รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาพุดดิ้งเป็นอาหารโปรตีนเพื่อสุขภาพจากเนื้อปลาทะเลและถั่วพัลส์

Development of Pudding as Protein Functional Food from Marine Fish Meat and Pulses

ผศ.ดร.วิชมณี ยืนยงพุทธกาล	หัวหน้าโครงการวิจัย
ผศ.ดร.กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์	ผู้ร่วมวิจัย
ผศ.ดร.อาภัสรา แสงนาค	ผู้ร่วมวิจัย
ดร.นิสานารถ กระแสร์ชล	ผู้ร่วมวิจัย

โครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้
จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน)
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561
มหาวิทยาลัยบูรพา

รหัสโครงการ 256107A1080051
สัญญาเลขที่ 145/2561

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาพุดดิ้งเป็นอาหารโปรตีนเพื่อสุขภาพจากเนื้อปลาทะเลและถั่วพัลส์

Development of Pudding as Protein Functional Food from Marine Fish Meat and Pulses

ผศ.ดร.วิชมณี ยืนยงพุทธกาล[1] หัวหน้าโครงการวิจัย
ผศ.ดร.กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์[1] ผู้ร่วมวิจัย
ผศ.ดร.อาภัสรา แสงนาค[2] ผู้ร่วมวิจัย
ดร.นิสานารถ กระแสร์ชล[1] ผู้ร่วมวิจัย

[1]ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

[2]สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

พฤศจิกายน 2561

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561 มหาวิทยาลัยบูรพา ผ่านสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ เลขที่สัญญา 145/2561 คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณผู้ช่วยวิจัย ได้แก่ นางสาวณัฐชยา บุตรรอด และ นางสาวพิชชานันท์ วิจิตรประไพ ขอขอบคุณภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการทำงานวิจัย รวมถึงขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ และนิสิตภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร รวมถึงผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่มีส่วนให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัยครั้งนี้

คณะผู้วิจัย
พฤศจิกายน 2561

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาสูตรพุดดิ้งจากเนื้อปลาทะเลและถั่วพัลส์บด จากการศึกษารูปแบบการใช้ถั่วพัลส์บด พบว่า การใช้ถั่วเขียวบดเพียงอย่างเดียวมีความเหมาะสมมากกว่าการใช้รูปแบบถั่วพัลส์ผสม จากการแปรปริมาณเนื้อปลากะพงขาวบด 2.0%-10.0% และแคปปา-คาราจีแนน 0.5%-1.5% ในการผลิตพุดดิ้ง โดยจัดสิ่งทดลองแบบ Central Composite Design ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบพหุ พบว่า สมการของค่า L* a* b* Hardness และ Adhesiveness มีความน่าเชื่อถือ (R^2= 0.999, 0.995, 0.976, 0.973 และ 0.977 ตามลำดับ) ผลการทดลอง พบว่า ปริมาณเนื้อปลากะพงขาวบดและแคปปา-คาราจีแนนมีผลต่อค่าสี (L* a* และ b*) เนื้อสัมผัส (Hardness Adhesiveness และ Cohesiveness) รวมทั้งคุณภาพทางประสาทสัมผัส (ความชอบรสชาติ ความชอบเนื้อสัมผัสขณะตัก ความชอบเนื้อสัมผัสภายในปาก และความชอบโดยรวม) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) สูตรพุดดิ้งต้นแบบที่เหมาะสมมีส่วนผสมดังนี้ ถั่วเขียวบด 50.0% เนื้อปลากะพงขาวบด 10.0% แคปปา-คาราจีแนน 1.0% น้ำตาลทราย 2.0% เกลือ 0.2% และ น้ำ 36.8% ได้รับคะแนนความชอบด้านรสชาติ เนื้อสัมผัสขณะตัก เนื้อสัมผัสภายในปากและความชอบโดยรวมสูงที่สุด (P<0.05) จากการนำพุดดิ้งที่พัฒนาได้มาเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น (4±2 องศาเซลเซียส) และติดตามคุณภาพระหว่างการเก็บ พบว่า ระยะเวลาการเก็บมีผลต่อค่าสี L* a* b* Hardness Adhesiveness Cohesiveness การแยกตัวของของเหลว รวมทั้งคุณภาพทางประสาทสัมผัส (ด้านความชอบเนื้อสัมผัสขณะตัก ความชอบเนื้อสัมผัสภายในปาก และ ความชอบโดยรวม) (P<0.05) แต่ไม่มีผลต่อปริมาณโปรตีน (P≥0.05) โดยผลิตภัณฑ์มีความปลอดภัยสำหรับการบริโภคเมื่อเก็บรักษาไม่เกิน 7 วัน และผลการทดสอบการยอมรับของพุดดิ้งจากเนื้อปลาทะเลและถั่วพัลส์ที่พัฒนาได้ พบว่าคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ รสชาติ เนื้อสัมผัสขณะตัก เนื้อสัมผัสภายในปาก และความชอบโดยรวมมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P≥0.05) โดยคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบปานกลาง

Abstract

The objective of this research was to developed puddings which formulate from marine fish meat and mashed pulses. Mashed pulses in different portion were carried out. The results showed that using mashed mung bean alone was more appropriate than mixed bean. The amount of White Sea Bass mince 2.0%-10.0% and kappa-carrageenan 0.5%-1.5% for pudding production were varied using Central Composite Design. The result of multiple regression analysis found that the equation of L* a* b* Hardness and Adhesiveness were satisfied (R^2= 0.999, 0.995, 0.976, 0.973 and 0.977 respectively). The result showed that the White Sea Bass and kappa-carrageenan content effected on color (L* a* and b*) texture (hardness, adhesiveness and cohesiveness) as well as sensory qualities (liking in terms of taste, spoon texture, mouth feel texture and overall liking) ($P<0.05$). The optimum formula composed with 50.0% mashed mung bean, 10.0% minced White Sea Bass, 1.0% kappa-carrageenan, 2.0% sugar, 0.2% salt and 36.8% water which received the highest score in terms of taste, spoon texture, mouth feel texture and overall liking ($P<0.05$). The developed pudding was stored at chilled temperature (4±2°C) and pudding qualities were monitored. It was found that storage time effected on L*, a*, b*, hardness, adhesiveness, cohesiveness, syneresis as well as sensory qualities (liking in terms of spoon texture, mouth feel texture and overall liking) ($P<0.05$). Include quality sensory attributes of texture while ladling, texture in mouth and overall liking ($P<0.05$) but did not effected on protein content ($P\geq0.05$). The developed product was safe for consume during storage for 7 days. The results from sensory evaluation of developed pudding product showed overall liking score were in moderately like level.

สารบัญ

		หน้า
	กิตติกรรมประกาศ	ก
	บทคัดย่อ	ข
	Abstract	ค
	สารบัญ	ง
	สารบัญตาราง	จ
	สารบัญภาพ	ซ
บทที่		
1	บทนำ	1
2	การตรวจเอกสาร	3
3	วิธีดำเนินการทดลอง	12
4	ผลการทดลองและวิจารณ์	20
5	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	58
	บรรณานุกรม	60
	ประวัตินักวิจัย	63

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	ประเภทของผลิตภัณฑ์พุดดิ้งและลักษณะเนื้อสัมผัส.....	4
2-2	คุณค่าทางโภชนาการของถั่วอะซูกิต่อ 100 กรัม.....	6
2-3	คุณค่าทางโภชนาการของถั่วเขียวต่อ 100 กรัม.....	6
3-1	ส่วนผสมของพุดดิ้งสูตรพื้นฐาน.....	13
3-2	ส่วนผสมของพุดดิ้งที่แปรการใช้ถั่วอะซูกิบดและถั่วเขียวบด.....	15
3-3	ส่วนผสมของพุดดิ้งจากเนื้อปลากะพงขาวและถั่วพัลส์บด.....	16
3-4	สิ่งทดลองที่ได้จากการจัดแบบ CCD แบบหุ่นกำลังสองมาตรฐาน เมื่อแปรปริมาณเนื้อปลากะพงขาว (X_1) และแคปปา-คาราจีแนน (X_2).....	16
4-1	ค่าสี L* a* และ b* ของพุดดิ้งที่แปรปริมาณการใช้ถั่วอะซูกิบดและถั่วเขียวบด.....	21
4-2	ปริมาณโปรตีนของพุดดิ้งที่แปรปริมาณการใช้ถั่วอะซูกิบดและถั่วเขียวบด.....	22
4-3	คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของพุดดิ้งที่แปรปริมาณการใช้ถั่วอะซูกิบดและถั่วเขียวบด.....	24
4-4	สมการถดถอยแบบพหุคูณระหว่างตัวแปรตามที่วิเคราะห์ (Y_1-Y_{13}) และตัวแปรต้นที่ศึกษา (X_{1-2}).....	27
4-5	ผลการทวนสอบความแม่นยำของสมการจากการพิจารณาค่าตอบสนองที่ได้จากการทดลอง (Yex) ค่าตอบสนองที่ได้จากการทำนาย (Ypred) และผลการคำนวณค่า Root Mean Square (RMS) ของค่าสี L* (Y_1).....	28
4-6	ผลการทวนสอบความแม่นยำของสมการจากการพิจารณาค่าตอบสนองที่ได้จากการทดลอง (Yex) ค่าตอบสนองที่ได้จากการทำนาย (Ypred) และผลการคำนวณค่า Root Mean Square (RMS) ของค่าสี a* (Y_2).....	29
4-7	ผลการทวนสอบความแม่นยำของสมการจากการพิจารณาค่าตอบสนองที่ได้จากการทดลอง (Yex) ค่าตอบสนองที่ได้จากการทำนาย (Ypred) และผลการคำนวณค่า Root Mean Square (RMS) ของค่าสี b* (Y_3).....	30
4-8	ผลการทวนสอบความแม่นยำของสมการจากการพิจารณาค่าตอบสนองที่ได้จากการทดลอง (Yex) ค่าตอบสนองที่ได้จากการทำนาย (Ypred) และผลกาคำนวณค่า Root Mean Square (RMS) ของค่า Hardness (Y_4).....	31
4-9	ผลการทวนสอบความแม่นยำของสมการจากการพิจารณาค่าตอบสนองที่ได้จากการทดลอง (Yex) ค่าตอบสนองที่ได้จากการทำนาย (Ypred) และผลการคำนวณค่า Root Mean Square (RMS) ของค่า Adhesiveness (Y_5).....	32

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4-10	ค่าสีของสิ่งทดลองที่ได้จากการจัดแบบ CCD แบบหุ่นกำลังสองมาตรฐานเมื่อแปรปริมาณเนื้อปลากะพงขาว (X_1) และแคปปา-คาราจีแนน (X_2).....	39
4-11	ลักษณะเนื้อสัมผัสของสิ่งทดลองที่ได้จากการจัดแบบ CCD แบบหุ่นกำลังสองมาตรฐานเมื่อเมื่อแปรปริมาณเนื้อปลากะพงขาว(X_1) และแคปปา-คาราจีแนน(X_2)	41
4-12	คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของสิ่งทดลองที่ได้จากการจัดแบบ CCD แบบหุ่นกำลังสองมาตรฐาน เมื่อแปรปริมาณเนื้อปลากะพงขาว (X_1) และแคปปา-คาราจีแนน (X_2).....	47
4-13	คุณภาพทางเคมีของพุดดิ้งจากเนื้อปลากะพงขาวบดและถั่วเขียวบดต้นแบบที่พัฒนาได้.....	48
4-14	ค่าสีของพุดดิ้งจากเนื้อปลากะพงขาวและถั่วเขียวบดที่พัฒนาได้ระหว่างการเก็บรักษาอุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 7 และ 14 วัน.....	50
4-15	ลักษณะเนื้อสัมผัสของพุดดิ้งจากเนื้อปลากะพงขาวและถั่วพัลส์บดที่พัฒนาได้ระหว่างการเก็บรักษาอุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 7 และ 14 วัน.....	51
4-16	ค่าการแยกตัวของของเหลวของพุดดิ้งจากเนื้อปลากะพงขาวและน้ำถั่วเขียวที่พัฒนาได้ระหว่างการเก็บรักษาอุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 7 และ 14 วัน.....	52
4-17	ปริมาณโปรตีนของพุดดิ้งจากเนื้อปลากะพงขาวและถั่วเขียวบดที่พัฒนาได้ระหว่างการเก็บรักษาอุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 7 และ 14 วัน.....	52
4-18	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์และรา และปริมาณ *Vibrio Cholerae* ของพุดดิ้งจากเนื้อปลากะพงขาวและถั่วเขียวบดที่พัฒนาได้ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 0 7 และ 14 วัน.....	53
4-19	คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของพุดดิ้งจากเนื้อปลากะพงขาวและถั่วเขียวบดที่พัฒนาได้เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 7 วัน.....	55
4-20	คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของพุดดิ้งจากเนื้อปลาทะเลและถั่วพัลส์ที่พัฒนาได้.....	57

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2-1	สัดส่วนตลาดของแหล่งโปรตีนทางเลือก.....	4
3-1	ลักษณะเนื้อปลากะพงขาวบดที่ใช้ในงานวิจัย.....	14
3-2	ลักษณะบรรจุภัณฑ์ที่ใช้บรรจุพุดดิ้ง.....	18
4-1	ลักษณะของพุดดิ้งที่แปรปริมาณการใช้ถั่วอะซูกิบดและถั่วเขียวบด.....	20
4-2	ลักษณะสีของถั่วอะซูกิบดและถั่วเขียวบด.....	21
4-3	ลักษณะของพุดดิ้งที่แปรปริมาณการใช้เนื้อปลากะพงขาวบดและแคปปา-คาราจีแนน.....	25
4-4	กราฟพื้นผิวตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเนื้อปลากะพงขาว (X_1) และแคปปา-คาราจีแนน (X_2) ต่อค่าสี L* ของพุดดิ้งจากเนื้อปลากะพงขาวและถั่วเขียวบด.....	34
4-5	กราฟพื้นผิวตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเนื้อปลากะพงขาว (X_1) และแคปปา-คาราจีแนน (X_2) ต่อค่าสี a* ของพุดดิ้งจากเนื้อปลากะพงขาวและถั่วเขียวบด.....	34
4-6	กราฟพื้นผิวตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเนื้อปลากะพงขาว (X_1) และแคปปา-คาราจีแนน (X_2) ต่อค่าสี b* ของพุดดิ้งจากเนื้อปลากะพงขาวและถั่วเขียวบด.....	35
4-7	กราฟพื้นผิวตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเนื้อปลากะพงขาว (X_1) และแคปปา-คาราจีแนน (X_2) ต่อค่า Hardness ของพุดดิ้งจากเนื้อปลากะพงขาวและถั่วเขียวบด.....	37
4-8	กราฟพื้นผิวตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเนื้อปลากะพงขาว (X_1) และแคปปา-คาราจีแนน (X_2) ต่อค่า Adhesiveness ของพุดดิ้งจากเนื้อปลากะพงขาวและถั่วเขียวบด.....	37
4-9	ลักษณะของพุดดิ้งจากเนื้อปลากะพงขาวบดและถั่วเขียวบดระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 0 7 และ 14 วัน.....	49
4-10	ลักษณะของพุดดิ้งจากเนื้อปลาทะเล (ปลากะพงขาว ปลาทู และปลาทรายแดง) และถั่วเขียวบด.....	56

บทที่ 1
บทนำ

ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

องค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติได้กำหนดให้ปี 2559 เป็นปีสากลแห่งเมล็ดถั่วพัลส์ (2016 International year of pulses) โดยมีความมุ่งหมายให้รัฐบาลและองค์กรความร่วมมือต่างๆ ทั่วโลก ตระหนักถึงประโยชน์ของเมล็ดถั่วโดยเฉพาะถั่วพัลส์ (pulses) ซึ่งมีโปรตีนสูงและมีผู้บริโภคในหลายพื้นที่ อีกทั้งยังเป็นประโยชน์ต่อการเพาะปลูกที่ยั่งยืนอันนำไปสู่ความมั่นคงทางอาหารและโภชนาการของโลกได้ (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2015) โดยถั่วที่จะถูกจัดให้อยู่ในชนิดถั่วพัลส์ได้ จะต้องประกอบไปด้วยคุณสมบัติ 3 ข้อ คือ ต้องเป็นถั่วที่มีโปรตีนสูง มีไขมันต่ำไม่เกิน 4% และเป็นถั่วที่เก็บเกี่ยวในรูปเมล็ดแห้ง โดยถั่วที่จัดอยู่ในกลุ่มถั่วพัลส์ ตัวอย่างเช่น ถั่วแดง ถั่วแดงหลวง ถั่วลูกไก่ ถั่วเขียว ถั่วขาว ถั่วพินโต ถั่วตาดำ และถั่วเลนทิลส์ เป็นต้น (สุนิศรา เอี่ยมคง, 2559) ถั่วพัลส์เหมาะที่จะเป็นอาหารสำหรับประชากรทั่วโลกและเหมาะกับผู้บริโภคที่รักสุขภาพ เนื่องจากอุดมไปด้วยโปรตีน โดยถั่วพัลส์ประกอบด้วยโปรตีน 20%-25% โดยน้ำหนัก เทียบกับเนื้อสัตว์ที่มีโปรตีน 30%-40% ขณะที่ข้าวสาลีมีโปรตีนเพียง 10% (FAO, 2016) นอกจากนี้ถั่วพัลส์ยังมีวิตามินบีสูง ไขมันต่ำและมีเส้นใยสูงช่วยในการควบคุมระดับคอเลสเตอรอล ช่วยด้านการขับถ่าย ป้องกันโรคเบาหวานและหลอดเลือดหัวใจ ถั่วพัลส์มีธาตุเหล็กและสังกะสีสูงเหมาะกับผู้ที่เป็นโลหิตจาง นอกจากนี้ถั่วพัลส์ยังไม่มีกลูเตน (gluten free) ที่เป็นส่วนประกอบในแป้ง จึงเหมาะสาหรับคนที่แพ้กลูเตนอีกด้วย

เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารที่สอดคล้องกับการเติบโตของธุรกิจอาหารเพื่อสุขภาพ ความต้องการของผู้บริโภค และแรงผลักดันของนโยบายจากองค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ งานวิจัยนี้จึงมีความมุ่งหมายที่จะพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารโปรตีนรูปแบบใหม่จากเนื้อปลาทะเลและถั่วพัลส์ โดยเลือกใช้วัตถุดิบเนื้อปลาเศรษฐกิจ ที่มีไขมันต่ำ (2-4%) และมีโปรตีนสูง และใช้ถั่วพัลส์ที่มีการปลูกในประเทศไทยและมีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยกำหนดแนวความคิดผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่มให้กับเนื้อปลาทะเลและถั่วพัลส์แนวคิดผลิตภัณฑ์ใหม่ (new product concept) คือ การพัฒนาพุดดิ้งซึ่งเป็นอาหารประเภทเจลที่มีลักษณะกึ่งแข็งกึ่งเหลว ให้เป็นอาหารโปรตีนเพื่อสุขภาพจากเนื้อปลาทะเลและถั่วพัลส์ โดยเป็นอาหารพร้อมบริโภค (ready to eat) สอดคล้องกับวิถีชีวิตของคนยุคใหม่ที่ต้องการความสะดวก รวมถึงเป็นทางเลือกที่ดีสำหรับคนในปัจจุบันที่ไม่ถนัดทำอาหาร เป็นการบูรณาการคุณประโยชน์จากปลาทะเลและถั่วพัลส์ไว้ด้วยกัน โดยจะเป็นประโยชน์ต่อการเป็นแหล่งโปรตีนของผู้บริโภคทุกเพศทุกวัย

วัตถุประสงค์

1) เพื่อพัฒนาสูตรพุดดิ้งจากเนื้อปลาทะเลและถั่วพัลส์ที่เหมาะสม
2) เพื่อวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของพุดดิ้งจากเนื้อปลาทะเลและถั่วพัลส์ต้นแบบที่พัฒนาได้
3) เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพพุดดิ้งจากเนื้อปลาทะเลและถั่วพัลส์ระหว่างการเก็บรักษา
4) เพื่อทดสอบการยอมรับของพุดดิ้งจากเนื้อปลาทะเลและถั่วพัลส์ที่พัฒนาได้

บทที่ 2
การตรวจเอกสาร

1. พุดดิ้ง

พุดดิ้ง (Pudding) เป็นอาหารที่จัดอยู่ในพวกขนมหรือของหวาน ในสหรัฐอเมริกาพุดดิ้งมักจะหมายถึงขนมประเภทที่ทำจากไข่ไก่ที่ออกมาในรูปคล้ายสังขยา (Custard) มีส่วนผสมของนม น้ำตาล แป้งอเนกประสงค์ และน้ำมันพืชหรือเนย ใช้วิธีการคนหรือกวนเข้าด้วยกันโดยใช้ความร้อนจนสุก เมื่อสุกแล้วจะมีลักษณะเป็นครีม อาจมีการแต่งสีและกลิ่น เช่นวานิลา เติมผลไม้ เช่น กล้วย สับปะรด หรือข้าวสุก (Rice pudding) ผสมลงไป นอกจากนี้พุดดิ้งอาจทำได้ด้วยวิธีการให้ความร้อนแบบ อบ นึ่ง หรือต้ม พุดดิ้งในยุคเริ่มแรกทำมาจากส่วนผสมหลายชนิด เช่น เนยเหลว แป้ง ธัญพืช และไข่ ซึ่งจะมีลักษณะเป็นก้อนแข็งกว่าพุดดิ้งในปัจจุบัน โดยพุดดิ้งในยุคเริ่มแรกอาจเป็นใช้อาหารจานหลัก (Main dish) โดยจัดเป็นอาหารคาว หรือ ของหวาน (Desserts) ก็ได้ แล้วแต่วัตถุประสงค์ พุดดิ้งรูปแบบที่เป็นที่คุ้นเคยและนิยมบริโภคในชีวิตประจำวันกันอย่างแพร่หลายทั่วโลกโดยหลายกลุ่มของผู้บริโภคทั้งเด็กและผู้สูงอายุ คือ พุดดิ้งนม จัดเป็นผลิตภัณฑ์นมที่มีลักษณะเป็นเจล โดยทั่วไปประกอบไป ด้วยนม สารให้ความคงตัว (แป้งและคาราจีแนน) และน้ำตาล นอกจากลักษณะด้านรสชาติแล้วเนื้อสัมผัสเป็นอีกลักษณะหนึ่งที่สำคัญที่ใช้ในการพิจารณาการยอมรับของผู้บริโภคของผลิตภัณฑ์พุดดิ้ง (Elmore et al, 1999) สอดคล้องกับที่ Alamprese and Mariotti (2011) กล่าวว่า พุดดิ้งเป็นขนมที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย รับประทานได้ง่าย เหมาะกับทุกเพศทุกวัย มีส่วนประกอบหลักเป็นนม ซึ่งให้คุณค่าทางอาหารสูง เช่น โปรตีน ไขมัน และแคลเซียม ให้คุณประโยชน์ที่ดี นอกจากนี้ยังมีส่วนประกอบอื่น ได้แก่ น้ำตาลทราย และสารให้ความคงตัว เช่น เจลาติน คาราจีแนน ซึ่งจะให้ผลิตภัณฑ์ที่เนื้อละเอียด นุ่ม และคงรูป ส่วนแป้งข้าวโพดจะให้ลักษณะที่ข้นเหนียว และนุ่ม และลักษณะของพุดดิ้งที่ดีควรมีเนื้อสัมผัสแบบกึ่งของแข็ง (จริยา เดชกุญชร, 2546; Lim & Narsimhan, 2006)

ชนิดของพุดดิ้งอาจจำแนกได้ตามลักษณะของเนื้อสัมผัส กลิ่นรส และลักษณะปรากฏ ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์มีความหลากหลายตั้งแต่เนื้อสัมผัสนิ่มเหลว เนื้อสัมผัสเบา เนื้อสัมผัสคล้ายคัสตาร์ด เป็นเจลอ่อนนุ่ม เนื้อสัมผัสเป็นครีมข้นจนถึงเนื้อสัมผัสแน่นและหนัก ผลิตภัณฑ์อาจมีชื่อเรียกและลักษณะที่แตกต่างกันออกไปตามแต่ละท้องถิ่น แสดงดังตารางที่ 2-1

2. แนวโน้มความต้องการอาหารโปรตีนชนิดใหม่

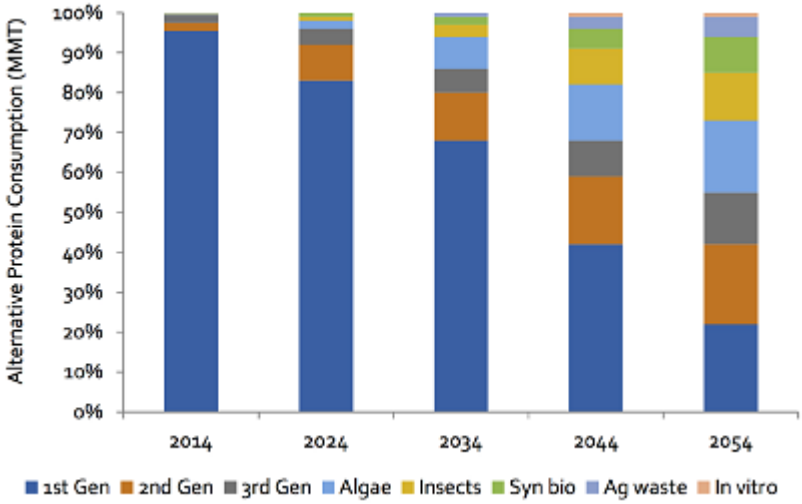
บริษัท ยูบีเอ็ม เอเชีย (ประเทศไทย) (2559) รายงานว่า จากการร่วมมือวิเคราะห์แนวโน้มความต้องการอาหาร ในปี 2559-2560 กับคณะอุตสาหกรรมเกษตรมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พบว่า 1ใน 12 เทรนด์ (trend) ความต้องการของอาหารที่ได้รับความสนใจจากผู้บริโภคจำนวนมาก คือ ต้องการอาหารโปรตีนทางเลือก ที่ไม่ได้มาจากสัตว์ ซึ่งตอบโจทย์ความต้องการของผู้บริโภคที่เลี่ยงการทานเนื้อสัตว์และผู้ทานมังสวิรัติ จนมีแนวโน้มว่าแหล่งโปรตีนทางเลือกเหล่านี้อาจจะกลายเป็นโปรตีนที่เข้ามาแทนที่โปรตีนจากเนื้อสัตว์ในอนาคต ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์ของ Diederik van der Hoeven (2015) ได้รายงานว่า จากข้อมูลของ Lux research พบว่า ปัจจุบันแหล่งโปรตีนจาก

เนื้อสัตว์และอาหารทะเลเริ่มลดน้อยลง ในขณะที่การบริโภคโปรตีนทั่วโลกในอีก 40 ปีข้างหน้า จะเพิ่มเป็น 2 เท่า จาก 473 Mt ในปี 2014 เป็น 944 Mt ในปี 2054 ดังนั้นแหล่งโปรตีนทางเลือกจึงเข้ามามีบทบาทมากยิ่งขึ้น และจะเติบโตได้มากถึง 9% ต่อปี โดยสัดส่วนตลาดของโปรตีนทางเลือกในอนาคตแสดงดังภาพที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 ประเภทของผลิตภัณฑ์พุดดิ้งและลักษณะเนื้อสัมผัส

ระดับการผลิต	ชนิด	ลักษณะเนื้อสัมผัส
ระดับครัวเรือน	Cooked puddings, Flan	เนื้อครีมข้นหนัก ไปจนถึงเนื้อครีมเบา และอาจมีลักษณะเป็นเจลแข็ง
ระดับอุตสาหกรรม	Instant puddings	เจลอย่างอ่อนและมีเนื้อสัมผัสที่ข้นเหนียว
	Gellified milk flan	เจลคงรูป และมีเนื้อสัมผัสตั้งแต่เป็นเจลแข็งไปจนถึงลักษณะเป็นครีม
	Creamy desert custard	ครีมข้นหนักไปจนถึงเป็นเนื้อครีมเบา
	Multi-layered desert	มีหลายชั้น มีเนื้อสัมผัสเป็นครีมจนถึงเป็นเจล อาจมีทอปปิ้งแทรกอยู่ระหว่างชั้น

ที่มา : Early (1998)



ภาพที่ 2-1 สัดส่วนตลาดของแหล่งโปรตีนทางเลือก
ที่มา: Lux Research, Inc.

