รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

เรื่อง

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวกึ่งสำเร็จรูปลดดัชนีไกลซีมิก
Development of reduced glycemic instant rice

ผู้วิจัย

อโนชา	สุขสมบูรณ์	หัวหน้าโครงการ
กุลยา	ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์	ผู้ร่วมวิจัย

โครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้
จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน)
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560
มหาวิทยาลัยบูรพา

รหัสโครงการ 555434
สัญญาเลขที่ 26/2560

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

เรื่อง

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวกึ่งสำเร็จรูปลดดัชนีไกลซีมิก
Development of reduced glycemic instant rice

ผู้วิจัย

อโนชา	สุขสมบูรณ์	หัวหน้าโครงการ
กุลยา	ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์	ผู้ร่วมวิจัย

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

มีนาคม 2562

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560 มหาวิทยาลัยบูรพา ผ่านสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ เลขที่สัญญา 26/2560

Acknowledgment

This work was financially supported by the Research Grant of Burapha University through National Research Council of Thailand (Grant no. 26/2560).

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของพันธุ์ข้าวและน้ำมันพืชต่อคุณลักษณะของข้าวกึ่งสำเร็จรูปลดค่าดัชนีไกลซีมิก เตรียมข้าวกึ่งสำเร็จรูปโดยแปรชนิดของข้าวเป็น 3 พันธุ์ ได้แก่ ข้าวหอมมะลิ ข้าวขาวตาแห้ง และข้าวเหลืองประทิว จากผลการทดลอง พบว่า ข้าวทั้งสามพันธุ์มีปริมาณอะไมโลสเท่ากับ 11.84, 21.11 และ 26.53 ตามลำดับ เมื่อนำมาเตรียมเป็นข้าวกึ่งสำเร็จรูปลดดัชนีไกลซีมิก ด้วยการเติมน้ำมันมะพร้าวในระหว่างการหุงข้าว นำไปแช่ในตู้เย็นอุณหภูมิประมาณ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง แล้วนำมาอบให้แห้ง พบว่า พันธุ์ของข้าวมีผลต่อค่าสี (L* a* b*) และลักษณะเนื้อสัมผัส (ความแข็ง และความเหนียว) ของข้าวกึ่งสำเร็จรูปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ข้าวกึ่งสำเร็จรูปจากข้าวเหลืองประทิวมีค่าดัชนีไกลซีมิกต่ำที่สุด รองลงมาคือข้าวขาวตาแห้ง และข้าวหอมมะลิ ตามลำดับ และจากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่าข้าวกึ่งสำเร็จรูปจากข้าวหอมมะลิ และข้าวขาวตาแห้ง ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมมากกว่า 6 คะแนน (6.97 และ 6.10) แต่ข้าวกึ่งสำเร็จรูปจากข้าวขาวตาแห้งมีค่าดัชนีไกลซีมิกต่ำกว่า จึงคัดเลือกข้าวขาวตาแห้งมาศึกษาในขั้นต่อไป โดยแปรชนิดของน้ำมันพืชเป็น 3 ชนิด ได้แก่ น้ำมันมะพร้าว น้ำมันรำข้าว และน้ำมันมะกอก จากผลการทดลอง พบว่า ชนิดของน้ำมันมีผลต่อค่าสี และลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวกึ่งสำเร็จรูปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากน้ำมันมะพร้าวมีค่าดัชนีไกลซีมิกต่ำที่สุด และจากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่าข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากน้ำมันพืชทั้ง 3 ชนิด ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมมากกว่า 6 คะแนน (6.53-6.60) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) เมื่อพิจารณาค่าดัชนีไกลซีมิกที่ต่ำที่สุด จึงเลือกข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวขาวตาแห้งที่เตรียมจากน้ำมันมะพร้าวมาศึกษาในขั้นต่อไป จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณและค่าดัชนีไกลซีมิกข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่พัฒนาได้หลังการคืนรูปเปรียบเทียบกับข้าวขาวตาแห้งที่หุงแบบปกติ พบว่า ข้าวกึ่งสำเร็จรูปหลังการคืนรูปมีปริมาณไขมัน คาร์โบไฮเดรต และพลังงาน สูงว่า โดยมีค่าดัชนีน้ำตาลเท่ากับ 78.16 ซึ่งต่ำกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวที่หุงแบบปกติที่มีค่าดัชนีน้ำตาลเท่ากับ 85.45

Abstract

This research aims to study the effect of rice varieties and type of vegetable oil on the properties of reduced-glycemic index instant rice. Instant rice was made from three rice varieties; Thai jasmine, Khao Tah Haeng and Khao Leuang Patew rices. The results showed that three rice varieties had different amount of amylose content of 11.84, 21.11 and 26.53 respectively . Reduced-glycemic index instant rice was prepared by addition of coconut oil in water during rice was cooked, followed by refrigerated the cooked rice at 4 $^{\circ}$C for 12 hr., and oven dried. Rice varieties also affected to the color (L* a* b*) and texture (harness and stickiness) of instant rice significantly ($p<0.05$). Instant rice prepared from Khao Leuang Patew rices gave the lowest glycemic index (GI) followed by Khao Tah Haeng and Khao Leuang Patew rices respectively. Sensory evaluations showed that instant rice from Thai jasmine and Khao Tah Haeng rices received the overall preference score more than 6 points (6.97 and 6.10), but instant rice from Khao Tah Haeng rice showed lower GI. Therefore, it was selected for the further study. Instant rice was prepared from three types of vegetable oil; coconut, rice bran and olive oils. Type of vegetable oil affected to the color and texture of instant rice significantly ($p<0.05$). The results showed that instant rice from coconut oil gave the lowest of glycemic index (GI). Sensory evaluations showed that instant rice from all 3 types of vegetable oil received the overall preference score more than 6 points (6.53 - 6.60) and not significantly difference ($p\geq0.05$). According to its lowest GI, the instant rice with coconut oil was selected to the further study. Proximate analysis and glycemic index of rehydrated reduced-glycemic index instant rice were evaluated and compared with those of cooked Khao Tah Haeng rice. The result showed that the rehydrated reduced-glycemic index instant rice contained higher fat, carbohydrate and energy, but lower glycemic index of 78.16 compared with 85.45 of cooked Khao Tah Haeng rice.

สารบัญเรื่อง

หน้า

กิตติกรรมประกาศ ..... ก
บทคัดย่อภาษาไทย ..... ข
Abstract ..... ค
สารบัญเรื่อง ..... ง
สารบัญตาราง ..... จ
สารบัญภาพ ..... ฉ
บทที่
1 บทนำ 1
2 วิธีดำเนินการวิจัย 30
3 ผลการวิจัยและวิจารณ์ 34
4 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 51
5 ผลผลิต 53
รายงานการเงิน 54
เอกสารอ้างอิง 55
ภาคผนวก 59
ประวัตินักวิจัยและคณะ 71

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1-1	รูปแบบผลิตภัณฑ์ของข้าวหุงสุกเร็ว	4
1-2	ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของข้าวเปลือกและส่วนที่ได้จากการขัดสีที่ความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์	10
1-3	องค์ประกอบทางเคมีของข้าวขาวดอกมะลิ 105	18
1-4	องค์ประกอบกรดไขมันในน้ำมันมะพร้าว	21
1-5	องค์ประกอบกรดไขมันในน้ำมันรำข้าว	22
1-6	ส่วนประกอบของกรดไขมันในน้ำมันมะกอก	24
3-1	ปริมาณอะไมโลสของข้าว 3 พันธุ์	34
3-2	ค่าดัชนีการย่อยและค่าดัชนีไกลซีมิกของข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าว 3 พันธุ์	37
3-3	ค่าสีของข้าวกึ่งสำเร็จรูปจากข้าว 3 พันธุ์ ก่อนการคืนรูป	38
3-4	ค่าสีของข้าวกึ่งสำเร็จรูปจากข้าว 3 พันธุ์ หลังการคืนรูป	39
3-5	ค่า Hardness และ Stickiness ของข้าวกึ่งสำเร็จรูปจากข้าว 3 พันธุ์ หลังการคืนรูป	40
3-6	ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าว 3 พันธุ์	41
3-7	ค่าดัชนีการย่อยและค่าดัชนีไกลซีมิกของข้าวขาวตาแห้ง และข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวขาวตาแห้งร่วมกับน้ำมันพืช 3 ชนิด	45
3-8	ค่าสีของข้าวกึ่งสำเร็จรูปจากข้าวขาวตาแห้งที่ทำจากน้ำมันพืช 3 ชนิด ก่อนการคืนรูป	46
3-9	ค่าสีของข้าวกึ่งสำเร็จรูปจากข้าวขาวตาแห้งที่ทำจากน้ำมันพืช 3 ชนิด หลังการคืนรูป	47
3-10	ค่า Hardness และ Stickiness ของข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่หุงกับน้ำมันพืช 3 ชนิด	47
3-11	ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวขาวตาแห้งร่วมกับน้ำมันพืช 3 ชนิด	49
3-12	องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณและค่าดัชนีไกลซีมิกของข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวขาวตาแห้งและน้ำมันมะพร้าวหลังการคืนรูป เปรียบเทียบกับข้าวขาวตาแห้งที่หุงด้วยวิธีปกติ	50

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1-1	โครงสร้างของอะไมโลส	11
1-2	โครงสร้างของอะไมโลเพกทิน	11
1-3	ปรากฏการณ์เปลี่ยนแปลงของส่วนผสมแป้ง หรือสตาร์ชในน้ำโดยเพิ่มและลดอุณหภูมิตามกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหารที่มีแป้งเป็นวัตถุดิบหลัก	13
1-4	ก. การเกิดผลึกหรือตกตะกอน (การแยกชั้น) และการเกิดเจลของสตาร์ช ในขณะที่เย็นลงหลังการให้ความร้อน ข. การอุ้มน้ำของสตาร์ชบริเวณผลึก (crystalline zone) จะดูดน้ำได้น้อยกว่าบริเวณอสัณฐาน (amorphous zone) ค. กลูโคสในบริเวณอสัณฐาน จะอุ้มน้ำได้หลายโมเลกุล	14
1-5	โครงสร้างของแป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ชนิดที่ 1 (RS_1)	16
1-6	โครงสร้างของแป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ชนิดที่ 2 (RS_2)	16
1-7	การต้านทานต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ของ double helice บริเวณโครงสร้างผลึก (C) ของแป้งที่ทนต่อการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ชนิดที่ 3 (RS_3)	17
1-8	ไดสตาร์ชฟอสเฟตเอสเทอร์	17
1-9	สูตรโครงสร้างทางเคมีของสารหอม 2 - acetyl – 1 – pyrroline	18
1-10	ข้าวขาวตาแห้ง	19
1-11	เมล็ดข้าวเหลืองประทิว	19
3-1	ค่าอัตราการย่อยแป้งที่เวลา 0 – 180 นาทีของตัวอย่างขนมปังขาว ข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวหอมมะลิ ข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวขาวตาแห้ง ข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวเหลืองประทิว	36
3-2	ข้าวกึ่งสำเร็จรูปก่อนการคืนรูปจากข้าวหอมมะลิ (a) ข้าวขาวตาแห้ง (b) และข้าวเหลืองประทิว (c) 50	37
3-3	ข้าวกึ่งสำเร็จรูปหลังการคืนรูปจากข้าวหอมมะลิ (a) ข้าวขาวตาแห้ง (b) และข้าวเหลืองประทิว (c) 50	39
3-4	ค่าอัตราการย่อยแป้งที่เวลา 0 – 180 นาทีของตัวอย่างขนมปังขาว ข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวขาวตาแห้งร่วมกับน้ำมันมะพร้าว ข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวขาวตาแห้งร่วมกับน้ำมันรำข้าว ข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวขาวตาแห้งร่วมกับน้ำมันกอก	44

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

3-5 ข้าวกึ่งสำเร็จรูปก่อนการคืนรูปที่ทำจากข้าวขาวตาแห้งร่วมกับน้ำมันมะพร้าว (a) น้ำมันรำข้าว (b) และน้ำมันมะกอก (c) 45

3-6 ข้าวกึ่งสำเร็จรูปหลังการคืนรูปที่ทำจากข้าวขาวตาแห้งร่วมกับน้ำมันมะพร้าว (a) น้ำมันรำข้าว (b) และน้ำมันมะกอก (c) 46

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย นอกจากนั้นข้าวยังถือเป็นอาหารหลักของคนไทยและอีกหลายประเทศในเอเชีย ข้าวเป็นแหล่งอาหารที่ให้พลังงานแก่ร่างกายจัดอยู่ในอาหารหลักหมู่ที่ 2 มีสารอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตที่เป็นแหล่งให้พลังงานและความอบอุ่นแก่ร่างกาย รวมถึงมีวิตามินและแร่ธาตุ ในปัจจุบันพบว่ามนุษย์มีการใช้ชีวิตแบบเร่งรีบแข่งขันกับเวลา อาหารที่สามารถเตรียมได้สะดวก รวดเร็ว จึงมีความสำคัญและเป็นที่ต้องการของมนุษย์ในยุคนี้ ซึ่งข้าวกึ่งสำเร็จรูป (instant rice) เป็นข้าวที่ผ่านกรรมวิธีการทำให้ข้าวสุกก่อนในระดับหนึ่งก่อนการนำมาทำแห้ง ซึ่งสามารถเก็บรักษาได้นานที่อุณหภูมิห้อง เป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้คืนรูปสั้นๆ ด้วยวิธีที่ไม่ยุ่งยาก อาจทำด้วยการเติมน้ำร้อนหรือน้ำเดือดแล้วทิ้งให้คืนรูป 1-5 นาที หรือเติมน้ำแล้วนำไปให้ความร้อนด้วยเตาไมโครเวฟประมาณ 5-10 นาที (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2550) ดังนั้นผลิตภัณฑ์ข้าวกึ่งสำเร็จรูปจึงน่าจะสามารถตอบสนองความต้องการดังกล่าวได้

เนื่องจากปัจจุบันประชากรโลกมีความเสี่ยงในการเป็นโรคเบาหวานประมาณ 387 ล้านคน โดยเฉพาะประเทศภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ หรืออาเซียน ที่คาดว่าในปี ค.ศ. 2035 จำนวนผู้เป็นโรคเบาหวานจะเพิ่มขึ้นถึง 71% อีกทั้งยังพบในกลุ่มคนที่อายุน้อยลงเรื่อยๆ ซึ่งทั้งหมดเป็นผลมาจากการบริโภค (รัชนี คงคาฉุยฉาย, 2558) นอกจากนั้นในอีกไม่กี่ปีข้างหน้าประเทศไทยจะเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุอย่างเต็มรูปแบบ ซึ่งผู้สูงอายุในปัจจุบันเป็นโรคเรื้อรังที่เป็นปัญหาเกี่ยวกับสุขภาพหลายโรค เช่น โรคความดันโลหิต โรคเบาหวาน โรคอ้วน โรคหลอดเลือดสมอง และโรคหลอดเลือดหัวใจ ทำให้การผลิตอาหารสำหรับผู้สูงอายุ ต้องให้ความสำคัญกับอาหารที่ดีต่อสุขภาพมากขึ้น งานวิจัยที่ผ่านมาจึงให้ความสนใจเกี่ยวกับเรื่อง ดัชนีไกลซีมิก หรือ Glycemic Index (GI) มากขึ้น เนื่องจากเมื่อบริโภคอาหารที่มีค่าดัชนีไกลซีมิกสูง จะกลายสภาพเป็นน้ำตาลในกระแสเลือดได้อย่างรวดเร็ว จากงานวิจัยพบว่าหากรับประทานอาหารที่มีค่าดัชนีไกลซีมิกสูงเป็นประจำจะเป็นการเพิ่มความเสี่ยงในการเป็นโรคเบาหวาน โรคอ้วน โรคหลอดเลือดสมอง และโรคหลอดเลือดหัวใจ ตัวอย่างอาหารที่มีค่าดัชนีไกลซีมิกสูง คือกลุ่มอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตหรือน้ำตาลโมเลกุลเชิงเดี่ยวในปริมาณมาก จึงสามารถแปลงสภาพจากแป้ง หรือน้ำตาลเข้าสู่กระแสเลือดได้อย่างรวดเร็ว เช่น น้ำตาลกลูโคส (ค่าดัชนีไกลซีมิก = 100) ข้าวขาวหอมมะลิ (ค่าดัชนีไกลซีมิก = 100) เป็นต้น (ปานเทพ พัวพงษ์พันธ์, 2558) จะเห็นว่าข้าวจัดเป็นอาหารที่มีค่าดัชนีไกลซีมิกปานกลาง - สูง (ค่าดัชนีไกลซีมิกมากกว่า 56) โดย Srikaeo and sopade (2010) ได้รายงานว่าค่าดัชนีไกลซีมิกของโจ๊กข้าวหอมมะลิจำนวน 10 ตัวอย่างที่มีส่วนผสมอื่น ๆ ที่แตกต่างกัน มีค่าเท่ากับ 68.00 – 97.00 Rattanamechaiskul et al. (2014) รายงานว่าข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 ข้าวขาวดอกมะลิ 105 และกข 31 เมื่อนำไปปรับให้มีความชื้น 33–43% แล้วนำไปทำแห้งด้วยวิธี fluidized bed โดยใช้อากาศร้อน อากาศชื้น และไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่อุณหภูมิ 130 และ150 °C โดยเปรียบเทียบกับการทำแห้งโดยการทำแห้งโดยการตากในที่ร่ม พบว่ามีค่า GI เท่ากับ 57.00 – 75.20 Frei et al. (2003) รายงานว่าข้าว 6 พันธุ์ ได้แก่

Milagrosa Manumbaeay Kutsiyam Kinaures Bagoeam และ Karaya ที่หุงสุกใหม่มีค่าดัชนีไกลซีมิกเท่ากับ 68.00 – 109.20 ทั้งนี้ข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูงจะมีค่าดัชนีไกลซีมิกต่ำกว่าข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ Srikaca and Arranz – Mrranz (2015) รายงานว่าข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูงจะทำให้อัตราการถูกย่อยลดลง และส่งผลให้ค่าดัชนีไกลซีมิกต่ำลงด้วย เนื่องจากหลังการเจลาทิไนซ์แล้วทำให้เย็น อะไมโลสสามารถเกิดการจัดเรียงตัวใหม่กลายเป็นโครงสร้างที่มีความแข็งแรงทนทานต่อการย่อยของเอนไซม์เรียกว่าสตาร์ชที่ทนทานต่อการย่อยของเอนไซม์ (resistance starch) ซึ่งปริมาณอะไมโลสในข้าวนอกจากจะส่งผลต่อค่าดัชนีไกลซีมิก แล้วยังส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพของข้าวหุงสุกด้วย โดยข้าวอะไมโลสต่ำ (ปริมาณอะไมโลส 10 – 19%) เมื่อหุงต้มลักษณะข้าวสุกจะนุ่มเหนียว ข้าวอะไมโลสปานกลาง (ปริมาณอะไมโลส 20 - 25%) เมื่อหุงต้มลักษณะข้าวสุกค่อนข้างนุ่มเหนียวเล็กน้อย ส่วนข้าวอะไมโลสสูง (ปริมาณอะไมโลสมากกว่า 25%) เมื่อหุงต้มลักษณะข้าวสุกจะร่วนค่อนข้างแข็ง (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2550) ดังนั้นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวให้มีค่าดัชนีไกลซีมิกต่ำลงก็ควรที่จะพิจารณาคุณภาพของข้าวสุกควบคู่ไปด้วย ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้ข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 พันธุ์ขาวตาแห้ง และพันธุ์เหลืองประทิว ที่เป็นตัวแทนของข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำ ปานกลาง และสูง ที่นิยมบริโภคและปลูกมากในประเทศ

จากการประชุม The 249th Nation Meeting & Exposition of the American Chemical Society (ACS) ครั้งที่ 249 ในปี 2558 โดย Sudhair A. james ได้รายงานการค้นพบเทคนิคหุงข้าวแบบใหม่เพื่อให้แคลอรี่ลดลง โดยการนำข้าวขาวมาหุงร่วมกับน้ำมันมะพร้าว 3% ของน้ำหนักข้าว จากนั้นนำไปแช่เย็น และเมื่อต้องการบริโภคจะนำมาผ่านความร้อนอีกครั้ง พบว่าทำให้ปริมาณแป้งที่ทนทานต่อการย่อยของเอนไซม์เพิ่มขึ้น 90% ลดปริมาณแคลอรีได้ 60% เนื่องจากไขมันในน้ำมันมะพร้าวจะเข้าไปเกิดโครงสร้างเชิงซ้อนกับสตาร์ช (starch-lipid) เกิดเป็นโครงสร้างที่ทนทานต่อการย่อยของเอนไซม์ (ปานเทพ พัวพงษ์พันธ์, 2558) โดย Reed et al. (2013) รายงานว่าการเกิดโครงสร้างเชิงซ้อนระหว่างสตาร์ช – ลิปิด ในระหว่างกระบวนการแปรรูปอาหารประเภทแป้งทำให้สามารถลดอัตราการย่อยสตาร์ชได้ ซึ่งส่งผลให้ค่าดัชนีไกลซีมิกมีค่าต่ำลงด้วย นอกจากน้ำมันมะพร้าวแล้วทางผู้วิจัยมีแนวคิดที่จะใช้น้ำมันรำข้าว และน้ำมันมะกอกในการผลิตข้าวกึ่งสำเร็จรูป เนื่องจากน้ำมันรำข้าวเป็นแหล่งที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ มีส่วนประกอบสำคัญ คือแกมมา ออริซานอล และโทโคไตรอินอล ซึ่งพบว่าสามารถช่วยลดระดับคอเลสเทอรอลในเลือด และลดอัตราการเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจได้ **(ณรงค์ โฉมเฉลา,** 2548**)** และจากการค้นคว้าวิจัยพบว่าน้ำมันมะกอกสามารถช่วยลดระดับคอเลสเตอรอลชนิดเลว (LDL) ในขณะเดียวกันจะไม่ทำให้คอเลสเตอรอลชนิดดี (HDL) ลดระดับลง (ธิษณา จรรยาชัยเลิศ, 2559)

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจพัฒนาข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่มีดัชนีไกลซีมิกต่ำกว่าข้าวกับข้าวสุกที่เตรียมด้วยวิธีการหุงแบบปกติโดยศึกษาผลของชนิดของข้าวและชนิดของน้ำมันที่มีผลต่อค่าดัชนีไกลซีมิก รวมทั้งคุณลักษณะ คุณค่าทางโภชนาการ ของข้าวกึ่งสำเร็จรูป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1) เพื่อศึกษาผลของชนิดของข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสแตกต่างกันต่อค่าดัชนีไกลซีมิก คุณลักษณะทางกายภาพ คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของข้าวกึ่งสำเร็จรูป

2) เพื่อศึกษาผลของชนิดของน้ำมันที่มีผลต่อค่าดัชนีไกลซีมิก คุณลักษณะทางกายภาพ คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส และคุณค่าทางโภชนาการของข้าวกึ่งสำเร็จรูป

3) เพื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมี และค่าดัชนีไกลซีมิกของข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตได้กับข้าวสุกที่เตรียมด้วยวิธีการหุงแบบปกติ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1) เตรียมข้าวกึ่งสำเร็จรูปจากข้าว 3 พันธุ์ ได้แก่ ข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 พันธุ์ขาวตาแห้ง และพันธุ์เหลืองประทิว ที่เป็นตัวแทนของข้าวที่มีข้าวอะไมโลสต่ำ (ปริมาณอะไมโลส 10 – 19%) ข้าวอะไมโลสปานกลาง (ปริมาณอะไมโลส 20 - 25%) และข้าวอะไมโลสสูง (ปริมาณอะไมโลสมากกว่า 25%) ด้วยการหุงให้สุกในหม้อหุงข้าวไฟฟ้า โดยใช้ปริมาณข้าวสารต่อน้ำในอัตราส่วนที่ผู้ผลิตข้าวแจ้งไว้ โดยผสมน้ำมันมะพร้าว 3% ของน้ำหนักข้าวสารลงในน้ำที่ใช้หุงข้าว แล้วนำข้าวที่หุงสุกแล้วไปแช่ตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 12 ชั่วโมง แล้วนำมาทำแห้งในตู้อบลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส จนข้าวมีความชื้น 14 % นำข้าวมาคืนรูปด้วยการเทน้ำเดือด (อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส) โดยใช้อัตราส่วนน้ำ : ข้าว 1.5 : 1 แล้วทิ้งไว้เป็นเวลา 5 นาที แล้วนำไปวิเคราะห์ค่าดัชนีไกลซีมิก และคุณลักษณะทางกายภาพ รวมทั้งประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส พิจาณาคัดเลือกพันธุ์ข้าวที่ทำให้ได้ข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่มีคะแนนการยอมรับโดยรวมมากกว่า 6 (ชอบเล็กน้อย) และมีค่าดัชนีไกลซีมิกต่ำที่สุด

2) เตรียมข้าวกึ่งสำเร็จรูปจากข้าวพันธุ์ที่ได้รับการคัดเลือกจากข้อ 1 โดยใช้น้ำมันมะพร้าว น้ำมันรำข้าว และน้ำมันมะกอก ในการเตรียมข้าวกึ่งสำเร็จรูปตามวิธีเดียวกับข้อ 1 แล้วนำข้าวกึ่งสำเร็จรูปมาคืนรูป แล้วนำไปวิเคราะห์ค่าดัชนีไกลซีมิก และคุณลักษณะทางกายภาพ รวมทั้งประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส พิจาณาคัดเลือกชนิดของน้ำมันพืชที่ทำให้ได้ข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่มีคะแนนการยอมรับโดยรวมมากกว่า 6 (ชอบเล็กน้อย) และมีค่าดัชนีไกลซีมิกต่ำที่สุด

3) นำข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตได้มาผ่านการคืนรูปแล้วมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี และค่าดัชนีไกลซีมิก เปรียบเทียบกับข้าวสุกที่เตรียมด้วยวิธีการหุงแบบปกติ

1.4 สรุปทฤษฎีและแนวทางความคิดที่นำมาใช้ในการวิจัย

1) ข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสแตกต่างกัน มีผลต่อค่าดัชนีไกลซีมิก คุณลักษณะทางกายภาพ คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของข้าวกึ่งสำเร็จรูป

2) ชนิดของน้ำมันมีผลต่อค่าดัชนีไกลซีมิก คุณลักษณะทางกายภาพ และ คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของข้าวกึ่งสำเร็จรูป

3) ข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตได้ มีองค์ประกอบทางเคมี และค่าดัชนีไกลซีมิก ที่แตกต่างจากข้าวสุกที่เตรียมด้วยวิธีการหุงแบบปกติ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) สร้างองค์ความรู้และนวัตกรรมใหม่ในการผลิตข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่มีดัชนีไกลซีมิกที่ลดลง เป็นประโยชน์กับบุคคลทั่วไป โดยเฉพาะผู้ที่ดูแลสุขภาพ และผู้สูงอายุที่ต้องระวังเรื่องการบริโภคอาหาร สามารถนำไปทำเองได้ เนื่องจากเป็นกระบวนการที่ไม่ซับซ้อน รวมทั้งผู้ประกอบการที่จำเทคโนโลยีไปต่อยอดในเชิงธุรกิจ นอกจากนั้นยังนำองค์ความรู้และเทคโนโลยีที่ได้ไปเผยแพร่

2) ประโยชน์ด้านการพัฒนาการเรียนการสอนด้านวิทยาศาสตร์การอาหาร ผ่านการบูรณาการร่วมกับการทำงานวิจัย

3) ประโยชน์ในการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับข้าวเจ้าซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจของไทย

1.6 การตรวจเอกสาร

1) ข้าวกึ่งสำเร็จรูป (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547)

ข้าวกึ่งสำเร็จรูป อาจเรียกว่าข้าวหุงสุก หรือข้าวหุงสุกไว (instant rice หรือ quick-cooking rice) เป็นข้าวที่ผ่านกรรมวิธีการทำให้ข้าวสุกก่อนในระดับหนึ่งก่อนการนำมาทำแห้ง ซึ่งสามารถเก็บรักษาได้นานที่อุณหภูมิห้องและใช้เวลาในการคืนตัวสั้นกว่าการหุงสุกธรรมดา อย่างไรก็ตามรูปแบบของการคืนตัว เวลาที่ใช้ในการคืนตัว ตลอดจนคุณภาพเมล็ดข้าวที่ได้จะขึ้นกับวัตถุดิบและวิธีการในการแปรรูป ปัจจุบันได้มีบริษัทผู้ผลิตมากมายที่ผลิตข้าวหุงสุกเร็ว (ตารางที่1-1) กรรมวิธีการแปรรูปข้าวหุงสุกเร็วมีหลายวิธีนับตั้งแต่ปี 1948 เป็นต้นมา ปัจจุบันก็ยังมีกลุ่มนักวิจัยที่พยายามพัฒนาและปรับปรุงกรรมวิธีการแปรรูป เพื่อให้ปริมาณผลผลิตที่สูงขึ้น ลดค่าใช้จ่ายในเรื่องเครื่องมือ อุปกรณ์และพลังงาน ได้ผลิตภัณฑ์ข้าวหุงสุกเร็วที่คืนรูปด้วยเวลาที่สั้นขึ้น เพื่อความสะดวกรวดเร็วตามที่ผู้บริโภคต้องการต่อไป

ตารางที่ 1-1 รูปแบบผลิตภัณฑ์ของข้าวหุงสุกเร็ว

รูปแบบ	วิธีการเตรียมก่อนบริโภค	บริษัทผู้ผลิต
ถ้วย	เติมน้ำร้อนหรือน้ำเดือดลงในถ้วยบรรจุข้าวหุงสุกเร็ว ทิ้งให้คืนรูป 1-5 นาที	Nissin' Cup Rice
ทิ้งให้คืนรูป	ต้มน้ำเดือด ใส่ข้าวหุงสุกเร็วคนให้เข้ากัน ปิดฝาหม้อยกออกจากเตา ทิ้งให้คืนรูป 5-7 นาที	Kraft-General Foods' Minute Rice
อุ่นให้คืนรูป	ต้มข้าวหุงสุกเร็วกับน้ำเดือด ลดความร้อนของเตาอุ่นโดยปิดหรือเปิดฝาหม้อข้าว 5-10 นาที	Lipton's Rice & Sauce and Uncle Ben's Products
ตุ๋นและอุ่นให้คืนรูป	ต้มข้าวหุงสุกเร็วด้วยไฟอ่อน โดยใส่เนยสด มาร์การีน หรือน้ำมันจนเคลือบข้าวหมด แล้วเติมน้ำ ต้มให้เดือด ปิดฝาและอุ่นอีก 10 นาที	Uncle Ben's Suzi Wan Products
ต้มใส่ถุง	ต้มข้าวหุงสุกเร็ว (ที่บรรจุในถุงที่มีรูพรุน) ในน้ำเป็นเวลา 10 นาที	Riviana's Success Products
คืนรูปด้วยไมโครเวฟ	ใส่ข้าวหุงสุกเร็วลงในถ้วยที่มีน้ำในปริมาณเหมาะสม ให้ความร้อนในเตาไมโครเวฟเป็นเวลา 5-10 นาที	MJB's Kraft-General Foods' microwave products

ที่มา: Luh et al. (1991) อ้างโดย อรอนงค์ นัยวิกุล (2547)

จากการคิดค้นและพัฒนาวิธีการแปรรูปข้าวสารเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวหุงสุกเร็ว พบว่าในปัจจุบันได้มีการจดสิทธิบัตรไว้มากมาย ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนและกรรมวิธีต่างๆ ตลอดจนการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ออกแบบและดัดแปลงให้เหมาะสมต่อกรรมวิธีการแปรรูป อย่างไรก็ตามวิธีการที่นำไปประยุกต์ใช้ในทางการค้ามีอยู่หลายวิธี ดังนี้

(1) การแช่น้ำ-ต้มไอน้ำ-ทำแห้ง (Soak-boil-steam-dry method)

Ozai-Durrani (1948) ได้คิดค้นกรรมวิธีนี้และประยุกต์ใช้ในการผลิตของบริษัท General Food ซึ่งมีขั้นตอนคือ นำข้าวสารมาแช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง จนข้าวสารมีความชื้นเพิ่มขึ้นเป็น 30% จากนั้นนำมาต้มในน้ำเดือดนาน 8-10 นาที ซึ่งจะทำให้ข้าวมีความชื้นเพิ่มขึ้นเป็น 65-70 เปอร์เซ็นต์ หลังจากเทน้ำทิ้ง ทำให้เย็น และล้างด้วยน้ำเย็น 1-2 นาทีแล้ว ให้เกลี่ยข้าวหุงสุกบนตะแกรง และผึ่งให้แห้งในตู้ที่มีลมร้อนอุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป่าผ่านข้าวหุงสุกด้วยความเร็ว 200 ฟุต/นาที เพื่อให้ข้าวหุงสุกแห้งและมีความชื้นลดลงเป็น 8-14 เปอร์เซ็นต์ สภาวะในการทำแห้งนั้นมีจุดวิกฤตอยู่ที่อุณหภูมิลมร้อนที่ต้องสูงเพียงพอที่จะทำให้ความชื้นระเหยจากผิวเมล็ดข้าวหุงสุกในอัตราที่เร็วกว่าการที่ความชื้นจะเคลื่อนจากภายในเมล็ดข้าวหุงสุกออกสู่บรรยากาศภายนอก เพื่อให้เนื้อเมล็ดข้าวหุงสุกมีโครงสร้างเป็นรูพรุนจะได้คืนรูปได้เร็ว หรืออาจจะให้ความร้อนเป็นระยะ 2 ครั้ง หรือมากกว่า โดยค่อยๆเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นเป็นระยะ จะทำให้เมล็ดข้าวหุงสุกขยายปริมาตรเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า และคืนรูปเป็นข้าวหุงสุกปกติภายใน 10-13 นาที

