



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

ปริมาณสตาร์ชทนย่อยในพืชตระกูลถั่วที่ปลูกในไทยและผลของกระบวนการให้ความร้อนต่อปริมาณสตาร์ชทนย่อยและสมบัติทางความร้อน

Resistant starch content in legumes cultivated in Thailand and effect of thermal processes on resistant starch content and thermal properties

ดร. นภัสรพี เหลืองสกุล
นางสาวจรรยา สุขสวัสดิ์

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2555

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

RCH สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

TP

248

-57

พ. 195 ป.

เลขหมู่..... 130277

เลขทะเบียน.....

พ. เดือน. ปี- 2 1957 2557

b. 12597806
i.

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) ปริมาณสสารที่ทนย่อยในพืชตระกูลถั่วที่ปลูกในไทยและผลของกระบวนการให้ความร้อนต่อปริมาณสสารที่ทนย่อยและสมบัติทางความร้อน

แหล่งเงิน คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (ทุนรายได้)

ประจำปีงบประมาณ 2555

จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 95,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี

ตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2554 ถึง 30 กันยายน 2555

ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ และผู้ร่วมโครงการวิจัย พร้อมระบุ หน่วยงานต้นสังกัด

ดร. นภัทรพี เหลืองสกุล และ นางสาวจริยา สุขสวัสดิ์

คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณสสารที่ทนย่อย สมบัติทางเคมีกายภาพและ ความร้อนของแป้งและสสารจากพืชตระกูลถั่ว 5 ชนิด ได้แก่ ถั่วมะแฮะ (*Cajanus cajan*) ถั่วพุ่ม (*Vigna unguiculata*) ถั่วแดงหลวง (*Phaseolus vulgaris*) ถั่วเขียวผิวมัน (*Vigna radiate*) และถั่วเขียวผิวดำ (*Vigna mungo radiate*) ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณสสารที่ทนย่อยพบในส่วนของสสารจากถั่วมากกว่าในส่วน ของแป้งถั่ว โดยแป้งและสสารจากถั่วมะแฮะมีปริมาณสสารที่ทนย่อยมากที่สุดคือ ร้อยละ 6.16 และ 16.21 ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ แป้งและสสารจากถั่วแดงหลวง เมื่อเปรียบเทียบกับถั่วชนิดอื่นๆ พบว่า มีค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ค่าความหนืดสุดท้าย (final viscosity) และค่าการคืนตัวของแป้ง หลังทำให้เย็น (setback) น้อยที่สุด ($p < 0.05$) แสดงว่า เจลที่เย็นตัวแล้วของแป้งที่ได้มีความนุ่มมากกว่าเจ ลของแป้งและสสารจากถั่วชนิดอื่นที่ศึกษา ค่าพลังงานในการสลายโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ (ΔH) ของสสารจากถั่วพุ่มมีค่าสูงที่สุด (13.24 จูลต่อกรัม) แต่มีค่าน้อยที่สุดในสสารจากถั่วมะแฮะ (8.10 จูล ต่อกรัม) นอกจากนี้ งานวิจัยนี้ยังศึกษาผลของกระบวนการให้ความร้อนจากการใช้ตู้อบลมร้อน การใช้ หม้อนึ่งความดันไอ และการใช้ไมโครเวฟต่อปริมาณสสารที่ทนย่อย และสมบัติทางเคมีกายภาพอื่นๆ พบว่า การตัดแปรแป้งถั่วด้วยวิธีการต่างๆ ช่วยเพิ่มปริมาณสสารที่ทนย่อยได้มากกว่าการตัดแปรสสาร จากถั่ว โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การตัดแปรแป้งถั่วโดยการใช้ไมโครเวฟ และการตัดแปรสสารจากถั่วโดย วิธีการอบโดยตู้อบลมร้อนช่วยเพิ่มปริมาณสสารที่ทนย่อยได้มากกว่าวิธีการอื่นๆ ขณะที่ การตัดแปรแป้ง และสสารจากถั่วโดยใช้หม้อนึ่งความดันไอ ทำให้แป้งถั่วที่ได้มีสีเข้มขึ้นมากที่สุด และทำให้สูญเสีย สมบัติทางความหนืดมากที่สุด ($p < 0.05$)

คำสำคัญ : สสารที่ทนย่อย สมบัติทางเคมีกายภาพ สมบัติทางความร้อน แป้งและสสารจากถั่ว

Research Title: Resistant starch content in legumes cultivated in Thailand and effect of thermal processes on resistant starch content and thermal properties

Researcher: Dr. Naphatrapi Luangsakul and Miss. Chariya Suksawat

Faculty: Agro-Industry

Department: : Agro-Industry

ABSTRACT

The aim of this work was to study the resistant starch content, physicochemical and thermal properties of legume flours and starches. Five types of legume flours and starches were studied, pigeon pea (*Cajanus cajan*), cowpea (*Vigna unguiculata*), red kidney bean (*Phaseolus vulgaris*), mungbean (*Vigna radiate*), and black gram (*Vigna mungo radiate*). The results showed that the found resistant starch content in the legume starches are higher than those in the legume flours. Pigeon pea flour and its starch had the highest resistant starch content, 16.06% and 16.21% respectively. Red kidney bean flour and starch showed the lowest value of peak viscosity, final viscosity and setback ($p < 0.05$), comparing to other studied legume flours and starches. This inferred that the gel of red kidney bean performed the softer cooled gel. compared to the others legumes. The highest enthalpy value (ΔH) was found in the cowpea starch (13.24 J/g), while the lowest of value was found in the pigeon pea starch (8.10 J/g). Moreover, the effects of thermal processes from the hot air oven, autoclave and microwave were studied. The results showed that the modification by using thermal processes affected the resistant starch content in the legume flours greatest those used in the legume starches. The modification by using microwave in legume flours by microwave and by hot air oven in the starches increased the resistant starch content more than other studied methods. The modification in the legume flours by using autoclave darkened the flours and decreased the viscosity of the flour and starch slurries.

Keywords : resistant starch, physicochemical properties, thermal properties, legume flour and starch

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปี พ.ศ.2555 คณะอุตสาหกรรม
เกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ขอขอบพระคุณศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น ศูนย์วิจัยพืชไร่อุบลราชธานี และศูนย์วิจัยพืชไร่ชัยนาท ที่
อนุเคราะห์ให้วัสดุต่าง ๆ ในการวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์แก่นักคิด นักศึกษา และผู้สนใจอ่าน
ทั่วไป และหากมีข้อความใดหรือเนื้อหาตอนหนึ่งตอนใดผิดพลาดไปเนื่องจากการพิมพ์หรือด้วยเหตุใดก็ตาม
ความผู้วิจัยยินดีรับการติชมจากผู้อ่านด้วยใจจริง

ดร.นภัสรพี เหลืองสกุล
นางสาวจรรยา สุขสวัสดิ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ณ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ถั่วมะแฮะ (pigeonpea)	3
2.2 ถั่วพุ่ม (cowpea)	4
2.3 ถั่วแดงหลวง (red kidney bean)	4
2.4 ถั่วเขียว	
2.4.1 ถั่วเขียวผิวมัน (mungbean)	5
2.4.2 ถั่วเขียวผิวดำ (blackgram)	6
2.5 สตาร์ชทนย่อย (resistant starch)	6
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 วัตถุประสงค์	11
3.2 เครื่องมือ	12
3.3 สารเคมี	13
3.4 ชุดตรวจสอบสำเร็จ	14
3.5 การเตรียมแป้ง (flour) และสตาร์ช (starch) จากถั่วชนิดต่างๆ	14

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า	
3.6	ศึกษาปริมาณสตาร์ชทนย่อย สมบัติทางเคมีกายภาพและความร้อนของแป้ง (flour) และสตาร์ช (starch) จากถั่วชนิดต่างๆ	17
3.7	การศึกษาเทคนิควิธีการที่ใช้ในการตัดแปรแป้ง (flour) และสตาร์ช (starch) จากถั่วชนิดต่างๆ	18
บทที่ 4	ผลการวิจัยและวิจารณ์	
4.1	ปริมาณของแป้ง (flour) และสตาร์ช (starch) ที่ได้	20
4.2	ปริมาณสตาร์ชทนย่อย สมบัติทางเคมีกายภาพและความร้อนของแป้ง (flour) และสตาร์ช(starch) จากถั่วชนิดต่างๆ	21
4.3	ผลของเทคนิควิธีการที่ใช้ในการตัดแปรต่อปริมาณสตาร์ชทนย่อย สมบัติทางเคมีกายภาพและความร้อนของแป้ง (flour) และสตาร์ช (starch) จากถั่วชนิดต่างๆ	32
บทที่ 5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1	สรุปผลการวิจัย	67
5.2	ข้อเสนอแนะ	68
บรรณานุกรม		69
ภาคผนวก		
	ภาคผนวก ก การตรวจสอบคุณภาพทางเคมี	75
	ภาคผนวก ข กราฟสมบัติทางความหนืด (pasting properties)	80
	ภาคผนวก ค กราฟสมบัติทางความร้อน (thermal properties)	86
	ภาคผนวก ง ประวัติผู้เขียน	89
	ภาคผนวก จ ผลงานนำเสนอในงานการประชุมวิชาการอุตสาหกรรมเกษตร สจล. ครั้งที่ 1 “อุตสาหกรรมเกษตรไทยเทคไท์องค์กรชั้นนำ”	93

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	การจำแนกชนิดของสตาร์ชทนย่อย (resistant starch; RS)	7
4.1	ปริมาณของแป้งและสตาร์ชจากถั่วชนิดต่างๆ	20
4.2	ปริมาณสตาร์ชทนย่อยของแป้งและสตาร์ชจากถั่วชนิดต่างๆ	22
4.3	องค์ประกอบทางเคมีของแป้งจากถั่วชนิดต่างๆ	23
4.4	องค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชจากถั่วชนิดต่างๆ	23
4.5	ค่าสีและดัชนีความขาวของแป้งจากถั่วชนิดต่างๆ	25
4.6	ค่าสีและดัชนีความขาวของสตาร์ชจากถั่วชนิดต่างๆ	25
4.7	สมบัติทางความหนืดของแป้งจากถั่วชนิดต่างๆ	26
4.8	สมบัติทางความหนืดของสตาร์ชจากถั่วชนิดต่างๆ	27
4.9	สมบัติทางความร้อนของสตาร์ชจากถั่วชนิดต่างๆ	28
4.10	ค่าสหสัมพันธ์ของปริมาณสตาร์ชทนย่อย และสมบัติทางเคมีกายภาพ ของแป้งจากถั่วชนิดต่างๆ	30
4.11	ค่าสหสัมพันธ์ของปริมาณสตาร์ชทนย่อย สมบัติทางเคมีกายภาพและความร้อน ของสตาร์ชจากถั่วชนิดต่างๆ	31
4.12	ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อปริมาณสตาร์ชทนย่อยของแป้งและสตาร์ช จากถั่วมะแฮะ	32
4.13	ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อองค์ประกอบทางเคมีของแป้งจากถั่วมะแฮะ	33
4.14	ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อองค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชจากถั่วมะแฮะ	34
4.15	ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อค่าสีและดัชนีความขาวของแป้งจากถั่วมะแฮะ	35
4.16	ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อค่าสีและดัชนีความขาวของสตาร์ชจากถั่วมะแฮะ	35
4.17	ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อสมบัติทางความหนืดของแป้งจากถั่วมะแฮะ	37
4.18	ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อสมบัติทางความหนืดของสตาร์ชจากถั่วมะแฮะ	38
4.19	ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อสมบัติทางความร้อนของสตาร์ชจากถั่วมะแฮะ	39
4.20	ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อปริมาณสตาร์ชทนย่อยของแป้งและสตาร์ชจากถั่วพุ่ม	40
4.21	ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อองค์ประกอบทางเคมีของแป้งจากถั่วพุ่ม	40

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.22	ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อองค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชจากถั่วพุ่ม	41
4.23	ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อค่าสีและดัชนีความขาวของแป้งจากถั่วพุ่ม	42
4.24	ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อค่าสีและดัชนีความขาวของสตาร์ชจากถั่วพุ่ม	42
4.25	ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อสมบัติทางความหนืดของแป้งจากถั่วพุ่ม	44
4.26	ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อสมบัติทางความหนืดของสตาร์ชจากถั่วพุ่ม	45
4.27	ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อสมบัติทางความร้อนของสตาร์ชจากถั่วพุ่ม	46
4.28	ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อปริมาณสตาร์ชทนย่อยของแป้งและสตาร์ชจากถั่วแดงหลวง	47
4.29	ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อองค์ประกอบทางเคมีของแป้งจากถั่วแดงหลวง	47
4.30	ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อองค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชจากถั่วแดงหลวง	48
4.31	ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อค่าสีและดัชนีความขาวของแป้งจากถั่วแดงหลวง	48
4.32	ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อค่าสีและดัชนีความขาวของสตาร์ชจากถั่วแดงหลวง	49
4.33	ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อสมบัติทางความหนืดของแป้งจากถั่วแดงหลวง	50
4.34	ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อสมบัติทางความหนืดของสตาร์ชจากถั่วแดงหลวง	51
4.35	ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อสมบัติทางความร้อนของสตาร์ชจากถั่วแดงหลวง	52
4.36	ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อปริมาณสตาร์ชทนย่อยของแป้งและสตาร์ชจากถั่วเขียวผิวมัน	53
4.37	ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อองค์ประกอบทางเคมีของแป้งจากถั่วเขียวผิวมัน	53
4.38	ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อองค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชจากถั่วเขียวผิวมัน	54
4.39	ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อค่าสีและดัชนีความขาวของแป้งจากถั่วเขียวผิวมัน	55
4.40	ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อค่าสีและดัชนีความขาวของสตาร์ชจากถั่วเขียวผิวมัน	55
4.41	ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อสมบัติทางความหนืดของแป้งจากถั่วเขียวผิวมัน	57
4.42	ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อสมบัติทางความหนืดของสตาร์ชจากถั่วเขียวผิวมัน	58
4.43	ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อสมบัติทางความร้อนของสตาร์ชจากถั่วเขียวผิวมัน	59
4.44	ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อปริมาณสตาร์ชทนย่อยของแป้งและสตาร์ชจากถั่วเขียวผิวดำ	60
4.45	ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อองค์ประกอบทางเคมีของแป้งจากถั่วเขียวผิวดำ	61

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.46	องค์ประกอบทางเคมีของสสารจากถั่วเขียวผิวดำ	61
4.47	ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อค่าสีและดัชนีความขาวของแป้งจากถั่วเขียวผิวดำ	62
4.48	ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อค่าสีและดัชนีความขาวของสสารจากถั่วเขียวผิวดำ	62
4.49	ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อสมบัติทางความหนืดของแป้งจากถั่วเขียวผิวดำ	64
4.50	ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อสมบัติทางความหนืดของสสารจากถั่วเขียวผิวดำ	64
4.51	ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อสมบัติทางความร้อนของสสารจากถั่วเขียวผิวดำ	65

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ถั่วมะแฮะ (pigeonpea)	3
2.2 ถั่วพุ่ม (cowpea)	4
2.3 ถั่วแดงหลวง (red kidney bean)	5
2.4 ถั่วเขียวผิวมัน (mungbean)	5
2.5 ถั่วเขียวผิวดำ (blackgram)	6
3.1 ถั่วชนิดต่างๆ ที่ใช้ในการศึกษา	11
3.2 การเตรียมแป้งจากถั่วชนิดต่างๆ	15
3.3 การเตรียมสตาโรซจากถั่วชนิดต่างๆ	16
4.1 ลักษณะของแป้งและสตาโรซจากถั่วชนิดต่างๆ ที่เตรียมได้	21
4.2 ลักษณะของแป้งและสตาโรซจากถั่วมะแฮะที่ผ่านการตัดแปร โดยวิธีต่างๆ	36
4.3 ลักษณะของแป้งและสตาโรซจากถั่วพุ่มที่ผ่านการตัดแปร โดยวิธีต่างๆ	43
4.4 ลักษณะของแป้งและสตาโรซจากถั่วแดงหลวงที่ผ่านการตัดแปร โดยวิธีต่างๆ	50
4.5 ลักษณะของแป้งและสตาโรซจากถั่วเขียวผิวมันที่ผ่านการตัดแปร โดยวิธีต่างๆ	56
4.6 ลักษณะของแป้งและสตาโรซจากถั่วเขียวผิวดำที่ผ่านการตัดแปร โดยวิธีต่างๆ	63
ก-1 ลักษณะการวางหลอดทดลองในอ่างควบคุมอุณหภูมิ เพื่อบ่มเป็นเวลา 16 ชั่วโมง	78
ข-1 สมบัติทางความหนืดของแป้งจากถั่วชนิดต่างๆ	80
ข-2 สมบัติทางความหนืดของสตาโรซจากถั่วชนิดต่างๆ	80
ข-3 ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อสมบัติทางความหนืดของแป้งจากถั่วมะแฮะ	81
ข-4 ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อสมบัติทางความหนืดของสตาโรซจากถั่วมะแฮะ	81
ข-5 ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อสมบัติทางความหนืดของแป้งจากถั่วพุ่ม	82
ข-6 ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อสมบัติทางความหนืดของสตาโรซจากถั่วพุ่ม	82
ข-7 ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อสมบัติทางความหนืดของแป้งจากถั่วแดงหลวง	83
ข-8 ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อสมบัติทางความหนืดของสตาโรซจากถั่วแดงหลวง	83
ข-9 ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อสมบัติทางความหนืดของแป้งจากถั่วเขียวผิวมัน	84
ข-10 ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อสมบัติทางความหนืดของสตาโรซจากถั่วเขียวผิวมัน	84

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
ข-11 ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อสมบัติทางความเหนียวของแป้งจากถั่วเขียวผิวดำ	85
ข-12 ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อสมบัติทางความเหนียวของสตาร์ชจากถั่วเขียวผิวดำ	85
ก-1 ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อสมบัติทางความร้อนของแป้งจากถั่วชนิดต่างๆ	86
ก-2 ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อสมบัติทางความร้อนของสตาร์ชจากถั่วมะแฮะ	86
ก-3 ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อสมบัติทางความร้อนของสตาร์ชจากถั่วพุ่ม	87
ก-4 ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อสมบัติทางความร้อนของสตาร์ชจากถั่วแดงหลวง	87
ก-5 ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อสมบัติทางความร้อนของสตาร์ชจากถั่วเขียวผิวมัน	88
ก-6 ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อสมบัติทางความร้อนของสตาร์ชจากถั่วเขียวผิวดำ	88

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันอาหารปลอดภัยและอาหารเพื่อสุขภาพ (health foods) เป็นสิ่งที่ต้องการและอยู่ในกระแสของผู้บริโภคทั่วโลก การเพิ่มใยอาหาร (dietary fiber) เพื่อพัฒนาเป็นอาหารเส้นใยสูงก็เป็นหนทางหนึ่งสำหรับอาหารเพื่อสุขภาพ แต่การเพิ่มใยอาหารประเภทที่ไม่ละลายน้ำ (insoluble fiber) มีขีดจำกัดในเรื่องของคุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัสของอาหาร เนื่องจากมีขนาดอนุภาคที่ใหญ่ (bulky) และการอุ้มน้ำสูง มีใยอาหารประเภทแป้ง (dietary starch) ชนิดหนึ่งที่เรียกว่า Resistant Starch (RS) หรือสตาร์ชทนย่อย ซึ่งเป็นสตาร์ชที่ไม่สามารถย่อยโดยเอนไซม์ที่มีอยู่ในกระเพาะและลำไส้เล็กของมนุษย์ แต่จะผ่านไปในส่วนลำไส้ใหญ่และถูกหมักโดยจุลินทรีย์ได้เป็นกรดไขมันสายสั้น ได้แก่ อะซิเตท บิวทีเรท และโพรปิโอเนต ซึ่งทำให้ค่าพีเอชในลำไส้ใหญ่ลดลงเป็นผลดีต่อลำไส้ใหญ่ และช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค และยังมีคุณประโยชน์ต่อสุขภาพ ทางด้านการป้องกันโรคมะเร็งลำไส้ใหญ่ ทำให้ระบบการขับถ่ายดีขึ้น ลดน้ำตาลกลูโคสในเลือด ลดคอเลสเตอรอลและไตรกลีเซอไรด์ในเลือด ลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคไขมันอุดตันในเส้นเลือด โรคหัวใจ และโรคเบาหวาน และมีประโยชน์ต่อการควบคุมน้ำหนัก ช่วยในการดูดซึมแคลเซียมและธาตุเหล็กได้ดียิ่งขึ้น (Sajilata และคณะ, 2006; Lei และคณะ, 2008) ยังมีรายงานเพิ่มเติมว่า สตาร์ชทนย่อยจะทำให้เกิดสัดส่วนของบิวทีเรทที่สูงกว่าใยอาหาร (dietary fiber) ชนิดอื่น (Baghurst และคณะ, 1996) บิวทีเรทเป็นสารที่มีบทบาทสำคัญในการลดอัตราการเสี่ยงในการเกิดมะเร็งลำไส้ใหญ่ และทำให้เซลล์ก่อนเนื้องอกมีการโตที่ลดลง (Cassidy และคณะ, 1994) ในปัจจุบันสตาร์ชทนย่อยยังจัดอยู่ในกลุ่มสารอาหารประเภทพรีไบโอติก (prebiotic) และเป็นส่วนประกอบอาหารประเภทลดพลังงาน (Low-calorie food ingredient) สตาร์ชทนย่อยสามารถพบได้ในธรรมชาติในอาหารประเภทธัญพืช มันฝรั่ง เผือก ผักและผลไม้ อาหารจำพวกถั่ว (legumes) ถั่วลิสง และอาหารที่ผ่านการแปรรูปบางชนิด เป็นต้น (สิริลักษณ์ ภักดีศรีพันธ์ และ จันทน์ อริยะพงศ์สรรค์, 2553; Lunn และ Buttriss, 2007) สำหรับพืชตระกูลถั่ว นอกจากเป็นพืชที่ให้โปรตีนแล้ว ยังมีปริมาณสตาร์ชทนย่อยที่สูง Katyal และคณะ (2005) รายงานว่า อาหารประเภทถั่วที่ผ่านการแปรรูปจะมีปริมาณสตาร์ชทนย่อยที่สูงกว่าที่พบในธัญพืช เช่นเดียวกันกับการรายงานของ Yadav และคณะ (2010) พบว่า พืชตระกูลถั่วมีปริมาณสตาร์ชทนย่อยที่สูงกว่าธัญพืชประเภทข้าวสาลี ข้าว และข้าวบาร์เลย์ พืชตระกูลถั่วจึงเป็นวัตถุดิบที่น่าสนใจในการที่จะศึกษาถึงปริมาณสตาร์ชทนย่อยในประเทศไทยมีพืชตระกูลถั่วมากมายหลายชนิด ซึ่งยังไม่มีการรายงานการศึกษาถึงปริมาณสตาร์ชทนย่อยในพืชตระกูลถั่ว รวมทั้งยังไม่มีการศึกษาถึงผลกระทบของเทคนิคกระบวนการให้ความร้อนแบบต่างๆ เพื่อเพิ่มปริมาณสตาร์ชทนย่อย ดังนั้นในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณสตาร์ชทนย่อย

ในพืชตระกูลถั่วหลายๆ ชนิดที่ปลูกในไทย และศึกษาเทคนิควิธีการให้ความร้อนแบบต่างๆ เพื่อตัดแปรแป้งและสตาร์ชจากถั่วให้มีปริมาณสตาร์ชทนย่อยที่เพิ่มขึ้น เพื่อที่จะสามารถเพิ่มมูลค่าของพืชตระกูลถั่วที่ปลูกในไทยให้เป็นส่วนประกอบอาหารที่มีคุณค่าทางอาหารสูง และยังมีศักยภาพที่จะนำมาใช้เป็นส่วนประกอบในอาหารเพื่อสุขภาพ (functional foods)

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาปริมาณสตาร์ชทนย่อย สมบัติทางเคมีกายภาพและความร้อนของแป้งและสตาร์ชจากถั่วชนิดต่างๆ ที่ยังไม่ได้ผ่านการตัดแปร

1.2.2 เพื่อศึกษาผลของเทคนิควิธีการที่ใช้ในการตัดแปร ต่อปริมาณสตาร์ชทนย่อย สมบัติทางเคมีกายภาพและความร้อนของแป้งและสตาร์ชจากถั่วชนิดต่างๆ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ศึกษาปริมาณสตาร์ชทนย่อย สมบัติทางเคมีกายภาพ (วิเคราะห์หาปริมาณความชื้น ปริมาณโปรตีน ปริมาณไขมัน ปริมาณอะมิโลส ปริมาณสตาร์ชทั้งหมด ปริมาณใยอาหารทั้งหมด และสมบัติทางความหนืด) และสมบัติทางความร้อนของแป้งและสตาร์ชจากถั่วมะแฮะ ถั่วพุ่ม ถั่วแดงหลวง ถั่วเขียวผิวมัน และถั่วเขียวผิวดำที่ยังไม่ได้ผ่านการตัดแปร และศึกษาเทคนิควิธีการที่ใช้ในการตัดแปร ได้แก่ วิธีการให้ความร้อนแบบการอบ (baking) การใช้หม้อนึ่งความดันไอ (autoclave) และการใช้ไมโครเวฟ (microwave) ต่อปริมาณสตาร์ชทนย่อย สมบัติทางเคมีกายภาพ (วิเคราะห์หาปริมาณความชื้น ปริมาณอะมิโลส ปริมาณสตาร์ชทั้งหมด ปริมาณใยอาหารทั้งหมด และสมบัติทางความหนืด) และสมบัติทางความร้อนของแป้งและสตาร์ชจากถั่วชนิดต่างๆ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

งานวิจัยนี้จะเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญในการทราบถึงปริมาณสตาร์ชทนย่อยที่มีอยู่ในถั่วชนิดต่างๆ ที่ปลูกในไทย และเทคนิควิธีการการตัดแปรแป้งและสตาร์ชจากถั่ว โดยใช้กระบวนการให้ความร้อนแบบต่างๆ เพื่อให้ได้สตาร์ชทนย่อยในปริมาณที่สูงขึ้น ซึ่งสตาร์ชทนย่อยเป็นสารที่มีประโยชน์ และดีต่อสุขภาพมนุษย์ ทำให้เพิ่มมูลค่าพืชผลเกษตรไทยในแง่ของเป็นส่วนประกอบสำหรับอาหารเพื่อสุขภาพ (functional foods) ซึ่งเป็นกระแส และความต้องการของผู้บริโภคในปัจจุบันทั่วโลก

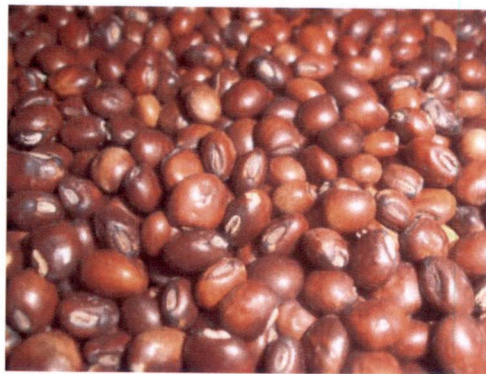
บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ถั่วมะแฮะ (pigeonpea)

ถั่วมะแฮะ (pigeonpea) เป็นพืชตระกูลถั่ว (legume) ชนิดหนึ่ง มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Cajanus cajan* (L.) เป็นพืชเมืองร้อนหรือกึ่งร้อนที่ปลูกทั่วไป และแพร่หลายมากที่สุดในประเทศอินเดีย (สมชาย ประภาวัต และคณะ, 2522) การปลูกถั่วมะแฮะในประเทศไทยพบว่า มีการปลูกอยู่ทั่วไปในทุกภูมิภาคของประเทศ ส่วนใหญ่จะบริโภคฝักสดเป็นผัก ต่อมากรมวิชาการเกษตรได้ร่วมมือกับสถาบันวิจัยพืชนานาชาติเขตร้อนกึ่งแห้งแล้ง (ICRISAT) ประเทศอินเดีย และมหาวิทยาลัยควีนส์แลนด์ ประเทศออสเตรเลีย ในการนำเมล็ดพันธุ์ถั่วมะแฮะเข้ามาปลูกร่วมกับพันธุ์ที่มีอยู่ในประเทศไทย โดยศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการปลูกถั่วมะแฮะในสภาพแวดล้อมต่างๆ ของประเทศไทย เพื่อหาแนวทางพัฒนาเป็นพืชเศรษฐกิจต่อไป (กรมวิชาการเกษตร, 2548)

ลักษณะเด่นของถั่วมะแฮะคือ ให้ผลผลิตที่เป็นน้ำหนักแห้งสูง เฉลี่ย 461 กิโลกรัมต่อไร่ มีการเจริญเติบโตแบบทอดยอด ทรงพุ่มกว้าง เมื่อกออกดอกย่อยละ 50 มีความสูง 248 เซนติเมตร ออกดอกปลายเดือนตุลาคม ก้านดอกสีเขียวอมม่วง ลำต้นสีเขียว ดอกสีเหลืองขีดแดง ติดฝักกระจายตามข้อของปลายยอด เปลือกฝักสีเขียวม่วงเล็กน้อย เยื่อหุ้มเมล็ดสีน้ำตาล อายุเก็บเกี่ยวประมาณ 208 วัน จำนวนเมล็ดต่อฝัก 3-4 เมล็ด น้ำหนัก 100 เมล็ด 11.7 กรัม ผลผลิตต้นแห้งเมื่ออายุ 210 วัน คือ 2.01 ตันต่อไร่ ปลูกได้ทั่วไปในดินทุกชนิดที่น้ำไม่ขัง ดินทรายหรือร่วนทรายที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ถั่วมะแฮะจะสามารถเจริญเติบโตได้ดี ข้อควรระวังสำหรับการปลูกคือ เป็นพืชไวแสง ระยะเวลาการปลูกมีผลต่อผลผลิตมวลชีวภาพมาก การปลูกไม่ดี เพราะจะทำให้การเจริญเติบโตของผลผลิตลดลง (กรมวิชาการเกษตร, 2548)



ภาพที่ 2.1 ถั่วมะแฮะ (pigeonpea)

2.2 ถั่วพุ่ม (cowpea)

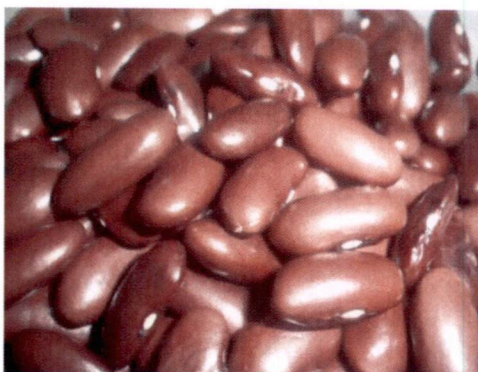
ถั่วพุ่ม มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Vigna unguiculata ssp. unguiculata* (ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว, ม.ป.ป.) มีลักษณะเด่นคือ มีผลผลิตสูงเฉลี่ย 175 กิโลกรัมต่อไร่ ให้มวลชีวภาพเฉลี่ยที่อายุ 60-65 วันหลังออกสูง 1274 กิโลกรัมต่อไร่ ต้านทานโรคใบไหม้ได้ดี มีการเจริญเติบโตแบบทอดยอด ทรงพุ่มกิ่งเลื้อย กลีบดอกสีม่วงอ่อน อายุออกดอกร้อยละ 50 ที่เวลา 35-38 วัน ช่อดอกอยู่ทั้งเหนือและในทรงพุ่ม ฝักแห้งสีฟางข้าว ยาว ก่อนข้างแบน โค้งเล็กน้อย ความยาวฝัก 15-18 เซนติเมตร จำนวนฝักต่อต้น 15 ฝัก อายุเก็บเกี่ยวครั้งแรก 60-70 วัน ขั้วเมล็ดสีขาว เปลือกหุ้มเมล็ดสีดำ เมล็ดเป็นรูปไต จำนวนเมล็ดต่อฝัก 14 เมล็ด น้ำหนัก 100 เมล็ด 14-15 กรัม ผลผลิตเมล็ดแห้ง 150-180 กิโลกรัมต่อไร่ สามารถปลูกได้ตลอดทั้งปี แต่ฤดูปลูกที่เหมาะสมคือ ต้นฤดูฝน เดือนพฤษภาคม แต่ไม่ควรปลูกในที่ที่มีหนอนศัตรูถั่วรุนแรง (กรมวิชาการเกษตร, 2548)



ภาพที่ 2.2 ถั่วพุ่ม (cowpea)

2.3 ถั่วแดงหลวง (red kidney bean)

ถั่วแดงหลวง มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Phaseolus vulgaris* มีถิ่นกำเนิดในแถบทวีปอเมริกา ถูกนำเข้ามาปลูกในประเทศไทยครั้งแรกโดยโครงการหลวงในปี พ.ศ. 2516 เพื่อจุดประสงค์ให้ชาวเขาปลูกเป็นพืชทดแทนฝิ่น และช่วยรักษาความอุดมสมบูรณ์ของดินบนที่สูง เป็นพืชผสมตัวเอง มีเมล็ดสีแดง รูปร่างคล้ายไต เจริญเติบโตได้ดีในพื้นที่สูงจากระดับน้ำทะเล 500-1500 เมตร น้ำหนักเมล็ด 100-1000 มิลลิกรัม ถั่วแดงหลวงเป็นพืชที่ออกดอก และตอบสนองต่อช่วงแสงสั้น การเจริญเติบโตมีทั้งแบบทอดยอดและไม่ทอดยอด (ศูนย์วิทยบริการเพื่อส่งเสริมการเกษตร, ม.ป.ป.)



ภาพที่ 2.3 ถั่วแดงหลวง (red kidney bean)

2.4 ถั่วเขียว

2.4.1 ถั่วเขียวผิวมัน (mungbean)

ถั่วเขียวผิวมัน มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Vigna radiate* (ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว, ม.ป.ป.) เป็นพืชที่มีอายุสั้น ใช้ปลูกก่อนหรือหลังการทำนาหรือทำไร่ เพื่อตัดวงจรการระบาดของศัตรูพืช ช่วยบำรุงรักษาความอุดมสมบูรณ์ของดิน ตรึงไนโตรเจนได้ดี ถั่วเขียวใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตแป้งวุ้นเส้น เพาะถั่วงอกและประกอบอาหารอื่นๆ (กรมวิชาการเกษตร, ม.ป.ป.) ในกรณีของถั่วเขียวผิวมันพันธุ์ชัชนาท 72 ที่ใช้ในการศึกษา จะมีเสถียรภาพดีในการให้ผลผลิต สามารถปลูกได้ในดินต่าง โดยไม่มีผลกระทบต่อผลผลิต แต่ใบจะแสดงอาการเหลืองเล็กน้อย ในระยะแรกของการเจริญเติบโต

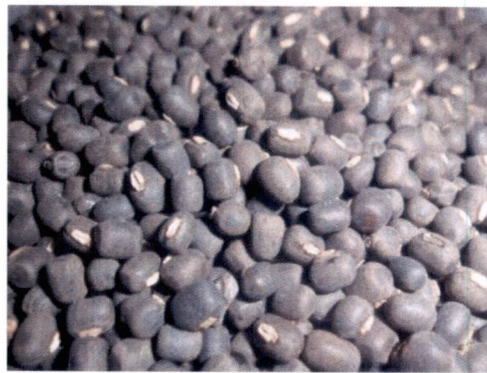
ลักษณะประจำพันธุ์คือ มีโคนต้นสีเขียว ความสูงของต้นเฉลี่ย 66 เซนติเมตร ใบสีเขียวอ่อน ก้านใบสีเขียว ดอกสีเหลืองอ่อน ฝักแก่สีดำ อายุการเก็บเกี่ยว 63 วัน จำนวนฝักต่อต้น 15 ฝัก จำนวนเมล็ดต่อฝัก 11 เมล็ด เมล็ดมีรูปร่างค่อนข้างกลม มีสีเขียว น้ำหนัก 1000 เมล็ด 66 กรัม สามารถปลูกได้ทุกฤดู และทุกภาคของประเทศไทย (กรมวิชาการเกษตร, 2548)



ภาพที่ 2.4 ถั่วเขียวผิวมัน (mungbean)

2.4.2 ถั่วเขียวผิวดำ (blackgram)

ถั่วเขียวผิวดำ มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Vigna mungo radiate* (ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยี หลังการเก็บเกี่ยว, ม.ป.ป.) ในกรณีของถั่วเขียวผิวดำที่ใช้ในการศึกษาคือ ถั่วเขียวผิวดำพันธุ์ชยันนาท 80 ซึ่งเป็นพันธุ์ที่เกิดจากการผสมข้ามพันธุ์ระหว่างพันธุ์ปราจีนกับพันธุ์ NBG 5 ลักษณะการเจริญเติบโตตั้งตรงทอดยอดเล็กน้อยโดยระยะเป็นต้นอ่อน ต้นอ่อนมีใบเลี้ยงสีม่วง ใบ ก้านใบและฝักไม่มีขน กลีบดอกสีเหลือง ฝักอ่อนมีสีเขียวเข้ม เมล็ดมีลักษณะรูปทรงกระบอก อายุการเก็บเกี่ยว 83 วัน มีจำนวนฝัก 45 ฝักต่อต้น จำนวนเมล็ด 7 เมล็ดต่อฝัก ความยาวฝัก 5.2 เซนติเมตร ให้ผลผลิตสูงเฉลี่ย 250 กิโลกรัมต่อไร่ เหมาะสำหรับการเพาะถั่วงอก โดยน้ำหนักถั่วงอกสดสูงกว่าพันธุ์พิษณุโลก 2 ร้อยละ 6 และมีรสชาติหวานกว่าพันธุ์พิษณุโลก 2 เป็นพันธุ์ที่ไม่มีขนที่ใบ และฝักทำให้เก็บเกี่ยวง่าย อายุการเก็บเกี่ยวสั้น (กรมวิชาการ เกษตร, 2548)



ภาพที่ 2.5 ถั่วเขียวผิวดำ (blackgram)

2.5 สตาร์ชทนย่อย (resistant starch)

สตาร์ชทนย่อย (resistant starch; RS) ตามคำนิยามของ European FLAIR-Concerted Action on Resistant Starch หมายถึง สตาร์ชและผลิตภัณฑ์ของสตาร์ชที่ไม่สามารถถูกย่อยสลายได้ด้วยเอนไซม์และกรดซิมภายในลำไส้เล็กของมนุษย์ได้ สามารถเกิดขึ้นเองได้ตามธรรมชาติแต่เป็นส่วนน้อย โดยเมล็ดสตาร์ชจะถูกห่อหุ้มอยู่ในร่างแหของโปรตีน หรือถูกตรึงอยู่ในเซลล์หุ้มเมล็ดพืช ทำให้เอนไซม์ไม่สามารถเข้าไปทำปฏิกิริยาในเมล็ดสตาร์ชได้ (เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ และกล้าณรงค์ ศรีรอด, 2544) สามารถแบ่งได้ 4 ชนิด (Englyst และคณะ, 1992; Brown และคณะ, 1995) ดังนี้

2.5.1 สตาร์ชที่มีลักษณะทางธรรมชาติขัดขวางการทำงานของเอนไซม์ (physically inaccessible starch; RS1) พบในเมล็ดพืชที่ถูกทำลายไปบางส่วนจากการบด ในพืชตระกูลถั่ว (legumes) จะพบมากเนื่องจากมีผนังเซลล์หนา กระบวนการเตรียมและการกระบวนการหุงต้ม มีอิทธิพลมากต่อปริมาณ RS ในอาหาร เพราะจะทำให้ผนังเซลล์ถูกทำลาย (Champ และคณะ, 2003)

2.5.2 เม็ดสตาร์ชดิบที่ทนต่อการทำงานของเอนไซม์ (ungelatinized starch; RS2) เช่น เม็ดสตาร์ชมันฝรั่งดิบ เม็ดสตาร์ชกล้วยดิบ เม็ดสตาร์ชถั่วดิบ และในสตาร์ชข้าวโพดที่มีอะไมโลสสูง (Nugent, 2005) โดยคงทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ การเกิดเจลลาทีนในเซชันของสตาร์ชจะช่วยให้เอนไซม์เข้าไปทำปฏิกิริยากับเม็ดสตาร์ชได้มากขึ้น (Champ และคณะ, 2003)

2.5.3 สตาร์ชที่ผ่านการรีโทรเกรเดชัน (retrograded starch; RS3) อาหารที่ผ่านการให้ความร้อนจนสตาร์ชเกิดการเจลลาทีนในเซชัน แล้วถูกทำให้เย็นตัวลง ทำให้ส่วนของอะไมโลสที่ กระจายออกมาจากเม็ดสตาร์ชเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ได้เป็นผลึกที่แข็งแรง และทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ เช่น ขนมปัง และ Corn flake (Lunn และ Buttriss, 2007)

2.5.4 สตาร์ชที่ดัดแปรทางเคมี (chemically modified starch; RS4) เป็นการดัดแปรโครงสร้างด้วยสารเคมีหรืออนุภูมิ เพื่อให้สตาร์ชทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ เช่น สตาร์ชอีเทอร์ (starch ethers) และสตาร์ชเอสเทอร์ (starch esters) รวมถึงสตาร์ชที่ผ่านการเชื่อมข้าม (cross-bonded starch) (Baghurst และคณะ, 1996; Brown และคณะ, 1998)

ตารางที่ 2.1 การจำแนกชนิดของสตาร์ชทนย่อย (resistant starch; RS)

ชนิดของ RS	คำอธิบาย	แหล่งของอาหารที่พบ	ปัจจัยที่ทำให้ได้ปริมาณ RS ลดลง
RS1	สตาร์ชที่มีลักษณะทางกายภาพขัดขวางการทำงานของเอนไซม์	ธัญพืชที่ไม่ขัดสี หรือขัดสีบางส่วน พืชตระกูลถั่ว พาสต้า	การบด การเคี้ยว
RS2	สตาร์ชดิบที่ทนต่อการทำงานของเอนไซม์	สตาร์ชมันฝรั่งดิบ สตาร์ชกล้วยดิบ สตาร์ชถั่วดิบ และในสตาร์ชข้าวโพดที่มีอะไมโลสสูง	กระบวนการแปรรูปอาหาร และกระบวนการหุงต้ม
RS3	สตาร์ชที่ผ่านการรีโทรเกรเดชัน	มันฝรั่งที่ผ่านความร้อนและทำให้เย็น ขนมปัง และ Corn flake	สภาพที่ใช้ในการแปรรูป
RS4	สตาร์ชที่ดัดแปรทางเคมี	เป็น RS ที่ไม่พบในอาหาร และสหภาพยุโรป (EU) ยังไม่อนุญาตให้ใช้	การย่อยในหลอดทดลอง

ที่มา: ดัดแปลงจาก Nugent (2005)

จากตารางที่ 2.1 จะเห็นได้ว่า สตาร์ชทนย่อยสามารถพบได้ในอาหารธรรมชาติทั้งแบบดิบ และที่ผ่านการแปรรูปแล้ว ในจำนวนทั้งหมด 4 ประเภทนั้น RS3 จะเป็นสิ่งที่น่าสนใจศึกษามากที่สุด เนื่องจาก RS3 สามารถทำให้เกิดขึ้นมากน้อยได้ด้วยปัจจัยที่แตกต่างกัน RS3 เกิดจากโครงสร้างเม็ดแป้งแตก ในขณะที่เกิดกระบวนการเจลลาทีนในเซชัน (gelatinization) ของแป้ง โดยการให้ความร้อนในปริมาณน้ำที่

มากเพียงพอ หลังจากทีระบบเย็นตัวลง การจับกันใหม่ของสายโมเลกุลอะไมโลส และอะไมโลเพคตินจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ (retrogradation) เทคนิคกระบวนการแปรรูปต่างๆ เช่น การใช้หม้อนึ่งความดันซึ่งเป็นการให้ความร้อนแบบร้อนชื้น การอบ extrusion และการใช้รังสีไมโครเวฟ จะส่งผลต่อการเกิดเจลาติในเซชัน ในขณะที่เทคนิคการทำให้เย็น การทำให้สุกแล้วตามด้วยการทำให้เย็นหลายๆ รอบ ล้วนเป็นเทคนิคที่นำมาใช้ในการเพิ่มปริมาณสตาร์ช ทนย่อยประเภท RS3

สำหรับพืชตระกูลถั่วที่เป็นแหล่งของสตาร์ชทนย่อย ถ้ามีการศึกษาเทคนิคและสภาวะของกระบวนการให้ความร้อน และการทำให้เย็นจะทำให้สามารถเพิ่มปริมาณสตาร์ชทนย่อยให้สูงขึ้นได้ มีงานวิจัยที่รายงานการศึกษาปริมาณของสตาร์ชทนย่อยในพืชโดยไม่ได้คัดแปรสตาร์ชดังนี้

