter) และรายงานผลเป็นค่า L* a* และ b*
2) ลักษณะเนื้อสัมผัส ด้วยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture analyzer) รายงานค่า Hardness
3) ค่า a_w ด้วยเครื่องวัด a_w
4) ปริมาณความชื้น (AOAC, 1995)
5) ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (BAM, 2003)
6) ปริมาณยีสต์และรา (BAM, 2003)
7) ปริมาณเปอร์ออกไซด์ (ดัดแปลงจาก Lopez-Duarte and Vidal-Quintanar, 2009)
8) ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-Point Hedonic Scale (1 คะแนน หมายถึง ไม่ชอบมากสุด และ 9 คะแนน หมายถึง ชอบมากที่สุด) คุณลักษณะที่ทดสอบ คือ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยใช้ผู้ทดสอบ 30 คน

การวิเคราะห์ทางสถิติและเกณฑ์ในการคัดเลือก

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD ยกเว้นการทดสอบทางประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบ RCBD วิเคราะห์ผลทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan’s new multiple range test พิจารณาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพต่าง ๆ ระหว่างการเก็บรักษา และเปรียบเทียบคุณภาพกับเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนเทียบเคียงคือ ขนมปังกรอบจากข้าว (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, 2559, มผช.1140/2559) และขนมข้าวกรอบ (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, 2549, มผช.1239/2549) ร่วมกับการยอมรับทางประสาทสัมผัส

ตอนที่ 6 การศึกษา Moisture sorption isotherm ของผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคจากหอยแมลงภู่และข้าวหอมกระดังงา

เตรียมผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคตามวิธีที่เลือกได้จากตอนที่ 3 นำมาศึกษา Moisture sorption isotherm ใช้ชุดอุปกรณ์ proximity equilibration cell (PEC) โดยบดตัวอย่างให้มีขนาดประมาณ 40 เมช ชั่งตัวอย่างประมาณ 2 กรัม ใส่ในภาชนะเปิดและเก็บไว้ในโถแก้วควบคุมความชื้นที่อิ่มตัวด้วยสารละลายเกลือ ชั่งน้ำหนักตัวอย่างทุกวันจนกว่าน้ำหนักจะคงที่ (Bianco et al., 1997) แล้วคำนวณหาความชื้นสมดุล ตามวิธีหาความชื้นของ AOAC (1995) นำรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ มาทำนายความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นของตัวอย่างที่ระดับ a_w ต่างๆ

การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลค่าความชื้นสัมพัทธ์และค่าความชื้นสมดุลมาวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อทำนายและติดตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคและทดสอบความน่าเชื่อถือของการทำนายจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination, R^2) และ Standard Error of Estimate (SEE) โดยสมการของ GAB มีรูปสมการดังนี้

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

เมื่อ M คือ ปริมาณความชื้น (% dry basis)

a_w คือ ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้

M_{gm} คือ ความชื้นสูงสุดใน 1 ชั้นโมเลกุลของ GAB

K, C คือ ค่าคงที่ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ

โดยที่ $K = Ko \exp \frac{-El}{RT}$ และ $C = Co \exp \frac{-El}{RT}$

El คือ พลังงานซอร์พชันของมัลติเลเยอร์ (kJ/kmol)

T คือ อุณหภูมิของตัวกลางในการอบแห้ง (K)

R คือ ค่าคงที่ของก๊าซสากล, (R= 8.314 kJ/ mol K)

ทดสอบข้อมูลโดยใช้ Nonlinear Regression ใช้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination, R^2) และ Standard Error of Estimate (SEE) เพื่อทำนายและติดตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภค

ตอนที่ 7 การถ่ายทอดเทคโนโลยีและความรู้ที่ได้จากการวิจัยสู่ชุมชน

ดำเนินการจัดส่งแผ่นพับที่มีเนื้อหาถ่ายทอดเทคโนโลยีและความรู้ที่ได้จากการวิจัยส่งให้ชุมชน และตีพิมพ์ผลงานวิจัยในวารสารทางวิชาการ

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

ตอนที่ 1 ผลของการวิเคราะห์คุณภาพวัตถุดิบหอยแมลงภู่ผงและแป้งข้าวหอมกระดังงา

ลักษณะตัวอย่างหอยแมลงภู่แห้งและหอยแมลงภู่ผงที่ได้แสดงดังภาพที่ 4-1 และผลการวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณโปรตีน ไขมัน เถ้า เส้นใยหยาบ ความชื้น และคาร์โบไฮเดรต แสดงดังตารางที่ 4-1

ภาพที่ 4-1 ลักษณะตัวอย่างของหอยแมลงภู่แห้งและหอยแมลงภู่ผง

ตารางที่ 4-1 ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของหอยแมลงภู่ผง

ค่าคุณภาพ	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%)
โปรตีน	44.71 ± 2.20
ไขมัน	7.19 ± 1.01
เถ้า	8.22 ± 0.98
เส้นใยหยาบ	4.47 ± 1.14
ความชื้น	7.50 ± 1.23
คาร์โบไฮเดรต	27.90 ± 2.01

แป้งข้าวหอมกระดังงาดิบและแป้งข้าวหอมกระดังงาสุก แสดงดังภาพที่ 4-2 และผลการวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณโปรตีน ไขมัน เถ้า เส้นใยหยาบ ความชื้น และคาร์โบไฮเดรต ของแป้งข้าวหอมกระดังงาดิบและแป้งข้าวหอมกระดังงาสุก แสดงดังตารางที่ 4-2 และ 4-3 ตามลำดับ

(ก) แป้งข้าวหอมกระดังงาดิบผง

(ข) แป้งข้าวหอมกระดังงาสุกผง

ภาพที่ 4-2 ลักษณะตัวอย่างของแป้งข้าวหอมกระดังงาดิบผง (ก) และแป้งข้าวหอมกระดังงาสุกผง (ข)

ตารางที่ 4-2 ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวหอมกระดังงาดิบผง

ปริมาณองค์ประกอบทางเคมี	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%)
โปรตีน	8.70 ± 1.80
ไขมัน	2.07 ± 0.98
เถ้า	0.97 ± 0.11
เส้นใยหยาบ	1.64 ± 0.34
ความชื้น	6.79 ± 1.14
คาร์โบไฮเดรต	79.83 ± 1.97

ตารางที่ 4-3 ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวหอมกระดังงาสุกผง

ปริมาณองค์ประกอบทางเคมี	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%)
โปรตีน	7.92 ± 1.41
ไขมัน	2.01 ± 0.78
เถ้า	0.94 ± 0.19
เส้นใยหยาบ	1.40 ± 0.41
ความชื้น	6.89 ± 1.21
คาร์โบไฮเดรต	80.84 ± 1.90

ตอนที่ 2 ผลของการพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคจากหอยแมลงภู่และข้าวหอมกระดังงาที่เหมาะสม

2.1 ผลของการศึกษาหาสูตรพื้นฐานที่เหมาะสม

จากการจัดสิ่งทดลองแบบผสม (mixture design) แปรส่วนผสมตามรูปแบบ trilinear coordinate system โดยกำหนดปริมาณการใช้หอยแมลงภู่ผงอยู่ในช่วง 60%-70% แป้งข้าวหอมกระดังงาสุก 0%-10% แป้งข้าวหอมกระดังงาดิบ 20-30% และเติมน้ำ 80% โดยน้ำหนักส่วนผสมแห้งทั้งหมด (แป้งและหอยแมลงภู่ผง) ดังรายละเอียดในตารางที่ 3-1 ซึ่งได้สูตรการผลิตทั้งหมด 4 สูตร ลักษณะส่วนผสมหลังการนวด ผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปแล้วก่อนอบและผลิตภัณฑ์เจอร์กีหลังอบ แสดงดังตารางที่ 4-4

ผลของการนำผลิตภัณฑ์ผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคจากหอยแมลงภู่และข้าวหอมกระดังงาทั้ง 4 สูตร มาวิเคราะห์คุณภาพ ได้แก่ ค่าสี ค่า Hardness ค่า a_w และปริมาณความชื้น แสดงผลดังตารางที่ 4-5 ถึง 4-8 ตามลำดับ รวมทั้งการเปรียบเทียบลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปแล้วก่อนอบและหลังอบแสดงดังภาพที่ 4-3 สำหรับผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-Point Hedonic Scale (1 คะแนน หมายถึง ไม่ชอบมากสุด และ 9 คะแนน หมายถึง ชอบมากที่สุด) คุณลักษณะที่ทดสอบ คือ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยใช้ผู้ทดสอบ 30 คน แสดงดังตารางที่ 4-9

จากผลการทดลองพบว่าผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคจากหอยแมลงภู่และข้าวหอมกระดังงาทั้ง 4 สูตร มีค่าสี L* a* และ b* รวมทั้งค่า Hardness ค่า a_w และปริมาณความชื้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แสดงให้เห็นว่าการแปรปริมาณหอยแมลงภู่ผง แป้งข้าวหอมกระดังงาสุก และแป้งข้าวหอมกระดังงาดิบ มีผลทำให้คุณภาพบางประการของผลิตภัณฑ์แต่งต่างกัน ซึ่งเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณขององค์ประกอบของส่วนผสมที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีและกายภาพต่างๆในการผลิต ตัวอย่างเช่น หอยแมลงภู่ผงเป็นแหล่งที่ดีของโปรตีนการเติมในผลิตภัณฑ์แล้วนำไปให้ความร้อนในห้องอบมีผลให้โปรตีนเกิดการแปรสภาพได้ ซึ่งส่งผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ รวมทั้งการผสมรวมกับส่วนผสมอื่นเช่น แป้งข้าวซึ่งมีองค์ประกอบของน้ำตาลรีดิวซ์ก็เอื้อต่อการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล (Maillard reaction) ระหว่างการผลิตได้ ในกรณีของแป้งข้าวหอมกระดังงาดิบและแป้งข้าวหอมกระดังงาสุกหรือแป้งพรีเจลาติไนซ์ก็ล้วนมีผลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำ การดูดซับน้ำ รวมทั้งการพองตัว กรกช หล่อโลหะการ (2550) รายงานว่า การดัดแปรแป้งข้าวมีผลให้กำลังการพองตัวลดลง เนื่องจากเม็ดสตาร์ชของแป้งดัดแปรมีความแข็งแรงมากขึ้นโดยโมเลกุลของแอมิโลสและแอมิโลเพกตินในเม็ดสตาร์ชจับกันอย่างแข็งแรงมากขึ้น จึงทำให้โมเลกุลของน้ำเข้าไปทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของสตาร์ชได้ยาก ทำให้สตาร์ชที่ผ่านการดัดแปรมีกำลังการพองตัวลดลง ซึ่งอาจมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์สุดท้าย จากผลการทดลองจึงพบแนวโน้มว่าการเติมแป้งข้าวหอมกระดังงาสุกในผลิตภัณฑ์ในสูตรที่ 1 3 และ 4 ทำให้ค่า Hardness ต่ำกว่าตัวอย่างที่ 2 ที่ไม่มีการใช้แป้งข้าวหอมกระดังงาสุก

