รายงานการวิจัย

โครงการวิจัยเรื่อง ภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมแป้งเมล็ดขนุน สำหรับผลิตขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบ

Optimum preparations of jackfruit seed flour to snacked chip

คณะผู้วิจัย

ผศ.ดร. อาภัสรา แสงนาค

ผศ. ดร. กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์

RMUTK - CARIT

3 2000 00094363 1

โครงการวิจัยทุนสนับสนุนงานวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

งบประมาณผลประโยชน์. ปี พ.ศ. 2553

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

bib 90883 1214

641.61

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาภาวะในการเตรียมแป้งเมล็ดขนุน และปริมาณ Resistant Starch ที่เหมาะสมสำหรับผลิตขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน โดยเตรียมแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ ที่อุณหภูมิ 120 130 และ 140 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบของลูกกลิ้ง 0.4 0.6 และ 0.8 รอบต่อนาที พบว่า ไม่มีอิทธิพลร่วมกันระหว่างอุณหภูมิ และความเร็วรอบของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ต่อค่าความสว่าง (Lightness, L*) และค่าความเป็นสีเหลือง (Yellowness, b*) ของแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน ขณะที่อุณหภูมิ และความเร็วรอบมีผลต่อค่าความเป็นสีแดง (Redness, a*) และค่าดัชนีความขาว (Whiteness, WI) โดยเมื่อระดับอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น แป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่เตรียมได้มีค่า L* ลดลง และมีค่า b* เพิ่มขึ้น ($p<0.05$) แต่ที่ระดับความเร็วรอบของลูกกลิ้งเพิ่มสูงขึ้น พบว่า แป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่เตรียมได้มีค่า L* เพิ่มขึ้น และค่า b* ลดลง ($p<0.05$) และ ที่อุณหภูมิสูง และความเร็วรอบของลูกกลิ้งต่ำ แป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่เตรียมได้มีค่า a* เพิ่มขึ้น แต่มีค่า WI ลดลง นอกจากนี้ พบว่า อุณหภูมิ และความเร็วรอบของลูกกลิ้งมีอิทธิพลร่วมกันต่อดัชนีการละลายน้ำ ดัชนีการดูดซับน้ำ และ อัตราการเกิดเจลาทิไนซ์ของแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน โดยเมื่อใช้อุณหภูมิสูง และความเร็วรอบต่ำ แป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่เตรียมได้จะมีค่าดัชนีการละลายน้ำ ดัชนีการดูดซับน้ำ และ อัตราการเกิดเจลาทิไนซ์ สูงกว่าแป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิต่ำ และความเร็วรอบสูงกว่า โดย ขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่เตรียมโดยการใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบของลูกกลิ้ง 0.4 รอบต่อนาที ได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด และใช้อุณหภูมิ และความเร็วรอบต่ำที่สุด จึงเลือกแป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่เตรียมที่ภาวะดังกล่าว มาเตรียมขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบเพื่อศึกษาปริมาณ Resistant Starch ที่เหมาะสมสำหรับเพิ่มใยอาหาร โดยแปรปริมาณ Resistant Starch 4 ระดับคือ 0 5 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแป้งทั้งหมด พบว่า เมื่อปริมาณ Resistant Starch เพิ่มขึ้น ขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบมีค่าความแข็ง ใยอาหารทั้งหมด และใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำเพิ่มขึ้น ($p<0.05$) แต่มีปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำไม่แตกต่างกัน ($p\geq0.05$) โดยขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบที่เติม Resistant Starch 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแป้งทั้งหมด ได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด รวมถึงมีปริมาณใยอาหารทั้งหมด และใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำสูงที่สุด นอกจากนี้พบว่า ขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบที่เตรียมได้ มีปริมาณไขมันต่ำกว่าขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบทางการค้า 4.6-4.8 เท่า และมีปริมาณใยอาหารทั้งหมด ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และใยอาหารที่ละลายน้ำ สูงกว่าขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบทางการค้า 3.8-4.3 เท่า 4.4-5.1 เท่า และ 1.8-2.0 เท่า ตามลำดับ

Abstract

The optimum preparation method of jackfruit seed flour (JSF) and the suitable resistant starch addition for snack chips were investigated. JSF was pregelatjnized by using double drum dryer at 120, 130 and 140 °C with revolving at 0.4, 0.6 and 0.8 revolutions per minute (rpm). Analysis of variance indicated that interaction of temperature and drum rotation speed on lightness (L*) and yellowness (b*) was not significance ($p \geq 0.05$), nevertheless the interaction was significantly effect on redness (a*) and whiteness (WI) ($p < 0.05$). L* and b* of pregelatinized JSF were increased directly with temperature on the surface of double drum ($p < 0.05$). While the higher temperature and the lower drums rotation speed influenced the higher a*, water solubility index (WSI), water absorption index (WAI), degree of gelatinization (DG) and the lower WI of pregelatinized JSF. Snack chips, made from JSF pregelatinized by drum drying at 130 °C 0.4 rpm, had the highest overall acceptance score; however, the product had low dietary fiber. Therefore, JSF prepared from this condition was selected to continue studying on adding resistant starch content for prepared snack chips. The variation of resistant starch content was 0, 5, 10 and 15 % (flour basis). The increasing of resistant starch content tended to increase hardness, total dietary fiber and insoluble dietary fiber ($p < 0.05$). Snack chips with 10 % resistant starch addition received the highest overall acceptance score including the highest total dietary fiber and insoluble dietary fiber. In addition, the fat content of the obtained product was lower than commercial products 4.6-4.8 times and the total dietary fiber, insoluble dietary fiber and soluble dietary were higher than commercial products at 3.8-4.3, 4.4-5.1, and 1.8-2.0 times, respectively.

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ข

สารบัญ ..... ค

สารบัญตาราง ..... จ

สารบัญภาพ ..... ฎ

บทที่

1 บทนำ 1

ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

สมมติฐานของการวิจัย 2

ขอบเขตของการวิจัย 2

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

เมล็ดขนุน 4

การเตรียมแป้งจากเมล็ดขนุน 5

องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติของแป้งเมล็ดขนุน 7

แนวทางการใช้ประโยชน์จากแป้งเมล็ดขนุนในผลิตภัณฑ์อาหาร 9

ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว 11

ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบ 13

การประเมินคุณภาพผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบ 27

3 วิธีดำเนินการวิจัย 29

วัตถุดิบ 29

อุปกรณ์และเครื่องมือ 30

สารเคมี 31

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
3	วิธีดำเนินการวิจัย	32
	ตอนที่ 1 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนโดยการใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่	32
	ตอนที่ 2 ศึกษาปริมาณ Resistant Starch ที่เหมาะสมสำหรับเพิ่มเส้นใยอาหารในขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน	35
4	ผลการวิจัย และข้อวิจารณ์	38
	ตอนที่ 1 ผลการศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนโดยการใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่	38
	ตอนที่ 2 ผลการศึกษาปริมาณ Resistant Starch ที่เหมาะสมสำหรับเพิ่มเส้นใยอาหารในขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน	54
5	สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ	70
บรรณานุกรม		71
ภาคผนวก		78
	ภาคผนวก ก วิธีการใช้งานเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่	79
	ภาคผนวก ข วิธีวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของแป้งเมล็ดขนุน	82
	ภาคผนวก ค วิธีวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน	86
	ภาคผนวก ง แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส	91
	ภาคผนวก จ การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทางภาพถ่าย (Image Analysis)	93
	ภาคผนวก ฉ การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี	96
	ภาคผนวก ช ผลการวิเคราะห์ขนาดเส้นรอบวงของเซลล์อากาศของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน	107
	ภาคผนวก ซ ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	110

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	คุณค่าทางโภชนาการของเมล็ดขนุนน้ำหนัก 100 กรัม	5
2-2	องค์ประกอบทางเคมีของแป้งเมล็ดขนุน	9
2-3	สเกลฮีโดนิกที่ใช้ทดสอบการยอมรับของวิธีทดสอบฮีโดนิก (Hedonic Test)	28
3-1	สูตรของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน	34
4-1	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอุณหภูมิ และความเร็วรอบของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ ต่อปริมาณผลผลิตแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนที่เตรียมได้	39
4-2	ผลของอุณหภูมิ และความเร็วรอบของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ ต่อปริมาณผลผลิตแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนที่เตรียมได้	39
4-3	ผลของอุณหภูมิของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ ต่อปริมาณผลผลิตแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนที่เตรียมได้	40
4-4	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอุณหภูมิ และความเร็วรอบของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ ต่อค่า L* a* b* และ WI ของแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน	41
4-5	ผลของอุณหภูมิ และความเร็วรอบของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ ต่อค่า L* a* b* และ WI ของแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน	42
4-6	ผลของอุณหภูมิของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ ต่อค่า L* ของแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน	42
4-7	ผลของความเร็วรอบของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ ต่อค่า L* ของแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน	43
4-8	ผลของอุณหภูมิของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ ต่อค่า b* ของแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน	43
4-9	ผลของความเร็วรอบของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ ต่อค่า b* ของแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน	43
4-10	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอุณหภูมิ และความเร็วรอบของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ ต่อดัชนีการละลายน้ำ ดัชนีการดูดซับน้ำ และ อัตราการเกิดเจลาทิไนซ์ของแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน	45

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4-11	ผลของอุณหภูมิ และความเร็วรอบของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ ต่อดัชนีการละลายน้ำ ดัชนีการดูดซับน้ำ และอัตราการเกิดเจลาทิไนซ์ของแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน	46
4-12	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอุณหภูมิ และความเร็วรอบของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่ใช้ในการเตรียมแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน ต่อค่า L* C* h* และค่าความแข็ง ของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุน	48
4-13	ผลของอุณหภูมิ และความเร็วรอบของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่ใช้ในการเตรียมแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน ต่อค่า L* C* h* และค่าความแข็งของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุน	49
4-14	ผลของอุณหภูมิของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่ใช้ในการเตรียมแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน ต่อค่า L* ของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุน	50
4-15	ผลของอุณหภูมิของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่ใช้ในการเตรียมแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน ต่อค่าความแข็งของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุน	50
4-16	ผลของความเร็วรอบของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่ใช้ในการเตรียมแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน ต่อค่าความแข็งของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุน	51
4-17	ผลของอุณหภูมิ และความเร็วรอบของเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่ใช้ในการเตรียมแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน ต่อคะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส ความรู้สึกในปาก และความชอบโดยรวมของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุน	53
4-18	ผลของปริมาณ Resistant Starch ต่อค่า L* C* h* และค่าความแข็ง ของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุน	55

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4-19	ผลของปริมาณ Resistant Starch ต่อปริมาณใยอาหารทั้งหมด ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และใยอาหารที่ละลายน้ำ ของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุน	56
4-20	ผลของปริมาณ Resistant Starch ต่อคะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส ความรู้สึกในปาก และความชอบโดยรวมของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุน	58
4-21	คุณภาพทางกายภาพของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุน และขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบทางการค้า A และ B	59
4-22	คุณภาพทางเคมีของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุน และขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบทางการค้า A และ B	69
ช-1	ขนาดเส้นรอบวงโดยเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน	108
ช-2	การกระจายตัวของเซลล์อากาศของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน	109
ช-1	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอุณหภูมิ และความเร็วรอบของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ ต่อปริมาณผลผลิตแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนที่เตรียมได้	111
ช-2	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอุณหภูมิ และความเร็วรอบของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ ต่อค่า L* ของแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน	112
ช-3	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอุณหภูมิ และความเร็วรอบของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ ต่อค่า a* ของแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน	112
ช-4	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอุณหภูมิ และความเร็วรอบของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ ต่อค่า b* ของแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน	113
ช-5	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอุณหภูมิ และความเร็วรอบของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ ต่อค่า WI ของแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน	113
ช-6	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอุณหภูมิ และความเร็วรอบของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ ต่อค่าดัชนีการละลายน้ำของแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน	114

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ซ-7	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอุณหภูมิ และความเร็วรอบของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ ต่อค่าดัชนีการดูดซับน้ำของแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน	114
ซ-8	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอุณหภูมิ และความเร็วรอบของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ ต่อค่าดัชนีการดูดซับน้ำของแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน	115
ซ-9	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอุณหภูมิ และความเร็วรอบของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ ต่ออัตราการเกิดเจลาทิไนซ์ของแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน	115
ซ-10	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอุณหภูมิ และความเร็วรอบของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ต่อค่า L* ของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุน	116
ซ-11	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอุณหภูมิ และความเร็วรอบของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ต่อค่า C* ของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุน	116
ซ-12	ผลการวิเคราะห์แปรปรวนของอุณหภูมิ และความเร็วรอบของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ต่อค่า h* ของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุน	117
ซ-13	ผลการวิเคราะห์แปรปรวนของอุณหภูมิ และความเร็วรอบของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ต่อค่าความแข็งของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุน	117
ซ-14	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณ Resistant Starch ต่อค่า L* ของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุน	118
ซ-15	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณ Resistant Starch ต่อค่า C* ของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุน	118
ซ-16	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณ Resistant Starch ต่อค่า h* ของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุน	118

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ซ-17	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณ Resistant Starch ต่อค่าความแข็งของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุน	119
ซ-18	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณ Resistant Starch ต่อปริมาณใยอาหารทั้งหมดของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุน	119
ซ-19	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณ Resistant Starch ต่อปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุน	119
ซ-20	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณ Resistant Starch ต่อปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุน	120
ซ-21	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณ Resistant Starch ต่อการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ ของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุน	120
ซ-22	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณ Resistant Starch ต่อการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี ของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบ จากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุน	121
ซ-23	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณ Resistant Starch ต่อการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรส ของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุน	121
ซ-24	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณ Resistant Starch ต่อการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านรสชาติ ของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุน	122
ซ-25	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณ Resistant Starch ต่อการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านเนื้อสัมผัส ของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุน	122

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ซ-26	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณ Resistant Starch ต่อการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความรู้สึกในปาก ของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุน	123
ซ-27	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณ Resistant Starch ต่อการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวม ของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุน	123

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
4-1	ขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุน.....	47
4-2	ภาพตัดขวาง (Cross Section) จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด กำลังขยาย 50 เท่า และภาพขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์ เมล็ดขนุนที่เตรียมโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่ความเร็วรอบ 0.4 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส (ก) 130 องศาเซลเซียส (ข) และ 140 องศาเซลเซียส (ค).....	61
4-3	ภาพตัดขวาง (Cross Section) จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด กำลังขยาย 50 เท่า และภาพขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์ เมล็ดขนุนที่เตรียมโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่ความเร็วรอบ 0.4 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส และเติม Resistant Starch 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของแป้งทั้งหมด (ก) ขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบทางการค้า A (ข) และขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบทางการค้า B (ค).....	62
4-4	ลักษณะเซลล์อากาศของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์ เมล็ดขนุนที่เตรียมโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่ความเร็วรอบ 0.4 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส (ก) 130 องศาเซลเซียส (ข) 140 องศาเซลเซียส (ค) เติม Resistant Starch 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของแป้งทั้งหมด (ก) ขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบทางการค้า A (ข) และขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบทางการค้า B (ค).....	63
4-5	ขนาดเส้นรอบวงของเซลล์อากาศโดยเฉลี่ยของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์ เมล็ดขนุนที่เตรียมโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่ความเร็วรอบ 0.4 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 120 130 140 องศาเซลเซียส ขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้ง พรีเจลาทิไนซ์ เมล็ดขนุนที่เติม Resistant Starch 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของแป้งทั้งหมด ขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบทางการค้า A และขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบทางการค้า B...	64

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4-6	การกระจายตัวของเซลล์อากาศของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุนที่เตรียมโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่ความเร็วรอบ 0.4 รอบต่อนาทีอุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส	65
4-7	การกระจายตัวของเซลล์อากาศของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุนที่เตรียมโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่ความเร็วรอบ 0.4 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส	65
4-8	การกระจายตัวของเซลล์อากาศของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุนที่เตรียมโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่ความเร็วรอบ 0.4 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส	66
4-9	การกระจายตัวของเซลล์อากาศของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุนที่เติม Resistant Starch 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของแป้งทั้งหมด	66
4-10	การกระจายตัวของเซลล์อากาศของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบทางการค้า A	67
4-11	การกระจายตัวของเซลล์อากาศของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบทางการค้า B	67
ก-1	รายละเอียดชุดควบคุมการทำงานของเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่	80
ค-1	วิธีการวางตัวอย่างขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบบนแท่นทดสอบ	89
ค-2	กราฟการวัดเนื้อสัมผัสของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน	90

บทที่ 1
บทนำ

ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบเป็นขนมขบเคี้ยวชนิดหนึ่งที่นิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลาย โดยวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบมีหลายชนิด เช่น มันฝรั่ง มันเทศ กล้วย ทุเรียน หัวบีท ขนุน และแป้งที่ผลิตจากวัตถุดิบทางการเกษตรชนิดต่างๆ เช่น ข้าวเจ้า ข้าวสาลี ข้าวฟ่าง ข้าวโพด มันสำปะหลัง มันฝรั่ง และมันเทศ (อภิญญา เจริญกูล, 2541) ซึ่งในการทำขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบที่ใช้แป้งเป็นวัตถุดิบหลักนั้น นอกจากจะใช้แป้งที่ผลิตจากวัตถุดิบทางการเกษตรแล้ว อาจมีการใช้แป้งดัดแปรในสูตรการทำขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบเพื่อช่วยให้ส่วนผสมรวมตัวกันได้ดีขึ้น และช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัส เช่น เพิ่มความกรอบให้กับผลิตภัณฑ์ (Villagran, et al., 2004) แป้งดัดแปรที่นิยมใช้ คือ แป้งพรีเจลาทิไนซ์ หรือแป้งพรีเจล ทางการค้าเรียกว่า อัลฟา สตาร์ช (Alpha Starch) การผลิตแป้งพรีเจลาทิไนซ์สามารถใช้ได้ทั้งแป้งดิบ และแป้งดัดแปรทางเคมีชนิดต่างๆ โดยป้อนแป้งในรูปสารแขวนลอยหรือแป้งเปียกลงในเครื่องทำแห้ง ซึ่งเครื่องทำแห้งที่ใช้ในการผลิตแป้งพรีเจลมีหลายชนิด ได้แก่ เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง เครื่องทำแห้งแบบสเปรย์ และเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ โดยเครื่องทำแห้งแต่ละชนิดจะมีความเหมาะสมต่อวัตถุดิบ และผลิตภัณฑ์ที่ได้แตกต่างกันออกไป ทั้งนี้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งเป็นวิธีที่เหมาะสม และนิยมมากที่สุด เนื่องจากมีอัตราการผลิตสูง ส่วนการใช้เครื่องมืออัดแรงสูงอย่างเอกซ์ทรูเดอร์ มีอัตราการผลิตต่ำ แต่มีข้อได้เปรียบในเรื่องของความสะอาด และการควบคุมคุณภาพ อย่างไรก็ตามขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบโดยทั่วไปมีปริมาณเส้นใยอาหารค่อนข้างน้อย จึงควรเสริมเส้นใยอาหารเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้กับผลิตภัณฑ์ โดยแป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ หรือ Resistant Starch เป็นวัตถุดิบหนึ่งที่น่าสนใจศึกษา เนื่องจากไม่สามารถถูกย่อยสลายได้ด้วยเอนไซม์ในลำไส้เล็ก และมีสมบัติเป็นเส้นใยอาหารชนิดหนึ่ง มีประโยชน์ต่อระบบขับถ่าย และระบบหมุนเวียนโลหิต เนื่องจาก Resistant Starch ไม่ถูกย่อยสลายโดยเอนไซม์ในลำไส้เล็ก ผ่านมาถึงส่วนของลำไส้ใหญ่ และถูกหมักบางส่วนโดยจุลินทรีย์ภายในลำไส้ใหญ่ได้เป็นกรดไขมันสายสั้น ๆ เช่น Acetate Proprionate และ Butyrate และมีก๊าซเกิดร่วมด้วย กรดไขมันที่เกิดขึ้นจะช่วยให้สุขลักษณะของปลายลำไส้ใหญ่ดีขึ้น โดยกรดไขมันจะไปยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค และปรับสภาวะความเป็นกรด-ด่าง (pH) ภายในลำไส้ใหญ่ นอกจากนี้ Resistant Starch ยังช่วยเพิ่มปริมาณอุจจาระ เพิ่มความถี่ในการขับถ่าย และลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรค

ท้องผูก โรคผนังลำไส้ใหญ่อักเสบ และมะเร็งในลำไส้ใหญ่ (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546) ดังนั้นการบริโภค Resistant Starch ช่วยป้องกันหรือลดภาวะโรคอ้วน และมีบทบาทในการลดปริมาณคลอเลสเตอรอลในเส้นเลือด ลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคไขมันอุดตันในเส้นเลือด โรคหัวใจ และโรคเบาหวานอีกด้วย (Korus, et al., 2009) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมแป้งเมล็ดขนุนพรีเจลาทิไนซ์โดยการใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ และปริมาณ Resistant Starch ที่เหมาะสมสำหรับเพิ่มเส้นใยอาหารในขนม ขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมแป้งเมล็ดขนุนพรีเจลาทิไนซ์โดยการใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่
2. เพื่อศึกษาปริมาณ Resistant Starch ที่เหมาะสมสำหรับเพิ่มเส้นใยอาหารในขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน

สมมติฐานของการวิจัย

1. อุณหภูมิที่ผิวหน้าลูกกลิ้ง และความเร็วรอบลูกกลิ้งที่แตกต่างกันของเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ มีผลต่อคุณภาพของแป้งเมล็ดขนุน และคุณภาพของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนแตกต่างกัน
2. ปริมาณ Resistant Starch ที่แตกต่างกัน มีผลต่อคุณภาพของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบแตกต่างกัน

ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาผลของอุณหภูมิที่ผิวหน้าลูกกลิ้ง และความเร็วรอบลูกกลิ้งของเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ต่อคุณภาพของแป้งเมล็ดขนุน และคุณภาพของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน
2. คัดเลือกภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมแป้งเมล็ดขนุนเพื่อใช้ผลิตขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบโดยพิจารณาจากความชอบโดยรวมของผู้บริโภคเป็นหลัก ร่วมกับคุณภาพทางกายภาพของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบเปรียบเทียบกับขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบที่ทำจากแป้งเมล็ดขนุนดิบ

3. ศึกษาผลของการเติม Resistant Starch ต่อคุณภาพทางกายภาพ และทางเคมีของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน

4. คัดเลือกปริมาณ Resistant Starch ที่เหมาะสมที่ใช้สำหรับเพิ่มเส้นใยอาหารในขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนโดยพิจารณาจากความชอบโดยรวมของผู้บริโภคร่วมกับคุณภาพทางเคมี และกายภาพของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบเปรียบเทียบกับขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบที่ไม่ได้เติมสตาร์ชดังกล่าว

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจและขยายการใช้ประโยชน์ของเมล็ดขนุนเหลือทิ้งจากการบริโภคและแปรรูปขนุน

2. เพิ่มทางเลือกสำหรับผลิตภัณฑ์ประเภทขนมขบเคี้ยวให้แก่ผู้บริโภค

บทที่ 2
การทบทวนวรรณกรรม

เมล็ดขนุน

เมล็ดขนุนเป็นส่วนที่ได้มาจากผลขนุน โดยขนุน (Jackfruit) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Artocarpus heterophyllus* Lam. อยู่ในวงศ์ Moraceae เป็นไม้ยืนต้นขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ ลำต้นสูง 8-15 เมตร มียางสีขาวทั้งต้น ผลมีลักษณะกลมและยาว เนื้อหุ้มเมล็ดสีเหลือง เมื่อสุกจะมีกลิ่นหอม (กระยาทิพย์ เรือนใจ, 2534) ขนุนเป็นไม้ผลชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจที่นิยมปลูกในประเทศไทย เนื่องจากปลูกได้ง่าย ทนทานต่อโรคและแมลง สำหรับพื้นที่ปลูกขนุนที่สำคัญในประเทศไทย ได้แก่ จังหวัดชลบุรี ฉะเชิงเทรา ระยอง จันทบุรี สระแก้ว และตราด โดยขนุนพันธุ์ทองประเสริฐ เป็นขนุนพันธุ์ที่นิยมปลูกในภาคตะวันออก มีแหล่งกำเนิดจากอำเภอแกลง จังหวัดระยอง และได้ขยายการปลูกไปยังจังหวัดต่าง ๆ ทั่วประเทศ ขนุนพันธุ์ทองประเสริฐมีจุดเด่นคือ ให้ผลผลิตเร็ว มีเปอร์เซ็นต์เนื้อมาก เนื้อแข็ง เก็บไว้ได้นาน รสหวาน และที่สำคัญคือให้ผลผลิตตลอดปี ลักษณะทรงต้นจะมีทรงพุ่มสูงโปร่ง ใบมีขนาดใหญ่ กลม ปลายใบมน สีเขียวเข้ม เห็นเส้นใบชัด ลูกมีลักษณะค่อนข้างกลม แต่ละลูกมีน้ำหนักประมาณ 15-18 กิโลกรัม หนามมีขนาดใหญ่ ปลายหนามเรียบ มีสีเขียว บางครั้งก็มีสีน้ำตาลที่หนาม เปลือกบาง ยวงมีรูปร่างกลมรีค่อนข้างสม่ำเสมอ เนื้อหนาประมาณ 0.5 เซนติเมตร มีสีเหลือง รสหวานปานกลาง วัดความหวานได้ 18 องศาบริกซ์ เนื้อแน่น เมล็ดมีขนาดเล็ก มีซังน้อย ไส้กลางใหญ่ และมีปริมาณเนื้อมาก คือประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักผลขนุน (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2546) เนื่องจากขนุนเป็นผลไม้ที่มีคุณค่าทางโภชนาการค่อนข้างสูง สามารถบริโภคโดยตรงในรูปของเนื้อยวงสด หรือนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ในระดับอุตสาหกรรม เช่น ขนุนอบแห้ง ขนุนในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋อง ขนุนแผ่นทอด เป็นต้น ส่งผลให้มีเมล็ดขนุนเหลือทิ้งจากการแปรรูปเป็นจำนวนมาก โดยเมล็ดขนุนมีน้ำหนักเป็น 8-15 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักผล ทั้งนี้เมล็ดขนุนมีคุณค่าทางโภชนาการไม่น้อยกว่าส่วนของเนื้อยวงสด จึงมีผู้สนใจนำไปใช้ประโยชน์โดยการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น เมล็ดขนุนแช่อิ่มเคลือบน้ำเชื่อม และแป้งเมล็ดขนุน เป็นต้น (อมรรัตน์ มุขประเสริฐ, 2546) โดยปกติขนุน 1 ผล จะประกอบด้วยเมล็ดตั้งแต่ 100-500 เมล็ด (Morton, 1987) ซึ่งเมล็ดขนุนประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ คือ เยื่อหุ้มเมล็ด (Seed Coat) แบ่งเป็น 2 ชั้น คือ เยื่อชั้นนอก เป็นเยื่อสีขาวครีมหุ้มอยู่ชั้นนอกสุดของเมล็ด สามารถลอกได้ง่ายโดยนำมาแช่น้ำแล้วถูและลอกออก และเยื่อชั้นใน เป็นเยื่อสีน้ำตาลติดแน่นอยู่กับเนื้อเมล็ดจะลอกออกได้ยาก การแช่เมล็ดขนุนดิบใน

สารละลายด่างสามารถช่วยลอกเยื่อชั้นในออกจากเมล็ดได้ง่ายขึ้น (อมรรัตน์ มุขประเสริฐ และกมลทิพย์ สัจจาอนันตกุล, 2546) ส่วนของเนื้อเมล็ด (Cotyledon) ประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดขนุนจะแตกต่างกันไปขึ้นกับสายพันธุ์และความแก่อ่อนของเมล็ดขนุน (Kumar et al., 1988; Rahman et al., 1999) คุณค่าทางโภชนาการของเมล็ดขนุนแสดงดังตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 คุณค่าทางโภชนาการของเมล็ดขนุนน้ำหนัก 100 กรัม (เตโชดม ภัทรศัย, 2543; กรมอนามัย, 2547)

คุณค่าทางโภชนาการ	ปริมาณ	
	เตโชดม ภัทรศัย (2543)	กรมอนามัย (2547)
พลังงาน (กิโลแคลอรี)	146.0	153.0
ความชื้น (กรัม)	60.7	60.7
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	34.8	32.2
โปรตีน (กรัม)	5.0	5.5
ไขมัน (กรัม)	0.2	0.2
เส้นใย (กรัม)	1.6	1.6
เถ้า (กรัม)	1.4	1.4
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	73.0	105.0
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	50.0	-
เหล็ก (มิลลิกรัม)	2.9	2.9
วิตามินบีหนึ่ง (มิลลิกรัม)	1.7	1.7
ไนอะซีน (มิลลิกรัม)	3.2	3.2
วิตามินซี (มิลลิกรัม)	24.0	24.0
วิตามินเอ (หน่วยสากล)	22.0	-

การเตรียมแป้งจากเมล็ดขนุน

กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม (2546) เตรียมแป้งจากเมล็ดขนุนโดยการแช่เมล็ดขนุนในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ นาน 30 นาที จากนั้นนำมาลอกเปลือกหุ้มเมล็ดออกออก ล้างน้ำหลาย ๆ ครั้ง แล้วนำไปปั่นผสมกับสารละลายโซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟต์

ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ทิ้งไว้ให้แป้งตกตะกอน เทสารละลายโซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟต์ออกแล้วล้างตะกอนด้วยน้ำหลายครั้ง จากนั้นล้างด้วยแอลกอฮอล์ความเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์ สองครั้ง เทแอลกอฮอล์ทิ้ง นำแป้งที่ได้ไปอบด้วยตู้อบลมร้อนจนแห้ง บรรจุในภาชนะที่สะอาดและปิดสนิท

อมรรัตน์ มุขประเสริฐ และกมลทิพย์ สัจจาอนันตกุล (2546) เตรียมแป้งเมล็ดขนุนโดยนำเมล็ดขนุนมาล้างทำความสะอาด พักให้สะเด็ดน้ำ ลอกเยื่อสีขาวครีมที่หุ้มชั้นนอกออก จากนั้นลอกเยื่อสีน้ำตาลออกโดยแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 30 นาที แล้วรีบนำขึ้นแช่ในสารละลายโซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟต์ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 30 นาที จากนั้นนำไปล้างน้ำและถูเยื่อสีน้ำตาลออก ล้างด้วยน้ำสะอาด 3 ครั้งจนหมดคราบลื่น จะได้ส่วนเนื้อเมล็ด จากนั้นนำเมล็ดขนุนไปผลิตเป็นแป้งซึ่งสามารถทำได้ 2 วิธี คือ วิธีที่ 1 การผลิตแป้งโดยวิธีโม่เปียก โดยนำเมล็ดขนุนมาปั่นกับน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1:1 นาน 2 นาที กรองกากออกด้วยผ้าขาวบาง ส่วนที่เป็นน้ำ ทิ้งให้ตกตะกอน แล้วรินส่วนใสทิ้ง นำส่วนที่ตกตะกอนไปอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 8 ชั่วโมง หรือจนมีความชื้นต่ำกว่า 13 เปอร์เซ็นต์ นำแป้งเมล็ดขนุนไปบดละเอียดด้วยเครื่องบดละเอียด (Ultracentrifugal Mill) นำมาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช จะได้แป้งเมล็ดขนุนตามต้องการ หรือทำโดยการผลิตแป้งโดยวิธีโม่แห้ง ทำโดยนำเมล็ดขนุนไปบดละเอียดด้วยเครื่องปั่นผสม (Blender) ด้วยความเร็วปานกลาง นาน 2 นาที และนำไปอบแห้งแล้วบดเช่นเดียวกับวิธีที่ 1 พบว่าการผลิตแป้งจากเมล็ดขนุนได้ผลผลิต 50 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักเมล็ดขนุนสด

อรอุมา คงเกลี้ยง และอุมากร พิมพ์โพธิ์ (2544) ศึกษาวิธีการลอกเยื่อหุ้มเมล็ดของเมล็ดขนุน 4 วิธี คือ วิธีแช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส วิธีแช่ด่างร้อน (สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส วิธีแช่ด่างที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 3 5 และ 10 นาที และวิธีการแช่แข็งที่อุณหภูมิ -4 องศาเซลเซียส จากนั้นผลิตแป้งเมล็ดขนุนโดยนำเมล็ดขนุนที่ผ่านการปอกเปลือกแล้วมาหั่นเป็นแผ่นบาง ๆ ให้มีความหนาประมาณ 1-2 มิลลิเมตร แผ่กงบนถาดอะลูมิเนียม นำไปอบด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง นำไปบดหยาบและบดละเอียด แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 80 เมช จะได้เป็นแป้งเมล็ดขนุน พบว่าวิธีแช่แข็งเป็นวิธีปอกเปลือกที่ง่ายที่สุด และได้ผลผลิตสูงสุด คือ 97.19 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักเมล็ดขนุนสด

Tulyathan et al. (2002) เตรียมแป้งเมล็ดขนุนจากเมล็ดขนุนพันธุ์ทองสุดใจ โดยนำเมล็ดขนุน 3 กิโลกรัม มาล้างให้สะอาด ลอกเยื่อสีขาวครีมที่หุ้มชั้นนอกออก แช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ นาน 2 นาที เพื่อลอกเยื่อสีน้ำตาลออก นำส่วนเนื้อเมล็ดมา

หั่นให้เป็นแผ่นบาง นำไปอบในตู้อบแบบถาดที่อุณหภูมิ 50-60 องศาเซลเซียส จนกระทั่งมีความชื้นน้อยกว่า 13 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นจึงบดในเครื่องบดแบบ Pin Mill ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 70 เมช บรรจุแป้งที่ได้ในถุงพลาสติกและเก็บในตู้เย็น (อุณหภูมิ ต่ำกว่า 5 องศาเซลเซียส) พบว่าการผลิตแป้งจากเมล็ดขนุนพันธุ์ทองสุดใจได้ผลผลิต 36.4 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักเมล็ดขนุนสด

องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติของแป้งเมล็ดขนุน

สุนิสา สุทธิวงศ์ (2547) วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งเมล็ดขนุนพรีเจลาทิไนซ์ (Pregelatinized Jackfruit Seed Flour) พบว่ามีปริมาณความชื้น ไขมัน โปรตีน เถ้า เส้นใย คาร์โบไฮเดรต และอะไมโลส เท่ากับ 8.50 0.28 11.60 2.90 3.59 73.13 และ 31.19 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ส่วนค่าพลังงานเท่ากับ 341.44 กิโลแคลอรี ผลการวิเคราะห์อัตราการเกิดเจลาทิไนซ์ของแป้งเมล็ดขนุนพรีเจลาทิไนซ์ พบว่าแป้งเมล็ดขนุนพรีเจลาทิไนซ์มีอัตราการเกิดเจลาทิไนซ์เท่ากับ 81 เปอร์เซ็นต์ ที่อัตราการดูดกลืนแสง 620 นาโนเมตร ผลการวิเคราะห์ค่าสีพบว่าค่าความสว่าง (Lightness, L*) ค่าความเป็นสีแดง (Redness, a*) และ ค่าความเป็นสีเหลือง (Yellowness, b*) ของแป้งเมล็ดขนุนพรีเจลาทิไนซ์มีค่าเท่ากับ 86.8 2.9 และ 15.1 ตามลำดับ

อมรรัตน์ มุขประเสริฐ (2546) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตแป้งจากเมล็ดขนุน พบว่าในขั้นตอนการเตรียมแป้ง การแช่เมล็ดขนุนดิบในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จะช่วยลอกเยื่อสีน้ำตาลออกจากเมล็ดขนุนได้ง่ายขึ้น แต่ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (0.5-2.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) และเวลาในการแช่ (7-60 นาที) จะมีผลต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของแป้งเมล็ดขนุน โดยการแช่เมล็ดขนุนดิบในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 30 นาที จะทำให้ได้แป้งที่มีองค์ประกอบทางเคมีใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุม คือแป้งที่ได้จากเมล็ดขนุนที่ไม่ได้ผ่านการแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ แต่มีสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดเมื่อได้รับความร้อน ได้แก่ ความหนืดสูงสุด ความหนืดสุดท้ายเมื่อทำให้เย็นลงที่ 50 องศาเซลเซียส ค่า Breakdown และ Setback Viscosity สูงกว่าตัวอย่างควบคุมที่ไม่ผ่านการแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ รวมทั้งวิธีในการผลิตแป้งเมล็ดขนุนที่แตกต่างกัน คือ วิธีโม่แห้ง และวิธีโม่เปียก มีผลต่อองค์ประกอบทางเคมี สมบัติทางเคมีและกายภาพของแป้งเมล็ดขนุนแป้งจากเมล็ดขนุนที่ผลิตด้วยวิธีโม่แห้งมีปริมาณโปรตีน ไขมัน เถ้า และค่าความเป็นกรดด่างสูงกว่าวิธีโม่เปียก แต่แป้งเมล็ดขนุนที่ผลิตด้วยวิธีโม่แห้งมีปริมาณอะไมโลสต่ำกว่าแป้งที่ผลิตด้วยวิธีโม่เปียก โดยแป้งเมล็ดขนุนที่ผลิตด้วยวิธีโม่แห้งมีปริมาณโปรตีน ไขมัน และอะไมโลส 11.83 2.19 และ 36.67 94 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ในขณะที่แป้งเมล็ดขนุนที่ผลิตโดยวิธีโม่เปียกมีปริมาณโปรตีน ไขมัน และ