สิริลักษณ์ ภักดีศรีพันธ์ และ จันทน์ อูริยะพงศ์สรณ์ (2553) ศึกษาปริมาณสตาร์ชทนย่อย (resistant starch; RS) ของหัวเผือกสด 3 สายพันธุ์ คือ เผือกหอม (PH) เผือกหอมเชียงใหม่ (PHC) และ เผือกไม้ (PM) ที่เก็บเกี่ยวใน 3 ฤดู (ฤดูร้อน ฝน และ หนาว) พบว่าพันธุ์เผือกและฤดูกาลเก็บเกี่ยวมีอิทธิพลร่วมต่อปริมาณสตาร์ชทนย่อย หัวเผือกสดพันธุ์เผือกไม้ และเผือกหอมเชียงใหม่ที่เก็บเกี่ยวในฤดูร้อนมีปริมาณสตาร์ชทนย่อยมากที่สุด (ร้อยละ 49.97 และ 48.76 ตามลำดับ) ขณะที่หัวเผือกสดพันธุ์เผือกไม้ที่เก็บเกี่ยวในฤดูฝนมีปริมาณสตาร์ชทนย่อยน้อยที่สุด (ร้อยละ 22.8) เมื่อเทียบกับพันธุ์และฤดูกาลอื่น และการศึกษาคุณสมบัติทางเคมี (ไขมัน โปรตีน และเถ้า) สี และคุณสมบัติด้านการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งเผือกที่ใช้วิธีการไม่แห้ง หัวเผือกสดแต่ละพันธุ์ที่เก็บเกี่ยวในฤดูร้อน และคุณสมบัติด้านการเปลี่ยนแปลงความหนืดของสตาร์ชโดยวิธีการไม่เปียก พบว่า แป้งเผือกจากพันธุ์ PM มีปริมาณไขมัน โปรตีน และเถ้าสูงที่สุด (ร้อยละ 0.48 10.54 และ 4.01 ตามลำดับ) เมื่อเปรียบเทียบกับสตาร์ชของพันธุ์ PM (ร้อยละ 0.001 0.26 และ 0.35 ตามลำดับ) รวมทั้งแป้งและสตาร์ชของพันธุ์อื่น แป้งเผือกพันธุ์ PM มีปริมาณสตาร์ชทนย่อยมากที่สุด (ร้อยละ 49.68) เมื่อเปรียบเทียบกับสตาร์ชของ PM (ร้อยละ 19.34) และมีค่าความเป็นสีเหลือง (+b*) มากที่สุด (4.17) เมื่อเทียบกับสตาร์ชของ PM (1.99) และพันธุ์อื่นๆ สตาร์ชจากเผือกทุกพันธุ์มีค่าความหนืดสุดท้าย และค่าการคืนตัวสูง แต่มีค่าอุณหภูมิที่เริ่มเกิดเจลาติในเซชันลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งเผือก

สำหรับงานวิจัยที่ใช้การคัดแปรสตาร์ชที่ได้จากพืชชนิดต่างๆ โดยใช้วิธีที่แตกต่างกัน เพื่อเพิ่มปริมาณสตาร์ชทนย่อย และการศึกษาถึงสมบัติทางเคมีกายภาพ และสมบัติเชิงหน้าที่ของสตาร์ชคัดแปรมีดังนี้

González-Soto และคณะ (2004) ศึกษาการคัดแปรสตาร์ชจากสตาร์ชจากกล้วยดิบ โดยการนำสตาร์ชจากกล้วยดิบผ่านกระบวนการให้ความร้อนชื้นโดยใช้หม้อนึ่งความดันไอ (autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แล้วจึงนำมาย่อยเอนไซม์ pullulanase ในปริมาณความเข้มข้นที่แตกต่างกัน พบว่าตัวอย่างควบคุมที่ไม่ได้ผ่านเอนไซม์มีค่า available starch (ร้อยละ 80.5) ในปริมาณสูงที่สุด และมีปริมาณสตาร์ชทนย่อยที่ต่ำที่สุด (ร้อยละ 9.1) ตัวอย่างที่ผ่านเอนไซม์ 5 ชั่วโมงหรือนานกว่านั้นจะมีค่า available starch (ประมาณร้อยละ 72) และค่าปริมาณสตาร์ชถูกย่อย (ประมาณร้อยละ 18) ซึ่ง

มากกว่าตัวอย่างควบคุมประมาณ 2 เท่า คณะผู้วิจัยยังรายงานเพิ่มเติมว่า สตาร์ชกล้วยดิบเป็นแหล่งของ สตาร์ชทนย่อยที่ดีแหล่งหนึ่งซึ่งสามารถใช้เป็นสารเภสัชโภชนศาสตร์ (nutraceutic ingredients) ในการ ทำอาหารเพื่อสุขภาพ (functional food)

Aparicio-Saguilán และคณะ (2005) ศึกษาการเพิ่มปริมาณสตาร์ชทนย่อยในสตาร์ช กล้วยดิบทั้ง แบบที่ไม่ได้ตัดแปรและที่ตัดแปรโดยใช้กรด (lintnerized) โดยนำไปผ่าน หม้อนึ่งความดันไอน้ำ (autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และทำให้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จำนวน 3 รอบ พบว่า สตาร์ชกล้วยที่ผ่านการให้ความร้อน และการทำให้เย็นจำนวน 3 รอบ ให้ค่าปริมาณสตาร์ชทนย่อยที่สูงกว่าตัวอย่างที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการ โดยเฉพาะในตัวอย่าง สตาร์ชจากกล้วยที่ผ่านการตัดแปรโดยใช้กรดจะให้ค่าที่สูงกว่าไม่ได้ตัดแปรประมาณร้อยละ 19 น้ำหนักแห้ง ตัวอย่างที่มีค่าปริมาณสตาร์ชที่สูงขึ้นนี้จะมีค่าการละลาย และค่าการพองตัวที่ต่ำลง สำหรับค่า อุณหภูมิที่เกิดเจลาทิโนเซชันสูงสุด (peak temperature; T_p) และค่าพลังงานในการสลายโครงสร้างผลึก (enthalpy; ΔH) ของตัวอย่างที่ผ่านการให้ความร้อน และการทำให้เย็นมีค่าที่สูงกว่าตัวอย่างที่ไม่ได้ผ่าน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Agustiniano-Osornio และคณะ (2005) ศึกษาการตัดแปรสตาร์ชจากมะม่วงดิบโดยใช้การ extrusion เพื่อเพิ่มปริมาณสตาร์ชทนย่อย โดยใช้ตัวแปรในการศึกษาคือ อุณหภูมิ ความเร็วสกรู และ ปริมาณความชื้น พบว่า ปริมาณสตาร์ชทนย่อยจะมีค่าสูงที่สุด (97 กรัมต่อกิโลกรัม) เมื่ออยู่ในสภาวะที่ สกรูมีความเร็วต่ำ และอุณหภูมิที่สูง ซึ่งในสภาวะนี้เป็นสภาวะที่สายโมเลกุลอะไมโลสจะจับตัวกัน

Tribess และคณะ (2009) ศึกษาผลสภาวะของการทำแห้งกล้วยดิบ เพื่อใช้ในการเตรียมแป้ง กล้วยดิบ ต่อสมบัติทางด้านความร้อนและปริมาณสตาร์ชทนย่อย โดยแปรสภาวะอุณหภูมิทำแห้งดังนี้ 52 55 และ 58 องศาเซลเซียส และความเร็วลม 0.6 1.0 และ 4 เมตรต่อวินาที พบว่า อุณหภูมิการทำแห้งส่งผล อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ต่อค่าอุณหภูมิที่เกิดเจลาทิโนเซชันสูงสุด (peak temperature; T_p) ค่าพลังงาน ในการสลายโครงสร้างผลึก (enthalpy; ΔH) อยู่ในช่วง 9.04 ถึง 11.63 จูลต่อกรัม ทั้งอุณหภูมิการทำแห้ง และความเร็วลมไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงพลังงาน ปริมาณสตาร์ชทนย่อยพบอยู่ในช่วง 40.9 ถึง 58.5 กรัมต่อ 100 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ปัจจัยร่วมของความเร็วลม และอุณหภูมิส่งผลต่อค่าปริมาณสตาร์ชทน ย่อย สภาวะของอุณหภูมิทำแห้งและความเร็วลม 55 องศาเซลเซียสต่อ 1.4 เมตรต่อวินาที และ 55 องศาเซลเซียสต่อ 1.0 เมตรต่อวินาที ทำให้มีค่าปริมาณสตาร์ชทนย่อยสูงกว่าสภาวะอื่น

Yadav และคณะ (2010) ศึกษาผลของระยะเวลาการเก็บ (12 และ 24 ชั่วโมง) และอุณหภูมิการเก็บ (4 และ 25 องศาเซลเซียส) ต่อปริมาณสตาร์ชทนย่อยของเมล็ดธัญพืช และพืชตระกูลถั่วทั้งในรูปแบบทั้ง เมล็ดและแป้ง (flour) ที่ผ่านการให้ความร้อนโดยหม้อนึ่งความดันไอน้ำ พบว่า ปริมาณสตาร์ชทนย่อย เพิ่มขึ้นสำหรับในทุกตัวอย่างที่ผ่านหม้อนึ่งความดันไอน้ำ และเก็บที่สภาวะต่างๆ กัน โดยพบค่าปริมาณ สตาร์ชทนย่อยที่สูงขึ้นในสภาวะการเก็บที่ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (ร้อยละ 41.4 สำหรับ แป้งสาลี และร้อยละ 85.4 สำหรับแป้งถั่ว) นอกจากนี้ ระดับของสตาร์ชที่ถูกย่อย (*In vitro* starch

digestibility) จะมีค่าลดลงเมื่อตัวอย่างถูกเก็บในสภาวะ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แสดงถึงในโมเลกุลแป้งมีความแข็งแรงมากขึ้น

Polesi และ Sarmiento (2011) ศึกษาสมบัติทางโครงสร้างและสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชทนย่อยจากสตาร์ชจากถั่วลูกไก่ (chickpea) ที่ผ่านการตัดแปร โดยใช้เอนไซม์ (pullulanase) หรือกรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid) และการให้ความร้อนขึ้น โดยใช้หม้อนึ่งความดันไอ ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที) พบว่าการย่อยจะเพิ่มสตาร์ชทนย่อยจากร้อยละ 16 เป็นค่าในช่วงร้อยละ 20 และ 32 และยังพบอีกว่าการย่อยสตาร์ชที่ถูกทำให้สุกแล้วด้วยการใช้เอนไซม์เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด สตาร์ชทนย่อยมีค่าการดูดซับน้ำ และค่าการละลายน้ำเพิ่มขึ้น สตาร์ชทนย่อยมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของผลึกจากแบบ C เป็นแบบ B ค่าความเป็นผลึกสูงขึ้น แต่ค่าความหนืดลดลง เนื่องจากมีการแตกตัวของโมเลกุลแป้งเนื่องจากถูกย่อย

Li และคณะ (2011) ศึกษาผลของกระบวนการให้ความร้อนขึ้น (heat-moisture treatment) ต่อปริมาณสตาร์ชทนย่อย ลักษณะทางเคมีกายภาพ และสมบัติเชิงหน้าที่ของสตาร์ชทนย่อย โดยแปรปริมาณความชื้นในสตาร์ชจากถั่วเขียวเป็นร้อยละ 15 20 25 25 30 และ 35 และให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง พบว่า ปริมาณสตาร์ชทนย่อย และปริมาณของกลุ่มสตาร์ชจากถั่วเขียวที่ผ่านการให้ความร้อนขึ้นสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติว่าตัวอย่างควบคุมที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการให้ความร้อนขึ้น โดยสตาร์ชจากถั่วเขียวที่มีความชื้น ร้อยละ 20 มีค่าสตาร์ชทนย่อยสูงที่สุด กลุ่มสตาร์ชจากถั่วเขียวที่ผ่านการให้ความร้อนขึ้นมีส่วนของน้ำหนักรวมโมเลกุลของสตาร์ชที่มีน้ำหนักรวมในปริมาณที่สูงกว่าตัวอย่างควบคุม กลุ่มสตาร์ชจากถั่วเขียวที่ผ่านการให้ความร้อนขึ้น และสตาร์ชจากถั่วเขียวที่ไม่ได้ผ่านการให้ความร้อน (native starch) มีรูปแบบของ X-ray diffraction เป็น A-type กลุ่มสตาร์ชจากถั่วเขียวที่ผ่านการให้ความร้อนขึ้นมีความเป็นผลึกมากกว่า และค่าการละลายน้ำเพิ่มขึ้น แต่ค่าการพองตัวลดลง สำหรับอุณหภูมิการเกิดเจล และค่าการเปลี่ยนแปลงพลังงานของกลุ่มสตาร์ชจากถั่วเขียวที่ผ่านการให้ความร้อนขึ้นมีค่าที่สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเช่นเดียวกัน ดังนั้น การตัดแปรทางกายภาพโดยการให้ความร้อนขึ้นกับสตาร์ชจากถั่วเขียวสามารถเพิ่มปริมาณสตาร์ชทนย่อยได้ โดยวัดได้จากลักษณะทางเคมีกายภาพต่างๆ ที่แสดงถึงสมบัติการทนความร้อน และมีความแข็งแรงของพันธะในโมเลกุลสตาร์ชที่มากขึ้น

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัตถุประสงค์

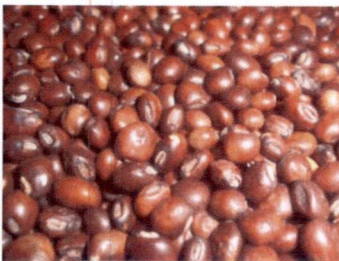
3.1.1 ถั่วมะแฮะ (pigeon pea; *Cajanus cajan*) พันธุ์ขอนแก่น ได้รับอนุเคราะห์จากศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น เมล็ดสมบูรณ์ไม่มีตำหนิ เช่น แมลงเจาะ เมล็ดแตกหัก

3.1.2 ถั่วพุ่ม (cowpea; *Vigna unguiculata ssp. unguiculata*) พันธุ์อุบลราชธานี ได้รับอนุเคราะห์จากศูนย์วิจัยพืชไร่อุบลราชธานี เมล็ดสมบูรณ์ไม่มีตำหนิ เช่น แมลงเจาะ เมล็ดแตกหัก

3.1.3 ถั่วแดงหลวง (red kidney bean; *Phaseolus vulgaris*) พันธุ์หมากจ้ำม จากมูลนิธิโครงการหลวง เมล็ดสมบูรณ์ไม่มีตำหนิ เช่น แมลงเจาะ เมล็ดแตกหัก

3.1.4 ถั่วเขียวผิวมัน (mungbean; *Vigna radiate*) พันธุ์ชยันต 72 ได้รับอนุเคราะห์จากศูนย์วิจัยพืชไร่ชยันต เมล็ดสมบูรณ์ไม่มีตำหนิ เช่น แมลงเจาะ เมล็ดแตกหัก

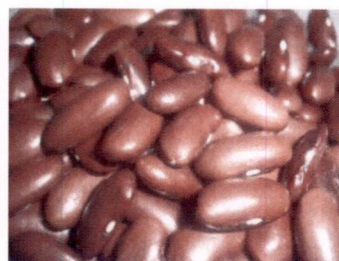
3.1.5 ถั่วเขียวผิวดำ (black gram; *Vigna mungo*) พันธุ์ชยันต 80 ได้รับอนุเคราะห์จากศูนย์วิจัยพืชไร่ชยันต เมล็ดสมบูรณ์ไม่มีตำหนิ เช่น แมลงเจาะ เมล็ดแตกหัก



ถั่วมะแฮะ



ถั่วพุ่ม



ถั่วแดงหลวง



ถั่วเขียวผิวมัน



ถั่วเขียวผิวดำ

ภาพที่ 3.1 ถั่วชนิดต่างๆ ที่ใช้ในการศึกษา

3.2 เครื่องมือ

- 3.2.1 เครื่องกระเทาะเปลือกถั่ว
- 3.2.2 ตู้อบแบบถาด (tray dryer) ผลิตโดยบริษัท โพรเกรส อีเล็กทรอนิกส์ ประเทศไทย
- 3.2.3 เครื่องบดแบบหยาบ (hammer mill) ผลิตโดยบริษัท Philip-Cucina ประเทศอินโดนีเซีย
- 3.2.4 เครื่องบดแบบเข็ม (pin mill) รุ่น ZM 1000 ผลิตโดยบริษัท Retsch ประเทศเยอรมัน
- 3.2.5 ตู้อบลมร้อน (hot air oven) รุ่น FED 53 ผลิตโดยบริษัท Binder ประเทศสหรัฐอเมริกา
- 3.2.6 เครื่องชั่งละเอียด 2 ตำแหน่ง รุ่น PB3002-L ผลิตโดยบริษัท Mettler toledo ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
- 3.2.7 เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง รุ่น ML204 ผลิตโดยบริษัท Mettler toledo ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
- 3.2.8 เครื่องหมุนเหวี่ยง (centrifuge) รุ่น Legend Mach 1.6 R ผลิตโดยบริษัท ThermoFisher ประเทศเยอรมัน
- 3.2.9 UV-VIS Spectrophotometer รุ่น UV-1601 ผลิตโดยบริษัท Shimadzu ประเทศญี่ปุ่น
- 3.2.10 เครื่อง Rapid Visco Analyser (RVA) รุ่น RVA Super 3 ผลิตโดยบริษัท Newport Scientific ประเทศออสเตรเลีย
- 3.2.11 อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water bath) รุ่น WNB 7-45 ผลิตโดยบริษัท Memmert ประเทศเยอรมัน
- 3.2.12 เตาเผา (muffle furnace) รุ่น LT40 ผลิตโดยบริษัท Nabertherm ประเทศเยอรมัน
- 3.2.13 เครื่องวัดพีเอช (pH meter) รุ่น SevenEasy ผลิตโดยบริษัท Mettler toledo ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
- 3.2.14 micro-pipettors และ Tips ผลิตโดยบริษัท Mettler toledo ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
- 3.2.15 โถสำหรับดูดความชื้น (desiccator)
- 3.2.16 magnetic stirrers และ stirring bars รุ่น C-MAG MS 7 ผลิตโดยบริษัท IKA-Werke GmbH ประเทศเยอรมัน
- 3.2.17 เครื่อง vortex mixer รุ่น G560E ผลิตโดยบริษัท Scientific Industries ประเทศสหรัฐอเมริกา
- 3.2.18 ไมโครเวฟ (microwave) รุ่น MW71B ผลิตโดยบริษัท Samsung ประเทศเกาหลี
- 3.2.19 หม้อนึ่งความดันไอน้ำ (autoclave) รุ่น ES-315 ผลิตโดยบริษัท ไทยซัมซุง อิเลคโทร-นิคส์ จำกัด ประเทศไทย
- 3.2.20 เครื่องมือวิเคราะห์ปริมาณไขมัน รุ่น S306AK ผลิตโดยบริษัท Gerhardt ประเทศอังกฤษ
- 3.2.21 เครื่องมือวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (kjeldahl apparatus) ผลิตโดยบริษัท Gerhardt ประเทศอังกฤษ

3.2.22 เครื่อง Differential Scanning Calorimeter รุ่น DSC 1 ผลิตโดยบริษัท Mettler toledo ประเทศสวิตเซอร์แลนด์

3.2.23 เครื่องวัดสี รุ่น ColorQuest XE ผลิตโดยบริษัท HunterLab ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.2.24 อุปกรณ์เครื่องแก้ว

3.2.25 Thermometer

3.3 สารเคมี

3.3.1 acetic acid บริษัท Merck ประเทศเยอรมัน

3.3.2 acetone บริษัท Merck ประเทศเยอรมัน

3.3.3 amylose from potato (Standard) บริษัท Fluka ประเทศเยอรมัน

3.3.4 boric acid บริษัท Merck ประเทศเยอรมัน 3.3.5 Celite 545 บริษัท Fluka ประเทศเยอรมัน

3.3.5 calcium chloride (CaCl_2) บริษัท Ajax Finechem ประเทศนิวซีแลนด์

3.3.6 celite บริษัท Fluka ประเทศเยอรมัน

3.3.7 copper sulfate (CuSO_4) บริษัท Ajax Finechem ประเทศนิวซีแลนด์

3.3.8 dimethyl sulfoxide (DMSO) บริษัท Riedel de Haen ประเทศเยอรมัน

3.3.9 ethyl alcohol บริษัท อิตัลมาร์ ประเทศไทย

3.3.10 hydrochloric acid (HCl) บริษัท Merck ประเทศเยอรมัน

3.3.11 iodine (I_2) บริษัท Carlo Erba Reagenti ประเทศอิตาลี

3.3.12 maleic acid บริษัท Ajax Finechem ประเทศนิวซีแลนด์

3.3.13 methylene blue บริษัท Ajax Finechem ประเทศนิวซีแลนด์

3.3.14 methyl red บริษัท Merck ประเทศเยอรมัน

3.3.15 petroleum ether บริษัท Carlo Erba Reagenti ประเทศอิตาลี

3.3.16 potassium hydroxide (KOH) บริษัท Ajax Finechem ประเทศนิวซีแลนด์

3.3.17 potassium iodide (KI) บริษัท Carlo Erba Reagenti ประเทศอิตาลี

3.3.18 potassium sulfate (K_2SO_4) บริษัท Carlo Erba Reagenti ประเทศอิตาลี

3.3.19 sodium azide บริษัท Merck ประเทศเยอรมัน

3.3.20 sodium hydroxide (NaOH) บริษัท Carlo Erba Reagenti ประเทศอิตาลี

3.3.21 sodium phosphate anhydrate (Na_2HPO_4) บริษัท BDH ประเทศอังกฤษ

3.3.22 sodium phosphate monohydrate (NaH_2PO_4) บริษัท Ajax Finechem ประเทศนิวซีแลนด์

3.3.23 sulfuric acid (H_2SO_4) บริษัท Merck ประเทศเยอรมัน

3.4 ชุดตรวจสอบสำเร็จ

3.4.1 ชุดตรวจสอบปริมาณสตาร์ชทนย่อย (resistant starch assay procedure K-RSTAR 05/2008, 100 assays per kit) บริษัท Megazyme ประเทศไอร์แลนด์

3.4.2 ชุดตรวจสอบปริมาณสตาร์ช (total starch assay procedure K-TSTA 04/2009, 100 assays per kit; amyloglucosidase/ α -amylase method) บริษัท Megazyme ประเทศไอร์แลนด์

3.4.3 ชุดตรวจสอบปริมาณใยอาหารทั้งหมด (total dietary fibre assay procedure K-TDFR 07/11, 200 assays per kit) บริษัท Megazyme ประเทศไอร์แลนด์

3.5 การเตรียมแป้ง (flour) และสตาร์ช (starch) จากถั่วชนิดต่างๆ

3.5.1 การเตรียมแป้งจากถั่วชนิดต่างๆ

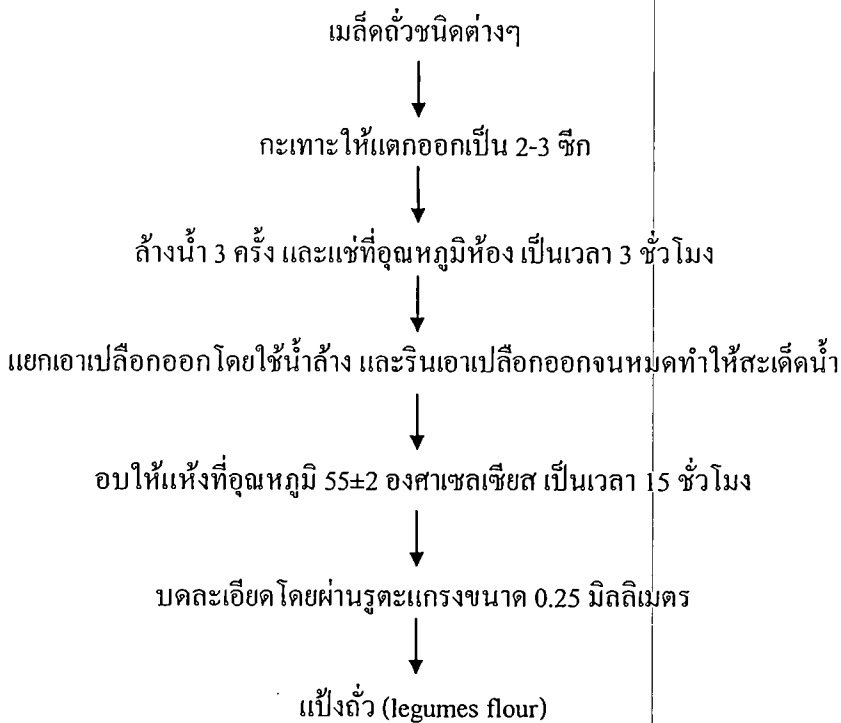
เตรียมแป้งถั่วชนิดต่างๆ โดยตัดแปลงจากวิธีของ สมชาย ประภาวัต และคณะ (2541) นำเมล็ดถั่วชนิดต่างๆ มาแยกกะเทาะให้แตกออกเป็น 2-3 ซีก โดยใช้เครื่องกะเทาะเปลือกถั่ว และนำมาล้างน้ำ 3 ครั้งจนสะอาด ก่อนนำไปแช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แยกเอาเปลือกออกโดยใช้น้ำล้างและรินเอาเปลือกออกจนหมดทำให้สะอาดแล้วนำถั่วที่ได้ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 55 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 ชั่วโมง นำมาบดละเอียดโดยผ่านรูดตะแกรงขนาด 0.25 มิลลิเมตร ได้เป็นแป้งถั่ว (ภาพที่ 3.2) สังเกตลักษณะของแป้งที่ผลิตได้ และคำนวณปริมาณร้อยละของแป้งที่ได้ (% yield) เป็นน้ำหนักแห้ง (dry basis)

$$\text{ปริมาณของแป้งที่ได้ (\% Yield)} = \frac{(\text{น้ำหนักแป้งถั่วที่ได้}) \times 100}{\text{น้ำหนักถั่วเริ่มต้น}}$$

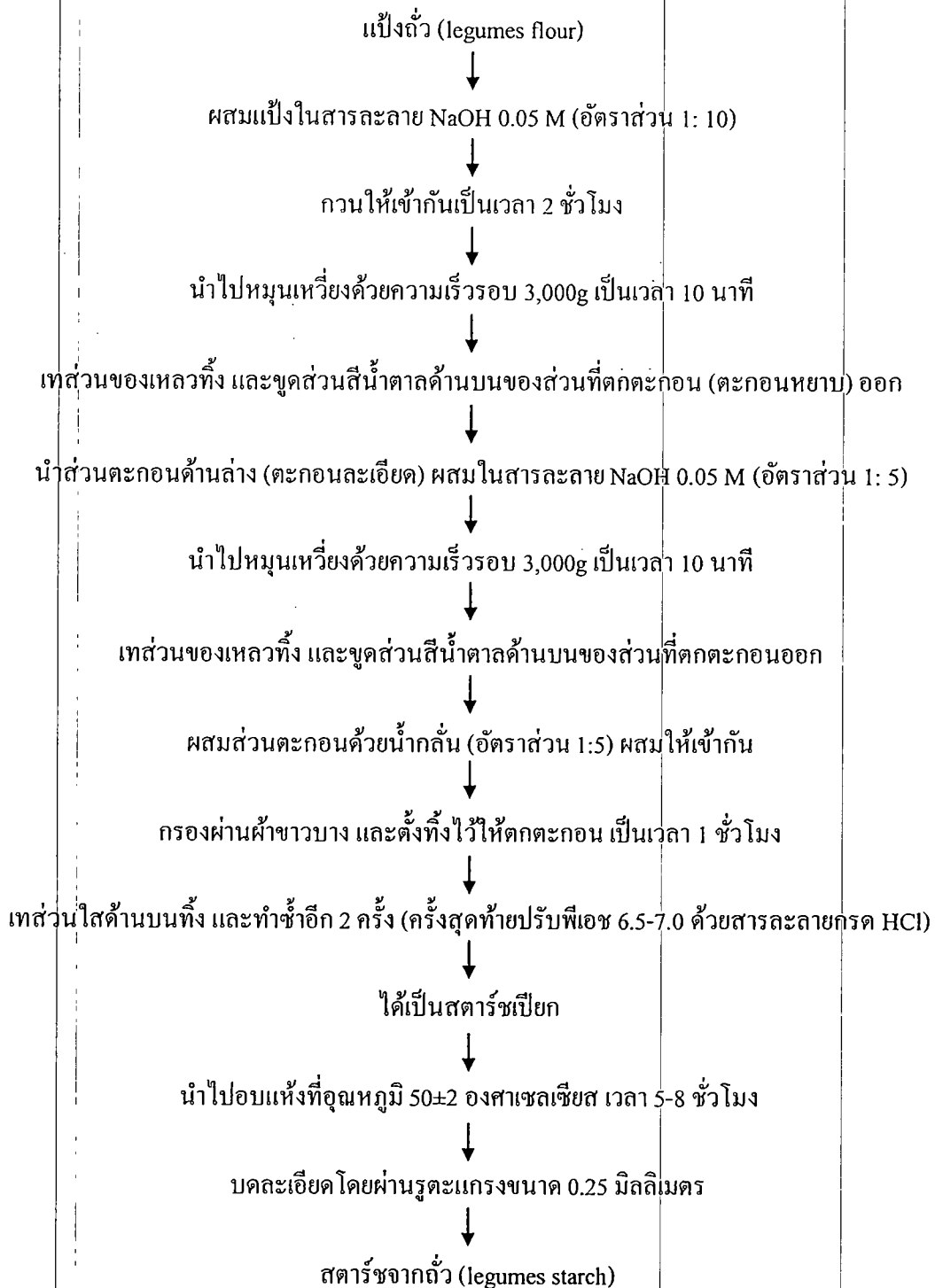
3.5.2 การเตรียมสตาร์ชจากถั่วชนิดต่างๆ

เตรียมสตาร์ชจากถั่วชนิดต่างๆ โดยตัดแปลงจากวิธีของ Nimsung และคณะ (2007) นำแป้งถั่วที่เตรียมได้ผสมในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide) ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ โดยใช้อัตราส่วน 1:10 (แป้ง 1 กรัม: สารละลาย 10 มิลลิลิตร) กวนให้เข้ากันตลอดเวลาเป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็วรอบ 3,000g เป็นเวลา 10 นาที เทส่วนของเหลวทิ้ง และจุดส่วนสีน้ำตาลด้านบนของส่วนที่ตกตะกอน (ตะกอนหยาบ) ออก นำส่วนตะกอนด้านล่าง (ตะกอนละเอียด) ผสมในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยใช้อัตราส่วน 1: 5 (แป้ง 1 กรัม: สารละลาย 5 มิลลิลิตร) กวนตลอดเวลา เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และนำไปหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็วรอบ 3,000g เป็นเวลา 10 นาที เทส่วนของเหลวทิ้ง และจุดส่วนสีน้ำตาลด้านบนของส่วนที่ตกตะกอนออก ทำละลายส่วนที่ตกตะกอนด้วยน้ำกลั่นด้วยอัตราส่วน 1: 5 (แป้ง 1 กรัม: น้ำ 5 มิลลิลิตร) ผสมให้เข้ากัน และกรองผ่านผ้าขาวบาง โดยใช้น้ำกลั่นล้างส่วนที่ไม่สามารถละลายได้ออกให้ได้มากที่สุด ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เทส่วนใสด้านบนทิ้ง ทำละลายส่วนที่ตกตะกอนด้วยน้ำกลั่นด้วยอัตราส่วน 1: 5 (แป้ง 1

กรัม: น้ำ 5 มิลลิลิตร) ผสมให้เข้ากัน และกรองผ่านผ้าขาวบาง โดยใช้กากล้นล้างส่วนที่ไม่สามารถละลาย ได้ออกให้ได้มากที่สุด ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำซ้ำอีก 2 ครั้ง โดยในครั้งสุดท้ายปรับ พีเอชของน้ำแป้ง ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid) เป็น 6.5-7.0 ได้เป็นสตาร์ชเปียก และนำไปอบแห้งด้วยเครื่องอบแบบลมร้อนอุณหภูมิ 50 ± 2 องศาเซลเซียส เวลา 5-8 ชั่วโมง นำมา บดละเอียดโดยผ่านรูดะแกรงขนาด 0.25 มิลลิเมตร ได้เป็นสตาร์ชถั่ว เก็บในถุงสุญญากาศและเก็บที่ อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 3.3) สังเกตลักษณะของสตาร์ชที่ผลิตได้ และคำนวณปริมาณของ สตาร์ช ที่ได้ (% yield) เป็นน้ำหนักแห้ง (dry basis)



ภาพที่ 3.2 การเตรียมแป้งจากถั่วชนิดต่างๆ



ภาพที่ 3.3 การเตรียมสตาร์ชจากถั่วชนิดต่างๆ

3.6 ศึกษาปริมาณสตาร์ชที่น้อย สมบัติทางเคมีกายภาพและความร้อนของแป้ง (flour) และสตาร์ช (starch) จากถั่วชนิดต่างๆ

3.6.1 ศึกษาปริมาณสตาร์ชที่น้อย (resistant starch content) ของแป้งและสตาร์ชจากถั่วชนิดต่างๆ ตามวิธีของ AOAC Method 2002.02 โดยใช้ชุดตรวจสอบ Resistant Starch Assay Kit

3.6.2 ศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งและสตาร์ชจากถั่วชนิดต่างๆ ดังนี้

- วิเคราะห์หาปริมาณความชื้น โดยวิธี AOAC (2000)
- วิเคราะห์ปริมาณโปรตีน โดยวิธี AOAC (2000)
- วิเคราะห์ปริมาณไขมัน โดยวิธี AOAC (2000)
- ปริมาณอะมิโลส ตามวิธีของ Juliano (1971)
- ปริมาณสตาร์ช (starch content) ตามวิธีของ AOAC Method 996.11 โดยใช้ชุดตรวจสอบ

Total Starch Assay Kit

- ปริมาณใยอาหารทั้งหมด (total dietary fiber) ตามวิธีของ AOAC Method 985.29 โดยใช้ชุดตรวจสอบ Dietary Fiber Assay Kit

- ค่าสีและดัชนีความขาวของแป้งและสตาร์ชจากถั่ว ตรวจสอบด้วยเครื่องวัดสี โดยวัดค่าสีในระบบ CIE อ่านค่าสีเป็น L^* , a^* และ b^* (L^* คือ ค่าความสว่าง มีค่าตั้งแต่ 0 (ดำ) ถึง 100 (ขาว) a^* คือ ค่าความเป็นสีแดง (+) และสีเขียว (-) และ b^* คือ ค่าความเป็นสีเหลือง (+) และสีน้ำเงิน (-) นำค่าที่ได้มาคำนวณค่าความเข้มสี (chroma) เฉดสี (hue angle) และค่าดัชนีความขาว (whiteness index) จากสมการดังนี้

$$\text{ความเข้มสี (chroma; C)} = (a^2 + b^2)^{1/2}$$

$$\text{เฉดสี (hue angle; h)} = \tan^{-1}(b/a)$$

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

- สมบัติทางความหนืดของแป้งและสตาร์ชจากถั่ว (pasting properties) โดยดัดแปลงจากวิธีของ AACC Method 76-21.01 โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ความหนืดแบบรวดเร็ว (Rapid Visco Analyser, RVA) ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่คิดเป็นน้ำหนักแห้งให้มีความเข้มข้นประมาณร้อยละ 12 ใส่น้ำลงในกระบอกสำหรับวิเคราะห์ที่มีน้ำกลั่นประมาณ 25 มิลลิลิตร บรรจุอยู่ ใช้ใบพัดกวนให้ตัวอย่างกระจายตัว ก่อนนำกระบอกใส่เข้าเครื่องวิเคราะห์ความหนืดแบบรวดเร็ว โดยตั้งโปรแกรมเครื่องให้คงอุณหภูมิเริ่มต้น 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที และค่อยๆ เพิ่มอุณหภูมิขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งอุณหภูมิสูงถึง 95 องศาเซลเซียส คงอุณหภูมิไว้ 2.40 นาที แล้วจึงลดอุณหภูมิลงจนถึงอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และคงไว้ที่

อุณหภูมินี้นาน 2 นาที รวมเวลาวิเคราะห์ทั้งหมด 13 นาที บันทึกค่า อุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting temperature) ความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ค่าการแตกสลายของเม็ดแป้ง (breakdown) ความหนืดสุดท้าย (final viscosity) และค่าการคืนตัว (setback) โดยรายงานค่าเป็นหน่วย RVU

3.6.3 ศึกษาสมบัติทางความร้อน (thermal properties) ของสตาร์ชจากถั่วชนิดต่างๆ ตามวิธีของ Nunez-Santiago และคณะ (2004) และ Kaur และคณะ (2007) โดยใช้เครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) ซึ่งตัวอย่างสตาร์ชประมาณ 7 มิลลิกรัม ใส่ในภาชนะ (aluminium pan) เติมน้ำกลั่นปราศจากไอออน (deionized water) จนมีความชื้นประมาณร้อยละ 70 (อัตราส่วนระหว่างตัวอย่าง: น้ำ เท่ากับ 30: 70) ปิดฝาภาชนะให้สนิท ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นใส่ตัวอย่างลงในเครื่อง DSC ใช้ภาชนะเปล่าเป็นอ้างอิง ให้ความร้อนกับตัวอย่าง 20 ถึง 100 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราเร็ว 10 องศาเซลเซียสต่อนาที บันทึกค่าอุณหภูมิเริ่มต้นการเกิดเจลลาทีโนเซชัน (onset temperature; T_o) อุณหภูมิที่เกิดเจลลาทีโนเซชันสูงสุด (peak temperature; T_p) อุณหภูมิสุดท้ายที่เกิดเจลลาทีโนเซชัน (conclusion temperature; T_c) และพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลลาทีโนเซชัน หรือพลังงานในการสลายโครงสร้างผลึก (enthalpy; ΔH)

3.6.4 วิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยกำหนดให้ตัวแปรที่ศึกษาคือ แป้งและสตาร์ชจากถั่วจากถั่วทั้ง 5 ชนิด ได้แก่ ถั่วมะแฮะ ถั่วพุ่ม ถั่วเขียวผิวมัน ถั่วเขียวผิวดำ และถั่วแดงหลวง ซึ่งจะศึกษาถึงความแตกต่างของถั่วชนิดต่างๆ ต่อปริมาณสตาร์ชที่หน่ยอ สมบัติทางเคมีกายภาพและความร้อน ทำการทดลองซ้ำ 3 ซ้ำ ออกแบบการทดลองแบบ Completely Randomized design (CRD) วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ด้วยวิธี Duncan's new multiple range test และวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ ที่ศึกษา ด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, r) วิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรม SPSS Version 11.5 ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3.7 การศึกษาเทคนิควิธีการที่ใช้ในการตัดแปรแป้ง (flour) และสตาร์ช (starch) จากถั่วชนิดต่างๆ

นำตัวอย่างแป้งและสตาร์ชจากถั่วชนิดต่างๆ ที่เตรียมได้จากข้อ 3.5 มาปรับความชื้นเป็นร้อยละ 20 ± 1.0 โดยคัดแปลงจากวิธีของ เจ็ดฉัน ปุกหุด (2551) ใช้การฉีดพ่นน้ำกลั่นลงในตัวอย่างของแป้งและสตาร์ช ผสมให้เข้ากัน จากนั้นเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ก่อนนำไปตัดแปรตามวิธีการต่างๆ ดังนี้

3.7.1 วิธีการให้ความร้อนแบบการอบ (baking)

คัดแปลงจากวิธีของ Chung และคณะ (2009) นำตัวอย่างแป้งและสตาร์ชจากถั่วที่เตรียมได้ไปอบ โดยใช้ตู้อบลมร้อน (hot air oven) ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง และเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง นำตัวอย่างที่ได้ไปทำแห้งที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6-8 ชั่วโมง ก่อนนำไปวิเคราะห์ตามข้อ 3.6.1-3.6.3 (ยกเว้นการวิเคราะห์หาปริมาณ โปรตีน และปริมาณไขมัน)

3.7.2 วิธีการให้ความร้อนแบบการใช้หม้อนึ่งความดันไอน้ำ (autoclave)

ดัดแปลงจากวิธีของ González-Soto และคณะ (2004) นำตัวอย่างแป้งและสตาร์ชจากถั่วที่เตรียมได้เข้าหม้อนึ่งความดันไอน้ำที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง และเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง นำตัวอย่างที่ได้ไปทำแห้งที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6-8 ชั่วโมง ก่อนนำไปวิเคราะห์ตามข้อ 3.6.1-3.6.3 (ยกเว้นการวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีน และปริมาณไขมัน)

3.7.3 วิธีการให้ความร้อนแบบการใช้ไมโครเวฟ (microwave)

นำตัวอย่างแป้งและสตาร์ชจากถั่วที่เตรียมได้ ให้ความร้อน โดยใช้ไมโครเวฟที่ 450 วัตต์ ความถี่ 2,450 MHz เป็นเวลา 5 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง และเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง นำตัวอย่างที่ได้ไปทำแห้งที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6-8 ชั่วโมง ก่อนนำไปวิเคราะห์ตามข้อ 3.6.1-3.6.3 (ยกเว้นการวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีน และปริมาณไขมัน)

3.7.4 วิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยกำหนดให้ตัวแปรที่ศึกษาคือ วิธีการที่ใช้ในการตัดแปรทั้ง 3 วิธี ได้แก่ การให้ความร้อนแบบการอบ (baking) การใช้หม้อนึ่งความดันไอน้ำ (autoclave) และการใช้ไมโครเวฟ (microwave) ซึ่งจะศึกษาถึงผลของวิธีการที่ใช้ในการตัดแปรต่างๆ ต่อปริมาณ สตาร์ชทนย่อย สมบัติทางเคมีกายภาพและความร้อน ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ออกแบบการทดลองแบบ Completely Randomized design (CRD) และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test วิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรม SPSS Version 11.5 ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

บทที่ 4 ผลการวิจัย

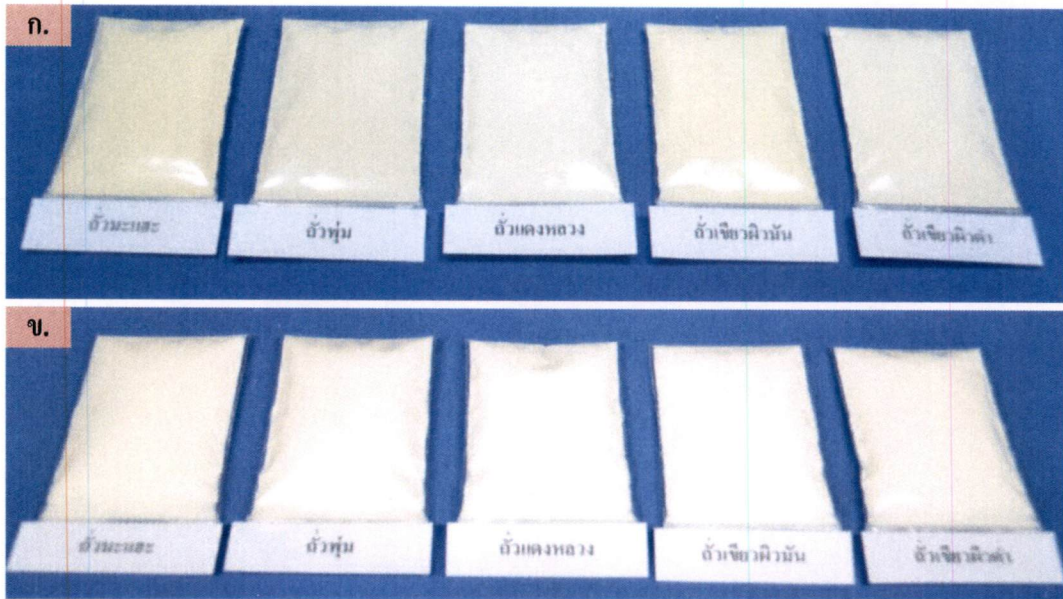
4.1 ปริมาณของแป้ง (flour) และสตาร์ช (starch) ที่ได้

ตารางที่ 4.1 แสดงปริมาณของแป้งและสตาร์ชที่ได้ โดยพบว่า เมื่อเปรียบเทียบกับถั่วชนิดอื่นๆ ถั่วเขียวผิวมันมีปริมาณของแป้งและสตาร์ชที่ได้มากที่สุดคือ ร้อยละ 66.88 และ 26.63 ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ขณะที่ ถั่วมะแฮะมีปริมาณของแป้งที่ได้น้อยที่สุด (ร้อยละ 53.29 ของน้ำหนักแห้ง) เช่นเดียวกับ ถั่วพุ่มที่มีปริมาณของสตาร์ชที่ได้น้อยที่สุด (ร้อยละ 14.19 ของน้ำหนักแห้ง) เนื่องจากถั่วแต่ละชนิดที่ใช้ในการทดลองมีลักษณะเฉพาะแตกต่างกัน ได้แก่ ขนาด รูปร่าง และองค์ประกอบทางเคมี ทำให้มีปริมาณของแป้งและสตาร์ชที่ได้ (% yield) แตกต่างกัน

