รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

ผลของวิธีการแปรรูปต่อความสามารถในการถูกย่อยของสตาร์ชในหลอดทดลองในถั่วมะแฮะ ถั่วแดงหลวง และสตาร์ชแห้วจีน และการเสริมสตาร์ชทนย่อยในขนมปัง

Effects on various processing techniques on the in vitro starch digestibility in pigeon pea, red kidney bean and Chinese water chestnut starch and the enrichment of these resistant starches in bread

นางนภัสรพี เหลืองสกุล

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจาก งบประมาณรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2556

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

ผลของวิธีการแปรรูปต่อความสามารถในการถูกย่อยของสตาร์ชในหลอดทดลองในถั่วมะแฮะ ถั่วแดงหลวง และสตาร์ชแห้วจีน และการเสริมสตาร์ชทนย่อยในขนมปัง

Effects on various processing techniques on the in vitro starch digestibility in pigeon pea, red kidney bean and Chinese water chestnut starch and the enrichment of these resistant starches in bread

นางนภัสรพี เหลืองสกุล

RCH
ฆ195ผ
2556

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 143552
วัน.เดือน.ปี 17 มิ.ย. 2559

b. 12792068
i.....

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจาก งบประมาณรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2556

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ ผลของวิธีการแปรรูปต่อความสามารถในการถูกย่อยของสตาร์ชในหลอดทดลองในถั่วมะแฮะ ถั่วแดงหลวง และสตาร์ชแห้วจีน และการเสริมสตาร์ชทนย่อยในขนมปัง

แหล่งเงินทุน งบประมาณเงินรายได้

ประจำปีงบประมาณ 2556 จำนวนเงินที่สนับสนุน 118,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ ตุลาคม 2555 ถึง กันยายน 2556

หัวหน้าโครงการ ดร.นภัสรพี เหลืองสกุล หน่วยงานต้นสังกัด คณะอุตสาหกรรมเกษตร

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ เพื่อศึกษาผลของการดัดแปรวิธีต่างๆ ต่อความสามารถในการย่อยของสตาร์ชในหลอดทดลอง ในถั่วมะแฮะ ถั่วแดงหลวง และสตาร์ชแห้วจีน โดยศึกษาสภาวะในการดัดแปร 3 วิธีได้แก่ การอบ (hot air oven) การใช้หม้อนึ่งความดันไอ (autoclave) และ การใช้ไมโครเวฟ (microwave) หลังจากที่ดัดแปรแล้วนำไปบ่มที่ 4^{o}C เวลา 24 และ 48ชั่วโมง แล้วนำไปวัดค่าปริมาณความชื้น ปริมาณสตาร์ชย่อยเร็ว (rapid digestibility starch; RDS) ปริมาณสตาร์ชย่อยช้า (slowly digestibility starch; SDS) ปริมาณสตาร์ชทั้งหมด (total starch; TS) ปริมาณสตาร์ชทนย่อย (resistant starch; RS) และปริมาณอะไมโลส (amylose) เปรียบเทียบกับสตาร์ชที่ไม่ได้ผ่านการดัดแปรพบว่าสตาร์ชถั่วก่อนการดัดแปรมีค่า SDS และ RS สูงกว่าสตาร์ชจากแห้วจีน สำหรับการดัดแปรด้วยวิธีการต่างๆ พบว่าการดัดแปรด้วยวิธีการอบและบ่มเย็นนาน 48 ชั่วโมงทำให้ปริมาณ RS ในสตาร์ชถั่วมะแฮะและสตาร์ชแห้วจีนเพิ่มขึ้น ขณะที่วิธีการดัดแปรด้วยหม้อนึ่งความดันไอและบ่มเย็นนาน 24 ชั่วโมงและ 48 ชั่วโมง ทำให้ปริมาณ RDS และ SDS ของสตาร์ชถั่วมะแฮะและสตาร์ชแห้วจีนเพิ่มขึ้นตามลำดับ สำหรับในสตาร์ชถั่วแดงพบว่าการดัดแปรด้วยไมโครเวฟและบ่มเย็นนาน 24 ชั่วโมงทำให้ปริมาณ RS เพิ่มขึ้น และเมื่อนำสตาร์ชไปผลิตเป็นขนมปังโดยศึกษาการแทนที่แป้งสาลีที่ระดับ 10%, 20% และ30% พบว่าการย่อยและค่าดัชนีน้ำตาล พบว่า ทั้งหมดจัดอยู่ในกลุ่ม GI ระดับสูงทั้งหมด แต่ขนมปังจากสตาร์ชมะแฮะจะมี GI ต่ำที่สุด คืออยู่ในช่วง 96.14-108.72 ส่วนลักษณะของขนมปังที่ได้นั้นพบว่าสูตรที่ทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 10% ให้คุณลักษณะของขนมปังที่ดีใกล้เคียงกับสูตรควบคุมที่เป็นแป้งสาลี 100% เมื่อนำไปทดสอบคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสก็พบว่าผู้ชิมให้การยอมรับการแทนที่แป้งสาลีที่ระดับ 10% ในสตาร์ชถั่วแดงหลวงและแห้วจีนมากกว่าถั่วมะแฮะ

คำสำคัญ: การอบ ไมโครเวฟ หม้อนึ่งความดันไอ สตาร์ชย่อยช้า(SDS) สตาร์ชย่อยเร็ว(RDS)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

รายงานวิจัยฉบับนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากแหล่งทุน งบประมาณเงินรายได้ ประจำปี 2556 ผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อการสนับสนุนโครงการวิจัยเรื่องผลของวิธีการแปรรูปต่อความสามารถในการถูกย่อยของสตาร์ชในหลอดทดลองในถั่วมะแฮะ ถั่วแดงหลวง และสตาร์ชแห้วจีน และการเสริมสตาร์ชทนย่อยในขนมปังนี้

ดร. นภัสรพี เหลืองสกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

กิตติกรรมประกาศ II

สารบัญ III

สารบัญตาราง VII

สารบัญภาพ VIII

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา 3

1.3 ขอบเขตของการศึกษา 4

1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย 4

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 5

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ถั่วมะแฮะ ถั่วแดงหลวง และแห้วจีน 6

2.2 แป้งและคุณสมบัติทั่วไปของแป้ง 8

2.3 ประเภทของแป้งสตาร์ช 14

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 วิธีดำเนินการทดลอง

3.1 วัตถุดิบ 23

3.2 เครื่องมือ 23

3.3 สารเคมี 24

3.4 การเตรียมฟลาวร์ (flour) และสตาร์ช (starch) จากถั่วชนิดต่างๆ 25

3.5 ศึกษาปริมาณสตาร์ชทนย่อย (RS) ปริมาณสตาร์ชที่ถูกย่อยได้เร็ว (RDS) ปริมาณสตาร์ชที่ถูกย่อยได้ช้า (SDS) อัตราการย่อย (HI) และปริมาณอะมิโลส ของสตาร์ชถั่วมะแฮะ สตาร์ชถั่วแดง และ สตาร์ชแห้วจีน ที่ยังไม่ได้ผ่านการดัดแปร 28

3.6 การดัดแปรสตาร์ชโดยเปรียบเทียบวิธีการให้ความร้อนแบบการอบ (baking) และการใช้หม้อนึ่งความดันไอ (autoclave) และการใช้ไมโครเวฟ (microwave) แล้วทำให้เย็นที่ 4°C ระยะเวลาต่างๆ เพื่อเพิ่มปริมาณสตาร์ช ทนย่อย 29

3.7 ขั้นตอนการทำขนมปัง 29

3.7.1 วิเคราะห์สมบัติต่างๆของขนมปัง 31

3.7.1.1 ศึกษาปริมาตรจำเพาะของขนมปัง 31

3.7.1.2 น้ำหนักที่หายไปหลังอบ 31

3.7.1.3 วิเคราะห์ปริมาณความชื้นของ crumb ของขนมปัง 31

3.7.1.4 วิเคราะห์เนื้อสัมผัสของขนมปัง 31

3.7.1.5 ลักษณะปรากฏของขนมปัง 32

3.7.1.6 ศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ 32

3.7.1.7 วิเคราะห์ผลทางสถิติ 32

บทที่ 4 ผลการวิจัย

4.1 การย่อยในหลอดทดลองของสตาร์ชถั่วมะแฮะ สตาร์ชถั่วแดงหลวงและสตาร์ชแห้วจีนทั้งก่อนการดัดแปรและที่ผ่านการดัดแปรแล้ว และปริมาณอะมิโลส 33

4.2 ปริมาณสตาร์ชทนย่อย(RS) ปริมาณสตาร์ชที่ถูกย่อยได้เร็ว(RDS) และปริมาณสตาร์ชที่ถูกย่อยได้ช้า(SDS) ของขนมปังจากสตาร์ชถั่วมะแฮะ สตาร์ชถั่วแดง และ สตาร์ชแห้วจีน ที่สัดส่วนต่างๆ 35

4.3 ผลการศึกษาอัตราการย่อย (*In vitro* starch hydrolysis rate) 36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.4 ผลการศึกษาค่า Hydrolysis index (HI) และ ค่าดัชนีน้ำตาล (GI) 38

4.5 ปริมาตรจำเพาะของขนมปัง 39

4.6 ลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้อขนมปัง 41

4.7 ลักษณะปรากฏของเนื้อขนมปัง 43

4.8 การยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ 44

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการวิจัย 46

5.2 ข้อเสนอแนะ 47

บทที่ 6 สรุปผลผลิตงานวิจัย 48

บรรณานุกรม 49

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก การตรวจสอบคุณภาพทางเคมี 54

ภาคผนวก แบบสอบถามการประเมินทางประสาทสัมผัส 56

ภาคผนวก ค สรุปค่าใช้จ่ายการดำเนินการวิจัย 58

ประวัตินักวิจัย 59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.4	วิธีการดำเนินการวิจัย	4
2.1	การจำแนกชนิดของสตาร์ชทนย่อย (resistant starch; RS)	16
2.2	ปริมาณของ RDS, SDS และ RS ของพืชชนิดต่างๆ	18
2.3	สตาร์ชส่วนต่างๆ RDS, SDS และ SD ในขนมอบประเภทต่างๆ	22
3.1	อัตราส่วนของถั่วมะแฮะ ถั่วแดงหลวง แห้วจีนที่ใช้ผลิตขนมปัง	30
3.2	อัตราส่วนของส่วนผสมต่างๆที่ใช้ผลิตขนมปัง	30
4.1	ร้อยละของน้ำหนักแห้งของความชื้น ปริมาณสตาร์ชที่ถูกย่อยได้เร็ว (RDS) สตาร์ชที่สามารถถูกย่อยได้ช้า (SDS) สตาร์ชทั้งหมด (TS) สตาร์ชทนย่อย (RS) และ อะไมโลส ของสตาร์ชถั่วมะแฮะ	34
4.2	ร้อยละของน้ำหนักแห้งของความชื้น ปริมาณสตาร์ชที่ถูกย่อยได้เร็ว (RDS) สตาร์ชที่สามารถถูกย่อยได้ช้า (SDS) สตาร์ชทั้งหมด (TS) สตาร์ชทนย่อย (RS) และ อะไมโลส ของสตาร์ชถั่วแดง	34
4.3	ร้อยละของน้ำหนักแห้งของความชื้น ปริมาณสตาร์ชที่ถูกย่อยได้เร็ว (RDS) สตาร์ชที่สามารถถูกย่อยได้ช้า (SDS) สตาร์ชทั้งหมด (TS) สตาร์ชทนย่อย (RS) และ อะไมโลส ของสตาร์ชแห้ว	35
4.4	ปริมาณสตาร์ชทนย่อย(RS) ปริมาณสตาร์ชที่ถูกย่อยได้เร็ว(RDS) และ ปริมาณสตาร์ชที่ถูกย่อยได้ช้า(SDS) ของขนมปังจากสตาร์ชถั่วมะแฮะ สตาร์ชถั่วแดง และ สตาร์ชแห้วจีน ที่สัดส่วนต่างๆ	36
4.5	แสดงผลค่าดัชนีการย่อย (HI) และ ค่าดัชนีน้ำตาล (GI)	39
4.6	คุณสมบัติของขนมปังสูตรต่างๆ	40
4.7	ประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัส	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	ถั่วมะแฮะ	6
2.2	ถั่วแดงหลวง	7
2.3	แห้วจีน	8
2.4	โครงสร้างของอะมิโลสและอะมิโลเพกทิน	8
2.5	ลักษณะโครงสร้างแบบกิ่งของอะมิโลเพกทิน	9
2.6	ลักษณะโครงสร้างผลึกชนิด A และ B	10
2.7	การเจลาทิไนเซชันของแป้ง	11
2.8	การเกิดรีโทรเกรเดชันของแป้ง	12
2.9	กราฟจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง RVA	13
3.1	การเตรียมฟลาวร์จากถั่วมะแฮะ ถั่วแดง และ แห้วจีน	25
3.2	การเตรียมสตาร์ชจากแห้ว	27
4.1	แสดงอัตราการย่อยของขนมปังจากสตาร์ชถั่วมะแฮะ	37
4.2	แสดงอัตราการย่อยของขนมปังจากสตาร์ชถั่วแดงหลวง	37
4.3	แสดงอัตราการย่อยของขนมปังจากสตาร์ชแห้วจีน	38
4.4	ค่า Hardness (N) ของเนื้อขนมปัง	41
4.5	ค่า Cohesiveness ของเนื้อขนมปัง	42
4.6	ภาพขนมปังสูตรที่แป้งสาลีถูกแทนที่ด้วยถั่วแดงหลวง 10%(ก), ถั่วแดงหลวง 20% (ข) และถั่วแดงหลวง 30%(ค)	43
4.7	ภาพขนมปังสูตรที่แป้งสาลีถูกแทนที่ด้วยแห้ว 10%(ก), แห้ว 20% (ข) และแห้ว 30%(ค)	43
4.8	ภาพขนมปังสูตรที่แป้งสาลีถูกแทนที่ด้วยถั่วมะแฮะ 10%(ก), มะแฮะ 20% (ข) และมะแฮะ 30%(ค)	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ผู้ที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมอาหารในปัจจุบัน ไม่ว่าจะเป็นผู้ผลิต นักวิจัย ผู้บริโภค ล้วนต้องการนวัตกรรมใหม่ๆเกี่ยวข้องกับอาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่ง กระแสของอาหารสุขภาพ อาหารธรรมชาติที่ไม่เติมแต่งสารเคมี นอกเหนือจากสารอาหารพื้นฐานที่ได้จากอาหารแล้ว อาหารยังต้องมีองค์ประกอบอื่นเพิ่มเติมที่ให้คุณประโยชน์ในเชิงเป็นสารเภสัชโภชนศาสตร์ (nutraceutical ingredients) เพื่อเป็นอาหารสุขภาพ (functional food) ได้ อาหารคาร์โบไฮเดรตที่จัดอยู่ในกลุ่มอาหารสุขภาพได้เช่น อาหารไฟเบอร์สูง หรือ อาหารคาร์โบไฮเดรตต่ำ สตาร์ชเป็นสารอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตที่เมื่อเกิดการย่อยในร่างกายจะให้ให้พลังงาน แต่สตาร์ชมีองค์ประกอบที่จะทำให้เกิดการย่อยและดูดซึมพลังงานในลำไส้เล็กเร็วช้าต่างกัน ซึ่งทำให้อาหารที่มีองค์ประกอบของสตาร์ชมีค่า glycemic index ที่แตกต่างกัน ทำให้สตาร์ชเกิดคุณค่าทางโภชนาการขึ้น คุณค่าทางโภชนาการของสตาร์ชสามารถแบ่งตามอัตราเร็วและความสมบูรณ์ของการย่อย ซึ่งจำลองจากสภาวะจริงของระบบการย่อยในกระเพาะและลำไส้ของมนุษย์ ทำการวัดปริมาณกลูโคสที่ปล่อยออกมาในแต่ละช่วงเวลา (*in vitro* digestion, Englyst และคณะ, 1992) โดยสามารถแบ่งส่วนต่างๆของแป้งได้เป็น (Singh และคณะ, 2010)

- Rapidly digestible starch (RDS) หมายถึง ปริมาณของกลูโคสที่ได้หลังจากการย่อย 20 นาที
- Slowly digestible starch (SDS) หมายถึง ปริมาณของกลูโคสที่ได้หลังจากการย่อยในช่วง 20 ถึง 120 นาที
- Indigestible starch หรือ resistant starch หมายถึง ปริมาณของกลูโคสที่ได้หลังจากการย่อย 120 นาที

$$RS = TS - (RDS + SDS)$$

โดยที่ TS = Total starch

สำหรับ สตาร์ชแต่ละชนิด มีปัจจัยมากมายที่ทำให้สตาร์ชถูกย่อยได้เร็วช้าต่างกัน เช่น ใยอาหาร โครงสร้างผลึกและการจัดเรียงตัวของโมเลกุลสตาร์ช เช่น โครงสร้างผลึกแบบ A-type จะเป็นโครงสร้างของกลุ่มธัญพืชจะเป็นสตาร์ชส่วนที่ RDS อะมิโลส การจัดเรียงตัวทางกายภาพที่จะทำให้การย่อยยากหรือง่าย กระบวนการปรุงหรือประกอบอาหาร การแปรรูป ระยะเวลาที่เก็บอาหารที่มีองค์ประกอบสตาร์ชนั้นหลังปรุงสุกแล้ว เป็นต้น (Rosin และคณะ, 2002)

Resistant Starch (RS) หรือสตาร์ชทนย่อย ซึ่งเป็นสตาร์ชที่ไม่สามารถย่อยโดยเอนไซม์ที่มีอยู่ในกระเพาะและลำไส้เล็กของมนุษย์ แต่จะผ่านไปในส่วนลำไส้ใหญ่และถูกหมักโดยจุลินทรีย์ได้กรดไขมันสายสั้นได้แก่ อะซีเตท บิวทีเรท และโพรปิโอเนต ซึ่งทำให้ค่า pH ในลำไส้ใหญ่ลดลงเป็นผลดีต่อใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำไส้ใหญ่และช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค และยังมีคุณประโยชน์ต่อสุขภาพทางด้านการป้องกันโรคมะเร็งลำไส้ใหญ่ เนื่องจาก สตาร์ชทนย่อยจะทำให้เกิดสัดส่วนของของ บิวทิเรทที่สูงกว่าใยอาหาร (dietary fiber) ชนิดอื่น ทำให้ระบบการขับถ่ายดีขึ้น ลดน้ำตาลกลูโคสในเลือด ลดคอเลสเตอรอลและไตรกลีเซอไรด์ในเลือด ลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคไขมันอุดตันในเส้นเลือด โรคหัวใจ และโรคเบาหวาน และมีประโยชน์ตอการควบคุมน้ำหนัก ช่วยในการดูดซึมแคลเซียม แมกนีเซียม สังกะสี ทองแดงและธาตุเหล็กได้ดียิ่งขึ้น (Sajilata และคณะ, 2006; Lei และคณะ, 2008; Fuentes-Zaragoza และคณะ, 2010) ในปัจจุบันสตาร์ชทนย่อยยังจัดอยู่ในกลุ่มสารอาหารประเภทพรีไบโอทิค (prebiotic) และเป็นส่วนประกอบอาหารประเภทลดพลังงาน (low-calorie food ingredient) สตาร์ชทนย่อย สามารถพบได้ในธรรมชาติในอาหารประเภท ธัญพืช มันฝรั่ง เผือก ผักและผลไม้ อาหารจำพวกฝักหรือถั่ว (legumes) กล้วยดิบ และอาหารที่ผ่านการแปรรูปบางชนิด เป็นต้น (Lunn and Buttriss, 2007) Yadav และคณะ (2010) พบว่า พืชตระกูลถั่วมีปริมาณสตาร์ชทนย่อยที่สูงกว่าธัญพืชประเภทข้าว สาลี ข้าว และข้าวบาร์เลย์

สตาร์ชทนย่อยสามารถจัดแบ่งได้ 4 ประเภท (Fuentes-Zaragoza และคณะ, 2010)

RS1 เป็นสตาร์ชที่มีโครงสร้างทางกายภาพของเม็ดแป้งถูกห้อมล้อมในโครงร่างเซลทำให้ยากต่อการถูกย่อย

RS2 เป็นลักษณะสตาร์ชเม็ดแป้งดั้งเดิมของแป้งบางชนิดที่ยังไม่ได้ผ่านการทำให้สุก มีลักษณะรูปแบบผลึกของโมเลกุลสตาร์ชแบบ B-type เป็นรูปแบบผลึกที่ทนย่อย เช่น สตาร์ชของมันฝรั่งดิบ สตาร์ชกล้วยดิบ และแป้งที่มีอะมิโลสสูง (high amylose starch)

RS3 เป็นสตาร์ชที่เกิดจากการรีโทรเกรด (retrograded) หลังจากผ่านการทำให้สุกแล้วทำให้เย็น

RS4 เป็นสตาร์ชที่ผ่านการดัดแปรทางเคมี

ปริมาณของสตาร์ชทนย่อยขึ้นอยู่กับชนิดและธรรมชาติของพืช ลักษณะทางกายภาพของพืชนั้น เช่น ถูกบด หรืออยู่เป็นเมล็ด สัดส่วนของปริมาณอะมิโลสและอะมิโลเพคติน ปริมาณความชื้น ค่า pH อุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อน จำนวนครั้งที่ผ่านความร้อนและการทำให้เย็น เป็นต้น ดังนั้นถ้าจะทำการเพิ่มปริมาณสตาร์ชทนย่อย มีกระบวนการที่สามารถทำได้โดยการปรับเปลี่ยนสภาวะของการแปรรูปอาหารนั้นๆ ไม่ว่าจะเป็นสภาวะการให้ความร้อนหรือการทำให้เย็น Tas และ El (2000) รายงานว่า การให้ความร้อนจะทำให้ค่า RS1 และ RS2 ลดลง แต่ค่า RS3 จะเพิ่มขึ้น RS3 เกิดจากโครงสร้างเม็ดแป้งแตกในขณะที่เกิดกระบวนการสุกของแป้ง (gelatinization) โดยการให้ความร้อนในปริมาณน้ำที่มากเพียงพอ โครงสร้างแป้งจะถูกทำลาย หลังจากที่ระบบเย็นตัวลง การจับกันใหม่ของสายโมเลกุลอะมิโลสและอะมิโลเพคตินจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ (retrogradation) ดังนั้น กระบวนการแปรรูปอาหาร และการประกอบอาหาร จะก่อให้เกิดสภาวะที่ RS1 และ RS2 ถูกทำลาย แต่ RS3 สามารถเพิ่มปริมาณได้มากขึ้นด้วยการใช้เทคนิคกระบวนการแปรรูปต่างๆ เช่น การใช้หม้อนึ่งความดันซึ่งเป็นการให้ความร้อนแบบร้อนชื้น การอบ extrusion และการใช้รังสีไมโครเวฟ ที่จะส่งผลต่อการเกิด gelatinization หรือการทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สุกแล้วตามด้วยการทำให้เย็นหลายๆรอบ ล้วนเป็นเทคนิคที่นำมาใช้ในการเพิ่มปริมาณสตาร์ชทนย่อยประเภท RS3 (Bello-Pérez และคณะ, 2006, Aparicio-Saguilän และคณะ, 2007; Eyaru และคณะ, 2009)