อะไมโลส 9.51 1.94 และ 39.23 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ เมื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพ พบว่าเม็ดแป้งจากเมล็ดขนุนมีขนาดเล็กระหว่าง 3-25 ไมโครเมตร ลักษณะค่อนข้างกลม (Round Shape)

Singh, Kumar, and Singh (1991) ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติบางประการของแป้งเมล็ดขนุน พบว่ามีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงและไขมันต่ำ มีปริมาณโปรตีนปานกลาง (16.3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง) ซึ่งโปรตีนส่วนใหญ่ประกอบด้วยอัลบูมิน (Albumin) และ โกลบูลิน (Globulin) แป้งเมล็ดขนุนมีความสามารถในการอุ้มน้ำและน้ำมันเท่ากับ 141 และ 90 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และความสามารถในการเกิดอิมัลชัน (Emulsion) เท่ากับ 17 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีสมบัติใกล้เคียงกับแป้งถั่วเหลือง

Tulyathan et al. (2002) ศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพ (Physicochemical Properties) ของแป้งเมล็ดขนุน พบว่าองค์ประกอบทางเคมีของแป้งเมล็ดขนุนพันธุ์ทองสุดใจ มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูง (82.3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง) ปริมาณโปรตีนปานกลาง (11.2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง) และมีปริมาณไขมันต่ำ (0.9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง) แสดงดังตารางที่ 2-2 นอกจากนี้แป้งเมล็ดขนุนมีความสามารถในการอุ้มน้ำ 205 เปอร์เซ็นต์ และความสามารถในการอุ้มน้ำมัน 93 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 2-2 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งเมล็ดขนุน (พิทักษ์ ไชยแสง, 2547; Singh et al., 1991; Tulyathan et al., 2002)

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง)		
	พิทักษ์ ไชยแสง (2547)[1]	Singh et al. (1991)[2]	Tulyathan et al. (2002)[3]
โปรตีน	12.6[4]	17.2[5]	11.2[5]
ไขมัน	0.6	2.2	0.9
เถ้า	3.2	3.6	3.9
เส้นใย	0.9	3.0	1.7
คาร์โบไฮเดรต	82.6	74.0	82.3
อะไมโลส	27.3	-	32.1

หมายเหตุ [1] หมายถึง เมล็ดขนุนพันธุ์ทองประเสริฐ

[2] หมายถึง เมล็ดขนุนพันธุ์พื้นเมืองของประเทศอินเดีย

[3] หมายถึง เมล็ดขนุนพันธุ์ทองสุดใจ

[4] หมายถึง Conversion Factor = 6.25

[5] หมายถึง Conversion Factor = 5.70

แนวทางการใช้ประโยชน์จากแป้งเมล็ดขนุนในผลิตภัณฑ์อาหาร

จากการที่แป้งเมล็ดขนุนมีคุณค่าทางโภชนาการสูง จึงมีการศึกษาวิจัยการใช้แป้งเมล็ดขนุนทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ขนมอบต่าง ๆ เช่น คุกกี้ ขนมปัง และเปลือกพาย นอกจากนี้ยังมีการใช้แป้งเมล็ดขนุนในการทำผลิตภัณฑ์ประเภทอื่น ๆ เช่น พาสต้า เป็นต้น

กนกวรรณ สิทธิ์ธนังกูล, ศศิทิพย์ พงษ์รูป และสิโนพร ธนิตานนท์ (2542) ศึกษาการใช้แป้งเมล็ดขนุนทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์คุกกี้ โดยแปรปริมาณแป้งเมล็ดขนุน 0 10 15 20 25 และ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแป้ง ส่วนศิริพร ฉันท์สำราญ (2542) ศึกษาการใช้แป้งเมล็ดขนุนทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์คุกกี้เช่นกัน โดยแปรปริมาณแป้งเมล็ดขนุน 0 20 40 60 80 และ 100 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแป้ง พบว่าสามารถใช้แป้งเมล็ดขนุนทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์คุกกี้ได้ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแป้ง โดยคุกกี้ที่ได้มีคะแนนการยอมรับทางด้านความชอบโดยรวมแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับคุกกี้ที่ทำจากแป้งสาลี (ตัวอย่างควบคุม)

ขนิษฐา ธนานุวงศ์ และประภา ทรงจินดา (2539) ศึกษาการใช้แป้งเมล็ดขนุนทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ขนมปัง โดยแปรปริมาณแป้งเมล็ดขนุน 5 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแป้ง พบว่าสามารถใช้แป้งเมล็ดขนุนทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ขนมปังได้ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยเมื่อปริมาณการทดแทนด้วยแป้งเมล็ดขนุนเพิ่มขึ้นขนมปังจะมีปริมาตรจำเพาะลดลง เนื่องจากแป้งเมล็ดขนุนมีองค์ประกอบของเอนไซม์ที่ย่อยโปรตีน (Proteolytic Enzyme) ที่สามารถย่อยสลายโปรตีนกลูเตน ทำให้โครงสร้างของโดไม่แข็งแรงส่งผลให้ปริมาตรจำเพาะของขนมปังที่ได้ลดลง

รุ่งฤดี สกุลณา (2547) ศึกษาการใช้แป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนทดแทนแป้งสาลีในขนมปังแซนด์วิช โดยการนำขนมปังแซนด์วิชสูตรมาตรฐาน (ใช้แป้งสาลี 100 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแป้ง) มาปรับอัตราส่วนของแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนต่อแป้งสาลี เป็น 4 ระดับ คือ 10:90 20:80 30:70 และ 40:60 พบว่า สูตรที่ใช้อัตราส่วนของแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนต่อแป้งสาลี เป็น 10:90 ได้รับคะแนนการยอมรับจากผู้บริโภคมากที่สุด และเมื่อนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีเปรียบเทียบกับขนมปังแซนด์วิชสูตรมาตรฐาน พบว่า ขนมปังแซนด์วิชสูตรที่ใช้สัดส่วนของแป้งเมล็ดขนุนพรีเจลาทิไนซ์ต่อแป้งสาลี เป็น 10:90 มีปริมาณโปรตีน 15.65 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งสูงกว่าขนมปังแซนด์วิชสูตรมาตรฐานที่มีปริมาณโปรตีน 11.24 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง และมีปริมาณไขมัน 0.71 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งต่ำกว่าปริมาณไขมันของขนมปังแซนด์วิชสูตรมาตรฐาน (1.02 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง)

ศิริพร ผ่องใส (2544) ศึกษาการใช้แป้งเมล็ดขนุนทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์เปลือกพาย โดยแปรปริมาณแป้งเมล็ดขนุน 0 25 50 และ 100 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแป้ง พบว่าสามารถใช้แป้งเมล็ดขนุนทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์เปลือกพายได้ 25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแป้ง ซึ่งเปลือกพายที่ได้มีค่าสี ความกรอบ และการพองตัวใกล้เคียงกับเปลือกพายจากแป้งสาลีมากที่สุด จากนั้นทำการศึกษาต่อโดยแปรปริมาณแป้งเมล็ดขนุน 10 20 และ 25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแป้ง พบว่า สามารถใช้แป้งเมล็ดขนุนทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์เปลือกพายได้ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแป้ง

พิทักษ์ ไชยแสง (2547) ศึกษาการใช้แป้งเมล็ดขนุนทดแทนเซโมลินาในผลิตภัณฑ์พาสต้า โดยแปรปริมาณแป้งเมล็ดขนุน 0 10 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแป้ง พบว่าสามารถใช้แป้งเมล็ดขนุนทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์พาสต้าได้ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแป้ง โดยพาสต้าที่ได้มีคะแนนการยอมรับทางด้านความชอบโดยรวมแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับพาสต้าจากเซโมลินา (ตัวอย่างควบคุม) โดยใช้เวลาในการต้ม 10 นาที 50 วินาที มีผลผลิตที่ได้หลังจากการต้ม (Cooking Yield) เท่ากับ 155.68 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้ม (Cooking Loss) 15.26 เปอร์เซ็นต์ ความต้านทานต่อการดึงขาด

(Tensile Strength) ความแน่นเนื้อ (Firmness) และค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้า (Adhesiveness) มีค่า 0.18 นิวตัน 0.18 นิวตัน และ 0.20 นิวตันวินาที ตามลำดับ

ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว

ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว หมายถึง อาหารที่ใช้รับประทานระหว่างมื้ออาหารหลัก ระหว่างช่วงพักของการทำงาน ช่วงระหว่างกิจกรรมต่าง ๆ หรือรับประทานเมื่อต้องการ ขนมขบเคี้ยวจัดเป็นอาหารให้พลังงานสูงเนื่องจากมีส่วนผสมของคาร์โบไฮเดรตอยู่สูง เป็นผลิตภัณฑ์ที่นิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลาย (Dogna, 2006) ในปัจจุบันผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวมีความหลากหลายมากขึ้นเป็นที่ดึงดูดใจของผู้บริโภค ทั้งในด้านรูปร่าง เช่น ทรงกลม ทรงกระบอก วงแหวน และรูปร่างเฉพาะ เช่น สามเหลี่ยม รูปสัตว์ต่าง ๆ ด้านรส เช่น รสปาปริก้า รสเนยแข็ง รสพิซซ่า รสซาวครีมและหัวหอม รสไก่ และด้านเนื้อสัมผัส เช่น กรอบนุ่ม กรอบแข็ง และมีความพองตัวแตกต่างกัน เป็นต้น ขนมขบเคี้ยวเหล่านี้มาจากวัตถุดิบ และกระบวนการผลิตต่าง ๆ กัน

ขนมขบเคี้ยวโดยทั่วไปมักมีลักษณะคล้ายคลึงกันคือ มีความกรอบในลักษณะกรอบนุ่ม (Crispy) หรือกรอบแข็ง (Crunchy) มีความพองตัว (Puffing or Expansion) และมีความหนาแน่นต่ำ (Low Density) ซึ่งการพองตัวจะมีผลต่อสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ โดยการพองตัวขึ้นกับ 2 ปัจจัย คือ ความดัน และความต้านทาน ความดันเกิดจากการให้พลังงานเข้าไปในอาหาร เพื่อให้น้ำที่แทรกอยู่ในอาหารเกิดการขยายตัว ดันให้เนื้ออาหารเป็นโพรง หรือ รูพรุน ส่งผลให้ความชื้นออกจากเนื้ออาหารได้ ในขณะเดียวกันก็จะเกิดแรงต้านหรือแรงยึดไม่ให้น้ำขยายตัวหรือออกจากเนื้ออาหาร ถ้าใช้พลังงานพอเหมาะจะทำให้ความดันเท่ากับความต้านทาน ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีการพองตัวสม่ำเสมอทั่วทั้งชิ้นอาหาร ทำให้มีความชื้นที่เหลืออยู่เพียงพอที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีความกรอบ และมีโครงสร้างเนื้อสัมผัสที่ดีตามไปด้วย แต่ถ้าความดันน้อยกว่าความต้านทาน ลักษณะเนื้อสัมผัสจะไม่ดี มีรูพรุนไม่สม่ำเสมอ ส่วนที่ไม่เป็นรูพรุนก็จะแห้ง นอกจากนี้อัตราส่วนของอะไมโลส และอะไมโลเพกทิน ยังมีอิทธิพลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ กล่าวคือ อะไมโลเพกทินจะช่วยในการพองตัวของผลิตภัณฑ์ ส่วนอะไมโลสปริมาณมากจะลดการพองตัวหรือทำให้ค่าปริมาตรจำเพาะลดลง (Charles, 1969) วัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิตขนมขบเคี้ยวลักษณะนี้มักเป็นวัตถุดิบที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบอยู่สูง ได้แก่ ธัญชาติ (Cereal) เช่น ข้าวโพด ข้าวเจ้า พืชหัว เช่น มันฝรั่ง เผือก มันเทศ มันสำปะหลัง และแป้งชนิดต่าง ๆ โดยมีส่วนประกอบอื่น ๆ เป็นวัตถุดิบรอง ได้แก่ น้ำมัน น้ำ และสารปรุงแต่งกลิ่นรสต่าง ๆ ได้แก่ น้ำตาล เกลือ และสารให้กลิ่นรส ลักษณะของผลิตภัณฑ์ ที่แตกต่างกันเกิดจากการเปลี่ยนแปลงชนิด หรืออัตราส่วนของ

ส่วนผสม ในสูตร เช่น การใช้ปลายข้าวทดแทนแป้งข้าวโพด อัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวโพด และแป้งข้าวเจ้า ปริมาณน้ำตาลในส่วนผสม เป็นต้น (อภิญญา เจริญกูล, 2541)

ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวสามารถแบ่งตามลำดับการนำออกสู่ความนิยมได้ดังนี้

1. ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวรุ่นที่หนึ่ง (First Generation Snack) ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่จัดอยู่ในประเภทนี้เป็นผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่มีกระบวนการผลิตที่ไม่ยุ่งยาก ได้แก่ ข้าวโพดอบกรอบ (Popcorn) มันฝรั่งแผ่นทอดกรอบ (Potato Chip) เป็นต้น ขนมขบเคี้ยวประเภทถั่วต่าง ๆ เช่น ถั่วลิสงทอด กล้วยทอด ข้าวเกรียบ เป็นต้น (Reilly & Man, 1989)

2. ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวรุ่นที่สอง (Second Generation Snack) ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่จัดอยู่ในประเภทนี้เป็นผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่มีการนำกระบวนการผลิตแบบเอ็กซ์ทรูชั่น (Extrusion Cooking) มาใช้ ขนมขบเคี้ยวที่ได้มีลักษณะสุกพองทันทีที่ออกจากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ (Extruder) เรียกว่า Direct Expanded Snacks ลักษณะโดยทั่วไปของขนมขบเคี้ยวรุ่นที่สอง มักจะมีลักษณะเบา มีความหนาแน่น (Bulk Density) ต่ำ และมักปรุงแต่งกลิ่นรสด้วยเครื่องปรุงรส (Seasoning) ซึ่งประกอบด้วยน้ำมัน เกลือ และสารปรุงแต่งกลิ่นรส (Flavoring) โดยวัตถุดิบที่สามารถนำมาผลิตเป็น Direct Expanded Snack ได้ดีเช่นเดียวกับแป้งข้าวโพดคือ แป้งข้าวเจ้า เพราะให้ลักษณะการสุกพองที่ค่อนข้างดี โดยอาจเลือกใช้แป้งข้าวเจ้าร่วมกับแป้งข้าวโพดในอัตราส่วนต่าง ๆ อย่างไรก็ตาม แป้งข้าวเจ้าอาจไม่มีกลิ่นรสเฉพาะตัวดังเช่นแป้งข้าวโพด แต่แป้งข้าวเจ้าให้กลิ่นรสที่อ่อน จึงสามารถนำมาปรุงแต่งกลิ่นรสได้ตามต้องการ โดยอาจนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปคลุกเคล้ากับสารปรุงรสในภายหลัง หรืออาจเติมสารปรุงแต่งกลิ่นรสในระหว่างกระบวนการแปรรูป (Blendford. 1982; Gate et al., 1992)

3. ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวรุ่นที่สาม (Third Generation Snack) ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทนี้ไม่ได้สุกพองทันทีที่ออกจากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ เรียกว่า Indirect Expanded Snacks จึงแตกต่างจากผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวรุ่นที่สอง ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความกรอบและเนื้อสัมผัสที่แตกต่างกันตามไปด้วย ผลิตภัณฑ์ประเภทนี้มีลักษณะกรอบ มีผิวค่อนข้างเรียบ และมีรูปร่างแตกต่างกัน นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวรุ่นที่สามอีกประเภทหนึ่ง เรียกว่า Fabricated Chip Product (FCP) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำเลียนแบบผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบ (Chip Product) ลักษณะผลิตภัณฑ์จะถูกขึ้นรูปและตัดให้มีลักษณะคล้ายกับชิ้นมันฝรั่งแผ่น มีความหนาประมาณ 0.8-1.1 มิลลิเมตร ผลิตภัณฑ์ที่ออกจากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์มีองค์ประกอบของแป้งที่ยังไม่สุกมากกว่า และยังมีความชื้นสูงต้องนำไปทำให้สุกและลดความชื้นโดยการนำไปทอดหรืออบ ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ เช่น มันฝรั่งแผ่นกรอบขึ้นรูป (Fabricated Potato Chip) และข้าวโพดแผ่นกรอบ (Corn Chip) เป็นต้น (อภิญญา เจริญกูล. 2541)

ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบ

ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบเป็นขนมขบเคี้ยวชนิดหนึ่งที่นิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน สำหรับวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบมีหลายชนิด ได้แก่ มันฝรั่ง มันเทศ กล้วย ทุเรียน ขนุน หัวบีท หรือแป้งที่ผลิตจากวัตถุดิบทางการเกษตรชนิดต่าง ๆ เป็นต้น อีกทั้งยังมีสูตรและกระบวนการผลิตที่แตกต่างกัน (อภิญญา เจริญกูล, 2541) ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

1. ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบที่ทำจากวัตถุดิบสด

ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบที่ทำจากวัตถุดิบสด เป็นการแปรรูปผักและผลไม้อีกวิธีการหนึ่งในฤดูกาลที่มีผลผลิตทางการเกษตรออกมาสู่ตลาดค่อนข้างมาก และผู้ผลิตต้องการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลผลิตเหล่านั้น สำหรับตลาดของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากผักและผลไม้มีความหลากหลายเช่นเดียวกับตลาดของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวโดยทั่วไป แต่ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากผักและผลไม้จะทำให้ภาพลักษณ์ของการเป็นของว่างมีประโยชน์มากกว่า เนื่องจากเป็นการผลิตจากวัตถุดิบที่ไม่ผสมแป้ง ทำให้ผู้บริโภคที่ใส่ใจในสุขภาพให้ความสำคัญในการเลือกซื้อมากขึ้น

ทั้งนี้ผักและผลไม้ที่นำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบมีหลายชนิด เช่น ทุเรียน กล้วย ขนุน มะละกอ มันเทศ เผือก มันฝรั่ง ฟักทอง แครอท หัวบีท และแตงกวา เป็นต้น แต่ที่ได้รับความนิยมและมีการวางจำหน่ายโดยทั่วไป ได้แก่ ทุเรียน กล้วย เผือก มัน และมันฝรั่ง โดยการผลิตผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากวัตถุดิบสดดังกล่าว มีขั้นตอนการผลิตที่ไม่ซับซ้อนมากนัก เช่น การทอด และการอบ เป็นต้น (กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, 2550)

2. ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบขึ้นรูป

ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบขึ้นรูป ได้จากการนำแป้งมาผสมกับส่วนผสมอื่น ๆ เช่น น้ำ สตาร์ชดัดแปร อิมัลซิไฟเออร์ และกัม จนเป็นโด รีดเป็นแผ่น แล้วตัดให้ได้รูปร่างตามที่ต้องการ จากนั้นจึงทำให้สุกโดยการทอด หรืออบ (Fazzolare, Szwerc, & McFeaters, 1997)

สำหรับวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบขึ้นรูปมีดังนี้

(1) แป้ง

แป้งเป็นวัตถุดิบหลักในการทำผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบขึ้นรูป ผลิตจากวัตถุดิบทางการเกษตรชนิดต่าง ๆ เช่น ข้าวเจ้า ข้าวสาลี ข้าวฟ่าง ข้าวโพด มันสำปะหลัง มันฝรั่ง และมันเทศ เป็นต้น โดยนำวัตถุดิบมาบดโม่หรือบดจนละเอียด แป้งจึงประกอบด้วยสารอาหารต่าง ๆ ที่มีอยู่ในวัตถุดิบเดิมทั้งหมด คือ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน ใยอาหาร และแร่ธาตุต่าง ๆ เป็นต้น (จิตธนา แจ่มเมฆ และอรอนงค์ นัยวิกุล, 2539) โดยในสูตรผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบขึ้นรูปของ

Villagran et al. (2004) กำหนดให้มีปริมาณแป้งมันฝรั่งอยู่ในช่วง 25 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแป้ง นอกจากแป้งที่ได้จากวัตถุดิบทางการเกษตรแล้วยังสามารถเพิ่มแป้งดัดแปร (Modified Starch) ในช่วง 0 ถึง 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแป้ง ในสูตรการทำผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบเพื่อช่วยให้ส่วนผสมรวมตัวกันได้ดีขึ้น และช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัส เช่น เพิ่มความกรอบให้กับผลิตภัณฑ์ แป้งดัดแปรที่ใช้ ได้แก่

- แป้งพรีเจลาทิไนซ์ (Pregelatinized Starch)

แป้งพรีเจลาทิไนซ์ หรือแป้งพรีเจล ทางการค้าเรียกว่า อัลฟา สตาร์ช (Alpha Starch) การผลิตแป้งพรีเจลาทิไนซ์สามารถใช้ได้ทั้งแป้งดิบ และแป้งดัดแปรทางเคมีชนิดต่าง ๆ โดยป้อนแป้งในรูปสารแขวนลอยหรือแป้งเปียกลงในเครื่องทำแห้ง ซึ่งในสารแขวนลอยจะมีปริมาณของแข็งได้สูง 42-44 เปอร์เซ็นต์ (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546) นอกจากนี้มีการเติมสารช่วยการเกิดเจลาทิไนซ์ (Gelatinization Aid) เช่น เกลือ หรือ เบส และสารที่ช่วยป้องกันไม่ให้แป้งติดกับลูกกลิ้ง (Surface Active Agent) สำหรับการเติมเกลือ เช่น โซเดียมฟอสเฟต และแมกนีเซียมซัลเฟต ช่วยป้องกันการเกาะเป็นก้อน ทั้งนี้การป้อนแป้งสู่เครื่องทำแห้ง ต้องมีการควบคุมให้แป้งมีความหนาสม่ำเสมอเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

เครื่องทำแห้งที่ใช้ในการผลิตแป้งพรีเจลาทิไนซ์มีหลายชนิด ได้แก่ เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง เครื่องทำแห้งแบบสเปรย์ และเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ ซึ่งเครื่องทำแห้งแต่ละชนิดจะมีความเหมาะสมต่อวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ที่ได้แตกต่างกันออกไป โดยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งจะเป็นวิธีที่เหมาะสมและนิยมมากที่สุด เนื่องจากมีอัตราการผลิตสูง ส่วนการใช้เครื่องมืออัดแรงสูงเช่น เอกซ์ทรูเดอร์ มีอัตราการผลิตต่ำ แต่มีข้อได้เปรียบในเรื่องของความสะอาด และการควบคุมคุณภาพ

เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งมีทั้งแบบเดี่ยว (Single) และแบบคู่ (Double) โดยต้องมีการปรับอุณหภูมิของผิวลูกกลิ้งและอัตราการหมุน ให้สอดคล้องกับปริมาณความชื้นและความสามารถในการเกิดเจลาทิไนซ์ของแป้งแต่ละชนิด สำหรับเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่จะต้องควบคุมระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งให้เท่ากันตลอดแนวความยาวของลูกกลิ้ง และให้สอดคล้องกับอุณหภูมิภายในลูกกลิ้ง อัตราการหมุน และความสามารถในการแลกเปลี่ยนความร้อนของโลหะที่ใช้ทำลูกกลิ้ง

สำหรับการผลิตแป้งพรีเจลาทิไนซ์โดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง ทำได้โดยนำน้ำแป้งดิบที่มีความเข้มข้นประมาณ 40-50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ส่งเข้าเครื่องทำแห้ง ความร้อนจากผิวหน้าลูกกลิ้งที่ได้จากไอน้ำ จะทำให้น้ำแป้งดิบเกิดการเจลาทิไนซ์ขึ้น และขณะที่ลูกกลิ้งหมุนไปจะมีการระเหยน้ำออกไปพร้อมกัน แป้งที่ได้จะมีลักษณะเป็นแผ่นบางฉาบบนผิวหน้าของลูกกลิ้ง และถูกขูดออกโดยใบมีด หลังจากนั้นนำไปอบแห้งและบดให้ละเอียด ทั้งนี้แผ่นแป้งที่ฉาบ

บนผิวหน้าลูกกลิ้งที่บางเกินไปจะทำให้เกิดการสูญเสียผลิตภัณฑ์ และถ้าแผ่นแป้งหนาเกินไป จะทำให้ใบมีดทำงานไม่สะดวก อย่างไรก็ตามแป้งบางชนิดที่มีองค์ประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัว เมื่อนำมาผลิตแป้งพรีเจลาทิไนซ์จะทำให้เกิดกลิ่นหืน (Rancidity) เนื่องมาจากเม็ดแป้งถูกทำลาย สามารถแก้ไขกลิ่นหืนนี้โดยการเติมเกลือออร์โทฟอสเฟต หรือทำการสกัดไขมันด้วยเอทานอลและแอมโมเนียเพื่อปรับปรุงกลิ่นรสของแป้ง

แป้งพรีเจลาทิไนซ์สามารถละลายและกระจายตัวได้ในน้ำเย็นหรือที่อุณหภูมิห้อง และสามารถดูดซับน้ำได้มากกว่าแป้งดิบ นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารที่สามารถละลายและให้ความหนืดได้ทันทีโดยไม่ต้องใช้ความร้อน เช่น ขนมพุดดิ้ง น้ำเกรวี ซอส ไส้พาย ครีมหน้าขนมต่าง ๆ ส่วนผสมของซุปผง ใช้เป็นสารยึดเกาะในอาหารประเภทเนื้อเพื่อช่วยรักษาความชุ่มชื้น และอุ้มน้ำในผลิตภัณฑ์ ใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมเค้กเพื่อช่วยการดูดซับน้ำและเก็บฟองอากาศได้ดีขึ้น ทำให้เค้กมีความชุ่มชื้นและมีปริมาตรเพิ่มขึ้น ใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว และใช้เป็นสารเพิ่มความคงตัวสำหรับส่วนผสมของอาหารแช่แข็ง

- แป้งครอสลิง (Crosslink Starch) เป็นแป้งดัดแปรที่ได้จากปฏิกิริยาระหว่างแป้งกับสารเคมีที่มีหมู่ฟังก์ชันมากกว่า 1 หมู่ ทำให้เกิดพันธะเชื่อมข้าม (Crosslink) ระหว่างโมเลกุลของแป้ง การเติมแป้งครอสลิงในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีโพรงอากาศละเอียดและสม่ำเสมอกว่าการเติมแป้งดิบ

- แป้งที่ได้จากการย่อยสลายโดยใช้เอนไซม์หรือกรด (Hydrolyzed Starch) เป็นแป้งดัดแปรโดยใช้เอนไซม์หรือกรด เพื่อย่อยสลายให้เป็นโมเลกุลเล็ก เช่น มอลโตเดกซ์ทริน (Maltodextrin) มีลักษณะเป็นผงสีขาว ละลายน้ำได้ดี ไม่มีกลิ่น เมื่อนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจะช่วยปรับปรุงความกรอบของผลิตภัณฑ์ (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปียะจอมขวัญ. 2546)

(2) น้ำ

น้ำเป็นส่วนผสมที่มีความสำคัญในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว มีผลต่อการรวมตัวกันของส่วนผสมให้เข้ากันเป็นโดและมีผลต่อความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการเกิดเจลและการพองตัวของแป้ง ความชื้นในผลิตภัณฑ์จะเกิดจากน้ำที่เป็นส่วนผสมและน้ำที่เป็นส่วนประกอบของวัตถุดิบ ปริมาณน้ำที่ใช้มีผลต่อการแตกตัวของแป้ง ซึ่งจะส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ถ้าใช้น้ำมากเกินไปเม็ดแป้งจะแตกตัวมากทำให้เจลที่ได้เหนียว แต่ในทางกลับกันถ้าใช้น้ำปริมาณน้อยเกินไปแป้งจะพองตัวน้อยและไม่สุก มีผลให้ไม่เกิดเจลหรือเกิดเพียงเล็กน้อย โดยแป้งแต่ละชนิดมีความสามารถในการพองตัวและการดูดซับน้ำแตกต่างกัน นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อใส่ส่วนผสมอื่นที่มีความชื้นสูงลงไป ปริมาณน้ำที่ใช้จะต้องลดลง ซึ่งจะลดลงมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของ

ส่วนผสมนั้น นอกจากนี้น้ำในอาหารจะเป็นตัวทำละลายองค์ประกอบต่าง ๆ ของอาหาร (พรรณี วงศ์ไกรศรีทอง, 2530) โดยปริมาณน้ำที่ใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบอยู่ในช่วง 15 ถึง 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของส่วนผสมทั้งหมด (Villagran et al., 2004)

(3) ไขมัน

น้ำมันและไขมันประกอบด้วยกรดไขมันกับกลีเซอรอล ซึ่งจะแตกต่างกันที่ชนิดของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ โดยน้ำมันจะหมายถึง องค์ประกอบที่มีสภาพเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง ส่วนไขมันหมายถึง องค์ประกอบที่มีสภาพเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง ในน้ำมันและไขมัน ประกอบด้วยกรดไขมัน 2 ชนิด คือ กรดไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันไม่อิ่มตัว มีจำนวนคาร์บอนเป็นเลขคู่ระหว่าง 4-26 โดยไตรกลีเซอไรด์ที่มีกรดไขมันอิ่มตัวตั้งแต่คาร์บอน 12 อะตอมหรือมากกว่าจะมีลักษณะที่เป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง แต่ถ้าประกอบด้วยกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวเป็นจำนวนมาก จะหลอมเหลวได้ที่อุณหภูมิต่ำจึงเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2539) ในการทำผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบสามารถใช้ไขมันเป็นส่วนผสมหรืออาจใช้สำหรับทอดก็ได้ ทั้งนี้ Villagran et al. (2004) เตรียมผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบขึ้นรูปโดยใช้น้ำมันในการทอดผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปแล้ว และกำหนดให้มีปริมาณน้ำมันในผลิตภัณฑ์สุดท้าย 20 ถึง 45 เปอร์เซ็นต์

(4) กัม

กัมที่นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว ได้แก่ คาราจีแนน กัวร์กัม แซนแทนกัม กัมอาราบิค กัมทรากาแคนท์ เพื่อช่วยปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว เช่น ช่วยให้เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เนียนละเอียดสม่ำเสมอ มีการจับตัวกันดีขึ้น เพิ่มความหนืด เป็นตัวช่วยในการเคลือบวัตถุปรุงแต่งกลิ่นรสในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทประเภทแผ่นกรอบและถั่วต่าง ๆ ให้สามารถเคลือบติดกับผลิตภัณฑ์ได้ดียิ่งขึ้น เป็นต้น (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2539)

(5) อิมัลซิไฟเออร์

อิมัลซิไฟเออร์เป็นสารที่ช่วยให้อิมัลชันคงตัว เช่น ช่วยให้การกระจายตัวของหยดน้ำมันเล็ก ๆ ในน้ำคงตัว เนื่องจากโมเลกุลของอิมัลซิไฟเออร์มีทั้งส่วนที่มีขั้วและไม่มีขั้วอยู่ในโมเลกุลเดียวกัน อิมัลซิไฟเออร์บางชนิดสามารถเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับแป้งได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับอะไมโลส ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้ จะมีประโยชน์มากในอุตสาหกรรมขนมขบเคี้ยวประเภท Extruded Snack (ศิวพร ศิวเวชช, 2535) ในผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบมีการใช้อิมัลซิไฟเออร์ตั้งแต่ 0.1-0.5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะช่วยในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบในขั้นตอนการรีดโด โดยลดการเกาะติดผลิตภัณฑ์กับผิวลูกกลิ้งที่ใช้รีดผลิตภัณฑ์ให้เป็นแผ่น ชนิดของอิมัลซิไฟเออร์ที่นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบ ได้แก่ เลซิทิน ซึ่งเป็นฟอสโฟลิพิดชนิดหนึ่ง

ส่วนผสมนั้น นอกจากนี้น้ำในอาหารจะเป็นตัวทำละลายองค์ประกอบต่าง ๆ ของอาหาร (พรรณี วงศ์ไกรศรีทอง, 2530) โดยปริมาณน้ำที่ใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบอยู่ในช่วง 15 ถึง 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของส่วนผสมทั้งหมด (Villagran et al., 2004)

(3) ไขมัน

น้ำมันและไขมันประกอบด้วยกรดไขมันกับกลีเซอรอล ซึ่งจะแตกต่างกันที่ชนิดของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ โดยน้ำมันจะหมายถึง องค์ประกอบที่มีสภาพเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง ส่วนไขมันหมายถึง องค์ประกอบที่มีสภาพเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง ในน้ำมันและไขมัน ประกอบด้วยกรดไขมัน 2 ชนิด คือ กรดไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันไม่อิ่มตัว มีจำนวนคาร์บอนเป็นเลขคู่ระหว่าง 4-26 โดยไตรกลีเซอไรด์ที่มีกรดไขมันอิ่มตัวตั้งแต่คาร์บอน 12 อะตอมหรือมากกว่าจะมีลักษณะที่เป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง แต่ถ้าประกอบด้วยกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวเป็นจำนวนมาก จะหลอมเหลวได้ที่อุณหภูมิต่ำจึงเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2539) ในการทำผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบสามารถใช้ไขมันเป็นส่วนผสมหรืออาจใช้สำหรับทอดก็ได้ ทั้งนี้ Villagran et al. (2004) เตรียมผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบขึ้นรูปโดยใช้น้ำมันในการทอดผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปแล้ว และกำหนดให้มีปริมาณน้ำมันในผลิตภัณฑ์สุดท้าย 20 ถึง 45 เปอร์เซ็นต์

(4) กัม

กัมที่นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว ได้แก่ คาราจีแนน กัวร์กัม แซนแทนกัม กัมอาราบิค กัมทรากาแคนท์ เพื่อช่วยปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว เช่น ช่วยให้เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เนียนละเอียดสม่ำเสมอ มีการจับตัวกันดีขึ้น เพิ่มความหนืด เป็นตัวช่วยในการเคลือบวัตถุปรุงแต่งกลิ่นรสในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทประเภทแผ่นกรอบและถั่วต่าง ๆ ให้สามารถเคลือบติดกับผลิตภัณฑ์ได้ดียิ่งขึ้น เป็นต้น (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2539)

(5) อิมัลซิไฟเออร์

อิมัลซิไฟเออร์เป็นสารที่ช่วยให้อิมัลชันคงตัว เช่น ช่วยให้การกระจายตัวของหยดน้ำมันเล็ก ๆ ในน้ำคงตัว เนื่องจากโมเลกุลของอิมัลซิไฟเออร์มีทั้งส่วนที่มีขั้วและไม่มีขั้วอยู่ในโมเลกุลเดียวกัน อิมัลซิไฟเออร์บางชนิดสามารถเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับแป้งได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับอะไมโลส ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้ จะมีประโยชน์มากในอุตสาหกรรมขนมขบเคี้ยวประเภท Extruded Snack (ศิวพร ศิวเวชช, 2535) ในผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบมีการใช้อิมัลซิไฟเออร์ตั้งแต่ 0.1-0.5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะช่วยในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบในขั้นตอนการรีดโด โดยลดการเกาะติดผลิตภัณฑ์กับผิวลูกกลิ้งที่ใช้รีดผลิตภัณฑ์ให้เป็นแผ่น ชนิดของอิมัลซิไฟเออร์ที่นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบ ได้แก่ เลซิทิน ซึ่งเป็นฟอสโฟลิพิดชนิดหนึ่ง

ที่พบตามธรรมชาติในพืชและสัตว์หลายชนิด แต่พบมากที่สุดในถั่วเหลือง เลซิทินเป็นอิมัลซิไฟเออร์ที่มีประสิทธิภาพดี และมีราคาถูก จึงเป็นที่นิยมใช้โดยทั่วไป นอกจากนี้มีการใช้โมโนกลีเซอร์ไรด์ และไดกลีเซอร์ไรด์ ซึ่งเป็นอิมัลซิไฟเออร์อีกชนิดหนึ่งที่ช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากอิมัลซิไฟเออร์ชนิดนี้จะไปเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับ อะไมโลสในแป้ง นอกจากนี้ยังมีการใช้อิมัลซิไฟเออร์ชนิดอื่น ๆ อีก ได้แก่ Diacetyl Tartaric Acid Esters และ Polyglycerol (Villagran et al., 2004)