แหล่งโปรตีนใหม่เติบโตอย่างรวดเร็ว โดยอุตสาหกรรมอาหารต่างมองหาแหล่งโปรตีนทางเลือก เพื่อทดแทนแหล่งโปรตีนเดิม โดยจากการสำรวจ พบว่า แหล่งโปรตีนรุ่นแรก (1st Gen) คือ โปรตีนจากพืช โดยเฉพาะจากถั่วเหลืองซึ่งยังคงนิยมบริโภคกันในอีก 10 ปีข้างหน้า แหล่งโปรตีนรุ่นที่สอง (2nd Gen) คือ โปรตีนจากแหล่งต่างๆ เช่น ถั่ว ข้าว และคาโนลา เป็นต้น โดยจะมีการเติบโตอย่างรวดเร็ว และในปี 2024 คาดว่าส่วนแบ่งตลาดนี้มีเพิ่มขึ้นถึง 9% และยังคงเพิ่มขึ้นต่อไปในอนาคต โดยในช่วงกลางศตวรรษ คาดว่าแหล่งโปรตีนอื่นๆ นอกเหนือจากถั่วเหลืองจะครอบคลุมตลาดถึงสามในสี่ส่วนของตลาด และแหล่งโปรตีนรุ่นที่ 3 (3rd Gen) คือ โปรตีนจากพืชชนิดต่างๆ เช่น มะรุม เมล็ดเจีย เป็นต้น ซึ่งคาดว่าจะมีส่วนแบ่งตลาด 4% ในปี 2024

3. วัตถุดิบหลักที่ใช้ในงานวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้วัตถุดิบถั่วพัลส์เป็นวัตถุดิบหลัก เนื่องจากถั่วพัลส์จัดเป็นธัญพืชที่มีคาร์โบไฮเดรต ไขมันรวม ไนอาซิน ไรโบฟลาวิน วิตามินบี 2 และวิตามินบี 6 และโฟเลต เหล็ก แมกนีเซียม โพแทสเซียมและสังกะสีสูงกว่าธัญพืชอื่น (Singh, 2017) นอกจากนี้ยังมีโปรตีนสูงประมาณ 21%-25% มีจำนวนกรดอะมิโนที่จำเป็น เช่น Methionine tryptophan และ Cystine (Tiwari & Singh 2012) โดยมีการใช้ถั่วพัลส์ 2 ชนิดคือ ถั่วอะซูกิ และถั่วเขียว มีแนวคิดนำคุณค่าทางโภชนาการจากเนื้อปลาทะเลร่วมด้วย โดยเลือกใช้เนื้อปลากะพงขาว และปลาทรายแดง เนื่องจากเป็นสัตว์เศรษฐกิจที่เพาะพันธุ์ได้ง่าย เจริญเติบโตเร็ว เนื้อมีรสชาติดี มีโอเมก้า 3 ซึ่งเป็นกรดไขมันที่ดีและจำเป็นต่อร่างกายอยู่สูงมากช่วยลดอัตราการเกิดโรคหัวใจและมะเร็งได้

ถั่วอะซูกิ (Azuki bean) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Vigna angularis* จัดอยู่ในกลุ่มพืชล้มลุก เป็นพืชปลูกฤดูเดียว ลำต้นเป็นพุ่มมีขนสีขาวทั่วลำต้น แตกกิ่งปานกลาง ความสูงประมาณ 20-25 เซนติเมตร ออกดอกสีเหลืองอ่อน ฝักยาวตรงและจะเปลี่ยนเป็นสีขาวเมื่อแก่มีเมล็ดด้านในประมาณ 5-10 เมล็ดต่อฝัก เมล็ดทรงกลม สีแดงสด ตาสีขาว ลักษณะของถั่วอะซูกิ เป็นพืชถั่วที่มีการเพาะปลูกทางตอนเหนือของประเทศจีน เกาหลี และญี่ปุ่น ซึ่งมีอากาศหนาวเย็น อุณหภูมิที่เหมาะสมช่วงระยะการเจริญเติบโต 23-25 องศาเซลเซียส ถั่วอะซูกิสามารถเจริญเติบโตได้ดีบนที่สูงของประเทศไทย ซึ่งมูลนิธิโครงการหลวงได้ทดลองปลูกมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2539 พบว่าถั่วอะซูกิสามารถเจริญเติบโตดีให้ผลผลิตสูงเฉลี่ยประมาณ 200-330 กิโลกรัมต่อไร่ มีอายุเก็บเกี่ยว 74-79 วัน ขึ้นอยู่กับสถานที่ปลูกและฤดูปลูก ช่วงฤดูปลูกที่เหมาะสม ปลายฤดูฝน ช่วงเดือนสิงหาคม – พฤศจิกายน

ถั่วอะซูกิอุดมไปด้วยคาร์โบไฮเดรตและโปรตีน ซึ่งมีส่วนประกอบของกรดอะมิโนหลายชนิด องค์ประกอบหลักทางเคมีของถั่วอะซูกิ แสดงดังตารางที่ 2-2 นอกจากนี้ ไฟเบอร์ในถั่วอะซูกิยังมีสรรพคุณช่วยทำความสะอาดลำไส้ ช่วยในการขับถ่าย จึงช่วยให้ลดการสะสมของสารพิษในลำไส้ได้ ช่วยลดความเสี่ยงการเกิดโรคมะเร็งลำไส้ใหญ่ มีสารต้านอนุมูลอิสระที่ชื่อว่าแอนโธไซยานิน มีคุณสมบัติช่วยป้องกันความเสื่อมของเซลล์ จัดเป็นธัญพืชที่ช่วยบำรุงผิวพรรณให้ผ่องใส ช่วยปรับสมดุลเลือด บรรเทาอาการปวดบวม ลดอาการปวดข้อ และช่วยในการขับปัสสาวะเมล็ดถั่วอะซูกินี้สามารถนำมาแปรรูปเป็นอาหารต่าง ๆ เช่น ทำซุปหุงรวมกับข้าว ทำขนมต่าง ๆ แต่ที่นิยมคือการนำเมล็ดถั่วอะซูกิมาทำเป็นแป้งถั่ว สำหรับทำไส้ขนม

ตารางที่ 2-2 คุณค่าทางโภชนาการของถั่วอะซูกิ ต่อ 100 กรัม

ส่วนประกอบ	ปริมาณ
พลังงาน (แคลอรี่)	329
โปรตีน (กรัม)	19.87
ไขมัน (กรัม)	0.53
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	62.90
แคลเซียม (กรัม)	66
เหล็ก (กรัม)	4.98
เส้นใยอาหาร (กรัม)	12.7
เถ้า (กรัม)	3.26

ที่มา : United States Department of Agriculture: USDA (2016)

ถั่วเขียว (Green Bean หรือ Mung Bean) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Phaseolus aureus* L. มีถิ่นกำเนิดในประเทศแถบอินเดีย พม่า อินโดนีเซีย และไทย มีลักษณะเป็นพืชล้มลุกขนาดเล็ก อายุประมาณ 1 ปี ลำต้นตั้งตรง สูงประมาณ 40 เซนติเมตร มีขนตามลำต้น กิ่ง ก้าน และใบ ใบเป็นใบประกอบแบบขนนก ลักษณะดอกเหมือนดอกถั่วทั่วไปเป็นสีเหลือง ส่วนเมล็ดมีสีเขียวรูปกึ่งกลม ลักษณะของถั่วเขียว แสดงดังภาพที่ 2-6 การปลูกถั่วเขียวมักปลูกในช่วงเดือนสิงหาคม-กันยายน และเก็บเกี่ยวผลผลิตประมาณเดือนพฤศจิกายน-ธันวาคม ถั่วเขียวที่ผลิตในช่วงนี้มีปริมาณมากที่สุด ประมาณร้อยละ 80 ของผลผลิตทั้งหมด ระยะการเก็บเกี่ยวฝักนั้นมักมีอายุประมาณ 60-70 วันนับจากวันงอก โดยส่วนใหญ่แล้วถั่วเขียวสามารถนำมาแปรรูปและใช้ประโยชน์ได้อย่างหลากหลาย เช่น การนำมาใช้เพาะถั่วงอก หรือใช้ทำแป้งถั่วเขียว ทำวุ้นเส้น ทำซาหริ่ม หรือทำเป็นขนมต่าง ๆ เช่น ถั่วกวน เต้าส่วน เม็ดขนุน ถั่วแปบ ขนมลูกเต๋า ถั่วเขียวต้มน้ำตาล ทำข้าวเกรียบ ขนมครองแครง ขนมหันตรา ขนมลูกชุบ ขนมเทียนแก้ว เป็นต้น คุณค่าทางโภชนาการของถั่วเขียว แสดงดังตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2-3 คุณค่าทางโภชนาการของถั่วเขียว ต่อ 100 กรัม

ส่วนประกอบ	ปริมาณ
พลังงาน (แคลอรี่)	347
โปรตีน (กรัม)	23.86
ไขมัน (กรัม)	1.15
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	62.62
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	132
เหล็ก (มิลลิกรัม)	6.74
เส้นใยอาหาร (กรัม)	16.3
เถ้า (กรัม)	3.32

ที่มา : United States Department of Agriculture: USDA (2016)

ปลากะพงขาวเป็นปลาน้ำกร่อยชนิดหนึ่งที่มีขนาดใหญ่และมีความสำคัญทางเศรษฐกิจ เนื่องจากสามารถหาพันธุ์ได้ง่าย เลี้ยงง่าย โตเร็ว เนื้อมีรสชาติดี และราคาค่อนข้างสูง จึงเป็นที่ต้องการของตลาดมาก ปลาชนิดนี้นิยมเลี้ยงกันอย่างแพร่หลายในเขตจังหวัดชายทะเลของประเทศไทย นอกจากเลี้ยงเพื่อการบริโภคในประเทศแล้วยังส่งไปขายยังต่างประเทศอีกด้วย เช่น ประเทศไต้หวัน สิงคโปร์ มาเลเซีย ฮ่องกง และประเทศจีน เป็นต้น สำหรับการเพาะเลี้ยงปลากะพงขาวในประเทศไทย เริ่มโดยสถานีประมงจังหวัดสงขลาเริ่มทำการทดลองเพาะพันธุ์ปลาชนิดนี้โดยวิธีการผสมเทียมเมื่อปี พ.ศ. 2514 แต่ได้ประสบผลสำเร็จในปี พ.ศ. 2516 จากนั้นจึงมีการศึกษาเกี่ยวกับปลากะพงขาวเรื่อยมา จึงส่งผลให้การเพาะพันธุ์ปลากะพงขาวในประเทศไทยพัฒนาก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็ว และในปัจจุบันประเทศไทยสามารถเพาะพันธุ์ปลากะพงขาวได้เป็นจำนวนมาก ปลากะพงขาวมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Lates calcarifer* (Bloch) มีชื่อสามัญว่า Giant Perch หรือ Sea Bass เป็นปลาน้ำกร่อยที่มีขนาดใหญ่ ลักษณะโดยทั่วไปมีลำตัวค่อนข้างยาวและหนาแบนข้างเล็กน้อย บริเวณไหล่จะโค้งมน ส่วนตัวจะลาดชันและเว้า ส่วนของขากรรไกรล่างยื่นยาวกว่าขากรรไกรบนเล็กน้อย ปากกว้าง ขอบปากบนเป็นแผ่นใหญ่ มีฟันเล็กละเอียดบนขากรรไกรบนและล่าง และที่เพดานปาก ตาของปลาชนิดนี้มีขนาดกลาง ไม่มีเยื่อที่เป็นไขมันหุ้ม แก้มมีขนาดใหญ่ มีขอบหลังเป็นหนามแหลม 4 ซี่ และเรียงต่อด้วยซี่เล็กๆ จัดตามแนวหลัง ด้านบนส่วนหัวและบนแผ่น เหงือก มีเกล็ดขนาดต่าง ๆ กัน เกล็ดบริเวณลำตัวค่อนข้างใหญ่ ด้านหลังมีสีเทาเงินหรือเขียวปนเทา ส่วนท้องจะมีสีเงินแกมเหลือง บริเวณด้านข้างลำตัวมีสีเงิน ครีบหลัง ครีบก้น ครีบหาง จะมีสีเทาปนดำบางๆ (ศูนย์พัฒนาประมงพื้นที่ลุ่มน้ำปากพนังอันเนื่องมาจากพระราชดำริ, 2555) ข้อดีของปลากะพงขาว ที่เกษตรกรนิยมนำมาเลี้ยงคือเป็นปลาที่เลี้ยงง่าย โตเร็ว เนื้อมีรสชาติดี มีราคาดีพอสมควร ปลากะพงมีคุณค่าทางอาหารสูงกว่าปลาทั่ว ๆ ไป เนื่องจากปลากะพง 100 กรัม ให้โปรตีนสูงถึง 22 กรัม ปลากะพงขาวยังมีไขมันต่ำ 2-4 กรัมต่อ 100 กรัม และมีกรดไขมันไม่อิ่มตัว เช่น โอเมก้า 3 ซึ่งเป็นไขมันที่จำเป็นต่อร่างกาย (จุรีพร จิตจำรูนโชคไชย, 2532)

ปลาทรายแดง หรือเรียกว่า ปลากทรายแดงโม่ง มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Nemipterus hexodon* มีชื่อสามัญว่า Ornate Threadfin Bream ปลาทรายแดงเป็นปลาทะเลที่มีรูปร่างเรียวยาว ลำตัวท่อนโตทู่ ท่อนหางยาว จะงอยปากค่อนข้างสั้น ปากกว้างและเฉียงขึ้นเล็กน้อย มีฟันแหลมคม ส่วนที่ครีบแข็งและครีบอ่อนมีความสูงสม่ำเสมอกัน ปลายครีบแหลมยืดออกเป็นเส้นเดี่ยว เช่นเดียวกับปลายครีบก้น ครีบท้องอยู่ใกล้กับครีบหู มีปลายแหลมเหมือนกัน หรือหางแยกแฉกเว้า พื้นลำตัวสีขาว หลังสีชมพูปนม่วง มีแถบสีเหลืองที่ครีบหลัง 2 แถบ ลำตัว 6-7 แถบ และครีบก้น 1 แถบ แฉกบนครีบหางมีสีเหลือง 1 แถบ มีจุดสีส้มอยู่เหนือช่องเหงือกข้างละจุด ปลาทรายแดงมักอยู่รวมกันเป็นฝูง อาศัยอยู่บริเวณท้องทะเลที่เป็นโคลน หรือโคลนปนทราย พบทั่วไปบริเวณอ่าวไทยและทะเลอันดามัน ด้านคุณค่าทางโภชนาการ มีรายงานว่าปลาทรายแดงเป็นสัตว์น้ำที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง ในเนื้อปลาทรายแดง 100 กรัม ให้โปรตีน 18.4 กรัม และให้ไขมัน 1.0 กรัม ให้แร่ธาตุที่สำคัญต่อร่างกายอีกหลายชนิด ได้แก่ แคลเซียม ฟอสฟอรัส และเหล็ก ซึ่งแคลเซียมและฟอสฟอรัสช่วยในการสร้าง กระดูกและฟัน ธาตุเหล็กช่วยในการสร้างเม็ดโลหิตแดงและป้องกันการเป็นโรคโลหิตจาง เมื่อวิเคราะห์หาปริมาณกรดอะมิโน พบว่า โปรตีนในเนื้อปลาทรายแดงประกอบด้วยกรดอะมิโนจำเป็นต่อร่างกายสูง โดยเฉพาะไลซีน และทรีโอนีน ซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตในเด็ก และจากการ

ประเมินคุณภาพของโปรตีนโดยใช้ค่าคะแนนของกรดอะมิโน (Amino acid score) พบว่า ปลาทรายแดงได้คะแนน 81 มีกรดไขมันไลโนเลอิค 2.05% ของกรดไขมันทั้งหมด ช่วยในการควบคุมความดันโลหิต ระดับโคเลสเตอรอล และไตรกลีเซอไรด์ในเลือด มีกรดไขมันไม่อิ่มตัว อีพีเอ (EPA: Eicosapentaenoicacid) 3.05% ของกรดไขมันทั้งหมด ลดปัญหาการเป็นโรคหัวใจขาดเลือด และยังมี ดีเอ็ชเอ (DHA: Docosahexaenoic acid) 25.01% ของกรดไขมันทั้งหมด ช่วยในเรื่องการพัฒนาและเจริญเติบโตของสมอง นอกจากนี้ปลาทรายแดงยังมีวิตามิน B1 B2 และไนอะซิน ที่ช่วยในการเกิดพลังงานของสารคาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน ทำให้ร่างกายมีประสิทธิภาพในการทำงานและเรียนรู้ได้ดีขึ้น (สำนักโภชนาการ กรมอนามัย, 2550)

4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Lim and Narsimhan (2006) ศึกษา Pasting และพฤติกรรมการไหลของเพสที่ทำมาจากสตาร์ชและโปรตีนถั่วเหลืองทางการค้าที่แตกต่างกัน เพื่อเป็นรูปแบบสำหรับการพัฒนาพุดดิ้งโปรตีนถั่วเหลือง เพื่อผู้บริโภคที่แพ้แลคโตส โดยตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการไหล และการแยกชั้นของน้ำเมื่อทิ้งไว้ 2 สัปดาห์ในตู้เย็น เปรียบเทียบกับพุดดิ้งทางการค้าทั่วไป สตาร์ชทางการค้าที่ใช้ได้แก่ Novation® 2300, C* PolarTex และ National 1658 และโปรตีนถั่วเหลืองทางการค้าที่ใช้ได้แก่ Alpha® 5812, Arcon® SM และ Pro-Fam® 974 จากผลการวิจัยพบว่า สตาร์ชทางการค้า Novation® 2300 และโปรตีนถั่วเหลืองทางการค้า Alpha® 5812 แสดงคุณสมบัติของ pasting ที่ต้องการมากที่สุด โดยค่า yield stress ของพุดดิ้งทางการค้า อยู่ในช่วง 27.1-59.6 Pa ค่า Consistency index (K) อยู่ในช่วง 6.57-18.63 (Pa Sn) และค่า flow behavior index (n) อยู่ในช่วง 0.4191-0.6558 ซึ่ง ค่า K และ n ของพุดดิ้งโปรตีนถั่วเหลือง พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับพุดดิ้งทางการค้า และสำหรับพุดดิ้งโปรตีนถั่วเหลืองที่เก็บเป็นเวลา 2 สัปดาห์ที่อุณหภูมิ 5oC ในตู้เย็น พบว่าพุดดิ้งทุกตัวอย่างมีค่า G’ and G” เพิ่มขึ้น และมีการแยกของน้ำ

Byars and Singh (2016) ศึกษาสมบัติการไหลของแป้งถั่วพัลส์ ได้แก่ ถั่วดำ ถั่วลูกไก่ ถั่วเลนทิล และถั่วขาว โดยได้รับแป้งจากแหล่งที่แตกต่างกันและศึกษาผลของความเข้มข้นของแป้งต่อสมบัติการไหล พบว่า แป้งถั่วขาวมีค่าความหนืดสุดท้ายสูงที่สุดในการทดสอบ Pasting test อย่างไรก็ตามเมื่อเตรียมแป้งถั่วให้มีความเข้มข้นในระดับสูง (6% และ 8%) พบว่า มีค่าความหนืดใกล้เคียงกัน เจลของแป้งถั่วขาวและเจลของแป้งถั่วดำมีค่าโมดูลัสสูงที่สุด ในขณะที่แป้งถั่วขาวมีอัตราการคงตัวต่ำที่สุดเมื่อเตรียมแป้งที่ความเข้มข้น 6% และ 8% แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเตรียมแป้งที่ระดับความเข้มข้น 10% ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสแสดงให้เห็นว่าเจลแป้งถั่วขาวมีค่าความแข็งสูงที่สุด เจลแป้งถั่วขาวและเจลแป้งถั่วดำมีดัชนีการแยกตัวที่สูงที่สุด เมื่อเก็บตัวอย่างเป็นเวลา 1 วัน อย่างไรก็ตามเจลจากแป้งทุกชนิดมีค่าดัชนีการแยกตัวมีค่าใกล้เคียงกันเมื่อระยะเวลาเก็บรักษานานขึ้น

Funami et al. (2012) ศึกษาพฤติกรรมการรับประทานอาหารของมนุษย์ที่มีความเกี่ยวข้องกับสมบัติการไหลและสมบัติทางประสาทสัมผัสในอาหารจำลองที่ใช้ คือ เจลซึ่งมีความอ่อนนุ่มเพียงพอที่สามารถรับประทานได้โดยไม่ต้องใช้ฟันเคี้ยวในรูปแบบอาหารสำหรับผู้ที่มีปัญหากลืนลำบาก การทดลองทำได้โดยใช้สารที่ทำให้เกิดเจล 2 ชนิดที่มีสมบัติทางกายภาพแตกต่างกัน (elastic gels และ plastic gels) ได้แก่ SAN SUPPORT® G-1014 (ประกอบด้วย de-acylatedgellan

gum และpsyllium seed gum) และ KELCOGEL® (de-acylatedgellan gum) นำมาทดสอบด้วย electromyography (EMG) และการวิเคราะห์เสียงการกลืนของอาหารจำลองในรูปแบบเจล จากผลการทดสอบด้วย EMG พบว่าไม่มีความแตกต่างระหว่าง elastic gels และ plastic gels อย่างมีนัยสำคัญ และจากการวิเคราะห์เสียงของการกลืนพบว่า plastic gels ใช้เวลาในการเคลื่อนที่ผ่านไปยังคอหอยสั้น และมีคะแนนในด้านการเกาะติดกันมากกว่า elastic gels และพบว่าอาหารสำหรับผู้ที่มีปัญหากลืนลำบากควรจะเพิ่มประสิทธิภาพในแง่ของสมบัติหยุ่นหนืด (viscoelasticity) เพื่อช่วยให้กลืนได้ง่ายขึ้น ดังนั้นจากการศึกษานี้การทดสอบด้วยEMG และการวิเคราะห์เสียงของการกลืนสามารถใช้เป็นกลยุทธ์ในการออกแบบเนื้อสัมผัสของอาหารสำหรับผู้ที่มีปัญหากลืนลำบากได้