ดังนั้น นวัตกรรมของอาหารสุขภาพประเภทที่มีสตาร์ชเป็นส่วนประกอบของอาหาร คือ การสร้างสารที่มีปริมาณสตาร์ชทนย่อยสูง (resistant starch-rich powder, RSRP) (Aparicio-Saguilän และคณะ, 2007) หรือ สารที่มีค่า SDS สูง และใช้สารนั้นเสริมในอาหาร เพื่อที่จะให้ได้อาหารที่มีค่า glycemic index ต่ำ โดยในงานวิจัยนี้มีความสนใจที่จะศึกษาเทคนิคกระบวนการแปรรูปต่างๆเพื่อเพิ่มปริมาณสตาร์ชทนย่อยในถั่วมะแฮะ ถั่วแดงหลวง และสตาร์ชแห้วจีน เนื่องจาก Suksawat และ Luangsakul (2012) ได้ศึกษาปริมาณสตาร์ชทนย่อยและสมบัติทางเคมีกายภาพของถั่ว 5 ชนิดในไทย พบว่า ฟลาวร์ถั่วมะแฮะ และฟลาวร์ถั่วแดงหลวง มีค่าปริมาณสตาร์ชทนย่อยสูงสุด คือ 6.2 และ 5.4 % ของน้ำหนักฟลาวร์แห้ง ตามลำดับ นอกจากนี้อุณหภูมิของแป้งสุกอยู่ที่ 79.5 และ 82.5°C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่สูงกว่าแป้งชนิดอื่นๆ และ ค่าทนต่ออุณหภูมิและแรงกวน (breakdown) ต่ำกว่าของถั่วขนิดอื่น ซึ่งแสดงถึง โมเลกุลแป้งมีโครงสร้างที่ทนต่อแรงเฉือน ดังนั้น แป้งทั้ง 2 ชนิดนี้ จึงมีศักยภาพที่จะนำไปดัดแปรเพื่อเพิ่มปริมาณสตาร์ชทนย่อย นอกจากนี้ ที่ผู้วิจัยมียังมีความสนใจในศักยภาพความเป็นสตาร์ชทนย่อยของสตาร์ชแห้วจีน เนื่องจาก จากการทดลองเบื้องต้นของผู้วิจัยเองได้ทดลองนำสตาร์ชแห้วผสมแทนที่แป้งสาลีในการทำขนมปัง พบว่า เมื่อปริมาณสตาร์ชแห้วมากขึ้น ขนมปังบริเวณที่เป็นเปลือก ยิ่งมีความขาวมากขึ้น ผู้วิจัยจึงได้นำไปวิเคราะห์หาปริมาณสตาร์ชทนย่อยพบว่า มีปริมาณอยู่ประมาณ 7 % ของน้ำหนักสตาร์ชแห้ง นอกจากนี้ในงานวิจัยจะนำสตาร์ชทนย่อยที่มีดัดแปรปริมาณให้สูงขึ้นแล้วทดลองใส่ในขนมปัง แล้วศึกษารูปแบบของการย่อยของสตาร์ช และคุณภาพของขนมปังที่ได้ (in viitro starch digestibility) นั้น

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาเทคนิควิธีการที่ใช้ในการดัดแปร โดยเปรียบเทียบวิธีการให้ความร้อนแบบต่างๆ และระยะเวลาเวลาที่ทำให้เย็นโดยเปรียบเทียบกับที่ยังไม่ได้ดัดแปรเพื่อเพิ่มปริมาณสตาร์ชทนย่อย ในถั่วมะแฮะ ถั่วแดงหลวง และสตาร์ชแห้ว

1.2.2 เพื่อผลิตขนมปังที่มีสตาร์ชทนย่อยสูง หรือ มีค่า glycemic index ต่ำ

1.2.3 ศึกษาการแทนที่แป้งสาลีถั่วแดงหลวง แห้ว และถั่วมะแฮะในการทำขนมปัง

1.2.4 เป็นการศึกษาเบื้องต้นเพื่อคัดเลือกชนิดของฟลาวร์ข้าวและฟลาวร์ถั่วที่เหมาะที่จะนำไปใช้ผลิตเป็นขนมปังปราศจากกลูเตนต่อไปในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของเทคนิคการดัดแปรโดยใช้ความร้อนวิธีต่างกันวิธีการให้ความร้อนแบบการอบ (baking) การต้ม และการใช้หม้อนึ่งความดันไอ (autoclave) แล้วทำให้เย็นที่ 4ºC ระยะเวลาต่างๆ เพื่อเพิ่มปริมาณสตาร์ชทนย่อย โดยเปรียบเทียบกับที่ยังไม่ได้ดัดแปร ในถั่วมะแฮะ ถั่วแดงหลวง และสตาร์ชแห้ว โดยติดตามรูปแบบการย่อยของสตาร์ชในหลอดทดลอง (in vitro starch digestibility) ค่า Hydrolysis index (HI) และค่า Expected glycemic index (eGI) และ นำตัวอย่างที่มีปริมาณสตาร์ชทนย่อยสูงที่สุด ใส่ในขนมปังในปริมาณต่างๆแล้วติดตามรูปแบบการย่อยของสตาร์ชในหลอดทดลอง (in vitro starch digestibility) ค่า Hydrolysis index (HI) และค่า Expected glycemic index (eGI) ปริมาณสตาร์ชทั้งหมด (Total starch) และคุณภาพทางกายภาพและคุณภาพทางประสาทสัมผัสของขนมปัง

1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย

การดำเนินงาน	ระยะเวลา											
	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.
1. การเตรียมสตาร์ชจากถั่วและแห้วจีน	←	→										
2 .การศึกษาเทคนิควิธีการที่ใช้ในการดัดแปรสตาร์ชที่ศึกษาโดยเปรียบเทียบวิธีการให้ความร้อนแบบการอบ (baking) และการใช้หม้อนึ่งความดันไอ (autoclave) แล้วทำให้เย็นที่ 4ºC ระยะเวลาต่างๆ Iเพื่อเพิ่มปริมาณสตาร์ชทนย่อย		←	—	—	→							
3.นำตัวอย่างที่มีปริมาณสตาร์ชทนย่อยสูงที่สุดในของถั่วมะแฮะ ถั่วแดงหลวง และสตาร์ชแห้วทดแทนแป้งสาลีในการทำขนมปังในปริมาณต่างๆ						←	—	—	—	→		
๓. สรุปผลการทดลองและจัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์										←	—	→

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถั่วมะแฮะ ถั่วแดงหลวง และสตาร์ชแห้วที่มีปริมาณสตาร์ชทนย่อยที่สูงขึ้นเทียบกับตัวอย่างเดียวกันที่ยังไม่ได้ดัดแปร

1.5.2 ขนมปังสุขภาพที่มีค่าปริมาณสตาร์ชทนย่อยสูง หรือค่า glycemic index ต่ำ

1.5.3 สร้างนักวิจัยรุ่นใหม่จำนวน 1 คนทางด้านสตาร์ชทนย่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ถั่วแดงหลวง ถั่วมะแฮะ และ แห้ว

2.1.1 ถั่วมะแฮะ (Pigeonpea)

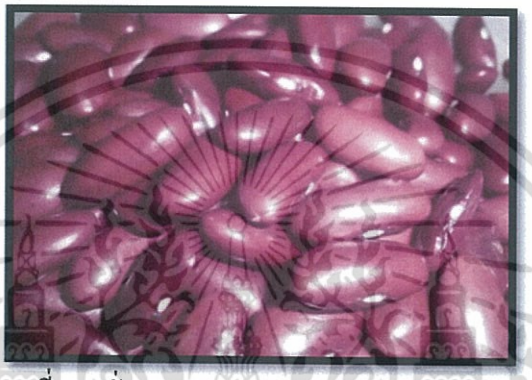
ถั่วมะแฮะ (Pigeonpea) เป็นพืชตระกูลถั่ว (legume) ชนิดหนึ่ง มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Cajanus cajan* (L.) เป็นพืชเมืองร้อนหรือกึ่งร้อนที่ปลูกทั่วไป และแพร่หลายมากที่สุดในประเทศอินเดีย (สมชาย และคณะ, 2522) การปลูกถั่วมะแฮะในประเทศไทยพบว่า มีการปลูกอยู่ทั่วไปในทุกภูมิภาคของประเทศ ส่วนใหญ่จะบริโภคฝักสดเป็นผัก ต่อมากรมวิชาการเกษตร ได้ร่วมมือกับสถาบันวิจัยพืชนานาชาติเขตร้อนกึ่งแห้งแล้ง (ICRISAT) ประเทศอินเดีย และมหาวิทยาลัย ควีนส์แลนด์ ประเทศออสเตรเลีย ในการนำเมล็ดพันธุ์ถั่วมะแฮะเข้ามาปลูกร่วมกับพันธุ์ที่มีอยู่ในประเทศไทย โดยศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการปลูกถั่วมะแฮะในสภาพแวดล้อมต่างๆ ของประเทศไทย เพื่อหาแนวทางพัฒนาเป็นพืชเศรษฐกิจต่อไป (กรมวิชา การเกษตร, 2548)ลักษณะเด่นของถั่วมะแฮะคือ ให้ผลผลิตที่เป็นน้ำหนักแห้งสูง เฉลี่ย 461 กิโลกรัมต่อไร่ มีการเจริญเติบโตแบบทอดยอด ทรงพุ่มกว้าง เมื่อออกดอกร้อยละ 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)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 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.)

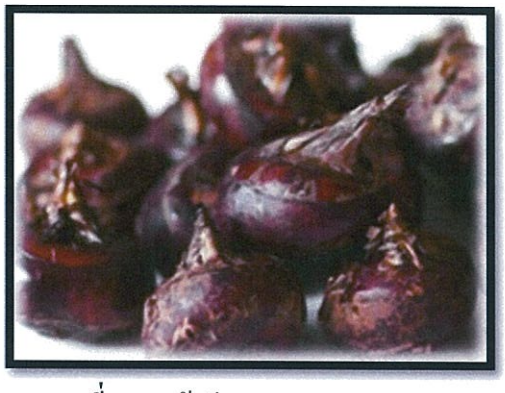


ภาพที่ 2.2 ถั่วแดงหลวง (Red kidney bean)

2.1.3 แห้วจีน (Chinese water chestnut)

แห้วจีน หรือ แห้วทรงกระเทียม มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Eleocharis dulcis* เป็นพืชวงศ์กก และเป็นพืชหลายฤดู เป็นพืชกึ่งพืชน้ำ มีเหง้าใต้ดิน เหง้าสั้นมีไหลยาว หัวกลมแบนเกิดในส่วนปลายไหล สีน้ำตาลหรือสีดำ ขึ้นเป็นกอ ลำต้นแข็งแรง ลำต้นตรง กลม ใบย่อส่วนเหลือเพียงโคนกาบหุ้มไม่มีแผ่นใบ สีน้ำตาลแดงหรือสีม่วง ยาว 15-20 เซนติเมตร ช่อดอกเดี่ยวเป็นช่อเชิงลด ดอกช่อยาว 1.5 -3.0 เซนติเมตร ดอกย่อยเป็นแบบ spike ยาว 2-5 เซนติเมตร มีริ้วประดับเป็นเยื่อบางๆ กลีบดอกคล้ายเส้นด้ายสีขาวหรือสีน้ำตาล ผลเป็นผลแห้งเมล็ดล่อน สีเหลืองมันจนถึงสีน้ำตาล ขยายพันธุ์ด้วยไหล หน่อ และเมล็ด ชอบที่ชื้นแฉะ พบในพื้นที่ลุ่มที่รกร้าง หนองน้ำและนาข้าว กระจายพันธุ์ทั่วประเทศไทย กระจายพันธุ์ในเขตร้อนของโลกเก่า ตั้งแต่แอฟริกาตะวันตกมาดากัสการ์ อินเดีย จีน ญี่ปุ่น เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ออสเตรเลียและ หมู่เกาะในมหาสมุทรแปซิฟิก มีทั้งพันธุ์ป่าและพันธุ์ปลูก โดยพันธุ์ป่าหัวขนาดเล็กค่อนข้างดำ พันธุ์ปลูกหัวใหญ่สีออกม่วงหรือน้ำตาล แห้วใช้ปรุงอาหารได้หลายอย่าง ทั้งในจีน อินโดจีน ไทย และประเทศอื่นๆในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ นำมารับประทานเป็นของหวาน หัวขนาดใหญ่นิยมรับประทานสด หัวขนาดเล็กใช้ผลิตแป้ง ในฟิลิปปินส์ใช้ทำข้าวเกรียบ ลำต้นใช้สานเสื่อหรือเป็นอาหารสัตว์ (พีรศักดิ์ และคณะ, 2544)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

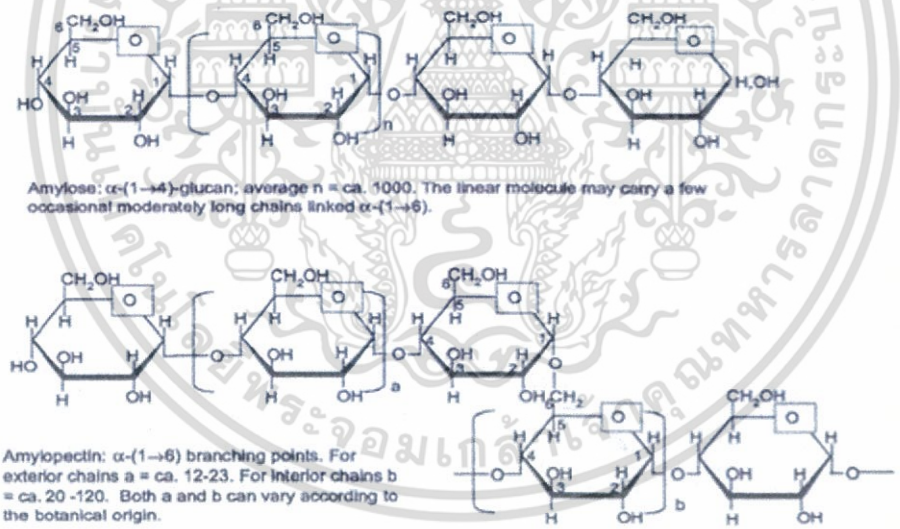


ภาพที่ 2.3 แห้วจีน (Chinese water chestnut)

2.2 แป้งและคุณสมบัติทั่วไปของแป้ง

2.2.1 โครงสร้างและองค์ประกอบภายในของแป้งสตาร์ช

โครงสร้างทางเคมีของแป้งสตาร์ชจะประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคสมาเชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิก(glucosidic linkage) โดยส่วนใหญ่แป้งสตาร์ชจะประกอบด้วยโมเลกุลของกลูโคส 2 ชนิด คือ อะมิโลส (amylose) และอะมิโลเพกทิน (amylopectin) แสดงดังภาพที่ 2.4



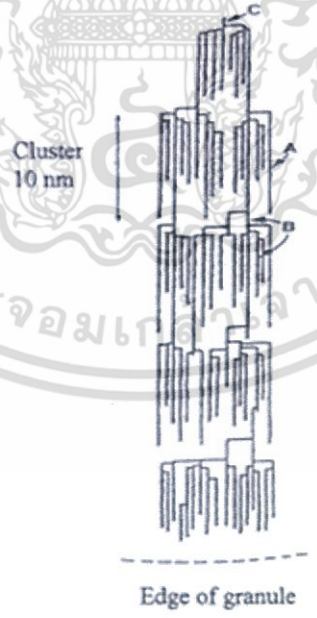
ภาพที่ 2.4 โครงสร้างของอะมิโลสและอะมิโลเพกทิน
ที่มา Tester และคณะ, (2004)

อะมิโลสเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 1,000-6,000 หน่วยเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α-1,4-glycosidic linkage และอาจพบกิ่งก้านสาขาในโมเลกุลของอะมิโลสได้บ้างในปริมาณเล็กน้อย (Hizukuri, 1985) อะมิโลสในแป้งสตาร์ชแต่ละชนิดจะมีน้ำหนักโมเลกุลที่แตกต่างกันและมีค่าระดับขั้นของพอลิเมอไรเซชัน (degree of polymerization, DP) แตกต่างกันด้วยตำแหน่งของอะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มิโลสภายในเม็ดสตาร์ชขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของแป้งสตาร์ชอะมิโลสบางส่วนอยู่ในกลุ่มของอะมิโลเพกทิน บางส่วนกระจายอยู่ทั้งในส่วนอสัณฐาน (amorphous region) และส่วนผลึก (crystalline region) โครงสร้างของอะมิโลสมีทั้งแบบสายเดี่ยวและสายคู่ เมื่ออยู่ในสารละลายจะมีหลายรูปแบบ คือ ลักษณะเป็นเกลียวม้วน (helix) เกลียวที่คลายตัวหรือม้วนบางช่วง (interrupted helix) หรือม้วนอย่างไม่เจาะจง (random coil) นอกจากนี้โครงสร้างของอะมิโลสยังขึ้นอยู่กับขนาด โมเลกุลด้วยซึ่งถ้ามีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 6,500-160,000 จะอยู่ในลักษณะเกลียวคู่ที่แข็งแรง (double helix) ส่วนอะมิโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่า 6,500 หรือมากกว่า 160,000 จะมีโมเลกุล เป็นลักษณะม้วนอย่างไม่เจาะจงและอาจมีบางส่วนละลายได้ (Whistler และDaniel, 1984)

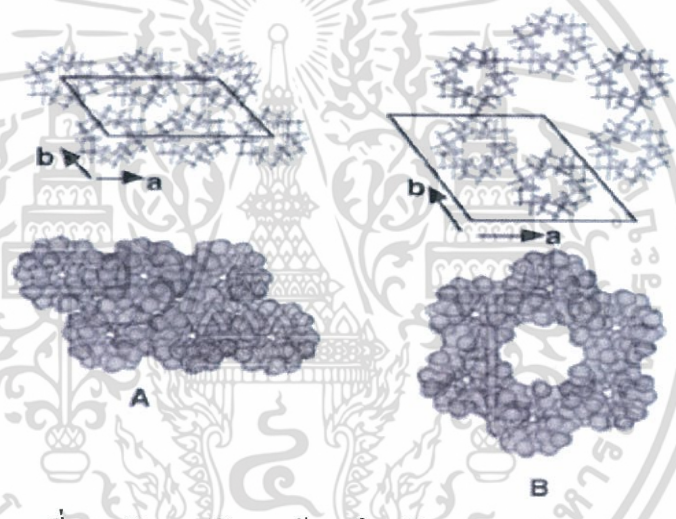
อะมิโลเพกทินเป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส โครงสร้างจะประกอบด้วยส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α-1,4-glycosidic linkage และส่วนที่เป็นกิ่งก้านสาขาซึ่ง เป็นพอลิเมอร์ของกลูโคสสายสั้นที่มีขนาดโมเลกุลอยู่ในช่วง 10-60 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α- 1,6-glycosidic linkage (กล้าณรงศ์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2550) โครงสร้างแบบกิ่งของอะมิโลเพกทินจะประกอบด้วยสายโซ่ 3 ชนิด คือ สาย A (A chain) เชื่อมต่อกับสายอื่นที่ตำแหน่งเดียวไม่มีกิ่งเชื่อมต่อออกจากสายชนิดนี้(unbranched structure) สายB (B chain)มีโครงสร้างแบบกิ่งเชื่อมตอกับสายอื่น ๆ 2 สายหรือมากกว่า และสาย C (C chain) ซึ่งเป็นสายแกนที่ประกอบด้วยหมู่รีดิวซิง 1 หมู่ แสดงดังภาพที่ 2.5 ในอะมิโลเพกทิน แต่ละโมเลกุลจะประกอบด้วย สาย C หนึ่งสายเท่านั้น



ภาพที่ 2.5 ลักษณะโครงสร้างแบบกิ่งของอะมิโลเพกทิน:
ที่มา: Martin และSmith, (1995)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แป้งสตาร์ชที่พบในธรรมชาติจะอยู่ในรูปของเม็ดสตาร์ชขนาดเล็ก มีขนาด รูปร่าง และลักษณะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับแหล่งที่มาของแป้งสตาร์ชนั้นๆ เม็ดสตาร์ชมีลักษณะโครงสร้างผลึกทั้งหมด 4 แบบขึ้นอยู่กับความหนาแน่นในการจัดเรียง ตัวของสายเกลียวคู่ ถ้ามีการจัดเรียงตัวหนาแน่นมาก และ มีปริมาณน้ำต่ำจะเกิดเป็นผลึกแบบ A (แป้ง จากธัญพืชต่าง ๆ เช่น แป้งข้าวเจ้า, แป้งข้าวโพด เป็นต้น) ถ้ามีการจัดเรียงตัวกันหลวม ๆ และมี ปริมาณน้ำสูงจะเกิดผลึกแบบ B (แป้งจากพืชหัว เช่น แป้งมันฝรั่ง) แสดงดังภาพที่ 2.6 แต่ถ้าเกิดการ เรียงตัวทั้งแบบ A และ B รวมกันจัดเป็นผลึกแบบ C (แป้งจากพืชตระกูลถั่ว) นอกจากนี้ยังมี โครงสร้างผลึกแบบ V อีก 1 ชนิด ซึ่งจะเป็นลักษณะผลึกที่เกิดจากสารประกอบเชิงซ้อนของ อะมิโลสกับโมเลกุลของสารอินทรีย์ที่มีขั้ว แต่โดยทั่วไปเป็นแป้งสตาร์ชที่เกิดเจลาติไนซ์แล้วจับตัว กับไขมัน (Zobel และคณะ, 1998)