(6) วัตถุปรุงแต่งกลิ่นรส

วัตถุปรุงแต่งกลิ่นรสที่ใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว มีทั้งวัตถุปรุงแต่งกลิ่นรสจากธรรมชาติและวัตถุปรุงแต่งกลิ่นรสที่ได้จากการสังเคราะห์เพื่อเพิ่มความน่าบริโภคให้กับผลิตภัณฑ์ ได้แก่ เครื่องเทศต่าง ๆ เช่น กระเทียม หอม พริก เป็นต้น วัตถุปรุงแต่งกลิ่นรสที่ให้กลิ่นรสอาหารคาว (Savory Flavor) วัตถุปรุงแต่งกลิ่นรสที่ให้กลิ่นรสอาหารหวาน (Sweet Flavor) และวัตถุปรุงแต่งกลิ่นรสที่ให้รสเค็ม โดยใช้เกลือให้รสเค็มแก่ผลิตภัณฑ์ เช่น ขนมขบเคี้ยวประเภทมันฝรั่งทอด ข้าวโพดคั่ว ถั่วทอดชนิดต่าง ๆ เป็นต้น ทั้งนี้วัตถุปรุงแต่งกลิ่นรสที่ให้กลิ่นรสอาหารคาวเป็นวัตถุปรุงแต่งกลิ่นรสที่นิยมนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว เช่น กลิ่นรสบาร์บีคิว กลิ่นรสเบคอน ลักษณะของกลิ่นรสในกลุ่มนี้อาจเตรียมให้อยู่ในรูปผง หรือเป็นเกล็ด หรือเป็นของเหลว ส่วนใหญ่ที่มีจำหน่ายในท้องตลาดมักอยู่ในรูปที่มีการผสมกับเครื่องเทศชนิดต่าง ๆ หรือกลิ่นรสอื่น ๆ รวมถึงวัตถุเจือปนอาหารบางชนิด เช่น วัตถุกันหืนหรือวัตถุกันเสีย และสารป้องกันการรวมตัวเป็นก้อนเพื่อช่วยยืดอายุการเก็บ สำหรับวิธีการใช้นั้นอาจใช้ผสมลงไปในผลิตภัณฑ์หรือใช้เคลือบที่ผิวของผลิตภัณฑ์หรืออาจผสมเกลือแล้วคลุกเคล้ากับผลิตภัณฑ์ (ศิวาพร ศิวเวชช, 2535)

(7) วิตามินและแร่ธาตุ

การเสริมวิตามินและแร่ธาตุในผลิตภัณฑ์อาหารมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มวิตามินและแร่ธาตุที่สูญเสียไปในระหว่างกระบวนการผลิต หรือเพื่อเพิ่มวิตามินและแร่ธาตุที่ไม่ได้มีอยู่ในผลิตภัณฑ์นั้น ๆ ตามธรรมชาติ

ผลิตภัณฑ์อาหารในปัจจุบันมีการเสริมวิตามินและแร่ธาตุเป็นจำนวนมาก วิตามินเป็นสารอินทรีย์ที่มีความจำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของร่างกาย วิตามินบางส่วนไม่สามารถสังเคราะห์ได้ภายในร่างกาย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องได้รับจากอาหาร หรือ อาหารเสริม แร่ธาตุเป็นสารอาหารที่มีความสำคัญต่อร่างกายเป็นอย่างมากและขาดไม่ได้ เป็นส่วนประกอบของร่างกายและเนื้อเยื่อต่าง ๆ นอกจากนี้แร่ธาตุยังเป็นปัจจัยร่วมที่สำคัญในการเกิดกระบวนการต่าง ๆ ทางสรีระวิทยา ช่วยให้โครงสร้างของกระดูกแข็งแรง นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มความแข็งแรงของหัวใจ สมอง กล้ามเนื้อ และระบบประสาท (ศักดิ์ บวร, 2541)

สำหรับการเติมวิตามินในอาหารนั้น จะต้องมีการเตรียมให้อยู่ในรูปที่เหมาะสม เพื่อให้มีการละลายหรือผสมเข้ากับอาหารได้ดี มีความคงตัวหรือไม่สลายตัวในระหว่างการใช้ ตัวอย่างเช่น วิตามินบีหนึ่ง หรือไทอะมีน (Thiamine) นั้นจะนิยมใช้ไทอะมีน โมโนไนเตรท (Thiamine Mononitate) ในผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง เพราะจะดูดความชื้นน้อยกว่า และใช้ไทอะมีนไฮโดรคลอไรด์ (Thiamine Hydrochloride) ในอาหารที่เป็นของเหลว เป็นต้น ส่วนวิตามินบีสอง หรือไรโบฟลาวิน (Riboflavin) จะใช้ในรูปของไรโบฟลาวิน 5-ฟอสเฟต (Riboflavin 5-Phosphate) เพราะจะละลายได้ดีและมีสีเหลืองเข้มกว่า (Vinas et al., 2003) สำหรับไนอะซิน (Niacin) มักจะใช้ในรูปของกรดนิโคตินิก (Nicotinic Acid) หรือนิโคตินาไมด์ (Nicotinamide) ซึ่งเป็นรูปที่ค่อนข้างคงตัว วิตามินบีหก จะใช้ในรูปของไพริดอกซินไฮโดรคลอไรด์ (Pyridoxine Hydrochloride) ในขณะที่วิตามินบี 12 จะเตรียมในรูปไซยาโนโคบาลามีน (Cyanocobalamine) และโคบาลามีนเข้มข้น (Cobalamine Concentrate) ซึ่งคงตัวได้ดี (ศิวาพร ศิวเวชช, 2535)

(8) Resistant Starch

Resistant Starch หมายถึง สตาร์ชรวมกับผลผลิตจากโมเลกุลสตาร์ชที่ถูกทำลายบางส่วน ซึ่งไม่สามารถดูดซึมผ่านผนังลำไส้เล็ก สามารถเกิดขึ้นตามธรรมชาติได้ในอาหาร เช่น มันฝรั่ง พืชตระกูลถั่ว และกล้วยหอม Resistant Starch ประกอบด้วยโมเลกุลอะไมโลส (Linear Chain Molecules) ที่เกิดการคืนตัว (Retrograded Amylose) แล้วเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ของโมเลกุล โดยปกตินิยมผลิตโดยกระบวนการทำให้แป้งสุก (Gelatinization) ด้วยการให้ความร้อนกับสตาร์ชข้าวโพด ชนิดที่มีปริมาณอะไมโลสสูงประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ หรือที่เรียกว่า Amylomaize Starch ผสมกับน้ำ และทำให้เย็นลงภายใต้ภาวะที่ควบคุมอุณหภูมิ ความเข้มข้น และการเก็บรักษา ผลผลิตที่ได้จะมีปริมาณ Resistant Starch สูงประมาณ 45 เปอร์เซ็นต์

Resistant Starch แบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท ดังนี้

- RS 1 เป็นสตาร์ชที่จับตัวอยู่ภายในผนังเซลล์ของพืชชนิดต่างๆ เช่น ธัญชาติ และเมล็ดถั่ว เป็นสตาร์ชที่ไม่สามารถนำออกมาใช้ประโยชน์ได้ หรือย่อยได้ด้วยเอนไซม์

- RS 2 เป็นสตาร์ชที่มีสมบัติเป็น Resistant Starch โดยธรรมชาติ (Native Resistant Starch) สามารถพบได้ในพืชบางชนิด เช่น มันฝรั่ง กล้วยหอม และสตาร์ชข้าวโพดที่อะไมโลสสูง

- RS 3 เป็นสตาร์ชที่เกิดจากคืนตัว (Retrograded Starch) หลังจากการแปรรูปด้วย ความร้อน โดยโมเลกุลอะไมโลสจะจัดเรียงตัวใหม่ และผนึกตัวกันแน่นเมื่อเย็นตัวลง (Recrystallization) เช่น แป้งมันฝรั่งที่ผ่านการหุงต้ม แล้วทิ้งให้เย็นตัว ขนมปังและผลิตภัณฑ์ อาหารเช้าจากธัญชาติพร้อมบริโภค รวมถึงสตาร์ชที่มีสัดส่วนของอะไมโลสสูง

ACM 641.64 อ226ภ 2553
อาภัสรา แสงนาค
ภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมแป้
งเมล็ดขนุนสำหรับผลิตขนมขบเคี้
32000000943631 1214
สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

- RS 4 เป็นสตาร์ชที่เตรียมได้จากการดัดแปรโครงสร้างโมเลกุลสตาร์ชโดยวิธีการต่าง ๆ เช่น ทางเคมี ได้แก่ การดัดแปรโดยอาศัยปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน (Esterification) ปฏิกิริยาอีเทอร์ริฟิเคชัน (Etherification) ทางกายภาพ ได้แก่ การดัดแปรโดยวิธีความร้อนชื้น (Heat-moisture Treatment) และทางแรงกล ได้แก่ การดัดแปรโดยใช้กระบวนการเอกซ์ทรูชัน (Extrusion) (Zaragoza et al., 2010)

Resistant Starch มีบทบาทสำคัญในการป้องกันโรคหลายชนิด เช่น ช่วยลดอัตราความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งลำไส้ใหญ่ นอกจากนี้ยังพบว่า ผลของการย่อย Resistant Starch ที่เกิดขึ้นอย่างช้า ๆ ทำให้ร่างกายได้รับพลังงานต่ำกว่าปกติ หรือทำหน้าที่คล้ายกับใยอาหาร ซึ่งก่อให้เกิดคุณประโยชน์ต่อสุขภาพมากมาย เช่น ช่วยควบคุมระดับกลูโคส หรือน้ำตาลในเลือดของผู้ป่วยโรคเบาหวาน เนื่องจาก Resistant Starch มีสมบัติเป็น Low Glycemic Index คือ น้ำตาลจะถูกดูดซึมอย่างช้า ๆ เข้ากระแสเลือด และช่วยลดระดับไขมันในเลือด รวมทั้งมีผลต่อการควบคุมน้ำหนักของผู้ป่วยโรคอ้วน (Obesity) และลดอาการท้องผูก เป็นต้น (เนตรนภิส วัฒนสุชาติ, 2548) ซึ่งกลไกการเปลี่ยนแปลงของ Resistant Starch ที่ส่งผลดีต่อสุขภาพดังกล่าว เกิดขึ้นได้เนื่องจากการหมักในลำไส้ใหญ่ โดยเมื่อ Resistant Starch ผ่านเข้าสู่ลำไส้ใหญ่ จะเกิดการหมักด้วยเชื้อจุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่ ที่สำคัญคือ *Bifidobacterium* sp. และ *Lactobacillus* sp. ผลจากการหมักจะส่งผลให้เกิดกรดที่มีสายคาร์บอนสั้น ๆ ได้แก่ กรดอะซีติก (Acetic Acid) กรดโพรพิโอนิก (Propionic Acid) กรดบิวทีริก (Butyric Acid) และมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทน และก๊าซไฮโดรเจน เกิดขึ้นด้วย กรดไขมันที่เกิดขึ้นจะไปลดระดับความเป็นกรดในลำไส้ใหญ่ ซึ่งภาวะความเป็นกรดนั้น มีผลในการป้องกัน และต้านทานสารประกอบที่เกิดขึ้นจากจุลินทรีย์ซึ่งก่อให้เกิดมะเร็ง ด้วยเหตุนี้ Resistant Starch จึงมีผลช่วยลดการเกิดมะเร็งได้

กรดไขมันทั้งสามชนิดที่เกิดขึ้นดังกล่าวข้างต้นนั้น จะมีสัดส่วนแตกต่างกันไปตามชนิดของ Resistant Starch ซึ่งจากผลการศึกษาในหนูทดลองพบว่า เมื่อเลี้ยงด้วยสตาร์ชที่มีอะไมโลสสูง จะได้ กรดอะซีติก : กรดโพรพิโอนิก : กรดบิวทีริก เท่ากับ 54 : 33 : 13 แต่ในกรณีที่เลี้ยงหนูทดลองด้วยสตาร์ชจากมันฝรั่งดิบ จะได้สัดส่วนของกรดทั้งสามชนิดเท่ากับ 81 : 18 : 1 และจากการศึกษาแบบ in vitro พบว่า กรดบิวทีริกมีผลโดยตรงต่อการระงับ หรือป้องกันการเกิดเนื้องอก (Tumor) ส่วนกรดโพรพิโอนิก มีผลต่อกระบวนการเมตาบอลิซึม ของน้ำตาลกลูโคส และไขมัน นอกจากนี้กรดไขมันที่เกิดขึ้นยังถูกดูดซับเข้าสู่ผนังลำไส้ใหญ่ แล้วถูกนำไปสร้างเป็นพลังงานให้กับร่างกายได้อีกด้วย (สายสนม ประดิษฐดวง. 2541) โดยมูลนิธิโภชนาการสหราชอาณาจักร (The British Nutrition Foundation. 2005) ได้เสนอว่า พลังงานที่ได้จากกรดไขมันดังกล่าวโดยเฉลี่ยคือ 2 กิโลแคลอรีต่อกรัมของ Resistant Starch ซึ่งปริมาณพลังงานจาก Resistant Starch จะมีเพียงครึ่งหนึ่ง

ของการบริโภคคาร์โบไฮเดรตโดยทั่วไป ดังนั้นเมื่อนำ Resistant Starch มาใช้เป็นส่วนประกอบของอาหารต่าง ๆ จึงมีผลช่วยลดพลังงานได้ และการบริโภคสตาร์ชจากมันฝรั่ง สตาร์ชจากกล้วย รวมถึงสตาร์ชที่เกิดจากการคืนตัวของข้าวสาลี และข้าวโพด ยังมีผลช่วยให้ขับถ่ายได้ง่าย และช่วยเพิ่มปริมาณอุจจาระ ซึ่งจะส่งผลในการป้องกันอาการท้องผูกได้ดี และช่วยลดสารพิษต่าง ๆ ในร่างกายที่อาจก่อให้เกิดเซลล์มะเร็งได้ และยังช่วยป้องกันโรคริดสีดวงทวารได้เป็นอย่างดี

Resistant Starch ที่ผลิตจำหน่ายในทางการค้าเพื่อใช้เป็นส่วนผสมอาหารเพื่อสุขภาพ มีคุณลักษณะไม่แตกต่างจากแป้งหรือสตาร์ชทั่วไปคือ เป็นผงละเอียด สีขาว ไม่มีรส นำไปใช้ผสมกับส่วนผสมอาหารชนิดอื่นได้ง่าย โดยไม่ทำให้รูปลักษณะของผลิตภัณฑ์อาหารเปลี่ยนแปลง และสามารถบริโภคได้อย่างปลอดภัย เช่น Hi-maize 260 เป็น Resistant Starch ที่ผลิตโดยบริษัท National Starch and Chemical มีปริมาณ Resistant Starch สูงถึง 60 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งขั้นตอนการตรวจสอบจะคล้ายคลึงกับการวัดค่าปริมาณใยอาหารทั้งหมด (Total Dietary Fiber, TDF) ผลิตภัณฑ์อาหารที่ใช้ Resistant Starch เป็นส่วนผสมมีหลายชนิดเช่น ผลิตภัณฑ์อาหารแท่ง (Food Bar) สำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวาน ซึ่งผลิตภัณฑ์อาหารแท่งเหล่านี้จะช่วยควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดให้คงที่ เนื่องจาก Resistant Starch จะถูกย่อยเป็นน้ำตาลได้ช้า จึงมีอัตราการดูดซึมน้ำตาลเข้าสู่ภายในกระแสเลือดต่ำกว่าแป้งปกติ นอกจากนี้ยังมีการใช้ Resistant Starch เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหารอีกหลายประเภทรวมทั้งเครื่องดื่มเพื่อช่วยเพิ่มปริมาณใยอาหาร และลดปริมาณพลังงาน ผลิตภัณฑ์อาหารที่ใช้ Resistant Starch เป็นส่วนผสมจึงเป็นอาหารที่ให้พลังงานต่ำแต่มีปริมาณใยอาหารสูง ซึ่งนิยมใช้กับผลิตภัณฑ์ธัญชาติพร้อมบริโภค ผลิตภัณฑ์ขนมอบ ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว และเครื่องดื่มประเภทโยเกิร์ต รวมทั้งเนยแข็ง และครีม เป็นต้น (สายสนม ประดิษฐดวง, 2541)

Sanz, Salvador and Fiszman (2008) ศึกษาผลของการเติม Resistant Starch type 3 (RS3, Novelose 330, National Starch Food Innovation) ลงในแป้งชุบทอดสำหรับผลิตภัณฑ์ปลาหมึกวง พบว่า การเติม Resistant Starch ในปริมาณ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของส่วนผสมที่เป็นแป้งทั้งหมด ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณใยอาหารทั้งหมดเพิ่มขึ้น 2.6 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ได้เติม Resistant Starch นอกจากนี้พบว่า การเติม Resistant Starch ในปริมาณดังกล่าว ยังช่วยลดการดูดซับน้ำมัน ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่เตรียมได้มีปริมาณไขมันต่ำกว่าตัวอย่างที่ไม่ได้เติม Resistant Starch 1.7 เท่า เนื่องจาก Resistant Starch มีสมบัติการอุ้มน้ำที่ดี จึงช่วยลดการสูญเสียน้ำของผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะก่อให้เกิดการแทนที่ของน้ำมันในระหว่างการทอดได้

Korus et al. (2009) ศึกษาผลของการเติม Resistant Starch จากสตาร์ชข้าวโพดต่อคุณภาพทางกายภาพ และทางเคมี ของขนมปังปราศจากกลูเตน (Gluten Free Bread) โดยแปร

ปริมาณ Resistant Starch 3 ระดับคือ 10 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของแป้งทั้งหมด เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม (ขนมปังปราศจากกลูเตนที่ไม่เติม Resistant Starch) พบว่าเมื่อใช้ปริมาณ Resistant Starch เพิ่มขึ้น ขนมปังจะมีปริมาตรลดลง และมีเนื้อสัมผัสที่แข็งกว่าตัวอย่างควบคุม นอกจากนี้พบว่า ขนมปังที่ได้ มีปริมาณใยอาหารทั้งหมด และใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำเพิ่มขึ้นจากตัวอย่างควบคุม 1.5-1.9 เท่า และ 1.8-2.4 เท่า ตามลำดับ ในขณะที่ปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำ ไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม

Laguna et al. (2010) ศึกษาผลของ Resistant Starch ต่อปริมาณใยอาหารทั้งหมดของบิสกิต โดยใช้ Resistant Starch type 2 (RS2, Hi-maize 260, National Starch Food Innovation) ทดแทนแป้งสาลีซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการเตรียมบิสกิต ที่ระดับ 0 : 100 (ตัวอย่างควบคุม) 20 : 80 40 : 60 และ 60 : 40 พบว่า เมื่อใช้ปริมาณ Resistant Starch เพิ่มขึ้น บิสกิตที่เตรียมได้จะมีปริมาณใยอาหารทั้งหมดเพิ่มขึ้น โดยบิสกิตที่ใช้แป้งสาลี 100 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณใยอาหารทั้งหมด 4.03 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง แต่เมื่อใช้ Resistant Starch ทดแทนแป้งสาลี ที่ระดับ 20 40 และ 60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแป้งพบว่า บิสกิตมีปริมาณใยอาหารทั้งหมดเพิ่มขึ้นเป็น 9.01 11.44 และ 15.11 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

สำหรับกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบขึ้นรูปมีรายละเอียดขั้นตอนที่สำคัญ ดังนี้

1. การเตรียมส่วนผสม (Dough Formulation)

ส่วนผสมที่สำคัญ คือ ส่วนผสมประเภทแป้ง เช่น แป้งมันฝรั่ง แป้งข้าวโพด แป้งข้าวเจ้า เป็นต้น ใช้เป็นส่วนผสมหลักในปริมาณ 50-70 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของส่วนผสมทั้งหมด ผสมกับน้ำเพื่อทำให้เกิดโด โดยปริมาณที่เหมาะสมของน้ำที่จะเติมลงในส่วนผสมอยู่ในช่วง 24-35 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของส่วนผสมทั้งหมด

2. การเตรียมโด (Dough Preparation)

สามารถเตรียมได้หลายวิธี โดยทั่วไปเตรียมได้โดยการผสมส่วนผสมแห้งและน้ำลงในเครื่องผสม (Conventional Mixer) นวดให้เข้ากันจนเป็นโด หรือผสมส่วนผสมที่เป็นของเหลวและส่วนผสมแห้งแยกกันก่อน แล้วจึงนำมาผสมรวมกันอีกทีหนึ่งจนเป็นโด หรือใช้เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ในการผสมและขึ้นรูป ซึ่งโดที่ได้จะสามารถรีดเป็นแผ่นได้ดีหรือไม่นั้นขึ้นกับการยึดเกาะตัวกันของโดและความทนทานของโดต่อแรงเฉือนที่ใช้ในกระบวนการผลิต หากโดสามารถรีดเป็นแผ่นได้โดยไม่มีรอยแตกหรือฉีกขาดแสดงว่าโดนั้นมีการยึดเกาะตัวกันและมีความยืดหยุ่นที่ดี ปัจจัยที่มีผลต่อความแข็งแรงของโดที่รีดเป็นแผ่น เช่น สภาวะในการผสม การรีดโด และปริมาณอะไมโลส (Kerr et al., 2001) นอกจากนี้การเติมสตาร์ชลงในเนื้อมันฝรั่งบด เช่น สตาร์ชข้าวเจ้า (Native Rice

Starch) จะช่วยให้ส่วนผสมรวมตัวกันได้ดีขึ้นสามารถรีดโดเป็นแผ่นได้ง่าย (Beverly, Villagran, & Williamson, 2001)

3. การรีดให้เป็นแผ่น (Sheeting)

นำโดที่ได้มารีดให้เป็นแผ่นบาง โดยรีดผ่านเครื่องรีดแบบลูกกลิ้งทรงกระบอกสองลูกที่หมุนสวนทางกัน เพื่อให้ได้แผ่นโดที่บางและเรียบ อาจมีการให้ความร้อนกับลูกกลิ้งที่รีดให้อยู่ในช่วงประมาณ 32-57 องศาเซลเซียส เพื่อให้ได้ผลดียิ่งขึ้นควรให้ลูกกลิ้งทั้งสองลูกมีอุณหภูมิต่างกัน โดยให้ลูกกลิ้งที่อยู่ด้านหน้ามีอุณหภูมิต่ำกว่าลูกกลิ้งด้านหลัง ทั้งนี้ควรรีดโดให้มีความหนาอยู่ในช่วงประมาณ 1-2 มิลลิเมตร สำหรับการรีดแผ่นโดเพื่อเตรียมผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบแบบแผ่นหยัก ควรรีดให้โดมีความหนา 1.9 มิลลิเมตร จากนั้นนำแผ่นโดที่รีดได้มาขึ้นรูปเป็นชิ้น โดยใช้พิมพ์กดหรือใช้อุปกรณ์ในการตัดที่เหมาะสม ซึ่งจะทำให้ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบที่ได้มีรูปร่างที่แตกต่างกัน เช่น รูปวงกลม วงรี สี่เหลี่ยมจัตุรัส เป็นต้น (Addesso et al., 1995)

4. การทำให้ผลิตภัณฑ์สุก (Cooking)

<u>การทอด (Frying)</u>

การทอดเป็นกระบวนการที่มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหาร และวัตถุประสงค์รองคือ การถนอมอาหารโดยการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ เอนไซม์ และลดค่าวอเตอร์แอคทิวิตีที่ผิวหน้าของอาหารหรือตลอดชิ้นอาหาร (Duran et al.. 2007) ในกรณีที่เป็นการทอดชิ้นอาหารที่มีความหนาไม่มากนัก ความชื้นของอาหารภายหลังการทอด จะเป็นตัวกำหนดอายุของผลิตภัณฑ์อาหาร สำหรับอาหารกึ่งสำเร็จรูปโดยการอัดผ่านเกลียวจะมีอายุการเก็บรักษานานถึง 12 เดือน ที่อุณหภูมิห้อง และรักษาคุณภาพได้โดยการใช้บรรจุภัณฑ์และภาวะการเก็บรักษาที่เหมาะสม

เมื่อวางอาหารลงในน้ำมันร้อน อุณหภูมิที่ผิวหน้าของอาหารจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและน้ำเกิดการระเหยกลายเป็นไอ ผิวหน้าของอาหารจึงเริ่มแห้ง อุณหภูมิที่ผิวอาหารจะเพิ่มขึ้นจนเท่ากับอุณหภูมิของน้ำมันและอุณหภูมิภายในอาหารจะเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของน้ำมันและอาหาร และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนที่ผิวจะเป็นตัวควบคุมการถ่ายโอนความร้อน ส่วนค่าการนำความร้อนของอาหารเป็นตัวควบคุมอัตราการส่งผ่านความร้อนเข้าไปในอาหาร

เปลือกนอกของอาหารทอดมีลักษณะเป็นรูพรุนซึ่งประกอบด้วยท่อคาปิลลารีขนาดต่าง ๆ น้ำและไอน้ำจะเคลื่อนที่ออกจากคาปิลลารีที่มีขนาดใหญ่ก่อนและถูกแทนที่ด้วยน้ำมันในระหว่างการทอด ความชื้นจะเคลื่อนที่ผ่านผิวอาหารและฟิล์มบาง ๆ ของน้ำมัน ความหนืด และความเร็วของการเคลื่อนที่ของน้ำมันเป็นตัวกำหนดความหนาของฟิล์มซึ่งมีผลต่ออัตราการถ่ายโอนมวลและความร้อน ความแตกต่างของความดันไอน้ำระหว่างความชื้นภายในอาหารและในน้ำมัน

จะเป็นตัวขับเคลื่อนความชื้นคล้ายกับในกรณีการทำแห้งด้วยลมร้อน ส่วนระยะเวลาที่ใช้ในการทอดขึ้นอยู่กับชนิดของอาหาร อุณหภูมิของน้ำมัน วิธีทอด (แบบน้ำมันตื้น หรือน้ำมันท่วม) และความหนาของชิ้นอาหาร (Rani & Chauhan, 1995)

การคำนึงถึงปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์และความต้องการของผลิตภัณฑ์เป็นตัวกำหนดอุณหภูมิในการทอด การทอดที่อุณหภูมิสูงจะช่วยลดระยะเวลาและเพิ่มอัตราการผลิต อย่างไรก็ตาม การใช้อุณหภูมิสูงจะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความหนืด สีและกลิ่นของน้ำมัน ทำให้ต้องเปลี่ยนน้ำมันบ่อยขึ้น จึงเป็นค่าใช้จ่ายสำหรับน้ำมัน การสูญเสียทางเศรษฐศาสตร์ในข้อที่สองเกิดจากการเดือดของอาหารอย่างรุนแรงที่อุณหภูมิสูงและการสูญเสียน้ำมันที่ติดขึ้นมากับอาหาร นอกจากนี้การใช้อุณหภูมิสูงทำให้น้ำมันเกิดการเผาไหม้กลายเป็นอะโครเลน (Acrolein) ซึ่งเป็นควันสีน้ำเงินบนน้ำมันและทำให้เกิดมลภาวะทางอากาศได้ (Pedreschi et al., 2005) อย่างไรก็ตามนอกจากการทำให้ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบสุกโดยการทอดแล้ว ยังสามารถทำให้สุกโดยการอบ (Baking)

<u>การอบ (Baking)</u>

การอบ นิยมใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารที่ทำจากแป้งและผลไม้ โดยการอบผลิตภัณฑ์อาหารในเตาอบ ความร้อนจะแผ่ออกจากส่วนที่ให้ความร้อนของเตาอบ ทำให้อากาศร้อนช่วยพาความร้อนไปยังอาหารและมีการหมุนเวียนของอากาศร้อนเกิดขึ้นภายในเตาอบ เมื่อถาดวางอาหารได้รับความร้อนก็จะนำความร้อนไปยังอาหารด้วย หากอาหารมีความสามารถในการนำความร้อนต่ำจะทำให้มีการถ่ายโอนความร้อนในอัตราที่ต่ำตามไปด้วย ส่งผลให้ต้องใช้ระยะเวลาอบนานขึ้น ทั้งนี้ขนาดของชิ้นอาหารจะเป็นตัวกำหนดระยะทางในนำการความร้อนไปยังจุดกึ่งกลางของชิ้นอาหาร

เมื่อนำอาหารเข้าไปในเตาอบในช่วงแรกความชื้นที่ผิวนอกของอาหารจะระเหยกลายเป็นไอน้ำและถูกพาไปด้วยอากาศร้อน หากอากาศในเตาอบมีความชื้นต่ำจะทำให้มีความแตกต่างของความดันไอน้ำมาก ทำให้มีการเคลื่อนที่ของน้ำจากภายในชิ้นอาหารออกมาได้เร็วขึ้น ดังนั้นการสูญเสียน้ำจึงขึ้นกับธรรมชาติของอาหารและอัตราการได้รับความร้อน อัตราการสูญเสียน้ำออกจากผิวนอกจะเป็นตัวเร่งอัตราการเคลื่อนที่ของน้ำจากภายในชิ้นอาหาร เมื่อผิวนอกของอาหารแห้งสนิท อุณหภูมิที่ผิวนอกจะเพิ่มสูงขึ้นเท่ากับอุณหภูมิของอากาศร้อนภายในเตาอบ คือ ประมาณ 110-240 องศาเซลเซียส ทำให้ผิวนอกแห้งและเป็นเปลือกแข็ง (วิไล รังสาดทอง, 2546)

การอบมีผลต่ออาหารในด้านต่าง ๆ ดังนี้ ผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัส การอบทำให้อาหารมีลักษณะเนื้อสัมผัสเปลี่ยนไป เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี เช่น ความชื้น ไขมัน โปรตีน และคาร์โบไฮเดรต ซึ่งจะผันแปรตามอุณหภูมิและระยะเวลาในการอบ สำหรับ

อาหารบางชนิดการอบจะทำให้ความชื้นลดลงทั่วทั้งชิ้นอาหาร เช่น บิสกิต จะแห้งแข็งทั่วกันทั้งหมดและมีความชื้นลดลง หากเป็นอาหารประเภทธัญพืชซึ่งมีองค์ประกอบหลักเป็นสตาร์ช จะเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสตาร์ช เช่น เกิดเจลาทิไนซ์และดีไฮเดรชัน ทำให้มีลักษณะเนื้อสัมผัสแห้งแข็ง และการให้ความร้อนอย่างรวดเร็วจะทำให้ผิวนอกของผลิตภัณฑ์แห้งและแข็งเร็ว (McDonald et al., 1996) นอกจากนี้การอบยังทำให้เกิดกลิ่นซึ่งมีความสำคัญต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมอบ กล่าวคือเมื่อผลิตภัณฑ์ได้รับความร้อนสูง จะเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard Reaction) ซึ่งเกิดจากการรวมตัวกันของกรดอะมิโนกับน้ำตาลรีดิวซ์ที่มีอยู่ในอาหารชนิดนั้น ๆ ทำให้ได้สารสีน้ำตาลเข้ม และจะมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันของกรดอะมิโนด้วย ซึ่งเรียกว่า Strecker Degradation โดย Strecker Aldehydes ที่เกิดขึ้นมีจำนวนคาร์บอนน้อยกว่ากรดอะมิโน 1 อะตอมและสารที่เกิดขึ้นนี้จะมีบทบาทต่อกลิ่นและรสชาติของผลิตภัณฑ์ สำหรับผลต่อคุณค่าทางโภชนาการ การสูญเสียสารอาหารส่วนใหญ่ระหว่างการอบ จะเกิดที่ผิวนอกของอาหาร อาหารอบบางชนิด เช่น ขนมปังซึ่งมีการเติมวิตามินซีลงในโด วิตามินซีจะถูกทำลายทั้งหมดระหว่างการอบ ส่วนวิตามินอื่น ๆ มีการสูญเสียไม่มากนัก ในอาหารบางชนิดนอกจากจะสูญเสียวิตามินระหว่างการอบแล้วยังสูญเสียวิตามินเพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษาด้วย เช่น วิตามินบีหนึ่งที่ไม่ทนความร้อนในอาหารประเภทธัญพืช การสูญเสียวิตามินบีหนึ่งจะผันแปรตามอุณหภูมิที่ใช้อบ และค่าความเป็นกรดด่างของอาหาร (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2543) ทั้งนี้การอบที่อุณหภูมิสูงจะมีผลต่อการสูญเสียวิตามินบีสองหรือ ไรโบฟลาวินที่เสริมลงในผลิตภัณฑ์ (Ranhotra, Lee, & Gelroth , 1980)

จากการศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการอบผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน โดย กรทิพย์ ฐิติธรรมจริยา (2549) ซึ่งได้ศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นสุดท้าย 4 เปอร์เซ็นต์ โดยอบผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 140 160 และ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 11.35 นาที 7.35 นาที และ 6.08 นาที ตามลำดับ พบว่า ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนที่อบที่อุณหภูมิ 140 160 และ 180 องศาเซลเซียส มีค่าความแตกเปราะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยค่าความแตกเปราะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามลำดับ เนื่องจากสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบที่ทำให้สุกโดยการอบจะขึ้นกับภาวะที่ใช้ในการอบ การเกิดโพรงอากาศ (Air Cells) และรอยแตก (Cracks)ในโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการอบ ซึ่งการอบที่อุณหภูมิสูงจะทำให้ความชื้นระเหยออกจากผลิตภัณฑ์อย่างรวดเร็ว ทำให้โครงสร้างของผลิตภัณฑ์เกิดโพรงอากาศและรอยแตกขนาดใหญ่ในระหว่างการอบ (Kayacier & Singh, 2004) จึงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความแตกเปราะเพิ่มขึ้น ส่วนค่าสีของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนที่อบที่อุณหภูมิ 140 160

และ 180 องศาเซลเซียส พบว่าผลิตภัณฑ์มีค่าความสว่าง (L*) และค่าความเป็นสีแดง (a*) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยค่าความสว่างมีแนวโน้มลดลง และค่าความเป็นสีแดงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่ออบผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิสูงขึ้น ส่วนค่าความเป็นสีเหลือง (b*) พบว่าผลิตภัณฑ์ทุกตัวอย่างมีค่าความเป็นสีเหลืองไม่แตกต่างกัน ($p\geq0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 24-25

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (2542) แสดงสูตร และวิธีการทำแผ่นกรอบจากแป้งทุเรียน ซึ่งมีส่วนประกอบดังนี้ แป้งทุเรียน 50 กรัม แป้งเปียกที่เตรียมจากแป้งมันสำปะหลัง 20 กรัม ไข่ขาว 5 กรัม เนยขาวเหลว 10 กรัม น้ำปูนใส 3 กรัม เกลือป่น 1 กรัม แป้งข้าวโพด 10 กรัม และแป้งข้าวเจ้า 5 กรัม ทำผลิตภัณฑ์โดยนำแป้งเปียก ผสมกับแป้งทุเรียน แป้งข้าวโพด แป้งข้าวเจ้า และเกลือ ซึ่งผ่านการร่อนให้เข้ากัน 2 ครั้ง นวดให้เข้ากัน เติมไข่ขาว นวดให้เข้ากัน เติมน้ำปูนใส จากนั้นผสมเนยขาวหรือน้ำมันพืช นวดให้เข้ากันดี นำไปรีดให้เป็นแผ่นบาง ด้วยเครื่องรีดบะหมี่ ตั้งระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 0.6 มิลลิเมตร ใช้พิมพ์กดให้เป็นแผ่นกลมมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 นิ้ว แล้วนำมาอบที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส

Jamradloedluk et al. (2007) ศึกษากระบวนการผลิตทุเรียนแผ่นกรอบไขมันต่ำ (Low-fat Durian Chip) โดยเปรียบเทียบการทำแห้งแบบใช้ลมร้อน (Hot Air Drying) กับแบบที่ใช้ไอน้ำอิ่มตัวยวดยิ่ง (Superheated Steam Drying) ใช้อุณหภูมิในการทำแห้ง 130-150 องศาเซลเซียส ด้วยความเร็วในการทำแห้งเท่ากับ 2 เมตรต่อวินาที เพื่อศึกษาอัตราการทำแห้ง คุณภาพด้านเนื้อสัมผัส และโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ พบว่าการทำแห้งแบบใช้ไอน้ำอิ่มตัวยวดยิ่งใช้ระยะเวลานานกว่าแบบใช้ลมร้อนในการทำให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณความชื้นสุดท้ายเท่ากัน ทั้งนี้การทำแห้งแบบใช้ไอน้ำอิ่มตัวยวดยิ่งให้ค่าสีของผลิตภัณฑ์ที่ดีกว่า แต่โครงสร้างของผลิตภัณฑ์มีความสม่ำเสมอน้อยกว่า และมีรูพรุนภายในโครงสร้างขนาดใหญ่กว่าผลิตภัณฑ์ที่ทำแห้งแบบใช้ลมร้อน ส่วนสมบัติด้านเนื้อสัมผัสไม่แตกต่างกัน