(2) การทำให้เมล็ดข้าวพองตัวและเกิดเจลาทิไนซ์ (Gelatinize-dry-puff method)

ในสิทธิบัตรที่ทำการจดโดย Robert (1955) เป็นการนำข้าวสารมาแช่น้ำให้ข้าวมีความชื่นเป็น 30 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นนำข้าวไปนึ่งด้วยไอน้ำภายใต้ความดันประมาณ 10-15 psi เป็นเวลา 5-20 นาที แล้วทำให้แห้งที่อุณหภูมิต่ำจนมีความชื้นประมาณ 8-14 เปอร์เซ็นต์ เมล็ดข้าวจะหดตัวและมีลักษณะใส หรือใช้วิธีทำแห้งเมล็ดข้าวด้วยความร้อนสูงก็จะทำให้เมล็ดข้าวหุงสุกมีรูพรุน ต่อมาจึงนำข้าวหุงสุกที่ทำแห้งไปทำให้พองตัวด้วยไอน้ำและลมร้อนที่ 200-260 องศาเซลเซียส ทั้งนี้อัตราความเร็วลมจากไอน้ำจะต้องเหมาะสมที่จะทำให้เมล็ดข้าวหุงสุกพองขึ้น ซึ่งในการคืนรูปข้าวหุงสุกที่ผ่านกรรมวิธีนี้จะใช้เวลาเพียง 2-3 นาที

(3) การกดหรือบดข้าวหุงสุก (Rolling or Bumping method)

Ozai-Durrani (1948) ได้จดสิทธิบัตรการผลิตข้าวหุงสุกเร็วอีกวิธีหนึ่ง นอกจากวิธีการแช่น้ำ-ต้ม-ไอน้ำ-ทำแห้ง ในสิทธิบัตรฉบับนี้จะใช้ข้าวนึ่งหรือข้าวที่สุกแล้วระดับหนึ่งมาแช่น้ำ ผ่านการนึ่งด้วยไอน้ำ หรือทั้งแช่น้ำและนึ่งด้วยไอน้ำพร้อมกัน เพื่อให้ข้าวมีความชื้น 40 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นนำมากดหรือบดให้แบนลงประมาณ 30-80 เปอร์เซ็นต์ ของความหนาเดิม และทำแห้งให้เหลือความชื้น 10-14 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิสูงเพื่อให้ข้าวมีรูพรุนมาก

(4) การใช้ความร้อนแห้ง (Dry-heat method)

Alexander (1954) ใช้ความร้อนแห้งในการลดความชื้นข้าวสารและข้าวกล้องด้วยลมร้อน 57 – 82 องศาเซลเซียส ความเร็ว 30-60 ลบ.ฟุต/นาทีเป็นเวลา 10 – 30 นาที ซึ่งจะทำให้ข้าวหุงสุกได้ภายใน 10 นาที เนื่องจากความร้อนทำให้ผิวข้าวเป็นรอยร้าวจึงสามารถดูดซึมน้ำขณะหุงต้มได้เร็วขึ้นส่วน Bardet และ Giesse (1961) ใช้ความร้อนแห้งกับข้าวกล้องด้วยลมร้อน 272 องศา

เซลเซียส เป็นเวลา 17.5 วินาทีเพื่อให้ผิวเปลือกข้าวกล้องร้าวแล้วทำให้เย็นลงทันทีด้วยลมเย็นทำให้เมล็ดข้าวขุ่นผิวเมล็ดร้าวและมีการพองตัวเล็กน้อย

(5) การใช้การระเหิดจากจุดเยือกแข็ง

จากการศึกษาของ Keneaster และ Newtin (1957) พบว่าการนำข้าวนึ่งมาแช่น้ำเย็นที่ 27 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง แล้วทำให้สุกด้วยการต้มหรือนึ่งด้วยไอน้ำ จากนั้นทำให้เย็นในน้ำ และเทน้ำทิ้ง นำข้าวที่ได้ไปแช่เยือกแข็งที่ 0 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-3 ชั่วโมง เพื่อให้น้ำกลายเป็นผลึกน้ำแข็ง และทำลายโครงสร้างของสตาร์ช ซึ่งจะส่งผลให้เมล็ดข้าวที่ได้มีลักษณะเป็นรูพรุนและสามารถดูดซับน้ำได้ดีขึ้นเมื่อนำมาคืนรูป จากนั้นลดอุณหภูมิให้ต่ำลงเป็นลำดับจนถึงขั้นแช่เยือกแข็งสมบูรณ์ และนำมาคืนรูปที่อุณหภูมิห้องหรือใช้ลมอุ่นเป่าเป็นเวลาอย่างน้อย 5 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำข้าวหุงสุกคืนรูปมาทำแห้งที่อุณหภูมิ 43 องศาเซลเซียส ไม่น้อยกว่า 3 ชั่วโมงครึ่ง ซึ่งวิธีดังกล่าวนี้ได้ถูกพัฒนาต่อจนสามารถคืนรูปข้าวหุงสุกเร็วได้ภายใน 5 นาที และเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวที่ผู้ผลิต คือ Uncle Ben’s quick rice ประสบความสำเร็จในการขยายตลาดได้เป็นอย่างดี

(6) การพองตัวจากเครื่องอัดแบบปืน (Gun-puffing)

วิธีนี้เป็นการทำให้เมล็ดข้าวพองตัวโดยนำข้าวสารมาปรับความชื้นให้เป็น 18-26 เปอร์เซนต์ ที่อุณหภูมิไม่น้อยกว่า 33 องศาเซลเซียส จากนั้นใส่ข้าวในหม้อไอน้ำหรือเครื่องอัดพองแบบปืน ปิดฝาให้สนิทและลดความดันลงเป็น 1.5 นิ้วปรอท เป็นเวลา 2 นาที เพื่อดึงอากาศและก๊าซที่ไม่ควบแน่นออกจากเมล็ดข้าว ให้ไอน้ำอบจนข้าวสุกทั้งเมล็ดและไม่พองจนเสียโครงร่าง จากนั้นจึงลดความดันอย่างรวดเร็วเป็น 0.1 นิ้วปรอท ซึ่งจะทำให้ข้าวพองตัวขึ้น การบรรจุข้าวในเครื่องอัดที่คงสภาพสุญญากาศไว้ทั้งก่อนและหลังการพองตัวจะทำให้ข้าวพองตัวอย่างรวดเร็ว ต่อจากนั้นจึงนำข้าวที่พองไปทำให้แห้งจนมีความชื้น 15 วิธีนี้เป็นการทำให้เมล็ดข้าวพองตัวโดยนำข้าวสารมาปรับความชื้นให้เป็น 18-26 เปอร์เซนต์ ข้าวหุงสุกเร็วนี้จะคืนรูปได้โดยการเติมน้ำร้อนเดือดภายใน 5 นาที ซึ่งจะทำให้ข้าวพองขึ้นอย่างสม่ำเสมอ วิธีการดังกล่าวได้ถูกจดสิทธิบัตรโดย Carman และ Allson ในปีค.ศ. 1953

(7) การทำแห้งเยือกแข็ง (Freeze-drying)

วิธีการนี้จะเสียค่าใช้จ่ายแพงกว่าวิธีการทำแห้งโดยการใช้ลมร้อน และการพอง โดย Wayne (1963) ได้อธิบายหลักการโดยย่อ คือ นำข้าวมาหุงให้สุก แล้วทำให้เย็นถึงจุดเยือกแข็งด้วยเครื่องทำความเย็นแบบแผ่นสัมผัสความเย็นในสภาพสุญญากาศ หรือสัมผัสโดยตรงกับสารให้ความเย็นเยือกแข็ง เช่น ไนโตรเจนเหลว จากนั้นจึงนำข้าวสุกแช่เยือกแข็งไปใส่ในตู้ทำแห้งเยือกแข็ง ด้วยระยะเวลาและพลังงานที่ใช้จะทำให้ข้าวหุงสุกเยือกแข็งเกิดขึ้นเร็วกว่าวิธีปกติของการทำแห้งเยือกแข็งจนข้าวมีความชื้น 10- 20 วิธีนี้เป็นการทำให้เมล็ดข้าวพองตัวโดยนำข้าวสารมาปรับความชื้นให้เป็น 18-26 เปอร์เซนต์ จึงนำมาทำแห้งด้วยลมร้อนที่ 150-315 องศาเซลเซียส เพื่อทำให้ข้าวเป็นรูพรุนมากขึ้น เป็นผลให้คืนรูปได้เร็วขึ้น

(8) การใช้สารเคมี (Chemical treatment)

นอกจากการใช้ความร้อนในการทำให้ข้าวหุงสุกแล้ว ยังมีวิธีการใช้สารเคมีเพื่อช่วยให้ข้าวสุกเร็วขึ้น หรือทำให้มีเนื้อสัมผัสและรสชาติที่ดีขึ้น เช่น การใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ การใช้เอนไซม์เฮมิเซลลูโลส และการใช้สารประเภทเอสเทอร์ของกรดไขมัน เป็นต้น Tanaka และYukami

(1969) ได้จดลิขสิทธิ์กรรมวิธีการแปรรูปข้าวหุงสุกเร็วโดยใช้สารเคมี ดังนี้ นำข้าวมาแช่สารละลายฟอสเฟตหรือพอลิฟอตเฟสที่ pH 7.6-8.2 อุณหภูมิ 20-30 องศาเซลเซียส จากนั้นนำขึ้นจากสารละลายมาต้มกับสารละลายฟอตเฟส (0.05-0.5 เปอร์เซนต์) แซ็กคาไรด์ (0.3-10 เปอร์เซนต์) และสารช่วยลดแรงตึงผิว (0.1-0.5 เปอร์เซนต์) จนข้าวสุกประมาณ 70 เปอร์เซนต์ มีความชื้น 50-70 เปอร์เซนต์ นำข้าวที่ได้มาผ่านการให้ความร้อนด้วยไอน้ำจนข้าวสุก 100 เปอร์เซนต์ และทำให้แห้งอย่างรวดเร็ว ตัวอย่างกรรมวิธีที่ใช้ในการแปรรูป คือ นำข้าวสารมาแช่ในสารละลายไดโซเดียมฟอสเฟต (DSP) ที่ pH 7.6 และเทสารละลายออก นำข้าวมาต้มในสารละลาย DSP 0.3 เปอร์เซนต์ น้ำตาลแล็กโทส 0.5 เปอร์เซนต์ และกลีเซอริลมอโนสเทียเรด 0.25 เปอร์เซนต์ เป็นเวลา 15 นาที ตามด้วยการนึ่งด้วยไอน้ำที่ 100-120 องศาเซลเซียส และทำให้แห้ง จะได้ข้าวหุงสุกเร็วที่คืนรูปภายใน 5 นาที

(9) การใช้พลังงานไมโครเวฟ

Huxsoll และ Morgan (1968) เสนอวิธีการให้ความร้อนโดยใช้พลังงานไมโครเวฟทดแทนการใช้ความร้อนปกติในกรรมวิธีการแปรรูปข้าวหุงสุกเร็ว โดยการแช่ข้าวสารในน้ำจนมีความชื้น 25-30 เปอร์เซนต์ ให้ความร้อนด้วยพลังงานไมโครเวฟ หรือความร้อนปกติหรือไอน้ำ แล้วทำให้ข้าวมีความชื้นสูงขึ้น โดยแช่ในน้ำร้อน 66 องศาเซลเซียส จากนั้นให้ความร้อนด้วยพลังงานไมโครเวฟจนข้าวมีความชื้น 50 เปอร์เซนต์ นำข้าวมาทำให้แห้งด้วยลมร้อนจนข้าวมีความชื้น 15 เปอร์เซ็นต์ หรือน้อยกว่า แล้วใช้พลังงานไมโครเวฟให้ความร้อนต่ออีกครั้ง เพื่อให้เมล็ดข้าวร้าว และพองขึ้นอีก ข้าวหุงสุกเร็วที่ได้จะสามารถคืนรูปได้ในเวลา 5 นาที

(10) การใช้เครื่องทำแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบดและหมุนเหวี่ยง

Roberts et al. (1979) ใช้ระบบการทำแห้งด้วยเครื่องแบบฟลูอิไดซ์เบดและหมุนเหวี่ยงอย่างต่อเนื่อง (centrifugal fluidize bed dryer) ในกรรมวิธีการแปรรูปข้าวหุงสุกเร็วโดยนำข้าวสารแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมงหรือนานกว่าจนข้าวมีความชื้น 30 – 33 เปอร์เซนต์ แล้วนำไปต้มให้เดือดนาน 4 – 8 นาทีขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว (ข้าวเมล็ดสั้น 4 นาทีข้าวเมล็ดปานกลาง 5 นาทีข้าวเมล็ดยาว 7.5 นาที) ทำให้เย็นในน้ำเย็นทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบดและหมุนเหวี่ยงด้วยแรง 10 กรัม ที่อุณหภูมิ 132 องศาเซลเซียส จนข้าวมีความชื้น 6 – 10 เปอร์เซนต์ ข้าวหุงสุกเร็วที่ได้มีเนื้อสัมผัสดีและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

จากการพัฒนากรรมวิธีการทำข้าวหุงสุกเร็วของ Smith et al. (1985) จะประกอบ 5 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ การทำให้ข้าวชุ่มน้ำหรือการแช่น้ำ (soaking) การให้ความร้อน (cooking) การทำแห้ง (drying) การคืนรูปหรือการคืนตัวของข้าวในน้ำ (rehydration) และการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส (sensory evaluation) ทั้งนี้ขั้นตอนการแช่น้ำ การให้ความร้อนและการทำแห้งนั้นจะมีผลกระทบต่อลักษณะการคืนตัวและการทดสอบทางประสาทสัมผัสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Cox and Cox, 1975 in Smith et al., 1985) อย่างไรก็ตามการแช่ข้าวในสารละลายของโซเดียมซิเตรท (sodium citrate) และแคลเซียมคลอไรด์ (calcium chloride) ในอัตราส่วน 1:1 ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ประกอบกับการทำแห้งโดยการระเหิด (freeze drying) และการทำแห้งในตู้อบลมร้อน (convective air drying) สามารถช่วยพัฒนากรรมวิธีการทำข้าวหุงสุกเร็วของ Smith et al. (1985) ได้

ศิวาพร ศิวเวช และอุดม กาญจนปกหรณ์ชัย (2546) ได้ศึกษาการใช้สารเคมีช่วยในการปรับปรุงคุณภาพของข้าวกึ่งสำเร็จกึ่งสำเร็จรูป ทั้งนี้พบว่าการแช่ข้าวพันธุ์ขาวตาแห้ง 17 ในสารละลายผสมของ sodium hexametaphosphate ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซนต์ กับกลีเซอรอล และ Tween 60 (อัตราส่วน 1:2) ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซนต์ สามารถช่วยปรับปรุงการคืนรูปของข้าวกึ่งสำเร็จรูปได้ดีที่สุด

สุธยา พิมพ์พิไล (2549) ได้ศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีอิทธิพลต่อข้าวหอมมะลิแดงกล้องแบบสุกเร็วได้แก่ชนิดและความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ในการแช่ข้าวอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการแช่ข้าวลักษณะการให้ความร้อนและการทำแห้งพบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตข้าวหอมมะลิแดงกล้องแบบสุกเร็วคือการแช่ข้าวหอมมะลิแดงกล้องในน้ำที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาทีแล้วทิ้งให้สะเด็ดน้ำประมาณ 15 นาทีจากนั้นจึงนำไปให้ความร้อนในหม้อนึ่งความดันที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส 15 psi นาน 2 นาทีแล้วทำให้แห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที

รัตนาวดี ปัตถะเมฆ และคณะ (2549) ศึกษาการผลิตข้าวหุงสุกเร็วขึ้นรูปจากปลายข้าวเจ้าหอมมะลิ 105 ด้วยเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยวโดยศึกษาปัจจัยทางด้านวัตถุดิบพบว่าปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำมันในปลายข้าวที่เหมาะสมคือ 35 เปอร์เซนต์ และ 3 เปอร์เซนต์ ตามลำดับในด้านปัจจัยเกี่ยวกับสภาวะที่เหมาะสมในการแปรรูปของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ คือความเร็วรอบของสกรูที่ 32 รอบต่อนาทีและอุณหภูมิบาเรลโซนที่ 3 เท่ากับ 156 องศาเซลเซียส และจากงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าสามารถที่จะพัฒนาข้าวหุงสุกเร็วขึ้นรูปได้โดยใช้กระบวนการเอกซ์ทรูชันหากมีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการแปรรูปที่ชัดเจนมากขึ้นและมีความเฉพาะเจาะจงกับข้าวสายพันธุ์ต่างๆจะทำให้สามารถพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ได้อย่างต่อเนื่องนอกจากนี้อาจมีการพัฒนาข้าวหุงสุกเร็วขึ้นรูปที่มีความหลากหลายหรือเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ให้มากขึ้นโดยใช้กระบวนการเอกซ์ทรูชันเช่นผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องขึ้นรูปหุงสุกเร็วผลิตภัณฑ์ข้าวหุงสุกเร็วขึ้นรูปที่มีการเติมวิตามินหรือสมุนไพรเพื่อพัฒนาเป็นอาหารสุขภาพต่อไป

ประสิทธิ์ วังภคพัฒนวงศ์ (2556) ได้ทำการทำการศึกษาผลิตภัณฑ์ข้าวกึ่งสำเร็จรูปทางการค้าที่ทำจากข้าวหอมมะลิ โดยรายงานว่าข้าวกึ่งสำเร็จรูปทางการค้า มีปริมาณโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต เส้นใยหยาบ เท่ากับ 6.80 0.91 88.64 และ 0.74 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

แสงนวล ทองเพียร (2527) ได้รายงานว่าข้าวกึ่งสำเร็จรูปทางการค้าที่ทำจากข้าวหอมมะลิ มีปริมาณเถ้า 1.10 เปอร์เซ็นต์ และมีปริมาณความชื้นเท่ากับ 3.56 เปอร์เซ็นต์ จึงส่งผลให้ข้าวกึ่งสำเร็จรูปสามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน

2) ข้าว

ข้าว (Rice) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Oryza sativa L.* จัดเป็นอาหารที่เป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรต เนื่องจากข้าวมีแป้งองค์ประกอบถึง 80 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังประกอบไปด้วยสารอาหารชนิดอื่น ๆ อีก เช่น โปรตีน วิตามิน แร่ธาตุ และใยอาหาร ส่วนข้าวกล้อง คือ ข้าวที่ผ่านการกะเทาะเปลือกออกโดยการตำ หรือสีเพียงครั้งเดียว เพื่อเอาแกลบออก ดังนั้น เมล็ดข้าวกล้องจึงยังมีส่วนของเยื่อหุ้มเมล็ด และจมูกข้าวเหลืออยู่ ซึ่งทั้ง 2 ส่วนนี้ เป็นส่วนที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง

มาก เนื่องจากบริเวณเยื่อหุ้มเมล็ดจะอุดมไปด้วยสารอาหารที่สำคัญ เช่น ใยอาหาร และกรดไขมันจำเป็น รวมทั้งแร่ธาตุหลายชนิด เช่น ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียม แคลเซียม และเหล็ก เป็นต้น ในขณะที่วิตามิน เช่น วิตามินบี1 บี 2 บี 6 วิตามินอี และไนอาซิน จะพบทั้งในส่วนของเยื่อหุ้มเมล็ดและจมูกข้าว (กองโภชนาการกรมอนามัย, 2542)

องค์ประกอบทางเคมีของข้าว (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2550)

องค์ประกอบทางเคมีของข้าวมีผลมาจากพันธุ์ สภาวะการปลูก การเก็บเกี่ยว และกระบวนการแปรรูปจากข้าวเปลือกเป็นข้าวกล้อง และข้าวสาร การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยทั่วไปใช้วิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ (proximate analysis) เพื่อให้ทราบองค์ประกอบทางเคมี หรือสารอาหารหลักที่มีในข้าว คือ โปรตีน ไขมัน เส้นใยหยาบ เถ้า และคาร์โบไฮเดรตเป็นหลัก นอกจากนี้เป็นวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีที่ให้คุณค่าทางอาหารและโภชนาการ ได้แก่ วิตามิน แร่ธาตุ และปริมาณกรดอะมิโนที่มีในโปรตีนของข้าว เมล็ดข้าวเมื่อนำไปหุงต้มข้าวแต่ละพันธุ์จะมีคุณสมบัติแตกต่างกัน ได้แก่

1. ปริมาณอะไมโลส (Apparent amylose - content) แป้งข้าวจะมีอะไมโลสเปคตินเป็นองค์ประกอบหลักและอะไมโลสเป็น องค์ประกอบรอง แต่โดยทั่วไปมักนิยมแบ่งประเภทข้าวโดยกล่าวถึงอะไมโลสเป็นหลักสำคัญอัตราส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเปคติน เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ข้าวสุกมีคุณสมบัติแตกต่างกัน ข้าวที่มีอะไมโลสสูง ในระหว่างการหุงต้ม จะดูดน้ำได้มากกว่าข้าวที่มีอะไมโลสต่ำ ปริมาณอะไมโลสทำให้ข้าวสุกมีความเหนียวลดลง หรือร่วนมากขึ้น ข้าวที่มีอะไมโลสสูงเมื่อหุงต้มสุก จึงร่วนกว่าและแข็งกว่าข้าวที่มีอะไมโลสต่ำ ข้าวเหนียวเป็นข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ (0-2 เปอร์เซ็นต์) เมื่อหุงต้มลักษณะข้าวสุก จะเหนียวมาก ได้แก่ ข้าวเหนียวสันป่าตอง กข6 และ กข10 ส่วนข้าวเจ้าเนื่องจากมีจำนวนหลายพันธุ์ เมื่อหุงต้มลักษณะข้าวสุกจะแตกต่างกัน ซึ่งแบ่งได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

1.1 ข้าวอะไมโลสต่ำ เป็นข้าวที่มีปริมาณอะไมโลส 10 – 19 เปอร์เซ็นต์ เมื่อหุงต้มลักษณะข้าวสุกจะนุ่มเหนียว ได้แก่ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 กข15 กข21 ปทุมธานี 1 ข้าวเจ้าหอมคลองหลวง 1 ข้าวเจ้าหอมสุพรรณบุรี และข้าวสังข์หยดพัทลุง ฯลฯ

1.2 ข้าวอะไมโลสปานกลาง เป็นข้าวที่มีอะไมโลส 20 – 25 เปอร์เซ็นต์ เมื่อหุงต้มลักษณะข้าวสุกค่อนข้างนุ่มเหนียวเล็กน้อย ได้แก่ ข้าวพันธุ์ กข7 กข23 สุพรรณบุรี 60 ขาวปากหม้อ ขาวตาแห้ง 17 สุพรรณบุรี 2 เข็มทอง เล็บนกปัตตานี ไข่มดริ้น ดอกพยอม และหอมจันทร์ ฯลฯ

1.3 ข้าวอะไมโลสสูง เป็นข้าวที่มีปริมาณอะไมโลส มากกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ เมื่อหุงต้มลักษณะข้าวสุกจะร่วนค่อนข้างแข็ง ได้แก่ ข้าวพันธุ์ นางพญา 132 กู้เมืองหลวง แก่นจันทร์ กันตัง เฉี้ยงพัทลุง ชัยนาท 1 กข25 กข1 กข13 ลูกแดงปัตตานี ปทุมธานี 60 สุพรรณบุรี 1 สุพรรณบุรี 90 เหลืองประทิว 123 และปราจีนบุรี 1 ฯลฯ

2. ความคงตัวของแป้งสุก (Gel consistency) ข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสเท่ากันเมื่อหุงต้มอาจจะมีความแข็งของข้าวสุกแตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากคุณสมบัติของแป้งสุกมีอัตราการคืนตัวไม่เท่ากัน ทำให้แป้งสุกมีความแข็งและอ่อนแตกต่างกันดังนั้น ข้าวที่มีความคงตัวของแป้งสุกอ่อน เมื่อ

หุงต้มข้าวสุกที่ได้จะมีความนุ่มกว่าข้าวที่มีความคงตัวของแป้งสุกแข็ง ถ้าข้าวทั้ง 2 พันธุ์ มีปริมาณอะไมโลสใกล้เคียงกัน

3. อุณหภูมิแป้งสุก (Gelatinization temperature) เป็นอุณหภูมิที่ทำให้แป้งกลายเป็นเจล อุณหภูมิแป้งสุกมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาการหุงต้ม โดยทั่วไป การหุงต้มข้าวจะใช้เวลา 13-24 นาที ข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกสูงจะใช้เวลาในการหุงต้มนานกว่าข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ

4. อัตราการยืดตัวของข้าวสุกต่อข้าวดิบ (Elongation ratio) ในระหว่างการหุงต้มเมล็ดข้าวจะขยายตัวโดยรอบโดยเฉพาะด้านยาว ข้าวบางพันธุ์สามารถยืดตัวได้มาก การที่เมล็ดข้าวขยายตัวได้มากทำให้เนื้อภายในโปร่งขึ้น ไม่อัดแน่นและช่วยให้ข้าวนุ่มมากขึ้น

5. กลิ่นหอม (Aroma) เป็นลักษณะประจำพันธุ์ ข้าวที่มีกลิ่นหอมเนื่องจากภายในเมล็ดมีสาร 2-acetyl-1-pyrroline ในข้าวหอมพันธุ์ต่าง ๆ จะมีสารนี้ประมาณ 0.04-0.09 ไมโครกรัม/กรัม

6. ปริมาณโปรตีน (Protein content) โปรตีนจะเป็นตัวขัดขวางการซึมของน้ำเข้าไปภายในเมล็ดข้าว และมีส่วนทำให้ระยะเวลาการหุงต้มข้าวให้สุกนานขึ้น นอกจากนี้ยังทำให้เมล็ดแกร่งขึ้น ขัดสีออกได้ยาก ข้าวที่มีโปรตีนสูงอาจจะมีสีคล้ำกว่าข้าวที่มีโปรตีนต่ำ ข้าวที่มีโปรตีนสูงจะทำให้ความเหนียวของข้าวลดลงด้วย

เมื่อทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของข้าวเปลือก และส่วนที่ได้จากการกะเทาะเปลือก ขัดขาว และขัดมัน พบว่าแต่ละส่วนมีองค์ประกอบทางเคมี คือ โปรตีน ไขมัน เส้นใยหยาบ เถ้า คาร์โบไฮเดรต ที่ร่างกายย่อยได้ เส้นใยอาหาร (ด้วยวิธีใช้สารซักฟอกที่เป็นกลาง) และพลังงาน (ทั้งหน่วยกิโลจูล และหน่วยกิโลแคลอรี) แตกต่างกัน ดังตารางที่ 2-2

ตารางที่ 1-2 ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของข้าวเปลือกและส่วนที่ได้จากการขัดสีที่ความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์

ส่วนของข้าว	โปรตีน (ก.)	ไขมัน(ก.)	เส้นใย (ก.)	เถ้า (ก.)	คาร์โบไฮเดรต (ก.)	เส้นใยอาหาร (ก.)	พลังงาน (กิโลจูล)	(กิโลแคลอรี)
ข้าวเปลือก	5.8-7.7	1.5-2.3	7.2-10.4	2.9-5.2	64-73	16.4-19.2	1,580	378
ข้าวกล้อง	7.1-8.3	1.6-2.8	0.6-1.0	1.0-1.5	73-87	2.9-3.9	1,520-1,610	363-385
ข้าวสาร	6.3-7.1	0.3-0.5	0.2-0.5	0.3-0.8	77-89	0.7-2.3	1,460-1,560	349-373
รำข้าว	11.3-14.9	15.0-19.7	7.0-11.4	6.6-9.9	34-62	24-29	670-1,990	399-476
แกลบ	2.0-2.8	0.3-0.8	34.5-45.9	13.2-21.0	22-34	66-74	1,110-1,390	265-332

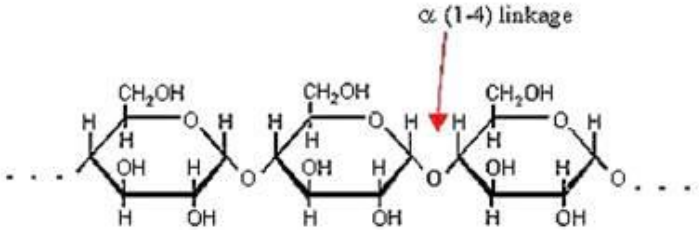
ที่มา : อรอนงค์ นัยวิกุล (2550)

3) สตาร์ช (starch) (รสิตา โอสถานนท์, 2558)

เมล็ดธัญชาติสะสมพลังงานอยู่ในรูปของเม็ดสตาร์ช โดยมีปริมาณสตาร์ช 60 – 75 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก อาหารหลักของมนุษย์จึงอยู่ในรูปของสตาร์ช ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญที่สุด สตาร์ชประกอบด้วยหน่วยเล็ก ๆ ของกลูโคส และมีองค์ประกอบอื่นเพียงเล็กน้อยปะปนอยู่ เนื่องจากไม่สามารถกำจัดออกได้หมดในขั้นตอนการแยกสตาร์ช สตาร์ชของธัญชาติมีไขมันเกาะเกี่ยว

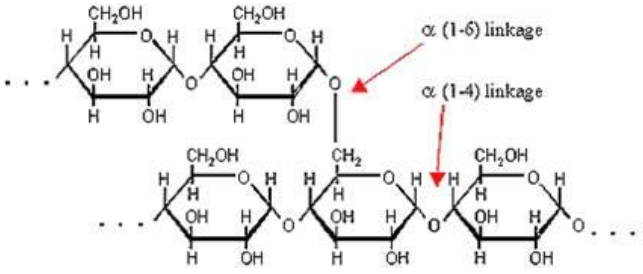
อยู่ประมาณ 0.5 – 1 เปอร์เซ็นต์ ส่วนสตาร์ชจากพืชอื่น ๆ พบว่าไม่มีไขมันปะปนอยู่ สตาร์ชประกอบด้วย อะไมโลส (amylose) และ อะมิโลเพกทิน (amylopectin)

อะไมโลส (amylose) เป็นพอลิเมอร์สายตรงของน้ำตาลกลูโคส เชื่อมต่อด้วยพันธะแอลฟา 1,4 กลูโคซิดิก (ภาพที่ 1-1) โดยมีจำนวนของกลูโคสประมาณ 1500 หน่วย มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 250000 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและอายุของธัญชาติด้วย โมเลกุลของอะไมโลส มีรูปแบบเกลียว (helical form) สามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับกรดอินทรีย์ แอลกอฮอล์และไขมันได้หรือถ้าจับกับไอโอดีน ก็จะให้สีน้ำเงิน ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะตัว สามารถนำมาใช้ในการทดสอบคุณสมบัติของแป้งได้



ภาพที่ 1-1 โครงสร้างของอะไมโลส
ที่มา : ดุษฎี อุตภาพ (ม.ป.ป.)

อะมิโลเพกทิน (amylopectin) เป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคส เช่นเดียวกับอะไมโลสแต่มีการเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ 2 แบบ คือ แอลฟา 1,4 กลูโคซิดิก และเป็นกิ่งก้านด้วยพันธะแอลฟา 1,6 กลูโคซิดิก (ภาพที่ 1-2) โดยมีปริมาณพันธะเป็นกิ่งก้านอยู่ในปริมาณ 4 – 5 เปอร์เซ็นต์ของพันธะทั้งหมด จำนวนหน่วยของกลูโคสในช่วงกิ่งก้านประมาณ 22 – 281 หน่วย จำนวนกลูโคสทั้งหมดในโมเลกุลประมาณ 1 ล้านหน่วย และมีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า 10^8 (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546)



ภาพที่ 1-2 โครงสร้างของอะมิโลเพกทิน
ที่มา : ดุษฎี อุตภาพ (ม.ป.ป.)