สำหรับค่า a_w เป็นปัจจัยบ่งชี้ระดับปริมาณน้ำอิสระในอาหารที่เชื้อจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการเจริญเติบโตและใช้ในการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่างๆ โดยปกติค่า a_w กับปริมาณความชื้นมักมีความสัมพันธ์ไปในทางเดียวกัน และการเติมส่วนผสมของอาหารที่สามารถจับน้ำอิสระมีผลทำให้

โมเลกุลของสารที่เติมเหล่านั้นไปสร้างพันธะกับน้ำอิสระที่อยู่ในช่องว่างอาหารทำให้น้ำอิสระในอาหารลดลงได้ การเพิ่มปริมาณโปรตีนให้กับส่วนผสมมีโอกาสทำให้โปรตีนสามารถเกิดการห่อหุ้มเป็นชั้นฟิล์มบางๆ ล้อมรอบส่วนประกอบที่เป็นหยดน้ำมันที่ถูกอิมัลซิไฟด์ไว้ไม่ให้เกิดการรวมตัวกันใหม่ จึงมีผลให้ส่วนผสมมีความคงตัวมากขึ้นและช่วยให้ส่วนของน้ำอิสระกลายเป็นน้ำที่ถูกตรึง มีผลให้ปริมาณน้ำอิสระลดลงได้ (Carretero, 2012) หากเปรียบเทียบค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคที่ผลิตได้ทั้ง 4 สูตร พบว่า อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของผลิตภัณฑ์เทียบเคียงคือ ขนมปังกรอบจากข้าว ที่ระบุว่า ขนมปังกรอบจากข้าว หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการการนำแป้งข้าว เช่น ข้าวกล้อง ข้าวเจ้า มาผสมกับเนย เกลือ น้ำตาล อาจเติมส่วนประกอบอื่น เช่น งา ผลไม้แห้ง ใบหม่อนผง ผงช็อกโกแลตหรือผงโกโก้ ตีผสมให้เข้ากัน ใส่พิมพ์ ตัดเป็นชิ้น หรือทำให้มีรูปร่างตามต้องการ นำไปอบที่อุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมแล้วบรรจุในภาชนะบรรจุ ที่กำหนดไว้ว่าค่า a_w ต้องไม่เกิน 0.6 (มผช 1140/2559)

เมื่อพิจารณาผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่า ผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคจากหอยแมลงภู่และข้าวหอมกระดังงาทั้ง 4 สูตร ได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏและด้านสีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) แต่ได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่นรสรสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ผลิตภัณฑ์ที่ได้อาจมีลักษณะปรากฏและสีแตกต่างไปจากผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวทั่วไปรวมทั้งผู้บริโภคส่วนใหญ่อาจยังไม่รู้จักผลิตภัณฑ์อาจไม่รู้จักหรือคุ้นเคยกับผลิตภัณฑ์เจอร์กี จึงให้คะแนนความชอบด้านสีไม่สูงนัก (5.09-5.25) อยู่ในระดับเฉยๆ และผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะปรากฏค่อนข้างคล้ายกันจึงให้คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏไม่แตกต่างกัน (6.85-6.95) อยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง สำหรับคะแนนความชอบด้านกลิ่นรสและรสชาติ พบว่า ผลิตภัณฑ์สูตรที่ 3 และ 4 ได้รับคะแนนสูงที่สุด (6.00-6.38) ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากทั้ง 2 สูตรนี้มีการใช้หอยแมลงภู่ผง (60% และ 65%) ปริมาณน้อยกว่าสูตรอื่น จึงแสดงกลิ่นรสและรสชาติของหอยไม่เข้มมาก ผู้บริโภคให้ข้อคิดเห็นเพิ่มเติมไว้ว่าในสูตรที่มีการปริมาณหอยแมลงภู่ผงมากทำให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นรสและรสชาติของหอยแมลงภู่แห้งเข้มมากจนไม่รู้สึกคุ้นเคยและมีความคาว เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสพบว่า สูตรที่ 3 ซึ่งมีการใช้แป้งข้าวหอมกระดังงาสุก 10% และแป้งข้าวหอมกระดังงาดิบ 30% มีลักษณะเนื้อสัมผัสกรอบไม่แข็งกระด้างมากเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรอื่น จึงได้รับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสสูงที่สุด (6.15) ซึ่งอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง และมีผลให้ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด (6.15) ซึ่งอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย

ตารางที่ 4-4 ลักษณะส่วนผสมหลังการนวด ผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปแล้วก่อนอบ และผลิตภัณฑ์หลังอบ

สูตร	หลังผสม	ก่อนอบ	หลังอบ
1			
2			
3			
4			

ตารางที่ 4-5 ค่าสี L* a* และ b* ของผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคที่แปรปริมาณการใช้หอยแมลงภู่ผง แป้งข้าวหอมกระดังงาสุกผง และแป้งข้าวหอมกระดังงาดิบผง

สูตร	หอยแมลงภู่ผง (%)	แป้งข้าวหอมกระดังงาสุกผง (%)	แป้งข้าวหอมกระดังงาดิบผง (%)	ค่าสีเฉลี่ย ± SD		
				L*	a*	b*
1	70	10	20	23.16[a] ± 0.12	6.44[a] ± 0.03	7.51[a] ± 0.11
2	70	0	30	22.35[b] ± 0.32	4.90[c] ± 0.08	5.97[c] ± 0.23
3	60	10	30	20.68[c] ± 0.06	5.17[b] ± 0.11	4.90[d] ± 0.08
4	65	7.5	27.5	22.11[b] ± 0.07	5.77[b] ± 0.13	6.48[b] ± 0.08

[a, b,...] หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 4-6 ค่า Hardness ของผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคที่แปรปริมาณการใช้หอยแมลงภู่ผง แป้งข้าวหอมกระดังงาสุกผง และแป้งข้าวหอมกระดังงาดิบผง

สูตร	หอยแมลงภู่ผง (%)	แป้งข้าวหอมกระดังงาสุกผง (%)	แป้งข้าวหอมกระดังงาดิบผง (%)	ค่า Hardness เฉลี่ย ± SD (kg)
1	70	10	20	12.03[b]±1.79
2	70	0	30	27.19[a]±3.58
3	60	10	30	9.78[b]±3.04
4	65	7.5	27.5	9.80[b]±3.45

[a, b,...] หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 4-7 ค่า a_w ของผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคที่แปรปริมาณการใช้หอยแมลงภู่ผง แป้งข้าวหอมกระดังงาสุกผง และแป้งข้าวหอมกระดังงาดิบผง

สูตร	หอยแมลงภู่ผง (%)	แป้งข้าวหอมกระดังงาสุกผง (%)	แป้งข้าวหอมกระดังงาดิบผง (%)	ค่า a_w เฉลี่ย ± SD
1	70	10	20	0.512[a]± 0.002
2	70	0	30	0.565[a]± 0.001
3	60	10	30	0.477[b]± 0.002
4	65	7.5	27.5	0.483[b]± 0.001

[a, b,...] หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 4-8 ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคที่แปรปริมาณการใช้หอยแมลงภู่ผง แป้งข้าวหอมกระดังงาสุกผง และแป้งข้าวหอมกระดังงาดิบผง

สูตร	หอยแมลงภู่ผง (%)	แป้งข้าวหอมกระดังงาสุกผง (%)	แป้งข้าวหอมกระดังงาดิบผง (%)	ปริมาณความชื้นเฉลี่ย ± SD (%)
1	70	10	20	$5.96^{a}\pm0.67$
2	70	0	30	$5.97^{a}\pm0.90$
3	60	10	30	$5.60^{b}\pm0.91$
4	65	7.5	27.5	$5.06^{b}\pm0.89$

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

ผลการคัดเลือกสิ่งทดลองที่เหมาะสมที่สุดสำหรับขั้นตอนนี้ คือ สูตรที่ 3 ซึ่งใช้สัดส่วนของหอยแมลงภู่ผง แป้งข้าวหอมกระดังงาสุกผง และแป้งข้าวหอมกระดังงาดิบผง เท่ากับ 60 10 และ 30% ตามลำดับ โดยทำให้ได้คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวมสูงที่สุด เท่ากับ 6.15 คะแนน และเมื่อพิจารณาร่วมกับคุณภาพด้านอื่นๆที่วัดได้ พบว่า สิ่งทดลองดังกล่าวนี้มีความเหมาะสมที่สุด มีปริมาณความชื้นและค่า a_w ค่อนข้างต่ำ เท่ากับ 5.60% และ 0.477 ตามลำดับ ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ดีของผลิตภัณฑ์อาหารแห้งรวมทั้งมีค่า Hardness ค่อนข้างต่ำเช่นกัน เท่ากับ 9.78 กิโลกรัม แสดงถึงตัวอย่างมีลักษณะไม่แข็งกระด้างมากเกินไป ซึ่งสอดคล้องกับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสที่ได้รับคะแนนความชอบสูงที่สุด ($p<0.05$)

ภาพที่ 4-3 การเปรียบเทียบลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปแล้วก่อนอบและหลังอบของผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคที่แปรปริมาณการใช้หอยแมลงภู่ผง แป้งข้าวหอมกระดังงาสุกผง และแป้งข้าวหอมกระดังงาดิบผงทั้ง 4 สูตร

ตารางที่ 4-9 คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคที่แปรปริมาณการใช้หอยแมลงภู่ผง แป้งข้าวหอมกระดังงาสุกผง และแป้งข้าวหอมกระดังงาดิบผง

สูตร	หอยแมลงภู่ผง (%)	แป้งข้าวหอมกระดังงาสุกผง (%)	แป้งข้าวหอมกระดังงาดิบผง (%)	คะแนนเฉลี่ย ± SD					
				ลักษณะปรากฏ^{ns}	สี^{ns}	กลิ่นรส	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
1	70	10	20	6.85±1.60	5.20±1.21	5.18±1.06^{b}	5.58±1.04^{b}	5.90±1.09^{b}	5.75±0.57^{b}
2	70	0	30	6.90±1.11	5.29±1.07	5.13±1.30^{b}	5.48±1.37^{b}	5.75±1.00^{b}	5.85±1.02^{b}
3	60	10	30	6.95±1.69	5.24±1.81	6.10±1.26^{a}	6.38±1.63^{a}	6.15±1.69^{a}	6.15±0.49^{a}
4	65	7.5	27.5	6.91±1.03	5.09±1.86	6.00±1.04^{a}	6.28±1.60^{a}	5.95±0.96^{b}	6.08±0.57^{a}

