

สมบัติทางรีโอโลยีและคุณภาพทางประสาทสัมผัส ของถั่วเขียว (*Vigna radiate* L.) กวน Rheological Properties and Sensory Qualities of Mung Bean (*Vigna radiate* L.) Paste

สิริการ หนูสิงห์ และบุศราภา ลีละวัฒน์*

ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

Sirikarn Noosing and Bootsrapa Leelawat*

Department of Food Science and Technology, Faculty of Science and Technology,
Thammasat University, Rangsit Centre, Khlong Nueng, Khlong Luang, Pathum Thani 12120

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติทางรีโอโลยีและการยอมรับทางประสาทสัมผัสของถั่วเขียวกวน โดยแปรอัตราส่วนของปริมาณถั่วเขียว น้ำตาลทราย และกะทิ ตามการจัดสิ่งทดลองแบบ mixture design ช่วงการศึกษาปัจจัยประกอบด้วยถั่วเขียว (X_1) ร้อยละ 24-33 น้ำตาลทราย (X_2) ร้อยละ 24-40 กะทิ (X_3) ร้อยละ 33-48 จากการศึกษาสมบัติทางรีโอโลยีของถั่วกวนด้วยวิธี lubricated squeezing flow พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความหนืด (K_B) ของถั่วเขียวกวนมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อปริมาณถั่วเขียวและกะทิลดลง ส่วนปริมาณน้ำตาลทรายเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาค่าดัชนีการไหล (n) ของถั่วเขียวกวน พบว่าถั่วเขียวกวนทุกอัตราส่วนมีพฤติกรรมการไหลแบบ extensional thinning fluid โดยค่า n มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อปริมาณน้ำตาลทรายและกะทิเพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณถั่วเขียวลดลง เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลด้วยและสร้างสมการถดถอย พบว่าสมการ quadratic model อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างค่า K_B กับส่วนผสมของถั่วเขียวกวนได้ดีที่สุด และสมการ linear model อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างค่า n กับส่วนผสมของถั่วเขียวกวนได้ดีที่สุด การศึกษาอิทธิพลของส่วนผสมต่อค่าสีถั่วเขียวกวน พบว่าปริมาณกะทิที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าความเป็นสีแดง (a^*) ของถั่วเขียวกวนลดลง และปริมาณน้ำตาลทรายที่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้ค่าความเป็นสีเหลืองของถั่วเขียวกวนเพิ่มขึ้น การทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่าสูตรที่ได้รับคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสมากที่สุด คือ อัตราส่วนของถั่วเขียว น้ำตาลทราย และกะทิ เท่ากับ 33.00 : 34.00 : 33.00 โดยน้ำหนัก

คำสำคัญ : รีโอโลยี; ถั่วกวน; ถั่วเขียว; ดรรชนีการไหล; สัมประสิทธิ์ความหนืด

Abstract

The objective of this research was to study the rheological properties and sensory qualities of mung bean paste by varying the ratio of mung bean, sugar and coconut milk using Mixture design. The ranges of three components were 24-33 % mung bean (X_1), 24-40 % sugar (X_2) and 33-48 % coconut milk (X_3). The rheological properties of bean paste using lubricated squeezing flow method showed that the biaxial consistency coefficient (K_B) increased with increasing mung bean and coconut milk ratio but decreasing sugar ratio. The flow behavior index (n) of mung bean paste showed extensional thinning fluid behavior for all of the formulas. The n value increased with increasing sugar and coconut milk ratios but decreasing mung bean ratio. From the analysis of variance (ANOVA) and the regression model, the relationship between K_B value, n value with the 3 components of bean paste was found to be the best described by quadratic model and linear model, respectively. The effect of bean paste component on the bean paste color was investigated and found that the increasing in coconut milk caused the decreasing in redness (a^*) and the increasing in sugar ratio caused the increasing in yellowness (b^*) of the mung bean paste. The sensory acceptance test results indicated that the most accepted bean paste formula was the ratio of mung bean : sugar : coconut milk equaled to 33.00 : 34.00 : 33.00 by weight.

Keywords: rheology; bean paste; mung bean; flow behavior index; consistency coefficient

1. บทนำ

ถั่วเมล็ดแห้งหรือ legume เป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของมนุษย์ที่ได้รับความนิยมในการบริโภคมากขึ้นในปัจจุบัน เนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยมีปริมาณโปรตีนและเส้นใยอาหารสูง รวมทั้งมีคาร์โบไฮเดรต แร่ธาตุ และวิตามินที่มีประโยชน์ในการช่วยควบคุมและป้องกันโรค เช่น เบาหวาน หลอดเลือดหัวใจ มะเร็งลำไส้ และช่วยลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือด สามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อบริโภคได้หลากหลายชนิด และเป็นผลผลิตทางการเกษตรที่สามารถเพาะปลูก และหาซื้อได้ง่ายในประเทศไทย ถั่วเมล็ดแห้งที่นิยมรับประทานในประเทศไทยมีหลายชนิด เช่น ถั่วเขียว ถั่วแดง ถั่วเหลือง ถั่วดำ

ถั่วเขียว หรือ mung bean (*Vigna radiate* L.) อยู่ในวงศ์ Leguminosae มีถิ่นกำเนิดอยู่ที่ประเทศ

อินเดีย จัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญและนิยมปลูกกันแพร่หลายในประเทศไทย เกษตรกรนิยมปลูกถั่วเขียวเป็นพืชหมุนเวียนกับข้าวและพืชไร่ต่าง ๆ [1] ถั่วเขียวเป็นพืชล้มลุก ลำต้นยาว ใบมีขนอ่อนปกคลุมเช่นเดียวกับลำต้น ฝักถั่วเขียวมีรูปร่างกลมยาว ส่วนปลายอาจโค้งออกเล็กน้อย เมื่อฝักแก่จะมีสีน้ำตาลอ่อนจนถึงน้ำตาลเข้ม และดำหรือขาวนวลแตกต่างกันไปตามพันธุ์ ฝักหนึ่ง ๆ จะมีเมล็ดประมาณ 10-15 เมล็ด เมล็ดของถั่วเขียวมีสีต่าง ๆ กัน เช่น เขียว ดำ เหลือง แดง และน้ำตาล [2]