Kayacier and Singh (2003) ประเมินคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสของ Tortilla Chip ที่ทำให้สุกโดยการอบ เตรียมได้จาก Nixtamalized Masa Flour ทางการค้า โดยผสม Corn Masa Flour กับน้ำในอัตราส่วน 1:1 ในเครื่องผสม (Kitchen Mixer) ใช้ความเร็วสูง นาน 120 วินาที เพื่อให้เกิดโด ห่อโดด้วยแผ่นพลาสติก พักไว้ 30 นาที เพื่อให้เกิดการดูดซึมน้ำที่เหมาะสม จากนั้นนำโดมารีดโดยใช้เครื่อง Rando-STE 64C Lab Scale Sheeter ให้มีความหนาสุดท้ายเท่ากับ 1.5 มิลลิเมตร นำไปอบในตู้อบแบบ Electrical Reel Oven ที่อุณหภูมิต่าง ๆ คือ 232 260 288 และ 315 องศาเซลเซียส แล้วรอให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้อง วัดค่าแรงที่ทำให้ตัวอย่างแตกหัก (Fracture Force) โดยใช้เครื่อง Texture Analyzer พบว่าตัวอย่างที่อบที่อุณหภูมิ 260 288 และ 315 องศาเซลเซียส มีค่าแรงที่ทำให้ตัวอย่างแตกหักเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการอบ และจะมีค่าสูงสุด ณ เวลาหนึ่ง

จากนั้นค่าแรงที่ทำให้ตัวอย่างแตกหักจะลดลง ส่วนการอบที่ 232 องศาเซลเซียสจะมีค่าแรงที่ทำให้ตัวอย่างแตกหักสูงที่สุดเมื่อถึงระยะเวลาที่ใช้ในการอบที่นานที่สุด นั่นคือสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของตัวอย่างจะเปลี่ยนไปตามระยะเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการอบ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงสมบัติด้านเนื้อสัมผัส เป็นผลมาจากการเกิดช่องว่างอากาศ (Air Cell) และรอยแตกในโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นการศึกษาภาวะในการอบที่เหมาะสมเพื่อให้ได้สมบัติด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ตามต้องการ ต้องพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ระหว่างการอบด้วย

Moriki, Tanaka, and Moriya (2000) ได้พัฒนาการทำผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบขึ้นรูปที่มีไขมันต่ำ โดยทำให้ผลิตภัณฑ์สุกโดยการอบในเตาอบ วิธีการผลิตเริ่มจากการเตรียมโดจากวัตถุดิบซึ่งประกอบด้วยส่วนผสมที่เป็นสตาร์ชเจลาทิไนซ์ (Gelatinized Starch) อย่างน้อย 50 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของส่วนผสมทั้งหมด จากนั้นขึ้นรูปโดให้เป็นแผ่น โดยอาจขึ้นรูปแผ่นโดให้เป็นร่องที่ด้านหนึ่งจนถึงขอบของแผ่นโด วางแผ่นโดที่ขึ้นรูปแล้วบนแผ่นโลหะหรือแผ่นตะแกรงโดยให้ด้านที่เป็นร่องหันลงด้านล่างแล้วนำไปอบในเตาอบ ตัวอย่างการผลิต Sweet Corn Chips ทำได้โดยนำส่วนผสมที่เป็นแป้ง ได้แก่ ผงข้าวโพด (Sweet Corn Powder) 70 เปอร์เซ็นต์ สตาร์ชจากมันฝรั่ง (Potato Starch) 25 เปอร์เซ็นต์ แวกซ์ซีคอร์นสตาร์ช (Waxy Corn Starch) 5 เปอร์เซ็นต์ และเติมชอร์เทนิ่ง 5 เปอร์เซ็นต์ เกลือ 0.5 เปอร์เซ็นต์ และน้ำ 90 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของส่วนผสมที่เป็นแป้งทั้งหมด ผสมในเครื่องผสมที่ความเร็ว 1000 รอบต่อนาที นาน 3 นาที เพื่อให้เกิดโด นำโดที่ได้มาขึ้นรูปเป็นแผ่นให้มีความหนา 1.5 มิลลิเมตร โดยใช้เครื่องรีดแบบ Three-Roll Sheeter จากนั้นแผ่นโดจะผ่านลูกกลิ้งแบบเรียบที่อยู่ด้านล่างซึ่งประกอบกับลูกกลิ้งแบบร่องที่อยู่ด้านบน โดยร่องของลูกกลิ้งลึก 0.4 มิลลิเมตร กว้าง 2 มิลลิเมตร ปรับระยะระหว่างลูกกลิ้งเป็น 0.3 มิลลิเมตร เมื่อแผ่นโดผ่านลูกกลิ้งออกมาแล้ว จะถูกพิมพ์ตัดออกมาเป็นรูปวงกลม หลังจากขึ้นรูป แผ่นโดจะมีความหนาประมาณ 0.9-1.1 มิลลิเมตร นำไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส นาน 6 นาที

Volpe et al. (1999) รายงานว่าอุณหภูมิและระยะเวลาในการอบผลิตภัณฑ์ขนมอบแต่ละชนิดนั้นจะแตกต่างกันขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ เช่น สูตรของโดหรือแบตเตอร์ ชนิดของตู้อบ เป็นต้น โดยทั่วไปเวลาในการอบจะอยู่ในช่วงประมาณ 3-8 นาที ตัวอย่างเช่น เวลาในการอบของแครกเกอร์ รวมถึงผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบอาจอยู่ในช่วงประมาณ 2.5-5 นาที ส่วนอุณหภูมิที่ใช้ในการอบจะอยู่ในช่วงประมาณ 121-343 องศาเซลเซียส ซึ่งปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ และผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบขึ้นรูป (Fabricated Chips) โดยทั่วไปจะน้อยกว่า 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เช่น อาจอยู่ในช่วง 0.25-4 เปอร์เซ็นต์

การประเมินคุณภาพผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบ

1. การวัดสี

สีของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบมีความสำคัญต่อสมบัติทางด้านประสาทสัมผัส บ่งบอกถึงลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ โดยทั่วไปนิยมวัดสีของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบในระบบ CIE LAB (Villagran et al., 2004) รายงานผลเป็นค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดงและสีเขียว (a*) ค่าความเป็นสีเหลืองและสีน้ำเงิน (b*) โดยค่า L* มีขอบเขตตั้งแต่ 0.0 ซึ่งแสดงถึงสีดำจนถึง 100.0 ซึ่งแสดงถึงสีขาว ค่า -a* แสดงถึงสีเขียว +a* แสดงถึงสีแดง ค่า -b* แสดงถึงสีน้ำเงิน และ +b* แสดงถึงสีเหลือง (Pedreschi et al., 2007)

2. การวัดเนื้อสัมผัส

เนื้อสัมผัสเป็นลักษณะสำคัญที่จะบ่งบอกถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบ ลักษณะเนื้อสัมผัสประกอบด้วยการรับรู้ทางกายภาพต่าง ๆ อันเป็นผลมาจากโครงสร้างขององค์ประกอบของอาหาร สามารถรับรู้ได้ด้วยการสัมผัส การวัดเนื้อสัมผัสโดยทั่วไปนิยมวัดโดยใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัสอาหาร (Texture Analyzer) ซึ่งเป็นวิธีการเลียนแบบการเคี้ยวของมนุษย์ ทั้งนี้ค่าที่วัดเพื่อบ่งบอกลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทแผ่นกรอบได้แก่ ค่าแรงที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เริ่มแตกหัก หรือ ค่าความแตกเปราะ (Fracturability) โดยใช้หัววัดทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1/ 4 นิ้ว (1/ 4" Ball Probe หรือ P/ 0.25S) (Garayo & Moreira, 2002)

3. การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

การประเมินคุณภาพของอาหารโดยใช้ประสาทสัมผัส (Sensory Evaluation) มีความสำคัญมากเนื่องจากเป็นเครื่องวัดคุณภาพที่แสดงออกโดยทางอ้อมได้ชัดเจน เช่น รสชาติ กลิ่น สี และลักษณะเนื้อสัมผัส ในการทดสอบอาจทำการทดสอบโดยใช้ผู้ทดสอบจำนวนมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการประเมินคุณภาพ (เพ็ญขวัญ ชมปรีดา, 2536) อย่างไรก็ตาม การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสอาจใช้ควบคู่ไปกับการวัดค่าโดยใช้เครื่องมือเพื่อเป็นการตรวจสอบผลการประเมินอีกครั้งหนึ่ง ดังนั้นความสัมพันธ์ของการวัดค่าทั้งสองจึงมีความสำคัญในการประเมินคุณภาพ (ไพโรจน์ วิริยจารี, 2539) วิธีการประเมินคุณภาพคุณภาพทางประสาทสัมผัสสามารถทำได้หลายวิธีเช่น การทดสอบการยอมรับ (Acceptance Test) ด้วยวิธีทดสอบฮีโดนิก (Hedonic Test)

ฮีโดนิก (Hedonic) หมายถึง ความพอใจ (Pleasant) สเกลแบบฮีโดนิก มีสเกลทั้งแบบตัวเลข (Numerical Hedonic Scale) และแบบตัวหนังสือ (Verbal Hedonic Scale) ซึ่งมีหลายระดับ เช่น 3-จุด (Three-Point Hedonic) 5-จุด (Five-Point Hedonic) 7-จุด (Seven-Point Hedonic) และที่นิยมใช้คือ 9-จุด (Nine- Point Hedonic) ดังรายละเอียดในตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2-3 สเกลฮีโดนิกที่ใช้ทดสอบการยอมรับของวิธีทดสอบฮีโดนิก (ปราณี อ่านเปรื่อง, 2547)

	สเกลตัวเลข	สเกลตัวหนังสือ
9-จุด	1	ไม่ชอบมากที่สุด (Dislike Extremely)
	2	ไม่ชอบมาก (Dislike Very Much)
	3	ไม่ชอบปานกลาง (Dislike Moderately)
	4	ไม่ชอบเล็กน้อย (Dislike Slightly)
	5	เฉยๆ (Neighter Like nor Dislike)
	6	ชอบเล็กน้อย (Like Slightly)
	7	ชอบปานกลาง (Like Moderately)
	8	ชอบมาก (Like Very Much)
	9	ชอบมากที่สุด (Like Extremely)

บทที่ 3
เนื้อหาการวิจัย

วัตถุดิบ

1. เมล็ดขนุนจากผลขนุนสุกพันธุ์ทองประเสริฐ อายุการเก็บเกี่ยว 120-135 วัน ซื้อจากตลาดหนองมน จังหวัดชลบุรี ในช่วงเดือนกันยายนถึงพฤศจิกายน

2. แป้งข้าวเจ้า ตราใบหยก ผลิตและจัดจำหน่ายโดยบริษัท บางกอกอินเตอร์ฟูด จำกัด กรุงเทพมหานคร

3. แป้งข้าวโพด ตราคนอร์ ผลิตและจัดจำหน่ายโดยบริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทยเทรดดิ้ง จำกัด กรุงเทพมหานคร

4. เนยขาว ตราใบไม้ทอง ผลิตและจัดจำหน่ายโดยบริษัท ล่ำสูง จำกัด กรุงเทพมหานคร

5. เกลือ ตราปรุงทิพย์ ผลิตและจัดจำหน่ายโดยบริษัท อุตสาหกรรมเกลือบริสุทธิ์ จำกัด จังหวัดนครราชสีมา

6. มอลโตเดกซ์ทริน (Maltodextrin) (DE 10-12) ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท Winner Group Enterprise กรุงเทพมหานคร

7. โมโน-ไดกลีเซอร์ไรด์ (Mono-diglyceride) ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท Caltech Corporation จังหวัดสมุทรปราการ

8. Resistant Starch (Hi-maize 260) ปริมาณใยอาหารทั้งหมด 60 เปอร์เซ็นต์ ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท National Starch and Chemical จังหวัดสมุทรปราการ

9. ขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบทางการค้า A มีส่วนประกอบคือ เกล็ดมันฝรั่ง 46.5 เปอร์เซ็นต์ แป้งสาลี 7.7 เปอร์เซ็นต์ แป้งข้าวโพด 5.6 เปอร์เซ็นต์ แป้งข้าวเจ้า 2.5 เปอร์เซ็นต์ น้ำมันพืช 27.4 เปอร์เซ็นต์ เครื่องปรุงรส 2.0 เปอร์เซ็นต์ และส่วนประกอบอื่น ๆ เช่น มอลโตเดกซ์ทริน เดกซ์โทรส โมโน-ไดกลีเซอร์ไรด์ 8.3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของส่วนประกอบทั้งหมด

10. ขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบทางการค้า B มีส่วนประกอบคือ เกล็ดมันฝรั่ง 48.0 เปอร์เซ็นต์ แป้งสาลี 6.0 เปอร์เซ็นต์ แป้งมันสำปะหลัง 6.0 เปอร์เซ็นต์ สตาร์ชดัดแปร 3.0 เปอร์เซ็นต์ น้ำมันพืช 32.0 เปอร์เซ็นต์ และเครื่องปรุงรส 5.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของส่วนประกอบทั้งหมด

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง Olympus รุ่น BX50 ประเทศญี่ปุ่น
2. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope) LEO รุ่น 1450 VP สหราชอาณาจักร
3. ครูซิเบิล (Crucible)
4. คิวเวตต์ ชนิดควอทซ์ ขนาดช่องแสงผ่าน 10 มิลลิเมตร
5. เครื่องแก้ว เช่น กระบอกตวง บีกเกอร์ ขวดปรับปริมาตร เป็นต้น
6. เครื่องชั่งไฟฟ้า 2 ตำแหน่ง Sartorius รุ่น BA 4100S ประเทศเยอรมนี
7. เครื่องชั่งไฟฟ้า 4 ตำแหน่ง Sartorius รุ่น AC 211S ประเทศเยอรมนี
8. เครื่องทำแห้งแบบถาด (Tray Dryer)
9. เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ (Double Drum Dryer) Ofm รุ่น DOFM 19/ 26 ประเทศไทย
10. เครื่องบดละเอียด (Ultracentrifugal Mill) Retsch Ultra รุ่น ZM 1000 ประเทศเยอรมนี
11. เครื่องปิดผนึกสุญญากาศ (Vacuum Sealer) Audiovac รุ่น VM201 ประเทศเยอรมนี
12. เครื่องผสมไฟฟ้า (Mixer) กิตติวัฒนา รุ่น KV- 05 ประเทศไทย พร้อมหัวผสมรูปตะขอ (Dough Hook)
13. เครื่องร่อน (Sieving Machine) Retch Mule รุ่น VE 1000 ประเทศเยอรมนี
14. เครื่องวัดความชื้น (Moisture Analyzer) Sartorius รุ่น MA 30 ประเทศสหรัฐอเมริกา
15. เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer) Stable Micro System รุ่น TA-XT2 สหราชอาณาจักร
16. เครื่องวัดความเป็นกรดด่างแบบตั้งโต๊ะ (pH Meter) Schott รุ่น CG 842 ประเทศเยอรมนี
17. เครื่องวัดสี Hunter Lab Miniscan รุ่น XE Plus ประเทศสหรัฐอเมริกา
18. เครื่องวิเคราะห์ไขมัน (Soxhlet Apparatus) Gerhardth รุ่น S306AK ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
19. เครื่องสไลด์ (Vegetable Preparation) Hallde รุ่น RG-S50 ประเทศสวีเดน
20. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) Spectronic รุ่น Genesys 5 ประเทศสหรัฐอเมริกา
21. เครื่องหมุนเหวี่ยงชนิดตั้งโต๊ะ (Centrifuge) Hermle รุ่น Z323K ประเทศเยอรมนี

22. ชุดวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (Kjeldahl Apparatus) Büchi รุ่น B-323 ประเทศสวิตเซอร์แลนด์

23. ตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven) Memmert รุ่น ULE 600 ประเทศเยอรมนี

24. เตาเผา (Muffle Furnace) Carbolite รุ่น RWF 1200 สหราชอาณาจักร

25. เตาอบไฟฟ้าแบบสายพาน (Conveyor Electric Oven) Champ รุ่น TT-D5A ประเทศจีน

26. เตาอบไฟฟ้า Severin รุ่น SEV-2024 ประเทศเยอรมนี

27. โถดูดความชื้น (Desiccator)

28. เทอร์โมมิเตอร์

29. พิมพ์กดโดรูปวงรี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.5 × 6.5 เซนติเมตร

30. ภาชนะอะลูมิเนียมสำหรับหาความชื้น (Moisture Can)

31. หลอดหมุนเหวี่ยง (Centrifuge Tubes) ขนาด 50 มิลลิลิตร

32. อุปกรณ์งานครัว เช่น หม้อ ทัพพี เป็นต้น

สารเคมี

1. กรดซัลฟูริกเข้มข้น (Sulphuric Acid) บริษัท Labscan Asia ประเทศไทย
2. กรดบอริก (Boric Acid) บริษัท Merck ประเทศเยอรมนี
3. กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric Acid) บริษัท Labscan Asia ประเทศไทย
4. เชียร์อินดิเคเตอร์ (Shear Indicator) บริษัท Büchi ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
5. ซีลีเนียมไดออกไซด์ (Selenium Dioxide) บริษัท Merck ประเทศเยอรมนี
6. โซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (Sodium Dihydrogen Phosphate) บริษัท Ajax Chemical ประเทศออสเตรเลีย
7. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide) บริษัท Merck ประเทศเยอรมนี
8. ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Disodium Hydrogen Phosphate) บริษัท Ajax Chemical ประเทศออสเตรเลีย
9. เทอร์มามิล (Thermamyl: Heat-Stable, Alpha-Amylase) บริษัท อีสต์เอเชียติค (ไทยแลนด์) จำกัด ประเทศไทย
10. ปิโตรเลียมอีเทอร์ (Petroleum Ether) จุดเดือด 40-60 องศาเซลเซียส บริษัท Labscan Asia ประเทศไทย
11. โปรติเอส (Protease) บริษัท Fluka ประเทศสวิตเซอร์แลนด์

12. โพแทสเซียมไอโอไดด์ (Potassium Iodide) บริษัท APS Finechem ประเทศออสเตรเลีย

13. ฟีนอล์ฟทาลีน (Phenolphthalein) บริษัท M & B สหราชอาณาจักร

14. อะไมโลกลูโคสิเดส (Amyloglucosidase) บริษัท Fluka ประเทศสวิตเซอร์แลนด์

15. เอทิลแอลกอฮอล์ (Ethylalcohol) บริษัท Merck ประเทศเยอรมนี

16. ไอโอดีน (Iodine) บริษัท Labscan Asia ประเทศไทย

วิธีดำเนินการวิจัย

ตอนที่ 1 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนโดยการใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่

1.1 การเตรียมแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน

เตรียมพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนโดยนำเมล็ดขนุนจากผลขนุนสุกพันธุ์ทองประเสริฐไปต้มในน้ำเดือด ในอัตราส่วนเมล็ดขนุน 1 กิโลกรัม ต่อ น้ำ 4 ลิตร เป็นเวลา 3 นาที เพื่อช่วยในการลอกเปลือกหุ้มเมล็ดออก จากนั้นลอกเปลือกหุ้มเมล็ดสีขาวครีมและสีน้ำตาลออกจนหมด แล้วจึงล้างด้วยน้ำให้สะอาดและพักให้สะเด็ดน้ำ นำเมล็ดมาสไลด์เป็นแผ่นบางให้มีความหนาประมาณ 1 มิลลิเมตร โดยใช้เครื่องสไลด์ นำแผ่นเมล็ดขนุนแผ่ลงบนถาดอะลูมิเนียม นำไปอบให้แห้งในเครื่องอบแห้งแบบถาด ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง จากนั้นบดด้วยเครื่องบด (Ultracentrifugal Mill) แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช นำแป้งที่ได้มาเตรียมสารละลายน้ำแป้งความเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักแห้ง แปรอุณหภูมิที่ผิวหน้าลูกกลิ้งเป็น 120 130 และ 140 องศาเซลเซียส และแปรความเร็วรอบของลูกกลิ้งเป็น 0.4 0.6 และ 0.8 รอบต่อนาที ปรับระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งทั้งสองเป็น 0.4 มิลลิเมตร (รายละเอียดวิธีการใช้งานเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ แสดงดังภาคผนวก ก) ทำแห้งจนกระทั่งแป้งมีความชื้นอยู่ในช่วง 5-10 เปอร์เซ็นต์ บรรจุแป้งที่ได้ในถุงพลาสติกและปิดผนึกแบบสุญญากาศ

นำแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนที่เตรียมได้มาคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่ได้ (% Yield) โดยชั่งน้ำหนักผลผลิตแป้งที่ได้เทียบกับน้ำหนักเมล็ดขนุนสดเริ่มต้นที่ยังไม่ได้ลอกเยื่อหุ้มเมล็ดออก แล้วคำนวณเปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่ได้ ดังนี้

$$\text{ผลผลิตที่ได้ (เปอร์เซ็นต์)} = (W_1 / W_2) \times 100$$

โดยที่ W_1 คือ น้ำหนักแป้งเมล็ดขนุนที่ผลิตได้ (กรัม)

W_2 คือ น้ำหนักเมล็ดขนุนสดเริ่มต้น (กรัม)

1.2 ศึกษาสมบัติทางกายภาพของแป้งเมล็ดขนุนที่เตรียมได้

นำแป้งเมล็ดขนุนที่เตรียมได้ มาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ ได้แก่

- ค่าสี

วัดค่าสีโดยใช้เครื่องวัดสี Hunter Lab Miniscan ใช้ระบบสี CIE LAB รายงานผลเป็นค่า L* a* b* และคำนวณค่าดัชนีความขาว (Whiteness Index) ดังนี้

$$\text{ค่าดัชนีความขาว} = 100 - [(100-L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}]^{1/2}$$

โดยที่ L* หมายถึง ความสว่าง (Lightness) มีค่าตั้งแต่ 0 (ดำ) จนถึง 100 (ขาว)

+a* หมายถึง ค่าความเป็นสีแดง และ -a* หมายถึง ค่าความเป็นสีเขียว

+b* หมายถึง ค่าความเป็นสีเหลือง และ -b* หมายถึง ค่าความเป็นสีน้ำเงิน

- ดัชนีการละลายน้ำ (Water Solubility Index) และดัชนีการดูดซับน้ำ (Water Absorption Index) (Anderson et al., 1969) (รายละเอียดวิธีวิเคราะห์แสดงดังภาคผนวก ข)

- อัตราการเกิดเจลาทิไนซ์ (Birch & Priestley, 1973) (รายละเอียดวิธีวิเคราะห์แสดงดังภาคผนวก ข)

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (CRD, Completed Randomize Design) โดยจัดสิ่งทดลองแบบแฟกทอเรียล (3×3) วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (Analysis of Variance : ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ด้วยโปรแกรม SPSS โดยกำหนดให้อุณหภูมิที่ผิวหน้าลูกกลิ้งและความเร็วรอบของลูกกลิ้ง เป็นปัจจัยหลัก ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

1.3 การเตรียมขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน

นำแป้งเมล็ดขนุนที่เตรียมได้มาเตรียมขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบ ตามสูตรการเตรียมผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนของ วลัยลักษณ์ เปรมอ่อน (2549) ดังตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 สูตรของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน (วลัยลักษณ์ เปรมอ่อน, 2549)

ส่วนประกอบ	ปริมาณ	
	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแป้งทั้งหมด	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด
แป้งเมล็ดขนุนพรีเจลาทิไนซ์	75	30.38
แป้งข้าวเจ้า	15	6.07
แป้งข้าวโพด	10	4.05
มอลโตเดกซ์ทริน	15	6.07
โมโน-ไดกลีเซอร์ไรด์	1	0.40
เนยขาว	13	5.26
เกลือ	3	1.21
น้ำ	115	46.56
รวม		100

(1) นำส่วนผสมทั้งหมดที่เตรียมไว้ใส่ลงในอ่างผสม นวดให้เข้ากันจนเป็นก้อนโดโดยใช้เครื่องผสม ความเร็วเบอร์ 2 เป็นเวลา 1 นาที และเบอร์ 3 เป็นเวลา 5 นาที

(2) นำโดที่ได้มาขึ้นรูปโดยรีดด้วยลูกกลิ้งให้มีความหนา 0.9 มิลลิเมตร ตัดเป็นรูปวงรีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.5 × 6.5 เซนติเมตร โดยใช้พิมพ์กด วางเรียงบนตะแกรงแล้วนำไปอบโดยใช้เตาอบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 นาที จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นสุดท้ายประมาณ 4 เปอร์เซ็นต์

นำขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนที่เตรียมได้มาประเมินคุณภาพดังนี้

- ค่าสี

วัดค่าสีตามวิธีของ Pedreschi et al. (2007) โดยสุ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนจำนวน 12 ชิ้น ใส่ลงในภาชนะใส่ตัวอย่างที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 เซนติเมตร วัดค่าสี 3 ครั้ง ต่อการสุ่มตัวอย่าง 1 ครั้ง ทั้งนี้ในแต่ละสิ่งทดลองจะสุ่มตัวอย่างทั้งหมด 3 ครั้งต่อการวัดค่าสี 1 ซ้ำ ใช้เครื่องวัดสี Hunter Lab Miniscan ระบบสี CIE LAB วัดค่า L* a* และ b* นำค่าที่ได้มาคำนวณค่าความเข้มของสี (C*) และค่ามุมที่บ่งบอกเฉดสี (h*) ดังนี้

ค่าความเข้มของสี (C*) = $(a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$

ค่ามุมที่บ่งบอกเฉดสี (h*) = $\tan^{-1}(b^*/a^*)$

- ลักษณะเนื้อสัมผัส

วัดลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ โดยสุ่มตัวอย่างขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนจำนวน 12 ชิ้น มาวัดลักษณะเนื้อสัมผัส ด้วยเครื่อง Texture Analyzer รุ่น TA-XT2 ใช้หัววัดทรงกลม (Ball Probe) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1/ 4 นิ้ว (P/ 0.25S) กดลงตรงกลางชิ้นผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบ โดยใช้ฐานรองชนิด HDP/ 90 Heavy Duty Platform รายงานผลเป็นค่าความแตกเปราะ (Fracturability) ซึ่งอ่านค่าจากค่าแรงสูงสุด (Peak Force) ที่ทำให้ตัวอย่างเริ่มเกิดการแตกหัก (รายละเอียดวิธีการวัดแสดงดังภาคผนวก ค)

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (CRD, Completed Randomize Design) โดยจัดสิ่งทดลองแบบแฟกทอเรียล (3×3) วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (Analysis of Variance : ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ด้วยโปรแกรม SPSS โดยกำหนดให้อุณหภูมิที่ผิวหน้าลูกกลิ้งและความเร็วรอบของลูกกลิ้ง เป็นปัจจัยหลัก ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

- การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยการทดสอบความชอบของผู้ทดสอบที่มีต่อผลิตภัณฑ์ในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส ความรู้สึกในปาก และความชอบโดยรวม โดยใช้วิธีทดสอบแบบ 9-Point Hedonic Scale โดย 1 คะแนน หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 คะแนน หมายถึง ชอบมากที่สุด ด้วยวิธี 9-Point Hedonic Scale ใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ได้รับการฝึกฝน 36 คน วางแผนการทดลองแบบบาลอกไม่สมบูรณ์แบบสมดุล (Balance Incomplete Block Design; BIB) (แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสแสดงดังภาคผนวก ง)

เลือกอุณหภูมิและความเร็วรอบของลูกกลิ้งที่ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงสุดและมีคะแนนไม่ต่ำกว่า 6 คะแนน มาศึกษาต่อในด้านต่าง ๆ ดังนี้

ตอนที่ 2 ศึกษาปริมาณ Resistant Starch ที่เหมาะสมสำหรับเพิ่มเส้นใยอาหารในขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน

นำขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบที่คัดเลือกได้จากข้อ 1.3 มาศึกษาปริมาณ Resistant Starch ที่เหมาะสม โดยแปรปริมาณ Resistant Starch เป็น 0 5 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของแป้งทั้งหมด ใช้วิธีการทำขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบเช่นเดียวกับข้อ 1.3 จากนั้นนำขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบที่ได้มาวิเคราะห์คุณภาพ ในด้านต่าง ๆ ดังนี้

การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่

- ค่าสี วัดค่าสีโดยใช้เครื่องวัดสี Hunter Lab Miniscan ใช้ระบบสี CIE LAB วัดค่า L* a* และ b* และนำค่าที่ได้มาคำนวณค่า C* และค่า h* เช่นเดียวกับข้อ 1.3

- ลักษณะเนื้อสัมผัส ดำเนินการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1.3

การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ได้แก่

- การวิเคราะห์เส้นใยอาหารทั้งหมด (Total Dietary Fiber; TDF)

- การวิเคราะห์เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (Insoluble Dietary Fiber; IDF)

- การวิเคราะห์เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ (Soluble Dietary Fiber; SDF)

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ด้วยโปรแกรม SPSS ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

- ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยการทดสอบความชอบของผู้ทดสอบที่มีต่อผลิตภัณฑ์ในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส ความรู้สึกในปาก และความชอบโดยรวม โดยใช้วิธีทดสอบแบบ 9-Point Hedonic Scale โดย 1 คะแนน หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 คะแนน หมายถึง ชอบมากที่สุด ใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 50 คน วางแผนการทดลองแบบบลอคสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Randomized Completely Block Design, RCBD) เลือกปริมาณ Resistant starch ที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากคะแนนความชอบโดยรวมสูงสุดมาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ และทางเคมี โดยเปรียบเทียบกับขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบทางการค้าได้แก่ A และ B ในด้านต่าง ๆ ดังนี้

คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่

- ค่าสี วัดค่าสีโดยใช้เครื่องวัดสี Hunter Lab Miniscan ใช้ระบบสี CIE LAB วัดค่า L* a* และ b* และนำค่าที่ได้มาคำนวณค่า C* และค่า h* เช่นเดียวกับข้อ 1.3

- ลักษณะเนื้อสัมผัส ดำเนินการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1.3

- การศึกษาโครงสร้างทางจุลภาค

ศึกษาโครงสร้างแบบภาพตัดขวาง (Cross Section) ของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนตามวิธีของ กรทิพย์ ฐิติธรรมจริยา (2549) โดยหักชิ้นตัวอย่างขนาดประมาณ 10 × 0.5 มิลลิเมตร วางในแนวตั้งสำหรับศึกษาภาพตัดขวาง โดยใช้ เทปกาวติดบนแท่นวางตัวอย่าง แล้วนำตัวอย่างไปเคลือบทองโดยใช้เครื่อง Sputter-Coater (Polaron Range, SC7620, England) ในสภาวะสุญญากาศ จากนั้นนำไปส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ใช้ความต่างศักย์ 10 กิโลโวลต์ กำลังขยาย 50 เท่า

- การศึกษาลักษณะของเซลล์อากาศ (Air Cell)

ศึกษาลักษณะของเซลล์อากาศของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่าย (Image Analysis) ตามวิธีการที่ดัดแปลงจากวิธีของ Pardo et al. (2008)โดยการใช้โปรแกรม UTHSCSA Image Tool for Windows Version 3.0 ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้ นำภาพตัดขวางบริเวณกึ่งกลางของชิ้นผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบขนาด 5 × 8 เซนติเมตร ที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดมาวิเคราะห์จำนวน และขนาดเส้นรอบวงของเซลล์อากาศ โดยกำหนดค่าความละเอียดของภาพเป็น 300 จุดต่อนิ้ว (Dot per Inch, dpi) บันทึกรูปภาพด้วยนามสกุล BMP มาวิเคราะห์จำนวนเซลล์อากาศ และขนาดเส้นรอบวงของเซลล์อากาศ (รายละเอียดการวิเคราะห์แสดงดังภาคผนวก จ)

คุณภาพทางเคมี (รายละเอียดวิธีการวิเคราะห์แสดงดังภาคผนวก ฉ) ได้แก่

1. ปริมาณความชื้น (AOAC Method 925.10, 1990)
2. ปริมาณโปรตีน (AOAC Method 920.57, 1990)
3. ปริมาณไขมัน (AOAC Method 920.39, 1990)
4. ปริมาณเถ้า (AOAC Method 923.03, 1990)
5. ปริมาณใยอาหารทั้งหมด (AACC Method 32-05, 1990)
   - ปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ
   - ปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำ

บทที่ 4
ผลการวิจัย และข้อวิจารณ์

ตอนที่ 1 ผลการศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมแป้งพรีเจล่าทิไนซ์จากเมล็ดขนุน โดยการใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่

1.1 ผลการเตรียมแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิ และความเร็วรอบของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ต่อปริมาณผลผลิตแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนที่เตรียมได้ ดังตารางที่ 4-1 ถึงตารางที่ 4-3 พบว่า ไม่มีอิทธิพลร่วมกันระหว่างอุณหภูมิ และความเร็วรอบของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ต่อปริมาณผลผลิตแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนที่เตรียมได้ และเมื่อพิจารณาอิทธิพลของปัจจัยหลักได้แก่ อุณหภูมิ และความเร็วรอบของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ พบว่า ความเร็วรอบของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ ไม่มีผลต่อปริมาณผลผลิตแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน ในขณะที่อุณหภูมิของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่มีผลต่อปริมาณผลผลิตแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน โดยที่ระดับอุณหภูมิบนผิวหน้าลูกกลิ้งเป็น 120 องศาเซลเซียส ได้ปริมาณผลผลิตแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนต่ำที่สุดคืออยู่ในช่วง 37.68-37.83 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับน้ำหนักเมล็ดขนุนสด อาจเป็นผลเนื่องมาจากที่ระดับอุณหภูมิบนผิวหน้าลูกกลิ้งเป็น 120 องศาเซลเซียส แผ่นแป้งที่ฉาบอยู่บนผิวหน้าของลูกกลิ้งยังคงมีความชื้นสูง และแห้งได้ช้า จึงเกาะติดกันเป็นก้อนบริเวณใบมีด ทำให้สูญเสียแป้งมาก (สายสนม ประดิษฐวงว, 2534) ทั้งนี้เมื่อระดับอุณหภูมิบนผิวหน้าลูกกลิ้งเป็น 130 องศาเซลเซียส ปริมาณผลผลิตแป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้นจากที่ระดับอุณหภูมิบนผิวหน้าลูกกลิ้งเป็น 120 องศาเซลเซียสประมาณ 0.8 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อระดับอุณหภูมิบนผิวหน้าลูกกลิ้งเป็น 140 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณผลผลิตแป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่ได้มีค่าลดลงเนื่องจากแผ่นแป้งมีสีเหลืองเข้ม ไม่สามารถนำมาใช้เตรียมขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบได้ ซึ่งเป็นผลมาจากอุณหภูมิบนผิวหน้าลูกกลิ้งสูงเกินไป อย่างไรก็ตาม ที่อุณหภูมิ 130 และ 140 องศาเซลเซียส ให้ปริมาณผลผลิตที่ได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และผลผลิตที่ได้มีค่าอยู่ในช่วง 38.16-39.09 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับน้ำหนักเมล็ดขนุนสด ซึ่งใกล้เคียงกับผลการศึกษาของ Tulyathan et al. (2002) ที่ได้ผลผลิตของแป้งเมล็ดขนุนที่ผลิตจากเมล็ดขนุนพันธุ์ทองสุดใจ 36.4 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับน้ำหนักเมล็ดขนุนสด แต่ต่ำกว่าผลการศึกษาของ อมรรัตน์ มุขประเสริฐ และกมลทิพย์ สัจจาอนันตกุล (2546) ซึ่งได้ผลผลิตของแป้งเมล็ดขนุนจากเมล็ดขนุนพันธุ์ขนุนหนังประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับน้ำหนัก

เมล็ดขนุนสด โดยปริมาณผลผลิตที่แตกต่างกันนี้ อาจเป็นผลเนื่องมาจากวิธีการเตรียมแป้งเมล็ดขนุน ความแตกต่างของสายพันธุ์ ความแก่อ่อนของขนุน รวมถึงส่วนประกอบ ของเมล็ดขนุนเช่น เยื่อหุ้มสีขาวครีม และ เยื่อสีน้ำตาล เป็นต้น

ตารางที่ 4-1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอุณหภูมิ และความเร็วรอบของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ ต่อปริมาณผลผลิตแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนที่เตรียมได้

	F (P-Value)		
	อุณหภูมิ	ความเร็วรอบ	อุณหภูมิ × ความเร็วรอบ
ปริมาณผลผลิตที่ได้	6.520 (0.007)*	3.846 (0.053)ns	0.618 (0.656)ns

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4-2 ผลของอุณหภูมิ และความเร็วรอบของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ ต่อปริมาณผลผลิตแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนที่เตรียมได้[1]

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	ปริมาณผลผลิตที่ได้ (เปอร์เซ็นต์)ns
120	0.4	37.83 ± 0.47
	0.6	37.81 ± 0.64
	0.8	37.68 ± 0.45
130	0.4	39.09 ± 0.32
	0.6	38.46 ± 0.73
	0.8	38.16 ± 0.33
140	0.4	38.91 ± 0.15
	0.6	38.25 ± 0.59
	0.8	38.16 ± 0.58

1 หมายถึง แป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนทุกตัวอย่างมีความชื้นประมาณ 8 เปอร์เซ็นต์

