บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

4.1 วิธีดำเนินการทดลอง

4.1.1 ทำการ**ผลิตผลิตภัณฑ์ตาม**สูตร ได้แก่ เกล็ดข้าวโพด 50% แป้งข้าว 44% น้ำตาลทราย 3% น้ำมันพืช 2% และแคลเซียมคาร์โบเนต 1% ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นรูปทรงกลมรี มีสีเหลืองปนเขียวอ่อน แสดงดังภาพที่ 3 ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสกรอบ ไม่แน่นจนเกินไป รสชาติอร่อย

ภาพที่ 3 ผลิตภัณฑ์ขนมชบเคี้ยวจากพืชสมุนไพรไทยพื้นบ้านด้วยเทคโนโลยีเอ็กซ์ทรูชั่น

4.1.2 สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตขนมจาก extruder โดยสภาวะที่ศึกษา คือ ความเร็วรอบของสกรู 300 รอบต่อนาที และความชื้นของวัตถุดิบที่ร้อยละ 17.5 โดยอุณหภูมิของบาร์เรลคือ 134-165 องศาเซลเซียส โดยวางแผนการทดลองดังตารางที่ 5

เครื่องอัดรีดชนิดสกรูเดี่ยวเป็นการให้ความร้อนแบบอุณหภูมิสูงเวลาสั้น ส่งผลให้มวลเหลวภายในเกิดการไหม้ได้รวดเร็วและติดค้างอยู่ภายในบาร์เรล เครื่องเกิดการหยุดชะงัก ซึ่งสอดคล้องกับ Lue *et al*. (1991) พบว่าการเพิ่มปริมาณเส้นใยอาหารจากหัวบีท และการเพิ่มปริมาณโปรตีนจากปลาป่นทำให้ไปขัดขวางการพองตัวของแป้งในการเกิดโครงสร้างโพรงอากาศภายในบาร์เรล มีผลให้การเคลื่อนที่ออกสู่หน้าแปลนช้าลง ความดันภายในลดลง Guy,1994 กล่าวว่า การเพิ่มเยื่อใยในส่วนผสมของวัตถุประสงค์ประมาณร้อยละ 20-30 จะลดการขยายตัวของผลิตภัณฑ์ เยื่อใยส่วนใหญ่จะได้จากธัญชาติ เช่น รำข้าวเป็นอนุภาคใหญ่ และแข็ง เกิดจากเซลลูโลสอนุภาคเหล่านี้จะไม่แตกหักระหว่างการเอกซ์ทรูด จะหลงเหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์ทำให้มีผลต่อเนื้อสัมผัส และการพองตัวของผลิตภัณฑ์ ส่วนสูตรการผลิตนี้ พบว่า มวลเหลวภายในบาร์เรลสามารถไหลผ่านออกมาหน้าไดน์ได้เล็กน้อย ค่อนข้างช้า ลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ได้เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไม่แข็งมากเกินไป ผิวภายนอกขรุขระ อัตราการพองตัวดี ความหนาแน่นดี โพรงอากาศภายในไม่ค่อยมีความสม่ำเสมอ สีออกเหลืองปนเขียว เนื่องจากสูตรนี้มีการใช้ปริมาณเกล็ดข้าวโพดและสมุนไพรไทยพื้นบ้าน ทำให้มวลเหลวภายในบาร์เรลไหลออกหน้าไดน์ได้ดีขึ้น เพราะว่าเกล็ดข้าวโพดที่ใช้เป็นกลุ่มที่ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ และมีปริมาณแอมิโลสสูงซึ่งจะช่วยดูดน้ำและขยายปริมาตรได้ดีขึ้น

ตารางที่ 5 ลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ในสภาวะการทดลองการผลิตขนมขบเคี้ยว ที่ความเร็วรอบ 3 ระดับ ที่ 250, 300 และ 350 รอบต่อนาที และ ความชื้นของวัตถุดิบ 3 ระดับ ที่ร้อยละ 15, 17.5 และ 20