ตารางที่ 4.1 ปริมาณของแป้งและสตาร์ชจากถั่วชนิดต่างๆ

ตัวอย่าง	ปริมาณที่ได้ (% yield; dry basis)	
	แป้ง	สตาร์ช
ถั่วมะแฮะ	53.29	18.50
ถั่วพุ่ม	62.22	14.19
ถั่วแดงหลวง	64.31	18.50
ถั่วเขียวผิวมัน	66.88	26.63
ถั่วเขียวผิวดำ	65.21	17.80

ลักษณะของแป้งที่ได้จากถั่วชนิดต่างๆ คือ มีลักษณะเป็นผงละเอียด สีน้ำตาลอ่อน ไม่มีส่วนของเปลือกเจือปน มีกลิ่นเฉพาะแตกต่างกันตามชนิดของถั่ว แต่กลิ่นของแป้งที่ได้จะน้อยกว่ากลิ่นเฉพาะของถั่วเริ่มต้น เนื้อสัมผัสเนียน ละเอียด สำหรับสตาร์ชจากถั่วชนิดต่างๆ ที่ได้ จะมีลักษณะเป็นผงละเอียด สีขาว ไม่มีสิ่งเจือปน (ภาพที่ 4.1)



ภาพที่ 4.1 ลักษณะของแป้ง (ก.) และสตาร์ช (ข.) จากถั่วชนิดต่างๆ ที่เตรียมได้

4.2 ปริมาณสตาร์ชทนย่อย สมบัติทางเคมีกายภาพและความร้อนของแป้ง (flour) และสตาร์ช(starch) จากถั่วชนิดต่างๆ

4.2.1 ปริมาณสตาร์ชทนย่อย (resistant starch; RS)

ตารางที่ 4.2 แสดงปริมาณสตาร์ชทนย่อยของแป้งและสตาร์ชจากถั่วชนิดต่างๆ โดยพบว่า ปริมาณสตาร์ชทนย่อยส่วนใหญ่พบในสตาร์ชมากกว่าแป้ง ปริมาณสตาร์ชทนย่อยจะพบในแป้งถั่วมะแฮะมากกว่าแป้งถั่วแดงหลวง แป้งถั่วเขียวผิวดำ แป้งถั่วพุ่ม และแป้งถั่วเขียวผิวมัน ตามลำดับ (ร้อยละ 6.16, 5.39, 2.75, 2.31 และ 0.91 ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ) เมื่อเปรียบเทียบกับสตาร์ชจากถั่วชนิดอื่นๆ สตาร์ชจากถั่วมะแฮะที่มีปริมาณสตาร์ชทนย่อยมากที่สุด (ร้อยละ 16.21 ของน้ำหนักแห้ง) ขณะที่ สตาร์ชจากถั่วเขียวผิวมันจะมีปริมาณสตาร์ชทนย่อยน้อยที่สุด (ร้อยละ 0.65 ของน้ำหนักแห้ง) ($p < 0.05$) จากการศึกษาพบว่า ปริมาณสตาร์ชทนย่อยพบมากที่สุดทั้งในแป้งและสตาร์ชที่เตรียมได้จากถั่วมะแฮะ และถั่วแดงหลวง การศึกษาของ Yadav และคณะ (2010) รายงานว่า พบปริมาณสตาร์ชทนย่อยในพืชตระกูลถั่วที่ศึกษา (ถั่วแดงหลวง ถั่วเลนทิล (lentil) ถั่วลูกไก่ (chickpea) และถั่วเมล็ดกลม (pea)) อยู่ในช่วงร้อยละ 3.2 ถึง 4.6 โดยพบอยู่ในถั่วแดงหลวงร้อยละ 4.1 ขณะที่ de Almeida Costa และคณะ (2006) รายงานว่า พบปริมาณสตาร์ชทนย่อยในพืชตระกูลถั่วที่ศึกษา (ถั่วเลนทิล และถั่วลูกไก่) อยู่ในช่วงร้อยละ 2.5 ถึง 3.7

ตารางที่ 4.2 ปริมาณสารอาหารของแป้งและสารจากถั่วชนิดต่างๆ

ตัวอย่าง	ปริมาณสารอาหาร (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)	
	แป้ง	สาร
ถั่วมะแฮะ	6.16±0.15 ^a	16.21±1.27 ^a
ถั่วพุ่ม	2.31±0.01 ^d	5.23±0.13 ^d
ถั่วแดงหลวง	5.39±0.06 ^b	13.71±0.24 ^b
ถั่วเขียวผิวมัน	0.91±0.01 ^c	0.65±0.04 ^c
ถั่วเขียวผิวดำ	2.75±0.04 ^c	11.80±0.09 ^c

^{abc....} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

4.2.2 องค์ประกอบทางเคมี

ตารางที่ 4.3 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของแป้งจากถั่วชนิดต่างๆ พบว่า ปริมาณความชื้นของแป้งจากถั่วชนิดต่างๆ อยู่ในช่วงร้อยละ 5.07 ถึง 7.85 ของน้ำหนักแห้ง ขณะที่ ปริมาณ โปรตีนในแป้งจากถั่วชนิดต่างๆ อยู่ในช่วงร้อยละ 20.33 ถึง 28.03 ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งใกล้เคียงกับการศึกษาของ de Almeida Costa และคณะ (2006) รายงานว่า พบปริมาณ โปรตีน ในแป้งจากพืชตระกูลถั่วที่ศึกษา (ถั่วเลนทิล และถั่วลูกไก่) อยู่ในช่วงร้อยละ 18.50 ถึง 23.70 สำหรับปริมาณไขมันในแป้งจากถั่วชนิดต่างๆ พบว่า มีปริมาณอยู่ในช่วงร้อยละ 1.23 ถึง 2.55 ของน้ำหนักแห้ง โดยพบในแป้งถั่วมะแฮะมากที่สุด (ร้อยละ 2.55 ของน้ำหนักแห้ง) Kaushal และคณะ (2012) รายงานว่า พบปริมาณไขมันในแป้งถั่วมะแฮะร้อยละ 3.38 ปริมาณอะไมโลสเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างอื่นๆ จะพบในแป้งถั่วเขียวผิวดำน้อยที่สุด (ร้อยละ 3.96 ของน้ำหนักแห้ง) (p<0.05) สำหรับปริมาณสารทั้งหมดของแป้งจากถั่วชนิดต่างๆ พบว่า อยู่ในช่วงร้อยละ 26.72 ถึง 31.07 ของน้ำหนักแห้ง แป้งถั่วแดงหลวง และแป้งถั่วเขียวผิวดำมีปริมาณใยอาหารทั้งหมดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≥0.05) ขณะที่ Yadav และคณะ (2010) รายงานว่าปริมาณของใยอาหารทั้งหมดในแป้งจากพืชตระกูลถั่วศึกษา (ถั่วแดงหลวง ถั่วเลนทิล ถั่วลูกไก่ และถั่วเมล็ดกลม) อยู่ในช่วงร้อยละ 17.2 ถึง 24.9 ของน้ำหนักแห้ง

ตารางที่ 4.4 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของสารจากถั่วชนิดต่างๆ โดยพบว่าปริมาณความชื้น ปริมาณ ไขมัน ปริมาณอะไมโลส ปริมาณสารทั้งหมด และปริมาณใยอาหารทั้งหมดของสารจากถั่วชนิดต่างๆ ที่ศึกษามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) ซึ่งปริมาณความชื้นและปริมาณไขมัน อยู่ในช่วงร้อยละ 6.10 ถึง 7.09 และร้อยละ 1.37 ถึง 1.51 ของน้ำหนักแห้งตามลำดับ ขณะที่ ปริมาณโปรตีนของสารจากถั่วชนิดต่างๆ มีน้อยมาก (ร้อยละ 0.07 ถึง 0.08 ของน้ำหนักแห้ง) สำหรับปริมาณสารทั้งหมดพบมากที่สุดในสารจากถั่วแดงหลวง (ร้อยละ 96.83 ของ

น้ำหนักแห้ง) ขณะที่ ปริมาณใยอาหารทั้งหมดของสตรัซจากถั่วชนิดต่างๆ มีปริมาณ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ยกเว้นสตรัซจากถั่วเขียว ผิวดำที่มีปริมาณใยอาหารน้อยที่สุด (ร้อยละ 12.62 ของน้ำหนักแห้ง) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างอื่นๆ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4.3 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งจากถั่วชนิดต่างๆ (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)

ตัวอย่าง	ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน	อะไมโลส	สตรัซ	ใยอาหารทั้งหมด
ถั่วอะแฮะ	7.85±0.36 ^a	21.35±0.03 ^c	2.55±0.01 ^a	5.08±0.06 ^a	29.72±0.05 ^{ab}	14.75±0.06 ^b
ถั่วพุ่ม	5.07±0.08 ^c	28.03±0.40 ^a	2.06±0.01 ^b	4.68±0.06 ^c	26.72±0.30 ^d	10.80±0.54 ^c
ถั่วแดงหลวง	5.87±0.04 ^b	20.33±0.40 ^d	1.56±0.01 ^d	4.38±0.10 ^d	28.22±0.26 ^c	17.78±0.28 ^a
ถั่วเขียวผิวมัน	7.77±0.10 ^a	21.84±0.32 ^c	1.61±0.01 ^c	4.90±0.04 ^b	31.07±0.84 ^a	8.45±0.25 ^d
ถั่วเขียวผิวดำ	7.59±0.37 ^a	24.43±0.18 ^b	1.23±0.01 ^c	3.96±0.06 ^c	28.72±0.73 ^{bc}	17.82±0.67 ^a

^{a,b,c,...} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4.4 องค์ประกอบทางเคมีของสตรัซจากถั่วชนิดต่างๆ (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)

ตัวอย่าง	ความชื้น	โปรตีน ^{ns}	ไขมัน	อะไมโลส	สตรัซ	ใยอาหารทั้งหมด
ถั่วอะแฮะ	7.03±0.04 ^a	0.08±0.01	1.44±0.01 ^b	11.27±0.07 ^c	43.56±0.96 ^d	15.73±0.64 ^a
ถั่วพุ่ม	6.54±0.03 ^b	0.07±0.01	1.51±0.01 ^a	11.54±0.03 ^b	79.13±0.87 ^{bc}	15.88±0.24 ^a
ถั่วแดงหลวง	7.09±0.01 ^a	0.07±0.01	1.39±0.01 ^c	11.55±0.05 ^b	96.83±1.01 ^a	16.55±0.45 ^a
ถั่วเขียวผิวมัน	6.10±0.01 ^c	0.08±0.01	1.37±0.01 ^d	12.39±0.09 ^a	73.33±2.50 ^c	15.56±0.87 ^a
ถั่วเขียวผิวดำ	6.13±0.04 ^c	0.08±0.01	1.38±0.01 ^{cd}	11.25±0.08 ^c	84.80±7.00 ^b	12.62±0.81 ^b

^{a,b,c,...} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

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

จากการศึกษาพบว่า ปริมาณอะไมโลส และปริมาณสตรัซทั้งหมดในส่วนของสตรัซมีมากกว่าในแป้ง เช่น ปริมาณอะไมโลส และปริมาณสตรัซทั้งหมดในแป้งถั่วแดงหลวง คือ ร้อยละ 4.38 และ 28.22 ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ขณะที่ ในสตรัซจากถั่วแดงหลวงมีปริมาณ อะไมโลส และปริมาณสตรัซทั้งหมดร้อยละ 11.55 และ 96.83 ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ (ตารางที่ 4.3 และ 4.4) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Chung และคณะ (2008) ที่รายงานไว้ว่า สตรัซจากถั่วแดงหลวงมีปริมาณ

อะไมโลส และปริมาณสตาร์ชทั้งหมดมากกว่าแป้งถั่วแดงหลวง (ร้อยละ 9.4 และ 39.80 ตามลำดับ) ขณะที่ปริมาณโปรตีนจะพบเฉพาะในแป้งเท่านั้น (ร้อยละ 23.10) แต่ไม่พบโปรตีนในส่วนของสตาร์ช

เนื่องจากวิธีการเตรียมแป้งและสตาร์ชมีความแตกต่างกัน จึงมีผลให้องค์ประกอบต่างๆ ที่มีในแป้งและสตาร์ชมีความแตกต่างกัน โดยทั่วไปแล้วสตาร์ชจะมีความบริสุทธิ์สูงกว่าแป้ง ซึ่งปริมาณโปรตีน และปริมาณสตาร์ชทั้งหมดสามารถบ่งชี้ถึงความบริสุทธิ์ของสตาร์ชได้ ซึ่งสตาร์ชที่มีความบริสุทธิ์มากจะมีปริมาณโปรตีนน้อย และมีปริมาณสตาร์ชทั้งหมดสูง (Chung และคณะ, 2008)

4.2.3 ค่าสีและดัชนีความขาว

ค่าสีของแป้งและสตาร์ชจากถั่วชนิดต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ โดยค่าสีของแป้งและสตาร์ชจากถั่วชนิดต่างๆ ที่ศึกษา มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งค่าความสว่าง (L^*) ของตัวอย่างในกลุ่มที่เป็นสตาร์ชจะมีค่ามากกว่าตัวอย่างในกลุ่มที่เป็นแป้ง (ภาพที่ 4.1) เนื่องจากในกระบวนการเตรียมสตาร์ชมีการกำจัดองค์ประกอบอื่นๆ เช่น ไขมัน โปรตีน เถ้า และสิ่งเจือปนต่างๆ ออกไป นอกจากนี้ในกระบวนการสกัดสตาร์ชยังมีการกำจัดองค์ประกอบสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นจากกระบวนการใช้ความร้อน (อบแห้ง) หรือสารสีน้ำตาลที่ไม่ผ่านการกรองในกระบวนการสกัดสตาร์ช ทำให้ได้สารประกอบคาร์โบไฮเดรตที่มีความบริสุทธิ์มากขึ้น (ไพลาภา นิมสังข์, 2550)

ค่า a^* แสดงถึง ค่าความเป็นสีแดง (+) และค่าความเป็นสีเขียว (-) โดยพบว่า แป้งและสตาร์ชจากถั่วชนิดต่างๆ มีค่า a^* อยู่ในช่วง 0.23 ถึง 0.58 และ -0.82 ถึง 0.88 ตามลำดับ ขณะที่ ค่า b^* แสดงถึง ค่าความเป็นสีเหลือง (+) และค่าความเป็นสีน้ำเงิน (-) พบว่า แป้งถั่วมะแฮะจะมีค่าความเป็นสีเหลือง (b^* มีค่าเป็นบวก) มากกว่าแป้งถั่วเขียวผิวมัน แป้งถั่วพุ่ม แป้งถั่วเขียวผิวดำ และแป้งถั่วแดงหลวง ตามลำดับ (14.09, 13.11, 9.42, 8.75 และ 8.15 ตามลำดับ) (ภาพที่ 4.1 ก.)

เมื่อนำพารามิเตอร์ของการวัดสี (a^* และ b^*) มาคำนวณค่าความเข้มสี (chroma) และค่าเฉดสี (hue angle) พบว่า ค่าความเข้มสีของตัวอย่างในกลุ่มที่เป็นสตาร์ชจะมีค่าน้อยกว่าตัวอย่างในกลุ่มที่เป็นแป้ง (ภาพที่ 4.1) ขณะที่ค่าเฉดสีของแป้งและสตาร์ชจากถั่วชนิดต่างๆ จะอยู่ในช่วง 86.46 ถึง 89.08 และ 78.55 ถึง 100.61 ตามลำดับ สำหรับ ดัชนีความขาว (whiteness) เป็นค่าที่ได้จากการคำนวณจากพารามิเตอร์ของการวัดสี (L^* , a^* และ b^*) พบว่า ดัชนีความเข้มของตัวอย่างในกลุ่มที่เป็นสตาร์ชจะมีค่ามากกว่าตัวอย่างในกลุ่มที่เป็นแป้ง เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งจากถั่วชนิดอื่นๆ แป้งจากถั่วแดงหลวงมีดัชนีความขาวมากที่สุดคือ 88.05 ($p < 0.05$) ขณะที่สตาร์ชจากถั่วเขียวผิวมันจะมีดัชนีความขาวมากที่สุด คือ 94.44 เมื่อเปรียบเทียบกับสตาร์ชจากถั่วชนิดอื่นๆ ($p < 0.05$) ซึ่งดัชนีความขาว เป็นเกณฑ์หนึ่งในการวัดความบริสุทธิ์ของสตาร์ชที่เตรียมได้ โดยสตาร์ชที่มีความบริสุทธิ์จะต้องมีค่าดัชนีความขาวสูง และปริมาณโปรตีนต่ำ (Lumdubwong และ Seib, 2000)

ตารางที่ 4.5 ค่าสีและดัชนีความขาวของแป้งจากถั่วชนิดต่างๆ

ตัวอย่าง	L*	a*	b*	ความเข้มสี (chroma)	ค่าเจดสี (hue angle)	ดัชนี ความขาว
ถั่วมะแฮะ	88.13±0.31 ^c	0.23±0.05 ^c	14.09±0.10 ^a	14.09±0.10 ^a	89.08±0.21 ^a	81.58±0.24 ^d
ถั่วพุ่ม	87.48±0.50 ^d	0.58±0.05 ^a	9.42±0.08 ^c	9.44±0.08 ^c	86.46±0.30 ^d	84.32±0.38 ^c
ถั่วแดงหลวง	91.27±0.53 ^a	0.34±0.02 ^b	8.15±0.13 ^c	8.16±0.13 ^c	87.58±0.14 ^c	88.05±0.45 ^a
ถั่วเขียวผิวมัน	90.61±0.18 ^b	0.28±0.07 ^{bc}	13.11±0.06 ^b	13.11±0.05 ^b	88.77±0.28 ^a	83.87±0.09 ^c
ถั่วเขียวผิวดำ	90.80±0.39 ^{ab}	0.29±0.03 ^{bc}	8.75±0.21 ^d	8.75±0.22 ^d	88.13±0.26 ^b	87.30±0.38 ^b

^{a,b,c,...} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางที่ 4.6 ค่าสีและดัชนีความขาวของสตราซ์จากถั่วชนิดต่างๆ

ตัวอย่าง	L*	a*	b*	ความเข้มสี (chroma)	ค่าเจดสี (hue angle)	ดัชนี ความขาว
ถั่วมะแฮะ	94.60±0.16 ^b	0.35±0.01 ^c	3.73±0.03 ^b	3.75±0.02 ^b	84.63±0.19 ^c	93.43±0.15 ^c
ถั่วพุ่ม	93.45±0.34 ^c	0.88±0.03 ^a	4.33±0.09 ^a	4.42±0.10 ^a	78.55±0.16 ^c	92.09±0.28 ^d
ถั่วแดงหลวง	94.76±0.27 ^b	0.43±0.01 ^b	2.92±0.10 ^d	2.95±0.10 ^d	81.62±0.34 ^d	93.98±0.20 ^b
ถั่วเขียวผิวมัน	95.68±0.11 ^a	0.01±0.01 ^d	3.49±0.03 ^c	3.49±0.03 ^c	89.80±0.13 ^b	94.44±0.09 ^a
ถั่วเขียวผิวดำ	95.98±0.27 ^a	-0.82±0.03 ^c	4.35±0.07 ^a	4.35±0.07 ^a	100.61±0.40 ^a	94.02±0.16 ^b

^{a,b,c,...} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

4.2.4 สมบัติทางความหนืด (pasting properties)

ตารางที่ 4.7 และ 4.8 แสดงสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งและสตราซ์จากถั่วชนิดต่างๆ ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) อุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting temperature) ของตัวอย่างแป้งและสตราซ์จากถั่วที่เตรียมได้ อยู่ในช่วง 78.08 ถึง 82.38 และ 75.58 ถึง 82.05 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยอุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืดของตัวอย่างแป้งจากถั่วชนิดต่างๆ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≥0.05) ตัวอย่างแป้งและสตราซ์จากถั่วที่มีอุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืดสูง แสดงว่า สามารถต้านทานการพองตัวและการแตกสลายของโครงสร้างเม็ดแป้งได้สูง (Singh และคณะ, 2004) ความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ของแป้งถั่วเขียวผิวดำมีค่ามากที่สุด (103.84 RVU) ขณะที่ แป้งถั่วแดงหลวงมีค่าความหนืดสูงสุดน้อยที่สุด (10.63 RVU) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างแป้งถั่วชนิดอื่นๆ (p<0.05) สำหรับความหนืดสูงสุดในกลุ่มตัวอย่างสตราซ์พบ

มากที่สุด ในสสารจากถั่วพุ่ม (367.50 RVU) การที่ค่าความหนืดสูงสุดมีค่ามาก แสดงว่าเม็ดแป้งมีกำลังการพองตัว (swelling power) สูง (Adebooye และ Singh, 2008)

เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างอื่นๆ พบว่า แป้งถั่วพุ่มและสสารจากถั่วแดงหลวงมีค่าการแตกสลายของเม็ดแป้ง (breakdown) น้อยที่สุด (0.80 และ 21.96 RVU ตามลำดับ) ($p < 0.05$) (ตารางที่ 4.7 และ 4.8) แสดงว่า แป้งถั่วพุ่มและสสารจากถั่วแดงหลวงมีความคงตัวของเม็ดแป้งในระหว่างการให้ความร้อนมาก เนื่องจากค่าการแตกสลายของเม็ดแป้ง ถ้ามีค่าน้อยแสดงว่าเม็ดแป้งมีความคงตัวต่อความร้อนสูง (Agunbiade และ Long, 1999) ค่าความหนืดสุดท้าย (final viscosity) ของแป้งถั่วเขียวฝัดมีค่ามากกว่า แป้งถั่วพุ่ม แป้งถั่วมะแฮะ แป้งถั่วเขียวฝัดมัน และแป้งถั่วแดงหลวง (105.59, 102.83, 92.75, 84.00 และ 23.59 RVU ตามลำดับ) ขณะที่สสารจากถั่วเขียวฝัดมีค่าความหนืดสุดท้ายมากกว่าสสารจากถั่วเขียวฝัดมัน สสารจากถั่วมะแฮะ สสารจากถั่วพุ่ม และสสารจากถั่วแดงหลวง (383.92, 365.25, 356.92, 339.79 และ 202.59 RVU ตามลำดับ) สำหรับ ค่าการคืนตัวของแป้งหลังทำให้เย็นตัวลง (setback) พบว่า ส่วนใหญ่ตัวอย่างในกลุ่มที่เป็นสสารจะมีค่าการคืนตัวมากกว่าตัวอย่างในกลุ่มที่เป็นแป้ง เนื่องมาจากองค์ประกอบของอะไมโลสในสสารที่มีความกว่าแป้ง (ตารางที่ 4.3 และ 4.4) ตัวอย่างในกลุ่มของแป้งที่ส่วนใหญ่มีค่าการคืนตัวน้อย แสดงว่า เจลที่เย็นตัวแล้วของแป้งที่ได้มีความนุ่มมากกว่าเจลของสสารจากถั่วชนิดต่างๆ ที่ศึกษา เนื่องจากค่าการคืนตัวของแป้งหลังทำให้เย็นตัวลงเป็นค่าที่แสดงถึงการจัดเรียงตัวกันใหม่ของโครงสร้างอะไมโลสภายในเม็ดแป้งหลังจากผ่านการให้ความร้อนและทำให้เย็น (Agunbiade และ Long, 1999; Adebooye และ Singh, 2008) ดังนั้น เมื่อค่าดังกล่าวมีค่าน้อย แสดงว่าลักษณะของโครงสร้างแป้งที่ได้มีการจัดเรียงตัวใหม่เกิดขึ้นน้อย หรือมีการจัดเรียงตัวของโครงสร้างอย่างหลวมๆ จึงได้เจลที่มีความนุ่ม

ตารางที่ 4.7 สมบัติทางความหนืดของแป้งจากถั่วชนิดต่างๆ

ตัวอย่าง	pasting temperature (°C) ^{ns}	viscosity (RVU)			
		peak viscosity	breakdown	final viscosity	setback
ถั่วมะแฮะ	82.38±0.04	72.33±0.05 ^b	1.25±0.24 ^c	92.75±1.53 ^b	21.67±0.23 ^d
ถั่วพุ่ม	80.48±0.60	51.96±0.18 ^d	0.80±0.18 ^c	102.83±1.41 ^a	51.67±1.06 ^a
ถั่วแดงหลวง	82.50±2.69	10.63±0.53 ^c	1.13±0.18 ^c	23.59±0.83 ^d	14.09±0.47 ^c
ถั่วเขียวฝัดมัน	78.08±0.53	60.92±1.65 ^c	13.84±0.59 ^b	84.00±3.54 ^c	36.92±1.29 ^b
ถั่วเขียวฝัดดำ	82.33±0.04	103.84±0.94 ^a	22.59±2.24 ^a	105.59±2.35 ^a	24.33±1.06 ^c

^{a,b,c,...} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

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

ตารางที่ 4.8 สมบัติทางความหนืดของสตาร์ชจากถั่วชนิดต่างๆ

ตัวอย่าง	pasting temperature (°C)	viscosity (RVU)			
		peak viscosity	breakdown	final viscosity	setback
ถั่วมะแฮะ	82.05±0.57 ^a	258.88±1.35 ^d	51.79±3.13 ^d	356.92±2.60 ^b	149.83±7.07 ^b
ถั่วพุ่ม	78.10±0.35 ^c	367.50±10.25 ^a	135.25±6.01 ^a	339.79±4.65 ^c	127.54±7.37 ^c
ถั่วแดงหลวง	80.38±0.67 ^b	151.54 ±3.48 ^c	21.96±1.82 ^c	202.59±4.12 ^d	73.00±1.17 ^d
ถั่วเขียวผิวมัน	75.58±0.53 ^d	349.13±1.00 ^b	120.38±8.78 ^b	365.25±7.42 ^b	136.50±0.35 ^c
ถั่วเขียวผิวดำ	79.25±0.00 ^{bc}	312.71±1.12 ^c	95.75±6.25 ^c	383.92±3.66 ^a	166.96±1.47 ^a

abc... หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

4.2.5 สมบัติทางความร้อน (thermal properties)

สมบัติทางความร้อนของสตาร์ชจากถั่วชนิดต่างๆ ที่ศึกษา แสดงดังตารางที่ 4.9 อุณหภูมิเริ่มต้นการเกิดเจลลาทีโนเซชัน (onset temperature; T_o) ของสตาร์ชจากถั่วมะแฮะมีค่ามากที่สุดคือ 74.91 องศาเซลเซียส ขณะที่สตาร์ชจากถั่วเขียวผิวมันมีค่าอุณหภูมิเริ่มต้นการเกิดเจลลาทีโนเซชันน้อยที่สุดคือ 64.06 องศาเซลเซียส แต่สตาร์ชจากถั่วแดงหลวง และสตาร์ชจากถั่วเขียวผิวมันมีค่าดังกล่าวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) สำหรับค่าอุณหภูมิที่เกิดเจลลาทีโนเซชันสูงสุด (peak temperature; T_p) พบในสตาร์ชจากถั่วชนิดต่างๆ ที่ศึกษาอยู่ในช่วง 70.83 ถึง 79.70 องศาเซลเซียส ค่าอุณหภูมิสุดท้ายที่เกิดเจลลาทีโนเซชัน (conclusion temperature; T_c) ของสตาร์ชจากถั่วมะแฮะ และสตาร์ชจากถั่วพุ่มมีค่ามากที่สุด (85.67 และ 85.59 องศาเซลเซียส ตามลำดับ) ขณะที่ สตาร์ชจากถั่วเขียวผิวมันมีค่าดังกล่าวน้อยที่สุด (78.13 องศาเซลเซียส) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างอื่นๆ ($p<0.05$) มีการศึกษาเกี่ยวกับสมบัติทางความร้อนของสตาร์ชจากถั่วหลายๆ การศึกษา เช่น Kaur และคณะ (2007) ศึกษาสมบัติทางความร้อนของสตาร์ชจากถั่วมะแฮะ พบว่า มีค่าอุณหภูมิเริ่มต้นการเกิดเจลลาทีโนเซชัน อุณหภูมิที่เกิดเจลลาทีโนเซชันสูงสุด และอุณหภูมิสุดท้ายที่เกิดเจลลาทีโนเซชันเท่ากับ 75.60, 82.00 และ 87.20 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ขณะที่ Li และคณะ (2011) ศึกษาสมบัติทางความร้อนของสตาร์ชจากถั่วเขียวผิวมัน พบว่า มีค่าอุณหภูมิเริ่มต้นการเกิดเจลลาทีโนเซชัน อุณหภูมิที่เกิดเจลลาทีโนเซชันสูงสุดและอุณหภูมิสุดท้ายที่เกิดเจลลาทีโนเซชัน เท่ากับ 67.00, 71.90 และ 76.20 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลลาทีโนเซชันของสตาร์ชจากถั่วชนิดต่างๆ พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เนื่องจากสตาร์ชจากถั่วแต่ละชนิดมีองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 4.4) โดยเฉพาะปริมาณอะไมโลส รวมถึงอัตราส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินที่แตกต่างกัน (Khunae และคณะ, 2007)

ตารางที่ 4.9 สมบัติทางความร้อนของสตาร์ชจากถั่วชนิดต่างๆ

ตัวอย่าง	T _o (°C)	T _p (°C)	T _c (°C)	enthalpy ΔH (จูล/กรัม)
ถั่วมะแฮะ	74.91±0.10 ^a	79.70±0.52 ^a	85.67±0.14 ^a	8.10±0.01 ^d
ถั่วพุ่ม	66.58±0.27 ^c	75.11±0.15 ^c	85.59±0.39 ^a	13.24±0.30 ^a
ถั่วแดงหลวง	72.81±0.08 ^b	73.70±0.19 ^d	82.80±0.17 ^c	9.69±0.01 ^b
ถั่วเขียวผิวมัน	64.06±0.04 ^d	70.83±0.22 ^c	78.13±0.18 ^d	8.47±0.06 ^{cd}
ถั่วเขียวผิวดำ	72.74±0.21 ^b	77.25±0.35 ^b	83.90±0.15 ^b	8.83±0.21 ^c

^{a,b,c,...} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ค่าพลังงานในการสลายโครงสร้างผลึก (enthalpy; ΔH) เป็นค่าที่ใช้บอกการสูญเสียความร้อนเป็นผลึกในเม็ดสตาร์ช และเป็นพลังงานรวมที่ใช้ในการทำลายพันธะไฮโดรเจน และแรง แวนเดอร์วาลส์ (Tester 1997; Singh และคณะ, 2003) โดยพบว่า ค่าพลังงานรวมที่ใช้ในการสลายโครงสร้างผลึกของสตาร์ชจากถั่วพุ่มมีค่ามากที่สุดคือ 13.24 จูลต่อกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างอื่นๆ (p<0.05) ขณะที่สตาร์ชจากถั่วมะแฮะ สตาร์ชจากถั่วเขียวผิวมัน และสตาร์ชจากถั่วเขียวผิวดำใช้พลังงานในการสลายโครงสร้างไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≥0.05) (ตารางที่ 4.9) ค่าพลังงานรวมที่ใช้ในการสลายโครงสร้างผลึก แสดงถึงความแข็งแรงของพันธะภายในโมเลกุลของสตาร์ช ปัจจัยที่ทำให้สตาร์ชมีความแข็งแรงของพันธะแตกต่างกัน คือ ปริมาณของอะไมโลส ชนิด ลักษณะการจัดเรียงตัวของผลึก รวมถึงการเกิดอันตรกิริยากับองค์ประกอบอื่นๆ ในสตาร์ช ถ้าสตาร์ชมีปริมาณอะไมโลสสูงการจัดเรียงตัวของโมเลกุลมีความเป็นระเบียบมาก จะทำให้มีช่วงอุณหภูมิการเกิดเจลที่ในเขชันกว้าง แสดงว่าต้องใช้พลังงานในการสลายพันธะมาก (Hoover และ Senanayake, 1996)

4.2.6 ค่าสหสัมพันธ์ (correlation)

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, r) แสดงถึง ความสัมพันธ์ระหว่างค่าต่างๆ ที่ทำการศึกษา โดยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ มีค่าอยู่ในช่วง -1 ถึง 1 ซึ่งถ้ามีค่าเข้าใกล้ -1 หรือ 1 แสดงว่า มีความสัมพันธ์กันในเชิงลบหรือเชิงบวก ค่าสหสัมพันธ์ของปริมาณสตาร์ชหนื่อย และสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งจากถั่วชนิดต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4.10 โดยพบว่า ปริมาณสตาร์ชหนื่อยมีความสัมพันธ์กับปริมาณใยอาหารทั้งหมด อุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting temperature) และค่าการคืนตัวของแป้งหลังทำให้เย็นลง (setback) ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 95 ขณะที่ ปริมาณโปรตีนในแป้งมีความสัมพันธ์กับความหนืดสุดท้าย (final viscosity) และค่าการคืนตัวของแป้งหลังทำให้

เย็นลง ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 สำหรับพารามิเตอร์เกี่ยวกับค่าสี่ส่วนใหญ่ ($a^* b^*$ ความเข้มสี และเฉดสี) มีความสัมพันธ์กับปริมาณสตาร์ชทั้งหมด ค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) มีความสัมพันธ์ในทางบวกกับค่าความหนืดสุดท้าย ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 แสดงว่า แป้งถั่วชนิดใดที่มีค่าความหนืดสูงสุดสูง มีแนวโน้มที่จะได้ค่าความหนืดสุดท้ายสูงตามไปด้วย (ตารางที่ 4.7)

ตารางที่ 4.11 แสดงค่าสหสัมพันธ์ของปริมาณสตาร์ชน้อย สมบัติทางเคมีกายภาพและความร้อนของสตาร์ชจากถั่วชนิดต่างๆ โดยพบว่า ปริมาณสตาร์ชน้อยมีความสัมพันธ์กับปริมาณอะไมโลส สมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืด และสมบัติทางความร้อน ขณะที่ ปริมาณไขมันมีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับค่าความสว่าง (L^*) และค่าดัชนีความขาว ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 แสดงว่า ตัวอย่างสตาร์ชจากถั่วชนิดใดที่มีปริมาณไขมันสูง มีแนวโน้มที่สตาร์ชชนิดนั้นจะมีค่าความสว่างและค่าดัชนีความขาวต่ำ อุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting temperature) มีความสัมพันธ์มากกับปริมาณสตาร์ชน้อย ปริมาณอะไมโลส อุณหภูมิเริ่มต้นการเกิดเจลลาทีในเซชัน (onset temperature; T_o) และค่าอุณหภูมิที่เกิดเจลลาทีในเซชันสูงสุด (peak temperature; T_p) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ขณะที่ ค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) มีความสัมพันธ์ในทางบวกกับการแตกสลายของเม็ดแป้ง (breakdown) และค่าความหนืดสุดท้าย แสดงว่า สตาร์ชที่มีค่าความหนืดสูงสุดสูง จะมีการแตกสลายของเม็ดแป้งมาก ทำให้ความหนืดลดลงอย่างชัดเจน และความหนืดจะเพิ่มขึ้นสูงอีกครั้งหลังจากทำให้เย็น ส่งผลให้สตาร์ชมีค่าการคืนตัว (setback) สูง ซึ่งสอดคล้องกับค่าสหสัมพันธ์ที่พบว่า ค่าการคืนตัวมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับค่าความหนืดสุดท้าย ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99

ตารางที่ 4.10 ค่าสัมประสิทธิ์ของปริมาณสารที่หนืดและสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งจากถั่วชนิดต่างๆ

	ปริมาณ สารที่หนืด	ปริมาณ ความชื้น	ปริมาณ โปรตีน	ปริมาณ ไขมัน	ปริมาณ อะไมโลส	ปริมาณ สารที่ หนืด	ปริมาณ ใยอาหาร	L*	a*	b*	ความ หนืด	ค่า ดัชนี	PT	PV	BD	FV	SB	
ปริมาณสารที่หนืด	1.00																	
ปริมาณความชื้น	0.00	1.00																
ปริมาณโปรตีน	-0.50	-0.50	1.00															
ปริมาณไขมัน	0.48	-0.03	0.02	1.00														
ปริมาณอะไมโลส	0.09	0.21	-0.19	0.80**	1.00													
ปริมาณสารที่ หนืด	-0.14	0.82**	-0.63	-0.03	0.42	1.00												
ปริมาณใยอาหาร	0.66*	0.02	-0.30	-0.26	-0.66*	-0.26	1.00											
L*	-0.14	0.31	-0.58	-0.81**	-0.51	0.42	0.33	1.00										
a*	-0.24	-0.89**	0.78**	0.11	-0.08	-0.77**	-0.25	-0.43	1.00									
b*	0.05	0.65*	-0.34	0.62	0.84**	0.71*	-0.51	-0.34	-0.46*	1.00								
ความหนืด	0.05	0.65*	-0.34	0.62	0.84**	0.71*	-0.52	-0.34	-0.46*	1.00**	1.00							
ค่าดัชนี	0.17	0.94**	-0.72*	0.08	0.33	0.86**	0.02	-0.34	0.72**	0.72**	1.00							
ค่าดัชนี ความขาว	-0.08	-0.32	-0.05	-0.85**	-0.86**	-0.32	0.57	0.24	-0.94**	0.72**	0.72**	1.00						
PT	0.73*	-0.07	-0.13	0.08	-0.38	-0.40	0.83**	-0.08	-0.08	-0.35	-0.35	0.24	1.00					
PV	-0.29	-0.29	0.62	0.32	-0.09	-0.14	0.24	0.02	-0.11	-0.30	0.26	-0.24	0.01	1.00				
BD	-0.55	0.57	0.06	-0.72*	-0.50	0.36	0.09	0.55	-0.41	-0.09	-0.09	0.34	-0.16	0.71*	1.00			
FV	-0.44	0.29	0.66**	0.20	0.13	0.01	-0.35	-0.52	0.12	0.31	0.31	-0.49	-0.19	0.85**	0.40	1.00		
SB	-0.71*	-0.38	0.81**	0.17	0.27	-0.27	-0.79**	-0.57	0.67*	0.06	0.06	-0.35	-0.57	0.13	-0.06	0.59	1.00	

* มีความสัมพันธ์กันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

** มีความสัมพันธ์กันที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

PT คือ อุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (Pasting temperature)

PV คือ ความหนืดสูงสุด (Peak viscosity)

BD คือ ค่าการแตกสลายของเม็ดแป้ง (Breakdown)

FV คือ ความหนืดสุดท้าย (Final viscosity)

SB คือ ค่าการคืนตัว (Setback)

4.3 ผลของเทคนิควิธีการที่ใช้ในการตัดแปรต่อปริมาณสตาร์ชทนย่อย สมบัติทางเคมีกายภาพและความร้อนของแป้ง (flour) และสตาร์ช (starch) จากถั่วชนิดต่างๆ

4.3.1 ถั่วมะแฮะ

- ปริมาณสตาร์ชทนย่อย (resistant starch; RS)

ผลของวิธีการที่ใช้ตัดแปรต่อปริมาณสตาร์ชทนย่อยของแป้งและสตาร์ชจากถั่วมะแฮะ แสดงดังตารางที่ 4.12 โดยพบว่า การตัดแปรแป้งถั่วมะแฮะด้วยวิธีการต่างๆ ทำให้มีปริมาณสตาร์ชทนย่อยเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งการตัดแปรโดยการใช้ไมโครเวฟ (microwave) ช่วยเพิ่มปริมาณสตาร์ชทนย่อยได้มากกว่าการอบโดยตู้อบลมร้อน (hot air oven) และการใช้ความร้อนชื้นโดยหม้อนึ่งความดันไอ (autoclave) คือ ร้อยละ 28.93, 23.39 และ 16.63 ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ขณะที่ การตัดแปรสตาร์ชจากถั่วมะแฮะด้วยวิธีการต่างๆ ทำให้ปริมาณสตาร์ชทนย่อยลดลง ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม ซึ่งเป็นสตาร์ชที่ไม่ผ่านการตัดแปร สตาร์ชจากถั่วมะแฮะที่ตัดแปรโดยการใช้หม้อนึ่งความดันไอ และการใช้ไมโครเวฟทำให้ปริมาณสตาร์ชทนย่อยลดลงมากที่สุด โดยมีปริมาณสตาร์ชทนย่อยเหลือเพียงร้อยละ 7.44 และ 8.85 ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ การตัดแปรแป้งถั่วมะแฮะ โดยวิธีการต่างๆ สามารถเพิ่มปริมาณสตาร์ชทนย่อยได้มากกว่าการตัดแปรสตาร์ชจากถั่วมะแฮะ เนื่องจากในแป้งถั่วมะแฮะมีองค์ประกอบของโปรตีน และไขมันมากกว่าในสตาร์ช (ตารางที่ 4.3 และ 4.4) ซึ่งโปรตีนและไขมันสามารถเกิดเป็นสารเชิงซ้อนกับอะไมโลสได้ โดยสารเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ ปริมาณสตาร์ชทนย่อยที่ตรวจพบจึงเพิ่มขึ้น (Eliasoson และคณะ, 1988; Faraj และคณะ, 2004)

ตารางที่ 4.12 ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อปริมาณสตาร์ชทนย่อยของแป้งและสตาร์ชจากถั่วมะแฮะ

วิธีการตัดแปร	ปริมาณสตาร์ชทนย่อย (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)	
	แป้ง	สตาร์ช
ตัวอย่างควบคุม	6.16±0.15 ^d	16.21±1.27 ^a
การอบ	23.39±0.73 ^b	12.55±0.21 ^b
หม้อนึ่งความดันไอ	16.63±0.41 ^c	7.44±0.30 ^c
ไมโครเวฟ	28.93±2.55 ^a	8.85±0.36 ^c

^{a,b,c,d} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

- องค์ประกอบทางเคมี

ผลของวิธีการที่ใช้ตัดแปรต่อองค์ประกอบทางเคมีของแป้งจากถั่วมะแฮะ แสดงดังตารางที่ 4.13 โดยพบว่า ความชื้นของแป้งถั่วมะแฮะที่ผ่านการตัดแปรอยู่ในช่วงร้อยละ 4.26 ถึง 5.63 ของน้ำหนักแห้ง สำหรับปริมาณอะไมโลส และปริมาณสตาร์ชทั้งหมดของแป้งถั่วมะแฮะที่ผ่านการตัดแปรมีปริมาณเพิ่มขึ้น ขณะที่ ปริมาณใยอาหารทั้งหมดมีปริมาณลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างแป้งถั่วมะแฮะเริ่มต้นที่ไม่ผ่านการตัดแปร ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4.13 ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อองค์ประกอบทางเคมีของแป้งจากถั่วมะแฮะ (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)

วิธีการตัดแปร	ความชื้น	อะไมโลส	สตาร์ช	ใยอาหารทั้งหมด
ตัวอย่างควบคุม	7.85±0.36 ^a	5.08±0.06 ^c	29.72±0.05 ^d	14.75±0.06 ^a
การอบ	4.26±0.01 ^c	6.40±0.08 ^b	47.67±0.11 ^b	12.20±0.57 ^c
หม้อนึ่งความดันไอ	5.63±0.27 ^b	6.45±0.08 ^b	41.49±0.14 ^c	13.39±0.57 ^b
ไมโครเวฟ	5.12±0.64 ^{bc}	6.85±0.04 ^a	49.32±0.58 ^a	12.26±0.11 ^{bc}

^{abc....} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4.14 แสดงผลของวิธีการที่ใช้ตัดแปรต่อองค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชจากถั่วมะแฮะ โดยพบว่า ความชื้นของสตาร์ชจากถั่วมะแฮะที่ผ่านการตัดแปรอยู่ในช่วงร้อยละ 4.49 ถึง 6.82 ของน้ำหนักแห้ง ปริมาณอะไมโลสและปริมาณสตาร์ชทั้งหมดของสตาร์ชจากถั่วมะแฮะที่ตัดแปรโดยวิธีการอบไม่แตกต่างกับตัวอย่างสตาร์ชจากถั่วมะแฮะที่ไม่ผ่านการตัดแปร ($p \geq 0.05$) ขณะที่ สตาร์ชจากถั่วมะแฮะที่ผ่านการตัดแปรโดยการใช้หม้อนึ่งความดันไอ และการใช้ไมโครเวฟทำให้ปริมาณอะไมโลสและปริมาณสตาร์ชทั้งหมดเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) สำหรับปริมาณใยอาหารทั้งหมด พบว่ามีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อตัวอย่างสตาร์ชจากถั่วมะแฮะผ่านการตัดแปรด้วยวิธีการต่างๆ ($p < 0.05$) โดยสตาร์ชจากถั่วมะแฮะที่ตัดแปรโดยการใช้หม้อนึ่งความดันไอมีปริมาณใยอาหารทั้งหมดมากที่สุดคือ ร้อยละ 22.20 ของน้ำหนักแห้ง

ตารางที่ 4.14 ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อองค์ประกอบทางเคมีของสตาโรซจากถั่วมะแฮะ (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)