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

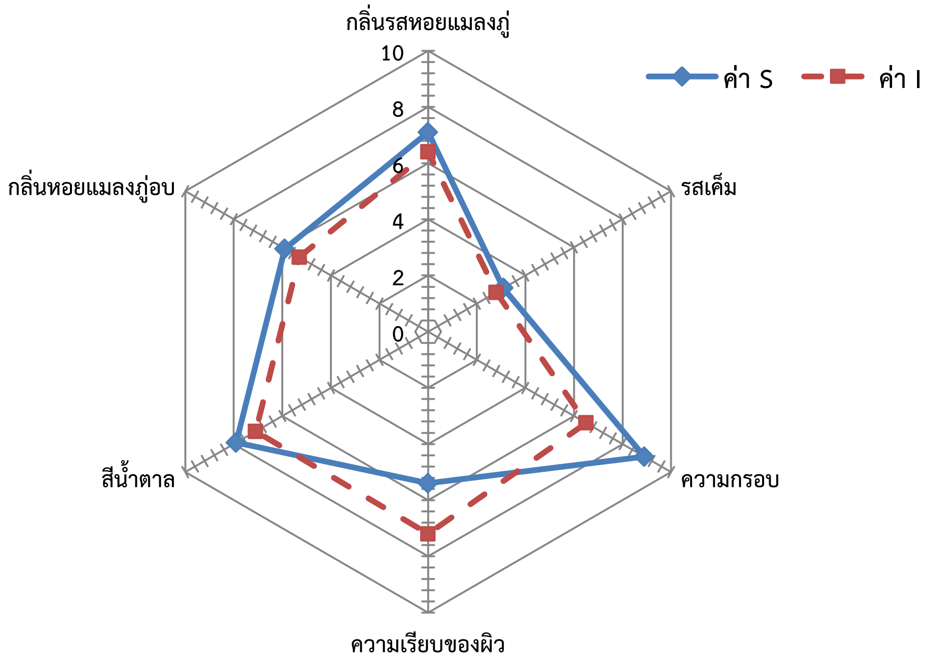
2.2 ผลการหาเค้าโครงคุณภาพและแนวทางการพัฒนาสูตรให้ได้ผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคที่ผู้บริโภคต้องการ

จากการผลิตผลิตผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีตามสูตรที่ 3 ซึ่งใช้สัดส่วนของหอยแมลงภู่ผง แป้งข้าวหอมกระดังงาสุกผง และแป้งข้าวหอมกระดังงาดิบผง เท่ากับ 60 10 และ 30% ตามลำดับ มาประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยวิธี Ratio Profile Test (RPT) โดยกำหนดคุณลักษณะที่ทดสอบด้านความเรียบของผิว สีน้ำตาล กลิ่นหอยแมลงภู่อบ กลิ่นรสหอยแมลงภู่ รสเค็ม และความกรอบ ผลคะแนนค่าความเข้มในอุดมคติ (I) ค่าความเข้มของคุณลักษณะด้านต่างๆของผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง (S) และค่า S/I แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 4-10 ภาพที่ 4-4 และ 4-5

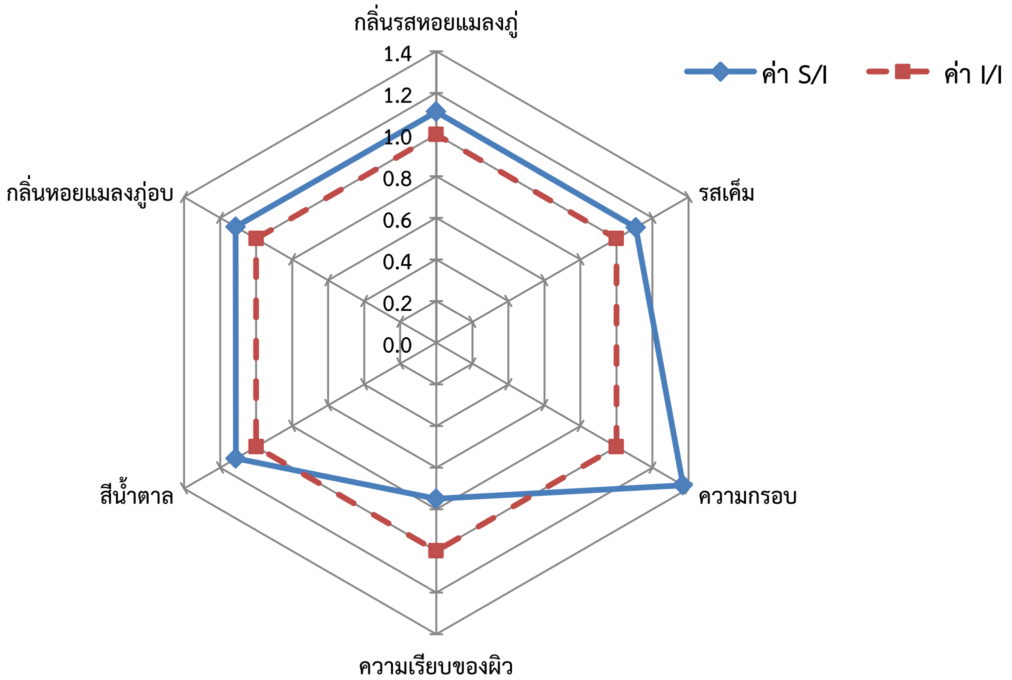
จากการพิจารณาค่า S/I ตามเกณฑ์พิจารณา พบว่า จากค่า S/I ของด้านสีน้ำตาล กลิ่นหอยแมลงภู่อบ กลิ่นรสหอยแมลงภู่ และรสเค็ม เท่ากับ 1.11 แสดงถึง ไม่ต้องมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มของคุณลักษณะ เนื่องจากค่า S/I อยู่ในช่วง 1.0± 0.2 โดยพบว่ามีคุณลักษณะด้านความเรียบของผิวและความกรอบที่ต้องปรับปรุง โดยควรต้องเพิ่มความเรียบของผิวตามค่า S/I ของความเรียบของผิวที่มีค่า 0.75 ส่วนด้านความกรอบพบว่ามีค่า S/I เท่ากับ 1.37 ซึ่งหมายถึงผลิตภัณฑ์มีลักษณะกรอบมากเกินไป เมื่อพิจารณาร่วมกับคำแนะนำของผู้ทดสอบที่ให้คำแนะนำเพิ่มเติมไว้ว่า ควรเพิ่มลักษณะกรอบนุ่มขึ้น ไม่แข็งกระด้างจนเคี้ยวยาก จึงกล่าวได้ว่าผลิตภัณฑ์มีลักษณะกรอบมากเกินไปหมายถึงมีความแข็งกระด้างมากเกินไปนั่นเอง

ตารางที่ 4-10 คะแนนค่าความเข้มในอุดมคติ (I) ค่าความเข้มของคุณลักษณะด้านต่างๆ (S) และคะแนนค่าสัดส่วนความเข้มในอุดมคติกับความเข้มของคุณลักษณะด้านต่างๆ (S/I) ของผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยวิธี Ratio Profile Test

ค่าที่ประเมิน	คะแนนเฉลี่ย ± SD		
	ความเรียบของผิว	สีน้ำตาล	กลิ่นหอยแมลงภู่อบ
ค่า S	5.40±0.95	7.90±0.45	5.90±0.57
ค่า I	7.20±0.25	7.10±0.80	5.30±0.15
ค่า S/I	0.75±0.71	1.11±0.66	1.11±0.43
ค่าที่ประเมิน	คะแนนเฉลี่ย ± SD		
	กลิ่นรสหอยแมลงภู่	รสเค็ม	ความกรอบ
ค่า S	7.10±0.90	3.10±0.07	8.90±0.57
ค่า I	6.40±0.15	2.80±0.25	6.50±0.59
ค่า S/I	1.11±0.78	1.11±0.11	1.37±0.57



ภาพที่ 4-4 คะแนนค่าความเข้มในอุดมคติ (I) ค่าความเข้มของคุณลักษณะด้านต่างๆ (S) ของผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยวิธี Ratio Profile Test



ภาพที่ 4-5 คะแนนค่าสัดส่วนความเข้มในอุดมคติกับความเข้มของคุณลักษณะด้านต่างๆ (S/I) ของผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยวิธี Ratio Profile Test

ตอนที่ 3 ผลของการใช้สารดูดความชื้นต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคจากหอยแมลงภู่และข้าวหอมกระดังงา

ผลจากตอนที่ 2 พบว่า ควรปรับปรุงคุณภาพด้านความเรียบของผิวให้มีความเรียบมากขึ้น และควรปรับปรุงความกรอบที่มีความแข็งกระด้างมากเกินไป ขั้นตอนนี้จึงดำเนินการโดยการผลิตผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีตามที่เลือกได้จากตอนที่ 2 โดยเติมสารดูดความชื้น ได้แก่ กลีเซอรอลเพิ่มในส่วนผสมเป็น 0% 5% 10% และ 15% จากน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด ได้ผลการทดลองดังนี้

1) ค่าสี (L* a* และ b*)

จากตารางที่ 4-11 แสดงผลของค่าสี (L* a* และ b*) ของผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคที่แปรการเติมกลีเซอรอล พบว่า ค่าสี L* a* และ b* ของทุกสูตรมีค่าอยู่ในช่วง 20.68-26.97 5.19-7.70 และ 4.90-6.04 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรที่ไม่เติมกลีเซอรอลพบแนวโน้มว่าการใช้กลีเซอรอลมีผลทำให้ค่าสีมีค่าเพิ่มขึ้น นิราศ กิ่งวาที (2546) กล่าวว่า กลีเซอรอลมีคุณสมบัติ ในการให้ความหนืด เป็นตัวทำละลายที่ดี และเพิ่มความมันวาวแก่ผลิตภัณฑ์ เคลือบผิวทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าความสว่าง และช่วยรักษาสีของผลิตภัณฑ์ไว้ได้ จากผลการทดลองพบว่า สูตรที่ที่ 4 ซึ่งใช้กลีเซอรอลมากที่สุดมีค่า L* และ b* สูงที่สุด แตกต่างจากสูตรอื่น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แสดงว่าผลิตภัณฑ์มีความสว่างและมีสีแดงมากที่สุด

ตารางที่ 4-11 ค่าสี L* a* และ b* ของผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคที่แปรปริมาณการใช้กลีเซอรอล

สูตร	กลีเซอรอล (%)	ค่าสีเฉลี่ย ± SD		
		L*	a*	b*
1	0	$20.68^{d} \pm 0.24$	$5.19^{b} \pm 0.10$	$4.90^{c} \pm 0.14$
2	5	$22.30^{c} \pm 0.14$	$5.99^{b} \pm 0.47$	$5.01^{b} \pm 0.27$
3	10	$25.11^{b} \pm 0.97$	$7.10^{a} \pm 0.58$	$5.07^{b} \pm 0.75$
4	15	$26.97^{a} \pm 0.67$	$7.70^{a} \pm 0.78$	$6.04^{a} \pm 0.91$