เมล็ดถั่วเขียว 100 กรัม ประกอบไปด้วยปริมาณโปรตีนร้อยละ 10.60 ปริมาณเส้นใยร้อยละ 25.60 ปริมาณไขมันร้อยละ 0.60 และแป้งร้อยละ 60.20 นอกจากนี้ยังประกอบไปด้วยแร่ธาตุหลายชนิด ได้แก่ ฟอสฟอรัส แคลเซียม และเหล็ก ซึ่งมีปริมาณสูง

ถึงร้อยละ 17 [3] จะเห็นได้ว่าถั่วเขียวมีปริมาณแป้งเป็นองค์ประกอบสูง จึงเหมาะที่จะนำไปทำแป้งและนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร หรือใช้ทำขนม เช่น ซ่าหริ่ม แป้งสดสามารถนำไปทำวุ้นเส้น ซึ่งจะได้เส้นที่มีเนื้อใส สม่ำเสมอ และไม่เปื่อยยุ่ยง่าย หรือนำไปใช้ประโยชน์โดยตรง เช่น เพาะเป็นถั่วงอก หรือต้มกับน้ำตาล เป็นถั่วเขียวต้มน้ำตาล หรือนำมากะเทาะเปลือกออกจนได้เมล็ดสีเหลือง ที่สามารถนำไปทำอาหารได้หลายชนิด เช่น เต้าส่วน ถั่วงวน

ถั่วงวนเป็นขนมหวานของไทยที่นิยมบริโภคเป็นอาหารว่าง เนื่องจากมีรสชาติดี รับประทานง่าย นิยมใช้ถั่วเขียวเราะเปลือก หรือใช้เมล็ดถั่วแห้งอื่น ๆ ได้แก่ ถั่วดำ ถั่วแดงหลวง เป็นต้น ถั่วงวนที่ดีควรมีเนื้อเนียนละเอียดเป็นมัน แต่ไม่ถึงกับมันเยิ้ม รสออกหวานมัน แต่ไม่หวานจัดจนเกินไป [4] ถั่วงวนสามารถนำไปทำขนมอื่น ๆ ต่อได้อีก เช่น โมจิ เม็ดขนุน ลูกขuben นอกจากนี้ยังนำไปใช้เป็นไส้ในผลิตภัณฑ์อาหารได้หลายชนิด ซึ่งใช้ชนิดของถั่ว และอัตราส่วนระหว่างปริมาณถั่วกับน้ำตาลทรายแตกต่างกัน บางสูตรมีกะทิเป็นองค์ประกอบ บางสูตรมีน้ำมันพืชเป็นองค์ประกอบ ทั้งนี้ขึ้นกับสมบัติของเปลือกขนม และคุณลักษณะเฉพาะของอาหารชนิดนั้น ๆ เช่น ขนมเปียะ โมจิญี่ปุ่น ซาลาเปา

เนื่องจากการนำใส่ถั่วงวนมาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด ซึ่งลักษณะเนื้อสัมผัสของใส่ถั่วงวนแตกต่างกันไปตามชนิดของผลิตภัณฑ์อาหาร ใส่ถั่วงวนมีลักษณะเป็นของกึ่งแข็ง (semi-solid) ที่มีความชื้นหนืดสูง ซึ่งการศึกษาความแตกต่างด้านการพฤติกรรมการไหลของใส่ถั่วงวนทำได้โดยศึกษาสมบัติทางรีโอโลยีหรือวิทยาศาสตร์การไหล และจากการค้นคว้งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาสมบัติทางรีโอโลยีของใส่ถั่วงวนชนิดต่าง ๆ พบว่าไม่มีงานวิจัยที่ศึกษาผลของชนิดถั่ว และส่วนผสมที่ใช้ทำใส่ ต่อสมบัติทางรีโอโลยีของใส่ถั่วงวน แม้ว่าผลิตภัณฑ์มากมายที่

ใช้ใส่ถั่วงวนเป็นองค์ประกอบ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการศึกษาการแปรรูปถั่วเขียวเป็นถั่วงวน และศึกษาสมบัติทางรีโอโลยีและการยอมรับประสาทสัมผัสของถั่วเขียวกวน โดยศึกษาโมเดลความสัมพันธ์ระหว่างถั่วเขียวกวน น้ำตาลทรายและกะทิ ที่มีผลต่อสมบัติทางรีโอโลยีและคุณภาพทางประสาทสัมผัสของใส่ถั่วเขียวกวน ซึ่งความสัมพันธ์ที่ได้มีประโยชน์ในอุตสาหกรรมการผลิตขนมที่ใช้ใส่ถั่วเขียวกวนในผลิตภัณฑ์ ซึ่งผู้ประกอบการสามารถทำนายสมบัติทางรีโอโลยีของใส่ถั่วเขียวกวนจากอัตราส่วนระหว่างปริมาณถั่วเขียว น้ำตาลทราย และกะทิ โดยข้อมูลที่ได้จากการทำนายสมบัติทางรีโอโลยีของถั่วงวน ส่งผลให้สามารถนำข้อมูลดังกล่าวไปใช้ในการพัฒนาสูตรของใส่ถั่วเขียวกวนให้เหมาะสมกับเปลือกขนมที่ใช้ถั่วเขียวกวนเป็นไส้ผลิตภัณฑ์หรือนำไปใช้ในการพัฒนาเนื้อสัมผัสของขนมที่ใช้ใส่ถั่วเขียวกวนเป็นส่วนผสมหลักได้แก่ ลูกขuben เม็ดขนุน เป็นต้น

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 วัตถุดิบ

2.1.1 ถั่วเขียวเราะเปลือก ตราไร้ทิพย์ (บริษัท ไร่ธัญญะ จำกัด)