Hayakawa et al. (2014) ศึกษาลักษณะความยากในการรับประทานอาหารโดยใช้การประเมินทางประสาทสัมผัสของเจลไฮโดรคอลลอยด์ในรูปแบบอาหารจำลอง ทำได้โดยเตรียมตัวอย่างเจล 20 ตัวอย่างให้มีเนื้อสัมผัสที่แตกต่างกัน ไฮโดรคอลลอยด์ที่ใช้มี 9 ชนิด ได้แก่ K-carrageenan, i-carrageenan, locust bean gum, low acylgellan gum, low methoxyl pectin, xanthan gum, gelatin, agar และ high acyl gellan gum โดยปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ที่ใช้จะออกแบบให้ครอบคลุมเนื้อสัมผัสที่เป็นไปได้ และบางตัวอย่างจะมีการเติมเกลือเพื่อช่วยในการเกิดเจล นอกจากนี้มีการใช้สารให้ความหวานคือซูคราโลส 0.1%(w/v) เติมลงไปในทุกตัวอย่าง เตรียมเจลโดยละลายสารที่ทำให้เกิดเจลและซูคราโลสในน้ำบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิ 80oC หรือ 90oC (ตัวอย่างที่มี gellan gum) มีการเติม Potassium chloride หรือ calcium lactate ในบางตัวอย่าง จากนั้นนำสารละลายให้ความร้อนต่อที่อุณหภูมิ 85oC เป็นเวลา 30 นาที บรรจุใส่พิมพ์ (เส้นผ่าศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร และสูง 10 มิลลิเมตร) และแช่เย็นที่อุณหภูมิ 8oC เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เจลที่ได้เก็บที่อุณหภูมิ 5oC นำมาทดสอบเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส และประเมินทางประสาทสัมผัสโดยใช้ผู้ทดสอบผลที่ได้พบว่าจากการประเมินทางประสาทสัมผัสได้ลักษณะเด่นของเจลออกมา 6 ลักษณะ ประกอบด้วย cutting effort, elasticity, extensibility, adhesiveness และ melting rate in the mouth ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบหลักพบว่าคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสของตัวอย่างเจลด้านความต้านทานต่อการแตกหักอยู่ในองค์ประกอบที่ 1 ความเหนียวและความยืดหยุ่น อยู่ในองค์ประกอบที่ 2 แสดงให้เห็นว่าความต้านทานต่อการแตกหักและความเหนียวและความยืดหยุ่นเป็นปัจจัยที่สำคัญในการเคี้ยวและการกลืน ข้อมูลที่ได้รับในการศึกษาครั้งนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการออกแบบเนื้อสัมผัสของเจลไฮโดรคอลลอยด์ต่อไป

Greiff et al. (2015) ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้แร่ธาตุนมเพื่อลดปริมาณเกลือในผลิตภัณฑ์ปลาค็อดบด โดยเปรียบเทียบความแตกต่างของ หางนมผงแร่ธาตุต่ำ (LM) ซึ่งเป็นเวย์ที่ได้มาจากการผลิตชีส และ หางนมผงแร่ธาตุสูง (HM) ซึ่งได้มาจากการผลิตนม โดยนำมาใช้กับผลิตภัณฑ์ปลา เพื่อศึกษาผลต่อรสชาติพุดดิ้งปลา คุณลักษณะทางกายภาพ เช่น เนื้อสัมผัส สี คุณสมบัติการอุ้มน้ำ และ การละลายของโปรตีน ผลจากการวิจัยพบว่า การใช้หางนมผงแร่ธาตุต่ำ (LM) สามารถปรับปรุงเนื้อสัมผัส และคุณสมบัติของการอุ้มน้ำของพุดดิ้งที่ความเข้มข้นของเกลือต่ำถึง 0.8% ได้โดยไม่มีผลกระทบต่อรสชาติเกลือ ส่วนหางนมผงแร่ธาตุสูง (HM) มีส่วนในการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสและคุณสมบัติของการอุ้มน้ำทำให้รสชาติของเกลือเพิ่มขึ้น จากปัจจัยที่พิจารณา พบว่า หางนมผงแร่ธาตุสูงสามารถทดแทนเกลือได้ เพื่อลดเกลือในพุดดิ้งปลา

Kohyama et al. (2015) ศึกษาลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารที่เกี่ยวข้องกับความยากในการเคี้ยวและกลืนโดยใช้ EMG (Electromyographic) โดยเตรียมตัวอย่างเจล20 ตัวอย่างเพื่อเลียนแบบความหลากหลายของเนื้อสัมผัสอาหาร โดยใช้ไฮโดรคอลลอยด์ทั้งหมด9 ชนิด ได้แก่ K-carrageenan, i-carrageenan, locust bean gum, low acylgellan gum, low methoxyl pectin, xanthan gum, gelatin, agar และ high acyl gellan gum เตรียมตัวอย่างเจลโดยละลายสารที่ทำให้เกิดเจลและซูคราโลสในน้ำบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิ 80oC หรือ 90oC (ตัวอย่างที่มี gellan gum) มีการเติม Potassium chloride หรือ calcium lactate ในบางตัวอย่าง จากนั้นนำสารละลายให้ความร้อนต่อที่อุณหภูมิ 85oC เป็นเวลา 30 นาที บรรจุใสพิมพ์ (เส้นผ่าศูนย์กลาง 20 มม. และสูง 10 มม.) และแช่เย็นที่อุณหภูมิ 8oC เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เจลที่ได้เก็บที่อุณหภูมิ 5oCและทดสอบด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัสและการประเมินทางประสาทสัมผัสผลที่ได้ พบว่าจากการประเมินทางประสาทสัมผัสโดยการอภิปรายร่วมได้คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส 6 ประการ ได้แก่ firmness, cutting effort, elasticity, extensibility, adhesiveness และ melting rate in the mouth สามารถแบ่งกลุ่มเจลได้เป็น 5 กลุ่ม จากนั้นเลือกตัวอย่างเจล 5 ตัวอย่างเพื่อเป็นตัวแทนของแต่ละกลุ่ม (ดังนี้ k-Carrageenan 1.00%(w/v) + Locust bean gum 1.00%(w/v), i-Carrageenan 3.00%(w/v), Locust bean gum 0.50%(w/v) + Xanthan gum 0.50%(w/v), Gelatin 3.00%(w/v) และAgar 1.00%(w/v)) มาศึกษาต่อด้วย EMG เพื่อทำการบันทึกพฤติกรรมการรับประทานที่แตกต่างกันการวิเคราะห์ EMG ของเจลไฮโดรคอลลอยด์ทั้ง 5 ตัวอย่างที่มีเนื้อสัมผัสที่แตกต่างกัน ชี้ให้เห็นว่าความยากในการเคี้ยวและกลืนอาหารที่มีลักษณะแข็งสะท้อนให้เห็นปัจจัยที่สำคัญ 2 ปัจจัยด้วยกันโดยการเคี้ยวก่อนการกลืนมีความสัมพันธ์กับความต้านทานต่อการแตกหัก (resistance to fracture) ซึ่งระบุว่าอยู่ในองค์ประกอบแรกของการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก สำหรับการกลืนพบว่ามีความสัมพันธ์กับความเหนียว (adhesiveness) ของอาหารเจล

Alamprese and Mariotti (2011) ศึกษาการทำพุดดิ้งจากผงพุดดิ้งสำเร็จรูป (ชนิด A และ B) นำมาผสมกับเครื่องดื่มทดแทนนมสดเพื่อพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์พุดดิ้งสำหรับผู้ป่วยที่มีอาการแพ้นม โดยนำมาผสมกับน้ำข้าว น้ำถั่วเหลือง นมไขมันต่ำ และน้ำ จากการตรวจวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ พบว่า พุดดิ้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง มีค่า Firmness สูงที่สุด ยกเว้นพุดดิ้งสำเร็จรูปชนิด A ที่ละลายในน้ำและน้ำข้าวจะมีค่า Firmness เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น จากการทดสอบพบว่า น้ำข้าวไม่เหมาะสมจะนำมาทำเป็นพุดดิ้ง เนื่องจากผลิตภัณฑ์พุดดิ้งที่ได้มีโครงสร้างที่ไม่ดีพอ จากผลการทดลองนี้ยืนยันได้ว่า นอกจากความเข้มข้นของแป้ง ปริมาณคาราจีแนนในผงพุดดิ้งสำเร็จรูป และชนิดของโปรตีนในเครื่องดื่มที่นำมาผสมกับผงพุดดิ้งสำเร็จรูปมีผลต่อโครงสร้างของพุดดิ้งที่ได้ เนื่องจากน้ำข้าวมีปริมาณโปรตีนน้อยกว่าน้ำถั่วเหลืองและนมไขมันต่ำ 3 เท่า จึงอาจส่งผลให้เกิดโครงสร้างพุดดิ้งได้ไม่ดี แต่อย่างไรก็ตามหากมีการให้ความร้อนที่เหมาะสมคือให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงสุดถึง 85 องศาเซลเซียส จะทำให้เกิดเจลาติไนเซชั่นของแป้งในตัวอย่างน้ำข้าวและน้ำที่ผสมกับพุดดิ้งสำเร็จรูปชนิด A ได้

เกวลี ปารมีกาศ และคณะ (2559) ศึกษาปริมาณเจลาติน คาราจีแนน และคอลลาเจน ที่มีต่อสมบัติการเกิด เจลของผลิตภัณฑ์เยลลี่ฟักข้าวเสริมคอลลาเจน พบว่า คาราจีแนน มีความสัมพันธ์เชิงลบ ต่อค่า Cohesiveness ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % โดยคาราจีแนนส่วนใหญ่จะคงตัวที่ pH

เป็นกลางถึงเป็นด่าง ในขณะที่ถ้า pH ต่ำจะเกิดการ Hydrolysis ของ Glycosidic linkage มีผลทำให้สูญเสียความหนืดและการเกิดเจล จากการแปรปริมาณเจลาติน คอลลาเจน และคาราจีแนน พบว่าสัดส่วนที่เหมาะสมในการทำผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคมากที่สุด คือ เจลาติน:คาราจีแนน:คอลลาเจน ในอัตราส่วน 0.78:0.15:0.07

ฤทัย เรืองธรรมสิงห์ และคณะ (2559) ได้พัฒนาสูตรขนมพุดดิ้งโดยใช้น้ำนมข้าวโพดทดแทนนมสด ซึ่งสูตรพื้นฐานที่ผ่านการคัดเลือกประกอบด้วย นมสด 36.5% น้ำตาลทราย 14% เจลาติน 1.3% วิปปิ้งครีมชนิดจืด 36.5% ไข่แดง 11.6% และกลิ่นวานิลลา 0.1% จากนั้นแปรปริมาณน้ำนมข้าวโพดที่ใช้ทดแทนนมสดเป็น 0% (สูตรควบคุม) 75% 100% และเปรียบเทียบกับสูตรที่ใช้น้ำนมข้าวโพด 100% แทนนมสดและวิปปิ้งครีม พบว่า ขนมพุดดิ้งที่ได้รับการยอมรับมากที่สุด เตรียมจากสูตรที่ทดแทนด้วยน้ำนมข้าวโพด100% ขนมพุดดิ้งน้ำนมข้าวโพดที่ได้มีลักษณะปรากฏ เนื้อเรียบเนียนเป็นเนื้อเดียวกัน ไม่แยกชั้น เนื้อนิ่ม คงรูปได้ดี มีสีเหลืองครีม มีกลิ่นหอมของไข่และน้ำนมข้าวโพดเล็กน้อย รสชาติหวาน ผู้บริโภคให้การยอมรับอยู่ในช่วงชอบปานกลาง เมื่อเปรียบเทียบคุณค่าทางโภชนาการของขนมพุดดิ้งที่ใช้น้ำนมข้าวโพดทดแทนนมสดในอัตราส่วน 100% พบว่า มีคุณค่าทางโภชนาการที่ได้รับใกล้เคียงกับสูตรพื้นฐาน โดยให้พลังงาน ไขมัน และโปรตีนลดลง 1.93% 2.78% และ 9.24% ตามลำดับ แต่ให้คาร์โบไฮเดรตเพิ่มขึ้น 1.97% แต่เมื่อทดแทนปริมาณน้ำนมข้าวโพดในนมสดและวิปปิ้งครีม จะส่งผลให้พลังงาน คาร์โบไฮเดรต และไขมัน ลดน้อยลงจากสูตรพื้นฐานมากถึง 60.17% 36.49% และ 73.80% ตามลำดับ ซึ่งส่งผลดีต่อผู้บริโภคที่ต้องการควบคุมน้ำหนัก ผู้ป่วยโรคเบาหวานและผู้ที่มีปัญหาด้านสุขภาพจากอาการแพ้นมวัว

สลิลดา เศรษฐา (2558) ศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์พุดดิ้งข้าวโพดจากสตาร์ชมันสำปะหลังและแคปปา-คาร์ราจีแนน พบว่า ปริมาณพอลิแซคคาไรด์ทั้งหมดที่เพิ่มขึ้นเป็น 3% โดยน้ำหนัก ส่งผลให้ค่าความหนืดสูงสุด (Peak viscosity) ค่าความหนืดต่ำสุด (Trough) ค่าความหนืดสุดท้าย (Final viscosity) และค่าความแตกต่างระหว่างค่าความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด (Breakdown) มีค่าเพิ่มขึ้น ขณะที่ระยะเวลาที่ทำให้เกิดความหนืดสูงสุด (Peak time) และ ค่าอุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (Pasting temperature) มีค่าลดลง การแทนที่สตาร์ชมันสำปะหลังด้วยแคปปา-คาร์ราจีแนนที่มากขึ้นและการเติมซูโครสส่งผลให้ค่าความแข็งของเจลสูงขึ้น สูตรที่เหมาะสม คือ มีปริมาณพอลิแซคคาไรด์ทั้งหมด 3% อัตราส่วนสตาร์ชมันสำปะหลังต่อแคปปา-คาร์ราจีแนนที่ 9:1 น้ำข้าวโพดหวาน 86.9% ซูโครส 10% สตาร์ชมันสำปะหลัง 2.7% แคปปา-คาร์ราจีแนน 0.3% และ เกลือ 0.1% โดยน้ำหนัก จากการทดสอบการยอมรับของผู้ทดสอบ พบว่าระยะเวลาที่เหมาะสมในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไม่เกิน 10 วัน ผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาได้มีปริมาณความชื้น 79.64-80.06% คาร์โบไฮเดรต 15.76-16.39% เส้นใย 1.89-2.10% โปรตีน 1.26% เถ้า 0.43-0.44% และไขมัน 0.38-0.39% และจากการศึกษาการยอมรับผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค พบว่าผู้บริโภคให้การยอมรับผลิตภัณฑ์พุดดิ้งข้าวโพด 91% และตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ 67% และผลิตภัณฑ์พุดดิ้งข้าวโพดสูตรใช้สารให้ความหวาน พบว่า ผู้บริโภคให้ความสนใจซื้อ 91% และตัดสินใจซื้อ 85%

บทที่ 3
วิธีดำเนินการทดลอง

วัตถุดิบและสารเคมี

1. ถั่วอะซูกิ จากมูลนิธิโครงการหลวง
2. ถั่วเขียว ตราข้าวทอง บริษัท อุตสาหกรรมอาหารไทย (1964) จำกัด
3. เนื้อปลากะพงขาวแช่แข็ง ตราเมอร์คิวรี่ บริษัท ดี ฟู้ดส์ โปรดักส์ จำกัด
4. เนื้อปลาทรายแดงแช่แข็ง ตราเอสเอสพี บริษัท เซาท์เทอร์น ซีฟูด โปรดักส์ จำกัด
5. น้ำตาลทราย ตรามิตรผล บริษัท มิตรผล จำกัด ประเทศไทย
6. แคปปา-คาราจีแนน บริษัท Kelcogel ประเทศสหรัฐอเมริกา

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องบดผสมอาหาร Phillips รุ่น HR2118 ประเทศเนเธอร์แลนด์
2. เครื่องบดผสมอาหาร BRAUN รุ่น Combimax 600 ประเทศเยอรมนี
3. เครื่องชั่งแบบละเอียด Sartorius basis รุ่น BA 610 ประเทศเยอรมนี
4. เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture analyzer) Stable Micro System รุ่น TA.XT Plus ประเทศอังกฤษ
5. เครื่องวัดค่าสี (Colorimeter) Hunterlab รุ่น miniscan ประเทศสหรัฐอเมริกา
6. เครื่องวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (Kjeldahl apparatus) BUCHI รุ่น B-324 ประเทศสวิสเซอร์แลนด์
7. เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) Hermle Labortechnik GmbH รุ่น Z 326 K ประเทศเยอรมนี
8. อุปกรณ์ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส เช่น ถ้วยชิม แก้วน้ำ ช้อน
9. อุปกรณ์วิทยาศาสตร์ เช่น เครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิทอล โถดูดความชื้น
10. อุปกรณ์เครื่องแก้ว เช่น บีกเกอร์ แท่งแก้วคนสาร กระบอกตวง
11. อุปกรณ์เครื่องครัว เช่น หม้อสแตนเลส กะละมังสแตนเลส ทัพพี แม่พิมพ์ กระชอน ผ้าขาวบาง

วิธีดำเนินการทดลอง

ตอนที่ 1 การพัฒนาสูตรพุดดิ้งจากเนื้อปลาทะเลและถั่วพัลส์บด

พุดดิ้งสูตรพื้นฐานที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ดัดแปลงมาจากสูตรพุดดิ้งของ สลิลดา เศรษฐา (2558) ฤทัย เรืองธรรมสิงห์ และคณะ (2559) และ Greiff et al. (2015) ร่วมกับการทดลองทำปฏิบัติการเบื้องต้น พบว่า มีความเป็นไปได้ที่จะผลิตพุดดิ้งจากเนื้อปลาทะเล ได้แก่ เนื้อปลากะพงขาว ร่วมกับถั่วพัลส์บด โดยมีส่วนผสมของสูตรพื้นฐาน แสดงดังตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 ส่วนผสมของพุดดิ้งสูตรพื้นฐาน

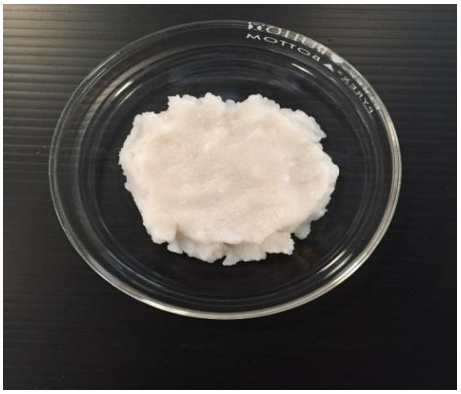
ส่วนผสม	ปริมาณ (กรัม)	(%)
ถั่วพัลส์บด	450.0	50.0
เนื้อปลากะพงขาวบด	18.0	2.0
น้ำตาลทราย	18.0	2.0
เกลือ	1.8	0.2
แคปปา-คาราจีแนน	7.2	0.8
น้ำ	405.0	45.0
รวม	900.0	100.0

การเตรียมถั่วพัลส์บด

สำหรับการเตรียมถั่วพัลส์บด ดัดแปลงจากวิธีการของ Kato และคณะ (1981) ร่วมกับกรรมวิธีการผลิตน้ำนมถั่วเหลืองของวันทนีย์ ป้อมบุบผา (2551) คัดเลือกถั่วพัลส์ที่ไม่มีตำหนินำมาล้างให้สะอาด นำมาให้ความร้อนในกระทะ (คั่ว) ที่อุณหภูมิ 80±2 เป็นเวลา 10 นาที แล้วแช่ในน้ำอุณหภูมิ 98±2 เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นนำถั่วที่ได้ไปบดด้วยเครื่องบดผสมอาหาร (Phillips รุ่น HR2118) ที่ความเร็วระดับ 1 เป็นเวลา 6 นาที อัตราส่วนถั่ว:น้ำ เท่ากับ 1:5 ได้เป็นถั่วพัลส์บด

การเตรียมเนื้อปลากะพงขาวบด

สำหรับการเตรียมเนื้อปลากะพงขาวบด ดัดแปลงมาจากวิธีของสุทธวัฒน์ เบญจกุล (2549) ทำได้โดย นำเนื้อปลากะพงขาวแช่แข็งมาละลายโดยนำมาแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส แล่ส่วนหนังปลาและชั้นไขมันออก จากนั้นนำเนื้อปลามาบดด้วยเครื่องปั่น (Phillips รุ่น HR2118) ที่ความเร็วระดับ 2 เป็นเวลา 3 นาที จากนั้นนำเนื้อปลากะพงขาวบดที่ได้มากดผ่านกระชอนที่มีขนาดรูตะแกรง 40 เมช เพื่อควบคุมความละเอียดของเนื้อปลากะพงขาวบด ลักษณะเนื้อปลากะพงขาวบดแสดงดังภาพที่ 3-1 แล้วนำไปแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส ระหว่างรอการใช้งาน



ภาพที่ 3-1 ลักษณะเนื้อปลากะพงขาวบดที่ใช้ในงานวิจัย

การผลิตพุดดิ้ง

สำหรับการเตรียมพุดดิ้งทำได้โดย ชั่งส่วนผสมทั้งหมดตามที่กำหนดโดยผลิตพุดดิ้งครั้งละ 900 กรัม จากนั้นนำถั่วพัลส์บดมาผสมกับเนื้อปลากะพงขาวบด โดยใช้เครื่องบดผสมอาหาร (BRAUN รุ่น Combimax 600) ที่ความเร็วระดับ 1 เป็นเวลา 5 นาที เตรียมสารละลายเจลโดย ต้มน้ำที่อุณหภูมิ 80±2 องศาเซลเซียส เติมแคปปา-คาราจีแนนลงไปละลายเป็นเวลา 2 นาทีจะได้สารละลายใส จากนั้นเติมสารละลายเกลือและน้ำตาลลงไป แล้วให้ความร้อนต่อเป็นเวลา 2 นาที แล้วจึงเติมส่วนผสมถั่วพัลส์บดผสมกับเนื้อปลากะพงขาวบดที่เตรียมไว้ลงในสารละลายเจลจนหมด ให้ความร้อนต่อเป็นเวลา 2 นาที แล้วจึงเทส่วนผสมลงในถ้วยพลาสติก ขนาด 30 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส เพื่อให้คงรูป

1.1 การศึกษาผลของการใช้ถั่วอะซูกิบดและถั่วเขียวบดต่อคุณภาพของพุดดิ้ง

ในขั้นตอนนี้มีแนวคิดแปรการใช้ถั่วพัลส์บดในสูตรการผลิตพุดดิ้ง ถั่วพัลส์ที่เลือกใช้ มีจำนวน 2 ชนิด ได้แก่ ถั่วอะซูกิ และ ถั่วเขียว โดยแปรการใช้ถั่วพัลส์บด 3 รูปแบบ ดังนี้ 1) การใช้ถั่วอะซูกิบดเพียงอย่างเดียว 2) การใช้ถั่วเขียวบดเพียงอย่างเดียว และ 3) การใช้ถั่วอะซูกิบดและถั่วเขียวบดผสมกันในอัตราส่วน 1:1 ได้เป็น 3 สิ่งทดลอง ทั้งนี้กำหนดการใช้ถั่วพัลส์บดเท่ากับ 50% เท่ากัน ดำเนินการเตรียมวัตถุดิบและผลิตพุดดิ้งตามรายละเอียดที่กล่าวไว้ข้างต้น โดยส่วนผสมในแต่ละสิ่งทดลอง แสดงดังตารางที่ 3-2

การวิเคราะห์คุณภาพ

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

2) ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000)

3) ปริมาณโปรตีน (AOAC, 2000)

4) ประเมินความชอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-Point hedonic scale โดย 1 คะแนน คือ ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 คะแนน คือ ชอบมากที่สุด ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน ประเมินความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส (ขณะตักและภายในปาก) และความชอบโดยรวม

การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD สำหรับการวิเคราะห์คุณภาพทุกด้าน ยกเว้นการประเมินทางประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบ RCBD เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Tukey's test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป Minitab version 17

เกณฑ์ในการคัดเลือก

เลือกสิ่งทดลองที่ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด (ได้คะแนนมากกว่า 6 คะแนน) และมีปริมาณโปรตีนสูง

ตารางที่ 3-2 ส่วนผสมของพุดดิ้งที่แปรการใช้ถั่วอะซูกิบดและถั่วเขียวบด

ส่วนผสม	สิ่งทดลองที่ 1		สิ่งทดลองที่ 2		สิ่งทดลองที่ 3	
	ปริมาณ (กรัม)	%	ปริมาณ (กรัม)	%	ปริมาณ (กรัม)	%
ถั่วอะซูกิบด	450.0	50.0	-	-	225.0	25.0
ถั่วเขียวบด	-	-	450.0	50.0	225.0	25.0
เนื้อปลากะพงขาวบด	18.0	2.0	18.0	2.0	18.0	2.0
น้ำตาลทราย	18.0	2.0	18.0	2.0	18.0	2.0
เกลือ	1.8	0.2	1.8	0.2	1.8	0.2
แคปปา-คาราจีแนน	7.2	0.8	7.2	0.8	7.2	0.8
น้ำ	405.0	45	405.0	45	405.0	45
รวม	900.0	100.0	900.0	100.0	900.0	100.0

1.2 ศึกษาผลของปริมาณเนื้อปลากะพงขาวบดและแคปปา-คาราจีแนนต่อคุณภาพของพุดดิ้ง

ในขั้นตอนนี้มีแนวคิดที่จะเพิ่มการใช้ปริมาณเนื้อปลาในสูตรพุดดิ้ง อย่างไรก็ตามการเพิ่มปริมาณเนื้อปลาอาจมีผลกระทบต่อปริมาณแคปปา-คาราจีแนนที่ใช้ด้วย จึงแปรปริมาณเนื้อปลากะพงขาวและแคปปา-คาราจีแนน เพื่อศึกษาผลของปริมาณเนื้อปลากะพงขาวและคาราจีแนนต่อคุณภาพของพุดดิ้งและหาปริมาณการใช้ที่เหมาะสมที่สุด โดยใช้สูตรและวิธีการผลิตพุดดิ้งตามที่เลือกได้จากข้อ 1.1 แปรปริมาณเนื้อปลากะพงขาวให้อยู่ในช่วง 2.0%-10.0% และปริมาณแคปปา-คาราจีแนนอยู่ในช่วง 0.5%-1.5% โดยใช้น้ำเป็นตัวปรับส่วนผสมให้รวมกันได้ 100% แสดงดังตารางที่ 3-3 โดยจัดสิ่งทดลองแบบ Central Composite Design (CCD) แบบหุ่นกำลังสองมาตรฐาน ศึกษาปัจจัยละ 5 ระดับ (ค่ารหัส -1.414, -1, 0, 1, 1.414) มีการทำซ้ำที่จุดกึ่งกลาง (ค่ารหัส 0) จำนวน 2 ซ้ำ รวมได้ 10 สิ่งทดลอง แสดงดังตารางที่ 3-4