ภาพที่ 2.6 ลักษณะโครงสร้างผลึกชนิด A และ B
ที่มา Buleon และคณะ, (1998)

2.2.2 การเกิดเจลาทิไนเซชัน (gelatinization)

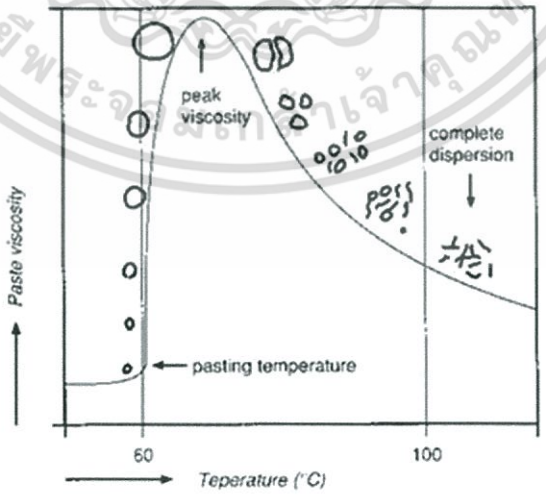
โมเลกุลของแป้งประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxy group) จำนวนมาก ยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน มีคุณสมบัติชอบน้ำ (hydrophilic) แต่เนื่องจากเม็ดแป้งอยู่ในรูปของร่างแห micelles ดังนั้น การจัดเรียงตัวลักษณะนี้จะทำให้เม็ดแป้งละลายในน้ำเย็นได้ยาก ดังนั้นในขณะที่แป้งอยู่ในน้ำเย็นเม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำและพองตัวได้เล็กน้อย (Leach และคณะ,1959) แต่เมื่อให้ความร้อนเข้าไป พันธะไฮโดรเจนจะคลายตัวลง เม็ดแป้งจะดูดน้ำและพองตัว ของผสมจะมีความหนืดมากขึ้น และใสขึ้น เนื่องจากโมเลกุลของน้ำอิสระที่เหลืออยู่รอบๆ เม็ดแป้งเหลือน้อยลง เม็ดแป้งเคลื่อนไหวได้ยากขึ้น ทำให้เกิดความหนืด ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การเกิดเจลาติไนเซชัน แสดงดังภาพที่ 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเกิดเจลาติไนเซชันของเม็ดแป้งแบ่งได้ 3 ระยะ คือ ระยะแรกเม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำเย็นได้อย่างจำกัด และเกิดการพองตัวแบบผันกลับได้ เมื่อเริ่มเข้าสู่ระยะที่ 2 เม็ดแป้งจะเกิดการพองตัวแบบผันกลับไม่ได้อย่างรวดเร็ว โดยจะดูดซึมน้ำเข้ามามากเรียกว่า การเกิดเจลาติไนเซชัน เม็ดแป้งมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและโครงสร้าง เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิต่อไปอีกจนเข้าสู่ระยะที่ 3 รูปร่างเม็ดแป้งจะไม่แน่นอน การละลายของแป้งจะเพิ่มขึ้น เมื่อนำไปทำให้เย็นจะเกิดเจลของแป้ง ทำให้หมู่ไฮดรอกซิลของแป้งสามารถทำปฏิกิริยากับสารอื่นๆ ได้ดีขึ้น รวมทั้งพร้อมที่จะถูกย่อยด้วยเอนไซม์ต่างๆได้ดีกว่า อุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนเซชันจะแตกต่างกันไปตามชนิด และองค์ประกอบของแป้ง เช่น สัดส่วนของอะมิโลสและอะมิโลเพคติน การจัดเรียงตัวและขนาดของเม็ดแป้ง เนื่องจากการจัดเรียงตัวของอะมิโลสและอะมิโลเพคตินภายในเม็ดแป้งมีความหนาแน่นไม่สม่ำเสมอ ทำให้เม็ดแป้งมีขนาดต่างกัน แป้งชนิดต่างๆ มีลักษณะการเกิดเจลที่ต่างกันไป

2.2.3 การเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation)

เมื่อแป้งได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เกิดเจลาติไนเซชันแล้วให้ความร้อนต่อไป จะทำให้เม็ดแป้งพองตัวขึ้นจนถึงจุดที่พองตัวเต็มที่และแตกออก โมเลกุลของอะมิโลสขนาดเล็กจะกระจัดกระจายออกมาทำให้ความหนืดลดลง เมื่อปล่อยให้เย็นลงโมเลกุลที่อยู่ใกล้กันจะเกิดการจัดเรียงตัวกันใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล เกิดเป็นร่างแหสามมิติโครงสร้างใหม่ที่สามารถอุ้มน้ำ และไม่มีการดูดน้ำเข้ามาอีก มีความหนืดคงตัวมากขึ้น เกิดลักษณะเป็นเจลเรียกปรากฏการนี้ว่า การเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) หรือการคืนตัว หรือ setback เมื่อลดอุณหภูมิต่ำลงไปอีกลักษณะการเรียงตัวของโครงสร้างจะแน่นมากขึ้น โมเลกุลอิสระของน้ำที่อยู่ภายในจะถูกบีบออกมานอกเจล ซึ่งเรียกว่า syneresis ปรากฏการณ์ทั้งสองนี้จะทำให้เจลมีลักษณะขาวขุ่น และมีความหนืดมากขึ้น

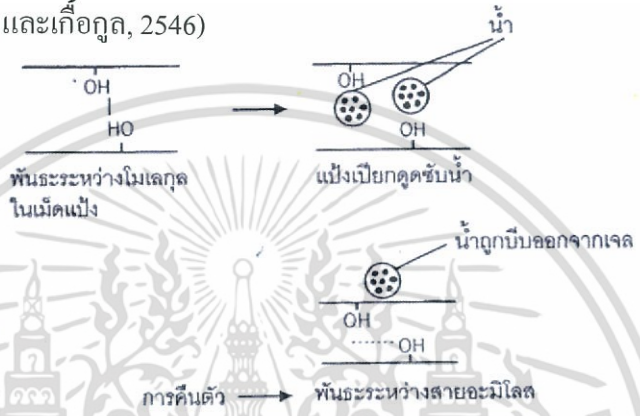


ภาพที่ 2.7 การเจลาทิไนเซชันของแป้ง

ที่มา: Sanders (1996)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคืนตัวของแป้งขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ ชนิดของสตาร์ช ความเข้มข้นของสตาร์ช กระบวนการให้ความร้อน กระบวนการให้ความเย็น อุณหภูมิ ความเป็นกรด-เบสของสารละลาย ปริมาณและขนาดของอะมิโลส อะมิโลเพคติน และองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆ ในสตาร์ช ในสภาวะที่อุณหภูมิต่ำและความเข้มข้นของสตาร์ชสูง สตาร์ชสามารถคืนตัวได้ดี ในช่วงพีเอช 5-7 สตาร์ชที่มีอะมิโลสสูงจะเกิดการคืนตัวได้มาก และเร็วกว่าสตาร์ชที่มีอะมิโลเพคตินสูง ในการทำให้อะมิโลสที่คืนตัวกลับมาละลายได้อีกครั้งต้องใช้อุณหภูมิสูงถึง 100 ถึง 160 องศาเซลเซียส อะมิโลเพคตินจะมีผลทำให้เกิดการคืนตัวน้อยมาก (กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2546)



ภาพที่ 2.8 การเกิดรีโทรเกรเดชันของแป้ง

ที่มา: กล้าณรงค์ และเกื้อกูล (2546)

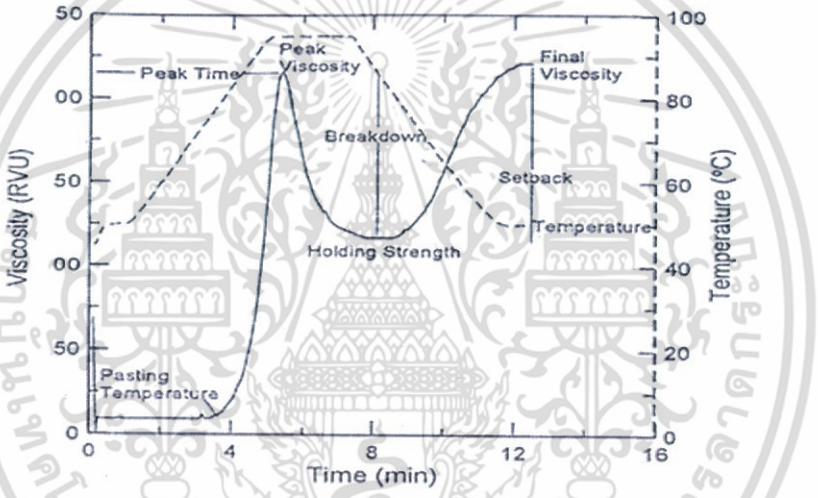
2.2.4 สมบัติทางความหนืดของแป้ง

ความหนืดเป็นสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งของแป้ง เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของเม็ดแป้ง เมื่อให้ความร้อนกับของผสมระหว่างน้ำกับแป้ง ความหนืดที่เกิดขึ้นของของผสม เมื่อให้ความร้อนและการกวนหรือคนอย่างสม่ำเสมอ จากอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ไปถึง 95 องศาเซลเซียส และคงที่ที่ 95 องศาเซลเซียส ระยะเวลาหนึ่ง จากนั้นจึงลดอุณหภูมิลงเป็น 50 องศาเซลเซียส อีกครั้ง แป้งแต่ละชนิดจะให้ลักษณะของความหนืดแตกต่างกัน (กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2546) โดยความหนืดของแป้งสามารถวัดได้ด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) ซึ่งเป็นเครื่องมือสำหรับประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในด้านความหนืด ขณะที่ให้ความร้อน เครื่องนี้มีคุณสมบัติพิเศษคือ มีความสามารถในการเปลี่ยนระดับอุณหภูมิ โดยสามารถทำให้ร้อนและเย็นได้อย่างแม่นยำและรวดเร็ว สามารถรักษาอุณหภูมิให้คงที่ได้ จึงทำให้สามารถหากราฟการเปลี่ยนแปลงความหนืดได้ภายในระยะเวลาอันรวดเร็ว (ภาพที่ 2.9) ซึ่งค่าที่เครื่องแสดงผลอ่านได้บนจอคอมพิวเตอร์ โดยความหนืดมีหน่วยเป็น RVU ดังนี้

- peak time คือ เวลาที่เกิดจุดสูงสุด (Peak) ของความหนืด มีหน่วยเป็นนาที
- pasting temperature คือ อุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนค่าความหนืด หรือมีค่าความหนืดเพิ่มขึ้น 2 RVU ใน 20 วินาที มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- peak temperature คือ อุณหภูมิที่เกิดจุดสูงสุด (Peak) มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส
- peak viscosity คือ ความหนืดที่จุดสูงสุด (Peak) มีหน่วยเป็น RVU
- holding strength คือ ความหนืดที่ต่ำที่สุดระหว่างการทำให้เย็น มีหน่วยเป็น RVU
- breakdown คือ ความแตกต่างของความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด มีหน่วยเป็น RVU
- final viscosity คือ ความหนืดสุดท้ายของการทดลอง มีหน่วยเป็น RVU
- setback form peak คือ ผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดที่จุดสูงสุด มีหน่วยเป็น RVU
- setback form trough คือ ผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด มีหน่วยเป็น RVU



ภาพที่ 2.9 กราฟจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง RVA
ที่มา: กล้าณรงค์ และเกื้อกูล (2546)

2.2.5 สมบัติทางความร้อนของแป้ง

การศึกษาสมบัติทางความร้อนของแป้งโดยใช้เครื่อง Differential Scanning Calorimetry (DSC) เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสารที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงพลังงาน และศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ หรือทางเคมีของวัสดุในรูปฟังก์ชันของปริมาณความร้อนที่เปลี่ยนแปลงกับอุณหภูมิ (กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2546) โดยอาศัยหลักการที่ว่า ทั้งตัวอย่างและสารอ้างอิงจะต้องคงอยู่ที่อุณหภูมิเดียวกันในกระบวนการให้ความร้อน หรือทำให้เย็นลงที่อัตราที่กำหนดไว้ คือ มีการให้ความร้อนเริ่มต้นที่ 20 องศาเซลเซียส จนถึงอุณหภูมิที่คาดว่าเลยช่วงในการเกิดเจลาติไนเซชัน คือ 100 องศาเซลเซียส ที่อัตรา 10 องศาเซลเซียสต่อนาที โดยมีการเตรียมตัวอย่างสารผสมระหว่างแป้งกับน้ำและบ่มสารละลายไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง ปริมาณความร้อนจะไหลเข้าสู่ระบบทั้งในส่วนของตัวอย่างและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารอ้างอิง เพื่อที่จะพยายามรักษาความแตกต่างของอุณหภูมิของตัวอย่างและสารอ้างอิงให้เป็นศูนย์ สัญญาณที่เป็นสัดส่วนกับความแตกต่างของกำลัง (power) ซึ่งป้อนให้กับตัวให้ความร้อน (heater) ทั้งสองจะบันทึกเป็นฟังก์ชันกับอุณหภูมิเพื่อที่อุณหภูมิและปริมาณความร้อนที่เกี่ยวข้องสามารถทำการวัดได้ ซึ่งค่าต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเกิด เจลาติไนเซชัน ได้แก่ อุณหภูมิเริ่มต้นการเกิดเจลาทิไนเซชัน (onset temperature; T_o), อุณหภูมิที่เกิดเจลาทิไนเซชันสูงสุด (peak temperature; T_p), อุณหภูมิสุดท้ายที่เกิดเจลาทิไนเซชัน (conclusion temperature; T_c) และพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลาทิไนเซชัน หรือพลังงานในการสลายโครงร่างผลึก (enthalpy; $\triangle H$) ในการวิเคราะห์หาพลังงานที่ใช้ในกระบวนการจำเป็นต้องหาพื้นที่ใต้กราฟ DSC และการหาเส้น baseline ที่ถูกต้องแม่นยำสำหรับการหาพื้นที่ใต้กราฟมีความสำคัญมาก เนื่องจากเส้น baseline มักมีความแตกต่างกันทั้งก่อนและหลังการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการที่ศึกษา ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะนำไปใช้หาอุณหภูมิและพลังงานความร้อนของการเปลี่ยนแปลง (enthalpy) ได้จากพื้นที่ใต้กราฟหารด้วยน้ำหนักแป้งตัวอย่าง

2.3 ประเภทของแป้งสตาร์ช

ในเชิงคุณค่าทางอาหารของแป้งสตาร์ช (nutritional starch, dietary starch) โดยทั่วไปแบ่งแป้งสตาร์ชออกเป็น 3 ประเภท ตามอัตราและระยะเวลาในการย่อย (Englyst และHudson, 1992) ได้แก่ แป้งสตาร์ชที่สามารถถูกย่อยได้อย่างรวดเร็ว (rapidly digestible starch, RDS) แป้งสตาร์ชที่ สามารถถูกย่อยได้อย่างช้า ๆ (slowly digestible starch, SDS) และ แป้งสตาร์ชทนย่อยต่อเอนไซม์ (resistant starch, RS)

2.3.1 แป้งสตาร์ชที่สามารถถูกย่อยได้อย่างรวดเร็ว (rapidly digestible starch, RDS)

โครงสร้างหลักของ RDS โดยทั่วไปจะเป็นส่วนอสัณฐาน (amorphous) และ dispersed starch (Sajirata และคณะ, 2006) ซึ่งจะถูกย่อยสลายโดยเอนไซม์ได้อย่างรวดเร็วไป เป็นน้ำตาลกลูโคสภายใน 20 นาที และพบได้ทั่วไปในอาหารที่มีส่วนประกอบของแป้งที่ผ่านการหุงสุกใหม่ ๆ

2.3.2 แป้งสตาร์ชที่สามารถถูกย่อยได้อย่างช้า ๆ (slowly digestible starch, SDS)

SDS จะมีลักษณะคล้ายกับ RDS แต่จะถูกย่อยสลายโดยเอนไซม์ได้ช้ากว่า และคาดว่าจะถูกย่อยสลายได้สมบูรณ์ในลำไส้เล็ก โดยสามารถตรวจวัดปริมาณได้โดยใช้วิธีทางเคมี ซึ่งจะเป็นส่วนที่ ถูกย่อยสลายโดยเอนไซม์ไปเป็นน้ำตาลกลูโคสหลังจากการย่อย 100 นาที พบได้ในแป้งสตาร์ช ธรรมชาติดิบ(raw native starch) ที่มีลักษณะโครงสร้างผลึกแบบ A และ C เช่น แป้งสตาร์ชจากพืช ธัญชาติ และผลิตภัณฑ์เส้นที่ทำสุกแล้ว เป็นต้น (Sajirata และคณะ, 2006) และเนื่องจาก SDS ถูกย่อย สลายโดยเอนไซม์อย่างช้า ๆ ดังนั้นจึงส่งผลให้มีระดับน้ำตาลกลูโคสในเลือดเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ซึ่งจะ เป็นผลดีสำหรับผู้ป่วยที่เป็นโรคเบาหวาน นอกจากนี้ยังพบว่าอาหารที่มีปริมาณ SDS สูงจะมีค่าดัชนีน้ำตาล (glycemic index, GI) ปานกลาง (Lehmann และRobin, 2007) ซึ่งมีข้อมูลทางการแพทย์ที่ แสดงว่าอาหารที่มีค่า GI ต่ำ จะลดโอกาสเสี่ยงต่อการเป็นโรคเบาหวานและโรคหลอดเลือดหัวใจ ตีบ (Jenkins และคณะ,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2002) ในปัจจุบันยังไม่มีการผลิต SDS ทางการค้า แต่มีคาร์โบไฮเดรตทางการค้า ชนิดหนึ่ง ซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ช้า (slowly digestible carbohydrate, SDC) ที่มีชื่อทาง การค้าว่า "Isomaltulose/Paiatinose" ซึ่งอ้างว่าจะให้ระดับน้ำตาลกลูโคสในเลือดอย่างช้า ๆ หลังจากบริโภค (Lehmann และ Robin, 2007)

2.3.3 สตาร์ชทนย่อย (resistant starch)

2.3.3.1 ความหมายและประเภทของสตาร์ชทนย่อย

- สตาร์ชทนย่อย (resistant starch, RS) ตามคำนิยามของ European FLAIR-Concerted Action on Resistant Starch หมายถึง สตาร์ชและผลิตภัณฑ์ของสตาร์ชที่ไม่สามารถถูกย่อยสลายได้ด้วยเอนไซม์และ ดูดซึมภายในลำไส้เล็กของมนุษย์ได้ สามารถเกิดขึ้นเองได้ตามธรรมชาติแต่เป็นส่วนน้อย โดยเม็ดสตาร์ชจะถูกห่อหุ้มอยู่ภายในร่างแหของโปรตีน หรือถูกตรึงอยู่ภายในเซลล์หุ้มเมล็ดพืช ทำให้เอนไซม์ไม่สามารถเข้าไปทำปฏิกิริยาในเม็ดสตาร์ชได้ (เกื้อกูล และกล้าณรงค์, 2544) สามารถแบ่งได้ 4 ชนิด (Englyst และ Hudson, 1992; Brown และคณะ, 1995) ดังนี้

- สตาร์ชที่มีลักษณะทางกายภาพขัดขวางการทำงานของเอนไซม์ (physically inaccessible starch หรือ RS1) พบในเม็ดพืชที่ถูกทำลายไปบางส่วนจากการบด ในพืชตระกูลถั่ว (legumes) จะพบมาก เนื่องจากมีผนังเซลล์หนา กระบวนการเตรียมและการกระบวนการหุงต้ม มีอิทธิพลมากต่อปริมาณ RS ในอาหาร เพราะจะทำให้ผนังเซลล์ถูกทำลาย (Champ และคณะ, 2003)

- เม็ดสตาร์ชดิบที่ทนต่อการทำงานของเอนไซม์ (ungelatinized starch หรือ RS2) เช่น เม็ดสตาร์ช มันฝรั่งดิบ เม็ดสตาร์ชกล้วยดิบ เม็ดสตาร์ชถั่วดิบ และในสตาร์ชข้าวโพดที่มี อะไมโลสสูง (Nugent, 2005) โดยคงทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ การเกิดเจลาทิไนเซชันของสตาร์ชจะช่วยให้เอนไซม์เข้าไปทำปฏิกิริยากับเม็ดสตาร์ชได้มากขึ้น (Champ และคณะ, 2003)

- สตาร์ชที่ผ่านการรีโทรเกรเดชัน (retrograded starch หรือ RS3) อาหารที่ผ่านการให้ความร้อนจนสตาร์ชเกิดการเจลาทิไนเซชัน แล้วถูกทำให้เย็นตัวลง ทำให้ส่วนของ อะไมโลสที่กระจายออกมาจากเม็ดสตาร์ชเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ได้เป็นผลึกที่แข็งแรง และทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ (Lunn และButriss, 2007)

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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	สภาวะที่ใช้ในการแปรรูป
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 เกิดจากโครงสร้างเม็ดแป้งแตกในขณะที่เกิดกระบวนการเจลาทิไนเซชัน (gelatinization) ของแป้ง โดยการให้ความร้อนในปริมาณน้ำที่มากเพียงพอ หลังจากที่ระบบเย็นตัวลง การจับกันใหม่ของสายโมเลกุลอะไมโลส และอะไมโลเพคตินจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ (retrogradation) เทคนิคกระบวนการแปรรูปต่างๆ เช่น การใช้หม้อนึ่งความดันซึ่งเป็นการให้ความร้อนแบบร้อนชื้น การอบ extrusion และการใช้รังสีไมโครเวฟ จะส่งผลต่อการเกิดเจลาทิไนเซชัน ในขณะที่เทคนิคการทำให้เย็น การทำให้สุกแล้วตามด้วยการทำให้เย็นหลายๆ รอบ ล้วนเป็นเทคนิคที่นำมาใช้ในการเพิ่มปริมาณสตาร์ช ทนย่อยประเภท RS3

2.3.3.2 ประโยชน์ทางสรีระวิทยาของสตาร์ชทนย่อย (Sajilata และคณะ, 2006)

- สตาร์ชทนย่อยเป็นใยอาหาร (dietary fiber)