2.1.2 กะทิยูเอชที (UHT) ตราอร้อยดี (บริษัท ไทย อกริ ฟู้ด จำกัด (มหาชน))

2.1.3 น้ำตาลทราย ตราลิน (กลุ่มบริษัทน้ำตาลไทยรุ่งเรือง)

2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

2.2.1 เครื่องปั่นละเอียด ยี่ห้อ Phillips รุ่น HR2021 ประเทศจีน

2.2.2 เทอร์โมมิเตอร์แบบอินฟราเรด ยี่ห้อ Ebro รุ่น TF1-250 ประเทศเยอรมัน

2.2.3 เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (texture analyser) ยี่ห้อ Stable Micro System รุ่น TA - XTplus ประเทศอังกฤษ พร้อมหัววัดแบบ

cylinder probe P/50

2.2.4 เครื่องวัดสี ยี่ห้อ HunterLab รุ่น ColorFlex 45/0 ประเทศสหรัฐอเมริกา

2.2.5 เครื่องปั่นเหวี่ยง (centrifuge) TOMY รุ่น MX-305 ประเทศญี่ปุ่น

2.2.6 เครื่องครัว ได้แก่ กระทะทองเหลือง หม้อต้ม หม้อนึ่ง จาน ชาม ช้อน กะละมัง ผ้าขาวบาง ไม้พาย กระทะทอง ทัพพี

2.3 วิธีการวิจัย

2.3.1 กระบวนการผลิตถั่วเขียวหวาน

แช่ถั่วเขียวเราะเปลือกที่ล้างสะอาดแล้วในน้ำ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ซ้อนถั่วใส่ลังถึงซึ่งรองด้วยผ้าขาวบาง เว้นตรงกลางเพื่อให้ไอน้ำขึ้นได้ เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำถั่วเขียวที่สุกแล้วไปปั่นผสมกับกะทิและน้ำตาลจนละเอียดเป็นเนื้อเดียวกัน เทส่วนผสมทั้งหมดลงในกระทะทองเหลือง กวนที่อุณหภูมิ 60-65 องศาเซลเซียส จนถั่วกวนร้อนไม่ติดกระทะ ยกออกจากเตา แล้วทิ้งไว้ให้เย็น [5]

(1) ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของถั่วเขียวที่ใช้ในการทำถั่วกวน นำถั่วเขียวเราะเปลือก ที่ปั่นละเอียดไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เถ้า เส้นใย และความชื้น ตามวิธีการของ AOAC [6] ทำการทดลอง 2 ซ้ำ คำนวณค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

(2) ศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างปริมาณถั่วเขียว น้ำตาลทราย และกะทิต่อสมบัติทางกายภาพของถั่วเขียวกวน ผลิตถั่วเขียวกวนโดยแปรอัตราส่วนของปริมาณถั่วเขียว น้ำตาลทราย กะทิ ตามการจัดสิ่งทดลองแบบ mixture design โดยใช้ช่วงการศึกษาปัจจัยสำหรับถั่วเขียวกวนประกอบด้วย ถั่วเขียว (X_1) ร้อยละ 24-33 น้ำตาล (X_2) ร้อยละ 24-40 กะทิ (X_3) ร้อยละ 33-48 โดยจำนวนสูตรที่ทำการศึกษาตามการคำนวณโดยโปรแกรม

สำเร็จรูป Design-Expert® เวอร์ชัน 7.0.0 (Stat-Ease, Inc.) ได้เท่ากับ 11 สูตร ในการศึกษาปัจจัยของถั่วเขียวกวนจะถูกกำหนดให้ทำซ้ำอีก 1 จุด ในสูตรที่ 1, 3, 5, 8 และ 9 ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อัตราส่วนของถั่วเขียว น้ำตาล และกะทิในแต่ละสูตร

สูตร	อัตราส่วนของวัตถุดิบ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)		
	ถั่วเขียว (X_1)	น้ำตาล (X_2)	กะทิ (X_3)
1 (ทำ 2 ซ้ำ)	33.00	24.00	43.00
2	33.0	29.0	38.0
3 (ทำ 2 ซ้ำ)	33.00	34.00	33.00
4	29.00	38.00	33.00
5 (ทำ 2 ซ้ำ)	24.00	40.00	36.00
6	24.00	36.00	40.00
7	24.00	32.00	44.00
8 (ทำ 2 ซ้ำ)	24.00	28.00	48.00
9 (ทำ 2 ซ้ำ)	28.00	24.00	48.00
10	28.08	27.83	44.08
11	28.17	31.67	40.16

(2.1) การประเมินคุณภาพ

- สมบัติทางรีโอโลยีของไส้ถั่วเขียวกวน โดยวิเคราะห์พฤติกรรมกการไหลด้วยวิธี lubricated squeezing flow โดยอัดตัวอย่างที่อุณหภูมิ 20-25 องศาเซลเซียส ลงในพิมพ์รูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร สูง 25 มิลลิเมตร แกะออกจากพิมพ์แล้วพักตัวอย่างไว้ 14 นาที นำตัวอย่างไปวางที่ฐาน (platform) ของเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส ใช้หัววัดแบบ cylinder probe P/50 กดลงบนตัวอย่าง 54.5 % ของความสูงเริ่มต้น ด้วยความเร็ว

0.3 มิลลิเมตรต่อวินาทีบันทึกค่าแรงที่วัดได้ที่ระยะการกดต่าง ๆ

คำนวณค่าแรงที่วัดได้ที่ระยะเวลาการกดต่างๆ เป็นค่า biaxial stress (σ_B) และคำนวณระยะทางในการกดตัวอย่าง เป็น biaxial strain rate ($\dot{\epsilon}_B$) เพื่อนำมาหาโมเดลความสัมพันธ์ระหว่าง biaxial stress และ biaxial strain rate ในรูปของ power law model (สมการที่ 1) โดยใช้โปรแกรม Sigma plot เวอร์ชัน 11.0 (Systat Software, Inc.) บันทึกค่าคงที่ทางรีโอโลยี คือ ค่าดัชนีการไหล (n) และค่าสัมประสิทธิ์ความหนืด (K_B) ของตัวอย่าง โดยทำการทดลอง ซ้ำละ 3 ตัวอย่าง

$$\sigma_B = K_B (\dot{\epsilon}_B)^n \quad (1)$$

เมื่อ σ_B = biaxial stress (Pa), $\dot{\epsilon}_B$ = biaxial strain rate (1/s), n = flow behavior index และ K_B = biaxial consistency coefficient (Pa.sⁿ)

- วัดค่าสี โดยแสดงในระบบ CIE L*, a*, b*

(2.2) สถิติที่ใช้ในการประเมิน

ทำการทดลอง 2 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (complete randomized design, CRD) วิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance, ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามวิธี Duncan's new multiple range test

นำค่าคงที่ทางรีโอโลยี K_B และ n มาวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับปริมาณแก้วเขียว น้ำตาลทราย และกะทิ ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ Design-Expert® เวอร์ชัน 7.0.0 (Stat-Ease, Inc.) และเลือกสมการถดถอยที่อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามได้ดีที่สุด จากนั้นใช้ response surface methodology (RSM) สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ [ปริมาณแก้ว

(X_1) น้ำตาล (X_2) และน้ำมันพืช/กะทิ (X_3)] และตัวแปรตาม (K_B และ n)

(3) ศึกษาการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค ผลิตภัณฑ์เขียวโดยใช้อัตราส่วนของวัตถุดิบที่ได้รับการคัดเลือกแล้ว 5 สูตร ตามการทดลองข้อ (2) โดยพิจารณาจากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามวิธี Duncan's new multiple range test

(3.1) การทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส ใช้ผู้ทดสอบทั่วไปจำนวน 60 คน การนำเสนอตัวอย่างให้ผู้ทดสอบชิมตัวอย่างโดยตักชิมตามวิธีการบริโภคปกติของผู้ทดสอบเอง จากนั้นให้คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมที่มีต่อตัวอย่างแก้วหวานด้วย 9-point hedonic scale ซึ่ง 9 หมายถึง ชอบมากที่สุด และ 1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด ทำการนำเสนอทีละตัวอย่างตามลำดับแบบสุ่มจนครบทุกตัวอย่าง

(3.2) สถิติที่ใช้ในการประเมิน วางแผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (randomized complete block design, RCBD) วิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance, ANOVA) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามวิธี Duncan's new multiple range test

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์

3.1 ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของแก้วเขียวที่ใช้ในการทำแก้วเขียวหวาน

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแก้วเขียวระเหเปลือก พบว่าแก้วเขียวมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงสุด คือ ร้อยละ 69.44±0.55 โดยน้ำหนัก เมื่อเปรียบเทียบกับองค์ประกอบอื่น ๆ รองลงมาคือ ปริมาณโปรตีนร้อยละ 25.63±0.27 เส้นใยร้อยละ

3.24±0.03 และมีปริมาณเถ้าและไขมันค่อนข้างน้อย คือ ร้อยละ 1.58±0.31 และ 0.11±0.00 โดยน้ำหนัก (ตารางที่ 2) เมื่อเปรียบเทียบปริมาณไขมัน โปรตีน และคาร์โบไฮเดรตกับเมล็ดถั่วเขียวจากงานวิจัยของ Mubarak [7] ซึ่งรายงานว่าเมล็ดถั่วเขียวมีปริมาณ ไขมันร้อยละ 1.85 โปรตีนร้อยละ 27.50 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 62.30 จะเห็นว่าเมล็ดถั่วเขียวที่ใช้ในการทดลองมีองค์ประกอบทางเคมีใกล้เคียงกัน และเมื่อเปรียบเทียบกับถั่วเมล็ดแห้งชนิดอื่นเช่นถั่วเหลือง และ ถั่วลิสง ซึ่งถั่วเหลืองมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 35 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 31 [8] ถั่วลิสงมีปริมาณโปรตีน ร้อยละ 25-30 และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 19.5 [9] จะเห็นว่าถั่วเขียวมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงกว่าถั่วทั้งสอง ชนิด ดังนั้นในการเลือกชนิดของถั่วมาผลิตเป็นถั่วกวน จึงไม่สามารถใช้ถั่วเหลืองหรือถั่วลิสงได้เนื่องจากการ ผลิตถั่วกวนจำเป็นต้องมีสัดส่วนของแป้งในปริมาณที่สูง พอที่จะทำให้เกิดความหนืดที่เหมาะสมในระหว่าง กระบวนการให้ความร้อนขณะกวนได้

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของถั่วเขียวเราะ เปลือก

องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละ)	ถั่วเขียวเราะเปลือก
ความชื้น	12.05±0.11
โปรตีน	25.63±0.27
ไขมัน	1.58±0.31
เส้นใย	3.24±0.03
เถ้า	0.11±0.00
คาร์โบไฮเดรต	69.44±0.55

3.2 ผลการศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่าง ปริมาณถั่วเขียว น้ำตาลทรายและกะทิต่อสมบัติทาง กายภาพของถั่วเขียวกวน

3.2.1 สมบัติทางรีโอโลยีของถั่วเขียวกวน

การแปรอัตราส่วนของปริมาณถั่วเขียว น้ำตาล และกะทิ โดยกำหนดช่วงการศึกษาปัจจัย คือ ถั่วเขียว (X_1) ร้อยละ 24-33 น้ำตาล (X_2) ร้อยละ 24-40 และกะทิ (X_3) ร้อยละ 33-48 เพื่อศึกษาผลของ อัตราส่วนผสมดังกล่าวต่อสมบัติทางรีโอโลยีของถั่ว เขียวกวนด้วยวิธี lubricated squeezing flow โดย คำนวณค่า biaxial stress (σ_B) จากค่าแรงด้านการ กดตัวอย่างและค่า biaxial strain rate ($\dot{\epsilon}_B$) จาก อัตราเร็วที่ใช้ในการทดสอบตัวอย่างกับความสูงของ ตัวอย่างที่ระยะเวลาการกดต่าง ๆ คำนวณค่า biaxial consistency coefficient (K_B) และ flow behavior index (n) ซึ่งเป็นค่าคงที่ที่ใช้ในการอธิบายสมบัติทาง รีโอโลยีของถั่วเขียวกวน จากการหาความสัมพันธ์ ระหว่าง biaxial stress และ biaxial strain rate ด้วย power law model (ตารางที่ 3)