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

2) ค่าความแข็ง (Hardness)

จากตารางที่ 4-12 แสดงผลค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคที่แปรการเติมกลีเซอรอล มีผลให้ค่าความแข็งของทุกสูตรมีค่าอยู่ในช่วง 5.80-9.79 kg เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรที่ไม่เติมกลีเซอรอลซึ่งมีค่าความแข็งเท่ากับ 9.79 kg แสดงให้เห็นว่าการเติมกลีเซอรอล มีผลทำให้ผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคมีค่าความแข็งลดลง ทั้งนี้เนื่องมาจากมีการใช้กลีเซอรอลซึ่งจัดเป็นสารประกอบประเภท polyhydroxy alcohol มีหมู่ไฮดรอกซิลในโมเลกุลอยู่เป็นจำนวนมาก มีผลทำให้เกิดการสร้างพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของน้ำได้เป็นอย่างดี ดังนั้นเมื่อกลีเซอ รอลแพร่เข้าไปในอาหารทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะอุ้มน้ำ จึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสนุ่มขึ้นได้ อย่างไรก็ตาม

ผลิตภัณฑ์สูตรที่ 2 และ 3 ยังมีลักษณะกรอบอยู่ แต่ความกระด้างแข็งมีแนวโน้มลดลงและพบข้อสังเกตว่าสูตรที่ 4 มีลักษณะกรอบนุ่ม

ตารางที่ 4-12 ค่า Hardness ของผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคที่แปรปริมาณการใช้กลีเซอรอล

สูตร	กลีเซอรอล (%)	ค่า Hardness เฉลี่ย ± SD (kg)
1	0	$9.79^{a}\pm1.00$
2	5	$8.89^{b}\pm0.98$
3	10	$8.10^{b}\pm1.90$
4	15	$5.80^{c}\pm1.40$

[a, b,...] หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

3) ค่า a_w และปริมาณความชื้น

งานวิจัยนี้มีการใช้สารดูดความชื้นร่วมด้วย หน้าที่หลักคือต้องการลดปริมาณน้ำอิสระในอาหาร ช่วยลดโอกาสการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์และช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสของอาหารให้มีความแข็งกระด้างลดลง จากตารางที่ 4-13 แสดงผลค่า a_w ของผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคที่แปรการเติมกลีเซอรอล พบว่า ค่า a_w มีค่าอยู่ในช่วง 0.279-0.477 โดยสูตรที่ 4 มีค่า a_w ต่ำที่สุดเท่ากับ 0.201 ทั้งนี้เนื่องจากกลีเซอรอลมีสมบัติเป็นสารดูดความชื้นที่สามารถลดค่า a_w ของอาหารได้ การเติมกลีเซอรอลในปริมาณมากขึ้นจึงช่วยลด a_w ของผลิตภัณฑ์ได้มากขึ้น สำหรับปริมาณความชื้นจากตารางที่ 4-13 พบว่า การเติมกลีเซอรอลเพิ่มมากขึ้นมีผลให้ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มลดลงสอดคล้องกับค่า a_w สอดคล้องกับที่ Kim et al. (2010) รายงานว่า การใช้สารดูดความชื้นได้แก่ กลีเซอรอลและซอร์บิทอลที่ความเข้มข้นต่างกัน 2 และ 5% และเนื้อผลไม้ชนิดต่างๆ เพื่อช่วยในการปรับปรุงเนื้อสัมผัสและลักษณะทางประสาทสัมผัสของเจอร์กีเนื้อสุกร พบว่า เจอร์กีเนื้อสุกรที่มีการเติมกลีเซอรอล กีวี่ หรือสับปะรด 5% มีปริมาณความชื้นและค่า a_w ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม (เจอร์กีเนื้อสุกรที่ไม่เติมสารดูดความชื้น) ($p<0.05$)

ตารางที่ 4-13 ค่า a_w และปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคที่แปรปริมาณการใช้กลีเซอรอล

สูตร	กลีเซอรอล (%)	ค่า a_w เฉลี่ย ± SD	ปริมาณความชื้นเฉลี่ย ± SD (%)
1	0	$0.477^{a}\pm0.002$	$5.60^{a}\pm0.90$
2	5	$0.282^{b}\pm0.001$	$5.17^{b}\pm0.47$
3	10	$0.279^{b}\pm0.001$	$5.16^{b}\pm0.34$
4	15	$0.201^{c}\pm0.001$	$5.00^{c}\pm0.97$

[a, b,...] หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

3) ความชอบด้านประสาทสัมผัส

จากตารางที่ 4-14 พบว่า คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์เมื่อมีการเติมกลีเซอรอลระดับต่างๆมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กลีเซอรอลเป็นสารประกอบที่มีลักษณะเป็นของเหลวใส ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น มีความหวานประมาณ 0.6-0.7 เท่าของน้ำตาลซูโครส มีคุณสมบัติทนต่อความร้อนและสารเคมีได้ดีจึงไม่สลายตัวได้ง่าย ดูดซับและเก็บความชื้นได้ดี รวมทั้งละลายน้ำได้ดี (ศิวาพร ศิวเวชช, 2529) การนำมาเติมในผลิตภัณฑ์จึงสามารถผสมรวมเข้ากับผลิตภัณฑ์ได้ดีทำให้การขึ้นรูปเจอร์กีสามารถจัดการได้ง่ายขึ้นด้วย เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ พบว่า การเติมกลีเซอรอลมากขึ้นมีผลให้คะแนนความชอบลักษณะปรากฏมากขึ้นด้วย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากผิวของผลิตภัณฑ์มีความเรียบมากขึ้น ซึ่งเป็นลักษณะที่ควรปรับปรุงตามข้อมูลที่ได้จากตอนที่ 2 โดยพบว่าสูตรที่ 4 ได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏมากที่สุดเท่ากับ 7.51 คะแนน สำหรับคะแนนความชอบด้านกลิ่นรส และรสชาติ พบว่ามีแนวโน้มคล้ายกัน โดยพบว่าสูตรที่ 2 ได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่นรส และรสชาติ มากที่สุด เท่ากับ 6.57 และ 6.69 คะแนน ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเติมกลีเซอรอลในประมาณเพียง 5% ช่วยปรับปรุงให้มีกลิ่นรสและรสชาติ กลมกล่อมขึ้น เนื่องจากกลีเซอรอลมีรสหวานเล็กน้อยและอาจมีส่วนช่วยกักเก็บกลิ่นรสของหอยแมลงภู่ชัดเจน แต่การเติมกลีเซอรอลมากถึง 10% และ 15% อาจมีผลให้กลิ่นรสและรสชาติของผลิตภัณฑ์ไม่แสดงเอกลักษณ์ของหอยแมลงภู่หรือแป้งข้าวที่ชัดเจน รวมทั้งผลิตภัณฑ์มีความเลี่ยนมันมากขึ้น (ข้อคิดเห็นจากผู้ทดสอบ) สำหรับด้านสี พบว่า การเติมกลีเซอรอลในปริมาณ 5% 10% และ 15% อาจทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะวาวมันมากขึ้นซึ่งเป็นลักษณะที่ผู้ทดสอบชอบมากกว่าการไม่เติมกลีเซอรอลจึงได้รับคะแนนความชอบด้านสีมากขึ้นโดยได้คะแนนอยู่ในช่วง 6.19-6.24 คะแนน สำหรับคุณภาพในด้านเนื้อสัมผัส พบว่า การใช้สารละลายกลีเซอรอล 5% ได้รับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสมากที่สุด เท่ากับ 6.75 แสดงให้เห็นว่าสามารถปรับปรุงเนื้อสัมผัส อาจเป็นเพราะการเติมกลีเซอรอลสามารถลดค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ลงได้ แต่ยังคงมีลักษณะกรอบนุ่ม ทั้งนี้เนื่องจากกลีเซอรอลมีความสามารถในการอุ้มน้ำให้อยู่ภายในชิ้นอาหารได้มากขึ้น มีรายงานว่าการนำกลีเซอรอลมาใช้ในผลิตภัณฑ์ที่ต้องผ่านการอบสามารถช่วยในการกักเก็บความชื้น มีผลให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสนุ่มและชุ่มชื้นขึ้นได้ อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์ผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคนี้ยังต้องการลักษณะเนื้อสัมผัสกรอบอยู่ การเติมกลีเซอรอลมากถึง 10% และ 15% จึงมีแนวโน้มทำให้ผลิตภัณฑ์มีความนุ่มมากเกินไปจนไม่ให้ลักษณะกรอบ ผู้ทดสอบจึงให้คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสลดลงเมื่อเติมกลีเซอรอลมากขึ้น ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เจอร์กีเนื้อสุกร พบว่า การเติมสารดูดความชื้น ได้แก่ กลีเซอรอลและซอร์บิทอลทำให้เจอร์กีมีค่าแรงเฉือนต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมที่ไม่ใช้สารดูดความชื้น ($p<0.05$) และพบว่า การเติมกลีเซอรอล 2% และ 5% ทำให้ปริมาณความชื้นสมดุล (equilibrium moisture content (EMC)) สูงกว่าตัวอย่างอื่น และตัวอย่างที่มีการเติมสารดูดความชื้นมี EMC มากกว่าตัวอย่างควบคุม ($p<0.05$) (Kim et al., 2010)

ตารางที่ 4-14 คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคที่แปรปริมาณการใช้กลีเซอรอล

สูตร	กลีเซอรอล (%)	คะแนนเฉลี่ย ± SD					
		ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่นรส	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
1	0	6.95 ± 1.69^{c}	5.24 ± 1.80^{b}	6.11 ± 1.21^{b}	6.30 ± 1.60^{b}	6.15 ± 1.69^{b}	6.10 ± 1.02^{b}
2	5	7.01 ± 1.01^{b}	6.19 ± 0.87^{a}	6.57 ± 1.10^{a}	6.69 ± 1.11^{a}	6.75 ± 1.00^{a}	6.79 ± 1.07^{a}
3	10	7.05 ± 1.01^{b}	6.10 ± 1.17^{a}	6.10 ± 1.26^{b}	5.89 ± 1.93^{c}	6.10 ± 1.69^{b}	6.20 ± 1.14^{b}
4	15	7.51 ± 1.14^{a}	6.24 ± 1.14^{a}	6.00 ± 1.04^{b}	5.20 ± 1.00^{c}	5.98 ± 0.96^{c}	5.90 ± 1.90^{c}