สตาร์ชทนย่อย เป็นสตาร์ชที่ทนทานต่อการย่อยจากเอนไซม์ของมนุษย์ จึงจัดเป็นองค์ประกอบของใยอาหารชนิดหนึ่ง สามารถใช้วิธีการวิเคราะห์แบบใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (insoluble dietary fiber) ได้ และมีประโยชน์ทางสรีระวิทยาเหมือนใยอาหารที่ละลายน้ำ (soluble dietary fiber) คือ ทำให้ระบบการย่อย และการเผาผลาญกลูโคสได้ช้าลง จึงส่งผลดีต่อลำไส้ใหญ่ ช่วยป้องกันการเกิดโรคมะเร็งลำไส้ใหญ่ ลดคอเลสเตอรอลและไตรกลีเซอไรด์ในเลือด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อัตราการย่อยอาหารต่ำ (hypoglycaemic effects)

อาหารที่มีสตาร์ชทนย่อย ทำให้อัตราการย่อยต่ำ โดยทั่วไป อาหารประเภทแป้งจะเกิดการย่อยเกือบจะทันทีหลังการบริโภคอาหาร แต่อาหารที่มีสตาร์ชทนย่อยจะเกิดการย่อยได้ช้า ซึ่งจะเกิดขึ้นหลังจากรับประทานอาหารแล้ว 5-7 ชั่วโมง ดังนั้น สตาร์ชทนย่อยจึงลดค่า GI (glyceamic index) ได้

- พรีไบโอติก (prebiotic)

เนื่องจากสตาร์ชทนย่อยไม่ถูกย่อยและดูดซึมในลำไส้เล็ก จึงผ่านมายังลำไส้ใหญ่และถูกหมักด้วยจุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่ ทำให้เกิดกรดไขมันสายสั้น (short chain fatty acid) ได้แก่ อะซีเตท บิวทีเรท และโพรปิโอเนต สารเหล่านี้เป็นสารตั้งต้นที่ให้พลังงานแก่แบคทีเรียโพรไบโอติก (probiotic) เช่น *Bifidobacterium* ทำให้เจริญเติบโตได้ดี

- ยับยั้งการสะสมไขมัน และลดการสะสมคอเลเตอรอล

หลังจากรับประทานอาหารที่มีสตาร์ชทนย่อย พบว่า มีการเกิดออกซิเดชันของไขมันเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ แสดงว่าสตาร์ชทนย่อยช่วยลดการสะสมของไขมันในระยะยาวได้ และเมื่อศึกษาในหนูทดลองที่ให้อาหารที่มีสตาร์ชทนย่อย (มันฝรั่งดิบร้อยละ 25) พบว่าระดับคอเลสเตอรอล และ ไตรกลีเซอไรด์ในเลือดลดลง

2.3.3.3ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดสตาร์ชทนย่อย (Sajilata และคณะ, 2006)

- คุณสมบัติของแป้ง

โครงสร้างของเม็ดแป้ง มีผลต่อประสิทธิภาพการเข้าถึงของเอนไซม์ แป้งที่มีโครงสร้างแบบปิด หรือโครงสร้างที่เป็นผลึกเรียงตัวกันแน่น จะทำให้ทนทานต่อการย่อยของเอนไซม์ นอกจากนี้แป้งที่ปริมาณอะไมโลสสูงจะทำให้เกิดสตาร์ชทนย่อยได้มาก เนื่องจากระหว่างการเก็บแป้งหลังผ่านการเจลาทิไนเซชัน อะไมโลสจะเกิดการคืนตัวในรูปของโครงสร้างผลึกที่ทนทานต่อการย่อยโดยเอนไซม์อะไมเลส (Sievert และPomeranz, 1989) และอัตราการคืนตัวของแป้งจะสูง เมื่อขนาดโมเลกุลของอะไมโลสเท่ากับ 100 ถึง 200 ซึ่งถ้าสายอะไมโลสสั้นหรือยาวกว่านี้ อัตราการคืนตัวจะลดลง (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546)

- ความร้อนและความชื้น

ปริมาณน้ำเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเกิดสตาร์ชทนย่อย โดยการให้ความร้อนกับแป้งหลายๆ รอบ จะลดการทำงานของเอนไซม์อะไมเลส ทำให้ปริมาณสตาร์ชทนย่อยเกิดมากขึ้น

- การเกิดอันตรกิริยา (interaction) ของแป้งกับองค์ประกอบอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

143552

ไขมันมีผลต่อการเกิดสตาร์ชทนย่อย เนื่องจากไขมันมีความสามารถในการจับตัวกับอะไมโลสเป็น amylose-lipid complex ที่อาจมีผลทำให้ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ นอกจากนี้ ไอออน (ประจุบวก) เช่น แคลเซียม โพแทสเซียม เป็นต้น รวมไปถึงน้ำตาล ก็มีผลต่อการเกิดสตาร์ชทนย่อยได้

- สภาวะในกระบวนการผลิต

การให้ความร้อนมีผลต่อการเกิดเจลาทิไนเซชันของแป้ง สามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ การใช้ไอน้ำ ใช้หม้อนึ่งความดันไอ (autoclave) และการอัดพอง (extrusion) นอกจากนี้ สภาวะในการเก็บก็มีผลต่อการคืนตัวของแป้ง ปริมาณสตาร์ชทนย่อยสามารถเพิ่มขึ้น

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature review)

มีงานวิจัยที่รายงานการศึกษาปริมาณของ Rapid digestible starch (RDS) Slowly digestible starch (SDS) และปริมาณสตาร์ชทนย่อย (RS) ในพืชโดยไม่ได้ดัดแปรดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ปริมาณของ RDS, SDS และ RS ของพืชชนิดต่างๆ

ตัวอย่าง	RDS	SDS	RS	เอกสารอ้างอิง
White rice	28.3	34.9	2.6	**Rosin และคณะ (2002) (วิเคราะห์อาหารที่ปรุงสุกแล้ว) (หน่วยของทุกค่าเป็น % น้ำหนักแห้งของอาหาร)**
Polished rice	34.1	41.5	2.4	
corn	31.5	40.3	3.9	
potato	36.7	51.0	3.4	
pea	16.9	22.9	4.6	
bean	11.4	16.6	4.8	
lentil	17.3	22.8	5.0	
chickpea	17.9	24.0	5.9	
ถั่วลูกไก่พันธุ์ใหม่ในแคนาดา	10.9-15.7	48.5-60.2	24.1-40.6	**Hughes และคณะ (2009) (หน่วยของทุกค่าเป็น % น้ำหนักแห้งของสตาร์ช**
สตาร์ชถั่วเขียว	-	-	**11.2**	**Li และคณะ (2011) (หน่วยของทุกค่าเป็น % น้ำหนักแห้งของสตาร์ช)**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับงานวิจัยที่ใช้การดัดแปรสตาร์ชที่ได้จากพืชชนิดต่างๆ โดยใช้เทคนิควิธีการที่แตกต่างกัน เพื่อเพิ่มปริมาณสตาร์ชทนย่อยและการศึกษาถึงสมบัติทางเคมีกายภาพและสมบัติเชิงหน้าที่ของสตาร์ชดัดแปรมีดังนี้

Rosin และคณะ (2002) ศึกษา การย่อยของสตาร์ช (in vitro digestion) ของอาหารที่มีองค์ประกอบของสตาร์ช 11 ชนิด ทั้งตัวอย่างที่ปรุงให้สุกแล้ว และ ตัวอย่างที่เก็บอาหารนั้นไว้ที่ -20 °C 30 วัน พบว่าการเก็บจะทำให้อาหารนั้นมีปริมาณสตาร์ชทนย่อยสูงขึ้น และค่า hydrolysis index (HI) ลดลง และ พบความสัมพันธ์ของ ค่า HI และ ค่า rapid digestible starch (RDS) ดังนี้คือ y=0.573x-16.67

González-Soto และคณะ (2004) ศึกษาการดัดแปรสตาร์ชจากสตาร์ชกล้วยดิบ โดยการนำสตาร์ชกล้วยดิบผ่านการระบวนการให้ความร้อนชื้นโดยผ่าน autoclave (121°C/30 นาที) แล้วจึงนำมาผ่านเอนไซม์ pullulanase ในปริมาณความเข้มข้นที่แตกต่างกัน พบว่าตัวอย่างควบคุมที่ไม่ได้ผ่านเอนไซม์มีค่า available starch (80.5%) ในปริมาณสูงที่สุดและมีปริมาณสตาร์ชทนย่อยที่ต่ำที่สุด (9.1%) ตัวอย่างที่ผ่านเอนไซม์ 5 ชั่วโมงหรือนานกว่านั้นจะมีค่า available starch (ประมาณ 72%) และค่าปริมาณสตาร์ชถูกย่อย (ประมาณ 18%) ซึ่งมากกว่าตัวอย่างควบคุมประมาณ 2 เท่า คณะผู้วิจัยยังรายงานเพิ่มเติมว่า สตาร์ชกล้วยดิบเป็นแหล่งของสตาร์ชทนย่อยที่ดีแหล่งหนึ่งซึ่งสามารถใช้เป็นสารเภสัชโภชนศาสตร์ (nutraceutic ingredients) ในการทำอาหารเพื่อสุขภาพ (functional food)

Vargas-Torres และคณะ (2004) ได้ศึกษาปริมาณของสตาร์ชทนย่อย (resistant starch) และปริมาณ RS3 (retrograded resistant starch) ของถั่ว 5 ชนิดที่นำไปหุงต้มแล้วเก็บที่ 4 °C เป็นเวลา 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง โดยเลียนแบบพฤติกรรมการหุงต้มของครอบครัวชาวเม็กซิกัน พบว่าเมื่อยิ่งเก็บถั่วที่หุงต้มไว้นานขึ้น พบปริมาณสตาร์ชทนย่อย และปริมาณ R3 เพิ่มขึ้น ค่าอัตรา in-vitro α-amylolysis ลดลง เมื่อเก็บนานขึ้น ตัวอย่างที่มีค่า RS สูงที่สุด จะมีค่าการย่อยที่ต่ำที่สุด และพันธุ์ถั่วบางพันธุ์สามารถนำมาทำเป็นอาหารพิเศษสำหรับคนที่เป็นโรคเบาหวานได้ เนื่องจาก มีค่า RS ปริมาณสูง

Aparicio-Saguilän และคณะ (2005) ศึกษาการเพิ่มปริมาณสตาร์ชทนย่อยในสตาร์ชกล้วยดิบทั้งแบบที่ไม่ได้ดัดแปรและที่ดัดแปรโดยใช้กรด (lintnerized) โดยนำไปผ่าน autoclave (121° C, 1 h) และทำให้เย็น (4°C, 24 ชม.) จำนวน 3 รอบ พบว่า สตาร์ชกล้วยที่ผ่านการให้ความร้อนและการทำให้เย็นจำนวน 3 รอบ ให้ค่าปริมาณสตาร์ชทนย่อยที่สูงกว่าตัวอย่างที่ไม่ได้ผ่าน โดยเฉพาะในตัวอย่างสตาร์ชกล้วยที่ผ่านการดัดแปรโดยใช้กรด (lintnerized) จะให้ค่าที่สูงกว่าไม่ได้ดัดแปรประมาณ 19% น้ำหนักแห้ง ตัวอย่างที่มีค่าปริมาณสตาร์ชที่สูงขึ้นนี้จะมีค่าการละลายและค่าการพองตัวที่ต่ำลง สำหรับค่า Tp และค่าการเปลี่ยนแปลงของเอนทาลปีของตัวอย่างที่ผ่านการการให้ความร้อนและการทำให้เย็นมีค่าที่สูงกว่าตัวอย่างที่ไม่ได้ผ่านอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Agustiniano-Osornio และคณะ (2005) ศึกษาการดัดแปรสตาร์ชมะม่วงดิบโดยใช้การ extrusion เพื่อเพิ่มปริมาณสตาร์ชทนย่อย โดยใช้ตัวแปรในการศึกษาคือ อุณหภูมิ ความเร็วสกูว์ และปริมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความชื้น พบว่า ปริมาณสตาร์ชทนย่อยจะมีค่าสูงที่สุด (97 กรัม กิโลกรัม-1) เมื่ออยู่ในสภาวะที่สคูว์มีความเร็วต่ำและอุณหภูมิที่สูง ซึ่งในสภาวะนี้เป็นสภาวะที่สายโมเลกุลอะมิโลสจะจับตัวกัน

Chung และคณะ (2009) พบว่าการดัดแปรแป้งโดยใช้ heat-moisture treatment (ปริมาณความชื้น 30 %, ที่ 100, 120ºC, 2 h) ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่า RDS SDS และ TS มากกว่า การดัดแปรด้วยวิธี annealing (ปริมาณความชื้น 70 %, ที่ 10, 15ºC, 24 h)

Eyaru และคณะ (2009) พบว่าการหุงต้มที่สภาวะความดันปกติถั่วทั้งที่แช่ถั่วและไม่แช่ถั่วโดยเฉพาะในหม้ออัดความดันทำให้ค่าปริมาณสตาร์ชทนย่อยลดลงและค่า RDS SDS และ TS เพิ่มขึ้น

Yadav และคณะ (2010) ศึกษาผลของระยะเวลาการเก็บ (12 and 24 ชม) และอุณหภูมิการเก็บ (4 ºC and 25 ºC) ต่อปริมาณสตาร์ชทนย่อยของเมล็ดธัญพืชและพืชตระกูลถั่วทั้งในรูปแบบทั้งเมล็ดและแป้ง (flour) ที่ผ่านการให้ความร้อนโดยหม้อนึ่งความดัน พบว่า ปริมาณสตาร์ชทนย่อยเพิ่มขึ้นสำหรับในทุกตัวอย่างที่ผ่านหม้อนึ่งตวามดันและเก็บที่สภาวะต่างๆกัน โดยพบค่าปริมาณสตาร์ชทนย่อยที่สูงขึ้นในสภาวะการเก็บที่ 4 ºC 24 ชม. (41.4% สำหรับแป้งสาลี และ 85.4% สำหรับแป้งถั่ว) นอกจากนี้ระดับของสตาร์ชที่ถูกย่อย (in vitro starch digestibility) จะมีค่าลดลงเมื่อตัวอย่างถูกเก็บในสภาวะ 4 ºC 24 ชม. แสดงถึงในโมเลกุลแป้งมีความแข็งแรงมากขึ้น

Li และคณะ (2011) ศึกษาผลของกระบวนการการให้ความร้อนชื้น (heat-moisture treatment) ต่อปริมาณสตาร์ชทนย่อย ลักษณะทางเคมีกายภาพ และสมบัติเชิงหน้าที่ของสตาร์ชทนย่อย โดยแปรปริมาณความชื้นในสตาร์ชถั่วเขียวเป็น 15. 20, 25, 25, 30 และ 35% และให้ความร้อนที่ 120 ºC 12 ชั่วโมง พบว่าปริมาณสตาร์ชทนย่อยและปริมาณของกลุ่มสตาร์ชถั่วเขียวที่ผ่านการให้ความร้อนชื้นสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกว่าตัวอย่างควบคุมที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการการให้ความร้อนชื้น โดยสตาร์ชถั่วเขียวที่มีความชื้น 20 % มีค่าสตาร์ชทนย่อยสูงที่สุด กลุ่มสตาร์ชถั่วเขียวที่ผ่านการให้ความร้อนชื้นมีสัดส่วนของน้ำหนักโมเลกุลของสตาร์ชที่มีน้ำหนักมากในปริมาณที่สูงกว่าตัวอย่างควบคุม กลุ่มสตาร์ชถั่วเขียวที่ผ่านการให้ความชื้นและสตาร์ชถั่วเขียวที่ไม่ได้ผ่านการให้ความร้อน (native starch) มีรูปแบบของ x-ray diffraction เป็น A-type กลุ่มสตาร์ชถั่วเขียวที่ผ่านการให้ความชื้นมีความเป็นผลึกมากกว่า และค่าการละลายน้ำเพิ่มขึ้นแต่ค่าการพองตัวลดลง สำหรับอุณหภูมิการเกิดเจลและค่าการเปลี่ยนแปลงเอนทาลปีของกลุ่มสตาร์ชถั่วเขียวที่ผ่านการให้ความชื้นมีค่าที่สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเช่นเดียวกัน ดังนั้น การดัดแปรทางกายภาพโดยการให้ความร้อนชื้นกับสตาร์ชถั่วเขียวสามารถเพิ่มปริมาณสตาร์ชทนย่อยได้ โดยวัดได้จากลักษณะทางเคมีกายภาพต่างๆที่แสดงถึงสมบัติการทนความร้อน และมีความแข็งแรงของพันธะในโมเลกุลสตาร์ชที่มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Shi และ Gao (2011) ได้ศึกษาการเพิ่มสตาร์ชทนย่อยโดยใช้เอนไซม์ pullanase ตัดพันธะโมเลกุลอะมิโลเพคตินของสตาร์ชข้าวเหนียว พบว่า สตาร์ชทนย่อยที่ได้มีรูปแบบผลึกเป็นแบบผสมระหว่าง B และ V สตาร์ชดัดแปรมีสตาร์ชทนย่อย ปริมาณอะมิโลสสูงกว่าและค่าเอนทาลปีสูงกว่าสตาร์ชดั้งเดิม

สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มสตาร์ชทนย่อยในขนมอบมีดังนี้ และ ตารางที่ 2 แสดงสตาร์ชส่วนต่างๆ RDS, SDS และ SD ในขนมอบประเภทต่างๆ

Baixauli และคณะ (2008) ได้ศึกษาการเพิ่มสตาร์ชทนย่อย (HI-maize) ในการทำมัฟฟิน พบว่าปริมาณที่ใส่ที่ 10% ไม่ทำให้คุณภาพของมัฟฟินด้อยลง แต่ปริมาณที่ใส่ไม่เกินกว่า 15% จะทำให้คุณภาพมัฟฟินเริ่มด้อยลง นอกจากนี้สตาร์ชทนย่อยที่ใส่ไม่มีผลต่อค่า specific gravity ของ batter

Korus และคณะ (2009) ได้ศึกษาการเพิ่มสตาร์ชทนย่อยที่ทำจากข้าวโพดและแป้งมันสำปะหลังในสูตรการทำขนมปังปราศจากกลูเตน พบว่า ขนมปังมีคววามแข็งของเนื้อขนมปังลดลง แต่ถ้าเพิ่มปริมาณสตาร์ชทนย่อยมากขึ้น ขนมปังจะมีคุณภาพที่ลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 สตาร์ชส่วนต่างๆ RDS, SDS และ SD ในขนมอบประเภทต่างๆ

ประเภทขนมอบ	RDS (% น้ำหนักแห้ง)	SDS (% น้ำหนักแห้ง)	RS (% น้ำหนักแห้ง)	เอกสารอ้างอิง
Rye bread	73.4	1.9	2.7	Tas และ El (2000)
Wheat bran bread	68.0	2.0	6.6	
Corn flour bread	65.9	2.4	2.2	
White bread	40.39	43.48	0.78	Rosin และคณะ (2002)
Yeast leavened wheat bread	-	-	1.25	El-Sayed และ Rabalski (2008)
Sourdough wheat bread	-	-	1.21	
Yeast/sourdough wheat bread	-	-	1.16	
Wheat biscuit	-	-	0.69	
Wheat cookie	-	-	0.28	
Wheat muffin	-	-	0.79	
Wheat bread	38.4	33.6	30.1	Yousif และคณะ (2012) % น้ำหนักสตาร์ชแห้ง
40% sorghum flatbread	27.7	33.4	38.9	

หมายเหตุ ค่าตัวเลขที่ได้ผู้วิจัยแต่ละกลุ่มใช้วิธีวิเคราะห์ที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินการทดลอง

3.1 วัตถุดิบ

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

3.1.2 ถั่วแดงหลวง (red kidney bean; *Phaseolus vulgaris*) จากบริษัทตั้งยิ่งวัฒนา จำกัด เมล็ดสมบูรณ์ไม่มีตำหนิ เช่น แมลงเจาะ เมล็ดแตกหัก

3.1.3 แห้วจีน (Chinese water chestnut; *Eleocharis dulcis*) จากตลาดหัวตะเข้ ลาดกระบัง ผลสมบูรณ์ไม่มีตำหนิ เช่น แมลงเจาะ หัก

3.2 เครื่องมือ

3.2.1 เครื่องกะเทาะเปลือกถั่ว

3.2.2 ตู้อบแบบถาด (tray dryer) ผลิตโดยบริษัท โปรเกรส อีเล็คโทรนิค 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 สหรัฐอเมริกา

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 อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water bath) รุ่น WNB 7-45 ผลิตโดยบริษัท Memmert ประเทศเยอรมัน

3.2.11 เครื่องวัดพีเอช (pH meter) รุ่น SevenEasy ผลิตโดยบริษัท *Mettler toledo* ประเทศสวิตเซอร์แลนด์

3.2.12 micro-pipettors และ Tips ผลิตโดยบริษัท *Mettler toledo* ประเทศสวิตเซอร์แลนด์

3.2.13 โถสำหรับดูดความชื้น (desiccator)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.14 magnetic stirrers และ stirring bars รุ่น C-MAG MS 7 ผลิตโดยบริษัท IKA-Werke GmbH ประเทศเยอรมัน

3.2.15 เครื่อง vortex mixer รุ่น G560E ผลิตโดยบริษัท Scientific Industries ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.2.16 อุปกรณ์เครื่องแก้ว