ตารางที่ 3-3 ส่วนผสมของพุดดิ้งจากเนื้อปลากะพงขาวและถั่วพัลส์บด

ส่วนผสม	ปริมาณ (%)
ถั่วพัลส์บด (คัดเลือกได้จากข้อ 1.1)	50.0
เนื้อปลากะพงขาวบด	2.0-10.0
น้ำตาลทราย	3.0
เกลือ	2.0
แคปปา-คาราจีแนน	0.5-1.5
น้ำ	ใช้ปรับส่วนผสมให้เป็น 100%

ตารางที่ 3-4 สิ่งทดลองที่ได้จากการจัดแบบ CCD แบบหุ่นกำลังสองมาตรฐาน เมื่อแปรปริมาณเนื้อปลากะพงขาว (X_1) และแคปปา-คาราจีแนน (X_2)

สิ่งทดลอง	ค่ารหัส		ค่าจริง	
			เนื้อปลากะพงขาว (%)	แคปปา-คาราจีแนน (%)
	X_1	X_2		
1	-1	-1	3.20	0.65
2	-1	1	3.20	1.35
3	1	-1	8.80	0.65
4	1	1	8.80	1.35
5	-1.414	0	2.00	1.00
6	1.414	0	10.00	1.00
7	0	-1.414	6.00	0.50
8	0	1.414	6.00	1.50
9	0	0	6.00	1.00
10	0	0	6.00	1.00

*ใช้น้ำเป็นตัวปรับส่วนผสมให้ได้ 100%

การวิเคราะห์คุณภาพ

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

2) ลักษณะเนื้อสัมผัส ด้วยเครื่องทดสอบลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture analyzer) ทดสอบด้วยวิธี Texture Profile Analysis (TPA) และรายงานผลเป็นค่า Hardness, Adhesiveness และ Cohesiveness (ดัดแปลงจาก Hayakawa et al., 2014)

3) ประเมินความชอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-Point hedonic scale โดย 1 คะแนน คือ ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 คะแนน คือ ชอบมากที่สุด เสนอตัวอย่างโดยการแบ่งชิมครั้งละ 3-4 ตัวอย่าง เพื่อลดความเมื่อยล้าทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบ ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน ประเมินความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส (ขณะตักและภายในปาก) และความชอบโดยรวม

การวิเคราะห์ทางสถิติ

1) การวิเคราะห์สมการถดถอยแบบพหุ (Multiple regressions) ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามที่วิเคราะห์ (Y) และตัวแปรที่ศึกษา (X) โดยมีความสัมพันธ์ดังนี้

$Y = f(X_1, X_2)$

เมื่อ Y คือ ตัวแปรตามที่วิเคราะห์

และ X_{1-2} คือ ตัวแปรต้นที่ศึกษา คือ ปริมาณเนื้อกะพงขาวบด และปริมาณแคปปา-คาราจีแนน

วิเคราะห์สมการถดถอยแบบพหุ พิจารณาความน่าเชื่อถือของสมการจาก R^2 (Coefficient of Determination) ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ถ้ามีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าสมการมีความเหมาะสม ค่า Model Significance ซึ่งบอกถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Y และค่า X ถ้ามีค่าต่ำกว่า 0.05 แสดงถึงค่า Y และ X มีความสัมพันธ์กันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (Hu, 1999)

2) การทวนสอบความแม่นยำของสมการที่ทำนายได้ โดยดำเนินการทดลองซ้ำเพื่อให้ได้ค่าตอบสนองที่ได้จากการทดลอง (Yex) และแทนค่าตัวแปรที่ศึกษา (X_{1-2}) ในสมการที่วิเคราะห์ได้และมีความน่าเชื่อถือ เพื่อให้ได้ค่าตอบสนองที่ได้จากการทำนาย (Ypred) คำนวณค่า Root Mean Square (RMS) ซึ่งบ่งบอกถึงความคลาดเคลื่อนของการทำนายจากการใช้สมการ ถ้ามีค่าต่ำกว่า 20% แสดงว่า ค่าที่ได้จากการทำนายมีความคลาดเคลื่อนจากค่าจริงน้อย (Julian, 2004) คำนวณค่า RMS ได้จากสูตร

$$RMS = 100 \sqrt{\sum \frac{\left[\frac{(Yex - Ypred)}{Ypred}\right]^2}{N}}$$

เมื่อ Yex คือ ค่าตอบสนองที่ได้จากการทดลอง

Ypred คือ ค่าตอบสนองที่ได้จากการทำนาย

N คือ จำนวนข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

3) นำสมการที่น่าเชื่อถือและผ่านการทวนสอบมาสร้างกราฟพื้นผิวการตอบสนอง (Response Surface Plot) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Statistica Version 7.0 (Trial version) เพื่อพิจารณาแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม (Y) และตัวแปรที่ศึกษา (X)

4) วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD สำหรับการวิเคราะห์คุณภาพทุกด้าน ยกเว้นวางแผนการทดลองแบบ RCBD สำหรับการทดสอบทางประสาทสัมผัส เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Tukey's test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

เกณฑ์ในการคัดเลือก

เลือกสิ่งทดลองที่ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด (ได้คะแนนมากกว่า 6 คะแนน) และพิจารณาร่วมกับคุณภาพด้านอื่นๆที่วัดได้

ตอนที่ 2 การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของพุดดิ้งจากเนื้อปลาทะเลและถั่วพัลส์ต้นแบบที่พัฒนาได้

ผลิตพุดดิ้งจากเนื้อปลาทะเลจำนวน 3 ชนิด ได้แก่ ปลากะพงขาว ปลาทู และปลาทรายแดง โดยใช้สูตรตามที่เลือกได้จากตอนที่ 1 แล้วสุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์คุณภาพที่เกี่ยวข้องกับคุณค่าทางโภชนาการ

การวิเคราะห์คุณภาพ

1) ปริมาณองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า และเส้นใย (AOAC, 2000)

2) ปริมาณใยอาหารทั้งหมด ตามวิธี enzymatic-gravimetric (AOAC, 2000)

3) ปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำ ตามวิธี enzymatic-gravimetric (AOAC, 2000)

4) ปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ตามวิธี enzymatic-gravimetric (AOAC, 2000)

5) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (ดัดแปลงจากวิธี Hun et al., 2003)

6) สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี DPPH scavenging activity (ดัดแปลงจากวิธีของ Karagozler et al., 2008 และวิธีของ Hun et al, 2003)

ตอนที่ 3 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพพุดดิ้งระหว่างการเก็บรักษาในสภาวะแช่เย็น

ผลิตพุดดิ้งจากถั่วพัลส์บดผสมเนื้อปลาตามที่เลือกได้จากตอนที่ 1 โดยบรรจุในถ้วยพลาสติกและมีฝาปิดชนิดโพลีโพรพิลีน ขนาด 30 มิลลิลิตร (เส้นผ่านศูนย์กลางถ้วย 4 เซนติเมตร) ตัวอย่างลักษณะบรรจุภัณฑ์ แสดงดังภาพที่ 3-2 เก็บรักษาโดยแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส สุ่มตัวอย่างที่การเก็บ 0 7 14 และ 21 วัน เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทั้งทางด้านกายภาพ เคมี จุลินทรีย์ และประสาทสัมผัส

ภาพที่ 3-2 ลักษณะบรรจุภัณฑ์ที่ใช้บรรจุพุดดิ้ง

การวิเคราะห์คุณภาพ

1) คุณภาพด้านสี ด้วยเครื่องวัดสี (Colorimeter) และรายงานผลเป็นค่า L* a* และ b* และคำนวณค่าการเปลี่ยนแปลงของสี (ΔE) ระหว่างการเก็บรักษาโดยเปรียบเทียบกับค่าสีของผลิตภัณฑ์ที่เก็บ 0 สัปดาห์

2) ลักษณะเนื้อสัมผัส ด้วยเครื่องทดสอบลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture analyzer) ทดสอบด้วยวิธี Texture Profile Analysis (TPA) และรายงานผลเป็นค่า Hardness, Adhesiveness และ Cohesiveness (Hayakawa et al., 2014)

3) การแยกตัวของของเหลว (Syneresis) (ดัดแปลงจากวิธีของ Rodarte et al., 1993)

4) ปริมาณโปรตีน (AOAC, 2000)

5) ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา (BAM, 2001)

6) ปริมาณ *Vibrio cholerae* (BAM, 2001)

7) ประเมินความชอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-Point hedonic scale โดย 1 คะแนน คือ ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 คะแนน คือ ชอบมากที่สุด ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 20 คน ประเมินความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส (ขณะตักและภายในปาก) และความชอบโดยรวม

การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) สำหรับการวิเคราะห์คุณภาพทุกค่า และวางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD) สำหรับการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Tukey’s test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตอนที่ 4 การทดสอบการยอมรับของพุดดิ้งจากเนื้อปลาทะเลและถั่วพัลส์ที่พัฒนาได้

ผลิตพุดดิ้งที่พัฒนาได้โดยใช้ปลาจำนวน 3 ชนิด ได้แก่ ปลากะพงขาว ปลาทู และปลาทรายแดง นำมาทดสอบความชอบวิธี 9- point hedonic scale ในด้านต่างๆ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส (ขณะตักและภายในปาก) และความชอบโดยรวม ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน

ตอนที่ 5 การถ่ายทอดเทคโนโลยีและความรู้ที่ได้จากการวิจัยสู่ชุมชน

ดำเนินการจัดส่งแผ่นพับที่มีเนื้อหาถ่ายทอดเทคโนโลยีและความรู้ที่ได้จากการวิจัยส่งให้ชุมชน ตีพิมพ์ผลงานวิจัยในวารสารทางวิชาการ และร่วมจัดนิทรรศการทางวิชาการ

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

ตอนที่ 1 ผลการพัฒนาสูตรพุดดิ้งจากเนื้อปลาทะเลและถั่วพัลส์บด

1.1 ผลของการใช้ถั่วอะซูกิบดและถั่วเขียวบดต่อคุณภาพของพุดดิ้ง

จากการทดลองทำปฏิบัติการเบื้องต้น พบว่า มีความเป็นไปได้ที่จะผลิตพุดดิ้งจากเนื้อปลากะพงขาวและถั่วพัลส์บด จากการแปรการใช้ถั่วพัลส์บด 3 รูปแบบ ได้แก่ 1) การใช้ถั่วอะซูกิบดเพียงอย่างเดียว 2) การใช้ถั่วเขียวบดเพียงอย่างเดียว และ 3) การใช้ถั่วอะซูกิบดและถั่วเขียวบดผสมกันในอัตราส่วน 1:1 ได้เป็น 3 สิ่งทดลอง โดยกำหนดใช้ถั่วพัลส์บดเท่ากับ 50% เท่ากัน พุดดิ้งที่ผลิตได้ทั้ง 3 สิ่งทดลองแสดงดังภาพที่ 4-1

ก) พุดดิ้งที่ใช้ถั่วอะซูกิบด ข) พุดดิ้งที่ใช้ถั่วเขียวบด ค) พุดดิ้งที่ใช้ถั่วอะซูกิบดและถั่วเขียวบด

ภาพที่ 4-1 ลักษณะของพุดดิ้งที่แปรปริมาณการใช้ถั่วอะซูกิบดและถั่วเขียวบด

1.1.1 ค่าสี

ผลการวิเคราะห์ค่าสีในระบบ CIE LAB แสดงผลดังตารางที่ 4-1 พบว่า ค่าสี L* a* และ b* ของพุดดิ้งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากถั่วอะซูกิบดและถั่วเขียวบดมีสีแตกต่างกัน โดยถั่วอะซูกิบดมีสีแดงอมม่วง เนื่องจากถั่วอะซูกิมีสีแดง ซึ่งมีส่วนประกอบของแอนโทไซยานิน ในขณะที่ถั่วเขียวบดมีสีเขียวอ่อน เนื่องจากถั่วเขียวมีสีเขียว ซึ่งมีส่วนประกอบของคลอโรฟิลล์ (รัชนี ตัณฑพานิช, 2547) ลักษณะสีของถั่วอะซูกิบดและถั่วเขียวบด แสดงดังภาพที่ 4-2 การนำมาใช้ในพุดดิ้งจึงทำให้ได้ผลิตภัณฑ์พุดดิ้งมีสีแตกต่างกัน โดยพุดดิ้งที่ได้มีแนวโน้มสีตามถั่วพัลส์บดที่ใช้ จากผลการทดลอง พบว่า สิ่งทดลองที่ 1 ซึ่งใช้ถั่วอะซูกิบดเพียงอย่างเดียว 50% มีค่าความสว่าง (L*) ต่ำที่สุดเท่ากับ 48.32 ค่าความเป็นสีแดง (a*) สูงที่สุด เท่ากับ 8.02 และมีค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ต่ำที่สุด เท่ากับ 9.33 ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 2 ซึ่งใช้ถั่วเขียวบดเพียงอย่างเดียว 50% มีค่าความสว่าง (L*) สูงที่สุด เท่ากับ 52.41 ค่าความเป็นสีแดง (a*) ต่ำที่สุด เท่ากับ 0.07 และมีค่าความเป็นสีเหลือง (b*) สูงที่สุด เท่ากับ 18.41 ส่วนสิ่งทดลองที่ 3 ซึ่งใช้ถั่วอะซูกิบด 25% และถั่ว

เขียวบด 25% ผสมกัน พบว่า มีค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) อยู่ในระดับปานกลาง เท่ากับ 49.16 4.17 และ 12.29 ตามลำดับ

ตารางที่ 4-1 ค่าสี L* a* และ b* ของพุดดิ้งที่แปรปริมาณการใช้ถั่วอะซูกิบดและถั่วเขียวบด

สิ่งทดลอง	ถั่วอะซูกิบด (%)	ถั่วเขียวบด (%)	ค่าเฉลี่ย ± SD		
			L*	a*	b*
1	50	-	48.32^{C} ± 0.16	8.02^{A} ± 0.08	9.33^{C} ± 0.14
2	-	50	52.41^{A} ± 0.02	0.07^{C} ± 0.07	18.41^{A} ± 0.53
3	25	25	49.16^{B} ± 0.44	4.17^{B} ± 0.12	12.29^{B} ± 0.15

$^{A, B,...}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ภาพที่ 4-2 ลักษณะสีของถั่วอะซูกิบดและถั่วเขียวบด

1.1.2 ปริมาณความชื้นและโปรตีน

ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นและโปรตีน แสดงผลดังตารางที่ 4-2 พบว่า พุดดิ้งมีปริมาณความชื้นและโปรตีนแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\geq0.05$) พุดดิ้งทั้ง 3 สิ่งทลองมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 51.27-52.07 กรัมต่อ 100 กรัม และปริมาณโปรตีนอยู่ในช่วง 2.44-2.64 กรัมต่อ 100 กรัม แสดงให้เห็นว่าการใช้ถั่วพัลส์บดทั้ง 3 รูปแบบไม่ได้มีผลต่อปริมาณความชื้นและโปรตีนของพุดดิ้งที่ผลิตได้

ตารางที่ 4-2 ปริมาณความชื้นและปริมาณโปรตีนของพุดดิ้งที่แปรปริมาณการใช้ถั่วอะซูกิบดและถั่วเขียวบด

สิ่งทดลอง	ถั่วอะซูกิบด (%)	ถั่วเขียวบด (%)	ปริมาณความชื้นเฉลี่ย^{NS} ± SD (กรัมต่อ 100 กรัม)	ปริมาณโปรตีนเฉลี่ย^{NS} ± SD (กรัมต่อ 100 กรัม)
1	50	-	51.51 ± 0.29	2.55 ± 0.08
2	-	50	52.07 ± 0.28	2.64 ± 0.01
3	25	25	51.27 ± 0.19	2.44 ± 0.01

^{NS} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P≥0.05)

1.1.3 การประเมินความชอบทางประสาทสัมผัส

ผลการประเมินความชอบทางประสาทสัมผัส แสดงผลดังตารางที่ 4-3 พบว่า คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี เนื้อสัมผัสภายในปาก และความชอบโดยรวมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) แต่ความชอบด้านกลิ่นรส รสชาติ และเนื้อสัมผัสขณะตัก แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P≥0.05)

เมื่อพิจารณาผลการประเมินความชอบทางประสาทสัมผัสด้านที่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P≥0.05) แสดงให้เห็นว่าการใช้ถั่วพัลส์บดทั้ง 3 รูปแบบ ไม่มีผลต่อความชอบด้านกลิ่นรส รสชาติ และเนื้อสัมผัสขณะตัก โดยได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่นรส รสชาติ และเนื้อสัมผัสขณะตัก อยู่ในช่วง 5.55-5.95 5.65-6.10 และ 5.90-6.25 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในระดับเฉยๆ ถึงชอบเล็กน้อย โดยปกติถั่วดิบจะมีกลิ่นเฉพาะตัวที่เรียกว่า กลิ่นถั่ว (Beany odor) หรือ กลิ่นรสถั่ว (Beany flavor) ซึ่งเป็นกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ที่ผู้บริโภคส่วนใหญ่ปฏิเสธและไม่ให้การยอมรับ จากการทดลองเบื้องต้น พบว่า หากนำถั่วดิบมาปั่นผสมกับน้ำโดยไม่ผ่านการให้ความร้อน ทั้งถั่วอะซูกิบดและถั่วเขียวบดจะยังคงมีกลิ่นถั่วซึ่งอาจมีผลต่อการยอมรับผลิตภัณฑ์พุดดิ้งได้ สำหรับด้านรสชาติ พบว่า ถั่วอะซูกิบดและถั่วเขียวบดมีรสชาติอ่อนและมีความคล้ายกัน รสชาติของพุดดิ้งจึงมาจากการปรุงแต่งรสชาติด้วยน้ำตาลและเกลือมากกว่า ซึ่งในการทดลองควบคุมปริมาณการใช้เท่ากัน จึงไม่ได้มีผลให้รสชาติของพุดดิ้งทั้ง 3 สิ่งทดลอง แตกต่างกันมากนัก ผู้ทดสอบจึงให้คะแนนความชอบรสชาติไม่แตกต่างกัน (P≥0.05) สำหรับด้านเนื้อสัมผัสขณะตักพบข้อสังเกตว่า พุดดิ้งที่ได้ทั้ง 3 สิ่งทดลอง มีลักษณะเนื้อสัมผัสคงตัวดีคล้ายกัน จึงส่งผลให้ได้รับคะแนนความชอบเนื้อสัมผัสขณะตักไม่แตกต่างกัน (P≥0.05)

เมื่อพิจารณาผลการประเมินความชอบทางประสาทสัมผัสด้านที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) แสดงให้เห็นว่าการใช้ถั่วพัลส์บดทั้ง 3 รูปแบบมีผลต่อความชอบด้านด้านลักษณะปรากฏ สี เนื้อสัมผัสภายในปาก และความชอบโดยรวม โดยพบว่าคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี และความชอบโดยรวม มีแนวโน้มคล้ายกันกล่าวคือ สิ่งทดลองที่ 1 และสิ่งทดลองที่ 2 ได้รับคะแนนความชอบอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบมาก (5.90-6.90) ซึ่งแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทาง

สถิติ (P≥0.05) และได้รับคะแนนมากกว่าสิ่งทดลองที่ 3 ที่ได้รับคะแนนความชอบอยู่ในระดับเฉยๆถึงชอบเล็กน้อย (5.50-6.35) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสิ่งทดลองที่ 3 เป็นการใช้ถั่วอะซูกิบดและถั่วเขียวบดพัลส์ผสมกัน ทำให้สีของผลิตภัณฑ์พุดดิ้งมีสีออกน้ำตาลที่เกิดจากการผสมของสีแดงอมม่วงของถั่วอะซูกิบดกับสีเขียวอ่อนของถั่วเขียวบด ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 1 และ สิ่งทดลองที่ 2 ซึ่งใช้ถั่วบดเพียงชนิดเดียวทำให้สีของผลิตภัณฑ์พุดดิ้งมีสีแดงอมม่วงหรือสีเขียวชัดเจน ซึ่งอาจทำให้ผู้ทดสอบชอบลักษณะปรากฏและสีของสิ่งทดลองที่ 1 และ สิ่งทดลองที่ 2 มากกว่า สำหรับด้านเนื้อสัมผัสภายในปาก พบว่า สิ่งทดลองที่ 2 ได้รับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสภายในปากสูงที่สุด เท่ากับ 6.00 ซึ่งอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย จากข้อสังเกตพบว่าแม้ลักษณะพุดดิ้งที่ได้ทั้ง 3 สิ่งทดลอง มีความคงตัวคล้ายกัน แต่พบว่าเนื้อสัมผัสขณะอยู่ในปากมีความแตกต่างกันเล็กน้อย โดยพบว่า สิ่งทดลองที่ 2 ซึ่งใช้ถั่วเขียวบดเพียงอย่างเดียวมีลักษณะเนื้อสัมผัสเป็นเจลที่มีลักษณะคงตัวและมีความยืดหยุ่นมากกว่าสิ่งทดลองอื่น

1.1.4 การคัดเลือกสิ่งทดลองที่เหมาะสมที่สุด

จากเกณฑ์การคัดเลือกสิ่งทดลองที่กำหนดไว้ คือ เลือกสิ่งทดลองที่ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด (ได้คะแนนมากกว่า 6 คะแนน) มีปริมาณโปรตีนสูง โดยพิจารณาร่วมกับคุณภาพด้านอื่นๆที่วัดได้ จากผลการทดลอง พบว่า สิ่งทดลองที่ 2 ซึ่งใช้ถั่วเขียวบดเพียงอย่างเดียว 50% ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด (ได้คะแนนเท่ากับ 6.65) มีแนวโน้มปริมาณโปรตีนสูงกว่าสิ่งทดลองอื่น (ปริมาณโปรตีนเท่ากับ 2.64 กรัม/100กรัม) รวมทั้งได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี และเนื้อสัมผัสภายในปากมากที่สุดด้วย จึงเลือกสิ่งทดลองที่ 2 ซึ่งใช้ถั่วเขียวบดเพียงอย่างเดียว 50% สำหรับในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 4-3 คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของพุดดิ้งที่แปรปริมาณการใช้ถั่วอะซูกิบดและถั่วเขียวบด

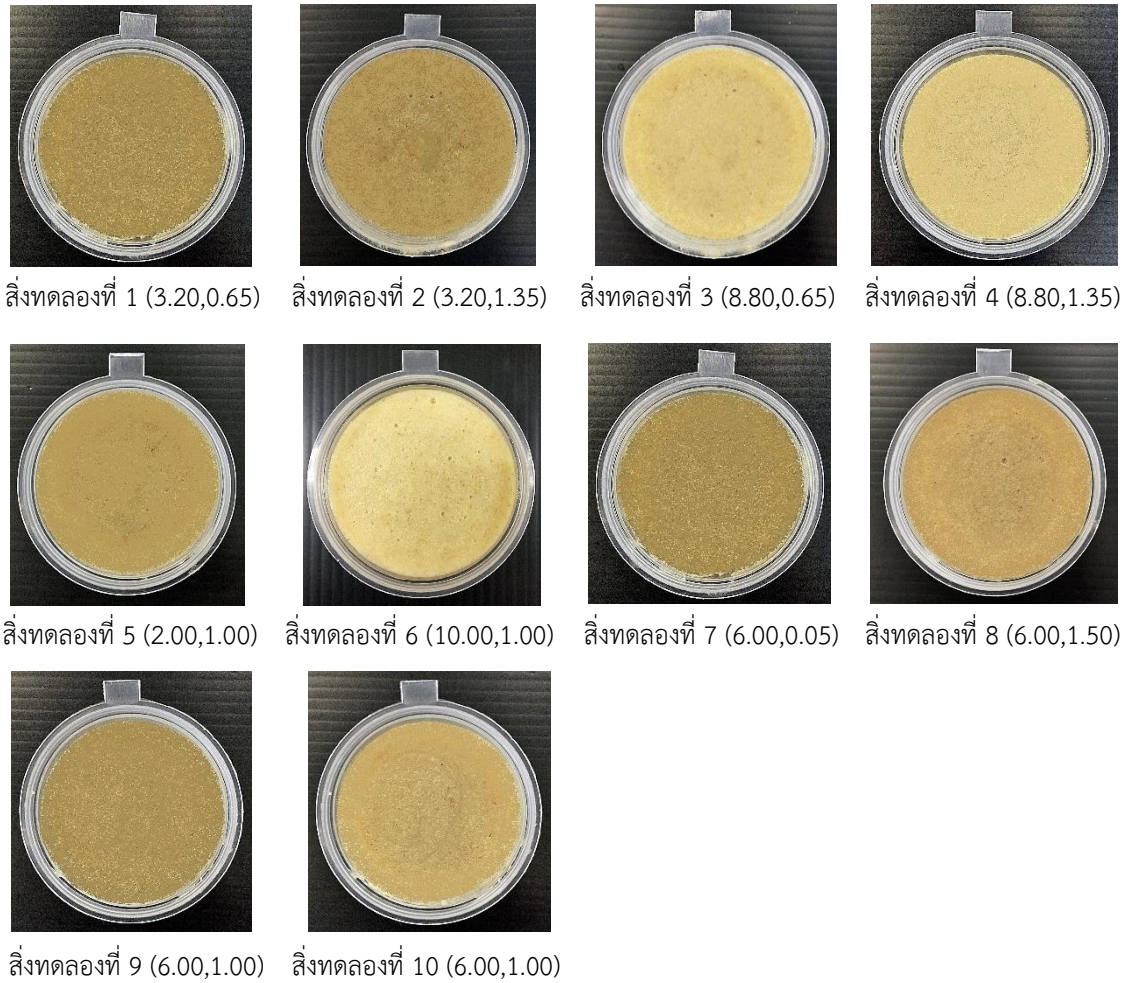
สิ่งทดลอง	ถั่วอะซูกิบด (%)	ถั่วเขียวบด (%)	คะแนนความชอบเฉลี่ย ± SD						
			ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่นรส^{NS}	รสชาติ^{NS}	เนื้อสัมผัสขณะตัก^{NS}	เนื้อสัมผัสภายในปาก	ความชอบโดยรวม
1	50	-	6.90^{A} ± 0.79	6.70^{A} ± 0.8	5.95 ± 0.89	5.90 ± 0.55	6.25 ± 0.85	5.90^{AB} ± 0.85	6.35^{A} ± 0.88
2	-	50	6.85^{A} ± 0.81	6.65^{A} ± 0.81	5.85 ± 0.88	6.10 ± 0.85	6.20 ± 0.70	6.00^{A} ± 0.86	6.65^{A} ± 0.59
3	25	25	6.35^{B} ± 0.88	6.05^{B} ± 0.94	5.55 ± 0.89	5.65 ± 0.93	5.90 ± 0.79	5.55^{B} ± 0.94	5.50^{B} ± 0.83

