



ผลของปริมาณเนื้อปลากะพงขาวบดและแคปปา-คาราจีแนน
ต่อคุณภาพทางกายภาพและประสาทสัมผัสของอาหารเจลจากถั่วเขียว

Effect of Minced White Sea Bass Meat and Kappa-Carrageenan Content on
Physical and Organoleptic Quality of Gel Food from Mung Bean

วิชมณี ยืนยงพุทธกาล^{1*} ณัฐชา บุตรรอด¹ และ พิษชานันท์ วิจิตรประไพ¹

¹ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ชลบุรี 20131

*Corresponding Author, E-mail: wich@go.buu.ac.th

Received: 6 March 2019 | Revised: 18 June 2019 | Accepted: 19 November 2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีแนวคิดพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเจลรูปแบบใหม่ที่มีส่วนผสมของเนื้อปลาทะเลและถั่ว เพื่อให้สอดคล้องกับแนวโน้มความต้องการอาหารโปรตีนของผู้บริโภค โดยศึกษาผลของการใช้เนื้อปลากะพงขาวบดและแคปปา-คาราจีแนนต่อคุณภาพของอาหารเจลจากถั่วเขียว โดยมีการแปรปริมาณเนื้อปลากะพงขาวบดช่วง 2.0 -10.0% และแคปปา-คาราจีแนนช่วง 0.5-1.5% และจัดสิ่งทดลองแบบ Central Composite Design ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบพหุ พบว่า สมการของค่า $L^* a^* b^*$ Hardness และ Adhesiveness มีความน่าเชื่อถือ โดยมีค่า R^2 อยู่ในช่วง 0.973 - 0.999 และมีค่า Model significance น้อยกว่า 0.05 ในขณะที่สมการของ Cohesiveness และคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัส ยังไม่มีความน่าเชื่อถือในการทำนาย อาหารเจลที่มีส่วนผสมของถั่วเขียวบด 50.0% เนื้อปลากะพงขาวบด 10.0% แคปปา-คาราจีแนน 1.0% น้ำตาลทราย 2.0% เกลือ 0.2% และน้ำ 36.8% ได้รับคะแนนความชอบด้านรสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมสูงที่สุด ($P<0.05$)

ABSTRACT

This research was to study the effect of minced White Sea Bass meat and kappa-carrageenan on the quality of gel food from mung beans. The amount of minced White Sea Bass meat in the range of 2.0-10.0% and kappa-carrageenan in the range of 0.5-1.5% were carried out using Central Composite Design experiments. The results of multiple regression analysis showed that the equation in terms of $L^* a^* b^*$ hardness and adhesiveness were reliable according to R^2 range 0.973 - 0.999 and model significance less than 0.05. The equations of cohesiveness and sensory liking scores were not satisfied for prediction. Gel food containing 50.0% mashed mung beans, 10.0% minced White Sea Bass meat, 1.0% kappa-carrageen, 2.0% sugar, 0.2% salt and 36.8% water received the highest scores in terms of taste, texture and overall liking ($P < 0.05$).

คำสำคัญ: อาหารเจล ปลากระพงขาวบด แคปπα-คาราจีแนน ถั่วเขียว

Keywords: Gel food, White Sea Bass meat mince, Kappa-carrageenan, Mung bean

บทนำ

อาหารประเภทเจล หมายถึง อาหารที่มีโครงสร้างเป็นระบบคอลลอยด์ที่ไม่แสดงการไหล (no steady-state flow) โครงสร้างประกอบด้วยส่วนของเหลวและของแข็ง โดยมีของเหลวทำหน้าที่เป็นตัวกลางและของแข็งที่มีอยู่ในโครงสร้างทำหน้าที่ประสานกันเป็นร่างแห การเกิดโครงสร้างของเจลขึ้นอยู่กับสมดุลระหว่างแรงดึงดูดกับแรงผลักระหว่างอนุภาคคอลลอยด์ด้วยกันเอง รวมทั้งระหว่างอนุภาคคอลลอยด์และสารที่เป็นของเหลว (Schmidt, 1981) ในการผลิตอาหารประเภทเจลมักมีการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์เพื่อให้ได้เจลที่มีคุณภาพดี เช่น มีความคงตัว ไม่เกิดการแยกน้ำออกจากตัวอย่าง และมีลักษณะเนื้อสัมผัสดี เป็นต้น (Badii and Howell, 2006) มีรายงานว่าสารไฮโดรคอลลอยด์ที่เหมาะสมสำหรับใช้ผลิตอาหารประเภทเจลที่มีเนื้อสัมผัสนุ่มและกลืนง่าย เช่น เยลลี่ พุดดิ้ง คือ แคปπα-คาราจีแนน เนื่องจากได้เจลที่มีความคงตัวดี รวมทั้งสามารถทำปฏิกิริยากับโปรตีนเกิดโครงสร้างเป็นเจลที่มีลักษณะยืดหยุ่นและนุ่ม รวมทั้งทำให้เกิดลักษณะเจลที่เอื้อต่อการเคี้ยวและกลืน (สุทธิวัฒน์ และคณะ, 2554; Thomas, 1997) โดยลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารเจลอี้มีความเหมาะสมสำหรับกลุ่มผู้บริโภคกลุ่มผู้สูงอายุหรือมีความสามารถในการเคี้ยวลดลง รวมทั้งผู้บริโภคที่ต้องการความสะดวกในการเคี้ยว (Hayakawa et al., 2015)

ในปัจจุบันแนวโน้มพฤติกรรมผู้บริโภคเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม โดยกระแสการห่วงใยสุขภาพและความปลอดภัยของผู้บริโภคได้รับความนิยมมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง อาหารโปรตีนเป็นอาหารเพื่อสุขภาพชนิดหนึ่งที่มีแนวโน้มว่าผู้บริโภคให้ความสนใจ (สถาบันอาหาร, 2558) งานวิจัยนี้มีแนวคิดพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเจลรูปแบบใหม่ที่มีส่วนผสมของเนื้อปลาทะเลและถั่วเพื่อให้สอดคล้องกับแนวโน้มความต้องการอาหารโปรตีนของผู้บริโภค โดยเลือกใช้วัตถุดิบหลักเป็นเนื้อปลาเศรษฐกิจที่สามารถหาได้ง่ายในประเทศไทย มีไขมันต่ำ (2-4%) และมีปริมาณโปรตีนสูง (17-22%) คือ ปลากระพงขาว โดยโปรตีนจากเนื้อปลาเป็นโปรตีนที่ย่อยง่าย และยังประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวกลุ่มโอเมก้า-3 ที่มีความสำคัญต่อร่างกาย มีวิตามินบี 1 และวิตามินบี 2 ที่ช่วยในการทำงานของระบบประสาท (แสงโสม,