วิธีการตัดแปร	ความชื้น	อะไมโลส	สตาโรซ	ใยอาหารทั้งหมด
ตัวอย่างควบคุม	7.03±0.04 ^a	11.27±0.07 ^c	43.56±0.96 ^c	15.73±0.64 ^c
การอบ	5.76±0.01 ^c	11.20±0.02 ^c	43.21±3.36 ^c	17.57±0.27 ^b
หม้อนึ่งความดันไอน้ำ	6.82±0.02 ^b	11.63±0.11 ^b	54.68±0.21 ^b	22.20±0.24 ^a
ไมโครเวฟ	4.49±0.04 ^d	11.81±0.03 ^a	67.11±1.05 ^a	18.46±0.56 ^b

^{a,b,c,d} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

- ค่าสีและดัชนีความขาว

ผลของวิธีการที่ใช้ตัดแปรต่อค่าสีและดัชนีความขาวของแป้งและสตาโรซจากถั่วมะแฮะแสดงดังตารางที่ 4.15 และ 4.16 ตามลำดับ โดยพบว่า ค่าความสว่าง (L*) ของแป้งถั่วมะแฮะที่ผ่านการตัดแปรด้วยวิธีการต่างๆ เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งถั่วมะแฮะที่ไม่ผ่านการตัดแปรมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) ขณะที่ ค่าความสว่างของสตาโรซจากถั่วมะแฮะทั้งก่อนและหลังตัดแปรอยู่ในช่วง 93.51 ถึง 94.60 สำหรับค่าความเป็นสีแดง (+a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (+b*) เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งถั่วมะแฮะที่ไม่ผ่านการตัดแปร พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) โดยแป้งถั่วมะแฮะที่ตัดแปรโดยการใช้หม้อนึ่งความดันไอน้ำมีค่าดังกล่าวมากที่สุดคือ 4.35 และ 18.89 ตามลำดับ เช่นเดียวกับค่าความเข้มสี (chroma) ที่แป้งถั่วมะแฮะที่ตัดแปรโดยการใช้หม้อนึ่งความดันไอน้ำมีค่าดังกล่าวมากที่สุดคือ 19.38 โดยมีสีเข้มกว่าแป้งถั่วมะแฮะที่ตัดแปรโดยการอบและการใช้ไมโครเวฟ ตามลำดับ (ภาพที่ 4.2 ก.) สำหรับค่าความเป็นสีแดง (+a*) ค่าความเป็นสีเหลือง (+b*) และค่าความเข้มสีเมื่อเปรียบเทียบกับสตาโรซจากถั่วมะแฮะที่ไม่ผ่านการตัดแปร พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) โดยแป้งถั่วมะแฮะที่ตัดแปรโดยการอบมีค่าดังกล่าวมากที่สุดคือ 0.58, 4.94 และ 4.98 ตามลำดับ วิธีการที่ใช้ตัดแปรทำให้ค่าเฉดสี (hue angle) ของแป้งและสตาโรซจากถั่วมะแฮะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ค่าดัชนีความขาว เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างแป้งถั่วมะแฮะที่ไม่ผ่านการตัดแปร พบว่าการตัดแปรมีผลให้ค่าดัชนีความขาวของแป้งถั่วมะแฮะลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) โดยแป้งถั่วมะแฮะที่ตัดแปรโดยการใช้หม้อนึ่งความดันไอน้ำมีค่าดัชนีความขาวลดลงมากที่สุดคือ 72.77 ถัดมาของแป้งที่ได้จึงมีสีเข้มกว่าตัวอย่างอื่นๆ อย่างชัดเจน (ภาพที่ 4.2 ก.) ขณะที่ ค่าดัชนีความขาวของสตาโรซจากถั่วมะแฮะที่ตัดแปรโดยการใช้ไมโครเวฟมีค่ามากที่สุด (93.31) เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการตัดแปรโดยวิธีการอื่นๆ และมีค่าไม่แตกต่างกับตัวอย่างสตาโรซจากถั่วมะแฮะเริ่มต้นที่ยังไม่ผ่านการตัดแปร (p>0.05)

การเปลี่ยนแปลงสีของสตาร์ชจากถั่วมะแฮะที่ผ่านการตัดแปร โดยวิธีการต่างๆ จะสังเกตเห็นไม่ชัดเจน เหมือนกับการเปลี่ยนแปลงของของแป้งถั่วมะแฮะ (ภาพที่ 4.2) เนื่องจากสตาร์ชมีความบริสุทธิ์กว่าในแป้ง ทำให้องค์ประกอบต่างๆ ที่มีผลต่อค่าสีมีน้อยกว่าในแป้ง

การให้ความร้อนด้วยวิธีต่างๆ เพื่อตัดแปรแป้งทำให้แป้งมีความเข้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากภายในแป้งยังมีองค์ประกอบของโปรตีนอยู่สูง (ตารางที่ 4.3) ซึ่งโปรตีนจะทำปฏิกิริยากับหมู่คาร์บอนิลจากโมเลกุลของน้ำตาลรีดิวซิงที่มีอยู่ในแป้ง ในสภาวะที่มีความร้อนและน้ำ ได้เป็นสารสีน้ำตาลเกิดขึ้น (นิธิยาร์ตนาปนนท์, 2551) ซึ่งสีของแป้งที่ตัดแปรโดยใช้หม้อนึ่งความดันไอน้ำจะมีสีเข้มที่สุด เพราะวิธีนี้ใช้ความร้อนจากไอน้ำในการตัดแปร และใช้ระยะเวลาในการให้ความร้อนนานถึง 30 นาที จึงทำให้เกิดสารสีน้ำตาลมาก

ตารางที่ 4.15 ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อค่าสีและดัชนีความขาวของแป้งจากถั่วมะแฮะ

วิธีการตัดแปร	L*	a*	b*	ความเข้มสี (chroma)	ค่าเจดสี (hue angle)	ดัชนี ความขาว
ตัวอย่างควบคุม	88.13±0.31 ^a	0.23±0.05 ^d	14.09±0.10 ^d	14.09±0.10 ^d	89.08±0.21 ^a	81.58±0.24 ^a
การอบ	85.77±0.75 ^b	1.99±0.02 ^b	17.93±0.36 ^b	18.04±0.35 ^b	83.69±0.18 ^c	77.02±0.73 ^c
หม้อนึ่งความดันไอน้ำ	80.88±0.37 ^c	4.35±0.04 ^a	18.89±0.13 ^a	19.38±0.13 ^a	77.04±0.05 ^d	72.77±0.32 ^d
ไมโครเวฟ	86.36±0.26 ^b	1.72±0.07 ^c	16.73±0.30 ^c	16.82±0.30 ^c	84.14±0.28 ^b	78.35±0.31 ^b
^{a,b,c...}	หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกัน ในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)					

ตารางที่ 4.16 ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อค่าสีและดัชนีความขาวของสตาร์ชจากถั่วมะแฮะ

วิธีการตัดแปร	L*	a*	b*	ความเข้มสี (chroma)	ค่าเจดสี (hue angle)	ดัชนี ความขาว
ตัวอย่างควบคุม	94.60±0.16 ^a	0.35±0.01 ^c	3.73±0.02 ^d	3.75±0.02 ^d	84.63±0.19 ^b	93.43±0.15 ^a
การอบ	93.51±0.13 ^c	0.58±0.01 ^a	4.94±0.04 ^a	4.98±0.04 ^a	83.31±0.04 ^d	91.82±0.09 ^c
หม้อนึ่งความดันไอน้ำ	94.06±0.28 ^b	0.39±0.01 ^b	4.27±0.06 ^b	4.29±0.06 ^b	84.86±0.11 ^a	92.67±0.19 ^b
ไมโครเวฟ	94.51±0.18 ^a	0.38±0.01 ^b	3.80±0.04 ^c	3.82±0.03 ^c	84.35±0.13 ^c	93.31±0.13 ^a
^{a,b,c...}	หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกัน ในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)					



ภาพที่ 4.2 ลักษณะของแป้ง (ก.) และสตาร์ช (ข.) จากถั่วมะแฮะที่ผ่านการตัดแปรโดยวิธีต่างๆ

- สมบัติทางความหนืด (pasting properties)

ตารางที่ 4.17 แสดงสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งถั่วมะแฮะที่ตัดแปรโดยวิธีการต่างๆ เปรียบเทียบกับแป้งถั่วมะแฮะที่ไม่ผ่านการตัดแปร โดยพบว่า อุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting temperature) ของแป้งถั่วมะแฮะที่ผ่านการตัดแปรด้วยวิธีการต่างๆ มีค่าเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) แสดงว่า การตัดแปรช่วยให้แป้งมีความสามารถในการพองตัวสูงขึ้น (Singh และคณะ, 2004) โดยแป้งถั่วมะแฮะที่ตัดแปรโดยการใช้หม้อนึ่งความดันไอ และการใช้ไมโครเวฟมีอุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืดสูงสุด (95.56 และ 95.40 องศาเซลเซียส ตามลำดับ) ค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) และค่าความหนืดสุดท้าย (final viscosity) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ผ่านการตัดแปร พบว่าแป้งถั่วมะแฮะที่ผ่านการตัดแปรมีค่าดังกล่าวลดลง ($p < 0.05$) โดยแป้งถั่วมะแฮะที่ตัดแปรโดยการใช้หม้อนึ่งความดันไอมีค่าความหนืดสูงสุด และค่าความหนืดสุดท้ายลดลงมากที่สุด (1.84 และ 2.67 RVU ตามลำดับ) แป้งถั่วมะแฮะที่ตัดแปรโดยวิธีการอบและการใช้ไมโครเวฟมีค่าการแตกสลายของเม็ดแป้ง (breakdown) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ซึ่งมีค่าดังกล่าวมากกว่าแป้งถั่วมะแฮะที่ตัดแปรโดยการใช้หม้อนึ่งความดันไอและแป้งถั่วมะแฮะที่ไม่ผ่านการตัดแปร ($p < 0.05$) สำหรับค่าการคืนตัวของแป้งหลังจากทำให้เย็นตัวลง (setback) พบในแป้งถั่วมะแฮะที่ผ่านการตัดแปรโดยการใช้หม้อนึ่งความดันไอน้อยที่สุดคือ 1.42 RVU ขณะที่ ในแป้งถั่วมะแฮะที่ตัดแปรโดยวิธีการอบ และการใช้ไมโครเวฟ เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งถั่วมะแฮะที่ไม่ผ่านการตัดแปร พบว่ามีค่าการคืนตัวมากที่สุดคือ 25.58 และ 24.46 RVU ตามลำดับ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4.17 ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อสมบัติทางความหนืดของแป้งจากถั่วมะแฮะ

วิธีการตัดแปร	pasting		viscosity (RVU)		
	temperature (°C)	peak viscosity	breakdown	final viscosity	setback
ตัวอย่างควบคุม	82.38±0.04 ^c	72.33±1.06 ^a	1.25±0.24 ^b	92.75±1.53 ^a	21.67±0.23 ^b
การอบ	87.60±0.57 ^b	43.67±3.18 ^b	5.25±0.95 ^a	64.00±4.00 ^b	25.58±1.77 ^a
หม้อนึ่งความดันไอ	95.56±0.16 ^a	1.84±0.12 ^d	0.58±0.00 ^b	2.67±0.00 ^d	1.42±0.12 ^c
ไมโครเวฟ	95.40±0.35 ^a	32.96±0.06 ^c	4.92±0.35 ^a	52.50±0.00 ^c	24.46±0.41 ^a

a,b,c... หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวดิ่งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางที่ 4.18 แสดงผลของวิธีการที่ใช้ตัดแปรต่อสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดของสตาร์ชจากถั่วมะแฮะ โดยพบว่า สตาร์ชจากถั่วมะแฮะหลังผ่านการตัดแปรแล้วทำให้มีค่าอุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting temperature) สูงขึ้น โดยสตาร์ชจากถั่วมะแฮะที่ตัดแปรโดยใช้หม้อนึ่งความดันไอมีอุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืดเพิ่มขึ้นมากที่สุด (95.63 องศาเซลเซียส) ขณะที่ ความหนืดสูงสุด (peak viscosity) และความหนืดสุดท้าย (final viscosity) ของสตาร์ชจากถั่วมะแฮะที่ผ่านการตัดแปรมีค่าลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างสตาร์ชจากถั่วมะแฮะที่ไม่ผ่านการตัดแปร (p<0.05) ซึ่งให้ผลในลักษณะเดียวกับตัวอย่างในกลุ่มที่เป็นแป้งคือ สตาร์ชที่มีการลดลงของค่าความหนืดสูงสุดและค่าความหนืดสุดท้ายมากที่สุดคือ สตาร์ชจากถั่วมะแฮะที่ตัดแปรโดยใช้หม้อนึ่งความดันไอ (47.84 และ 78.92 RVU) สำหรับค่าการแตกสลายของเม็ดแป้ง (breakdown) พบว่า สตาร์ชจากถั่วมะแฮะที่ผ่านการตัดแปรโดยวิธีการต่างๆ ทำให้ค่าการแตกสลายของเม็ดแป้งมีค่าลดลง (p<0.05) แสดงว่า การตัดแปรช่วยให้เม็ดแป้งมีความคงตัวต่อความร้อนได้สูงขึ้น ค่าการคืนตัวของแป้งหลังจากทำให้เย็นตัวลง (setback) ของสตาร์ชจากถั่วมะแฮะที่ตัดแปรโดยวิธีการอบ และการใช้ไมโครเวฟให้ค่าที่ไม่แตกต่างกัน (p≥0.05) ขณะที่ สตาร์ชจากถั่วมะแฮะที่ตัดแปรโดยการใช้หม้อนึ่งความดันไอมีค่าการคืนตัวน้อยที่สุด (44.50 RVU) แต่อย่างไรก็ตาม การตัดแปรโดยวิธีการต่างๆ มีผลทำให้ค่าการคืนตัวของแป้งหลังจากทำให้เย็นมีค่าลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับสตาร์ชจากถั่วมะแฮะที่ไม่ผ่านการตัดแปร ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับการศึกษาของ Eliasson (1980) ที่พบว่า การตัดแปรสตาร์ชโดยใช้ความร้อน (heat-moisture treatment) จะทำให้สตาร์ชมีอุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืดเพิ่มขึ้น แต่มีค่าการแตกสลายของเม็ดแป้ง และค่าการคืนตัวของแป้งลดลง

ตารางที่ 4.18 ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อสมบัติทางความหนืดของสตาร์ชจากถั่วมะแฮะ

วิธีการตัดแปร	pasting temperature (°C)	Viscosity (RVU)			
		peak viscosity	breakdown	final viscosity	setback
ตัวอย่างควบคุม	82.05±0.57 ^c	258.88±1.35 ^a	51.79±3.13 ^a	356.92±2.60 ^a	149.83±7.07 ^a
การอบ	82.48 ±1.10 ^{bc}	216.79±0.06 ^b	13.17±1.89 ^b	291.55±5.83 ^b	87.92±4.01 ^b
หม้อนึ่งความดันไอ	95.63±0.39 ^a	47.84±1.29 ^d	13.42±0.59 ^b	78.92±0.94 ^d	44.50±0.95 ^c
ไมโครเวฟ	84.10±0.14 ^b	183.67±7.30 ^c	10.80±0.18 ^b	254.59 ±10.73 ^c	81.71±3.24 ^b

a,b,c... หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกัน ในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

- สมบัติทางความร้อน (thermal properties)

ตารางที่ 4.19 แสดงสมบัติทางความร้อนของสตาร์ชจากถั่วมะแฮะที่ตัดแปร โดยวิธีการต่างๆ เปรียบเทียบกับสตาร์ชจากถั่วมะแฮะที่ไม่ผ่านการตัดแปร โดยพบว่า อุณหภูมิเริ่มต้นการเกิดเจลลาคีโนเซชัน (onset temperature; T_o) และอุณหภูมิที่เกิดเจลลาคีโนเซชันสูงสุด (peak temperature; T_p) ของสตาร์ชจากถั่วมะแฮะที่ตัดแปรโดยการใช้หม้อนึ่งความดันไอมีค่ามากที่สุดคือ 77.91 และ 87.15 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ขณะที่ สตาร์ชจากถั่วมะแฮะที่ตัดแปรโดยการใช้ไมโครเวฟมีอุณหภูมิเริ่มต้นการเกิดเจลลาคีโนเซชัน และอุณหภูมิที่เกิดเจลลาคีโนเซชันสูงสุดน้อยที่สุดคือ 72.29 และ 79.06 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ($p < 0.05$) แต่สตาร์ชจากถั่วมะแฮะที่ตัดแปรโดยการใช้ไมโครเวฟมีค่าอุณหภูมิที่เกิดเจลลาคีโนเซชันสูงสุดไม่แตกต่างกับสตาร์ชจากถั่วมะแฮะที่ไม่ผ่านการตัดแปร ($p \geq 0.05$) การตัดแปรด้วยวิธีการต่างๆ ทำให้สตาร์ชจากถั่วมะแฮะมีค่าอุณหภูมิสุดท้ายที่เกิดเจลลาคีโนเซชัน (conclusion temperature; T_c) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) จะเห็นว่าการใช้ไมโครเวฟในการตัดแปรสตาร์ชส่วนใหญ่จะทำให้สมบัติทางความร้อนลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการให้ความร้อนวิธีอื่นๆ อาจเนื่องมาจาก เมื่อสตาร์ชได้รับพลังงานจากคลื่นไมโครเวฟ จะทำให้เกิดการสั่นสะเทือนของอนุภาคที่มีประจุ เช่น โมเลกุลของน้ำในสตาร์ช ซึ่งการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นนี้ มีผลในการขัดขวางการจัดเรียงตัวเป็นผลึกของอะมิโลเพคติน จึงใช้อุณหภูมิในการทำให้สตาร์ชเกิดเจลลาคีโนเซชันน้อย (Palav และ Seetharaman, 2006)

สำหรับค่าพลังงานในการสลายโครงสร้างผลึก (enthalpy; ΔH) ของสตาร์ชที่ตัดแปรโดยวิธีการอบ การใช้หม้อนึ่งความดันไอ และการใช้ไมโครเวฟมีค่า 5.26, 8.42 และ 12.44 จูลต่อกรัม ซึ่งจะพบว่า สตาร์ชจากถั่วมะแฮะที่ตัดแปรโดยการใช้ไมโครเวฟมีค่าพลังงานในการสลายโครงสร้างผลึกมากที่สุด แสดงว่า โครงสร้างภายในของสตาร์ชตัวอย่างนี้ มีความแข็งแรงกว่าตัวอย่างอื่นๆ ที่ทำการศึกษา

ตารางที่ 4.19 ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อสมบัติทางความร้อนของสตาร์ชจากถั่วมะแฮะ

วิธีการตัดแปร	T _o (°C)	T _p (°C)	T _c (°C)	enthalpy ΔH(จูล/กรัม)
ตัวอย่างควบคุม	74.91±0.10 ^c	79.70±0.52 ^c	85.67±0.14 ^d	8.10±0.01 ^b
การอบ	77.41±0.13 ^b	83.17±0.23 ^b	90.80±0.17 ^b	5.26±0.04 ^c
หม้อนึ่งความดันไอ	77.91±0.06 ^a	87.15±0.26 ^a	92.99±0.16 ^a	8.42±0.05 ^b
ไมโครเวฟ	72.29±0.20 ^d	79.06±0.38 ^c	87.26±0.30 ^c	12.44±0.23 ^a

^{abc...} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

4.3.1 ถั่วพุ่ม

- ปริมาณสตาร์ชทนย่อย (resistant starch; RS)

ผลของวิธีการที่ใช้ตัดแปรต่อปริมาณสตาร์ชทนย่อยของแป้งและสตาร์ชจากถั่วพุ่ม แสดงดังตารางที่ 4.20 โดยพบว่า การตัดแปรโดยใช้ไมโครเวฟทำให้แป้งถั่วพุ่มมีปริมาณสตาร์ชทนย่อยมากกว่าการใช้หม้อนึ่งความดันไอ และการอบโดยตู้อบลมร้อน ตามลำดับ (ร้อยละ 7.92, 1.88 และ 0.43 ตามลำดับ) อาจเนื่องมาจากการให้ความร้อนแบบไมโครเวฟ ตัวอย่างจะได้รับความร้อนอย่างรวดเร็วและสม่ำเสมอ (Sumnu, 2001) ทำให้โอกาสที่อะไมโลสจะรวมตัวกับองค์ประกอบต่างๆ ในแป้ง เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ทนต่อการย่อยของเอนไซม์จึงมีสูงกว่าการให้ความร้อนในแบบอื่นๆ สำหรับปริมาณสตาร์ชทนย่อยของสตาร์ชจากถั่วพุ่ม พบว่า การตัดแปรโดยวิธีการต่างๆ ทำให้สตาร์ชจากถั่วพุ่มมีปริมาณสตาร์ชทนย่อยลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ผ่านการตัดแปร (p<0.05) โดยสตาร์ชจากถั่วพุ่มที่ตัดแปร โดยการอบ การใช้หม้อนึ่งความดันไอ และการใช้ไมโครเวฟมีปริมาณสตาร์ชทนย่อยเท่ากับร้อยละ 3.17, 2.02 และ 2.10 ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

- องค์ประกอบทางเคมี

ผลของวิธีการที่ใช้ตัดแปรต่อองค์ประกอบทางเคมีของแป้งจากถั่วพุ่ม แสดงดังตารางที่ 4.21 โดยพบว่า ความชื้นของแป้งถั่วพุ่มที่ผ่านการตัดแปรอยู่ในช่วงร้อยละ 3.25 ถึง 6.27 ของน้ำหนักแห้ง ปริมาณอะไมโลสของแป้งถั่วพุ่มที่ตัดแปรโดยวิธีการอบ ไม่แตกต่างกับแป้งที่ไม่ผ่านการตัดแปร (p≥0.05) ขณะที่ แป้งถั่วพุ่มที่ตัดแปรโดยการ ใช้หม้อนึ่งความดันไอมิมีปริมาณอะไมโลสมากที่สุดคือ ร้อยละ 5.31 ของน้ำหนักแห้ง สำหรับปริมาณสตาร์ชทั้งหมด พบว่า การตัดแปรโดยใช้วิธีการต่างๆ ทำให้แป้งถั่วพุ่มมีปริมาณสตาร์ชทั้งหมดเพิ่มขึ้น (p<0.05) ขณะที่ ปริมาณใยอาหารทั้งหมดของแป้งถั่วพุ่มที่ผ่านการตัดแปรอยู่ในช่วงร้อยละ 9.86 ถึง 11.81 ของน้ำหนักแห้ง

ตารางที่ 4.20 ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อปริมาณสสารที่หนอยของแป้งและสสารจากถั่วพุ่ม

วิธีการตัดแปร	ปริมาณสสารที่หนอย (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)	
	แป้ง	สสาร
ตัวอย่างควบคุม	2.31±0.01 ^b	5.23±0.13 ^a
การอบ	0.43±0.03 ^d	3.17±0.04 ^b
หม้อนึ่งความดันไอ	1.88±0.28 ^c	2.02±0.13 ^c
ไมโครเวฟ	7.92±0.06 ^a	2.10±0.01 ^c

^{a,b,c...} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกัน ในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางที่ 4.22 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของสสารจากถั่วพุ่มที่ผ่านการตัดแปรโดยวิธีการต่างๆ เปรียบเทียบกับสสารที่ไม่ผ่านการตัดแปร โดยพบว่า ความชื้นของสสารจากถั่วพุ่มที่ผ่านการตัดแปรอยู่ในช่วงร้อยละ 5.06 ถึง 5.87 ของน้ำหนักแห้ง วิธีการต่างๆ ที่ใช้ตัดแปร ทำให้สสารจากถั่วพุ่มมีปริมาณอะไมโลสลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) โดยสสารจากถั่วพุ่มที่ตัดแปรโดยการใช้น้ำหม้อนึ่งความดันไรมีปริมาณอะไมโลสลดลงมากที่สุด (ร้อยละ 10.56 ของน้ำหนักแห้ง) สำหรับ ปริมาณสสารทั้งหมดของสสารจากถั่วพุ่มที่ผ่านการตัดแปรอยู่ในช่วงร้อยละ 70.89 ถึง 77.76 ของน้ำหนักแห้ง ขณะที่ ปริมาณใยอาหารทั้งหมดของถั่วพุ่มที่ผ่านการตัดแปรโดยวิธีการต่างๆ มีปริมาณลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับสสารที่ไม่ผ่านการตัดแปร (p<0.05)

ตารางที่ 4.21 ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อองค์ประกอบทางเคมีของแป้งจากถั่วพุ่ม (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)

วิธีการตัดแปร	ความชื้น	อะไมโลส	สสาร	ใยอาหารทั้งหมด
ตัวอย่างควบคุม	5.07±0.08 ^b	4.68±0.06 ^c	26.72±0.30 ^d	10.80±0.54 ^{ab}
การอบ	3.25±0.34 ^d	4.75±0.08 ^c	40.37±0.10 ^b	9.86±0.39 ^b
หม้อนึ่งความดันไอ	6.27±0.04 ^a	5.31±0.01 ^a	32.59±0.30 ^c	11.81±0.24 ^a
ไมโครเวฟ	4.33±0.14 ^c	4.68±0.06 ^c	42.35±0.04 ^a	10.11±0.31 ^b

^{a,b,c...} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกัน ในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางที่ 4.22 ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อองค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชจากถั่วพุ่ม (ร้อยละของ น้ำหนักแห้ง)

วิธีการตัดแปร	ความชื้น	อะไมโลส	สตาร์ช	ใยอาหารทั้งหมด
ตัวอย่างควบคุม	6.54±0.03 ^a	11.54±0.03 ^a	79.13±0.87 ^a	15.88±0.24 ^c
การอบ	5.65±0.01 ^c	11.50±0.03 ^b	70.89±2.86 ^b	17.46±0.46 ^b
หม้อนึ่งความดันไอ	5.87±0.01 ^b	11.31±0.02 ^c	77.76±1.66 ^a	18.28±0.08 ^a
ไมโครเวฟ	5.06±0.14 ^d	10.56±0.01 ^d	74.29±1.46 ^{ab}	18.33±0.16 ^a

^{a,b,c...} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

- ค่าสีและดัชนีความขาว

ผลของวิธีการที่ใช้ตัดแปรต่อค่าสีและดัชนีความขาวของแป้งจากถั่วพุ่ม แสดงดังตารางที่ 4.23 โดยพบว่า ค่าความสว่าง (L*) ของแป้งถั่วพุ่มที่ผ่านการตัดแปรโดยการใช้นไมโครเวฟ เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งถั่วพุ่มที่ไม่ผ่านการตัดแปรมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≥0.05) ขณะที่ แป้งถั่วพุ่มที่ตัดแปรโดยการใช้นหม้อนึ่งความดันไรมีค่าความสว่างน้อยที่สุด (78.88) ค่าความเป็นสีแดง (+a*) ค่าความเป็นสีเหลือง (+b*) ค่าความเข้มสี (chroma) และค่าเจดสี (hue angle) ของแป้งถั่วพุ่มที่ผ่านการตัดแปร เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งที่ไม่ผ่านการตัดแปร พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) โดยแป้งถั่วพุ่มที่ตัดแปรโดยใช้นหม้อนึ่งความดันไรมีค่าความเป็นสีแดง ค่าความเป็นสีเหลือง และค่าความเข้มสีเพิ่มขึ้นมากที่สุด (5.05, 15.76 และ 16.55 ตามลำดับ) ขณะที่ ค่าดัชนีความขาวของแป้งถั่วพุ่มที่ผ่านการตัดแปรมีค่าลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งที่ไม่ผ่านการตัดแปร (p<0.05) โดยแป้งถั่วพุ่มที่ตัดแปรโดยใช้นหม้อนึ่งความดันไรมีค่าดัชนีความขาวน้อยที่สุดคือ 73.17 เมื่อพิจารณาจากค่าความสว่าง ค่าความเข้มสี และค่าดัชนีความขาวแล้วจะพบว่า การตัดแปรแป้งถั่วพุ่มโดยการใช้นหม้อนึ่งความดันไอทำให้แป้งมีสีที่เข้มขึ้นมาก (ภาพที่ 4.3) เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการตัดแปรโดยวิธีอื่นๆ

ตารางที่ 4.23 ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อค่าสีและดัชนีความขาวของแป้งจากถั่วพุ่ม

วิธีการตัดแปร	L*	a*	b*	ความเข้มสี (chroma)	ค่าเฉดสี (hue angle)	ดัชนี ความขาว
ตัวอย่างควบคุม	87.48±0.50 ^a	0.58±0.05 ^d	9.42±0.08 ^d	9.44±0.08 ^d	86.46±0.30 ^a	84.32±0.38 ^a
การอบ	85.82±0.23 ^b	1.67±0.05 ^b	13.54±0.09 ^b	13.64±0.09 ^b	82.98±0.17 ^b	80.32±0.17 ^c
หม้อนึ่งความดันไอ	78.88±0.61 ^c	5.05±0.03 ^a	15.76±0.06 ^a	16.55±0.06 ^a	72.24±0.12 ^c	73.17±0.46 ^d
ไมโครเวฟ	86.95±0.39 ^a	1.38±0.02 ^c	11.24±0.14 ^c	11.32±0.14 ^c	83.02±0.04 ^b	82.72±0.31 ^b

^{a,b,c...} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกัน ในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

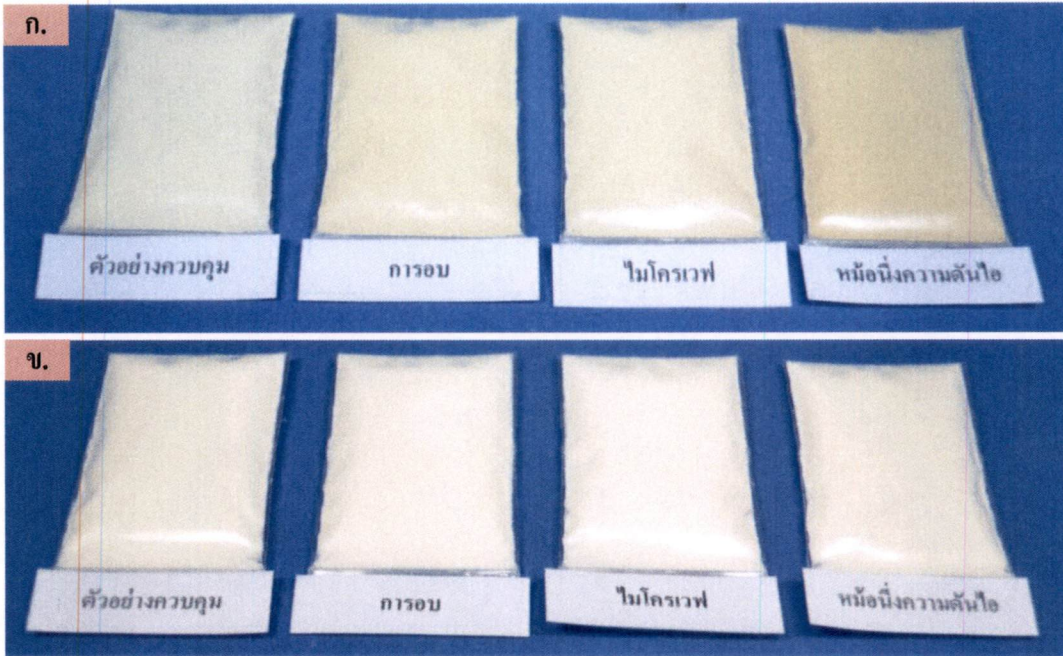
ตารางที่ 4.24 แสดงผลของวิธีการที่ใช้ตัดแปรต่อค่าสีและดัชนีความขาวของสตาร์ชจากถั่วพุ่ม โดยพบว่า แป้งถั่วพุ่มที่ผ่านการตัดแปรโดยวิธีการต่างๆ กับสตาร์ชที่ไม่ผ่านการตัดแปรมีค่าความสว่าง (L*) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≥0.05) ค่าความเป็นสีแดง (+a*) ของสตาร์ชที่ผ่านการตัดแปรอยู่ในช่วง 0.71 ถึง 0.91 ขณะที่ ผลของการตัดแปรจะทำให้ค่าความเป็นสีเหลือง (+b*) ความเข้มสี (chroma) และค่าเฉดสี (hue angle) เพิ่มขึ้น (p<0.05) โดยสตาร์ชจากถั่วพุ่มที่ตัดแปรโดยการอบ มีความเข้มสีมากที่สุด (5.06) สำหรับ ค่าดัชนีความขาวของสตาร์ชจากถั่วพุ่มที่ตัดแปรโดยการอบ การใช้หม้อนึ่งความดันไอ และการใช้ไมโครเวฟ คือ 91.88, 92.32 และ 92.39 ตามลำดับ สีของสตาร์ชจากถั่วพุ่มจะมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก เมื่อสังเกตด้วยสายตา (ภาพที่ 4.3 ข.)

ตารางที่ 4.24 ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อค่าสีและดัชนีความขาวของสตาร์ชจากถั่วพุ่ม

วิธีการตัดแปร	L* ^{ns}	a*	b*	ความเข้มสี (chroma)	ค่าเฉดสี (hue angle)	ดัชนี ความขาว
ตัวอย่างควบคุม	93.45±0.38	0.88±0.03 ^b	4.33±0.09 ^c	4.42±0.10 ^c	78.55±0.16 ^d	92.09±0.28 ^{ab}
การอบ	93.66±0.19	0.91±0.02 ^a	4.98±0.04 ^a	5.06±0.04 ^a	79.62±0.14 ^b	91.88±0.16 ^b
หม้อนึ่งความดันไอ	93.84±0.18	0.71±0.01 ^c	4.54±0.08 ^b	4.59±0.08 ^b	81.15±0.14 ^a	92.32±0.18 ^a
ไมโครเวฟ	93.97±0.18	0.87±0.02 ^b	4.55±0.03 ^b	4.64±0.31 ^b	79.18±0.22 ^c	92.39±0.15 ^a

^{a,b,c...} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกัน ในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≥0.05)



ภาพที่ 4.3 ลักษณะของแป้ง (ก.) และสตาร์ช (ข.) จากถั่วพุ่มที่ผ่านการดัดแปรโดยวิธีต่างๆ

- สมบัติทางความหนืด (pasting properties)

ตารางที่ 4.25 แสดงสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งถั่วพุ่มที่ดัดแปร โดยวิธีการต่างๆ เปรียบเทียบกับแป้งถั่วพุ่มที่ไม่ผ่านการดัดแปร โดยพบว่า อุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting temperature) ของแป้งถั่วพุ่มที่ผ่านการดัดแปร โดยวิธีการอบ และแป้งที่ไม่ผ่านการดัดแปรมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ขณะที่ แป้งถั่วพุ่มที่ดัดแปรโดยการใช้น้ำร้อนความดันไอ และการใช้ไมโครเวฟจะมีค่าดังกล่าวเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) ค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ของแป้งถั่วพุ่มที่ดัดแปรโดยการอบมีค่ามากที่สุดคือ 69.34 RVU ขณะที่ แป้งถั่วพุ่มที่ดัดแปรโดยการใช้น้ำร้อนความดันไอมีค่าความหนืดสูงสุดน้อยที่สุดคือ 4.79 RVU ($p < 0.05$) สำหรับค่าการแตกสลายของเม็ดแป้ง (breakdown) พบมากที่สุด แป้งถั่วพุ่มที่ดัดแปรโดยการอบคือ 12.75 RVU ขณะที่ แป้งถั่วพุ่มเริ่มต้นที่ไม่ผ่านการดัดแปร กับแป้งถั่วพุ่มที่ดัดแปรโดยการใช้น้ำร้อนความดันไอมีค่าการแตกสลายของเม็ดแป้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ผลของวิธีการต่างๆ ที่ใช้ในการดัดแปรแป้งถั่วพุ่ม ทำให้แป้งถั่วพุ่มมีค่าความหนืดสุดท้าย (final viscosity) และค่าการคืนตัวของแป้งหลังทำให้เย็น (setback) ลดลง แสดงว่า วิธีการต่างๆ ที่ใช้ในการดัดแปร มีผลทำให้การจัดเรียงตัวใหม่ของอะไมโลส หลังจากการทำให้น้ำแป้งเย็นตัวลงเกิดขึ้นได้ไม่ดี จึงมีแนวโน้มที่ความหนืดสุดท้าย รวมถึงค่าการคืนตัวที่ได้จะลดลง (González และ Pérez, 2002)

ตารางที่ 4.25 ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อสมบัติทางความหนืดของแป้งจากถั่วพุ่ม

วิธีการตัดแปร	pasting temperature (°C)	viscosity (RVU)			
		peak viscosity	breakdown	final viscosity	setback
ตัวอย่างควบคุม	80.48±0.60 ^c	51.96±0.18 ^b	0.80±0.18 ^b	102.83±1.41 ^a	51.67±1.06 ^a
การอบ	79.58±0.53 ^c	69.34±0.47 ^a	12.75±0.24 ^a	78.50±1.88 ^b	21.92±1.18 ^b
หม้อนึ่งความดันไอ	89.27±0.38 ^a	4.79±0.30 ^d	0.46±0.07 ^b	7.46±0.41 ^d	3.13±0.18 ^c
ไมโครเวฟ	82.38±0.11 ^b	44.00±2.72 ^c	0.71±0.18 ^b	63.25±3.65 ^c	19.96±0.76 ^b

^{abc...} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวดิ่งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางที่ 4.26 แสดงสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดของสตาร์ชจากถั่วพุ่มที่ผ่านการตัดแปรโดยวิธีการต่างๆ เปรียบเทียบกับสตาร์ชจากถั่วพุ่มที่ไม่ผ่านการตัดแปร โดยพบว่า สตาร์ชจากถั่วพุ่มที่ตัดแปรโดยวิธีการอบ และการใช้ไมโครเวฟมีค่าอุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting temperature) ไม่แตกต่างกับตัวอย่างสตาร์ชที่ไม่ผ่านการตัดแปร (p≥0.05) ขณะที่ สตาร์ชจากถั่วพุ่มที่ตัดแปรโดยการใช้หม้อนึ่งความดันไรมีค่าดังกล่าวมากที่สุดคือ 85.18 องศาเซลเซียส สำหรับ ค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) มีค่าลดลงในสตาร์ชจากถั่วพุ่มที่ตัดแปร โดยวิธีการอบ และการใช้หม้อนึ่งความดันไอ แต่การใช้ไมโครเวฟทำให้สตาร์ชจากถั่วพุ่มมีค่าความหนืดสูงสุด ไม่แตกต่างกับสตาร์ชที่ไม่ผ่านการตัดแปร (p≥0.05) ผลของการตัดแปรโดยวิธีการต่างๆ ทำให้ค่าการแตกสลายของเม็ดแป้ง (breakdown) ลดลง แสดงว่าการตัดแปรช่วยให้เม็ดแป้งมีความคงทนต่อความร้อนมากขึ้น สตาร์ชจากถั่วพุ่มที่ตัดแปร โดยการใช้ไมโครเวฟมีค่าความหนืดสุดท้าย (final viscosity) มากที่สุดคือ 436.30 RVU ขณะที่สตาร์ชที่ตัดแปรโดยการใช้หม้อนึ่งความดันไรมีค่าความหนืดสุดท้ายน้อยที่สุดคือ 299.93 RVU สำหรับค่าการคืนตัว (setback) ในสตาร์ชจากถั่วพุ่มที่ผ่านการตัดแปรโดยวิธีการต่างๆ พบว่า มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) โดยสตาร์ชจากถั่วพุ่มที่ตัดแปร โดยการใช้หม้อนึ่งความดันไรมีค่าการคืนตัวน้อยที่สุดคือ 105.42 RVU

ตารางที่ 4.26 ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อสมบัติทางความหนืดของสตาร์ชจากถั่วพุ่ม

วิธีการตัดแปร	pasting temperature (°C)	viscosity (RVU)			
		peak viscosity	breakdown	final viscosity	setback
ตัวอย่างควบคุม	78.10±0.35 ^b	367.50±10.25 ^a	135.25±6.01 ^a	339.79±4.65 ^c	127.54±7.37 ^c
การอบ	77.60±0.00 ^b	321.42±0.71 ^b	115.00±1.06 ^b	370.75±6.48 ^b	164.34±6.13 ^b
หม้อนึ่งความดันไอ	85.18±0.53 ^a	220.29±5.01 ^c	25.80±2.65 ^c	299.92±7.66 ^d	105.42±0.00 ^d
ไมโครเวฟ	78.43±0.04 ^b	356.04±5.25 ^a	108.00±1.88 ^b	436.30±10.78 ^a	188.25±3.65 ^a

^{a,b,c,d} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวดิ่งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

- สมบัติทางความร้อน (thermal properties)

ตารางที่ 4.27 แสดงสมบัติทางความร้อนของสตาร์ชจากถั่วพุ่มที่ตัดแปร โดยวิธีการต่างๆ เปรียบเทียบกับสตาร์ชจากถั่วพุ่มที่ไม่ผ่านการตัดแปร โดยพบว่า การตัดแปรโดยวิธีการต่างๆ มีผลทำให้ค่าอุณหภูมิเริ่มต้นการเกิดเจลลาทีนในเซชัน (onset temperature; T_o) เพิ่มขึ้น (p<0.05) โดยสตาร์ชจากถั่วพุ่มที่ตัดแปรโดยการใช้หม้อนึ่งความดันไรมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นมากที่สุด (78.61 องศาเซลเซียส) สำหรับอุณหภูมิที่เกิดเจลลาทีนในเซชันสูงสุด (peak temperature; T_p) ของสตาร์ชจากถั่วพุ่มที่ตัดแปรโดยวิธีการอบและการใช้ไมโครเวฟมีอุณหภูมิไม่แตกต่างกับสตาร์ชถั่วพุ่มที่ไม่ผ่านการตัดแปร (p≥0.05) สตาร์ชที่ตัดแปรโดยใช้หม้อนึ่งความดันไรมีอุณหภูมิที่เกิดเจลลาทีนในเซชันสูงสุด และค่าอุณหภูมิสุดท้ายที่เกิดเจลลาทีนในเซชัน (conclusion temperature; T_c) มากที่สุดคือ 84.26 และ 90.96 องศาเซลเซียส ตามลำดับ สำหรับค่าพลังงานในการสลายโครงสร้างผลึก (enthalpy; ΔH) ของสตาร์ชจากถั่วพุ่มที่ผ่านการตัดแปร พบว่าวิธีการต่างๆ ที่ใช้ในการตัดแปรมีผลทำให้สตาร์ชจาก ถั่วพุ่มมีค่าพลังงานในการสลายโครงสร้างผลึกลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับสตาร์ชเริ่มต้นที่ไม่ผ่านการตัดแปร (p<0.05) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Lewandowicz และคณะ (2000) ที่พบว่า การตัดแปรสตาร์ชจากข้าวสาลี และข้าวโพดโดยใช้ไมโครเวฟ ทำให้ค่าพลังงานในการสลายโครงสร้างผลึกลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับสตาร์ชที่ไม่ผ่านการตัดแปร อาจเป็นไปได้ว่า การตัดแปรทำให้สตาร์ชเกิดการเจลลาทีนในเซชันแล้วบางส่วน ค่าพลังงานที่ใช้ทำลายโครงสร้างจึงลดลงนั่นเอง

ตารางที่ 4.27 ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อสมบัติทางความร้อนของสตาร์ชจากถั่วพุ่ม

วิธีการตัดแปร	T _o (°C)	T _p (°C)	T _c (°C)	enthalpy ΔH (จูล/กรัม)
ตัวอย่างควบคุม	66.58±0.27 ^c	75.11±0.15 ^b	85.59±0.39 ^b	13.24±0.30 ^a
การอบ	69.01±0.16 ^b	74.31±0.28 ^b	82.28±0.28 ^d	8.25±0.09 ^c
หม้อนึ่งความดันไอ	78.61±0.09 ^a	84.26±1.51 ^a	90.96±0.13 ^a	9.66±0.16 ^b
ไมโครเวฟ	68.71±0.22 ^b	76.45±0.39 ^b	84.38±0.05 ^c	9.39±0.13 ^b

^{a,b,c...} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวดิ่งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

4.3.3 ถั่วแดงหลวง

- ปริมาณสตาร์ชทนย่อย (resistant starch; RS)

ผลของวิธีการที่ใช้ตัดแปรต่อปริมาณสตาร์ชทนย่อยของแป้งและสตาร์ชจากถั่วแดงหลวง แสดงดังตารางที่ 4.28 โดยพบว่า ปริมาณสตาร์ชทนย่อยของแป้งจากถั่วแดงหลวงที่ตัดแปรโดยวิธีการอบ และการใช้ไมโครเวฟมีค่ามากที่สุดคือ ร้อยละ 22.59 และ 23.72 ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ Garcia-Alonso และคณะ (1999) ที่กล่าวว่า การใช้คู่อบลมร้อนในการอบแป้งและสตาร์ช สามารถทำให้ปริมาณสตาร์ชทนย่อยเพิ่มขึ้นได้ สำหรับแป้งถั่วแดงหลวงที่ตัดแปรโดยการใช้หม้อนึ่งความดันไอ มีปริมาณสตาร์ชทนย่อยไม่แตกต่างกับแป้งถั่วแดงหลวงที่ยังไม่ผ่านการตัดแปรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≥0.05) สำหรับผลของวิธีการต่างๆ ที่ใช้ในการตัดแปรสตาร์ชจากถั่วแดงหลวงต่อปริมาณสตาร์ชทนย่อย พบว่า การตัดแปรทำให้สตาร์ชจากถั่วแดงหลวงมีปริมาณสตาร์ชทนย่อยลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างสตาร์ชที่ไม่ผ่านการตัดแปร (p<0.05) โดยสตาร์ชที่ตัดแปรโดยวิธีการอบ การใช้หม้อนึ่งความดันไอ และการใช้ไมโครเวฟมีปริมาณสตาร์ชทนย่อยคือ ร้อยละ 10.49, 4.20 และ 2.58 ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

- องค์ประกอบทางเคมี

ผลของวิธีการที่ใช้ตัดแปรต่อองค์ประกอบทางเคมีของแป้งจากถั่วแดงหลวง แสดงดังตารางที่ 4.29 โดยพบว่า ความชื้นของแป้งถั่วแดงหลวงที่ผ่านการตัดแปรอยู่ในช่วงร้อยละ 4.33 ถึง 5.74 ของน้ำหนักแห้ง สำหรับปริมาณอะไมโลส และปริมาณสตาร์ชทั้งหมดของแป้งถั่วแดงหลวงที่ผ่านการตัดแปรมีปริมาณเพิ่มขึ้น ขณะที่ ปริมาณใยอาหารทั้งหมดมีปริมาณลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างแป้งถั่วแดงหลวงเริ่มต้นที่ไม่ผ่านการตัดแปร (p<0.05)

ตารางที่ 4.28 ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อปริมาณสสารขทนย่อยของแป้งและสสารขจากถั่วแดงหลวง

วิธีการตัดแปร	ปริมาณสสารขทนย่อย (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)	
	แป้ง	สสารข
ตัวอย่างควบคุม	5.39±0.06 ^b	13.71±0.24 ^a
การอบ	22.59±0.81 ^a	10.49±0.04 ^b
หม้อนึ่งความดันไอ	6.50±0.66 ^b	4.20±0.20 ^c
ไมโครเวฟ	23.72±0.15 ^a	2.58±0.05 ^d

^{a,b,c,d}... หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางที่ 4.29 ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อองค์ประกอบทางเคมีของแป้งจากถั่วแดงหลวง (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)

วิธีการตัดแปร	ความชื้น	อะไมโลส	สสารข	ใยอาหารทั้งหมด
ตัวอย่างควบคุม	5.87±0.04 ^a	4.38±0.10 ^c	28.22±0.26 ^c	17.78±0.28 ^a
การอบ	4.33±0.03 ^b	4.99±0.05 ^b	44.51±0.38 ^a	15.21±0.34 ^c
หม้อนึ่งความดันไอ	5.74±0.10 ^a	5.14±0.04 ^a	36.63±0.37 ^b	16.28±0.46 ^b
ไมโครเวฟ	4.70±0.56 ^b	5.05±0.07 ^{ab}	44.06±0.29 ^a	15.15±0.21 ^c

^{a,b,c}... หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางที่ 4.30 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของสสารขจากถั่วแดงหลวงที่ผ่านการตัดแปรโดยวิธีการต่างๆ เปรียบเทียบกับสสารขจากถั่วแดงหลวงที่ไม่ผ่านการตัดแปร โดยพบว่า ปริมาณความชื้นของสสารขจากถั่วแดงหลวงที่ผ่านการตัดแปรอยู่ในช่วงร้อยละ 5.50 ถึง 7.08 ของน้ำหนักแห้ง ปริมาณอะไมโลสของสสารขจากถั่วแดงหลวงที่ตัดแปรโดยใช้ไมโครเวฟมีค่าน้อยที่สุดคือ ร้อยละ 11.22 ของน้ำหนักแห้ง (p<0.05) ขณะที่ การตัดแปรสสารขจากถั่วแดงหลวงโดยวิธีการอบ และการใช้หม้อนึ่งความดันไอทำให้สสารขมีปริมาณอะไมโลสไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≥0.05) วิธีการต่างๆ ที่ใช้ตัดแปรสสารขจากถั่วแดงหลวงมีผลทำให้ปริมาณสสารขทั้งหมดลดลง โดยสสารขจากถั่วแดงหลวงที่ตัดแปรโดยวิธีการอบมีปริมาณสสารขลดลงมากที่สุด (ร้อยละ 43.75 ของน้ำหนักแห้ง) สำหรับปริมาณใยอาหารทั้งหมดของสสารขที่ผ่านการตัดแปรอยู่ในช่วงร้อยละ 18.52 ถึง 20.61 ของน้ำหนักแห้ง

ตารางที่ 4.30 ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อองค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชจากถั่วแดงหลวง (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)

วิธีการตัดแปร	ความชื้น	อะไมโลส	สตาร์ช	ใยอาหารทั้งหมด
ตัวอย่างควบคุม	7.09±0.01 ^a	11.55±0.05 ^b	96.83±1.01 ^a	16.55±0.45 ^c
การอบ	5.50±0.01 ^c	11.89±0.04 ^a	43.76±2.73 ^d	18.23±0.37 ^b
หม้อนึ่งความดันไอ	7.08±0.01 ^a	11.92±0.07 ^a	65.97±0.19 ^b	20.61±0.54 ^a
ไมโครเวฟ	6.49±0.02 ^b	11.22±0.01 ^c	52.88±1.07 ^c	17.52±0.59 ^{bc}

^{a,b,c...} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวดิ่งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

- ค่าสีและดัชนีความขาว

ผลของวิธีการที่ใช้ตัดแปรต่อค่าสีและดัชนีความขาวของแป้งจากถั่วแดงหลวง แสดงดังตารางที่ 4.31 โดยพบว่า ค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (+a*) และค่าเฉดสี (hue angle) ของแป้งถั่วแดงหลวงที่ผ่านการตัดแปรโดยใช้วิธีการต่างๆ มีค่าลดลง ขณะที่ ค่าความเป็นสีเหลือง (+b*) และค่าความเข้มสี (chroma) มีค่าเพิ่มขึ้น แป้งถั่วแดงหลวงที่ตัดแปรโดยใช้หม้อนึ่งความดันไรมีค่าความสว่างน้อยที่สุด (84.59) และมีค่าความเข้มสีมากที่สุด (78.23) ส่งผลให้แป้งชนิดนี้มีค่าดัชนีความขาวน้อยที่สุด (77.72) ตามไปด้วย โดยวิธีการต่างๆ ที่ใช้ในการตัดแปรแป้งถั่วแดงหลวงทำให้แป้งมีค่าดัชนีความขาวลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม (p<0.05) ซึ่งสีของแป้งถั่วแดงหลวงที่ผ่านการตัดแปรโดยวิธีการต่างๆ แสดงดังภาพที่ 4.4 ก.