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางที่ 4-3 ผลของอุณหภูมิของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ ต่อปริมาณผลผลิตแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนที่เตรียมได้

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ปริมาณผลผลิตที่ได้ (เปอร์เซ็นต์)
120	$37.77^{b} \pm 0.46$
130	$38.57^{a} \pm 0.60$
140	$38.44^{a} \pm 0.55$

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

1.2 ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของแป้งเมล็ดขนุนที่เตรียมได้

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิ และความเร็วรอบของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ ต่อค่าความสว่าง (Lightness, L*) ค่าความเป็นสีแดง (Redness, a*) ค่าความเป็นสีเหลือง (Yellowness, b*) และ ดัชนีความขาว (Whiteness Index, WI) ของแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน ดังตารางที่ 4-4 ถึงตารางที่ 4-9 พบว่า ไม่มีอิทธิพลร่วมกันระหว่างอุณหภูมิ และความเร็วรอบของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ต่อค่า L* และค่า b* ของแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน ขณะที่อุณหภูมิ และความเร็วรอบมีผลต่อค่า a* และค่า WI โดยเมื่อระดับอุณหภูมิของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่สูงขึ้น แป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนที่เตรียมได้มีค่า L* ลดลง และค่า b* เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ที่ระดับความเร็วรอบของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่สูงขึ้น พบว่า แป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนที่เตรียมได้มีค่า L* เพิ่มขึ้น และค่า b* ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และเมื่อพิจารณาค่า a* และ WI ของแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน พบว่า ที่ระดับอุณหภูมิของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่สูง และความเร็วรอบต่ำ แป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่เตรียมได้มีค่า a* เพิ่มขึ้น แต่มีค่า WI ลดลง ดังจะเห็นได้จากที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบของลูกกลิ้ง 0.4 รอบต่อนาที มีค่า a* สูงที่สุด และมีค่า WI ต่ำที่สุด ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในระหว่างกระบวนการเตรียมแป้งพรีเจลาทิไนซ์ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ สิรินภา เจาะเส็น และคณะ (2551) ที่ได้ศึกษากระบวนการผลิตข้าวโพดผงพรีเจลาทิไนซ์ โดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่อุณหภูมิ 120 130 140 และ 150 องศาเซลเซียส และความเร็วรอบของลูกกลิ้ง 2 3 และ 4 รอบต่อนาที พบว่า การทำแห้งที่อุณหภูมิลูกกลิ้งสูงขึ้น และความเร็วรอบต่ำ ส่งผลให้สีของผลิตภัณฑ์โดยรวมเข้มขึ้น ($p<0.05$) หรือค่า L* ของผลิตภัณฑ์ลดลง ในขณะที่ผลิตภัณฑ์มีค่า a* เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจาก

การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลเช่นเดียวกัน นอกจากนี้เมื่อพิจารณาที่ระดับอุณหภูมิเดียวกัน พบว่า เมื่อใช้ความเร็วรอบของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่ระดับสูงขึ้น แป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่เตรียมได้มีค่า a* ลดลง และมีค่า WI เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) หรืออาจกล่าวได้ว่าแป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่เตรียมได้มีความเป็นสีน้ำตาลแดงลดลง อาจเป็นผลเนื่องมาจาก การที่ความเร็วรอบของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่เพิ่มสูงขึ้น ทำให้ความดันไอน้ำภายในลูกกลิ้ง และอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ (Heat Flux) ไม่คงที่ ส่งผลให้ระดับอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนผิวหน้าลูกกลิ้งไม่สม่ำเสมอ อีกทั้งการใช้ความเร็วรอบสูง ทำให้น้ำแป้งที่ฉาบอยู่บนผิวของลูกกลิ้งดูดซับความร้อนจากลูกกลิ้งเพื่อนำมาใช้ระเหยน้ำในอัตราที่เพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้อุณหภูมิบนผิวของลูกกลิ้งลดลงจากที่ได้กำหนดไว้ประมาณ 5-10 องศาเซลเซียส ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระดับความเร็วรอบที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังส่งผลให้ประสิทธิภาพการถ่ายโอนความร้อนมายังน้ำแป้งที่ฉาบอยู่บนผิวของลูกกลิ้งต่ำกว่าการใช้ความเร็วรอบของลูกกลิ้งที่ระดับต่ำกว่า (Vallous et al., 2002) ดังนั้นที่ระดับอุณหภูมิเดียวกัน เมื่อใช้ความเร็วรอบของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่ระดับสูงขึ้น แป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่เตรียมได้จึงมีค่า a* ลดลง และมีค่า WI เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4-4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอุณหภูมิ และความเร็วรอบของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ ต่อค่า L* a* b* และ WI ของแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน

ค่าสี	F (P-Value)		
	อุณหภูมิ	ความเร็วรอบ	อุณหภูมิ × ความเร็วรอบ
L*	172.801 (0.000)*	17.652 (0.000)*	1.937 (0.148)ns
a*	612.990 (0.000)*	95.551 (0.000)*	19.128 (0.000)*
b*	179.193 (0.000)*	18.001 (0.000)*	0.296 (0.876)ns
WI	583.947 (0.000)*	66.978 (0.000)*	8.276 (0.001)*

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 4-5 ผลของอุณหภูมิ และความเร็วรอบของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ ต่อค่า L* a* b* และ WI ของแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน[1]

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	ค่าสี			WI
		L*[ns]	a*	b*[ns]	
120	0.4	91.39 ± 0.03	1.15[c] ± 0.01	12.03 ± 0.06	85.16[b] ± 0.04
	0.6	91.46 ± 0.32	1.07[f] ± 0.03	11.96 ± 0.09	85.27[b] ± 0.13
	0.8	91.71 ± 0.09	0.92[g] ± 0.01	11.87 ± 0.09	85.49[a] ± 0.11
130	0.4	90.45 ± 0.03	1.22[c] ± 0.02	12.26 ± 0.06	84.42[d] ± 0.04
	0.6	90.78 ± 0.21	1.20[cd] ± 0.01	12.18 ± 0.02	84.33[d] ± 0.03
	0.8	91.11 ± 0.00	1.18[d] ± 0.01	12.14 ± 0.00	84.91[c] ± 0.01
140	0.4	90.13 ± 0.03	1.41[a] ± 0.01	12.51 ± 0.02	84.00[f] ± 0.02
	0.6	90.28 ± 0.13	1.38[a] ± 0.01	12.41 ± 0.02	84.17[e] ± 0.07
	0.8	90.37 ± 0.11	1.30[b] ± 0.02	12.34 ± 0.03	84.29[de] ± 0.09

[1] หมายถึง แป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนทุกตัวอย่างมีความชื้นประมาณ 8 เปอร์เซ็นต์

[a. b. c....] หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันตามแนวตั้งเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 4-6 ผลของอุณหภูมิของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ ต่อค่า L* ของแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ค่า L*
120	91.52[a] ± 0.22
130	90.78[b] ± 0.30
140	90.26[c] ± 0.13

[a. b. c] หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 4-7 ผลของความเร็วรอบของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ ต่อค่า L* ของแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน

ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	ค่า L*
0.4	$90.66^{c} \pm 0.57$
0.6	$90.84^{b} \pm 0.55$
0.8	$91.06^{a} \pm 0.59$

a, b, c หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 4-8 ผลของอุณหภูมิของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ ต่อค่า b* ของแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ค่า b*
120	$11.95^{c} \pm 0.10$
130	$12.19^{b} \pm 0.06$
140	$12.42^{a} \pm 0.07$

a, b, c หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 4-9 ผลของความเร็วรอบของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ ต่อค่า b* ของแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน

ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	ค่า b*
0.4	$12.26^{a} \pm 0.21$
0.6	$12.18^{b} \pm 0.20$
0.8	$12.12^{c} \pm 0.21$

a, b, c หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

จากการวิเคราะห์ผลของอุณหภูมิ และความเร็วรอบของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ ต่อสมบัติทางกายภาพของแป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่เตรียมได้ ได้แก่ ดัชนีการละลายน้ำ ดัชนีการดูดซับน้ำ และ อัตราการเกิดเจลาทิไนซ์ของแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน ดังตารางที่ 4-10 และ ตารางที่ 4-11 พบว่า อุณหภูมิ และความเร็วรอบของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่มีอิทธิพลร่วมกันต่อสมบัติทางกายภาพดังกล่าว โดยเมื่อใช้อุณหภูมิสูง และความเร็วรอบต่ำ แป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่เตรียมได้จะมีค่าดัชนีการละลายน้ำ ดัชนีการดูดซับน้ำ และ อัตราการเกิดเจลาทิไนซ์ สูงกว่าแป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิต่ำ และความเร็วรอบสูงกว่า ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจาก โดยปกติเม็ดแป้งมีโครงสร้างแบบกึ่งผลึก (Semi-crystalline) ประกอบด้วยอะไมโลส และอะไมโลเพกทิน ที่ถูกสร้างออกไปตามแนวรัศมีของเม็ดแป้งจากจุดไฮลัม สู่ขอบเม็ดแป้ง ภายในจะประกอบด้วยบริเวณของชั้นผลึก (Crystalline) สลับกับชั้นอสัณฐาน (Amorphous) บริเวณอสัณฐานเกิดจากส่วนโมเลกุลของอะไมโลเพกทินที่มีพันธะ α-1, 6 อยู่มาก ส่วนบริเวณผลึกเกิดจากการรวมตัวของสายกิ่งขนานกันไปตามโครงสร้างคลัสเตอร์ของอะไมโลเพกทิน โดยมีอะไมโลสแทรกอยู่ในอะไมโลเพกทิน (วรรณา ตุลยธัญ, 2549) แต่เมื่อแป้งเมล็ดขนุนซึ่งมีอุณหภูมิการเกิดเจลาทิไนซ์อยู่ในช่วง 73-81 องศาเซลเซียส (อมรรัตน์ มุขประเสริฐ และกมลทิพย์ สัจจาอนันตกุล, 2546; Tulyathan et al., 2002) ได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิเจลาทิไนซ์ ความร้อนจะทำลายพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของแป้งโดยเริ่มที่บริเวณอสัณฐานก่อน น้ำจะเข้าสู่ภายในเม็ดแป้งได้มากขึ้น และเมื่อระดับอุณหภูมิที่ใช้เพิ่มขึ้น จะมีผลให้เกิดการหลอมละลายบริเวณผลึกภายในเม็ดแป้งเพิ่มขึ้น เม็ดแป้งจึงดูดซับน้ำ และละลายน้ำได้มากขึ้น สอดคล้องกับรายงานของ Yadav et al. (2006) ซึ่งได้ศึกษาผลของอุณหภูมิบนผิวหน้าลูกกลิ้งของเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ต่อสมบัติการละลายของแป้งมันเทศพบว่า เมื่อระดับอุณหภูมิบนผิวหน้าลูกกลิ้งเพิ่มขึ้น แป้งมันเทศจะมีดัชนีการละลายน้ำเพิ่มขึ้น โดยที่อุณหภูมิ 96 องศาเซลเซียส แป้งมันเทศมีดัชนีการละลายน้ำเท่ากับ 43.1 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ดัชนีการดูดซับน้ำยังเป็นตัวบ่งชี้อัตราการเกิดเจลาทิไนซ์ของแป้งอีกด้วย โดยจะมีความสัมพันธ์ไปในทางเดียวกัน (Hsu et al., 2003) กล่าวคือ แป้งที่มีดัชนีการดูดซับน้ำสูง จะมีอัตราการเกิดเจลาทิไนซ์สูงตามไปด้วย ดังนั้นการใช้อุณหภูมิของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่สูง และความเร็วรอบต่ำ ซึ่งทำให้ความดันไอน้ำภายในลูกกลิ้ง และอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่คงที่มากกว่าการใช้ความเร็วรอบสูง ส่งผลให้ระดับอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนผิวหน้าลูกกลิ้งมีความสม่ำเสมอ และสามารถถ่ายโอนความร้อนมายังน้ำแป้งที่ฉาบอยู่บนผิวของลูกกลิ้งได้ดีกว่าการใช้ความเร็วรอบของลูกกลิ้งที่ระดับสูงกว่า จึงทำให้แป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่สูง และความเร็วรอบต่ำ มีดัชนีการดูดซับน้ำ ดัชนีการละลายน้ำ และอัตราการเกิดเจลาทิไนซ์สูงกว่าแป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่เตรียมโดยใช้

ภาวะอื่น ทั้งนี้พบว่า แป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่ 140 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 0.4 รอบต่อนาที มีดัชนีการละลายน้ำ ดัชนีการดูดซับน้ำ และอัตราการเกิดเจลาทิไนซ์สูงที่สุดคือ 22.97 10.99 และ 66.01 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ตารางที่ 4-10 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอุณหภูมิ และความเร็วรอบของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ ต่อดัชนีการละลายน้ำ ดัชนีการดูดซับน้ำ และ อัตราการเกิดเจลาทิไนซ์ของแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน

สมบัติทางกายภาพ	F (P-Value)		
	อุณหภูมิ	ความเร็วรอบ	อุณหภูมิ × ความเร็วรอบ
ดัชนีการละลายน้ำ	875.679 (0.000)*	120.815 (0.000)*	3.400 (0.031)*
ดัชนีการดูดซับน้ำ	1325.459 (0.000)*	120.815 (0.000)*	19.815 (0.000)*
อัตราการเกิดเจลาทิไนซ์	1037.973 (0.000)*	62.454 (0.000)*	10.349 (0.000)*

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 4-11 ผลของอุณหภูมิ และความเร็วรอบของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ ต่อดัชนีการละลายน้ำ ดัชนีการดูดซับน้ำ และอัตราการเกิดเจลาทิไนซ์ของแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน[1]

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	ดัชนีการละลายน้ำ	ดัชนีการดูดซับน้ำ	อัตราการเกิดเจลาทิไนซ์ (เปอร์เซ็นต์)
120	0.4	$18.69^{g} \pm 0.07$	$6.41^{g} \pm 0.08$	$51.24^{f} \pm 1.04$
	0.6	$17.86^{h} \pm 0.14$	$6.18^{gh} \pm 0.08$	$48.05^{g} \pm 1.95$
	0.8	$16.50^{i} \pm 0.06$	$5.91^{h} \pm 0.08$	$43.35^{h} \pm 0.24$
130	0.4	$21.03^{d} \pm 0.32$	$8.24^{d} \pm 0.15$	$62.94^{c} \pm 0.27$
	0.6	$20.28^{e} \pm 0.20$	$7.73^{e} \pm 0.06$	$61.38^{d} \pm 0.89$
	0.8	$19.69^{f} \pm 0.26$	$7.34^{f} \pm 0.16$	$58.96^{e} \pm 0.53$
140	0.4	$22.97^{a} \pm 0.23$	$10.99^{a} \pm 0.19$	$66.01^{a} \pm 0.37$
	0.6	$22.23^{b} \pm 0.16$	$10.14^{b} \pm 0.11$	$65.17^{ab} \pm 0.18$
	0.8	$21.43^{c} \pm 0.40$	$8.93^{c} \pm 0.33$	$64.37^{bc} \pm 0.63$

[1] หมายถึง แป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนทุกตัวอย่างมีความชื้นประมาณ 8 เปอร์เซ็นต์

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

1.3 ผลการเตรียมขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน

เมื่อนำแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนทุกตัวอย่างมาเตรียมขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบดังภาพที่ 1 และวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบได้แก่ ค่า L* ค่าความเข้มสี (Chroma, C*) ค่ามุมที่บ่งบอกเฉดสี (Hue, h*) และค่าความแข็ง ซึ่งหมายถึง ค่าแรงสูงสุดที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการแตกหัก (Troncoso et al., 2009) ดังตารางที่ 4-12 ถึง ตารางที่ 4-16 พบว่า อุณหภูมิและความเร็วรอบของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่ใช้ในการเตรียมแป้งพรีเจลาทิไนซ์ ไม่มีอิทธิพลร่วมกันต่อค่า L* และค่าความแข็งของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุน โดยเมื่อพิจารณาเฉพาะอิทธิพลของปัจจัยหลักแต่ละปัจจัย พบว่า ขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบที่เตรียมจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่ใช้อุณหภูมิของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่สูงขึ้นจะมีค่า L* ลดลง และมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่เมื่อใช้ความเร็ว

รอบของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่สูงขึ้น ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบที่ได้มีค่าความแข็งลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) นอกจากนี้พบว่า อุณหภูมิ และความเร็วรอบของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ ที่ใช้เตรียมแป้งพรีเจลาทิไนซ์ มีอิทธิพลร่วมกันต่อค่า C* และ h* โดยเมื่อใช้อุณหภูมิ และความเร็วรอบของเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ต่ำ ขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจะมีค่า C* มากกว่าผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบที่เตรียมจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่ใช้อุณหภูมิ และความเร็วรอบสูงกว่า ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจาก สีที่แตกต่างกันของแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนที่ใช้ในการเตรียมขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบดังที่ได้อธิบายในข้อ 1.2 อย่างไรก็ตาม ขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบทุกตัวอย่างมีค่ามุมที่บ่งบอกเฉดสีอยู่ในช่วงใกล้เคียงกันคือ อยู่ในช่วงสีเหลือง สำหรับความแข็งของผลิตภัณฑ์ที่มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเตรียมจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่ได้จากการใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่อุณหภูมิสูง และความเร็วรอบต่ำ อาจเป็นผลเนื่องมาจากขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบที่เตรียมโดยใช้แป้งพรีเจลาทิไนซ์จากภาวะดังกล่าวมีโครงสร้างที่แข็งแรง เพราะแป้งที่ใช้มีความเป็นเจลสูง ดังจะเห็นได้จากแป้งที่เตรียมที่ภาวะดังกล่าวมีอัตราการเกิดเจลาทิไนซ์สูงกว่าที่ภาวะอื่น ดังนั้นขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบที่เตรียมจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่ได้จากการใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่อุณหภูมิสูง และความเร็วรอบต่ำ จึงต้องใช้แรงในการทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการแตกหักมากกว่าที่ภาวะอื่น

ภาพที่ 4-1 ขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุน

ตารางที่ 4-12 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอุณหภูมิ และความเร็วรอบของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่ใช้ในการเตรียมแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน ต่อค่า L* C* h* และค่าความแข็ง ของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุน

สมบัติทางกายภาพ	F (P-Value)		
	อุณหภูมิ	ความเร็วรอบ	อุณหภูมิ × ความเร็วรอบ
L*	32.551 (0.000)*	2.775 (0.090)ns	0.837 (0.519)ns
C*	64.509 (0.000)*	22.595 (0.000)*	3.139 (0.040)*
h*	84.624 (0.000)*	25.682 (0.000)*	4.468 (0.011)*
ค่าความแข็ง	126.536 (0.000)*	4.863 (0.020)*	0.470 (0.757)ns

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4-13 ผลของอุณหภูมิ และความเร็วรอบของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่ใช้ในการเตรียมแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน ต่อค่า L* C* h* และค่าความแข็ง ของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุน[1]

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	ค่าสี			ค่าความแข็ง (นิวตัน)[ns]
		L*[ns]	C*	h*	
120	0.4	58.36 ± 0.36	24.19^{b} ± 0.21	76.60^{b} ± 0.17	3.28 ± 0.07
	0.6	58.39 ± 0.11	23.58^{c} ± 0.32	76.97^{b} ± 0.68	3.05 ± 0.21
	0.8	58.77 ± 0.36	22.88^{d} ± 0.22	78.72^{a} ± 0.38	3.02 ± 0.22
130	0.4	57.61 ± 0.19	24.73^{a} ± 0.39	75.81^{c} ± 0.23	3.83 ± 0.11
	0.6	57.64 ± 0.19	24.64^{a} ± 0.15	76.25^{bc} ± 0.47	3.63 ± 0.11
	0.8	57.71 ± 0.27	24.18^{b} ± 0.32	76.28^{bc} ± 0.46	3.59 ± 0.10
140	0.4	57.05 ± 0.20	24.95^{a} ± 0.06	74.22^{e} ± 0.42	4.21 ± 0.13
	0.6	57.55 ± 0.52	24.82^{a} ± 0.21	74.94^{d} ± 0.39	4.16 ± 0.12
	0.8	57.57 ± 0.35	24.54^{ab} ± 0.07	75.69^{c} ± 0.14	4.13 ± 0.13

[1] หมายถึง ขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุนทุกตัวอย่างมีความชื้นประมาณ 4 เปอร์เซ็นต์

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

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

ตารางที่ 4-14 ผลของอุณหภูมิของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่ใช้ในการเตรียมแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน ต่อค่า L* ของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุน

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ค่า L*
120	$58.51^{a} \pm 0.33$
130	$57.65^{b} \pm 0.20$
140	$57.39^{b} \pm 0.41$

a. b. หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 4-15 ผลของอุณหภูมิของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่ใช้ในการเตรียมแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน ต่อค่าความแข็งของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุน

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ค่าความแข็ง (นิวตัน)
120	$3.12^{c} \pm 0.20$
130	$3.68^{b} \pm 0.14$
140	$4.17^{a} \pm 0.12$

a. b. c หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 4-16 ผลของความเร็วรอบของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่ใช้ในการเตรียมแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน ต่อค่าความแข็งของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุน

ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	ค่าความแข็ง (นิวตัน)
0.4	$3.77^{a} \pm 0.42$
0.6	$3.61^{b} \pm 0.50$
0.8	$3.58^{b} \pm 0.50$

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

เมื่อนำขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุนทุกตัวอย่างมาประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสดังตารางที่ 4-17 พบว่า ขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบทุกตัวอย่างได้คะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ และเนื้อสัมผัสไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) แต่ได้คะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสความชอบด้านกลิ่นรส ความรู้สึกในปาก และความชอบโดยรวมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุนที่เตรียมโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ทุกระดับความเร็วรอบได้คะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสความชอบด้านกลิ่นรส ความรู้สึกในปาก และความชอบโดยรวมต่ำกว่าขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุนที่เตรียมโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่อุณหภูมิ 130 และ 140 องศาเซลเซียส ทุกระดับความเร็วรอบ อาจเป็นผลเนื่องมาจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุนที่เตรียมโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ยังคงมีความเป็นแป้งอยู่มากกว่าแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุนที่เตรียมโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่อุณหภูมิ 130 และ 140 องศาเซลเซียส ดังจะเห็นได้จากอัตราการเกิดเจลาทิไนซ์โดยเฉลี่ยที่ระดับความเร็วรอบต่าง ๆ ต่ำกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่แป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุนที่เตรียมโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่อุณหภูมิ 130 และ 140 องศาเซลเซียส ที่ระดับความเร็วรอบต่าง ๆ มีอัตราการเกิดเจลาทิไนซ์โดยเฉลี่ยสูงกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุนที่เตรียมโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ยังคงมีความเป็นแป้งอยู่มากกว่า รวมถึงมีกลิ่นรส และรสชาติคล้ายแป้งดิบ ความรู้สึกเมื่อเคี้ยวในปากจะกระด้าง เป็นเม็ด ๆ ส่งผลให้

ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบด้านกลิ่นรส ความรู้สึกในปาก และความชอบโดยรวม ต่ำกว่าขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่เตรียมโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่อุณหภูมิ 130 และ 140 องศาเซลเซียส ทั้งนี้ขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่เตรียมโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ทุกระดับความเร็วรอบ ได้คะแนนสูงที่สุด และคะแนนที่ได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) จึงเลือกวิธีการเตรียมแป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่ใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 0.4 รอบต่อนาที ซึ่งเป็นอุณหภูมิ และความเร็วรอบที่ต่ำกว่า มาศึกษาในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 4-17 ผลของอุณหภูมิ และความเร็วรอบของเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่ใช้ในการเตรียมแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน ต่อคะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส ความรู้สึกในปาก และความชอบโดยรวมของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุน

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	ลักษณะปรากฏ^{ns}	สี^{ns}	กลิ่นรส	รสชาติ^{ns}	เนื้อสัมผัส^{ns}	ความรู้สึกในปาก[1]	ความชอบโดยรวม
120	0.4	7.16 ± 0.88	7.00 ± 0.47	5.42^{b} ± 0.84	6.21 ± 0.63	7.11 ± 0.92	5.60^{b} ± 0.97	6.17^{b} ± 0.79
	0.6	7.19 ± 0.88	6.99 ± 0.47	5.29^{b} ± 1.06	6.21 ± 1.03	7.29 ± 0.82	5.25^{b} ± 1.18	6.06^{b} ± 0.74
	0.8	7.08 ± 0.47	7.00 ± 0.67	5.33^{b} ± 0.82	6.30 ± 0.67	7.23 ± 0.67	5.03^{b} ± 1.40	5.86^{b} ± 0.88
130	0.4	6.98 ± 0.67	7.00 ± 0.67	6.25^{a} ± 0.48	6.30 ± 0.67	7.14 ± 0.57	7.05^{a} ± 0.88	7.08^{a} ± 0.42
	0.6	6.86 ± 0.47	7.09 ± 0.57	6.18^{a} ± 0.92	6.29 ± 0.82	7.12 ± 0.74	6.92^{a} ± 0.48	6.92^{a} ± 0.63
	0.8	6.80 ± 0.63	7.10 ± 0.57	6.19^{a} ± 0.79	6.29 ± 0.95	7.38 ± 1.06	6.63^{a} ± 0.84	6.77^{a} ± 0.63
140	0.4	6.64 ± 0.48	7.10 ± 0.57	6.25^{a} ± 0.79	6.40 ± 1.07	6.87 ± 0.92	7.15^{a} ± 0.57	7.12^{a} ± 0.67
	0.6	6.63 ± 0.48	7.11 ± 0.57	6.26^{a} ± 0.63	6.40 ± 0.52	6.74 ± 0.92	6.53^{a} ± 0.63	6.90^{a} ± 0.82
	0.8	6.66 ± 0.52	7.10 ± 0.74	6.23^{a} ± 0.67	6.41 ± 0.52	6.91 ± 1.10	6.83^{a} ± 0.63	6.92^{a} ± 0.42

a, b, หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันตามแนวตั้งเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

1 หมายถึง ความรู้สึกหลังจากการทดสอบตัวอย่าง เช่น ความเป็นแป้งของผลิตภัณฑ์ ซึ่งทำให้ผู้ทดสอบรู้สึกคล้ายกับการรับประทานแป้งดิบ

ตอนที่ 2 ผลการศึกษาปริมาณ Resistant Starch ที่เหมาะสมสำหรับเพิ่มเส้นใยอาหารในขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน

จากการศึกษาผลของปริมาณ Resistant Starch (Hi-maize 260) ต่อค่า L* C* h* และค่าความแข็ง ของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุนดังตารางที่ 4-18 พบว่าเมื่อเติม Resistant Starch ลงในขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบเพิ่มขึ้น ขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบที่ได้มีค่า L* และ h* ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) แต่มีค่าความเข้มของสีลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) อาจเป็นผลเนื่องมาจากโดยปกติแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน ที่นำมาใช้เตรียมขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบมีสีค่อนข้างเหลือง ($b^* = 12.26$) ในขณะที่ Resistant Starch ที่เติมลงไป มีลักษณะเป็นผงละเอียด สีขาว เมื่อเติมลงในผลิตภัณฑ์จึงอาจส่งผลให้ความเข้มของสีผลิตภัณฑ์ลดลงได้ และเมื่อพิจารณาค่าความแข็งของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้ง พรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุนพบว่า เมื่อเติม Resistant Starch ลงในขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบเพิ่มขึ้น ขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบที่ได้มีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เนื่องจาก Resistant Starch จัดเป็นส่วนผสมที่เป็นของแห้งเช่นเดียวกับ แป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน แป้งข้าวเจ้า และแป้งข้าวโพด ซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักในการเตรียมขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบ แต่มีคุณสมบัติที่แตกต่างคือ สามารถทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ในลำไส้เล็ก และมีใยอาหารเป็นองค์ประกอบสูงถึง 60 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นการเติม Resistant Starch ลงในขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบ จึงเป็นการเพิ่มส่วนผสมที่เป็นของแห้งในขณะที่ปริมาณน้ำคงที่ จึงส่งผลให้ขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบมีความแน่น และแข็งเพิ่มขึ้น เมื่อใช้ปริมาณ Resistant Starch ในส่วนผสมเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4-18 ผลของปริมาณ Resistant Starch ต่อค่า L* C* h* และค่าความแข็ง ของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุน

ปริมาณ Resistant Starch (เปอร์เซ็นต์)	ค่าสี			ค่าความแข็ง (นิวตัน)
	L* ns	C*	h* ns	
0	52.49[b] ± 0.72	25.01[a] ± 1.19	75.65 ± 0.83	3.60[b] ± 0.07
5	53.11[ab] ± 0.70	23.57[ab] ± 0.42	75.60 ± 0.70	3.81[b] ± 0.07
10	53.31[ab] ± 1.61	23.20[b] ± 1.15	77.13 ± 0.92	4.10[b] ± 0.37
15	54.67[a] ± 1.05	22.91[b] ± 0.19	77.14 ± 2.41	5.27[a] ± 0.44

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

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

จากการศึกษาผลของปริมาณ Resistant Starch ต่อปริมาณใยอาหารทั้งหมด ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และใยอาหารที่ละลายน้ำ ของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบดังตารางที่ 19 พบว่า เมื่อเติม Resistant Starch ลงในขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบเพิ่มขึ้น ขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบที่ได้มีปริมาณใยอาหารทั้งหมด และใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่มีปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) เนื่องจาก Resistant Starch ที่นำมาใช้ เป็นสตาร์ชที่มีสมบัติเป็น Resistant Starch โดยธรรมชาติ (Native Resistant Starch, RS2) ที่เตรียมจากสตาร์ชข้าวโพด ประกอบด้วยใยอาหารทั้งหมด 60 เปอร์เซ็นต์ โดยเป็นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำสูงถึง 55-60 เปอร์เซ็นต์ (National Starch and Chemical Company, 2010) ดังนั้นเมื่อใช้ปริมาณ Resistant Starch เพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้ขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบที่ได้ มีปริมาณใยอาหารทั้งหมด และใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับรายงานของ Korus et al. (2009) ที่ได้ศึกษาผลของการเติม Resistant Starch จากสตาร์ชข้าวโพดต่อคุณภาพทางกายภาพและทางเคมี ของขนมปังปราศจากกลูเตน (Gluten Free Bread) โดยแปรปริมาณ Resistant Starch 3 ระดับคือ 10 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของแป้งทั้งหมด เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม (ขนมปังปราศจากกลูเตนที่ไม่เติม Resistant Starch) พบว่าเมื่อใช้ปริมาณ Resistant Starch เพิ่มขึ้น ขนมปังจะมีปริมาตรลดลง และมีเนื้อสัมผัสที่แข็งกว่าตัวอย่างควบคุม นอกจากนี้พบว่า ขนมปังที่ได้

มีปริมาณใยอาหารทั้งหมด และใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ เพิ่มขึ้นจากตัวอย่างควบคุม 1.5-1.9 เท่า และ 1.8-2.4 เท่า ตามลำดับ ในขณะที่ปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำ ไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม

ตารางที่ 4-19 ผลของปริมาณ Resistant Starch ต่อปริมาณใยอาหารทั้งหมด ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และใยอาหารที่ละลายน้ำ ของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุน

ปริมาณ Resistant Starch (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณใยอาหาร (เปอร์เซ็นต์)		
	ใยอาหารทั้งหมด	ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ	ใยอาหารที่ละลายน้ำ[ns]
0	$8.39^{d} \pm 0.53$	$7.47^{d} \pm 0.27$	0.92 ± 0.34
5	$11.22^{c} \pm 0.70$	$9.58^{c} \pm 0.15$	1.64 ± 0.69
10	$14.62^{b} \pm 0.39$	$12.90^{b} \pm 0.05$	1.72 ± 0.37
15	$17.11^{a} \pm 0.33$	$15.16^{a} \pm 0.39$	1.76 ± 0.27

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

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

เมื่อนำขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุนที่เติม Resistant Starch ทุกตัวอย่างมาประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสดังตารางที่ 20 พบว่า ขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบทุกตัวอย่างได้คะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส และรสชาติ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) แต่มีคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัส ความรู้สึกในปาก และความชอบโดยรวมลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อเติม Resistant Starch ลงในขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบเพิ่มขึ้น อาจเป็นผลเนื่องมาจาก การเติม Resistant Starch ลงในขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบเพิ่มขึ้น ทำให้ขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบมีเนื้อสัมผัสที่แน่น และแข็งเพิ่มขึ้น อีกทั้ง Resistant Starch ที่เติมลงไป มีสมบัติไม่ละลายน้ำ จึงทำให้ผู้ทดสอบรู้สึกถึงความเป็นแป้งที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้ขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบที่เติม Resistant Starch 0 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของแป้งทั้งหมด ได้คะแนนความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) จึงเลือกขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบที่เติม Resistant Starch 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของแป้งทั้งหมด ซึ่งมีปริมาณใยอาหาร

ทั้งหมดสูงที่สุด มาศึกษาคุณภาพทางกายภาพ และคุณภาพทางเคมี เปรียบเทียบกับขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบทางการค้า A และ B ดังตารางที่ 4-21 และ 4-22 พบว่า ขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุนมีค่า L* และ C* ต่ำกว่าขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบทางการค้า A และ B อย่างไรก็ตาม ขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุนและขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบทางการค้า A และ B มีค่ามุมที่บ่งบอกเฉดสีอยู่ในช่วงใกล้เคียงกันคือ อยู่ในช่วงสีเหลือง และมีค่าความแตกเปราะใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 4-20 ผลของปริมาณ Resistant Starch ต่อคะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส ความรู้สึกในปาก และความชอบโดยรวมของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุน

ปริมาณ Resistant Starch (เปอร์เซ็นต์)	ลักษณะปรากฏ^{ns}	สี^{ns}	กลิ่นรส^{ns}	รสชาติ^{ns}	เนื้อสัมผัส	ความรู้สึกในปาก[1]	ความชอบโดยรวม
0	6.80 ± 0.88	7.00 ± 0.61	6.30 ± 0.58	6.16 ± 0.68	7.14^{a} ± 0.61	6.86^{a} ± 0.50	7.02^{a} ± 0.32
5	6.92 ± 0.88	7.04 ± 0.60	6.40 ± 0.64	6.12 ± 0.77	7.06^{a} ± 0.55	6.72^{a} ± 0.57	6.96^{a} ± 0.53
10	7.00 ± 0.70	7.14 ± 0.57	6.42 ± 0.91	6.08 ± 0.67	6.92^{a} ± 0.49	6.34^{b} ± 0.66	6.84^{a} ± 0.47
15	7.14 ± 1.05	7.18 ± 0.92	6.46 ± 0.61	6.02 ± 0.74	5.78^{b} ± 0.65	5.58^{c} ± 0.84	6.04^{b} ± 0.67

a, b, c หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันตามแนวตั้งเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ns หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

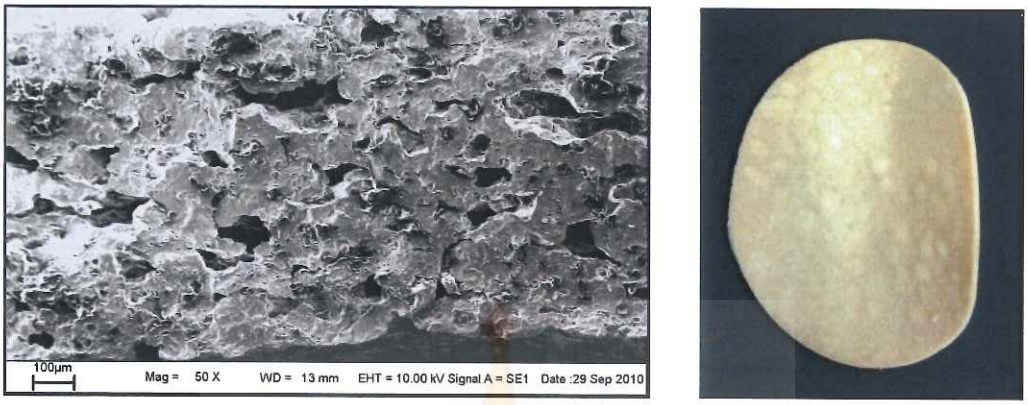
1 หมายถึง ความรู้สึกหลังจากการทดสอบตัวอย่าง เช่น ความเป็นแป้งของผลิตภัณฑ์ ซึ่งทำให้ผู้ทดสอบรู้สึกคล้ายกับการรับประทานแป้งดิบ

ตารางที่ 4-21 คุณภาพทางกายภาพของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุน และขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบทางการค้า A และ B