2559) และมีแนวคิดบูรณาการใช้ถั่วเขียวร่วมกับถั่ว โดยถั่วเขียวจัดอยู่ในกลุ่มของถั่วพัลส์ (Pulses) ชนิดหนึ่งที่มีโปรตีนสูง (20-40%) และไขมันต่ำ (ไม่เกิน 4%) มีองค์ประกอบของสารพฤกษเคมีที่สำคัญ เช่น ฟลาโวนอยด์ ไอโซฟลาโวน และยังเป็นถั่วที่มีศักยภาพด้านการผลิตในประเทศไทย (เกรียงไกร, 2559; สุนิศา, 2559) โดยแนวคิดนี้สอดคล้องกับที่ FAO ได้ประกาศให้ปี 2559 เป็นปีสากลแห่งถั่วพัลส์ หรือ 2016 International Year of Pulses ให้ตระหนักถึงคุณค่าของพืชจำพวกถั่วพัลส์ โดยเฉพาะประโยชน์ทางโภชนาการและศักยภาพทางการเกษตรที่ยั่งยืนก่อให้เกิดความมั่นคงด้านอาหารและโภชนาการ ถั่วพัลส์เหมาะที่จะเป็นอาหารสำหรับประชากรทั่วโลกและเหมาะกับผู้บริโภคที่รักสุขภาพ (FAO, 2015) จากการทำการทดลองเบื้องต้น พบว่า มีความเป็นไปได้ที่จะใช้ถั่วเขียวบดเป็นส่วนผสมในการผลิตอาหารเจลโดยใช้แคปπα-คาราจีแนนเป็นสารที่ทำให้เกิดเจล อย่างไรก็ตามการเพิ่มปริมาณเนื้อปลากระพงขาวอาจมีผลกระทบต่อปริมาณแคปπα-คาราจีแนนที่ใช้ด้วยเนื่องจากเนื้อปลาแต่ละชนิดมีกรดอะมิโนเป็นองค์ประกอบหลักและมีโครงสร้างที่แตกต่างกัน การใช้ปริมาณเนื้อปลาที่แตกต่างกันอาจมีผลต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนในระหว่างการแปรรูปซึ่งอาจมีผลต่อโครงสร้างของอาหารเจลได้ (Jafarpour and Gorczyca, 2012; Greiff et al., 2015) จากการตรวจสอบเอกสารยังไม่พบการศึกษาสูตรอาหารประเภทเจลที่ทำมาจากส่วนผสมของเนื้อปลาและถั่ว งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของปริมาณเนื้อปลากระพงขาวบดและแคปπα-คาราจีแนนต่อคุณภาพด้านสีและลักษณะเนื้อสัมผัสรวมทั้งความชอบทางประสาทสัมผัสประสาทสัมผัสของอาหารเจลจากถั่วเขียวเพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาสูตรอาหารเจลที่เหมาะสมต่อไป

วิธีการดำเนินการวิจัย

การเตรียมถั่วเขียวบด

การเตรียมถั่วเขียวบดดัดแปลงจากวิธีของวันทนี (2551) ดำเนินการโดยนำถั่วเขียวทั้งเปลือก (ตราข้าวทอง, บริษัทอุตสาหกรรมอาหารไทย (1964) จำกัด) มาล้างให้สะอาดให้ความร้อนในกระทะ (คั่ว) ที่อุณหภูมิ 80 ± 2 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 นาที แล้วแช่น้ำอุณหภูมิ 98 ± 2 องศาเซลเซียส

เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นนำถั่วเขียวมาบดผสมกับน้ำ โดยใช้เครื่องบดผสมอาหาร (Phillips รุ่น HR2118) ที่ความเร็วระดับ 1 (ความเร็วประมาณ 10,000 rpm) เป็นเวลา 6 นาที (อุณหภูมิประมาณ 27 ± 2 องศาเซลเซียส) กำหนดอัตราส่วนถั่วเขียว:น้ำ เท่ากับ 1:5 จากนั้นนำถั่วเขียวบดมากรองผ่านตะแกรงสแตนเลส ที่มีขนาดรู 40 เมช เพื่อควบคุมความละเอียดของถั่วเขียวบด

การเตรียมเนื้อปลากะพงขาวบด

การเตรียมเนื้อปลากะพงขาวบดดัดแปลงจากวิธีของ สุทรวัดน์ (2549) ดำเนินการโดยนำเนื้อปลากะพงขาวแช่แข็ง (ตราเมอร์คิวรี, บริษัท ดี ฟู้ดส์ โปรดักส์ จำกัด) มาทำละลายโดยแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 ชั่วโมง แล้วส่วนหนังปลาและชั้นไขมันออก นำเนื้อปลามาบดโดยใช้เครื่องบดผสมอาหาร (Phillips รุ่น HR2118) ที่ความเร็วระดับ 2 (ความเร็วประมาณ 15,000 rpm) เป็นเวลา 3 นาที (อุณหภูมิประมาณ 27 ± 2 องศาเซลเซียส) จากนั้นนำเนื้อปลามากดผ่านตะแกรงสแตนเลส ที่มีขนาด 40 เมช เพื่อควบคุมความละเอียดของเนื้อปลาบด

การศึกษาผลของปริมาณเนื้อปลากะพงขาวบดและแคปπα-คาราจีแนนต่อคุณภาพของอาหารเจลจากถั่วเขียว

การผลิตอาหารเจล ดำเนินการโดยนำถั่วเขียวบดและเนื้อปลากะพงขาวบดมาบดผสมรวมกัน โดยใช้เครื่องบดผสม