ตารางที่ 4.31 ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อค่าสีและดัชนีความขาวของแป้งจากถั่วแดงหลวง

วิธีการตัดแปร	L*	a*	b*	ความเข้มสี (chroma)	ค่าเฉดสี (hue angle)	ดัชนีความขาว
ตัวอย่างควบคุม	91.27±0.53 ^a	0.34±0.02 ^d	8.15±0.13 ^d	8.16±0.13 ^d	87.58±0.14 ^a	88.05±0.45 ^a
การอบ	89.67±0.32 ^c	0.98±0.04 ^b	13.26±0.38 ^b	13.30±0.39 ^b	85.78±0.09 ^c	83.16±0.47 ^c
หม้อนึ่งความดันไอ	84.59±0.62 ^d	3.29±0.11 ^a	15.76±0.28 ^a	16.10±0.30 ^a	78.23±0.23 ^d	77.72±0.61 ^d
ไมโครเวฟ	90.56±0.13 ^b	0.64±0.04 ^c	11.64±0.19 ^c	11.66±0.19 ^c	86.85±0.18 ^b	85.00±0.19 ^b

^{a,b,c...} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวดิ่งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางที่ 4.32 แสดงผลของการตัดแปรด้วยวิธีการต่างๆ ต่อค่าสีและดัชนีความขาวของสตาร์ชจากถั่วแดงหลวง โดยค่าความสว่าง (L*) ของสตาร์ชจากถั่วแดงหลวงที่ตัดแปรโดยวิธีการอบมีค่า

น้อยที่สุด (93.12) ขณะที่ สตวรรษจากถั่วแดงหลวงที่ตัดแปรโดยการใช้หม้อนึ่ง ความดันไอ และการใช้ไมโครเวฟมีค่าความสว่างไม่แตกต่างกับสตวรรษที่ไม่ผ่านการตัดแปร ($p \geq 0.05$) ค่าความเป็นสีแดง ($+a^*$) ในสตวรรษที่ตัดแปรโดยวิธีการอบมีค่ามากที่สุด (0.87) ขณะที่สตวรรษจากถั่วแดงหลวงที่ตัดแปรวิธีการอื่นๆ มีค่าความเป็นสีแดงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) วิธีการต่างๆ ที่ใช้ในการตัดแปรสตวรรษจากถั่วแดงหลวง มีผลทำให้ค่าความเป็นสีเหลือง ($+b^*$) และค่าความเข้มสี (chroma) เพิ่มขึ้นโดยสตวรรษจากถั่วแดงหลวงที่ตัดแปรโดยวิธีการอบมีค่าความเข้มสีเพิ่มขึ้นมากที่สุด สำหรับค่าเจดสี (hue angle) ของสตวรรษจากถั่วแดงหลวงที่ผ่านการตัดแปรโดยวิธีการต่างๆ อยู่ในช่วง 80.72 ถึง 85.03 ค่าดัชนีความขาวของสตวรรษจากถั่วแดงหลวงที่ผ่านการตัดแปรโดยการใช้ไมโครเวฟ มีค่ามากกว่าสตวรรษที่ตัดแปรโดยการใช้หม้อนึ่งความดันไอ และการใช้ตู้อบลมร้อนโดยวิธีการอบ ตามลำดับ (93.88 93.32 และ 91.28 ตามลำดับ) ซึ่งสีของสตวรรษถั่วแดงหลวงที่ผ่านการตัดแปรโดยวิธีการต่างๆ แสดงดังภาพที่ 4.4 ข.

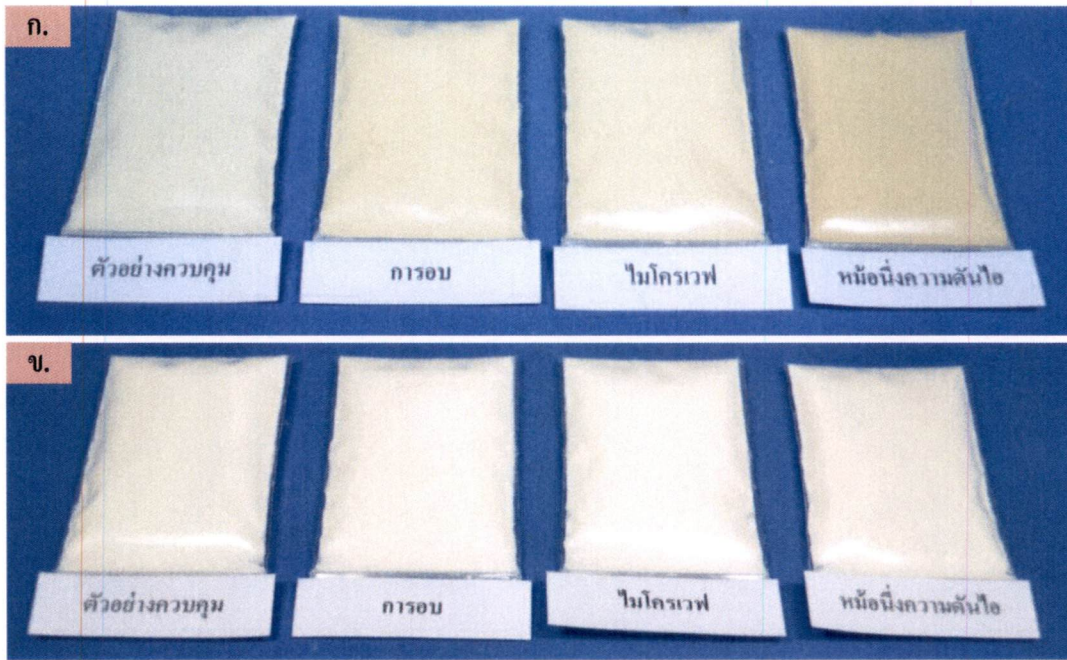
ตารางที่ 4.32 ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อค่าสีและดัชนีความขาวของสตวรรษจากถั่วแดงหลวง

วิธีการตัดแปร	L*	a*	b*	ความเข้มสี (chroma)	ค่าเจดสี (hue angle)	ดัชนีความขาว
ตัวอย่างควบคุม	94.76±0.27 ^a	0.43±0.01 ^b	2.92±0.10 ^d	2.95±0.10 ^d	81.62±0.34 ^c	93.98±0.20 ^a
การอบ	93.12±0.13 ^b	0.87±0.02 ^a	5.29±0.65 ^a	5.36±0.07 ^a	80.72±0.09 ^d	91.28±0.14 ^c
หม้อนึ่งความดันไอ	94.78±0.26 ^a	0.36±0.03 ^c	4.15±0.06 ^b	4.17±0.06 ^b	85.03±0.33 ^a	93.32±0.19 ^b
ไมโครเวฟ	94.89±0.13 ^a	0.36±0.01 ^c	3.35±0.03 ^c	3.37±0.03 ^c	83.96±0.20 ^b	93.88±0.11 ^a

^{a,b,c,d} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

- สมบัติทางความหนืด (pasting properties)

ตารางที่ 4.33 แสดงสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งถั่วแดงหลวงที่ตัดแปรโดยวิธีการต่างๆ เปรียบเทียบกับแป้งถั่วแดงหลวงที่ไม่ผ่านการตัดแปร โดยพบว่า อุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting temperature) ของแป้งถั่วแดงหลวงที่ผ่านการตัดแปรโดยวิธีการต่างๆ มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ค่าความหนืดสุดท้าย (final viscosity) และค่าการคืนตัวของแป้งหลังทำให้เย็น (setback) ของแป้งถั่วแดงหลวงที่ตัดแปรโดยการใช้หม้อนึ่งความดันไอนี้น้อยที่สุดคือ 4.29 8.29 และ 4.67 RVU ตามลำดับ ขณะที่ แป้งถั่วแดงหลวงที่ตัดแปรโดยวิธีการอบมีค่าความหนืดสูงสุด ค่าความหนืดสุดท้าย และค่าการคืนตัวมากที่สุดคือ 21.21 37.69 และ 18.46 RVU ตามลำดับ สำหรับค่าการแตกสลายของเม็ดแป้ง (breakdown) ของแป้งถั่วแดงหลวงที่ตัดแปรโดยวิธีการต่างๆ มีค่าอยู่ในช่วง 0.67 ถึง 1.83 RVU



ภาพที่ 4.4 ลักษณะของแป้ง (ก.) และสตาร์ช (ข.) จากถั่วแดงหลวงที่ผ่านการตัดแปร โดยวิธีต่างๆ

ตารางที่ 4.33 ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อสมบัติทางความหนืดของแป้งจากถั่วแดงหลวง

วิธีการตัดแปร	pasting temperature (°C) ^{ns}	viscosity (RVU)			
		peak viscosity	breakdown	final viscosity	setback
ตัวอย่างควบคุม	82.50±2.69	10.63±0.53 ^c	1.13±0.18 ^{bc}	23.59±0.83 ^c	14.09±0.47 ^c
การอบ	79.50±1.70	21.21±0.41 ^a	1.71±0.18 ^{ab}	37.96±0.41 ^a	18.46±0.18 ^a
หม้อนึ่งความดันไอ	81.20±0.28	4.29±0.06 ^d	0.67±0.12 ^c	8.29±0.06 ^d	4.67±0.12 ^d
ไมโครเวฟ	77.95±1.77	14.67±0.12 ^b	1.83±0.35 ^a	28.71±0.06 ^b	15.88±0.18 ^b

^{a,b,c,...} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกัน ในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≥0.05)

ผลของการตัดแปร โดยวิธีการต่างๆ ต่อสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดของสตาร์ชจากถั่วแดงหลวง แสดงดังตารางที่ 4.34 โดยพบว่า อุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting temperature) ของสตาร์ชจากถั่วแดงหลวงที่ตัดแปร โดยการใช้หม้อนึ่งความดันไรมีค่ามากที่สุดคือ 95.27 องศาเซลเซียส ขณะที่ สตาร์ชที่ผ่านการตัดแปร โดยวิธีการอื่นมีค่าอุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืดไม่แตกต่างกับตัวอย่างสตาร์ชจากถั่วแดงหลวงที่ไม่ผ่านการตัดแปร (p≥0.05) สำหรับค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ค่าการแตกสลายของเม็ดแป้ง (breakdown) ค่าความหนืดสุดท้าย (final viscosity) และค่า

การคืนตัวของแป้งหลังทำให้เย็น (setback) ของสตาร์ชจากถั่วแดงหลวงที่ผ่านการตัดแปรจะมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยส่วนใหญ่เมื่อเปรียบเทียบกับ การตัดแปร โดยวิธีการอื่นๆ สตาร์ชจากถั่วแดงหลวงที่ตัดแปรโดยใช้หม้อนึ่งความดันไอจะมีค่าต่างๆ ดังกล่าว ลดลงมากที่สุด โดยยกเว้นค่าการแตกสลายของเม็ดแป้งเท่านั้นที่สตาร์ชจากถั่วแดงหลวงที่ตัดแปร โดยวิธีการอบมีการลดลงมากที่สุด ($p < 0.05$)

แป้งและสตาร์ชจากถั่วแดงหลวงที่ตัดแปรโดยใช้หม้อนึ่งความดันไอ จะไม่มีผลต่อสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดมากนัก โดยส่วนใหญ่จะพบค่าความหนืดของแป้ง และสตาร์ชที่ตัดแปรด้วยวิธีนี้มีค่าน้อยกว่าแป้ง และสตาร์ชที่ตัดแปร โดยวิธีอื่น ๆ แสดงว่าการใช้ความร้อนขึ้นจากหม้อนึ่งความดันไอมิมีผลกระทบต่อเม็ดแป้ง โดยทำให้เม็ดแป้งไม่คงทนต่อความร้อน และแตกสลายได้ง่าย (Aparicio-Saguilán และคณะ, 2005)

ตารางที่ 4.34 ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อสมบัติทางความหนืดของสตาร์ชจากถั่วแดงหลวง

วิธีการตัดแปร	pasting temperature (°C)	viscosity (RVU)			
		peak viscosity	breakdown	final viscosity	setback
ตัวอย่างควบคุม	80.38±0.67 ^b	151.54±3.48 ^a	21.96±1.82 ^a	202.59±4.12 ^a	73.00±1.17 ^a
การอบ	80.90±0.07 ^b	133.13±6.07 ^b	1.00±0.24 ^c	175.21±7.83 ^b	43.09±2.00 ^c
หม้อนึ่งความดันไอ	95.27±0.09 ^a	38.79±0.41 ^c	9.13±0.64 ^b	59.67±0.23 ^c	30.00±0.82 ^d
ไมโครเวฟ	81.65±1.13 ^b	136.63±6.54 ^b	11.84±1.18 ^b	177.25±11.78 ^b	52.46±4.07 ^b

^{abc....} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกัน ในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

- สมบัติทางความร้อน (thermal properties)

ตารางที่ 4.35 แสดงสมบัติทางความร้อนของสตาร์ชจากถั่วแดงหลวงที่ตัดแปร โดยวิธีการต่างๆ เปรียบเทียบกับสตาร์ชจากถั่วแดงหลวงที่ไม่ผ่านการตัดแปร โดยพบว่า สตาร์ชจากถั่วแดงหลวงที่ตัดแปร โดยการ ใช้หม้อนึ่งความดันไอมีค่าอุณหภูมิเริ่มต้นการเกิดเจลลาคีโนเซชัน (onset temperature; T_o) มากกว่าสตาร์ชจากถั่วแดงหลวงที่ตัดแปร โดยการ ใช้ไมโครเวฟ และการอบ ตามลำดับ (77.10 67.35 และ 62.63 องศาเซลเซียส ตามลำดับ) สำหรับค่าอุณหภูมิที่เกิดเจลลาคีโนเซชันสูงสุด (peak temperature; T_p) ของสตาร์ชจากถั่วแดงหลวงที่ตัดแปร โดยวิธีการอบมีค่าน้อยที่สุดคือ 71.92 องศาเซลเซียส ขณะที่สตาร์ชจากถั่วแดงหลวงที่ตัดแปร โดยใช้หม้อนึ่งความดันไอมีอุณหภูมิที่เกิดเจลลาคีโนเซชันสูงสุด และค่าอุณหภูมิสุดท้ายที่เกิดเจลลาคีโนเซชัน (conclusion temperature; T_c) มากที่สุดคือ 83.66 และ 89.19 องศาเซลเซียส ตามลำดับ สำหรับค่าพลังงานในการสลายโครงสร้างผลึก (enthalpy; ΔH) ของสตาร์ชจากถั่ว

แดงหลวงที่ผ่านการคัดแปร พบว่า สตาร์ชจากถั่วแดงหลวงที่คัดแปรโดยวิธีการอบ การใช้หม้อนึ่งความดันไอ และการใช้ไมโครเวฟมีค่า 9.23 9.95 และ 9.50 จุลต่อกรัม ตามลำดับ สตาร์ชที่คัดแปรโดยวิธีที่แตกต่างกัน มีผลทำให้สมบัติทางความร้อนที่ได้แตกต่างกันด้วย โดยความแตกต่างที่เกิดขึ้นเนื่องมาจากปริมาณอะไมโลส ขนาด รูปร่าง และการกระจายตัวของเม็ดสตาร์ช และการจัดเรียงตัวของอะไมโลสภายในโครงสร้างของสตาร์ช (Li และคณะ, 2011)

ตารางที่ 4.35 ผลของวิธีการคัดแปรต่างๆ ต่อสมบัติทางความร้อนของสตาร์ชจากถั่วแดงหลวง

วิธีการคัดแปร	T _o (°C)	T _p (°C)	T _c (°C)	enthalpy ΔH (จูล/กรัม)
ตัวอย่างควบคุม	72.81±0.08 ^b	73.70±0.19 ^c	82.80±0.17 ^b	9.69±0.01 ^{ab}
การอบ	62.63±0.41 ^d	71.92±0.13 ^d	82.01±0.01 ^c	9.23±0.21 ^c
หม้อนึ่งความดันไอ	77.10±0.14 ^a	83.66±0.22 ^a	89.19±0.17 ^a	9.95±0.08 ^a
ไมโครเวฟ	67.35±0.12 ^c	75.35±0.02 ^b	83.10±0.14 ^b	9.50±0.11 ^{bc}

^{a,b,c,d}... หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

4.3.4 ถั่วเขียวผิวมัน

- ปริมาณสตาร์ชทนย่อย (resistant starch; RS)

ผลของวิธีการที่ใช้คัดแปรต่อปริมาณสตาร์ชทนย่อยของแป้งและสตาร์ชจากถั่วเขียวผิวมันแสดงดังตารางที่ 4.36 โดยพบว่า ปริมาณสตาร์ชทนย่อยของแป้งจากถั่วเขียวผิวมันที่คัดแปรโดยวิธีการต่างๆ มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งถั่วเขียวผิวมันที่ไม่ผ่านการคัดแปร (p<0.05) โดยแป้งถั่วเขียวผิวมันที่คัดแปรโดยวิธีการอบ และการใช้หม้อนึ่งความดันไอมีปริมาณสตาร์ชทนย่อยมากที่สุดคือ ร้อยละ 2.72 และ 2.71 ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ สำหรับผลของวิธีการต่างๆ ที่ใช้ในการคัดแปรสตาร์ชจากถั่วเขียวผิวมันต่อปริมาณสตาร์ชทนย่อย พบว่า แป้งถั่วเขียวผิวมันที่คัดแปรโดยวิธีการอบ การใช้หม้อนึ่งความดันไอ และการใช้ไมโครเวฟ มีปริมาณ สตาร์ชทนย่อยคือ ร้อยละ 0.23, 1.16 และ 0.91 ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ขณะที่ Li และคณะ (2011) พบปริมาณสตาร์ชทนย่อยในสตาร์ชจากถั่วเขียวผิวมัน ที่คัดแปรโดยวิธีการอบ (ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง) มากถึงร้อยละ 45.2 แสดงว่าสถานะที่ใช้ในการคัดแปรมีผลมากต่อปริมาณสตาร์ชทนย่อยที่ได้

ตารางที่ 4.36 ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อปริมาณสารไขมันของแป้งและสารจากถั่วเขียวผิวมัน

วิธีการตัดแปร	ปริมาณสารไขมัน (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)	
	แป้ง	สาร
ตัวอย่างควบคุม	0.91±0.01 ^c	0.65±0.04 ^c
การอบ	2.72±0.10 ^a	0.23±0.04 ^d
หม้อนึ่งความดันไอ	2.71±0.01 ^a	1.16±0.05 ^a
ไมโครเวฟ	1.88±0.02 ^b	0.91±0.03 ^b

^{a,b,c...} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวดิ่งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

- องค์ประกอบทางเคมี

ผลของวิธีการที่ใช้ตัดแปรต่อองค์ประกอบทางเคมีของแป้งจากถั่วเขียวผิวมัน แสดงดังตารางที่ 4.37 โดยพบว่า ความชื้นของแป้งถั่วเขียวผิวมันที่ผ่านการตัดแปรอยู่ในช่วงร้อยละ 3.40 ถึง 6.23 ของน้ำหนักแห้ง สำหรับปริมาณอะไมโลส และปริมาณสารทั้งหมดของแป้งถั่วเขียวผิวมันที่ผ่านการตัดแปรมีปริมาณเพิ่มขึ้น ขณะที่ ปริมาณใยอาหารทั้งหมด เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างแป้งถั่วเขียวผิวมันเริ่มต้นที่ไม่ผ่านการตัดแปร พบว่ามีปริมาณไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≥0.05)

ตารางที่ 4.37 ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อองค์ประกอบทางเคมีของแป้งจากถั่วเขียวผิวมัน (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)

วิธีการตัดแปร	ความชื้น	อะไมโลส	สาร	ใยอาหารทั้งหมด ^{ns}
ตัวอย่างควบคุม	7.77±0.01 ^a	4.90±0.04 ^c	31.07±0.84 ^c	8.45±0.25
การอบ	3.40±0.35 ^d	6.72±0.06 ^a	40.42±0.76 ^b	7.99±0.54
หม้อนึ่งความดันไอ	6.23±0.11 ^b	6.73±0.05 ^a	48.63±0.89 ^a	7.69±0.14
ไมโครเวฟ	4.43±0.23 ^c	6.58±0.04 ^b	50.05±0.22 ^a	7.35±0.16

^{a,b,c...} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวดิ่งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≥0.05)

ตารางที่ 4.38 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของสารจากถั่วเขียวผิวมันที่ผ่านการตัดแปร โดยวิธีการต่างๆ เปรียบเทียบกับสารจากถั่วเขียวผิวมันที่ไม่ผ่านการตัดแปร โดยพบว่า ปริมาณ

ความชื้นของสตาร์ชจากถั่วเขียวผิวน้ำที่ผ่านการตัดแปรอยู่ในช่วงร้อยละ 5.61 ถึง 7.10 ของน้ำหนักแห้ง ปริมาณอะไมโลสของสตาร์ชจากถั่วเขียวผิวน้ำที่ผ่านการตัดแปรโดยวิธีการต่างๆ มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ขณะที่ สตาร์ชจากถั่วเขียวผิวน้ำที่ตัดแปรโดยการใช้น้ำโครเวฟมีปริมาณสตาร์ชทั้งหมดมากที่สุดคือ ร้อยละ 98.05 ของน้ำหนักแห้ง โดยสตาร์ชจากถั่วเขียวผิวน้ำที่ตัดแปรโดยใช้หม้อนึ่งความดันไอน้ำมีปริมาณสตาร์ชทั้งหมดไม่แตกต่างกับสตาร์ชจากถั่วเขียวผิวน้ำที่ไม่ผ่านการตัดแปร ($p \geq 0.05$) สำหรับปริมาณใยอาหารทั้งหมดพบมากที่สุดในสตาร์ชจากถั่วเขียวผิวน้ำที่ตัดแปรโดยการใช้น้ำโครเวฟมีปริมาณใยอาหารน้อยที่สุดคือ ร้อยละ 13.77 ของน้ำหนักแห้ง

ตารางที่ 4.38 ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อองค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชจากถั่วเขียวผิวน้ำ (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)

วิธีการตัดแปร	ความชื้น	อะไมโลส	สตาร์ช	ใยอาหารทั้งหมด
ตัวอย่างควบคุม	6.10±0.01 ^c	12.39±0.09 ^a	73.77±2.50 ^b	15.56±0.87 ^b
การอบ	5.61±0.03 ^d	11.39±0.02 ^c	61.12±4.94 ^c	16.80±0.02 ^b
หม้อนึ่งความดันไอน้ำ	6.25±0.02 ^b	11.81±0.07 ^b	71.98±3.99 ^b	19.60±0.14 ^a
น้ำโครเวฟ	7.10±0.01 ^a	11.43±0.02 ^c	98.05±1.48 ^a	13.77±0.77 ^c

^{a,b,c,d}... หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวนิ่งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

- ค่าสีและดัชนีความขาว

ผลของวิธีการที่ใช้ตัดแปรต่อค่าสีและดัชนีความขาวของแป้งจากถั่วเขียวผิวน้ำ แสดงดังตารางที่ 4.39 โดยพบว่า ค่าความสว่าง (L^*) ของแป้งถั่วเขียวผิวน้ำที่ผ่านการตัดแปรมีค่าลดลง โดยแป้งถั่วเขียวผิวน้ำที่ตัดแปรโดยการใช้น้ำโครเวฟมีค่าความสว่างลดลงมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างอื่นๆ ($p < 0.05$) การตัดแปรโดยวิธีการต่างๆ มีผลให้แป้งถั่วเขียวผิวน้ำมีค่าความเป็นสีแดง ($+a^*$) ค่าความเป็นสีเหลือง ($+b^*$) และค่าความเข้มสีเพิ่มขึ้น แต่มีค่าดัชนีความขาวลดลง ($p < 0.05$) โดยแป้งถั่วเขียวผิวน้ำที่ตัดแปรโดยการใช้น้ำโครเวฟมีค่าความเป็นสีแดง ค่าความเป็นสีเหลือง และค่าความเข้มเพิ่มขึ้นมากที่สุด ทำให้แป้งชนิดนี้มีค่าดัชนีความขาวลดลงมากที่สุดเช่นกัน

ตารางที่ 4.39 ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อค่าสีและดัชนีความขาวของแป้งจากถั่วเขียวผิวมัน

วิธีการตัดแปร	L*	a*	b*	ความเข้มสี (chroma)	ค่าเฉดสี (hue angle)	ดัชนี ความขาว
ตัวอย่างควบคุม	90.61±0.18 ^a	0.28±0.07 ^d	13.11±0.05 ^c	13.11±0.05 ^d	88.77±0.28 ^a	83.87±0.09 ^a
การอบ	88.24±0.52 ^c	1.61±0.08 ^b	16.62±0.21 ^a	16.70±0.22 ^b	84.46±0.19 ^c	79.58±0.45 ^c
หม้อนึ่งความดันไอ	83.55±0.31 ^d	3.30±0.06 ^a	16.96±0.47 ^a	17.28±0.47 ^a	78.97±0.20 ^d	76.14±0.53 ^d
ไมโครเวฟ	89.89±0.26 ^b	0.79±0.04 ^c	13.78±0.10 ^b	13.80±0.10 ^c	86.74±0.17 ^b	82.89±0.14 ^b

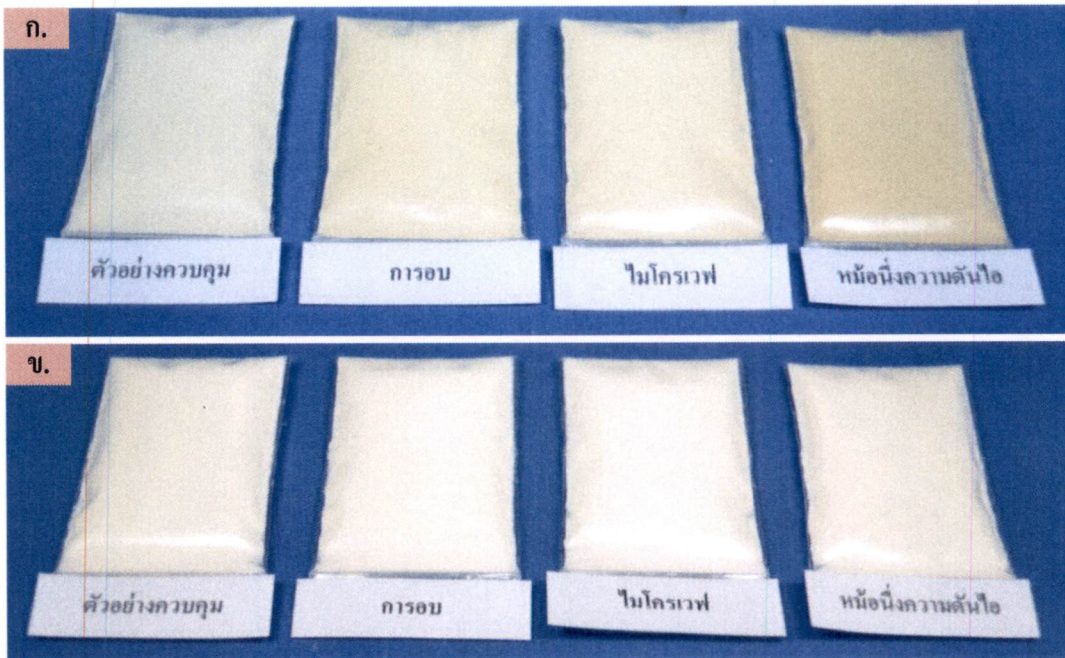
^{a,b,c,d} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกัน ในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางที่ 4.40 แสดงผลของการตัดแปรด้วยวิธีการต่างๆ ต่อค่าสีและดัชนีความขาวของสตาร์ชจากถั่วเขียวผิวมัน โดยสตาร์ชจากถั่วเขียวผิวมันที่ผ่านการตัดแปรด้วยวิธีการต่างๆ จะมีค่าความสว่าง (L*) ลดลง ซึ่งสตาร์ชที่ตัดแปรโดยการใช้น้ำหม้อนึ่งความดันไอนี้จะมีค่าความสว่างลดลงมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างอื่นๆ (p<0.05) ค่าความเป็นสีแดง (+a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (+b*) ของสตาร์ชจากถั่วเขียวผิวมันที่ตัดแปรโดยการใช้น้ำหม้อนึ่งความดันไอ และการใช้ไมโครเวฟมีค่าไม่แตกต่างกับสตาร์ชจากถั่วเขียวผิวมันเริ่มต้นที่ไม่ผ่านการตัดแปร (p≥0.05) ขณะที่ ค่าความเข้มสี (chroma) ในสตาร์ชจากถั่วเขียวผิวมันที่ตัดแปรโดยใช้วิธีการอบจะมีค่าน้อยที่สุด แต่สตาร์ชดังกล่าวนี้ จะมีค่าเฉดสี (hue angle) น้อยที่สุด ผลของการตัดแปรนั้น ทำให้ค่าดัชนีความขาวของสตาร์ชจากถั่วเขียวผิวมันลดลง แต่การเปลี่ยนแปลงสีที่เกิดขึ้นกับสตาร์ชจะสังเกตเห็นไม่ชัดเจน เมื่อเปรียบเทียบกับเปลี่ยนแปลงของสีที่เกิดขึ้นกับแป้ง ดังภาพที่ 4.5

ตารางที่ 4.40 ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อค่าสีและดัชนีความขาวของสตาร์ชจากถั่วเขียวผิวมัน

วิธีการตัดแปร	L*	a*	b*	ความเข้มสี (chroma)	ค่าเฉดสี (hue angle)	ดัชนี ความขาว
ตัวอย่างควบคุม	95.68±0.11 ^a	0.01±0.01 ^b	3.49±0.03 ^c	3.49±0.03 ^c	89.80±0.13 ^{ab}	94.44±0.09 ^a
การอบ	94.82±0.42 ^c	0.23±0.03 ^a	4.38±0.05 ^a	4.39±0.05 ^a	86.97±0.35 ^c	93.21±0.29 ^c
หม้อนึ่งความดันไอ	95.26±0.10 ^b	0.00±0.01 ^b	3.60±0.04 ^b	3.60±0.04 ^b	89.97±0.20 ^a	94.05±0.09 ^b
ไมโครเวฟ	95.22±0.20 ^b	0.03±0.02 ^b	3.56±0.06 ^{bc}	3.56±0.06 ^{bc}	89.56±0.24 ^b	94.04±0.17 ^b

^{a,b,c} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกัน ในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)



ภาพที่ 4.5 ลักษณะของแป้ง (ก.) และสตาร์ช (ข.) จากถั่วเขียวผิวมันที่ผ่านการตัดแปรโดยวิธีต่างๆ

- สมบัติทางความหนืด (pasting properties)

ตารางที่ 4.41 แสดงสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งถั่วเขียวผิวมันที่ตัดแปรโดยวิธีการต่างๆ เปรียบเทียบกับแป้งถั่วเขียวผิวมันที่ไม่ผ่านการตัดแปร โดยพบว่า อุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting temperature) ของแป้งถั่วเขียวผิวมันที่ผ่านการตัดแปร โดยวิธีการอบมีค่าไม่แตกต่างกับแป้งถั่วเขียวผิวมันที่ไม่ผ่านการตัดแปร ($p \geq 0.05$) ซึ่งแป้งถั่วเขียวผิวมันที่ผ่านการตัดแปร โดยใช้หม้อนึ่งความดันไอมีค่าอุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืดสูงสุดคือ 82.94 องศาเซลเซียส แต่แป้งชนิดดังกล่าวมีค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) น้อยที่สุดคือ 9.75 RVU ขณะที่ แป้งถั่วเขียวผิวมันที่ตัดแปรโดยการใช้น้ำไมโครเวฟมีค่าความหนืดสูงสุดไม่แตกต่างกับตัวอย่างแป้งเริ่มต้น ($p \geq 0.05$) สำหรับค่าการแตกสลายของเม็ดแป้ง (breakdown) พบมากที่สุดใแป้งถั่วเขียวผิวมันที่ตัดแปรโดยวิธีการอบคือ 38.54 RVU และพบน้อยที่สุดในแป้งที่ตัดแปรโดยการใช้น้ำไมโครเวฟคือ 0.55 RVU ค่าความหนืดสุดท้าย (final viscosity) ของแป้งถั่วเขียวผิวมันที่ผ่านการตัดแปรส่วนใหญ่มีค่าไม่แตกต่างกับแป้งถั่วเขียวผิวมันเริ่มต้นที่ไม่ผ่านการตัดแปร ยกเว้นแป้งถั่วเขียวผิวมันที่ตัดแปรโดยการใช้น้ำหม้อนึ่งความดันไอนั้น ที่มีค่าความหนืดสุดท้ายน้อยที่สุดคือ 16.55 RVU การตัดแปรแป้งถั่วเขียวผิวมันโดยใช้วิธีการต่างๆ ทำให้แป้งมีค่าการคืนตัวของแป้งหลังทำให้เย็น (setback) ลดลง โดยแป้งถั่วเขียวผิวมันที่ตัดแปรโดยการใช้น้ำหม้อนึ่งความดันไอมีค่าดังกล่าวลดลงมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างอื่นๆ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4.41 ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อสมบัติทางความหนืดของแป้งจากถั่วเขียวผิวมัน

วิธีการตัดแปร	pasting temperature (°C)	viscosity (RVU)			
		peak viscosity	breakdown	final viscosity	setback
ตัวอย่างควบคุม	78.08±0.53 ^c	60.92±1.65 ^b	13.84±0.59 ^b	84.00±3.54 ^a	36.92±1.29 ^a
การอบ	77.10±0.64 ^c	110.46±0.06 ^a	38.54±0.06 ^a	88.71±0.41 ^a	16.80±0.53 ^c
หม้อนึ่งความดันไอ	82.94±0.10 ^a	9.75±0.35 ^c	1.71±0.06 ^c	16.55±0.18 ^b	8.50±0.24 ^d
ไมโครเวฟ	79.25±0.07 ^b	59.88±0.88 ^b	0.55±0.18 ^d	84.38±1.24 ^a	25.05±0.18 ^b

abc... หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ผลของการตัดแปรโดยวิธีการต่างๆ ต่อสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดของสตาร์ชจากถั่วเขียวผิวมัน แสดงดังตารางที่ 4.42 โดยพบว่า อุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting temperature) ของสตาร์ชจากถั่วเขียวผิวมันที่ตัดแปร โดยการใช้หม้อนึ่งความดันไอมีค่ามากที่สุดคือ 84.50 องศาเซลเซียส ขณะที่ สตาร์ชที่ผ่านการตัดแปร โดยวิธีการอื่นมีค่าอุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืดไม่แตกต่างกับตัวอย่างสตาร์ชจากถั่วเขียวผิวมันที่ไม่ผ่านการตัดแปร (p≥0.05) สำหรับค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) และค่าการแตกสลายของเม็ดแป้ง (breakdown) ของสตาร์ชจากถั่วเขียวผิวมันที่ผ่านการตัดแปร โดยวิธีการต่างๆ มีค่าลดลง โดยสตาร์ชจากถั่วเขียวผิวมันที่ตัดแปร โดยการใช้หม้อนึ่งความดันไอมีค่าน้อยที่สุดคือ 175.83 และ 1.29 RVU ตามลำดับ ค่าความหนืดสุดท้าย (final viscosity) และค่าการคืนตัวของแป้งหลังทำให้เย็น (setback) พบมากที่สุด ในสตาร์ชจากถั่วเขียวผิวมันที่ตัดแปร โดยการใช้ไมโครเวฟ โดยมีค่าเท่ากับ 465.00 และ 208.67 RVU ตามลำดับ

Aparicio-Saguilán และคณะ (2005) รายงานว่า การตัดแปรแป้งและสตาร์ชโดยใช้หม้อนึ่งความดันไอมีผลกระทบต่อเม็ดแป้ง โดยทำให้เม็ดแป้งไม่คงทนต่อความร้อน และแตกสลายได้ง่าย จึงพบว่า การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้ง และสตาร์ชจากถั่วแดงหลวงที่ตัดแปร โดยวิธีการนี้ ส่วนใหญ่จะมีค่าน้อยกว่าการตัดแปร โดยวิธีการอื่นๆ (ตารางที่ 4.41 และ 4.42)

ตารางที่ 4.42 ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อสมบัติทางความหนืดของสตาร์ชจากถั่วเขียวผิวมัน

วิธีการตัดแปร	pasting	viscosity (RVU)			
	temperature (°C)	peak viscosity	breakdown	final viscosity	setback
ตัวอย่างควบคุม	75.58±0.53 ^b	349.13±1.00 ^a	120.38±8.78 ^a	365.25±7.42 ^c	136.50±0.35 ^c
การอบ	75.63±0.60 ^b	326.79±2.06 ^b	92.42±6.24 ^b	394.29±6.77 ^b	159.92±2.60 ^b
หม้อนึ่งความดันไอ	84.50±0.71 ^a	175.83±1.77 ^d	1.29±0.06 ^d	287.75±6.48 ^d	113.21±4.65 ^d
ไมโครเวฟ	77.23±0.46 ^b	298.71±2.89 ^c	42.38±5.24 ^c	465.00±7.42 ^a	208.67±0.71 ^a

^{a,b,c...} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

- สมบัติทางความร้อน (thermal properties)

ตารางที่ 4.43 แสดงสมบัติทางความร้อนของสตาร์ชจากถั่วเขียวผิวมันที่ตัดแปรโดยวิธีการต่างๆ เปรียบเทียบกับสตาร์ชจากถั่วเขียวผิวมันที่ไม่ผ่านการตัดแปร โดยพบว่า สตาร์ชจากถั่วเขียวผิวมันที่ผ่านการตัดแปรโดยวิธีการต่างๆ มีค่าอุณหภูมิเริ่มต้นการเกิดเจลลิตีในเซชัน (onset temperature; T_o) อยู่ในช่วง 72.48 ถึง 76.74 องศาเซลเซียส สำหรับค่าอุณหภูมิที่เกิดเจลลิตีในเซชันสูงสุด (peak temperature; T_p) และค่าอุณหภูมิสุดท้ายที่เกิดเจลลิตีในเซชัน (conclusion temperature; T_c) ของสตาร์ชจากถั่วเขียวผิวมันที่ผ่านการตัดแปรจะมีค่าสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับสตาร์ชเริ่มต้นที่ไม่ผ่านการตัดแปร (p<0.05) ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับการศึกษาของ Li และคณะ (2011) ที่ศึกษาสมบัติทางความร้อนของสตาร์ชจากถั่วเขียวผิวมันที่ตัดแปรโดยวิธีการอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง พบว่า สตาร์ชที่ได้มีค่าอุณหภูมิเริ่มต้นการเกิดเจลลิตีในเซชัน ค่าอุณหภูมิที่เกิดเจลลิตีในเซชันสูงสุด และค่าอุณหภูมิสุดท้ายที่เกิดเจลลิตีในเซชัน เพิ่มขึ้นคือ 75.9, 91.4 และ 99.5 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ขณะที่ ค่าพลังงานในการสลายโครงสร้างผลึก (enthalpy; ΔH) ของสตาร์ชจากถั่วเขียวผิวมันที่ผ่านการตัดแปรจะมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) โดยสตาร์ชจากถั่วเขียวผิวมันที่ตัดแปรโดยใช้หม้อนึ่งความดันไอจะใช้พลังงานในการสลายโครงสร้างมากกว่าสตาร์ชจากถั่วเขียวผิวมันที่ตัดแปรโดยใช้ไมโครเวฟ และใช้วิธีการอบ ตามลำดับ (6.16, 3.18 และ 1.57 จูลต่อกรัม ตามลำดับ)