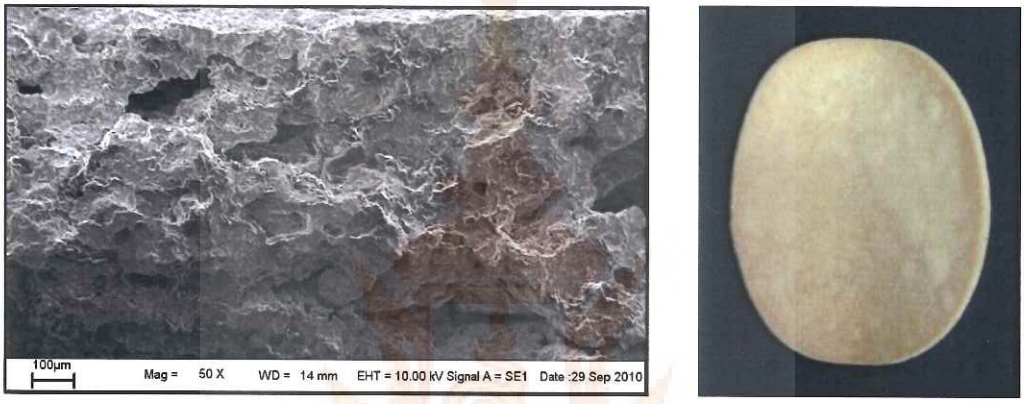
คุณภาพทางกายภาพ	ขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุน	ขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบทางการค้า A	ขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบทางการค้า B
ค่า L*	53.31 ± 1.61	72.74 ± 0.81	71.99 ± 0.51
ค่า C*	23.20 ± 1.15	27.71 ± 1.10	28.25 ± 0.72
ค่า h*	77.13 ± 0.92	85.08 ± 0.53	85.00 ± 0.86
ค่าความแตกเปราะ	4.10 ± 0.37	3.97 ± 0.17	4.08 ± 0.15

จากการนำขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุนที่เตรียมโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่ความเร็วรอบ 0.4 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 120 130 140 องศาเซลเซียส ขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุนที่เติม Resistant Starch 10 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของแป้งทั้งหมด ขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบทางการค้า A และขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบทางการค้า B ไปส่องภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ภาพตัดขวาง (Cross Section) ของผลิตภัณฑ์ ปรากฏผลดังภาพที่ 4-2 ถึง ภาพที่ 4-3 และนำภาพที่ได้มาวิเคราะห์ลักษณะ และขนาดเส้นรอบวงของเซลล์อากาศโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่าย (Image Analysis) ปรากฏผลดังภาพที่ 4-4 ภาพที่ 4-5 และตาราง ภาคผนวก ช-1 พบว่า ขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุนที่เตรียมโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่ความเร็วรอบ 0.4 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส มีเซลล์อากาศขนาดค่อนข้างใหญ่ และมีความสม่ำเสมอมากกว่าเซลล์อากาศของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุนที่เตรียมโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่ความเร็วรอบ 0.4 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 130 และ 140 องศาเซลเซียส ซึ่งมีโครงสร้างค่อนข้างแน่น และขนาดของเซลล์อากาศมีความสม่ำเสมอน้อยลง ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุนที่เตรียมโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่ระดับความเร็วรอบเดียวกัน แต่อุณหภูมิต่างกัน พบว่า ขนมเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุนที่เตรียมโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่อุณหภูมิสูงจะมีค่าความแข็งมากกว่าขนมเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุนที่เตรียมโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่อุณหภูมิต่ำกว่า ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบที่เตรียม

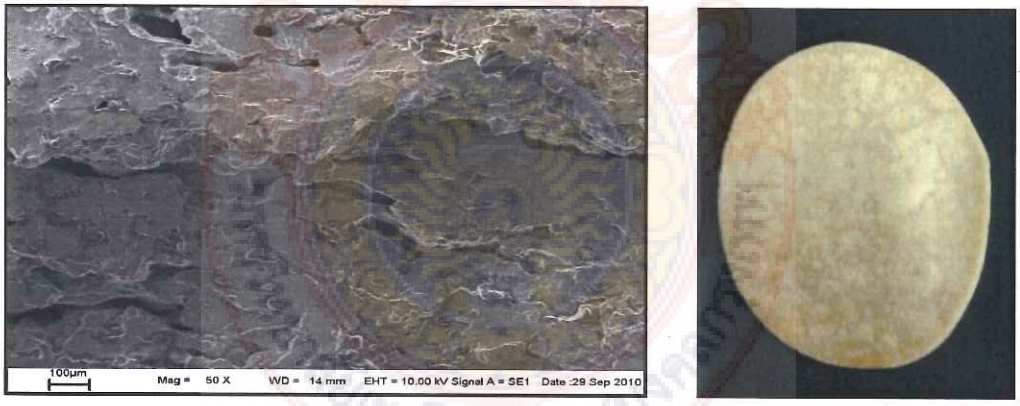
โดยใช้แป้งพรีเจลาทิไนซ์จากภาวะดังกล่าวมีโครงสร้างที่แข็งแรง เพราะแป้งที่ใช้มีอัตราการเกิดเจลาทิไนซ์สูง หรือมีความเป็นเจลสูง เมื่อนำมาเตรียมขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจึงส่งผลให้ขนมขบเคี้ยวที่ได้มีโครงสร้างเป็นเจลที่ยึดเกาะกันแน่น เมื่อนำไปอบที่อุณหภูมิ และระยะเวลาเดียวกันจึงทำให้ขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุนที่เตรียมโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่อุณหภูมิสูงกว่า มีโครงสร้างที่ค่อนข้างแน่น ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะพื้นผิวที่เรียบมากกว่า สอดคล้องกับลักษณะปรากฏดังแสดงในภาพถ่ายของผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้ McDonald et al. (1996) รายงานว่า เมื่อนำผลิตภัณฑ์ที่ทำจากแป้งเป็นส่วนผสมหลัก ไปผ่านการอบในเตาอบที่อุณหภูมิสูง แล้วนำไปส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด จะปรากฏลักษณะของเม็ดสตาร์ช (Starch Granule) มีลักษณะพองขึ้นและเว้าลงตรงกลาง ซึ่งแสดงว่าเม็ดสตาร์ชเกิดการเจลาทิไนซ์ขึ้นหลังจากได้รับความร้อน โดยนอกจากเม็ดสตาร์ชที่เกิดเจลาทิไนซ์จะเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างโดยมีลักษณะเว้าลงตรงกลางและโค้งงอแล้ว ยังมีรูปร่างโป่งพองขึ้นคล้ายฟองอากาศอีกด้วย และเมื่อพิจารณาภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุนที่เติม Resistant Starch 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของแป้งทั้งหมด พบว่า มีโครงสร้างค่อนข้างแน่น และมีเซลล์อากาศขนาดเล็ก เช่นเดียวกับขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบทางการค้า Bในขณะที่ขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบทางการค้า A มีเซลล์อากาศค่อนข้างใหญ่ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสที่พบว่า ขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบทางการค้า A มีค่าความแข็งต่ำกว่า ขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุนที่เติม Resistant Starch 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของแป้งทั้งหมด ซึ่งอาจเป็นผลเนื่องมาจากส่วนประกอบ และกระบวนการผลิตที่แตกต่างกัน



(ก)

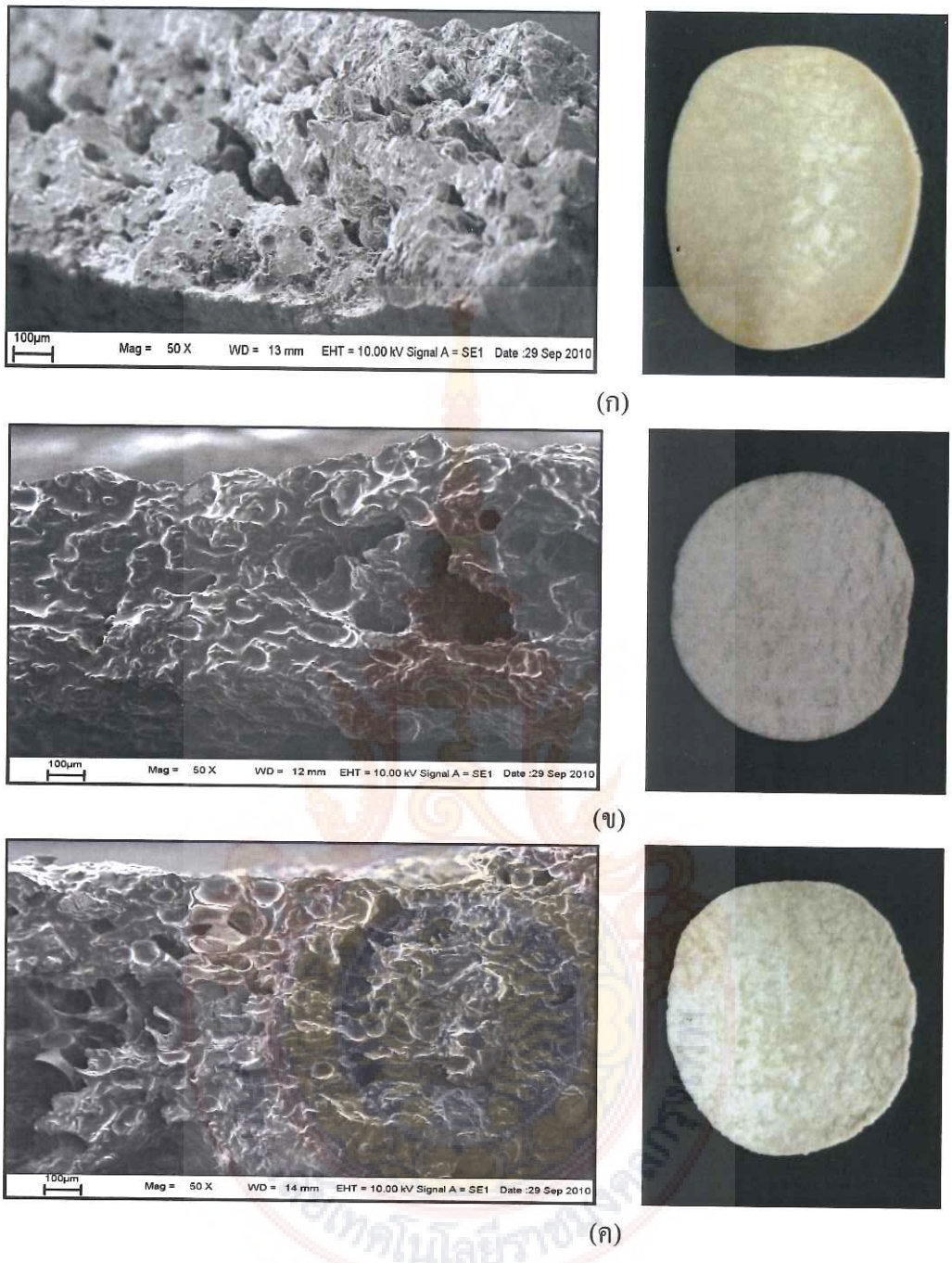


(ข)

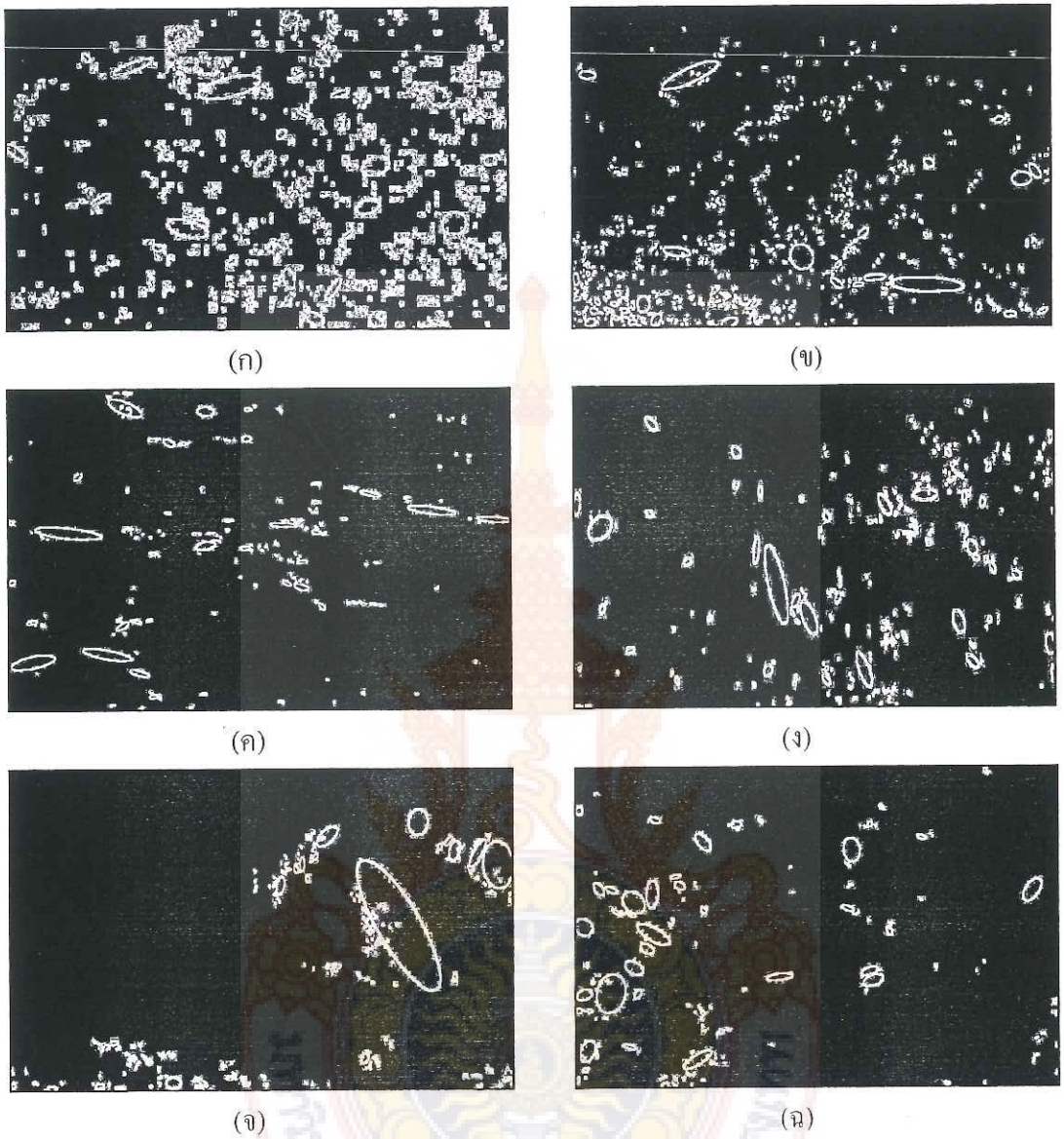


(ค)

ภาพที่ 4-2 ภาพตัดขวาง (Cross Section) จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด กำลังขยาย 50 เท่า และภาพขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุนที่เตรียมโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่ความเร็วรอบ 0.4 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส (ก) 130 องศาเซลเซียส (ข) และ 140 องศาเซลเซียส (ค)



ที่ 4-3 ภาพตัดขวาง (Cross Section) จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด กำลังขยาย 50 เท่า และภาพขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุนที่เตรียมโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่ความเร็วรอบ 0.4 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส และเติม Resistant Starch 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของแป้งทั้งหมด (ก) ขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบทางการค้า A (ข) และ ขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบทางการค้า B (ค)

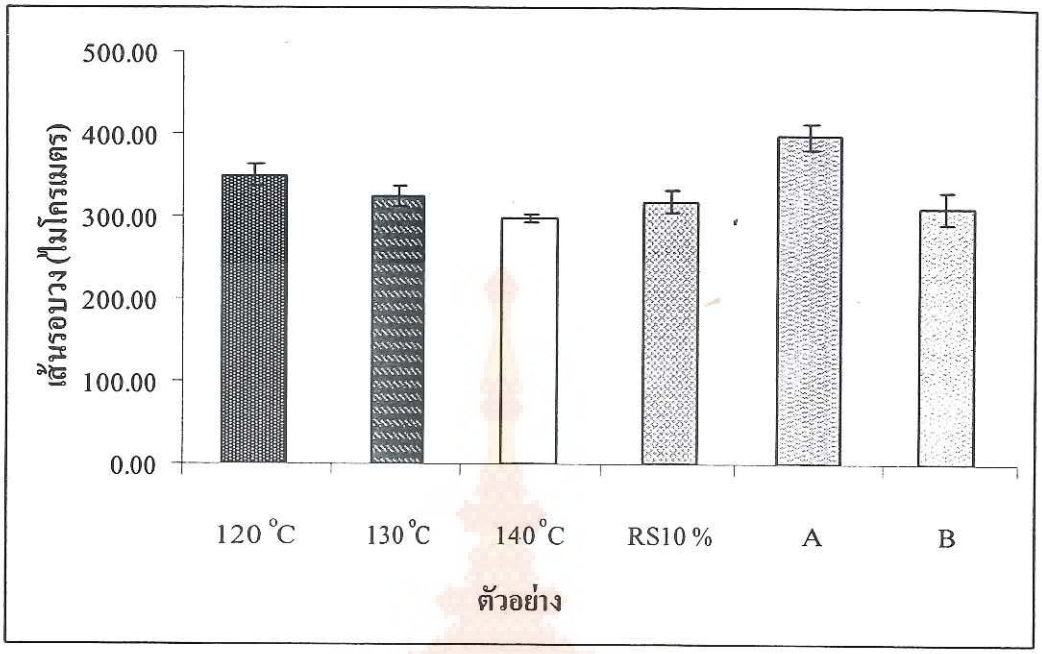


(ก) (ข)

(ค) (ง)

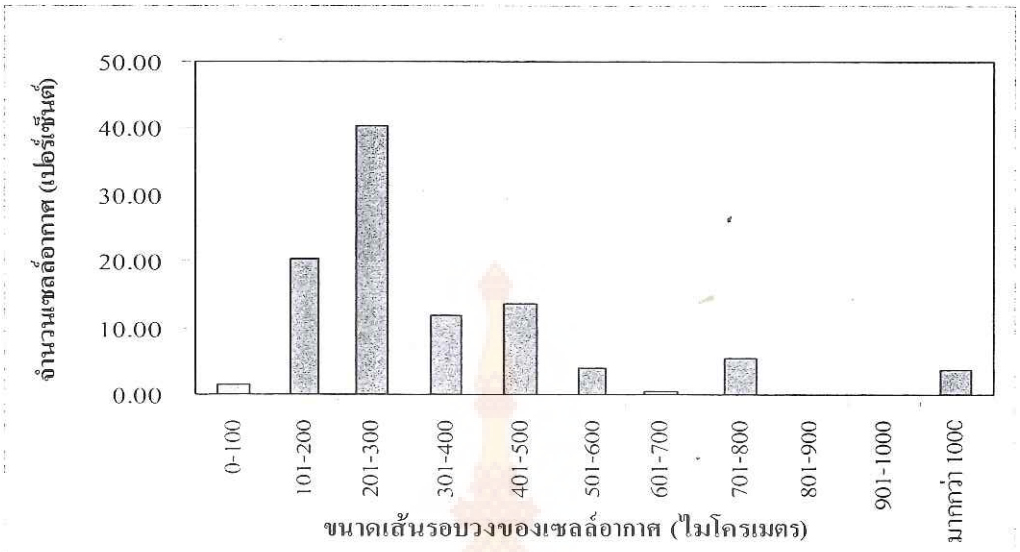
(จ) (ฉ)

ภาพที่ 4-4 ลักษณะเซลล์อากาศของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจล่าทิไนซ์เมล็ดขนุนที่เตรียมโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่ความเร็วรอบ 0.4 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส (ก) 130 องศาเซลเซียส (ข) 140 องศาเซลเซียส (ค) เติม Resistant Starch 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของแป้งทั้งหมด (ง) ขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบทางการค้า A (จ) และขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบทางการค้า B (ฉ)

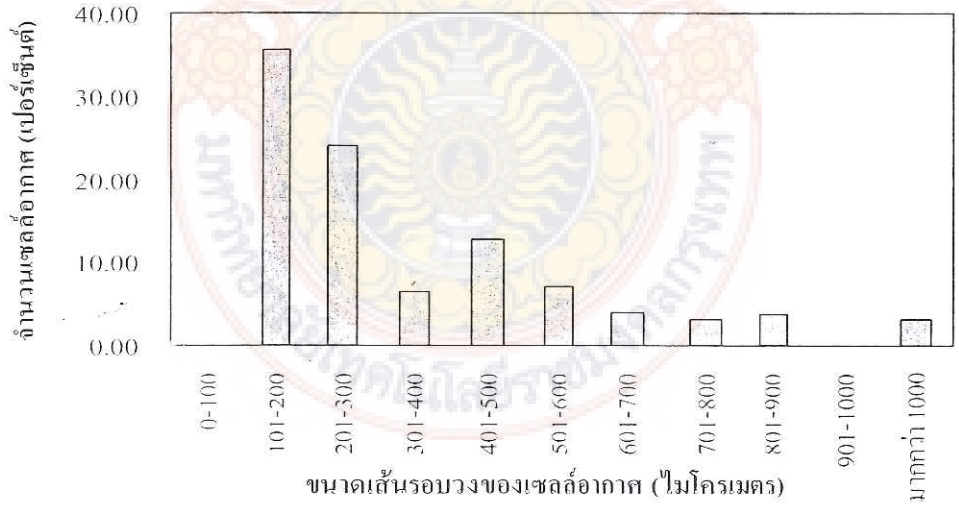


ภาพที่ 4-5 ขนาดเส้นรอบวงของเซลล์อากาศโดยเฉลี่ยของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุนที่เตรียมโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่ความเร็วรอบ 0.4 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 120 130 140 องศาเซลเซียส ขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์ เมล็ดขนุนที่เติม Resistant Starch 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของแป้งทั้งหมด ขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบทางการค้า A และขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบทางการค้า B

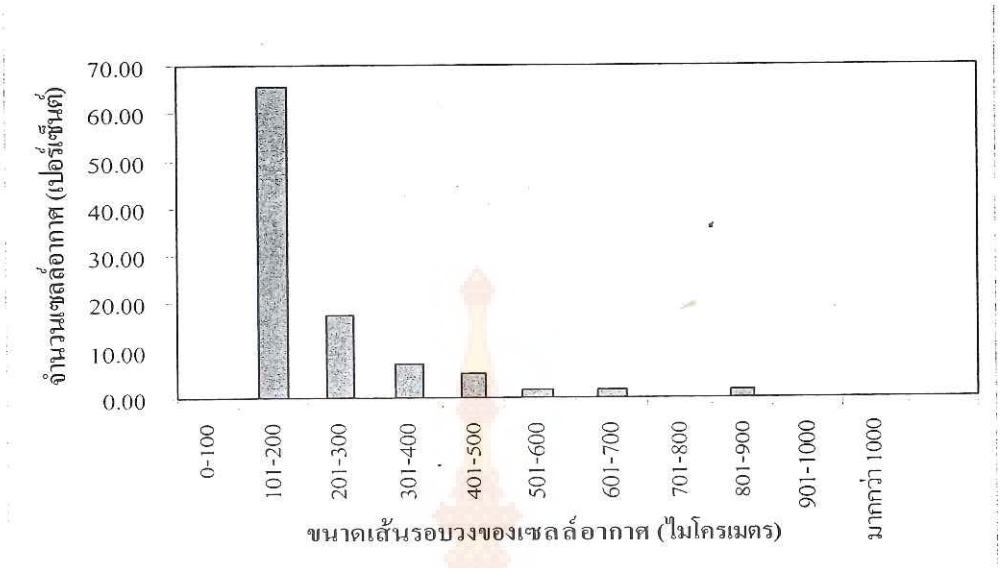
จากผลการวิเคราะห์การกระจายตัวของเซลล์อากาศของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุนที่เตรียมโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่ความเร็วรอบ 0.4 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 120 130 140 องศาเซลเซียส ขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุนที่เติม Resistant Starch 10 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของแป้งทั้งหมด ขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบทางการค้า A และขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบทางการค้า B ดังภาพที่ 4-6 ถึง ภาพที่ 4-11 และตารางภาคผนวก ช-2 พบว่า ขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบทุกตัวอย่างมีขนาดเส้นรอบวงของเซลล์อากาศโดยส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 101-300 โดยขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุนที่เตรียมโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่ความเร็วรอบ 0.4 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 120 และ 130 องศาเซลเซียส รวมถึงขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบทางการค้า A พบเซลล์อากาศที่มีขนาดใหญ่กว่า 1000 ไมโครเมตร 2.86-3.81 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบตัวอย่างอื่น มีเซลล์อากาศขนาดใหญ่ที่สุดไม่เกิน 900 ไมโครเมตร



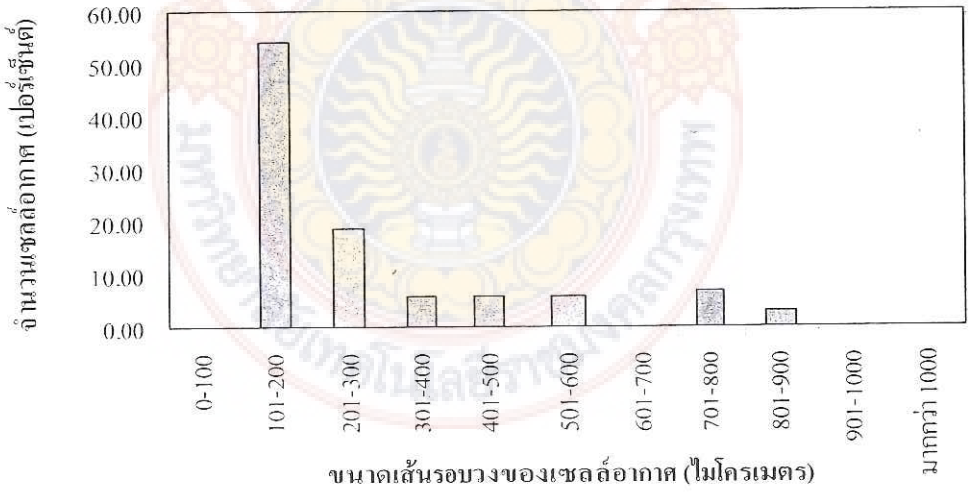
ภาพที่ 4-6 การกระจายตัวของเซลล์อากาศของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุนที่เตรียมโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่ความเร็วรอบ 0.4 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส



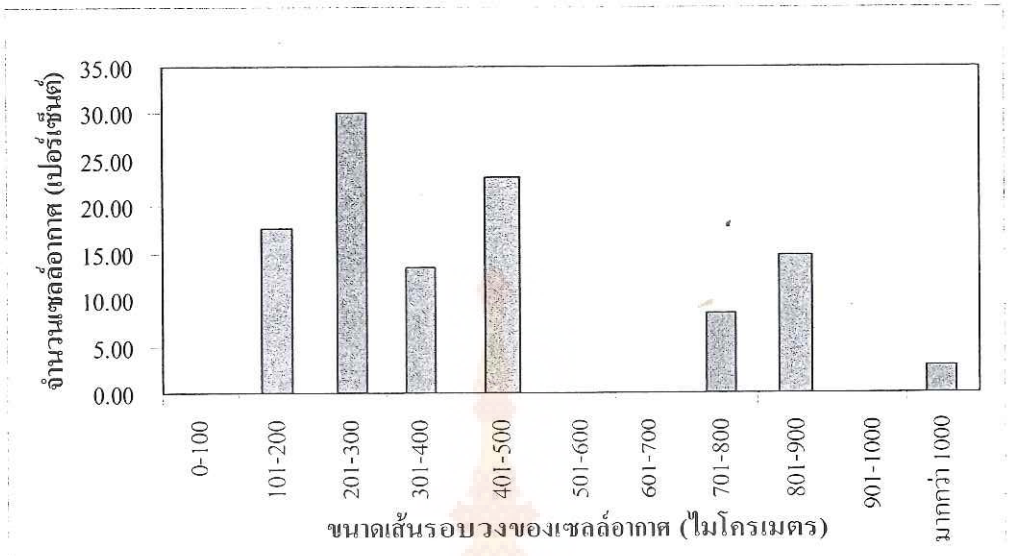
ภาพที่ 4-7 การกระจายตัวของเซลล์อากาศของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุนที่เตรียมโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่ความเร็วรอบ 0.4 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส



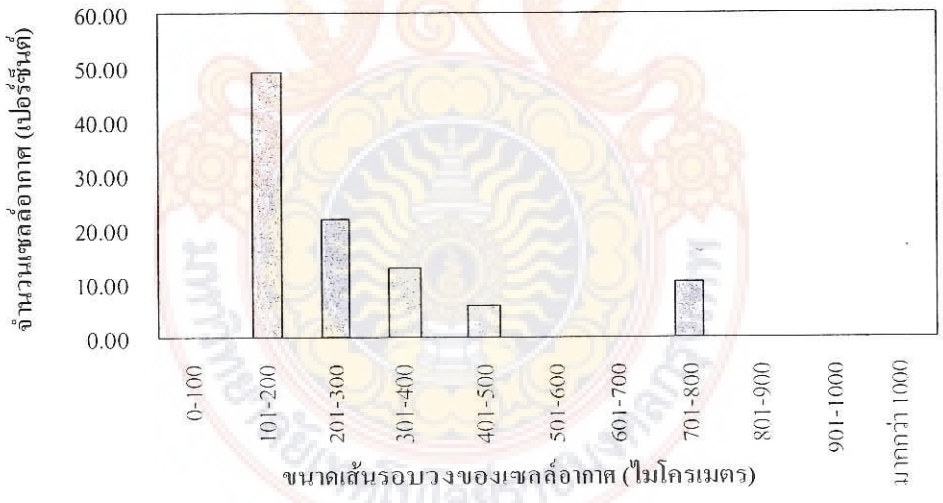
ภาพที่ 4-8 การกระจายตัวของเซลล์อากาศของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุนที่เตรียมโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่ความเร็วรอบ 0.4 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4-9 การกระจายตัวของเซลล์อากาศของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุนที่เติม Resistant Starch 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของแป้งทั้งหมด



ภาพที่ 4-10 การกระจายตัวของเซลล์อากาศของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบทางการค้า A



ภาพที่ 4-11 การกระจายตัวของเซลล์อากาศของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบทางการค้า B

จากการศึกษาคุณภาพทางเคมีของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุน และขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบทางการค้า A และ B ดังตารางที่ 4-22 พบว่า ขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุน และขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบทางการค้า A และ B มีปริมาณความชื้นประมาณ 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง ทั้งนี้ ขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุนมีปริมาณโปรตีนต่ำกว่าขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบทางการค้า A และ B แต่มีปริมาณเถ้า และปริมาณไขมันต่ำกว่า โดยพบว่าขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้ง พรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุนมีปริมาณไขมันต่ำกว่าขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบทางการค้า A และ B 4.6-4.8 เท่า ซึ่งอาจเป็นผลเนื่องมาจาก ส่วนประกอบ และกระบวนการผลิตในขั้นตอนการทำให้ผลิตภัณฑ์สุกใช้วิธีการที่แตกต่างกัน กล่าวคือ ขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบที่เตรียมโดยใช้แป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน ทำให้สุกโดยวิธีการอบ ในขณะที่ขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบทางการค้าทำให้สุกโดยวิธีการทอด จึงส่งผลให้ขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบที่เตรียมโดยใช้แป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนมีปริมาณไขมันต่ำกว่าขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบทางการค้า นอกจากนี้พบว่า ขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุนมีปริมาณใยอาหารทั้งหมด ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และใยอาหารที่ละลายน้ำ สูงกว่าขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบทางการค้า A และ B 3.8-4.3 เท่า 4.4-5.1 เท่า และ 1.8-2.0 เท่า ตามลำดับ ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจาก การเติม Resistant Starch ลงในขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุนในปริมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ของแป้งทั้งหมด

ตารางที่ 4-22 คุณภาพทางเคมีของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุน และขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบทางการค้า A และ B

คุณภาพทางเคมี (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง)	ขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบ จากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุน	ขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบ ทางการค้า A	ขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบ ทางการค้า B
ความชื้น	4.27 ± 0.10	3.76 ± 0.28	3.96 ± 0.08
โปรตีน[1]	5.57 ± 0.34	6.70 ± 0.21	6.03 ± 0.35
ไขมัน	7.53 ± 0.28	34.47 ± 0.19	35.93 ± 0.43
เถ้า	2.34 ± 0.08	2.71 ± 0.21	3.00 ± 0.01
ใยอาหารทั้งหมด	14.62 ± 0.39	3.87 ± 0.22	3.38 ± 0.28
ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ	12.90 ± 0.05	2.93 ± 0.07	2.53 ± 0.17
ใยอาหารที่ละลายน้ำ	1.72 ± 0.37	0.94 ± 0.26	0.85 ± 0.14

หมายเหตุ [1] หมายถึง Conversion Factor = 5.70

บรรณานุกรม

กนกวรรณ สิทธิ์ธนังกูล, ศศิทิพย์ พงษ์รูป และสิโนพาร ธนิตานนท์. (2542). *การใช้แป้งจากเมล็ดขนุนเพื่อทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์คุกกี้*. ปัญหาพิเศษปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

กรทิพย์ จิตติธรรมจริยา. (2549). *การพัฒนากรรมวิธีการผลิตและการทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน*. ปัญหาพิเศษปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

กรมส่งเสริมการเกษตร. (2546). *ขนุน พืชเศรษฐกิจที่สำคัญ*. วันที่ค้นข้อมูล 20 ตุลาคม 2549, เข้าถึงได้จาก http://www.doae.go.th/plant/kanun.htm.

กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม ส่วนอุตสาหกรรมเกษตร. (2546). *แป้งจากเมล็ดขนุน*. วันที่ค้นข้อมูล 22 ตุลาคม 2549. เข้าถึงได้จาก http://bisd.dip.go.th/agro/HTML/menu/Jackfruit%20012.asp.

กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม. (2550). *Crispy vegetable / fruit chips*. วันที่ค้นข้อมูล 15 ธันวาคม 2550, เข้าถึงได้จาก http://intranet.dip.go.th/boc/download/Pattern_Investment/agricultural/Chip.pdf

กรมอนามัย. (2547). *คุณค่าทางโภชนาการต่อส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม ของผลไม้เปลือกแข็ง พืชเมล็ด ถั่วเมล็ดแห้ง และผลิตภัณฑ์*. วันที่ค้นข้อมูล 14 ตุลาคม 2549, เข้าถึงได้จาก http://nutrition.anamai.moph.go.th/FoodTable/Html/gr_03.html

กระยาทิพย์ เรือนใจ. (2534). *ผลไม้ คุณค่านานาเพื่อสุขภาพ*. กรุงเทพฯ: ต้นธรรม.

กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. (2546). *เทคโนโลยีของแป้ง* (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กัลยา วานิชย์บัญชา. (2548). *การใช้ SPSS for Windows ในการวิเคราะห์ข้อมูล* (พิมพ์ครั้งที่ 7). กรุงเทพฯ: ธรรมสาร.

ขนิษฐา ธนานุวงศ์ และประภา ทรงจินดา. (2539). *การศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของแป้งเมล็ดขนุน*. ปัญหาพิเศษปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต, สาขาเทคโนโลยีทางอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. อ้างถึงใน พิทักษ์ ไชยแสง. (2547). *การทดแทนเซโมลินาด้วยแป้งเมล็ดขนุนในผลิตภัณฑ์พาสต้า*. ปัญหาพิเศษปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต, สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

จิตธนา แจ่มเมฆ และอรอนงค์ นัยวิกุล. (2539). *เบเกอรีเทคโนโลยีเบื้องต้น*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เตโชดม ภัทรศัย. (2543). *ผลไม้สมุนไพรไทย*. กรุงเทพฯ: พิมพ์สวย.

นิธิยา รัตนาปนนท์. (2539). *เคมีอาหาร*. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. คณะอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

_____. (2543). *ผลของกระบวนการแปรรูปต่ออาหารและสารอาหาร*. ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

เนตรนภิส วัฒนสุชาติ. (2548). สตาร์ชเพื่อสุขภาพ. *อาหาร*. *35*(4), 241-246.

ปราณี อ่านเปรื่อง. (2547). *หลักการวิเคราะห์อาหารด้วยประสาทสัมผัส*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พรรณี วงศ์ไกรศรีทอง. (2530). *การผลิตข้าวเกรียบปลาโดยใช้เครื่องรีดแผ่น*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พิทักษ์ ไชยแสง. (2547). *การทดแทนเซโมลินาด้วยแป้งเมล็ดขนุนในผลิตภัณฑ์พาสต้า*. ปัญหาพิเศษปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต. ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยบูรพา.

เพ็ญขวัญ ชมปรีดา. (2536). *การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส*. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ไพโรจน์ วิริยจารี. (2539). *การวางแผนและการวิเคราะห์ทางด้านประสาทสัมผัส*. ภาควิชาเทคโนโลยีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

รุ่งฤดี สกุลณา. (2547). *การใช้แป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุนทดแทนแป้งสาลีในขนมปังแซนด์วิช*. ปัญหาพิเศษปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต. ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร. คณะเทคโนโลยีการเกษตร. มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์.