อาหาร (BRAUN รุ่น Combimax 600) ที่ความเร็วระดับ 1 (ความเร็วประมาณ 25,000 rpm) เป็นเวลา 5 นาที เตรียมสารละลายเจลโดยเติมแคปπα-คาราจีแนนในน้ำอุณหภูมิ 80 ± 2 องศาเซลเซียส คนให้คาราจีแนนละลายโดยให้ความร้อนเป็นเวลา 2 นาที จะได้สารละลายเจลมีลักษณะใส จากนั้นเติมเกล็ด (ตราปฐิพย์ บริษัทอุตสาหกรรมเกล็ดบริษัท จำกัด) และน้ำตาลทราย (ตรามิตรผล, บริษัทน้ำตาลมิตรผล จำกัด) คนให้ละลายโดยให้ความร้อนต่อเป็นเวลา 2 นาที แล้วจึงเติมส่วนผสมถั่วเขียวบดและเนื้อปลากะพงขาวบดที่เตรียมไว้ ให้ความร้อนต่อเป็นเวลา 2 นาที แล้วเทส่วนผสมลงในถ้วยพลาสติก ขนาดบรรจุ 30 มิลลิลิตร นำไปแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง เพื่อให้เป็นเจลที่คงรูป

แปรปริมาณเนื้อปลากะพงขาวบดในช่วง 2.00-10.00% และปริมาณแคปπα-คาราจีแนนในช่วง 0.50-1.50% โดยใช้น้ำเป็นตัวปรับส่วนผสมให้รวมกันได้ 100% รายละเอียดส่วนผสมของอาหารเจลแสดงดังตารางที่ 1 จัดสิ่งทดลองแบบ Central Composite Design (CCD) แบบพหุนกำลังสองมาตรฐาน ศึกษาปัจจัยละ 5 ระดับ (ค่ารหัส -1.414, -1, 0, 1, 1.414) รายละเอียดระดับของปัจจัยที่ศึกษาแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ปริมาณส่วนผสมของอาหารเจล

ส่วนผสม	ปริมาณ (%)
ถั่วเขียวบด	50.00
น้ำตาลทราย	2.00
เกล็ด	0.20
เนื้อปลากะพงบด	2.0-10.0
แคปπα-คาราจีแนน	0.50-1.50
น้ำ	36.8-44.8
(ปรับส่วนผสมให้ได้ 100)	

ตารางที่ 2 ระดับของปัจจัยที่ศึกษาจากการจัดสิ่งทดลองแบบ CCD แบบพหุนกำลังสองมาตรฐาน

ปัจจัยที่ศึกษา	-1.414	-1	0	1	+1.414
เนื้อปลากะพงขาวบด (%)	2.0	3.2	6.0	8.8	10.0
แคปπα-คาราจีแนน (%)	0.50	0.65	1.00	1.35	1.50

การวิเคราะห์คุณภาพอาหารเจล

วิเคราะห์ด้านสี (รายงานเป็นค่าสี L^* a^* และ b^*) ใช้เครื่องวัดค่าสี (Hunterlab, รุ่น Miniscan) ลักษณะเนื้อสัมผัส (รายงานเป็นค่า Hardness Adhesiveness และ Cohesiveness) ใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Stable Micro System, รุ่น TA.XT Plus) โดยใช้หัววัดทรงกระบอก (P/50) ทดสอบวิธี Texture Profile Analysis และประเมินความชอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point hedonic scale ด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัสขณะดัก เนื้อสัมผัสภายในปาก และความชอบโดยรวม โดยผู้บริโภครุ่นอายุ 20-45 ปีจำนวน 30 คน

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทดลอง 3 ซ้ำ นำข้อมูลมาวิเคราะห์สมการถดถอยแบบพหุ (Multiple regressions) คัดเลือกสมการที่น่าเชื่อถือมาสร้างกราฟพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Plot) สำหรับข้อมูลที่สร้างสมการแล้วมีความน่าเชื่อถือไม่ดีพอจะนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD ยกเว้นการประเมินทางประสาทสัมผัส วางแผนการทดลองแบบ RCBD เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Tukey's test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดำเนินการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab Version 17

ผลการวิจัยและวิจารณ์

ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบพหุ

จากการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบพหุ ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าคุณภาพของอาหารเจลจากถั่วเขียว กับตัวแปรต้นที่ศึกษา โดยมีค่าคุณภาพที่วิเคราะห์จำนวน 13 ตัวแปร

ได้แก่ ค่าสี L^* ค่าสี a^* ค่าสี b^* ค่า Hardness ค่า Adhesiveness ค่า Cohesiveness รวมทั้งคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัสขณะดัก เนื้อสัมผัสภายในปาก และความชอบโดยรวม ตัวแปรต้นที่ศึกษาจำนวน 2 ตัวแปร ได้แก่ ปริมาณเนื้อมะพร้าวขาวบดและปริมาณแคลป-คาราจีแนน งานวิจัยนี้พิจารณาความน่าเชื่อถือของสมการจากค่า R^2 (Coefficient of Determination) ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ถ้ามีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าสมการมีความน่าเชื่อถือและเหมาะสมที่จะนำมาทำนายค่าได้ ไพโรจน์ (2555) กล่าวว่า ค่า R^2 ไม่ควรมีค่าน้อยกว่า 0.75 เพราะหากน้อยกว่า 0.75 แสดงถึงสมการถดถอยที่ได้นั้นทำนายข้อมูลได้ไม่เที่ยงตรงดีพอ นอกจากนี้ยังพิจารณาความน่าเชื่อถือของสมการจากค่า Model Significance ซึ่งบ่งบอกถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Y และค่า X ถ้ามีค่าต่ำกว่า 0.05 แสดงถึงค่า Y และค่า X มีความสัมพันธ์กันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จากผลการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบพหุ พบว่า สมการทั้ง 12 สมการ มีค่า R^2 อยู่ในช่วง 0.146-0.999 และค่า Model Significance มีค่าอยู่ในช่วง 0.000-0.304 โดยพบว่าสมการที่มีค่า R^2 มากกว่าหรือเท่ากับ 0.75 และค่า Model Significance น้อยกว่า 0.05 จำนวน 5 สมการ ได้แก่ สมการของค่าสี L^* (Y_1) ค่าสี a^* (Y_2) ค่าสี b^* (Y_3) ค่า Hardness (Y_4) และค่า Adhesiveness (Y_5) โดยทั้ง 5 สมการมีค่า R^2 อยู่ในช่วง 0.936-0.999 และมีค่า Model Significance เท่ากับ 0.000 จึงกล่าวได้ว่าเป็นสมการที่มีความน่าเชื่อถือและมีความสัมพันธ์ระหว่างค่า Y และค่า X ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยทั้ง 5 สมการ มีรูปแบบของสมการเทอมกำลังหนึ่ง (X_1 , X_2) เทอมกำลังสอง (X_1X_1 , X_2X_2) และเทอมปฏิสัมพันธ์กัน (X_1X_2) ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สมการความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพของอาหารเจลจากถั่วเขียว (Y_1 - Y_5) กับปริมาณเนื้อมะพร้าวขาวบด (X_1) และปริมาณแคลป-คาราจีแนน (X_2)