3.2.17 Thermometer

3.2.18 เครื่องวัดสี Minolta CR400

3.2.19 เครื่อง Texture analyzer รุ่น TA-XT Plus

3.2.20 เครื่อง Scanner รุ่น 9000F Mark II ผลิตโดยบริษัท Canon

3.2.21 เครื่องบ่มขนมปัง รุ่น NFF-16PS ผลิตโดยบริษัท Huangpu China

3.2.22 เครื่องอบขนมปัง รุ่น YXD-10A ผลิตโดยบริษัท Huangpu China

3.2.23 เครื่องตีผสมขนมปัง ผลิตโดยบริษัท กิตติวัฒนา

3.3 สารเคมี

3.3.1 acetic acid บริษัท Merck ประเทศเยอรมัน

3.3.2 acetone บริษัท Merck ประเทศเยอรมัน

3.3.3 calcium chloride ($CaCl_2$) บริษัท Ajax Finechem ประเทศนิวซีแลนด์

3.3.4 dimethyl sulphoxide (DMSO) บริษัท Riedel de Haen ประเทศเยอรมัน

3.3.5 ethyl alcohol บริษัท อิตัลมาร์ ประเทศไทย

3.3.6 hydrochloric acid (HCl) บริษัท Merck ประเทศเยอรมัน

3.3.7 maleic acid บริษัท Ajax Finechem ประเทศนิวซีแลนด์

3.3.8 potassium hydroxide (KOH) บริษัท Ajax Finechem ประเทศนิวซีแลนด์

3.3.9 sodium azide บริษัท Merck ประเทศเยอรมัน

3.3.10 sodium hydroxide (NaOH) บริษัท Carlo Erba Reagenti ประเทศอิตาลี

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

3.3.12 แป้งสาลี ตรา หงส์ขาว

3.3.13 เกลือ ตรา ปรุงทิพย์

3.3.14 ยีสต์ ตรา fermipan

3.3.15 เนยขาว ตรา ใบไม้ทอง

3.3.16 น้ำตาลทรายขาวละเอียด ตรา ลิน

3.3.17 น้ำ

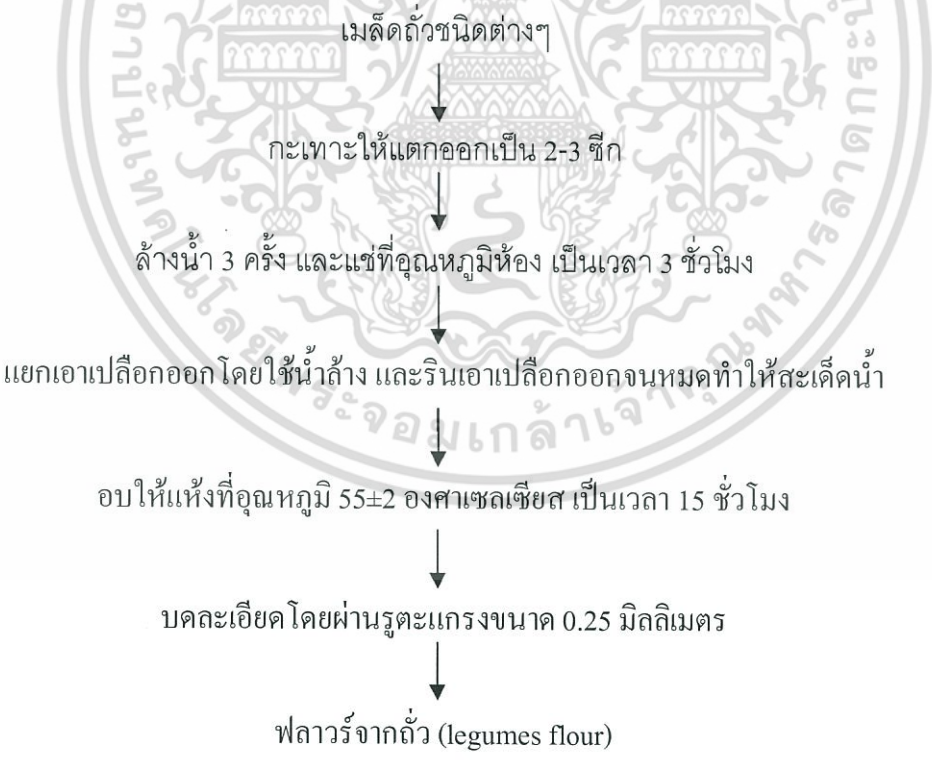
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การเตรียมฟลาวร์ (flour) และสตาร์ช (starch) จากถั่วมะแฮะ ถั่วแดง และ สตารช์แห้วจีน

3.4.1 การเตรียมฟลาวร์จากถั่วมะแฮะ ถั่วแดง และ แห้วจีน

เตรียมฟลาวร์จากถั่วชนิดต่างๆ โดยดัดแปลงจากวิธีของ สมชาย ประภาวัต และคณะ (2541) นำเมล็ดถั่วชนิดต่างๆ มาแยกกะเทาะให้แตกออกเป็น 2-3 ซีก โดยใช้เครื่องกะเทาะเปลือกถั่ว และนำมาล้างน้ำ 3 ครั้งจนสะอาด ก่อนนำไปแช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แยกเอาเปลือกออกโดยใช้น้ำล้าง และรินเอาเปลือกออกจนหมดทำให้สะเด็ดน้ำ แล้วนำถั่วที่ได้ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 55±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 ชั่วโมง นำมาบดละเอียดโดยผ่านรูตะแกรงขนาด 0.25 มิลลิเมตร ได้เป็นฟลาวร์จากถั่ว (ภาพที่ 3.1) สังเกตลักษณะของฟลาวร์ที่ผลิตได้ และคำนวณปริมาณร้อยละของฟลาวร์ที่ได้ (% yield) เป็นน้ำหนักแห้ง (dry basis)

$$\textbf{ปริมาณของฟลาวร์ที่ได้ (\% Yield)} = \frac{\text{(น้ำหนักของฟลาวร์จากถั่วที่ได้) x 100}}{\text{น้ำหนักถั่วเริ่มต้น}}$$



ภาพที่ 3.1 การเตรียมฟลาวร์จากถั่วมะแฮะ ถั่วแดง และ แห้วจีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 การเตรียมสตาร์ชจากแห้ว

เตรียมสตาร์ชจากแห้ว โดยดัดแปลงจากวิธีของ Nimsung และคณะ, (2007) นำแป้งถั่วที่เตรียมได้ผสมในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide) ความเข้มข้น 0.05 โมล่าร์ โดยใช้อัตราส่วน 1:10 (แป้ง 1 กรัม: สารละลาย 10 มิลลิลิตร) กวนให้เข้ากันตลอดเวลา เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็วรอบ 3,000g เป็นเวลา 10 นาที เทส่วนของเหลวทิ้ง และขูดส่วนสีน้ำตาลด้านบนของส่วนที่ตกตะกอน (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 และขูดส่วนสีน้ำตาลด้านบนของส่วนที่ตกตะกอนออก 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 โดยใช้น้ำกลั่นล้างส่วนที่ไม่สามารถละลายได้ออกให้ได้มากที่สุด ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำซ้ำอีก 2 ครั้ง โดยในครั้งสุดท้ายปรับพีเอชของน้ำแป้ง ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid) เป็น 6.5-7.0 ได้เป็นสตาร์ชเปียก และนำไปอบแห้งด้วยเครื่องอบแบบลมร้อนอุณหภูมิ 50±2 องศาเซลเซียส เวลา 5-8 ชั่วโมง นำมาบดละเอียดโดยผ่านรูตะแกรงขนาด 0.25 มิลลิเมตร ได้เป็นสตาร์ชถั่ว เก็บในถุงสุญญากาศและเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 3.2) สังเกตลักษณะของสตาร์ชที่ผลิตได้ และคำนวณปริมาณของสตาร์ชที่ได้ (% yield) เป็นน้ำหนักแห้ง (dry basis)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟลาวร์จากแห้วจีน (Chinese water chestnut flour)

↓

ผสมฟลาวร์ในสารละลาย NaOH 0.05 M (อัตราส่วน 1: 10)

↓

กวนให้เข้ากันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง

↓

นำไปหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็วรอบ 3,000g เป็นเวลา 10 นาที

↓

เทส่วนของเหลวทิ้ง และขูดส่วนสีน้ำตาลด้านบนของส่วนที่ตกตะกอน (ตะกอนหยาบ) ออก

↓

นำส่วนตะกอนด้านล่าง (ตะกอนละเอียด) ผสมในสารละลาย NaOH 0.05 M (อัตราส่วน 1: 5)

↓

นำไปหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็วรอบ 3,000g เป็นเวลา 10 นาที

↓

เทส่วนของเหลวทิ้ง และขูดส่วนสีน้ำตาลด้านบนของส่วนที่ตกตะกอนออก

↓

ผสมส่วนตะกอนด้วยน้ำกลั่น (อัตราส่วน 1:5) ผสมให้เข้ากัน

↓

กรองผ่านผ้าขาวบาง และตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

↓

เทส่วนใสด้านบนทิ้ง และทำซ้ำอีก 2 ครั้ง (ครั้งสุดท้ายปรับพีเอช 6.5-7.0 ด้วยสารละลายกรด HCl)

↓

ได้เป็นสตาร์ชเปียก

↓

นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 50±2 องศาเซลเซียส เวลา 5-8 ชั่วโมง

↓

บดละเอียดโดยผ่านรูตะแกรงขนาด 0.25 มิลลิเมตร

↓

สตาร์ชจากแห้วจีน (Chinese water chestnut starch)

ภาพที่ 3.2 การเตรียมสตาร์ชจากแห้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 ศึกษาปริมาณสตาร์ชทนย่อย (RS) ปริมาณสตาร์ชที่ถูกย่อยได้เร็ว (RDS) ปริมาณสตาร์ชที่ถูกย่อยได้ช้า (SDS) อัตราการย่อย (HI) และปริมาณอะมิโลส ของสตาร์ชถั่วมะแฮะ สตาร์ชถั่วแดง และสตาร์ชแห้วจีน ที่ยังไม่ได้ผ่านการดัดแปร

3.5.1 ศึกษาปริมาณสตาร์ชทนย่อย (resistant starch content) ปริมาณสตาร์ชที่ถูกย่อยได้อย่างรวดเร็ว (RDS) ปริมาณสตาร์ชที่ถูกย่อยได้อย่างช้าๆ (SDS) ของสตาร์ชถั่วมะแฮะ สตาร์ชถั่วแดง และสตาร์ชแห้วจีน ตามวิธีของ AOAC Method 2002.02 โดยใช้ชุดตรวจสอบ Resistant Starch Assay Kit (Megazyme ประเทศไอร์แลนด์)

3.5.2 ศึกษาอัตราการย่อย (*In vitro* starch digestibility) และ ค่าดัชนีน้ำตาล (GI)

อัตราการย่อยแป้ง (*In vitro* starch digestibility) ศึกษาที่เวลา 30, 60, 90, 120, 150 และ 180 นาที โดยพล็อตกราฟระหว่าง Total starch hydrolysis กับ เวลา (นาที) คำนวณค่า Hydrolysis index (HI) ตามวิธีของ Goni และคณะ, (1997) ดังสมการ

A first order equation ดังนี้

$$C = C\infty\ (1 - e^{-kt})$$

C = ความค่าความเข้มข้นของการย่อยที่เวลา t

C∞ = สมดุลของความเข้มข้นของการย่อย

k = the kinetic constant

t = เวลา (นาที)

หลังจากนั้นคำนวณพื้นที่ใต้กราฟ (AUC) ดังสมการ

$$AUC = C_\infty (t_f - t_0) - (C_\infty/k)\ [1 - Exp[-k[t_f - t_0]]$$

คำนวนค่าดัชนีการย่อย (Hydrolysis index, HI) ดังสมการ

$$HI = (AUC \text{ of test food} / AUC \text{ of reference sample}) \times 100$$

หมายเหตุ ตัวอย่างอ้างอิง คือ ขนมปังขาว

- ค่าดัชนีน้ำตาล (Glycemic Index, GI) ตามวิธีของ Goni และคณะ, (1997) ตามสมการดังนี้

$$GI = 39.71 + (0.549 \times HI)$$

3.5.3 วิเคราะห์ปริมาณอะมิโลส (Juliano, 1971), รายละเอียดในภาคผนวก ก.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 การดัดแปรสตาร์ชโดยเปรียบเทียบวิธีการให้ความร้อนแบบการอบ (baking) และการใช้หม้อนึ่งความดันไอ (autoclave) และการใช้ไมโครเวฟ (microwave) แล้วทำให้เย็นที่ 4°C ระยะเวลาต่างๆ เพื่อเพิ่มปริมาณสตาร์ช ทนย่อย

วิธีการให้ความร้อนแบบการอบ (baking) ดัดแปลงจากวิธีของ Chung และคณะ, 2009) นำตัวอย่างสตาร์ชจากถั่วมะแฮะ สตาร์ชถั่วแดงหลวงและสตาร์ชแห้วจีนที่เตรียมได้ไปอบ โดยใช้ตู้อบลมร้อน (hot air oven) ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง วิธีการให้ความร้อนแบบการใช้หม้อนึ่งความดันไอ (autoclave) ดัดแปลงจากวิธีของ Gonzalez-Soto และคณะ, 2004) นำตัวอย่างสตาร์ชที่เตรียมได้เข้าหม้อนึ่งความดันไอที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง และเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 และ 48 ชั่วโมง วิธีการให้ความร้อนแบบการใช้ไมโครเวฟ (microwave) นำตัวอย่างสตาร์ชที่เตรียมได้ ให้ความร้อน โดยใช้ไมโครเวฟที่ 450 วัตถ์ ความถี่ 2,450 MHz เป็นเวลา 5 นาที จากนั้น ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง และเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง นำตัวอย่างที่ได้ไปทำแห้งที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ก่อนนำไปวิเคราะห์ค่าต่างๆ ดังในข้อ 3.5

3.7 ขั้นตอนการทำขนมปัง ดัดแปลงจาก (Keeratipibul และคณะ, 2010)

3.7.1 ชั่งส่วนผสมต่างๆ ตามตารางที่ 3.1 และ 3.2

3.7.2 ร่อนแป้งสาลี สตาร์ชถั่วมะแฮะ , ถั่วแดงหลวง และแห้ว ด้วยตะแกรงลงในโบว์ผสมก่อน จากนั้นเติมน้ำตาลทรายยีสต์ และเกลือลงไป

3.7.3 ทำส่วนผสมที่ได้มาตีผสมด้วยความเร็วต่ำสุดเป็นเวลา 1 นาทีเพื่อให้ส่วนผสมทั้งหมดเข้ากัน จากนั้นค่อยๆเติมน้ำลงไป ตีผสมนาน 3 นาที

3.7.4 เมื่อโดเริ่มจับตัวกันเป็นก้อนให้เปลี่ยนความเร็วในการตีผสมเป็นความเร็วปานกลาง ตีผสมนาน 3 นาที จากนั้นเติมเนยขาวลงไป ตีผสมนาน 12

3.7.5 จากนั้นเพิ่มระดับความเร็วในการตีผสมเป็นความเร็วสูงสุด ตีนาน 1 นาที

3.7.6 นำโดขนมปังที่ได้มาใส่ภาชนะและบ่มในตู้บ่มที่มีอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระดับความชื้น 85% เป็นเวลา 90 นาที ในระหว่างการบ่ม 90 นาทีนี้จะนำโดขนมปังมานวดไล่อากาศออกเมื่อบ่มครบ 1 ชั่วโมง

3.7.7 เมื่อบ่มครบ 90 นาทีนำโดขนมปังออกมาตัดแบ่งเป็นก้อนโดยมีน้ำหนักแต่ละก้อน 185 กรัม จากนั้นก็นวดให้เป็นก้อนกลมพักไว้ที่อุณหภูมิห้อง

3.7.8 นำโดขนมปังที่ตัดแบ่งแล้วมีนวดขึ้นรูปและใส่ลงในพิมพ์ นำไปบ่มในตู้บ่มที่มีอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ระดับความชื้น 85% เป็นเวลา 90 นาที

3.7.9 นำไปอบด้วยเตาไฟฟ้าที่มีอุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 20 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7.10 ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ชั่งน้ำหนัก และเก็บขนมปังใส่ถุงพลาสติกโพลีเอทีลีน เพื่อวิเคราะห์สมบัติต่างๆของขนมปัง

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนของถั่วมะแฮะ ถั่วแดงหลวง แห้วจีนที่ใช้ผลิตขนมปัง

ส่วนผสม	อัตราส่วนสตาร์ช	อัตราส่วนแป้งสาลี
สูตรควบคุม	-	100%
สตาร์ชมะแฮะ	10%	90%
	20%	80%
	30%	70%
สตาร์ชถั่วแดงหลวง	10%	90%
	20%	80%
	30%	70%
สตาร์ชแห้ว	10%	90%
	20%	80%
	30%	70%

ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนของส่วนผสมต่างๆที่ใช้ผลิตขนมปัง

ส่วนผสม	ปริมาณ (กรัม)/100 กรัม
ยีสต์	1.4
เกลือ	1.5
น้ำตาลทรายขาว	6
น้ำเปล่า	65
เนยขาว	5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7.1 วิเคราะห์สมบัติต่างๆของขนมปัง

3.7.1.1 ศึกษาปริมาตรจำเพาะของขนมปัง

หลังจากอบขนมปังเสร็จให้นำขนมปังมาชั่งน้ำหนักหลังอบทันที จากนั้นทิ้งให้ขนมปังเย็นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 45 นาที จึงนำมาวัดปริมาตรจำเพาะของขนมปังด้วยวิธีแทนที่ด้วยเมล็ดงาดำในภาชนะที่แน่นอน (AACC, 2000) คำนวณจากสูตรดังนี้

$$\text{ปริมาตรจำเพาะของขนมปัง(ซม.}^3\text{/กรัม)} = \frac{\text{ปริมาตรของขนมปัง}}{\text{น้ำหนักของขนมปัง}}$$

3.7.1.2 น้ำหนักที่หายไปหลังอบ

น้ำหนักที่หายไปหลังอบนั้นศึกษาโดยหลังจากขนมปังอบเสร็จให้นำขนมปังมาชั่งน้ำหนักทันที จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาเข้าสูตรคำนวณดังนี้ (Mariotti และคณะ,2013)

$$\%\text{น้ำหนักที่หายไปหลังอบ} = \frac{(\text{น้ำหนักโด} - \text{น้ำหนักขนมปังหลังอบ}) * 100}{\text{น้ำหนักของโด}}$$

3.7.1.3 วิเคราะห์ปริมาณความชื้นของ crumb ของขนมปัง

ศึกษาค่า water activity ด้วยเครื่อง Water Activity Meter (Aqualab, CX3TE, USA) โดยบรรจุตัวอย่างใส่ตลับพลาสติกสำหรับวิเคราะห์โดยให้ปริมาณไม่เกินครึ่งหนึ่งของตลับพลาสติก (Sabanis และคณะ, 2013)

3.7.1.4 วิเคราะห์เนื้อสัมผัสของขนมปัง

เมื่อขนมปังเย็นลงให้ตัดแบ่งชิ้นขนมปังจากตรงกลางออกเป็น 3 ชิ้นแต่ละชิ้นจะมีขนาด 20มิลลิเมตร วัดเนื้อสัมผัสของเนื้อขนมปังแบบ Texture Profile Analysisด้วยเครื่อง Texture analyzer รุ่น TA-XT Plus โดยใช้หัววัด P/25 ความเร็วในการกด 5 มิลลิเมตร/วินาที กดตัวอย่างลึก 40% ของความสูงของตัวอย่าง อ่านค่า Hardness(N) คือ แรงสูงสุดที่เกิดขึ้นระหว่างการกดหรือเทียบได้กับการเคี้ยวครั้งแรก และค่า Cohesiveness คือ เป็นพลังงานยึดเกาะกันภายในเนื้ออาหาร หาได้จาก อัตราส่วนของพื้นที่ใต้กราฟของการกดหรือการเคี้ยวครั้งที่ 2 (Area 2) และครั้งที่ 1 (Area 1) ดัดแปลงจากวิธี AACC 74-09 method (AACC International, 2000)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7.1.5 ลักษณะปรากฏของขนมปัง

เมื่อขนมปังเย็นลงให้ตัดแบ่งชิ้นขนมปังจากตรงกลางออกเป็น 3 ชิ้นแต่ละชิ้นจะมีขนาด 20มิลลิเมตร นำไปถ่ายภาพด้วยเครื่อง Scanner รุ่น 9000F Mark II

3.7.1.6 ศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์

ศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ขนมปังด้วยการประมาณคุณภาพทางประสาทสัมผัส ทำการประมาณระดับความชอบด้วยวิธีฮีโดนิก (Hedonic test) แบบสเกลตัวเลข 5 จุด (5-point hedonic) ทดสอบกลุ่มผู้บริโภคทั่วไปที่เป็นนักศึกษา บุคลากรภายในคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังจำนวน 30 คน จากนั้นรวบรวมแบบสอบถาม ประมาณผล และทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป

3.7.1.7 วิเคราะห์ผลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ Factorial in RCBD โดยทำการศึกษาอัตราส่วนของถั่วแดงหลวง ถั่วมะแฮะ และสตาร์ชแห้ว ทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลโดยใช้ Analysis of variance (ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์วิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรม SPSS Version 11.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการวิจัย

4.1 การย่อยในหลอดทดลองของสตาร์ชถั่วมะแฮะ สตาร์ชถั่วแดงหลวงและสตาร์ชแห้วจีนทั้งก่อนการดัดแปรและที่ผ่านการดัดแปรแล้ว และปริมาณอะมิโลส