วรรณา ตุลยธัญ. (2549). *เคมีอาหารของคาร์โบไฮเดรต*. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วลัยลักษณ์ เปรมอ่อน. (2549). *การพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบเพื่อสุขภาพจากแป้งเมล็ดขนุน*. ปัญหาพิเศษปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต. ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

วิไล รังสาดทอง. (2546). *เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร*. กรุงเทพฯ: เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชัน.

ศักดิ์ บวร. (2541). *วิตามินและแร่ธาตุอาหาร:คำถามที่ต้องการคำตอบ*. นนทบุรี: เอดิสัน เพรส โพรดักส์.

ศิวาพร ศิวเวชช. (2535). *วัตถุเจือปนในผลิตภัณฑ์อาหาร*. นครปฐม: ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ.

ศิริพร ฉันท์สำราญ. (2542). *การผลิตแป้งเมล็ดขนุนเพื่อทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์คุกกี้*. ปัญหาพิเศษปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

ศิริพร ผ่องใส. (2544). *การทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมล็ดขนุนในเปลือกพาย*. ปัญหาพิเศษปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.(2542). *การใช้ประโยชน์ทุเรียนดิบบดแห้งที่ทำจากทุเรียนดิบพันธุ์หมอนทอง*. กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.

สายสนม ประดิษฐดวง. (2534). การปรับปรุงคุณสมบัติของแป้งดิบ. *วารสารเกษตรศาสตร์ (วทย.), 25*, 318-325.

_____. (2541) อาหารป้องกันโรค : Resistant Starches. *อุตสาหกรรมเกษตร, 9*(3), 33-35

สิรินภา เจาะเส็น, รัตนมน อภิวงศ์, สุกัญญา หอมนาน และสุธยา พิมพ์พิไล. (2551). *การพัฒนากระบวนการผลิตข้าวโพดผงพรีเจลาทิไนซ์*. วันที่ค้นข้อมูล 20 สิงหาคม 2553, เข้าถึงได้จาก http://www.irpus.or.th/project_file/2551/F015_I251D10005.pdf.

สุนิสา สุทธิวงศ์. (2547). *การใช้แป้งพรีเจลาติไนซ์เมล็ดขนุนทดแทนแป้งสาลีในเค้กม้วน*. วันที่ค้นข้อมูล 2 ตุลาคม 2549, เข้าถึงได้จาก. http://dcms.thailis.or.th/dcms/browse.php?option=show&institute_code=36&bib=67

อภิญญา เจริญกูล. (2541). อาหารขบเคี้ยว. *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยหอการค้าไทย, 18*(2), 96-100.

อมรรัตน์ มุขประเสริฐ และกมลทิพย์ สัจจากนันตกุล. (2546). ปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดแป้งจากเมล็ดขนุน. ใน *การประชุมวิชาการอุตสาหกรรมเกษตร ครั้งที่ 5*. กรุงเทพฯ.

_____. (2546). สมบัติทางกายภาพและเคมีของสตาร์ชจากเมล็ดขนุน. ใน *การประชุมวิชาการอุตสาหกรรมเกษตร ครั้งที่ 5*. กรุงเทพฯ.

อรอุมา คงเกลี้ยง และอุมากร พิมพ์โพธิ์. (2544). *แป้งจากเมล็ดขนุน*. ปัญหาพิเศษปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร, คณะเกษตรศาสตร์ บางพระ, สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล.

Addesso, K., Dzurenko, T. E., Moisey, M. J., Levine, H., Slade, L., Manns, J. M., Fazzolare, R. D., Levolella, J., & Wang, M. J. (1995). Production of chip-like starch based snacks. *United States Patent No. 5429834.*

American Association of Cereal Chemist. (AACC). (1990). *Approved Methods of the American Association of Cereal Chemist.* Minnesota: American Association of Cereal Chemist.

Anderson, R. A., Conway, H. F., Pfeifer, V. F., & Griffin, E. L. (1969). Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. *Cereal Science Today, 14*, 4-12.

Association of Official Analytical Chemists. (AOAC). (1990). *Official Methods of Analysis* (15th ed.). Arlington: Association of Official Analytical Chemists.

Beverly, D. J., Villagran, M. D. M., & Williamson, L. (2001). Potato-based dough composition and chips made therefrom. *United States Patent No. 6177116*

Birch, G. G., & Priestley, R. J. (1973). Degree of gelatinization of cooked rice. *Die Starke, 25*(3), 98-101.

Blenford, D. E. (1982). What is snack food, flavourings, ingredients, processing and packagings?. *Packaging, 11*, 30-37.

Charles, F. (1969). Extruded starch-based snack. *Cereal Science Today, 14*, 212-214.

Dogan, I.S. (2006). Effect of oven types on the characteristics of biscuits made from refrigerated and Frozen doughs. *Food Technology and Biotechnolgy, 44*(1), 117-122.

Duran, M., Pedreschi, F., Moyano, P., & Troncoso, E. (2007). Oil partition in pre-treated potato slices during frying and cooling. *Journal of Food Engineering, 81*, 257–265.

Fazzolare, R. D., Szwerc, J. A., & McFeaters, R. R. (1997). Baked potato-based chip-like snack foods and method of preparing. *United States Patent No. 5690982.*

Gage, D. R., Loadge, R. W., Cammarn, S. R., & Wong, V.Y. (1992). Process for making extrusion cooked snack chips. *United States Patent No. 5147675.*

Garayo, J., & Moreira, R. (2002). Vacuum frying of potato chips. *Journal of Food Engineering, 55*, 181–191.

อรอุมา คงเกลี้ยง และอุมากร พิมพ์โพธิ์. (2544). *แป้งจากเมล็ดขนุน*. ปัญหาพิเศษปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร, คณะเกษตรศาสตร์ บางพระ, สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล.

Addesso, K., Dzurenko, T. E., Moisey, M. J., Levine, H., Slade, L., Manns, J. M., Fazzolare, R. D., Levolella, J., & Wang, M. J. (1995). Production of chip-like starch based snacks. *United States Patent No. 5429834.*

American Association of Cereal Chemist. (AACC). (1990). *Approved Methods of the American Association of Cereal Chemist.* Minnesota: American Association of Cereal Chemist.

Anderson, R. A., Conway, H. F., Pfeifer, V. F., & Griffin, E. L. (1969). Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. *Cereal Science Today, 14*, 4-12.

Association of Official Analytical Chemists. (AOAC). (1990). *Official Methods of Analysis* (15th ed.). Arlington: Association of Official Analytical Chemists.

Beverly, D. J., Villagran, M. D. M., & Williamson, L. (2001). Potato-based dough composition and chips made therefrom. *United States Patent No. 6177116*

Birch, G. G., & Priestley, R. J. (1973). Degree of gelatinization of cooked rice. *Die Starke, 25*(3), 98-101.

Blenford, D. E. (1982). What is snack food, flavourings, ingredients, processing and packagings?. *Packaging, 11*, 30-37.

Charles, F. (1969). Extruded starch-based snack. *Cereal Science Today, 14*, 212-214.

Dogan, I.S. (2006). Effect of oven types on the characteristics of biscuits made from refrigerated and Frozen doughs. *Food Technology and Biotechnolgy, 44*(1), 117-122.

Duran, M., Pedreschi, F., Moyano, P., & Troncoso, E. (2007). Oil partition in pre-treated potato slices during frying and cooling. *Journal of Food Engineering, 81*, 257–265.

Fazzolare, R. D., Szwerc, J. A., & McFeaters, R. R. (1997). Baked potato-based chip-like snack foods and method of preparing. *United States Patent No. 5690982.*

Gage, D. R., Loadge, R. W., Cammarn, S. R., & Wong, V.Y. (1992). Process for making extrusion cooked snack chips. *United States Patent No. 5147675.*

Garayo, J., & Moreira, R. (2002). Vacuum frying of potato chips. *Journal of Food Engineering, 55*, 181–191.

Hsu, 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.

Jamradloedluk, J., Nathakaranakule, A., Soponronnarit, S., & Prachayawarakorn, S. (2007). Influences of drying medium and temperature on drying kinetics and quality attributes of durian chip. *Journal of Food Engineering, 78,* 198–205.

Kayacier, A., & Singh, R. K., (2003). Textural properties of baked tortilla chips. *LWT-Food Science and Technology, 36*, 463-466.

_____. (2004). Application of effective diffusivity approach for the moisture content prediction of tortilla chips during baking. *LWT-Food Science and Technology, 37*, 275-281

Kerr, W. R., Ward, C. D. W., McWatters, K. H., & Resurreccion, A.V.A. (2001). Milling and particle size of cowpea flour and snack chip quality. *Food Research International, 34*, 39-45

Korus, J., Witczak, M., Ziobro, R. and Juszczak, L. (2009). The impact of resistant starch on characteristics of gluten-free dough and bread. *Food Hydrocolloids, 23*, 988-995.

Kumar, S., Singh, A.B., Abidi, A.B., Upadhyay, R.G., & Singh, A. (1988). Proximate composition of jack fruit seeds. *Journal of Food Science and Technology, 25*, 308-309.

Laguna, N., Salvador, A., Sanz, T., & Fiszman, S. M. (2008). Performance of a resistant starch rich ingredient in the baking and eating quality of short-dough biscuits. *LWT-Food Science and Technology*. Article in press. 1-10.

McDonald, C. M., Seetharaman, K., Waniska, R. D., & Rooney, L. W. (1996). Microstructure changes in wheat flour tortillas during baking. *Journal of Food Science, 61*, 995-999.

Moriki, K., Tanaka, K., & Moriya, S. (2000). Formed chips and method of production thereof. *United States Patent No.6117466*

Morton, F. J. (1987). *Fruits of warm climates*. Miami: FL.

National Starch and Chemical Company. (2010). *Recipes using resistant starch*. Retrieved June 27, 2010, from http://www.resistantstarch.com/ResistantStarch Resources/ Recipes+using+Resistant+Starch/.

Pardo, S. E. M., Moreno, O. A., Escobedo, M. R., Perez, C. J. J., & Mondragon, N. H. (2008). Comparison of crumb microstructure from pound cakes baked in a microwave or conventional oven. *LWT-Food Science and Technology, 41*, 620-627.

Pedreschi, F., Moyano, P., Kaack, K., & Granby, K. (2005). Color changes and acrylamide formation in fried potato slices. *Food Research International, 38,* 1–9.

Pedreschi, F., Leon, J., Mery, D., Moyano, P., Pedreschi, R., Kaack, K., & Granby, K. (2007). Color development and acrylamide content of pre-dried potato chips. *Journal of Food Engineering, 79,* 786–793.

Rahman, M. A., Nahar, N., Mian, A. J., & Mosihuzzaman, M. (1999). Variation of carbohydrate composition of two forms of fruit from jack tree (*Artocarpus heterophyllus* L.) with maturity and climatic conditions. *Food Chemistry, 65*, 91-97.

Ranhotra, G. S., Lee, C., & Gelroth, J. A. (1980). Nutritional characteristics of high protein cookies. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 228*, 507-509.

Rani, M., & Chauhan, G. S. (1995). Effect of intermittent frying and frying medium on the quality of potato chips. *Food Chemistry, 54* (4), 365-368.

Reilly, A., & Man, C. M. D. (1989). Potato crisps and savoury snacks. In Man, C.M.D., & Jones, A.A. (Eds.). *Shelf Life Evaluation of Foods*. Glasgow: Chapman & Hall. อ้างถึงใน รองรัตน์ รัตนาธรรมวัฒน์. (2546). *การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งเผือก*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Sanz, T., Salvador, A., & Fiszman, S. M. (2008). Resistant starch (RS) in battered fried products : Functionality and high-fibre benefit. *Food Hydrocolloids, 22*, 543-549.

Singh, A., Kumar, S., & Singh, I. S. (1991). Functional properties of jackfruit seed flour. *LWT-Food Science and Technology, 24*(4), 373-374.

The British Nutrition Foundation. (2005). Health properties of resistant starch. *Nutrition Bulletin, 30*(1), 27-54.

Troncoso, E., Pedreschi, F., & Zuniga, R. N. (2009). Comparative study of physical and sensory properties of pre-treated potato slices during vacuum and atmospheric frying. *LWT-Food Science and Technology, 42*, 187-195.

Tulyathan, V., Tananuwong, K., Songjinda, P., & Jaiboon, N. (2002). Some physicochemical properties of Jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam) seed flour and starch. *Science Asia*, *28*, 37-41.

Vallous, N. A., Gavrielidou, M. A., Karapantsios, T. D., & Kostoglou, M. (2002). Perfomance of a double drum dryer for producing pregelatinized maize starches. *Journal of Food Engineering, 51,* 171–183.

Villagran, M. D. M., Li, J., Yang, D. K., Chang, D. S., & Evans, J. F. (2004). Fabricated potato chips. *United States Patent No. 6703065*.

Vinas, P., Lopez, E. C., Balsalobre, N., & Cordoba, M. S. (2003). Reversed-phase liquid chromatography on an amide stationary phase for the determination of the B group vitamins in baby foods. *Journal of Chromatography A*, *1007*, 77-84.

Volpe, T., Gallagan, L. A., Haynes, L., Mihalos, M. N., Scher, L., Clark, H., Daines, P., Wiggins, C., Zabrodsky, J., & Shute, M. R. (1999). Continuous microwave assisted baking process. *United States Patent No. 5945022*.

Yadav, A. R., Guha, M., Tharanathan, R. N., & Ramteke, R. S. (2006). Changes in characteristics of sweet potato flour prepared by different drying techniques. *LWT-Food Science and Technology*, *39*, 20-26.

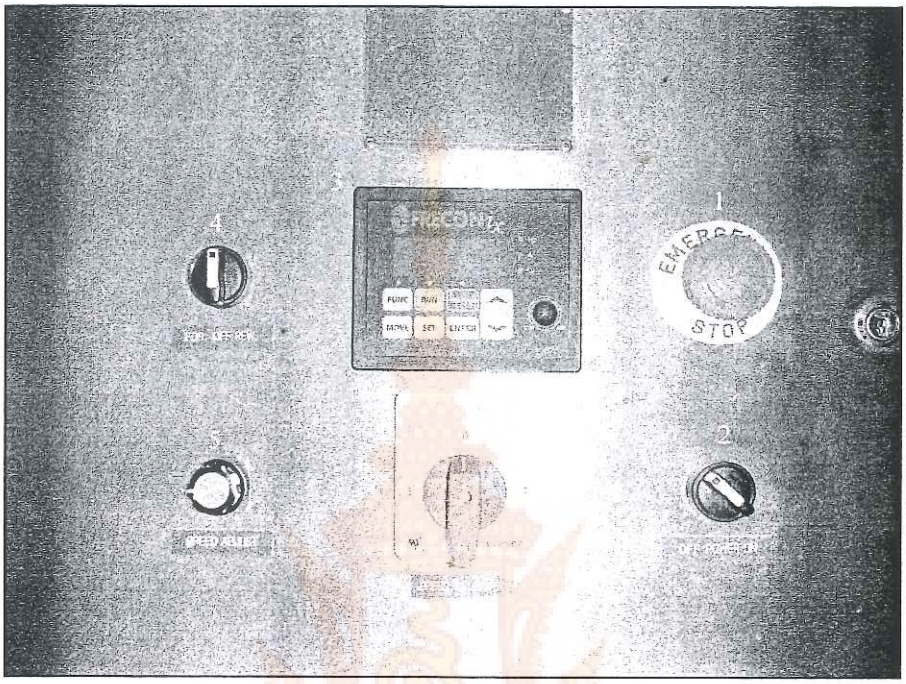
Zaragoza, E. F., Navarrete, M. J. R., Zapata, E. S., Alvarez, J. A. P. (2010). Resistant starch as Functional ingredient : A review. *Food Research International*, *43*, 931-942.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

วิธีการใช้งานเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่

วิธีการใช้งานเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่



ภาพภาคผนวก ก-1 รายละเอียดชุดควบคุมการทำงานของเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่

1. เปิด Main Breaker ที่ผนังห้อง เสียบปลั๊กไฟของเครื่องผลิตไอน้ำเข้ากับระบบไฟฟ้าของอาคารที่ติดตั้งเครื่อง
2. เปิดวาล์วน้ำให้น้ำไหลเข้าเครื่องผลิตไอน้ำจนถึงระดับที่เครื่องกำหนดไว้
3. หมุนสวิตซ์ควบคุมการทำงานของเครื่องผลิตไอน้ำไปที่ ON จากนั้นเปิดสสวิตซ์การทำงานของปั๊ม และฮีตเตอร์ที่อยู่ด้านซ้ายมือ สัญญาณไฟติดแสดงถึงสถานะการทำงาน
4. เสียบปลั๊กไฟของเครื่องทำแห้งเข้ากับระบบไฟฟ้าของอาคารที่ติดตั้งเครื่อง
5. เปิด Main Breaker ภายในตู้ควบคุมไฟของเครื่องทำแห้ง
6. ตรวจสอบแผ่นประกบลูกกลิ้งให้แนบชิดกับตัวลูกกลิ้ง โดยปรับมือปรับทุกครั้งก่อนเริ่มต้นเปิดเครื่อง หากละเลยขั้นตอนนี้ แผ่นลูกกลิ้งจะไปกระทบกับเทอร์โมมิเตอร์ ทำให้แกนของเทอร์โมมิเตอร์เสียหายได้
7. เปิดวาล์วไอน้ำด้านหลังเครื่องทำแห้ง (ต้องระบายน้ำในท่อไอน้ำทิ้งก่อนเสมอ) เพื่อเปิดไอน้ำเข้าภายในตัวลูกกลิ้ง
8. เปิดวาล์วแยกไอน้ำเข้าลูกกลิ้งแต่ละตัว

9. เปิดสวิตซ์ Power ไปในตำแหน่ง ON (2) และเปิดสวิตซ์ให้ลูกกลิ้งหมุนเข้าหากัน (4) โดยหมุนสวิตซ์ไปทางซ้าย เพื่อปรับตั้งอุณหภูมิภายในลูกกลิ้งให้สม่ำเสมอเท่ากันทั้งสองลูก
10. หมุนปุ่มควบคุมความเร็วเพื่อปรับความเร็วของลูกกลิ้งตามต้องการ (5) หรือเลือกความเร็วตามที่เครื่องกำหนดไว้แล้วโดยหมุนปุ่ม Speed Adjust (6)
11. เมื่ออุณหภูมิภายในลูกกลิ้งทั้งสองลูกสม่ำเสมอแล้ว ให้นำอาหารใส่ระหว่างลูกกลิ้ง
12. ปรับใบมีดให้แนบชิดกับลูกกลิ้ง เพื่อขูดเอาผลิตภัณฑ์ออกมาจากผิวลูกกลิ้ง หากการปรับด้วยมือแล้วใบมีดยังไม่สามารถขูดผลิตภัณฑ์ออกได้หมด ให้ปรับสกรูบนใบมีดเพิ่มเติม
13. หากเครื่องมีปัญหาขณะทำงานให้หยุดการทำงานของเครื่องโดยกดปุ่ม Emergency Switch (1) ทำการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น แล้วเริ่มการทำงานของเครื่องใหม่อีกครั้ง
14. เมื่อใช้เครื่องเสร็จแล้ว ทำความสะอาดโดยใช้น้ำแป้งมาใส่ระหว่างระหว่างลูกกลิ้ง เพื่อให้ใบมีดขูดคราบสกปรกต่าง ๆให้หลุดมาพร้อมแป้ง จากนั้นใช้ผ้าชุบน้ำเช็ดให้สะอาด และบันทึกการใช้เครื่องทุกครั้ง

ภาคผนวก ข

วิธีวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของแป้งเมล็ดขนุน

วิธีวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของแป้งเมล็ดขนุน

1. ดัชนีการละลายน้ำ (Water Solubility Index) และดัชนีการดูดซับน้ำ (Water Absorption Index) (Anderson et al., 1969)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. หลอดหมุนเหวี่ยงพร้อมฝาปิด (Centrifuge Tubes) ขนาด 50 มิลลิลิตร
2. เครื่องหมุนเหวี่ยงชนิดตั้งโต๊ะ (Centrifuge) Hermle รุ่น Z323K ประเทศเยอรมนี
3. ตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven) Memmert รุ่น ULE 600 ประเทศเยอรมนี
4. โถดูดความชื้น (Desiccator)
5. แท่งแก้ว

ขั้นตอนการวิเคราะห์

ชั่งตัวอย่างแป้ง 2.5 กรัม ใส่ลงในหลอดหมุนเหวี่ยง (Centrifuge Tubes) ที่มีฝาและทราบน้ำหนักแน่นอน เติมน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันโดยคนด้วยแท่งแก้ว ใช้แท่งแก้วคนทุก ๆ 5 นาที เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำแท่งแก้วออกพร้อมกับล้างส่วนที่ติดมากับแท่งแก้วลงในหลอดหมุนเหวี่ยง โดยใช้น้ำกลั่น 5 มิลลิลิตร นำไปเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยงที่ 2200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที เทส่วนใสลงในถ้วยอะลูมิเนียมที่ทราบน้ำหนัก นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสจนได้น้ำหนักคงที่ แล้วชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณดัชนีการละลายน้ำ สำหรับหลอดหมุนเหวี่ยงพร้อมส่วนที่เหลือในหลอดไปนำชั่งน้ำหนัก เพื่อคำนวณดัชนีการดูดซับน้ำ

ดัชนีการละลายน้ำ (เปอร์เซ็นต์) = $(W_1 / W_0) \times 100$

ดัชนีการดูดซับน้ำ (กรัมต่อกรัม) = $(W_3 - W_2) / W_0$

โดยที่ W_0 = น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)

W_1 = น้ำหนักตัวอย่างส่วนที่ละลายน้ำ (กรัม)

W_2 = น้ำหนักหลอดหมุนเหวี่ยง (กรัม)

W_3 = น้ำหนักหลอดหมุนเหวี่ยงพร้อมตะกอน (กรัม)

2. อัตราการเกิดเจลาทิไนซ์ (Birch & Priestley, 1973)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. หม้อนึ่งความดันไอ (Autoclave)
2. ตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven) Memmert รุ่น ULE 600 ประเทศเยอรมนี
3. เครื่องหมุนเหวี่ยงชนิดตั้งโต๊ะ (Centrifuge) รุ่น Z323K ประเทศเยอรมนี
4. ขวดปรับปริมาตรขนาด 10 และ 100 มิลลิลิตร
5. เครื่องบดละเอียด (Ultracentrifugal Mill) Retsch ultra รุ่น ZM 1000 ประเทศเยอรมนี
6. เครื่องร่อน (Sieving Machine) Retch Mule รุ่น VE 1000 ประเทศเยอรมนี
7. ตะแกรงร่อนขนาด 200 เมช
8. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) Spectronic รุ่น Genesys 5 ประเทศสหรัฐอเมริกา
9. คิวเวตต์ชนิดควอทซ์ ขนาดช่องแสงผ่าน 10 มิลลิเมตร

สารเคมี

1. โพแทสเซียมไอโอไดด์ (Potassium Iodide) บริษัท APS Finechem ประเทศออสเตรเลีย
2. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide) บริษัท Merck ประเทศเยอรมนี
3. กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric Acid) บริษัท Labscan Asia ประเทศไทย
4. ไอโอดีน (Iodine) บริษัท Labscan Asia ประเทศไทย

ขั้นตอนการวิเคราะห์

วิเคราะห์อัตราการเกิดเจลาทิไนซ์โดยนำแป้งเมล็ดขนุนมาเติมน้ำในอัตราส่วน 1 : 2 นำเข้าหม้อนึ่งความดันไอ (Autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำให้แห้งด้วยการเกลี่ยแป้งเมล็ดขนุนใส่ถาดแล้วนำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 58 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง บดแป้งเมล็ดขนุนที่ได้ด้วยเครื่องบดละเอียดแล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 200 เมช จะได้แป้งเมล็ดขนุนที่มีอัตราการเกิดเจลาทิไนซ์ 100 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นนำไปผสมกับแป้งดิบ (แป้งเมล็ดขนุนที่มีอัตราการเกิดเจลาทิไนซ์ 0 เปอร์เซ็นต์) ในอัตราส่วนต่าง ๆ เพื่อให้ได้ตัวอย่างแป้งผสมที่มีอัตราการเกิดเจลาทิไนซ์เป็น 0 20 40 60 80 และ 100 เปอร์เซ็นต์ นำแป้งผสมที่ได้มา 0.2 กรัม เติมน้ำกลั่นปริมาณ 98 มิลลิลิตร เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 10 โมลาร์ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร แล้วนำไปเข้าเครื่อง

หมุนเหวี่ยงที่ 1500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที ปิเปตส่วนใส 1 มิลลิลิตร ใส่ในขวดปรับปริมาตร ขนาด 10 มิลลิลิตร เติมกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ ปริมาตร 0.4 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้เป็น 10 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น จากนั้นเติมสารละลายไอโอดีน 0.1 มิลลิลิตร แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาสร้างกราฟมาตรฐานเพื่อวิเคราะห์อัตราการเกิดเจลาทิไนซ์ของแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนที่เตรียมได้

ภาคผนวก ค

วิธีวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน

วิธีการใช้เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer รุ่น TA-XT2)

1. เริ่มต้นทำงาน

1.1 เปิดคอมพิวเตอร์และเครื่อง Texture Analyzer

1.2 คลิกที่ Start ⟶ Program ⟶ Texture Expert ⟶ Texture Expert U.S. English จะปรากฏหน้าต่าง User Selection ⟶ คลิก OK

1.3 จากนั้นไปที่ File ⟶ New Project จะปรากฏหน้าต่างของ Project (ถ้าใช้เป็นครั้งแรก) หรือถ้าไม่ต้องการจะตั้ง Project ⟶ Restart ⟶ จะปรากฏหน้าต่างของกราฟ

1.4 กรณีมีข้อมูลแล้ว ให้คลิกที่ Open Icon จะปรากฏหน้าต่างของ Open ให้เลือกชื่อไฟล์ตามต้องการ โดยเปลี่ยนชนิดของไฟล์ได้ที่ List First of Type โดย *.ARC คือ ไฟล์ที่เป็นกราฟ *.RES คือ ไฟล์ที่เป็นตารางข้อมูล *.PRJ คือ ไฟล์ที่เป็น Project Document .MAC คือ ไฟล์ที่เป็น Macro และ *.LIS คือ ไฟล์ที่เป็นข้อมูลดิบ

2. การปรับเทียบ (Calibration)

2.1 จะต้อง Calibrate Force ทุกครั้งที่ทำการตรวจสอบ โดยไปที่ T.A. บน Menu Bar ⟶ Calibrate Force จะปรากฏหน้าต่างของ Force Calibration ตรวจดูให้แน่ใจว่าไม่มีหัววัด (Probe) ติดอยู่ที่ Calibration Platform จากนั้นให้คลิก OK

2.2 จากนั้นจะปรากฏหน้าต่างใหม่ของ Force Calibration ต่อไปให้วางตุ้มน้ำหนัก 5 กิโลกรัม บน Calibrate Platform แล้วคลิก OK

2.3 เมื่อปรากฏข้อความว่า "Calibration Successful" ให้ยกตุ้มน้ำหนักลงแล้วคลิก OK

3. การตั้งค่า (T.A. Setting)

3.1 ไปที่ T.A. ⟶ T.A. Setting (หรือ F4) จะปรากฏหน้าต่างของ Texture Analyzer Setting ตั้งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังนี้

Mode	
Option	Measure Force in Compression
Pre-Test Speed	1.0 mm/ s
Test Speed	1.0 mm/ s
Post-Test Speed	10.0 mm/ s
Distance	3 mm
Trigger Type	Auto - 5 g
Data Acquisition Rate	200 pps

3.2 ถ้าต้องการบันทึกข้อมูลไว้ให้คลิก Save กรณีจะเรียกข้อมูลเดิมให้คลิก Load

3.3 เมื่อจะทำขั้นต่อไปให้คลิก Update

4. การทำ Run a Test

4.1 วางตัวอย่างบนแท่นทดสอบ (ดังภาพภาคผนวก ค-1) แล้วเลือก T.A. บน Menu Bar ⟶ Run a Test (หรือ F2) จะปรากฏหน้าต่างของพารามิเตอร์ต่าง ๆ มีความหมายดังนี้

Auto Save : บันทึกข้อมูลโดยอัตโนมัติตาม Drive หรือ Path ที่ตั้งไว้

File ID : ตั้งชื่อ File สำหรับกราฟแสดงผล (5 ตัวอักษร)

File No : ตั้งหมายเลขไฟล์ (จำเป็นในครั้งแรกเพราะจะเพิ่มขึ้นเองโดยอัตโนมัติหลังจากที่แต่ละไฟล์ถูกบันทึก)

Drive : ตำแหน่งที่จะให้บันทึกข้อมูลไว้

Title : ตั้งชื่อกราฟแสดงผล

Note : บันทึกรายละเอียดของตัวอย่างที่นำมาทดสอบ

Probe and Product Data : เลือกชนิดของ Probe ให้ตรงกับที่นำมาใช้วัด

Configure : ใส่ Production Dimension

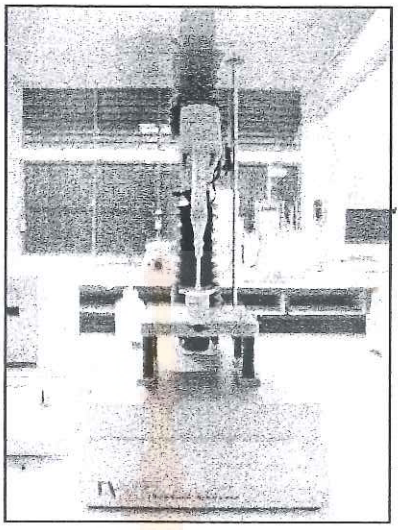
Delay Start : เมื่อต้องการเลื่อนเวลาในการเริ่มการวัดออกไป

Clear Previous Graph : เมื่อต้องการให้การทดสอบแต่ละครั้งปรากฏกราฟเพียงเส้นเดียว (เป็นการลบ ARC File เดิมออกเพื่อให้ ARC File ใหม่เข้ามาแทน)

Run Macro : เมื่อต้องการให้วิเคราะห์ผลโดยอัตโนมัติ

PPS : อัตราเร็วในการบันทึกข้อมูลลงในหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์ โดยทั่วไปใช้ 200 PPS

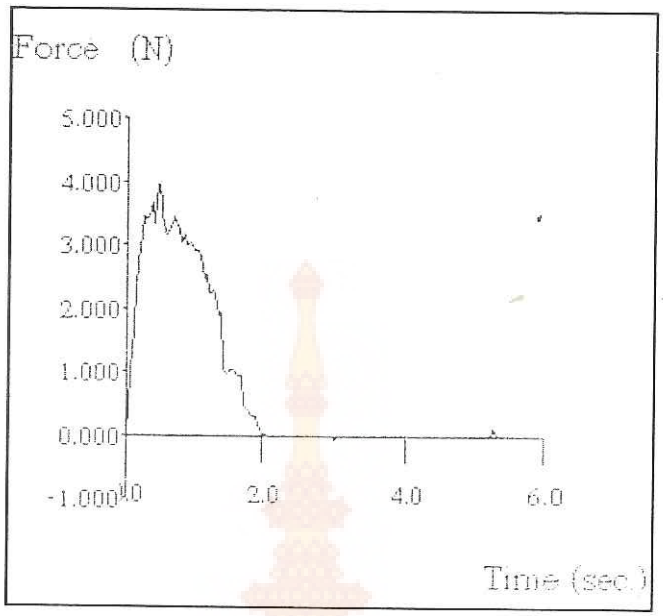
4.2 เมื่อตั้งค่าต่าง ๆ เรียบร้อยแล้ว ให้คลิก OK เครื่องจะเริ่มทำการทดสอบพร้อมกับปรากฏเส้นกราฟบนหน้าต่างกราฟ ส่วนการทดสอบขั้นต่อไปให้เลือก T.A. บน Menu Bar ⟶ Quick Test Run (หรือกดแป้น Ctrl+Q)



ภาพภาคผนวก ค-1 วิธีการวางตัวอย่างขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบบนแท่นทดสอบ

การวัดลักษณะเนื้อสัมผัส

วัดลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนโดยสุ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบจำนวน 12 ชิ้น มาวัดลักษณะเนื้อสัมผัส ด้วยเครื่อง Texture Analyzer รุ่น TA-XT2 ใช้หัววัดทรงกลม (Ball Probe) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1/ 4 นิ้ว (P/ 0.25S) กดลงตรงกลางชิ้นขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบ ได้กราฟดังภาพภาคผนวก ค-2 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการวัดคือ ความแตกแข็ง (Hardness) ซึ่งหมายถึง ค่าแรงสูงสุดที่ทำให้ตัวอย่างเกิดการแตกหัก ในหน่วยนิวตัน (N)



ภาพภาคผนวก ค-2 กราฟการวัดเนื้อสัมผัสของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน

ภาคผนวก ง

แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยวิธี 9 - Point Hedonic Scale

ชื่อผู้ทดสอบ..... **วันที่**.....

ผลิตภัณฑ์ แผ่นกรอบ

คำชี้แจง : กรุณาชิมตัวอย่างตามลำดับจากซ้ายไปขวา แล้วให้คะแนนความชอบในด้านต่างๆ ตามความรู้สึกของท่านตามคำอธิบายคะแนนความชอบข้างล่างนี้ และกลั้วปากด้วยน้ำทุกครั้งก่อนชิมตัวอย่างต่อไป

ชอบมากที่สุด = 9	ชอบเล็กน้อย = 6	ไม่ชอบปานกลาง = 3
ชอบมาก = 8	เฉย ๆ = 5	ไม่ชอบมาก = 2
ชอบปานกลาง = 7	ไม่ชอบเล็กน้อย = 4	ไม่ชอบมากที่สุด = 1

รหัสตัวอย่าง	.....	.....	.....	.....	.....
ลักษณะปรากฏ	.....	.....	.....	.....	.....
สี	.....	.....	.....	.....	.....
กลิ่นรส	.....	.....	.....	.....	.....
รสชาติ	.....	.....	.....	.....	.....
เนื้อสัมผัส	.....	.....	.....	.....	.....
ความรู้สึกในปาก	.....	.....	.....	.....	.....
ความชอบโดยรวม	.....	.....	.....	.....	.....