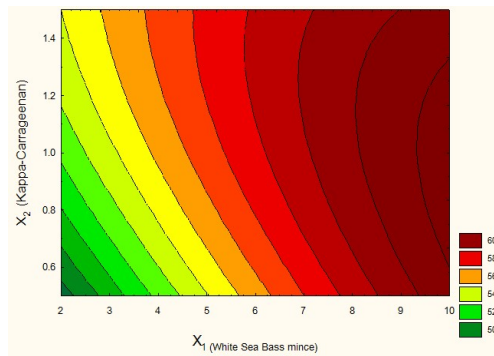
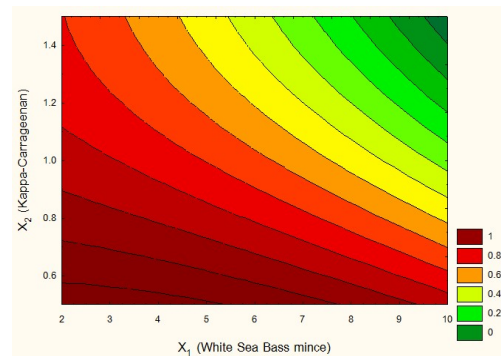
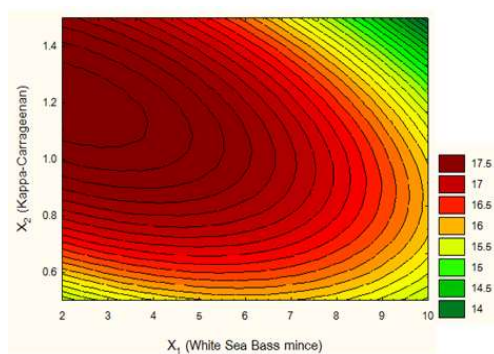
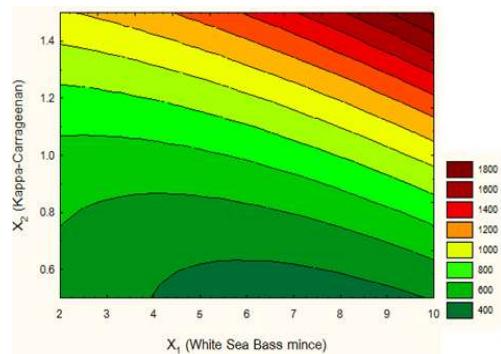
คุณภาพ	สมการ	R^2	Model Sig.
สี L^*	$Y_1 = 38.050 + 2.563X_1 + 14.469X_2 - 0.057X_1X_1 - 0.719X_1X_2 - 3.773X_2X_2$	0.999	0.000
สี a^*	$Y_2 = 1.5441 + 0.0524X_1 - 0.969X_2 - 0.0045X_1X_1 - 0.0714X_1X_2 + 0.3296X_2X_2$	0.995	0.000
สี b^*	$Y_3 = 11.229 + 0.536X_1 + 10.154X_2 - 0.029X_1X_1 - 0.344X_1X_2 - 3.931X_2X_2$	0.971	0.000
Hardness	$Y_4 = 867.437 - 124.702X_1 - 720.039X_2 + 5.852X_1X_1 + 64X_1X_2 + 472.233X_2X_2$	0.973	0.000
Adhesiveness	$Y_5 = 71.6215 - 58.8773X_1 + 72.2377X_2 + 1.2221X_1X_1 + 43.602X_1X_2 - 32.624X_2X_2$	0.936	0.000

ผลการสร้างกราฟพื้นผิวตอบสนอง

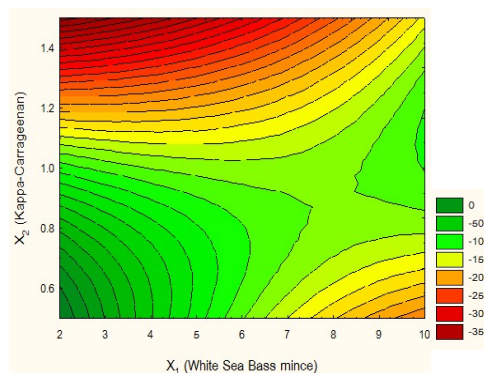
จากการนำสมการที่น่าเชื่อถือมาสร้างกราฟพื้นผิวตอบสนองแสดงผลดังรูปที่ 1 (a) - (e) จากรูปที่ 1 (a) แสดงถึงแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเนื้อปลากะพงและแคปปา-คาราจีแนนต่อค่า L^* พบว่า เมื่อใช้ปริมาณเนื้อปลากะพงขาวบดน้อย (ประมาณ 2-4.5%) ร่วมกับการใช้ปริมาณแคปปา-คาราจีแนนน้อย (ประมาณ 0.5-1.15%) อาหารเจลมีค่า L^* ต่ำ (50-52) และเมื่อใช้ปริมาณเนื้อปลากะพงขาวบดมากขึ้น ร่วมกับทุกระดับของปริมาณการใช้แคปปา-คาราจีแนน พุดังจะมีค่า L^* สูงขึ้น (56-60) แสดงให้เห็นว่าการใช้เนื้อปลากะพงขาวบดเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่า L^* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นซึ่งแสดงถึงความสว่างมากขึ้น อาจเนื่องมาจากเนื้อปลากะพงขาวบดเมื่อผ่านการให้ความร้อนทำให้เนื้อปลาสุกและมีสีขาว ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพธรรมชาติของโปรตีนไมโอซิน (Myosin) ซึ่งเป็นส่วนประกอบของเส้นใยกล้ามเนื้อเกิดการคลายตัวและแตกตะกอนซึ่งผ่นกลับไม่ได้ การใช้เนื้อปลากะพงขาวบดมากขึ้นจึงทำให้อาหารเจลมีสีออกขาวมากขึ้นนั่นเอง จากรูปที่ 1 (b) และ (c) แสดงถึงแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเนื้อปลากะพงขาวบดและแคปปา-คาราจีแนนต่อค่า a^* และค่า b^* ซึ่งแสดงถึงสีแดง (ค่า a^* เป็นบวก) และสีเหลือง (ค่า b^* เป็นบวก) ตามลำดับ พบว่า เมื่อใช้ปริมาณเนื้อปลากะพงขาวบดมาก (ประมาณ 7-10%) ร่วมกับการใช้ปริมาณแคปปา-คาราจีแนนมาก (ประมาณ 1-1.5%) อาหารเจลมีค่า a^* ต่ำ (a^* ต่ำกว่า 0.2) ซึ่งให้แนวโน้มคล้ายกับค่า b^* ที่พบว่าหากใช้ปริมาณเนื้อปลากะพงขาวบดมาก (ประมาณ 8-10%) ร่วมกับการใช้แคปปา-คาราจีแนนมาก (ประมาณ 1.2-1.5%) อาหารเจลมีค่า b^* ต่ำเช่นกัน (b^* 15.5-16) อาจเป็นผลจากการเติมเนื้อปลากะพงขาวบดปริมาณมากทำให้อาหารเจลมีลักษณะขาวมากขึ้น ไม่คล้ำ จึงมีสีออกแดงหรือเหลืองน้อยลง นอกจากนี้ Garcia-Garcia and Totosaus (2008) กล่าวว่า ปริมาณการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ อาจมีผลต่อสีของผลิตภัณฑ์อาหารได้ เนื่องจากปริมาณการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์เป็นปัจจัยที่สำคัญเกี่ยวกับการเกิดลักษณะเจลที่ใส (Clear gel matrix) ซึ่งมีผลกระทบต่อการสะท้อนของแสง (Light reflection) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการใช้ปริมาณแคปปา-คาราจีแนนมากขึ้นมีโอกาสทำให้เกิดลักษณะเจล