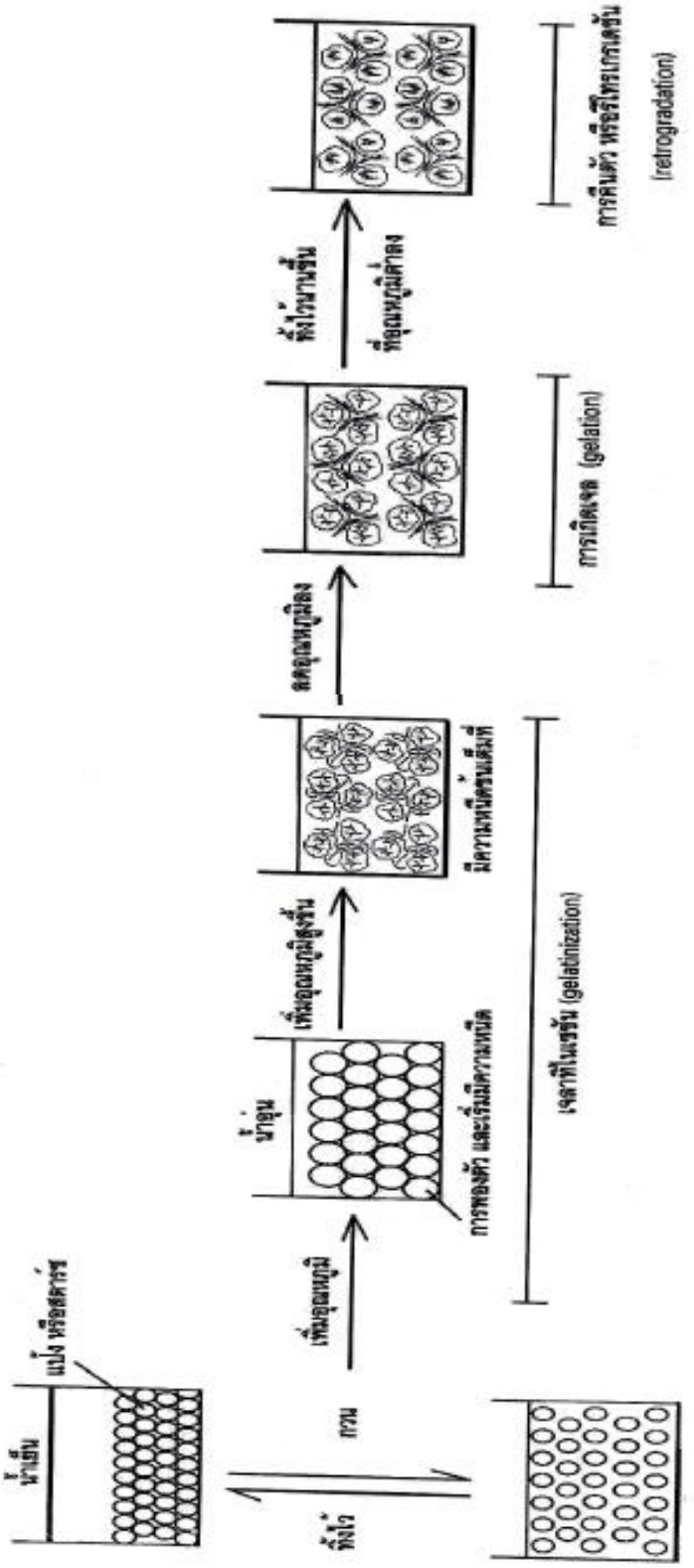
การเกิดเจลาทิไนเซชันและการเกิดรีโทรเกรเดชัน (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2550)

เมื่อนำเมล็ดข้าวหรือแป้งข้าวมาผ่านกระบวนการแปรรูป ซึ่งโดยทั่วไปต้องมีน้ำ และความร้อนมาเกี่ยวข้องเสมอ และจากการที่องค์ประกอบหลักในเมล็ดข้าว หรือแป้งข้าวคือ สตาร์ช ดังนั้นการตรวจสอบคุณสมบัติ หรือลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสตาร์ชจึงมีผลโดยตรงต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์จากข้าว หรือแป้งข้าวนั้น ซึ่งเป็นการบ่งบอกถึงคุณภาพของข้าว หรือแป้งข้าวที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการแปรรูปว่าเหมาะสมต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์จากข้าวนั้นตามความต้องการของผู้บริโภคหรือไม่

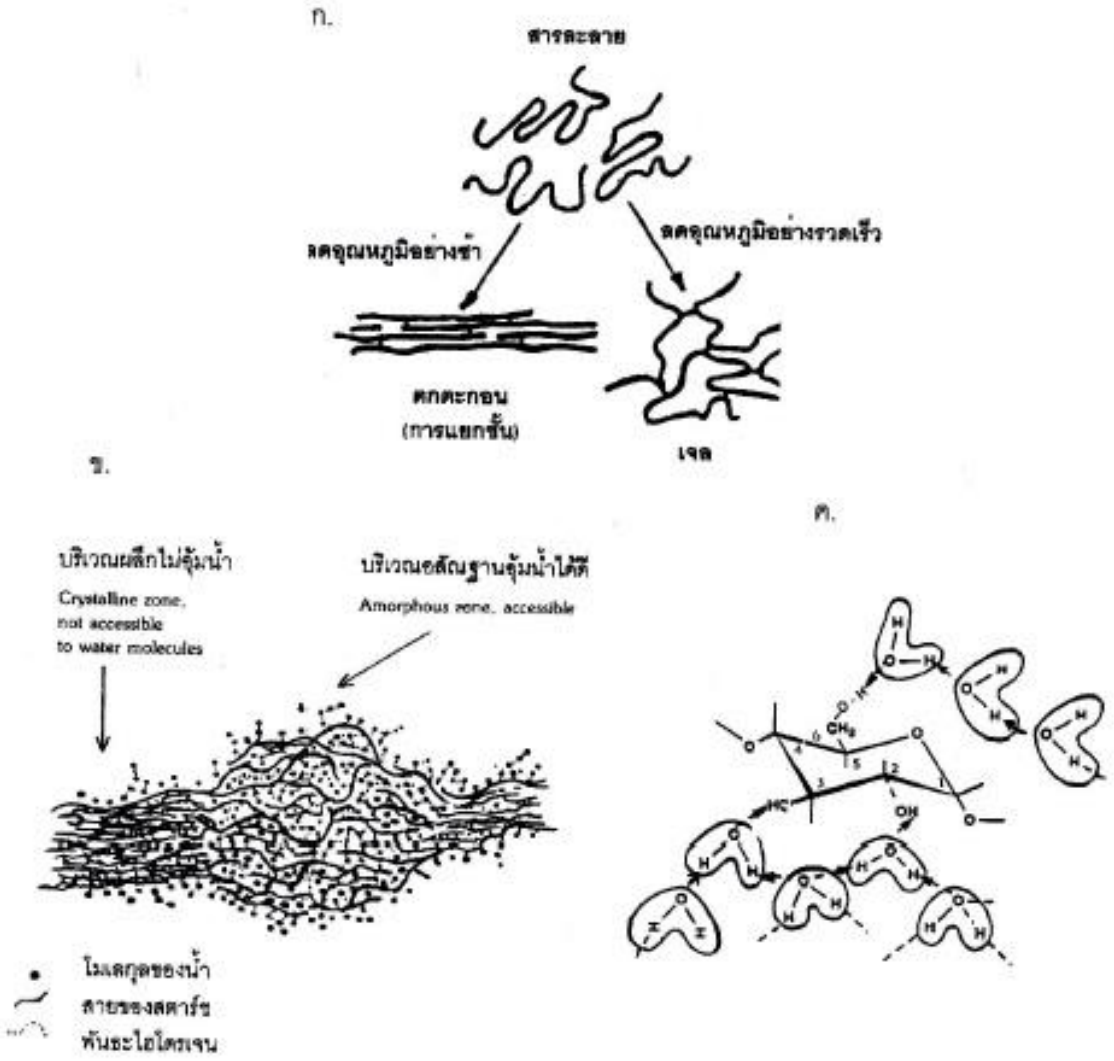
การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับสตาร์ช หรือเม็ดสตาร์ชในเมล็ดข้าว หรือในแป้งข้าวจะเกิดขึ้นเมื่อมีน้ำ และความร้อนซึ่งจำเป็นในการหุงต้ม หรือทำให้สุก เมื่อสุกแล้วผู้บริโภคจะรับประทานข้าวสุก หรือผลิตภัณฑ์อาหารที่ทำจากแป้งข้าวในขณะที่อุ่นประมาณ 50 – 60 องศาเซลเซียส มากกว่าที่อุณหภูมิสูง หรือร้อนเกินไป จากการปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นนี้สามารถตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของสตาร์ชได้เป็นลำดับด้วยการนำแป้งข้าวมาผสมน้ำ ขณะที่น้ำยังเย็นอยู่ โดยถ้ามีน้ำในปริมาณที่มากกว่าแป้งในสัดส่วนประมาณ 1 – 5 เปอร์เซ็นต์ เมื่อผสมกันในระยะแรกจะเห็นว่าส่วนผสมมีสีขาวขุ่นในลักษณะแป้งแขวนลอยในน้ำ แต่ถ้าทิ้งไว้ระยะหนึ่ง พบว่า แป้งตกตะกอนแยกจากส่วนน้ำคล้ายกับเมื่อก่อนที่จะผสม แสดงว่าเม็ดสตาร์ชในแป้งไม่ดูดซึมน้ำขณะที่เย็น หรือดูดซึมได้น้อยมาก เมื่อให้ความร้อนแก่ส่วนผสมน้ำและแป้ง หรือสตาร์ชเกิดการเปลี่ยนแปลงของเม็ดสตาร์ชโดยการพองตัวอุ้มน้ำเข้าไปเพิ่มในขณะที่อุณหภูมิสูงขึ้น เนื่องจากความร้อนไปทำให้พันธะไฮโดรเจนที่เกาะเกี่ยวกันเองในบริเวณ อสัณฐาน (amorphous zone) ของโครงสร้างโมเลกุลอะไมโลเพกทินคลายตัวลง สามารถมาจับกับโมเลกุลของน้ำในส่วนผสม หรืออุ้มน้ำเข้าไปภายในเม็ดสตาร์ชทำให้พองขึ้นเรื่อยๆ พร้อมกับเริ่มหนืดข้น เรียกว่าการเกิดเจลาทิไนเซชัน (gelatinization) โดยไม่จำกัดถ้าอยู่ในส่วนผสมที่มีน้ำมาก จนในที่สุดน้ำเข้าไปในบริเวณผลึก (crystalline zone) ทำลายโครงสร้างของเม็ดสตาร์ชพร้อมทั้งมีความหนืดข้นสูงสุด เพราะน้ำเข้าไปอยู่ในเม็ดสตาร์ชจนอาจไม่มีเหลือเป็นน้ำอิสระในส่วนผสม แต่เมื่อคนส่วนผสมต่อไปเรื่อยๆที่อุณหภูมิสูงอีกระยะหนึ่ง (ประมาณ 20 – 30 นาที) พบว่าความหนืดลดลง เนื่องจากโครงสร้างของเม็ดสตาร์ชถูกทำลายทำให้โมเลกุลของอะไมโลเพกทินและอะไมโลสกระจัดกระจายออกจากเม็ดสตาร์ช แขวนลอยในส่วนผสม เมื่อทิ้งไว้ให้เย็นเกิดการคืนตัว หรือรีโทรเกรเดชัน (set back หรือ retrogradation) มีลักษณะขุ่นกลับคืน มีความหนืดข้นขึ้นอีกครั้ง ดังภาพที่ 1-3

เมื่อทิ้งไว้อีกระยะอาจเห็นน้ำแยกตัวออกจากสตาร์ชขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในการทำให้เย็นตัวลง โดยถ้าทำให้เย็นลงอย่างช้า โอกาสที่น้ำจะแยกตัวออกจากโมเลกุลของสตาร์ช โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากโมเลกุลอะไมโลสซึ่งมีสายสั้น ทำให้พันธะไฮโดรเจนระหว่างสายมาเกาะเกี่ยวกันเอง มีผลให้น้ำแยกออกจากโมเลกุลได้เร็ว เกิดการแยกชั้นหรือตะกอน (precipitation) แต่น้ำในส่วนที่โมเลกุลอะไมโลเพกทินอุ้มไว้จะแยกออกจากโมเลกุลได้ช้ากว่า เพราะลักษณะของโครงสร้างอะไมโล-เพกทินซึ่งเป็นโซ่กิ่งจึงอุ้มน้ำไว้ได้ดีกว่า ดังนั้นลักษณะปรากฏของการเกิดเจล (gelation) จะขึ้นอยู่กับปริมาณอะไมโลสและอะไมโลเพกทินที่มีอยู่ในโมเลกุลของสตาร์ชด้วย โดยถ้าทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็วทำให้น้ำซึ่งอะไมโลสและอะไมโลเพกทินอุ้มไว้ในโครงสร้างไม่เปลี่ยนแปลง หรือเปลี่ยนแปลงช้ามาก

ยิ่งถ้าการทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็วด้วยการแช่เยือกแข็งจะทำให้น้ำภายในโมเลกุลสตาร์ชเป็นน้ำแข็งขนาดเล็ก ลักษณะเจลจึงคงตัวมากขึ้น ดังภาพที่ 1-3



ภาพที่ 1-3 ปรากฏการณ์เปลี่ยนแปลงของส่วนผสมแป้ง หรือสตาร์ชในน้ำโดยเพิ่มและลดอุณหภูมิ
ตามกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหารที่มีแป้งเป็นวัตถุดิบหลัก
ที่มา : อรอนงค์ นัยวิกุล (2550)



ที่มา : อรอนงค์ นัยวิกุล (2550)

ภาพที่ 1-4 ก. การเกิดผลึกหรือตกตะกอน (การแยกชั้น) และการเกิดเจลของสตาร์ช ในขณะที่เย็นลงหลังการให้ความร้อน

ข. การอุ้มน้ำของสตาร์ชบริเวณผลึก (crystalline zone) จะดูดน้ำได้น้อยกว่าบริเวณอสัณฐาน (amorphous zone)

ค. กลูโคสในบริเวณอสัณฐาน จะอุ้มน้ำได้หลายโมเลกุล

สตาร์ชสามารถแบ่งตามอัตราการย่อยของสตาร์ช (กุหลาบ สิทธิสวนจิก, 2553)

สตาร์ชสามารถแบ่งตามอัตราการย่อยของสตาร์ช (rate of digestion) อัตราการปลดปล่อยกลูโคส (rate of glucose release) และการดูดซึมภายในทางเดินอาหารออกเป็น 3 ประเภทหลัก คือ แป้งที่ย่อยได้เร็ว (rapidly digest starch) แป้งที่ย่อยได้ช้า (slowly digested starch) และแป้งทนย่อยต่อเอนไซม์ (resistant starch) (Englyst, Kingman และ Cummings, 1992) โดยปริมาณของ RDS และ SDS ในผลิตภัณฑ์อาหารสามารถนำมาใช้ในการทำนายค่า glycemic index (GI) ในผลิตภัณฑ์ที่มีองค์ประกอยหลักเป็นแป้งหรือสตาร์ชที่ได้จากธัญพืช ซึ่งค่า GI เป็นค่าที่บ่งบอกถึงระดับการเพิ่มขึ้นในเลือดหลังรับประทานอาหารเทียบกับมาตรฐานกลูโคส

1. แป้งย่อยได้เร็ว

แป้งย่อยได้เร็ว (rapidly digest starch, RDS) หมายถึง แป้งที่มีอัตราการย่อยของสตาร์ชและการปลดปล่อยกลูโคสมีอัตราการย่อยและปลดปล่อยกลูโคสที่เร็ว ทำให้ระดับกลูโคสในเลือดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว สำหรับอาหารประเภทนี้จะอยู่ในกลุ่มอาหารที่ผ่านการปรุงสุกใหม่

2. แป้งที่สามารถย่อยได้ช้า

แป้งที่สามารถย่อยได้ช้า (slowly digested starch, SDS) หมายถึง แป้งที่มีอัตราการย่อยของสตาร์ชเป็นไปอย่างช้าๆ แต่เป็นการย่อยที่สมบูรณ์ ทำให้อัตราการปลดปล่อยกลูโคสสู่กระแสเลือดอย่างช้าๆ ซึ่งแป้งที่ย่อยได้ช้าในกลุ่มนี้มีค่า GI ต่ำ สำหรับสตาร์ชหรือแป้งจากธัญพืชที่มีโครงร้างแบบผลึกA มีการรายงานพบว่า มีปริมาณของ SDS สูง อย่างเช่น ในสตาร์ชข้าวโพดพันธุ์ปกติ (normal maize starch) มีปริมาณ SDS มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ เป็นต้น ในอาหารที่มีส่วนประกอบของแป้งที่ย่อยได้ช้าเป็นหลักนั้นให้ประโยชน์ต่อสุขภาพร่างกายหลากหลายและเหมาะกับผู้ป่วยที่มีโรคประจำตัวหรือโรคเรื้อรัง เช่น โรคเบาหวาน โรคอ้วน และโรคหัวใจ ซึ่งเกี่ยวข้องน้ำตาลกลูโคส

3. แป้งทนย่อยต่อเอนไซม์

แป้งทนย่อยต่อเอนไซม์ (resistant starch) ตามคำนิยามของ European FLAIR-concerted Action (EURESTA) หมายถึง แป้งและผลิตภัณฑ์ของแป้งที่ไม่สามารถถูกย่อยสลายได้ด้วยเอนไซม์และดูดซึมภายในลำไส้เล็กของมนุษย์ปกติได้ (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะ จอมขวัญ, 2546) แต่ถูกหมักโดยจุลินทรีย์ที่อยู่ในลำไส้ใหญ่ ปริมาณแป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์สามารถวิเคราะห์ ได้ดังนี้

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

โดยที่ RS คือ แป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ในลำไส้เล็ก (resistant starch)

TS คือ ปริมาณแป้งทั้งหมด (total starch)

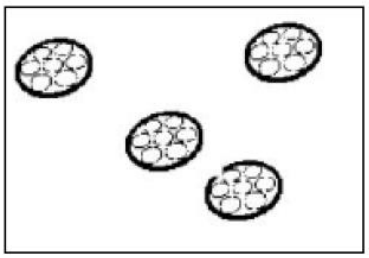
RDS คือ แป้งที่สามารถถูกย่อยไปเป็นน้ำตาลกลูโคสโดยเอนไซม์ในร่างกายได้อย่างรวดเร็ว (rapidly digest starch)

SDS คือ แป้งที่สามารถถูกย่อยไปเป็นน้ำตาลกลูโคสโดยเอนไซม์ในร่างกายได้อย่างช้าๆ (slowly digested starch) และสามารถย่อยไปเป็นน้ำตาลกลูโคสไดอย่างสมบูรณ์

ประเภทของแป้งที่ทนต่อการย่อยสลายด้วยเอนไซม์

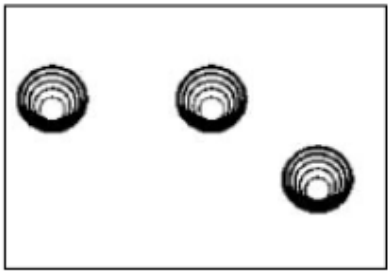
แป้งที่ทนต่อการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ (RS) แบ่งได้ 4 ประเภท ได้แก่

1. ชนิดที่ 1 (RS_1) คือ แป้งที่มีลักษณะทางกายภาพขัดขวางการทำงานของเอนไซม์ (Physically inaccessible) พบในเมล็ดธัญพืชที่ผ่านการบดเพียงบางส่วน พืชตระกูลถั่ว (legumes) และผัก เป็นต้น แป้งชนิดนี้ทนต่อความร้อน และใช้ในส่วนผสมของอาหาร มีลักษณะโครงสร้างดังภาพที่ 1-5



ภาพที่ 1-5 โครงสร้างของแป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ชนิดที่ 1 (RS_1)
ที่มา : Sajilata et al. (2006)

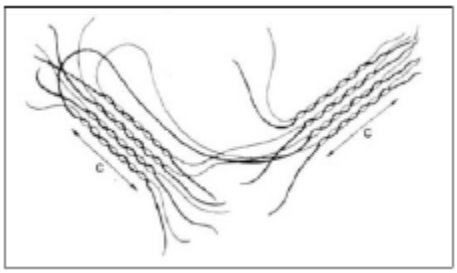
2. ชนิดที่ 2 (RS_2) คือ เม็ดแป้งดิบที่ทนต่อการทำงานของเอนไซม์ (raw or ungelatinized starches) พบในแป้งที่ยังไม่ผ่านกระบวนการทำให้แป้งสุก เช่น เม็ดแป้งกล้วยดิบ เม็ดแป้งมันฝรั่งดิบ และแป้งอะไมโลสสูง มีลักษณะโครงร้างดังภาพที่ 1-6 โดยกล้วยที่อยู่ในรูปของผงแป้งจะมีปริมาณของแป้งที่ทนต่อการย่อยลายด้วยเอนไซม์สูงถึงร้อยละ 52.1 (โดยน้ำหนักแห้ง) ทำให้เอนไซม์อะไมโลสไม่สามารถย่อยได้และไม่เกิดเจลาทิไนซ์ (gelatinize)



ภาพที่ 1-6 โครงสร้างของแป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ชนิดที่ 2 (RS_2)
ที่มา : Sajiata et al. (2006)

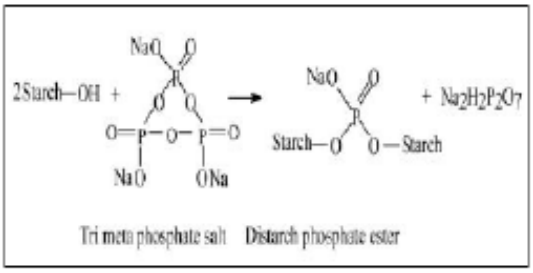
3. ชนิดที่ 3 (RS_3) เป็นประเภทแป้งคืนตัว (retrograded starch) ส่วนใหญ่แป้งชนิดนี้พบในอาหารที่ให้ความร้อนจนเกิดเจลาทิไนซ์ เมื่อถูกทำให้เย็นลงจะเกิดการจัดเรียงตัวของอะไมโลสใหม่ (ภาพที่ 1-7) ตัวอย่างของแป้งชนิดนี้ เช่น มันฝรั่งที่ต้มแล้วทำให้เย็น เปลือกขนมปัง คอร์นเฟลคส์ (corn flakes) และการคืนตัวของแป้งข้าวโพดอะไมโลสสูง เป็นต้น สมบัติของแป้งกลุ่มนี้คือสามารถ

ละลายได้ในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (potassium hydroxide) และไดเมทิลซัลฟอกไซด์ (dimethyl sufoxide) (Sajilata et al., 2006)



ภาพที่ 1-7 การต้านทานต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ของ double helice บริเวณโครงสร้างผลึก (C) ของแป้งที่ทนต่อการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ชนิดที่ 3 (RS_3)
ที่มา : Sajiata et al. (2006)

4. ชนิดที่ 4 (RS_4) เป็นแป้งที่มีโครงสร้างเกิดจากการดัดแปรโดยใช้สารเคมีในการคลอสลิง (cross link) เช่น ไดสตาร์ชฟอสเฟตเอสเทอร์ (distarch phosphate ester) ทำให้ในโครงร้างแป้งสร้างเกิดพันธะแบบใหม่ (ภาพที่ 1-8)



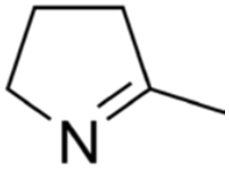
ภาพที่ 1-8 ไดสตาร์ชฟอสเฟตเอสเทอร์
ที่มา : Sajiata et al (2006)

4) ข้าวขาวดอกมะลิ 105 (มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,(ม.ป.ป.))

ข้าวขาวดอกมะลิ 105 เป็นสายพันธุ์ข้าวที่มีถิ่นกำเนิดในประเทศไทย จัดเป็นข้าวนาปี ปลูกได้เพียงปีละ 1 ครั้ง ลักษณะข้าวเปลือกเรียวยาว เมื่อสีเป็นข้าวสารจะได้ข้าวเมล็ดเรียว ยาว ขาวใส เป็นเงา แกร่ง มีท้องไข่น้อย มีกลิ่นหอมคล้ายใบเตย เป็นพันธุ์ข้าวที่นิยมบริโภคอย่างแพร่หลายทั้งในประเทศละต่างประเทศและเป็นพันธุ์ข้าวที่สร้างชื่อเสียงให้ข้าวไทยเป็นที่รู้จักทั่วโลก

ข้าวขาวดอกมะลิ 105 เป็นข้าวที่มีคุณภาพดีที่สุดและราคาแพงที่สุดของประเทศไทย เป็นที่นิยมบริโภคทั้งในประเทศ และต่างประเทศสำหรับต่างประเทศผู้บริโภคที่มีฐานะ คุณสมบัติที่ส่งผลให้

ข้าวหอมมะลิเป็นข้าวที่มีคุณภาพสูง และข้าวเปลือกเรียวยาว ได้ขนาดมาตรฐานข้าวชั้นหนึ่ง เมื่อสีเป็นข้าวสารจะได้ข้าว เรียว ยาว ขาวใส เป็นเงาแกร่งและมีท้องไข่น้อย ถ้าเป็นข้าวสารก็มีกลิ่นหอม เมื่อหุงเป็นข้าวสุกก็จะมีรสชาติดี ข้าวหอมมะลิจัดเป็นข้าวที่มีอะไมโลสต่ำ คือ ประมาณ 12-18 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนั้นข้าวขาวก็มีคุณสมบัติอย่างอื่นด้วย ดังตารางที่ 1-3 ทำให้ข้าวสุกมีความอ่อนนุ่ม ชื่อที่ผู้บริโภคและผู้ประกอบการค้าข้าวนิยมเรียกโดยเพี้ยนมาจาก “ขาวดอกมะลิ” และมีชื่อเป็นทางการว่า “ขาวดอกมะลิ 105” ซึ่งมีความหมายว่า ประเภทข้าวขาว เพราะข้าวเปลือกมีสีขาว หรือสีฟาง และมีกลิ่นหอม คล้ายดอกมะลิ ซึ่งมาจากสาร 2 – acetyl – 1 สำหรับหมายเลข 105 นั้น ได้มาจากขั้นตอนการปรับปรุงพันธุ์



ภาพที่ 1-9 สูตรโครงสร้างทางเคมีของสารหอม 2 - acetyl – 1 – pyrroline
ที่มา : กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2545)

ตารางที่ 1-3 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวขาวดอกมะลิ 105

พันธุ์ข้าว	แหล่งปลูก	ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)	อะมิโลส (เปอร์เซ็นต์)	โปรตีน (เปอร์เซ็นต์)	ความคงตัวแป้งสุก (มิลลิเมตร)	การสลายเมล็ดในด่าง	อัตรายืดเมล็ด (เท่า)	ต้มเมล็ดสุก (นาที)
ขาวดอกมะลิ 105	PTT	10.5	16.1	7.7	79	7.0	1.6	15
	CNT	13.0	14.4	6.0	80	6.7	1.6	15
	KSR	11.9	14.6	9.0	77	6.4	1.7	15
	PMI	10.9	16.7	7.5	100	6.6	1.7	15
	KKN	10.0	16.1	7.8	100	6.3	1.6	15
	PAN	12.7	16.4	9.3	77	7.0	1.7	14
	PTL	8.6	16.4	9.9	100	7.0	1.8	17

ที่มา : กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2545)

5) ข้าวขาวตาแห้ง (สุนทร สีหะเนิน, 2556)

ข้าวขาวตาแห้งเป็นข้าวนาสวนที่ปลูกในสภาพมีน้ำขัง สามารถควบคุมระดับน้ำได้ ซึ่งมักจะเป็นพื้นที่อาศัยน้ำจากการชลประทานเป็นข้าวเจ้า ที่มีชื่อเสียงเคยปลูกกันมากในภาคกลางแถบจังหวัดนครนายก กรุงเทพมหานคร (ลาดกระบัง) เพชรบูรณ์ และพิจิตร มีลำต้นแข็งปานกลางทรงกอค่อนข้างแบะ แตกกอดี ความยาวลำต้นประมาณ 150 เซนติเมตร หูใบสีเขียวอ่อน แผ่นใบและกาบใบ

มีสีเขียว ข้อต่อใบสีเขียว ออกดอกประมาณวันที่ 23 พฤศจิกายน ยอดดอกสีขาว กลีบรองดอกสีฟาง ใบธงทำมุมในแนวนอนรวงค่อนข้างแน่น คอรวงยาว ก้านรวงอ่อน แตกระแง้ถี่ปานกลาง เมล็ดร่วงยาก ข้าวเปลือกสีฟาง ข้าวกล้องสีขาว เมล็ดเรียว ท้องไข่ปานกลาง คุณภาพการหุงต้มร่วนนุ่ม ปริมาณอะไมโลส 24-25 เปอร์เซ็นต์ รสชาติดีเป็นที่นิยมสำหรับผู้บริโภคที่ชอบข้าวสุกค่อนข้างนุ่ม และร่วน

ภาพที่ 1-10 ข้าวขาวตาแห้ง
ที่มา : สุนทร สีหะเนิน (2556)

6) เหลืองประทิว (สุนทร สีหะเนิน, 2556)

เหลืองประทิว เป็นข้าวนาสวน ชนิดข้าวเจ้า ไวต่อช่วงแสง เหมาะกับพื้นที่ราบลุ่มภาคกลาง ลำต้นอ่อน ล้มง่าย ทรงกอตั้ง ความยาวลำต้นประมาณ 150 เซนติเมตร หูใบสีเขียวอ่อน แผ่นใบและกาบใบมีสีเขียว ข้อต่อใบสีเขียวอ่อน ออกดอกประมาณวันที่ 19 พฤศจิกายน ยอดดอกสีขาว กลีบรองดอกสีฟาง ใบธงทำมุมเป็นแนวนอน รวงจับกันปานกลาง คอรวงยาว ก้านรวงอ่อน แตกระแง้ปานกลาง ข้าวเปลือกสีเหลือง ข้าวกล้องสีขาว รูปร่างเรียว ท้องไข่ปานกลาง คุณภาพการหุงต้มร่วนแข็ง ปริมาณอะไมโลส 29-30 เปอร์เซ็นต์ ปลูกในพื้นที่ดินเปรี้ยวได้ดีจัดเป็นพันธุ์ข้าวปลูกเป็นการค้า

ภาพที่ 1-11 เมล็ดข้าวเหลืองประทิว
ที่มา : สุนทร สีหะเนิน (2556)

7) ชนิดของน้ำมัน

1. น้ำมันมะพร้าว **(**ณรงค์ โฉมเฉลา**,** 2548**)**

มะพร้าว (*Coconut nucifera Linn*.) เป็นไม้ยืนต้นในตระกูลปาล์มชนิดหนึ่ง จัดอยู่ในวงศ์ Arecaceae และเป็นสปีชีส์เดียวที่จัดอยู่ในจีนัส Cocos มะพร้าวเป็นปาล์มที่มีขนาดใหญ่ อาจ

สูงถึง 30 เมตร ปลูกกันมากในประเทศที่อยู่ในเขตร้อนโดยเฉพาะมักปลูกตามชายฝั่งทะเล มะพร้าวเป็นผลแห้ง เมล็ดแข็ง (drupe) ประกอบด้วยเนื้อชั้นนอก (exocarp) และเนื้อชั้นกลาง (mesocarp) เป็นส่วนของเปลือกเนื้อชั้นกลางประกอบด้วยเส้นใยที่เรียกว่า คอร์ (core) ซึ่งนำไปใช้เชือก ที่นอน และใช้เป็นเชื้อเพลิง ส่วนชั้นใน (endocarp) คือส่วนที่ เป็นกะลาซึ่งเป็นส่วนที่แข็งที่สุดของผล นำไปทำผลิตภัณฑ์หัตถกรรมต่างๆ และผลิตถ่านกัมมันต์ที่ประสิทธิภาพสูง เนื้อมะพร้าวประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัวที่มีความยาวโมเลกุลปานกลาง (medium-chain saturated fatty acid) ที่มีความสำคัญต่อสุขภาพมาก ดังนั้น น้ำมันมะพร้าวที่สกัดจากเนื้อมะพร้าวด้วยวิธีที่ไม่ผ่านความร้อนและไม่ใช้สารเคมีอื่นจึงเป็นที่นิยมกันมากในการดูแลสุขภาพและความงามด้วยวิธีธรรมชาติ ผลที่ได้จากการบริโภค คือ เปลี่ยนเป็นพลังงานได้รวดเร็วและเพิ่มอัตราการเผาผลาญอาหารในร่างกาย ทำให้ไม่มีไขมันสะสมในร่างกาย ลดคลอเลสเทอรอลชนิดเลว (LDL) และเพิ่มคลอเลสเทอรอลชนิดดี (HDL) ส่งผลให้สุขภาพและหัวใจดีขึ้น

น้ำมันมะพร้าวมีประโยชน์มากมายต่อสุขภาพเนื่องจากอุดมด้วยกรดไขมันอิ่มตัวถึงร้อยละ 92 โดยเป็นกรดไขมันอิ่มตัวที่มีความยาวโมเลกุลปานกลางร้อยละ 62 และในส่วนนี้เป็นกรดลอริกถึงร้อยละ 50 ซึ่งบางส่วนสำคัญที่ช่วยสร้างภูมิคุ้มกันให้แก่ร่างกาย และมีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อโรคหลายชนิด ไม่ว่าจะเป็นเชื้อรา ไวรัสโปรโตซัว แต่ยังขาดข้อมูลที่จะทำให้ทราบถึงองค์ประกอบสำคัญที่มีผลต่อสุขภาพ

องค์ประกอบสำคัญในน้ำมันมะพร้าวที่มีผลต่อสุขภาพ

น้ำมันมะพร้าวมีสมบัติที่ดีต่อสุขภาพมากมายหลายประการ องค์ประกอบหลักของน้ำมันมะพร้าวที่ทำให้น้ำมะพร้าวเด่นกว่าน้ำมันชนิดอื่น คือ กรดไขมันอิ่มตัว รองลงมา คือ กรดไขมันไม่อิ่มตัววิตามินอี สารฟีนอลิก และสารไฟโทสเทอรอล

กรดไขมันอิ่มตัว (Saturated fatty acid)

จากผลการวิเคราะห์โดยสำนักวิจัยและพัฒนาพืชน้ำมัน กรมวิชาการเกษตร พบว่าน้ำมันมะพร้าวประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัวประมาณร้อยละ 90 ของปริมาณกรดไขมันทั้งหมด และเป็นกรดไขมันอิ่มตัวที่มีความยาวโมเลกุลปานกลาง คือ กรดแคพรีลิก กรดแคพริก กรดลอริก และกรดไมริสติกถึงร้อยละ 83.26 ของปริมาณกรดอิ่มตัวทั้งหมด และที่เป็นจุดเด่นของน้ำมันมะพร้าว คือ มีกรดลอริกสูงถึงร้อยละ 49.13 ของปริมาณกรดอิ่มตัวทั้งหมด ดังแสดงตารางที่ 2-4

โมเลกุลของกรดไขมันอิ่มตัว อะตอมของธาตุคาร์บอนจะต่อกันเป็นเส้น (chain) โดยมีพันธะเดี่ยวยึดแต่ละอะตอมของคาร์บอนจึงทำให้มีความเสถียรสูง ไม่สามารถรับไฮโดรเจนหรือออกซิเจนเข้าไปได้อีก จึงไม่มีกลิ่นหืน กรดไขมันอิ่มตัวในน้ำมันมะพร้าวส่วนใหญ่มีจำนวนอะตอมของคาร์บอน 8-14 อะตอม จัดเป็นกรดไขมันที่มีความยาวโมเลกุลปานกลางทำให้ร่างกายย่อยและดูดซึมไปใช้ประโยชน์ได้รวดเร็ว ส่วนใหญ่จะถูกดูดซึมไปเผาผลาญเป็นพลังงานที่ตับ ส่วนที่ถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือดจึงมีไม่มากพอที่จะสะสมเป็นไขมันร่างกาย หรือเกาะติดบนผนังเส้นเลือดอันเป็นสาเหตุของการแข็งตัวของเส้นเลือด จึงช่วยลดความอ้วนได้ นอกจากนั้นยังช่วยป้องกันโรคหัวใจโดยปรับระดับคอเรสเทอรอล คือเพิ่ม HDL และลด LDL ทำให้เส้นเลือดไม่อุดตัน และยังช่วยในการดูดซึมสารอาหารและเกลือแร่ต่างๆ เช่น แคลเซียมและแมกนีเซียมได้ดี จึงช่วยป้องกันโรคกระดูกพรุนและข้อเข่าเสื่อมได้อีกด้วย

กรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acid)

กรดชนิดนี้มีพันธะคู่ระหว่างอะตอมคาร์บอนและจะยิ่งมีจำนวนพันธะคู่มากขึ้นเมื่อได้รับความร้อนสูง ซึ่งจะทำให้เกิดเป็นกรดไขมันแบบทรานส์ (trans fatty acid) ซึ่งเกิดผลร้ายต่อร่างกาย เช่น ทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ ทำให้เซลล์อ่อนแอจนเชื้อโรคและสารพิษเข้าไปได้ง่าย ก่อให้เกิดโรคมะเร็ง เปลี่ยนแปลงกลไกของร่างกายในการขจัดคอเลสเทอรอลโดยการขัดขวางการเปลี่ยนไปเป็นพลังงานในตับ ทำให้คอเลสเทอรอลในกระแสเลือดเพิ่มขึ้น เพิ่มโอกาสเป็นเบาหวานและลดปริมาณฮอร์โมนเทสโตสเทอรอลในเพศชาย เป็นต้น

จากการศึกษา ชี้ให้เห็นว่าน้ำมันมะพร้าวดีต่อหัวใจ แม้ว่าไขมันจะก่อให้เกิดโรคหัวใจ แต่การกินน้ำมันมะพร้าวกลับช่วยลดปัจจัยเสี่ยงในการเป็นโรคหัวใจ เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันชนิดอื่น กล่าวคือ น้ำมันมะพร้าวจะช่วยปรับสัดส่วน HDL และ LDL ลดแนวโน้มการก่อตัวเป็นลิ่มหรือก้อนของเลือด อันเป็นสาเหตุของหลอดเลือดหัวใจอุดตันหรือแข็งตัว นอกจากนี้ยังช่วยให้เซลล์ที่เกิดความผิดปกติลดลง ลดอัตราการเกิดโรคมะเร็ง ลดระดับคอเรสเทอรอลในเลือดและตับ และเพิ่มการสะสมของสารต้านอนุมูลอิสระ

ตารางที่ 1-4 องค์ประกอบกรดไขมันในน้ำมันมะพร้าว

ชนิดของกรดไขมัน	ร้อยละ
กรดไขมันอิ่มตัว	
Caproic acid (C6 : 0)	0.29
Caprylic acid (C8 : 0)	4.74
Capric acid (C10 : 0)	4.44
Lauric acid (C12 : 0)	43.38
Myristic acid (C14 : 0)	20.95
Palmitic acid (C16 : 0)	11.64
Stearic acid (C18 : 0)	2.85
กรดไขมันไม่อิ่มตัว	
Oleic acid (C18 : 1)	9.63
Linoleic acid (C18 : 2)	2.09

ที่มา : นิธิยา รัตนปนนท์ (2529)

2. น้ำมันรำข้าว (สุนทร ตรีนันทวัน, 2557)

เป็นผลิตภัณฑ์จากรำขาว ซึ่งหมายถึงส่วนผสมของรำละเอียด และคัพภะ น้ำมันรำข้าวดิบ (Crude Rice Bran Oil) ประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์ ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ของน้ำมันรำข้าวมีกรดไขมันเป็นองค์ประกอบ คือ กรดโอเลอิกสูงถึง40-50 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือกรดลิโนเลอิก 20-42 เปอร์เซ็นต์ และกรดปาล์มมิติก 12-18 เปอร์เซ็นต์ ตามข้อมูลในตารางที่ 1-5

ตารางที่ 1-5 องค์ประกอบกรดไขมันในน้ำมันรำข้าว

ชนิดของกรดไขมัน	ร้อยละ
กรดไขมันอิ่มตัว	
Behenic acid (C22: 0)	0.2
Myristic acid (C14 : 0)	0.2
Palmitic acid (C16 : 0)	15.0
Stearic acid (C18 : 0)	1.9
Arachidic acid (C20: 0)	0.5
กรดไขมันไม่อิ่มตัว	
Oleic acid (C18 : 1)	42.5
Linoleic acid (C18 : 2)	39.1
Linolenic acid (C18 : 3)	1.1

ที่มา : นิธิยา รัตนปนนท์ (2529)

ประโยชน์ของน้ำมันรำข้าว

น้ำมันรำข้าวมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวในปริมาณมาก และยังมีสารป้องกันการเกิดออกซิเดชันหลายชนิด ได้แก่ วิตามินอี (โทโคไตรอีนอล และโทโคเฟอรอล) และออริซานอล ซึ่งสารประกอบทั้งสามชนิดนี้จะลดการเกิด Oxidized LDL ลดการเกิดการแข็งตัวของหลอดเลือด และการเกิดคอเลสเทอรอลออกไซด์

โทโคไตรอีนอล และออริซานอลในรำข้าวมีผลในการลดระดับคอเลสเทอรอลโดยตรง เนื่องจากโทโคไตรอีนอลเป็นสารที่ขัดขวางการสังเคราะห์คอเลสเทอรอลในร่างกาย ส่วนออริซานอล เป็นสารที่ลดการดูดซึมของคอเลสเทอรอลจากอาหาร ซึ่งมีการตรวจอุจจาระของกลุ่มคนที่ได้รับออริซานอล พบว่ามีคอลเลสเทอรอลปะปนอยู่มากกว่ากลุ่มคนที่ไม่ได้รับออริซานอลนอกจากนี้ในน้ำมันรำข้าวมีสารประกอบกลุ่มไฟโตสเดียรอล ที่สามารถลดการดูดซึมของคอเลสเทอรอลได้

มีงานวิจัยทั้งในประเทศและต่างประเทศที่ทำวิจัยศึกษาผลการลดคอเลสเทอรอลของน้ำมันรำข้าวในมนุษย์ และในหนูแฮมเตอร์ และยังพบว่าน้ำมันรำข้าวยังลดความเสี่ยงต่อโรคหัวใจ โดยการสังเคราะห์คอเลสเทอรอลในร่างกาย เนื่องจากในรำข้าวมีสารประกอบที่มีผลต่อการยับยั้งปฏิกิริยาของเอนไซม์หลายชนิด

สารต้านอนุมูลอิสระในน้ำมันรำข้าว

น้ำมันรำข้าวเป็นแหล่งที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น วิตามินอี โทโคเฟอรอล แคโรทีนอยด์และแกมมา ออริซานอล คุณสมบัติที่โดดเด่นของน้ำมันรำข้าวซึ่งแตกต่างจาก น้ำมันพืชอื่นๆ คือ มีส่วนประกอบเป็นสาระสำคัญ คือ แกมมา ออริซานอลและโทโคไตรอินอล ซึ่งพบว่าสามารถช่วยลดระดับคอเลสเทอรอลในเลือด และลดอัตราการเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจได้ บทบาทของสารแกมมา ออริซานอล ในน้ำมันรำข้าว คือ ลดคอเลสเทอรอลชนิดเลว (LDL) และลดระดับไตรกลีเซอไรด์ โดยแกมมา ออริซานอลจะไปกับคอเลสเทอรอลในน้ำดี แล้วเพิ่มการขับน้ำดีเข้าไปในลำไส้จากนั้นก็ป้องกันไม่ให้มีการดูดซึมกลับเข้ามาใหม่ มีรายงานว่า แกมมา ออริซานอลช่วยเพิ่มระดับการสร้างฮอร์โมน เทสโตสเตอโรน (Testosterone) ในผู้ชายและช่วยกระตุ้นสมองให้หลั่ง เอนโดฟิน (Endophine) ซึ่งเป็นสารแห่งความสุขเพิ่มขึ้นด้วย และมีหลายการศึกษาวิจัยพบว่า แกมมา ออริซานอลช่วยเพิ่ม ระดับคอเลสเทอรอลชนิดดี(HDL) และช่วยลดอัตราเสี่ยงของโรคที่เกิดจากหลอดเลือดแข็งตัว (ศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าว, 2553)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับน้ำมันรำข้าวและน้ำมันรำข้าวในประเทศ พบว่ามีหลายงานวิจัยที่ทำวิจัยเกี่ยวกับกระบวนการผลิตน้ำมันรำข้าวด้วยกรรมวิธีที่สามารถรักษาคุณภาพของน้ำมันรำข้าวไว้เพื่อให้คงคุณค่าทางโภชนาการ และการสกัดวิตามินอีจากน้ำมันรำข้าวเพื่อนำไปใช้ในเครื่องสำอางและใช้เป็นอาหารเสริมสุขภาพเพื่อปรับปรุงวิธีการสกัด และหาสภาวะของการสกัดที่เหมาะสมโดยใช้ต้นทุนต่ำ (ธิดารัตน์ หน่อสุวรรณ, 2550) โดยมีการศึกษาถึงคุณสมบัติของสารอาหารที่มีอยู่ในรำข้าว เช่น ออริซานอล และคุณภาพของวิตามินอี ที่อยู่ในรูปของสารอาหารธรรมชาติ ในน้ำมันรำข้าว

จากผลงานวิจัยของนัยนาและเรวดี (2545) พบว่าโทโคไตรอีนอล และออริซานอลในรำข้าวมีผลในการลดระดับคอเลสเทอรอล เพราะโทโคไตรอีนอลเป็นสารที่ขัดขวางการสังเคราะห์คอเลสเทอรอลในร่างกาย ส่วนออริซานอลเป็นสารที่ลดการดูดซึมคอเลสเตอรอลในอาหาร ในการตรวจอุจจาระของกลุ่มคนที่ได้รับออริซานอล พบว่า มีคอเลสเทอรอลปะปนอยู่มากกว่ากลุ่มคนที่ไม่ได้รับออริซานอล นอกจากนี้ในรำข้าวมีสารประกอบกลุ่มไฟโตสเตียรอล ที่สามารถลดการดูดซึมของคอเลสเทอรอลได้

ในต่างประเทศ มีการวิจัยเกี่ยวกับสารต้านอนุมูลอิสระในน้ำมันรำข้าว คือ แกมมา ออริซานอล และโทโคไตรอินอล ซึ่งพบว่า สามารถช่วยลดระดับคอเลสเทอรอลในเลือด และลดอัตราเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจ และพบว่าสารแกมมา ออริซานอล ในน้ำมันรำข้าว สามารถลดคอเลสเตอรอลชนิดเลว (LDL) และลดระดับไตรกลีเซอไรด์ โดยแกมมา ออริซานอลจะไปจับกับคอเลสเทอรอลในน้ำดี แล้วเพิ่มการขับน้ำดีเข้าไปในลำไส้ จากนั้นก็ป้องกันไม่ให้มีการดูดซึมกลับเข้ามาใหม่ มีรายงานว่า แกมมา ออริซานอล ช่วยเพิ่มระดับการสร้างฮอร์โมนเทสโตสเตอโรน

(Testosterone) ในผู้ชายและช่วยกระตุ้นสมองให้หลั่งเอนดอร์ฟิน (Endorphin) ซึ่งเป็นสารแห่งความสุขเพิ่มขึ้นด้วย

3. น้ำมันมะกอก (ธิษณา จรรยาชัยเลิศ, 2559)

น้ำมันมะกอก (olive oil) เป็นไขมันที่ได้มาจากมะกอกออลิฟ พืชต้นไม้แบบดั้งเดิมของทะเลลุ่มน้ำเมดิเตอร์เรเนียน น้ำมันที่ผลิตโดยการบดมะกอกทั้งหมดและการสกัดน้ำมันโดยใช้เครื่องกลหรือสารเคมี เป็นที่นิยมใช้ในการปรุงอาหาร เครื่องสำอาง ยา และสบู่ และเป็นเชื้อเพลิง น้ำมันมะกอกเป็นน้ำมันที่อุดมไปด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัว วิตามินเอ เบตา-แคโรทีนและสารต้านอนุมูลอิสระที่ให้ผลดีต่อร่างกายหลายประการ เช่นช่วยป้องกันการเกิดของหลอดเลือดแดงแข็งตัวช่วยให้การหมุนเวียนของโลหิตดีขึ้น อีกทั้งยังป้องกันโรคความดันโลหิตสูงหัวใจล้มเหลว หัวใจวาย ไตวาย เส้นเลือดในสมอง แตกนอกจากนี้ยังช่วยให้ระบบการทำงานของส่วนต่างๆ ในร่างกายดีขึ้นทั้งกระเพาะอาหาร ตับอ่อน ลำไส้ ตับ และถุงน้ำดีส่วนวิตามินเอและสารต้าน อนุมูลอิสระ ที่มีอยู่ในน้ำมันมะกอกจะช่วยให้ผิวหนังมีความยืดหยุ่น ป้องกันโรคผิวหนัง และลดริ้วรอยเหี่ยวย่นสำหรับผู้สูงอายุที่มักจะมีปัญหาเกี่ยวกับกระดูก หากรับประทานน้ำมันมะกอกเป็นประจำจะช่วยเสริมสร้างกระดูกป้องกันโรคกระดูกพรุนและช่วยให้ร่างกายดูดซึมแร่ธาตุและแคลเซียมได้ดียิ่งขึ้นอีกทั้งยังมีกรดไขมันที่ช่วยต่อต้านการก่อตัวของติ่งเนื้อในอวัยวะต่างๆที่เรียกว่ามะเร็งได้อีกด้วย ในน้ำมันมะกอกประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์ สารประกอบของกลีเซอรอลกับกรดไขมันและอนุมูลอิสระ ซึ่งมีปริมาณของกรดไขมันอยู่สูงถึง 18 คาร์บอนอะตอมซึ่งอาจจับตัวในลักษณะพันธะเดี่ยวและพันธะคู่ เรียกว่ากรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวหรือเป็นคู่ พันธะหลายคู่เรียกว่ากรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน โดยมีกรดปาลมิติกอยู่ร้อยละ 7.5-20 เปอร์เซ็นต์ กรดสเตียริกร้อยละ 0.5-5.0 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงตารางที่ 1-6

ตารางที่ 1-6 ส่วนประกอบของกรดไขมันในน้ำมันมะกอก

ชนิดของกรดไขมัน	**ร้อยละ**
กรดไขมันอิ่มตัว	
Palmitic acid (C16:0)	7.5 – 20.0
Stearic acid (C18:0)	0.5 – 5.0
Arachidic acid (C18:1)	0.6
Behenic acid (C18:2)	0.3
Myristic acid (C20:0)	0.05
Lignoceric acid (C18:3)	0.2
กรดไขมันไม่อิ่มตัว	
Oleic acid (C18:1)	55.0 – 83.0
Palmitoleic acid (C16:1)	0.3 – 3.5

ที่มา : นิธิยา รัตนปนนท์ (2529)

น้ำมันมะกอกช่วยลดอาการอักเสบของกระเพาะอาหาร และลำไส้เล็ก ทำหน้าที่เหมือนยาระบายอ่อน ๆ ช่วยทำให้ระบบดูดซึมแร่ธาตุและวิตามินทำงานดีขึ้น และน้ำมันมะกอกยังกระตุ้นการเก็บรักษาแร่ธาตุของกระดูกเพื่อป้องกันการสูญเสียแคลเซียมในกระดูกของผู้สูงอายุ ช่วยป้องกันภาวะหลอดเลือดแดงแข็ง ช่วยป้องกันเนื้องอกที่เกิดกับอวัยวะบางส่วน (เต้านม ต่อมลูกหมาก ลำไส้ใหญ่ ปีกมดลูก) ทั้งนี้เพราะกรดไขมันที่มีอยู่ในน้ำมันมะกอกนั้นช่วยยับยั้งอนุมูลอิสระ และช่วยต่อต้านการก่อตัวของติ่งเนื้อในอวัยวะต่างๆ ป้องกันความชราภาพ และมีงานวิจัยรายงานว่าน้ำมันมะกอกนั้นสามารถช่วยลดระดับคอเลสเตอรอลชนิดเลว (LDL) ในขณะเดียวกันจะไม่ทำให้คอเลสเตอรอลชนิดดี (HDL) ลดระดับลง

8) ค่าดัชนีไกลซีมิก (glycemic index, GI) (ลัคนา บริจินดากุล, 2555)

ดัชนีไกลซีมิก คือดัชนีที่ใช้ในการตรวจวัดคุณภาพของคาร์โบไฮเดรต โดยวิเคราะห์ว่าคาร์โบไฮเดรตที่บริโภคจะย่อยสลายยากง่าย และเพิ่มระดับน้ำตาลในเลือดในเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากรับประทาน ซึ่งหลังรับประทานและเข้าสู่ระบบการย่อยและดูดซึมของร่างกายสามารถเพิ่มระดับน้ำตาลในเลือดมากหรือน้อยโดยเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานคือ กลูโคสหรือขนมปังขาวซึ่งมีค่าดัชนีไกลซีมิก เท่ากับ 100 ซึ่งสามารถจำแนกกลุ่มอาหาร ตามดัชนีน้ำตาลได้ 3 ประเภท ดังนี้

กลุ่มดัชนีไกลซีมิกต่ำ ซึ่งจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับ น้ำตาลในเลือดต่ำกว่า 55 อาหารที่มีค่าดัชนีไกลซีมิกต่ำ เช่น ถั่วชนิดต่างๆ ผัก และอาหารที่มีเส้นใยสูง ธัญพืชที่มีน้ำตาลต่ำโยเกิร์ตไขมันต่ำและไม่หวาน เกรฟฟรุต แอปเปิ้ล และมะเขือเทศ เป็นต้น นอกจากนั้นยังส่งผลดีต่อผู้ที่ต้องการควบคุมน้ำหนักเนื่องจากช่วยให้อิ่มท้อง ไม่หิวเร็ว และช่วยลดการเพิ่มของระดับ อินซูลินในร่างกาย จึงช่วยชะลอการสร้างไขมัน ประเภทไตรกลีเซอไรด์ในเลือดซึ่งถือว่า เป็นการป้องกันหรือลดความเสี่ยงต่อการเกิด โรคหัวใจ โรคเบาหวานและภาวะแทรกซ้อนต่างๆ

กลุ่มดัชนีไกลซีมิกปานกลาง จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับ น้ำตาลในเลือดอยู่ในช่วง 56-69 เมื่อเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน อาหารที่มีค่าดัชนีไกลซีมิกปานกลางจะเป็นอาหาร ประเภทเส้นถั่วคั่ว ถั่วฝักเขียว มันเทศ น้ำส้มคั้น บลูเบอรี่ ข้าวโพดหวาน ข้าวโพดคั่ว ซุปถั่ว whole wheat และข้าวกล้อง เป็นต้น

กลุ่มดัชนีไกลซีมิกสูง จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำตาลในเลือดมากกว่า 70 ประเภทของอาหารที่มีค่าดัชนีไกลซีมิกสูง ได้แก่ ขนมปังขาว corn-flake ข้าวเมล็ดสั้น มันฝรั่งอบ มันฝรั่งทอด (French fries) ไอศกรีม ลูกเกด ผลไม้อบแห้ง กล้วย แครอท ผลไม้ที่มีรสหวาน เช่น แตงโม เป็นต้น

การรับประทานอาหารที่มีค่าดัชนีไกลซีมิกสูงในปริมาณมาก คาร์โบไฮเดรตในอาหาร จะถูกย่อยเป็นกลูโคส และถูกดูดซึมอย่างรวดเร็ว มีผลไปกระตุ้นให้มีการหลั่งฮอร์โมนอินซูลิน ซึ่งเป็นฮอร์โมนที่ทำให้กลูโคสถูกนำเข้าสู่เซลล์ต่างๆ ในร่างกายเพื่อเผาผลาญเป็นพลังงาน แต่หลังจากการรับประทานอาหารไปแล้ว 2-4 ชั่วโมง ปริมาณอาหารที่ถูกดูดซึมในทางเดินอาหารลดลง แต่ฤทธิ์ของอินซูลินยังคงอยู่ ทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดลดลงมากจนอาจทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดต่ำ และทำให้รู้สึกอยากอาหาร ส่วนคนที่รับประทานอาหารที่มีค่าดัชนีไกลซีมิกต่ำ ระดับน้ำตาลในเลือดยังคงอยู่ในระดับปกติหลังจากการรับประทานอาหาร 4-6 ชั่ว โมง ร่างกายจะหลั่งฮอร์โมนบางชนิดออกมาเพื่อ

รักษาระดับน้ำตาลในเลือดให้คงที่โดยกระตุ้นการสลายไกลโคเจนซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่สะสมอยู่ในร่างกายและเพิ่มการสร้างกลูโคสจากแหล่งอาหารอื่น เช่น ไขมัน การรับประทานอาหารที่มีค่าดัชนีไกลซีมิกสูง จึงมีผลให้ระดับกรดไขมันในเลือดเพิ่มขึ้นมากกว่าการรับประทานอาหารที่มีค่าดัชนีไกลซีมิกต่ำ ทั้งนี้ค่าดัชนีไกลซีมิกของอาหารต่างๆ ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ ขนาดอนุภาค การปรุงกระบวนการแปรรูปอาหาร ส่วนประกอบอาหาร อื่นๆ ที่มีอยู่ (เช่น ไขมัน โปรตีน เส้นใยอาหาร) สัดส่วนและชนิดของน้ำตาลและแป้ง รวมถึงโครงสร้างของแป้ง (starch) ซึ่งมีผลให้ค่าดัชนีไกลซีมิกของอาหารอย่างเดียวกันมีความแตกต่างกันไป ตามประเทศที่ผลิตผู้ผลิตในอุตสาหกรรมอาหารได้พัฒนาอาหารแนวค่าดัชนีไกลซีมิกต่ำด้วยการใช้ส่วนผสมอาหารที่หลากหลาย หรือปรับเปลี่ยนกระบวนการแปรรูป มีการพบว่าเครื่องปรุงอาหารที่ชาวญี่ปุ่นใช้กันโดยทั่วไปเช่นน้ำส้มสายชูผลิตภัณฑ์และถั่วมีค่าดัชนีไกลซีมิกในผลิตภัณฑ์ลดลง เมื่อถูกย่อยรวมกันทั้งก่อนและหลังมื้ออาหาร นอกจากนี้ยังพบว่ามีผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญพืชที่มีค่าดัชนีไกลซีมิกต่ำ จากการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งอื่นๆ เช่น แป้งข้าวบาร์เลย์

การผลิตอาหารที่มีค่าดัชนีไกลซีมิกต่ำเป็นงานวิจัยที่ได้รับความสนใจอย่างมากในปัจจุบัน ทั้งนี้ จากข้อมูลที่กล่าวมาในตอนต้น ข้าวเป็นอาหารจัดว่ามีค่าดัชนีไกลซีมิกสูง จึงมีความพยายามที่จะลดค่าดัชนีไกลซีมิก จากการบริโภคอาหารที่มีข้าวเป็นวัตถุดิบ ยกตัวอย่างเช่น การศึกษาชนิดของข้าวพันธุ์ที่มีมีค่า starch digestibility ต่ำ รวมทั้งการปรับปรุงกระบวนการผลิต (Benmoussa et al., 2007) นอกจากนั้นยังมีการศึกษาเกี่ยวกับผลของปริมาณอะไมโลสและโครงสร้างระดับโมเลกุลของสตาร์ชที่มีผลต่อ starch digestibility ทั้งนี้มีรายงานว่าข้าวพันธุ์ที่มีอะไมโลสสูงมีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำกว่าข้าวอะไมโลสต่ำ (Denardin et al., 2007)

นอกจากชนิดของวัตถุดิบที่มีต่อค่าดัชนีไกลซีมิกแล้ว กระบวนการแปรรูปต่าง ๆ ได้แก่ การทำให้สุก การ retrogradation และการทำแห้ง ยังมีผลต่อค่าstarch digestibility อีกด้วย (Hsu et al., 2015) รายงานว่าการหุงข้าวที่ผสมน้ำในอัตราส่วน 1 : 1 ที่อุณหภูมิ 86 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 28 นาทีทำให้ข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่คืนรูป มีปริมาณสตาร์ชที่ย่อยเร็ว (rapidly digestible starch, RDS) ต่ำกว่า และมีปริมาณสตาร์ชที่ถูกย่อยได้ช้า (slowly digestible starch, SDS) สูงกว่าข้าวที่ผ่านการหุงด้วยวิธีดั่งเดิมซึ่งใช้อุณหภูมิสูง (100 องศาเซลเซียส) นอกจากนั้นการนำข้าวที่หุงสุกแล้วไปแช่ตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่าง 1-3 วัน เพื่อให้เกิดการ retrogradation ร่วมกับการทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดการ annealing ซึ่งจะทำให้สตาร์ชจัดเรียงตัวกันใหม่กลายเป็นโครงสร้างที่เป็นระเบียบมากขึ้น แล้วตามด้วยการทำแห้งที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำให้ได้ข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ผ่านการคืนรูปที่มีปริมาณ RDS ต่ำลง ทั้งนี้สำหรับข้าว japonica ที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ การทำให้เกิดการ retrogradaion ร่วมกับการแห้งที่อุณหภูมิต่ำทำให้ปริมาณ RDS ต่ำลงสอดคล้องกับปริมาณ SDS และ RS (สตาร์ชที่ทนต่อการย่อย) ที่เพิ่มขึ้น ส่วนข้าว indica ที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำพบการลดลงของ RS และข้าว indica ที่มีปริมาณอะไมโลสสูงพบว่ามีปริมาณ SDS ลดลงและ RS เพิ่มขึ้น ต่อมาในปี 2016 Hung และคณะ ได้ศึกษาถึงผลของปริมาณอะไมโลส และการให้ความร้อนชื้น ได้แก่ heat-moisture treatment (HMT) และ annealing (ANN) ที่มีต่อ *in vitro* digestibility และ *in vivo* glucose tolerance ในหนู โดยใช้ข้าว 5 พันธุ์ที่มีปริมาณอะไมโลสต่างกันคือ 4.7, 21.7, 24.3, 26.7 และ

30.6 เปอร์เซ็นต์ จากผลการทดลองพบว่า สตาร์ชที่สกัดจากข้าวทั้งห้าพันธุ์มีปริมาณ RS 6.3-11.8 เปอร์เซ็นต์ และหลังจากนำสตาร์ชข้าวไปผ่านกระบวนการ HMT (ความชื้น 30 เปอร์เซ็นต์, อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เวลา 8 ชั่วโมง)มีปริมาณ RS เพิ่มขึ้นเป็น 18.5-23.9 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ถ้านำสตาร์ชข้าวไปผ่านกระบวนการ ANN (สตาร์ช : น้ำ เท่ากับ 1 : 1 ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เวลา 24 ชม.) ทำให้มีปริมาณ RS เพิ่มขึ้นเป็น 19.5-26.9 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนั้นยังพบว่า การ HMT และ ANN ทำให้สตาร์ชข้าวมีค่าดัชนีไกลซีมิกลดลง โดยค่าดัชนีไกลซีมิกของสตาร์ชข้าว สตาร์ชข้าวผ่าน HMT และ สตาร์ชข้าวผ่าน ANN มีค่าดัชนีไกลซีมิกลดลงเป็นลำดับเท่ากับ 68.9-100, 61.2-88.9 และ 21.2-43.9 โดยไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะไมโลสกับค่าดัชนีไกลซีมิกแต่พบว่าค่าดัชนีไกลซีมิก มีความสัมพันธ์ในทางตรงข้ามกับปริมาณ RS อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

นอกจากกระบวนการผลิตแล้ว ส่วนผสมอื่นยังพบว่ามีผลต่อค่าดัชนีไกลซีมิกของแป้งข้าวด้วย ทั้งนี้มีรายงานว่าการเกิดสารประกอบเชิงซ้อน starch-lipid ในระหว่างกระบวนการแปรรูป ทำให้ค่า starch digestibility ของข้าวต่ำลงได้ ซึ่งในปี 2015 Sudhair A. James และคณะ จาก the College of Chemical Scienceประเทศศรีลังกา ได้รายงานต่อที่ประชุม The 249th Nation Meeting & Exposition of the American Chemical Society (ACS) ถึงวิธีการหุงข้าวแบบใหม่ที่จะทำให้ลดค่าพลังงานจากการบริโภคได้ 50-60 เปอร์เซ็นต์ ด้วยการเติมน้ำมันมะพร้าว 3 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักข้าวลงในน้ำที่ใช้หุงข้าว ซึ่งในระหว่างการหุงข้าวน้ำมันมะพร้าวจะเข้าไปเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับสตาร์ชทำให้ลดค่า starch digestibility ให้ต่ำลง นอกจากนั้น หลังจากหุงข้าวสุกให้นำข้าวที่หุงสุกแล้วไปแช่ในตู้เย็นอีกเป็นเวลา 12 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดกระบวนการ retrogradation ของสตาร์ชโดยเฉพาะอะไมโลสในข้าวเกิดเป็นสตาร์ชที่ทนทานต่อเอนไซม์ (Resistance starch) เป็นการลดค่า starch digestibility ซึ่งย่อมทำให้ค่าดัชนีน้ำตาลของข้าวมีค่าต่ำลงด้วย (ปานเทพ พัวพงษ์พันธ์, 2558)

การวิเคราะห์ค่าดัชนีไกลซีมิก (GI) ของอาหาร (ลัคนา บริจินดากุล, 2555)

การวัดค่าดัชนีไกลซีมิก สามารถทำได้ 2 วิธีการหลักๆ คือ

วิธี *in vivo* จะใช้ผู้ทดสอบที่สุขภาพร่างกายแข็งแรงซึ่งการทดสอบจะให้ผู้ทดสอบรับประทานอาหารที่ต้องการทดสอบและวัดปริมาณน้ำตาลกลูโคสในเลือด และเปรียบเทียบกับอาหารที่มีค่าดัชนีไกลซีมิกเท่ากับ 100 ได้แก่ ขนมปังขาวหรือน้ำตาลกลูโคส แต่วิธีการนี้ค่อนข้างยุ่งยากและใช้เวลานาน

วิธี *in vitro* ซึ่งเป็นการวัดอัตราการย่อยของแป้งในหลอดทดลอง โดยวิธีการย่อยแป้งด้วยเอนไซม์ **α** – amylase และเอนไซม์ amyloglucosidase อัตราการย่อยแป้งแสดงในรูปของเปอร์เซ็นต์สตาร์ชทั้งหมด (total starch) ที่ถูกย่อยในเวลาต่างกันจากนั้นนำมา เขียนกราฟ hydrolysis เพื่อคำนวณหาพื้นที่ใต้กราฟ (area under curve, AUC) จาก 0- 180 นาที จากนั้นคำนวณหา hydrolysis index (HI) ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่าง AUC ของอาหารและ AUC ของขนมปังขาวที่ใช้เป็นอาหารอ้างอิง แล้วคำนวณค่าดัชนีไกลซีมิก จากค่า HI ที่ได้ ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีไกลซีมิกจะแตกต่างกันไปตามชนิดของอาหาร

จากการศึกษาอัตราการย่อยสตาร์ชของ Mahasukhonthachatetal. (2010) ได้ศึกษาอัตราการย่อยสตาร์ชในเมล็ดข้าวฟ่างโดย ใช้เอนไซม์และจำลองการย่อยในร่างกายมนุษย์และวัดปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่เวลา ต่างๆดังนี้ 0, 10, 20, 30, 45, 90, 120, 150, 180, 210 และ 240 นาที โดยใช้สมการ

G_G = ปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่อ่านได้ (มิลลิโมลต่อลิตร)

0.9 = stoichiometric constant for starch from glucose contents

V = ปริมาตรของน้ำย่อยที่เหลือ (มิลลิลิตร)

S = ปริมาณสตาร์ชของตัวอย่าง (เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง)

M =ปริมาณความชื้นของตัวอย่าง (เปอร์เซ็นต์)

180 = น้ำหนักโมเลกุลของกลูโคส

เพื่อหาอัตราการย่อยแป้ง และนำค่าที่ได้มาทำสมการทำนายค่า โดยใช้สมการ

$$D_1 = D_0 + D (1- \exp (-kt))$$

โดยที่ค่า D_0 = อัตราการย่อยสตาร์ชที่เวลา t = 0

D_a =อัตราการย่อยสตาร์ชที่เวลา t = a

K = อัตราการย่อยต่อนาที

t= เวลา (นาที)

ซึ่งวิธีการนี้จะบอกได้ถึงค่า D_0 ที่เรียกว่า very rapidly digested starch ซึ่งจะเกิดการย่อยอย่างรวดเร็วในช่วงต้น ของการย่อยที่เกิดโดยเอนไซม์แอลฟา-แอมิเลสในปาก ซึ่งในการวิเคราะห์หาอัตราการย่อยจะเกิดขึ้นในช่วงไม่เกิน 1 นาที

ปัจจุบันมีการศึกษาถึงค่าดัชนีไกลซีมิก อาหารจากข้าวหลายชนิดโดย Frei, Siddhuraju and Becker (2003) ได้ศึกษาการย่อยสตาร์ช และค่าดัชนีไกลซีมิก ของข้าว 6 ชนิดได้แก่ Milagrosa Manumbaeay Kutsiyam Kinaures Bagoean และ Karaya พบว่า ข้าวทั้ง 6 ชนิดมีค่า hydrolysis index(HI) ซึ่งคำนวณได้จากสมการ $(AUC_{sample}/AUC_{fresh\ white\ bread}) \times 100$ ของข้าวที่หุงสุกใหม่เท่ากับ 51.40 – 126.60 ส่วนข้าวทั้ง 6 ชนิดที่หุงสุกแล้วนำไปแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดรีโทรเกรเดชันมีค่า HI ลดลงเท่ากับ 43.50 - 85.60 สำหรับค่าดัชนีไกลซีมิก ซึ่งคำนวณได้จากสมการ GI = 39.71 + 0.549HI มีค่าดัชนีไกลซีมิกเท่ากับ 68.00 – 109.20 และจะลดลงขึ้นเมื่อนำข้าวสุกนั้นไปแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง โดยเพิ่มเป็น 63.60 – 86.70