$^{A, B,...}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

^{NS} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\geq0.05$)

1.2 ผลของปริมาณเนื้อปลากะพงขาวบดและแคปปา-คาราจีแนนต่อคุณภาพของพุดดิ้ง

ในขั้นตอนนี้เป็นการแปรปริมาณเนื้อปลากะพงขาวบดและแคปปา-คาราจีแนน เพื่อศึกษาผลของปริมาณเนื้อปลากะพงขาวและคาราจีแนนต่อคุณภาพของพุดดิ้งและหาปริมาณการใช้ที่เหมาะสมที่สุด โดยใช้สูตรและวิธีการผลิตพุดดิ้งตามที่เลือกได้จากข้อ 1.1 ควบคุมปริมาณถั่วเขียวบด 50% น้ำตาลทราย 2.0% เกลือ 0.2% แล้วใช้น้ำปรับส่วนผสมให้เป็น 100% โดยแปรปริมาณเนื้อปลากะพงขาวบดอยู่ในช่วง 2.0%-10.0% และแคปปา-คาราจีแนน 0.5%-1.5% จัดสิ่งทดลองแบบ Central Composite Design (CCD) แบบหุ่นกำลังสองมาตรฐาน ศึกษาปัจจัยละ 5 ระดับ (ค่ารหัส -1.414, -1, 0, 1, 1.414) มีการทำซ้ำที่จุดกึ่งกลาง (ค่ารหัส 0) จำนวน 2 ซ้ำ รวมได้ 10 สิ่งทดลอง โดยลักษณะพุดดิ้งที่ผลิตได้ทั้ง 10 สิ่งทดลอง แสดงดังภาพที่ 4-3



ภาพที่ 4-3 ลักษณะของพุดดิ้งที่แปรปริมาณการใช้เนื้อปลากะพงขาวบดและแคปปา-คาราจีแนน (% เนื้อปลากะพงขาวบด, % แคปปา-คาราจีแนน)

1.2.1 ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบพหุ (Multiple regressions)

จากการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบพหุซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามที่วิเคราะห์จำนวน 13 ตัวแปร ได้แก่ ค่าสี L* ค่าสี a* ค่าสี b* ค่า Hardness ค่า Adhesiveness ค่า Cohesiveness คะแนนความชอบลักษณะปรากฏ คะแนนความชอบสี คะแนนความชอบกลิ่นรส คะแนนความชอบรสชาติ คะแนนความชอบเนื้อสัมผัสขณะตัก คะแนนความชอบเนื้อสัมผัสภายในปาก และคะแนนความชอบโดยรวม (Y_1-Y_{13}) และตัวแปรต้นที่ศึกษาจำนวน 2 ตัวแปร ได้แก่ ปริมาณเนื้อปลากะพงขาวบด และปริมาณแคปปา-คาราจีแนน (X_1-X_2) ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4-4 พิจารณาความน่าเชื่อถือของสมการจากค่า R^2 (Coefficient of Determination) ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ถ้ามีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าสมการมีความน่าเชื่อถือและเหมาะสมที่จะนำมาทำนายค่าได้ ค่า Model Significance บ่งบอกถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Y และค่า X ถ้ามีค่าต่ำกว่า 0.05 แสดงถึงค่า Y และค่า X มีความสัมพันธ์กันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (Hu, 1999) จากผลการวิเคราะห์ พบว่า สมการทั้ง 13 สมการ มีค่า R^2 อยู่ในช่วง 0.146-0.999 และค่า Model Significance มีค่าอยู่ในช่วง 0.000-0.304

จากผลการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบพหุ พบข้อสังเกตว่า สมการของคะแนนความชอบทุกด้าน (จำนวน 7 สมการ) มีค่า R^2 อยู่ในช่วง 0.146-0.298 ซึ่งน้อยกว่า 0.75 แสดงถึงสมการทำนายข้อมูลได้ไม่เที่ยงตรงดีพอ ทั้งนี้อาจเนื่องมากจากคะแนนความชอบเป็นการประเมินทางประสาทสัมผัสที่ต้องใช้ผู้ประเมินเป็นผู้บริโภคทั่วไป คะแนนที่ได้จึงเป็นความพึงพอใจและความชอบเฉพาะบุคคลของผู้ประเมิน อีกทั้งผลิตภัณฑ์พุดดิ้งในงานวิจัยนี้เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่ผู้บริโภคบางคนอาจไม่คุ้นเคยทำให้แนวโน้มคะแนนความชอบแต่ละด้านไม่เป็นไปในทางเดียวกันทั้งหมด สำหรับอีกสมการหนึ่งคือ สมการของค่า Cohesiveness ที่มีค่า R^2 เท่ากับ 0.741 ซึ่งน้อยกว่า 0.75 เช่นกัน แม้ค่า R^2 จะน้อยกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้เล็กน้อย แต่ก็แสดงให้เห็นว่าสมการทำนายข้อมูลได้ไม่เที่ยงตรงดีพอหากเทียบกับสมการลักษณะเนื้อสัมผัสค่า Hardness และ ค่า Adhesiveness ที่มีค่า R^2 สูงถึง 0.973 และ 0.936 ตามลำดับ จึงไม่ควรเลือกมาใช้ต่อในขั้นตอนต่อไป

1.2.2 ผลการทวนสอบความแม่นยำของสมการ

จากการทวนสอบความแม่นยำของสมการที่เลือกได้ทั้ง 5 สมการ โดยดำเนินการทดลองซ้ำเพื่อให้ได้ค่าตอบสนองที่ได้จากการทดลอง (Yex) และแทนค่าตัวแปรที่ศึกษา (X_{1-2}) ในสมการที่เลือกได้ เพื่อให้ได้ค่าตอบสนองที่ได้จากการทำนาย (Ypred) และนำมาคำนวณค่า Root Mean Square (RMS) ซึ่งบ่งบอกถึงความคลาดเคลื่อนของการทำนายจากการใช้สมการ ได้ผลแสดงดังตารางที่ 4-5 ถึง 4-9

ตารางที่ 4-4 สมการถดถอยแบบพหุคูณระหว่างตัวแปรตามที่วิเคราะห์ (Y_1-Y_{13}) และตัวแปรต้นที่ศึกษา (X_{1-2})

ตัวแปรตาม	สมการ [I]	R^2	Model Significance	สรุปการเลือกสมการ [II]
ค่าสี L*	Y_1= 38.050+2.563X_1+14.469X_2-0.057X_1X_1-0.719X_1X_2-3.773X_2X_2	0.999	0.000	✓
ค่าสี a*	Y_2 =1.5441+0.0524X_1-0.969X_2 -0.0045X_1X_1 -0.0714X_1X_2+0.3296X_2X_2	0.995	0.000	✓
ค่าสี b*	Y_3 = 11.229+0.536X_1+10.154X_2-0.029X_1X_1-0.344X_1X_2-3.931X_2X_2	0.971	0.000	✓
ค่า Hardness	Y_4 = 867.437-124.702X_1-720.039X_2+5.852X_1X_1+88.564X_1X_2+472.233X_2X_2	0.973	0.000	✓
ค่า Adhesiveness	Y_5 = 71.6215-58.8773X_1+72.2377X_2 +1.2221X_1X_1+43.602X_1X_2-232.624 X_2X_2	0.936	0.000	✓
ค่า Cohesiveness	Y_6 = 0.575-0.011X_1+0.370X_2-0.0003X_1X_1+0.008X_1X_2-0.161X_2X_2	0.741	0.000	✗
คะแนนความชอบลักษณะปรากฏ	Y_7 = 4.701+0.106X_1+3.041X_2+0.004X_1X_1-0.166X_1X_2-0.850X_2X_2	0.252	0.262	✗
คะแนนความชอบสี	Y_8 = 5.606+0.054X_1+0.945X_2+0.008X_1X_1- 0.127X_1X_2+0.037X_2X_2	0.146	0.304	✗
คะแนนความชอบกลิ่นรส	Y_9 = 3.8597+0.2377X_1+3.2828X_2-0.0091X_1X_1-0.1148X_1X_2-1.1796X_2X_2	0.241	0.304	✗
คะแนนความชอบรสชาติ	Y_{10} = 4.008+0.089X_1+3.021X_2+0.002X_1X_1- 0.051X_1X_2 -1.095X_2X_2	0.298	0.012	✗
คะแนนความชอบเนื้อสัมผัสขณะตัก	Y_{11} = 5.469+0.135X_1+1.980X_2+0.001X_1X_1- 0.128X_1X_2-0.817X_2X_2	0.200	0.022	✗
คะแนนความชอบเนื้อสัมผัสภายในปาก	Y_{12} = 4.084-0.037X_1+4.881X_2 +0.001X_1X_1+0.038X_1X_2-2.319X_2X_2	0.290	0.001	✗
คะแนนความชอบโดยรวม	Y_{13} = 4.541-0.143X_1+3.789X_2+0.018X_1X_1-0.038X_1X_2-1.463X_2X_2	0.279	0.000	✗

[I] X_1 คือ ปริมาณเนื้อปลากะพงขาวบด X_2 คือ ปริมาณแคปปา-คาราจีแนน [II] ✓ หมายถึง สมการมีความเหมาะสมเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด (R^2≥0.75 และ Model Significance<0.05)

✗ หมายถึง สมการไม่มีความเหมาะสม

ตารางที่ 4-5 ผลการทวนสอบความแม่นยำของสมการจากการพิจารณาค่าตอบสนองที่ได้จากการทดลอง (Yex) ค่าตอบสนองที่ได้จากการทำนาย(Ypred) และผลการคำนวณค่า Root Mean Square (RMS) ของค่าสี L* (Y_1)

X_1	X_2	Yex	Ypred	Residual (Yex-Ypred)
3.20	0.65	54.05	51.98	2.07
3.20	1.35	53.34	55.22	-1.88
8.80	0.65	60.89	59.89	1.00
8.80	1.35	58.98	60.31	-1.33
2.00	1.00	53.24	52.21	1.03
10.00	1.00	61.89	61.49	0.40
6.00	0.50	54.58	55.51	-0.93
6.00	1.50	59.80	58.12	1.68
6.00	1.00	57.68	57.76	-0.08
6.00	1.00	57.69	57.76	-0.07
	RMS (%)			2.25

ตารางที่ 4-6 ผลการทวนสอบความแม่นยำของสมการจากการพิจารณาค่าตอบสนองที่ได้จากการทดลอง (Yex) ค่าตอบสนองที่ได้จากการทำนาย (Ypred) และผลการคำนวณค่า Root Mean Square (RMS) ของค่าสี a* (Y_2)

X_1	X_2	Yex	Ypred	Residual (Yex-Ypred)
3.20	0.65	1.01	1.02	-0.01
3.20	1.35	0.68	0.67	0.01
8.80	0.65	0.68	0.76	-0.08
8.80	1.35	0.08	0.10	-0.02
2.00	1.00	0.85	0.86	-0.01
10.00	1.00	0.31	0.26	0.05
6.00	0.50	1.15	1.08	0.07
6.00	1.50	0.32	0.35	-0.03
6.00	1.00	0.64	0.63	0.01
6.00	1.00	0.64	0.63	0.01
	RMS (%)			10.02

ตารางที่ 4-7 ผลการทวนสอบความแม่นยำของสมการจากการพิจารณาค่าตอบสนองที่ได้จากการทดลอง (Yex) ค่าตอบสนองที่ได้จากการทำนาย (Ypred) และผลการคำนวณค่า Root Mean Square (RMS) ของค่าสี b* (Y_3)

X_1	X_2	Yex	Ypred	Residual (Yex-Ypred)
3.20	0.65	17.23	16.87	0.36
3.20	1.35	18.05	17.70	0.35
8.80	0.65	16.98	16.67	0.31
8.80	1.35	16.75	16.16	0.59
2.00	1.00	16.85	17.72	-0.87
10.00	1.00	16.45	16.47	-0.02
6.00	0.50	16.10	16.46	-0.36
6.00	1.50	16.66	16.69	-0.03
6.00	1.00	17.32	17.56	-0.24
6.00	1.00	17.35	17.56	-0.21
	RMS (%)			2.40

ตารางที่ 4-8 ผลการทวนสอบความแม่นยำของสมการจากการพิจารณาค่าตอบสนองที่ได้จากการทดลอง (Yex) ค่าตอบสนองที่ได้จากการทำนาย (Ypred) และผลการคำนวณค่า Root Mean Square (RMS) ของค่า Hardness (Y_4)

X_1	X_2	Yex	Ypred	Residual (Yex-Ypred)
3.20	0.65	460.21	444.02	16.19
3.20	1.35	790.35	799.50	-9.15
8.80	0.65	462.21	461.32	0.89
8.80	1.35	1154.96	1163.97	-9.01
2.00	1.00	563.68	570.76	-7.08
10.00	1.00	849.35	843.45	5.90
6.00	0.50	348.69	353.63	-4.94
6.00	1.50	1116.25	1109.44	6.81
6.00	1.00	615.39	613.48	1.91
6.00	1.00	615.25	613.48	1.77
	RMS (%)			1.41

ตารางที่ 4-9 ผลการทวนสอบความแม่นยำของสมการจากการพิจารณาค่าตอบสนองที่ได้จากการทดลอง (Yex) ค่าตอบสนองที่ได้จากการทำนาย (Ypred) และผลการคำนวณค่า Root Mean Square (RMS) ของค่า Adhesiveness (Y_5)

X_1	X_2	Yex	Ypred	Residual (Yex-Ypred)
3.20	0.65	-65.32	-64.91	-0.41
3.20	1.35	-234.25	-242.35	8.10
8.80	0.65	-160.89	-153.79	-7.10
8.80	1.35	-144.32	-160.30	15.98
2.00	1.00	-125.39	-114.43	-10.96
10.00	1.00	-135.78	-119.31	-16.47
6.00	0.50	-125.25	-128.88	3.63
6.00	1.50	-278.36	-260.28	-18.08
6.00	1.00	-156.79	-136.42	-20.37
6.00	1.00	-157.12	-136.42	-20.70
	RMS (%)			9.33

1.2.3 ผลการสร้างกราฟพื้นผิวการตอบสนอง

จากการนำสมการที่น่าเชื่อถือและผ่านการทวนสอบ ได้แก่ สมการของค่าสี (L* a* และ b*) และ ลักษณะเนื้อสัมผัส (ค่า Hardness และค่า Adhesiveness) มาสร้างกราฟพื้นผิวตอบสนอง (Response surface plot) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Statistica version 7.0 (Trial version) แสดงดังภาพที่ 4-4 ถึงภาพที่ 4-8

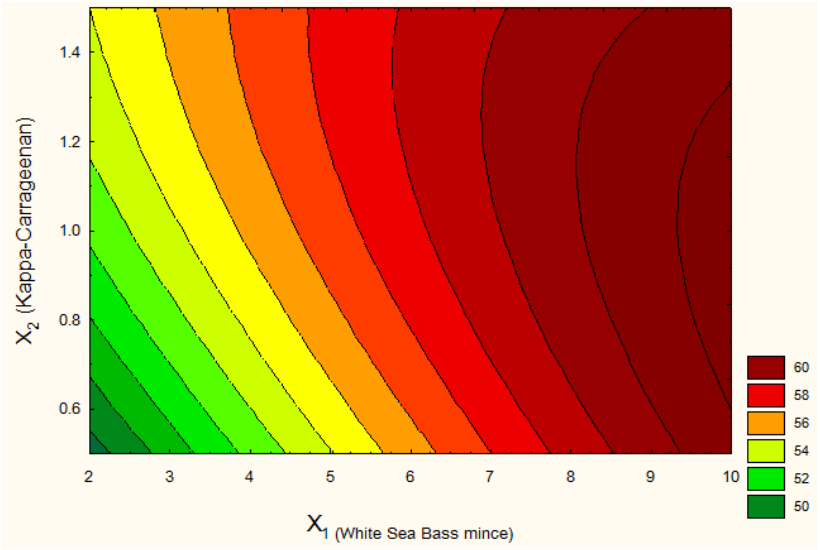
1) ค่าสี L* a* และ b*

จากภาพที่ 4-4 เมื่อพิจารณาถึงแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเนื้อปลากะพงขาวบด (X_1) และแคปปา-คาราจีแนน (X_2) ต่อค่าความสว่าง (L*) ของพุดดิ้ง พบว่า เมื่อใช้ปริมาณเนื้อปลากะพงขาวบดน้อยร่วมกับการใช้ปริมาณแคปปา-คาราจีแนนน้อย พุดดิ้งจะมีค่าสี L* น้อย (พื้นที่ส่วนสีเขียวในภาพที่ 4-4) ที่มีค่าสี L* อยู่ในช่วง 50-52 และเมื่อใช้ปริมาณเนื้อปลากะพงขาวบดมากขึ้นร่วมกับทุกระดับของปริมาณการใช้แคปปา-คาราจีแนน พุดดิ้งจะมีค่าสี L* มาก (พื้นที่ส่วนสีแดงในภาพที่ 4-4) ที่มีค่า L* อยู่ในช่วง 56-60 การใช้เนื้อปลากะพงขาวบดเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่า L* มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นซึ่งแสดงถึงมีความสว่างมากขึ้น อาจเนื่องมาจากเนื้อปลากะพงขาวบดเมื่อผ่านกระบวนการให้ความร้อนจึงทำให้เนื้อปลาสุกและมีสีขาวซึ่งเมื่อผสมกับถั่วเขียวบดซึ่งมีสีเขียวอ่อน จึงทำให้พุดดิ้งมีสีออกขาวมากขึ้นและมีสีเขียวที่อ่อนลง จึงมีค่าความสว่างมากขึ้นนั่นเอง

จากภาพที่ 4-5 และ 4-6 แสดงถึงแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเนื้อปลากะพงขาวบด (X_1) และแคปปา-คาราจีแนน (X_2) ต่อค่าสี a* และค่าสี b* ตามลำดับ พบว่า ลักษณะพื้นผิวตอบสนองบางส่วนมีความคล้ายกัน โดยเมื่อใช้ปริมาณเนื้อปลากะพงขาวบดมากร่วมกับการใช้ปริมาณแคปปา-คาราจีแนนมาก พุดดิ้งจะมีค่าสี a* และ ค่าสี b* น้อย (พื้นที่ส่วนสีเขียวในภาพที่ 4-5 และ 4-6) โดยมีค่าสี a* อยู่ในช่วง 0-0.2 แสดงถึงมีสีเขียวและสีแดงอ่อน และมีค่าสี b* อยู่ในช่วง 15.5-16 แสดงถึงมีสีเหลืองอ่อน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเหตุผลที่สอดคล้องกับค่าสี L* โดยการเติมเนื้อปลากะพงขาวบดปริมาณมาก เมื่อผ่านกระบวนการให้ความร้อนจึงทำให้เนื้อปลาสุกและมีสีขาวมาก จึงทำให้พุดดิ้งมีสีออกสว่าง ไม่คล้ำ โดยมีสีออกเขียวอ่อนหรือแดงอ่อนหรือเหลืองอ่อนมากขึ้น

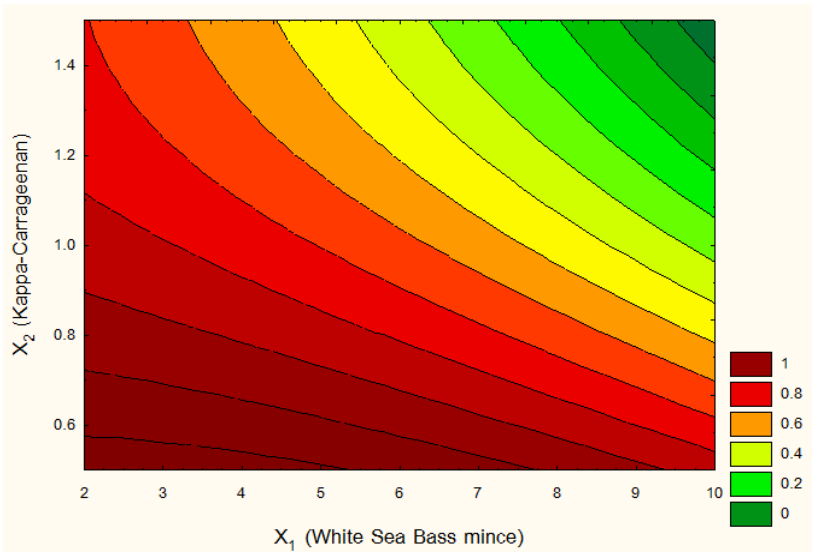
จากภาพที่ 4-5 พบว่า เมื่อใช้ปริมาณเนื้อปลากะพงขาวบดน้อยร่วมกับทุกระดับของปริมาณการใช้แคปปา-คาราจีแนน พุดดิ้งจะมีค่าสี a* มาก (พื้นที่ส่วนสีแดงในภาพที่ 4-5) โดยมีค่าสี a* อยู่ในช่วง 0.8-1.2 แสดงถึงมีสีแดงมาก และจากภาพที่ 4-6 พบว่า เมื่อใช้ปริมาณเนื้อปลากะพงขาวบดน้อยถึงค่อนข้างมาก (ประมาณ 2%-9%) ร่วมกับการใช้แคปปา-คาราจีแนนเกือบทุกระดับ (ประมาณ 6.5%-1.5%) พุดดิ้งจะมีค่าสี b* มาก (พื้นที่ส่วนสีแดงในภาพที่ 4-6) โดยมีค่าสี b* อยู่ในช่วง 16.5-17.5 แสดงถึงมีสีเหลืองมาก จากการสังเกตในขณะแปรรูปพุดดิ้ง พบว่า สีของส่วนผสมจะเปลี่ยนไปโดยจะมีสีเข้มขึ้นในขณะให้ความร้อน

$$Y_1 = 38.050+2.563X_1+14.469X_2-0.057X_1X_1-0.719X_1X_2-3.773X_2X_2$$



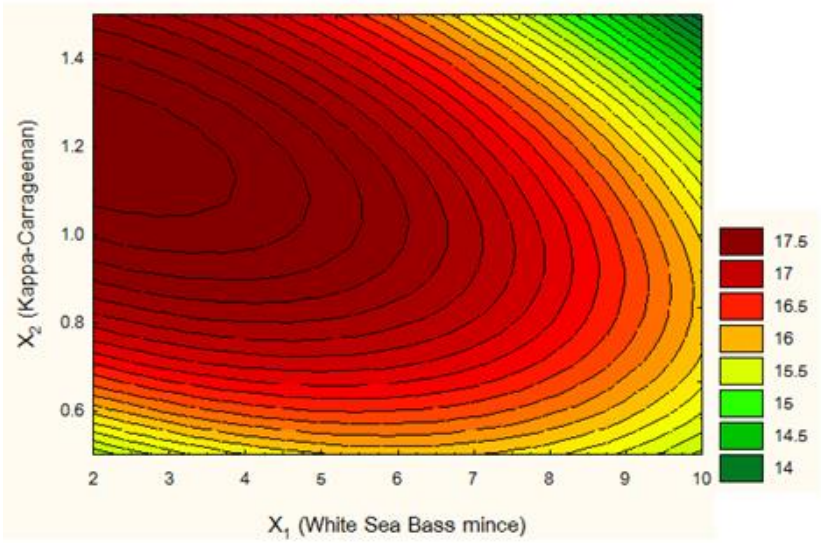
ภาพที่ 4-4 กราฟพื้นผิวตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเนื้อปลากะพงขาวบด (X_1) และแคปปา-คาราจีแนน (X_2) ต่อค่าสี L* ของพุดดิ้งจากเนื้อปลากะพงขาวและถั่วเขียวบด

$$Y_2 = 1.5441+0.0524X_1-0.969X_2 -0.0045X_1X_1 -0.0714X_1X_2+0.3296X_2X_2$$



ภาพที่ 4-5 กราฟพื้นผิวตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเนื้อปลากะพงขาวบด (X_1) และแคปปา-คาราจีแนน (X_2) ต่อค่าสี a* ของพุดดิ้งจากเนื้อปลากะพงขาวและถั่วเขียวบด

$$Y_3 = 11.229+0.536X_1+10.154X_2-0.029X_1X_1-0.344X_1X_2-3.931X_2X_2$$



ภาพที่ 4-6 กราฟพื้นผิวตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเนื้อปลากะพงขาวบด (X_1) และแคปปา-คาราจีแนน (X_2) ต่อค่าสี b* ของพุดดิ้งจากเนื้อปลากะพงขาวและถั่วเขียวบด