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

จากเกณฑ์ที่กำหนดไว้คือเลือกสิ่งทดลองที่ทำให้ได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสสูงที่สุด และมีค่า a_w ต่ำ (0.282) พบว่าสูตรที่เหมาะสมที่สุดคือ สูตรที่ 2 ซึ่งเติมกลีเซอรอล 5% โดยพิจารณาร่วมกับคุณภาพด้านอื่นๆที่วัดได้ พบว่า มีปริมาณความชื้น 5.17% ค่าความแข็งเท่ากับ 8.89 kg โดยลักษณะส่วนผสมหลังการนวด ผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปแล้วก่อนอบและผลิตภัณฑ์หลังอบ แสดงดังภาพที่ 4-6 ลักษณะผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคจากหอยแมลงภู่และข้าวหอมกระดังงาสูตรที่ 2 ที่เลือกได้นี้มีเนื้อสัมผัสเป็นรูพรุนขนาดเล็กกว่าผลิตภัณฑ์สูตรที่ 1 ที่เป็นสูตรควบคุมที่ไม่มีการเติมกลีเซอรอล ซึ่งมีลักษณะเนื้อสัมผัสเป็นรูขนาดใหญ่และกลวงมากกว่า แสดงดังภาพที่ 4-7

(ก) หลังการนวด

(ข) ก่อนอบ

(ค) หลังอบ

ภาพที่ 4-6 ลักษณะส่วนผสมของผลิตภัณฑ์สูตรที่ 4 (เติมกลีเซอรอล 5%) หลังการนวด (ก) ผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปแล้วก่อนอบ (ข) และผลิตภัณฑ์หลังอบ (ค)

(ก) สูตรที่ 1

(ข) สูตรที่ 2

ภาพที่ 4-7 ผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคจากหอยแมลงภู่และข้าวหอมกระดังงา สูตรที่ 1 เติมกลีเซอรอล 0% (ก) และสูตรที่ 2 เติมกลีเซอรอล 5% (ข)

ตอนที่ 4 ผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคจากหอยแมลงภู่และข้าวหอมกระดังงาที่พัฒนาได้

ผลจากตอนที่ 3 พบว่า สูตรผลิตภัณฑ์เจอร์กีพร้อมบริโภคจากหอยแมลงภู่และข้าวหอมกระดังงาที่เหมาะสม คือ หอยแมลงภู่ผง 60% แป้งข้าวหอมกระดังงาสุก 10% แป้งข้าวหอมกระดังงาดิบ 30% และเติมน้ำ 80% โดยน้ำหนักส่วนผสมแห้งทั้งหมด นอกจากนี้ต้องเติมกลีเซอรอลเพิ่มในส่วนผสมทั้งหมดอีก 5% จากน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด สรุปสูตรที่เหมาะสมได้ดังตารางที่ 4-15

ตารางที่ 4-15 สูตรที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคจากหอยแมลงภู่และข้าวหอมกระดังงา

ส่วนผสม	ปริมาณ (%)
หอยแมลงภู่ผง	31.75
แป้งข้าวหอมกระดังงาสุก	5.29
แป้งข้าวหอมกระดังงาดิบ	15.87
น้ำ	42.33
กลีเซอรอล	4.76
รวม	100.00

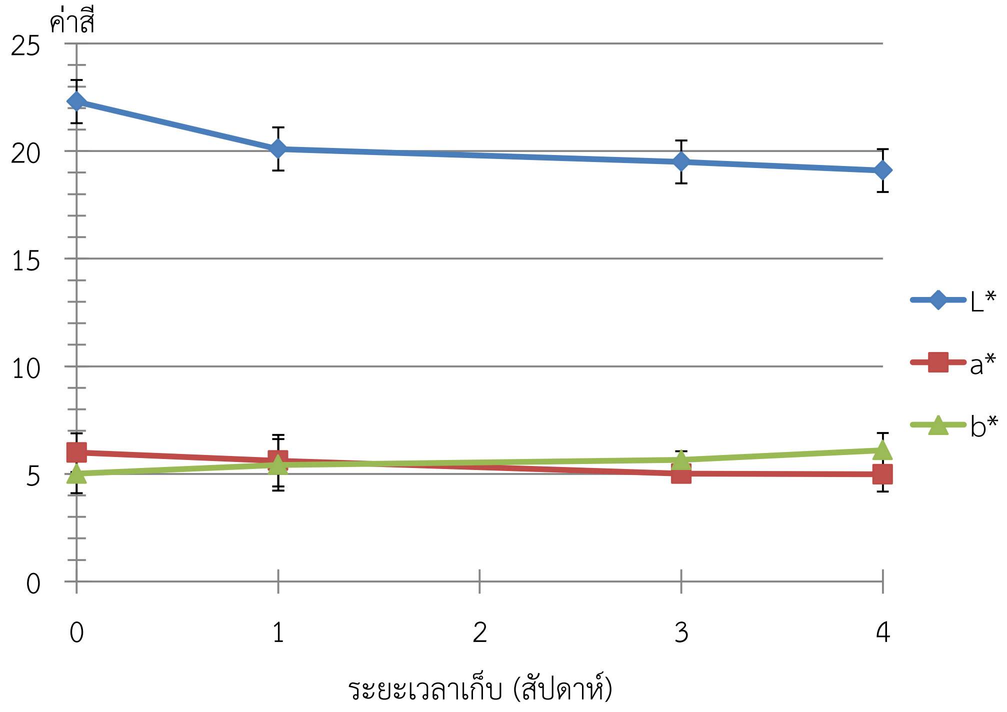
จากการสุ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคจากหอยแมลงภู่และข้าวหอมกระดังงาที่พัฒนาได้มาวิเคราะห์คุณภาพดังนี้ ปริมาณองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า และเส้นใยหยาบ ปริมาณใยอาหารทั้งหมด ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH scavenging activity แสดงผลดังตารางที่ 4-16

ตารางที่ 4-16 ปริมาณองค์ประกอบทางเคมี ปริมาณใยอาหารทั้งหมด ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคจากหอยแมลงภู่และข้าวหอมกระดังงาที่พัฒนาได้

ค่าคุณภาพ	ค่าเฉลี่ย ± SD
ปริมาณองค์ประกอบทางเคมี	
- ความชื้น (%)	5.17 ± 0.89
- โปรตีน (%)	15.90 ± 1.94
- ไขมัน (%)	2.62 ± 0.59
- เถ้า (%)	2.90 ± 0.78
- เส้นใยหยาบ (%)	2.23 ± 0.91
- คาร์โบไฮเดรต (%)	71.18 ± 1.21
ปริมาณใยอาหารทั้งหมด (g/100 g sample)	11.08 ± 0.91
ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/100 g sample)	81.74 ± 0.21
สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (% Inhibition)	83.43 ± 0.29

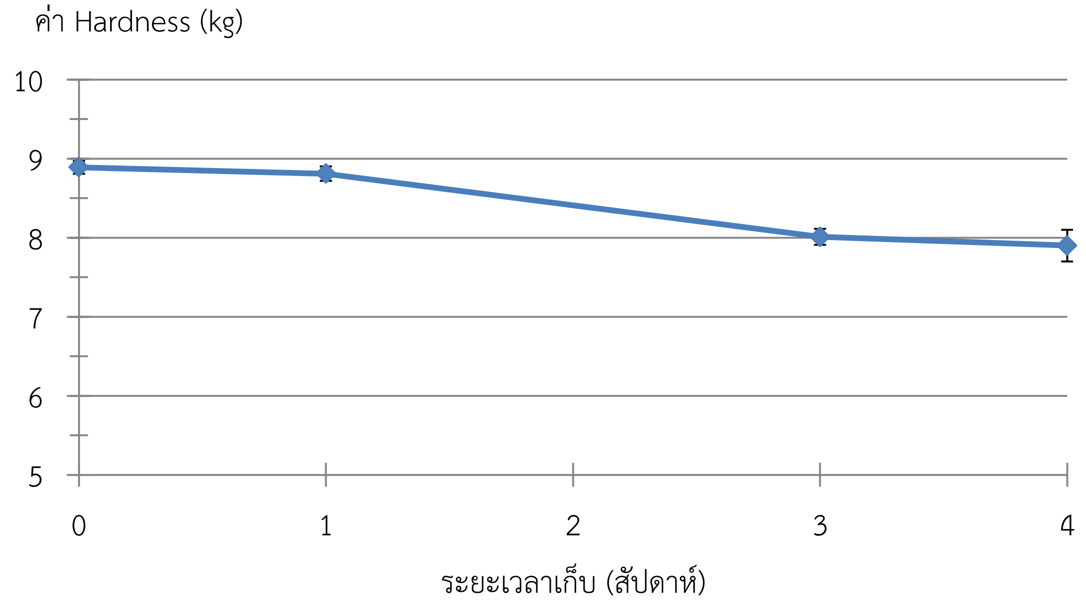
ตอนที่ 5 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคจากหอยแมลงภู่และข้าวหอมกระดังงาระหว่างการเก็บรักษา

จากการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคที่พัฒนาได้ ซึ่งบรรจุในถุง Nylon-LDPE เคลือบอะลูมิเนียมฟอยด์ ที่อุณหภูมิห้อง แล้วสุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์คุณภาพระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 1 เดือน ผลการวิเคราะห์คุณภาพด้านค่าสี ค่า Hardness ค่า a_wและปริมาณความชื้น แสดงดังภาพที่ 4-8 4-9 และ 4-10 ตามลำดับ

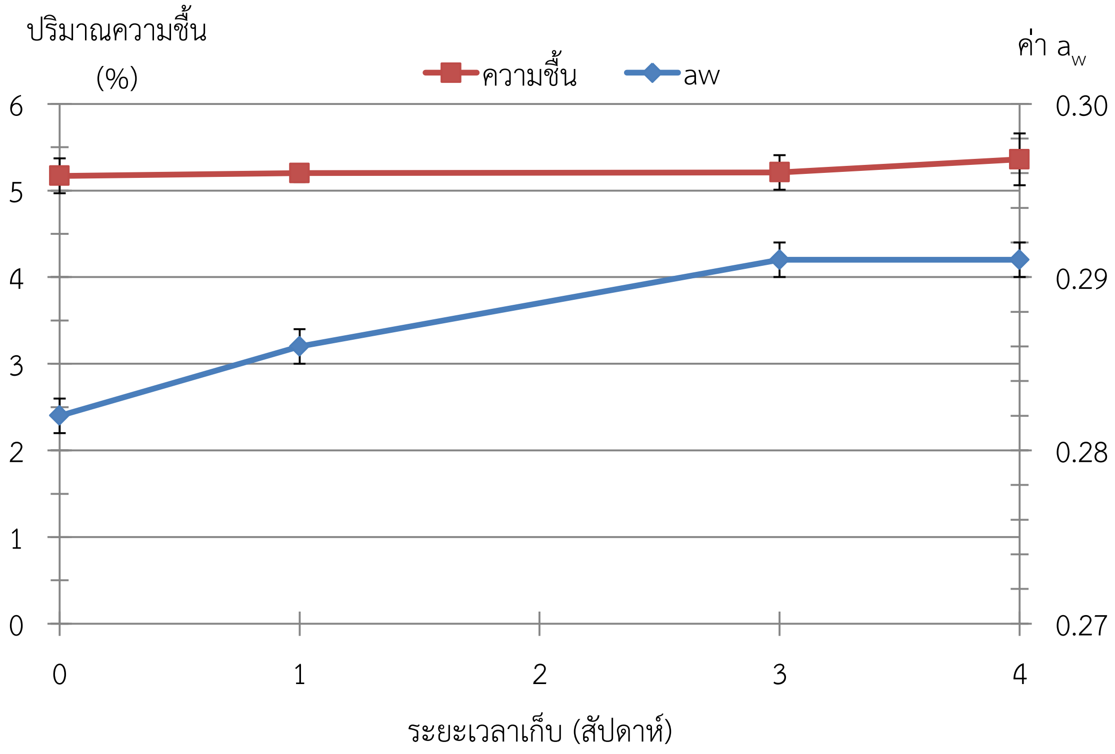


ภาพที่ 4-8 ค่าสี L* a* และ b* ของผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคจากหอยแมลงภู่และข้าวหอมกระดังงาระหว่างการเก็บรักษา