ตารางที่ 4.43 ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อสมบัติทางความร้อนของสตาร์ชจากถั่วเขียวผิวมัน

วิธีการตัดแปร	T _o (°C)	T _p (°C)	T _c (°C)	enthalpy ΔH (จูล/กรัม)
ตัวอย่างควบคุม	64.06±0.04 ^d	70.83±0.22 ^c	78.13±0.18 ^d	8.47±0.06 ^a
การอบ	74.17±0.21 ^b	81.17±0.23 ^a	88.00±0.16 ^a	1.57±0.25 ^d
หม้อนึ่งความดันไอ	76.74±1.08 ^a	81.59±0.12 ^a	86.11±0.00 ^c	6.16±0.17 ^b
ไมโครเวฟ	72.48±0.28 ^c	78.47±0.05 ^b	87.45±0.03 ^b	3.18±0.16 ^c

^{a,b,c,...} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกัน ในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

4.3.4 ถั่วเขียวผิวดำ

- ปริมาณสตาร์ชทนย่อย (resistant starch; RS)

ผลของวิธีการที่ใช้ตัดแปรต่อปริมาณสตาร์ชทนย่อยของแป้งและสตาร์ชจากถั่วเขียวผิวดำ แสดงดังตารางที่ 4.44 โดยพบว่า ปริมาณสตาร์ชทนย่อยของแป้งจากถั่วเขียวผิวดำที่ตัดแปรโดยวิธีการต่างๆ มีค่าไม่แตกต่างกับแป้งถั่วเขียวผิวดำที่ไม่ผ่านการตัดแปร (p≥0.05) โดยแป้งถั่วเขียวผิวดำที่ตัดแปรโดยวิธีการอบ การใช้หม้อนึ่งความดันไอ และการใช้ไมโครเวฟมีปริมาณสตาร์ชทนย่อยร้อยละ 2.47, 3.06 และ 2.88 ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ สำหรับผลของวิธีการต่างๆ ที่ใช้ในการตัดแปรสตาร์ชจากถั่วเขียวผิวดำต่อปริมาณสตาร์ชทนย่อย พบว่า แป้งถั่วเขียวผิวมันที่ตัดแปรโดยวิธีการอบ การใช้หม้อนึ่งความดันไอ และการใช้ไมโครเวฟมีปริมาณสตาร์ชทนย่อยคือ ร้อยละ 13.33, 7.92 และ 12.17 ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ การตัดแปรโดยการ ใช้หม้อนึ่งความดันไอเป็นวิธีเดียวที่ทำให้ปริมาณสตาร์ชทนย่อยที่ลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับสตาร์ชที่ไม่ผ่านการตัดแปร (p<0.05) แสดงว่าวิธีการดังกล่าว มีผลต่อการขัดขวางการจัดเรียงตัวใหม่ของอะไมโลส ทำให้สตาร์ชเกิดการรีโทรเกรเดชันได้น้อย โดยการเกิด รีโทรเกรเดชันจะตรวจสอบในรูปของค่าการคืนตัว (setback) ซึ่งสตาร์ชที่มีค่าการคืนตัวน้อย มีแนวโน้มทำให้ปริมาณสตาร์ชทนย่อยมีน้อยตามไปด้วยเช่นกัน (Kim และคณะ, 2006)

ตารางที่ 4.44 ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อปริมาณสตาร์ชทนย่อยของแป้งและสตาร์ชจากถั่วเขียวผิวดำ

วิธีการตัดแปร	ปริมาณสตาร์ชทนย่อย (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)	
	แป้ง ^{ns}	สตาร์ช
ตัวอย่างควบคุม	2.75±0.04	11.80±0.09 ^c
การอบ	2.47±0.11	13.33±0.16 ^a
หม้อนึ่งความดันไอน้ำ	3.06±0.21	7.92±0.06 ^d
ไมโครเวฟ	2.88±0.16	12.17±0.09 ^b

^{a,b,c,d} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≥0.05)

- องค์ประกอบทางเคมี

ผลของวิธีการที่ใช้ตัดแปรต่อองค์ประกอบทางเคมีของแป้งจากถั่วเขียวผิวดำแสดงดังตารางที่ 4.45 โดยพบว่า ความชื้นของแป้งถั่วเขียวผิวดำที่ผ่านการตัดแปรอยู่ในช่วงร้อยละ 3.73 ถึง 5.66 ของน้ำหนักแห้ง การตัดแปรแป้งถั่วเขียวผิวดำด้วยวิธีการต่างๆ ทำให้แป้งมีปริมาณอะไมโลสเพิ่มขึ้น โดยแป้งถั่วเขียวผิวดำที่ตัดแปรโดยใช้หม้อนึ่งความดันไอน้ำมีปริมาณอะไมโลสเพิ่มขึ้นมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างเริ่มต้นที่ไม่ผ่านการตัดแปร (p<0.05) สำหรับปริมาณสตาร์ชทั้งหมดนั้นพบในแป้งถั่วเขียวผิวดำที่ตัดแปรโดยวิธีการอบ และการใช้ไมโครเวฟมากที่สุดคือ ร้อยละ 36.50 และ 36.53 ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ขณะที่ แป้งถั่วเขียวผิวดำที่ตัดแปรโดยการใช้หม้อนึ่งความดันไอน้ำพบปริมาณสตาร์ชทั้งหมดไม่แตกต่างกับแป้งถั่วเขียวผิวดำที่ไม่ผ่านการตัดแปร (p≥0.05) สำหรับปริมาณใยอาหารทั้งหมดที่พบในแป้งถั่วเขียวผิวดำที่ผ่านการตัดแปรอยู่ในช่วงร้อยละ 11.88 ถึง 15.63 ของน้ำหนักแห้ง

ตารางที่ 4.46 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชจากถั่วเขียวผิวดำที่ผ่านการตัดแปรโดยวิธีการต่างๆ เปรียบเทียบกับสตาร์ชจากถั่วเขียวผิวดำที่ไม่ผ่านการตัดแปร โดยพบว่า ปริมาณความชื้นของสตาร์ชจากถั่วเขียวผิวดำที่ผ่านการตัดแปรอยู่ในช่วงร้อยละ 5.19 ถึง 6.14 ของน้ำหนักแห้ง ปริมาณอะไมโลสพบน้อยที่สุดในสตาร์ชถั่วเขียวผิวดำที่ตัดแปรโดยการใช้หม้อนึ่งความดันไอน้ำคือ ร้อยละ 10.96 ของน้ำหนักแห้ง และพบมากที่สุดในสตาร์ชจากถั่วเขียวผิวดำที่ตัดแปรโดยวิธีการอบคือ ร้อยละ 11.63 ของน้ำหนักแห้ง (p<0.05) สำหรับปริมาณสตาร์ชทั้งหมดพบว่า สตาร์ชจากถั่วเขียวผิวดำที่ตัดแปรโดยวิธีการต่างๆ ไม่มีผลต่อปริมาณสตาร์ชทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≥0.05) ปริมาณใยอาหารทั้งหมดพบมากที่สุด ในสตาร์ชจากถั่วเขียวผิวดำที่ตัดแปรโดยการใช้หม้อนึ่งความดันไอน้ำ (ร้อยละ 18.43 ของน้ำหนักแห้ง) ขณะที่ สตาร์ชจากถั่วเขียวผิวดำที่ตัดแปรโดยวิธีการอื่นๆ มีปริมาณ ใยอาหารทั้งหมดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≥0.05)

ตารางที่ 4.45 ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อองค์ประกอบทางเคมีของแป้งจากถั่วเขียวผิวดำ (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)

วิธีการตัดแปร	ความชื้น	อะไมโลส	สตาร์ช	ใยอาหารทั้งหมด
ตัวอย่างควบคุม	7.59±0.37 ^a	3.96±0.06 ^d	28.72±0.73 ^b	17.82±0.67 ^a
การอบ	3.73±0.88 ^c	4.92±0.12 ^c	36.50±1.51 ^a	15.63±1.31 ^{ab}
หม้อนึ่งความดันไอน้ำ	5.66±0.13 ^b	5.55±0.03 ^a	29.19±0.60 ^b	11.88±0.75 ^c
ไมโครเวฟ	4.32±0.28 ^{bc}	5.32±0.01 ^b	36.53±1.26 ^a	14.88±0.26 ^b

^{a,b,c,d} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางที่ 4.46 ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อองค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชจากถั่วเขียวผิวดำ (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)

วิธีการตัดแปร	ความชื้น	อะไมโลส	สตาร์ช ^{ns}	ใยอาหารทั้งหมด
ตัวอย่างควบคุม	6.13±0.04 ^a	11.25±0.08 ^b	84.80±7.00	12.62±0.81 ^c
การอบ	5.71±0.03 ^b	11.63±0.02 ^a	92.94±1.43	16.19±0.59 ^b
หม้อนึ่งความดันไอน้ำ	6.14±0.02 ^a	10.96±0.02 ^d	92.97±1.36	18.43±0.33 ^a
ไมโครเวฟ	5.19±0.03 ^c	11.07±0.01 ^c	93.85±3.34	15.00±0.35 ^b

^{a,b,c} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≥0.05)

- ค่าสีและดัชนีความขาว

ผลของวิธีการที่ใช้ตัดแปรต่อค่าสีและดัชนีความขาวของแป้งจากถั่วเขียวผิวดำ แสดงดังตารางที่ 4.47 โดยพบว่า ค่าความสว่าง (L*) ของแป้งถั่วเขียวผิวดำที่ผ่านการตัดแปรมีค่าลดลง โดยแป้งถั่วเขียวผิวดำที่ตัดแปรโดยการใช้น้ำหม้อนึ่งความดันไอน้ำมีค่าความสว่างลดลงมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างอื่นๆ (p<0.05) การตัดแปรโดยวิธีการต่างๆ มีผลให้แป้งถั่วเขียวผิวดำมีค่าความเป็นสีแดง (+a*) ค่าความเป็นสีเหลือง (+b*) ค่าความเข้มสีเพิ่มขึ้น และค่าเจดสี (hue angle) เพิ่มขึ้น แต่มีค่าดัชนีความขาวลดลง (p<0.05) โดยแป้งถั่วเขียวผิวดำที่ตัดแปรโดยการใช้น้ำหม้อนึ่งความดันไอน้ำมีค่าความเป็นสีแดง ค่าความเป็นสีเหลือง และค่าความเข้มเพิ่มขึ้นมากที่สุด ทำให้แป้งชนิดนี้มีค่าดัชนีความขาวลดลงมากที่สุดเช่นกัน ดังภาพที่ 4.6 ก.

ตารางที่ 4.47 ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อค่าสีและดัชนีความขาวของแป้งจากถั่วเขียวผิวดำ

วิธีการตัดแปร	L*	a*	b*	ความเข้มสี (chroma)	ค่าเจดสี (hue angle)	ดัชนี ความขาว
ตัวอย่างควบคุม	90.80±0.39 ^a	0.29±0.03 ^d	8.75±0.21 ^d	8.75±0.22 ^d	88.13±0.26 ^a	87.30±0.38 ^a
การอบ	87.98±0.15 ^c	1.86±0.09 ^b	15.39±0.05 ^b	15.50±0.05 ^b	83.09±0.35 ^c	80.39±0.13 ^c
หม้อนึ่งความดันไอ	82.73±0.25 ^d	3.64±0.05 ^a	16.96±0.19 ^a	17.35±0.18 ^a	77.89±0.22 ^d	75.52±0.25 ^d
ไมโครเวฟ	89.36±0.30 ^b	1.04±0.03 ^c	12.07±0.24 ^c	12.12±0.24 ^c	85.09±0.10 ^b	83.88±0.30 ^b

^{abc...} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกัน ในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

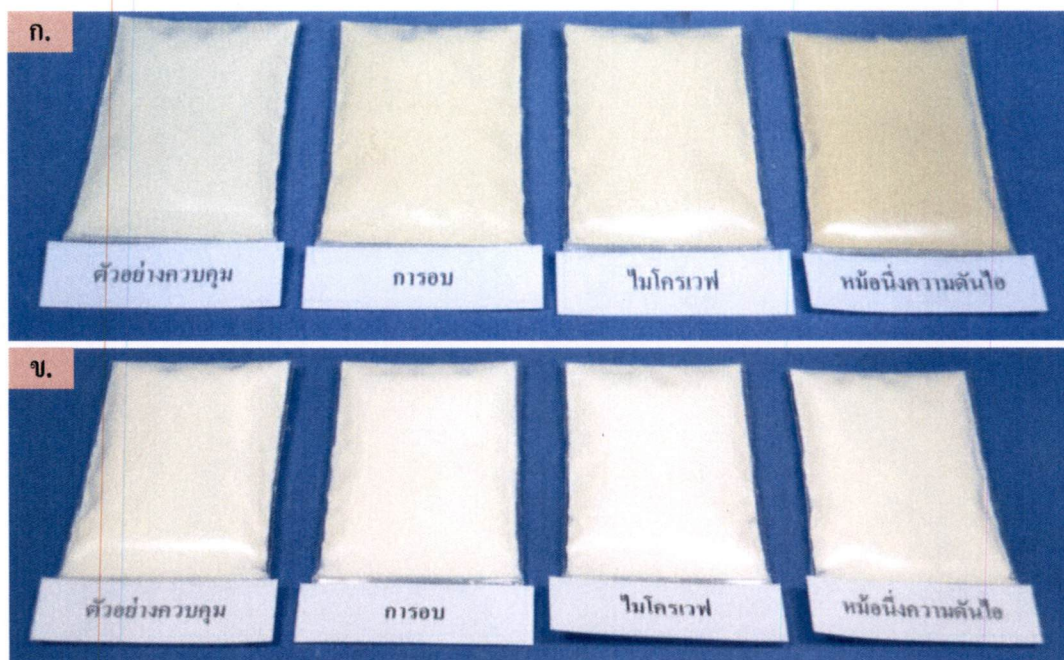
^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≥0.05)

ตารางที่ 4.48 แสดงผลของการตัดแปรด้วยวิธีการต่างๆ ต่อค่าสีและดัชนีความขาวของสตราซจากถั่วเขียวผิวดำ โดยสตราซจากถั่วเขียวผิวดำที่ผ่านการตัดแปรด้วยวิธีการต่างๆ จะมีค่าความสว่าง (L*) ไม่แตกต่างกับสตราซจากถั่วเขียวผิวดำเริ่มต้นที่ไม่ผ่านการตัดแปร (p≥0.05) ค่าความเป็นสีแดง (+a*) ของสตราซจากถั่วเขียวผิวดำที่ผ่านการตัดแปรมีค่าเพิ่มขึ้น สำหรับค่าความเป็นสีเหลือง (+b*) ของสตราซจากถั่วเขียวผิวดำที่ตัดแปรโดยวิธีการอบ และการใช้หม้อนึ่งความดันไอมีค่ามากที่สุด ขณะที่การตัดแปรโดยใช้วิธีการต่างๆ ทำให้สตราซจากถั่วเขียวผิวดำมีค่าความเข้มสี (chroma) อยู่ในช่วง 4.48 ถึง 4.57 สำหรับค่าเจดสี (hue angle) และค่าดัชนีความขาวของสตราซจากถั่วเขียวผิวดำที่ผ่านการตัดแปรจะมีค่าลดลง โดยค่าดัชนีความขาวของสตราซจากถั่วเขียวผิวดำที่ตัดแปรโดยวิธีการอบ การใช้หม้อนึ่งความดันไอ และการใช้ไมโครเวฟมีค่า 93.48 93.71 และ 93.90 ตามลำดับ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของสีที่เกิดขึ้นจากการตัดแปรสตราซจากถั่วเขียวผิวดำ แสดงดังภาพที่ 4.6 ข.

ตารางที่ 4.48 ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อค่าสีและดัชนีความขาวของสตราซจากถั่วเขียวผิวดำ

วิธีการตัดแปร	L* ^{ns}	a*	b*	ความเข้มสี (chroma)	ค่าเจดสี (hue angle)	ดัชนี ความขาว
ตัวอย่างควบคุม	95.98±0.27	-0.82±0.03 ^c	4.35±0.07 ^b	4.43±0.07 ^c	100.61±0.40 ^a	94.02±0.16 ^a
การอบ	95.35±0.47	-0.55±0.03 ^a	4.53±0.05 ^a	4.57±0.04 ^a	96.95±0.44 ^c	93.48±0.32 ^b
หม้อนึ่งความดันไอ	95.67±0.21	-0.55±0.02 ^a	4.53±0.08 ^a	4.56±0.07 ^{ab}	96.88±0.36 ^c	93.71±0.12 ^{ab}
ไมโครเวฟ	95.86±0.15	-0.69±0.01 ^b	4.43±0.02 ^b	4.48±0.02 ^{bc}	98.79±0.15 ^b	93.90±0.12 ^a

^{abc...} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกัน ในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)



ภาพที่ 4.6 ลักษณะของแป้ง (ก.) และสตาร์ช (ข.) จากถั่วเขียวผิวดำที่ผ่านการตัดแปรโดยวิธีต่างๆ

- สมบัติทางความหนืด (pasting properties)

ตารางที่ 4.49 แสดงสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งถั่วเขียวผิวดำที่ตัดแปรโดยวิธีการต่างๆ เปรียบเทียบกับแป้งถั่วเขียวผิวดำที่ไม่ผ่านการตัดแปร โดยพบว่า อุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting temperature) ของแป้งถั่วเขียวผิวดำที่ผ่านการตัดแปรโดยวิธีการต่างๆ อยู่ในช่วง 82.30 ถึง 85.57 องศาเซลเซียส สำหรับค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ค่าการแตกสลายของเม็ดแป้ง (breakdown) และค่าความหนืดสุดท้าย (final viscosity) ของแป้งถั่วเขียว ผิวดำที่ผ่านการตัดแปรจะมีค่าลดลง เนื่องจากในระหว่างการตัดแปรด้วยวิธีการต่างๆ ได้แก่ วิธีการอบ การใช้หม้อนึ่งความดันไอ และการใช้ไมโครเวฟ ทำให้โครงสร้างภายในเม็ดแป้งเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ของอะไมโลส และอะไมโลเพคตินที่ไม่สมบูรณ์ ทำให้เม็ดแป้งมีโครงสร้างไม่แข็งแรง การเปลี่ยนแปลงของความหนืดที่เกิดขึ้นจึงมีค่าน้อย (Palav และ Seetharaman, 2006; Adebooye และ Singh, 2008) โดยแป้งถั่วเขียวผิวดำที่ตัดแปรโดยการใช้หม้อนึ่งความดันไอมีการลดลงของค่าต่างๆ ดังกล่าวมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งถั่วเขียวผิวดำที่ไม่ผ่านการตัดแปร ($p < 0.05$) ค่าการคืนตัวของแป้งหลังทำให้เย็น (setback) ของแป้งถั่วเขียวผิวดำที่ตัดแปรโดยวิธีการอบมีค่ามากที่สุดคือ 24.63 RVU และมีค่าการคืนตัวไม่แตกต่างกับตัวอย่างแป้งถั่วเขียวผิวดำเริ่มต้นที่ไม่ผ่านการตัดแปร ($p \geq 0.05$)

ตารางที่ 4.49 ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อสมบัติทางความหนืดของแป้งจากถั่วเขียวผิวดำ

วิธีการตัดแปร	pasting temperature (°C)	viscosity (RVU)			
		peak viscosity	breakdown	final viscosity	setback
ตัวอย่างควบคุม	82.33±0.04 ^c	103.84±0.94 ^a	22.59±2.24 ^a	105.59±2.35 ^a	24.33±1.06 ^a
การอบ	83.58±0.53 ^b	48.05±0.18 ^c	2.30±0.18 ^c	61.67±0.23 ^c	15.92±0.23 ^b
หม้อนึ่งความดันไอ	85.57±0.15 ^a	13.04±0.65 ^d	1.75±0.00 ^c	25.17±0.94 ^d	13.88±0.29 ^c
ไมโครเวฟ	82.30±0.00 ^c	89.59±0.12 ^b	14.92±1.41 ^b	99.30±0.53 ^b	24.63±0.77 ^a

a,b,c.... หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ผลของการตัดแปร โดยวิธีการต่างๆ ต่อสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดของสตาร์ชจากถั่วเขียวผิวดำ แสดงดังตารางที่ 4.50 โดยพบว่า อุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting temperature) ของสตาร์ชจากถั่วเขียวผิวดำที่ผ่านการตัดแปร โดยวิธีการต่างๆ อยู่ในช่วง 79.28 ถึง 86.83 องศาเซลเซียส สำหรับค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ค่าการแตกสลายของเม็ดแป้ง (breakdown) ค่าความหนืดสุดท้าย (final viscosity) และค่าการคืนตัวของแป้งหลังทำให้เย็น (setback) พบมากที่สุด ในสตาร์ชจากถั่วเขียวผิวดำที่ตัดแปรโดยการ ใช้ไมโครเวฟ (330.71, 106.21, 427.00 และ 202.50 RVU ตามลำดับ) และพบน้อยที่สุดในสตาร์ชจากถั่วเขียวผิวดำที่ตัดแปร โดยใช้หม้อนึ่งความดันไอ (212.30, 22.88, 281.92 และ 92.50 RVU ตามลำดับ) แสดงว่าการใช้ไมโครเวฟในการตัดแปร ทำให้เกิดการจัดเรียงตัวใหม่ของอะไมโลส และอะไมโลเพคติน ได้สมบูรณ์กว่าการตัดแปรโดยใช้หม้อนึ่งความดันไอ (Adebooye และ Singh, 2008)

ตารางที่ 4.50 ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อสมบัติทางความหนืดของสตาร์ชจากถั่วเขียวผิวดำ

วิธีการตัดแปร	pasting temperature (°C)	viscosity (RVU)			
		peak viscosity	breakdown	final viscosity	setback
ตัวอย่างควบคุม	79.25±0.00 ^c	312.71±1.12 ^b	95.75±6.25 ^b	383.92±3.66 ^b	166.96±1.47 ^c
การอบ	79.28±0.04 ^c	282.59±0.83 ^c	89.71±2.18 ^b	375.29±3.95 ^b	182.42±2.60 ^b
หม้อนึ่งความดันไอ	86.83±0.60 ^a	212.30±2.65 ^d	22.88±1.24 ^c	281.92±6.24 ^c	92.50±2.36 ^d
ไมโครเวฟ	80.45±0.42 ^b	330.71±3.95 ^a	106.21±0.06 ^a	427.00±7.07 ^a	202.50±3.07 ^a

a,b,c.... หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

- สมบัติทางความร้อน (thermal properties)

ตารางที่ 4.51 แสดงสมบัติทางความร้อนของสตาร์ชจากถั่วเขียวผิวดำที่ตัดแปร โดยวิธีการต่างๆ เปรียบเทียบกับสตาร์ชจากถั่วเขียวผิวดำที่ไม่ผ่านการตัดแปร โดยพบว่า สตาร์ชจากถั่วเขียวผิวดำที่ตัดแปร โดยใช้หม้อนึ่งความดันไอน้ำมีค่าอุณหภูมิเริ่มต้นการเกิดเจลลิตีในเซชัน (onset temperature; T_o) มากที่สุดคือ 80.71 องศาเซลเซียส ขณะที่ การตัดแปรสตาร์ชจากถั่วเขียวผิวดำโดยวิธีการอื่นๆ แสดงค่าอุณหภูมิดังกล่าวไม่แตกต่างกับสตาร์ชที่ไม่ผ่านการตัดแปร ($p \geq 0.05$) สำหรับค่าอุณหภูมิที่เกิดเจลลิตีในเซชันสูงสุด (peak temperature; T_p) ของสตาร์ชจากถั่วเขียวผิวดำที่ผ่านการตัดแปรจะมีค่าเพิ่มขึ้น โดยสตาร์ชจากถั่วเขียวผิวดำที่ตัดแปร โดยการใช้หม้อนึ่งความดันไอน้ำมีค่าอุณหภูมิที่เกิดเจลลิตีในเซชันสูงสุดมากกว่าสตาร์ชที่ตัดแปร โดยวิธีการอบ และการใช้ไมโครเวฟ ตามลำดับ (86.13, 79.14 และ 78.14 องศาเซลเซียส ตามลำดับ) การตัดแปรสตาร์ชจากถั่วเขียวผิวดำโดยวิธีการต่างๆ ส่วนใหญ่สตาร์ชที่ตัดแปรได้ จะมีค่าอุณหภูมิสุดท้ายที่เกิดเจลลิตีในเซชัน (conclusion temperature; T_c) ไม่แตกต่างกับสตาร์ชเริ่มต้นที่ไม่ผ่านการตัดแปร ($p \geq 0.05$) ยกเว้นสตาร์ชที่ตัดแปร โดยใช้หม้อนึ่งความดันไอน้ำที่มีค่าดังกล่าวมากที่สุด (91.14 องศาเซลเซียส) สำหรับค่าพลังงานในการสลายโครงสร้างผลึก (Enthalpy; ΔH) ของสตาร์ชจากถั่วเขียวผิวดำที่ตัดแปร โดยใช้ไมโครเวฟจะมีค่ามากกว่าสตาร์ชจากถั่วเขียวผิวดำที่ตัดแปร โดยใช้หม้อนึ่งความดันไอน้ำ และใช้วิธีการอบ ตามลำดับ (11.42, 10.42 และ 6.96 จูลต่อกรัม ตามลำดับ)

ตารางที่ 4.51 ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อสมบัติทางความร้อนของสตาร์ชจากถั่วเขียวผิวดำ

วิธีการตัดแปร	T_o (°C)	T_p (°C)	T_c (°C)	enthalpy ΔH (จูล/กรัม)
ตัวอย่างควบคุม	72.74±0.21 ^c	77.25±0.35 ^d	83.90±0.15 ^b	8.83±0.21 ^c
การอบ	75.62±0.06 ^b	79.14±0.19 ^b	84.19±0.13 ^b	6.96±0.12 ^d
หม้อนึ่งความดันไอน้ำ	80.71±0.13 ^a	86.13±0.18 ^a	91.14±0.19 ^a	10.42±0.30 ^b
ไมโครเวฟ	72.99±0.15 ^c	78.14±0.20 ^c	84.15±0.13 ^b	11.42±0.01 ^a

^{a,b,c,...} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ปริมาณสตาร์ชทนน้อยส่วนใหญ่มักจะเพิ่มขึ้นในแป้งที่ผ่านการตัดแปร ขณะที่ สตาร์ชที่ผ่านการตัดแปรจะมีปริมาณสตาร์ชทนน้อยลดลง อาจเนื่องมาจากในแป้งมีองค์ประกอบของโปรตีน และไขมันมากกว่าสตาร์ช ซึ่งโปรตีนและไขมันสามารถเกิดเป็นสารเชิงซ้อนกับอะไมโลสได้ โดยสารเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ ปริมาณสตาร์ชทนน้อยที่ตรวจพบจึงเพิ่มขึ้น (Eliasoson และคณะ, 1988; Faraj และคณะ, 2004) อย่างไรก็ตาม จะพบว่า การตัดแปรโดยใช้ความร้อนในแบบต่างๆ ทั้งการใช้ลมร้อนในวิธีการอบ การใช้ความร้อนขึ้นจากหม้อน้ำความดันไอ และการใช้ไมโครเวฟ สามารถทำให้ปริมาณสตาร์ชทนน้อยเพิ่มขึ้นได้ โดยสตาร์ชทนน้อยที่เกิดขึ้นนี้เป็นสตาร์ชทนน้อยที่เกิดจากกระบวนการรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) ของสตาร์ช ซึ่งมีสมบัติทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ (Lunn และ Buttriss, 2007) ซึ่งจะเห็นว่ากระบวนการรีโทรเกรเดชัน หรือที่แสดงในรูปของค่าการคืนตัวของเม็ดแป้ง (setback) ส่วนใหญ่จะมีความสัมพันธ์กับปริมาณสตาร์ชทนน้อย โดยแป้งและสตาร์ชจากพืชตระกูลถั่วที่มีค่าการคืนตัวสูง มีแนวโน้มที่ปริมาณสตาร์ชทนน้อยจะสูงตามไปด้วย (Kim และคณะ, 2006) โดยแป้งและสตาร์ชจากพืชตระกูลถั่วเมื่อผ่านการตัดแปรโดยใช้ความร้อนแล้ว สามารถเกิดสตาร์ชทนน้อยชนิดดังกล่าวได้มาก เนื่องจากโครงสร้างภายในของแป้งและสตาร์ชจากพืชตระกูลถั่วมีความแข็งแรง และทนต่อกระบวนการให้ความร้อนได้ดีกว่าแป้งและสตาร์ชจากธัญพืช (Ring และคณะ, 1988) สำหรับวิธีการที่ใช้ในการตัดแปรเพิ่มปริมาณสตาร์ชทนน้อยในถั่วแต่ละชนิดย่อมมีความแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีต่างๆ ของแป้ง เช่น ปริมาณอะไมโลส อะไมโลเพคติน โปรตีน ไขมัน เป็นต้น ลักษณะทางสัณฐานวิทยาและการจัดเรียงตัวของโครงสร้างภายใน ดังนั้น การเลือกใช้วิธีการ ตัดแปรที่เหมาะสมกับถั่วแต่ละชนิด จะทำให้ได้ปริมาณสตาร์ชทนน้อยเพิ่มขึ้น

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 การศึกษาปริมาณสตาร์ชทนย่อย สมบัติทางเคมีกายภาพและความร้อนของแป้ง (flour) และสตาร์ช (starch) จากถั่วชนิดต่างๆ สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

- ปริมาณสตาร์ชทนย่อยส่วนใหญ่พบในส่วนของสตาร์ชมากกว่าในแป้ง โดยแป้งและสตาร์ชที่เตรียมได้จากถั่วมะแฮะ พบปริมาณสตาร์ชทนย่อยมากที่สุดคือ ร้อยละ 6.16 และ 16.21 ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

- องค์ประกอบทางเคมีต่างๆ ได้แก่ ปริมาณโปรตีน และไขมัน พบในส่วนของแป้งมากกว่าสตาร์ช ขณะที่ ปริมาณอะไมโลส และสตาร์ชทั้งหมดพบในส่วนของสตาร์ชมากกว่า สำหรับ ปริมาณใยอาหารทั้งหมดส่วนใหญ่ในแป้งและสตาร์ชมีปริมาณไม่แตกต่างกันมาก

- แป้งจากถั่วชนิดต่างๆ ที่เตรียมได้ค่าสว่าง (L*) น้อย และมีค่าความเข้มสีมาก ทำให้ค่าดัชนีความขาวของแป้งถั่วมีค่าน้อย ซึ่งตรงข้ามกับสตาร์ชจากถั่วที่มีค่าความสว่างมาก และมีค่าความเข้มสีน้อย ทำให้ค่าดัชนีความขาวมีค่าสูง

- แป้งและสตาร์ชจากถั่วแดงหลวง มีค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ค่าความหนืดสุดท้าย (final viscosity) และค่าการคืนตัวของแป้งหลังทำให้เย็น (setback) น้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับถั่วชนิดอื่นๆ ($p < 0.05$) แสดงว่า แป้งและสตาร์ชจากถั่วแดงหลวง เมื่อผสมกับน้ำและให้ความร้อนจะมีความข้นหนืดน้อย และเมื่อทำให้เย็นจะได้เจลที่มีลักษณะอ่อนนุ่ม

- อุณหภูมิการเกิดเจลลาติในเขชันของสตาร์ชจากถั่วมะแฮะมีค่ามากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับสตาร์ชจากถั่วชนิดอื่นๆ ($p < 0.05$) ขณะที่ สตาร์ชจากถั่วพุ่มจะมีค่าพลังงานในการสลายโครงสร้างของผลึก (enthalpy; ΔH) มากที่สุด แสดงว่า สตาร์ชจากถั่วพุ่มมีโครงสร้างภายในที่แข็งแรง จึงต้องใช้พลังงานในการสลายโครงสร้างสูง

5.1.2 การศึกษาผลของเทคนิควิธีการที่ใช้ในการตัดแปรต่อปริมาณสตาร์ชทนย่อย สมบัติทางเคมีกายภาพและความร้อนของแป้ง (flour) และสตาร์ช (starch) จากถั่วชนิดต่างๆ สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

- การตัดแปรแป้งถั่วโดยใช้วิธีการต่างๆ ช่วยเพิ่มปริมาณสตาร์ชทนย่อยได้มากกว่าการตัดแปรสตาร์ชจากถั่ว ซึ่งการตัดแปรแป้งถั่วโดยการใช้ไมโครเวฟ ส่วนใหญ่จะช่วยให้เพิ่มปริมาณสตาร์ชทนย่อยได้มากกว่าวิธีการอื่นๆ ขณะที่ การตัดแปรสตาร์ชจากถั่ว มีแนวโน้มจะพบปริมาณสตาร์ชทนย่อยมาก จากการตัดแปรโดยวิธีการอบโดยตู้อบลมร้อน

- ผลของการตัดแปรแป้งและสตาร์ชจากถั่วด้วยวิธีการต่างๆ มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของแป้งและสตาร์ชน้อยมาก

- แป้งถั่วทุกชนิดที่ตัดแปรโดยการใช้หม้อนึ่งความดันไอ ทำให้แป้งถั่วที่ได้มีสีเข้มขึ้น โดยค่าความสว่างและค่าดัชนีความขาวลดลง ขณะที่ วิธีการต่างๆ ที่ใช้ในการตัดแปรมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของสตาร์ชจากถั่วชนิดต่างๆ น้อยมาก จึงทำให้สีของสตาร์ชไม่แตกต่างกัน เมื่อสังเกตด้วยตาเปล่า

- การตัดแปรแป้งและสตาร์ชจากถั่วโดยการใช้หม้อนึ่งความดันไอ มีแนวโน้มทำให้แป้งและสตาร์ชจากถั่วที่ได้มีอุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืดเพิ่มขึ้น แต่แป้งและสตาร์ชจากถั่วทุกชนิด มีค่าความหนืดสูงสุด ความหนืดสุดท้าย และค่าการคืนตัวหลังทำให้เย็นลดลง แสดงว่า การใช้หม้อนึ่งความดันไอในการตัดแปรทำให้แป้งและสตาร์ชจากถั่วสูญเสียสมบัติทางความหนืดไป

- ผลของการตัดแปรแป้งและสตาร์ชจากถั่วโดยใช้วิธีการต่างๆ มีแนวโน้มทำให้ค่าพลังงานที่ใช้ในการสลายโครงสร้างผลึก (enthalpy; ΔH) ลดลง แสดงว่า แป้งและสตาร์ชจากถั่วที่ผ่านการตัดแปร มีความแข็งแรงของโครงสร้างภายในลดลง จึงใช้พลังงานน้อยในการสลายโครงสร้าง

แป้งและสตาร์ชจากถั่วชนิดต่างๆ ที่ศึกษา ทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการตัดแปรล้วนแต่มีปริมาณสตาร์ชทนย่อย สมบัติทางเคมีกายภาพและความร้อนที่แตกต่างกัน ดังนั้น การนำแป้งและสตาร์ชจากถั่วไปใช้ ควรพิจารณาถึงลักษณะของผลิตภัณฑ์อาหารที่ต้องการเป็นหลัก และเลือกใช้ให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารที่ได้มีคุณภาพ และตรงตามความต้องการของผู้บริโภคมากขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการศึกษาถึงกลไกการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี รวมถึงสมบัติทางเคมีกายภาพต่างๆ ที่เกิดขึ้น หลังจากแป้งและสตาร์ชผ่านการตัดแปรโดยวิธีการต่างๆ

5.2.2 ควรศึกษาถึงวิธีการที่ใช้ในการตัดแปร และสภาวะที่ใช้ในการตัดแปรมากกว่านี้ เพราะในถั่วบางชนิดปริมาณสตาร์ชทนย่อยอาจเพิ่มขึ้นได้ ถ้าใช้วิธีการตัดแปรอื่น หรือสภาวะอื่น

5.2.3 ควรศึกษาถึงการนำแป้งและสตาร์ชจากถั่วชนิดต่างๆ ทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการตัดแปรที่ได้ไปใช้ประโยชน์ โดยนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ ซึ่งอาจทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ใหม่ขึ้นได้

บรรณานุกรม

- กรมวิชาการเกษตร. ม.ป.ป. ถั่วเขียว. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก <http://www.doa.go.th> (วันที่สืบค้น 29 เมษายน 2555)
- กรมวิชาการเกษตร. 2548. เอกสารวิชาการ พันธุ์พืชไร่. กรุงเทพฯ: ชุมชนสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.
- เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ และกล้าณรงค์ ศรีรอด. 2544. มารู้จักแป้งสุขภาพ (Resistance Starch) กันเถอะ. ข่าวสารวิชาการในวงการแป้ง 1: 4-5.
- เจดจันทร์ ปุกหุด. 2551. ผลของการตัดแปรแป้งด้วยแรงดันออสโมติก เปรียบเทียบกับการตัดแปรแป้งด้วยความร้อนชื้น ต่อคุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของแป้งมันฝรั่ง แป้งสาเก และแป้งข้าวโพด. วิทยานิพนธ์บัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.
- นิธิยา รัตนาปนนท์. 2551. เคมีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.
- ไพลาภา นิ่มสังข์. 2550. คุณสมบัติของแป้งและสตาร์ชจากกล้วยดิบ เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหารมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สิริลักษณ์ ภักดีศรีพันธ์ และ จันทนี อูริยะพงษ์สรรค์. 2553. ผลของฤดูกาลเก็บเกี่ยว และพันธุ์ ต่อปริมาณแป้งทนย่อย และคุณสมบัติด้านเพสท์ของแป้งเผือก และสตาร์ช. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 41: 261-264.
- สมชาย ประภาวัต, เย็นใจ จูติฐาน, ดวงจันทร์ เฮงสวัสดิ์ และพะยอม อัดถวิลบุญกุล. 2541. ศึกษาการทำคูกี้จากถั่วเขียวผิวดำเปรียบเทียบกับถั่วเขียวและถั่วมะแฮะ. วารสารเกษตรศาสตร์. 32, 3: 319-328.
- สมชาย ประภาวัต, อนุกุล พลศิริ และอุดม กาญจนปกรณ์ชัย. 2522. การใช้ประโยชน์ของถั่วมะแฮะในการทำคูกี้. อาหาร 11: 136-144.
- ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว. ม.ป.ป. พืชตระกูลถั่ว. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก <http://www.phtnet.org> (วันที่สืบค้น 29 เมษายน 2555)
- ศูนย์วิทยบริการเพื่อส่งเสริมการเกษตร กรมส่งเสริมการเกษตร. ม.ป.ป. ถั่วแดงหลวง. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก <http://esc.agritech.doe.go.th> (วันที่สืบค้น 29 เมษายน 2555)
- Adebooye, O.C., and V., Singh. 2008. Physico-chemical properties of the flours and starches of two cowpea varieties (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). Innovative Food Science and Emerging Technologies 9: 92-100.

- American Association of Cereal Chemists (AACC). 2000. Approved methods of the American Association of Cereal Chemist (methods 76-21.01) 10th ed., St. Paul, Minnesota.
- Agunbiade, S.O., and O.G., Longe. 1999. The physico-functional characteristics of starches from cowpea (*Vigna unguiculata*), pigeon pea (*Cajanus cajan*) and yambean (*Sphenostylis stenocarpa*). *Food Chemistry* 65: 469-474.
- Agustiniano-Osornio, J.C., R.A. González-Soto, E. Flores-Huicochea, J. Solorza-Feria, N. Manrique-Quevedo, L. Sánchez-Hernández, and L.A. Bello-Pérez. 2005. Resistant starch production from mangostarch using a single-screw extruder. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 85: 2105-2110.
- Aparicio-Saguilán, A., E. Flores-Huicochea, J. Tovar, F. García-Suárez, F. Gutiérrez-Meraza, and L.A. Bello-Pérez. 2005. Resistant Starch-rich Powders Prepared by Autoclaving of Native and Lintnerized Banana Starch: Partial Characterization Starch/ Stärke 57: 405-412.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 2000. Official Method of Analysis (Method 925.10). The Association of Official Agricultural Chemists.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 2005. Official Method of Analysis (Method 2002.02, Method 996.11 and Method 985.29). The Association of Official Agricultural Chemists.
- Baghurst, P.A., K.I. Baghurst, and S.J. Record. 1996. Dietary fiber, non-starch polysaccharides and resistant starch: a review. *Food Australia* 48: S3-S35.
- Brown, I.L., K.J. McNaught, and E. Moloney. 1995. Hi-maizeTM: new directions in starch technology and nutrition. *Food Australia* 47: 272-5.
- Brown, I.L., X. Wang, D.L. Topping, M.J. Playne, and P.L. Conway. 1998. High amylose maize starch as a versatile prebiotic for use with probiotic bacteria. *Food Australia* 50: 603-622.
- Cassidy, A., S.A. Bingham, and J.H. Cummings. 1994. Starch intake and colorectal cancer risk: an international comparison. *British Journal cancer* 69: 937-942.
- Champ, M., A.M. Langkilde, and F. Brouns. 2003. Advances in dietary fibre characterisation. 1. Definition of dietary fibre, physiological relevance, health benefits and analytical benefits. *Nutrition Research Reviews* 16: 71-82.

- Chung, H., Q. Liu, K.P. Pauls, M.Z. Fan, and R. Yada. 2008. In vitro starch digestibility, expected glycemic index and some physicochemical properties of starch and flour from common bean (*Phaseolus vulgaris L.*) varieties grown in Canada. *Food Research International* 41: 869–875.
- Chung, H.J., Q. Liu, and R. Hoover. 2009. Impact of annealing and heat-moisture treatment on rapidly digestible, slowly digestible and resistant starch levels in native and gelatinized corn, pea and lentil starches. *Carbohydrate Polymers* 75: 436-447.
- de Almeida Costa, G.E., K.S., Queiroz-Monici, S.M.P., Machado Reis, A.C., de Oliveira. 2006. Chemical composition, dietary fibre and resistant starch contents of raw and cooked pea, common bean, chickpea and lentil legumes. *Food Chemistry* 94: 327–330.
- Eliasson, A.C. 1980. Effect of water content on the gelations wheat starch. *Starch/ Stärke* 32: 270.
- Eliasson, A.C., H. Finstad, and G. Ljunger. 1988. A study of starch-lipid interactions for some native and modified maize starches. *Starch/ Stärke* 40: 95-100.
- Englyst, H. N., S. M. Kingman, and J. H. Cummings. 1992. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. *European Journal of Clinical Nutrition* 46: S30–S50.
- Faraj, A., T. Vasanthan, and R. Hoover. 2004. The effect of extrusion cooking on resistant starch formation in waxy and regular barley flours. *Food Research International* 37: 517-525.
- García-Alonso, A., A. Jimenez-Escrig, N. Martin-Carron, L. Bravo, and F. Saura-Calixto. 1999. Assessment of some parameters involved in the gelatinization and retrogradation of starch. *Food Chemistry* 66: 181-7.
- González, Z., and E. Pérez. 2002. Evaluation of lentil starches modified by microwave irradiation and extrusion cooking. *Food Research International* 35: 415-420.
- González-Soto, R.A., E. Agama-Acevedo, J. Solorza-Feria, R. Rendón-Villalobos, and L.A. Bello-Pérez. 2004. Resistant starch made from banana starch by autoclaving and debranching. *Starch/ Stärke* 56: 495-499.
- Hoover, R., and S.P.J. N. Senanayake. 1996. Composition and physicochemical properties of oat starches. *Food Research International* 29: 15-26.
- Juliano, B.O. 1971. Simplified assay for milled-rice amylase. *Cereal Science Today* 16:334-366.
- Katyal, D., Ghugre, P.S., and S.A. Udipi. 2005. Resistant starch in selected raw and processed legumes. *Journal of Food Science and Technology* 42: 506–510.
- Kaur, M., K.S. Sandhu, and N. Singh. 2007. Comparative study of the functional, thermal and pasting properties of flours from different field pea (*Pisum sativum L.*) and pigeon pea (*Cajanus cajan L.*) cultivars. *Food Chemistry* 104: 259-267.