จากการศึกษาการย่อยของสตาร์ชถั่วมะแฮะ ถั่วแดงหลวงและสตาร์ชแห้วจีนทั้งก่อนการดัดแปรและที่ผ่านการดัดแปรแล้วในหลอดทดลอง พบว่า ปริมาณ SDS ในสตาร์ชจากถั่วมะแฮะและสตาร์ชถั่วแดงหลวงก่อนการดัดแปรมีค่าใกล้เคียงกัน คือ 77.38 % (ตารางที่ 4.1) และ 72.61 % (ตารางที่ 4.2) ขณะที่สตาร์ชแห้วจีนก่อนการดัดแปรพบในปริมาณที่ต่ำกว่าเท่ากับ 57.86 % (ตารางที่ 4.1.3) แต่ปริมาณสตาร์ชทนย่อยในสตาร์ชก่อนการดัดแปรทั้งสามชนิด พบอยู่ในช่วง 6-8 % หลังจากการดัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนพบว่า การใช้ความร้อนจากไมโครเวฟในสตาร์ชถั่วมะแฮะ (ตารางที่ 4.1) และสตาร์ชถั่วแดง (ตารางที่ 4.2) พบว่าทำให้ปริมาณ RDS ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่ปริมาณ RS ในถั่วแดงเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้วยการใช้ไมโครเวฟและบ่มเย็นนาน 24 ชั่วโมง ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับการศึกษาของ Liu และคณะ (2012) พบว่าการใช้ความร้อนจากไมโครเวฟในสตาร์ชมันฝรั่งทำให้ปริมาณ RDS ลดลง แต่ปริมาณ RS เพิ่มขึ้น เนื่องความร้อนจากไมโครเวฟไปมีผลต่อโครงสร้างผลึกและการย่อยของสตาร์ช สำหรับปริมาณ SDS พบว่ายังไม่มีวิธีการใดที่ทำให้สตาร์ชถั่วมะแฮะและสตาร์ชถั่วแดงมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ปริมาณ SDS ของสตาร์ชแห้วจีนทำให้เพิ่มขึ้นด้วยการใช้หม้อนึ่งความดันไอ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Eyaru และคณะ (2009) พบว่าสามารถทำให้ปริมาณ SDS ในสตาร์ชถั่วเหลือง เพิ่มขึ้นได้โดยใช้วิธีแช่ถั่วเหลืองในน้ำและนำไปเข้าหม้อนึ่งความดันโดยปริมาณ SDS เพิ่มขึ้นจาก 13.2% เป็น 36.5% สำหรับปริมาณอะไมโลสของทั้งสตาร์ชถั่วมะแฮะสตาร์ชถั่วแดง และสตาร์ชแห้วจีนเพิ่มขึ้นด้วยการดัดแปรสตาร์ชด้วยวิธีการใช้หม้อนึ่งความดันไอและ ไมโครเวฟ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ จริยาและนภัสรพี(2555) ที่พบว่าฟลาวร์ถั่วเขียวผิวมันมีปริมาณอะไมโลสเพิ่มขึ้นด้วยการใช้หม้อนึ่งความดันไอและไมโครเวฟซึ่งตัวอย่างที่ศึกษามีความแตกต่างของวิธีการที่ทำให้ค่าที่ศึกษาเพิ่มขึ้นหรือลดลงมาจากโครงสร้างของสตาร์ชถั่วมะแฮะ สตาร์ชถั่วแดง และสตาร์ชแห้วจีนที่แตกต่างกัน สตาร์ชแห้วจีนมีโครงสร้างผลึกแบบ A (ปาจารีย์และนภัสรพี, 2555) ส่วนสตาร์ชถั่วมะแฮะและสตาร์ชถั่วแดงพบมีโครงสร้างผลึกแบบ C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1. ร้อยละของน้ำหนักแห้งของความชื้น ปริมาณสตาร์ชที่ถูกย่อยได้เร็ว (RDS) สตาร์ชที่สามารถถูกย่อยได้ช้า (SDS) สตาร์ชทั้งหมด (TS) สตาร์ชทนย่อย (RS) และ อะไมโลส ของสตาร์ชถั่วมะแฮะ

วิธีการดัดแปร	เวลาบ่มเย็น (ชม.)	ความชื้น (%)	RDS (%)	SDS (%)	TS (%)	RS (%)	อะมิโลส (%db)
ไม่ผ่านการดัดแปร	0	5.61±0.26^{b}	18.67±0.79^{c}	77.38±2.61^{a}	96.36±4.21^{a}	7.87±0.49^{b}	40.87±0.39^{c}
ตู้อบลมร้อน	24	6.66±0.29^{a}	24.38±0.41^{b}	68.27±0.08^{b}	98.81±0.13^{a}	6.17±0.22^{b}	40.24±0.40^{c}
ตู้อบลมร้อน	48	5.33±0.11^{c}	18.84±0.55^{c}	32.84±0.16^{d}	97.56±0.06^{a}	8.35±0.15^{b}	40.78±0.78^{c}
หม้อนึ่งไอน้ำ	24	5.14±0.03^{c}	18.63±0.54^{c}	72.21±0.54^{b}	88.32±0.60^{b}	5.33±0.35^{c}	53.29±0.35^{b}
หม้อนึ่งไอน้ำ	48	5.77±0.10^{b}	33.21±0.28^{a}	79.00±0.78^{a}	86.24±0.08^{b}	3.13±0.07^{d}	53.67±0.11^{b}
ไมโครเวฟ	24	5.95±0.14^{b}	8.64±0.59^{d}	50.66±0.52^{c}	76.54±0.35^{c}	17.26±0.06^{a}	55.71±0.32^{a}
ไมโครเวฟ	48	6.49±0.05^{a}	8.68±0.78^{d}	75.10±0.16^{b}	77.71±0.81^{c}	2.47±0.14^{d}	55.57±0.53^{a}

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

ตารางที่ 4.2 ร้อยละของน้ำหนักแห้งของความชื้น ปริมาณสตาร์ชที่ถูกย่อยได้เร็ว (RDS) สตาร์ชที่สามารถถูกย่อยได้ช้า (SDS) สตาร์ชทั้งหมด (TS) สตาร์ชทนย่อย (RS) และ อะไมโลส ของสตาร์ชถั่วแดง

วิธีการดัดแปร	เวลาบ่มเย็น (ชม.)	ความชื้น (%)	RDS (%)	SDS (%)	TS (%)	RS (%)	อะมิโลส (%db)
ไม่ผ่านการดัดแปร	0	5.90±0.07^{b}	17.67±0.57^{d}	72.61±3.17^{a}	96.48±4.21^{a}	6.21±0.47^{b}	40.84±0.47^{c}
ตู้อบลมร้อน	24	6.74±0.06^{a}	21.57±0.32^{a}	69.54±0.73^{ab}	89.33±0.13^{b}	4.19±0.22^{c}	40.16±0.31^{c}
ตู้อบลมร้อน	48	5.38±0.04^{c}	13.30±05^{e}	69.54±0.73^{a}	93.79±0.06^{a}	6.61±0.52^{b}	40.78±0.78^{c}
หม้อนึ่งไอน้ำ	24	5.15±0.04^{d}	19.09±0.22^{c}	28.93±0.73^{c}	88.26±0.60^{b}	3.35±0.09^{d}	53.22±0.34^{b}
หม้อนึ่งไอน้ำ	48	5.48±0.16^{c}	19.82±0.35^{b}	27.19±0.20^{e}	48.60±0.08^{c}	1.59±0.08^{e}	53.55±0.18^{b}
ไมโครเวฟ	24	5.95±0.12^{b}	9.34±0.06^{f}	63.58±0.23^{c}	70.33±0.35^{d}	15.16±0.20^{a}	55.36±0.35^{a}
ไมโครเวฟ	48	6.47±0.09^{a}	7.70±0.10^{g}	73.89±0.53^{a}	77.71±0.81^{c}	0.47±0.01^{f}	55.58±0.52^{a}

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ร้อยละของน้ำหนักแห้งของความชื้น ปริมาณสตาร์ชที่ถูกย่อยได้เร็ว (RDS) สตาร์ชที่สามารถถูกย่อยได้ช้า (SDS) สตาร์ชทั้งหมด (TS) สตาร์ชทนย่อย (RS) และ อะไมโลส ของสตาร์ชแห้ว

วิธีการดัดแปร	เวลาบ่มเย็น (ชม.)	ความชื้น (%db)	RDS (%)	SDS (%)	TS (%)	RS (%)	อะมิโลส (%db)
ไม่ผ่านการดัดแปร	0	6.39±0.04^{b}	24.55±0.63^{e}	57.86±1.62^{a}	83.99±1.07^{b}	7.59±0.08^{a}	42.89±0.44^{c}
ตู้อบลมร้อน	24	5.45±0.09^{e}	31.22±0.46^{d}	39.71±0.27^{c}	72.41±0.35^{e}	1.48±0.16^{c}	42.39±0.22^{c}
ตู้อบลมร้อน	48	6.06±0.06^{c}	43.14±0.02^{b}	39.88±2.58^{c}	96.38±0.40^{a}	14.06±0.10^{a}	40.16±0.31^{d}
หม้อนึ่งไอน้ำ	24	5.50±0.03^{e}	50.85±0.71^{a}	60.84±0.28^{a}	79.18±0.49^{c}	0.88±0.08^{d}	40.78±0.78^{d}
หม้อนึ่งไอน้ำ	48	6.68±0.08^{a}	32.88±0.25^{c}	60.49±0.21^{a}	75.96±0.51^{d}	0.58±0.10^{e}	53.60±0.35^{b}
ไมโครเวฟ	24	6.37±0.02^{b}	23.14±0.23^{f}	40.45±0.28^{b}	85.90±0.02^{b}	1.92±0.08^{b}	55.39±0.39^{a}
ไมโครเวฟ	48	5.71±0.03^{d}	21.83±0.29^{g}	42.50±0.66^{b}	85.15±2.63^{b}	2.14±0.03^{b}	42.15±0.26^{c}

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

4.2 ปริมาณสตาร์ชทนย่อย(RS) ปริมาณสตาร์ชที่ถูกย่อยได้เร็ว(RDS) และ ปริมาณสตาร์ชที่ถูกย่อยได้ช้า(SDS) ของขนมปังจากสตาร์ชถั่วมะแฮะ สตาร์ชถั่วแดง และ สตาร์ชแห้วจีน ที่สัดส่วนต่างๆ

จากตารางที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าขนมปังจากสตาร์ชถั่วแดงสัดส่วนร้อยละ 30 มีปริมาณสตาร์ชทนย่อย มากที่สุดถึงร้อยละ 9.20 ของน้ำหนักแห้ง ส่วนขนมปังจากสตาร์ชถั่วมะแฮะอยู่ในช่วงร้อยละ 3.58 – 5.22 ของน้ำหนักแห้ง และ ขนมปังจากสตาร์ชแห้วจีนอยู่ในช่วงร้อยละ 2.17 – 3.37 ของน้ำหนักแห้ง สำหรับปริมาณสตาร์ชที่ถูกย่อยได้เร็ว และยังพบว่าขนมปังจากสตาร์ชแห้วจีนสัดส่วนร้อยละ 10 มีปริมาณสตาร์ชที่ถูกย่อยได้เร็วมากที่สุด คือ ร้อยละ 67.80 ของน้ำหนักแห้ง ส่วนขนมปังจากสตาร์ชถั่วมะแฮะอยู่ในช่วงร้อยละ 43.98 – 55.32 ของน้ำหนักแห้ง และ ขนมปังจากสตาร์ชถั่วแดงอยู่ในช่วงร้อยละ 48.19 – 56.79 ของน้ำหนักแห้ง สำหรับปริมาณสตาร์ชที่ถูกย่อยได้ช้า ส่วนขนมปังจากสตาร์ชแห้วจีนสัดส่วนร้อยละ 20 มีปริมาณสตาร์ชที่ถูกย่อยได้ช้ามากที่สุด คือ ร้อยละ 38.71 ของน้ำหนักแห้ง ส่วนขนมปังจากสตาร์ชถั่วมะแฮะอยู่ในช่วงร้อยละ 9.96 – 17.84 ของน้ำหนักแห้ง และ ขนมปังจากสตาร์ชถั่วแดงอยู่ในช่วงร้อยละ 1.24 – 17.22 ของน้ำหนักแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ปริมาณสตาร์ชทนย่อย(RS) ปริมาณสตาร์ชที่ถูกย่อยได้เร็ว(RDS) และ ปริมาณสตาร์ชที่ถูกย่อยได้ช้า(SDS) ของขนมปังจากสตาร์ชถั่วมะแฮะ สตาร์ชถั่วแดง และ สตาร์ชแห้วจีน ที่สัดส่วนต่างๆ

วิธีการวิเคราะห์	ปริมาณการทดแทน	สตาร์ชถั่วมะแฮะ	สตาร์ชถั่วแดงหลวง	สตาร์ชแห้วจีน
RS	10%	5.22 ± 0.58^{aA}	2.78 ± 0.07^{bB}	2.17 ± 0.08^{bC}
	20%	3.58 ± 0.64^{cA}	2.87 ± 0.07^{bC}	3.37 ± 0.08^{aB}
	30%	3.86 ± 0.58^{bB}	9.20 ± 0.11^{aA}	2.32 ± 0.08^{bC}
RDS	10%	55.32 ± 0.08^{aB}	52.61 ± 0.06^{bC}	67.80 ± 0.04^{aA}
	20%	43.98 ± 0.06^{cC}	56.79 ± 0.75^{aA}	50.21 ± 0.06^{cB}
	30%	46.22 ± 0.06^{bC}	48.19 ± 0.00^{cB}	61.53 ± 0.08^{bA}
SDS	10%	9.96 ± 0.24^{aB}	17.22 ± 0.02^{aA}	9.32 ± 0.10^{cB}
	20%	16.03 ± 0.24^{bB}	1.24 ± 0.02^{cC}	38.71 ± 0.10^{aA}
	30%	17.84 ± 0.24^{aB}	16.52 ± 0.02^{bB}	18.0 ± 0.10^{bA}

หมายเหตุ $^{A,B,C,...}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวนอนเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

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

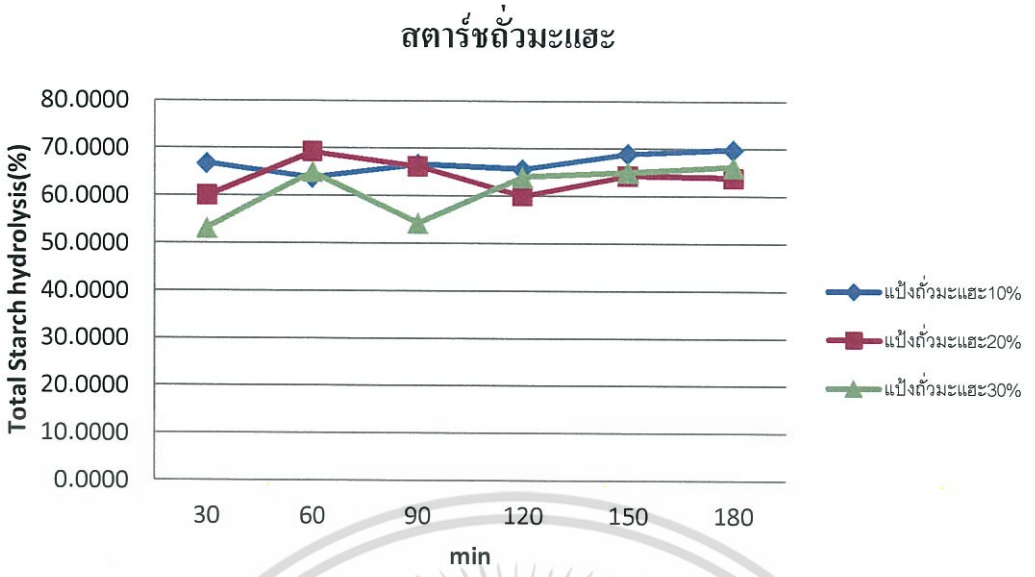
หมายเหตุ ฟลาวร์ถั่วมะแฮะ และ ฟลาวร์ถั่วแดงหลวง : คัดแปรด้วยการใช้ความร้อนจากไมโครเวฟบ่มนาน 24 ชั่วโมง

สตาร์ชแห้วจีน : คัดแปรด้วยการใช้ตู้อบลมร้อนบ่มนาน 48 ชั่วโมง

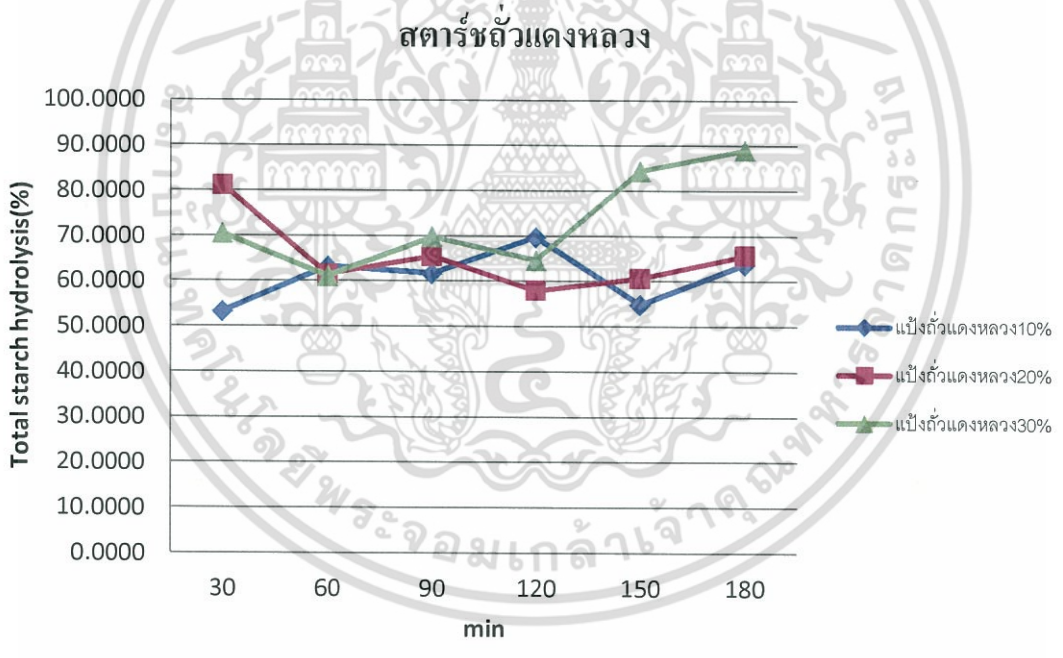
4.3 ผลการศึกษาอัตราการย่อย (*In vitro* starch hydrolysis rate)

ภาพที่ 4.1 แสดงอัตราการย่อยของขนมปังจากสตาร์ชถั่วมะแฮะพบว่ามีอัตราการย่อยที่ใกล้เคียงกัน ส่วนภาพที่ 4.2 แสดงอัตราการย่อยของขนมปังจากสตาร์ชถั่วแดงหลวง พบว่าขนมปังจากสตาร์ชถั่วแดงหลวงร้อยละ 30 มีอัตราการย่อยที่สูงที่สุด เมื่อเทียบกับขนมปังจากสตาร์ชถั่วแดงหลวงร้อยละ 10 และ 20 ภาพที่ 4.3.3 แสดงอัตราการย่อยของขนมปังจากสตาร์ชแห้วจีนพบว่าเป็นกลุ่มที่มีอัตราการย่อยสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับขนมปังจากสตาร์ชถั่วมะแฮะ และ ถั่วแดงหลวง โดยที่ขนมปังจากสตาร์ชแห้วจีนร้อยละ 30 มี อัตราการย่อยสูง ที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

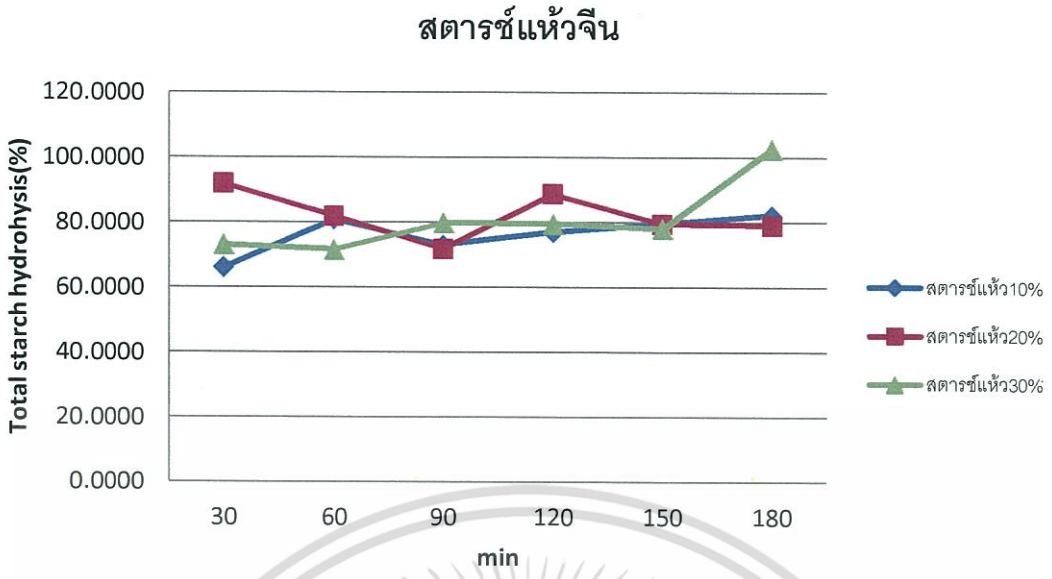


ภาพที่ 4.1 แสดงอัตราการย่อยของขนมปังจากสตาร์ชถั่วมะแฮะ



ภาพที่ 4.2 แสดงอัตราการย่อยของขนมปังจากสตาร์ชถั่วแดงหลวง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.3 แสดงอัตราการย่อยของขนมปังจากสตาร์ชแห้วจีน

4.4 ผลการศึกษาค่า Hydrolysis index (HI) และ ค่าดัชนีน้ำตาล (GI)

การตอบสนองต่อระดับน้ำตาลในเลือดของร่างกายเป็นการประมาณโดยใช้ ค่าดัชนีน้ำตาล (glycemic index (GI)) ซึ่ง Mulholland และคณะ (2009) รายงานว่า ค่า GI สามารถจำแนกได้ 3 ระดับ คือ GI ระดับสูง (>70) GI ระดับกลาง (56-69) และ GI ระดับต่ำ (≤ 55) จากตารางที่ 4.5 จากการศึกษาพบว่า ขนมปังจากสตาร์ชถั่วมะแฮะ สตาร์ชถั่วแดงหลวง และ สตาร์ชแห้วจีน จัดอยู่ใน GI ระดับสูงทั้งหมด หากเปรียบเทียบกันระหว่างขนมปังจากสตาร์ชถั่วมะแฮะ สตาร์ชถั่วแดงหลวง และสตาร์ชแห้วจีน จะพบว่ากลุ่มขนมปังจากสตาร์ชแห้วจีนจะมี GI ในระดับสูงที่สุด คือ 112 – 130 และขนมปังจากสตาร์ชแห้วจีนร้อยละ 30 มีระดับ GI สูงที่สุด ขนมปังจากฟลาวร์ถั่วมะแฮะมี GI ในระดับ 96.14 – 108.72 และ ขนมปังจากสตาร์ชถั่วมะแฮะร้อยละ 30 มีระดับ GI ต่ำที่สุด คือ 96.14 และ ขนมปังจากสตาร์ชถั่วแดงหลวงมี GI ในระดับ 106.30 – 118.44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงผลค่าดัชนีการย่อย (HI) และ ค่าดัชนีน้ำตาล (GI)

ตัวอย่าง	HI	GI	ระดับ
ถั่วมะแฮะ 10%	125.71	108.72	สูง
ถั่วมะแฮะ 20%	137.03	114.94	สูง
ถั่วมะแฮะ 30%	102.78	96.14	สูง
ถั่วแดง 10%	121.29	106.30	สูง
ถั่วแดง 20%	131.65	111.98	สูง
ถั่วแดง 30%	143.40	118.44	สูง
แห้วจีน 10%	132.62	112.52	สูง
แห้วจีน 20%	142.47	117.93	สูง
แห้วจีน 30%	165.26	130.44	สูง