จากตารางที่ 3 พบว่าค่า biaxial consistency coefficient (K_B) ของถั่วเขียวกวนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ซึ่งค่า K_B เป็นค่าที่แสดงถึงความหนืดของตัวอย่างที่อัตรา ความเค้น (strain rate) เท่ากับ 1.0 s^{-1} หรือหมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์ความหนืด (consistency coefficient) โดยค่า K_B มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อปริมาณปริมาณถั่วและ กะทิลดลง แต่ปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้น ซึ่งค่าเฉลี่ย K_B มี ค่าสูงที่สุดเมื่ออัตราส่วนระหว่างถั่วเขียว : น้ำตาล : กะทิ มีค่าเท่ากับ 24 : 40 : 36 โดยน้ำหนัก ขณะที่ ค่าเฉลี่ย K_B มีค่าน้อยที่สุดเมื่ออัตราส่วนระหว่างถั่ว เขียว : น้ำตาล : กะทิ เท่ากับ 28.17 : 31.67 : 40.16 โดยน้ำหนัก ทั้งนี้การที่ค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดมีค่า สูงขึ้น เมื่อปริมาณกะทิลดลง น้ำตาลเพิ่มขึ้นและ ปริมาณถั่วลดลงนั้น เนื่องจากปริมาณของเหลวจาก กะทิที่ลดลงมีผลทำให้ส่วนผสมทั้งหมดของถั่วกวนแห้ง ประกอบกับในส่วนผสมของกะทิที่มีปริมาณไขมันเป็น องค์ประกอบไม่น้อยกว่าร้อยละ 20 ดังนั้นการลด

ปริมาณกะทิ จึงเป็นการลดปริมาณไขมัน ซึ่งไขมันทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่น ให้ลักษณะเนื้อสัมผัสนุ่มกับผลิตภัณฑ์ ดังนั้นการลดปริมาณกะทิจึงมีผลทำให้ความหนืดของถั่วกวนมากขึ้นและเนื้อสัมผัสแข็งขึ้น

ตารางที่ 3 ค่าสัมประสิทธิ์ความหนืด (K_B) และ ดรรชนีการไหล (n) ของถั่วเขียวกวน เมื่อใช้อัตราส่วนของถั่วเขียว น้ำตาลทราย และกะทิต่างกัน

ถั่วเขียว : น้ำตาลทราย : กะทิ (โดยน้ำหนัก)	K_B (kPa.s ⁿ)	n
33.00 : 24.00 : 43.00	143.13±11.86 ^{def}	0.76±0.06 ^d
33.00 : 29.00 : 38.00	138.84±8.94 ^{ef}	0.76±0.02 ^d
33.00 : 34.00 : 33.00	166.06±0.75 ^{cd}	0.80±0.00 ^d
29.00 : 38.00 : 33.00	152.17±0.36 ^{cde}	0.78±0.01 ^d
24.00 : 40.00 : 36.00	254.29±0.52 ^a	0.90±0.01 ^b
24.00 : 36.00 : 40.00	222.43±0.76 ^b	0.98±0.00 ^a
24.00 : 32.00 : 44.00	164.37±1.15 ^{cd}	0.89±0.01 ^b
24.00 : 28.00 : 48.00	154.55±0.06 ^{cde}	0.89±0.04 ^b
28.00 : 24.00 : 48.00	123.52±1.08 ^{fg}	0.86±0.01 ^{bc}
28.08 : 27.83 : 44.08	173.46±29.75 ^c	0.88±0.03 ^b
28.17 : 31.67 : 40.16	115.47±3.69 ^g	0.81±0.01 ^{cd}

a,b, ... ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่กำกับด้วยอักษรต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

เมื่อพิจารณาค่า flow behavior index (n) ของถั่วเขียวกวนที่มีส่วนผสมในอัตราส่วนต่าง ๆ พบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 0 และ 1 ($0 < n < 1$) แสดงให้เห็นว่าของไหลชนิดนั้นเป็น extensional thinning fluid กล่าวคือ เมื่อให้ความเค้นกับของไหลมากขึ้น ค่าความหนืดของของไหลจะลดลง โดยค่า n มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณน้ำตาลกับกะทิเพิ่มขึ้น