2) ลักษณะเนื้อสัมผัสด้านค่า Hardness และ Adhesiveness

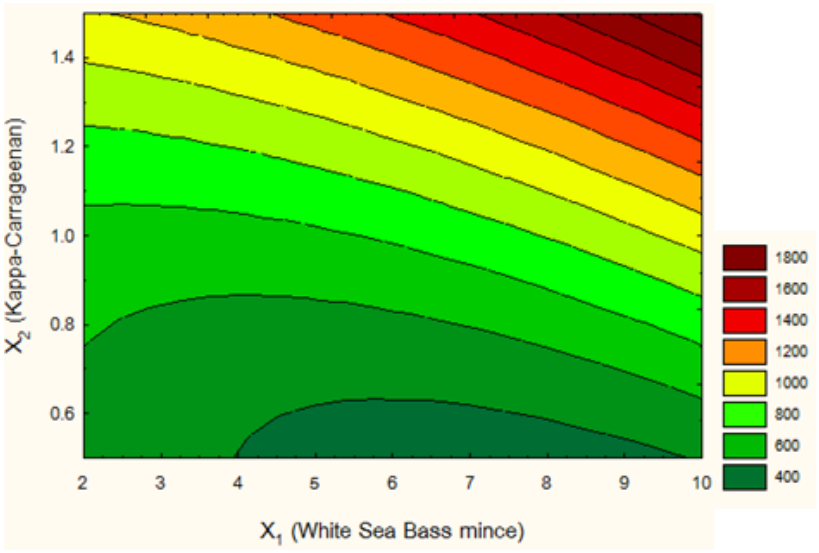
จากภาพที่ 4-7 เมื่อพิจารณาแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเนื้อปลากะพงขาวบด (X_1) และแคปปา-คาราจีแนน (X_2) ต่อค่า Hardness พบว่า เมื่อใช้ปริมาณเนื้อปลากะพงขาวบดมากร่วมกับการใช้ปริมาณแคปปา-คาราจีแนนมาก พุดดิ้งจะมีค่า Hardness มาก (พื้นที่ส่วนสีแดงในภาพที่ 4-7) ที่มีค่า Hardness อยู่ในช่วง 1400-1800 g แสดงถึงพุดดิ้งมีความแข็งมาก การใช้แคปปา-คาราจีแนนมากขึ้นส่งผลให้ตัวอย่างมีค่า Hardness มากขึ้น สำหรับการใช้เนื้อปลากะพงขาวบดมากขึ้นส่งผลให้ตัวอย่างมีค่า Hardness มากขึ้น เนื่องมาจากเป็นการเพิ่มปริมาณของแข็งให้ส่วนผสม รวมทั้งเป็นการเพิ่มปริมาณโปรตีนให้ส่วนผสมจึงมีโอกาสเกิดโครงสร้างเจลร่วมกับแคปปา-คาราจีแนนได้มากขึ้นนั่นเอง

จากภาพที่ 4-8 เมื่อพิจารณาแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเนื้อปลากะพงขาวบด (X_1) และแคปปา-คาราจีแนน (X_2) ต่อค่า Adhesiveness พบว่า พุดดิ้งจะมีค่า Adhesiveness น้อย คือ ต่ำกว่า 150 g.sec ใน 2 บริเวณ (พื้นที่ส่วนสีเขียวในภาพที่ 4-8) ซึ่งแสดงถึงตัวอย่างพุดดิ้งติดกับเพดานปากน้อย ไม่ต้องใช้แรงน้อยในการดึงอาหารออกจากเพดานปาก บริเวณพื้นที่แรก คือ เมื่อใช้ปริมาณเนื้อปลากะพงขาวบดน้อย (ประมาณ 2%-8%) ร่วมกับการใช้แคปปา-คาราจีแนนปริมาณน้อย (ประมาณ 0.5%-1.1%) บริเวณพื้นที่ที่สอง คือ เมื่อใช้ปริมาณเนื้อปลากะพงขาวบดมาก (ประมาณ 8.0%-10%) ร่วมกับการใช้แคปปา-คาราจีแนนปริมาณมาก (ประมาณ 0.7%-1.3%) ทั้งนี้

อาจเนื่องมาจาก ในการวิเคราะห์ค่า Adhesiveness เป็นการประเมินถึงการเกาะติดของเจลกับผิววัสดุ (หัววัด) หากได้เจลที่มีลักษณะดี จากการมีความสมดุลของระหว่างปริมาณของแข็งในระบบกับสารที่ทำให้เกิดเจลและน้ำ ที่ทำให้เกิดโครงสร้างเจลที่มีความคงตัวดี เมื่อมีหัววัดมากดตัวอย่างในครั้งที่ 1 แล้วดึงหัววัดออกจากอาหาร จึงไม่มีส่วนผสมส่วนเกินไปยึดติดกับหัววัด ทำให้งานที่ใช้ในการเอาชนะแรงระหว่างพื้นผิวของตัวอย่างกับพื้นผิวของวัสดุอื่นที่ตัวอย่างสัมผัสอยู่จึงน้อย จึงทำให้มีค่า Adhesiveness น้อย เมื่อพิจารณาจากพื้นที่ส่วนสีเขียวในภาพที่ 4-8 ดังที่กล่าวไว้ข้างต้น พบว่า เป็นบริเวณที่มีการใช้ปริมาณเนื้อปลากะพงขาวบดน้อยร่วมกับการใช้แคปปา-คาราจีแนนปริมาณน้อย และใช้ปริมาณเนื้อปลากะพงขาวบดมากร่วมกับการใช้แคปปา-คาราจีแนนปริมาณมาก จึงมีโอกาสทำให้เกิดความสมดุลระหว่างปริมาณของแข็งในระบบกับสารที่ทำให้เกิดเจลและน้ำ ทำให้เกิดโครงสร้างเจลที่มีความคงตัวดี

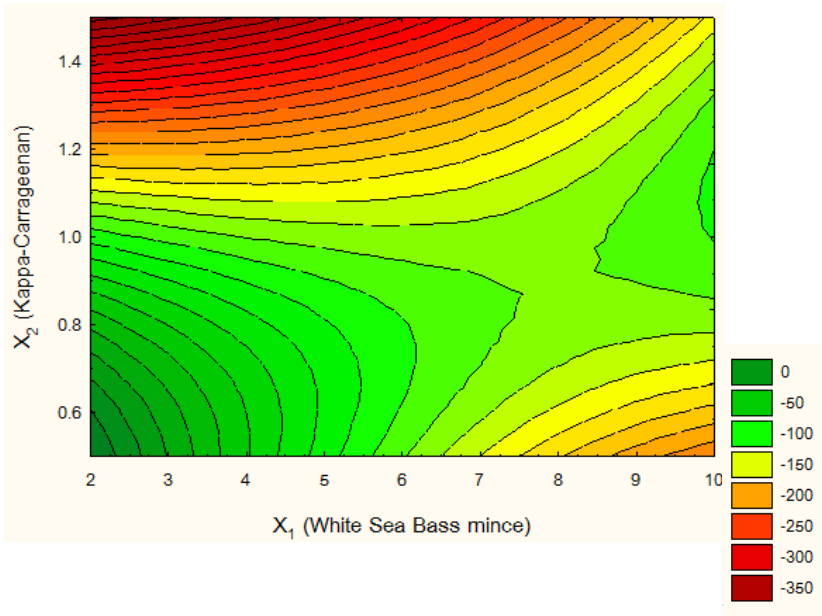
ในทางตรงกันข้ามพุดดิ้งจะมีค่า Adhesiveness มาก คือ 250-300 g.sec ใน 2 บริเวณ (พื้นที่ส่วนสีแดงในภาพที่ 4-8) ซึ่งแสดงถึงตัวอย่างพุดดิ้งติดกับเพดานปากมาก ต้องใช้แรงมากในการดึงอาหารออกจากเพดานปาก บริเวณพื้นที่แรก คือ เมื่อใช้ปริมาณเนื้อปลากะพงขาวบดน้อย (ประมาณ 2%-7.5%) ร่วมกับการใช้แคปปา-คาราจีแนนปริมาณมาก (ประมาณ 1.2%-1.5%) บริเวณพื้นที่ที่สอง คือ เมื่อใช้ปริมาณเนื้อปลากะพงขาวบดมาก (ประมาณ 9.5%-10%) ร่วมกับการใช้แคปปา-คาราจีแนนปริมาณน้อย (ประมาณ 0.5%) จึงมีโอกาสทำให้เกิดความไม่สมดุลกันระหว่างปริมาณของแข็งในระบบซึ่งหมายถึงเนื้อปลากะพงขาวบด ถั่วเขียวบด น้ำตาล และเกลือ กับปริมาณแคปปา-คาราจีแนนและน้ำ ตัวอย่างเช่น การมีปริมาณแคปปา-คาราจีแนนมากเกินไปมีผลให้เจลมีลักษณะหนืดเหนียว มีโอกาสยึดติดกับหัววัดได้มาก

$$Y_4 = 867.437-124.702X_1-720.039X_2+5.852X_1X_1+88.564X_1X_2+472.233X_2X_2$$



ภาพที่ 4-7 กราฟพื้นผิวตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเนื้อปลากะพงขาวบด (X_1) และแคปปา-คาราจีแนน (X_2) ต่อค่า Hardness ของพุดดิ้งจากเนื้อปลากะพงขาวและน้ำนมถั่วเขียว

$$Y_5 = 71.6215-58.8773X_1+72.2377X_2 +1.2221X_1X_1+43.602X_1X_2-232.624\ X_2X_2$$



ภาพที่ 4-8 กราฟพื้นผิวตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเนื้อปลากะพงขาวบด (X_1) และแคปปา-คาราจีแนน (X_2) ต่อค่า Adhesiveness ของพุดดิ้งจากเนื้อปลากะพงขาวและถั่วเขียวบด

จากภาพรวมการสร้างสมการและกราฟพื้นผิวตอบสนอง พบว่า มีจำนวนค่าคุณภาพที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรที่ศึกษาเพียง 5 ด้าน เท่านั้น ได้แก่ ค่าสี L* ค่าสี a* ค่าสี b* ค่า Hardness และค่า Adhesiveness ซึ่งแต่ละด้านไม่สามารถกำหนดค่าที่ต้องการที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการคัดเลือกสูตรที่เหมาะสม (Optimization) ได้ จึงเป็นข้อจำกัดให้ไม่สามารถนำกราฟพื้นผิวตอบสนองมาช่วยดำเนินการหาสูตรที่เหมาะสมได้

1.2.4 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของพุดดิ้งทุกสิ่งทดลอง

1) ค่าสี L* a* และ b*

ผลการวิเคราะห์ค่าสีในระบบ CIE LAB แสดงผลดังตารางที่ 4-10 พบว่า การแปรปริมาณเนื้อปลากะพงขาวบดและแคปปา-คาราจีแนนมีผลต่อค่าสี L* a* และ b* ของพุดดิ้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

สำหรับค่าสี L* พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 53.54-61.67 และจากที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นว่าการเติมเนื้อปลากะพงขาวบดปริมาณมาก เมื่อผ่านกระบวนการให้ความร้อนจึงทำให้เนื้อปลาสุกและมีสีขาวมาก จึงมีโอกาสทำให้พุดดิ้งมีสีออกสว่างมาก จากผลการทดลองพบว่าสิ่งทดลองที่ 6 (เนื้อปลากะพงขาวบด 10.00%, แคปปา-คาราจีแนน 1.00%) ซึ่งมีการใช้เนื้อปลากะพงขาวบดมากที่สุดจึงมีค่า L* สูงที่สุด เท่ากับ 61.67 ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 5 (เนื้อปลากะพงขาวบด 2.00%, แคปปา-คาราจีแนน 1.00%) ซึ่งมีการใช้เนื้อปลากะพงขาวบดน้อยที่สุดจึงมีค่า L* ต่ำที่สุด เท่ากับ 51.45 สำหรับค่าสี a* พบว่า ทุกสิ่งทดลองมีค่า a* เป็นบวก (0.07-1.28) ซึ่งแสดงความเป็นสีแดง โดยพบว่าสิ่งทดลองที่ 7 (เนื้อปลากะพงขาวบด 6.00%, แคปปา-คาราจีแนน 0.05%) ซึ่งมีการใช้แคปปา-คาราจีแนนน้อยที่สุด มีค่า a* มากที่สุด เท่ากับ 1.28 ซึ่งแสดงความเป็นสีแดงมากที่สุด ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 4 (เนื้อปลากะพงขาวบด 8.80%, แคปปา-คาราจีแนน 1.35%) มีค่า a* น้อยที่สุด เท่ากับ 0.07 ซึ่งแสดงความเป็นสีแดงน้อยที่สุด ทั้งนี้เนื่องมาจากหากใช้ปริมาณแคปปา-คาราจีแนนมากมีโอกาสเกิดลักษณะเจลที่ใส (Clear gel matrix) ซึ่งมีผลกระทบต่อลักษณะการสะท้อนของแสง (Light reflection) (Garcı´a-Garcı´a & Totosaus, 2008) หากใช้ปริมาณแคปปา-คาราจีแนนมากจะมีโอกาสทำให้เกิดลักษณะเจลที่ใสมากส่งผลให้มีโอกาสเกิดการสะท้อนของแสงมาก พุดดิ้งมีลักษณะสีสว่างมาก จึงแสดงความเป็นสีแดงน้อย สำหรับค่าสี b* พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 15.62-18.00 ซึ่งมีแนวโน้มค่าสี b* ค่อนข้างใกล้เคียงกันมาก (ความแตกต่างของค่าสี b* เท่ากับ 2.38) อย่างไรก็ตามผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ซึ่งแบ่งกลุ่มความแตกต่างของค่าเฉลี่ยสี b* ได้เป็น 6 กลุ่ม (ตั้งแต่ A-F) โดยสิ่งทดลองที่ 2 (เนื้อปลากะพงขาวบด 3.20%, แคปปา-คาราจีแนน 1.35%) มีค่า b* มากที่สุด เท่ากับ 18.00 แต่ไม่แตกต่างกับสิ่งทดลองที่ 1 (เนื้อปลากะพงขาวบด 3.20%, แคปปา-คาราจีแนน 0.65%) ที่มีค่า b* เท่ากับ 17.82 ซึ่งแสดงความเป็นสีเหลืองมากที่สุด ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 7 (เนื้อปลากะพงขาวบด 6.00%, แคปปา-คาราจีแนน 0.50%) มีค่า b* น้อยที่สุด เท่ากับ 15.62 แต่ไม่แตกต่างกับสิ่งทดลองที่ 4 (เนื้อปลากะพงขาวบด 8.8%, แคปปา-คาราจีแนน 1.35%) ที่มีค่า b* เท่ากับ 15.84 ซึ่งแสดงความเป็นสีเหลืองน้อยที่สุด

ตารางที่ 4-10 ค่าสีของสิ่งทดลองที่ได้จากการจัดแบบ CCD แบบหุ่นกำลังสองมาตรฐาน เมื่อแปรปริมาณเนื้อปลากะพงขาว (X_1) และแคปปา-คาราจีแนน (X_2)

สิ่งทดลอง	ค่ารหัส		ค่าจริง		ค่าเฉลี่ย ± SD		
	X_1	X_2	เนื้อปลากะพงขาวบด (%)	แคปปา-คาราจีแนน (%)	L*	a*	b*
1	-1	-1	3.20	0.65	$53.83^{G} \pm 0.12$	$0.91^{B} \pm 0.05$	$17.82^{A} \pm 0.18$
2	-1	1	3.20	1.35	$54.66^{F} \pm 0.04$	$0.72^{D} \pm 0.01$	$18.00^{A} \pm 0.08$
3	1	-1	8.80	0.65	$61.07^{B} \pm 0.02$	$0.54^{F} \pm 0.02$	$17.01^{C} \pm 0.05$
4	1	1	8.80	1.35	$59.09^{D} \pm 0.06$	$0.07^{I} \pm 0.01$	$15.84^{F} \pm 0.18$
5	-1.414	0	2.00	1.00	$51.45^{I} \pm 0.32$	$0.85^{C} \pm 0.03$	$16.98^{CD} \pm 0.11$
6	1.414	0	10.00	1.00	$61.67^{A} \pm 0.03$	$0.40^{G} \pm 0.02$	$16.41^{E} \pm 0.14$
7	0	-1.414	6.00	0.50	$53.54^{H} \pm 0.04$	$1.28^{A} \pm 0.01$	$15.62^{F} \pm 0.08$
8	0	1.414	6.00	1.50	$59.50^{C} \pm 0.01$	$0.28^{H} \pm 0.01$	$16.76^{D} \pm 0.03$
9	0	0	6.00	1.00	$57.81^{E} \pm 0.02$	$0.63^{E} \pm 0.05$	$17.48^{B} \pm 0.24$
10	0	0	6.00	1.00	$57.69^{E} \pm 0.05$	$0.63^{E} \pm 0.03$	$17.54^{B} \pm 0.18$

$^{A, B,...}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

2) ลักษณะเนื้อสัมผัสด้านค่า Hardness ค่า Adhesiveness และค่า Cohesiveness

ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยวิธี Texture Profile Analysis (TPA) แสดงดังตารางที่ 4-11 พบว่า การแปรปริมาณเนื้อปลากะพงขาวบดและแคปปา-คาราจีแนนมีผลให้ลักษณะเนื้อสัมผัสด้านค่า Hardness ค่า Adhesiveness และ ค่า Cohesiveness ของพุดดิ้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

สำหรับค่า Hardness มีค่าอยู่ในช่วง 342.46-1148.21 g โดยสิ่งทดลองที่ 4 (เนื้อปลากะพงขาวบด 8.80%, แคปปา-คาราจีแนน 1.35%) มีค่า Hardness มากที่สุด เท่ากับ 1148.21 g ซึ่งไม่แตกต่างกับสิ่งทดลองที่ 8 (เนื้อปลากะพงขาวบด 6.00%, แคปปา-คาราจีแนน 1.50%) ที่มีค่า Hardness เท่ากับ 1122.24 g ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 7 (เนื้อปลากะพงขาวบด 6.00%, แคปปา-คาราจีแนน 0.50%) มีค่า Hardness น้อยที่สุด เท่ากับ 342.46 g

สำหรับค่า Adhesiveness มีค่าอยู่ในช่วง -69.25 ถึง -281.36 g-sec โดยสิ่งทดลองที่ 8 (เนื้อปลากะพงขาวบด 6.00%, แคปปา-คาราจีแนน 1.50%) มีค่า Adhesiveness มากที่สุด เท่ากับ -281.36 g-sec ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 1 (เนื้อปลากะพงขาวบด 3.20%, แคปปา-คาราจีแนน 0.65%) มีค่า Adhesiveness น้อยที่สุด เท่ากับ -69.25 g-sec

ค่า Cohesiveness หมายถึง ความสามารถในการเกาะรวมตัวกัน ซึ่งทางประสาทสัมผัสหมายถึง ความแข็งของพันธะภายในที่เกิดในชิ้นตัวอย่างแล้วทำให้ตัวอย่างทนต่อแรงที่มากระทำก่อนที่ตัวอย่างจะขาดหรือแยกออกจากกัน หากมีค่า Cohesiveness มาก แสดงว่าตัวอย่างยึดเกาะกันมาก (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และจิราภา วิทยาภิรักษ์, 2549; ธัญญาภรณ์ ศิริเลิศ, 2550) สำหรับค่า Cohesiveness มีค่าอยู่ในช่วง 0.66-0.78 ซึ่งมีแนวโน้มค่า Cohesiveness ค่อนข้างใกล้เคียงกันมาก (ความแตกต่างของค่า Cohesiveness เท่ากับ 0.12) อย่างไรก็ตามผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยพบแนวโน้มว่าสิ่งทดลองที่ 5 (เนื้อปลากะพงขาวบด 2.00%, แคปปา-คาราจีแนน 1.00%) สิ่งทดลองที่ 2 (เนื้อปลากะพงขาวบด 3.20%, แคปปา-คาราจีแนน 1.35%) และสิ่งทดลองที่ 8 (เนื้อปลากะพงขาวบด 6.00%, แคปปา-คาราจีแนน 1.50%) มีค่า Cohesiveness มากที่สุด เท่ากับ 0.78 0.77 และ 0.77 ตามลำดับ ในขณะที่พบแนวโน้มว่าสิ่งทดลองที่ 7 (เนื้อปลากะพงขาวบด 6.00%, แคปปา-คาราจีแนน 0.50%) มีค่า Cohesiveness น้อยที่สุด เท่ากับ 0.66 เมื่อพิจารณาแนวโน้มของค่า Cohesiveness พบว่า เมื่อปริมาณแคปปา-คาราจีแนนเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ตัวอย่างมีค่า Cohesiveness มากขึ้น เนื่องจากปริมาณแคปปา-คาราจีแนนเพิ่มขึ้นจะมีโอกาสเกิดกลไกการเกิดเจลและเกิดโครงสร้างเจลที่มีความแข็งของพันธะภายในที่เกิดในชิ้นตัวอย่างมากหรือกล่าวได้ว่ามีโอกาสได้ลักษณะเจลที่สามารถเกาะรวมตัวกันได้มาก จึงต้องใช้แรงที่มากระทำก่อนที่ตัวอย่างจะขาดหรือแยกออกจากกันมาก ค่า Cohesiveness จึงมากนั่นเอง สอดคล้องกับที่วราภรณ์ วิทยาภรณ์ (2543) รายงานว่า ในการผลิตเยลลี่ที่ใช้สารที่ทำให้เกิดเจลผสมกันระหว่างคาราจีแนนกับกลูโคแมนแนน ปริมาณคาราจีแนนที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้เจลมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น มีความสามารถในการเกาะรวมตัวกันได้มากขึ้น

ตารางที่ 4-11 ลักษณะเนื้อสัมผัสของสิ่งทดลองที่ได้จากการจัดแบบ CCD แบบหุ่นกำลังสองมาตรฐาน เมื่อแปรปริมาณเนื้อปลากะพงขาวบด (X_1) และแคปปา-คาราจีแนน (X_2)

สิ่งทดลอง	ค่ารหัส		ค่าจริง		ค่าเฉลี่ย ± SD		
	X_1	X_2	เนื้อปลากะพงขาวบด (%)	แคปปา-คาราจีแนน (%)	Hardness (g)	Adhesiveness (g-sec)	Cohesiveness
1	-1	-1	3.20	0.65	458.57^{DE} ± 38.06	-69.25^{A} ± 9.03	0.73^{ABC} ± 0.01
2	-1	1	3.20	1.35	796.53^{B} ± 7.28	-225.33^{D} ± 14.93	0.77^{A} ± 0.00
3	1	-1	8.80	0.65	462.68^{DE} ± 29.35	-158.28^{C} ± 9.60	0.68^{BC} ± 0.02
4	1	1	8.80	1.35	1148.21^{A} ± 147.48	-143.44^{BC} ± 6.46	0.75^{AB} ± 0.03
5	-1.414	0	2.00	1.00	562.60^{CD} ± 42.41	-120.67^{B} ± 8.33	0.78^{A} ± 0.06
6	1.414	0	10.00	1.00	853.26^{B} ± 26.83	-125.33^{B} ± 10.30	0.72^{ABC} ± 0.02
7	0	-1.414	6.00	0.50	342.46^{E} ± 5.82	-120.06^{B} ± 10.38	0.66^{C} ± 0.02
8	0	1.414	6.00	1.50	1122.24^{A} ± 15.22	-281.36^{E} ± 15.39	0.77^{A} ± 0.00
9	0	0	6.00	1.00	618.89^{C} ± 31.38	-136.62^{BC} ± 9.35	0.76^{AB} ± 0.03
10	0	0	6.00	1.00	608.15^{CD} ± 18.07	-136.72^{BC} ± 10.79	0.75^{AB} ± 0.03

$^{A, B,...}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

3) ความชอบทางประสาทสัมผัส

ผลการประเมินความชอบทางประสาทสัมผัส แสดงดังตารางที่ 4-12 พบว่า คะแนนความชอบด้านรสชาติ เนื้อสัมผัสขณะตัก เนื้อสัมผัสภายในปาก และความชอบโดยรวมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) แต่ความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี และกลิ่นรส แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\geq0.05$)

เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสด้านที่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\geq0.05$) พบว่า ความชอบด้านลักษณะปรากฏ ได้คะแนนอยู่ในช่วง 6.15-6.80 อยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง ความชอบด้านสี ได้คะแนนอยู่ในช่วง 6.25-6.75 อยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลางเช่นกัน และความชอบด้านกลิ่นรส ได้คะแนนอยู่ในช่วง 5.85-6.45 อยู่ในระดับเฉยๆถึงชอบเล็กน้อย

เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสด้านที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) พบว่า ความชอบด้านรสชาติ ได้คะแนนอยู่ในช่วง 5.55-6.55 อยู่ในระดับเฉยๆถึงชอบปานกลาง โดยสิ่งทดลองที่ 6 (เนื้อปลากะพงขาวบด 10.00%, แคปปา-คาราจีแนน 1.00%) ได้รับคะแนนสูงที่สุด เท่ากับ 6.55 ซึ่งแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\geq0.05$) กับสิ่งทดลองที่ 8 (เนื้อปลากะพงขาวบด 6.00%, แคปปา-คาราจีแนน 1.50%) ได้รับคะแนนเท่ากับ 6.45 ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 7 (เนื้อปลากะพงขาวบด 6.00%, แคปปา-คาราจีแนน 0.50%) ได้รับคะแนนต่ำที่สุดเท่ากับ 5.55