ใสมากขึ้น ส่งผลให้มีโอกาสเกิดการสะท้อนของแสงมากขึ้น อาหารเจลจึงมีลักษณะสว่างขึ้น จึงมีสีออกแดงหรือเหลืองน้อยลงนั่นเอง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sinthusamran et al. (2017) รายงานว่า ค่า a^* ของตัวอย่างเจลผสมระหว่างเจลาตินปลาและแคปปา-คาราจีแนนลดลงเมื่อใช้แคปปา-คาราจีแนนปริมาณมากขึ้น

ค่า Hardness คือ ค่าความแข็งของตัวอย่าง ซึ่งหมายถึงแรงที่ใช้ในการทำให้ตัวอย่างเสียรูป (พิมพ์เพ็ญ และจิราภา, 2549) จากรูปที่ 1 (d) พบว่า เมื่อใช้ปริมาณเนื้อปลากะพงขาวบดมาก (ประมาณ 4.5-10%) ร่วมกับการใช้ปริมาณแคปปา-คาราจีแนนมาก (ประมาณ 1-1.5%) อาหารเจลมีค่า Hardness มาก (1400 - 1800 g) ทั้งนี้เนื่องมาจากการใช้แคปปา-คาราจีแนนมากขึ้นส่งผลให้เกิดการสร้างโครงสร้างเจลได้มากขึ้น เมื่อแคปปา-คาราจีแนนละลายน้ำจะมีโครงสร้างแบบเกลียวที่ไม่มีระเบียบ (Random coil) เมื่อเย็นตัวลงจะเกิดโครงสร้างแบบเกลียวคู่ (Double helices) และเกิดโครงสร้าง 3 มิติ โดยโพลิเมอร์แต่ละสายจะรวมตัวเข้ามาใกล้กันและเกิดเป็นจุดร่วม (Junction point) ซึ่งเมื่อเกาะรวมตัวกันมากขึ้นจะทำให้เกิดการแข็งตัวเป็นเจล การใช้แคปปา-คาราจีแนนปริมาณมากร่วมกับการใช้น้ำในสัดส่วนที่เหมาะสม จะมีโอกาสเกิดโครงสร้าง Double helices มากขึ้นส่งผลให้มีโครงสร้างตาข่ายเจลที่แข็งแรงและมีความคงตัวมากขึ้น นอกจากนั้นยังเกิดเจลกับโปรตีนได้อีกด้วย โดยหมู่ซัลเฟตในโมเลกุลของคาราจีแนนจะทำปฏิกิริยากับหมู่ที่มีประจุบวกในโมเลกุลของโปรตีนแล้วเกิดเป็นโครงสร้างตาข่ายเจลได้ (Langendorff et al., 1999; Norziah and Karim, 2006) นอกจากนี้โปรตีนในเนื้อปลามีสมบัติเชิงหน้าที่ด้านความสามารถในการเกิดเจล และมีสมบัติอื่นที่เอื้อต่อการเกิดเจลด้วย เช่น ความสามารถในการอุ้มน้ำ ความสามารถในการละลาย รวมทั้งสภาวะการได้รับความร้อนและการมีส่วนร่วมที่มีเกลือหรือแร่ธาตุ ก็ล้วนมีผลต่อพฤติกรรมที่เอื้อต่อการเกิดเจลของโปรตีนในเนื้อปลาได้ (Jafarpour and Gorczyca, 2012) การเพิ่มปริมาณเนื้อปลากะพงขาวบดมากขึ้นจึงเพิ่มโอกาสการเกิดเจลระหว่างแคปปา-คาราจีแนนกับโปรตีนในเนื้อปลาได้ รวมทั้งเป็นการเพิ่มปริมาณของแข็งให้ส่วนผสม จึงมีโอกาสให้เสริมความแข็งแรงของโครงสร้างเจลได้เช่นกัน

(a) ค่าสี L^* (b) ค่าสี a^* (c) ค่าสี b^* 

(d) ค่า Hardness



(e) ค่า Adhesiveness

รูปที่ 1 (a-e) ภาพพื้นผิวตอบสนองของค่าสี L^* , ค่าสี a^* , ค่าสี b^* , ค่า Hardness และ ค่า Adhesiveness ของอาหารเจลจากถั่วเขียวเมื่อแปรปริมาณเนื้อปลากะพงขาวบด (X_1) และปริมาณแคปไซซิน (X_2)