4.5 ปริมาตรจำเพาะของขนมปัง

จากตารางที่ 4.6 พบว่าสูตรขนมปังที่ผสมสตาร์ชถั่วมะแฮะ,ถั่วแดงหลวง และแห้ว ในอัตราส่วนต่อแป้งสาลีที่ 10% นั้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และให้ค่าปริมาตรจำเพาะของขนมปังสูงที่สุดเมื่อเทียบกับอัตราส่วนอื่นๆ ส่วนสูตรขนมปังที่ทำให้ปริมาตรจำเพาะของขนมปังน้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ คือ สูตรที่ผสมถั่วมะแฮะในอัตราส่วน 30%

เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปหลังอบมีผลมาจากโครงสร้างของขนมปังที่เกี่ยวข้องกับการระเหยของน้ำซึ่งขนมปังที่มีโครงสร้างที่ค่อนข้างแน่นจะทำให้น้ำนั้นระเหยออกไปได้ยาก จากตารางที่ 4.6 พบว่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปหลังอบของถั่วแดง, แห้ว และถั่วมะแฮะ นั้นมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยถั่วมะแฮะนั้นมีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปหลังอบน้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์ขนมปังนั้นมีผลกระทบต่ออายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ไม่ว่าจะเป็นด้านการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์ จากปฏิกิริยาทางเคมี เป็นต้นซึ่งทำให้ถ้ามีปริมาณความชื้นที่มีจะทำให้อายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์นั้นสั้นลง ซึ่งจากตารางที่ 4.7.1 พบว่าปริมาณความชื้น crumb ของขนมปังในสูตรที่ถูกแทนที่แป้งสาลีที่ 10% จะให้ค่าความชื้นสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนอื่นๆ ส่วนในสูตรที่แทนที่แป้งสาลีด้วยแห้วที่อัตราส่วน 10% ให้ค่าความชื้นสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 คุณสมบัติของขนมปังสูตรต่างๆ

	ส่วนผสม	ถั่วมะแฮะ	ถั่วแดงหลวง	แห้วจีน
ปริมาตรจำเพาะของขนมปัง	10%	3.24 ± 0.05^{aA}	2.86 ± 0.04^{aA}	3.01 ± 0.10^{aA}
	20%	1.22 ± 0.01^{bC}	2.65 ± 0.03^{aB}	2.76 ± 0.02^{bA}
	30%	0.60 ± 0.03^{cC}	1.21 ± 0.02^{bB}	2.38 ± 0.02^{cA}
	ส่วนผสม	ถั่วมะแฮะ	ถั่วแดงหลวง	แห้วจีน
เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปหลังอบ	10%	6.49 ± 0.05^{aC}	7.93 ± 0.01^{aB}	9.55 ± 0.10^{aA}
	20%	7.21 ± 0.04^{abC}	7.75 ± 0.03^{aAB}	8.65 ± 0.03^{bA}
	30%	8.65 ± 0.03^{bA}	6.85 ± 0.02^{bB}	9.73 ± 0.02^{aA}
	ส่วนผสม	ถั่วมะแฮะ	ถั่วแดงหลวง	แห้ว
ปริมาณความชื้นของ crumb ของขนมปัง	10%	0.896 ± 0.05^{aB}	0.900 ± 0.04^{aB}	0.916 ± 0.03^{aA}
	20%	0.890 ± 0.01^{aA}	0.886 ± 0.03^{bA}	0.900 ± 0.02^{bA}
	30%	0.896 ± 0.02^{aA}	0.896 ± 0.02^{aA}	0.896 ± 0.02^{bA}

หมายเหตุ $^{a,b,c,\ldots}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

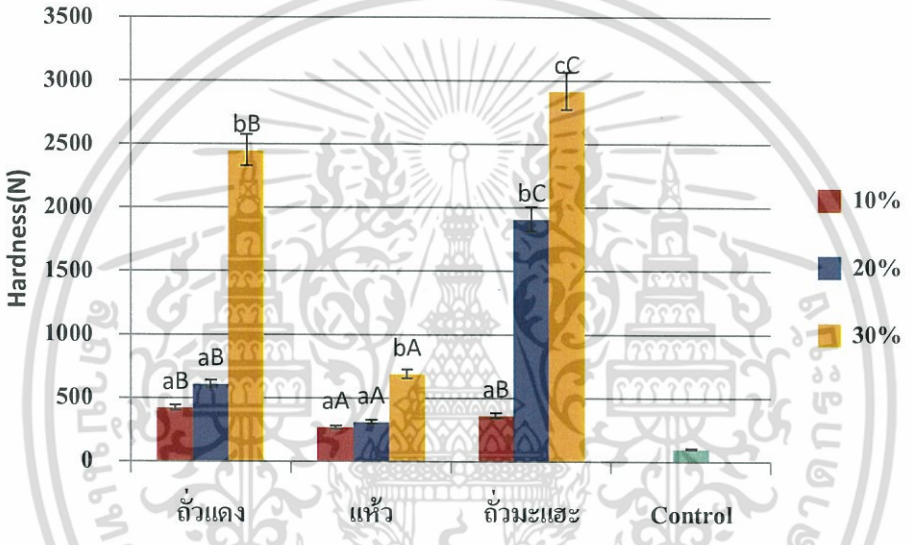
หมายเหตุ $^{A,B,C,\ldots}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวนอนเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 ลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้อขนมปัง

4.6.1 ค่า Hardness (N)

จากภาพที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่าสูตรขนมปังที่ถูกแทนที่ในระดับ 10% จะให้ค่า hardness (N) ที่ต่ำที่สุดหรือนุ่มที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ รองลงมาก็จะเป็นสูตรขนมปังที่แทนที่ในระดับ 20% และ 30% ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบกันแล้วพบว่าสูตรขนมปังที่ผสมแห้วให้ค่า hardness (N) ที่ต่ำที่สุดหรือนุ่มที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรอื่นๆไม่ว่าจะแทนที่ด้วยอัตราส่วนเท่าใดก็ตาม ส่วนสูตรขนมปังที่ผสมถั่วมะแฮะในอัตราส่วน 30% ให้ค่า hardness (N) สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรอื่นๆ



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

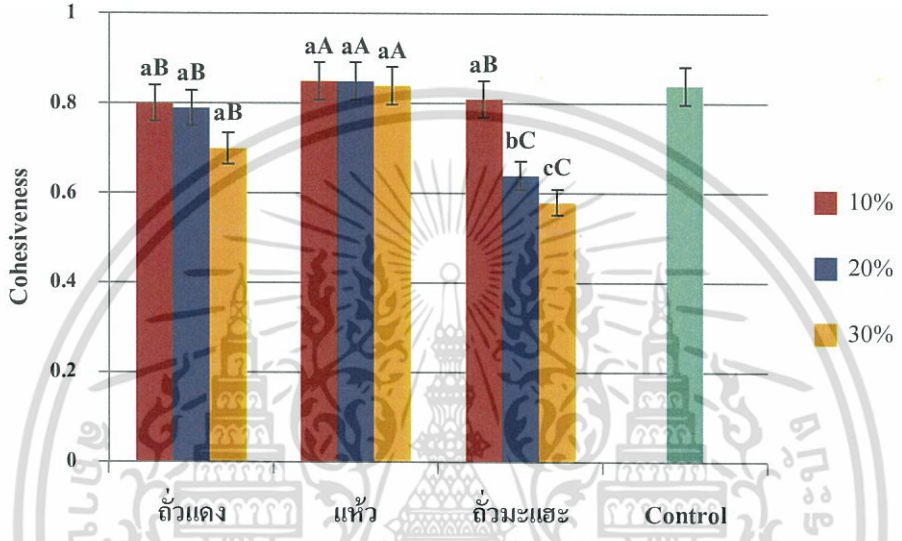
หมายเหตุ $^{A,B,C,...}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในชนิดถั่วแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ภาพที่ 4.4 ค่า Hardness (N) ของเนื้อขนมปัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.2 ค่า Cohesiveness

ค่า cohesiveness เป็นค่าความสามารถเกาะตัวรวมกันซึ่งเกี่ยวข้องกับความแข็งแกร่งของพันธะภายในที่เกิดขึ้นมาในอาหารแล้วทำให้อาหารทนต่อการเปลี่ยนรูปได้ถึงระยะทางหนึ่งก่อนที่มันจะขาดแตกออกจากกันไปเป็นชิ้นส่วนย่อยเมื่อมีแรงภายนอกมากระทำ ซึ่งค่า cohesiveness หาได้จากพื้นที่ใต้กราฟที่ 1และ 2 จากภาพที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่าสูตรขนมปังที่ผสมด้วยแห้วมีค่า cohesiveness มีค่ามากที่สุดอย่าง มีนัยสำคัญทางสถิติ



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

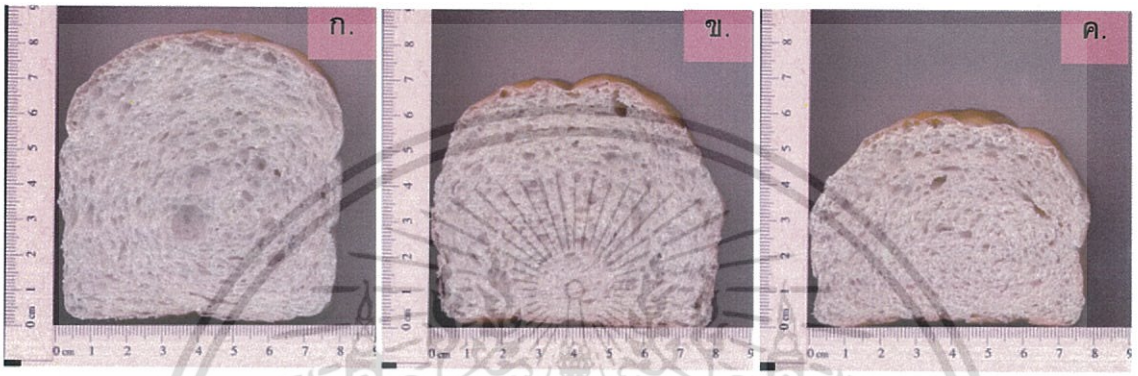
หมายเหตุ $^{A,B,C,...}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในชนิดถั่วแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ภาพที่ 4.5 ค่า Cohesiveness ของเนื้อขนมปัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 ลักษณะปรากฏของเนื้อขนมปัง

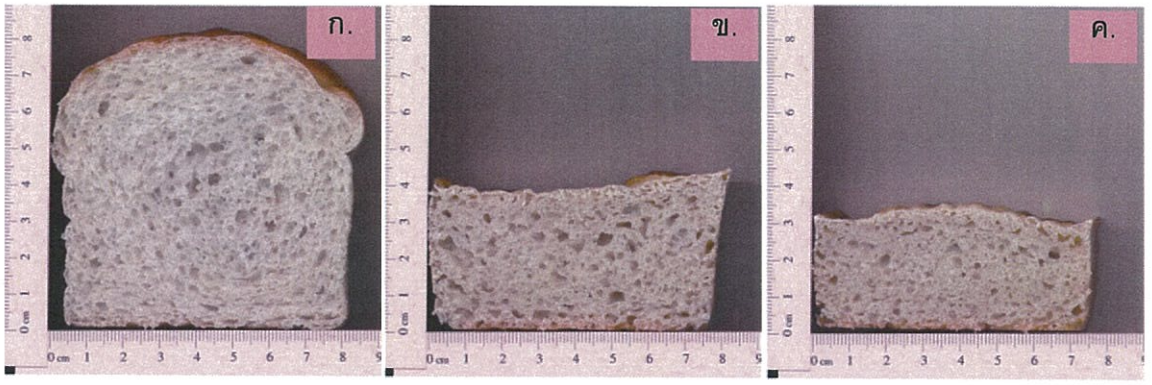
ภาพที่แสดงทั้งหมดเป็นภาพตัดขวางของขนมปังแสดงให้เห็นเนื้อด้านในแล้วรูปร่างของขนมปังสูตรต่างๆได้อย่างชัดเจนซึ่งจากภาพจะเห็นว่าในการแทนที่แป้งสาลีที่ 10% ของขนมปังสูตรต่างๆจะแสดงให้เห็นว่ามีลักษณะของก้อนขนมปังมีความสมมาตร และให้ปริมาตรขนมปังที่สูง มีรูพรุนที่ค่อนข้างดี ในขณะการที่แทนแป้งสาลีในระดับ 30% ก็จะให้ขนมปังที่รูปร่างไม่ดี มีปริมาตรต่ำ และมีรูพรุนที่อันแน่น



ภาพที่ 4.6 ภาพขนมปังสูตรที่แป้งสาลีถูกแทนที่ด้วยถั่วแดงหลวง 10%(ก), ถั่วแดงหลวง 20% (ข) และถั่วแดงหลวง 30%(ค)

ภาพที่ 4.7 ภาพขนมปังสูตรที่แป้งสาลีถูกแทนที่ด้วยแห้ว 10%(ก), แห้ว 20% (ข) และแห้ว 30%(ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.8 ภาพขนมปังสูตรที่แป้งสาลีถูกแทนที่ด้วยถั่วมะแฮะ 10%(ก), มะแฮะ 20% (ข) และมะแฮะ 30%(ค)

4. การยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์

ลักษณะทางประสาทสัมผัสมีผลต่อการยอมรับหรือไม่ยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ ในการประเมินความชอบในครั้งนี้เราจะประเมินในเรื่องของรูปร่าง สี กลิ่น เนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบโดยรวมซึ่งจากตารางที่ 4.7จะเห็นได้ว่าในระดับการแทนที่แป้งสาลีที่ 10% และ 20% มีการยอมรับเรื่องรูปร่างที่ไม่มีความแตกต่างทางนัยสำคัญทางสถิติ แต่เมื่อระดับการแทนที่เพิ่มขึ้นเป็น 30% จะเห็นได้ว่ามีการยอมรับที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนตารางที่ 4.7 พบว่าการแทนที่แป้งสาลีด้วยถั่วมะแฮะมีการยอมรับเรื่องสีที่น้อยลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรอื่นๆ และจากตารางที่ 4.7 พบกว่าการที่แป้งสาลีด้วยถั่วมะแฮะมีการยอมรับเรื่องกลิ่นน้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ตารางที่ 4.7 เป็นการทดสอบเกี่ยวกับการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัส ซึ่งพบว่าที่ระดับการที่แป้งสาลีที่ 10% ในทุกๆสูตรมีการยอมรับที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เมื่อเพิ่มระดับการแทนที่จะเริ่มเห็นการยอมรับที่น้อยลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และตารางที่ 4.7 เป็นการประเมินประสาทสัมผัสทางด้านรสชาติพบว่าที่ระดับการที่แป้งสาลีที่ 10% ในทุกๆสูตรมีการยอมรับที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เมื่อเพิ่มระดับการแทนที่จะเริ่มเห็นการยอมรับที่น้อยลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สุดท้ายตารางที่ 4.7 เป็นตารางกระเมินทางด้านความชอบโดยรวม พบว่าที่ระดับการที่แป้งสาลีที่ 10% ในทุกๆสูตรมีการยอมรับที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนในระดับการแทนที่ที่ 20% สูตรที่ผสมถั่วแดงหลวง และแห้วมีการยอมรับที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และสูตรที่ได้รับการยอมรับน้อยที่สุดคือ สูตรที่ผสมถั่วมะแฮะที่มีการแทนที่แป้งสาลีที่ระดับ 30%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัส

	ส่วนผสม	ถั่วมะแฮะ	ถั่วแดงหลวง	แห้ว
รูปร่าง	10%	3.75 ± 0.05^{aA}	3.87 ± 0.03^{aA}	3.62 ± 0.03^{aA}
	20%	2.37 ± 0.03^{bB}	3.75 ± 0.03^{aA}	3.62 ± 0.01^{aA}
	30%	1.75 ± 0.02^{bB}	2.5 ± 0.04^{bB}	3.62 ± 0.02^{aA}
สี	ส่วนผสม	ถั่วมะแฮะ	ถั่วแดงหลวง	แห้ว
	10%	4.00 ± 0.05^{aA}	3.87 ± 0.04^{aA}	3.87 ± 0.03^{aA}
	20%	2.87 ± 0.03^{bB}	3.75 ± 0.01^{aA}	3.25 ± 0.02^{aAB}
	30%	1.75 ± 0.02^{cB}	2.87 ± 0.04^{bA}	3.62 ± 0.04^{aA}
กลิ่น	ส่วนผสม	ถั่วมะแฮะ	ถั่วแดงหลวง	แห้ว
	10%	2.37 ± 0.05^{aB}	3.75 ± 0.06^{aA}	3.25 ± 0.05^{aA}
	20%	2.12 ± 0.01^{aB}	3.87 ± 0.05^{aA}	3.12 ± 0.02^{aA}
	30%	1.62 ± 0.02^{aB}	2.62 ± 0.02^{bA}	3.25 ± 0.02^{aA}
เนื้อสัมผัส	ส่วนผสม	ถั่วมะแฮะ	ถั่วแดงหลวง	แห้ว
	10%	3.62 ± 0.05^{aA}	4.00 ± 0.04^{aA}	3.37 ± 0.03^{aA}
	20%	2.5 ± 0.03^{bB}	3.37 ± 0.01^{aA}	4.12 ± 0.05^{aA}
	30%	1.87 ± 0.02^{bB}	2.00 ± 0.04^{B}	4.00 ± 0.05^{aA}
รสชาติ	ส่วนผสม	ถั่วมะแฮะ	ถั่วแดงหลวง	แห้ว
	10%	3.00 ± 0.05^{aA}	3.5 ± 0.03^{aA}	3.37 ± 0.03^{aA}
	20%	2.25 ± 0.03^{abB}	2.87 ± 0.03^{aAB}	3.37 ± 0.03^{aA}
	30%	1.50 ± 0.02^{bB}	2.50 ± 0.04^{aAB}	3.62 ± 0.02^{aA}
ความชอบโดยรวม	ส่วนผสม	ถั่วมะแฮะ	ถั่วแดงหลวง	แห้ว
	10%	3.85 ± 0.05^{aA}	3.79 ± 0.04^{aA}	3.85 ± 0.02^{aA}
	20%	2.85 ± 0.03^{bB}	3.52 ± 0.02^{aA}	3.31 ± 0.03^{aA}
	30%	1.74 ± 0.02^{cB}	2.65 ± 0.02^{bA}	3.62 ± 0.04^{aA}