Treatment	**ความเร็วรอบสกรู (รอบ/นาที)**	**ความชื้นวัตถุดิบ (ร้อยละ)**	ลักษณะเนื้อสัมผัส/ ความกรอบ
1	250	15	เนื้อสัมผัสโปร่ง และมีความร่วนเกินไป
2	300	15	เนื้อสัมผัสโปร่ง และมีความร่วนเกินไป
3	350	15	เนื้อสัมผัสแน่นเล็กน้อย และมีความกรอบแข็ง
4	250	17.5	เนื้อสัมผัสโปร่ง และมีความร่วนเกินไป
5	300	17.5	เนื้อสัมผัสไม่โปร่ง ไม่แน่นจนเกินไป และมีความกรอบกำลังดี
6	350	17.5	เนื้อสัมผัสแน่นจนเกินไป และมีความกรอบกำลังดี
7	250	20	เนื้อสัมผัสโปร่ง และมีความเหนียวเล็กน้อย
8	300	20	เนื้อสัมผัสโปร่ง และมีความเหนียวเล็กน้อย
9	350	20	เนื้อสัมผัสแน่น และมีความเหนียวเล็กน้อย

จากตารางที่ 5 พบว่า สูตรทดลองที่ 5 เนื้อสัมผัสที่ได้ไม่โปร่ง และไม่แน่นจนเกินไป เมื่อทำการบดเคี้ยว จะพบว่ามีความกรอบกำลังดี ง่ายต่อการกัด (ตัดขาดด้วยฟัน) และเมื่อทำการกลืนก็ไม่เกิดการระคายเคืองที่คอ สามารถทานเป็นขนมขบเคี้ยวได้

จากการผสมเกล็ดข้าวโพดกับน้ำ 5% ของน้ำหนักทั้งหมด (ปรับปริมาณความชื้นให้ได้ 12% ใส่ถุงปิดไว้ประมาณ 3-5 ชั่วโมง) และแป้งกล้วยร่อนผ่านกระชอนขนาดรูประมาณ 1.2 mm (แป้งมีขนาดอนุภาคประมาณ 40 mesh) เปิดเครื่องรอให้ได้อุณหภูมิตามที่กำหนด ประมาณ 25 นาที เมื่อได้อุณหภูมิตามที่ ใส่เกล็ดข้าวโพดลงไปกำหนดให้เปิดเครื่องที่ความเร็วรอบที่ต้องการศึกษา ทำการเก็บผลิตภัณฑ์ที่ได้ นำเข้าตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จนได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายแล้วสุ่มตัวอย่างมาทดสอบคุณภาพต่อไป

3.2.3 ศึกษาปริมาณน้ำตาลทราย (ขาว) ที่เหมาะสมที่มีผลต่อรสชาติและค่าสีของผลิตภัณฑ์ โดยใช้เครื่องอัดรีดชนิดสกรูเดี่ยว

โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD ซึ่งใช้ปริมาณศึกษาปริมาณน้ำตาลทราย (ขาว) 3 ระดับ คือ 0, 3 และ 6 กรัม ตามลำดับ โดยที่ปริมาณน้ำตาลทราย (ขาว) 6 กรัม

จากการศึกษาศึกษาปริมาณน้ำตาล (ขาว) 3 ระดับ คือ 0 , 3 และ 6 กรัม ตามลำดับ พบว่าสูตรที่เติมน้ำตาลทราย (ขาว) 3 กรัม ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบด้าน สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส(ความกรอบ) และความชอบโดยรวม มากกว่าสูตรอื่นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เพราะว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีรสหวานพอดีไม่หวานมากไป ส่งผลให้ค่าสีลดลง อัตราการพองตัวเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ความหนาแน่นลดลง เนื้อสัมผัสโปร่งขึ้น ความแข็งและความกรอบพอดีไม่มากไปเหมือนสูตรเดิมที่ใช้น้ำตาล 6 กรัม เนื่องจากการใช้ปริมาณน้ำตาลมากไป ส่งผลให้มวลเหลวภายในท่อบาร์เรลไหลออกมาสู่หน้าไดน์เร็วขึ้น อัตราการพองตัวลดลง ความหนาแน่นเพิ่มขึ้น เพราะว่าปริมาณน้ำตาลที่เพิ่มขึ้นทำให้แรงเฉือนของมวลเหลวภายในท่อบาร์เรลลดลง การเกิดเจลาติไนท์เซชั่นไม่สมบูรณ์ เกิดการเสียดสีภายในทำให้โมลเลกุลของน้ำตาลเมื่อได้รับความร้อนสูง เกิดการเปลี่ยนแปลงโดยเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดขึ้นกับผลิตภัณฑ์ ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีคล้ำเข้มขึ้น มีกลิ่นน้ำตาลไหม้ เนื้อสัมผัสแข็ง มากกว่าสูตรที่ใช้ปริมาณน้ำตาล 0 และ3 กรัม และสูตรที่ใช้ปริมาณน้ำตาล 0 กรัม พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีซีดไป ไม่มีรสชาติ เนื้อสัมผัสโปร่งเบา เกินไป จึงไม่เหมาะที่จะเลือกสูตรนี้ ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงเลือกสูตรที่ใช้ปริมาณน้ำตาลทราย (ขาว) 3 กรัม ซึ่งผู้บริโภคให้คะแนนเฉลี่ยความชอบโดยรวมระดับชอบปานกลาง แสดงดังตารางที่ 6 จากสภาวะการผลิตด้วยเครื่องอัดรีดชนิดสกรูเดี่ยว พบว่าสูตรที่เติมน้ำตาลทราย (ขาว) 3 กรัม ใช้กระแสไฟฟ้าในกระบวนการผลิต 8.5 แอมแปร์ สามารถผลิตได้ 14.4 กิโลกรัมต่อชั่วโมง แสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 6 คะแนนความชอบเฉลี่ยของปริมาณน้ำตาลทราย (ขาว) ที่เหมาะสม จำนวน 3 สูตร

คุณลักษณะ	คะแนนความชอบ		
	0	3	6
สี	6.32± 0.02 [c]	7.37± 0.01 [a]	6.70 ± 0.02 [b]
กลิ่น	6.95± 0.01 [b]	7.63± 0.04 [a]	6.90± 0.01 [bc]
รสชาติ	6.42± 0.02 [c]	7.38± 0.03 [a]	6.73± 0.02 [b]
เนื้อสัมผัส(ความกรอบ)	6.28± 0.01 [c]	7.33± 0.01 [a]	6.97± 0.01 [b]
ความชอบโดยรวม	6.34± 0.01 [c]	7.70± 0.01 [a]	7.13± 0.02 [b]

หมายเหตุ [a-c] ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในทางเดียวกันที่มีตัวอักษรต่างกันหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 7 สภาวะการผลิตด้วยเครื่องอัดรีดชนิดสกรูเดี่ยว (2 กิโลกรัมต่อสูตร)

ข้อมูล	รายละเอียด
Screw speed(rpm)	168
เส้นผ่านศูนย์กลางหน้าแปลน Ø (มม.)	2
จำนวนใบมีด(ใบ)	2
ความเร็วใบมีด(rpm)	95
อุณหภูมิบาเรล์ (องศาเซลเซียส)	135
อุณหภูมิหน้าไดน์ (องศาเซลเซียส)	153
โวลต์ (volt)	380
กระแสไฟ(แอมแปร์)	8.5
พลังงานกลจำเพาะ(Wh/g)	2.12
กำลังการผลิต(kg/h)	14.4

3.2.4 คุณภาพทางกายภาพ

ตารางที่ 8 คุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี และทางจุลินทรีย์ของขนมขบเคี้ยวจากสมุนไพรพื้นบ้านโดยใช้เครื่องอัดรีดชนิดสกรูเดี่ยว

คุณภาพ	รายละเอียด
<u>คุณภาพทางกายภาพ</u>	
อัตราการพองตัว	1.69 ± 0.01
ความหนาแน่น(กรัม/ลบ.ซม.)	0.15 ± 0.001
ปริมาณน้ำอิสระ(Aw)	0.34 ± 0.02
ค่าสี	
L*	60.41 ± 0.16
a*	1.19 ± 0.02
b*	15.26 ± 0.16
<u>คุณภาพทางเคมี</u>	
ความชื้น (ร้อยละ)	6.60 ± 0.16
โปรตีน (ร้อยละ)	7.88 ± 0.16
ไขมัน (ร้อยละ)	0.07 ± 0.16
เยื่อใย (ร้อยละ)	1.85 ± 0.16
เถ้า (ร้อยละ)	1.31 ± 0.16
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)	82.3 ± 0.16
<u>คุณภาพทางจุลินทรีย์</u>	

จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด(CFU/G)	<1x10
จำนวนยีสต์และรา (CFU/G)	ND

หมายเหตุ: ND หมายถึง ไม่พบจำนวนจุลินทรีย์

จากตารางที่ 8 คุณภาพทางกายภาพ พบว่า มีค่าปริมาณน้ำอิสระของผลิตภัณฑ์ อยู่ในช่วง 0.40-0.49 จัดเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทอาหารแห้งที่เกิดการเน่าเสียได้ยาก อีกทั้งค่าปริมาณน้ำอิสระที่วิเคราะห์ได้อยู่ในช่วง 0-0.50 จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้สามารถเก็บรักษาได้นาน แต่ถ้าการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไม่เหมาะสมอาจทำให้เกิดการเสื่อมเสียจากเชื้อราได้ (รุ่งนภา,2550) ส่วนคุณภาพทางจุลินทรีย์ ในการตรวจจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดและจำนวนยีสต์ รา นั้น พบว่า ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดมีน้อยกว่าเกณฑ์ และไม่พบยีสต์ รา ซึ่งในเกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากธัญชาติ ที่กำหนดโดยสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 1534-2541) ซึ่งกำหนดไว้ดังนี้ จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 1×10^4 CFU/g จำนวนยีสต์และราน้อยกว่า 1×10 CFU/g ซึ่งทำให้ผู้บริโภคเชื่อมั่นได้ว่าผลิตภัณฑ์ มีความปลอดภัยจากจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค

3.2.5 เพื่อศึกษาการยอมรับผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค

จากการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค จำนวน 80 คน โดยวิธีการ CLT (central location test) กับกลุ่มตัวอย่าง คือ ผู้บริโภคทั่วไป การประเมินจะให้ผู้บริโภครับประทาน พร้อมทั้งทำแบบสอบถามข้อมูลทั่วไปและแบบทดสอบผลิตภัณฑ์ สถานที่ทำการประเมิน ได้แก่ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร และเขตดุสิต

3.2.5.1 ศึกษาข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม แสดงดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ลักษณะข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

	คุณลักษณะ	**ร้อยละ**
เพศ	ชาย	30
	หญิง	70
อายุ	18-27 ปี	88
	28-37 ปี	5
	38-47 ปี	3
	48-57 ปี	4
ระดับการศึกษา	ประถมศึกษา	3
	มัธยมศึกษาตอนต้น	7
	มัธยมศึกษาตอนปลาย/ปวช.	2
	อนุปริญญา/ปวส.	2
	ปริญญาตรี	81
	ปริญญาโท	5
อาชีพ	นักเรียน/นักศึกษา	81
	ข้าราชการ/รัฐวิสาหกิจ	10
	พนักงานบริษัทเอกชน	1
	รับจ้างทั่วไป	-
	ธุรกิจส่วนตัว	2
	อื่นๆ	6

รายได้	ต่ำกว่า 5,001 บาท	33
	5,001-10,000 บาท	56
	10,001-15,000 บาท	6
	15,001-20,000 บาท	2
	20,001-25,000 บาท	3
	25,000 ขึ้นไป	-

จากการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคทั่วไป พบว่า ลักษณะทางประชากรศาสตร์ของผู้บริโภคเป็น เพศชายร้อยละ 30 เพศหญิงร้อยละ 70 อายุอยู่ในช่วง 18-27 ปี มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 88 รองลงมาคือ28-37 ปี ร้อยละ5 , 48-57 ปี ร้อยละ 3 และ 38-47 ปีร้อยละ 4 การศึกษาอยู่ในระดับปริญญาตรีมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 81 รองลงมาคือ มัธยมศึกษาตอนต้นร้อยละ 7 ปริญญาโท ร้อยละ 5 อนุปริญญา/ปวส.ร้อยละ 2 และประถมศึกษา ร้อยละ 3 ซึ่งรายได้ส่วนใหญ่ ,001-10,000 บาท มากที่สุดคิดเป็น ร้อยละ 56 องลงมา ต่ำกว่า 5,001 บาทร้อยละ 33 รายได้ 10,001-15,000 บาท ร้อยละ 6 รายได้20,001-25,000 บาท ร้อยละ 3 และน้อยที่สุดคือ15,001-20,000 บาทคิดเป็นร้อยละ 2 ซึ่งจะเห็นได้ว่า กลุ่มบริโภคทั่วไป ส่วนมากเป็นวัยรุ่นจนถึงวัยผู้ใหญ่