Srikaeo and Sopade (2010) ได้ศึกษาคุณสมบัติและการย่อยสตาร์ชในโจ๊กข้าวหอมมะลิจำนวน 10 ตัวอย่าง พบว่า ค่า HI ซึ่งคำนวณจากสมการ$(AUC_{sample}/AUC_{fresh\ white\ bread}) \times 100$ ของโจ๊กข้าวหอมมะลิจำนวน 10 ตัวอย่างที่มีส่วนผสมของข้าวอื่นๆ ที่แตกต่างกันมีค่า HI เท่ากับ 52.00 – 114.00 และมีค่าดัชนีไกลซีมิกที่แตกต่างกัน เท่ากับ 68.00 - 97.00 ซึ่งคำนวณได้จากสมการ

$$GI = (39.21 + 0.803H_{90}) + (40.03 + 0.558HI)$$ โดย

H_{90} คือ ปริมาณสตาร์ชที่ถูกย่อยในเวลา 90 นาทีที่ได้จากสมการ $D_t = D_0 + D (1- \exp (-kt))$

โดยที่ค่า D_0 = อัตราการย่อยสตาร์ชที่เวลา t = 0

D_a= อัตราการย่อยสตาร์ชที่เวลาt = a

K =อัตราการย่อยต่อนาที

t = เวลา (นาที)

ภคินี อัครเวสสะพงศ์ และคณะ (2557) ได้ศึกษาค่าดัชนีไกลซีมิก ในข้าวกล้องและข้าวกล้องงอก ซึ่งค่าดัชนีไกลซีมิกเป็นค่าบ่งชี้คุณภาพของคาร์โบไฮเดรต โดยวัดจากการถูกย่อยและดูดซึมในร่างกายมนุษย์ทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดเพิ่มขึ้น ในช่วงเวลา 2 ชั่วโมง โดยเปรียบเทียบกับปริมาณคาร์โบไฮเดรตมาตรฐาน และได้มีการแบ่งอาหารตามค่าดัชนีไกลซีมิก ได้เป็น 3 ชนิดคือ ค่าดัชนีไกลซีมิกสูง (ค่าดัชนีไกลซีมิก ≥70) ค่าดัชนีไกลซีมิกปานกลาง (ค่าดัชนีไกลซีมิก = 56-69) และค่าดัชนีไกลซีมิกต่ำ (ค่าดัชนีไกลซีมิก ≤55) การบริโภคอาหารที่มีค่าดัชนีไกลซีมิกต่ำอย่างสม่ำเสมอ สามารถลดความเสี่ยงของโรคอ้วน มะเร็งลำไส้และมะเร็งบริเวณทรวงอกได้การศึกษาครั้งนี้ ใช้ข้าวกล้องงอก 3 พันธุ์ได้แก่ ขาวดอกมะลิ 105 กข6 สังข์หยดพัทลุง และข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุง ทำการศึกษาในผู้ป่วยโรคเบาหวานชนิดที่ 2 จำนวน 11 คน โดยการเจาะเลือดกลุ่มตัวอย่างเปรียบเทียบค่าระดับน้ำตาลและอินซูลินในเลือดเฉลี่ยระหว่างเวลา 0, 30, 60, 120, 180 และ 240 นาที หลังจากนั้นนำมาสร้างกราฟเพื่อหาพื้นที่ใต้กราฟ แล้วนำมาคำนวณหาค่าดัชนีไกลซีมิก และหาค่าดัชนีอินซูลิน (II) เพื่อใช้ยืนยันความถูกต้องของค่าจากการศึกษาพบว่าข้าวกล้องงอกขาวดอกมะลิ 105 กข6 สังข์หยด และ ข้าวกล้องสังข์หยดมีค่าดัชนีไกลซีมิกเท่ากับ 66.0, 71.4, 65.4 และ 64.0 และค่า II เท่ากับ 95.2, 99.8, 87.4 และ 80.9 ตามลำดับ จากผลที่ได้กล่าวได้ว่าปริมาณอะไมโลส เยื่อใยอาหาร และคาร์โบไฮเดรต ในตัวอย่างอาหารมีผลต่อค่าดัชนีไกลซีมิกของอาหารชนิดนั้นๆ

ธัญสินี โพธิ์ภิรมย์ (2557) ได้ศึกษาการลดค่าดัชนีไกลซีมิกในขนมไทยพบว่าค่าดัชนีไกลซีมิกของอาหารขึ้นอยู่กับอัตราการย่อยสตาร์ชซึ่งหากสตาร์ชในผลิตภัณฑ์ย่อยได้เร็วก็จะทำให้อาหารนั้นมีค่าดัชนีไกลซีมิกสูง ปัจจัยต่างๆ เช่นกระบวนการแปรรูปอาหาร การปรุงส่วนประกอบอื่นๆ ที่มีอยู่ เช่น ไขมัน โปรตีนใยอาหาร สัดส่วนและชนิดของน้ำตาลชนิดแป้งรวมถึงโครงสร้างของสตาร์ชล้วนแต่ส่งผลให้ค่าดัชนีไกลซีมิก ของอาหารแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันไป

Rattanamechaiskul, Soponronnarit and Prachayawarakorn (2014) ได้ศึกษาค่าดัชนีไกลซีมิกของข้าวกล้องจากกระบวนการทำแห้งที่แตกต่างกัน พบว่า ข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 ข้าวขาวดอกมะลิ 105 และ กข31 เมื่อนำไปปรับให้มีความชื้นเป็น 33 - 43 เปอร์เซ็นต์ แล้วนำไปทำแห้งด้วยวิธี fluidized bed โดยใช้อากาศร้อน อากาศชื้น และไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่อุณหภูมิ 130 และ 150 องศาเซลเซียส โดยเปรียบเทียบกับการทำแห้งโดยการตากในที่ร่ม พบว่า มีค่า HI ซึ่งคำนวณได้จากสมการ $(AUC_{sample}/AUC_{fresh\ white\ bread}) \times 100$ เท่ากับ 31.40 – 64.60 และมีค่าดัชนีไกลซีมิก ซึ่งคำนวณได้จาก GI = 39.71 + 0.549HI เท่ากับ 57.00 – 75.20 ทั้งนี้ชนิดของข้าวและกระบวนการทำแห้งมีผลต่อค่าดัชนีไกลซีมิก และ HI ของข้าว

บทที่ 2
วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 ศึกษาผลของชนิดของข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสแตกต่างกันต่อค่าดัชนีไกลซีมิกคุณลักษณะทางกายภาพ คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของข้าวหุงสุกเร็ว

2.1.1 การหาปริมาณอะไมโลส

นำข้าวขาวดอกมะลิ 105 ข้าวขาวตาแห้ง และข้าวเหลืองประทิวมาหาปริมาณอะไมโลสตามวิธีของกรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2545)

2.1.2 การเตรียมข้าวหุงสุกเร็ว

นำข้าวขาวดอกมะลิ 105 ข้าวขาวตาแห้ง และข้าวเหลืองประทิวน้ำหนัก 250 กรัมมาแช่น้ำในอัตราส่วน 1 : 2 เป็นเวลา 90 นาที แล้วนำไปหุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้าจนสุก โดยใช้ปริมาณน้ำตามคำแนะนำในการหุงของบริษัทผู้ผลิตข้าว และเติมน้ำมันมะพร้าวปริมาณ 3% ของน้ำหนักข้าวลงในน้ำที่ใช้หุงข้าว เมื่อหุงสุกแล้วนำข้าวสุกพักไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วใส่ลงในภาชนะพลาสติกที่มีฝาปิด นำไปแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นนำข้าวที่ได้มาใส่ในถาดอะลูมิเนียมโดยเรียงเมล็ดข้าวสุกไม่ให้ติดกัน แล้วนำไปทำแห้งในตู้อบลมร้อนแบบถาด (tray dryer) ที่อุณหภูมิ 90 $\pm$ 5 °C โดยให้ข้าวแต่ละชนิดมีค่าความชื้นไม่เกิน 14%

2.1.3 การคืนรูปข้าวหุงสุกเร็ว

นำน้ำเดือด (อุณหภูมิ 100 °C) มาเทใส่ในข้าวหุงสุกเร็วอัตราส่วนน้ำ : ข้าว เท่ากับ 1.5 : 1 (โดยน้ำหนัก) จากนั้นปิดฝา ทิ้งไว้ประมาณ 5 นาที จะได้ข้าวหุงสุกเร็วคืนรูป

2.1.4 การวิเคราะห์ค่าดัชนีไกลซีมิก

วิเคราะห์ค่าดัชนีไกลซีมิก

นำข้าวหุงสุกเร็วที่ผ่านการคืนรูปมาวิเคราะห์หาปริมาณสตาร์ชทั้งหมดตามวิธีของ Lee, Thuan, Noor, and Rajeev (2015) โดยนำตัวอย่างมาย่อยด้วยเอนไซม์อะไมโลกลูโคซิเดสนาน 45 นาที จากนั้นนำไปหาปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่ได้จากการย่อยสตาร์ชทั้งหมดด้วยวิธี GOPOD ตามวิธีของบริษัท Megazyme โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร คำนวณหาปริมาณกลูโคสจากสมการ

$$\text{D-Glucose } (\mu g/0.1 \text{ mL}) = (Abs_{Sample} / Abs_{Glucose\ standard\ (100\ \mu g)}) \times 100$$

เมื่อได้ค่าปริมาณกลูโคสแล้ว นำมาคำนวณหาปริมาณสตาร์ชทั้งหมดโดยสมการ

$$\text{Total starch} = \text{D-Glucose} \times 0.9$$

จากนั้นทำการวิเคราะห์หาค่าดัชนีไกลซีมิกตามวิธีของ Goni (1997) โดยนำข้าวหุงสุกเร็วมาย่อยด้วยเอนไซม์เปบซิน และเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส เป็นเวลา 180 นาที โดยวิเคราะห์ปริมาณกลูโคสที่ได้จากการย่อยสตาร์ชทุก ๆ 30 นาที ด้วยวิธี GOPOD โดย นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร คำนวณหาปริมาณกลูโคสจากสมการ

$$\text{D-Glucose } (\mu g/0.1 \text{ mL}) = (Abs_{Sample} / Abs_{Glucose\ standard\ (100\ \mu g)}) \times 100$$

เมื่อได้ค่าปริมาณกลูโคสแล้ว นำมาคำนวณหาปริมาณสตาร์ชโดยสมการ

$$\text{Starch} = \text{D-Glucose} \times 0.9$$

นำค่าสตาร์ช และปริมาณสตาร์ชทั้งหมดที่ได้ไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์อัตราการย่อยสตาร์ช (Starch hydrolysis rate) ดังสมการ

$$\text{Starch hydrolysis rate (\%)} = (\text{Starch}/\text{ Total starch}) \times 100$$

จากนั้นนำข้อมูลอัตราการย่อยสตาร์ชที่เวลา 0, 30, 60, 90, 120, 150 และ180 นาที มาสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอัตราการย่อยสตาร์ช และหาพื้นที่ใต้กราฟ (Area Under Curve; AUC) เพื่อคำนวณค่าดัชนีการย่อย (Hydrolysis index ; HI) โดยใช้ขนมปังขาวที่ขายทางการค้าเป็นตัวอย่างอ้างอิง ดังสมการ

$$HI = (AUC_{sample}/AUC_{reference}) \times 100$$

และนำไปคำนวณค่าดัชนีไกลซีมิกจากสมการ

$$GI = 39.71 + 0.549HI$$

2.1.5 การวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพ

นำข้าวหุงสุกเร็วที่ได้มาวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพดังนี้

2.1.5.1 ค่าสี นำตัวอย่างข้าวหุงสุกเร็วก่อนและหลังการคืนรูปมาวิเคราะห์ค่าสีด้วยเครื่องวัดสี Hunter Lab รายงานค่าเป็นค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*)

2.1.5.2 ค่า Hardness และ Stickiness โดยใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัส Texture analyzer รุ่น TA-XT2 โดยคัดเลือกเมล็ดข้าวหุงสุกเร็วที่ผ่านการคืนรูปแล้วมา 9 เมล็ด วางเป็น 3 แถว กดลงไปบนตัวอย่าง 90% ของความสูง โดยใช้หัววัดทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 36 mm ให้หัววัดเคลื่อนที่ลงมาในครั้งแรกด้วยอัตราเร็ว 0.5 มิลลิเมตร/วินาที และเคลื่อนที่ลงมาอีกครั้งในอัตราเร็ว 10.0 มิลลิเมตร/วินาที โดยค่าแรงกดในครั้งแรกและครั้งหลังจะแสดงถึงค่า Hardness และค่า Stickiness ตามลำดับ ทำซ้ำ 3 ครั้ง ในแต่ละตัวอย่าง

2.1.6 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

นำข้าวหุงสุกเร็วมาคืนรูปแล้วนำมาทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยวิธีการทดสอบความชอบด้วยวิธี 9-Point Hedonic

2.1.7 การวางแผนการรทดลองและการวิเคราะห์ทางสถิติ

ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (Analysis of Variane, ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan’s New Multiple Range Test

การประเมินทางด้านประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบบลอคสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Randomized Completely Block Design, RCBD) วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (Analysis

of Variane, ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

พิจารณาชนิดของข้าวที่ทำให้ข้าวหุงสุกเร็วมีคะแนนความชอบโดยรวม 6 คะแนนขึ้นไปและมีค่าดัชนีไกลซีมิกต่ำที่สุดเพื่อนำไปใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

2.2 ศึกษาผลของชนิดของน้ำมันที่มีผลต่อค่าดัชนีไกลซีมิก คุณลักษณะทางกายภาพ และคุณค่าทางโภชนาการของข้าวหุงสุกเร็ว

2.2.1 การเตรียมข้าวหุงสุกเร็ว

เตรียมข้าวหุงสุกเร็ว โดยใช้ข้าวที่ได้จากการคัดเลือกในข้อที่ 1 โดยแปรชนิดของน้ำมันเป็น 3 ชนิด ได้แก่ น้ำมันมะพร้าว น้ำมันรำขาว และน้ำมันมะกอก เมื่อเตรียมเสร็จแล้วนำข้าวหุงสุกเร็วไปคืนรูปและเก็บไว้ในกล่องพลาสติกที่ปิดสนิท

2.2.2 การวิเคราะห์ค่าดัชนีไกลซีมิก

นำข้าวหุงสุกเร็วที่ผ่านการคืนรูปมาวิเคราะห์ค่าดัชนีไกลซีมิกตามวิธีของ Lee, Thuan, Noor, and Rajeev (2015) และ Goni (1997) ตามวิธีที่ระบุในข้อที่ 1.4

2.2.3 การวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพ

นำข้าวหุงสุกเร็วที่ได้มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพดังนี้

2.2.3.1 ค่าสี นำตัวอย่างข้าวหุงสุกเร็วก่อนและหลังการคืนรูปมาวิเคราะห์ค่าสีตามวิธีที่ระบุในข้อที่ 2.1.5.1

2.2.3.2 ค่า Hardness และ Stickiness โดยใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัส Texture analyzer รุ่น TA-XT2 ตามวิธีที่ระบุในข้อที่ 2.1.5.2

2.2.4 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

นำข้าวหุงสุกเร็วมาคืนรูปแล้วนำมาทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยวิธีการทดสอบความชอบด้วยวิธี 9-Point Hedonic

2.2.5 การวางแผนการทดลองและการวิเคราะห์ทางสถิติ

ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (Analysis of Variane, ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

การประเมินทางด้านประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบบลอคสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Randomized Completely Block Design, RCBD) วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (Analysis of Variane, ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

พิจารณาเลือกชนิดของน้ำมันที่เหมาะสมที่ทำให้ข้าวหุงสุกเร็วมีคะแนนความชอบโดยรวม 6 คะแนนขึ้นไปและมีค่าดัชนีไกลซีมิกต่ำที่สุด

2.3 เปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมี และค่าดัชนีไกลซีมิกของข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตได้ กับข้าวสุกที่เตรียมด้วยวิธีการหุงแบบปกติ

2.3.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ

นำข้าวหุงสุกเร็วที่คัดเลือกจากข้อ 2 มาคืนรูป แล้วมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณโปรตีน ปริมาณไขมัน ปริมาณเถ้า และปริมาณคาร์โบไฮเดรต (AOAC, 2000) เทียบกับข้าวพันธุ์เดียวกับข้าวที่ใช้เตรียมข้าวกึ่งสำเร็จรูป แต่นำมาหุงสุกด้วยวิธีปกติ ซึ่งไม่มีการเติมน้ำมันพืชในระหว่างการหุงและไม่ผ่านกระบวนการแช่เย็นและทำแห้งแบบข้าวกึ่งสำเร็จรูป

2.3.2 การวิเคราะห์ค่าดัชนีไกลซีมิก

นำข้าวหุงสุกเร็วที่ผ่านการคืนรูปมาวิเคราะห์ค่าดัชนีไกลซีมิกตามวิธีของ Lee, Thuan, Noor, and Rajeev (2015) และ Goni (1997) ตามวิธีที่ระบุในข้อที่ 1.4 เทียบกับข้าวพันธุ์เดียวกับข้าวที่ใช้เตรียมข้าวกึ่งสำเร็จรูป แต่นำมาหุงสุกด้วยวิธีปกติ ซึ่งไม่มีการเติมน้ำมันพืชในระหว่างการหุงและไม่ผ่านกระบวนการแช่เย็นและทำแห้งแบบข้าวกึ่งสำเร็จรูป

ทำการทดลอง 2 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (Analysis of Variane, ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี T-test

บทที่ 3
ผลการวิจัยและวิจารณ์

3.1 ผลของชนิดของพันธุ์ข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสแตกต่างกันต่อค่าดัชนีไกลซีมิก คุณลักษณะทางกายภาพ คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของข้าวกึ่งสำเร็จรูป

3.1.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลส

จากการวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลสของข้าวหอมมะลิ ข้าวขาวตาแห้ง และข้าวเหลืองประทิว แสดงผลดังตารางที่ 3-1 ผลการทดลองพบว่าข้าวเหลืองประทิวมีปริมาณอะไมโลสมากที่สุด รองลงมาคือข้าวขาวตาแห้ง และข้าวหอมมะลิ ตามลำดับ ($p<0.05$) ข้าวเหลืองประทิวเป็นข้าวที่มีปริมาณอะไมโลส 26.53 เปอร์เซ็นต์ จัดอยู่ในกลุ่มที่มีอะไมโลสสูง (มากกว่า 25 เปอร์เซ็นต์) ทำให้เนื้อสัมผัสหลังการหุงต้มมีความร่วนแข็ง ข้าวขาวตาแห้งเป็นข้าวที่มีปริมาณอะไมโลส 21.11 เปอร์เซ็นต์ อยู่ในกลุ่มที่มีอะไมโลส ปานกลาง (20-25 เปอร์เซ็นต์) มีเนื้อสัมผัสหลังผ่านการหุงต้มร่วนนุ่ม (สุนทร สีหะเนิน, 2556) ส่วนข้าวหอมมะลิเป็นข้าวที่มีปริมาณอะไมโลส 11.84 เปอร์เซ็นต์ จัดอยู่ในกลุ่มที่มีอะไมโลสต่ำ (10-19 เปอร์เซ็นต์) จึงทำให้มีเนื้อสัมผัสหลังการหุงต้มอ่อนนุ่มกว่าข้าวชนิดอื่น (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2550)

ตารางที่ 3-1 ปริมาณอะไมโลสของข้าว 3 พันธุ์

พันธุ์ของข้าว	ปริมาณอะไมโลส (เปอร์เซ็นต์)
ข้าวหอมมะลิ	$11.84^{c} \pm 0.08$
ข้าวขาวตาแห้ง	$21.11^{b} \pm 0.07$
ข้าวเหลืองประทิว	$26.53^{a} \pm 0.07$

$^{a,b \ldots}$ หมายถึง ตัวเลขที่มีอักษรกำกับมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

เตรียมข้าวกึ่งสำเร็จรูปจากข้าวหอมมะลิ ข้าวขาวตาแห้ง และข้าวเหลืองประทิว นำข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ได้มาคืนรูปแล้ววิเคราะห์ค่าดัชนีไกลซีมิก วิเคราะห์ค่าสี วิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส และการประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสได้ผลดังนี้

3.1.2 ผลการวิเคราะห์ค่าดัชนีไกลซีมิก

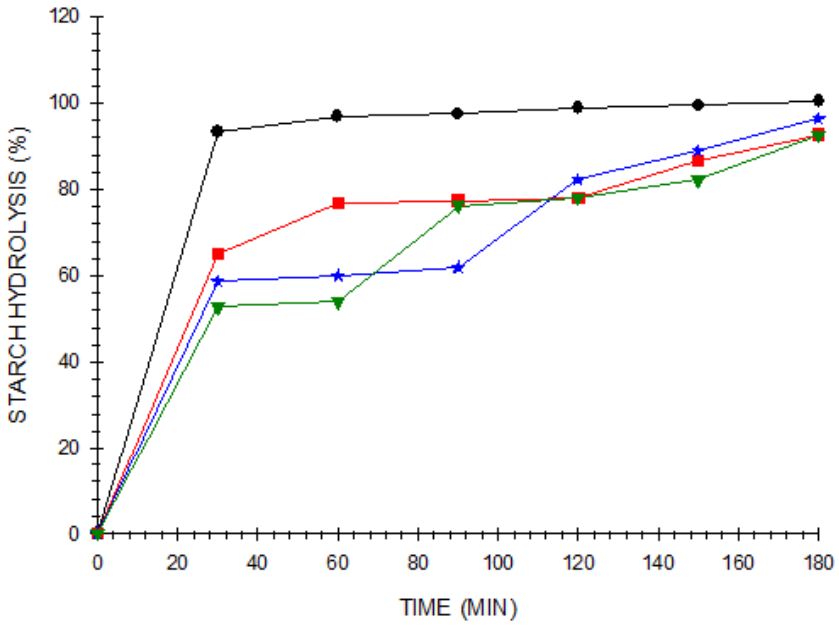
จากผลการวิเคราะห์การย่อยสตาร์ช (in vitro starch digestibility) ของข้าวกึ่งสำเร็จรูปจากข้าวหอมมะลิ ข้าวขาวตาแห้ง และข้าวเหลืองประทิว โดยใช้ขนมปังขาวเป็นตัวอย่างอ้างอิง ซึ่งผลการวิเคราะห์การย่อยสตาร์ช (in vitro starch digestibility) แสดงอยู่ในรูปของอัตราการย่อยสตาร์ช (Starch hydrolysis rate) ที่ใช้บ่งชี้อัตราการย่อยสตาร์ชในช่วงเวลา 0-180 นาที จากภาพ 4-1

พบว่าหลังจากการย่อยด้วยเอนไซม์ ตัวอย่างขนมปังขาวมีอัตราการย่อยสตาร์ชสูงสุดที่เวลา 60 นาที และคงที่ในเวลาต่อมา ส่วนข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวทั้ง 3 ชนิด มีอัตราการย่อยสตาร์ชสูงสุดที่เวลา 180 นาที จากตาราง 3-2 ค่าดัชนีการย่อย (Hydrolysis index ; HI) ของข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่วิเคราะห์ได้จากงานวิจัยนี้มีค่า 64.98 – 80.85 สอดคล้องกับผลิตภัณฑ์จากข้าวที่มีการศึกษามาก่อนหน้านี้ โดย Frei et al. (2003) รายงานว่าเมื่อนำข้าว 6 พันธุ์ ได้แก่ Milagrosa Manumbaeay Kutsiyam Kinaures Bagoean และ Karaya ซึ่งมีปริมาณ อะไมโลสเท่ากับ 26.90 29.90 18.70 9.80 0 และ 0 ตามลำดับ มาหาค่า HI พบว่า มีค่า HI ของข้าวทั้ง 6 ชนิดที่หุงสุกใหม่เท่ากับ 51.40 – 126.60 โดยข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูงจะมีค่า HI ต่ำกว่าข้าวที่มีอะไมโลสต่ำ เมื่อนำข้าวทั้ง 6 ชนิดที่หุงสุกแล้วนำไปแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้เกิด รีโทรเกรเดชันมีค่า HI เท่ากับ 43.50 - 85.60 และ Srikaeo & Sopade (2010) ได้รายงานว่า ค่า HI ของโจ๊กข้าวหอมมะลิจำนวน 10 ตัวอย่างที่มีส่วนผสมของชนิดข้าวอื่นๆที่แตกต่างกันมีค่า HI เท่ากับ 52.00 – 114.00

เมื่อพิจารณาค่าดัชนีไกลซีมิก (Glycemic index) ซึ่งเป็นค่าที่บ่งชี้คุณภาพของคาร์โบไฮเดรต โดยวัดจากการถูกย่อยและดูดซึมในร่างกายมนุษย์ทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดเพิ่มขึ้นในช่วงเวลา 2 ชั่วโมง จากผลการทดลองในตาราง 4-2 พบว่าค่าดัชนีไกลซีมิกที่วิเคราะห์ได้จากข้าวกึ่งสำเร็จรูปมีค่าอยู่ระหว่าง 75.38 – 84.09 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าดัชนีไกลซีมิกที่วิเคราะห์ได้จากผลิตภัณฑ์อาหารจากข้าวชนิดต่าง ๆ โดย Frei et al. (2003) รายงานว่าข้าว 6 พันธุ์ ซึ่งมีปริมาณอะไมโลส 0 – 29.90 ที่หุงสุกใหม่มีค่าดัชนีไกลซีมิกเท่ากับ 68.00 – 109.20 โดยข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูงจะมีค่าดัชนีไกลซีมิกต่ำกว่าข้าวที่มีปริมาณะไมโลสต่ำ และจะลดลงเมื่อนำข้าวสุกนั้นไปแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง โดยลดลงเป็น 63.60 – 86.70 Srikaeo และ Sopade (2010) ได้รายงานว่าค่าดัชนีไกลซีมิกของโจ๊กข้าวหอมมะลิจำนวน 10 ตัวอย่างที่มีส่วนผสมอื่น ๆ ที่แตกต่างกัน มีค่าเท่ากับ 68.00 - 97.00 ธัญสินี โพธิ์ภิรมย์ (2557) รายงานว่าค่าดัชนีไกลซีมิกของอาหารขึ้นอยู่กับอัตราการย่อยสตาร์ช ซึ่งหากสตาร์ชในผลิตภัณฑ์ย่อยได้เร็ว จะทำให้อาหารนั้นมีค่าดัชนีไกลซีมิกสูง ปัจจัยต่างๆ เช่น กระบวนการแปรรูปอาหาร การปรุงส่วนประกอบอื่นๆ ที่มีอยู่ เช่น ไขมัน โปรตีน ใยอาหาร สัดส่วนและชนิดของน้ำตาลชนิดแป้งรวมถึงโครงสร้างของสตาร์ช ล้วนแต่ส่งผลให้ค่าดัชนีไกลซีมิกของอาหารแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันไป

จากการศึกษาผลของชนิดของข้าวที่มีต่อค่าดัชนีไกลซีมิก พบว่าค่าดัชนีไกลซีมิกของข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวหอมมะลิมีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวขาวตาแห้ง และข้าวเหลืองประทิวมีค่าต่ำที่สุด จากข้อมูลการวิจัยก่อนหน้านี้มีรายงานว่าข้าวหอมมะลิ มีค่าดัชนีไกลซีมิกเท่ากับ 100 (ปานเทพ พัวพงษ์พันธ์, 2548) ข้าวขาวตาแห้ง มีค่าดัชนีไกลซีมิกเท่ากับ 87 และข้าวเหลืองประทิว มีค่าดัชนีไกลซีมิกเท่ากับ 72 – 75 **(**ลัคนา บริจินดากุล, 2555**)** สำหรับค่าดัชนีไกลซีมิกของข้าวแต่ละชนิดที่แตกต่างกัน เนื่องมาจากปริมาณอะไมโลสของข้าวแต่ละชนิด ข้าวหอมมะลิมีปริมาณอะไมโลสต่ำ เท่ากับ 11.84 เปอร์เซ็นต์ ข้าวขาวตาแห้งมีปริมาณอะไมโลส 21.11 เปอร์เซ็นต์ และข้าวเหลืองประทิวมีปริมาณอะไมโลส 26.53 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งพันธุ์ข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำจะมีอัตราการย่อยที่สูง จึงส่งผลให้มีค่าดัชนีไกลซีมิกที่สูงกว่าข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูงนั่นเอง

นอกจากนี้ปริมาณอะไมโลสจะมีผลต่อค่าดัชนีไกลซีมิกของข้าวกึ่งสำเร็จรูปจะสังเกตเห็นว่าค่าดัชนีไกลซีมิกของข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่วิเคราะห์ได้มีค่า 75.38 - 84.09 ซึ่งมีค่าค่อนข้างต่ำกว่าค่าดัชนีไกลซีมิกของข้าวและผลิตภัณฑ์จากรายงานก่อนหน้านี้ 68.00 – 109.20 (Frei et al., 2003; Srikaeo & Sopade (2010)) ทั้งนี้เนื่องจากกระบวนการเตรียมข้าวกึ่งสำเร็จรูปในงานวิจัยนี้มีการนำข้าวไปหุงโดยกับน้ำมันมะพร้าว ซึ่งเป็นการทำให้สตาร์ชในข้าวจับตัวกับลิพิดในน้ำมันมะพร้าวกลายเป็นโครงสร้างเชิงซ้อนระหว่างสตาร์ช-ลิพิด (starch-lipid complex) ซึ่งเป็นโครงสร้างที่ย่อยยากขึ้น (ปานเทพ พัวพงษ์พันธ์, 2548) นอกจากนั้นหลังจากการหุงข้าวมีการนำข้าวสุกไปแช่ตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ซึ่งเป็นการทำให้สตาร์ชในข้าวเกิดรีโทรเกรเดชั่นกลายเป็นสตาร์ชที่ต้านทานการย่อย (resistant starch, RS) ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้ค่าดัชนีไกลซีมิกของข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ได้มีค่าต่ำกว่าค่าดัชนีไกลซีมิกที่มีการรายงานก่อนหน้านี้ อย่างไรก็ตามเพื่อเป็นการพิสูจน์ข้อเท็จจริงเกี่ยวกับการเกิดโครงสร้างเชิงซ้อนระหว่างสตาร์ช-ลิพิด (starch-lipid complex) และสตาร์ชที่ต้านทานการย่อย (resistant starch, RS) อาจจะต้องวิเคราะห์ด้วยเครื่อง differential scanning colorimeter (DSC) และ x-ray diffraction (XRD) ต่อไป



ภาพที่ 3-1 ค่าอัตราการย่อยแป้งที่เวลา 0 – 180 นาทีของตัวอย่างขนมปังขาว (—●—) ข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวหอมมะลิ (—■—) ข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวขาวตาแห้ง (—★—) ข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวเหลืองประทิว (—▼—)

ตารางที่ 3-2 ค่าดัชนีการย่อยและค่าดัชนีไกลซีมิกของข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าว 3 พันธุ์

พันธุ์ของข้าว	ค่าดัชนีการย่อย (HI)	ค่าดัชนีไกลซีมิก(GI)
ข้าวหอมมะลิ	80.85^{a}±0.78	84.09^{a}±0.43
ข้าวขาวตาแห้ง	70.59^{b}±0.32	78.45^{b}±0.17
ข้าวเหลืองประทิว	64.98^{c}±0.02	75.38^{c}±0.01

$^{a,b\ldots}$ หมายถึง ตัวเลขที่มีอักษรกำกับมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

3.1.3 ผลการวิเคราะห์ค่าสีของข้าวกึ่งสำเร็จรูปก่อนและหลังการคืนรูปจากข้าว 3 พันธุ์

จากภาพที่ 3-2 จะเห็นได้ว่าข้าวกึ่งสำเร็จรูปก่อนการคืนรูปที่ทำจากข้าวหอมมะลิ มีสีขาวเหลือง เนื่องจากข้าวหอมมะลิ เป็นข้าวที่มีเมล็ดสีขาวใส (มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, (ม.ป.ป.)) ประกอบกับเมื่อนำมาผ่านการหุงร่วมกับน้ำมันมะพร้าวก็ส่งผลให้มีสีเหลืองเกิดขึ้น ส่วนข้าวกึ่งสำเร็จรูปก่อนการคืนรูปที่ทำจากข้าวขาวตาแห้ง มีสีขาวครีม เนื่องจากข้าวขาวตาแห้งเป็นข้าวที่มีเมล็ดสีขาวขุ่น (สุนทร สีหะเนิน, 2556) ส่วนสีเหลืองที่พบก็เนื่องมาจากการนำไปหุงร่วมกับน้ำมันมะพร้าว และข้าวกึ่งสำเร็จรูปการคืนรูปที่ทำจากข้าวเหลืองประทิว มีสีขาวเหลืองแต่จะเข้มกว่าเข้มกว่าข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวหอมมะลิเนื่องจากว่าข้าวเหลืองประทิวเป็นพันธุ์ที่สีของเมล็ดค่อนข้างเหลือง (สุนทร สีหะเนิน, 2556) เมื่อนำมาหุงร่วมกับน้ำมันมะพร้าว จึงทำให้มีสีเหลืองเพิ่มขึ้น

(a) (b) (c)

ภาพที่ 3-2 ข้าวกึ่งสำเร็จรูปก่อนการคืนรูปจากข้าวหอมมะลิ (a) ข้าวขาวตาแห้ง (b) และข้าวเหลืองประทิว (c)