ความชอบด้านเนื้อสัมผัสขณะตัก ได้คะแนนอยู่ในช่วง 6.05-7.05 อยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง โดยสิ่งทดลองที่ 6 (เนื้อปลากะพงขาวบด 10.00%, แคปปา-คาราจีแนน 1.00%) ได้รับคะแนนสูงที่สุด เท่ากับ 7.05 ซึ่งแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\geq0.05$) กับสิ่งทดลองที่ 3 (เนื้อปลากะพงขาวบด 8.80%, แคปปา-คาราจีแนน 0.65%) ได้รับคะแนนเท่ากับ 7.00 ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 4 (เนื้อปลากะพงขาวบด 8.80%, แคปปา-คาราจีแนน 1.35%) ได้รับคะแนนต่ำที่สุดเท่ากับ 6.05 สำหรับความชอบด้านเนื้อสัมผัสภายในปาก ได้คะแนนอยู่ในช่วง 5.75-7.05 อยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง โดยสิ่งทดลองที่ 6 (เนื้อปลากะพงขาวบด 10.00%, แคปปา-คาราจีแนน 1.00%) ได้รับคะแนนสูงที่สุด เท่ากับ 7.05 ซึ่งแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\geq0.05$) กับสิ่งทดลองที่ 8 (เนื้อปลากะพงขาวบด 6.00%, แคปปา-คาราจีแนน 1.50%) สิ่งทดลองที่ 9 (เนื้อปลากะพงขาวบด 6.00%, แคปปา-คาราจีแนน 1.00%) และสิ่งทดลองที่ 10 (เนื้อปลากะพงขาวบด 6.00%, แคปปา-คาราจีแนน 1.00%) ได้รับคะแนน เท่ากับ 6.65 6.65 และ 6.75 ตามลำดับ และสิ่งทดลองที่ 7 (เนื้อปลากะพงขาวบด 6.00%, แคปปา-คาราจีแนน 0.50%) ได้รับคะแนนต่ำที่สุดเท่ากับ 5.75 โดยพบข้อสังเกตว่าสิ่งทดลองที่ 6 ได้รับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสขณะตักและเนื้อสัมผัสภายในปากสูงที่สุด

สำหรับด้านความชอบโดยรวม ได้คะแนนอยู่ในช่วง 5.55-7.05 อยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง โดยสิ่งทดลองที่ 6 (เนื้อปลากะพงขาวบด 10.00%, แคปปา-คาราจีแนน 1.00%) ได้รับคะแนนสูงที่สุด เท่ากับ 7.05 ซึ่งแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\geq0.05$) กับสิ่งทดลองที่

5 (เนื้อปลากะพงขาวบด 2.00%, แคปปา-คาราจีแนน 1.00%) สิ่งทดลองที่ 8 (เนื้อปลากะพงขาวบด 6.00%, แคปปา-คาราจีแนน 1.50%) และสิ่งทดลองที่ 9 (เนื้อปลากะพงขาวบด 6.00%, แคปปา-คาราจีแนน 1.00%) ได้รับคะแนน เท่ากับ 6.50 6.70 และ 6.45 ตามลำดับ ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 7 (เนื้อปลากะพงขาวบด 6.00%, แคปปา-คาราจีแนน 0.50%) ได้รับคะแนนต่ำที่สุด เท่ากับ 5.55

1.2.5 ผลการคัดเลือกสิ่งทดลองที่เหมาะสมที่สุด

จากเกณฑ์การคัดเลือกสิ่งทดลองที่กำหนดไว้ คือ เลือกสิ่งทดลองที่ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด (ได้คะแนนมากกว่า 6 คะแนน) และพิจารณาร่วมกับคุณภาพด้านอื่นๆที่วัดได้ จากผลการทดลอง โดยพบว่า สิ่งทดลองที่ 6 ที่การใช้เนื้อปลากะพงขาวบด 10.00% และแคปปา-คาราจีแนน 1.00% ได้รับคะแนนความชอบด้านรสชาติ เนื้อสัมผัสขณะตัก เนื้อสัมผัสภายในปาก และความชอบโดยรวมมากที่สุด เท่ากับ 6.55 7.05 7.05 และ 7.05 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในระดับชอบปานกลาง รวมทั้งได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส เท่ากับ 6.70 6.70 และ 6.45 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง แสดงถึงผู้ทดสอบชอบพุดดิ้งสิ่งทดลองที่ 6 นี้มากกว่าสิ่งทดลองอื่น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสิ่งทดลองที่ 6 มีการใช้ปริมาณเนื้อปลากะพงขาวบดมากที่สุด (10.00%) โดยเนื้อปลากะพงขาวเมื่อผ่านการให้ความร้อนแล้วจะทำให้มีรสชาติของเนื้อปลาที่ชัดเจนแต่ไม่มีกลิ่นคาวปลา นอกจากนี้อาจเนื่องมาจากสิ่งทดลองที่ 6 มีการใช้แคปปา-คาราจีแนน (1.00%) ในปริมาณที่เหมาะสมกับองค์ประกอบของส่วนผสม ทั้งถั่วเขียวบด น้ำตาลซูโครส เกลือ และน้ำ ที่มีผลให้เกิดโครงสร้างเจลของพุดดิ้งที่ดี มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่นุ่มไม่แข็งกระด้างและมีความยืดหยุ่นเหมาะสม จึงทำให้มีเนื้อสัมผัสขณะตักและเนื้อสัมผัสภายในปากเป็นที่พึงพอใจของผู้บริโภคมากกว่าสิ่งทดลองอื่น โดยมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่วิเคราะห์จากการใช้เครื่อง Texture analyser คือ มีค่า Hardness (853.26g) ค่า Adhesiveness (-125.33 g.sec) ซึ่งแสดงถึงมีความแข็งและการเกาะติดผิววัสดุอยู่ในระดับปานกลางเมื่อเทียบกับสิ่งทดลองอื่น และมีค่า Cohesiveness (0.72) สูง แสดงว่าตัวอย่างมีการเกาะรวมตัวกันดี นอกจากนี้ยังมีค่าสี L* (61.67) สูงที่สุด แสดงว่าตัวอย่างมีความสว่างมากที่สุด จึงเลือกสิ่งทดลองที่ 6 สำหรับการทดลองในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 4-12 คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของสิ่งทดลองที่ได้จากการจัดแบบ CCD แบบหุ่นกำลังสองมาตรฐาน เมื่อแปรปริมาณเนื้อปลากะพง(X_1) และแคปปา- คาราจีแนน (X_2)

สิ่งทดลอง	ค่ารหัส		ค่าจริง		ค่าเฉลี่ย ± SD						
	X_1	X_2	เนื้อปลากะพงขาวบด (%)	แคปปา-คาราจีแนน (%)	ลักษณะปรากฏ^{NS}	สี^{NS}	กลิ่นรส^{NS}	รสชาติ	เนื้อสัมผัสขณะตัก	เนื้อสัมผัสภายในปาก	ความชอบโดยรวม
1	-1	-1	3.20	0.65	6.45 ± 0.83	6.25 ± 0.85	6.10 ± 0.72	5.80^{AB} ± 0.89	6.85^{AB} ± 0.88	6.45^{AB} ± 0.94	6.25^{AB} ± 0.85
2	-1	1	3.20	1.35	6.80 ± 0.95	6.50 ± 0.76	6.30 ± 0.86	6.00^{AB} ± 0.97	6.40^{AB} ± 0.82	6.40^{AB} ± 0.94	6.40^{AB} ± 0.94
3	1	-1	8.80	0.65	6.70 ± 0.98	6.70 ± 0.92	6.20 ± 0.95	6.20^{AB} ± 0.89	7.00^{A} ± 0.97	6.20^{AB} ± 0.89	6.30^{AB} ± 0.92
4	1	1	8.80	1.35	6.40 ± 0.88	6.45 ± 0.94	5.95 ± 0.89	6.20^{AB} ± 0.89	6.05^{B} ± 0.76	6.30^{AB} ± 0.92	6.30^{AB} ± 0.92
5	-1.414	0	2.00	1.00	6.80 ± 0.89	6.55 ± 0.94	6.05 ± 0.89	6.05^{AB} ± 0.94	6.55^{AB} ± 0.83	6.55^{AB} ± 0.89	6.50^{A} ± 0.76
6	1.414	0	10.00	1.00	6.70 ± 0.98	6.70 ± 0.80	6.45 ± 0.89	6.55^{A} ± 0.89	7.05^{A} ± 0.94	7.05^{A} ± 0.89	7.05^{A} ± 0.89
7	0	-1.414	6.00	0.50	6.15 ± 0.99	6.25 ± 0.91	5.85 ± 0.93	5.55^{B} ± 0.76	6.50^{AB} ± 0.95	5.75^{B} ± 0.97	5.55^{B} ± 0.94
8	0	1.414	6.00	1.50	6.80 ± 0.89	6.75 ± 0.85	6.35 ± 0.93	6.45^{A} ± 0.94	6.65^{AB} ± 0.93	6.65^{A} ± 0.93	6.70^{A} ± 0.98
9	0	0	6.00	1.00	6.65 ± 0.88	6.45 ± 0.94	6.30 ± 0.98	6.25^{AB} ± 0.79	6.75^{AB} ± 0.85	6.65^{A} ± 0.88	6.45^{A} ± 0.94
10	0	0	6.00	1.00	6.70 ± 0.86	6.45 ± 0.89	6.45 ± 0.94	6.20^{AB} ± 0.89	6.70^{AB} ± 0.98	6.75^{A} ± 0.85	6.40^{AB} ± 0.88

$^{A, B,...}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

^{NS} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\geq0.05$)

ตอนที่ 2 การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของพุดดิ้งจากเนื้อปลาทะเลและถั่วพัลส์ต้นแบบที่พัฒนาได้

ผลิตพุดดิ้งจากเนื้อปลาทะเลจำนวน 3 ชนิด ได้แก่ ปลากะพงขาว ปลาทู และปลาทรายแดง ตามสูตรที่เลือกได้จากตอนที่ 1 โดยสูตรที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตพุดดิ้ง มีส่วนผสมดังนี้ ถั่วเขียวบด 50.0% เนื้อปลาบด 10.0% แคปปา-คาราจีแนน 1.0% น้ำตาลทราย 2.0% เกลือ 0.2% และ น้ำ 36.8% ผลการสุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์คุณภาพที่เกี่ยวข้องกับคุณค่าทางโภชนาการ (คุณภาพทางเคมี) ได้ผลดังตารางที่ 4-13

ตารางที่ 4-13 คุณภาพทางเคมีของพุดดิ้งจากเนื้อปลากะพงขาวบดและถั่วเขียวบดต้นแบบที่พัฒนาได้

คุณภาพ	ค่าเฉลี่ย ± SD		
	พุดดิ้งจากปลากะพงขาว	พุดดิ้งจากปลาทู	พุดดิ้งจากปลาทรายแดง
ความชื้น (กรัม/100 กรัม)	59.10 ± 0.11	59.00 ± 0.09	58.14 ± 0.21
โปรตีน (กรัม/100 กรัม)	2.64 ± 0.01	2.19 ± 0.01	2.92 ± 0.02
ไขมัน (กรัม/100 กรัม)	0.10 ± 0.01	0.19 ± 0.01	0.09 ± 0.02
เถ้า (กรัม/100 กรัม)	1.09 ± 0.02	1.04 ± 0.05	1.00 ± 0.03
เส้นใย (กรัม/100 กรัม)	1.95 ± 0.15	1.26 ± 0.22	1.87 ± 0.41
ใยอาหารทั้งหมด (กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง)	0.69 ± 0.71	0.67 ± 0.28	0.69 ± 0.14
ใยอาหารที่ละลายน้ำได้ (กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง)	0.69 ± 0.71	0.67 ± 0.28	0.69 ± 0.14
ใยอาหารที่ละลายน้ำไม่ได้ (กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง)	ND	ND	ND
สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (มิลลิกรัมแกลลิก/100 กรัมน้ำหนักแห้ง)	19.42 ± 2.18	19.32 ± 1.41	19.70 ± 1.10
สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (% inhibition)	43.93 ± 0.87	47.13 ± 0.47	40.11 ± 0.77

ND (Nott Detected) หมายถึง ตรวจไม่พบ

ตอนที่ 3 ผลการเปลี่ยนแปลงคุณภาพพุดดิ้งระหว่างการเก็บรักษาในสภาวะแช่เย็น

ผลิตพุดดิ้งจากถั่วพัลส์บดผสมเนื้อปลาตามที่เลือกได้จากตอนที่ 1 โดยบรรจุในถ้วยพลาสติกและมีฝาปิด นำมาศึกษาคุณภาพด้านต่างๆ ได้แก่ ค่าสี (L* a* b* และ ΔE) ลักษณะเนื้อสัมผัส (ค่า Hardness, Adhesiveness และ Cohesiveness) การแยกตัวของของเหลว ปริมาณโปรตีน ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์และรา ปริมาณ *Vibrio cholera* และความชอบทางประสาทสัมผัส ระหว่างการเก็บรักษาในสภาวะแช่เย็น (อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 0 7 14 และ 21 วัน อย่างไรก็ตามได้วิเคราะห์คุณภาพของพุดดิ้งถึงการเก็บรักษาเป็นเวลาเป็นเวลา 14

วัน เท่านั้น (ยกเว้นการประเมินความชอบทางประสาทสัมผัส) เนื่องจากพบปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์และราเกินเกณฑ์ที่กำหนดเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 14 วัน ลักษณะของพุดดิ้งที่เก็บรักษาเป็นเวลา 0 7 14 และ 21 วัน แสดงดังภาพที่ 4-8

เก็บรักษา 0 วัน

เก็บรักษา 7 วัน

เก็บรักษา 14 วัน

เก็บรักษา 21 วัน

ภาพที่ 4-9 ลักษณะของพุดดิ้งจากเนื้อปลากะพงขาวบดและถั่วเขียวบดระหว่างการเก็บรักษา อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 7 และ 14 วัน

2.1 ค่าสี L* a* b* และ ΔE

ผลการวิเคราะห์ค่าสีในระบบ CIE LAB เมื่อเก็บรักษาพุดดิ้งที่อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 7 และ 14 วัน แสดงผลดังตารางที่ 4-14 โดยพบว่าค่าสี L* a* และ b* ของพุดดิ้งระหว่างการเก็บรักษามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ค่าสี L* ของพุดดิ้งมีค่าลดลงจาก 59.86 (0 วัน) เป็น 59.23 (14 วัน) ในขณะที่ค่าสี a* และ b* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยค่าสี a* เพิ่มจาก 0.28 (0 วัน) เป็น 0.44 (14 วัน) และค่าสี b* เพิ่มจาก 15.53 (0 วัน) เป็น 16.98 (14 วัน) หรือกล่าวได้ว่าพุดดิ้งมีแนวโน้มสีคล้ำขึ้นเมื่อเก็บรักษานานขึ้นนั่นเอง เมื่อพิจารณาค่าความแตกต่างของสี (ΔE) พบว่า พุดดิ้งมีค่า ΔE เพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษานานขึ้น แสดงว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น จะส่งผลให้ตัวอย่างมีสีแตกต่างกับสีของพุดดิ้งเริ่มต้น

มากขึ้น การเปลี่ยนแปลงสีของพุดดิ้งเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นอาจเนื่องมาจากน้ำที่ระเหยออกบางส่วนทำให้มีสีที่เข้มขึ้นได้

ตารางที่ 4-14 ค่าสีของพุดดิ้งจากเนื้อปลากะพงขาวและถั่วเขียวบดบดที่พัฒนาได้ระหว่างการเก็บรักษาอุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 7 และ 14 วัน

ระยะเวลาเก็บ (วัน)	ค่าเฉลี่ย ± SD			
	L*	a*	b*	$\Delta E^{\#}$
0	59.86^{A} ± 0.12	0.28^{B} ± 0.04	15.53^{C} ± 0.16	-
7	59.65^{B} ± 0.03	0.39^{A} ± 0.06	16.34^{B} ± 0.18	0.86 ± 0.10
14	59.23^{C} ± 0.03	0.44^{A} ± 0.09	16.98^{A} ± 0.13	1.61 ± 0.08

$^{A, B,...}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

$^{\#}$ คำนวณค่า ΔE โดยเปรียบเทียบกับค่าสีของพุดดิ้งที่เก็บ 0 วัน

2.2 ลักษณะเนื้อสัมผัสด้านค่า Hardness ค่า Adhesiveness และค่า Cohesiveness

การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยวิธี Texture Profile Analysis (TPA) เมื่อเก็บรักษาพุดดิ้งที่อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 7 และ 14 วัน แสดงผลดังตารางที่ 4-15 โดยพบว่าค่า Hardness ค่า Adhesiveness และค่า Cohesiveness ของพุดดิ้งระหว่างการเก็บรักษามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ค่า Hardness ค่า Adhesiveness และค่า Cohesiveness ของพุดดิ้งมีค่าลดลงทุกค่า แสดงให้เห็นว่าพุดดิ้งมีความแข็ง ความสามารถในการเกาะติดผิววัสดุ และความสามารถในการเกาะรวมตัวกันลดลง ตามลำดับ โดยพบว่าพุดดิ้งมีค่า Hardness ลดลงจาก 876.07g (0 วัน) เป็น 732.81g (14 วัน) ค่า Adhesiveness ลดลงจาก -183.88 g-sec (0 วัน) เป็น -66.93 g-sec (14 วัน) และ ค่า Cohesiveness ลดลงจาก 0.77 (0 วัน) เป็น 0.70 (14 วัน) การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของพุดดิ้งเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานอาจเนื่องมาจากร่างแหโพลิเมอร์ในโครงสร้าง 3 มิติของเจลหดตัวเข้าใกล้กันมากขึ้น ทำให้น้ำที่กักเก็บอยู่ภายในถูกบีบออกมาด้านนอกของเจล เกิดการแยกตัวของน้ำมากขึ้น ทำให้เจลมีความอ่อนตัวลง (Piculell, 1995) สอดคล้องกับผลการแยกตัวของน้ำที่ได้พบว่า มีการแยกตัวของน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น (ดังตารางที่ 4-16) ทำให้ค่า Hardness Adhesiveness และ Cohesiveness ลดลง แสดงให้เห็นว่าพุดดิ้งมีความแข็ง ความสามารถในการเกาะติดผิววัสดุ และความสามารถในการเกาะรวมตัวกันลดลง

ตารางที่ 4-15 ลักษณะเนื้อสัมผัสของพุดดิ้งจากเนื้อปลากะพงขาวและถั่วเขียวบดบดที่พัฒนาได้ ระหว่างการเก็บรักษาอุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 7 และ 14 วัน

ระยะเวลาเก็บ (วัน)	ค่าเฉลี่ย ± SD		
	Hardness (g)	Adhesiveness (g-sec)	Cohesiveness
0	876.07^{A} ± 22.70	-131.63^{B} ± 11.62	0.77^{A} ± 0.00
7	793.65^{B} ± 25.70	-114.56^{AB} ± 8.00	0.75^{AB} ± 0.04
14	732.81^{C} ± 21.82	-99.27^{A} ± 7.42	0.70^{B} ± 0.01

$^{A, B,...}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

2.3 การแยกตัวของของเหลว

ผลการวิเคราะห์การแยกตัวของของเหลว (Syneresis) เมื่อเก็บรักษาพุดดิ้งที่อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 7 และ 14 วัน แสดงผลดังตารางที่ 4-16 โดยพบว่าการแยกตัวของของเหลวของพุดดิ้งระหว่างการเก็บรักษามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ค่าการแยกตัวของของเหลวของพุดดิ้งเมื่อเก็บรักษาที่ระยะเวลา 0 7 และ 14 วัน มีค่าเท่ากับ 8.72% 14.77% และ 16.49% ตามลำดับ ซึ่งพบว่าระยะเวลาเก็บ 14 วัน มีผลให้เกิดการแยกตัวของของเหลวจากพุดดิ้งเพิ่มขึ้นปริมาณ 2 เท่า การที่อาหารเจลมีลักษณะการแยกตัวของของเหลวออกมาในระหว่างการเก็บรักษามีความสัมพันธ์กับความคงตัวของเจลนั้น อาจเกิดจากหมู่ซัลเฟตที่อยู่ในโครงสร้างของคาราจีแนนซึ่งมีประจุลบ เกิดอันตรกิริยากับกลุ่มประจุบวกบนไมโอไฟบริลลาร์โปรตีน ส่งผลให้เจลหดตัวเข้าใกล้กันมากขึ้น ซึ่งจากผลการทดลองจะเห็นว่ามีความสอดคล้องกับลักษณะเนื้อสัมผัสของพุดดิ้งที่มีค่า Hardness ค่า Adhesiveness และค่า Cohesiveness ลดลง ทุกค่าแสดงให้เห็นว่าพุดดิ้งมีความแข็ง ความสามารถในการเกาะติดผิววัสดุ และความสามารถในการเกาะรวมตัวกันลดลง ตามลำดับ (ตารางที่ 4-15)

ผลการทดลองสอดคล้องกับรายงานของ กุสุมา ทินกร ณ อยุธยา และนันทมน พุฒด้วง (2559) พบว่า ระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อค่าการแยกตัวของน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 และ 10 องศาเซลเซียส โดยมีค่าการแยกตัวของน้ำที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) เมื่อการเก็บรักษานานขึ้นมีผลทำให้เจลมีความอ่อนตัวลงและเกิดการแยกตัวของน้ำเพิ่มขึ้น

สุทธิวัฒน์ แซ่ฮ้อ และคณะ(2554) รายงานว่า การเก็บรักษาเยลลี่สูตรน้ำผักที่ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 เดือน ค่าเนื้อสัมผัสทุกค่ามีแนวโน้มลดลงในทุกผลิตภัณฑ์ และมีโอกาสเกิดการแยกตัวของน้ำ เนื่องจากโครงร่างของเจลนั้นสายของแคปปาคาราจีแนนมีการจัดเรียงตัวที่เข้ามาใกล้ชิดกันมากขึ้น ทำให้แยกโมเลกุลของน้ำออก เกิดการแยกชั้นอย่างชัดเจน

ตารางที่ 4-16 ค่าการแยกตัวของของเหลวของพุดดิ้งจากเนื้อปลากะพงขาวและถั่วเขียวบดที่พัฒนาได้ระหว่างการเก็บรักษาอุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 7 และ 14 วัน

ระยะเวลาเก็บ (วัน)	ค่าการแยกตัวของของเหลวเฉลี่ย (%) ± SD
0	9.93^{B} ± 0.12
7	14.77^{A} ± 1.42
14	16.49^{A} ± 0.12

$^{A, B,...}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

2.4 ปริมาณโปรตีน

ผลการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนเมื่อเก็บรักษาพุดดิ้งที่อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 7 และ 14 วัน แสดงผลดังตารางที่ 4-17 โดยพบว่าปริมาณโปรตีนของพุดดิ้งระหว่างการเก็บรักษามีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\geq0.05$)

ปริมาณโปรตีนของพุดดิ้งเมื่อเก็บรักษาที่ระยะเวลา 0 7 และ 14 วัน มีค่าเท่ากับ 3.14 3.00 และ 2.90 กรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ ถึงแม้ผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างกัน แต่เมื่อพิจารณาแนวโน้มแสดงให้เห็นว่าตัวอย่างมีปริมาณโปรตีนลดลง โดยลดลงจาก 3.14 เป็น 2.90 กรัมต่อ 100 กรัม ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากจุลินทรีย์เริ่มต้นที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์พุดดิ้งมีการใช้องค์ประกอบของโปรตีนเป็นแหล่งของไนโตรเจน (Nitrogen source) ในการเจริญของจุลินทร์ย์ในระหว่างการเก็บ (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549) ทั้งนี้สอดคล้องกับปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น (ตารางที่ 4-18)

ตารางที่ 4-17 ปริมาณโปรตีนของพุดดิ้งจากเนื้อปลากะพงขาวและถั่วเขียวบดบดที่พัฒนาได้ระหว่างการเก็บรักษาอุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 7 และ 14 วัน

ระยะเวลาเก็บ (วัน)	ปริมาณโปรตีน^{NS} (กรัมต่อ 100 กรัม) ± SD
0	3.14 ± 0.02
7	3.00 ± 0.09
14	2.90 ± 0.01

^{NS} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\geq0.05$)

2.5 คุณภาพทางจุลินทรีย์

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์ ได้แก่ (1) ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (2) ปริมาณยีสต์และรา และ (3) ปริมาณ *Vibrio cholerae* ของพุดดิ้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 7 และ 14 วัน แสดงดังตารางที่ 4-18

จากผลการทดลองพบว่าในวันที่ 0 ตรวจไม่พบจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา รวมทั้ง *Vibrio cholerae* เมื่อเก็บรักษานานขึ้นเป็น 7 วัน พบว่า ยังคงตรวจไม่พบ ยีสต์และรา รวมทั้ง*Vibrio cholerae* แต่พบว่าปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเพิ่มขึ้นเป็น $1.10\text{x}10^{2}$ CFU/g และเมื่อเก็บรักษานานขึ้น