- Kaushal, P., V. Kumar, and H.K. Sharma. 2012. Comparative study of physicochemical, functional, antinutritional and pasting properties of taro (*Colocasia esculenta*), rice (*Oryza sativa*) flour, pigeonpea (*Cajanus cajan*) flour and their blends. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technology - Food Science and Technology* 48: 59-68.
- Khunae, P., T. Tran, and P. Sirivongpaisal. 2007. Effect of Heat-Moisture Treatment on Structural and Thermal Properties of Rice Starches Differing in Amylose Content. *Starch/ Stärke* 59: 593-599.
- Kim, J.H., E.J. Tanhehco, and P.K.W. Ng. 2006. Effect of extrusion conditions on resistant starch formation from pastry wheat flour *Food Chemistry* 99: 718-723.
- Lei, F., T. Ji-Chun, S. Cai-ling, and L. Chun. 2008. RVA and Farinograph properties study on blends of resistant starch and wheat flour. *Agricultural Sciences in China* 7: 812-822.
- Lewandowicz, G., T. Jankowski, and J. Fornalc. 2000. Effect of microwave radiation on physico-chemical properties and structure of cereal starches. *Carbohydrate Polymers* 42: 193-199.
- Li, S., R. Ward, and Q. Gao. 2011. Effect of heat-moisture treatment on the formation and physicochemical properties of resistant starch from mung bean (*Phaseolus radiatus*) starch. *Food Hydrocolloids* 25: 1702-1709.
- Lumdubwong, N., and P.A. Seib. 2000. Rice starch isolation by alkaline protease digestion of wet-mill rice flour. *Journal Cereal Science* 31: 63-74.
- Lunn, J., and J.L. Butriss. 2007. Carbohydrates and dietary fibre. *Nutrition Bulletin* 32: 21-64.
- Nimsung, P., M. Thongngam, and O. Naivikul. 2007. Compositions, Morphological and Thermal Properties of Green Banana Flour and Starch. *Kasetsart J. (Nat. Sci.)* 41: 324-330.
- Nugent, A. 2005. Health properties of resistant starch. *Nutrition Bulletin* 30: 27-54.
- Nunez-Santiago, M.C., L.A. Bello-Perez, and A. Tecante. 2004. Swelling-solubility characteristics, granule size distribution and rheological behavior of banana (*Musa Paradisiaca*) starch. *Carbohydrate Polymer* 56, 1: 65-75.
- Palav, T., and K. Seetharaman. 2006. Mechanism of starch gelatinization and polymer leaching during microwave heating. *Carbohydrate Polymers* 65: 364-370.
- Polesi, L. F., and S. B. S. Sarmento. 2011. Structural and physicochemical characterization of RS prepared using hydrolysis and heat treatments of chickpea starch. *Starch/ Stärke* 63: 226-235.
- Ring S.G., J.M. Gee, M. Whittam, P. Orford, and I. Johnson. 1988. Resistant Starch. Its chemical form in foodstuffs and effect on digestibility in vitro. *Food Chemistry* 28: 97-109.

- Sajilata, M.G., R.S. Singhal, and P.R. Kulkarni. 2006. Resistant starch: a review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 5: 1-17.
- Singh, J., L. Kaur, N.S. Sodhi, and B.S. Gill. 2003. Morphological, Thermal and Rheological Properties of Starches from Different Botanical Sources. *Food Chemistry* 81, 2: 219-231.
- Singh, N., K.S., Sandhu, and M., Kaur. 2004 Characterization of starches separated from Indian chickpea (*Cicer arietinum L.*) cultivars. *Journal of Food Engineering* 63: 441-449.
- Sumnu, G. 2001. A review on microwave baking of foods. *International Journal of Food Science and Technology* 36: 117-127.
- Tester, F.R. 1997. Starch: The Polysaccharide Fractions, *In* P.L. Frazier, A.M. Donald, and P. Richmond eds. *Starch Structure and Functionality*. The Royal Society of Chemistry, U.K. 163-147.
- Tribess, T.B., J.P. Hernández-Urbe, M.G.C. Méndez-Montealvo, E.W. Menezes, L.A. Bello-Perez, and C.C. Tadini. 2009. Thermal properties and resistant starch content of green banana flour (*Musa cavendishii*) produced at different drying conditions. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technology -Food Science and Technology* 42: 1022-1025.
- Yadav, R.B., A. Sharma, and R.B. Yadav. 2010. Effect of storage on resistant starch content and in vitro starch digestibility of some pressure-cooked cereals and legumes commonly used in India. *International Journal of Food Science &Technology* 45: 2449-2455.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การตรวจสอบคุณภาพทางเคมี

1. ความชื้น (AOAC, 2000)

นำกระป๋องอะลูมิเนียมและฝาไปอบที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น และนำไปชั่งน้ำหนักที่แน่นอน ชั่งตัวอย่างแป้งที่บดละเอียดประมาณ 2-3 กรัม (จดน้ำหนักที่แน่นอน) ใส่ลงในกระป๋องอะลูมิเนียม แล้วนำไปอบพร้อมฝาในตู้อบที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาที่กำหนดทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักกระป๋องอะลูมิเนียมพร้อมฝาคำนวณปริมาณความชื้นดังสมการ

$$\text{ความชื้น (ร้อยละ)} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}) \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}}$$

2. ปริมาณโปรตีน (kjeldahl method; AOAC, 2000)

ชั่งตัวอย่างที่บดละเอียดประมาณ 1-2 กรัม (น้ำหนักแน่นอน) ใส่ใน kjeldahl flask เติมโพแทสเซียมซัลเฟต (potassium sulfate) 9 กรัม และคอปเปอร์ซัลเฟต (copper sulfate) 1 กรัม เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น (Sulfuric acid) ปริมาตร 25 มิลลิลิตร นำไปย่อยจนได้สารละลายสีเขียว โดยระหว่างทำการย่อยจะเกิดการเดือดที่รุนแรง จึงจำเป็นต้องเติมลูกแก้วลงไปด้วยเพื่อป้องกันการเดือด รอให้สารละลายที่ได้เย็น หรือไม่มีไอของกรดเหลืออยู่ แล้วนำไปกลั่นโดยเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide) ความเข้มข้นร้อยละ 40 ปริมาตร 90 มิลลิลิตร มีสารละลายกรดบอริก (boric acid) ความเข้มข้นร้อยละ 4 ปริมาตร 60 มิลลิลิตร ที่มีอินดิเคเตอร์ผสมระหว่าง methyl red- methylene blue (2-3 หยด) อยู่ ในการรองรับสิ่งที่กลั่นได้ แล้วนำสารที่กลั่นได้มาไทเทรตด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid) ความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล และทำแบลนค์ (blank) เปรียบเทียบ

$$\text{ปริมาณไนโตรเจน (ร้อยละ)} = \frac{(V_1 - V_2) \times N \times 1.4007}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}}$$

เมื่อ V_1 คือ ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล ที่ใช้ไทเทรตตัวอย่าง

V_2 คือ ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล ที่ใช้ไทเทรตแบลนค์

N คือ ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานของกรดไฮโดรคลอริก (นอร์มัล)

$$\text{ปริมาณโปรตีน (ร้อยละ)} = \text{ปริมาณไนโตรเจน (ร้อยละ)} \times 6.25$$

3. ปริมาณไขมัน (AOAC, 2000)

อบบีกเกอร์ไขมัน (บีกเกอร์เฉพาะของเครื่องวิเคราะห์ไขมัน) ที่สะอาดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักไว้ ชั่งตัวอย่างแห้งประมาณ 2-5 กรัม (น้ำหนักแน่นอน) ใส่ในกระดวยกรองและห่อเพื่อป้องกันการฟุ้งกระจาย และใส่ในทิมเบิล (thimble) นำทิมเบิลใส่ลงในบีกเกอร์ไขมัน ก่อนบรรจุลงในชุดสกัดไขมัน ตั้งค่าการทำงานของเครื่องโดยใช้ปิโตรเลียมอีเทอร์ (petroleum ether) เป็นตัวทำละลายในการสกัด หลังจากเครื่องทำการสกัดเสร็จ ส่วนของไขมันของตัวอย่างจะอยู่ในบีกเกอร์ไขมัน นำบีกเกอร์ไขมันไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-2 ชั่วโมง เพื่อระเหยตัวทำละลายออก ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น และชั่งน้ำหนัก

$$\text{ปริมาณไขมัน (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักของไขมันที่สกัดได้} \times 100}{\text{น้ำหนักแห้งของตัวอย่าง}}$$

4. ปริมาณอะไมโลส (Juliano, 1971)

4.1 การเขียนกราฟมาตรฐาน

ซึ่งอะไมโลสบริสุทธิ์ (amylose from potato) ประมาณ 40 มิลลิกรัม ใส่ในหลอดทดลอง เต็มเอทานอล (ethyl alcohol) ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide) ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 9 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน และนำไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 10 นาที ทำให้เย็นและถ่ายลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 100 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ใช้ปิเปตดูดสารละลายมาปริมาตร 1 2 3 4 และ 5 มิลลิลิตร ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ใบที่ 1-5 ตามลำดับ เติมกรดอะซิติก (acetic acid) ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 0.2 0.4 0.6 0.8 และ 1.0 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตรใบที่ 1-5 ตามลำดับ เติมสารละลายไอโอดีนปริมาตร 2 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตรแต่ละใบ ใช้น้ำกลั่นปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน และตั้งทิ้งไว้ประมาณ 20 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของอะไมโลส (ร้อยละ 8 16 24 32 และ 40) กับค่าการดูดกลืนแสง

4.2 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

ชั่งตัวอย่างประมาณ 100 มิลลิกรัม (น้ำหนักแน่นอน) ใส่ในหลอดทดลอง เต็มเอทานอล (ethyl alcohol) ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide) ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 9 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน และนำไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 10 นาที ทำให้เย็นและถ่ายลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 100 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ใช้ปิเปตดูด

สารละลายมาปริมาตร 5 มิลลิลิตร ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมกรดอะซิติก (acetic acid) ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตร และเติมสารละลายไอโอดีน ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ใช้น้ำกลั่นปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน และตั้งทิ้งไว้ประมาณ 20 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร และหาปริมาณอะไมโลสโดยอ่านจากกราฟมาตรฐาน

5. ปริมาณสตาร์ชทนย่อย (resistant starch content)

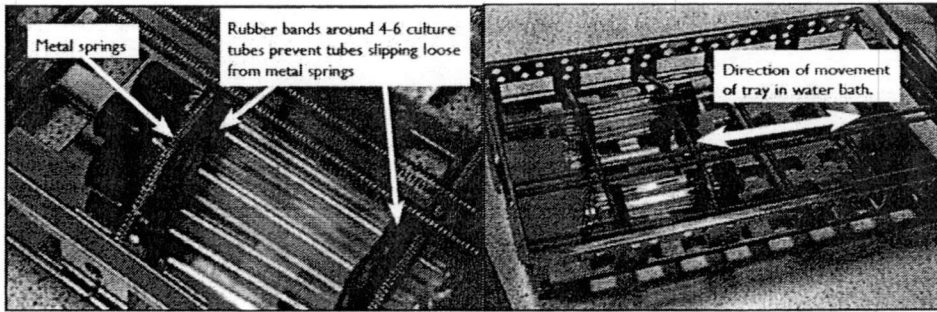
ชั่งตัวอย่างประมาณ 100 ± 5 มิลลิกรัม (น้ำหนักแน่นอน) ใส่ลงในหลอดทดลองที่มีฝาปิด เติมสารละลายเอนไซม์ pancreatic α -amylase ปริมาตร 4 มิลลิลิตร ปิดฝาให้แน่น เขย่าให้เข้ากันและนำไปบ่มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง โดยเขย่าตลอดเวลา (ประมาณ 200 stroke ต่อนาที) ดังภาพที่ ก-1 หลังจากนั้นนำหลอดทดลองออกจากอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ เติมเอทานอล (ethyl alcohol) ปริมาตร 4 มิลลิลิตร และเขย่าให้เข้ากัน นำไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 1500 g เป็นเวลา 10 นาที เทส่วนใสด้านบนออก และเติมเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 50 ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ลงในส่วนของตะกอน เขย่าให้เข้ากันและนำไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 1500 g เป็นเวลา 10 นาที เทส่วนใสออก และทำซ้ำขั้นตอนดังกล่าวอีกครั้ง เมื่อเทส่วนใสออกในครั้งสุดท้ายให้คว่ำหลอดทดลองลงบนกระดาษที่ดูดซับความชื้นได้ หลังจากนั้นนำส่วนของตะกอนที่ได้ เติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (potassium hydroxide) ความเข้มข้น 2 โมลาร์ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร แช่ในภาชนะที่มีน้ำแข็ง และทำการเขย่าตลอดเวลา เป็นเวลา 20 นาที เติมสารละลายบัฟเฟอร์โซเดียมอะซิเตท ความเข้มข้น 1.2 โมลาร์ (พีเอช 3.8) ปริมาตร 8 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลายเอนไซม์ amyloglucosidase ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน และนำไปบ่มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที โดยทำการเขย่าทุก ๆ 5 นาที ถ่ายสารละลายในหลอดทดลองลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 100 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ก่อนนำไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 1500 g เป็นเวลา 10 นาที ดูดสารละลายในส่วนใส ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง และเติมสารละลาย glucose determination reagent (GOPOD reagent) ปริมาตร 3 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน และนำไปบ่มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง ที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร และคำนวณหาปริมาณสตาร์ชทนย่อย

$$\text{ปริมาณสตาร์ชทนย่อย (ร้อยละ)} = \Delta E \times (F/W) \times 90$$

เมื่อ ΔE คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่อ่านได้ที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร

F คือ ค่า factor ของการเปลี่ยนแปลงหน่วยเป็น ไมโครกรัมของกลูโคส ในสารละลาย GOPOD Reagent

W คือ น้ำหนักของตัวอย่าง (มิลลิกรัม)



ภาพที่ ก-1 ลักษณะการวางหลอดทดลองในอ่างควบคุมอุณหภูมิ เพื่อบ่มเป็นเวลา 16 ชั่วโมง

6. ปริมาณสตาร์ชทั้งหมด (total starch content)

ชั่งตัวอย่างประมาณ 100 ± 5 มิลลิกรัม (น้ำหนักแน่นอน) ใส่ลงในหลอดทดลอง เดิมเอทานอล (ethyl alcohol) ความเข้มข้นร้อยละ 80 ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร และเติม dimethyl sulphoxide ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ทันทิ์ เขย่าให้เข้ากัน และนำไปไว้ในน้ำเดือดเป็นเวลา 5 นาที หลังจากนั้นเติมสารละลาย เอนไซม์ thermostable α -amylase ปริมาตร 4 มิลลิลิตร ทันทิ์ และนำไปไว้ในน้ำเดือดเป็นเวลา 6 นาที โดยทำการเขย่าทุกๆ 2 นาที และนำสารละลายตัวอย่างมาพักไว้ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียส เพื่อให้ตัวอย่างสารละลายมีอุณหภูมิลดลงเป็น 50 องศาเซลเซียส จากนั้นเติมสารละลาย เอนไซม์ amyloglucosidase ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน และนำไปบ่มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ ที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที โดยทำการเขย่าทุกๆ 5 นาที ถ้ายสารละลายในหลอดทดลองลงใน ขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 100 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ก่อนนำไป หมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 1500 g เป็นเวลา 10 นาที ดูดสารละลายในส่วนใส ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ลง ในหลอดทดลอง และเติมสารละลาย glucose determination reagent (GOPOD reagent) ปริมาตร 3 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน และนำไปบ่มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง ที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร และคำนวณหาปริมาณสตาร์ชทั้งหมด

$$\text{ปริมาณสตาร์ชทั้งหมด (ร้อยละ)} = \Delta E \times (F/W) \times 90$$

เมื่อ ΔE คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่อ่านได้ที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร

F คือ ค่า Factor ของการเปลี่ยนแปลงหน่วยเป็น ไมโครกรัมของกลูโคส ในสารละลาย GOPOD reagent

W คือ น้ำหนักของตัวอย่าง (มิลลิกรัม)

7. ปริมาณใยอาหารทั้งหมด (total dietary fiber content)

ซึ่งตัวอย่างใส่ลงในพลาสติกประมาณ 1 กรัม 2 ซ้ำ (บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน) จากนั้นนำตัวอย่างที่ได้เติมด้วยฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (พีเอช 6.0) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร และเอนไซม์ α -amylase ปริมาตร 50 ไมโครลิตร ปิดด้วยอลูมิเนียมฟอยล์ นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที เขย่าทุก ๆ 5 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นแล้วเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide) ความเข้มข้น 0.275 นอร์มัล ปริมาตร 10 มิลลิลิตร (พีเอชประมาณ 7.5 ± 0.2) และเอนไซม์ Protease ปริมาตร 100 ไมโครลิตร บ่ม 60 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ตั้งไว้ให้เย็น จากนั้นเติมกรดไฮโดร-คลอริก (hydrochloric acid) ความเข้มข้น 0.325 นอร์มัล ปริมาตร 10 มิลลิลิตร (พีเอชประมาณ 4.0-4.6) และเอนไซม์ amyloglucosidase 200 ไมโครลิตร นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที เติมเอทานอลอุ่น (60 องศาเซลเซียส) ความเข้มข้นร้อยละ 95 ปริมาตร 280 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง จากนั้นกรองใส่ครุชเชิลที่มีซีไลท์ (celite) แล้วล้างด้วยเอทานอล ความเข้มข้นร้อยละ 78 จำนวน 3 ครั้ง ล้างต่อด้วยเอทานอล ความเข้มข้นร้อยละ 95 จำนวน 2 ครั้ง ก่อนล้างด้วยอะซิโตน อีก 2 ครั้ง นำส่วนที่กรองได้ไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนแห้ง แล้วทิ้งให้เย็นใน โถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักหาส่วนที่เหลือ (residue weight) ทักแบลнк (Blank) โดยทำเหมือนกันทุกขั้นตอนแต่ไม่ใส่ตัวอย่าง นำพลาสติกซ้ำ 1 หาโปรตีนจะได้ $mg_{โปรตีน}$ และ $B_{โปรตีน}$ สำหรับพลาสติกซ้ำ 2 นำไปหาเถ้า โดยเผาที่อุณหภูมิ 525 องศาเซลเซียส นาน 5 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นใน โถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนัก จะได้ $mg_{เถ้า}$ และ $B_{เถ้า}$

$$\text{ปริมาณใยอาหาร (ร้อยละ)} = \frac{[(R_1+R_2)/2] - mg_{โปรตีน} - mg_{เถ้า} - B}{(M_1+M_2)/2} \times 100$$

โดย residue weight (R) = (residue+ซีไลท์+ครุชเชิล)_{หลังอบ} - (ซีไลท์+ครุชเชิล)

$$\text{เมื่อ } B = ((B_1+B_2)/2) - B_{โปรตีน} - B_{เถ้า}$$

B = แบลнк (Blank) (มิลลิกรัม)

B_1, B_2 = residue weight ของแบลнк (มิลลิกรัม)

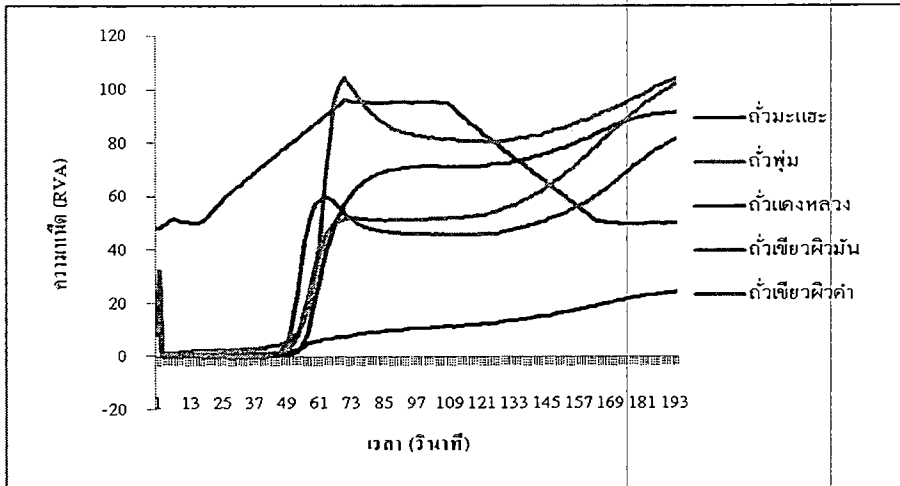
R_1, R_2 = residue weight ของตัวอย่าง (มิลลิกรัม)

M_1, M_2 = น้ำหนักของตัวอย่าง (มิลลิกรัม)

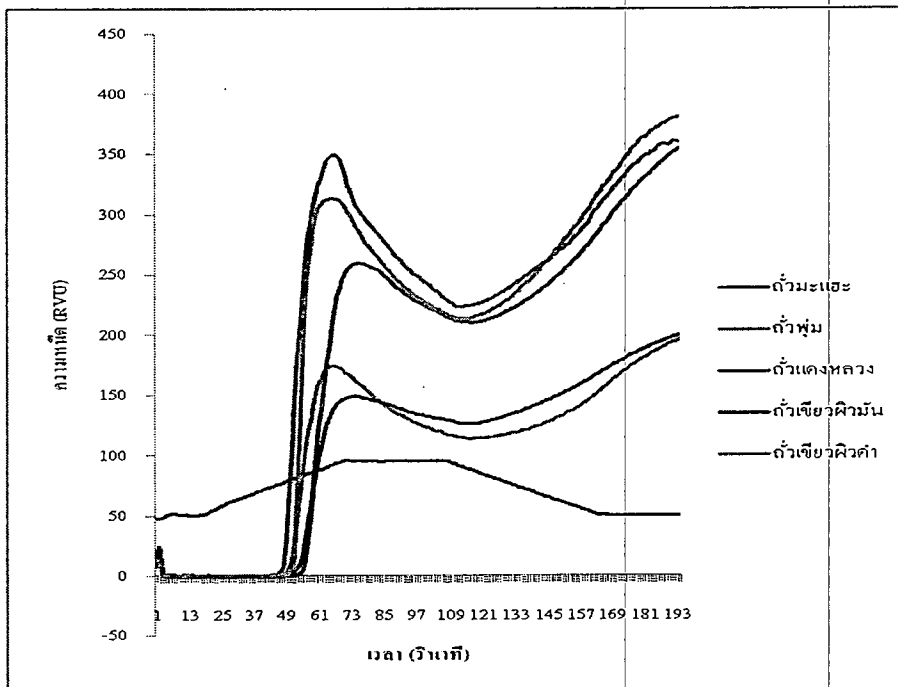
ภาคผนวก ข

กราฟสมบัติทางความหนืด (pasting properties)

1. สมบัติทางความหนืดของแป้ง (flour) และสตาร์ช (starch) จากถั่วชนิดต่างๆ

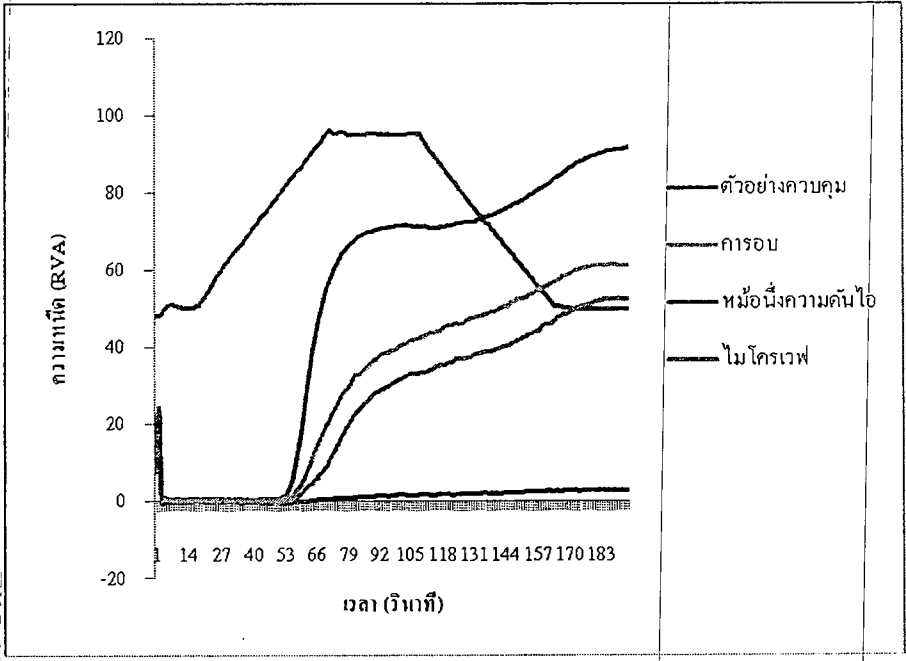


ภาพที่ ข-1 สมบัติทางความหนืดของแป้งจากถั่วชนิดต่างๆ

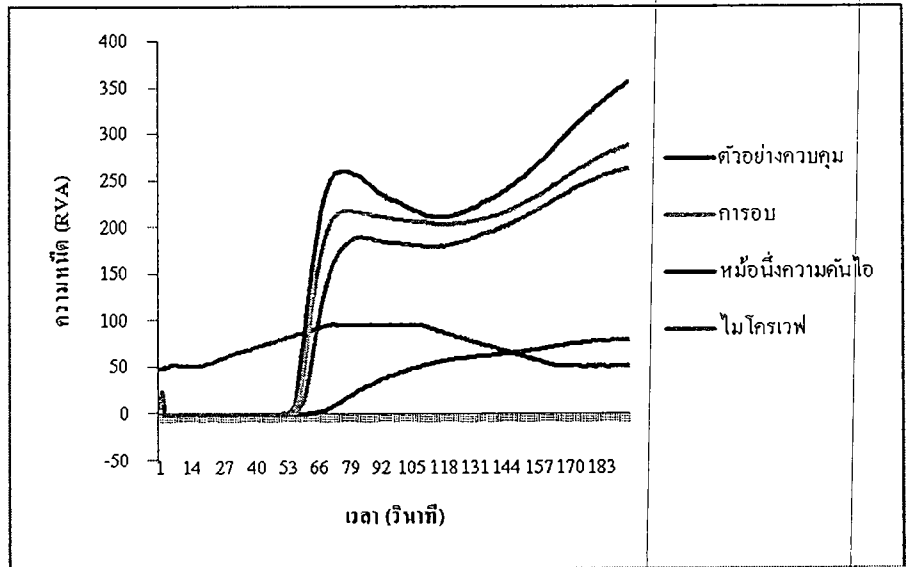


ภาพที่ ข-2 สมบัติทางความหนืดของสตาร์ชจากถั่วชนิดต่างๆ

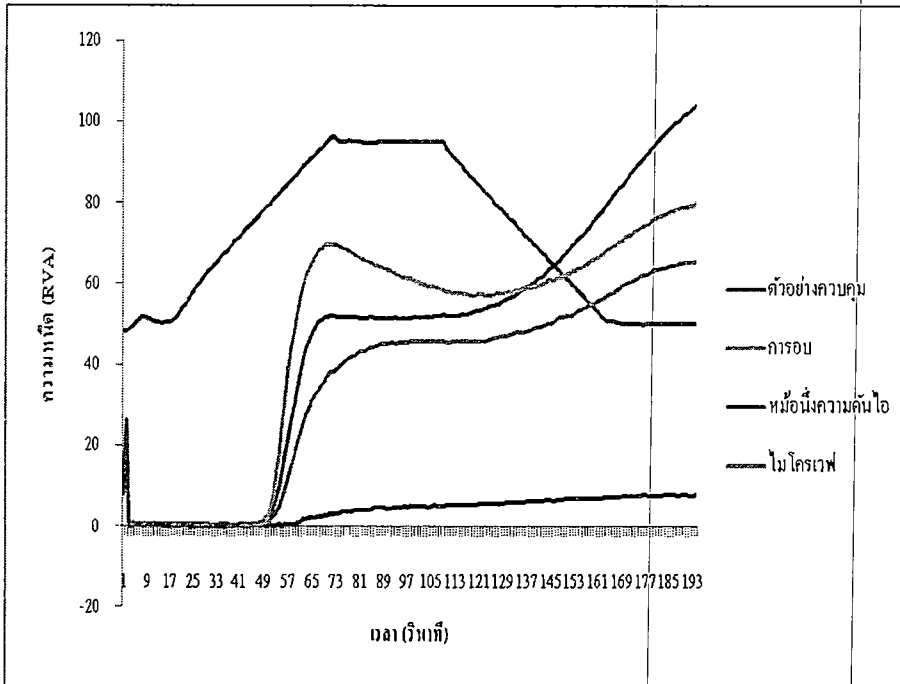
2. ผลของเทคนิควิธีการที่ใช้ในการตัดแปรแป้ง (flour) และสตาร์ช (starch) จากถั่วชนิดต่างๆ ต่อสมบัติทางความหนืด



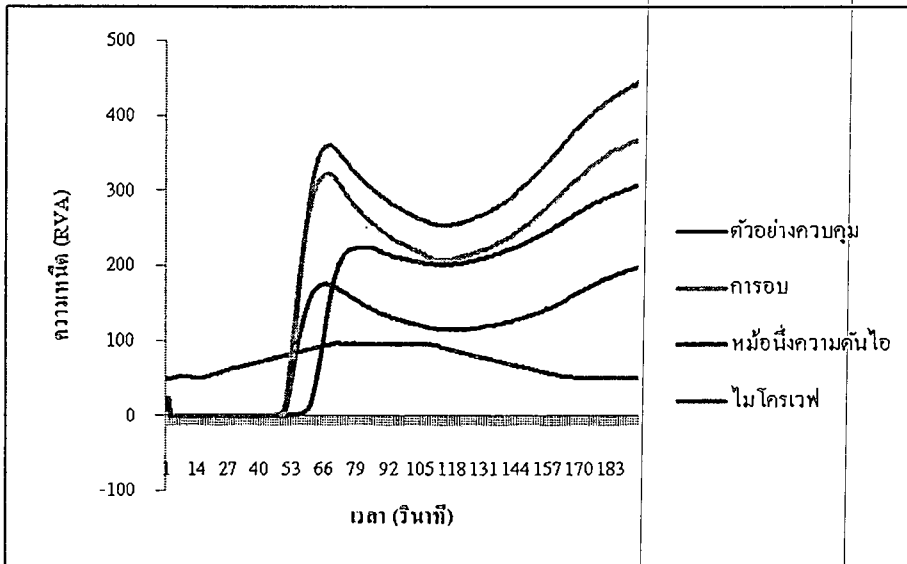
ภาพที่ ข-3 ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อสมบัติทางความหนืดของแป้งจากถั่วมะแฮะ



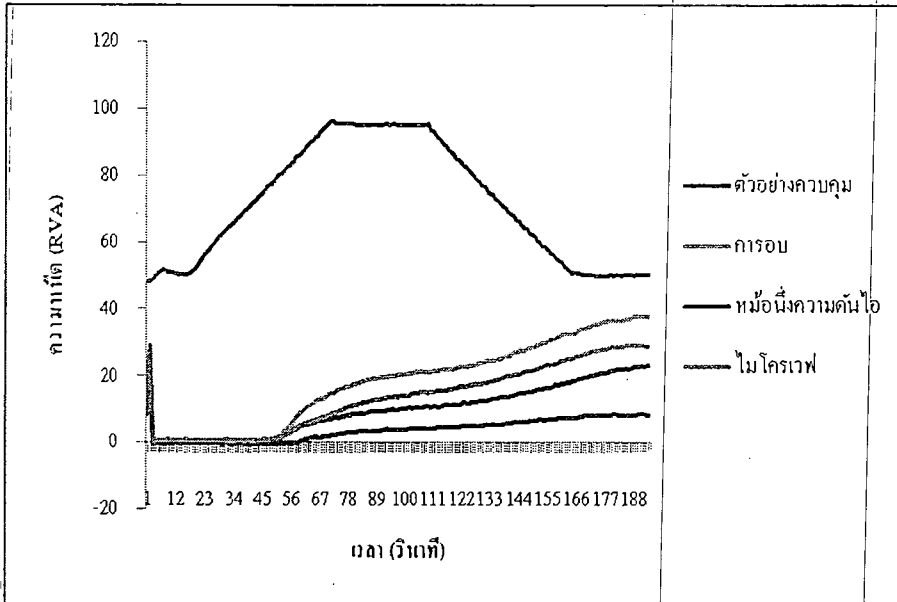
ภาพที่ ข-4 ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อสมบัติทางความหนืดของสตาร์ชจากถั่วมะแฮะ



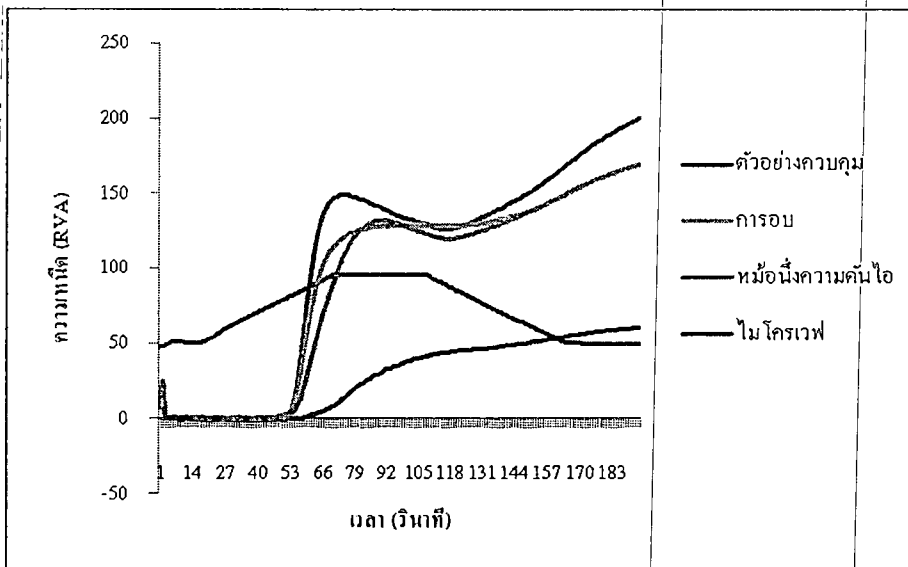
ภาพที่ ข-5 ผลของวิธีการตัดแปรรูปต่างๆ ต่อสมบัติทางความหนืดของแป้งจากถั่วพุ่ม



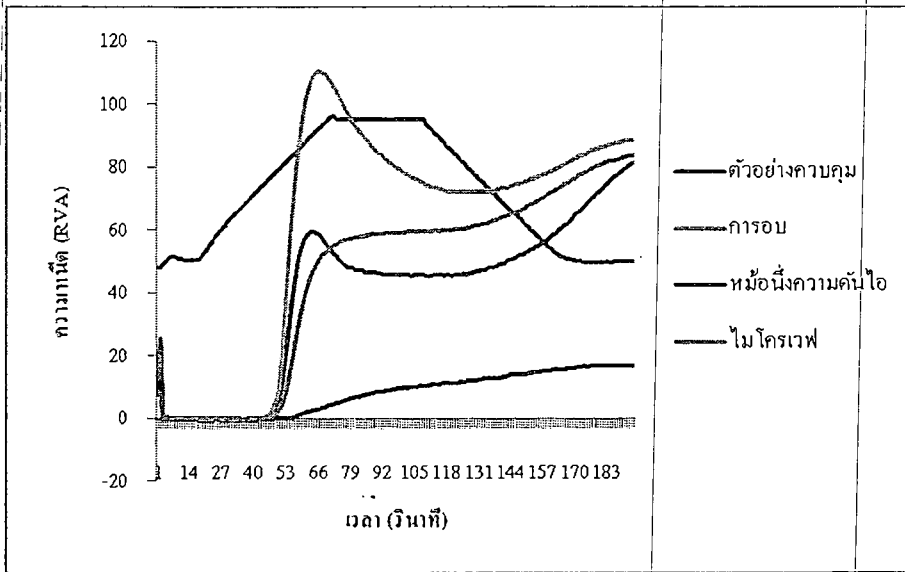
ภาพที่ ข-6 ผลของวิธีการตัดแปรรูปต่างๆ ต่อสมบัติทางความหนืดของสตาร์ชจากถั่วพุ่ม



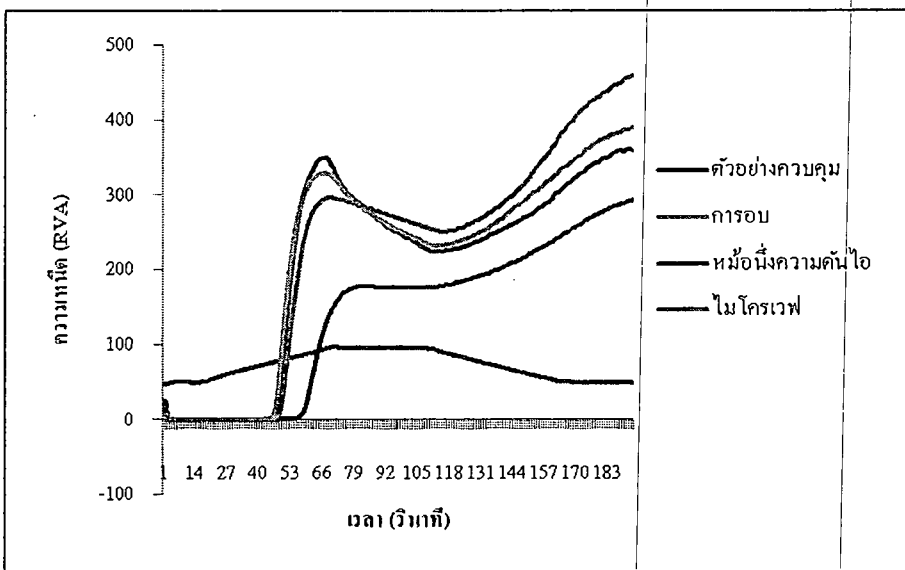
ภาพที่ ข-7 ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อสมบัติทางความหนืดของแป้งจากถั่วแดงหลวง



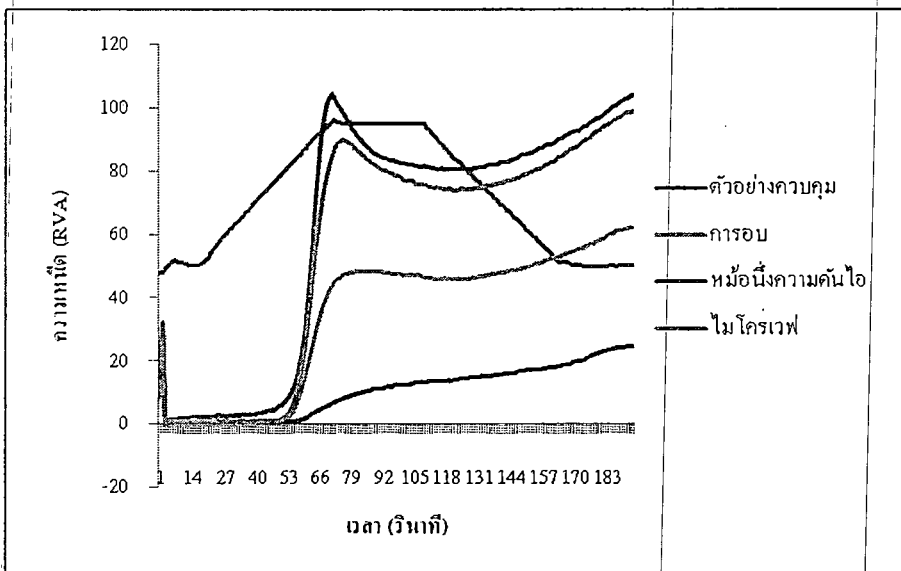
ภาพที่ ข-8 ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อสมบัติทางความหนืดของสตาร์ชจากถั่วแดงหลวง



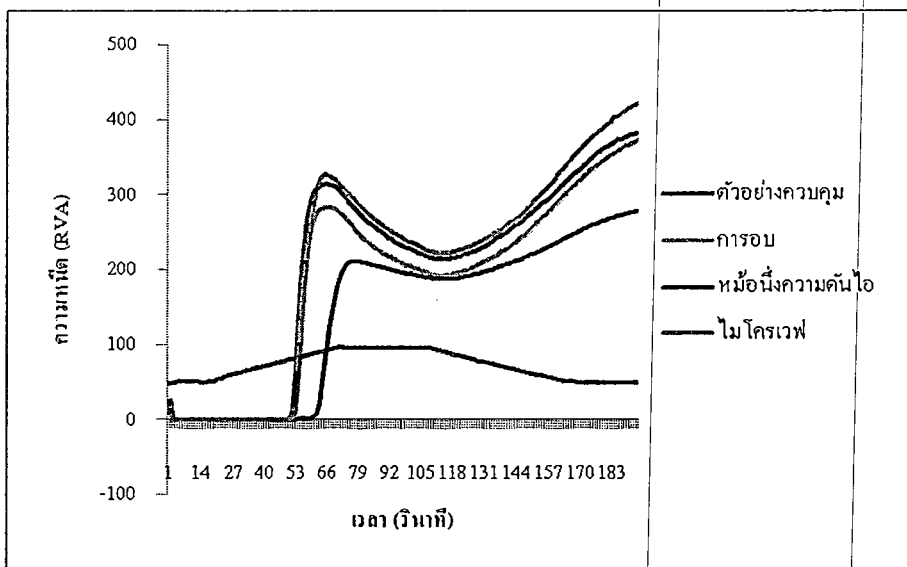
ภาพที่ ข-9 ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อสมบัติทางความหนืดของแป้งจากถั่วเขียวผิวมัน



ภาพที่ ข-10 ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อสมบัติทางความหนืดของสตาร์ชจากถั่วเขียวผิวมัน



ภาพที่ ข-11 ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อสมบัติทางความหนืดของแป้งจากถั่วเขียวผิวดำ

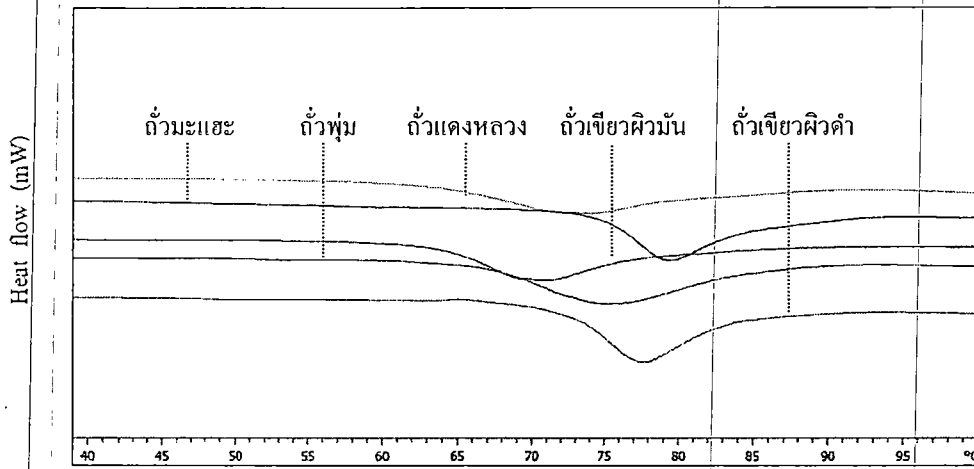


ภาพที่ ข-12 ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อสมบัติทางความหนืดของสสารขจากถั่วเขียวผิวดำ

ภาคผนวก ค

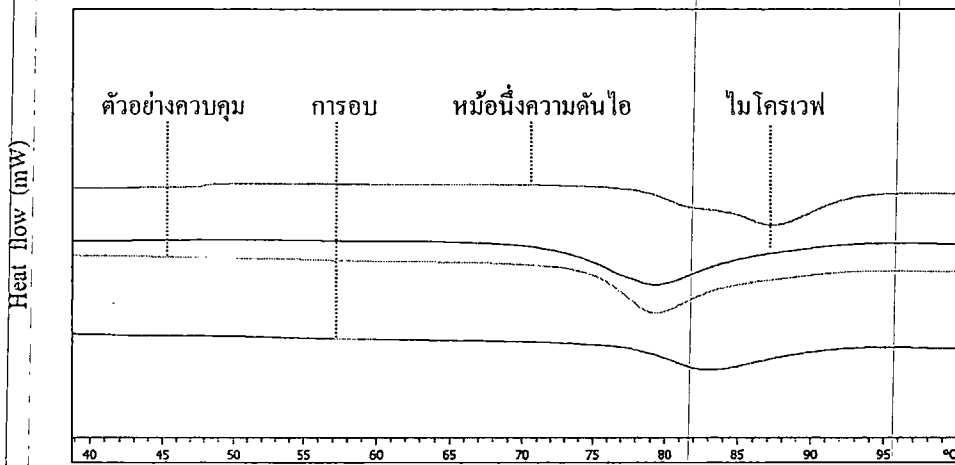
กราฟสมบัติทางความร้อน (thermal properties)

1. สมบัติทางความร้อนของสตาร์ช (starch) จากถั่วชนิดต่างๆ



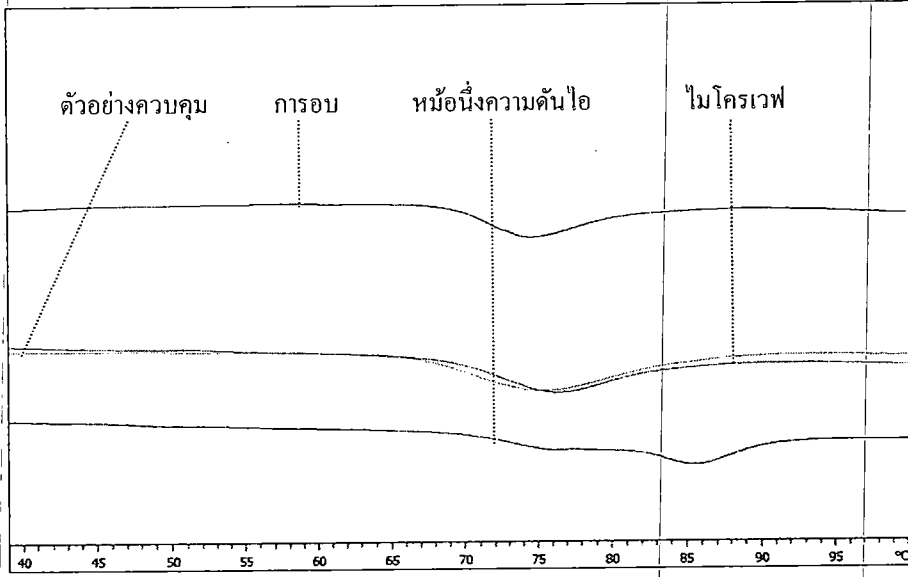
ภาพที่ ค-1 สมบัติทางความร้อนของแป้งจากถั่วชนิดต่างๆ

2. ผลของเทคนิควิธีการที่ใช้ในการดัดแปรสตาร์ช (starch) จากถั่วชนิดต่างๆ ต่อสมบัติทาง ความร้อน



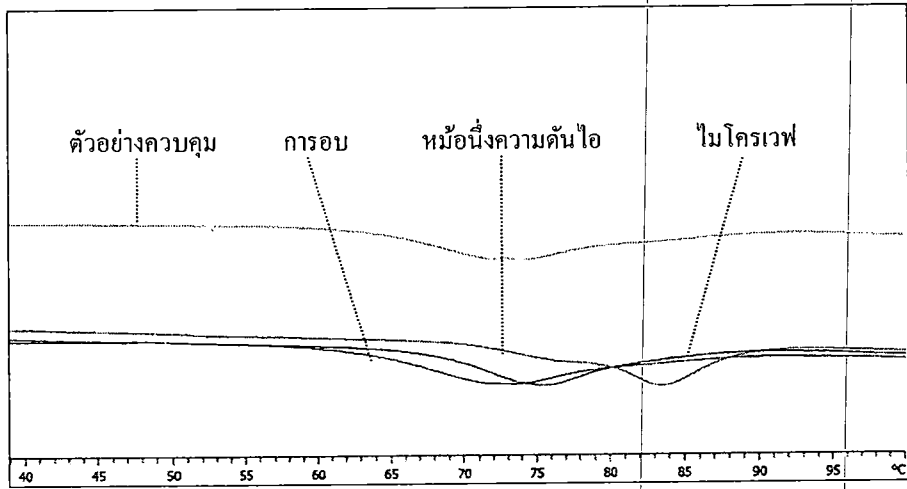
ภาพที่ ค-2 ผลของวิธีการดัดแปรต่างๆ ต่อสมบัติทางความร้อนของสตาร์ชจากถั่วมะแฮะ

Heat flow (mW)



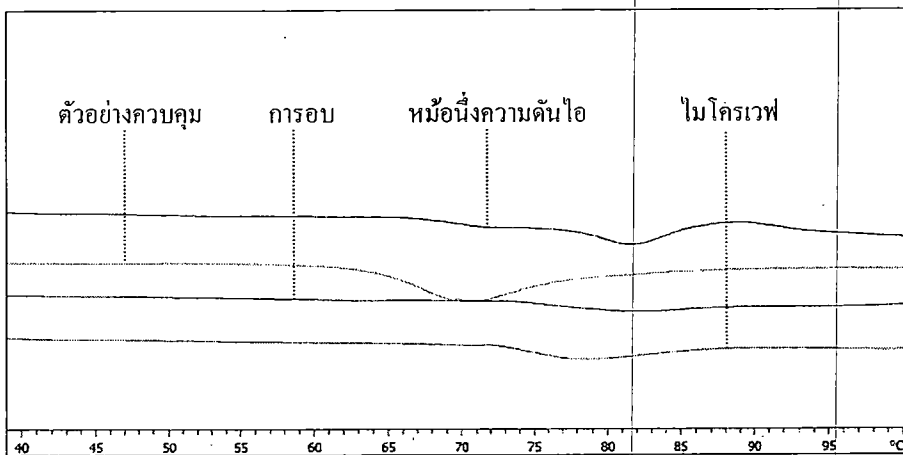
ภาพที่ ก-3 ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อสมบัติทางความร้อนของสตาร์ชจากถั่วพุ่ม

Heat flow (mW)



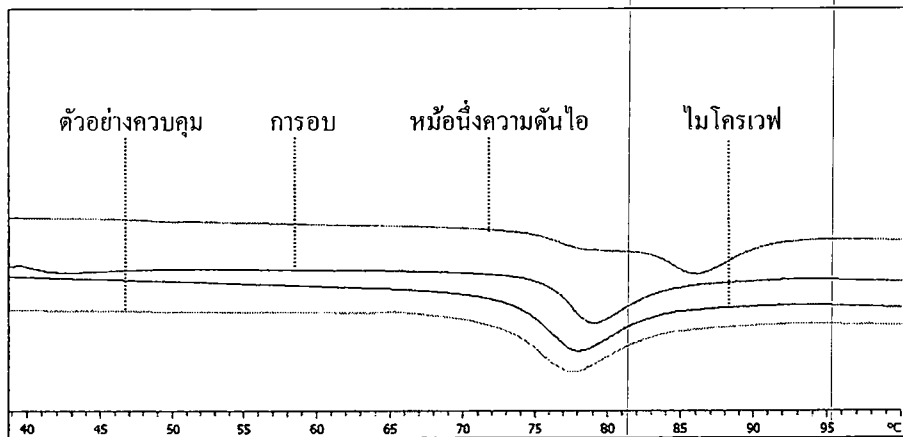
ภาพที่ ก-4 ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อสมบัติทางความร้อนของสตาร์ชจากถั่วแดงหลวง

Heat flow (mW)



ภาพที่ ก-5 ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อสมบัติทางความร้อนของสตาrch จากถั่วเขียวผิวนั้น

Heat flow (mW)



ภาพที่ ก-6 ผลของวิธีการตัดแปรต่างๆ ต่อสมบัติทางความร้อนของสตาrch จากถั่วเขียวผิวดำ

ภาคผนวก ง
ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล นางนภัสรพี เหลืองสกุล

หน้าที่การงานปัจจุบัน อาจารย์

ตำแหน่ง อาจารย์

ประวัติการศึกษาสูงสุด

- วท.ค. (เทคโนโลยีทางอาหาร) เทคโนโลยีทางอาหาร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2553

- วท.ม. (เทคโนโลยีทางอาหาร) เทคโนโลยีทางอาหาร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2544

- วท.บ. (เทคโนโลยีทางอาหาร) เทคโนโลยีทางอาหาร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2535

สถานที่ติดต่อ คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ถนน
ฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

E-mail: klarunee@kmitl.ac.th, napasrapiluangsakul323@hotmail.com

วิชาที่สอน: Food Analysis, Principles of agriculture industry, Bakery science and products Cereal
science and products, Technology of biscuit, cookies and crackers.

ประสบการณ์วิจัยหรือสาขาที่ชำนาญ: Bakery science and products, Sourdough technology, Science of
Chinese steamed bun, Cereal science and products, Rice products, The properties of flour and starch
and their utilization.

ประสบการณ์การรับการอบรม

- Basic Cookies & Crackers Short Course organized by U.S. Wheat Associates, July 12 – 23,
1993, Bangkok, Thailand.

- ‘Du ble au pain: decouverte de la boulangerie francaise (From wheat to bread: initiation to
French bakery)’ in the CFA CM.CCI du Cher (Bourges, France) from September 18 – October 5, 2012.

ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์/สิ่งประดิษฐ์/สิทธิบัตร

ปี 2554

- ชื่อ โครงการ: องค์ประกอบและสมบัติทางเคมีกายภาพของฟลาวัวร์และสตาร์ชแห้วจีน
Eleocharis dulcis Trin.) ที่อายุเก็บเกี่ยวแตกต่างกัน

แหล่งทุนที่ให้การสนับสนุน คณะอุตสาหกรรมเกษตร สจล. (ทุนรายได้) งบประมาณที่ได้รับ
50,000 บาท

ปี 2555

1. ชื่อโครงการ: ปริมาณสตาร์ชทนย่อยในพืชตระกูลถั่วที่ปลูกในไทยและผลของกระบวนการให้ความร้อนต่อปริมาณสตาร์ชทนย่อยและสมบัติทางความร้อน

แหล่งทุนที่ให้การสนับสนุน คณะอุตสาหกรรมเกษตร สจล. (ทุนรายได้) งบประมาณที่ได้รับ 95,000 บาท

2. ชื่อโครงการ: การผลิตขาลาเปาด้วยกล้าเชื้อผสมแบคทีเรียกรดแลคติกและยีสต์ที่คัดเลือก

แหล่งทุนที่ให้การสนับสนุน เงินวิจัยงบประมาณแผ่นดิน (วช) งบประมาณที่ได้รับ 300,000 บาท

ปี 2556

- ชื่อโครงการ: ผลของวิธีการแปรรูปต่อความสามารถในการถูกย่อยของสตาร์ชในหลอดทดลองในถั่วมะแฮะ ถั่วแดงหลวง และสตาร์ชแห้วจีน และการเสริมสตาร์ชทนย่อยในขนมปัง

แหล่งทุนที่ให้การสนับสนุน คณะอุตสาหกรรมเกษตร สจล. (ทุนรายได้) งบประมาณที่ได้รับ 118,000 บาท

ผลงานตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ (จำแนกระดับชาติและระดับนานาชาติหรือเทียบเท่า)

การตีพิมพ์วารสารวิชาการ

Luangsakul, N. 2003. Varietal Differences of Thai Glutinous Rice in relation to Quality Characteristics of Traditional Thai Rice Cracker (Khao-tan). King Mongkut's Agricultural Journal. 21(3), pp 55-67. (in Thai)

Luangsakul, N., Kulmanoachwong, D. and Chivavithunekit, P. 2004. Utilization of Skipjack Fish Bone in Traditional Thai Rice Cracker (Khao-tan) for Calcium Fortification. King Mongkut's Agricultural Journal. 22(1), pp 61-69. (in Thai)

Keeratipibul, S., Luangsakul, N. and Lertsatchayarn, T. 2008. The effect of Thai glutinous rice cultivars, grain length and cultivating locations on the quality of rice cracker (arare). LWT Food Science and Technology, 41, 1934-1943.

Luangsakul, N, Keeratipibul, S, Jindamorakot, S. and Tanasupawat, S. 2009. Lactic acid bacteria and yeasts isolated from the starter doughs for Chinese steamed buns in Thailand. LWT-Food Science and Technology, 42, 1404-1412.

Keeratipibul, S., Luangsakul, N., Otsuka, S., Sakai, S., Hatano, Y. and Tanasupawat, S. 2010. Application of the Chinese steamed bun starter dough (CSB-SD) in breadmaking. Journal of Food Science, 75, 596-604.

Keeratipibul, S., Luangsakul, N., Otsuka, S., Sakai, S., Hatano, Y. and Tanasupawat, S. 2012. Effects of the amount of Chinese steamed bun starter dough (CSB-SD) and the activation time on dough

and bread properties. *Journal of Food Processing and Preservation*, doi:10.1111/j.1745-4549.2011.00640.x.

การประชุมวิชาการ (ฉบับเต็ม)

- Chupanit, W., Mulser, C. and Luangsakul, N. 2003. Utilization of Red Snapper Fish Bone In Butter Cookies for Calcium Fortification. In Proceedings of the 5th Agro-Industrial Conference THAIFEX AND THAIMEX 2003. Bitec Convention Center, Bangkok. 30th-31st May, 2003: pp: 282- 288. (in Thai)
- Luangsakul, N. 2004. Effect of Processing Parameters in relation to Qualities of Traditional Thai Fried Rice Cracker (Khao-Tan). In Proceedings of the 1st KMITL International Conference on Integation of Science and Technology for Sustainable Development. KMITL, Bangkok. Thailand. 24th-26th August, 2004: pp: 379-384.
- Luangsakul, N., Katekasem, P., Suksawang, M. and Pomanansiri, S. 2011 The effects of the amount and type of wheat flour and mixing method on the quality of fortune cookies. In Proceedings of the 49th Kasetsart University Annual Conference. Kasetsart University, Bangkok. Thailand. 1st-4th February, 2011: pp: 290-298. (in Thai)
- Luangsakul, N., Siamtong, A., Wongthida, T., and Punga, U. 2011. Effects of dough sheeting, dough weight and proofing temperature on dough and bread properties using no-time dough method. In Proceedings of The 12th Asean Food Conference 2011. BITEC Bangna, Bangkok, Thailand 16th-18th June, 2011: pp: 556-559.
- Lunawa P. and Luangsakul, N. 2012. Composition and physicochemical properties of starch isolated from Chinese Water Chestnut (*Eleocharisdulcis* Trin.). 1st Asean plus three graduate research congress; 2012 March 1-2; Chaingmai, Thailand.
- Luangsakul, N., Ruenpirom, S. and Boothsri, A. 2012. Pasting properties of Chinese water chestnut (*Eleocharisdulcis* Trin.) starch and textural properties of its gel. In Proceedings of the 14th Food Innovation Asia Conference 2012. BITEC Bangna, Bangkok, Thailand 14th-15th June, 2012: pp: 37-42.
- Luangskul, N., Apiwong, P., Reungsang, M. and Kaewmon, A. 2012 Development of freeze-dried snack from Chinese water chestnut (*Eleocharisdulcis* Trin.). In Proceedings of the 14th Food Innovation Asia Conference 2012. BITEC Bangna, Bangkok, Thailand 14th-15th June, 2012: pp: 318-324.

การประชุมวิชาการ (ฉบับบทคัดย่อ)

- Khopalasure, S, Sungsrin, A. and Luangsakul, N. 2005. Development of Butter Cake for Strict Vegetarians. In Proceedings of the 7th Agro-Industrial Conference 2005. Bitec Convention Center, Bangkok. 22nd-24th June , 2005. (in Thai)
- Luangsakul, N., Maeda, T., Lertsachayarn, T., Morita, N. and Keeratipibul, S. 2008. Characteristics of two cultivars of Thai glutinous rice and their application to the rice crackers (arare) In Proceedings of the 2nd International Symposium on Rice and Disease Prevention, Wakayama Prefectural Culture Hall, Wakayama, Japan, 26th-27th October, 2008.
- Luangsakul, N. and Jaikwang, K. 2012. Characteristics of Chinese steamed bun made from Thai traditional fermentation starter (Loog-Pang). In Proceedins of the V Symposium on Sourdough Cereal Fermentation for Future Foods, Hotel Hilton Strand, Helsinki, Finland, 10th-12th October, 2012.
- Luangsakul, N. and Puttongsiri, T. 2012 Volatile compounds of a commercial Chinese steamed bun made from a Thai traditional fermentation starter (Loog-Pang). In Proceedins of the V Symposium on Sourdough Cereal Fermentation for Future Foods, Hotel Hilton Strand, Helsinki, Finland, 10th-12th October, 2012.

หนังสือ

- Keeratipibul S. and Luangsakul N. 2012. Chinese steamed buns. In Handbook of Plant-Based Fermented Food and Beverage Technology, 2ed, edited by Y. H. Hui; E. Özgül Evranuz, CRC presss, NY.

รางวัล

- Young Investigator's Award, the excellent paper of Characteristics of two cultivars of Thai glutinous rice and their application to the rice crackers (arare) in *the 2nd International Symposium on Rice and Disease Prevention*, 26th-27th October, 2008. Wakayama, Japan.

ภาคผนวก จ

ผลงานนำเสนอในงานการประชุมวิชาการอุตสาหกรรมเกษตร สจล. ครั้งที่ 1

“อุตสาหกรรมเกษตรไทยเทคโนโลยีก้าวหน้า”

ปริมาณสตาร์ชทนย่อยและสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งจากพืชตระกูลถั่ว

Resistant starch content and physicochemical properties of legumes flour

จริยา สุขสวัสดิ์¹ และนภสรพี เหลืองสกุล¹

Chariya Suksawat¹ and Naphatrapi Luangsakul¹

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ เพื่อศึกษาปริมาณสตาร์ชทนย่อยและสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้ง (Flour) จากพืชตระกูลถั่ว โดยศึกษาในถั่ว 5 ชนิด ได้แก่ ถั่วแดงหลวง (*Phaseolus vulgaris*) ถั่วเขียวผิวมัน (*Vigna radiate*) ถั่วเขียวผิวดำ (*Vigna mungo radiate*) ถั่วมะแฮะ (*Cajanus cajan*) และถั่วพุ่ม (*Vigna unguiculata*) ผลการศึกษาพบว่า แป้งถั่วมะแฮะมีปริมาณสตาร์ชทนย่อยมากกว่าแป้งถั่วแดงหลวง แป้งถั่วเขียวผิวดำ แป้งถั่วพุ่ม และแป้งถั่วเขียวผิวมัน ตามลำดับ (ร้อยละ 6.2, 5.4, 2.8, 2.3 และ 0.9 ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ) ปริมาณใยอาหารทั้งหมดพบในแป้งถั่วแดงหลวงและแป้งถั่วเขียวผิวดำมากที่สุด (ร้อยละ 17.8 ของน้ำหนักแห้ง) แป้งถั่วทั้งหมดที่ศึกษามีปริมาณอะไมโลสและปริมาณสตาร์ชทั้งหมดอยู่ในช่วงร้อยละ 22.3 ถึง 28.3 และร้อยละ 26.7 ถึง 31.1 ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ผลของสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืด (Pasting properties) ของแป้งถั่วชนิดต่างๆ พบว่า อุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงความหนืด (Pasting temperature) ของแป้งถั่วที่ศึกษาอยู่ในช่วง 73.4 ถึง 82.5 องศาเซลเซียส แป้งถั่วพุ่มและแป้งถั่วแดงหลวงมีความหนืดสูงสุด (Peak viscosity) เท่ากับ 676.0 และ 104.0 BU ตามลำดับ ค่าการแตกสลายของเม็ดแป้ง (Breakdown) พบว่าแป้งถั่วเขียวผิวมัน แป้งถั่วพุ่ม และแป้งถั่วเขียวผิวดำมีค่า 179.0, 135.0 และ 132.0 BU ตามลำดับ สำหรับค่าการคืนตัวของแป้งหลังทำให้เย็นตัวลง (Setback) พบว่าในแป้งถั่วเขียวผิวดำมีค่าติดลบ แสดงว่าเจลที่เย็นตัวแล้วของแป้งที่ได้มีความนุ่มมากกว่า เจลของแป้งถั่วชนิดอื่นที่ศึกษา

คำสำคัญ: แป้งถั่ว ปริมาณอะไมโลส สตาร์ชทนย่อย สมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืด

Abstract

The aim of this work was to study the resistant starch content and physicochemical properties of five types of legume flours (red kidney bean (*Phaseolus vulgaris*), mungbean (*Vigna radiate*), black gram (*Vigna mungo radiate*), pigeon pea (*Cajanus cajan*) and cowpea (*Vigna unguiculata*)). The

results showed that the resistant starch content of pigeon pea, red kidney bean, black gram, cowpea and mungbean flours were 6.2, 5.4, 2.8, 2.3 and 0.9% db, respectively. Red kidney bean and black gram flours had the highest total dietary fiber content (17.8% db). The amylose content and total starch content of all studied legume flours ranged from 22.3 to 28.3 and 26.7 to 31.1% db, respectively. The results of pasting properties showed that pasting temperature of all studied legume flours ranged from 73.4 to 82.5°C. The peak viscosity of cowpea and red kidney bean flours were 676.0 and 104.0 BU, respectively, while the Breakdown of mungbean, cowpea and black gram flours were 179.0, 135.0 and 132.0 BU, respectively. Regarding the setback, it was found that black gram flour exhibited the negative value, inferring that its cooled gel was softer, compared to than of other studied flours.

Keyword: legumes flour, amylose content, resistant starch, pasting properties

บทนำ

Resistant Starch (RS) หรือสตาร์ชทนย่อย ซึ่งเป็นสตาร์ชที่ไม่สามารถย่อยโดยเอนไซม์ ที่มีอยู่ในกระเพาะและ ลำไส้เล็กของมนุษย์ ในปัจจุบันสตาร์ชทนย่อยยังจัดอยู่ในกลุ่มสารอาหารประเภทพรีไบโอติก (Prebiotic) และเป็นส่วนประกอบอาหารประเภทลดพลังงาน (Low-calorie food ingredient) สตาร์ชทนย่อยสามารถพบได้ในธรรมชาติในอาหารประเภทธัญพืช มันฝรั่ง ผัก ผักและผลไม้ อาหารจำพวกถั่ว (Legumes) ถั่วเขียว ถั่วดำ และอาหารที่ผ่านการแปรรูปบางชนิด เป็นต้น (สิริลักษณ์ ภักดีศรีพันธ์ และ จันทน์ อูริยะพงษ์สรณ์, 2553; Lunn และ Buttriss, 2007) สำหรับพืชตระกูลถั่ว นอกจากเป็นพืชที่ให้โปรตีนแล้ว ยังมีปริมาณสตาร์ชทนย่อยที่สูง Yadav และคณะ (2010) พบว่า พืชตระกูลถั่วมีปริมาณสตาร์ชทนย่อยที่สูงกว่าธัญพืชประเภทข้าวสาลี ข้าว และข้าวบาร์เลย์ พืชตระกูลถั่วจึงเป็นวัตถุดิบที่น่าสนใจในการที่จะศึกษาถึงปริมาณสตาร์ชทนย่อย ในประเทศไทยมีพืชตระกูลถั่วมากมายหลายชนิด ซึ่งยังไม่มีรายงานการศึกษาถึงปริมาณสตาร์ชทนย่อย ดังนั้นในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณสตาร์ชทนย่อย และสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งจากพืชตระกูลถั่ว เพื่อที่จะสามารถเพิ่มมูลค่าของพืชตระกูลถั่วที่ปลูกในไทยให้เป็นส่วนประกอบอาหารที่มีคุณค่าทางอาหารสูง และยังมีศักยภาพที่จะนำมาใช้เป็นส่วนประกอบในอาหารเพื่อสุขภาพ (Functional foods)

อุปกรณ์และวิธีการ

1. วัตถุดิบ

ถั่วมะฮะ (Pigeon pea; *Cajanus cajan*) พันธุ์ขอนแก่น ถั่วพุ่ม (Cowpea; *Vigna unguiculata ssp. unguiculata*) พันธุ์อุบลราชธานี ถั่วแดงหลวง (Red kidney bean; *Phaseolus vulgaris*) พันธุ์หมากจ๋าม ถั่ว

เขียวผิวมัน (Mungbean; *Vigna radiate*) พันธุ์ชัยนาท 72 และถั่วเขียวผิวดำ (Black gram; *Vigna mungo*) พันธุ์ชัยนาท 80 โดยใช้เมล็ดสมบูรณ์ไม่มีตำหนิ เช่น แมลงเจาะ เมล็ดแตกหัก

2. การเตรียมแป้งถั่วชนิดต่างๆ

เตรียมแป้งถั่วชนิดต่างๆ โดยคัดแปลงจากวิธีของ สมชาย ประภาวัต และคณะ (2541) นำเมล็ดถั่วชนิดต่างๆ มาแยกกะเทาะให้แตกออกเป็น 2-3 ซีก โดยใช้เครื่องกะเทาะเปลือกถั่ว และนำมาล้างน้ำ 3 ครั้ง จนสะอาด ก่อนนำไปแช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แยกเอาเปลือกออกโดยใช้น้ำล้าง และรินเอาเปลือกออกจนหมดทำให้สะเด็ดน้ำ แล้วนำถั่วที่ได้ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิประมาณ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 ชั่วโมง นำมาบดละเอียดโดยผ่านรูดะแกรงขนาด 0.25 มิลลิเมตร ได้เป็นแป้งถั่ว

3. ศึกษาปริมาณสตาร์ชทนย่อยและสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งถั่วชนิดต่างๆ

3.1 ศึกษาปริมาณสตาร์ชทนย่อย (Resistant starch content) ของสตาร์ชถั่วชนิดต่างๆ ที่ยังไม่ได้ผ่านการดัดแปร ตามวิธีของ AOAC Method 2002.02 (2005) โดยใช้ชุดทดสอบ Resistant Starch Assay Kit (Megazyme, Ireland)

3.2 ศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งถั่วชนิดต่างๆ ที่ยังไม่ได้ผ่านการดัดแปร ดังนี้

- วิเคราะห์หาปริมาณความชื้น โดยวิธี AOAC Method 925.10 (2000)
- ปริมาณอะมิโลส ตามวิธีของ Juliano (1971)
- ปริมาณสตาร์ช (Starch content) ตามวิธีของ AOAC Method 996.11 (2005) โดยใช้ชุดทดสอบ Total Starch Assay Kit (Megazyme, Ireland)

- ปริมาณใยอาหารทั้งหมด (Total dietary fiber) ตามวิธีของ AOAC Method 985.29 (2005) โดยใช้ชุดทดสอบ Dietary Fiber Assay Kit (Megazyme, Ireland)

- สมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งถั่ว (Pasting properties) โดยคัดแปลงจากวิธีของ Adebawale และ Lawal (2002) โดยใช้เครื่อง Brabender visco/amylograph (Kulturstr D-47055, Germany) ซึ่งจะเตรียมน้ำแป้งให้มีความเข้มข้นประมาณ ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ตั้งโปรแกรมเครื่องให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นในอัตรา 1.5 องศาเซลเซียสต่อนาที จนกระทั่งอุณหภูมิสูงถึง 95 องศาเซลเซียส คงอุณหภูมิไว้ 15 นาที แล้วจึงลดอุณหภูมิตกลงในอัตราเดียวกัน จนถึงอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และคงไว้ที่อุณหภูมินี้ 15 นาที บันทึกค่า Pasting temperature และ Peak viscosity (PV) นอกจากนี้ยังมีค่า Breakdown (PV-Start of cooling period), Consistency (End of cooling period - Start of cooling period) และ Setback (End of final holding period-PV)

4. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยทำการทดลองซ้ำ 3 ซ้ำ ออกแบบการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test วิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรม SPSS ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และนำผลการวิเคราะห์ที่ได้มานำเสนอด้วยเทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis, PCA) โดยใช้โปรแกรม R ในการวิเคราะห์

ผลการทดลองและวิจารณ์

Table 1 แสดงปริมาณองค์ประกอบต่างๆ ในแป้งถั่ว (ความชื้น อะไมโลส ไยอาหารทั้งหมด สตาร์ชทนย่อย และสตาร์ชทั้งหมด) ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยพบว่า ปริมาณอะไมโลสในแป้งถั่วทั้งหมดที่ศึกษามีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 22.3 ถึง 28.3 ขณะที่ปริมาณสตาร์ชทั้งหมดจะพบอยู่ในช่วงร้อยละ 26.7 ถึง 31.1 ของน้ำหนักแห้ง โดยแป้งถั่วเขียวผิวมันมีปริมาณอะไมโลส และปริมาณสตาร์ชทั้งหมดมากที่สุด (ร้อยละ 28.3 และร้อยละ 31.1 ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ) Chung และคณะ (2008a) รายงานว่าปริมาณอะไมโลส และปริมาณสตาร์ชทั้งหมดที่พบในแป้งจากพืชตระกูลถั่ว อยู่ในช่วงร้อยละ 10.8 ถึง 15.9 และร้อยละ 46.0 ถึง 49.4 ตามลำดับ สำหรับ Chung และคณะ (2008b) รายงานปริมาณอะไมโลสของถั่วแดงหลวง พบว่า มีค่าร้อยละ 9.4 และมีปริมาณสตาร์ชทั้งหมดร้อยละ 39.8 ขณะที่ Adebooye และ Singh (2008) รายงานถึงปริมาณอะไมโลสในแป้งถั่วพุ่ม พันธุ์ C-152 (เมล็ดใหญ่) และ S-1552 (เมล็ดเล็ก) มีปริมาณร้อยละ 18.7 และ 17.0 ตามลำดับ แป้งถั่วแดงหลวงและแป้งถั่วเขียวผิวดำมีปริมาณใยอาหารทั้งหมดมากที่สุดเท่ากับร้อยละ 17.8 ของน้ำหนักแห้ง ขณะที่แป้งถั่วมะสะ แป้งถั่วพุ่มและแป้งถั่วเขียวผิวมันมีปริมาณใยอาหารร้อยละ 14.8 10.8 และ 8.5 ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ จากการทดลองของ Yadav และคณะ (2010) รายงานว่าปริมาณของใยอาหารทั้งหมดในแป้งจากพืชตระกูลถั่ว อยู่ในช่วงร้อยละ 17.2 ถึง 24.9 ของน้ำหนักแห้ง

ปริมาณสตาร์ชทนย่อยจะพบในแป้งถั่วมะสะมากกว่าแป้งถั่วแดงหลวง แป้งถั่วเขียวผิวดำ แป้งถั่วพุ่ม และแป้งถั่วเขียวผิวดำ ตามลำดับ (ร้อยละ 6.2, 5.4, 2.8, 2.3 และ 0.9 ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ) Yadav และคณะ (2010) รายงานว่า พบปริมาณสตาร์ชทนย่อยในพืชตระกูลถั่วที่ศึกษาอยู่ในช่วงร้อยละ 3.2 ถึง 4.6 โดยพบอยู่ในถั่วแดงหลวง ร้อยละ 4.1 ขณะที่ de Almeida Costa และคณะ (2006) รายงานว่า พบปริมาณสตาร์ชทนย่อยในพืชตระกูลถั่วที่ศึกษาอยู่ในช่วงร้อยละ 2.5 ถึง 3.7

Table 2 แสดงสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดของของแป้งชนิดต่างๆ ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) อุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงความหนืด (Pasting temperature) ของแป้งถั่วทั้งหมดที่ศึกษาอยู่ในช่วง 73.4 ถึง 82.5 องศาเซลเซียส โดยแป้งถั่วแดงหลวงมีอุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงความหนืดมากที่สุด (82.5 องศาเซลเซียส) แสดงว่า แป้งถั่วแดงหลวง สามารถต้านทาน การพองตัวและการแตกสลายของ โครงสร้างเม็ดแป้งสูงที่สุด (Singh และคณะ, 2004) ค่าความหนืดสูงสุด (Peak viscosity) ของแป้งถั่วพุ่มเท่ากับ 676.0 BU โดย Adebooye และ Singh (2008) พบค่าความหนืดสูงสุดในแป้งถั่วพุ่มพันธุ์ C-152 (เมล็ดใหญ่) และ S-1552 (เมล็ดเล็ก) เท่ากับ 900.0 และ 660.0 BU ตามลำดับ ขณะที่ Agunbiade และ Long (1999) พบค่าความหนืดสูงสุดในสตาร์ชถั่วพุ่มเท่ากับ 340.0 BU สำหรับแป้งถั่วมะสะ แป้งถั่วเขียวผิวมัน และแป้งถั่วเขียวผิวดำมีค่าความหนืดสูงสุดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) การที่ค่าความหนืดสูงสุดมีค่ามาก แสดงว่าเม็ดแป้งมีการพองตัว (Swelling power) สูง เป็นผลมาจากการจัดเรียงตัวใหม่ของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินภายในเม็ดแป้ง (Adebooye และ Singh, 2008)

Table 1 Moisture, amylose, total dietary fiber (TDF), resistant starch (RS) and total starch content of legume flours.

Samples	Moisture (% db)	Amylose (%)	TDF (% db)	RS (% db)	Starch (% db)
Pigeon pea	7.21±1.23 ^a	26.29±0.15 ^b	14.75±0.06 ^b	6.16±0.15 ^a	29.72±0.05 ^{ab}
Cowpea	5.25±0.32 ^b	26.20±0.09 ^b	10.80±0.54 ^c	2.31±0.01 ^d	26.72±0.30 ^d
Red kidney bean	5.72±0.26 ^b	22.30±0.07 ^d	17.78±0.28 ^a	5.39±0.06 ^b	28.22±0.26 ^c
Mungbean	7.67±0.17 ^a	28.34±0.03 ^a	8.45±0.25 ^d	0.91±0.01 ^c	31.07±0.84 ^a
Black gram	7.37±0.45 ^a	22.96±0.13 ^c	17.82±0.67 ^a	2.75±0.04 ^c	28.72±0.73 ^{bc}

^{a, b, c} means with different superscripts in a column are significantly difference at $p < 0.05$

Table 2 Pasting properties of legume flours.

Samples	Pasting temperature (°C)	Viscosity (BU)			
		Peak viscosity	Breakdown	Consistency	Setback
Pigeon pea	79.45±0.21 ^{ab}	466.50±0.71 ^{bc}	25.00±1.41 ^c	92.00±0.00 ^c	28.50±0.71 ^c
Cowpea	76.55±0.35 ^{bc}	676.00±1.41 ^a	135.00±5.66 ^b	264.50±4.95 ^a	56.50±12.02 ^b
Red kidney bean	82.50±2.69 ^a	104.00±11.31 ^d	0.00±0.0 ^d	63.50±0.71 ^d	64.00±0.00 ^b
Mungbean	73.40±0.14 ^c	416.00±16.97 ^c	179.00±18.38 ^a	192.50±3.54 ^b	127.00±2.83 ^a
Black gram	75.15±1.34 ^c	470.50±38.89 ^b	132.00±4.24 ^b	94.50±2.12 ^c	-36.00±1.41 ^d

^{a, b, c} means with different superscripts in a column are significantly difference at $p < 0.05$

แป้งถั่วแดงหลวงไม่พบค่าการแตกสลายของเม็ดแป้ง (Breakdown) ขณะที่แป้งถั่วเขียวผิวมันมีค่าการแตกสลายของเม็ดแป้งมากที่สุด (179.0 BU) แสดงว่า แป้งถั่วเขียวผิวมันมีความคงตัวของเม็ดแป้งในระหว่างการให้ความร้อนน้อยกว่าแป้งถั่วแดงหลวง เนื่องจากค่าการแตกสลายของเม็ดแป้ง ถ้ามีค่าน้อย แสดงว่าเม็ดแป้งมีความคงตัวต่อความร้อนสูง (Agunbiade และ Long, 1999) ความคงตัวของน้ำแป้งหลังจากทำให้เย็น (Consistency) ของแป้งถั่วแดงหลวง แป้งถั่วมะสะะ แป้งถั่วเขียวผิวดำ แป้งถั่วเขียวผิวมัน และแป้งถั่วพุ่มเท่ากับ 63.5, 92.0, 94.5, 192.5 และ 264.5 ตามลำดับ สำหรับค่าการคืนตัวของแป้งหลังทำให้เย็นตัวลง (Setback) ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากความแตกต่างของความหนืดสุดท้ายที่ได้และค่าความหนืดสูงสุด พบว่าในแป้งถั่วเขียวผิวมันมีค่ามากที่สุด อาจเนื่องมาจากมีปริมาณอะไมโลสสูง (Table 1) ขณะที่ในแป้งถั่วเขียวผิวดำมีค่าติดลบ แสดงว่าเจลที่เย็นตัวแล้วของแป้งที่ได้มีความนุ่มมากกว่าเจลของแป้งถั่วชนิดอื่นที่ศึกษา เนื่องจากค่าการคืนตัวของแป้งหลังทำให้เย็นตัวลง เป็นค่าที่แสดงถึงการจัดเรียงตัวกันใหม่ของโครงสร้างอะไมโลสภายในเม็ดแป้งหลังจากผ่านการให้ความร้อนและทำให้เย็น

(Agunbiade และ Longe, 1999; Adebooye และ Singh, 2008) ดังนั้น เมื่อค่าดังกล่าวมีค่าน้อย แสดงว่า ลักษณะของ โครงสร้างแป้งที่ได้มีการจัดเรียงตัวใหม่เกิดขึ้นน้อยจึงได้เจลที่มีความนุ่ม

เมื่อพิจารณาจาก Fig.1 ที่แสดงถึงตำแหน่งขององค์ประกอบต่างๆ และสมบัติการเปลี่ยนแปลง ความหนืด (Loading plot) และตำแหน่งของแป้งถั่วที่ศึกษาทั้งหมด (Score plot) พบว่า แผนภาพดังกล่าว สามารถอธิบายความสัมพันธ์ขององค์ประกอบและสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งถั่วชนิด ต่างๆ ได้ด้วยสององค์ประกอบหลัก (PC1 และ PC2) ที่อธิบายผลได้ถึงร้อยละ 77.9 ปริมาณสารขหน ย่อยและปริมาณใยอาหารทั้งหมด พบมากในแป้งถั่ว มะแฮะและแป้งถั่วแดงหลวงซึ่งให้ผลที่สอดคล้อง กับ Table 1 สำหรับสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืด ยกเว้นค่าการ คืบตัวหลังทำให้เย็น (Setback) สามารถอธิบายได้ด้วย PC1 กล่าวคือ แป้งถั่วพุ่มและแป้งถั่วเขียวผิวมันมีสมบัติการเปลี่ยนแปลงความ หนืดใกล้เคียงกัน ซึ่งตรงกันข้ามกับผลที่ได้จากแป้งถั่วมะแฮะและแป้งถั่วแดงหลวง ขณะที่แป้งถั่วเขียว ผิวดำจะไม่พบค่าการคืบตัวเมื่อทำให้เย็นเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งชนิดอื่นๆ ที่ศึกษา (พิจารณาจาก PC2) แต่เมื่อพิจารณาถึงปริมาณสารขหนย่อยและสมบัติทางเคมีกายภาพทั้งหมดของแป้งถั่วที่ศึกษา พบว่า แป้งถั่วแดงหลวง แป้งถั่วมะแฮะ และแป้งถั่วเขียวผิวดำมีลักษณะส่วนใหญ่ใกล้เคียงกัน เช่นเดียวกับแป้ง ถั่วเขียวผิวมันและแป้งถั่วพุ่มที่ให้ผลการศึกษาที่ใกล้เคียงกัน

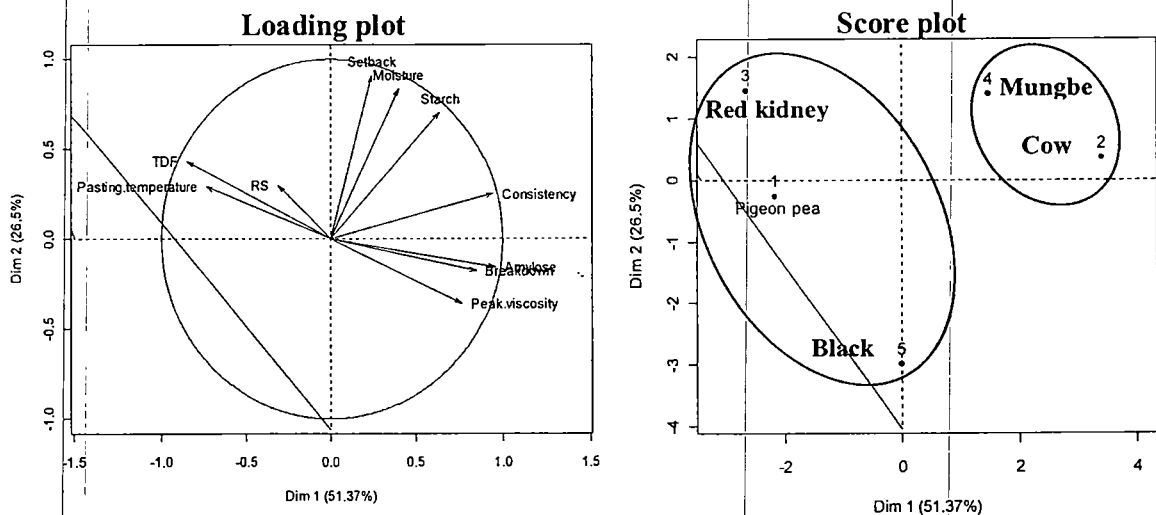


Fig.1 Principal component analysis: loading plot and score plot of PC1 and PC2 describing the variation among the different properties and overall variation among of five types of legume flours.

สรุปผลการทดลอง

แป้งถั่วแดงหลวงและแป้งถั่วมะแฮะพบปริมาณสตาร์ชทนย่อย ปริมาณใยอาหารทั้งหมด และ ปริมาณสตาร์ชทั้งหมดค่อนข้างสูง ขณะที่แป้งถั่วเขียวฝัดมีปริมาณอะไมโลสสูง จึงพบค่าการกินตัว หลังทำให้เย็นมีค่ามากกว่าแป้งถั่วเขียวฝัดที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำกว่า ดังนั้น องค์ประกอบทางเคมี และสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งถั่วแต่ละชนิดที่มีความแตกต่างกัน จะมีบทบาทสำคัญต่อการนำไปใช้เพื่อให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์อาหารที่ต้องการ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น ศูนย์วิจัยพืชไร่อุบลราชธานี และศูนย์วิจัยพืชไร่ชัยนาท ที่อนุเคราะห์ถั่วชนิดต่างๆ ในการศึกษาครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- สิริลักษณ์ ภักดีศรีพันธ์ และ จันทน์ อูริยะพงศ์สรรค์. 2553. ผลของฤดูกาลเก็บเกี่ยว และพันธุ์ ต่อปริมาณ แป้งทนย่อย และคุณสมบัติด้านเพศของแป้งเผือก และสตาร์ช. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 41: 261-264.
- สมชาย ประภาวัต, เย็นใจ สฐิตะฐาน, ดวงจันทร์ เสงส์สวัสดิ์ และพะยอม อัดถวิบูลย์กุล. 2541. ศึกษาการทำ ลูกก็จากถั่วเขียวฝัดดำเปรียบเทียบกับถั่วเขียวและถั่วมะแฮะ. วารสารเกษตรศาสตร์. 32,3:319-328.
- Adebowale, K.O., and O.S. Lawal. 2002. Isolations chemical modification and physicochemical characterization of bambara groundnut (*Voandzeia subterranean*) starch and flour. Food Chemistry 78: 305-311.
- Adebooye, O.C., and V., Singh. 2008. Physico-chemical properties of the flours and starches of two cowpea varieties (*Vigna unguiculata (L.) Walp*). Innovative Food Science and Emerging Technologies 9: 92-100.
- Agunbiade, S.O., and O.G., Longe. 1999. The physico-functional characteristics of starches from cowpea (*Vigna unguiculata*), pigeon pea (*Cajanus cajan*) and yambean (*Sphenostylis stenocarpa*). Food Chemistry 65: 469-474.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 2000. Official Method of Analysis (Method 925.10). The Association of Official Agricultural Chemists.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 2005. Official Method of Analysis (Method 2002.02, Method 996.11 and Method 985.29). The Association of Official Agricultural Chemists.

- Chung, H., Q., Liu, R., Hoover, T.D., Warkentin, and B., Vandenberg. 2008a. In vitro starch digestibility, expected glycemic index, and thermal and pasting properties of flours from pea, lentil and chickpea cultivars. *Food Chemistry* 111: 316–321.
- Chung, H., Q., Liu, K.P., Pauls, M.Z., Fan, and R., Yada. 2008b. In vitro starch digestibility, expected glycemic index and some physicochemical properties of starch and flour from common bean (*Phaseolus vulgaris L.*) varieties grown in Canada. *Food Research International* 41: 869–875.
- de Almeida Costa, G.E., K.S., Queiroz-Monici, S.M.P., Machado Reis, A.C., de Oliveira. 2006. Chemical composition, dietary fibre and resistant starch contents of raw and cooked pea, common bean, chickpea and lentil legumes. *Food Chemistry* 94: 327–330.
- Juliano, B.O. 1971. Simplified assay for milled-rice amylase. *Cereal Science Today* 16:334-366.
- Lunn, J., and J.L. Butriss. 2007. Carbohydrates and dietary fibre. *Nutrition Bulletin* 32: 21-64.
- Singh, N., K.S., Sandhu, and M., Kaur. 2004 Characterization of starches separated from Indian chickpea (*Cicer arietinum L.*) cultivars. *Journal of Food Engineering* 63: 441–449.
- Yadav, R.B., A. Sharma, and R.B. Yadav. 2010. Effect of storage on resistant starch content and in vitro starch digestibility of some pressure-cooked cereals and legumes commonly used in India. *International Journal of Food Science & Technology* 45: 2449-2455.