จากผลการทดลอง พบว่า ค่าสี L* และ a* มีแนวโน้มลดลง ในขณะที่ค่า b* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนค่า Hardness มีแนวโน้มลดลงเช่นกัน อาจเนื่องมาจากระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ยังมีโอกาสดูดซับความชื้นในช่องว่างภาชนะบรรจุและทำให้ผลิตภัณฑ์นุ่มลงเล็กน้อย สำหรับค่า a_w พบว่า ตลอดเวลาการเก็บค่า a_w (อยู่ในช่วงประมาณ 0.28-0.29) ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของผลิตภัณฑ์เทียบเคียง คือ ขนมปังกรอบจากข้าว (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, 2559, มผช. 1140/2559) และขนมข้าวกรอบ (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, 2549, มผช.1239/2549) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำข้าวมาทำให้สุก ผสมกับเกลือ พริกไทย และส่วนประกอบอื่น เช่น ปลาป่น อัดให้เป็นชิ้น ทำให้แห้งโดยใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์หรือแหล่งพลังงานอื่น ทอดในน้ำมันจนสุกกรอบ ที่กำหนดไว้ว่าค่า a_w ต้องไม่เกิน 0.6 ส่วนปริมาณความชื้น พบว่า มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเท่านั้น



ภาพที่ 4-9 ค่า Hardness ของผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคจากหอยแมลงภู่และข้าวหอมกระดังงาระหว่างการเก็บรักษา



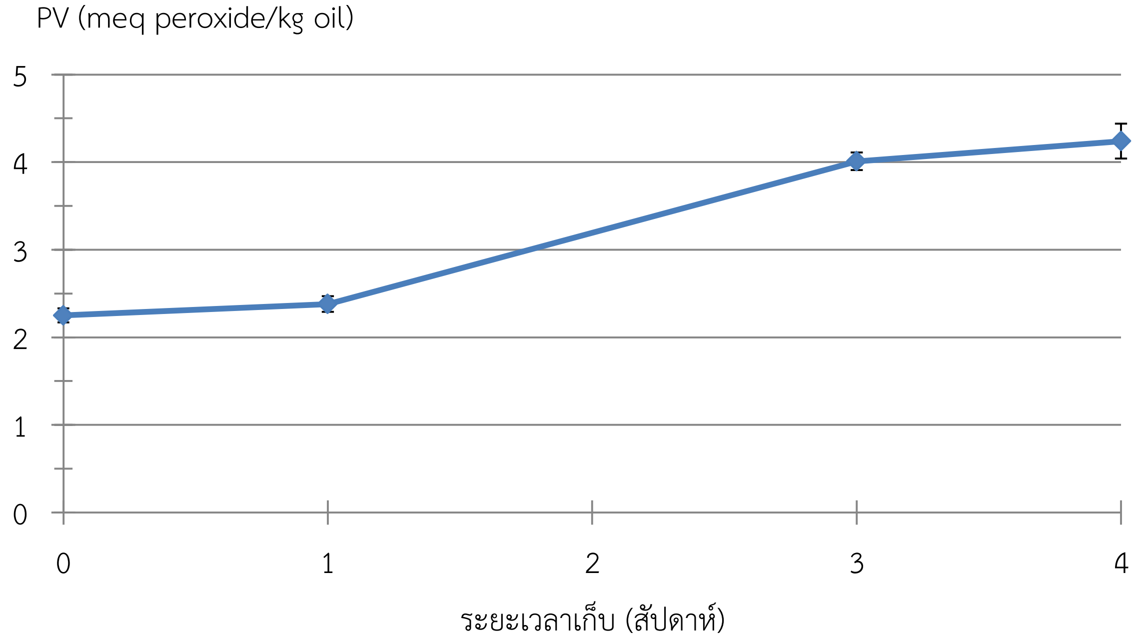
ภาพที่ 4-10 ค่า a_w และปริมาณความชื้น ของผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคจากหอยแมลงภู่และข้าวหอมกระดังงาระหว่างการเก็บรักษา

จากตารางที่ 4-17 แสดงผลด้านปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์และรา พบว่า ผลิตภัณฑ์ยังมีความปลอดภัยในการบริโภค เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนเทียบเคียงคือ ขนมข้าวกรอบ (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, 2549, มผช.1239/2549) พบว่ามีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ไม่เกิน $1x10^{6}$ cfu/g ปริมาณยีสต์และรา ไม่เกิน 100 cfu/g

การเปลี่ยนแปลงที่สำคัญระหว่างการเก็บประการหนึ่งของอาหารที่มีไขมันหรือน้ำมันเป็นองค์ประกอบคือการเกิดกลิ่นหืนจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน ซึ่งสามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงจากปฏิกิริยาดังกล่าว ได้โดยการวัดปริมาณเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value: PV) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ตัวแรกของการเกิดปฏิกิริยาออโต้ออกซิเดชัน (Auto-oxidation) โดยทั่วไปสารพวกเปอร์ออกไซดจะไมมีกลิ่นรสใด แตมักจะไมคงตัว จึงสลายตัวไปเปนสารที่ระเหยงาย เชน สารประกอบแอลดีไฮดและคีโตน ซึ่งจะมีกลิ่นเหม็นหืน จึงกล่าวได้ว่าถ้าค่า PV สูง แสดงว่าอาหารนั้นเกิดปฏิกิริยา oxidation มาก จึงมีโอกาสกลิ่นหืนมาก (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2553) Jonnalagadda et al. (2001) กล่าววา ขนมขบเคี้ยวแตละชนิดจะมีคา PV ที่บ่งชี้การไม่ยอมรับผลิตภัณฑแตกตางกัน เชน ขนมขบเคี้ยวทอดที่เตรียมจากแปง Cicer arietinum จะไมยอมรับเมื่อมีคา PV มากกวา 12.9 meq peroxide/kg fat ขนมขบเคี้ยวทอดที่เตรียมจากมันฝรั่งไมถูกยอมรับเมื่อมีคา PV ตั้งแต่ 28.6 meq peroxide/kg fat รองรัตน์ รัตนาธรรมวัฒน์ (2546) รายงานว่า ขนมขบเคี้ยวจากแป้งเผือกจะมีกลิ่นหืนจนไม่เป็นที่ยอมรับหากมีค่า PV ตั้งแต่ 20 meq peroxide/kg oil จากภาพที่ 4-11 พบว่า ตลอดการเก็บ ค่า PV อยู่ในช่วง 2.25-4.24 meq peroxide/kg oil แสดงแนวโน้มให้เห็นว่าค่า PV ยังไม่สูงมากนัก

ตารางที่ 4-17 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และราของผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคจากหอยแมลงภู่และข้าวหอมกระดังงาระหว่างการเก็บรักษา

เวลาเก็บรักษา (สัปดาห์)	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (cfu/g)	ปริมาณยีสต์และรา (cfu/g)
0	$<1x10^{1}$	$<1x10^{1}$
1	$<1x10^{1}$	$<1x10^{1}$
2	$<1x10^{1}$	$<1x10^{1}$
3	$<1x10^{1}$	$<1x10^{1}$
4	$1x10^{2}$	$<1x10^{1}$



ภาพที่ 4-11 ปริมาณเปอร์ออกไซด์ (PV) ของผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคจากหอยแมลงภู่และข้าวหอมกระดังงาระหว่างการเก็บรักษา

สำหรับตารางที่ 4-18 แสดงผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่า คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตามระยะเวลาการเก็บ ($p<0.05$) ในขณะที่คะแนนความชอบด้านกลิ่นรส และรสชาติ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตามระยะเวลาการเก็บ ($p\geq0.05$) โดยพบว่าคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมมีแนวโน้มคล้ายกันคือ ที่ระยะเวลาการเก็บ 0 1 และ 2 สัปดาห์ ได้รับคะแนนความชอบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) แต่เมื่อระยะเวลาการเก็บถึง 3 และ 4 สัปดาห์ คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมลดลง ($p\geq0.05$) แต่อย่างไรก็ตามคะแนนความชอบยังอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย แสดงถึงผลิตภัณฑ์ยังคงเป็นที่ยอมรับ สำหรับคะแนนความชอบด้านสี พบว่า ที่ระยะเวลาการเก็บ 0 1 2 และ 3 สัปดาห์ ได้รับคะแนนความชอบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) โดยเมื่อระยะเวลาการเก็บถึง 4 สัปดาห์ ได้รับคะแนนความชอบด้านสีลดลง ($p\geq0.05$)

ตารางที่ 4-17 คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคจากหอยแมลงภู่และข้าวหอมกระดังงาระหว่างการเก็บรักษา

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

[a, b,...] หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

[ns] หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

ตอนที่ 6 ผลการศึกษา Moisture sorption isotherm ของผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคจากหอยแมลงภู่และข้าวหอมกระดังงา