4.3.2 ผลการศึกษาข้อมูลการทดสอบผลิตภัณฑ์

จากการศึกษาข้อมูลโดยสอบถามผู้บริโภคเกี่ยวกับความคิดเห็นของคุณค่าทางอาหารของผลิตภัณฑ์ แสดงดังตารางที่ 10 ความสนใจที่จะนำสมุนไพรไทยพื้นบ้านมาเป็นวัตถุดิบในการ แสดงดังตารางที่ 11 การทดสอบชิมผลิตภัณฑ์ แสดงดังตารางที่ 12 รวมถึงการยอมรับในผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาขึ้น แสดงดังตารางที่ 13

ตารางที่ 10 ความคิดเห็นถึงคุณค่าทางอาหารของผลิตภัณฑ์ที่ขายในปัจจุบัน

คุณค่าทางอาหาร	ร้อยละ
สูงมาก	2
สูง	42
ปานกลาง	53
ต่ำ	2
ต่ำมาก	1
รวม	100

จากตารางการสอบถามเกี่ยวกับรายละเอียดของผลิตภัณฑ์ ผู้บริโภคให้ความ คิดเห็นว่าผลิตภัณฑ์ที่มีขายในท้องตลาดปัจจุบัน มีคุณค่าในระดับปานกลาง คิดเป็นร้อยละ 53 รองลงมาคือระดับสูง คิดเป็นร้อยละ 42 คุณค่าทางอาหารระดับสูงมากและระดับต่ำคิดเป็นร้อยละ 2 เท่ากัน และระดับต่ำมาก คิดเป็นร้อยละ 1 จะเห็นว่าผู้บริโภคยังคิดว่าผลิตภัณฑ์ที่มีขายอยู่ในปัจจุบันยังมีคุณค่าทางโภชนาการที่ยังไม่เพียงพอกับความต้องการ

ตารางที่ 11 ความสนใจของผู้บริโภคที่จะนำสมุนไพรไทยพื้นบ้านมาผลิตผลิตภัณฑ์

ความสนใจ	ร้อยละ
สนใจ	90
ไม่สนใจ	10
รวม	100

จากตารางแสดงความสนใจของผู้บริโภคที่จะนำสมุนไพรไทยพื้นบ้านมาผลิตผลิตภัณฑ์ พบว่า ผู้บริโภคมีความสนใจในตัวผลิตภัณฑ์สูงถึงร้อยละ 90

ตารางที่ 12 คุณลักษณะของคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆ

คุณลักษณะ	ค่าเฉลี่ย
สี	7.59± 0.01
กลิ่น	7.43± 0.01
รสชาติ	7.14± 0.01
เนื้อสัมผัส(ความกรอบ)	7.30± 0.01
ความชอบโดยรวม	7.74± 0.01

จากตารางแสดงคุณลักษณะของคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆ พบว่า ในด้าน สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส(ความกรอบ) และความชอบโดยรวม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.59 , 7.43 , 7.14 ,7.30 และ 7.74 ตามลำดับ ซึ่งผู้บริโภคชอบผลิตภัณฑ์ อยู่ในระดับชอบปานกลาง

ตารางที่ 13 การยอมรับผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาขึ้น

การยอมรับ	ร้อยละ
ยอมรับ	88
ไม่ยอมรับ	12
รวม	100

จากตารางแสดงการยอมรับผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาขึ้น จะพบว่าผู้บริโภคส่วนใหญ่มีแนวโน้มที่ยอมรับในตัวผลิตภัณฑ์คิดเป็นร้อยละ 88 เพราะผู้บริโภคคิดว่าเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่มีคุณค่าทางโภชนาการ เสริมสร้างประโยชน์ต่อสุขภาพผู้บริโภคและเป็นการเพิ่มมูลค่าให้แก่วัตถุดิบทางการเกษตรภายในประเทศ เป็นการสร้างรายได้ให้แก่เกษตรกรหรือผู้ผลิตมากขึ้น