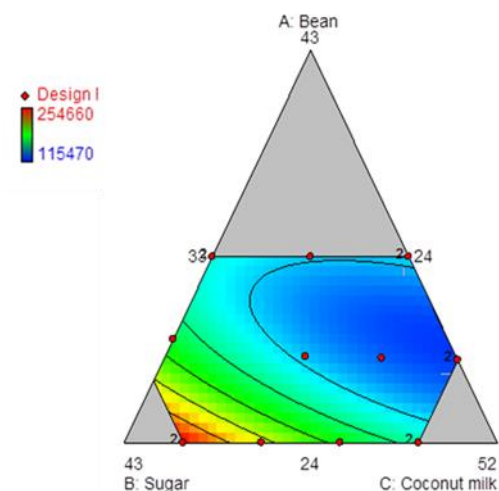
และปริมาณถั่วเขียวลดลง โดยมีค่ามากที่สุดถึง 0.98 เมื่ออัตราส่วนระหว่าง ถั่วเขียว : น้ำตาลทราย : กะทิ เท่ากับ 24 : 36 : 40 โดยน้ำหนัก สำหรับถั่วเขียวกวนที่มีค่า n น้อยที่สุดมี (0.76-0.80) จำนวน 4 สูตรด้วยกันคือ อัตราส่วนระหว่างถั่วเขียว : น้ำตาลทราย : กะทิ เท่ากับ 33 : 24 : 43, 33 : 29 : 38, 33 : 34 : 33 และ 29 : 38 : 33 โดยน้ำหนัก ซึ่งเห็นได้ว่าเป็นสูตรที่มีปริมาณถั่วเขียวปานกลางถึงมากที่สุด นั่นคือการที่ค่า n น้อยลงเมื่ออัตราส่วนของปริมาณถั่วเพิ่มขึ้นนั้น แสดงว่าโครงสร้างของถั่วกวนถูกทำลายได้ง่ายหรือความหนืดของถั่วกวนจะลดลงได้รวดเร็วเมื่อให้แรงในการกวดตัวอย่าง ทั้งนี้เนื่องจากในองค์ประกอบของถั่วมีแป้งเป็นองค์ประกอบหลัก เมื่อให้ความร้อนในขณะกวน จะทำให้แป้งเกิดการพองตัวผ่านกระบวนการเจลาติไนเซชัน (gelatinization) และให้ความหนืดกับผลิตภัณฑ์ถั่วกวน ดังนั้นการที่มีสัดส่วนของเม็ดแป้งที่มีการพองตัวมาก จึงทำให้โครงสร้างของผลิตภัณฑ์ไม่แข็งแรง เมื่อถูกแรงที่ใช้ในการกวดตัวอย่าง จึงแตกออกได้ง่าย

เนื่องจากข้อมูลที่ได้จากการศึกษาสมบัติทางรีโอโลยีของถั่วเขียวกวนทั้ง 11 สูตร มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันระหว่างปัจจัยที่ศึกษา กับสมบัติทางรีโอโลยีดังกล่าว เมื่อนำค่า K_B และ n มาวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับปริมาณถั่วเขียว (X_1) น้ำตาลทราย (X_2) และกะทิ (X_3) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ Design-Expert[®] พบว่าสมการถดถอย Quadratic model อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างค่า K_B กับอัตราส่วนของถั่วเขียว น้ำตาลทราย และกะทิได้ดีที่สุด และสมการถดถอย linear model อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างค่า n กับอัตราส่วนของถั่วเขียว น้ำตาลทราย และกะทิได้ดีที่สุด ผลดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 สมการถดถอยของค่าสัมประสิทธิ์ความหนืด (K_B) และดรชนีการไหล (n) เมื่อใช้อัตราส่วนของถั่วเขียว น้ำตาลทราย และกะทิต่างกัน

สมบัติทางรีโอโลยี	รูปแบบ	สมการถดถอย	R square
สัมประสิทธิ์ความหนืด (K_B) ($\text{kPa}\cdot\text{s}^n$)	quadratic	$K_B = 7.309 \times 10^4 X_1 + 3.688 \times 10^4 X_2 + 0.945 \times 10^4 X_3 - 0.195 \times 10^4 X_1 X_2 - 0.122 \times 10^4 X_1 X_3 - 275.342 X_2 X_3$	0.8494
ดรชนีการไหล (n)	linear	$n = -3.726 \times 10^{-3} X_1 + 0.014 X_2 + 0.013 X_3$	0.7299

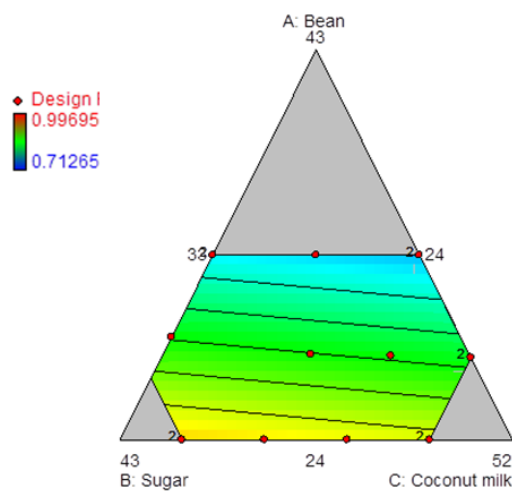
เมื่อ X_1 คือ ปริมาณถั่วเขียว; X_2 คือ ปริมาณน้ำตาลทราย และ X_3 คือ ปริมาณกะทิ



รูปที่ 1 กราฟ contour plot ของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของถั่วเขียว น้ำตาลทราย และกะทิ กับค่าสัมประสิทธิ์ความหนืด (K_B)

เมื่อนำสมการถดถอยของค่าคงที่ทางรีโอโลยีจากตารางที่ 4 มาสร้างกราฟคอนทัวร์ (contour plot) จากเทคนิค response surface methodology, RSM) ระหว่าง K_B และ n กับอัตราส่วนผสมระหว่างถั่วเขียว กะทิ และน้ำตาลทราย ดังแสดงในรูปที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

สมการถดถอย (ตารางที่ 4) และกราฟคอนทัวร์ในรูปที่ 1 และ 2 จะเห็นว่าปริมาณถั่วเขียว น้ำตาลทราย และกะทิมีความสัมพันธ์กับ biaxial consistency coefficient (K_B) สอดคล้องกับผลการ



รูปที่ 2 กราฟ contour plot ของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของถั่วเขียว น้ำตาลทราย และกะทิ กับดรชนีการไหล (n)

ทดลองกล่าว คือ ค่า K_B มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อปริมาณปริมาณถั่วและกะทิลดลง แต่ปริมาณน้ำตาลทรายเพิ่มขึ้น สำหรับความสัมพันธ์ของส่วนผสมทั้ง 3 ชนิดต่อค่า flow behavior index (n) เมื่อพิจารณาสมการถดถอยซึ่งอยู่ในรูปของ linear model พบว่าน้ำตาลทรายกับกะทิมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับค่า n ขณะที่ปริมาณถั่วเขียวน้ำตาลทราย มีความสัมพันธ์เชิงลบกับค่า n ทั้งนี้สอดคล้องกับผลการทดลองที่พบว่าค่า n มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณน้ำตาลทรายกับกะทิเพิ่มขึ้น และปริมาณถั่วเขียวลดลง