ค่า Adhesiveness คือ ความสามารถในการเกาะติดผิววัสดุ ซึ่งหมายถึงงานที่ใช้ในการเอาชนะแรงระหว่างพื้นผิวของตัวอย่างกับพื้นผิวของวัสดุอื่นที่ตัวอย่างสัมผัสอยู่ (พิมพ์เพ็ญและจิราภา, 2549) จากรูปที่ 1 (e) พบว่า อาหารเจลมีค่า Adhesiveness น้อย (ต่ำกว่า 150 g.sec) ซึ่งแสดงถึงตัวอย่างเกาะติดอยู่กับวัสดุน้อย ใน 2 บริเวณ บริเวณแรก คือ เมื่อใช้

ปริมาณเนื้อปลากะพงขาวบดน้อย (2-8%) ร่วมกับการใช้แคปไซซินปริมาณน้อย (0.5-1.1%) บริเวณที่สอง คือ เมื่อใช้ปริมาณเนื้อปลากะพงขาวบดมาก (8-10%) ร่วมกับการใช้แคปไซซินปริมาณมาก (0.7-1.3%) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในการวิเคราะห์ค่า Adhesiveness เป็นการประเมินถึงการเกาะติดของเจลกับผิววัสดุ (หัววัด) เจลที่มีลักษณะดีได้จาก

การมีความสมดุลระหว่างปริมาณของแข็งในระบบกับปริมาณสารที่ทำให้เกิดเจลซึ่งทำให้เกิดโครงสร้างเจลที่มีความคงตัวดี เมื่อห้วัดกดตัวอย่างแล้วดึงห้วัดออกจากอาหาร จะไม่มีส่วนผสมส่วนเกินไปยึดติดกับห้วัด ทำให้งานที่ใช้ในการเอาชนะแรงระหว่างพื้นผิวของตัวอย่างกับพื้นผิวของวัสดุอื่นที่ตัวอย่างสัมผัสอยู่มีค่าน้อย เมื่อพิจารณาจากบริเวณพื้นที่ทั้งสองที่กล่าวไว้ข้างต้น เป็นไปได้ว่าเป็นเจลที่เกิดจากการใช้เนื้ปลากะพงขาวบด ร่วมกับการใช้แคลป-คาราจีแนนในปริมาณที่เหมาะสมดี จึงมีโอกาทำให้เกิดความสมดุลระหว่างปริมาณของแข็งในระบบกับปริมาณสารที่ทำให้เกิดเจลและปริมาณน้ำ ทำให้มีโอกาสเกิดโครงสร้างเจลที่มีความคงตัวดีได้ สอดคล้องกับที่ Huang et al. (2007) รายงานว่า ปริมาณการใช้แคลป-คาราจีแนนมีผลต่อค่า Adhesiveness ของเจลแป้งข้าว สภาวะที่มีความสมดุลเหมาะสมระหว่างปริมาณแป้งข้าว แคลป-คาราจีแนน และน้ำ มีแนวโน้มไม่มีส่วนผสมส่วนเกินไปยึดติดกับห้วัดโดยค่า Adhesiveness มีค่าน้อย หากใช้แคลป-คาราจีแนนมากเกินไปความต้องการในสภาวะที่มีปริมาณน้ำเพียงพอ ทำให้ค่า Adhesiveness มีแนวโน้มมากขึ้น

ผลการวิเคราะห์คุณภาพของอาหารเจล

จากการนำข้อมูลค่า Cohesiveness และคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัสขณะดก เนื้อสัมผัสภายในปาก และความชอบโดยรวมที่พบว่า ผลการสร้างสมการความสัมพันธ์กับตัวแปรต้นที่ศึกษายังไม่น่าเชื่อถือดีพอ มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Tukey's test ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4 และ 5

ในการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของอาหารเจลด้วยการใช้เครื่อง Texture analyzer ด้วยวิธี TPA เป็นรูปแบบการวิเคราะห์ที่เหมาะสมเนื่องจากได้ค่าพารามิเตอร์ที่สามารถอธิบายให้สอดคล้องกับเนื้อสัมผัสที่ประเมินโดยใช้ประสาทสัมผัสที่เลียนแบบการเคี้ยวของมนุษย์ได้ (Sanderson, 1990) สำหรับค่า Cohesiveness เป็นค่าพารามิเตอร์หนึ่งที่หมายถึง ความสามารถในการเกาะตัวรวมตัวกันของอาหาร หากมีค่า Cohesiveness มากแสดงว่าตัวอย่างยึดเกาะกันมาก (พิมพ์เพ็ญ และจิราภา, 2549) จากตารางที่ 4 พบว่า อาหารเจลมีค่าอยู่ในช่วง 0.66-0.78 เมื่อพิจารณาแนวโน้มของค่า Cohesiveness พบว่า เมื่อปริมาณแคลป-คาราจีแนนเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่า Cohesiveness มากขึ้น

เนื่องจากเมื่อปริมาณแคลป-คาราจีแนนเพิ่มขึ้นจะมีโอกาสเกิดกลไกการเกิดเจลและเกิดโครงสร้างเจลที่มีความแข็งแรงของพันธะภายในที่เกิดในชั้นตัวอย่างมาก ได้ลักษณะเจลที่สามารถเกาะรวมตัวกันได้มาก จึงต้องใช้แรงที่มากกระทำก่อนที่ตัวอย่างจะขาดหรือแยกออกจากกันมาก ค่า Cohesiveness จึงมากขึ้นเอง Chandra and Shamasundar (2015) รายงานว่าอาหารเจลที่เตรียมจากเจลาตินมีค่า Cohesiveness สอดคล้องกันกับค่าความแข็งแรงของเจล ซึ่งอธิบายได้ว่าหากสารที่ทำให้เกิดเจลสามารถสร้างโครงสร้างเจลได้ดีจะมีผลต่อการเกิดความสามารถในการยึดเกาะกันไว้ได้ดีของตัวอย่าง สะท้อนออกมาในการวัดสัดส่วนของพื้นที่ได้กราฟส่วนที่เป็นค่าบวกของการกดห้วัดแต่ละครั้ง

จากตารางที่ 5 พบว่า คะแนนความชอบด้านรสชาติ เนื้อสัมผัสขณะดก เนื้อสัมผัสภายในปาก และความชอบโดยรวมของอาหารเจลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) แต่ความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี และกลิ่นรส ของอาหารเจลแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$) โดยความชอบด้านลักษณะปรากฏ และความชอบด้านสี ได้คะแนนอยู่ในช่วง 6.15-6.80 และ 6.25-6.75 ตามลำดับ อยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง สำหรับความชอบด้านกลิ่นรส ได้คะแนนอยู่ในช่วง 5.85-6.45 อยู่ในระดับเฉยๆถึงชอบเล็กน้อย เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบด้านรสชาติ เนื้อสัมผัสขณะดก เนื้อสัมผัสภายในปาก และความชอบโดยรวม พบว่า ได้คะแนนอยู่ในช่วง 5.55-6.55, 6.05-7.05, 5.75-7.05 และ 5.55-7.05 ตามลำดับ อยู่ในระดับเฉยๆ ถึงชอบปานกลาง โดยสิ่งทดลองที่ 6 (เนื้ปลากะพงขาวบด 10.00%, แคลป-คาราจีแนน 1.00%) ได้รับคะแนนความชอบด้านรสชาติ เนื้อสัมผัสขณะดก เนื้อสัมผัสภายในปาก และความชอบโดยรวมสูงที่สุด เท่ากับ 6.55 7.05 7.05 และ 7.05 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในระดับชอบปานกลาง แสดงถึงผู้ทดสอบชอบอาหารเจลสิ่งทดลองนี้มากกว่าสิ่งทดลองอื่น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการใช้ปริมาณเนื้ปลากะพงขาวบดมากที่สุด (10.00%) โดยเนื้ปลากะพงขาวเมื่อผ่านการให้ความร้อนแล้วจะทำให้มีรสชาติของเนื้ปลาที่ชัดเจน นอกจากนี้อาจเนื่องมาจากสิ่งทดลองที่ 6 มีการใช้แคลป-คาราจีแนน (1.00%) ในปริมาณที่เหมาะสมกับองค์ประกอบของส่วนผสม ทั้งถั่วเขียวบด น้ำตาลซูโครส เกลือ และน้ำ ที่มีผลให้เกิดโครงสร้างเจลของอาหารเจลที่ดี มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่นุ่ม ไม่แข็งกระด้างและมีความยืดหยุ่นเหมาะสม จึงทำให้มีเนื้อสัมผัสขณะดกและเนื้อสัมผัส

ภายในปากเป็นที่พึงพอใจของผู้บริโภคมากกว่าสิ่งทดลองอื่น หากเปรียบเทียบลักษณะเนื้อสัมผัสโดยรวมของอาหารเจลที่พัฒนาได้ในงานวิจัยนี้กับคำอธิบายลักษณะเนื้อสัมผัสตามแนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารสำหรับผู้สูงอายุ ซึ่งแบ่งเนื้อสัมผัสของอาหารไว้ 4 ระดับ ได้แก่ ระดับที่ 1 เคี้ยวง่าย ระดับที่ 2 มีเนื้อสัมผัสอ่อนนุ่มโดยสามารถใช้เหงือกบดอาหารกลืนได้ ระดับที่ 3 มี

เนื้อสัมผัสอ่อนนุ่มมากโดยสามารถใช้ลิ้นบดอาหารได้ และระดับที่ 4 สามารถกลืนได้โดยไม่ต้องเคี้ยว (สำนักนโยบายอุตสาหกรรม, 2556) พบว่า อาหารเจลที่พัฒนาได้ในงานวิจัยนี้ มีความใกล้เคียงกับลักษณะเนื้อสัมผัสระดับที่ 1 จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำไปพัฒนาเป็นอาหารเจลสำหรับกลุ่มผู้สูงอายุต่อไป

ตารางที่ 4 ลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารเจลจากถั่วเขียวที่ได้จากการจัดสิ่งทดลองแบบ CCD แบบพหุนำกำลังสองมาตรฐาน เมื่อแปรปริมาณเนื้อปลากะพงขาวบด (X_1) และแคปปา-คาราจีแนน (X_2)

สิ่งทดลอง	ค่ารหัส		ปริมาณส่วนผสมในอาหารเจล (%)		Cohesiveness
	X_1	X_2	ปลากะพงขาวบด	แคปปา-คาราจีแนน	
1	-1	-1	3.20	0.65	0.73 ^{ABC} ±0.01
2	-1	1	3.20	1.35	0.77 ^A ±0.00
3	1	-1	8.80	0.65	0.68 ^{BC} ±0.02
4	1	1	8.80	1.35	0.75 ^{AB} ±0.03
5	-1.414	0	2.00	1.00	0.78 ^A ±0.06
6	1.414	0	10.00	1.00	0.72 ^{ABC} ±0.02
7	0	-1.414	6.00	0.50	0.66 ^C ±0.02
8	0	1.414	6.00	1.50	0.77 ^A ±0.00
9	0	0	6.00	1.00	0.76 ^{AB} ±0.03
10	0	0	6.00	1.00	0.75 ^{AB} ±0.03

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

ตารางที่ 5 คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของอาหารเจลจากถั่วเขียวที่ได้จากการจัดสิ่งทดลองแบบ CCD แบบพหุนำกำลังสองมาตรฐาน เมื่อแปรปริมาณเนื้อปลากะพงขาวบด (X_1) และแคปปา-คาราจีแนน (X_2)

สิ่งทดลอง	ค่ารหัส		ค่าจริง		ค่าเฉลี่ย ± SD						
	X_1	X_2	ปลา กะพง ขาว บด (%)	แคปปา- คารา จีแนน (%)	ลักษณะปรากฏ ^A	สี ^{NS}	กลิ่นรส ^{NS}	รสชาติ	เนื้อสัมผัส ขณะดัก	เนื้อสัมผัส ภายในปาก	ความชอบ โดยรวม
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 ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างไม่มีความนัยสำคัญทางสถิติ ($P\geq 0.05$)