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

หมายเหตุ $^{A,B,C,...}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในชนิดถั่วแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการย่อยของสตาร์ชถั่วมะแฮะ สตาร์ชถั่วแดงหลวง และ สตาร์ชแห้วจีนทั้งก่อนการดัดแปรและที่ผ่านการดัดแปรแล้วในหลอดทดลอง พบว่า ปริมาณ SDS ในสตาร์ชจากถั่วมะแฮะและสตาร์ชถั่วแดงหลวงก่อนการดัดแปรมีค่าใกล้เคียงกัน คือ ร้อยละ 77.38 และ 72.61 ของน้ำหนักแห้ง ขณะที่สตาร์ชแห้วจีนก่อนการดัดแปรพบในปริมาณที่ต่ำกว่า คือ ร้อยละ 57.86 ของน้ำหนักแห้ง แต่ปริมาณสตาร์ชทนย่อยในสตาร์ชก่อนการดัดแปรทั้งสามชนิด พบอยู่ในช่วงร้อยละ 6-8 ของน้ำหนักแห้ง หลังจากการดัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนโดยการใช้ความร้อนจากไมโครเวฟในสตาร์ชถั่วมะแฮะ และสตาร์ชถั่วแดง พบว่าทำให้ปริมาณ RDS ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่ปริมาณ RS ในสตาร์ชถั่วมะแฮะและสตาร์ชถั่วแดง เพิ่มขึ้นมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้วยการใช้ไมโครเวฟและบ่มเย็นนาน 24 ชั่วโมง คือ ร้อยละ 17.26 และ 15.16 ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับการศึกษาของ Liu และคณะ (2012) พบว่าการใช้ความร้อนจากไมโครเวฟในสตาร์ชมันฝรั่งทำให้ปริมาณ RDS ลดลง แต่ปริมาณ RS เพิ่มขึ้น เนื่องจากความร้อนจากไมโครเวฟไปมีผลต่อโครงสร้างผลึกและการย่อยของสตาร์ช สตาร์ชแห้วจีนมีปริมาณ RS เพิ่มขึ้นมากที่สุดด้วยการดัดแปรสตาร์ชด้วยวิธีการใช้หม้อนึ่งความดันไอและบ่มเย็นนาน 48 ชั่วโมง คือ ร้อยละ 14.06 ของน้ำหนักแห้ง หลังจากนั้นนำสตาร์ชมาดัดแปรตามวิธีที่สามารถเพิ่ม RS ได้มากที่สุดดังที่กล่าวไว้ข้างต้น เมื่อดัดแปรเสร็จแล้วนำสตาร์ตที่ได้มาทำขนมปังในสัดส่วนร้อยละ 10 20 และ 30 ตามลำดับ เมื่อนำมาศึกษาการย่อยพบว่า ขนมปังจากสตาร์ชถั่วแดงสัดส่วนร้อยละ 30 มีปริมาณสตาร์ชทนย่อย มากที่สุดถึงร้อยละ 9.20 ของน้ำหนักแห้ง สำหรับปริมาณสตาร์ชที่ถูกย่อยได้เร็ว พบว่าขนมปังจากสตาร์ชแห้วจีนสัดส่วนร้อยละ 10 มีปริมาณสตาร์ชที่ถูกย่อยได้เร็วมากที่สุด คือ ร้อยละ 67.80 ของน้ำหนักแห้ง ส่วนขนมปังจากฟลาวร์ถั่วมะแฮะอยู่ในช่วงร้อยละ 43.98 – 55.32 ของน้ำหนักแห้ง และ ขนมปังจากสตาร์ชถั่วแดงอยู่ในช่วงร้อยละ 48.19 – 56.79 ของน้ำหนักแห้ง สำหรับปริมาณสตาร์ชที่ถูกย่อยได้ช้า พบว่าขนมปังจากสตาร์ชแห้วจีนสัดส่วนร้อยละ 20 มีปริมาณสตาร์ชที่ถูกย่อยได้ช้ามากที่สุด คือ ร้อยละ 38.71 ของน้ำหนักแห้ง ส่วนขนมปังจากสตาร์ชถั่วมะแฮะอยู่ในช่วงร้อยละ 9.96 – 17.84 ของน้ำหนักแห้ง และ ขนมปังจากสตาร์ชถั่วแดงอยู่ในช่วงร้อยละ 1.24 – 17.22 ของน้ำหนักแห้ง จากผลการศึกษาค่าดัชนีน้ำตาล(GI) พบว่า ขนมปังที่มีส่วนผสมของสตาร์ชในสัดส่วนร้อยละ 10-30 จัดอยู่ใน GI ระดับสูงทั้งหมด หากเปรียบเทียบกันระหว่างขนมปังจากสตาร์ชถั่วมะแฮะ สตาร์ชถั่วแดงหลวง และ สตาร์ชแห้วจีน จะพบว่ากลุ่มขนมปังจากสตาร์ชแห้วจีนจะมี GI ในระดับสูงที่สุด คือ 112 – 130 ซึ่งขนมปังจากสตาร์ชแห้วจีนร้อยละ 30 มีระดับ GI สูงที่สุด ขนมปังจากสตาร์ชถั่วมะแฮะมี GI ในระดับ 96.14 – 108.72 และขนมปังจากสตาร์ชถั่วมะแฮะร้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ละ 30 มีระดับ GI ต่ำที่สุด คือ 96.14 เมื่อเปรียบเทียบกับขนมปังจากสตาร์ชถั่วแดง และ แห้วจีน ส่วนขนมปังจากสตาร์ชถั่วแดงหลวงมี GI ในระดับ 106.30 – 118.44 เมื่อนำ starch ชนิดต่างๆมาผลิตเป็นขนมปังพบว่า การแทนที่แป้งสาลีในระดับ 10% ของสูตรต่างๆให้ค่าปริมาตรจำเพาะที่สูงกว่าการแทนที่ในระดับอื่นๆ และไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบแต่ละสูตร ส่วนสูตรขนมปังที่ทำให้ปริมาตรจำเพาะของขนมปังน้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญคือ สูตรที่ผสมถั่วมะแฮะในอัตราส่วน 30% และเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปหลังอบของถั่วแดง, แห้ว และถั่วมะแฮะ นั้นมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยถั่วมะแฮะนั้นมีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปหลังอบน้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนปริมาณความชื้น crumb ของขนมปังในสูตรที่ถูกแทนที่แป้งสาลีที่ 10% จะให้ค่าความชื้นสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนอื่นๆ ส่วนในสูตรที่แทนที่แป้งสาลีด้วยแห้วที่อัตราส่วน 10% ให้ค่าความชื้นสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อวิเคราะห์ลักษณะของเนื้อสัมผัสพบว่า แสดงให้เห็นว่าสูตรขนมปังที่ถูกแทนที่ในระดับ 10% จะให้ค่า hardness (N) ที่ต่ำที่สุดหรือนุ่มที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนสูตรขนมปังที่ผสมถั่วมะแฮะในอัตราส่วน 30% ให้ค่า hardness (N) สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรอื่นๆ และสูตรขนมปังที่ผสมด้วยแห้วมีค่า cohesiveness มีค่ามากที่สุดอย่าง มีนัยสำคัญทางสถิติ และภาพตัดขวางของขนมปังแสดงให้เห็นเนื้อด้านในพบว่าในการแทนที่แป้งสาลีที่ 10% ของขนมปังสูตรต่างๆจะแสดงให้เห็นว่ามีลักษณะของก้อนขนมปังมีความสมมาตร และให้ปริมาตรขนมปังที่สูง มีรูพรุนที่ค่อนข้างดี สุดท้ายเป็นการประเมินทางด้านประสาทสัมผัสของขนมปังพบว่า ผู้คนอื่นที่ทดสอบชอบสูตรที่แทนที่แป้งสาลีที่ 10% มากที่สุด และชอบสูตรที่แทนที่ด้วยถั่วมะแฮะที่ระดับ 30% น้อยที่สุด

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรศึกษาถึงวิธีการที่ใช้ในการดัดแปร และสภาวะที่ใช้ในการดัดแปรมากกว่านี้ เพราะในถั่วบางชนิดปริมาณสตาร์ชทนย่อยอาจเพิ่มขึ้นได้ ถ้าใช้วิธีการดัดแปรอื่น หรือสภาวะอื่น

5.2.2 ควรศึกษาถึงการนำฟลาวร์และสตาร์ชจากถั่วชนิดต่างๆ ทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการดัดแปรที่ได้ไปใช้ประโยชน์ โดยนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ ซึ่งอาจทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ใหม่ขึ้นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

กัลยาณี เต็งพงศธร. 2553. การประยุกต์ใช้โปรแกรมเสริม FactoMineR ของโปรแกรม R เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของข้อมูลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสอาหาร. วารสารอุตสาหกรรมเกษตรพระจอมเกล้า 2 (2): 31-41.

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

กรมการข้าว. 2556. พันธุ์ข้าว. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก http://www.brrd.in.th (วันที่สืบค้น 26 กุมภาพันธ์ 2557)

กรมวิชาการเกษตร. 2548. ถั่วเขียว. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก http://www.doa.go.th (วันที่สืบค้น 26 กุมภาพันธ์ 2557)

กรมวิชาการเกษตร. 2548. พันธุ์พืชไร่. กรุงเทพฯ: ชุมชนสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.

กรมส่งเสริมการเกษตร. 2551. พันธุ์ข้าว. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก http://www.doae.go.th (วันที่สืบค้น 26 กุมภาพันธ์ 2557)

เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ และกล้าณรงค์ ศรีรอต. 2544. มารู้จักแป้งสุขภาพ (Resistance Starch) กันเถอะ. ข่าวสารวิชาการในวงการแป้ง 1: 4-5.

สมชาย ประภาวัต, อนุกูล พลศิริ และอุดม กาญจนปกรณ์ชัย. 2522. การใช้ประโยชน์ของถั่วมะแฮะในการทำคุกกี้. อาหาร 11: 136-144.

ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว. ม.ป.ป. พืชตระกูลถั่ว. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก http:// www.phtnet.org (วันที่สืบค้น 26 กุมภาพันธ์ 2557)

ศูนย์วิทยบริการเพื่อส่งเสริมการเกษตร กรมส่งเสริมการเกษตร. ม.ป.ป. ถั่วแดงหลวง. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก http://esc. agritech.doae.go.th (วันที่สืบค้น 26 กุมภาพันธ์ 2557)

AACC. (2000). Approved Methods of the AACC, 10th ed. The Association, St. Paul, MN.

AACC. (2000). Bread firmness by universal testing machine. In *Approved methods of the AACC (74-09)*. St. Paul, MN, USA: American Association of Cereals Chemists.

American Association of Cereal Chemists (AACC). 2000. Approved Methods. The Association, St. Paul, Minnesota.

Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 2000. Official Method of Analysis. 15th ed. The Association of Official Agricultural Chemists, Virginia.

Aparicio-Saguilän, A. Flores-Huicocheaa, E., Tovarb, J., Garcia-Suärez, F., Gutiérrez-Meraza, F. and Bello-Pérez, L.A. 2005. Resistant starch-rich powders prepared by autoclaving of native and lintnerized banana starch: partial characterization. Starch/ Stärke. 57:405-412.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Aparicio-Saguilän, A. Sáyago-Ayerdi, S.G., Vargas-Torres, A., Tovarb, J., Ascencio-Otero, and Bello-Pérez, L.A. 2007. Slowly digestible cookies prepared from resistant starch-rich lintnerized banana starch. Journal of Food Composition and Analysis. 57: 405-412.

Agustiniano-Osornio, J.C., Gonzälez-Soto, R.A., Flores-Huicochea, E., Solorza-Feria, J., Manrique-Quevedo, N., Sánchez-Hernández, L. and Bello-Pérez, L.A. 2005. Resistant starch production from mango starch using a single-screw extruder. Journal of the Science of Food and Agriculture. 85:2105-2110.

Baixauli, R., Sanz, T., Salvador, A. and Fiszman, S.M. 2008. Muffins with resistant starch : Baking performance in relation to the rheological properties of the batter. Journal of Cereal Science. 47: 502-509.

Bello-Pérez, L.A., González-Soto, R.A., Sánchez-Rivero, M.M., Gutiérrez-Meraza, F. and Vargas-Torres, A. 2006. Extrusion of starches from non-conventional sources for resistant starch production. Agrociencia, 40: 441–448.

Buleon, A., Colonna, P., Planchot, V., and Ball, S. (1998). Starch granules : structure and biosynthesis. International Iournal of Biological Macromolecules, 23, 85-112.

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.J., Liu, Q. and Hoover, R. 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. Carbihydrate Polymers. 75: 436-447.

El-Sayed, M.A. and Rabalski, I. 2008. Effect of baking on nutritional properties of starch in organic spelt whole grain. Food Chemistry. 111: 150-156.

Eyaru, R., Shrestha, A.K. and Arcot, J. 2009. Effect of various processing technique on digestibility of starch in Red kidney bean *(Phaseolus vulgaris)* and two varieties of peas *(Pisum sativum)*. Food Research International. 42 956-962.

Englyst, H.N., and Hudson, G.J. (1992). The classification and measurement of dietary carbohydrates. *Food Chemistry*, 57, 15-21

Englyst, K.N., Kingman, S.M. and Cummings, J.H. 1992. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. European Journal of Clinical Nutrition. 46: 533—550.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fuentes-Zaragoza, E., Riquelme-Navarrete, M.J., Sánchez-Zapata, E and Pérez-Álvarez, J.A. 2010. Resistant starch as functional ingredient: A review. Food Research International. 43: 931-942.

Gallagher, E., Gormley, T. R., & Arendt, E. K. (2004). Recent advances in the formulation of gluten-free cereal-based products. *Trends in Food science & Technology*, 15, 143-152.

Gonzälez-Soto, R.A., Agama-Acevedo, E., Solorza-Feria, J. Rendön-Villalobos, R. and Bello-Pérez, L.A. 2004.

Jenkins et al. (2002). Glycemic index: overview of implications in health and disease. *American Journal of Clinical.* Resistant starch made from banana starch by autoclaving and debranching. Starch/ Stärke. 56:495-499.

Juliano, B.O. (1971). A simplified assay for milled rice amylose. *Cereal Science Today,* 16,334-338.

Hughes, T., Hoover, R., Liu, Q., Donner, E., Chibbar, R. and Jaiswal, S. 2009. Composition, morphology, molecular structure, and physicochemical properties of starchs from newly released chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars grown in Canada. Food Research International. 42: 627-635.

Katyal, D., Ghugre, P.S. and Udipi, S.A. 2005. Resistant starch in selected raw and processed legumes. Journal of Food Science and Technology. 42: 506–510.

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

Leach, H.W., L.D. McCowen, and T.J. Schoch. 1959. Structure of the starch granule I. Swelling and solubility patterns of various starches. Cereal Chemistry 36: 534-544

Lei, F., Ji-Chun, T., Cai-ling, S. and Chun, L. 2008. RVA and Farinograph properties study on blends of resistant starch and wheat flour. Agricultural Sciences in China. 7: 812-822.

Li, S., Ward, R. and Gao, Q. 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.

Lunn, J. and Butriss,J.L. 2007. Carbohydrates and dietary fibre. Nutrition Bulletin. 32: 21-64.

Mariotti, M.., Pagani, M.A. and Lucisano, M. 2013. The role of buckwheat and HPMC on the breadmaking properties of some commercial gluten-free bread mixtures. Food Hydrocolloids, 30: 393-400.

Martin, C., and Smith, A. M. (1995). Starch biosynthesis. Plant Cell, 7, 971-985.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Minarro, B., Albanell, E., Aguilar, N., Guamin, B., Capellas, M. (2012). Effect of legume flours on baking characteritics of gluten-free bread. *Journal of Cereal Science*, 56, 476-481.

Nimsung, P., M. Thongngam, and O. Naivikul. 2007. Compositions, Morphological and Thermal Properties of Green Banana Flour and Starch. *Kasetsart Journal International Science*, 41, 324-330

Phimolsiripol, Y., Mukprasirt, A., Schoenlechner, R. (2012). Quality improvement of rice-base gluten-free bread using different dietary fiber fraction of rice bran. *Journal of Cereal Science,* 56, 389-395.

Rosin, P.M., Lajolo, F.M. and Menezes, E.W. 2002. Measurement and characterization of dietary starches. Journal of Food Composition and Analysis. 15: 367-377.

Pongjaruvat, W., Methacanon, P., Seetapan, N., Fuongfuchat, A. (2014). Influence of pregelatinised tapioca starch and transglutaminase on dough rheology and quality of gluten-free jamine rice breads. *Food Hydrocolloids*, 36, 143-150.

Sabanis, D., Lebesi, D. and Tzia, C. 2009. Effect of dietary fibre enrichment on selected properties of gluten-free bread. LWT-Food Science and Technology, 42: 1380-1389.

Sanders, J.P.M. 1996. Starch manufacturing in the world. Advanced Post Academic Course on Tapioca Starch Technology. January 22-26 and February: 19-23.

Sajilata, M.G., Singhal, R.S. and Kulkarni, P.R. 2006. Resistant starch: a review. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 5:1-17.

Shi, M.M. and Gao, Q-U. 2011. Physicochemical properties, structure and in Vitro digestion of resistant starchfrom waxy rich starch. Carbohydrate Polymers, 11: 1151-1157.

Silva, L.H., Paucar-Menacho, L.M., Vieente, C.A., Salles, A.S. & Steel, C.J. (2009) Desenvolvimento de pào de forma com a adicào de farinha de "okara". *Brazilian Journal of Food Technology*, 12. 315-322.

Singh, N., Sandhu, K.S. and Kaur, M. 2004. Characterization of starches seperated from Indian chickpea (*Cider arietinum* L.) cultivars. Journal of Food Engineering. 63: 441-449.

Singh, J. Dartois, A. and Kaur, L. 2010. Starch digestibility in food matrix: a review. Trends in Food Sciences & Technology. 21: 168-180.

Suksawat, C. and Luangsakul, N. 2012. Resistant starch content and physicochemical properties of legume flour. (in submission).

Tas, A.A. and El, S.N. 2000. Determination of nutritionally important starch fractions of some Turkish breads. Food Chemistry. 70: 493-497.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Tester, R.F., Karkalas, J., and Qi, X. (2004). Starch structure and digestibility enzyme substrate relationship. *World's Poultry Science Journal*, 60, 185-195.

Whister, R.L., and Deniel, J.R. (1984). Molecular structure of starch. In R.L. Whistler, J. N. BeMiller, and E. F. Paschall (Eds.). Starch : chemistry and technology, 2, 153-178.

Yadav, R.B., Sharma, A. and Yadav, R.B. 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.

Vargas-Torres, A. Osorio-Diaz, P., Islas-Hernóndez, J.J., Tovar, J., Paredes-Lopez, O. and Bello-Pérez, L.A. 2004. Starch digestibility of five cooked black bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties. Journal of Food Composition and Analysis. 17: 605-612.

Yousif, A., Nhepera, D. and Johnson, S. 2012. Influence of sorghum flour addition on flat bread in vitro starch digestibility, antioxidant capacity and consumer acceptability. Food Chemistry. 134: 880-887.

Zobel, H.F. (1988). Molecules to granules: A comprehensive starch review. Starch/Stärke, 40(2), 44-50.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การตรวจสอบคุณภาพทางเคมี

1. ความชื้น (AOAC, 2000)

นำกระป๋องอะลูมิเนียมและฝาไปอบที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น และนำไปชั่งน้ำหนักที่แน่นอน ชั่งตัวอย่างที่บดละเอียดประมาณ 2-3 กรัม (จดน้ำหนักที่แน่นอน) ใส่ลงในกระป๋องอะลูมิเนียม แล้วนำไปอบพร้อมฝาในตู้อบที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาที่กำหนดทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักกระป๋องอะลูมิเนียมพร้อมฝา คำนวณปริมาณความชื้นดังสมการ

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

1. ปริมาณอะไมโลส (Juliano, 1971)

1.1 การเขียนกราฟมาตรฐาน

ชั่งอะไมโลสบริสุทธิ์ (amylose from potato) ประมาณ 40 มิลลิกรัม ใส่ในหลอดทดลอง เติมเอทานอล (ethyl alcohol) ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide) ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมตร 9 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน และนำไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 10 นาที ทำให้เย็นและถ่ายลงในขวดปรับปริมตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 100 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ใช้ปิเปตดูดสารละลายมาปริมาตร 1 2 3 4 และ 5 มิลลิลิตร ใส่ในขวดปรับปริมตรขนาด 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) กับค่าการดูกลืนแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

ชั่งตัวอย่างประมาณ 100 มิลลิกรัม (น้ำหนักแน่นอน) ใส่ในหลอดทดลอง เติมเอทานอล (ethyl alcohol) ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide) ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมตร 9 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน และนำไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 10 นาที ทำให้เย็นและถ่ายลงในขวดปรับปริมตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 100 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ใช้ปิเปตดูดสารละลายมาปริมาตร 5 มิลลิลิตร ใส่ในขวดปรับปริมตรขนาด 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

M_1, M_2 = น้ำหนักของตัวอย่าง (มิลลิกรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

แบบสอบถามการประเมินทางประสาทสัมผัส

ตัวอย่าง ……..ขนมปัง…….

ชื่อผู้ทดสอบ…….. **วันที่ทดสอบ**……..

<u>คำชี้แจง</u> กรุณาชิมตัวอย่างผลิตภัณฑ์ โดยให้คะแนนความชอบตามลำดับคะแนนที่ได้กำหนดไว้ด้านล่าง ตามความรู้สึกที่ท่านมีต่อผลิตภัณฑ์

1 = ไม่ชอบมากที่สุด 2 = ไม่ชอบ 3 = เฉยๆ

4 = ชอบ 5 = ชอบมากที่สุด

รหัสตัวอย่าง	……...	……	…….
ความชอบรวม	……...	……	…….

<u>คำชี้แจง</u> กรุณาชิมตัวอย่างผลิตภัณฑ์ โดยให้วงกลมล้อมรอบคะแนนความชอบตามลำดับคะแนนที่ได้กำหนดไว้ด้านล่าง ตามความรู้สึกที่ท่านมีต่อผลิตภัณฑ์

รหัสตัวอย่าง……

1. รูปร่าง

   1 = ไม่ชอบมากที่สุด 2 = ไม่ชอบ 3 = เฉยๆ 4 = ชอบ 5 = ชอบมากที่สุด

2. สี

   1 = ไม่ชอบมากที่สุด 2 = ไม่ชอบ 3 = เฉยๆ 4 = ชอบ 5 = ชอบมากที่สุด

3. กลิ่น

   1 = ไม่ชอบมากที่สุด 2 = ไม่ชอบ 3 = เฉยๆ 4 = ชอบ 5 = ชอบมากที่สุด

4. เนื้อสัมผัส

   1 = ไม่ชอบมากที่สุด 2 = ไม่ชอบ 3 = เฉยๆ 4 = ชอบ 5 = ชอบมากที่สุด

5. รสชาติ

   1 = ไม่ชอบมากที่สุด 2 = ไม่ชอบ 3 = เฉยๆ 4 = ชอบ 5 = ชอบมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

ขอบคุณค่ะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

สรุปค่าใช้จ่ายการดำเนินโครงการวิจัย

1. ค่าตอบแทน (3,000 บาท x 6 เดือน)	18,000 บาท
2. ค่าวัสดุ	
- ชุด Kit glucoseoxidase-peroxidase	20,000 บาท
- ชุด Kit สำหรับวิเคราะห์ปริมาณสตาร์ชทั้งหมด (starch content)	20,000 บาท
- เอนไซม์ (pepsin, pancretin, invertase, amyloglucosidase)	50,000 บาท
- วัตถุดิบ สารเคมีและอุปกรณ์	10,000 บาท
รวม	**118,000 บาท**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติคณะผู้วิจัย

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นางนภัสรพี เหลืองสกุล

   ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mrs. Naphatrapi Luangsakul

2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3 1013 00674 56 7

3. ที่ติดต่อได้สะดวก คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ เจ้าคุณทหารลาดกระบัง ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพ 10520 โทรศัพท์ 081-802-3204 e-mail: klarunee@kmitl.ac.th

4. ประวัติการศึกษา

   วท.บ. (เทคโนโลยีทางอาหาร) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

   วท.ม. (เทคโนโลยีทางอาหาร) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

   วท.ด. (เทคโนโลยีทางอาหาร) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5. ประสบการณ์งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

   หัวหน้าโครงการวิจัย

   - Effect of physicochemical properties of glutinous rice varieties on traditional Thai fried rice cracker (Khao-Tan).

   - Utilization of skipjack fish bone in traditional Thai rice cracker (Khao-tan) for calcium fortification.

   - Utilization of red snapper fish bone in butter cookies for calcium fortification.

   - Effect of processing parameters in relation to qualities of traditional Thai fried rice cracker (Khao-Tan).

   - Product development of muffins for strict vegetarians.

   - Study on compositional and sensory characteristics of butter cake for strict vegetarians.

   - Study on partial substitution of mutated Japonica rice cultivated in Thailand to wheat flour affecting physicochemical and rheology of dough and quality factors of bread on breadmaking.

   - Study on partial substitution of taro flour to wheat flour affecting physicochemical and rheology of dough and quality factors of bread on breadmaking.

   - Partial substitution of various cereal flours to tapioca flour in making Thai fried crispy cracker (Khao-Kriab) to increase nutritious benefits.

   - Study on processing parameters of commercial no-time breadmaking process affecting quality of bread.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Composition and physiochemical properties of flour and starch of Chinese water chestnut (*Eleocharisdulcis* Trin.) differing in the harvest period.

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

- Production of Chinese steamed bun using seleted mixed starter cultures of lactic acid bacteria and yeasts

CHAPTER IN BOOK:

Keeratipibul S, 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.

PUBLICATIONS IN ARTICLES:

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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

POSTER PRESENTATION (FULL TEXT)

Chupanit, W., Mulser, C., 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. 24th-26th August, 2004: pp: 379-384.

Luangsakul, N., Katekasem, P., Suksawang, M. and Pornanansiri, 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. 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, 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., 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., 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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

POSTER PRESENTATIONS (ABSTRACT):

Khopalasute, S, Sungsriin, 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., Lertsatchayarn, 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.

AWARD:

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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้