จากตารางที่ 3-3 แสดงให้เห็นว่าข้าวกึ่งสำเร็จรูปก่อนการคืนรูปที่ทำจากข้าวหอมมะลิ มีค่า L* สูงกว่าข้าวขาวตาแห้งและข้าวเหลืองประทิวที่มีค่า L* ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) และจากการวัดค่า a* พบว่าข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวเหลืองประทิว มีค่า a* เป็นบวกเท่ากับ 0.80 แสดงว่ามีความเป็นสีแดง ส่วนข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวชนิดอื่นๆ มีค่า a* เป็นลบอยู่ระหว่าง (-0.19) – (-1.32) แสดงว่ามีความเป็นสีเขียว โดยข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวขาวตาแห้ง

มีค่า a* สูงสุด รองลงมาคือข้าวเหลืองประทิว และข้าวหอมมะลิ ตามลำดับ ส่วนค่า b* พบว่าข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวเหลืองประทิวมีค่า b* สูงสุด ไม่แตกต่างกับข้าวกึ่งสำเร็วรูปที่ทำจากข้าวหอมมะลิ ส่วนข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวขาวตาแห้ง มีค่า b* ต่ำที่สุด จากผลการวัดค่าสีแสดงให้เห็นว่าชนิดของข้าวที่ใช้ในการทำข้าวกึ่งสำเร็จรูปมีผลต่อค่า L* a* และ b* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยจะเห็นว่าข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวหอมมะลิมีค่า L* สูงที่สุด ค่า a* เป็นลบ และค่า b* เป็นบวก ซึ่งสอดคล้องกับภาพที่ 3-1 ที่จะเห็นได้ว่าข้าวกึ่งสำเร็จ รูปที่ทำจากข้าวหอมมะลิ และข้าวขาวตาแห้ง มีสีขาวเหลือง และสีขาวครีม ตามลำดับ เนื่องจากข้าวทั้งสองชนิดเป็นพันธุ์ข้าวที่มีเมล็ดสีขาว (สุนทร สีหะเนิน, 2556) ดังนั้นเมื่อนำมาทำเป็นข้าวกึ่งสำเร็จรูปโดยหุงร่วมกับน้ำมันมะพร้าวจึงได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสีขาวเหลือง และสีขาวครีม ตามลำดับ ส่วนข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวเหลืองประทิว มีจะสีออกเหลืองมากที่สุด โดยมีค่า b* สูงที่สุด เนื่องจากข้าวเหลืองประทิว เป็นข้าวที่มีเมล็ดค่อนข้างเหลือง ซึ่งเป็นลักษณะประจำของข้าวชนิดนี้ (สุนทร สีหะเนิน, 2556) ดังนั้นเมื่อนำมาทำเป็นข้าวกึ่งสำเร็จรูปโดยหุงร่วมกับน้ำมันมะพร้าว จึงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีสีเหลืองมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ทำจากข้าวชนิดอื่น

ตารางที่ 3-3 ค่าสีของข้าวกึ่งสำเร็จรูปจากข้าว 3 พันธุ์ ก่อนการคืนรูป

พันธุ์ของข้าว	ค่า L*	ค่า a*	ค่า b*
ข้าวหอมมะลิ	$69.43^{a} \pm 0.15$	$-0.19^{c} \pm 0.12$	$21.31^{a} \pm 1.01$
ข้าวขาวตาแห้ง	$68.74^{b} \pm 0.38$	$-1.32^{a} \pm 0.08$	$15.38^{b} \pm 0.83$
ข้าวเหลืองประทิว	$68.49^{b} \pm 0.26$	$0.80^{b} \pm 0.43$	$22.53^{a} \pm 1.01$

$^{a,b \ldots}$ หมายถึง ตัวเลขที่มีอักษรกำกับมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

เมื่อนำข้าวกึ่งสำเร็จรูปไปผ่านการคืนรูปโดยการเติมน้ำเดือด อัตราส่วนข้าวต่อน้ำ เท่ากับ 1:1.5 แล้วทิ้งไว้ให้คืนรูป 5 นาที ได้ข้าวกึ่งสำเร็จรูปหลังการคืนรูป ดังภาพที่ 3-3 จะเห็นได้ว่าข้าวกึ่งสำเร็จรูปหลังการคืนรูปที่ทำจากข้าวหอมมะลิ มีสีขาวเหลือง ข้าวกึ่งสำเร็จรูปหลังการคืนรูปที่ทำจากข้าวขาวตาแห้งมีสีขาวครีม และข้าวกึ่งสำเร็จรูปหลังการคืนรูปที่ทำจากข้าวเหลืองประทิว มีสีขาวเหลืองแต่จะเข้มกว่าข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวหอมมะลิ ซึ่งมีสีใกล้เคียงกับข้าวกึ่งสำเร็จรูปก่อนการคืนรูปที่ทำจากข้าวทั้ง 3 ชนิด

(a) (b) (c)

ภาพที่ 3-3 ข้าวกึ่งสำเร็จรูปหลังการคืนรูปจากข้าวหอมมะลิ (a) ข้าวขาวตาแห้ง (b) และข้าวเหลืองประทิว (c)

จากตารางที่ 3-4 แสดงให้เห็นว่าข้าวกึ่งสำเร็จรูปหลังการคืนรูปที่ทำจากข้าวทั้ง 3 ชนิด มีค่า L* ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) จากการวัดค่า a* พบว่าข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวขาวตาแห้ง และข้าวหอมมะลิ มีค่า a* เป็นลบ โดยข้าวขาวตาแห้งมีค่า a* สูงสุด รองลงมาคือข้าวหอมมะลิ ส่วนข้าวเหลืองประทิว มีค่า a* เป็นบวก แสดงถึงความเป็นสีแดง โดยหลังจากการคืนรูปข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวเหลืองประทิว มีค่า a* เป็นบวกและมีค่าต่ำสุด ส่วนค่า b* พบว่าข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวเหลืองประทิวมีค่า b* สูงสุด รองลงมาคือข้าวหอมมะลิ และข้าวขาวตาแห้ง ตามลำดับ จากผลการวัดค่าสีแสดงให้เห็นว่าชนิดของข้าวที่ใช้ในการทำข้าวกึ่งสำเร็จรูปมีผลต่อค่า L* a* และ b* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยจะเห็นว่าข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวหอมมะลิ และข้าวขาวตาแห้ง มีค่า a* เป็นลบ และค่า b* ที่ต่ำ ซึ่งสอด คล้องกับภาพที่ 3-3 ที่จะเห็นได้ว่าข้าวกึ่งสำเร็จรูปจากข้าวหอมมะลิและข้าวขาวตาแห้ง มีสีขาวเหลือง ส่วนข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวเหลืองประทิวหลังการคืนรูป มีสีขาวเหลืองเข้มกว่าข้าวกึ่งสำเร็จรูปจากข้าวหอมมะลิและข้าวขาวตาแห้ง ซึ่งทำให้มีค่า b* สูงกว่าข้าวกึ่งสำเร็จรูปจากข้าวหอมมะลิและข้าวขาวตาแห้ง เนื่องจากข้าวเหลืองประทิวมีเมล็ดขาวสีค่อนข้าวเหลือง (สุนทร สีหะเนิน, 2556) ดังนั้นเมื่อนำมาทำเป็นข้าวกึ่งสำเร็จรูปโดยหุงกับน้ำมันมะพร้าวจึงได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสีขาวเหลืองมากกว่าตัวอย่างอื่น

ตารางที่ 3-4 ค่าสีของข้าวกึ่งสำเร็จรูปจากข้าว 3 พันธุ์ หลังการคืนรูป

พันธุ์ของข้าว	ค่า L^{*ns}	ค่า a*	ค่า b*
ข้าวหอมมะลิ	76.28 ± 0.78	-1.38^{b} ± 0.17	9.42^{b} ± 0.28
ข้าวขาวตาแห้ง	75.57 ± 0.19	-1.43^{a} ± 0.08	6.98^{c} ± 0.48
ข้าวเหลืองประทิว	75.78 ± 0.43	0.88^{b} ± 0.06	10.81^{a} ± 0.69

$^{a,b\ldots}$ หมายถึง ตัวเลขที่มีอักษรกำกับมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

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

3.1.4 ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวกึ่งสำเร็จรูป

จากการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสทางด้านค่า Hardness และค่า Stickiness ของข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวทั้ง 3 ชนิด ได้ผลดังตารางที่ 3-5 พบว่าข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวเหลืองประทิว มีค่า Hardness สูงที่สุด รองลงมาคือข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวขาวตาแห้งและข้าวหอมมะลิ ตามลำดับ ($p<0.05$) และพบว่าข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวหอมมะลิ มีค่า Stickiness สูงที่สุด รองลงมาคือข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวเหลืองประทิวและข้าวขาวตาแห้งที่มีค่า Stickiness ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) อรอนงค์ นัยวิกุล (2550) ได้รายงานว่าปริมาณอะไมโลสมีความสัมพันธ์กับเนื้อสัมผัสของข้าว โดยข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูงจะให้เนื้อสัมผัสที่แข็ง ในขณะที่ข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำจะให้เนื้อสัมผัสที่นุ่มเหนียว ทั้งนี้จากการวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลสของข้าว 3 ชนิด พบว่าข้าวหอมมะลิมีปริมาณอะไมโลส 11.84 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจัดเป็นปริมาณอะไมโลสต่ำ จึงให้ข้าวสุกที่มีเนื้อสัมผัสเหนียวนุ่ม ข้าวขาวตาแห้งมีปริมาณอะไมโลส 21.11 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจัดเป็นปริมาณอะไมโลสปานกลาง ซึ่งจะให้เนื้อสัมผัสร่วนปานกลาง และข้าวเหลืองประทิวมีปริมาณอะไมโลส 26.53 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจัดเป็นปริมาณอะไมโลสสูง ซึ่งจะได้เนื้อสัมผัสที่ร่วนและแข็ง

ตารางที่ 3-5 ค่า Hardness และ Stickiness ของข้าวกึ่งสำเร็จรูปจากข้าว 3 พันธุ์ หลังการคืนรูป

พันธุ์ของข้าว	Hardness (N)	Stickiness (N)
ข้าวหอมมะลิ	$78.79^{c} \pm 1.73$	$-14.53^{a} \pm 7.17$
ข้าวขาวตาแห้ง	$151.74^{b} \pm 7.49$	$-3.13^{b} \pm 0.23$
ข้าวเหลืองประทิว	$175.62^{a} \pm 7.61$	$-3.71^{b} \pm 0.14$

$^{a,b\ldots}$ หมายถึง ตัวเลขที่มีอักษรกำกับมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

3.1.5 ผลการประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส

จากผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสโดยวิธี 9-point hedonic scale โดยใช้ผู้ทดสอบ จำนวน 30 คน ทำการทดสอบทางด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ที่มีต่อผลิตภัณฑ์ข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวทั้ง 3 ชนิดหลังจากการคืนรูปแล้ว แสดงดังตารางที่ 3-6

จากผลการทดสอบทางด้านประสาทด้านลักษณะปรากฏ พบว่าข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวขาวตาแห้งและข้าวเหลืองประทิว มีคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏสูงสุด ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) โดยมีคะแนนความชอบเท่ากับ 7.03 และ 7.13 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในระดับชอบปานกลาง ส่วนข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวหอมมะลิ มีคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ เท่ากับ 6.37 ซึ่งอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย เนื่องจากผู้ทดสอบชอบข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวขาวตาแห้งและข้าวเหลืองประทิวที่มีลักษณะเมล็ดร่วน ไม่เกาะติดกัน มากกว่าข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่มีเมล็ดข้าวติดกัน เช่น ข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวหอมมะลิ

เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบด้านสี พบว่าข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวทั้ง 3 ชนิด มีคะแนนความชอบด้านสี แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) โดยข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจาก

ข้าวขาวตาแห้ง มีคะแนนความชอบด้านสีสูงที่สุด เท่ากับ 7.87 ซึ่งอยู่ในระดับชอบปานกลาง รองลงมาคือข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวหอมมะลิ มีคะแนนความชอบด้านสี เท่ากับ 6.80 ซึ่งอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย ส่วนข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวเหลืองประทิว มีคะแนนความชอบด้านสีต่ำที่สุด เท่ากับ 5.97 ซึ่งอยู่ในระดับชอบเฉยๆ การที่ข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวขาวตาแห้งได้รับคะแนนความชอบด้านสีมากที่สุด เนื่องจากผู้ทดสอบชอบข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่มีสีขาว ในขณะที่ข้าวกึ่งสำเร็จรูปจากข้าวเหลืองประทิวที่มีสีออกเหลือง จึงทำให้ผู้ทดสอบมีความชอบน้อยลง

เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบด้านกลิ่น พบว่าข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวหอมมะลิ มีคะแนนความชอบด้านกลิ่นสูงที่สุด เท่ากับ 7.37 ซึ่งอยู่ในระดับชอบปานกลาง ส่วนข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวขาวตาแห้งและข้าวเหลืองประทิว มีคะแนนความชอบด้านกลิ่น ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยมีคะแนนความชอบเท่ากับ 6.00 และ 6.17 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย การที่ข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวหอมมะลิได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่นสูงที่สุด เนื่องมาจากผู้ทดสอบมีความชอบกลิ่นหอมคล้ายดอกมะลิ ซึ่งเป็นกลิ่นของสาร 2 – acetyl – 1 ที่พบในข้าวมะลิ ในขณะที่ข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวขาวตาแห้ง และข้าวเหลืองประทิวไม่มีกลิ่นหอม

เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัส พบว่าข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวหอมมะลิมีคะแนนความชอบด้านกลิ่นสูงที่สุด เท่ากับ 6.70 ซึ่งอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย ส่วนข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวขาวตาแห้งและข้าวเหลืองประทิว มีคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัส ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยมีคะแนนความชอบเท่ากับ 4.60 และ 5.10 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในระดับไม่ชอบเล็กน้อยถึงชอบเฉยๆ เนื่องมาจากว่าข้าวหอมมะลิ เป็นข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ เมื่อนำมาทำเป็นข้าวกึ่งสำเร็จรูปจะทำให้มีเนื้อสัมผัสที่นุ่มกว่าข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวข้าวขาวตาแห้งและข้าวเหลืองประทิว ซึ่งเป็นข้าวที่มีปริมาณ อะไมโลสปานกลาง และสูง ตามลำดับ สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสดังแสดงในตารางที่ 3-6

ส่วนผลการทดสอบทางด้านความชอบโดยรวม พบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าว 3 ชนิด แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ซึ่งข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวหอมมะลิ มีคะแนนความชอบโดยรวมมากที่สุด เท่ากับ 6.97 ซึ่งอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย รองลงมาคือข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวขาวตาแห้ง และข้าวเหลืองประทิว ตามลำดับ

ตารางที่ 3-6 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าว 3 พันธุ์

พันธุ์ของข้าว	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่น	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
ข้าวหอมมะลิ	$6.37^{b} \pm 1.38$	$6.80^{b} \pm 1.10$	$7.37^{a} \pm 1.16$	$6.70^{a} \pm 1.34$	$6.97^{a} \pm 0.85$
ข้าวขาวตาแห้ง	$7.13^{a} \pm 1.03$	$7.87^{a} \pm 0.90$	$6.17^{b} \pm 1.32$	$5.10^{b} \pm 1.54$	$6.10^{b} \pm 1.16$
ข้าวเหลืองประทิว	$7.03^{a} \pm 0.93$	$5.97^{c} \pm 1.16$	$6.00^{b} \pm 1.20$	$4.60^{b} \pm 1.69$	$5.00^{c} \pm 1.53$

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

3.1.6 การพิจารณาเลือกพันธุ์ของข้าวที่เหมาะสมในการทำข้าวกึ่งสำเร็จรูป

พิจารณาเลือกพันธุ์ของข้าวที่เหมาะสมจากคะแนนความชอบโดยรวม และค่าดัชนีไกลซีมิก พบว่าข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวหอมมะลิ และข้าวขาวตาแห้ง มีคะแนนความชอบโดยรวม 6 คะแนนขึ้นไป แต่เมื่อพิจารณาค่าดัชนีไกลซีมิก พบว่าข้าวหอมมะลิ มีค่าดัชนีไกลซีมิกสูงกว่า คือ เท่ากับ 84.09 และข้าวขาวตาแห้ง มีค่าดัชนีไกลซีมิกเท่ากับ 78.45 ซึ่งจะเห็นได้ว่าข้าวขาวตาแห้งมีค่าดัชนีไกลซีมิกที่ต่ำกว่า ดังนั้นจึงเลือกข้าวขาวตาแห้งเป็นวัตถุดิบในการทำข้าวกึ่งสำเร็จรูปในการศึกษาในขั้นตอนต่อไป

3.2 ผลของชนิดของน้ำมันพืชที่มีผลต่อค่าดัชนีไกลซีมิก คุณลักษณะทางกายภาพ และคุณค่าทางโภชนาการของข้าวกึ่งสำเร็จรูป

เตรียมข้าวกึ่งสำเร็จรูปจากข้าวขาวตาแห้งที่คัดเลือกจากข้อ 3.1 โดยแปรชนิดของน้ำมันพืชเป็น 3 ชนิดได้แก่น้ำมันมะพร้าว น้ำมันรำข้าว และน้ำมันมะกอก จากนั้นนำข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ได้มาวิเคราะห์ค่าดัชนีไกลซีมิก วิเคราะห์ค่าสี วิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส การประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส และวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของข้าวกึ่งสำเร็จรูปได้ผลดังนี้

3.2.1 ผลการวิเคราะห์ค่าดัชนีไกลซีมิก

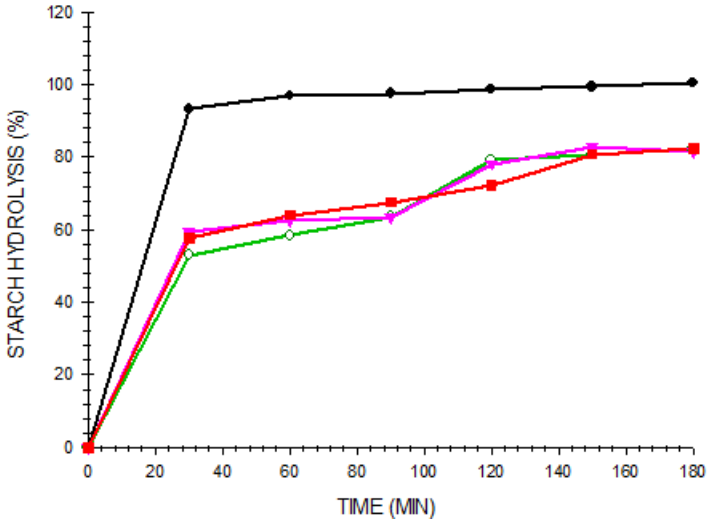
จากผลการวิเคราะห์การย่อยสตาร์ช (in vitro starch digestibility) ของข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวขาวตาแห้งที่เตรียมโดยการแปรชนิดของน้ำมันพืชเป็น 3 ชนิด โดยใช้ขนมปังขาวเป็นตัวอย่างอ้างอิง พบว่าเมื่อสิ้นสุดการย่อยสตาร์ช ที่เวลา 180 นาที ขนมปังขาวมีอัตราการย่อยสตาร์ชสูงที่สุด จากภาพที่ 3-4 พบว่าหลังจากการย่อยด้วยเอนไซม์ ตัวอย่างขนมปังขาวมีค่าเปอร์เซ็นต์อัตราการย่อยสตาร์ชสูงสุดที่เวลา 60 นาที และคงที่ในเวลาต่อมา ข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวขาวตาแห้งร่วมกับน้ำมันมะพร้าวมีเปอร์เซ็นต์อัตราการย่อยสตาร์ชสูงสุดที่เวลา 120 นาที ส่วนข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวขาวตาแห้งร่วมกับน้ำมันรำข้าวและน้ำมันมะกอก มีเปอร์เซ็นต์อัตราการย่อยสตาร์ชสูงสุดที่เวลา 150 นาที จากตาราง 3-7 ค่าดัชนีการย่อย (Hydrolysis index ; HI) ที่วิเคราะห์ได้จากงานวิจัยนี้มีค่า 69.93 – 72.38 สอดคล้องกับผลิตภัณฑ์จากข้าวที่มีการศึกษามาก่อนหน้านี้ โดย Frei et al. (2003) รายงานว่า เมื่อนำข้าว 6 พันธุ์ ซึ่งมีปริมาณอะไมโลสแตกต่างกันระหว่าง 0 - 29.90 เปอร์เซ็นต์ มาหาค่า HI พบว่า มีค่า HI ของข้าวทั้ง 6 ชนิดที่หุงสุกใหม่เท่ากับ 51.40 – 126.60 ส่วนข้าวทั้ง 6 ชนิดที่หุงสุกแล้วนำไปแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดรีโทรเกรเดชันมีค่าเท่ากับ 43.50 - 85.60 Srikaeo and Sopade (2010) ได้รายงานว่าค่า HI ของโจ๊กข้าวหอมมะลิจำนวน 10 ตัวอย่างที่มีส่วนผสมของข้าวชนิดอื่นๆที่แตกต่างกันมีค่า HI เท่ากับ 52.00 – 114.00

เมื่อพิจารณาค่าดัชนีไกลซีมิก ซึ่งเป็นค่าที่บ่งชี้คุณภาพของคาร์โบไฮเดรต โดยวัดจากการถูกย่อยและดูดซึมในร่างกายมนุษย์ทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดเพิ่มขึ้น ในช่วงเวลา 2 ชั่วโมง จากผลการทดลองในตาราง 3-7 พบว่าค่าดัชนีไกลซีมิกที่วิเคราะห์ได้จากข้าวกึ่งสำเร็จรูปมีค่าอยู่ระหว่าง 78.16 – 79.45 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าดัชนีไกลซีมิกที่วิเคราะห์ได้จากผลิตภัณฑ์อาหารจากข้าวชนิดต่าง ๆ โดย Frei et al. (2003) รายงานว่า ข้าว 6 พันธุ์ ที่หุงสุกใหม่มีค่าดัชนีไกลซีมิกเท่ากับ 68.00 – 109.20 และจะลดลงเมื่อนำข้าวสุกนั้นไปแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง โดย

ลดลงเป็น 63.60 – 86.70 ทั้งนี้ข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูงจะมีค่าดัชนีไกลซีมิกต่ำกว่าข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ Srikaeo และ Sopade (2010) ได้รายงานว่าค่าดัชนีไกลซีมิกของโจ๊กข้าวหอมมะลิจำนวน 10 ตัวอย่างที่มีส่วนผสมอื่น ๆ ที่แตกต่างกัน มีค่าเท่ากับ 68.00 - 97.00 ธัญสินี โพธิ์ภิรมย์ (2557) รายงานว่าค่าดัชนีไกลซีมิกของอาหารขึ้นอยู่กับอัตราการย่อยสตาร์ช ซึ่งหากสตาร์ชในผลิตภัณฑ์ย่อยได้เร็ว จะทำให้อาหารนั้นมีค่าดัชนีไกลซีมิกสูง ปัจจัยต่างๆ เช่น กระบวนการแปรรูปอาหาร การปรุงส่วนประกอบอื่นๆ ที่มีอยู่ เช่น ไขมัน โปรตีน ใยอาหาร สัดส่วนและชนิดของน้ำตาล ชนิดแป้งรวมถึงโครงสร้างของสตาร์ช ล้วนแต่ส่งผลให้ค่าดัชนีไกลซีมิกของอาหารแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันไป

จากการศึกษาผลของชนิดของน้ำมันพืชที่มีต่อค่าดัชนีไกลซีมิก พบว่าค่าดัชนีไกลซีมิกของข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่หุงกับน้ำมันมะพร้าวมีค่าดัชนีไกลซีมิกต่ำสุด ส่วนข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่หุงกับน้ำมันรำข้าว และน้ำมันมะกอก มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) จากงานวิจัยก่อนหน้านี้ได้รายงานว่าการเกิดโครงสร้างเชิงซ้อนระหว่างสตาร์ช – ลิพิด (amylose-lipid-complex) ในระหว่างกระบวนการแปรรูปอาหารประเภทแป้ง จะทำให้อัตราการย่อยสตาร์ชลดลงได้ ซึ่งหากสตาร์ชในผลิตภัณฑ์ย่อยได้เร็ว ก็จะทำให้อาหารนั้นมีค่าดัชนีไกลซีมิกสูง โดยมีรายงานว่าเมื่อโมเลกุลของอะไมโลสและไขมันเกิดปฏิกิริยากัน จะเกิดเป็นโครงสร้างที่แข็งแรงมีความเสถียรต่อความร้อนสูง และสามารถทนต่อการย่อยของเอนไซม์ได้ เรียกว่า amylose-lipid-complexed starch ซึ่งเป็นหนึ่งในชนิดของสตาร์ชที่ทนต่อการย่อยของเอนไซม์ ธีรารัตน์ อิทธิโสภณกุล (2555) รายงานว่ากรดไขมันจะทำให้โมเลกุลอะไมโลสอยู่ในลักษณะของสารประกอบเชิงซ้อน โดยที่โมเลกุลของอะไมโลสจะบิดเป็นเกลียวเรียกว่า วี-อะไมโลส (V-amylose) พันล้อมรอบกรดไขมัน โดยความยาวของสายอะไมโลสที่เหมาะสมจะขึ้นอยู่กับขนาดโมเลกุลของกรดไขมัน เช่น กรดลอริก (lauric acid; C12) อะไมโลสควรมีจำนวนกลูโคส 20-30 โมเลกุล ส่วนกรดปาล์มมิติก (palmitic acid; C16) ควรใช้ อะมิโลสที่มีจำนวนกลูโคส 30-40 โมเลกุล นอกจากนี้ยังพบว่าความยาวของกรดไขมันมีผลต่อการเกิดสารประกอบเชิงซ้อน โดยถ้ากรดไขมันจำนวนคาร์บอนน้อยกว่า 10 อะตอมจะไม่สามารถทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนแบบอินคลูชันได้ (Lebail et al., 2000; Tufvesson et al., 2003) รายงานว่ากรดไขมันสายสั้นไม่สามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนได้ เนื่องจากมีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) เล็กน้อย ทำให้ไม่มีแรงผลักมากพอ ที่จะแยกตัวออกจากส่วนของน้ำ ในขณะที่กรดไขมันสายยาวนั้นมีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ(hydrophobic) มากกว่า ทำให้มีแรงผลักมากพอ ที่ทำให้สามารถแยกตัวออกจากส่วนของน้ำและเข้าไปอยู่ภายในโครงสร้างของอะไมโลส นอกจากนี้มีรายงานว่ากรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอน 14 อะตอม สามารถทำให้ให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนได้ดีที่สุด (Bhatnagar & Hanna, 1994; Hoover & Hadziyev, 1981)

จากข้อมูลเบื้องต้น พบว่าข้าวกึ่งสำเร็จที่หุงกับน้ำมันมะพร้าวมีค่าดัชนีไกลซีมิกต่ำกว่าน้ำมันชนิดอื่นๆ เนื่องจากน้ำมันมะพร้าวมีกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอน 14 อะตอม (ร้อยละ 20.95) มากกว่าน้ำมันชนิดอื่นๆ ที่นำมาใช้ผลิตข้าวกึ่งสำเร็จรูป จึงส่งผลให้เกิดโครงสร้างเชิงซ้อนระหว่างสตาร์ช-ลิพิด (amylose-lipid-complex) ได้ดี ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Bhatnagar and Hanna, 1994; Hoover and Hadziyev, 1981) ในขณะที่น้ำมันรำข้าว และน้ำมันมะกอก มีปริมาณกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอน 14 อะตอมในปริมาณน้อย ในทางตรงข้ามกลับเป็นแหล่งของกรดไขมันที่มีพันธะคู่ในโมเลกุลในปริมาณที่มาก (นิธิยา รัตนปนนท์, 2549) ซึ่งการมีพันธะคู่ในโมเลกุลจะทำให้การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างสตาร์ช – ลิพิด (amylose-lipid-complex) ลดลง จึงทำให้ข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่มีส่วนผสมของน้ำมันรำข้าว และน้ำมันมะกอกมีค่าดัชนีไกลซีมิกที่สูงกว่าข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากน้ำมันมะพร้าว



ภาพที่ 3-4 ค่าอัตราการย่อยแป้งที่เวลา 0 – 180 นาทีของตัวอย่างขนมปังขาว (—●—) ข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวขาวตาแห้งร่วมกับน้ำมันมะพร้าว (—○—) ข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวขาวตาแห้งร่วมกับน้ำมันรำข้าว (—■—) ข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวขาวตาแห้งร่วมกับน้ำมันกอก (—▼—)

ตารางที่ 3-7 ค่าดัชนีการย่อยและค่าดัชนีไกลซีมิกของข้าวขาวตาแห้ง และข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวขาวตาแห้งร่วมกับน้ำมันพืช 3 ชนิด

ชนิดของน้ำมันพืช	ค่าดัชนีการย่อย (HI)	ค่าดัชนีไกลซีมิก(GI)
น้ำมันมะพร้าว	$69.93^{b} \pm 0.45$	$78.16^{b} \pm 0.20$
น้ำมันรำข้าว	$71.21^{a} \pm 0.50$	$78.80^{a} \pm 0.28$
น้ำมันมะกอก	$71.47^{a} \pm 0.19$	$78.81^{a} \pm 0.49$

$^{a,b\ ...}$ หมายถึง ตัวเลขที่มีอักษรกำกับมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

3.2.2 ผลการวิเคราะห์ค่าสีของข้าวกึ่งสำเร็จรูปก่อนและหลังการคืนรูป

จากภาพที่ 3-5 จะเห็นได้ว่าข้าวกึ่งสำเร็จรูปก่อนการคืนรูปที่ทำจากข้าวขาวตาแห้งร่วมกับน้ำมันทั้ง 3 ชนิดมีสีเหลือง แต่เมื่อสังเกตดูจะพบว่าข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวขาวตาแห้งร่วมกับน้ำมันมะกอก มีสีเหลืองเข้มที่สุด เนื่องมาจากน้ำมันมะกอกเป็นน้ำมันที่มีสีเหลืองเข้ม เมื่อนำมาใช้ในการทำข้าวกึ่งสำเร็จรูปจึงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีเหลืองเข้มเช่นกัน

(a) (b) (c)

ภาพที่ 3-5 ข้าวกึ่งสำเร็จรูปก่อนการคืนรูปที่ทำจากข้าวขาวตาแห้งร่วมกับน้ำมันมะพร้าว (a) น้ำมันรำข้าว (b) และน้ำมันมะกอก (c)

จากตารางที่ 3-8 แสดงให้เห็นว่าข้าวกึ่งสำเร็จรูปก่อนการคืนรูปที่ทำจากข้าวขาวตาแห้งหุงร่วมกับน้ำมันมะพร้าว และน้ำมันมะกอก มีค่า L* ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) และมีค่าสูงกว่าของข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวขาวตาแห้งร่วมกับน้ำมันรำข้าว จากการวัดค่า a* พบว่าข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวขาวตาแห้งร่วมกับน้ำมันทั้ง 3 ชนิด มีค่า a* เป็นลบ อยู่ระหว่าง (-1.32) – (-1.65) แสดงว่ามีความเป็นสีเขียว โดยข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวขาวตาแห้งหุงร่วมกับน้ำมันมะพร้าว และน้ำมันมะกอก มีค่า a* ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) และมีค่าต่ำกว่าของข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวขาวตาแห้งร่วมกับน้ำมันรำข้าว และจากการวัดค่า b* พบว่าข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวขาวตาแห้งหุงร่วมกับน้ำมันมะกอกมีค่า b* สูงที่สุด รองลงมาคือน้ำมันมะพร้าว และน้ำมันรำข้าว ตามลำดับ จากผลการวัดค่าสีแสดงให้เห็นว่าชนิดของน้ำมันพืชที่ใช้

ในการทำข้าวกึ่งสำเร็จรูปมีผลต่อค่า L* a* และ b* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยเฉพาะข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจาจกน้ำมันมะกอกจะมีสีออกเหลืองชัดเจน ซึ่งให้ค่า b* สูงที่สุด

ตารางที่ 3-8 ค่าสีของข้าวกึ่งสำเร็จรูปจากข้าวขาวตาแห้งที่ทำจากน้ำมันพืช 3 ชนิด ก่อนการคืนรูป

ชนิดของน้ำมันพืช	ค่า L*	ค่า a*	ค่า b*
น้ำมันมะพร้าว	$67.44^{a} \pm 0.38$	$-1.32^{b} \pm 0.08$	$13.21^{b} \pm 0.83$
น้ำมันรำข้าว	$64.37^{b} \pm 0.58$	$-1.65^{a} \pm 0.05$	$12.04^{c} \pm 0.36$
น้ำมันมะกอก	$66.76^{a} \pm 0.60$	$-1.32^{b} \pm 0.03$	$14.98^{a} \pm 0.72$

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

จากภาพที่ 3-6 จะเห็นได้ว่าข้าวกึ่งสำเร็จรูปหลังการคืนรูปที่ทำจากข้าวขาวตาแห้งร่วมกับน้ำมันทั้ง 3 ชนิด มีสีเหลือง แต่เมื่อสังเกตดูจะพบว่าข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวขาวตาแห้งร่วมกับน้ำมันมะกอก จะมีสีเหลืองเข้มกว่าข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวขาวตาแห้งร่วมกับน้ำมันอีก 2 ชนิด ซึ่งมีสีใกล้เคียงกับข้าวกึ่งสำเร็จรูปก่อนการคืนรูปที่ทำจากข้าวขาวตาแห้งร่วมกับน้ำมันทั้ง 3 ชนิด

(a) (b) (c)

ภาพที่ 3-6 ข้าวกึ่งสำเร็จรูปหลังการคืนรูปที่ทำจากข้าวขาวตาแห้งร่วมกับน้ำมันมะพร้าว (a) น้ำมันรำข้าว (b) และน้ำมันมะกอก (c)