สรุปผลการวิจัย

ปริมาณเนื้อปลากะพงขาวสด (2.0-10.0%) และแคปซูลคาราจีแนน (0.5-1.5%) มีผลต่อคุณภาพด้านสีลักษณะเนื้อสัมผัสและคุณภาพทางประสาทสัมผัสของอาหารเจลจากถั่วเขียว โดยผลจากการสร้างสมการถดถอยแบบพหุและการสร้างกราฟพื้นผิวตอบสนอง พบว่า ปริมาณเนื้อปลากะพงขาวสดและแคปซูลคาราจีแนนมีผลต่อค่า L^* , a^* , b^* และลักษณะเนื้อสัมผัส ได้แก่ ค่า Hardness และ ค่า Adhesiveness สำหรับผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่า สิ่งทดลองที่ใช้ปริมาณเนื้อปลากะพงขาวสดและแคปซูลคาราจีแนนระดับต่าง ๆ มีค่า Cohesiveness และคะแนนความชอบด้านรสชาติ เนื้อสัมผัสขณะตัก เนื้อสัมผัสภายในปาก และความชอบโดยรวม แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) แต่คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี และกลิ่นรส ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$) จากผลการวิเคราะห์คุณภาพโดยรวมของอาหารเจลที่พัฒนาได้มีความเป็นไปได้ที่จะนำไปพัฒนาเป็นอาหารเจลสำหรับกลุ่มผู้สูงอายุต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561 มหาวิทยาลัยบูรพา ผ่านสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ เลขที่สัญญา 145/2561

เอกสารอ้างอิง

- เกรียงไกร นาเคเกศ. (2559). ปีสากลแห่งเมล็ดถั่ว. แหล่งข้อมูล: http://lib3.dss.go.th/fulltext/dss_knowledge/BIO_01_2559_pulses.pdf. ค้นเมื่อวันที่ 11 มกราคม 2562.
- ไพโรจน์ วิริยจารี. (2555). เทคนิคการพัฒนาสูตรและกระบวนการผลิต: การประยุกต์ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์. เชียงใหม่: คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. หน้า 69-142.
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และจิราภา วิทยารักษ์. (2549). พจนานุกรมวิศวกรรมอาหาร (อังกฤษ-ไทย). กรุงเทพฯ: ฟู๊ดเน็ตเวิร์ค โซลูชัน จำกัด.
- วันชัย ป้อมบุปผา. (2551). การพัฒนาผลิตภัณฑ์เต้าหู้พร้อมบริโภค. รายงานการวิจัย, มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม. มหาสารคาม. 59 หน้า.
- สำนักนโยบายอุตสาหกรรม (2556). รายงานการสำรวจข้อมูลเชิงลึกการพัฒนาอุตสาหกรรมเชิงสุขภาพเพื่อรองรับสังคมผู้สูงอายุ

- (Aging Society) ณ ประเทศญี่ปุ่น. รายงาน, สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. 15 หน้า.
- แสงโสม สีนะวัฒน์. (2559). ปลา: อาหารสุขภาพ. กรุงเทพฯ: สำนักโภชนาการ กรมอนามัย. สถาบันอาหาร. (2558). 10 เทรนด์ที่มีอิทธิพลต่ออุตสาหกรรมอาหาร. แหล่งข้อมูล: http://fic.nfi.or.th/broadcast/WFMR_Feb2015.pdf. ค้นเมื่อวันที่ 10 มกราคม 2562.
- สุทธวัฒน์ เบญจกุล. (2549). ชูริมิ: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเนื้อปลาสด. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.
- สุทธิวัฒน์ แซ่ฮ้อ, ณัฐพัฒน์ วัฒนภักขญา, ภาณุโต ไทยยันโต และ เบญจวรรณ ธรรมธนาธิกร. (2554). การพัฒนาผลิตภัณฑ์เยลลี่คาราจีแนนสูตรน้ำผัก. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 42(2) (พิเศษ): 509 - 512.
- สุนิศา เอี่ยมคง. (2559). รู้จัก “ถั่วพัลส์” มากโปรตีน-ไขมันต่ำ. แหล่งข้อมูล: <http://www.manager.co.th/science/viewnews.aspx?NewsID=9590000002065>. ค้นเมื่อวันที่ 11 มกราคม 2562.
- Badii, F. and Howell, N.K. (2006). Fish gelatin: structure, gelling properties and interaction with egg albumen proteins. Food Hydrocolloids. 20(5): 630 - 640.
- Chandra and Shamasundar. (2015). Texture profile analysis and functional properties of gelatin from the skin of three species of fresh water fish, International Journal of Food Properties, 18(3): 572 - 584.
- FAO. (2015). 2016 international year of pulses. แหล่งข้อมูล: <http://www.fao.org/pulses-2016/en/>. ค้นเมื่อวันที่ 10 มกราคม 2562.
- Garcia-Garcia, E. and Totosa, 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 Science. 78(4): 406 -413.
- Greiff, K., Staurem, C.J., Nordvi, B. and Rustad, T. (2015). Novel utilization of milk-based ingredients in salt reduced fish pudding. LWT - Food Science and Technology. 63(1): 92-99.
- Jafarpour, A. and Gorkczyca, E.M. (2012). Contribution of sarcoplasmic proteins to myofibrillar proteins gelation. Journal of Food Science. 77(2): 73-81.
- Langendorff, V., Cuvelier, G., Launay, B., Michon, C., Parker, A., and Kruif, C.G.D. (1999). Casein micelle/iota carrageenan in interactions in milk: influence of temperature. Food Hydrocolloids. 13(3): 211-218.

- Hayakawa, F., Kazami, Y., Ishihara, S., Nakao, S., Nakauma, M., Funami, T., Nishinari, K., Kohyama, K. (2014). Characterization of eating difficulty by sensory evaluation of hydrocolloid gels. *Food Hydrocolloids*. 38: 95-103.
- Huang, M., Kennedy, J.F., Li, B., Xu, X., Xie, B.J. (2007). Characters of rice starch gel modified by gellan, carrageenan and glucomannan: A texture profile analysis study. *Carbohydrate Polymers*. 69 (3): 411-418.
- Norziah, M.H., Foo, S.L., Karim, A. (2006). Rheological studies on mixtures of agar (*Gracilaria changii*) and k-carrageenan. *Food Hydrocolloids*. 20(2-3): 204-217
- Sanderson, G.R. Gellan gum. In: *Food Gels*; Harris, P.; Ed.; Elsevier Science Publishing Co., Inc.: New York, 1990;201-232.
- Schmidt, R.H. (1981). Gelation and Coagulation. *ACS Symposium Series*. 147: 131-147.
- Sinthusamran, S., Benjakul, S. and Hemar, Y.H. (2017). Physical and sensory properties of gelatin from seabass (*Lates calcarifer*) as affected by agar and K-carrageenan. *Journal of Texture Studies*, 49(1): 47 – 55.
- Thomas, W.R. (1997). Carrageenan. In: Imeson A, editor. *Thickening and Gelling Agents for Food*. London: Blackie Academic and Professional. pp. 36 – 39.