3.2.2 ผลของอัตราส่วนระหว่างปริมาณ ถั่วเขียว น้ำตาลทราย และกะทิต่อค่าสีของถั่วเขียว กวน

การแปรอัตราส่วนของปริมาณถั่วเขียว
น้ำตาลทราย และกะทิ โดยกำหนดช่วงการศึกษาปัจจัย

คือ ถั่วเขียว (X_1) ร้อยละ 24-33 น้ำตาลทราย (X_2)
ร้อยละ 24-40 และ กะทิ (X_3) ร้อยละ 33-48 ต่อค่าสี
ของถั่วเขียวกวน ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 5
ตามลำดับ

ตารางที่ 5 ค่าสีของถั่วเขียวกวน เมื่อใช้อัตราส่วนของถั่วเขียว น้ำตาลทราย และกะทิต่างกัน

ถั่วเขียว : น้ำตาลทราย : กะทิ (โดยน้ำหนัก)	ค่าสี		
	L*	a*	b*
33.00 : 24.00 : 43.00	76.74±1.50 ^a	1.39±0.60 ^c	36.66±0.22 ^{cd}
33.00 : 29.00 : 38.00	74.72±0.04 ^c	2.10±0.07 ^{ab}	39.08±0.01 ^b
33.00 : 34.00 : 33.00	74.09±0.88 ^{cd}	1.71±0.23 ^{abc}	39.28±0.55 ^b
29.00 : 38.00 : 33.00	72.35±0.11 ^{ef}	2.15±0.19 ^a	40.42±0.23 ^a
24.00 : 40.00 : 36.00	70.63±0.25 ^g	1.87±0.28 ^{abc}	40.27±0.10 ^a
24.00 : 36.00 : 40.00	71.43 ±0.09 ^{fg}	1.76±0.03 ^{abc}	40.34±0.07 ^a
24.00 : 32.00 : 44.00	72.87±0.13 ^{de}	1.49±0.13 ^{bc}	38.83±0.12 ^b
24.00 : 28.00 : 48.00	73.04±0.34 ^{de}	0.61±0.20 ^d	37.48±0.97 ^c
28.00 : 48.00 : 24.00	76.14±0.63 ^{ab}	0.69±0.35 ^d	36.16±0.41 ^d
28.08 : 27.83 : 44.08	75.28±0.01 ^{bc}	0.59±0.00 ^d	37.08±0.13 ^{cd}
28.17 : 31.67 : 40.16	75.26±0.40 ^{bc}	1.29±0.25 ^c	38.90±0.53 ^b

a,b, ... ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่กำกับด้วยอักษรต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 5 พบว่าค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ของไส้ถั่วเขียวกวน มีความแตกต่างกันตามอัตราส่วนขององค์ประกอบ เมื่อพิจารณาค่าความสว่างของถั่วเขียวกวน พบว่า มีค่าอยู่ระหว่าง 70.63-76.74 ค่าความเป็นสีแดงของถั่วเขียวกวนมีค่าอยู่ระหว่าง 0.59-2.15 และค่าความเป็นสีเหลืองอยู่ระหว่าง 36.66-40.42 เมื่อพิจารณาอิทธิพลของอัตราส่วนปริมาณถั่วเขียว น้ำตาลทราย และกะทิ ที่มีต่อค่าสี โดยพบว่า ปริมาณกะทิที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าความเป็นสีแดง (a*)

ลดลง และปริมาณน้ำตาลทรายที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าความเป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบ Maillard reaction แบบ non-enzymatic browning reaction ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างหมู่เอมีโนของกรดอะมิโนในโปรตีน หรือในสายเปปไทด์ หรือกรดอะมิโนอิสระกับ glycosidic sugars ซึ่งสารประกอบเหล่านี้มีอยู่ในถั่วเขียว และน้ำตาลทราย โดยปฏิกิริยานี้มีพลังงานกระตุ้น (activation energy) ที่สูง ดังนั้นเมื่อให้ความร้อนขณะกวน ปฏิกิริยานี้จึงเกิดขึ้นได้ดี [10]

3.3 ผลการศึกษาการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค

การคัดเลือกสูตรถั่วกวนที่มีสมบัติทางรีโอโลยีที่แตกต่างกันในการทดลองที่ 3.2.2 จำนวน 5 สูตร สำหรับถั่วแต่ละชนิดมาศึกษาการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค โดยการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ด้วยวิธี 9-point hedonic scale ซึ่ง 9 หมายถึง ชอบมากที่สุด และ 1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด การทดสอบใช้ผู้บริโภคทั่วไปจำนวน 60 คน ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 6

ผลการทดลองพบว่าสูตรที่ใช้อัตราส่วนระหว่างถั่วเขียว : น้ำตาลทราย : กะทิ เท่ากับ 33.00 :

34.00 : 33.00 ได้คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นถั่ว รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมมากที่สุด ดังตารางที่ 6 ถ้าลดสัดส่วนของน้ำตาลทรายลง และเพิ่มสัดส่วนของน้ำกะทิ ดังสูตรที่ใช้อัตราส่วนระหว่าง ถั่วเขียว : น้ำตาลทราย : กะทิ เท่ากับ 33.00 : 24.00 : 43.00 พบว่าจะได้คะแนนการยอมรับในทุกๆ ด้านไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ยกเว้นด้านรสชาติที่ได้รับคะแนนลดลง ส่วนสูตรที่ได้รับการยอมรับน้อยที่สุด คือ สูตรที่มีอัตราส่วนของน้ำตาลทรายสูงที่สุดและถั่วเขียวต่ำที่สุด ดังสูตรที่ใช้อัตราส่วนระหว่างถั่วเขียว : น้ำตาลทราย : กะทิ เท่ากับ 33.00 : 24.00 : 43.00