จากตารางที่ 3-9 แสดงให้เห็นว่าข้าวกึ่งสำเร็จรูปหลังการคืนรูปที่ทำจากข้าวขาวตาแห้งร่วมกับน้ำมันมะพร้าว และน้ำมันรำข้าว มีค่า L* ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) และมีค่าสูงกว่าของน้ำมันมะกอก จากการวัดค่า a* พบว่าข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวขาวตาแห้งร่วมกับน้ำมันทั้ง 3 ชนิด มีค่า a* เป็นลบ อยู่ระหว่าง (-1.46) – (-1.93) แสดงว่ามีความเป็นสีเขียว โดยข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวขาวตาแห้งร่วมกับน้ำมันรำข้าว และน้ำมันมะกอก มีค่า a* สูงที่สุด และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) โดยข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากน้ำมันมะพร้าว มีค่า a* ต่ำที่สุด และจากการวัดค่า b* พบว่าข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวขาวตาแห้งร่วมกับน้ำมันมะกอก มีค่า b* สูงที่สุด รองลงมาคือน้ำมันรำข้าว และน้ำมันมะพร้าว ตามลำดับ จากผลการวัดค่าสี

แสดงให้เห็นว่าชนิดของน้ำมันพืชที่ใช้ในการทำข้าวกึ่งสำเร็จรูปมีผลต่อค่า L* a* และ b* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) จากภาพ 3-6 และตาราง 3-9 แสดงให้เห็นว่าข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวขาวตาแห้งร่วมกับน้ำมันมะพร้าวและน้ำมันรำข้าว มีสีออกขาวกว่าน้ำมันมะกอก จึงมีค่า L* สูงที่สุด โดยน้ำมันมะกอกมีสีออกเหลืองจึงทำให้มีค่า b* สูงที่สุด

ตารางที่ 3-9 ค่าสีของข้าวกึ่งสำเร็จรูปจากข้าวขาวตาแห้งที่ทำจากน้ำมันพืช 3 ชนิด หลังการคืนรูป

ชนิดของน้ำมันพืช	ค่า L*	ค่า a*	ค่า b*
น้ำมันมะพร้าว	$75.71^{a} \pm 0.08$	$-1.46^{b} \pm 0.04$	$4.60^{c} \pm 0.07$
น้ำมันรำข้าว	$75.75^{a} \pm 0.01$	$-1.93^{a} \pm 0.02$	$5.39^{b} \pm 0.12$
น้ำมันมะกอก	$74.09^{b} \pm 0.60$	$-1.88^{a} \pm 0.03$	$7.57^{a} \pm 0.04$

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

3.2.4 ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวกึ่งสำเร็จรูป

จากการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสทางด้านค่า Hardness และค่า Stickiness ของข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวขาวตาแห้งหุงกับน้ำมันพืชทั้ง 3 ชนิด ได้ผลดังตารางที่ 3-10 พบว่าข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวขาวตาแห้งร่วมกับน้ำมันมะพร้าว มีค่า Hardness สูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 197.60 นิวตัน ส่วนข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวขาวตาแห้งร่วมกับน้ำมันรำข้าว และน้ำมันมะกอก มีค่า Hardness ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) และพบว่าข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวขาวตาแห้งร่วมกับน้ำมันพืชทั้ง 3 ชนิด มีค่า Stickiness ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) การที่น้ำมันมะพร้าวมีค่า Hardness สูง เนื่องจากน้ำมันมะพร้าวมีองค์ประกอบของคาร์บอน 14 อะตอมอยู่มาก ซึ่งส่งผลให้เกิดโครงสร้างเชิงซ้อนระหว่างสตาร์ช-ลิพิด (amylose-lipid-complex) ได้ดี ซึ่งโครงสร้างนี้เป็นโครงสร้างผลึกอย่างอ่อน ที่จะเสริมความแข็งแรงให้แก่เม็ดแป้ง ทำให้พองตัวได้ช้าและลดลง จึงทำให้ข้าวกึ่งสำเร็จรูปจากน้ำมันมะพร้าวมีเนื้อสัมผัสที่แข็งกว่าน้ำมันพืชชนิดอื่น

ตารางที่ 3-10 ค่า Hardness และ Stickiness ของข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่หุงกับน้ำมันพืช 3 ชนิด

ชนิดของน้ำมันพืช	Hardness(N)	Stickiness(N)^{ns}
น้ำมันมะพร้าว	$197.60^{a} \pm 1.71$	-17.23 ± 1.08
น้ำมันรำข้าว	$192.73^{b} \pm 4.64$	-17.14 ± 0.24
น้ำมันมะกอก	$192.29^{b} \pm 3.58$	-17.08 ± 1.81

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

3.2.5 ผลการประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส

จากผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสโดยวิธี 9-point hedonic scale โดยใช้ผู้ทดสอบ จำนวน 30 คน ทำการทดสอบทางด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ที่มีต่อผลิตภัณฑ์ข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวทั้ง 3 ชนิดหลังจากการคืนรูปแล้ว แสดงดังตารางที่ 3-11

จากผลการทดสอบทางด้านประสาทด้านลักษณะปรากฏ พบว่าข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวขาวตาแห้งร่วมกับน้ำมันรำข้าว มีคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏสูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 7.70 ซึ่งอยู่ในระดับชอบปานกลาง รองลงมาคือข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวขาวตาแห้งร่วมกับน้ำมันมะกอก และน้ำมันมะพร้าว มีค่าเท่ากับ 7.27 และ 6.07 การที่ข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวขาวตาแห้งร่วมกับน้ำมันรำข้าวมีคะแนนความ ชอบด้านลักษณะปรากฏสูงที่สุด อาจเป็นเพราะผู้ทดสอบชอบเมล็ดข้าวที่มีลักษณะเต็มเมล็ด เมล็ดร่วน ไม่เกาะติดกัน และมีสีค่อนข้าวขาว ส่วนการที่ข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวขาวตาแห้งร่วมกับน้ำมันมะพร้าวมีคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏต่ำสุด เป็นเพราะว่าเมล็ดข้าวมีลักษณะที่ค่อนข้างหัก ไม่เต็มเมล็ด และมีการเกาะติดกันเล็กน้อย

เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบด้านสี พบว่าข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวขาวตาแห้งร่วมกับน้ำมันพืชทั้ง 3 ชนิด มีคะแนนความชอบด้านสีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยมีค่าคะแนนความชอบอยู่ระหว่าง 7.10 – 7.47 ซึ่งอยู่ในระดับชอบปานกลาง แสดงว่าผู้ทดสอบสามารถยอมรับผลิตภัณฑ์ข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่มีสีขาว และสีออกเหลืองได้ไม่แตกต่างกัน

เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบด้านกลิ่น พบว่าข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวขาวตาแห้งร่วมกับน้ำมันรำข้าว และน้ำมันมะกอก มีคะแนนความชอบด้านกลิ่นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยมีค่าคะแนนความชอบเท่ากับ 7.27 และ 7.03 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในระดับชอบปานกลาง ส่วนข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวขาวตาแห้งร่วมกับน้ำมันมะพร้าว มีคะแนนความชอบด้านกลิ่นต่ำที่สุด มีค่าเท่ากับ 6.50 ซึ่งอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย จะเห็นได้ว่าผู้ทดสอบให้การยอมรับกลิ่นของน้ำมันมะกอก ถึงแม้ว่าน้ำมันมะกอกจะมีกลิ่นที่ค่อนแรง ส่วนการที่ผู้ทดสอบให้คะแนนน้ำมันมะพร้าวต่ำที่สุด เป็นเพราะว่าน้ำมันมะพร้าวมีกลิ่นมะพร้าว ซึ่งผู้ทดสอบอาจไม่ชอบมากนัก

เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัส พบว่าข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวขาวตาแห้งร่วมกับน้ำมันพืชทั้ง 3 ชนิด พบว่ามีคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยมีค่าคะแนนความชอบอยู่ระหว่าง 5.07 -5.57 ซึ่งอยู่ในระดับชอบเฉยๆ จะเห็นได้ว่าผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสแก่ข้าวกึ่งสำเร็จรูปค่อนข้างต่ำ เป็นเพราะว่าข้าวขาวตาแห้ง เป็นข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสปานกลาง เมื่อนำมาทำเป็นข้าวกึ่งสำเร็จรูปจะทำให้มีเนื้อสัมผัสที่ค่อนข้างแข็ง จึงทำให้ทดสอบไม่ชอบผลิตภัณฑ์ดังกล่าว ประกอบกับกระบวนการผลิตที่ผู้วิจัยได้เพิ่มขั้นตอนเข้าไปไม่ว่าจะเป็นการแช่เย็น หรือการผสมน้ำมันพืชในส่วนผสมล้วนทำให้เกิดการรีโทรเกรเดชั่นและการเกิดโครงสร้างเชิงซ้อนระหว่างอะไมโลส-ลิพิด (amylose lipid complex) ซึ่งเป็นการทำให้เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความแข็งมากขึ้น ทั้งนี้จากผลการทดสอบจะเห็นว่าน้ำมันมะพร้าวได้รับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสต่ำกว่าน้ำมันรำข้าว และน้ำมันมะกอก เนื่องจากในน้ำมันมะพร้าวมีองค์ประกอบของคาร์บอน 14 อะตอมมากกว่าน้ำมันชนิดอื่น ซึ่งคาร์บอน 14 อะตอมจะส่งผลให้โครงสร้างเชิงซ้อนระหว่างอะไมโลส-ลิพิด (amylose lipid complex)ได้มาก

ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวขาวตาแห้งร่วมกับน้ำมันมะพร้าวมีเนื้อสัมผัสที่แข็งมาก และได้คะแนนความชอบต่ำกว่าน้ำมันพืชชนิดอื่น สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสดังแสดงในตารางที่ 3-10

ส่วนผลการทดสอบทางด้านความชอบโดยรวม พบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวขาวตาแห้งร่วมกับน้ำมันพืชทั้ง 3 ชนิด ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) และมีคะแนนความชอบอยู่ระหว่าง 6.53 – 6.60 ซึ่งอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย

ตารางที่ 3-11 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวขาวตาแห้งร่วมกับน้ำมันพืช 3 ชนิด

ชนิดของน้ำมันพืช	ลักษณะปรากฏ	สี^{ns}	กลิ่น	เนื้อสัมผัส^{ns}	ความชอบโดยรวม^{ns}
น้ำมันมะพร้าว	6.07^{c} ± 1.01	7.10 ± 0.88	6.50^{b} ± 0.90	5.07 ± 1.05	6.60 ± 1.00
น้ำมันรำข้าว	7.70^{a} ± 0.47	7.47 ± 0.73	7.27^{a} ± 0.78	5.17 ± 1.20	6.53 ± 0.90
น้ำมันมะกอก	7.27^{b} ± 0.83	7.30 ± 0.79	7.03^{a} ± 0.81	5.57 ± 1.30	6.57 ± 0.68

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

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

3.2.6 การพิจารณาเลือกชนิดของน้ำมันพืชที่เหมาะสมในการทำข้าวกึ่งสำเร็จรูป

พิจารณาเลือกชนิดของน้ำมันพืชที่เหมาะสมจากคะแนนความชอบโดยรวม และค่าดัชนีไกลซีมิก พบว่าข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวขาวตาแห้งร่วมกับน้ำมันพืชทั้ง 3 ชนิด มีคะแนนความชอบโดยรวม 6 คะแนนขึ้นไป และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) แต่เมื่อพิจารณาค่าดัชนีไกลซีมิก พบว่าข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวขาวตาแห้งร่วมกับน้ำมันมะพร้าว มีค่าดัชนีไกลซีมิกเท่ากับ 78.16 ส่วนข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวขาวตาแห้งร่วมกับน้ำมันรำข้าว มีค่าดัชนีไกลซีมิกเท่ากับ 78.80 และข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวขาวตาแห้งร่วมกับน้ำมันมะกอก มีค่าดัชนีไกลซีมิกเท่ากับ 78.81 ซึ่งจะเห็นได้ว่าข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวขาวตาแห้งร่วมกับน้ำมันมะพร้าวมีค่าดัชนีไกลซีมิกต่ำที่สุด ดังนั้นจึงนำข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวขาวตาแห้งร่วมกับน้ำมันมะพร้าว ไปวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

3.3 ผลการเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมี และค่าดัชนีไกลซีมิกของข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตได้ กับข้าวสุกที่เตรียมด้วยวิธีการหุงแบบปกติ

เมื่อนำข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวขาวตาแห้งร่วมกับน้ำมันมะพร้าวมาคืนรูปแล้ววิเคราะห์ค่าองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณและค่าดัชนีไกลซีมิก เทียบกับข้าวขาวตาแห้งที่หุงแบบปกติ ได้ผลดังตารางที่ 3-12

ตารางที่ 3-12 องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณและค่าดัชนีไกลซีมิกของข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวขาวตาแห้งและน้ำมันมะพร้าวหลังการคืนรูป เปรียบเทียบกับข้าวขาวตาแห้งที่หุงด้วยวิธีปกติ

	ข้าวกึ่งสำเร็จรูปหลังการคืนรูป	ข้าวหุงด้วยวิธีปกติ
ความชื้น (กรัม/100 กรัม)	63.41	69.20
โปรตีน (กรัม/100 กรัม)	3.08	3.00
ไขมัน (กรัม/100 กรัม)	0.57	0.13
เถ้า (กรัม/100 กรัม)	0.14	0.16
คาร์โบไฮเดรต (กรัม/100 กรัม)	32.80	27.51
พลังงาน (Kcal/กรัม)	148.65	123.21
ค่าดัชนีไกลซีมิก	78.16±0.20	85.45±0.24

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ข้าวกึ่งสำเร็จรูปหลังการคืนรูปมีปริมาณความชื้นที่ต่ำกว่าข้าวที่หุงด้วยวิธีปกติ ทั้งนี้เนื่องจากข้าวกึ่งสำเร็จรูปผ่านการทำแห้งมา แม้จะเติมน้ำร้อนลงไปก็ไม่สามารถดูดน้ำไว้ได้มาก นอกจากนั้นการเติมน้ำมันมะพร้าว ซึ่งทำได้เกิดโครงสร้างของสารประกอบเชิงซ้อนของอะไมโลส-ลิปิด และการนำข้าวสุกไปแช่เย็นซึ่งทำให้โครงสร้างของสตาร์ชจัดเรียงตัวกันใหม่ (retrogradation) กลายเป็นโครงสร้างที่เป็นระเบียบทำให้มีความเป็นผลึกมากขึ้น ซึ่งทำให้โมเลกุลของสตาร์ชจับกับน้ำได้น้อยลง ล้วนเป็นสาเหตุทำให้สตาร์ชในข้าวกึ่งสำเร็จรูปไม่สามารถดูดซับน้ำได้น้อยลงเมื่อเทียบกับข้าวที่หุงแบบปกติ ซึ่งสตาร์ชจะดูดซับน้ำไว้ในระหว่างกระบวนการเจลาทิไนเซชัน โดยที่ไม่มีกระบวนการอื่นซึ่งขัดขวางการจับตัวของสตาร์ชกับน้ำ เช่น การทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับลิปิด หรือการเกิด retrogradation หรือแม้แต่การทำแห้ง เช่นเดียวกับข้าวกึ่งสำเร็จรูป

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน และเถ้า พบว่า ข้าวกึ่งสำเร็จรูปหลังการคืนรูปมีประมาณโปรตีนและเถ้า ใกล้เคียงกับที่วิเคราะห์ได้จากข้าวที่หุงด้วยวิธีปกติ ในขณะที่ข้าวกึ่งสำเร็จรูปมีปริมาณไขมันที่สูงกว่าข้าวหุงสุกใหม่ เนื่องจากในกระบวนการผลิตข้าวกึ่งสำเร็จรูปมีการเติมน้ำมันมะพร้าวลงในขณะที่หุงข้าว ซึ่งแตกต่างจากการหุงข้าวในแบบปกติที่ใช้เพียงน้ำเปล่า นอกจากนั้น ยังพบว่า ข้าวกึ่งสำเร็จรูปหลังการคืนรูปมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตมากกว่าข้าวหุงสุกใหม่ ซึ่งเป็นเพราะการมีความชื้นที่ต่ำกว่า เนื่องจากปริมาณคาร์โบไฮเดรตคำนวณจาก ผลรวมของความชื้นโปรตีน ไขมัน และเถ้า หักออกจาก 100 ซึ่งจากผลของการคำนวณค่าพลังงานของตัวอย่างทั้งสอง พบว่า ข้าวกึ่งสำเร็จรูปหลังคืนรูปให้พลังงานสูงกว่าข้าวที่หุงแบบปกติ ทั้งนี้เนื่องจากข้าวกึ่งสำเร็จรูปมีปริมาณองค์ประกอบที่ให้พลังงาน ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน ที่มากกว่าข้าวที่หุงแบบปกติ

เมื่อพิจารณาค่าดัชนีน้ำตาล พบว่า ข้าวกึ่งสำเร็จรูปหลังคืนรูปมีค่าดัชนีไกลซีมิกเท่ากับ78.16 ซึ่งต่ำกว่าข้าวที่หุงแบบปกติคิดเป็นร้อยละ 8.53 เมื่อเทียบกับค่าดัชนีไกลซีมิกของข้าวที่หุงแบบปกติที่มีค่าดัชนีไกลซีมิกเท่ากับ 85.45 ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากระบวนการเติมน้ำมันมะพร้าวและการแช่เย็นก่อนนำมาอบแห้งเป็นข้าวกึ่งสำเร็จรูปสามารถลดค่าดัชนีน้ำตาลได้ แต่อย่างไรก็ตามข้าวกึ่งสำเร็จรูปดังกล่าวยังจัดเป็นอาหารในกลุ่มดัชนีน้ำตาลสูงเช่นเดิม คือมีค่าดัชนีน้ำตาลสูงกว่า 70 ทั้งนี้ต้องมีการศึกษาในขั้นตอนต่อไป เพื่อลดค่าดัชนีน้ำตาลของข้าวลง

บทที่ 4
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

1. ผลการศึกษาผลของพันธุ์ข้าว 3 ชนิดที่มีปริมาณอะไมโลสแตกต่างกัน ได้แก่ ข้าวหอมมะลิ ข้าวขาวตาแห้ง และข้าวเหลืองประทิว ที่มีผลต่อค่าดัชนีไกลซีมิก คุณลักษณะทางกายภาพ คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของข้าวกึ่งสำเร็จรูป พบว่าข้าวกึ่งสำเร็จรูปจากข้าวเหลืองประทิวมีค่าดัชนีไกลซีมิกต่ำที่สุด รองลงมาคือข้าวขาวตาแห้ง และข้าวหอมมะลิ ข้าวกึ่งสำเร็จรูปจากข้าวเหลืองประทิวมีค่า Hardness สูงสุด ส่วนข้าวกึ่งสำเร็จรูปจากข้าวหอมมะลิมีค่า Hardness ต่ำสุด ซึ่งชนิดของข้าวมีต่อค่า L* a* และ b* ของข้าวกึ่งสำเร็จรูปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวหอมมะลิ และข้าวขาวตาแห้ง มีคะแนนความชอบโดยรวมมากกว่า 6 คะแนน และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) แต่เมื่อพิจารณาค่าดัชนีไกลซีมิก พบว่าข้าวขาวตาแห้งมีค่าดัชนีไกลซีมิกต่ำกว่าข้าวหอมมะลิ ดังนั้นจึงคัดเลือกข้าวขาวตาแห้งเป็นวัตถุดิบสำหรับทำข้าวกึ่งสำเร็จรูปในขั้นตอนต่อไป

2. ผลการศึกษาชนิดของน้ำมันพืช 3 ชนิด ได้แก่ น้ำมันมะพร้าว น้ำมันรำข้าว น้ำมันมะกอกที่มีผลต่อค่าดัชนีไกลซีมิก คุณลักษณะทางกายภาพ และคุณค่าทางโภชนาการของข้าวกึ่งสำเร็จรูป พบว่าข้าวกึ่งสำเร็จรูปจากน้ำมันมะพร้าวมีค่าดัชนีไกลซีมิกต่ำสุด ส่วนข้าวกึ่งสำเร็จรูปจากน้ำมันรำข้าวและน้ำมันมะกอกมีค่าดัชนีไกลซีมิกไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) ข้าวกึ่งสำเร็จรูปจากน้ำมันมะพร้าวมีค่า Hardness สูงสุด โดยชนิดของน้ำมันพืชที่นำมาใช้ในการทำข้าวกึ่งสำเร็จรูปมีผลต่อค่า L* a* และ b* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวขาวตาแห้งร่วมกับน้ำมันพืชทั้ง 3 ชนิด มีคะแนนความชอบโดยรวมมากกว่า 6 คะแนน (6.53-6.60) และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) แต่เมื่อพิจารณาค่าดัชนีไกลซีมิก พบว่าข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวขาวตาแห้งร่วมกับน้ำมันมะพร้าว มีค่าดัชนีไกลซีมิกต่ำที่สุด ดังนั้นจึงคัดเลือกข้าวขาวตาแห้งและน้ำมันมะพร้าวมาทดลองในตอนต่อไป

3. ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี และค่าดัชนีไกลซีมิกของข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่พัฒนาขึ้นหลังการคืนรูป เปรียบเทียบกับข้าวขาวตาแห้งที่หุงแบบปกติ พบว่า ข้าวกึ่งสำเร็จรูปหลังการคืนรูปมีปริมาณไขมัน คาร์โบไฮเดรต และพลังงาน สูงว่า แต่มีค่าดัชนีน้ำตาลเท่ากับ 78.16 ซึ่งต่ำกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวขาวตาแห้งที่หุงแบบปกติ

ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาวิธีการทำให้ข้าวกึ่งสำเร็จรูปจากพันธุ์ข้าวอื่นดัชนีไกลซีมิกต่ำลง
2. ควรมีการศึกษาค่าดัชนีไกลซีมิคในมนุษย์ หรือกลุ่มคนที่เป็นโรคเบาหวาน เพื่อเห็นผลในการลดค่าดัชนีไกลซีมิกอย่างชัดเจนขึ้น
3. ควรมีการต่อยอดเอาผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ไปเป็นวัตถุดิบในอาหารชนิดอื่น ๆ เช่น โจ๊ก ผลิตภัณฑ์อาหารเส้น ผลิตภัณฑ์ขนมอบ เพื่อการลดค่าดัชนีไกลซีมิคในอาหารได้หลากหลายชนิดขึ้น

บทที่ 5
ผลผลิต

5.1 ผลงานตีพิมพ์ในรายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการ (Proceeding)

Suksomboon, A. & Limroongreungrat, K. (2019). Effect of rice varieties and type of vegetable oils on the physical properties and glycemic index of instant rice. *In Proceedings of the 11th Science Research Conference : Smart Science Smart World .* Srinakharinwirot University, Bangkok, Thailand.

5.2 การยื่นจดสิทธิบัตร

-

5.3 ผลงานเชิงพาณิชย์

-

5.4 ผลงานเชิงสาธารณะ

- เผยแพร่และถ่ายทอดองค์ความรู้ให้กับผู้ประกอบการที่สนใจ งานมิติใหม่หอการค้าชลบุรี สู่เวทีความร่วมมือทุกภาคส่วน และ 7 ผลงานนวัตกรรม เมื่อวันพฤหัสบดีที่ 25 มกราคม พ.ศ. 2561 ณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

- นำผลงานวิจัยไปประกอบการสอนในรายวิชาต่าง ๆ ของหลักสูตร วท.บ. และ วท.ม. (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร) คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

-นำผลงานวิจัยไปประกอบการบรรยายให้กับบุคคลทั่วไป เช่น งาน TIF 2018 @RAYONG/CHONBURI & FOOD PACK ASIA 2018@RAYONG/CHONBURI และนักเรียนที่มาเข้าค่ายวิทยาศาสตร์ ณ คณะวิทยาศาสตร์ ม.บูรพา

รายงานสรุปการเงิน

เลขที่โครงการระบบบริหารงานวิจัย (NRMS 13 หลัก) 555434 สัญญาเลขที่ 26/2560
โครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนจากรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน)
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560 มหาวิทยาลัยบูรพา

ชื่อโครงการ การพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวกึ่งสำเร็จรูปลดดัชนีไกลซีมิก
ชื่อหัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน นางสาว อโนชา สุขสมบูรณ์
รายงานในช่วงวันที่ 1 ตุลาคม 2559 ถึงวันที่ 31 มีนาคม 2562
ระยะเวลาดำเนินการ 2 ปี 6 เดือน ตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม 2559-31 มีนาคม 2562

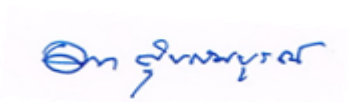
<u>รายรับ</u>

จำนวนเงินที่ได้รับ

งวดที่ 1 (50%)	110,000 บาท	เมื่อวันที่ 30 พฤษภาคม 2560
งวดที่ 2 (40%)	88,000 บาท	เมื่อวันที่ 30 มีนาคม 2561
งวดที่ 3 (10%)	22,000 บาท	จะได้รับเมื่ออนุมัติปิดโครงการ
รวม	220,000 บาท	

<u>รายจ่าย</u>

รายการ	งบประมาณที่ตั้งไว้	งบประมาณที่ใช้จริง	จำนวนเงินคงเหลือ/เกิน
1. ค่าตอบแทน - ค่าตอบแทนผู้ช่วยวิจัย -ค่าตอบแทนนักวิจัย	14,400 20,000	14,400 20,000	0 0
2. ค่าวัสดุ	118,000	118,000	0
3. ค่าใช้สอย	456,000	456,000	0
4. ค่าใช้จ่ายอื่นๆ - ค่าธรรมเนียมการอุดหนุนมหาวิทยาลัย	22,000	22,000	0
รวม	220,000	220,000	0



(นางสาวอโนชา สุขสมบูรณ์)
หัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน

เอกสารอ้างอิง

กาญจนา มหัทธนทวี, คุลิกา จันทรศรี และดวงตา สว่างภพ. (2556). ข้าวกล้องผสมหุงสุกไว. *วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม, 8*(1), 35-46.

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

กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2545). *คุณภาพข้าวและการตรวจสอบข้าวปนในข้าวหอมมะลิไทย*. กรุงเทพฯ: บริษัท จิรวัฒน์เอกซ์เพรส จำกัด.

กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. (2542). *ข้าว*. วันที่ค้นข้อมูล 23 สิงหาคม 2558, เข้าถึงได้จาก http://nutrition.anamai.moph.go.th.

กุหลาบ สิทธิสวนจิก. (2553). แป้งทนต่อการย่อยด้วยย้อนไซม์: แป้งเพื่อสุขภาพ. *ก้าวทันโลกวิทยาศาสตร์. 10*(2), 70-77

ดุษฎี อุตภาพ. (ม.ป.ป). *เคมีและสมบัติของแป้ง*. วันที่ค้นข้อมูล 13 ตุลาคม 2559, เข้าถึงได้จาก http://eu.lib.kmutt.ac.th.

ณรงค์ โฉมเฉลา. (2548). *บทบาทของน้ำมันมะพร้าวต่อสุขภาพ.* วันที่ค้นข้อมูล 8 ธันวาคม 2559, เข้าถึงได้จาก http://www.thaicam.go.th.

ธัญสินี โพธิ์ภิรมย์. (2557). *การลดค่าดัชนีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ขนมไทย*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอาหาร, มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม.

ธิดารัตน์ หน่อสุวรรณ. (2550). *สมบัติของวิตามินอีที่สกัดจากดิสทิลเลตของน้ำมันรำข้าวโดยใช้เฮกเซนที่อุณหภูมิต่ำ.* วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ธิษณา จรรญาชัยเลิศ. (2559). *ประโยชน์มหัศจรรย์น้ำมันมะกอก*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ Amarin Health.

ธีรารัตน์ อิทธิโสภณกุล. (2555). การเตรียมและการประยุกต์ใช้สารประกอบเชิงซ้อนแบบอินคลูชันของอะไมโลสในระบบนำส่งสารสำคัญทางอาหาร. *วาสารวิทยาศาสตร์บูรพา, 17*(1), 157-164.

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. (ม.ป.ป.). *ข้าวขาวดอกมะลิ 105*. วันที่ค้นข้อมูล 8 ธันวาคม 2559, เข้าถึงได้จาก http://www.pirun.ku.ac.th.

นัยนา บุญทวียุวัฒน์ และเรวดี จงสุวัฒน์. (2545). *น้ำมันรำข้าวทางเลือกเพื่อสุขภาพของคนไทย.* กรุงเทพมหานคร: โอเดียนสโตร์.

นิธิยา รัตนาปนนท์. (2549). *วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน.* กรงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.

ประสิทธิ์ วังภคพัฒนวงศ์. (2556). *เทคโนโลยีการแปรรูปข้าว.* กรมวิทยาศาสตร์บริการ. กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.

ปานเทพ พัวพงษ์พันธ์. (2558). *เปิดงานวิจัยปฏิวัติการหุงข้าวแบบใหม่ให้ห่างไกลโรค (ตอนที่1).* วันที่ 8 ธันวาคม 2559, เข้าถึงได้จาก http://www.manager.co.th/Weekend/ViewNews.

พรทิพย์ ศิริสุนทราลักษณ์ กัญญารัตน์ รุจิรารุ่งเรือง และ เกื้อพันธ์ ชยะสุนทร. (2552). การพัฒนากระบวนการผลิตข้าวหุงสุกเร็วด้วยวิธีแช่น้ำ. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 40*(1) (พิเศษ), 429-432.

พิมเพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนปนนท์. (ม.ป.ป.). *แอคติวิตีของน้ำ.* วันที่ค้นข้อมูล 9 เมษายน 2560, เข้าถึงได้จาก http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/water-activity.

ภคินี อัครเวสสะพงศ์. (2557). *ค่าดัชนีน้ำตาลในข้าวกล้องและข้าวกล้องงอก*. ม.ป.พ. : กรมการข้าว สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว.

รสิตา โอสถานนท์. (2558). *เทคโนโลยีของธัญชาติ* (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

รัชนี คงคาฉุยฉาย. (2558, 8 พฤศจิกายน). กินข้าว ลด เบาหวาน ลด อ้วน. *หนังสือพิมพ์เดลินิวส์*, หน้า 7.

รัตนาวดี ปัตถะเมฆ อรวรรณ อนันคำ และศรีสุวรรณ นฤนาทวงศ์สกุล. (2549). *การผลิตข้าวขึ้นรูปจากปลายข้าวโดยใช้เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว*. รายงานการวิจัย ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร. คณะอุตสาหกรรมการเกษตร. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ลัคนา บริจินดากุล. (2555). *การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่มีส่วนผสมของแป้งข้าวก่ำและแป้งถั่วแปะยีงอก*, วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ศิวาพร ศิวเวช และอุดม กาญจนปกรณ์ชัย. (2546). *การศึกษาการปรับปรุงคุณภาพข้าวกึ่งสำเร็จรูป.* วันที่ค้นข้อมูล 8 ธันวาคม 2559,เข้าถึงได้จาก http://fic.nfi.or.th/knowlegdedatabank Research-detail.php-756.

ศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าว. (2553). *น้ำมันกับสุขภาพ*. วันที่ค้นข้อมูล 8 ธันวาคม 2559, เข้าถึงได้จาก http://dna.kps.ku.ac.th/v2016/index.php/article-rice-rsc-rgdu/49-rice-oil

สุนทร ตรีนันทวัน. (2557). *น้ำมันรำข้าว*. วันที่ค้นข้อมูล 8 ธันวาคม 2559, เข้าถึงได้จาก http://edtech.ipst.ac.th.

สุนทร สีหะเนิน. (2556) *สุดยอดข้าวไทย.* กรุงเทพฯ : บริษัทข้าว. ซี. พี. จำกัด.

สุธยา พิมพ์พิไล. (2549). *การศึกษากรรมวิธีการผลิตข้าวหอมมะลิแดงแบบหุงสุกเร็ว*. รายงานการวิจัย คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

แสงนวล ทองเพียร. (2547). *การพัฒนาข้าวกึ่งสำเร็จรูป.* วันที่ค้นข้อมูล 8 ธันวาคม 2559, เข้าถึงได้จาก http://sutir.sut.ac.th/sutir/bitstream.

อรอนงค์ นัยวิกุล. (2547). *ข้าว : วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี* (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

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

AOAC. (1995). *Office Method of Analysis of the Association Official Analytical Chemist*. 14 th ed Washington. D,C.

AOAC. (2000). *Association of Official Analytical Chemists*, Official Methods of Analysis. Wachington D.C.

Alexander, W.P. (1954). Process of Preparing Quick cooking Rice. *U.S. Pat*. 2, 507, 242 November 9.

Benmoussa, M., Moldenhauer, K.A., & Hamake, B.R. (2007). Rice amylopectin structure variability affects starch digestion properties. *Journal of Agricultural and Food chemistry* 55, 1475-1479.

Bhatnagar, S., & Hanna, M.A. (1994). Amylose-lipid complex formation during single-screw extrusion of various corn starches. *Cereal Chem* 71, 582-587.

Denardin, C.C., Walter, M., Dasilva, L.P., Souto, G.D., & Fagundes, C.A.A. (2007). Effect of amylose content of rice varieties on glycemic metabolism and biological responses in rat. *Food Chemistry* 105, 1474-1479.

Englyst, H.N., Kingman, S.M., & Cummings, J.H. (1992). Classification and measurement of nutritionally important starch fraction. Food Chemistry, 46, 33-50.

Frie, M., Siddhuraju, P., & Becker, K. (2003). Studies on the in vitro starch digestibility and the glycemic index of six different indigenous rice cultivars from the Philippines. *Food Chemistry,* 83, 395-402.

Goni, I. (1997). A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index. *Journal of nutrition research*, 17, 427-437.