ถึง 14 วัน ยังคงตรวจไม่พบ*Vibrio cholerae* แต่พบว่าปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเพิ่มขึ้นเป็น $1.08x10^5$ CFU/g โดยปริมาณยีสต์และราเพิ่มขึ้นมากจนนับไม่ได้ (Too Numerous Too Count ;TNTC) จากการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์กับผลิตภัณฑ์อาหารที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน คือ เยลลี่อ่อน และเนื่องจากพุดดิ้งที่ผลิตในงานวิจัยนี้มีการใช้ส่วนผสมของเนื้อปลาร่วมด้วยผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะใกล้เคียงกันคือ ลูกชิ้นปลา โดยเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนเยลลี่อ่อน (มผช.519/2547) กำหนดไว้ว่าผลิตภัณฑ์ที่จะปลอดภัยสำหรับการบริโภคต้องมีจุลินทรีย์ทั้งหมด ไม่เกิน $1x10^4$ โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม ยีสต์และรา ไม่เกิน 100 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม และเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนลูกชิ้นปลา (มผช.328/2555) กำหนดไว้ว่าผลิตภัณฑ์ที่จะปลอดภัยสำหรับการบริโภคต้องไม่พบ *Vibrio cholerae* ในตัวอย่าง 25 กรัม จากเกณฑ์มาตรฐานดังกล่าว พบว่า เมื่อเก็บรักษาพุดดิ้งเป็นระยะเวลา 14 วัน พบเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด $1.08x10^5$ ยีสต์และราปริมาณมากจนนับไม่ได้ (TNTC) แต่ไม่พบ *Vibrio cholerae* ในตัวอย่าง 25 กรัม ซึ่งเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา พบในปริมาณที่มากเกินมาตรฐานกำหนด แสดงว่าผลิตภัณฑ์พุดดิ้งเก็บรักษาได้ไม่เกิน 7 วัน ในอุณหภูมิแช่เย็น (4±2 องศาเซลเซียส) ในช่วงระยะเวลา 7-14 วัน ของการเก็บรักษาที่พบว่าปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดมีจำนวนเพิ่มขึ้น อาจเป็นเชื้อจุลินทรีย์ที่เหลือรอดจากการให้ความร้อนในการแปรรูปในระดับพาสเจอร์ไรส์ (ในการทดลองเตรียมพุดดิ้งที่อุณหภูมิ 80±3 องศาเซลเซียส) ที่สามารถเจริญเติบโตในสภาวะที่เหมาะสม โดยมีความเป็นไปได้ที่จะเกิดการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์กลุ่ม Psychrophiles ซึ่งสามารถเจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิแช่เย็น จากผลการทดลอง พบว่า ปริมาณยีสต์และรามีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 14 วัน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสภาวะในการเก็บรักษาที่ใช้ยังมีปัจจัยอื่นที่ยังเอื้อต่อการเจริญของยีสต์และราได้ เช่น ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ของตู้แช่เย็น การเก็บอาหารชนิดอื่นร่วมด้วย โดยยีสต์และราสามารถเจริญได้ดีในบริเวณที่มีปริมาณความชื้นสัมพันธ์สูงและมีโอกาสเกิดการปนเปื้อนข้าม (cross contamination) และเพิ่มการเจริญได้ง่าย จากผลการทดลอง พบว่า ตลอดการเก็บรักษา 14 วัน ตรวจไม่พบเชื้อ *Vibrio cholerae*

ตารางที่ 4-18 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์และรา และปริมาณ *Vibrio Cholerae* ของพุดดิ้งจากเนื้อปลากะพงขาวและถั่วเขียวบดบดที่พัฒนาได้ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 0 7 และ 14 วัน

ระยะเวลาเก็บ (วัน)	ค่าเฉลี่ย ± SD		
	จุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/g)	ยีสต์และรา (CFU/g)	*Vibrio cholerae* (CFU/25g)
0	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
7	$2.00x10^2$	$1.00x10^1$	ไม่พบ
14	$1.08x10^5$	TNTC	ไม่พบ

TNTC : Too Numerous Too Count หมายถึง มีปริมาณเชื้อมากจนนับไม่ได้

2.6 ความชอบทางประสาทสัมผัส

เนื่องจากผลิตภัณฑ์พุดดิ้งมีความปลอดภัยสำหรับการบริโภคเมื่อเก็บไว้ไม่เกิน 7 วัน จึงประเมินความชอบทางประสาทสัมผัสเมื่อเก็บรักษาพุดดิ้งที่อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 และ 7 วัน แสดงผลดังตารางที่ 4-19 โดยพบว่าคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส และรสชาติ มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$) ในขณะที่คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสขณะตัก เนื้อสัมผัสภายในปากและความชอบโดยรวม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) จากผลการทดลองพบว่า เมื่อเก็บรักษาพุดดิ้งเป็นเวลา 7 วัน แม้คุณลักษณะของพุดดิ้งมีการเปลี่ยนแปลงไป เช่น มีสีคล้ำมากขึ้น และเกิดการแยกตัวของของเหลว แต่ผู้ทดสอบยังคงยอมรับผลิตภัณฑ์พุดดิ้ง โดยให้คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส และรสชาติ ไม่แตกต่างกันกับพุดดิ้งที่ผลิตใหม่ (เก็บรักษา 0 วัน) โดยคะแนนอยู่ในช่วง 6.15-6.35 อยู่ในระดับชอบเล็กน้อย นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงของพุดดิ้งด้านลักษณะเนื้อสัมผัส เช่น เกิดการแยกตัวของของเหลวส่งผลให้เนื้อสัมผัสนิ่ม หรือมีความคงตัวลดลง อาจมีผลให้ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสด้านเนื้อสัมผัสขณะตักและเนื้อสัมผัสภายในปากน้อยกว่าพุดดิ้งที่ผลิตใหม่

ตารางที่ 4-19 คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของพุดดิ้งจากเนื้อปลากะพงขาวและถั่วเขียวบดบดที่พัฒนาได้เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 7 วัน

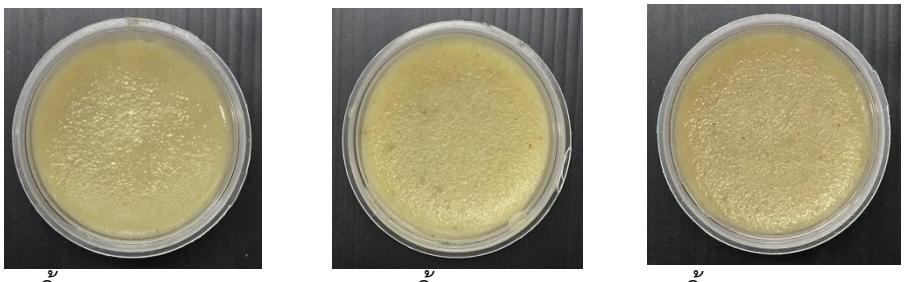
ระยะเวลาเก็บ	คะแนนความชอบเฉลี่ย ± SD						
(วัน)	ลักษณะปรากฏ[NS]	สี[NS]	กลิ่นรส[NS]	รสชาติ[NS]	เนื้อสัมผัสขณะตัก	เนื้อสัมผัสภายในปาก	ความชอบโดยรวม
0	6.70 ± 0.98	6.70 ± 0.80	6.45 ± 0.89	6.55 ± 0.89	7.05^{A} ± 0.94	7.05^{A} ± 0.84	7.05^{A} ± 0.89
7	6.30 ± 0.86	6.35 ± 0.88	6.15 ± 0.88	6.20 ± 0.83	6.40^{B} ± 0.82	6.20^{B} ± 0.77	6.35^{B} ± 0.75

[A, B,...] หมายถึง มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P< 0.05$)

[NS] หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\geq0.05$)

ตอนที่ 4 การทดสอบการยอมรับของพุดดิ้งจากเนื้อปลาทะเลและถั่วพัลส์ที่พัฒนาได้

จากการผลิตพุดดิ้งที่พัฒนาได้โดยใช้เนื้อปลาทะเลจำนวน 3 ชนิด ได้แก่ ปลากะพงขาว ปลาทู และปลาทรายแดง ในสูตรการผลิตตามที่เลือกได้จากตอนที่ 1 โดยสูตรที่เหมาะสมมีส่วนผสมดังนี้ ถั่วเขียวบด 50.0% เนื้อปลา 10.0% แคปปา-คาราจีแนน 1.0% น้ำตาลทราย 2.0% เกลือ 0.2% และ น้ำ 36.8% นำมาทดสอบความชอบวิธี 9- point hedonic scale ในด้านต่างๆ ได้ผลดังตารางที่ 4-20 ลักษณะของพุดดิ้งจากเนื้อปลาทะเลบดและถั่วเขียวบดแสดงดังภาพที่ 4-10 จากตารางที่ 4-20 พบว่า คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ รสชาติ เนื้อสัมผัสขณะตัก เนื้อสัมผัสภายในปาก และความชอบโดยรวมมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$) แสดงให้เห็นว่าสูตรพุดดิ้งที่เลือกได้จากตอนที่ 1 สามารถเปลี่ยนชนิดของเนื้อปลาบดที่ใช้ในสูตรได้โดยผู้ทดสอบยังคงให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ในด้านดังกล่าวไม่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามหากมองด้วยตาเปล่าสังเกตเห็นว่าสีของพุดดิ้งมีความเข้มสีแตกต่างกันเล็กน้อย โดยเมื่อใช้ปลาทูบดจะให้พุดดิ้งที่มีสีอ่อนกว่า รวมทั้งชนิดปลามีผลต่อความชอบกลิ่นรส โดยผลคะแนนความชอบด้านสีและกลิ่นรสมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบด้านสีกับพุดดิ้งที่ทำจากปลาทูมากที่สุดแต่ไม่แตกต่างกับพุดดิ้งที่ทำจากปลากะพงและให้คะแนนความชอบด้านกลิ่นรสกับพุดดิ้งที่ทำจากปลากะพงมากที่สุด



พุดดิ้งจากปลากะพงขาว พุดดิ้งจากปลาทู พุดดิ้งจากปลาทรายแดง

ภาพที่ 4-10 ลักษณะของพุดดิ้งจากเนื้อปลาทะเล (ปลากะพงขาว ปลาทู และปลาทรายแดง) และถั่วเขียวบด

ตอนที่ 5 การถ่ายทอดเทคโนโลยีและความรู้ที่ได้จากการวิจัยสู่ชุมชน

จัดส่งแผ่นพับที่มีเนื้อหาถ่ายทอดเทคโนโลยีและความรู้ที่ได้จากการวิจัยส่งให้ชุมชน และตีพิมพ์ผลงานวิจัยในวารสารทางวิชาการ รวมทั้งเข้าร่วมในการจัดนิทรรศการทางวิชาการ ตัวอย่างเช่น เข้าร่วมถ่ายทอดเทคโนโลยีผลงานวิจัยในโครงการ Science Project Exhibition ครั้งที่ 1 เมื่อวันที่ 31 มีนาคม พ.ศ. 2561 ณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

ตารางที่ 4-20 คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของพุดดิ้งจากเนื้อปลาทะเลและถั่วพัลส์ที่พัฒนาได้

ชนิดเนื้อปลาทะเลที่ใช้	คะแนนความชอบเฉลี่ย ± SD						
	ลักษณะปรากฏ[NS]	สี	กลิ่นรส	รสชาติ[NS]	เนื้อสัมผัสขณะตัก[NS]	เนื้อสัมผัสภายในปาก[NS]	ความชอบโดยรวม[NS]
ปลากะพงขาว	6.70 ± 0.98	6.70 ± 0.80[AB]	6.45 ± 0.89[A]	6.55 ± 0.89	7.05 ± 0.94	7.05 ± 0.84	7.05 ± 0.89
ปลาทรายแดง	6.73 ± 0.99	6.56 ± 0.80[B]	6.15 ± 0.74[B]	6.50 ± 0.91	7.15 ± 0.84	7.00 ± 0.81	7.00 ± 0.17
ปลาทู	6.97 ± 1.01	7.05 ± 0.80[A]	6.07 ± 0.86[B]	6.45 ± 0.80	7.01 ± 0.54	7.07 ± 0.74	7.02 ± 0.97

[A, B,...] หมายถึง มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

[NS] หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$)

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

1) จากการศึกษาผลของการใช้ถั่วอะซูกิบดและถั่วเขียวบดต่อคุณภาพของพุดดิ้งโดยแปรการใช้ถั่วพัลส์บด 3 รูปแบบ ได้แก่ การใช้ถั่วอะซูกิบดเพียงอย่างเดียว การใช้ถั่วเขียวบดเพียงอย่างเดียว และการใช้ถั่วอะซูกิบดและถั่วเขียวบดผสมกัน พบว่า ค่าสี คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี เนื้อสัมผัสภายในปาก และความชอบโดยรวมของพุดดิ้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ในขณะที่ปริมาณโปรตีน กลิ่นรส รสชาติ และเนื้อสัมผัสขณะตักของพุดดิ้งแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\geq0.05$) โดยสูตรพุดดิ้งที่มีการใช้ถั่วเขียวบดเพียงอย่างเดียว เป็นสูตรที่เหมาะสมที่สุด ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมมากที่สุด เท่ากับ 6.65 แสดงถึงความชอบระดับชอบปานกลาง นอกจากนี้ยังได้รับคะแนนความชอบด้านรสชาติ และเนื้อสัมผัสภายในปากมากที่สุด เท่ากับ 6.10 และ 6.00 ตามลำดับ

2) จากการศึกษาปริมาณเนื้อปลาทะเลบดและแคปปา-คาราจีแนนต่อคุณภาพของพุดดิ้ง โดยใช้ปลาทะเลต้นแบบเป็นเนื้อปลากะพงขาวบด ควบคุมปริมาณถั่วเขียวบด 50.0% น้ำตาลทราย 2.0% เกลือ 0.2% แล้วใช้น้ำปรับส่วนผสมให้เป็น 100% โดยแปรปริมาณเนื้อปลากะพงขาวบดอยู่ในช่วง 2.0%-10.0% และแคปปา-คาราจีแนน 0.5%-1.5% ศึกษาปัจจัยละ 5 ระดับ จัดสิ่งทดลองแบบ Central Composite Design (CCD) พบว่า ค่าสี เนื้อสัมผัส และคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านรสชาติ เนื้อสัมผัสขณะตัก เนื้อสัมผัสภายในปาก และความชอบโดยรวมของพุดดิ้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ในขณะที่คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\geq0.05$) โดยสูตรที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตพุดดิ้งมีส่วนผสมดังนี้ ถั่วเขียวบด 50.0% เนื้อปลากะพงขาวบด 10.0% แคปปา-คาราจีแนน 1.0% น้ำตาลทราย 2.0% เกลือ 0.2% และ น้ำ 36.8% โดยได้รับคะแนนความชอบด้านรสชาติ เนื้อสัมผัสขณะตัก เนื้อสัมผัสภายในปากและความชอบโดยรวมสูงที่สุด อยู่ในระดับชอบปานกลาง ($P<0.05$)

3) จากการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของพุดดิ้งจากเนื้อปลาทะเลและถั่วพัลส์ต้นแบบที่พัฒนาได้ พบว่า พุดดิ้งที่ผลิตจากเนื้อปลาทะเลจำนวน 3 ชนิด ได้แก่ ปลากะพงขาว ปลาทู และปลาทรายแดง มีคุณค่าทางโภชนาการหลัก คือ โปรตีน โดยมีปริมาณอยู่ในช่วง 2.19-2.92 กรัม/100 กรัม

4) จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพพุดดิ้งจากเนื้อปลากะพงขาวบดและถั่วเขียวบดระหว่างการเก็บรักษาในสภาวะแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส พบว่า ระยะเวลาการเก็บมีผลต่อค่าสี เนื้อสัมผัส การแยกตัวของของเหลว และคะแนนความชอบทางประสาทด้านเนื้อสัมผัสขณะตัก เนื้อสัมผัสภายในปาก และความชอบโดยรวมของพุดดิ้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) แต่ไม่มีผลต่อปริมาณโปรตีน และไม่มีผลต่อคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส และรสชาติ ($P\geq0.05$) ผลิตภัณฑ์พุดดิ้งจากเนื้อปลากะพงขาวบดและถั่วพัลส์บดที่พัฒนาได้ มี

ความปลอดภัยสำหรับการบริโภคเมื่อเก็บรักษาไม่เกิน 7 วัน ที่อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส โดยผลิตภัณฑ์ยังเป็นที่ยอมรับทางประสาทสัมผัส

5) จากการทดสอบการยอมรับของพุดดิ้งจากเนื้อปลาทะเลและถั่วพัลส์ที่พัฒนาได้ โดยใช้เนื้อปลาทะเลจำนวน 3 ชนิด ได้แก่ ปลากะพงขาว ปลาทู และปลาทรายแดง พบว่า คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ รสชาติ เนื้อสัมผัสขณะตัก เนื้อสัมผัสภายในปาก และความชอบโดยรวมมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$) แต่ความชอบด้านสีและกลิ่นรสมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบด้านสีกับพุดดิ้งที่ทำจากปลาทูมากที่สุดแต่ไม่แตกต่างกับพุดดิ้งที่ทำจากปลากะพงและให้คะแนนความชอบด้านกลิ่นรสกับพุดดิ้งที่ทำจากปลากะพงมากที่สุด

ข้อเสนอแนะ

อาจนำพุดดิ้งสูตรที่พัฒนาได้นี้ ไปทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคกลุ่มใหญ่ขึ้น และเนื่องจากพุดดิ้งมีลักษณะเคี้ยวกลืนได้ง่ายน่าจะมีความเหมาะสมที่จะใช้เป็นอาหารผู้สูงอายุได้ด้วย

บรรณานุกรม

เกวลี ปารมีกาศ จิตนันท์ คำตั๋น จีรภา ใจวัน และ พนิดา รัตนปิติกรณ์. (2559). *ผลของปริมาณ เจลาติน คาราจีแนน คอลลาเจน ที่มีต่อสมบัติการเกิดเจลของผลิตภัณฑ์เยลลี่ฟักข้าวเสริมคอลลาเจน*. FST CMU Research exercise 2016. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

กุสุมา ทินกร ณ อยุธยา และนัทมน พุฒดวง. (2559). การพัฒนาผลิตภัณฑ์เยลลี่ธัญพืชเพื่อสุขภาพ. *วารสารเทคโนโลยีการอาหารมหาวิทยาลัยสยาม*, ปีที่ 11(ฉบับที่ 1 มกราคม–ธันวาคม 2559), 13-20.

จริยา เดชกุญชร. (2546). *เอกสารการสอนวิชาเบเกอรี่*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราช มงคล.

จุรีพร จิตจำรูนโชคไชย. (2532). *คุณค่าทางโภชนาการของปลา*. เข้าถึงได้จาก https://www.doctor.or.th/article/detail/6498 *เทรนอาหารปี 2558 ที่น่าจับตามอง*. เข้าถึงได้จาก http://fic.nfi.or.th/MarketOverviewWorldDetail.php?id=18

นิธิยา รัตนาปนนท์. (2549). *เคมีอาหาร.* กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.

บริษัท ยูบีเอ็ม เอเชีย (ประเทศไทย). (2559). 12 เทรนด์อาหารมาแรงในปี 2016-2017. เข้าถึงได้จาก http://positioningmag.com/1097514

รัชนี ตัณฑพานิช. (2547). *เคมีอาหาร.* พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

ฤทัย เรืองธรรมสิงห์, พรทิพย์ ปิยะสุวรรณยิ่ง และน้องนุช ศิริวงศ์. (2559). การพัฒนาสูตรพุดดิ้งนมสดที่ทดแทนด้วยน้ำนมข้าวโพด. วารสารวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 44(2), 345-354.

วราภรณ์ วิทยาภรณ์. (2543). *การศึกษาสมบัติของเจลผสมระหว่างแคปปา-คาร์ราจีแนนกับกลูโคแมนแนน และการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์เยลลี่*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศูนย์พัฒนาประมงพื้นที่ลุ่มน้ำปากพนังอันเนื่องมาจากพระราชดำริ. (2555). ความรู้เกี่ยวกับการเลี้ยงสัตว์น้ำ “ปลากระพงขาว”. เข้าถึงได้จาก http://www.fisheries.go.th/cf-pak_panang/index.php

สลิลดา เศรษฐา. (2558). *การพัฒนาผลิตภัณฑ์พุดดิ้งข้าวโพดจากสตาร์ชมันสำปะหลังและแคปปา-คาร์ราจีแนน.* วิทยานิพนธ์วิทยาศาตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร, คณะอุตสาหกรรมการเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุทธิวัฒน์ แซ่ฮ้อ ณัฐพัฒน์ วัฒนกฤษฎา ผาณิต ไทยยันโต และ เบญจวรรณ ธรรมธนารักษ์. (2554). *การพัฒนาผลิตภัณฑ์เยลล่คาราจีแนนสูตรน้ำผัก*. ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร, คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

สุนิศรา เอี่ยมคง. (2559). *รู้จัก “ถั่วพัลส์” มากโปรตีน-ไขมันต่ำ*. เข้าถึงได้จาก http://www.manager.co.th/science/viewnews.aspx?NewsID=9590000002065

สำนักโภชนาการ กรมอนามัย. (2550). ปลา-อาหารคู่ชีวิต. กลุ่มวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ, กองโภชนาการ, กรมอนามัย, กระทรวงสาธารณสุข. เข้าถึงได้จาก http://nutrition.anamai.moph.go.th/temp/main/view.php?group=2&id=122

Alamprese, C. & Mariotti, M. (2011). Effects of different milk substitutes on pasting, rheological and textural properties of puddings. *LWT Food Science and Technology* , 44(10).

A.O.A.C. (2000). *Official Methods of the Association of Official Analytical Chemists*. (14th ed.) Washington D.C.: Association Official Analytical Chemist.

B.A.M. (Bacteriological analytical manual Online). (2001). *Chapter 3 Aerobic plate count*. USFDA. 8 pp. from http://www.cfsan.fda.gov

B.A.M. (Bacteriological analytical manual Online). (2001). *Chapter 18 Yeasts Molds and Mycotoxins*. USFDA. 4 pp. From http://www.cfsan.fda.gov

Byars, J. A. & Singh, M. (2016). Rheological and textural properties of pulse starch gels. *Starch*, 68, 778-784.

Early, R. (1998). *The Technology of Dairy Products*. 2nd ed. Blackie Academic & Professional, London.

Elmore, J. R., Heymann, H., Johnson, J. & Hewett, J. E. (1999). *Preference mapping: relating acceptance of 'creaminess' to a descriptive sensory map of a semi-solid. Food Quality and Preference*.10, 465-475.

FAO (2016) .International Year of Pulses 2016. Archived from http://www.fao.org/pulses-2016/en/

Funami, T., Ishihara, S., Nakauma, M., Kohyama, K., & Nishinari, K. (2012). Texture design for products using food hydrocolloids. Food Hydrocolloids, 26, 412-420.

Garcia-Garcia, E. and Totosaus, A. (2008). Low-fat sodium-reduced sausages: Effect of the interaction between locust bean gum, potato starch and k-carrageenan by a mixture design approach. *Meat Sci*, 78, 406-413.

Greiff, K., Staurem, C. J., Nordvi, B. & Rustad, T. (2015). Novel utilization of milk-based ingredients in salt reduced fish pudding. *LWT - Food Science and Technology,* 63(1), 92-99.

Hayakawa. F., Kazami, Y., Ishihara, S., Nakao, S., Nakauma, M., Funami, T., Nishinara, K.& Kohyma, K. (2014). Characterization of eating difficulty by sensory evaluation of hydrocolloid gels. Food Hydrocolloids, 38, 95-103.

Hu, Y. (1999). Study on rough rice fissuring during intermittent drying. Drying Technology An International Journal, 17, 1779-1793.

Hun, C. L., Chen, W., Weng, Y. M., & Tseng, C. Y. (2003). Chemical composition, physical properties, and antioxidant activities of yam flours as affected by different drying methods. *Food chemistry, 83,* 85-92.

Julian, J. F. (2004). Linear Model with R. London: Chapman and Hall.

Karagozler, A. A., Erdag, B., Emer, Y. C., & Uygun, D. A. (2008). Antioxidant activities and proline content of leaf extracts from Dorystoechas hastate. *Food Chemistry,*

111, 400-407.

Kohyama, K., Hayakawa, F., Kazami, Y., Ishihara, S., Nakao, S., Funami, T. & Nishinari, K. (2015). Electromyographic texture characterization of hydrocolloid gels as model foods with varying mastication and swallowing difficulties. *Food Hydrocolloids*, 43(Supplement C), 146-152.

Lim, H. S. & G. Narsimhan. 2006. Pasting and rheological behavior of soy protein-based pudding. *LWT Food Sci*, 39, 343-349.

Lux Research, Inc. (2015). , Alternative Proteins to Claim a Third of the Market by 2054 Archived from http://www.luxresearchinc.com/search/node/alternative%20protein

Piculell, L. (1995). Gelling carrageenans. *Food Polysaccharides* . New York: Marcel Dekker, Inc.

Rodarte, C. W., Galvan, M. V., Farres, A., Gallardo, F., Marshall, V. E. & Garibay, M.G. (1993).Yoghurt production from reconstituted skim milk powders using different polymer and nonpolymer forming starter cultures. *Journal of Dairy Reserch*, 60, 247–254.

Singh, N. (2017). Pulses: an overview. *J Food Sci Technol*, 54(4), 853–857.

Tiwari BK & Singh N. (2012). *Pulse chemistry and technology*. Cambridg: Royal Society of Chemistry.

United States Department of Agriculture (USDA). (2016). Mung beans, mature seeds, raw. From https://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/303699?manu=&fgcd=&ds=&q=Mung%20beans,%20mature%20seeds,%20raw

United States Department of Agriculture (USDA). (2016). Beans, adzuki, mature seeds, raw . From https://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/303623?manu=&fgcd=&ds=&q=Beans,%20adzuki,%20mature%20seeds,%20raw