ตารางที่ 6 คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของถั่วเขียวกวน เมื่อใช้อัตราส่วนของถั่วเขียว น้ำตาลทราย และกะทิต่างกัน

ถั่วเขียว : น้ำตาลทราย : กะทิ (โดยน้ำหนัก)	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่นถั่ว	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
33.00 : 24.00 : 43.00	6.87±1.36 ^a	6.98±1.27 ^a	6.98±1.19 ^a	6.63±1.79 ^b	6.82±1.69 ^a	6.83±1.42 ^a
33.00 : 34.00 : 33.00	6.92±1.21 ^a	7.05±1.31 ^a	6.82±1.40 ^{ab}	7.10±1.22 ^a	6.95±1.33 ^a	7.12±1.25 ^a
24.00 : 40.00 : 36.00	6.28±1.80 ^b	6.52±1.46 ^b	5.72±1.74 ^d	6.17±1.96 ^b	6.15±2.01 ^b	6.23±1.71 ^b
24.00 : 28.00 : 48.00	6.75±1.43 ^a	6.63±1.39 ^b	6.25±1.85 ^c	6.72±1.74 ^a	6.60±1.79 ^b	6.77±1.62 ^a
28.17 : 31.67 : 40.16	6.77±1.31 ^a	6.65±1.16 ^b	6.42±1.79 ^{bc}	6.78±1.75 ^a	6.82±1.76 ^a	6.87±1.60 ^a

^{a,b, ...} ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่กำกับด้วยอักษรต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq 0.05$)

4. สรุป

การศึกษาอิทธิพลของส่วนผสมที่ใช้ในการทำถั่วเขียวกวน ได้แก่ ถั่วเขียวร้อยละ 24-33 น้ำตาลทรายร้อยละ 24-40 และกะทิละเอียด 33-48 ต่อสมบัติทางรีโอโลยีของถั่วกวนด้วยวิธี lubricated squeezing flow พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความหนืด (K_B) มีแนวโน้มสูงขึ้นหรือถั่วกวนมีลักษณะข้นหนืดเมื่อปริมาณถั่วเขียวและกะทิลดลง และปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาค่าดัชนีการไหล (n) ของถั่ว

เขียวกวน พบว่าค่า n มีแนวโน้มสูงขึ้น หรือถั่วกวนมีความต้านทานต่อการลดลงของความหนืดขณะกวนมากขึ้น เมื่อปริมาณน้ำตาลทรายและกะทิเพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณถั่วเขียวลดลง ทั้งนี้ความสัมพันธ์ระหว่างค่า K_B และ n กับปริมาณถั่วเขียวกวน น้ำตาลทราย และกะทิสามารถอธิบายได้ด้วยสมการ quadratic model และสมการ linear model ตามลำดับ ได้ดีที่สุด จากการศึกษอิทธิพลของส่วนผสมต่อค่าสีถั่วเขียวกวน พบว่าปริมาณกะทิที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าความเป็นสีแดง (a^*)

ของถั่วเขียวกวนลดลง และปริมาณน้ำตาลทรายที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าความเป็นสีเหลืองของถั่วเขียวกวนเพิ่มขึ้น พบว่าสูตรที่ได้รับคะแนนความชอบจากผู้บริโภคด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นถั่ว รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมมากที่สุด อัตราส่วนของถั่วเขียว น้ำตาลทราย และกะทิ เท่ากับ 33.00 : 34.00 : 33.00 โดยน้ำหนัก

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ที่ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยเรื่องสมบัติทางรีโอโลยีและคุณภาพทางประสาทสัมผัสของถั่วกวนจากถั่วชนิดต่าง ๆ และส่วนผสมสำหรับขนมไส้ถั่วกวน ประจำปีงบประมาณ 2557

6. รายการอ้างอิง

- [1] เพิ่มพูน คักดีเกษม, 2531, ถั่วเขียว, ศูนย์ส่งเสริมและพัฒนาอาชีพการเกษตร, กรุงเทพฯ, 72 น.
- [2] ไชยา เฟื่องอุ่น, 2539, ถั่วและพืชคลุมดิน, ศูนย์เทคโนโลยีเพื่อสังคม, สุพรรณบุรี, 87 น.
- [3] Adsule, R.N., Kadam, S.S. and Salunkhe, D.K., 1989, Green Gram, pp. 65-89, In Salunkhe, D.K., and Kadam, S.S., Handbook of World Food Legumes: Nutritional Chemistry, Processing Technology and Utilization, Vol. II, CRC Press, Inc., Florida.
- [4] ทศนีย์ โรจนไพบูลย์, 2532, ตำรับขนมของไทย, บริษัท เจเนอรัลบุ๊คส์ เซนเตอร์จำกัด, กรุงเทพฯ, 203 น.
- [5] ชนิษฐา วงศ์บาสก์, 2553, การพัฒนาอาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกล้างงอกใส่ถั่วกวนผสมสตรอเบอร์รี่กวน, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- [6] AOAC, 2000, Official methods of analysis, 17th Ed., The Association of Official Analytical Chemists, Virginia.
- [7] Mubarak, A.E., 2005, Nutritional composition and antinutritional factors of mung bean seeds (*Phaseolus aureus*) as affected by some home traditional processes, Food Chem. 89: 489-495.
- [8] นันทิยา อิกะ และสุกัญญา ตุ่มพูล, 2547, การพัฒนาสูตรแป้งชุบทอดสูตรเสริมสมุนไพรและใยอาหารจากเปลือกถั่วเหลือง, รายงานวิจัย, คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันราชภัฏนครสวรรค์, นครสวรรค์, 62 น.
- [9] สิรินาถ ตันตเกษม, 2554, การทดแทนไขมันในคุกกี้โดยใช้ถั่วลิสงบด, ว. มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย 31(2): 114-125.
- [10] Whistler, R.L. and BeMiller, J.N., 1997, Carbohydrate Chemistry for Food Scientists, Eagan Press, St. Paul, 241 p.