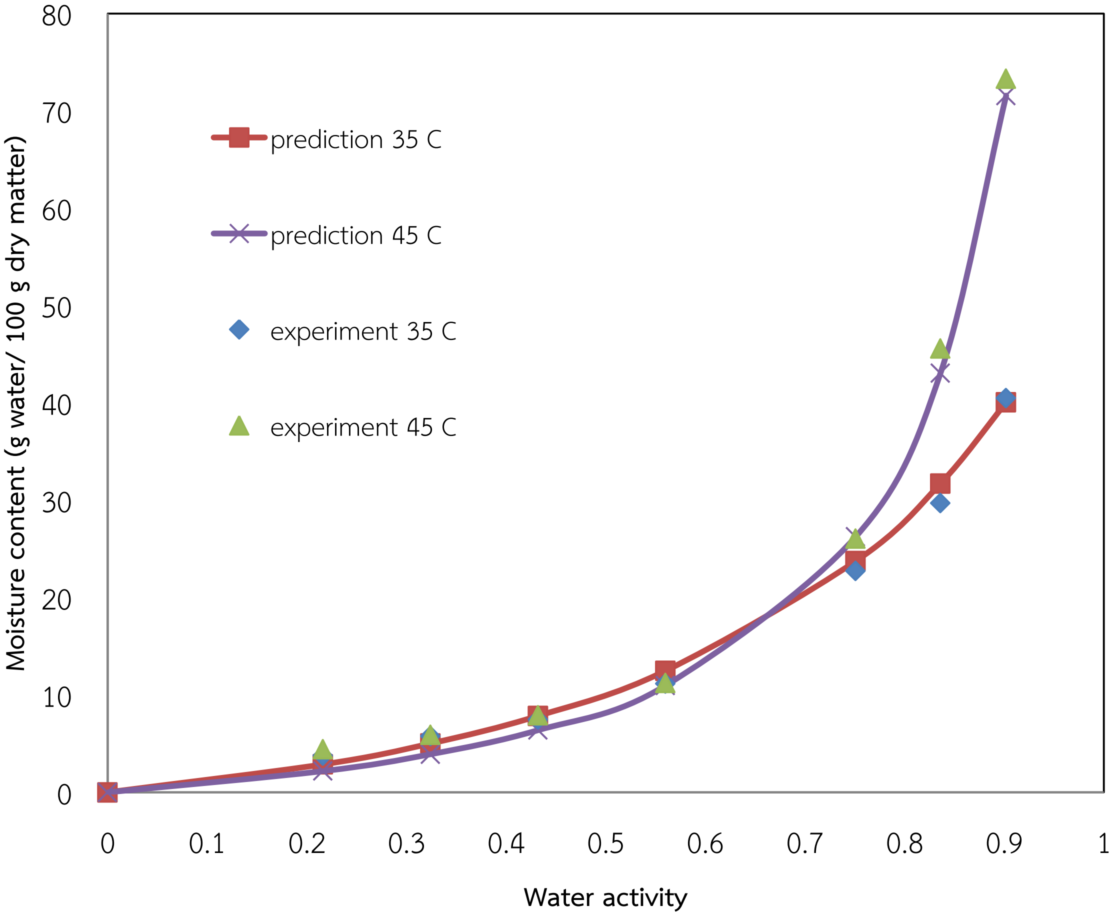
จากการหาปริมาณความชื้นสมดุลของผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคจากหอยแมลงภู่และข้าวหอมกระดังงา ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 35 ^{o}C และ 45 ^{o}C และค่า a_w 0.2-0.9 สามารถสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นสมดุลของผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีกับค่า a_w ดังแสดงในภาพที่ 4-12

จากภาพที่ 4-12 พบว่าความสัมพันธ์มีลักษณะเป็นรูป Sigmoid shape หรือกราฟรูปตัวเอส ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ที่พบในอาหารโดยทั่วไปที่มีทั้งสารโพลิเมอร์ชีวภาพที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน รวมอยู่กับตัวถูกละลาย เช่น เกลือ น้ำตาล (สิทธิโชค เถลิงนวชาติ และเกียรติศักดิ์ ดวงมาลย์, 2557; รัตนันท์ พรรณนารุโณทัย, 2543) ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ สิริมา ชินสาร วิชมณี ยืนยงพุทธกาล และกฤษณะ ชินสาร (2555) ที่ได้ศึกษา Moisture sorption isotherm ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากซูริมิและแป้งลูกเดือย ซึ่งมีองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กี โดยในสูตรของผลิตภัณฑ์มีองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรต และโปรตีนรวมอยู่กับเกลือซึ่งเป็นตัวถูกละลาย จากผลการทดลอง พบว่า ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวดังกล่าวมีความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นสมดุลของผลิตภัณฑ์กับค่า a_w เป็นรูป Sigmoid shape เช่นเดียวกัน และจากงานวิจัยของ Farahnaky, Ansari and Majzoobi (2009) ที่ศึกษาผลของการเติมกลีเซอรอลต่อ Moisture sorption isotherm ของมะเดื่อผงอบแห้ง พบว่า การเติมกลีเซอรอลลงในมะเดื่อผงจะทำให้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นสมดุลของผลิตภัณฑ์กับค่า a_w เปลี่ยนจากรูป J shape เป็นรูป Sigmoid shape ซึ่งผลสอดคล้องกับผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีที่มีการเติมกลีเซอรอลในสูตรที่พบว่าได้ความสัมพันธ์เป็นรูป Sigmoid shape เช่นเดียวกัน

เมื่อทดลองแทนค่าปริมาณความชื้นสมดุล (M_e) และค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (a_w) ลงในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ GAB สามารถหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้แก่ ค่าความชื้นสมดุลใน 1 ชั้นโมเลกุลของ GAB (M_{gm}) ค่าคงที่ K และ C ได้ดังตารางที่ 4-18

จากภาพที่ 4-12 พบว่า ที่อุณหภูมิเดียวกัน ค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อค่า a_w สูงขึ้น เมื่อพิจารณาค่าความชื้นสมดุลใน 1 ชั้นโมเลกุลของ GAB หรือค่า M_{gm} (ตารางที่ 4-18) พบว่า อุณหภูมิ 45°C ผลิตภัณฑ์มีค่า M_{gm} สูงกว่าที่ 35°C เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจะส่งผลทำให้การระเหยของน้ำที่อาจถูกยึดเหนี่ยวกับโครงสร้างของคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เส้นใย รวมไปถึงน้ำที่เกาะกับแร่ธาตุในผลิตภัณฑ์ออกมามากขึ้น ทำให้มีปริมาณความชื้นสมดุลสูง (Mohamed, Kouhila, Jamali, Lahsasni, Mahrouz, 2004) โดยความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นสมดุลของผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีกับค่า a_w มีลักษณะเป็นรูป Sigmid shape ซึ่งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ GAB สามารถทำนายปริมาณความชื้นสมดุลในช่วงค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ 0.2 – 0.9 ได้ดี โดยที่อุณหภูมิ 35 และ 45°C มี ค่า SEE เท่ากับ 1.10 และ 1.13 ตามลำดับ และค่า R^2 เท่ากับ 0.99 และ >0.99 ตามลำดับ โดยค่ากำลังสองของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient of Square, R^2) เป็นพารามิเตอร์ทางสถิติที่บ่งชี้ให้ทราบถึงความสอดคล้องระหว่างสมการและข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ซึ่งค่า R^2 มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 โดยหากค่า R^2 เข้าใกล้ 1 แสดงว่าแบบจำลองทาง

คณิตศาสตร์ที่ใช้มีความสอดคล้องกับข้อมูลผลการทดลองมาก ซึ่งเกณฑ์ในการยอมรับได้คือค่า R^2 มากกว่าหรือเท่ากับ 0.95 นอกจากนี้ยังใช้พารามิเตอร์ทางสถิติในการเปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูลจากการทดลองกับข้อมูลที่ได้จากการคำนวณในรูปของค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการทำนาย (SEE) ซึ่งหากสมการได้ค่า SEE ต่ำ แสดงว่าสมการนั้นสามารถนำมาอธิบายผลการทดลองได้ดี



ภาพที่ 4-12 ซอร์พชั่นไอโซเทอร์มของผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคจากหอยแมลงภู่และข้าวหอมกระดังงาระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากการทำนาย ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ GAB ที่อุณหภูมิ 35 °C และ 45°C

ตารางที่ 4-19 ค่าคงที่ ค่า SEE และค่า R^2 ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ GAB ของผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคจากหอยแมลงภู่และข้าวหอมกระดังงาที่อุณหภูมิ 35 ^{o}C และ 45^{o}C

อุณหภูมิ (^{o}C)	ค่าคงที่				
	M_{gm} (% dry basis)	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

ตอนที่ 7 ผลการถ่ายทอดเทคโนโลยีและความรู้ที่ได้จากการวิจัยสู่ชุมชน

ดำเนินการจัดทำแผ่นพับที่มีเนื้อหาถ่ายทอดเทคโนโลยีและความรู้ที่ได้จากการวิจัยและจัดส่งให้ชุมชนจำนวน 2 ชุมชน รวมทั้งส่งผลงานจากงานวิจัยตีพิมพ์ในวารสารทางวิชาการ

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

1) สูตรผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคจากหอยแมลงภู่และข้าวหอมกระดังงาที่เหมาะสม ประกอบด้วยหอยแมลงภู่ผง 31.75% แป้งข้าวหอมกระดังงาสุก 5.29% แป้งข้าวหอมกระดังงาดิบ 15.87% น้ำ 42.33% และกลีเซอรอล 4.76%

2) ผลของการใช้สารดูดความชื้น ได้แก่ กลีเซอรอล ในปริมาณ 0% 5% 10% และ 15% ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด พบว่า ผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคจากหอยแมลงภู่และข้าวหอมกระดังงาที่เติมกลีเซอรอล 5% มีความเหมาะสมที่สุด ที่สามารถปรับปรุงคุณภาพด้านความเรียบของผิวและลดความแข็งกระด้างลงได้

3) ผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคจากหอยแมลงภู่และข้าวหอมกระดังงาที่พัฒนาได้เป็นแหล่งที่ดีของคาร์โบไฮเดรทโดยมีปริมาณ 71.18% รวมทั้งมีโปรตีนสูงปริมาณ 15.90% มีไขมัน 2.62% รวมทั้งมีปริมาณใยอาหารทั้งหมด 11.08 g/100g ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 81.74 mg GAE/100 g sample และมีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งรายงานเป็น % Inhibition เท่ากับ 83.43

4) คุณภาพของผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคจากหอยแมลงภู่และข้าวหอมกระดังงาด้านค่าสี ค่า Hardness ค่า a_w ปริมาณความชื้น และปริมาณเปอร์ออกไซด์ มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยระหว่างการเก็บรักษา แต่ยังมีความปลอดภัยในการบริโภค ตลอดการเก็บ 1 เดือน มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน $1x10^6$ cfu/g ปริมาณยีสต์และรา ไม่เกิน 100 cfu/g รวมทั้งยังเป็นที่ยอมรับทางประสาทสัมผัสตลอดการเก็บรักษา

5) ผลการศึกษา Moisture sorption isotherm ของผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กีพร้อมบริโภคจากหอยแมลงภู่และข้าวหอมกระดังงา พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นสมดุลของผลิตภัณฑ์กับค่า a_w เป็นรูป Sigmoid shape สามารถหาปริมาณความชื้นสมดุล (Me) และค่า a_w ตามแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ GAB โดยพบว่า ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส หาค่า Mgm ค่าคงที่ K และ ค่าคงที่ C ได้เท่ากับ 8.18 (% dry basis) 1.70 และ 0.73 ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส หาค่า Mgm ค่าคงที่ K และ ค่าคงที่ C ได้เท่ากับ 8.67 (% dry basis) 1.07 และ 0.97 ตามลำดับ

ข้อเสนอแนะ

สามารถนำสูตรที่เหมาะสมที่พัฒนาได้นี้ไปพัฒนาต่อโดยอาจเปลี่ยนเป็นเนื้อสัตว์ชนิดอื่น เช่น เนื้อปลาหมึก รวมทั้งอาจพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่โดยใช้ข้าวไทยและธัญพืชชนิดอื่น

บรรณานุกรม

กชกร หล่อโลหะการ. (2550). การดัดแปรแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1 เพื่อปรับปรุงคุณภาพก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กพร้อมบริโภคในบรรจุภัณฑ์ปิดสนิทชนิดอ่อนตัวพาสเจอร์ไรซ์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร, คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กล้าณรงค์ ศรีรอต. (2545). พจนานุกรม Food Additive สำหรับนักอุตสาหกรรมอาหารและเกษตร. วารสารจาร์พา, 4(39), 44-55.

คมแข พิลาสมบัติ, ศุภลักษณ์ สรภักดี และรุจริน ลิ้มศุภวานิช. (2558). การพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อกึ่งแห้งพร้อมรับประทานจากเนื้อที่มีลักษณะเหนียวเพื่อเพิ่มมูลค่าและการนำไปใช้ประโยชน์. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.).

ธัญวรัตม์ พิมุขมนัสกิจ, บุศรินทร์ แพทย์วิบูลย์ และประไพพรรณ พูลสมบัติ. (2546). ผลของสารดูดความชื้นและกระบวนการผลิตที่มีต่อลักษณะของกล้วยตาก. ปัญหาพิเศษ, สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหารคณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นิราศ กิ่งวาที. (2546). การใช้สารดูดความชื้นในการปรับปรุงคุณภาพสับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.

นิธิยา รัตนาปนนท์. (2545). เคมีอาหาร. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.

ปัทมกร พรหมจรรย์. (2545). การลดค่าวอเตอร์แอกติวิตีและคุณภาพการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ปลาข้างเหลืองกึ่งแห้ง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, เทคโนโลยีอาหาร, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

พิมพ์สิริ จันทองโชติ, กุลพัฒน์พัฒนกิจ และสุนิสา ศิริพงศ์วุฒิกร. (2549). การยืดอายุการเก็บรักษาเนื้อย่อยปลาแซลมอนโดยการใช้พืชสมุนไพรเครื่องเทศ. ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร, คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ไพโรจน์ วิริยจารี. (2539). การศึกษาผลของเพคตินและน้ำตาลซูโครสที่เหมาะสมต่อการผลิตผลิตภัณฑ์ท้อแผ่นกึ่งแห้ง. ภาควิชาเทคโนโลยีการพัฒนาผลิตภัณฑ์, คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

รองรัตน์ รัตนาธรรมวัฒน์. (2546). การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งเผือก. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.

รัตนันท์ พรรณนารุโณทัย. (2543). บทบาทของ Water activity ในอุตสาหกรรมอาหาร. วารสารจาร์พา, 56(7), 57-61.

วราวุฒิ วันริโก. (2555). ความพึงพอใจของเกษตรกรผู้เลี้ยงหอยแมลงภู่ต่อการปฏิบัติทางการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่ดีสาหรับฟาร์มเลี้ยงหอยแมลงภู่ในจังหวัดชลบุรี. ปริญญาเกษตรศาสตรมหาบัณฑิต, แขนงวิชาส่งเสริมการเกษตร, สาขาวิชาเกษตรศาสตร์และสหกรณ์, มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

วิไล รังสาดทอง. (2543). เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ศิวาพร ศิวเวชช. (2529). วัตถุเจือปนอาหาร (พิมพ์ครั้งที่ 4). กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศิวาพร ศิวเวชช. (2535). วัตถุเจือปนอาหารในผลิตภัณฑ์อาหาร. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหารคณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศูนย์ศึกษาการพัฒนาพิกุลทองอันเนื่องมาจากพระราชดำริ. (2557). การปรับปรุงดินเปรี้ยวจัดเพื่อปลูกข้าวหอมกระดังงา. กรุงเทพฯ: สำนักงานคณะกรรมการพิเศษเพื่อประสานงาน โครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ. เอกสารเผยแพร่ความรู้ ชุด อาชีพที่โดดเด่นจากองค์ความรู้ ศูนย์ศึกษาการพัฒนาอันเนื่องมาจากพระราชดำริ.

ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี. (2553). รายงานผลการวิเคราะห์คุณภาพเมล็ดและการหุงต้มรับประทานข้าวพันธุ์พื้นเมืองของศูนย์วิจัยข้าวปัตตานี.

สมทรง โชติชื่น, อัจฉราพร ณ ลำปาง เนินพลับ, สกุล มูลคำ, จรัญจิต เพ็งรัตน์, นิธิศ แสงอรุณ, และสำเริง แซ่ตัน. (2555). คุณค่าทางโภชนาการของข้าวพื้นเมืองไทยบางพันธุ์. กองวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว.

สิทธิโชค เถลิงนวชาติ และเกียรติศักดิ์ ดวงมาลย์. (2557). ไอโซเทิร์มการดูด-คายซับความชื้นของผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง. วารสารวิทยาศาสต์ มข., 42(1), 25-37.

สิริมา ชินสาร, กฤษณะ ชินสาร และวิชมณี ยืนยงพุทธกาล. (2554). การพัฒนาขนมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพจากซูริมิและแป้งลูกเดือย. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ มหาวิทยาลัยบูรพา.

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ [มกอช.] (2550). 7018-2550. ราชกิจานุเบกษา. หน้า 1-10.

สำนักเลขาธิการนายกรัฐมนตรี. (2559). พาณิชย์หนุนชุมชนขึ้นทะเบียน GI ในโครงการหนึ่งจังหวัดหนึ่งสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ นำสินค้า GI เด่นขยายตลาดในงานแสดงสินค้าอาหาร THAIFEX-World of Food Asia 2016. เข้าถึงได้จาก http://www.thaigov.go.th/index.php/th/news-ministry/2012-08-15-09-42-10/item/103327

เอกราช แก้วนางโอ นิธิศ แสงอรุณ สมบูรณ์ สุวรรณโณ อัมพร ทองไชย สำเริง แซ่ตัน รชนิศ พานิชกิจ วัฒนา โพธิ์ศิริ วรัญญา ด่านทวีศิลป์ สมทรง โชติชื่น กัญญา เชื้อพันธุ์ สุนันทา วงศ์ปิยชน ภคินี อัครเวสสะพงศ์ เกรียงไกร พันธุ์วรรณ์ บุญนะ หนูคง จรูญ ศรีสุวรรณ กัณธิกานต์ ปลอดปล้อง และมาเรียม มูนะ. (2557). PTNC09002-59 : หอมกระดังงา ข้าวพื้นเมืองสายพันธุ์ดีจังหวัดนราธิวาส. ใน การประชุมวิชาการข้าวและธัญพืชเมืองหนาว ครั้งที่ 31 พ.ศ. 2557.

Albright, S. N., Kendall, P. A., Avens, J. S., & Sofos, J. N. (2002). Effect of marinade and drying temperature on inactivation of Escherichia Coli O157:H7 on inculated home dried beef jerky. Journal of Food Safety, 22(3), 155-167.

AOAC. (1995). Official methods of analysis of AOAC International. 2 vols. 16th edition. Arlington, VA, USA, Association of Analytical Communities.

AOAC. (1999). Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemistry, AOAC: Washington DC.

Bacteriological Analytical Manual (BAM). (2003). Food Sampling/Preparation of sample Homogenate Chapter 1. Retrieved from http//: www.fda.moph.go.th

Bianco, A., Pollio, M., Resnik, S., Boente, G., & Larumbe, A. (1997). Comparison of water sorption behaviour of three rice varieties under different temperatures. Journal Food Engineering, 33(3–4), 395–403.

C.Carretero, “Use of Porcine Blood Plasma in Phosphate Free Frankfurters.” *Procedia – Food Science*, vol.1, pp.477-482, 2012.

Chen, W. S., Liu, D. C., Chen, M. T., & Ockerman, H. W. (2000). Improving texture and storage stability of Chinese-sytle pork jerky by the addition of humectants. Journal Animal Science, 13, 1455-1460.

Euromonitor International. (2015). Sweet and savoury snacks in Thailand. เข้าถึงได้จาก http://www.euromonitor.com/

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.

Jonnalagadda, P.R., R.V. Bhat, R.V. Sudershan and A.N. Naidu. 2001. Suitability of chemical parameters in setting quality standards for deep - fried snacks. Food Ouality and Preference 12: 223 – 228.

Kong, J., Perkins, L. B., Dougherty, M. P., & Camire, M. E. (2011). Control of Lipid Oxidation in Extruded Salmon Jerky Snacks. Journal of Food Science, 76(1), C8 – C13.

Konieczny, P., Stangierski, J., & Kijowski, J. (2007). Physical and chemical characteristics and acceptability of home style beef jerky. Meat Science, 76, 253–257.

Kim, G. D., jung, E. Y., Seo, H. W., Joo, S. T., & Yang, H. S. (2010). Textural and sensory properties of pork jerky adjusted with tenderizers or humectant. Korean Journal for Food Science of Animal Resources, 30, 930-937.

Lateef O. S., Charles, A., & Ayoade, K. (1997) .Moisture sorption isotherms of fufu and tapioca at different temperatures. Journal of Food Engineering, 34, 203-212.

Lopez-Duarte, A. L., & Vidal-Quintanar, R. L. (2009). Oxidation of linoleic acid as a marker for shelf life of corn flour. Food Chemistry, 114, 478–483.

Mohamed, L. A., Kouhila, M., Jamali, A., Lahsasni, S., Mahrouz, M. (2004). Moisture sorption isotherms and heat of sorption of bitter orange leaves (Citrus aurantium). Journal of Food Engineering, 67(4), 491-498.

Paakkonen, K., & Roos, Y. (1990). Effects of drying conditions on water sorption and phase transitions of freeze-dried horseradish roots. Journal of Food Science, 55, 206-209.

Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventos, R. M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteau reagent. Methods in Enzymology, 299, 152–178.

Turkmen, N., Sari, F., & Velioglu, S. (2005). The effect of cooking methods on total phenolics and antioxidant activity of selected green vegetables. Food Chemistry, 93, 713-718.

USDA-FSIS. (2014). FSIS Compliance Guideline for Meat and Poultry Jerky Produced by Small and Very Small Establishments. 2014 Compliance Guideline.

Yang, H. S., Hwang, Y. H., Joo, S. T., & Park, G. B. (2009). The physicochemical and microbiological characteristics of pork jerky in comparison to beef jerky. Meat Science, 82(3), 289-294.