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

ขอบคุณค่ะ

ภาคผนวก จ

การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทางภาพถ่าย (Image Analysis)

การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทางภาพถ่าย (Image Analysis)

ขั้นตอนการปรับแต่งโปรแกรม

1. เปิดโปรแกรม Image Tool

2. ตั้งค่าที่ต้องการวิเคราะห์ เช่น ความยาวสูงสุด (Major Axis Length) ความกว้างสูงสุด (Minor Axis Length) พื้นที่ภาพ (Area) หรือ ความยาวรอบวัตถุ (Perimeter)

Perimeter Setting/ Preferences/ Object Analysis/ เลือกตัวแปรที่ต้องการวิเคราะห์

3. ตั้งค่าขอบเขตขนาดของวัตถุที่ต้องการวิเคราะห์

Setting/ Preferences/ Find Objects

ขั้นตอนการ Calibration

1. เปิดโปรแกรม Image Tool

2. เปิดไฟล์รูปภาพสำหรับการ Calibration (เป็นรูปวัตถุที่ทราบความยาวมาตรฐาน)

File/ Open Image/ เลือกไฟล์รูปภาพสำหรับการ Calibration/ Open

3. Settings/ Calibration Spatial Measurement/

โปรแกรมแสดงคำสั่ง Draw a Line of Know Length ให้คลิกเมาท์ที่จุดเริ่มต้นบนรูปภาพวัตถุที่ทราบความยาวแล้วลากไปจุดสิ้นสุด และให้ใส่ขนาดความยาวที่ถูกต้อง พร้อมทั้งหน่วยของการวัด

Length: ความยาวที่ถูกต้อง

Unit: หน่วยของการวัด

4. บันทึกค่าของการ Calibration

Settings/ Calibration Save Spatial Calibration/ ตั้งชื่อไฟล์ Calibration พร้อมชนิดไฟล์ (.itc)

ขั้นตอนการวิเคราะห์รูปภาพ

1. เปิดโปรแกรม Image Tool

2. โหลดไฟล์ Calibration ที่บันทึกไว้ในขั้นตอนของการ Calibration

Settings/ Load Spatial Calibration/ เลือกไฟล์ Calibration (.itc)/ Open

3. เปิดไฟล์รูปภาพสำหรับการวิเคราะห์

File/ Open Image/ เลือกรูปภาพสำหรับการ Calibration/ Open

4. เปลี่ยนไฟล์รูปภาพให้เป็นภาพแบบ Gray Scale

Processing/ Color-to-Grayscale/

5. หาขอบเขตของวัตถุในภาพที่ต้องการวิเคราะห์ โดยแยกวัตถุออกจากพื้นหลัง

Analysis/ Object Analysis/ Find Objects/ Manual/ Threshold/ เลื่อนแถบจนกระทั่งได้ขอบเขตของวัตถุที่ต้องการวิเคราะห์/ OK

6. วิเคราะห์ขนาดของวัตถุ

Analysis/ Object Analysis/ Analyze

7. โปรแกรมจะแสดงผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ เช่น ความยาวสูงสุด ความกว้างสูงสุด พื้นที่ภาพ หรือ ความยาวรอบวัตถุ

8. บันทึกผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ ไฟล์ที่บันทึกเป็นไฟล์ชนิด Text และสามารถเปิดได้ด้วยโปรแกรม Excel

File/ Save Results as/ ตั้งชื่อไฟล์/ Save

ภาคผนวก ฉ

การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC Method 925.10, 1990)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven) Memmert รุ่น ULE 600 ประเทศเยอรมนี
2. โถดูดความชื้น (Desiccator)
3. ภาชนะอะลูมิเนียมสำหรับหาความชื้น (Moisture Can)
4. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง Sartorius รุ่น AC211S ประเทศเยอรมนี

ขั้นตอนการวิเคราะห์

1. อบภาชนะอะลูมิเนียมสำหรับหาความชื้นในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 130 ± 3 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำออกจากตู้อบใส่ลงในโถดูดความชื้น จนกระทั่งอุณหภูมิของภาชนะลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้อง แล้วชั่งน้ำหนัก (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง)

2. นำภาชนะอะลูมิเนียมไปอบซ้ำ ชั่งหาน้ำหนักที่แน่นอน (แตกต่างไม่เกิน 0.05 กรัม)

3. ชั่งตัวอย่างอาหารที่ต้องการหาความชื้นให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 2 กรัม ใส่ตัวอย่างลงในภาชนะอะลูมิเนียมหาความชื้นที่ทราบน้ำหนักคงที่ บันทึกน้ำหนักของตัวอย่างที่ชั่งได้ แล้วนำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 130 ± 3 องศาเซลเซียส นาน 5-6 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักของภาชนะพร้อมตัวอย่างนั้น จากนั้นนำไปอบซ้ำในตู้อบเช่นเดิมจนได้น้ำหนักคงที่ โดยผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งทั้งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 0.05 กรัม

การคำนวณ

ปริมาณความชื้น (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง) = $((W_0 - W_1) / W_1) \times 100$

โดยที่ W_0 = น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)

W_1 = น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (AOAC Method 923.03, 1990)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven) Memmert รุ่น ULE 600 ประเทศเยอรมนี
2. เตาเผา Carbolite รุ่น RWF 1200 สหราชอาณาจักร
3. เตาไฟฟ้า (Hot Plate) รุ่น ECM6 สหราชอาณาจักร
4. ถ้วยครูซิเบิล (Crucible)

5. โถดูดความชื้น (Desiccator)

6. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง Sartorius รุ่น AC211S ประเทศเยอรมนี

ขั้นตอนการวิเคราะห์

1. เผาถ้วยครูซิเบิลในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส แล้วนำออกจากเตาเผาใส่ในโถดูดความชื้น จนกระทั่งอุณหภูมิของครูซิเบิลลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้อง แล้วชั่งน้ำหนัก (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง)

3. เผาซ้ำอีกครั้ง ครั้งละประมาณ 30 นาที และกระทำเช่นข้อ 1 จนได้ผลต่างของน้ำหนักทั้งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 0.05 กรัม

4. ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักแน่นอนประมาณ 3-5 กรัม ใส่ในถ้วยครูซิเบิลที่ทราบน้ำหนักแน่นอน นำไปเผาบนเตาไฟฟ้า (Hot Plate) จนกระทั่งหมดควัน แล้วจึงนำเข้าเตาเผาอุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส จนกระทั่งได้เถ้าสีเทา จากนั้นนำออกจากเตาเผาใส่ลงในโถดูดความชื้น จนกระทั่งอุณหภูมิของครูซิเบิลลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้อง แล้วชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของเถ้าทั้งหมดในตัวอย่างอาหาร

การคำนวณ

ปริมาณเถ้า (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง) = $((W_2-W_0)/W_1) \times 100$

โดยที่ W_0 = น้ำหนักครูซิเบิล (กรัม)

W_1 = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

W_2 = น้ำหนักรวมของครูซิเบิลและตัวอย่างหลังการเผา (กรัม)

การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (AOAC Method 920.87, 1990)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. หลอดย่อยโปรตีน (Digestion Flask)

2. ขวดรูปกรวย (Erlenmeyer Flask)

3. บิวเรต

4. โถดูดความชื้น (Desiccator)

5. เครื่องย่อยสำหรับวิเคราะห์โปรตีน (Digestion Unit) รุ่น Buchi 426 ประเทศสวิตเซอร์แลนด์

6. เครื่องกลั่นสำหรับวิเคราะห์โปรตีน (Distillation Unit) Buchi รุ่น 323 ประเทศสวิตเซอร์แลนด์

7. ตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven) Memmert รุ่น ULE 600 ประเทศเยอรมนี

8. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง Sartorius รุ่น AC 211S ประเทศเยอรมนี

สารเคมี

1. กรดซัลฟูริก 96 เปอร์เซ็นต์ (Sulfuric, H_2SO_4) บริษัท Lab Scan ประเทศไทย

2. สารเร่งปฏิกิริยาในการย่อยโปรตีน (Selenium Reagent Mixture) บริษัท Merck ประเทศเยอรมนี

3. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 32 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) (Sodium Hydroxide; NaOH) บริษัท Merck ประเทศเยอรมนี

4. สารละลายกรดบอริก 2 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) (Boric Acid, HBO_3) บริษัท Lab Scan ประเทศไทย

5. เชียร์อินดิเคเตอร์ (Methyl Red และ Methylene Blue) บริษัท Buchi ประเทศสวิตเซอร์แลนด์

6. สารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริก 0.1 นอร์มัล บริษัท Lab Scan ประเทศไทย

ขั้นตอนการวิเคราะห์

ขั้นตอนการย่อย (Digestion)

1. อบตัวอย่างด้วยตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นนำออกจากเตาอบใส่ลงในโถดูดความชื้น จนกระทั่งอุณหภูมิลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้อง

2. ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักแน่นอนประมาณ 0.7-2.2 กรัม ใส่ลงในหลอดย่อยโปรตีน ทำแบลงก์ควบคู่ไปด้วยโดยใช้น้ำกลั่นแทนที่ตัวอย่าง

3. เติมสารเร่งปฏิกิริยา 10 กรัม

4. เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 96 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 25 มิลลิลิตร

5. วางหลอดย่อยในเตาย่อย แล้วประกอบสายยางระหว่างฝาครอบ และเครื่องจับไอกรดให้เรียบร้อย

6. เปิดเครื่องจับไอกรดและเตาย่อย แล้วตั้งอุณหภูมิเป็น 350 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 60 นาที จนได้สารละลายใส จากนั้นปิดเตาย่อยแล้วรอจนกระทั่งเย็น และไม่มีไอกรดเหลืออยู่

ขั้นตอนการกลั่น (Distillation)

1. เปิดสวิตซ์ชุดกลั่นโปรตีน และเครื่องทำความเย็นให้ได้อุณหภูมิประมาณ 15 องศาเซลเซียส

2. นำหลอดย่อยโปรตีนต่อเข้ากับชุดเครื่องกลั่น เติมน้ำกลั่น 45 มิลลิลิตร และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 32 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร 90 มิลลิลิตร

3. เติมกรดบอริก 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร 60 มิลลิลิตร และเติมเชียร์อินดิเคเตอร์ 3-4 หยด ลงในขวดรูปกรวย แล้วนำไปรองรับของเหลวที่ถูกกลั่นออกมาโดยให้ส่วนปลายของอุปกรณ์ควบแน่นจุ่มลงในสารละลาย

4. กลั่นโดยใช้เวลา 3 นาที

ขั้นตอนการไทเทรต (Titration)

ไทเทรตสารละลายที่กลั่นได้ด้วยสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริก 0.1 นอร์มัล จากนั้นคำนวณปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และปริมาณโปรตีน

การคำนวณ

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์) = $((X_2-X_1)\times N\times 1.4\times 100)/(W\times 100)$

ปริมาณโปรตีน (เปอร์เซ็นต์) = ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์) × F

โดยที่ X_1 = ปริมาตรของสารละลายกรดซัลฟูริกที่ใช้ไทเทรตกับแบลงก์ (มิลลิลิตร)

X_2 = ปริมาตรของสารละลายกรดซัลฟูริกที่ใช้ไทเทรตกับตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

N = ความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟูริก (นอร์มัล)

W = น้ำหนักของตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)

F = แฟกเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณหาปริมาณโปรตีน ในที่นี้เท่ากับ 5.70

การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (AOAC Method 922.06, 1990)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องสกัดไขมัน (Soxhtherm) Gerhadt รุ่น S 306 SK ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
2. เครื่องไฮโดรไลซิส
3. ทิมเบิล (Extraction Thimble)
4. ตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven) Memmert รุ่น ULE 600 ประเทศเยอรมนี
5. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง Sartorius รุ่น AC2115-00 ประเทศเยอรมนี
6. โถดูดความชื้น (Desiccator)

7. กระดาษกรอง

สารเคมี

1. ปิโตรเลียมอีเทอร์ จุดเดือด 40-60 องศาเซลเซียส (Petroleum Ether b.p. 40-60°C) บริษัท Lab Scan ประเทศไทย

2. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 4 นอร์มัล (Hydrochloric Acid; HCl 37 %) บริษัท Merck ประเทศเยอรมนี

3. ซีไลท์ (Celite) บริษัท Merck ประเทศเยอรมนี

4. ซีแซนด์ (Seasand) บริษัท Merck ประเทศเยอรมนี

ขั้นตอนการวิเคราะห์

1. นำตัวอย่างไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ด้วยตู้อบลมร้อนนาน 3 ชั่วโมง จากนั้นนำออกจากเตาอบใส่ลงในโถดูดความชื้น จนกระทั่งอุณหภูมิลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้อง

2. อบขวดสกัด ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น นำมาชั่งน้ำหนัก จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ แตกต่างกันไม่เกิน 0.05 กรัม (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) (a)

3. ชั่งตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งให้ได้น้ำหนักแน่นอน 2-5 กรัม (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) และชั่งซีไลท์ 5 กรัม ใส่ตัวอย่างและซีไลท์ลงในบีกเกอร์ไฮโดรไลซิส

4. เติมกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 4 นอร์มัล ปริมาตร 50 มิลลิลิตร เพื่อละลายตัวอย่างและซีไลท์ แล้วเขย่าบีกเกอร์ เติมกรดไฮโดรคลอริก 4 นอร์มัลจำนวน 50 มิลลิลิตรอีกครั้ง เพื่อชะล้างตัวอย่าง และซีไลท์ที่ติดอยู่บริเวณข้างบีกเกอร์ไฮโดรไลซิส

5. นำบีกเกอร์ไฮโดรไลซิส มาวางบนเตาไฟฟ้าของเครื่องไฮโดรไลซิสให้ความร้อนเบอร์ 2 จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเข้มจึงหยุดให้ความร้อน

6. กรองสารละลายขณะร้อนผ่านกระดาษกรองที่มีซีแซนด์ ประมาณ 5 กรัม ในตู้ดูดควัน

7. ล้างตะกอนที่ติดอยู่ข้างในบีกเกอร์ด้วยน้ำกลั่นร้อนอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ผ่านกระดาษกรอง โดยให้สารละลายที่กรองได้มีปริมาตรรวมประมาณ 250 มิลลิลิตร

8. รอจนตะกอนในกระดาษกรองแห้ง ห่อกระดาษกรองที่มีตะกอนใส่ในทิมเบิล และใส่ลงในขวดสกัดที่มีปิโตรเลียมอีเทอร์ 140 มิลลิลิตร แล้วประกอบกับชุดเครื่องเครื่องสกัดไขมัน ใช้เวลาในการสกัดประมาณ 4 ชั่วโมง

9. ให้ความร้อนประมาณ 200 องศาเซลเซียส เพื่อระเหยปิโตรเลียมอีเทอร์ เป็นเวลาประมาณครึ่งชั่วโมง

10. เมื่อปิโตรเลียมอีเทอร์ระเหยไปหมดแล้ว อบขวดสกัดด้วยตู้อบลมร้อน จากนั้นนำออกจากเตาอบใส่ลงในโถดูดความชื้น จนกระทั่งอุณหภูมิลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้อง แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก (b)

การคำนวณ

ปริมาณไขมัน (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง) = $(W_1 / W_2) \times 100$

โดยที่ W_1 = น้ำหนักน้ำมันที่สกัดได้ คิดได้จาก b-a (กรัม)

W_2 = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

การวิเคราะห์ปริมาณใยอาหารทั้งหมด (AACC Method 32-05, 1990)

อุปกรณ์

1. ตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven) Memmert รุ่น ULE 600 ประเทศเยอรมนี
2. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง Sartorius รุ่น AC211S ประเทศเยอรมนี
3. โถดูดความชื้น (Desiccator)
4. บีกเกอร์ขนาด 400 มิลลิลิตร
5. ถ้วยครูซิเบิล (Crucible)
6. เตาเผา Carbolite รุ่น RWF 1200 สหราชอาณาจักร

สารเคมี

1. เอทิลแอลกอฮอล์ (Ethylalcohol) 95 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรต่อปริมาตร บริษัท Merck ประเทศเยอรมนี
2. เทอร์มามิล (Thermamyl: Heat-Stable, Alpha-Amylase) บริษัทอีสต์เอเชียติค (ไทยแลนด์) จำกัด ประเทศไทย
3. โปรติเอส (Protease) บริษัท Fluka ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
4. อะไมโลกลูโคสิเดส (Amyloglucosidase) บริษัท Fluka ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
5. ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Disodium Hydrogen Phosphate) บริษัท Ajax Chemical ประเทศออสเตรเลีย
6. โซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (Sodium Dihydrogen Phosphate) บริษัท Ajax Chemical ประเทศออสเตรเลีย
7. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide) บริษัท Merck ประเทศเยอรมนี

8. กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric Acid) บริษัท Labscan Asia ประเทศไทย

ขั้นตอนการวิเคราะห์

1. เตรียมตัวอย่างโดยอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง บดให้ละเอียด แล้วทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ถ้าตัวอย่างมีไขมันมากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ ต้องสกัดไขมันออกโดยใช้ปิโตรเลียมอีเทอร์ ในอัตราส่วน 25 มิลลิลิตรต่อน้ำหนักตัวอย่างแห้ง 1 กรัม โดยสกัด 3 ครั้งก่อนบด

2. ชั่งตัวอย่างแห้ง 1 กรัม ให้รู้น้ำหนักที่แน่นอน (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) โดยน้ำหนักของตัวอย่าง 2 ซ้ำ ต้องต่างกันไม่เกิน 20 มิลลิกรัม และทำแบลงก์ควบคู่ไปด้วย

3. ใส่ตัวอย่างในบีกเกอร์ขนาด 400 มิลลิลิตร เติมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 50 มิลลิลิตร แล้วเติมเทอร์มามิล 0.1 มิลลิลิตร ปิดบีกเกอร์ด้วยอะลูมิเนียมฟอยด์ แล้วต้มในอ่างน้ำร้อน อุณหภูมิ 95-100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เขย่าบีกเกอร์ทุก 5 นาที

4. ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ปรับความเป็นกรด-ด่างเป็น 7.5 ± 0.1 ด้วยสารละลายโซเดียมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.275 นอร์มัล 10 มิลลิเมตร แล้วเติมโปรติเอส 0.1 มิลลิเมตร (โปรติเอส 5 มิลลิกรัมละลายในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.1 มิลลิลิตร) ปิดเกอร์ด้วยอะลูมิเนียมฟอยด์ แล้วนำไปแช่ในอ่างน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เขย่าบีกเกอร์ทุก 5 นาที

5. ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ปรับความเป็นกรด-ด่างเป็น 4.0-4.6 ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.325 โมลาร์ 10 มิลลิลิตร แล้วเติมอะไมโลกลูโคสิเดส 0.3 มิลลิลิตร ปิดบีกเกอร์ด้วยอะลูมิเนียมฟอยด์ แล้วนำไปแช่ในอ่างน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เขย่าบีกเกอร์ทุก 5 นาที

6. เติมเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ 280 มิลลิลิตรที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสลงในบีกเกอร์ตัวอย่างที่ย่อยด้วยเอนไซม์แล้วเพื่อตกตะกอนส่วนที่เป็นใยอาหารที่ละลายน้ำ ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 60 นาที

7. ชั่งครูซิเบิลให้รู้น้ำหนักที่แน่นอน จากนั้นล้างด้วยเอทานอล 78 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 15 มิลลิลิตร ต่อครูซิเบิลกับเครื่อง Suction แล้วถ่ายสารที่ย่อยได้จากข้อ 6 ลงกรองเป็นเวลา 30 นาที

8. ล้างส่วนที่เหลือจากการกรองด้วยเอทานอล 78 เปอร์เซ็นต์ 15 มิลลิลิตร 2 ครั้ง ตามด้วยเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ 10 มิลลิลิตร 2 ครั้ง และอะซิโตน 10 มิลลิลิตร 2 ครั้ง

9. อบส่วนที่เหลือจากการกรองที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง แล้วทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักให้รู้น้ำหนักที่แน่นอน หักลบน้ำหนักครูซิเบิลออกเพื่อคำนวณน้ำหนักส่วนที่เหลือในครูซิเบิล

10. หาปริมาณโปรตีนและปริมาณเถ้าจากตัวอย่าง เพื่อนำมาหักลบออกจากน้ำหนักส่วนที่เหลือจึงจะได้ปริมาณใยอาหารทั้งหมด

การคำนวณ

เปอร์เซ็นต์ใยอาหารทั้งหมด (% Total Dietary Fiber; TDF)

$$\% \text{ TDF} = [(W_2\text{-P-A-B}) / W_1] \times 100$$

โดยที่ W_1 = น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (มิลลิกรัม)

W_2 = น้ำหนักส่วนที่เหลือในครูซิเบิล (มิลลิกรัม)

P = น้ำหนักโปรตีน (มิลลิกรัม)

A = น้ำหนักเถ้า (มิลลิกรัม)

B = แบลงก์ (มิลลิกรัม)

การวิเคราะห์ปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ

อุปกรณ์

1. ตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven) Memmert รุ่น ULE 600 ประเทศเยอรมนี
2. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง Sartorius รุ่น AC211S ประเทศเยอรมนี
3. โถดูดความชื้น (Desiccator)
4. บีกเกอร์ขนาด 400 มิลลิลิตร
5. ถ้วยครูซิเบิล (Crucible)
6. เตาเผา Carbolite รุ่น RWF 1200 สหราชอาณาจักร

สารเคมี

1. เอทิลแอลกอฮอล์ (Ethylalcohol) 95 เปอร์เซ็นต์ (ปริมาตรต่อปริมาตร) บริษัท Merck ประเทศเยอรมนี

2. เทอร์มามิล (Thermamyl : Heat-Stable, Alpha-Amylase) บริษัทอีสต์เอเชียติค (ไทยแลนด์) จำกัด ประเทศไทย

3. โปรติเอส (Protease) บริษัท Fluka ประเทศสวิตเซอร์แลนด์

4. อะไมโลกลูโคสิเดส (Amyloglucosidase) บริษัท Fluka ประเทศสวิตเซอร์แลนด์

5. ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Disodium Hydrogen Phosphate) บริษัท Ajax Chemical ประเทศออสเตรเลีย

6. โซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (Sodium Dihydrogen Phosphate) บริษัท Ajax Chemical ประเทศออสเตรเลีย

7. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide) บริษัท Merck ประเทศเยอรมนี

8. กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric Acid) บริษัท Labscan Asia ประเทศไทย

ขั้นตอนการวิเคราะห์

1. เตรียมตัวอย่างโดยอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง บดให้ละเอียด แล้วทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ถ้าตัวอย่างมีไขมันมากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ ต้องสกัดไขมันออกโดยใช้ปิโตรเลียมอีเทอร์ ในอัตราส่วน 25 มิลลิลิตรต่อน้ำหนักตัวอย่างแห้ง 1 กรัม โดยสกัด 3 ครั้งก่อนบด

2. ชั่งตัวอย่างแห้ง 1 กรัม ให้รู้น้ำหนักที่แน่นอน (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) โดยน้ำหนักของตัวอย่าง 2 ซ้ำ ต้องต่างกันไม่เกิน 20 มิลลิกรัม และทำแบลงก์ควบคู่ไปด้วย

3. ใส่ตัวอย่างในบีกเกอร์ขนาด 400 มิลลิลิตร เติมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 50 มิลลิลิตร แล้วเติมเทอร์มามิล 0.1 มิลลิลิตร ปิดบีกเกอร์ด้วยอะลูมิเนียมฟอยด์ แล้วต้มในอ่างน้ำร้อน อุณหภูมิ 95-100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เขย่าบีกเกอร์ทุก 5 นาที

4. ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ปรับความเป็นกรด-ด่างเป็น 7.5 ± 0.1 ด้วยสารละลายโซเดียมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.275 นอร์มัล 10 มิลลิเมตร แล้วเติมโปรติเอส 0.1 มิลลิเมตร ปิดบีกเกอร์ด้วยอะลูมิเนียมฟอยด์ แล้วนำไปแช่ในอ่างน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เขย่าบีกเกอร์ทุก 5 นาที

5. ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ปรับความเป็นกรด-ด่างเป็น 4.0-4.6 ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.325 โมลาร์ 10 มิลลิลิตร แล้วเติมอะไมโลกลูโกสิเดส 0.3 มิลลิลิตร ปิดบีกเกอร์ด้วยอะลูมิเนียมฟอยด์ แล้วนำไปแช่ในอ่างน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เขย่าบีกเกอร์ทุก 5 นาที

6. ชั่งครูซิเบิลให้รู้น้ำหนักที่แน่นอน จากนั้นล้างด้วยน้ำ 3 มิลลิลิตร ต่อครูซิเบิลกับเครื่อง Suction แล้วถ่ายสารที่ย่อยได้จากข้อ 5 ลงกรองเป็นเวลา 30 นาที

7. ล้างส่วนที่เหลือจากการกรองด้วยน้ำ 10 มิลลิลิตร อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส 2 ครั้ง ตามด้วยเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ 10 มิลลิลิตร 2 ครั้ง และอะซิโตน 10 มิลลิลิตร 2 ครั้ง

8. อบส่วนที่เหลือจากการกรองที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง แล้วทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักให้รู้น้ำหนักที่แน่นอน หักลบน้ำหนักครูซิเบิลออกเพื่อคำนวณน้ำหนักส่วนที่เหลือในครูซิเบิล

9. หาปริมาณโปรตีนและปริมาณเถ้าจากตัวอย่าง เพื่อนำมาหักลบออกจากน้ำหนักส่วนที่เหลือจึงจะได้ปริมาณใยอาหารทั้งหมด

การคำนวณ

เปอร์เซ็นต์ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (% Insoluble Dietary Fiber; IDF)

$$\% \text{ IDF} = [(W_2\text{-P-A-B}) / W_1] \times 100$$

โดยที่ W_1 = น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (มิลลิกรัม)

W_2 = น้ำหนักส่วนที่เหลือในครูซิเบิล (มิลลิกรัม)

P = น้ำหนักโปรตีน (มิลลิกรัม)

A = น้ำหนักเถ้า (มิลลิกรัม)

B = แบลงก์ (มิลลิกรัม)

การวิเคราะห์ปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำ

เปอร์เซ็นต์ใยอาหารที่ละลายน้ำ (% Soluble Dietary Fiber; SDF)

$$\% \text{ SDF} = \% \text{ TDF} - \% \text{ IDF}$$

ภาคผนวก ช

ผลการวิเคราะห์ขนาดเส้นรอบวงเซลล์อากาศของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุน

ผลการวิเคราะห์ขนาดเส้นรอบวงเซลล์อากาศของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุน

ตารางภาคผนวก ช-1 ขนาดเส้นรอบวงโดยเฉลี่ยของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุน

ตัวอย่าง	ขนาดเส้นรอบวง (ไมโครเมตร)
1	349.75
2	323.87
3	298.18
4	318.04
5	396.84
6	309.30

หมายเหตุ 1, 2 และ3 หมายถึง ขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุนที่เตรียมโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่ความเร็วรอบ 0.4 รอบต่อนาที อุณภูมิ 120 130 และ 140 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

4 หมายถึง ขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุนที่เติม Resistant Starch 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของแป้งทั้งหมด

5 หมายถึง ขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบทางการค้า A

6 หมายถึง ขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบทางการค้า B

ตารางภาคผนวก ช-2 การกระจายตัวของเซลล์อากาศของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุน

ตัวอย่าง	จำนวนเซลล์อากาศ (เปอร์เซ็นต์)										
	ขนาดเส้นรอบวงของเซลล์อากาศ (ไมโครเมตร)										
	0 -100	101 - 200	201 - 300	301 - 400	401 - 500	501 - 600	601 - 700	701 - 800	801 - 900	901 - 1000	มากกว่า 1000
1	1.48	20.35	40.44	11.91	13.55	4.06	0.48	5.41	0.00	0.00	3.81
2	0.00	35.66	23.99	6.43	12.72	7.20	3.99	3.19	3.75	0.00	3.09
3	0.00	65.40	17.26	7.10	5.25	1.67	1.67	0.00	1.67	0.00	0.00
4	0.00	54.15	18.63	5.87	5.70	5.93	0.00	6.80	2.92	0.00	0.00
5	0.00	17.67	19.55	13.55	23.19	0.00	0.00	8.50	14.69	0.00	2.86
6	0.00	49.00	21.97	12.74	5.87	0.00	0.00	10.41	0.00	0.00	0.00

ภาคผนวก ซ

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ตารางภาคผนวก ซ-1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอุณหภูมิ และความเร็วรอบของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ ต่อปริมาณผลผลิตแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุนที่เตรียมได้

Source	df	SS	MS	F	P
Corrected Model	8	5.713	0.714	2.810	0.033
Intercept	1	39527.171	39527.171	155548.5	0.000
Temp	2	3.314	1.657	6.520*	0.007
Speed	2	1.771	0.886	3.486 ns	0.053
Temp x Speed	4	0.628	0.157	0.618 ns	0.656
Error	18	4.574	0.254		
Total	27	39537.459			
Corrected Total	26	10.287			

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

ตารางภาคผนวก ซ-2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอุณหภูมิ และความเร็วรอบของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ ต่อค่า L* ของแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน

Source	df	SS	MS	F	P
Corrected Model	8	8.124	1.016	48.582	0.000
Intercept	1	222865.044	222865.044	1.1E+07	0.000
Temp	2	7.224	3.612	172.801*	0.000
Speed	2	0.738	0.369	17.652*	0.000
Temp x Speed	4	0.162	0.040	1.937ns	0.148
Error	18	0.376	0.021		
Total	27	222873.544			
Corrected Total	26	8.501			

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

ตารางภาคผนวก ซ-3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอุณหภูมิ และความเร็วรอบของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ ต่อค่า a* ของแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน

Source	df	SS	MS	F	P
Corrected Model	8	0.542	0.068	186.699	0.000
Intercept	1	39.144	39.144	107846.9	0.000
Temp	2	0.445	0.222	612.990*	0.000
Speed	2	0.069	0.035	95.551*	0.000
Temp x Speed	4	0.028	0.007	19.1280*	0.000
Error	18	0.007	0.000		
Total	27	39.693			
Corrected Total	26	0.549			

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ซ-4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอุณหภูมิ และความเร็วรอบของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ ต่อค่า b* ของแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน

Source	df	SS	MS	F	P
Corrected Model	8	1.087	0.136	49.447	0.000
Intercept	1	4010.145	4010.145	1459217	0.000
Temp	2	0.985	0.492	179.193*	0.000
Speed	2	0.099	0.049	18.001*	0.000
Temp x Speed	4	0.003	0.001	0.296 ns	0.876
Error	18	0.049	0.003		
Total	27	4011.281			
Corrected Total	26	1.137			

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

ตารางภาคผนวก ซ-5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอุณหภูมิ และความเร็วรอบของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ ต่อค่า WI ของแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน

Source	df	SS	MS	F	P
Corrected Model	8	7.041	0.880	166.869	0.000
Intercept	1	193566.627	193566.627	3.7E+07	0.000
Temp	2	6.160	3.080	583.947*	0.000
Speed	2	0.706	0.353	66.978*	0.000
Temp x Speed	4	0.175	0.044	8.276*	0.001
Error	18	0.095	0.005		
Total	27	19573.763			
Corrected Total	26	7.136			

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ซ-6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอุณหภูมิ และความเร็วรอบของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ ต่อค่าดัชนีการละลายน้ำของแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน

Source	df	SS	MS	F	P
Corrected Model	8	106.818	13.352	250.823	0.000
Intercept	1	10882.545	10882.545	204430.4	0.000
Temp	2	93.231	46.615	875.679*	0.000
Speed	2	12.863	6.431	120.815*	0.000
Temp x Speed	4	0.724	0.181	3.400*	0.031
Error	18	0.958	0.053		
Total	27	10990.321			
Corrected Total	26	107.776			

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ซ-7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอุณหภูมิ และความเร็วรอบของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ ต่อค่าดัชนีการดูดซับน้ำของแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน

Source	df	SS	MS	F	P
Corrected Model	8	75.543	9.443	370.821	0.000
Intercept	1	1721.518	1721.518	67604.20	0.000
Temp	2	67.505	33.752	1325.459*	0.000
Speed	2	6.020	3.010	118.198*	0.000
Temp x Speed	4	2.018	0.505	19.815*	0.000
Error	18	0.458	0.025		
Total	27	1797.519			
Corrected Total	26	76.001			

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ซ-8 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอุณหภูมิ และความเร็วรอบของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ ต่อค่าดัชนีการดูดซับน้ำของแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน

Source	df	SS	MS	F	P
Corrected Model	8	75.543	9.443	370.821	0.000
Intercept	1	1721.518	1721.518	67604.20	0.000
Temp	2	67.505	33.752	1325.459*	0.000
Speed	2	6.020	3.010	118.198*	0.000
Temp x Speed	4	2.018	0.505	19.815*	0.000
Error	18	0.458	0.025		
Total	27	1797.519			
Corrected Total	26	76.001			

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ซ-9 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอุณหภูมิ และความเร็วรอบของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ ต่ออัตราการเกิดเจลาทิไนซ์ของแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากเมล็ดขนุน

Source	df	SS	MS	F	P
Corrected Model	8	1656.307	207.038	280.281	0.000
Intercept	1	90642.611	90642.611	122708.7	0.000
Temp	2	1533.462	766.731	1037.973*	0.000
Speed	2	92.267	46.133	62.454*	0.000
Temp x Speed	4	30.578	7.645	10.349*	0.000
Error	18	13.296	0.739		
Total	27	92312.214			
Corrected Total	26	1669.603			

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ซ-10 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอุณหภูมิ และความเร็วรอบของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ต่อค่า L* ของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุน

Source	df	SS	MS	F	P
Corrected Model	8	6.958	0.870	9.245	0.000
Intercept	1	90356.494	90356.494	960520.2	0.000
Temp	2	6.124	3.062	32.551*	0.000
Speed	2	0.518	0.259	2.755ns	0.090
Temp x Speed	4	0.315	0.079	0.837ns	0.519
Error	18	1.693	0.094		
Total	27	90365.144			
Corrected Total	26	8.651			

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

ตารางภาคผนวก ซ-11 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอุณหภูมิ และความเร็วรอบของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ต่อค่า C* ของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุน

Source	df	SS	MS	F	P
Corrected Model	8	10.836	1.355	23.345	0.000
Intercept	1	15916.511	15916.511	274317.5	0.000
Temp	2	7.486	3.743	64.509*	0.000
Speed	2	2.622	1.311	22.595*	0.000
Temp x Speed	4	0.728	0.182	3.139*	0.040
Error	18	1.044	0.058		
Total	27	15928.392			
Corrected Total	26	11.881			

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ซ-12 ผลการวิเคราะห์แปรปรวนของอุณหภูมิ และความเร็วรอบของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ต่อค่า h* ของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุน

Source	df	SS	MS	F	P
Corrected Model	8	39.118	4.890	29.810	0.000
Intercept	1	156632.180	156632.180	954901.7	0.000
Temp	2	27.762	13.881	84.624*	0.000
Speed	2	8.425	4.213	25.682*	0.000
Temp x Speed	4	2.931	0.733	4.468*	0.011
Error	18	2.953	0.164		
Total	27	156674.251			
Corrected Total	26	42.071			

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ซ-13 ผลการวิเคราะห์แปรปรวนของอุณหภูมิ และความเร็วรอบของลูกกลิ้งเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ต่อค่าความแข็งของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุน

Source	df	SS	MS	F	P
Corrected Model	8	5.232	0.654	33.085	0.000
Intercept	1	360.803	360.803	18253.12	0.000
Temp	2	5.002	2.501	126.536*	0.000
Speed	2	0.192	0.096	4.863*	0.020
Temp x Speed	4	0.037	0.009	0.470ns	0.757
Error	18	0.356	0.020		
Total	27	366.391			
Corrected Total	26	5.588			

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

ตารางภาคผนวก ซ-14 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณ Resistant Starch ต่อค่า L* ของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุน

Source	df	SS	MS	F	P
Treatment	3	7.578	2.526	2.147 ns	0.172
Error	8	9.411	1.176		
Total	11	16.989			

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางภาคผนวก ซ-15 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณ Resistant Starch ต่อค่า C* ของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุน

Source	df	SS	MS	F	P
Treatment	3	7.768	2.589	3.516 ns	0.069
Error	8	5.892	0.737		
Total	11	13.660			

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางภาคผนวก ซ-16 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณ Resistant Starch ต่อค่า h* ของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุน

Source	df	SS	MS	F	P
Treatment	3	6.844	2.281	1.161 ns	0.383
Error	8	15.721	1.965		
Total	11	22.565			

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางภาคผนวก ซ-17 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณ Resistant Starch ต่อค่าความแข็งของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุน

Source	df	SS	MS	F	P
Treatment	3	5.020	1.673	19.989*	0.000
Error	8	0.670	0.084		
Total	11	5.690			

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ซ-18 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณ Resistant Starch ต่อปริมาณใยอาหารทั้งหมดของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุน

Source	df	SS	MS	F	P
Treatment	3	131.449	43.816	170.773*	0.000
Error	8	2.053	0.257		
Total	11	133.501			

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ซ-19 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณ Resistant Starch ต่อปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุน

Source	df	SS	MS	F	P
Treatment	3	105.289	35.096	560.195*	0.000
Error	8	0.501	0.063		
Total	11	105.790			

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ซ-20 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณ Resistant Starch ต่อปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุน

Source	df	SS	MS	F	P
Treatment	3	1.410	0.470	2.369*	0.147
Error	8	1.587	0.198		
Total	11	2.997			

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ซ-21 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณ Resistant Starch ต่อการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ ของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุน

Source	df	SS	MS	F	P
Treatment	3	3.055	1.018	1.245 ns	0.295
Block	49	33.505	0.684	0.836 ns	0.762
Error	147	120.195	0.818		
Total	199	156.755			

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางภาคผนวก ซ-22 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณ Resistant Starch ต่อการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี ของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุน

Source	df	SS	MS	F	P
Treatment	3	1.060	0.353	0.712^{ns}	0.546
Block	49	20.380	0.416	0.838^{ns}	0.759
Error	147	72.940	0.496		
Total	199	94.380			

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางภาคผนวก ซ-23 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณ Resistant Starch ต่อการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรส ของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุน

Source	df	SS	MS	F	P
Treatment	3	0.695	0.232	0.493^{ns}	0.688
Block	49	26.045	0.532	1.131^{ns}	0.284
Error	147	69.055	0.470		
Total	199	95.795			

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางภาคผนวก ซ-24 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณ Resistant Starch ต่อการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านรสชาติ ของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุน

Source	df	SS	MS	F	P
Treatment	3	0.535	0.178	0.349^{ns}	0.790
Block	49	25.445	0.519	1.015^{ns}	0.459
Error	147	75.215	0.512		
Total	199	101.195			

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางภาคผนวก ซ-25 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณ Resistant Starch ต่อการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านเนื้อสัมผัส ของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุน

Source	df	SS	MS	F	P
Treatment	3	60.775	20.258	64.774*	0.000
Block	49	19.125	0.390	1.248^{ns}	0.158
Error	147	45.975	0.313		
Total	199	125.875			

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางภาคผนวก ซ-26 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณ Resistant Starch ต่อการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความรู้สึกในปาก ของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุน

Source	df	SS	MS	F	P
Treatment	3	49.375	16.458	43.300*	0.000
Block	49	27.625	0.564	1.483*	0.038
Error	147	55.875	0.380		
Total	199	132.875			

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวก ซ-27 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณ Resistant Starch ต่อการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวม ของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งพรีเจลาทิไนซ์เมล็ดขนุน

Source	df	SS	MS	F	P
Treatment	3	31.215	10.405	47.746*	0.000
Block	49	19.505	0.398	1.827*	0.003
Error	147	32.035	0.218		
Total	199	82.755			

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)