Han, J.A., & Lim, S.T. (2009). Effect of presoaking on textural, thermal, and digestive properties of cooked brown rice. *Cereal Chemistry*. 86(1), 100-105.

Hung, P.V.,Chau., H.T., & Lan,N.T. (2016). *In vitro* digestibility and *in vivo* glucose response of native and physically modified rice starches. *Food Chemistry* 191, 74-80.

Hoover, R., & Hadziyev. (1981). Effect of lipids on the retrogradation of cooked rice. *Cereal Chem* 67, 7-10.

Hsu, H.W., Postberg, F., Sekine, Y., Shibuya, T., Kempf, S.,Horanyi, M., Juhasz, A., Altobelli, N., Suzuki, K., Masaki, Y., Kuwatani, M., Tachibana, S., Sirono, S.I., Klostermeyer, G.M., & Srama, R. (2015). Nature 519, 207-210

Hsua, R.J. (2015). Effects of cooking, retrogradation and drying on starch digestibility in instant rice making. *Journal of Cereal Science* 65, 154-161.

Huxsoll, C.C., & Morgan, A.J. (1968). *Microwaves for quick-cooking rice.* Cereal Science Today. 13(53), 203.

Juliano, B.O. (1985). Rice: Chemistry and Technology. 2nd ed. *The American Association of Cereal Chemists*, Inc., St.Paul.Minnesota.

Keneaster, K.K., & Newtin, H.E. (1957). Process for Producing a Quick-cooking Product of Rice or Other Starchy Vegetable. *U.S. Pat*. 2, 813, 769. November 19.

Lebail, P., Buleon, A., Shiftan, D., & Marchessault, R.H. (2000). *Mobility of lipid in complexes of amylose-fatty acids by deuterium and 13C solid state NMR. Carbohydrate Polymers* 13(4): 317-326.

Lee, H., Thuan, C., Aziz, N. A., & Bhat, R. (2015). In vitro starch digestibility of bread with banana (Musa acuminate X balbisiana ABB cv. Awak) pseudo-stem flour and hydrocolloids. *Journal of food bioscience*, 12, 10-17.

Mahasukhonthachat, K., Sopade, P.A., & Gidley, M.J. (2010)a. Kinetics of starch digestion in sorghum as affected by particle size. *Journal of Food Engineering.* 96, 18-28.

Mahasukhonthachat, K., Sopade, P.A., & Gidley, M.J. (2010)b. Kinetics of starch digestion and functional properties of twin-screw extruded sorghum. *Journal of Cereal Science*. 51: 392-401.

Rattanamechaiskul, C., Soponronnarit, S., & Prachayawarakorn, S. (2014). Glycemic response to brown rice treated by different drying media. *Journal of Food Engineering* 122, 48-55.

Reed, M.O., Ai,Y., Leutcher, J.L., & Jane, J. (2013). Effect of cooking methods and starch strucures on starch hydrolysis rates of rice. *Journal of food Science*. 78, 1076-1081.

Robert, R.L. (1955). Preparation of pre-cooked rice. *United States Patent Office*. August 16.

Ozai-Durrani, A.K. (1948). Quick-cooking rice and process for making same. *United States Patent Office*.. April 6.

Sajilata, M.G., Rekha, S., & Singhal, S. (2006). Comprehensive reviews in rice. *Journal of Food Science and Food safety* 132, 15-34.

Smith, D.A., Rao, R.M., Liuzzo, J.A., & Champagne, E. (1985). Chemical treatment and processes modification for producing improved quick-cooking rice. *Journal of food Science*, 50, 926-931.

Srikaeo, K., & Arranz-Martinez, P. (2015). Formulating low glycemic index rice flour to be used as a functional ingredient. *Journal of cereal science*, 61, 33-40.

Srikaeo, K., & Sopade, P.A. (2010). Functional properties and starch digestibility of instant Jasmine rice porridges. *Carbohydrate Polymers*. 82: 952-957.

Tufvesson, F., Wahlgren, M., & Eliiasson, A.C. (2003). *Formation of amylase-lipid complexes and effect of temperature treatment*. Part 2. Fatty acid. Starch 55: 138-149.

Wadsworth, J. I., Van, E.D., & Luh, B.S. (1991*).* Milling in Rice Productioned. *Nostrand Reinhold*: (pp.347-388). New York.

Wayne, T.B. (1963). Process of Preparing a Rice Product. *United States Patent Office*.. April 9.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

ก-1 การหาปริมาณอะไมโลส (กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2545)

นำข้าวขาวดอกมะลิ 105 ข้าวขาวตาแห้ง และข้าวเหลืองประทิว มาบดให้มีความละเอียด 100 เมช แล้วชั่งแป้งข้าวแต่ละชนิด 100 มิลลิกรัม ใส่ใน volumetric flask 100 มิลลิลิตร เติมเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ 1 มิลลิลิตร หมุน flask ให้แป้งกระจายตัว เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 นอร์มัล ปริมาณ 9 มิลลิตร ต้มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 10 นาที ทำให้เย็น แล้วปรับปริมาตร เป็น 100 มิลลิลิตร โดยน้ำกลั่น นำสารละลายแป้งมาทำปฏิกิริยาให้เกิดสี โดยดูดน้ำแป้งมา 5 มิลลิลิตร ใส่ใน volumetric flask 100 มิลลิลิตรซึ่งมีกรดอะซิติก 1 นอร์มัล ปริมาณ 1 มิลลิลิตร และสารละลายไอโอดีน 2 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร โดยน้ำกลั่น ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 20 นาที ทำแบลงค์ด้วยสารเคมี ดังเดิม ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร โดยทิ้งน้ำกลั่น ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 20 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 620 นาโนเมตร เปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงจากกราฟมาตรฐาน เพื่อให้ทราบปริมาณอะไมโลสของข้าวชนิดต่างๆ

การทำกราฟมาตรฐาน (Standard Curve)

ชั่งอะไมโลสบริสุทธิ์ 40 มิลลิกรัม ทำเช่นเดียวกับการวิเคราะห์อะไมโลสในตัวอย่างดังขั้นตอนที่กล่าวมาข้างต้น ปิเปตสารละลายอะไมโลสมาตรฐานใส่ใน volumetric flask 100 มิลลิลิตร ปริมาณ 1 2 3 4 และ 5 มิลลิลิตร ตามลำดับ เติมกรดอะซิติก 1 นอร์มัล ปริมาณ 0.2 0.4 0.6 0.8 และ 1.0 มิลลิลิตร ตามลำดับ เติมสารละลายไอโอดีน 2 มิลลิลิตร ปรับปริมาตร เป็น 100 มิลลิลิตร โดยน้ำกลั่น ทิ้งไว้ 20 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 620 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสงมาเขียนกราฟความสัมพันธ์กับร้อยละของปริมาณอะไมโลส

ก-2 การวิเคราะห์ค่าดัชนีไกลซีมิก (Glycemic index) (Goni, 1997) และ (Lee et al., 2015)

สารเคมี

1) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2 โมลาร์
2) โซเดียมแอซิเตตบัฟเฟอร์ 0.4 โมลาร์
3) เอนไซม์แอมิโลกลูโคซิเดส (A9913)
4) เอนไซม์เปปซิน (≥2500 units/mg)
5) ไฮโดรคลอริกในโพแทสเซียมคลอไรด์บัฟเฟอร์ (pH 1.5) ความเข้มข้น 0.2 โมลาร์
6) เอนไซม์แอลฟาอะไมเลส (≥10units/mg solid)
7) และทริสมาลิเอทบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ (pH 6.9)
8) ชุดทดสอบ D-Glucose

วิเคราะห์หาปริมาณสตาร์ชทั้งหมดโดยชั่งตัวอย่างบดละเอียด 0.05 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพูขนาด 125 มิลลิลิตร เติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2 โมลาร์ จำนวน 6 มิลลิลิตร นำไปบ่มในอ่างควบคุมอุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส ที่มีการเขย่า เป็นเวลานาน 30 นาทีจากนั้นเติมโซเดียมแอซิเตตบัฟเฟอร์ 0.4 โมลาร์ (pH 4.75) จำนวน 3มิลลิลิตรและเอนไซม์แอมิโลกลูโคซิเดส 60 ไมโครลิตร นำไปบ่มในอ่างควบคุม

อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 45 นาที นำตัวอย่างมา 0.1 มิลลิลิตร เติมโซเดียมแอซิเตตบัฟเฟอร์ 0.4 โมลาร์ (pH 4.75) จำนวน 0.9 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันและดูดสารละลายตัวอย่างมา 0.1 มิลลิลิตร เพื่อวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลที่ได้จากการย่อยสตาร์ชทั้งหมด โดยเติม GOPOD reagent จำนวน 3 มิลลิลิตร นำไปบ่มในอ่างควบคุมอุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 20 นาทีและนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร คำนวณหาปริมาณกลูโคสจากสมการ

$$\text{D-Glucose } (\mu g/0.1 \text{ mL}) = (Abs_{Sample}/ Abs_{Glucose\ standard\ (100\ \mu g)}) \times 100$$

เมื่อได้ค่าปริมาณกลูโคสแล้ว นำมาคำนวณหาปริมาณสตาร์ชทั้งหมดโดยสมการ

$$\text{Total starch} = \text{D-Glucose} \times 0.9$$

วิเคราะห์หาค่าดัชนีไกลซีมิกโดยชั่งตัวอย่างบดละเอียด 0.05 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพูขนาด 125 มิลลิลิตร เติมเอนไซม์เปปซิน (≥2500 units/mg) จำนวน 0.2 มิลลิลิตร และไฮโดรคลอริกในโพแทสเซียมคลอไรด์บัฟเฟอร์ (pH 1.5) ความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ จำนวน 10 มิลลิลิตร นำไปบ่มในอ่างควบคุมอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ที่มีการเขย่า เป็นเวลานาน 60 นาที จากนั้นเติมเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส (≥10units/mg solid) จำนวน 5 มิลลิลิตร และทริสมาลิเอทบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ (pH 6.9) จำนวน 15 มิลลิลิตร นำไปบ่มในอ่างควบคุมอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ที่มีการเขย่า เป็นเวลานาน 180 นาทีโดยนำตัวอย่างมาทุก ๆ 30 นาที จนครบ 180 นาที จากนั้นนำไปใส่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ที่มีการเขย่า เป็นเวลานาน 5 นาทีเติมโซเดียมแอซิเตตบัฟเฟอร์ ความเข้มข้น 0.4 โมลาร์ (pH 4.75) จำนวน 3 มิลลิลิตรและเติมเอนไซม์แอมิโลกลูโคซิเดส 60 ไมโครลิตร นำไปบ่มในอ่างควบคุมอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 45 นาทีจากนั้นนำตัวอย่างมา 0.1 มิลลิลิตร เติมโซเดียมแอซิเตต 0.4 โมลาร์จำนวน 0.9 มิลลิลิตรและดูดสารละลายตัวอย่างมา 0.1 เติม GOPOD reagent จำนวน 3 มิลลิลิตร นำไปบ่มในอ่างควบคุมอุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 20 นาทีและนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร คำนวณหาปริมาณกลูโคสจากสมการ

$$\text{D-Glucose } (\mu g/0.1 \text{ mL}) = (Abs_{Sample}/ Abs_{Glucose\ standard\ (100\ \mu g)}) \times 100$$

เมื่อได้ค่าปริมาณกลูโคสแล้ว นำมาคำนวณหาปริมาณสตาร์ชโดยสมการ

$$\text{Starch} = \text{D-Glucose} \times 0.9$$

นำค่าสตาร์ช และปริมาณสตาร์ชทั้งหมดที่ได้ที่เวลา 30, 60, 90, 120, 150, 180 นาที ไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์อัตราการย่อยสตาร์ช (Starch hydrolysis rate) ดังสมการ

$$\text{Starch hydrolysis rate (\%)} = (\text{Starch}/ \text{Total starch}) \times 100$$

จากนั้นนำข้อมูลอัตราการย่อยสตาร์ชมาสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอัตราการย่อยสตาร์ช และหาพื้นที่ใต้กราฟ (AUC) โดยใช้โปรแกรม Sigma Plot เพื่อคำนวณค่าดัชนีการย่อย (Hydrolysis index ; HI) โดยใช้ขนมปังขาวที่ขายทางการค้าเป็นตัวอย่างอ้างอิง
ดังสมการ

$$HI = (AUC_{sample}/AUC_{reference}) \times 100$$

นำไปคำนวณค่าดัชนีไกลซีมิกจากสมการ

$$GI = 39.71 + 0.549HI$$

ก-3 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000)

อุปกรณ์

1) ภาชนะอะลูมิเนียมสำหรับหาความชื้น
2) ตู้อบไฟฟ้า
3) โถดูดความชื้น
4) เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง

วิธีการวิเคราะห์

1) อบภาชนะสำหรับหาความชื้นในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 2-3 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบใส่ไว้ในโถดูดความชื้นหลังจากนั้นชั่งน้ำหนัก

2) ทำเช่นเดียวกับข้อ 1 ซ้ำจนได้ผลต่างของน้ำหนักทั้ง 2 ครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม

3) ชั่งตัวอย่างข้าวหุงสุกเร็วให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนอย่างละเอียดประมาณ 1-2 กรัม เกลี่ยลงในภาชนะหาความชื้นที่ทราบน้ำหนักแน่นอนแล้ว

4) นำไปอบที่ตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 5-6 ชั่วโมง

5) นำออกจากตู้อบใส่โถดูดความชื้น หลังจากนั้นชั่งหาน้ำหนัก

6) อบซ้ำอีกครั้งประมาณ 30 นาทีและทำเช่นเดิมจนได้ผลต่างของน้ำหนักทั้ง 2 ครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม

7) คำนวณหาปริมาณความชื้นจากสูตร

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณความชื้น (\%)} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ-น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ})(\text{กรัม}) \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)}}$$

ก-4 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (AOAC, 2000)

อุปกรณ์

1) อุปกรณ์การย่อยโปรตีน ประกอบด้วยเตาเผาและเครื่องดักจับไอกรด
2) อุปกรณ์กลั่นโปรตีน
3) ขวดรูปชมพู่ ขนาด 125 มิลลิลิตร
4) ขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร
5) ปิเปต (แบบกระเปราะ) ขนาด 5 และ 10 มิลลิลิตร
6) บิวเรตขนาด 25 มิลลิลิตร
7) ลูกแก้ว

สารเคมี

1) สารผสมระหว่างคอปเปอร์ซัลเฟต ($CUSO_4.H_2O$) และโพแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) อัตราส่วน 1:10
2) กรดซัลฟิวริกเข้มข้น
3) โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น40เปอร์เซ็นต์
4) กรดบอริกเข้มข้น4เปอร์เซ็นต์
5) กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 N
6) อินดิเคเตอร์เป็นสารผสมระหว่างเมทิลเรต เมธีลีนบลู และโบรโมครีซอลกรีน

วิธีการวิเคราะห์

ขั้นตอนการย่อย

1) ชั่งตัวอย่างข้าวหุงสุกเร็วให้ได้น้ำหนักแน่นอน 1-3 กรัมใส่ลงในหลอดย่อยโปรตีน

2) ใส่สารผสมระหว่างคอปเปอร์ซัลเฟตและโพแทสเซียมซัลเฟต ปริมาณ 5 กรัม และเติมกรดซัลฟูริกปริมาณ 20 มิลลิลิตร

3) วางหลอดย่อยในตัวอย่างย่อยแล้วประกอบสายยางระหว่างฝาครอบ ขวดใส่ด่างและเครื่องดักจับไอกรดให้เรียบร้อย

4) เปิดสวิทช์เครื่องดักจับไอกรดและเตาย่อยแล้วตั้งอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที จากนั้นปรับเพิ่มอุณหภูมิเป็น 400 องศาเซลเซียส ย่อยต่ออีก 60 นาที จนได้สารละลายใส

5) ปล่อยทิ้งไว้ให้เย็น

ขั้นตอนการกลั่นและไตเตรท

1) จัดอุปกรณ์กลั่น แล้วเปิดสวิทช์ให้ความร้อน และเปิดน้ำหล่อเย็นเครื่องควบแน่น

2) นำขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร ซึ่งบรรจุกรดบอริก (เข้มข้น4เปอร์เซ็นต์) ปริมาตร 25 มิลลิลิตร

3) เติมอินดิเคเตอร์แล้วไปรองรับของเหลวที่กลั่นได้ โดยให้ส่วนปลายของอุปกรณ์ควบแน่นจุ่มลงในสารละลายกรด

4) เติมน้ำกลั่นลงในหลอดย่อย 20 มิลลิลิตร จากนั้นเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้ทำปฏิกิริยาเกินพอ สังเกตให้สารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลขุ่น

5) กลั่นให้ได้ของเหลวอยู่ในระดับ 125 มิลลิลิตร

6) ไตเตรทสารละลายที่กลั่นได้ด้วยกรดไฮโดรคลอกริกที่มีความเข้มข้น 0.1 N จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีม่วง

7) คำนวณหาปริมาณโปรตีนจากสูตร

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณโปรตีน (\%)} = \frac{(A-B) \times N \times 1.4007 \times F}{W}$$

เมื่อ A คือ ปริมาณกรดที่ใช้ไตเตรทกับตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

B คือ ปริมาณกรดที่ใช้ไตเตรทกับ blank (มิลลิลิตร)

N คือ ความเข้มข้นของกรด (N)

F คือ แฟคเตอร์ (5.85)

W คือ น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)

ก-5 การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (AOAC, 2000)

อุปกรณ์

1) Soxhlet apparatus

2) หลอดใส่ตัวอย่าง

3) สำลี

4) ตู้อบไฟฟ้า

5) เครื่องชั่งไฟฟ้า

6) โถดูดความชื้น

สารเคมี

1) ปิโตรเลียมอีเทอร์

การเตรียมสารตัวอย่าง

1) นำสารตัวอย่างไปอบไล่ความชื้นที่ 105 องศาเซลเซียส ประมาณ 1-2 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งสารตัวอย่าง 5-10 กรัม ด้วยเครื่องชั่งละเอียด (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน

2) อบบีกเกอร์ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ทำให้เย็นลงที่อุณภูมิห้อง ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักบีกเกอร์ด้วยเครื่องชั่งละเอียด (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน

3) สามารถเลือกใส่สารตัวอย่างใน Extraction thimble ได้ 2 แบบ ดังนี้

3.1) นำสำลีที่ปราศจากไขมัน เกลี่ยบางๆร้องที่ก้นของ Extraction thimble ก่อนชั่งสารตัวอย่างใส่ลงไป

3.2) ชั่งสารตัวอย่างด้วยเครื่องชั่งละเอียด แล้วห่อด้วยกระดาษกรองที่ปราศจากไขมัน พับแล้วใส่ใน Extraction thimble

4) เทตัวทำละลาย (Solvent) ปิโตรเลียมอีเทอร์ 140 มิลลิลตร ลงในบีกเกอร์

5) นำ Extraction thimble ประกอบเข้ากับ Holder วางลงใบบีกเกอร์ แล้วนำไป ประกอบเข้ากับเครื่องวิเคราะห์ไขมัน

วิธีการวิเคราะห์

1) เมื่อครบเวลาที่กำหนด นำบีกเกอร์ไปไล่ปิโตรเลียมอีเทอร์ที่ยังเหลืออยู่ โดยวางในบีกเกอร์ในน้ำเดือด (ควรทำในตู้ดูดควัน)

2) เมื่อปิโตรเลียมอีเมอร์แห้งสนิท นำบีเกอร์ไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น

3) ชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งละเอียด

4) คำนวณหาปริมาณไขมันจากสูตร

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณไขมัน (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักขวดตัวอย่างหลังอบ} \times 100}{\text{น้ำหนักขวดตัวอย่างก่อนอบ}}$$

ก-6 การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (AOAC, 2000)

อุปกรณ์

1) ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) Memment รุ่น ULE 560 ประเทศเยอรมัน

2) ตาเผา Ney รุ่น 6-160A ประเทศอังกฤษ

3) เตาไฟ (Hot plate) รุ่น ECM6 ประเทศอังกฤษ

4) ถ้วยครูซิเบิ้ล (Crucible)

5) โถดูดความชื้น (Desiccator)

6) เครื่องชั่งไฟฟ้าชนิดละเอียด (Checkweigher) Sartorius รุ่น AC 2115-00 ประเทศเยอรมนี

วิธีการ

1) อบตัวอย่างข้าวหุงสุกเร็วให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น

2) เผาด้วยคูซิเบิ้ลในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง รอประมาณ30-45 นาที เพื่อให้อุณหภูมิในเตาเผาลดลงก่อน แล้วนำออกจากเตาเผา ใส่ลงในโถดูดความชื้น ปล่อยให้เย็นถึงอุณหภูมิห้องแล้วชั่งน้ำหนัก

3) เผาซ้ำอีกครั้ง ครั้งละประมาณ 30 นาที แล้วนำออกจากเตาเผาใส่ลงในโถดูดความชื้น ปล่อยให้เย็นถึงอุณหภูมิห้องแล้วชั่งน้ำหนักจนได้ผลต่างของน้ำหนักทั้งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 0.05 กรัม

4) ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน นำไปเผาบนเตาไฟฟ้าจนกระทั่งควันดำหมด แล้วนำเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส จนกระทั่งได้เถ้าสีขาว ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักเถ้า คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของเถ้าทั้งหมดในตัวอย่างอาหาร

การคำนวณ

$$\text{เถ้าทั้งหมด (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักเถ้า} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$

ก-7 การวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (AOAC, 1990)

คาร์โบไฮเดรต (%โดยน้ำหนักแห้ง) = 100 - % (โปรตีน + ไขมัน + เถ้า)

ก-8 การวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยหยาบ (AOAC, 1990)

อุปกรณ์

1) เตาเผา Ney รุ่น 6-160A ประเทศอังกฤษ

2) เครื่องให้ความร้อน (Hot plate) รุ่น ECM6 ประเทศอังกฤษ

3) ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) Memment รุ่น ULE 560 ประเทศเยอรมัน

4) เครื่องชั่งไฟฟ้าชนิดละเอียด (Checkweigher) Sartorius รุ่น AC 2115-00 ประเทศเยอรมนี

5) กระดาษกรอง

6) โถดูดความชื้น (Desiccator)

สารเคมี

1) กรดซัลฟูริกเข้มข้น 0.1275 โมลาร์

2) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.313 โมลาร์

3) สารละลายไฮโดรคลอริก 1 %

4) เอธิลแอลกฮอล์ 95%

วิธีการ

1) นำตัวอย่างที่สกัดเอาไขมันออกแล้วมาหาปริมาณเส้นใยโดยนำตัวอย่างใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร

2) เติมสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 0.1275 โมลาร์ จำนวน 200 มิลลิลิตรแล้วต้มให้เดือดเป็นเวลา 30 นาที ตลอดเวลาที่ต้มมจะต้องรักษาปริมาตรให้คงที่โดยการเติมด้วยน้ำกลั่น

3) กรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 54 หรือ 531 โดยใช้ suction ล้างด้วยน้ำร้อนหลายๆ ครั้งจนหมดกรด แล้วเทกากกลับใส่ในบีกเกอร์ใบเดิม

4) เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.313 โมลาร์ จำนวน 200 มิลลิลิตร แล้วต้มให้เดือดเป็นเวลา 30 นาที รักษาปริมาตรให้คงที่โดยการเติมน้ำกลั่น

5) กรองผ่านกระดาษกรอง โดยใช้ suction ล้างด้วยน้ำร้อนหลายๆ ครั้งจนหมดด่าง แล้วเทกากกลับใส่ในบีกเกอร์ใบเดิม

6) ล้างกากด้วยสารละลายไฮโดรคลอริก 1 % แล้วล้างตามด้วยน้ำร้อนจนหมดกรด

7) นำกากล้างด้วยเอธิลแอลกฮอล์ 95% 2 ครั้ง 15-20 มิลลิลิตร

8) นำกากใส่ลงกระดาษกรอง Whatman ชนิดปราศจากเถ้า ซึ่งผ่านการอบแห้งที่ 80 องศาเซลเซียส และชั่งจนทราบน้ำหนักที่แน่นอน

9) นำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสนาน 1 ชั่วโมงหรือจนน้ำหนักคงที่

10) จากนั้นนำกากไปเผาให้เป็นเถ้าในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส จนเป็นเถ้าสีขาว ปล่อยให้เย็นใน desiccater ชั่งหาน้ำหนักเถ้าที่ได้

การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์เส้นใยจากสูตร

น้ำหนักเส้นใย = น้ำหนักแห้งของกาก – น้ำหนักเถ้า

$$\text{ปริมาณเส้นใย} = \frac{\text{น้ำหนักเส้นใย } \boldsymbol{x\ 100}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$

ก-9 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ (Water activity, a_w)

ขั้นตอนและวิธีการวัดตัวอย่างด้วยเครื่อง Novasina Thermconstanter 200 รุ่น AWC

1) กดปุ่มเปิด-ปิดเครื่อง (ด้านหน้าเครื่อง) ทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที

2) Calibrate เครื่องด้วยเกลือมาตรฐาน อย่างน้อย 2 ค่า ที่ครอบคลุมช่วงของการวัด

3) ใส่ตัวอย่างใน Sample cap ประมาณ 2/3 ของความจุ (อย่าให้ส่วนของตัวอย่างสูงเกินขอบผิวหน้า) ถ้าไม่วัดในทันทีให้ปิดฝา Sample cap

4) เปิดฝาเครื่องและใส่ตัวอย่างลงในช่องใส่ตัวอย่างด้านซ้ายมือ ปิดฝาเครื่องให้เรียบร้อย (ช่องทางขวามือมีไว้สำหรับวางตัวอย่างถัดไปเพื่อรอการวัด)

5) กดปุ่มสีเหลืองที่อยู่ด้านขวาของข้อความ จนปุ่มไฟสีส้มหน้า Analyzing กระพริบ

6) เมื่อการวิเคราะห์ a_w เสร็จสิ้น ไฟสีเขียว stable จะติดพร้อมๆ กับมีเสียงเตือนจากเครื่องเป็นจังหวะแล้วจึงเงียบเสียง บันทึกค่า a_w และ temp ที่ปรากฏในกรอบสี่เหลี่ยมสีดำ

7) เปิดฝาเครื่องและเปลี่ยนเป็นตัวอย่างถัดไป ถ้าต้องการ

หมายเหตุ : ถ้าต้องการหยุดการวัดในขณะที่ไฟสีส้มหน้า Analyzing กำลังกระพริบให้กดปุ่มสีเหลืองที่อยู่ด้านขวาของข้อความ

ภาคผนวก ข
การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ

ข-1 การวัดค่าสี (L* a* และ b*)

นำตัวอย่างข้าวหุงสุกเร็วทั้งก่อนและหลังการคืนรูปมาวิเคราะห์ค่าสีด้วยเครื่องวัดสี (Colorimeter) Hunter LAB รุ่น Miniscan XP Plus โดยทำการทดลองตามขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าสีมีดังนี้

วิธีวิเคราะห์

1. ก่อนทำการวัดสีทุกครั้ง ต้องทำการปรับมาตรฐานของเครื่อง (Calibration) โดยการวางหัววัดทาบบนแผ่นสำหรับ Calibration สีขาว แล้วกดปุ่ม Measure ซึ่งเครื่องวัดสีจะบันทึกข้อมูลค่าสีขาวของแผ่นสำหรับ Calibrate ไว้คือ (X = 81.17, y = 86.12 และ Z = 91.78)

2. นำข้าวหุงสุกเร็วใส่ภาชนะสำหรับวัดค่าสี โดยใส่ให้เต็มภาชนะไม่ให้มีช่องที่แสงผ่านได้ ขณะวัดตัวอย่างให้ใช้แผ่นสีดำปิดตัวอย่าง

3. ทำการวัดสีของตัวอย่างด้วยระบบ Hunter LAB ซึ่งค่าที่ทำการวัดประกอบด้วยค่า L* (Lightness) คือค่าความสว่างของสีเมื่อมีค่าใกล้ 100 แสดงว่า ตัวอย่างมีสีขาว และเมื่อค่าใกล้ 0 แสดงว่าตัวอย่างมีสีดำ ค่า a* (Redness/Greenness) คือ ค่าสีแดง/สีเขียว เมื่อมีค่าเป็นบวก แสดงว่าตัวอ งมีสีแดง และเมื่อมีค่าเป็นลบ แสดงว่าตัวอย่างมีสีเขียว ค่า b* (Yellowness/Blueness) คือ ค่าสีเหลือง/สีน้ำเงิน เมื่อมีค่าเป็นบวก แสดงว่าตัวอย่างมีสีเหลืองและเมื่อมีค่าเป็นลบ แสดงว่าตัวอย่างมีสีน้ำเงิน

ข-2 การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส (Hsua, R.J., 2015)

การวัดค่า Hardness และ Stickiness

วัดค่า Hardness และ Stickiness โดยใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัส Texture analyzer รุ่น TA-XT2 ใช้ชุดทดสอบ HDP/BS โดยคัดเลือกเมล็ดข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ผ่านการคืนรูปแล้วมา 9 เมล็ด วางเป็น 3 แถว และอยู่ตรงกลางหัววัด

<u>การตั้งค่าพารามิเตอร์</u>

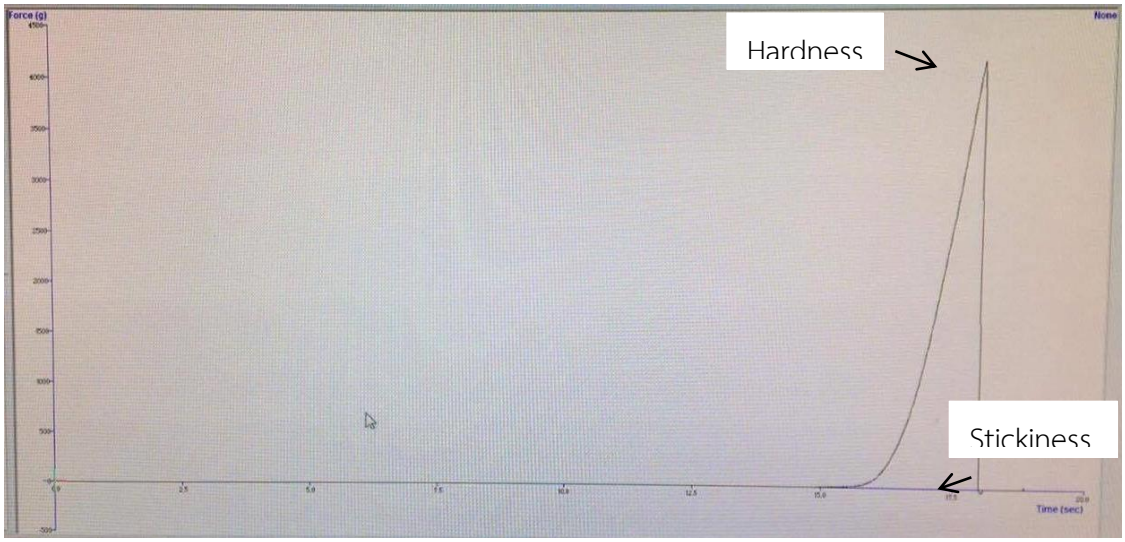
กรณีวัดค่า Hardness และ Stickiness

Mode	Measure Force in Compression
Option	Return to Start
Pre-Test Speed	0.5 mm/sec
Test Speed	10.0 mm/sec
Post-Test Speed	10.00 mm/sec
Distance	20.0 mm

ภาพภาคผนวกที่ ข-2 ชุดทดสอบ HDP/BS

<u>กราฟที่ได้จากการวัดลักษณะเนื้อสัมผัส</u>

วัดลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวกึ่งสำเร็จรูป โดยการวัดค่า Hardness ซึ่งเป็นค่าแรงสูงสุด และ Stickiness เป็นพื้นที่ใต้กราฟส่วนที่มีค่าเป็นลบของช่วงการกด ได้กราฟดังภาพภาคผนวก ข-2



ภาพภาคผนวก ข-2 กราฟการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสด้านค่าความแน่นเนื้อของผลิตภัณฑ์ข้าวกึ่งสำเร็จรูป

ภาคผนวก ค

แบบประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส

ค-1 แบบประเมินผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสทางด้านความชอบโดยวิธี 9 Point Hedonic scale

คำชี้แจง กรุณาทดสอบตัวอย่าง ที่เสนอให้ตามลำดับของตัวเลขรหัสในตาราง จากซ้ายไปขวาและกรุณาบ้วนปากระหว่างตัวอย่างทุกครั้ง แล้วให้คะแนนความชอบ (1-9) กำหนดให้

สเกลความชอบ 1-9

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

รหัสตัวอย่าง	.....	.....	.....
ลักษณะปรากฏ	.....	.....	.....
สี	.....	.....	.....
เนื้อสัมผัส	.....	.....	.....
กลิ่น	.....	.....	.....
ความชอบโดยรวม	.....	.....	.....

ข้อเสนอแนะ.....

.....

ภาคผนวก ง
การเผยแพร่และถ่ายทอดองค์ความรู้

การเผยแพร่และถ่ายทอดองค์ความรู้ “ข้าวลดดัชนีน้ำตาล”
ในพิธีการลงนามบันทึกข้อตกลงความร่วมมือ ด้านการจัดการความรู้และสนับสนุนให้เกิดการพัฒนาความรู้สู่ท้องถิ่นและชุมชน ระหว่าง หอการค้าจังหวัดชลบุรี กับ มหาวิทยาลัยบูรพา
เมื่อวันอังคารที่ 18 กรกฎาคม พ.ศ. 2560 ณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
และ
งานมิติใหม่หอการค้าชลบุรี สู่เวทีความร่วมมือทุกภาคส่วน และ ๗ ผลงานนวัตกรรม
เมื่อวันพฤหัสบดีที่ 25 มกราคม พ.ศ. 2561 ณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา