



วิทยานิพนธ์

ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพทางเคมี กายภาพ
ลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา และความชอบ
ของข้าวพันธุ์ต่างๆที่หุงต้มด้วยวิธีการต่างกัน

RELATIONSHIP AMONG CHEMICAL, PHYSICAL,
DESCRIPTIVE SENSORY QUALITIES AND PREFERENCE,
OF DIFFERENT RICE VARIETIES WITH DIFFERENT
COOKING METHODS

นางสาวสิริกาญจน์ เกียรติชนะไพบุลย์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2551



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร)

ปริญญา

พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร

สาขา

พัฒนาผลิตภัณฑ์

ภาควิชา

เรื่อง ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพทางเคมี กายภาพ ลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา
และความชอบของข้าวพันธุ์ต่างๆที่หุงต้มด้วยวิธีการต่างกัน

Relationship among Chemical, Physical, Descriptive Sensory Qualities and Preference
of different Rice Varieties with different Cooking Methods

นามผู้วิจัย นางสาวสิริกาญจน์ เกียรติธนะไพบูลย์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รศ.ดร.จันทนา อุปดิษฐกุล, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รศ.ดร.ชัชชัย สุวรรณสีชน, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รศ.ดร.อนุวัตร แจ่มชัด, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รศ.ดร.กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 5 เดือน มิถุนายน พ.ศ. ๒๕๕๑

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพทางเคมี กายภาพ ลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา
และความชอบของข้าวพันธุ์ต่างๆที่หุงต้มด้วยวิธีการต่างกัน

Relationship among Chemical, Physical, Descriptive Sensory Qualities and Preference
of different Rice Varieties with different Cooking Methods

โดย

นางสาวสิริกาญจน์ เกียรติชนะไพบุลย์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

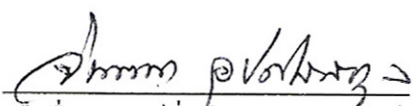
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร)

พ.ศ. 2551

สิริกาญจน์ เกียรติธนะ ไพบูลย์ 2551: ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพทางเคมี ภายนอก ลักษณะทาง
ประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา และความชอบของข้าวพันธุ์ต่างๆ ที่หุงต้มด้วยวิธีการต่างกัน
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร) สาขาวิชาพัฒนา
ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:
รองศาสตราจารย์จินตนา อุปติสสกุล, Ph.D. 201 หน้า

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณภาพทางเคมี ภายนอก ประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา และการ
ยอมรับของข้าวหุงสุกที่ใช้พันธุ์ข้าว และกรรมวิธีการหุงต้มที่แตกต่างกัน จากผลการสำรวจผู้บริโภค (250 คน)
พบว่าผู้บริโภคส่วนใหญ่ชอบข้าวหุงสุกที่มีลักษณะเหนียวนุ่ม มีกลิ่นหอม และชอบหุงต้มโดยใช้หม้อหุงข้าว
ไฟฟ้ามากกว่าวิธีอื่นๆ ทั้งนี้ผู้บริโภคให้ความสำคัญกับประเภทของข้าวสาร บรรจุภัณฑ์ที่ถูกสุขลักษณะ รวมทั้ง
สารให้กลิ่นในข้าว ซึ่งปัจจัยเหล่านี้มีผลต่อการตัดสินใจเลือกซื้อ ในการศึกษาครั้งนี้ใช้ข้าวหุงสุก 24 ตัวอย่างที่
ประกอบด้วย ข้าวจำนวน 6 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวดอกมะลิ 105 (KDML105), กข 15 (RD15), ปทุมธานี 1 (PTT1),
ชัยนาท 1 (CNT1), สุพรรณบุรี 1 (SPB1) และพิษณุโลก 2 (PNL2) ในแต่ละสายพันธุ์นำมาหุงต้มด้วยวิธีการต่างๆ
4 วิธี ได้แก่ การหุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า (E), การนึ่ง (S), การหุงแบบแช่น้ำ (D) และการหุงด้วยเครื่อง
ไมโครเวฟ (M) จากนั้นนำมาตรวจสอบคุณภาพทางเคมี ภายนอก และประสาทสัมผัส และจัดกลุ่มข้อมูลด้วย
วิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก ร่วมกับการจัดกลุ่มตัวอย่างด้วยวิธีวิเคราะห์คลัสเตอร์ ได้ออกเป็น 4 กลุ่ม ดังนี้
กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มข้าวที่มีความขาว ความขรุขระที่ผิว กลิ่น/กลิ่นรสไข่ขาว และกระสอบ และอนุภาคตกค้างมาก
ได้แก่ SPB1-E, SPB1-S, PNL2-E, PNL2-S, CNT1-E, CNT1-S และ CNT1-D กลุ่มที่ 2 เป็นข้าวที่มีความแข็ง การ
เคี้ยว ความหยาบ และอนุภาคตกค้างมาก ได้แก่ SPB1-M, SPB1-D, PNL2-M, PNL2-D และ CNT-M กลุ่มที่ 3
เป็นข้าวที่มีความเหนียว กลิ่น/กลิ่นรสแป้ง ใบเตย และรสหวาน ได้แก่ KDML105-E, KDML105-S, KDML105-
D, RD15-E, RD15-S, RD15-D, PTT1-E, PTT1-S และ PTT1-D และกลุ่มที่ 4 เป็นข้าวที่มีเมล็ดเรียวยาว ลื่นเป็นมัน มี
ความเหนียว และความหยาบมาก ได้แก่ KDML105-M, RD15-M และ PTT1-M เมื่อนำผลจากการตรวจสอบ
คุณภาพทางเคมี ภายนอก และลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนามาหาความสัมพันธ์กับความชอบรวมของ
ผู้บริโภคในรูปของแผนภาพความชอบ (External preference mapping) โดยใช้การวิเคราะห์ข้อมูล partial least
square regression (PLSR) พบว่าค่าคุณภาพทางเคมี ภายนอก และลักษณะทางประสาทสัมผัส มีความสัมพันธ์กับ
ความชอบรวม ($r = 0.588-0.938$) โดยผู้บริโภคชอบตัวอย่างข้าวในกลุ่มที่ 3 มากที่สุด จากการศึกษาทำให้สามารถ
กำหนดคุณลักษณะของข้าวหุงสุกที่ผู้บริโภคยอมรับ ซึ่งประกอบด้วย ค่าการเกาะติดผิว (9,897-11,222 นิวตัน
เมตร) และความเหนียว (14-17 นิวตัน) และลักษณะทางประสาทสัมผัส ได้แก่ ความสมบูรณ์ของเมล็ด (9.65-
10.18) ความเรียวยาวของเมล็ด (8.83-9.83) การเกาะติดกันระหว่างเมล็ด (9.61-9.81) กลิ่น/กลิ่นรสใบเตย (0.14-0.30
และ 0.12-0.20) รสหวาน (0.28-0.35) ความเหนียวในการคั่งมือ (7.50-8.35) ความลื่นเป็นมัน (8.14-8.78) การ
เกาะติดริมฝีปาก (8.81-9.26) การเกาะรวมตัวกันในระยะก่อนกัด (7.50-9.38) และการเคี้ยว (6.04-6.59)

สิริกาญจน์ เกียรติธนะ ไพบูลย์
ลายมือชื่อนิติ


ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก 29 / พค / 51

Sirikarn Kiatthanapiboon 2008: Relationship among Chemical, Physical, Descriptive Sensory Qualities and Preference of different Rice Varieties with different Cooking Methods. Master of Science (Agro-Industrial Product Development), Major Field: Agro-Industrial Product Development, Department of Product Development. Thesis Advisor: Associate Professor Chintana Oupadissakoon, Ph.D. 201 pages.

The objectives of this study were to study chemical, physical, descriptive sensory quality, and consumer preference of rice varieties with different cooking methods. The initial consumer survey (n = 250) stated that consumers preferred sticky and soft texture with fragrant aroma cooked rice, cooked by electric rice cooker. Factors affecting consumer's rice buying decision were types of raw rice, hygienic packaging, and rice aroma. Twenty four cooked rice samples from the combinations of six rice varieties (Khao Dawk Mali 105 [KDML105], Kor Khor 15 [RD15], Pathum Thani 1 [PTT1], Chai Nat 1 [CNT1], Suphan Buri 1 [SPB1] and Phitsanulok 2 [PNL2]) and four different cooking methods (electric cooker [E], steaming [S], drained off water after boiling [D] and microwave cooking [M]) were studied chemical, physical and sensory descriptive analysis of all samples were analyzed by principal component analysis (PCA) and cluster analysis (CA). From those statistical analysis, rice samples were classified into 4 groups: (1) SPB1-E, SPB1-S, PNL2-E, PNL2-S, CNT1-E, CNT1-S and CNT1-D had high intensities in whiteness, surface roughness, egg and burlap aroma/ flavor, and loose particles, (2) SPB1-M, SPB1-D, PNL2-M, PNL2-D and CNT1-M had high intensities in hardness, chewiness, roughness of mass, and loose particles, (3) KDML105-E, KDML105-S, KDML105-D, RD15-E, RD15-S, RD15-D, PTT1-E, PTT1-S and PTT1-D had high intensity in stickiness, pandan aroma/ flavor, and sweetness, (4). KDML105-M, RD15-M and PTT1-M had high intensities in thinness, slickiness, stickiness, and roughness of mass. Relationship among chemical, physical, sensory descriptive qualities, and consumer preference were analyzed by using the partial least square regression (PLSR) with an illustrating external preference mapping. Results showed that qualities of chemical, physical and descriptive sensory attributes were highly correlated to consumer preference ($r = 0.588-0.938$). Samples in group three were mostly preferred. According to this study, the specification of cooked rice qualities which had high score of consumer preference were adhesiveness (9,897-11,222 N.m), stickiness (14-17 N), sensory attributes of gain integrity (9.65-10.18), thinness (8.83-9.83), stickiness between grains (9.61-9.81), pandan aroma/flavor (0.14-0.30 and 0.12-0.20), sweetness (0.28-0.35), manual stickiness (7.50-8.35), slickiness (8.14-8.78), adhesiveness to lips (8.81-9.26), initial stage cohesiveness (7.50-9.38) and chewiness (6.04-6.59).

Sirikarn Kiatthanapiboon

Student's signature

Chintana Oupadissakoon 29 / 05 / 08

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยดี ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.จินตนา อุปดิษฐกุล และรองศาสตราจารย์ ดร.ธงชัย สุวรรณสิขณน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาในการดำเนินการวิจัย และตรวจแก้วิทยานิพนธ์ ขอกราบขอบพระคุณ ดร.พิสิฐ ธรรมวิถี ประธานการสอบวิทยานิพนธ์ และรองศาสตราจารย์ ดร. สุนทรี สุวรรณสิขณน์ ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่กรุณาให้คำแนะนำเพิ่มเติม เพื่อให้วิทยานิพนธ์มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้การสนับสนุน และอุปการะข้าพเจ้าจนข้าพเจ้าได้รับการศึกษาถึงระดับปริญญาโท ขอขอบคุณ พี่น้อง และเจ้าหน้าที่ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตรทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกในการดำเนินการวิจัย รวมทั้งผู้มีพระคุณทุกท่านที่มีได้เอื้อย่นาม สำหรับความรัก ความห่วงใย ความเข้าใจ และกำลังใจที่มีให้มาตลอดจนสำเร็จการศึกษา

สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าขอขอบคุณงามความดีของวิทยานิพนธ์เล่มนี้ แต่ครูอาจารย์ที่ให้การประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ หากเกิดความผิดพลาดอันเนื่องมาจากตัวข้าพเจ้า ข้าพเจ้าขอน้อมรับแต่เพียงผู้เดียว และขออภัยมา ณ ที่นี้

สิริกาญจน์ เกียรติชนะไพบูลย์

พฤษภาคม 2551

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(6)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(11)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	38
อุปกรณ์	38
วิธีการ	41
ผลและวิจารณ์	53
สรุปและข้อเสนอแนะ	144
สรุป	144
ข้อเสนอแนะ	145
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	147
ภาคผนวก	158
ภาคผนวก ก การสำรวจพฤติกรรม ทักษะคิด ในการบริโภค และการหุงต้มข้าว	159
ภาคผนวก ข การตรวจสอบคุณภาพทางเคมี	166
ภาคผนวก ค การตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพ	171
ภาคผนวก ง การตรวจสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส	177
ภาคผนวก จ การทดสอบผู้บริโภค	189
ภาคผนวก ฉ การทำนายเนื้อสัมผัสทางประสาทสัมผัส	194
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	201

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ปริมาณและมูลค่าการส่งออกข้าว ระหว่างปี 2544 ถึงปี 2550	4
2	คุณสมบัติทางเคมี และกายภาพของข้าวพันธุ์ต่างๆ	5
3	การแบ่งข้าวตามปริมาณแอมิโลสในข้าวขาว	9
4	การแบ่งประเภทข้าวตามอัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าวหุงสุก	18
5	ปริมาณของสาร 2-อะเซทิล-1-ไพโรลีน ในข้าวขาวและข้าวกล้องหุงสุกพันธุ์ต่างๆ	20
6	การใช้เครื่องมือวิเคราะห์เนื้อสัมผัส ด้วยวิธี extrusion และวิธี compression	26
7	ลักษณะทางประชากรศาสตร์ของกลุ่มผู้บริโภคเป้าหมายจำนวน 250 คน	53
8	ลักษณะทางพฤติกรรมศาสตร์ของกลุ่มผู้บริโภคเป้าหมายจำนวน 250 คน	56
9	ระดับความคิดเห็นพฤติกรรมในการเลือกซื้อ คุณลักษณะของข้าวหุงสุก และพฤติกรรมในการหุงข้าวจากการสำรวจผู้บริโภค	58
10	ความสัมพันธ์ระหว่างเพศ กับค่าเฉลี่ยระดับความคิดเห็นของปัจจัยด้านต่างที่มีต่อพฤติกรรมในการเลือกซื้อ คุณลักษณะของข้าว และพฤติกรรมในการหุงข้าว	62
11	ความสัมพันธ์ระหว่างอายุ กับค่าเฉลี่ยระดับความคิดเห็นของปัจจัยด้านต่างที่มีต่อพฤติกรรมในการเลือกซื้อ คุณลักษณะของข้าว และพฤติกรรมในการหุงข้าว	63
12	ความสัมพันธ์ระหว่างรายได้ กับค่าเฉลี่ยระดับความคิดเห็นของปัจจัยด้านต่างที่มีต่อพฤติกรรมในการเลือกซื้อ คุณลักษณะของข้าว และพฤติกรรมในการหุงข้าว	64
13	ปริมาณความชื้น แอมิโลส และโปรตีนของข้าวพันธุ์ต่างๆ	65
14	การยืดตัวของเมล็ด และอัตราการขยายปริมาตรของข้าว	67
15	การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวพันธุ์ต่างๆ	69
16	ปริมาณความชื้นของข้าวหุงสุกพันธุ์ต่างๆที่หุงต้มด้วยวิธีการต่างกัน 4 วิธี	71
17	ค่าสี ในระบบ CIE Lab ของข้าวหุงสุกพันธุ์ต่างๆที่หุงต้มด้วยวิธีการต่างกัน 4 วิธี	72

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
18	ค่าเนื้อสัมผัสจากการวัดด้วยหลักการวิเคราะห์เค้าโครงเนื้อสัมผัส (TPA) ของข้าวหุงสุกพันธุ์ต่างๆที่หุงต้มด้วยวิธีการต่างกัน 4 วิธี	77
19	ค่าเนื้อสัมผัสจากการทดสอบแบบกด (Compression test) ของข้าวหุงสุกพันธุ์ต่างๆที่หุงต้มด้วยวิธีการต่างกัน 4 วิธี	83
20	คำอธิบายคำศัพท์ ตัวอย่างอ้างอิง คำจำกัดความ และวิธีการประเมินทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีวิเคราะห์เชิงพรรณนาของข้าวหุงสุก	91
21	ค่าเฉลี่ยระดับความเข้มข้นลักษณะทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการวิเคราะห์เชิงพรรณนาด้านลักษณะปรากฏของข้าวหุงสุกพันธุ์ต่างๆที่หุงต้มด้วยวิธีการต่างกัน 4 วิธี	97
22	ค่าเฉลี่ยระดับความเข้มข้นลักษณะทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการวิเคราะห์เชิงพรรณนาด้านกลิ่นของข้าวหุงสุกพันธุ์ต่างๆที่หุงต้มด้วยวิธีการต่างกัน 4 วิธี	99
23	ค่าเฉลี่ยระดับความเข้มข้นลักษณะทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการวิเคราะห์เชิงพรรณนาด้านกลิ่นรส และความรู้สึกลึกตกล้าง ของข้าวหุงสุกพันธุ์ต่างๆที่หุงต้มด้วยวิธีการต่างกัน 4 วิธี	102
24	ค่าเฉลี่ยระดับความเข้มข้นในคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสในระยะแรกของการทดสอบของข้าวหุงสุกพันธุ์ต่างๆที่หุงต้มด้วยวิธีการต่างกัน 4 วิธี	105
25	ค่าเฉลี่ยระดับความเข้มข้นในคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสในระยะกคตัวอย่างบางส่วนของข้าวหุงสุกพันธุ์ต่างๆที่หุงต้มด้วยวิธีการต่างกัน 4 วิธี	106
26	ค่าเฉลี่ยระดับความเข้มข้นในคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสในระยะกคหรือเคี้ยวครั้งแรกของข้าวหุงสุกพันธุ์ต่างๆที่หุงต้มด้วยวิธีการต่างกัน	108
27	ค่าเฉลี่ยระดับความเข้มข้นในคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสในระยะเคี้ยวของข้าวหุงสุกพันธุ์ต่างๆที่หุงต้มด้วยวิธีการต่างกัน 4 วิธี	109
28	ค่าเฉลี่ยระดับความเข้มข้นในคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสในระยะหลังเคี้ยวของข้าวหุงสุกพันธุ์ต่างๆที่หุงต้มด้วยวิธีการต่างกัน 4 วิธี	111
29	ลักษณะทางประชากรศาสตร์จากการทดสอบผู้บริโภคจำนวน 228 คน	126

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
30	ค่าเฉลี่ยของคะแนนความชอบของผู้บริโภคที่มีต่อตัวอย่างข้าวหุงสุก 18 ตัวอย่าง	127
31	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) และค่า p-value ระหว่างความชอบในคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น กลิ่นรส และเนื้อสัมผัส กับความชอบโดยรวมของตัวอย่างข้าวหุงสุก	128
32	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) และค่า p-value ระหว่างความชอบโดยรวมของผู้บริโภค และคุณภาพทางเคมีและกายภาพของข้าวหุงสุก	129
33	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) และค่า p-value ระหว่างความชอบโดยรวมของผู้บริโภค และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวหุงสุก	133
34	ค่าคุณภาพทางเคมี และคุณภาพทางกายภาพของข้าวหุงสุกที่ผู้บริโภคต้องการจากการทดสอบผู้บริโภค	137
35	ค่าคุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวหุงสุกที่ผู้บริโภคต้องการ จากการทดสอบผู้บริโภค	138
36	สัมประสิทธิ์การถดถอยแบบถ่วงน้ำหนักที่ได้จากการทดลองที่คำนวณเฉพาะตัวแปรของค่าจากวิธีวิเคราะห์เค้าโครงคุณลักษณะเนื้อสัมผัส (TPA) เพื่ออธิบายค่าเนื้อสัมผัสจากการประเมินทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา	142
37	สัมประสิทธิ์การถดถอยแบบถ่วงน้ำหนักที่ได้จากการทดลองที่คำนวณเฉพาะตัวแปรของค่าจาก Compression test เพื่ออธิบายค่าเนื้อสัมผัสจากการประเมินทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา	143
 ตารางผนวกที่		
ง1	ระดับความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ในการคัดเลือกโดยการทดสอบความสามารถในการประเมินทางประสาทสัมผัส	178

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ง2 ตัวอย่างอ้างอิงที่ใช้ในการประเมินทางประสาทสัมผัสคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏของข้าวหุงสุก	184
ง3 ตัวอย่างอ้างอิงที่ใช้ในการประเมินทางประสาทสัมผัสคุณลักษณะด้านกลิ่น กลิ่นรส รสพื้นฐาน และความรู้สึกตกค้าง ของข้าวหุงสุก	185
ง4 ตัวอย่างอ้างอิงที่ใช้ในการประเมินทางประสาทสัมผัสคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุก	186
ง5 ค่าสีในระบบ CIE Lab ของแถบสี ที่ใช้เป็นตัวอย่างอ้างอิงในการประเมินทางประสาทสัมผัสคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏของข้าวหุงสุก	188
จ1 แผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกไม่สมบูรณ์ (Balance incompletely block design; BIB) ประเภทที่ 2 และคู่อันดับสแควร์	190
ฉ1 ตัวอย่างการสร้างสมการทำนายเนื้อสัมผัสทางประสาทสัมผัสจากการวัดด้วยเครื่องมือ ด้วยเทคนิค PLS 1	196
ฉ2 สัมประสิทธิ์การถดถอยแบบถ่วงน้ำหนักที่ได้จากการทดลองขั้นต้นที่คำนวณโดยทุกตัวแปรของค่าจากการวิธีเคঁาโครงเนื้อสัมผัส (TPA) เพื่ออธิบายค่าเนื้อสัมผัสจากการประเมินทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา	197
ฉ3 สัมประสิทธิ์การถดถอยแบบถ่วงน้ำหนักที่ได้จากการทดลองที่คำนวณเฉพาะตัวแปรของค่าจากการวิธีเคঁาโครงเนื้อสัมผัส (TPA) เพื่ออธิบายค่าเนื้อสัมผัสจากการประเมินทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา	198
ฉ4 สัมประสิทธิ์การถดถอยแบบถ่วงน้ำหนักที่ได้จากการทดลองขั้นต้นที่คำนวณโดยทุกตัวแปรของค่าจากการทดสอบแบบกด (Compression test) เพื่ออธิบายค่าเนื้อสัมผัสจากการประเมินทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา	199
ฉ5 สัมประสิทธิ์การถดถอยแบบถ่วงน้ำหนักที่ได้จากการทดลองที่คำนวณเฉพาะตัวแปรของค่าจากการทดสอบแบบกด (Compression test) เพื่ออธิบายค่าเนื้อสัมผัสจากการประเมินทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา	200

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 ลักษณะโครงสร้างองค์ประกอบของแป้ง (ก) แอมิโลสและ (ข) แอมิโลเพกทิน	6
2 กระบวนการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของเมล็ดข้าวในระหว่างการเก็บรักษา	21
3 หัววัด extrusion cell	25
4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรง (นิวตัน) และระยะทาง (มม.) ของการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของข้าวสุกโดยใช้เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (ก) วิธี extrusion และ (ข) วิธี compression	27
5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรง (กรัม) และระยะทาง (% strain) ด้วยวิธี Compression test	28
6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรง (กิโลกรัม) และระยะทาง (มิลลิเมตร) ด้วยวิธีแบบเค้าโครงคุณลักษณะเนื้อสัมผัส (TPA)	29
7 ตัวอย่างกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งด้วยเครื่อง RVA	31
8 การเตรียมตัวอย่างข้าวหุงสุกด้วยวิธีการหุงต้มต่างๆ	45
9 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวพันธุ์ต่างๆ	68
10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรง (นิวตัน) และระยะทาง (มิลลิเมตร) เปรียบเทียบวิธีการหุงต้มของข้าว KDML 105 ด้วยวิธีวิเคราะห์เค้าโครงคุณลักษณะเนื้อสัมผัส (TPA)	74
11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรง (นิวตัน) และระยะทาง (มิลลิเมตร) เปรียบเทียบวิธีการหุงต้มของข้าว RD 15 ด้วยวิธีวิเคราะห์เค้าโครงคุณลักษณะเนื้อสัมผัส (TPA)	74
12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรง (นิวตัน) และระยะทาง (มิลลิเมตร) เปรียบเทียบวิธีการหุงต้มของข้าว PTT 1 ด้วยวิธีวิเคราะห์เค้าโครงคุณลักษณะเนื้อสัมผัส (TPA)	75
13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรง (นิวตัน) และระยะทาง (มิลลิเมตร) เปรียบเทียบวิธีการหุงต้มของข้าว CNT 1 ด้วยวิธีวิเคราะห์เค้าโครงคุณลักษณะเนื้อสัมผัส (TPA)	75

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรง (นิวตัน) และระยะทาง (มิลลิเมตร) เปรียบเทียบวิธีการหุงต้มของข้าว SPB 1 ด้วยวิธีวิเคราะห์ค่าโครงสร้างคุณลักษณะเนื้อ สัมผัส (TPA)	76
15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรง (นิวตัน) และระยะทาง (มิลลิเมตร) เปรียบเทียบวิธีการหุงต้มของข้าว PNL 2 ด้วยวิธีวิเคราะห์ค่าโครงสร้างคุณลักษณะเนื้อ สัมผัส (TPA)	76
16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรง (นิวตัน) และระยะทาง (%strain) เปรียบเทียบวิธีการหุงต้มของข้าว KDML 105 ด้วยการทดสอบแบบกด (Compression test)	80
17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรง (นิวตัน) และระยะทาง (%strain) เปรียบเทียบวิธีการหุงต้มของข้าว RD 15 ด้วยการทดสอบแบบกด (Compression test)	80
18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรง (นิวตัน) และระยะทาง (%strain) เปรียบเทียบวิธีการหุงต้มของข้าว PTT 1 ด้วยการทดสอบแบบกด (Compression test)	81
19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรง (นิวตัน) และระยะทาง (%strain) เปรียบเทียบวิธีการหุงต้มของข้าว CNT 1 ด้วยการทดสอบแบบกด (Compression test)	81
20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรง (นิวตัน) และระยะทาง (%strain) เปรียบเทียบวิธีการหุงต้มของข้าว SPB 1 ด้วยการทดสอบแบบกด (Compression test)	82
21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรง (นิวตัน) และระยะทาง (%strain) เปรียบเทียบวิธีการหุงต้มของข้าว PNL 2 ด้วยการทดสอบแบบกด (Compression test)	82
22 ค่า Correlation loading ของปัจจัยคุณภาพทางเคมี และคุณภาพทางกายภาพของ ข้าวหุงสุก 6 พันธุ์ ที่มีวิธีการหุงต้มที่แตกต่างกัน 4 วิธี บนแกน PC1 และ PC2	85

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
23	ค่า Correlation loading ของปัจจัยคุณภาพทางเคมี และคุณภาพทางกายภาพของข้าวหุงสุก 6 พันธุ์ ที่มีวิธีการหุงต้มที่แตกต่างกัน 4 วิธี บนแกน PC3 และ PC1	85
24	ค่า Bi-plot ของปัจจัยคุณภาพทางเคมี และคุณภาพทางกายภาพ ของข้าวหุงสุก 6 พันธุ์ที่มีวิธีการหุงต้มที่แตกต่างกัน 4 วิธี บนแกน PC1 และ PC2	87
25	ค่า Bi-plot ของปัจจัยคุณภาพทางเคมี และคุณภาพทางกายภาพ ของข้าวหุงสุก 6 พันธุ์ที่มีวิธีการหุงต้มที่แตกต่างกัน 4 วิธี บนแกน PC3 และ PC1	87
26	การจำแนกกลุ่มตัวอย่างข้าวหุงสุก 6 พันธุ์ที่มีวิธีการหุงต้มที่แตกต่างกัน 4 วิธี จากปัจจัยคุณภาพทางเคมี และคุณภาพทางกายภาพ ด้วยเทคนิค Hierarchical cluster analysis	88
27	การจัดกลุ่มตัวอย่างข้าวหุงสุก 6 พันธุ์ ที่มีวิธีการหุงต้มที่แตกต่างกัน 4 วิธี จากปัจจัยคุณภาพทางเคมี และคุณภาพทางกายภาพ บนแกน PC1, PC2 และ PC3	89
28	การจำแนกกลุ่มตัวอย่างข้าวหุงสุก 6 พันธุ์ ที่มีวิธีการหุงต้มที่แตกต่างกัน 4 วิธี จากปัจจัยคุณภาพทางเคมี และคุณภาพทางกายภาพที่ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบ (PCA) ที่ PC1 , PC2 และ PC3 ร่วมกับการจัดกลุ่มด้วยเทคนิค Hierarchical cluster analysis	90
29	ค่า Correlation loading ของปัจจัยคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา ของข้าวหุงสุก 6 พันธุ์ ที่มีวิธีการหุงต้มที่แตกต่างกัน 4 วิธี บนแกน PC1 และ PC2	113
30	ค่า Bi-plot ของปัจจัยคุณภาพคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของข้าวหุงสุก 6 พันธุ์ ที่มีวิธีการหุงต้มที่แตกต่างกัน 4 วิธี บนแกน PC1 และ PC2	114
31	การจำแนกกลุ่มตัวอย่างของข้าวหุงสุก 6 พันธุ์ ที่มีวิธีการหุงต้มที่แตกต่างกัน 4 วิธี จากปัจจัยคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา ด้วยเทคนิค Hierarchical cluster analysis	115
32	การจัดกลุ่มตัวอย่างข้าวหุงสุก 6 พันธุ์ ที่มีวิธีการหุงต้มที่แตกต่างกัน 4 วิธี จากคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา บนแกน PC1 และ PC2	116

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
33	การจำแนกกลุ่มตัวอย่างข้าวหุงสุก 6 พันธุ์ ที่มีวิธีการหุงต้มที่แตกต่างกัน 4 วิธี จากปัจจัยคุณภาพทางประสาทสัมผัสที่ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบ (PCA) ที่ PC1 และ PC2 ร่วมกับการจัดกลุ่มด้วยเทคนิค Hierarchical cluster analysis	118
34	ค่า Correlation loading ของปัจจัยคุณภาพทางเคมี และคุณภาพทางกายภาพของข้าว 6 พันธุ์ ที่หุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า บนแกน PC 1 และ PC 2	120
35	ค่า Correlation loading ของปัจจัยคุณภาพทางเคมี และคุณภาพทางกายภาพของข้าว 6 พันธุ์ ที่หุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า บนแกน PC 3 และ PC 1	120
36	ค่า Bi-plot ของปัจจัยคุณภาพทางเคมี และคุณภาพทางกายภาพ ของข้าวหุงสุก 6 พันธุ์ ที่หุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า บนแกน PC1 และ PC2	121
37	ค่า Bi-plot ของปัจจัยคุณภาพทางเคมี และคุณภาพทางกายภาพ ของข้าวหุงสุก 6 พันธุ์ ที่หุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า บนแกน PC1 และ PC2	122
38	การจำแนกกลุ่มตัวอย่างของข้าวหุงสุก 6 พันธุ์ มรามีวิธีการหุงต้มที่แตกต่างกัน 4 วิธี จากปัจจัยคุณภาพทางประสาทสัมผัส ด้วยเทคนิค Hierarchical cluster analysis	123
39	การจัดกลุ่มตัวอย่างข้าวหุงสุก 6 พันธุ์ ที่หุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า จากปัจจัยคุณภาพทางเคมี และคุณภาพทางกายภาพ บนแกน PC1, PC2 และ PC3	123
40	การจำแนกกลุ่มตัวอย่างข้าวหุงสุก 6 พันธุ์ ที่หุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า จากปัจจัยคุณภาพทางเคมี และกายภาพที่ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบ (PCA) ที่ PC1, PC2 และ PC3 ร่วมกับการจัดกลุ่มด้วยเทคนิค Hierarchical cluster analysis	124
41	Preference mapping ของปัจจัยคุณภาพทางเคมี และคุณภาพกายภาพ (X) กับความชอบโดยรวม (Y) ของตัวอย่างข้าวหุงสุก	131
42	ค่า Bi-plot ของปัจจัยคุณภาพทางเคมี และคุณภาพทางกายภาพ (X) เพื่ออธิบายความชอบโดยรวม (Y) ของผู้บริโภค ต่อตัวอย่างข้าวหุงสุก บนแกน PC1 และ PC2	131
43	Preference mapping ของปัจจัยคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา (X) กับความชอบโดยรวม (Y) ของตัวอย่างข้าวหุงสุก	136

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
44 ค่า Bi-plot ของปัจจัยคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาเคมี และคุณภาพทางกายภาพ (X) เพื่ออธิบายความชอบโดยรวม (Y) ของผู้บริโภค ต่อตัวอย่างข้าวหุงสุกบนแกน PC1 และ PC2	136
ภาพผนวกที่	
ข1 กราฟมาตรฐานระหว่างปริมาณแอมิโลส กับค่าการดูดกลืนแสง	169
ค1 กราฟที่ได้จากการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสแบบเก้าโครงสร้างคุณลักษณะเนื้อสัมผัส (TPA) ของตัวอย่างข้าวหุงสุก	174
ค2 กราฟที่ได้จากการทดสอบแบบกด (Compression test) ของตัวอย่างข้าวหุงสุก	176
ค3 กราฟที่ได้จากการทดสอบแบบกด (Compression test) เพื่อใช้ในการสร้างสมการทำนายเนื้อสัมผัสทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างข้าวหุงสุก	180

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

KDML105, KDML	=	ข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105
RD 15	=	ข้าวพันธุ์กข15
PTT 1	=	ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1
CNT 1	=	ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1
SPB 1	=	ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1
PNL 2	=	ข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2
E (Electric cooker)	=	การหุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า
S (Steaming)	=	การนึ่ง
M (Microwaver cooker)	=	การหุงด้วยเครื่องไมโครเวฟ
D (Drain of water)	=	การหุงแบบแช่คั่ว

ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพทางเคมี กายภาพ ลักษณะทางประสาทสัมผัส เชิงพรรณนา และความชอบของข้าวพันธุ์ต่างๆที่หุงต้มด้วยวิธีการต่างกัน

Relationship among Chemical, Physical, Descriptive Sensory Qualities and Preference of different Rice Varieties with different Cooking Methods

คำนำ

ข้าว (*Oryza sativa indica*) มีความสำคัญต่อมนุษย์และสัตว์มาก ประชากรกว่าครึ่งโลกบริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก โดยเฉพาะชนชาวเอเชีย ดังนั้นการปลูกข้าวจึงปลูกมากในเอเชีย และใช้บริโภคในเอเชียประมาณ 90% (สงกรานต์, 2544) ประเทศไทยมีการบริโภคข้าวเป็นอาหารหลักมานาน จากอดีตจนถึงปัจจุบันนี้ก็ยังมีการบริโภคข้าวเป็นอาหารหลักอยู่ และที่สำคัญนั้นข้าวเป็นแหล่งของอาหารที่ให้พลังงานแก่ชีวิต ในแต่ละวันคนไทยมีบริโภคข้าวโดยเฉลี่ย 100 กิโลกรัมต่อปี ต่อคน (สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ, 2550)

ในปัจจุบันมีการวิจัยและพัฒนา เพื่อปรับปรุงพันธุ์กันมากขึ้นทำให้ข้าวเจ้ามีหลายสายพันธุ์ในแต่ละสายพันธุ์ก็จะมีคุณลักษณะเฉพาะ เมื่อนำมาหุงต้มเป็นข้าวหุงสุก ทำให้มีคุณภาพทางเคมี คุณภาพกายภาพ และคุณภาพทางประสาทสัมผัสที่แตกต่างกันออกไป โดยคุณภาพการหุงต้ม และรับประทานข้าว นับเป็นคุณภาพที่ผู้บริโภคใช้ในการตัดสินใจเลือกซื้อ ทั้งนี้เพราะความชอบของแต่ละมีความแตกต่างกัน (งามชื่น และคณะ, 2545)

งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาถึงพฤติกรรม ทักษะคิด และความคิดเห็นของผู้บริโภคที่มีต่อข้าวสาร ข้าวหุงสุก และการหุงต้มข้าว ศึกษาคุณลักษณะของข้าวหุงสุกพันธุ์ต่างๆที่ใช้วิธีการหุงต้มที่แตกต่างกัน โดยการตรวจสอบคุณภาพทางเคมี คุณภาพทางกายภาพ และคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา กับข้าวหุงสุก เพื่อกำหนดเกณฑ์คุณภาพของข้าวหุงสุกที่ผู้บริโภคต้องการ และสามารถนำเกณฑ์คุณภาพนั้นไปใช้เป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ต่อไป รวมทั้งได้ทำนายคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาจากการวัดด้วยเครื่องมือ

วัตถุประสงค์

1. เพื่อสำรวจพฤติกรรม ทักษะ และปัจจัยของผู้บริโภคที่มีผลต่อการบริโภค และการหุงต้มข้าว
2. เพื่อตรวจสอบคุณภาพทางเคมี คุณภาพทางกายภาพ และคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของข้าวพันธุ์ต่างๆที่มีวิธีการหุงต้มที่แตกต่างกัน รวมทั้งจำแนกกลุ่มตัวอย่างด้วยการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก
3. เพื่อจัดกลุ่มตัวอย่างข้าว ที่หุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า จากปัจจัยคุณภาพทางเคมี คุณภาพทางกายภาพ
4. เพื่อหาความสัมพันธ์ของความชอบของผู้บริโภคต่อข้าวหุงสุกพันธุ์ต่างๆ ที่มีวิธีการหุงต้มที่แตกต่างกัน
5. เพื่อทำนายคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา จากการวัดด้วยเครื่องมือ

การตรวจเอกสาร

ข้าว

ข้าวเป็นพืชล้มลุกจัดอยู่ในตระกูลหญ้า (Family: Graminae หรือ poaceae) สกุลออไรซ่า (Genus: Oryza) ข้าวเจริญเติบโตได้ดีในเขตร้อนและอบอุ่น มีการแพร่กระจายตั้งแต่เส้นรุ้งที่ 53 องศาเหนือถึง 35 องศาใต้ และสามารถขึ้นได้ดีตั้งแต่ระดับน้ำทะเลจนถึงสูงประมาณ 2,500 เมตร ข้าวมีการแพร่กระจายอย่างกว้างขวางจึงพบข้าวชนิด (Species) ต่างๆ ซึ่งปัจจุบันมีทั้งหมด 23 ชนิด เป็นข้าวปลูกเพื่อบริโภค 2 ชนิด จำนวนมากกว่า 12,000 พันธุ์ คือ ข้าวปลูกเอเชีย (*Oryza sativa* Linn.) และข้าวปลูกแอฟริกา (*O. glaberrima* Steud) (สงกรานต์, 2544) แต่ข้าวที่ค้าขายกันในตลาดโลกเกือบทั้งหมดเป็นข้าวที่ปลูกจากแถบเอเชีย ซึ่งข้าวเหล่านั้นยังสามารถแบ่งได้ตามแหล่งปลูกอีก ได้แก่ ข้าวอินดิกา (Indica) มีเมล็ดยาวรี ต้นสูง พบในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ข้าวจาโปนิกา (Japonica) มีเมล็ดป้อมกลมรี ต้นเตี้ย พบในแถบจีน ญี่ปุ่น สหรัฐอเมริกา และข้าวจาวานิกา (Javanica) มีเมล็ดป้อมใหญ่ พบในแถบอินโดนีเซีย (นิรนาม, 2544 และ ศิริวรรณ, 2545) สำหรับข้าวที่ปลูกในประเทศไทยเป็นพันธุ์ข้าวเมล็ดยาว คือ อินดิกา แต่ประกอบด้วยหลายพันธุ์ทั้งที่มีการพัฒนาขึ้นใหม่ และข้าวพันธุ์พื้นเมืองซึ่งอยู่ประมาณ 3,500 พันธุ์

ในประเทศไทย มีพื้นที่ทำการเกษตรส่วนใหญ่เหมาะสมต่อการทำนาปลูกข้าว โดยปกติชาวนาไทยจะเพาะปลูกข้าวในช่วงฤดูฝน เรียกว่า ข้าวนาปี ซึ่งเป็นช่วงปลายเดือนพฤษภาคม ถึงต้นเดือนมิถุนายน และมีผลผลิตออกสู่ตลาดในช่วงเดือนพฤศจิกายน ถึงกุมภาพันธ์ ส่วนข้าวที่ปลูกนอกฤดูฝน เรียกว่า ข้าวนาปรัง มักจะปลูกในเขตที่มีการชลประทานที่ดีเพราะการปลูกข้าวนั้นต้องใช้น้ำเป็นจำนวนมาก ปกติจะทำได้ปีละประมาณ 3-4 ครั้ง เกษตรกรผู้ปลูกข้าวในประเทศไทย จะผลิตข้าวนาปีออกสู่ตลาดเกือบเป็น 4 เท่าของการผลิตข้าวนาปรัง (ตลาดสินค้าเกษตรล่วงหน้าแห่งประเทศไทย, 2549) โดยมีพื้นที่นาปีและนาปรังรวมกันประมาณ 65 ล้านไร่ หรือร้อยละ 57 ของพื้นที่ทำการเกษตรทั้งหมด มีครัวเรือนเกษตรกรทำนา 3.7 ล้านครัวเรือน หรือร้อยละ 66 ของครัวเรือนเกษตรกรทุกประเภท ในแต่ละปีผลิตข้าวเปลือกได้ประมาณ 27 ล้านตันข้าวเปลือก คิดเป็นมูลค่า 180,000-200,000 ล้านบาทต่อปี ซึ่งเป็นรายได้หลักที่หล่อเลี้ยงเกษตรกรไทย โดยมีอัตราการผลิตเฉลี่ย ร้อยละ 3 ต่อปี ในจำนวนนี้นำไปใช้บริโภคภายในประเทศร้อยละ 57 ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมอาหารสัตว์และแปรรูปผลิตภัณฑ์อื่นๆ 3.4 ล้านตัน และส่งออก 10.2 ล้านตัน ข้าวสารต่อปี มูลค่า 128,000 ล้านบาท จัดอยู่ในลำดับที่ 3 ของสินค้าภาคเกษตรแต่เป็นอันดับ 1 ของโลก มีส่วนแบ่งการตลาดร้อยละ 27 แม้แต่องค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติได้ให้

ความสำคัญกับประเทศไทยในการเป็นผู้นำในด้านการส่งออกข้าวเพื่อป้อนพลเมืองโลกในอีก 20 ปีข้างหน้า (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2548) ระหว่างปี 2544 ถึงปี 2550 ปริมาณและมูลค่าการส่งออกข้าวรวมทั้งหมดในประเทศไทย มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและสูงที่สุดในปี 2547 โดยมีปริมาณการส่งออก 9,989,910 ตัน คิดเป็นมูลค่า 108,394 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2550) แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณและมูลค่าการส่งออกข้าว ระหว่างปี 2544 ถึงปี 2550

ปี	ปริมาณ (ตัน)	มูลค่า (ล้านบาท)
2544	7,691,209	70,165
2545	7,334,448	70,065
2546	7,345,971	76,699
2547	9,989,910	108,394
2548	7,537,341	93,548
2549	7,494,140	98,179
2550	9,197,656	119,304

ที่มา: คัดแปลงจากสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2550)

ประเทศไทยมีการเพาะปลูกข้าวพันธุ์ต่างๆมากมาย โดยงานวิจัยนี้เลือกใช้ข้าว 6 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105, พันธุ์กข 15, พันธุ์ปทุมธานี 1, พันธุ์ชัยนาท 1, พันธุ์สุพรรณบุรี 1 และ พันธุ์พิษณุโลก 2 ซึ่งมีคุณสมบัติทางเคมี และกายภาพ แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณสมบัติทางเคมี และกายภาพของข้าวพันธุ์ต่างๆ

พันธุ์ข้าว	แอมิโลส (%)	โปรตีน (%)	ความคงตัวแป้ง สุก (มม.)	การสลาย เมล็ดในค้าง	อัตราการยืด เมล็ด (เท่า)
ขาวดอกมะลิ 105	14.6-16.7	6.0-9.9	77-100	6.3-7.0	1.6-1.8
กข 15	15.0-15.6	8.2-9.4	80-100	7.0	1.7-2.0
ปทุมธานี 1	15.3	8.91	64	7.0	1.66
ชัยนาท 1	26.6-29.9	7.06-8.92	40-63	4.9-5.0	1.64-1.96
สุพรรณบุรี 1	29.2-31.4	8.07-9.08	91-96	4.8-5.0	1.53-1.63
พิษณุโลก 2	26.9-28.1	7.6-8.24	31-79	7.0	1.7-1.72

ที่มา: งามชื่น และคณะ (2545) และ Weena and Jindal (2007)

1. องค์ประกอบทางเคมีของข้าว

เมล็ดข้าวมีองค์ประกอบทางเคมี หรือสารอาหารหลัก คือ คาร์โบไฮเดรต ซึ่งถือเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญ (บุญหงษ์, 2547) นอกจากนี้ในข้าวยังประกอบไปด้วย โปรตีน ไขมัน วิตามิน และแร่ธาตุ

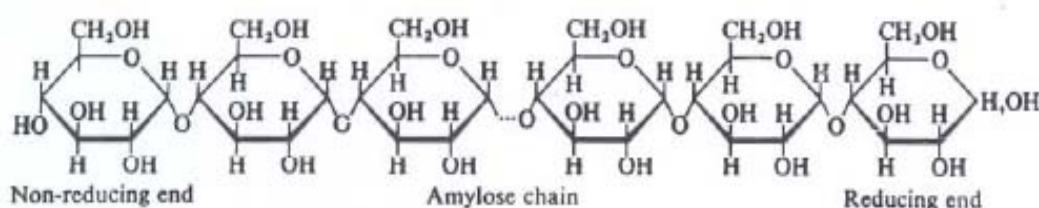
1.1 คาร์โบไฮเดรต

คาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบทางเคมีที่มีปริมาณมากที่สุด โดยส่วนใหญ่ คือ แป้ง (starch) ประมาณร้อยละ 90 ดังนั้นจึงมีผลต่อคุณภาพของข้าวมากที่สุดเช่นเดียวกัน (อรอนงค์, 2547) โมเลกุลของแป้งประกอบด้วยโพลิเมอร์ของกลูโคส 2 ลักษณะ คือ แอมิโลส และแอมิโลเพกติน (ภาพที่ 1)

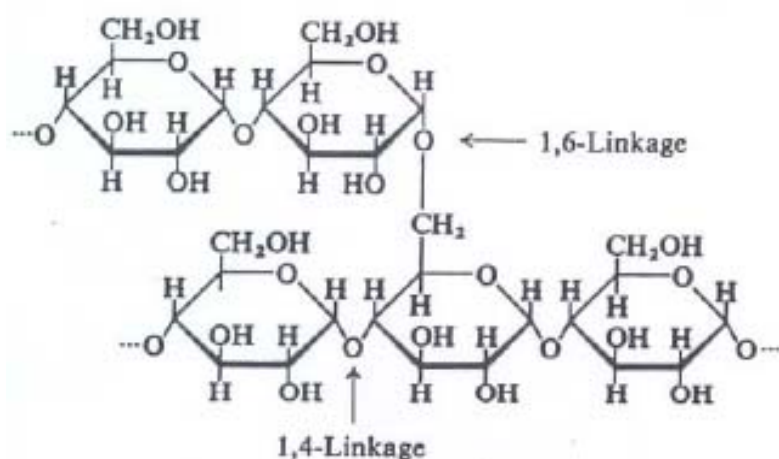
แอมิโลส (amylose) เป็นพอลิเมอร์เชิงเส้น ประกอบด้วยหน่วยของ α -D-glucopyranosyl ที่เชื่อมด้วยพันธะกลูโคซิดิก ชนิด α -1, 4 มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำเพียง 600-1,600 DP (degree of polymerization) สามารถย่อยสลายด้วยเอนไซม์ β -amylose (เบตา-แอมิโลส) ได้ 100% เมื่อเชื่อมสัด้วยสารละลายไอโอดีนจะมีสีน้ำเงิน ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะที่บอกถึงแป้งที่มีองค์ประกอบของแอมิโลส สามารถรวมตัวกับ 1-butanol และสารอินทรีย์ชนิดอื่น กลายเป็นสารเชิงซ้อน

(complex) โดยแอมิโลสจะพันเป็นเกลียวล้อมรอบสารประกอบอินทรีย์ สามารถดูดซับด้วย เซลลูโลส (งามชื่น, 2546) โครงสร้างของแอมิโลสเมื่ออยู่ในสารละลายจะมีหลายรูปแบบ คือ ลักษณะเป็นเกลียวม้วน (helix) เกลียวที่คล้ายตัว (interrupted helix) หรือม้วนอย่างไม่เจาะจง (random coil) (กล้านรงค์ และเกื้อกูล, 2546)

แอมิโลเปกทิน (amylopectin) เป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของ กลูโคสจะเชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิกชนิด α -1, 4 และส่วนที่เป็นกิ่งสาขาของพอลิเมอร์ กลูโคสสายสั้นจะเชื่อมต่อดัวยพันธะกลูโคซิดิกชนิด α -1, 6 (กล้านรงค์ และเกื้อกูล, 2546) มี น้ำหนักโมเลกุลมากกว่า 1,000 DP (degree of polymerization) ย่อยสลายด้วยเอนไซม์ เบตา-แอมิโลส ได้เพียง 50% เมื่อย่อยสลายด้วยสารละลายไอโอดีนจะมีสีม่วงแดง หรือน้ำตาลแดง ไม่สามารถ รวมตัวเป็นสารเชิงซ้อนกับ 1-butanol หรือสารอินทรีย์ชนิดอื่น ดูดซับด้วยเซลลูโลสได้ต่ำ (งามชื่น, 2546) โครงสร้างของแอมิโลเปกทินมีลักษณะเป็นกิ่งก้านในลักษณะโซ่กิ่งเกลียวคู่ (อรอนงค์, 2547)



(ก)



(ข)

ภาพที่ 1 ลักษณะโครงสร้างองค์ประกอบของแป้ง (ก) แอมิโลสและ (ข) แอมิโลเพกทิน

ที่มา: Freach (1979)

1.2 โปรตีน (protein)

โปรตีนเป็นสารอาหารที่พบมากในข้าวเป็นอันดับสองรองจากคาร์โบไฮเดรต บริเวณผิวนอกของเมล็ดข้าวกล้อง (brown rice) และบริเวณคัพพะ (embryo) จะมีปริมาณโปรตีนมากกว่าที่ส่วนอื่นๆของเมล็ด โปรตีนในเมล็ดข้าวสามารถแบ่งเป็น 4 ชนิด ตามคุณสมบัติในการละลาย ได้แก่ อัลบูมิน (albumin) ละลายในน้ำ โกลบูลิน (globulin) ละลายในน้ำเกลือ โปรลามิน (prolamin) ละลายในแอลกอฮอล์ และกลูเตลลิน (glutelin) ละลายในกรดหรือด่าง (งามชื่น, 2546)

อย่างไรก็ตามปริมาณโปรตีนในเมล็ดข้าวจะมีมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว และสภาพแวดล้อมที่ปลูกข้าว เช่น สภาพของดิน ลมฟ้าอากาศ และการให้น้ำ เป็นต้น โดยปกติข้าวกล้องจะมีปริมาณโปรตีนตั้งแต่ร้อยละ 4.30-18.20 หรือร้อยละ 9.50 โดยเฉลี่ย สำหรับข้าวเจ้าปอนิกาจะมีปริมาณโปรตีนเฉลี่ยร้อยละ 11.10 ในขณะที่ข้าวอินดิกามีปริมาณโปรตีนเฉลี่ยร้อยละ 9.80 และจากการวิเคราะห์ พบว่าข้าวไทยจะมีปริมาณโปรตีนเฉลี่ยร้อยละ 7.48 ± 1.65 หรือร้อยละ 6.50 โดยเฉลี่ย (บุญหงษ์, 2547)

1.3 ไขมัน (fat)

ในข้าวมีปริมาณไขมันร้อยละ 3 (อรอนงค์, 2547) โดยพบเฉพาะที่ชั้นในสุดของเยื่อหุ้มเมล็ด (aleurone layer) และที่ส่วนของคัพพะ (บุญหงษ์, 2547) ดังนั้นในการขัดสีข้าวกล้องให้เป็นข้าวสารขาว (milled rice) ทำให้มีไขมันอยู่เพียงร้อยละ 0.3-0.5 ประเภทของไขมันในข้าวส่วนใหญ่คือ ไตรกลีเซอไรด์ รองลงมาคือ ฟอสโฟลิปิด (phospholipids) ไกลโคลิปิด (glycolipids) และเทอร์เพนอยด์ (terpenoids) (อรอนงค์, 2547)

1.4 วิตามิน (vitamin)

วิตามินจะพบได้ส่วนใหญที่บริเวณเยื่อหุ้มเมล็ดชั้นในสุด และที่คัพพะ จึงเป็นสาเหตุให้ข้าวสารขาวมีวิตามินเหลืออยู่เพียงเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวกล้องที่มีวิตามินอยู่ในปริมาณที่สูงกว่ามาก วิตามินที่มีอยู่ค่อนข้างมาก ได้แก่ กรดนิโคตินิก (nicotinic acid) หรือไนอะซิน (niacin) วิตามินที่มีอยู่ในปริมาณน้อย ได้แก่ ไทอะมิน (thiamine) หรือวิตามินบี 1 (B1) และไรโบฟลาวิน (riboflavin) หรือวิตามินบี 2 (B2) ส่วนวิตามินที่มีอยู่ในปริมาณน้อยมาก ได้แก่ วิตามินเอ ซึ่งมี

เฉพาะในข้าวเหนียวดำ วิตามินซี (ascorbic acid) วิตามินดี และวิตามินบี 12 (B12 หรือ cobalamine) (บุญหงษ์, 2547)

วิธีการหุงต้มข้าวเป็นองค์ประกอบสำคัญในการทำให้เกิดการสูญเสียวิตามิน ถ้ามีการข้าวข้าว หรือล้างข้าวยิ่งมากครั้งก่อนหุงต้ม ก็ยิ่งจะทำให้ปริมาณของวิตามินสูญเสียไปมากขึ้น การข้าวข้าวก่อนการหุงต้มจำนวน 2 ครั้ง จะทำให้สูญเสียวิตามินบี 1 ในปริมาณร้อยละ 22-40 วิตามินบี 2 ในปริมาณร้อยละ 12-24 และกรดนิโคตินิกในปริมาณร้อยละ 36-45 (จำรัส, 2534)

1.5 แร่ธาตุ (mineral)

แร่ธาตุจะพบได้ส่วนใหญ่ที่บริเวณผิวนอกของเมล็ด โดยจะพบในปริมาณเล็กน้อย ขึ้นอยู่กับปริมาณของแร่ธาตุในดิน และปุ๋ย รวมทั้งสภาพแวดล้อม แร่ธาตุที่มีอยู่ในเมล็ดข้าวค่อนข้างมาก ได้แก่ ฟอสฟอรัส แมกนีเซียม และโพแทสเซียม แร่ธาตุที่มีอยู่ในปริมาณเพียงเล็กน้อย ได้แก่ แคลเซียม คลอรีน ซิลิกอน เหล็ก อะลูมิเนียม แมงกานีส โซเดียม และสังกะสี (บุญหงษ์, 2547)

2. ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของข้าว

“คุณภาพข้าว” เป็นคำที่กลุ่มคนซึ่งเกี่ยวข้องกับข้าวหลายกลุ่มคุ้นเคย และกำหนดขึ้นเป็นเกณฑ์หรือมาตรฐาน เพื่อให้เกิดความเข้าใจที่ตรงกันของกลุ่มคนร่วมกันตามสถานภาพที่ต้องเกี่ยวข้องกับข้าว ตั้งแต่นักวิชาการ เกษตรกรผู้ปลูกข้าว เจ้าของโรงสีผู้ซื้อข้าวเปลือกมาแปรรูปเป็นข้าวสาร ผู้ค้าข้าวซึ่งจะมีทั้งผู้ค้าข้าวเปลือก และผู้ค้าข้าวสารให้ผู้ขายส่ง และผู้ขายปลีกที่ขายต่อให้ผู้บริโภค จึงจำเป็นต้องมีการกำหนดคุณภาพข้าวเพื่อการซื้อขายต่อกัน (อรอนงค์, 2547) คุณภาพการหุงต้มและการรับประทานของข้าว ก็เป็นคุณภาพที่ผู้บริโภคใช้ในการตัดสินใจเลือกซื้อ ทั้งนี้เพราะความชอบของแต่ละคนแตกต่างกันไป เช่น บางคนชอบข้าวแข็งร่วนหุงขึ้นหม้อ บางคนชอบข้าวนุ่มเหนียว (งามชื่น, 2545) ปัจจัยที่ทำให้ข้าวมีคุณภาพของข้าวหุงสุกแตกต่างกัน ขึ้นกับองค์ประกอบ ดังนี้

2.1 ปริมาณแอมิโลส และแอมิโลเพกติน (apparent amylose and amylopectin content)

ในเมล็ดข้าวสารมีแป้งอยู่ประมาณร้อยละ 90 โดยน้ำหนักแห้ง เช่นเดียวกับธัญพืชอื่น (งามชื่น, 2541) แป้งข้าวมีส่วนประกอบย่อยที่สำคัญ 2 ชนิด คือ แอมิโลส ซึ่งมีโครงสร้างเป็นสาย

ตรง สายพันเป็นเกลียว (helix) เดี่ยว หรือคู่ มีลักษณะเกลียวม้วน หรือเกลียวคลายตัว หรือม้วนอย่างไม่เจาะจง และแอมิโลเปกติน ซึ่งมีโครงสร้างเป็นกิ่งก้านในลักษณะโซ่เกลียวคู่ (อรอนงค์, 2547) แป้งข้าวเหนียวมีแอมิโลเปกตินเพียงอย่างเดียว หรืออาจมีแอมิโลสปนอยู่เพียงเล็กน้อย ข้าวเจ้ามีแอมิโลส ประมาณ ร้อยละ 7-33 ในข้าวสาร หรือร้อยละ 9-37 ในแป้ง ส่วนที่เหลือร้อยละ 63-91 จะเป็นแอมิโลเปกติน (งามชื่น, 2541)

ถึงแม้ว่าแป้งข้าวจะมีปริมาณแอมิโลเปกตินปริมาณมากกว่าแอมิโลส แต่โดยทั่วไปมักนิยมแบ่งประเภทข้าวโดยถือปริมาณแอมิโลสเป็นหลัก ทั้งนี้เมื่อกล่าวถึงเปอร์เซ็นต์แอมิโลส มักมีความหมายว่าส่วนที่เหลือของแป้งเป็นแอมิโลเปกติน อัตราส่วนของแอมิโลสและแอมิโลเปกตินเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ข้าวหุงสุกมีคุณสมบัติแตกต่างกัน ปริมาณแอมิโลสเป็นสาเหตุทำให้ข้าวสุกมีความเหนียวลดลง หรือร่วนมากขึ้น และทำให้ข้าวนุ่มน้อยลงด้วย ทั้งนี้เนื่องจากคุณสมบัติการคืนตัวของแอมิโลสที่สุกแล้ว (retrogradation) (งามชื่น, 2546) ทั้งนี้ได้มีการจัดแบ่งประเภทข้าวตามปริมาณแอมิโลส ดังแสดงในตารางที่ 3

ในระหว่างการหุงต้มข้าวที่มีแอมิโลสสูงจะดูดน้ำได้มากกว่าข้าวที่มีแอมิโลสดำจึงทำให้ข้าวสุกไม่แฉะง่าย (งามชื่น, 2539) เมื่อสุกแล้วจะได้ข้าวสวยร่วนฟูไม่เหนียวติดกัน จึงทำให้ข้าวสุกขยายปริมาตรมากขึ้น หรือข้าวขึ้นหม้อดีกว่าข้าวแอมิโลสดำ ในขณะที่ข้าวแอมิโลสดำ ข้าวสวยจะมีลักษณะเหนียว เกาะติดกัน เป็นก้อน จึงไม่ขึ้นหม้อ (งามชื่น, 2545)

ตารางที่ 3 การแบ่งข้าวตามปริมาณแอมิโลสในข้าวขาว

ประเภทข้าว	ร้อยละของปริมาณแอมิโลส	ลักษณะข้าวสุก
ข้าวเหนียว	0-2	เหนียวมาก
ข้าวเจ้า		
- ข้าวแอมิโลสดำ	10-19	เหนียว-นุ่ม
- ข้าวแอมิโลสปานกลาง	20-25	ค่อนข้างร่วน ไม่แข็ง
- ข้าวแอมิโลสสูง	26-34	ร่วน แข็ง

ที่มา: งามชื่น (2545)

2.2 ปริมาณโปรตีน (protein content)

โปรตีนในข้าวมีปริมาณแตกต่างกันขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว โดยทั่วไปจะมีปริมาณน้อยกว่าในธัญพืชชนิดอื่น (อรอนงค์, 2547) แต่เป็นองค์ประกอบทางเคมีที่มีความสำคัญต่อคุณภาพของข้าว โปรตีนในข้าว แบ่งได้เป็น 4 ชนิด ได้แก่ อัลบูมิน (albumin) โกลบูลิน (globulin) โปรลามิน (prolamin) และกลูเตลิน (glutelin) ในเมล็ดข้าวมีปริมาณกลูเตลินในอัตราส่วนที่มากกว่าโปรตีนชนิดอื่น ดังนั้นในการคำนวณปริมาณโปรตีนในข้าวที่คำนวณมาจากปริมาณไนโตรเจนจะคูณด้วยแฟกเตอร์ 5.95 เนื่องจากในองค์ประกอบของกลูเตลินมีไนโตรเจนอยู่ร้อยละ 16.8 (Juliano, 1985a)

โปรตีนที่มีในข้าวนี้เกิดขึ้นตามส่วนต่างๆของเมล็ด โดยมีมากในชั้นเปลือกหุ้มเมล็ด และเนื้อด้านนอกจะมีปริมาณโปรตีนมากกว่าใจกลางเมล็ด (อรอนงค์, 2547) ในข้าวที่มีปริมาณโปรตีนสูงจะมีเนื้อสัมผัสที่แข็งกว่าข้าวที่มีปริมาณโปรตีนต่ำ และข้าวที่มีปริมาณโปรตีนสูงจะดูดซึมน้ำได้ช้ากว่า โดยโปรตีนที่อยู่ตรงส่วนนอกของเมล็ดมีส่วนทำให้ระยะเวลาในการหุงต้มเมล็ดข้าวให้สุกนานขึ้น เนื่องจากโปรตีนจะขัดขวางการซึมของน้ำเข้าไปภายในเมล็ดข้าว นอกจากนี้ข้าวโปรตีนสูงยังทำให้เมล็ดแกร่งขึ้น ทำให้ขัดสีออกได้ยาก จึงอาจมีระดับการขัดสีต่ำกว่า และทำให้ข้าวสุกนั้นเหนียวน้อยลง และมีสีคล้ำ (งามชื่น, 2545) อีกทั้งโปรตีนจะทำให้เกิดพันธะไคซัลไฟด์ในแป้งข้าว ส่งผลให้เพิ่มความแข็งแรงให้กับเมล็ดแป้งอีกด้วย (Hamaker and Griffin, 1996) ด้วยเหตุนี้ชาวเอเชียจึงชอบรับประทานข้าวที่มีปริมาณโปรตีนต่ำ เนื่องจากมีเนื้อสัมผัสที่เหนียวมากกว่าข้าวที่มีปริมาณโปรตีนสูง (Kawamura *et al.*, 2003) ทั้งนี้ปัจจัยที่ทำให้ข้าวมีโปรตีนสูงขึ้น ได้แก่ ระยะเวลาปักดำหว่าน การใส่ปุ๋ยไนโตรเจน (โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงข้าวผสมเกสร) การให้น้ำออกออกจากแปลงข้าวระหว่างฤดูปลูก จะทำให้ข้าวมีโปรตีนลดลง เนื่องจากเกิดการสูญเสียไนโตรเจนในดิน เมล็ดข้าวจากต้นที่อยู่ริมขอบแปลง หรืออยู่ใกล้ติดกับกอที่เสียหายมักมีโปรตีนที่สูงกว่า ในฤดูกาลที่มีแสงแดดจ้าในช่วงการพัฒนาเมล็ด เมล็ดข้าวมักมีโปรตีนต่ำลง ดังนั้นข้าวที่ปลูกในฤดูนาปรังจึงมักมีโปรตีนต่ำกว่าฤดูนาปี อุณหภูมิในช่วงการแก่ของเมล็ดก็มีอิทธิพลต่อปริมาณโปรตีนเช่นกัน (งามชื่น, 2546)

2.3 ความคงตัวของแป้งสุก (gel consistency)

ความคงตัวของแป้งสุกมักมีความสัมพันธ์ผกผันกับปริมาณแอมิโลส ดังนั้นปัจจัยข้อนี้จึงอาจใช้คาดคะเนคุณภาพการหุงต้มและรับประทานของข้าวที่มีความแตกต่างของปริมาณแอมิโลส ระหว่างพันธุ์ (งามชื่น, 2541) แม้ปริมาณแอมิโลสจะเป็นปัจจัยสำคัญต่อคุณภาพข้าวสุก

แต่ในระหว่างข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสเท่ากัน อาจมีความแข็งของข้าวหุงสุกแตกต่างกัน เนื่องจากคุณสมบัติของแป้งสูกมีอัตราการคืนตัวไม่เท่ากัน ทำให้แป้งสูกมีความแข็งและอ่อนแตกต่างกัน หากข้าว 2 พันธุ์มีปริมาณแอมิโลสสูงใกล้เคียงกัน ข้าวที่มีความคงตัวของแป้งข้าวสูกอ่อน เมื่อหุงเป็นข้าวสวยจะได้ข้าวที่แข็งกระด้างน้อยกว่าข้าวที่มีความคงตัวของแป้งสูกแข็ง (งามชื่น, 2545)

2.4 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้ง (amylogram of rice flour)

การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้ง มีความสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงทางด้านกายภาพ ซึ่งจะมีคุณสมบัติเฉพาะตัว และแตกต่างไปตามชนิดและสายพันธุ์ (กล้าณรงค์ และคณะ, 2539) ในการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้ง สามารถตรวจสอบได้หลายวิธี และเครื่องมือที่ใช้ในการวัดหลายก็มีหลายชนิด แต่ละชนิดมีหลักการทำงาน และการอ่านค่าความหนืดที่แตกต่างกันออกไป เช่น เครื่องวัดความหนืดแบบบรูคฟิลด์ (Brookfield viscosity) และเครื่อง Rheometer เป็นเครื่องมือที่ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้ง ณ อุณหภูมิหนึ่ง นอกจากนี้ยังมีเครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว (Rapid visco analyzer ; RVA) และเครื่องบราเบนเดอร์ วิสโคอะไมโลกราฟ (Brabender viscoamylograph) ที่ใช้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของแป้งเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป

2.5 ระยะเวลาในการหุงต้ม (cooking time)

การต้มเมล็ดข้าวให้สุกอาจใช้เวลา 14 - 24 นาที หรือมากกว่านั้น เมล็ดข้าวสุกต้องไม่มีไตของแป้งดิบภายในเมล็ด โดยระยะเวลานี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิแป้งสูก (gelatinization temperature) โดยค่าอุณหภูมิแป้งสูกสามารถประมาณได้จากค่าความหนืด (viscosity) โดยใช้เครื่องบราเบนเดอร์ วิสโคอะไมโลกราฟ หรือค่าการสลายของเมล็ดข้าวสารในด่าง (alkali test) (งามชื่น, 2546)

แม้ว่าระยะเวลาหุงต้มจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิแป้งสูก แต่ความหนาของเมล็ดข้าวทำให้ต้องยืดเวลาในการหุงต้มออกไปอีก เช่น ข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสูกเท่ากัน ข้าวที่มีเมล็ดหนาจะต้องใช้เวลาในการหุงต้มนานกว่าข้าวเมล็ดบาง ทั้งนี้ปริมาณโปรตีนก็มีผลต่อระยะเวลาในการหุงต้มเช่นเดียวกัน โดยโปรตีนซึ่งมีมากตามบริเวณผิวนอกของเมล็ดอาจเป็นอุปสรรคในการซึมผ่านของน้ำ และทำให้เวลาหุงต้มนานออกไปอีก (งามชื่น, 2546)

2.6 คุณภาพการหุงต้ม (cooking quality)

มีผลมาจากวิธีการหุงต้มข้าวที่แตกต่างกัน และขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าวด้วย สามารถตรวจวัดได้จากลักษณะปรากฏของข้าวหุงสุก หรือเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุก เป็นต้น สำหรับการหุงข้าวเมล็ดยาวในประเทศไทย เพื่อให้ได้คุณภาพที่ดีที่สุดตามสภาพข้าว เช่น ข้าวที่มีเอมิโลสสูง ซึ่งเป็นข้าวชนิดร่วนแข็ง นิยมใส่น้ำมากกว่าข้าวเอมิโลสต่ำกว่า ซึ่งในระหว่างการหุงต้ม เมล็ดข้าวจะดูดน้ำไว้เมื่อเมล็ดสุกแล้ว แต่ยังมีน้ำเหลืออยู่ ต้องหุงต้มต่อไปอีกสักครู่ จะช่วยให้เมล็ดข้าวดูดน้ำเพิ่มขึ้น และช่วยลดความแข็งกระด้างของข้าวหุงสุกลงได้ ในทางตรงกันข้ามการหุงต้มข้าวเอมิโลสต่ำต้องระมัดระวังปริมาณน้ำหุงต้ม เพราะหากน้ำมากเกินไป เมล็ดข้าวสุกจะแฉะและ อย่างไรก็ตามการหุงข้าวครั้งละมากๆ อัตราการระเหยของน้ำในระหว่างการหุงต้มจะลดลง จึงต้องลดปริมาณน้ำส่วนนี้ลงเวลาหุงต้ม และควรปรับน้ำหนักของข้าว และน้ำให้เป็นปริมาตร เพื่อสะดวกในการปฏิบัติต่อไป (อรอนงค์, 2547)

จากการสำรวจวิธีการหุงต้มของผู้บริโภคในประเทศต่างๆ ทั่วโลก Julinao (1985a) สามารถแบ่งวิธีการหุงต้มข้าว ดังนี้

2.6.1 การหุงต้มข้าวในเตาอบ (oven cooking)

การหุงต้มข้าวในเตาอบ โดยการเติมน้ำเดือดประมาณ 220-260 มิลลิลิตร ลงในข้าวสาร 100 กรัม ในถ้วยทนไฟที่ใช้ในเตาอบได้โดยมีฝาปิด หุงต้มในเตาอบที่อุณหภูมิ 176 องศาเซลเซียส นาน 28 นาที แล้วเปิดฝา อบไอน้ำในเตาอบต่อนาน 5 นาที (ในกรณีที่เป็ข้าวหนึ่งต้องใช้เวลานาน 33 นาที) (Julinao, 1985a)

2.6.2 การหุงต้มข้าวด้วยปริมาณน้ำน้อย (small amount of water)

การหุงต้มข้าวด้วยปริมาณน้ำน้อย โดยการซาวข้าว แล้วเติมน้ำให้พอเหมาะกับข้าว นำไปต้มจนสุก เมล็ดข้าวจะดูดซับน้ำจนแห้ง การหุงข้าววิธีนี้คนหุงต้องมีทักษะในการคาดคะเนปริมาณน้ำ และความร้อน เช่น การใช้นิ้วหรือฝ่ามือวางบนข้าว เพื่อประมาณความลึกของน้ำ หรือรู้จักรูป (ลดไฟให้อ่อนลง) อุปกรณ์หุงข้าวในสมัยก่อนมักใช้หม้อดิน ต่อมาจึงเปลี่ยนมาเป็นหม้ออะลูมิเนียม และพัฒนามาเป็น หม้อหุงข้าวไฟฟ้าที่มีระบบตัดไฟเมื่อน้ำในหม้อแห้ง

(มูลนิธิข้าวไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, ม.ป.ป.) หรือเรียกว่าอีกวิธีหนึ่งว่า การหุงข้าวแบบไม่เช็ดน้ำ (อรอนงค์, 2547)

Julinao (1985a) กล่าวว่า การหุงต้มข้าวด้วยปริมาณน้ำน้อย โดยการต้มน้ำในกระทะก้นลึกทนไฟที่มีฝาปิดจำนวน 200 มิลลิลิตร จนเดือด เติมน้ำข้าวสาร 100 กรัม ต้มเดือดนาน 2 นาที จากนั้นจึงลดไฟแบบอ่อนนาน 18 นาที โดยมีแผ่นกั้นความร้อนรองและปิดฝา ในบางประเทศ (ประเทศพม่า ฝรั่งเศส ญี่ปุ่น เกาหลี และไทย) อาจใช้น้ำเย็นแทนน้ำต้มเดือด และในบางประเทศ (ประเทศอินเดีย และญี่ปุ่น) จะแช่ข้าวสารนาน 30 นาที ก่อนหุงต้ม ในกรณีที่เป็นข้าวหนึ่งต้องใช้เวลานานในการอุ่น 23 นาที และอาจจะต้องเติมน้ำในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นถ้าไม่มีการแช่ข้าวก่อน

หม้อหุงข้าวไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ความร้อนทำให้ข้าวสุกได้อย่างรวดเร็วโดยอาศัยพลังงานไฟฟ้าทำให้เกิดความร้อน (อัจฉรา, ม.ป.ป.) ซึ่งมีการพัฒนามาเป็นระยะเวลาหลายปี จัดเป็นวิธีการหุงต้มที่มีคุณภาพ และได้รับการยอมรับมาก (Lakshmi *et al.*, 2007) หลักการทำงานของหม้อหุงข้าวไฟฟ้า คือ อาศัยแผ่นความร้อนที่กั้นหม้อซึ่งทำจากอะลูมิเนียมแผ่นความร้อนนี้มีขดลวดไฟฟ้าอยู่ภายใน ซึ่งควบคุมโดยเครื่องเปิดปิดอัตโนมัติ ตรงกลางของแผ่นความร้อนมีรูกลมภายในรูมีแม่เหล็กอ่อนที่ไวต่อความร้อนแม่เหล็กออกไซด์ เมื่ออยู่ภายใต้อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่าจะถูกแม่เหล็กถาวรดูด แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นถึง 103 องศาเซลเซียส จะสูญเสียความเป็นแม่เหล็กถาวรดูด (เรืองชัย และ ราพรรณ, ม.ป.ป.)

เมื่อกดสวิตช์หม้อหุงข้าว แกนของสวิตช์จะกดให้แม่เหล็กดูดติดกับแม่เหล็กอ่อนที่ไวต่อความร้อนทำให้กระแสไฟฟ้าไหลเข้าสู่ขดลวดความร้อน เริ่มให้ความร้อนในการหุงข้าว หลังจากข้าวในหม้อเดือดแล้วน้ำในหม้อจะค่อยๆ ลดลง เมื่อน้ำเริ่มระเหยกลายเป็นไอน้ำ และกลายเป็นไอน้ำอยู่ในหม้อชั้นใน จะทำให้ข้าวสุก และอุณหภูมิสูงมากยิ่งขึ้น (อัจฉรา, ม.ป.ป.) โดยอุณหภูมิภายในหม้อจะสูงเกินกว่า 100 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิสูงถึง 103 องศาเซลเซียส แม่เหล็กอ่อนจะไม่ถูกแม่เหล็กถาวรดูด แกนของสวิตช์จะถูกดึงลงมาจากแรงดึงของขดสปริง และน้ำหนักแม่เหล็กถาวรเองจะกดลงทำให้จุดสัมผัสแยกออกจากกัน จึงไม่มีไฟฟ้าเข้าสู่ขดลวดความร้อน ในขณะเดียวกันจะไปเชื่อมโยงให้ระบบไฟฟ้าในการอุ่นทำงาน รักษาอุณหภูมิของข้าวไว้ประมาณ 70 องศาเซลเซียส (เรืองชัย และ ราพรรณ, ม.ป.ป.)

ชนิดของหม้อหุงข้าว ขนาด ความจุความร้อน และตำแหน่งของข้าวสุกในหม้อหุงข้าวก็มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัส Okabe (1979) พบว่าข้าวที่อยู่ตรงส่วนล่างของหม้อหุงข้าวมีการ

ยอมรับมากกว่าข้าวที่อยู่ด้านข้าง ตรงกลาง หรือด้านบน และพบข้อเสียของการหุงข้าวด้วยหม้อหุงข้าว โดยข้าวจะมีความเหนียวมากขึ้นแต่ไม่พองตัว (puffy) พอทำให้ผิวเมล็ดมีลักษณะคล้ายแป้งเปียก (pasty) เนื่องจากเมล็ดข้าวจะเกาะติดกัน ซึ่งจะส่งผลทำให้คุณภาพทางเนื้อสัมผัสลดลง

การหุงต้มข้าวในหม้อหุงข้าวไฟฟ้าใบเดียวกัน หากหุงต้มข้าวปริมาณต่างกัน แม้จะใส่น้ำในอัตราส่วนเดียวกันจากการคำนวณ แต่โดยความเป็นจริง ปริมาณน้ำที่ใส่นั้นอยู่กับปริมาณข้าวที่หุงด้วย ดังนั้นการหุงข้าวปริมาณมากย่อมต้องใส่น้ำปริมาณมากขึ้นด้วย ผลดังกล่าวย่อมทำให้การหุงต้มหรือข้าวสุกน้ำจนแห้ง และทำให้หม้อข้าวหยุดหุงโดยอัตโนมัติมีระยะเวลานานขึ้น และอัตราการระเหยของน้ำลดลง น้ำที่ยังคงอยู่ในหม้อหุงข้าวส่วนนี้จะอยู่ในเมล็ดข้าวทำให้เมล็ดข้าวสุกมีปริมาณน้ำมากขึ้น และส่งผลให้ความแข็งของข้าวสวลดลง หรือข้าวแฉะมากขึ้น (งามชื่น, 2545)

Kainuma and Ema (1987) พบว่าอัตราส่วนปริมาณน้ำต่อข้าว (ข้าวญี่ปุ่น) เท่ากับ 1: 1.3-1.4 มีคะแนนสูงสุด เมื่อนำไปทดสอบความพึงพอใจในการรับประทานด้วยการชิม แสดงว่าข้าวจาโปนิกา (ข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำ) ต้องการอัตราส่วนปริมาณน้ำต่อข้าวน้อย และพบว่าหากอัตราส่วนปริมาณน้ำต่อข้าวสูง ข้าวสุกจะมีปริมาณน้ำมาก ทำให้ความสามารถในการเกาะรวมตัวกันมากขึ้น ความแข็งลดลง และขนาดของเมล็ดใหญ่ขึ้น

2.6.3 การหุงต้มข้าวด้วยปริมาณน้ำปานกลาง (medium amount of water)

การหุงต้มข้าวด้วยปริมาณน้ำปานกลาง หรือการหุงข้าวแบบเช็ดน้ำ (อรอนงค์, 2547) โดยการล้าง หรือซาวข้าว เพื่อขจัดฝุ่นผงและสิ่งแปลกปลอมต่าง ๆ ออก จนกระทั่งน้ำล้างข้าวใส แล้วจึงเติมน้ำปริมาณมากลงไป ต้มให้เดือด ในช่วงนี้ต้องหมั่นคนอย่าให้เมล็ดข้าวติดกันหม้อต้มจนเมล็ดข้าวเกือบสุก เมื่อสังเกตเห็นเมล็ดข้าวยังมีไตขุ่นเป็นจุดเล็ก ๆ อยู่ภายใน ให้รินน้ำข้าวออก ดังนั้นหม้อที่ใช้หุงข้าวแบบเช็ดน้ำนี้จึงต้องมีหูสองข้าง และฝาหม้อต้องมีหูอยู่ตรงกึ่งกลางเวลาเช็ดน้ำ ต้องใช้ไม้ขัดฝาหม้อ ที่ทำจากไม้ไผ่มาร้อยหูหม้อ และฝาหม้อ เฝียงหม้อเทน้ำข้าวออกจนหมด แล้วจึงนำไปดงบนไฟอ่อน ๆ จนน้ำแห้ง (มูลนิธิข้าวไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, ม.ป.ป.)

Julinao (1985a) กล่าวว่า การหุงต้มข้าวด้วยปริมาณน้ำปานกลาง จะใช้กระทะอลูมิเนียมก้นลึกที่มีฝาปิดใส่น้ำ 400 มิลลิลิตร ต้มจนเดือด แล้วเติมน้ำสาร 100 กรัม ต้มเดือดนาน 2 นาที จากนั้นจึงลดไฟแบบอุ่นนาน 13 หรือ 18 นาที โดยมีฝาปิด เทน้ำที่เหลือออกก่อนรับประทาน

ในบางประเทศ (ประเทศพม่า) อาจใช้น้ำเย็นหุงข้าวจนสุก จากนั้นจึงเทน้ำที่เหลือออก แล้วคงแบบเปิดฝา เพื่อให้ไอน้ำระเหยจนข้าวแห้งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 176 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที ในกรณีที่เป็ข้าวหนึ่งจะต้องใช้เวลาในการอุ่นนาน 23 นาที

การหุงข้าวแบบเช็ดน้ำ ในการหุงต้มข้าวแอมิโลสสูง หากใส่น้ำน้อยจะแข็งกระด้างมาก แต่เมื่อใส่น้ำมากจะช่วยให้ข้าวนุ่มมากขึ้น และทำให้การขยายปริมาตรมากขึ้น เนื่องจากการทำให้เมล็ดมีโอกาสดูดน้ำได้มาก และทำให้ข้าวแข็งกระด้างน้อยลง เพราะระหว่างคงข้าว หรือทิ้งให้ระอุบนเตาไฟเต็มที่ เพื่อไล่ความชื้นที่มีมากเกินไป ข้าวยังคงได้รับความร้อนสูง ซึ่งมีผลทำให้เมล็ดสุกได้ หากการรินน้ำกระทำเมื่อข้าวค่อนข้างสุกก็อาจทำให้ข้าวแฉะได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งข้าวแอมิโลสดำ (อรอนงค์, 2547)

2.6.4 การหุงต้มข้าวด้วยปริมาณมาก (large amount of water)

การหุงต้มข้าวด้วยปริมาณมาก หรือการหุงข้าวแบบเช็ดน้ำ (อรอนงค์, 2547) (เช่นเดียวกับการหุงต้มข้าวด้วยปริมาณน้ำปานกลาง) โดยการใช้กระทะอลูมิเนียมก้นลึกที่มีฝาปิด ใส่น้ำ 800 มิลลิลิตร ต้มจนเดือด แล้วเติมข้าวสาร 100 กรัม ต้มเดือดนาน 12 หรือ 20 นาที โดยเปิดฝาดูออก เหนือที่เหลืออกก่อนนำไปรับประทาน ในบางประเทศ (ประเทศออสเตรเลีย) จะไม่ล้างข้าวก่อนหุงต้ม ในบางประเทศ (ประเทศเยอรมันตะวันตก) อาจหุงต้มแบบปิดฝา บางประเทศ (ประเทศไทย) อาจใช้น้ำเย็นแทนน้ำเดือด และบางประเทศ (ประเทศอิตาลี และประเทศไทย) จะเทน้ำที่เหลือออก และอุ่นให้ไอน้ำระเหยเพื่อทำให้ข้าวแห้งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 176 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที ในกรณีที่เป็ข้าวหนึ่งจะต้องใช้เวลาต้มนาน 25 นาที (Julinao, 1985a)

Daniel and Philip (2001) ได้ศึกษาอิทธิพลของวิธีการหุงต้ม และความหลากหลาย ต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าว โดยใช้วิธีการหุงต้ม 2 วิธี คือ excess method โดยการต้มข้าวในน้ำตามเวลาที่กำหนด คนข้าวเบาๆ จนกระทั่งข้าวนุ่มและแน่น จากนั้นทำให้เย็นจัดด้วยน้ำเย็น และทำให้อุ่นอีกครั้งด้วยน้ำร้อน และรินน้ำออก ร่วมกับวิธี pilaf method โดยการต้มข้าวในน้ำ และให้ข้าวดูดน้ำจนหมด

ในการหุงต้มข้าวด้วยปริมาณน้ำมาก เวลาในการหุงต้มข้าวจะมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิในการเกิดเจลาตินในเซชัน (gelatinization temperature) และการดูดน้ำ อีกทั้งการขยาย

ปริมาตร ของข้าวสารเพื่อให้ได้เนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุก ก็มีสัมพันธ์กับปริมาณแอมิโลสด้วย (Juliano, 1998)

2.6.5 การนึ่ง (steaming)

การนึ่งข้าว โดยการขาวข้าว จากนั้นเติมน้ำให้พอเหมาะ เช่นเดียวกับการหุงแบบไม่เช็ดน้ำ ต่างกันเพียงแต่นำข้าวไปนึ่งโดยใช้ความร้อนของไอน้ำทำให้ข้าวสุก ภาชนะที่ใส่ข้าวจึงเป็นชั้นที่จุข้าวสำหรับบริโภคหนึ่งคน หรือถึงขนาดใหญ่ ที่บรรจุถ้วยหนึ่งได้หลายใบ (มูลนิธิข้าวไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, ม.ป.ป.) ในประเทศอินโดนีเซียจะทำการนึ่งข้าว 100 กรัม ในหม้อ 2 ชั้น โดยหม้อที่ใส่ข้าวมีรูด้านล่างซึ่งจุ่มลงหม้อที่มีน้ำเดือดปริมาณ 100 มิลลิลิตร นาน 10 นาที จากนั้นจึงยกหม้อขึ้นเหนือหม้อที่ใส่น้ำเดือด และนึ่งต่อไปนาน 30 หรือ 45 นาที บางประเทศ (ประเทศอินโดนีเซีย) จะต้มข้าวกับน้ำในอัตราส่วนข้าวต่อน้ำเท่ากับ 1 ต่อ 1.5 จนกระทั่งข้าวอุ้มน้ำหมด โดยใช้เวลาประมาณ 5 นาที แล้วจึงนึ่งด้วยไอน้ำอีก 30 นาที ที่ความดันเท่ากับศูนย์ (Juliano, 1985a)

Mossman *et al.* (1983) หุงต้มข้าวด้วยการนำข้าว 8 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 30 มิลลิลิตร ที่มีน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร ปิดด้วยกระจกนาฬิกา นำไปให้ความร้อนเหนือน้ำเดือด ให้ความร้อนด้วยการนึ่งนาน 20 นาที Tran *et al.* (2004) หุงต้มข้าวหุงสุกจากข้าวกล้องและข้าวสาร โดยการนำข้าวสารแช่ในน้ำนาน 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นจึงไปนึ่งด้วยไอน้ำนาน 15 นาที

2.6.6 การนึ่งแบบเติมน้ำมัน (steaming with oil added)

การนึ่งแบบเติมน้ำมัน โดยต้มน้ำปริมาณ 800 มิลลิลิตร ในกระทะอลูมิเนียมก้นลึกที่มีฝาปิดจนเดือด ใส่ข้าวสาร 100 กรัม ต้มเดือดนาน 5 หรือ 15 นาที โดยเปิดฝาท่อน้ำที่เหลือออก เทข้าวที่สะเด็ดน้ำลงในหม้อหนึ่งซึ่งเป็นหม้อ 2 ชั้น ชั้นในใส่ข้าวที่สะเด็ดน้ำ แล้วเติมน้ำมัน 1 ช้อนโต๊ะ (14.9 มิลลิลิตร) และน้ำร้อน 60 มิลลิลิตร นึ่งในน้ำเดือดอยู่ในหม้ออีกชั้นนาน 15 นาที (Juliano, 1985a)

2.6.7 การหุงต้มข้าวในน้ำเติมน้ำมัน (cooking in water with oil added)

การหุงต้มข้าวในน้ำเติมน้ำมัน โดยต้มข้าวสาร 100 กรัม ผสมน้ำมันเมล็ดฝ้าย 1 ช้อนโต๊ะ (14.90 มิลลิลิตร) ในกระทะอลูมิเนียมก้นลึกที่มีฝาปิดนาน 2 หรือ 5 นาที จากนั้นจึงเติมน้ำ

200 หรือ 250 มิลลิลิตร ลงในหม้อ ปิดฝา และอุ่นนาน 20, 25 หรือ 28 นาที โดยวางหม้อข้าวบน แผ่นกันความร้อนด้านล่างอีก 15 นาที ในบางประเทศ (ประเทศเอกวาดอร์ และเปรู) จะเติมน้ำมัน ลงในน้ำ 250 มิลลิลิตร ต้มน้ำเดือด จากนั้นจึงใส่ข้าวสาร และอุ่นในหม้อปิดฝานาน 30 นาที (Julinao, 1985a)

2.6.8 การหุงต้มด้วยวิธีการอื่นๆ

นอกจากนี้ยังมีวิธีการหุงต้มอื่นๆอีก เช่น การหุงต้มด้วยความดัน (pressure cooking) เป็นการหุงต้มในหม้อความดัน ซึ่งเป็นหม้อที่ปิดแน่นจนไอน้ำไม่สามารถระเหยไปได้ใน บรรยากาศที่จุดเดือด (100 องศาเซลเซียส) ทำให้ความดัน และอุณหภูมินั้นเพิ่มขึ้น จึงทำให้อาหาร นั้นสุกเร็ว การหุงต้มด้วยวิธีนี้ ทำให้กลิ่นรสของอาหารเพิ่มขึ้น และยังทำให้รสชาติของการดีกว่า เดิม อีกทั้งยังทำให้คุณค่าทางอาหารคงอยู่มากกว่าการหุงต้มด้วยวิธีการอื่น (Knox, 2003)

การหุงต้มด้วยไมโครเวฟ ก็จัดเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมเช่นกัน เนื่องจากเป็นวิธีที่ สะดวก รวดเร็ว (Lakshmi *et al.*, 2007) รักษาคุณค่าทางโภชนาการได้ดีกว่าวิธีการหุงต้มวิธีอื่นๆ และสามารถอุ่นให้ร้อนใหม่ได้ ไม่สะดวกกับการหุงต้มในปริมาณมาก แต่สะดวกในการหุงปริมาณ น้อยๆ ซึ่งถือเป็นวิธีการหุงต้มที่เหมาะสมกับการใช้ในครัวเรือน (Juliano, 1985b) โดยหลักการ ทำงานของเตาไมโครเวฟ คือ อาศัยพลังงานจากคลื่นไมโครเวฟในการอุ่นอาหาร โดยการ เปลี่ยนเป็นพลังงานภายในของอาหาร ความถี่คลื่นไมโครเวฟที่ใช้จะมีค่าประมาณ 2,450 MHz ซึ่งเป็นความถี่ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการทำให้โมเลกุลทำให้อิเล็กตรอนของน้ำสั่นสะเทือน โดยใน โมเลกุลของน้ำ (H_2O) ไฮโดรเจน (H_2) มีประจุไฟฟ้าลบ และออกซิเจน (O) มีประจุไฟฟ้าลบ เมื่อ ไมโครเวฟผ่านเข้าไปในอาหาร สนามไฟฟ้าของคลื่นไมโครเวฟจะเกิดแรงกระทำต่อโมเลกุลของ น้ำ ทำให้ประจุบวกและลบของน้ำเกิดการสั่นไปมาอย่างรุนแรง การสั่นสะเทือนนี้ทำให้เกิดความ ร้อน จึงทำให้อาหารร้อนขึ้น (เรืองชัย และ รำพรรณ, ม.ป.ป.)

สำหรับการหุงต้มข้าวเมล็ดยาวของไทย เพื่อให้ได้คุณภาพที่ดีที่สุดตามสภาพข้าว เช่น ข้าวที่มีแอมิโลสสูงซึ่งเป็นข้าวชนิดรวนแข็ง นิยมใส่น้ำมากกว่าข้าวแอมิโลสต่ำกว่า ซึ่งใน ระหว่างการหุงต้มเมล็ดข้าวจะดูดน้ำไว้ เมื่อเมล็ดสุกแล้วแต่น้ำเหลืออยู่ ต้องหุงต้มต่อไปอีก ถักครู่จะช่วยให้เมล็ดข้าวดูดน้ำเพิ่มขึ้น และช่วยลดความแข็งกระด้างของข้าวสุกลงได้ ในทาง ตรงกันข้ามการหุงต้มข้าวแอมิโลสต่ำต้องระมัดระวังปริมาณน้ำหุงต้ม เพราะหากน้ำมากเกินไป เมล็ดข้าวสุกจะแฉะและ (อรอนงค์, 2547)

งามชื่น (2536) ได้ศึกษาระดับน้ำที่ใช้ในการหุงต้มข้าว โดยให้ผู้ชิมให้คะแนนตามความชอบ พบว่าระดับน้ำที่เหมาะสมที่สุดสำหรับหุงต้มข้าวสามารถคาดคะเนจากปริมาณแอมิโลสได้ดังสมการ

$$W = 1.01 + 0.048 A ; R^2 = 0.63$$

เมื่อ W คือ ระดับน้ำหุงต้มที่เหมาะสม คิดเป็นเท่าของน้ำหนักข้าว

A คือ ร้อยละแอมิโลสของข้าวสาร

อย่างไรก็ตามการหุงต้มข้าวครั้งละหลายๆอัตราการระเหยของน้ำในระหว่างการหุงต้มจะลดลง จึงต้องลดปริมาณน้ำส่วนนี้ลงเวลาหุงต้ม และควรปรับน้ำหนักของข้าว และน้ำให้เป็นปริมาตร เพื่อสะดวกในการปฏิบัติต่อไป สำหรับข้าวพันธุ์ดีบางพันธุ์ของประเทศไทย สามารถจัดแบ่งคุณภาพตามลักษณะการหุงต้ม และการรับประทานได้เป็น 3 กลุ่ม คือ ข้าวสุกนุ่มและเหนียว, ข้าวสุกร่วน (ข้าวอ่อน) และข้าวสุกร่วนแข็ง ดังนั้นวิธีการหุงต้มข้าวสุกจึงมีผลโดยตรงต่อคุณภาพการหุงต้มซึ่งเกี่ยวข้องกับพันธุ์ข้าว โดยพันธุ์ข้าวต่างกัน เช่น ข้าวเจ้า และข้าวเหนียวจะต้องมีการปรับปรุงวิธีการหุงต้มให้ได้ลักษณะเนื้อสัมผัสตามที่ผู้บริโภคต้องการ (อรอนงค์, 2547)

2.7 การยืดตัวของเมล็ดข้าวหุงสุก (elongation ratio during cooking)

ในระหว่างการหุงต้มเมล็ดข้าวมีการขยายตัวทุกด้าน โดยเฉพาะด้านยาว คุณลักษณะนี้เป็นคุณภาพพิเศษของข้าวบางพันธุ์ ซึ่งจะช่วยให้เมล็ดข้าวสุกขยายขนาดเพิ่มขึ้น และหากเมล็ดข้าวสุกเป็นข้าวที่ไม่เหนียวติดกัน การขยายขนาดเมล็ดข้าวสุกจะช่วยให้ข้าวขึ้นหม้อดียิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยให้ข้าวนุ่มมากขึ้น เพราะการขยายตัวทำให้เนื้อข้าวโปร่งขึ้น ไม่อัดกันแน่น (งามชื่น, 2545) การยืดตัวของเมล็ดข้าวหุงสุกสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การแบ่งประเภทข้าวตามอัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าวหุงสุก

ประเภทข้าว	อัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าวหุงสุก
ข้าวที่ยืดตัวปกติ	น้อยกว่า 1.9
ข้าวที่ยืดตัวมาก	มากกว่า 1.9

ที่มา: ละม้ายมาศ (2530)

โดยทั่วไปผู้บริโภคนิยมข้าวพันธุ์ที่มีการยืดตัวได้มากกว่าข้าวพันธุ์ที่ยืดตัวได้น้อย (ข้าวหุงสุกที่ยืดตัวได้มาก และไม่เหนียวติดกัน จัดเป็นข้าวที่หุงขึ้นหม้อ) ข้าวบาสมชาติ 370 สามารถยืดตัวได้มากกว่า 2 เท่าของความยาวเมล็ดข้าวสาร การที่เมล็ดขยายตัวได้มากทำให้ทำให้เนื้อในโปร่งขึ้น ไม่อัดแน่น และข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ก็มีการยืดตัวดี ทำให้ข้าวสุกนารับประทาน แต่เนื่องจากเป็นข้าวแอมิโลสต่ำ ข้าวสุกจะเหนียวนุ่มติดกัน จึงทำให้ไม่ขึ้นหม้อ (ละม้ายมาศ, 2541)

Juliano and Perez (1984) ได้หาอัตราการยืดตัวของเมล็ด จากการศึกษาพบว่า การแช่ข้าวนาน 30 นาที ก่อนนำข้าวไปต้ม ทำให้เวลาดำสุดที่ใช้ในการหุงต้มของข้าวลดลงเป็น 11 นาที หรือน้อยกว่า ดังนั้นหลักการที่ใช้ในการหาอัตราการยืดตัวของเมล็ด คือ การแช่ข้าวนาน 30 นาที ในตะแกรงที่จุ่มในน้ำ จากนั้นนำไปต้มในน้ำเดือดนาน 10 นาที และทำให้เย็น อัตราการยืดตัวของเมล็ด คำนวณได้จากความยาวเฉลี่ยของเมล็ดข้าวหุงสุก 10 เมล็ด ต่อความยาวเฉลี่ยของเมล็ดข้าวสาร 10 เมล็ด (Juliano, 1985a)

2.8 การขยายปริมาตร (volume expansion)

การขยายปริมาตร เป็นวิธีที่วัดปริมาตรที่เพิ่มขึ้น หรือปริมาตรที่ลดลง เมื่อใช้ตัวทำละลายที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) เช่น ไซลีน การหาอัตราการขยายปริมาตร เป็นการหาความสูงที่เพิ่มขึ้นของข้าวหุงสุก (Juliano, 1985a) ในภาชนะที่วัดปริมาตร หรือความสูงข้าวสารที่คงที่เท่ากัน ด้วยน้ำปริมาตรคงที่ และเวลาหุงคงที่ในอ่างน้ำเดือด เมื่อข้าวสุกวัดปริมาตร หรือส่วนสูงที่ข้าวขยายปริมาตรตัวขึ้น (อรอนงค์, 2547) อัตราการขยายปริมาตร สามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนของปริมาตรของข้าวสุก ต่อปริมาตรของข้าวสาร (Juliano, 1985a)

2.9 กลิ่น (aroma)

สารที่ให้กลิ่นในข้าว เป็นคุณลักษณะหนึ่งที่ทำให้ข้าวเกิดกลิ่นหอม อันเนื่องมาจากสารประกอบให้กลิ่นและกลิ่นรสที่มีอยู่ตามธรรมชาติ (Meullenet *et al.*, 2001) Yajima *et al.* (1979) พบว่าในข้าวหุงสุก ประกอบด้วย ไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbon) 13 ชนิด, แอลกอฮอล์ (alcohols) 13 ชนิด, แอลดีไฮด์ (aldehydes) 16 ชนิด, คีโตน (ketones) 14 ชนิด, กรด (acids) 14 ชนิด, เอสเทอร์ (esters) 8 ชนิด, ฟีนอล (phenols) 5 ชนิด, ไพริดีน (pyridines) 3 ชนิด, ไพราซีน (pyrazines) 6 ชนิด และสารประกอบอื่นๆอีก 8 ชนิด

Paule and Powers (1989) ได้ศึกษาโดยใช้ผู้ทดสอบชาวสหรัฐอเมริกา และชาวเอเชีย ในการอธิบายกลิ่นของข้าวหุงสุก โดยผู้ทดสอบชาวสหรัฐอเมริกาอธิบายว่ามีกลิ่นคล้ายข้าวโพดคั่ว (popcorn) ขณะที่ผู้ทดสอบชาวเอเชียอธิบายว่ามีกลิ่นคล้ายใบเตย (pandan) และจากการศึกษาของ Buttery *et al.*, (1983) โดยให้ผู้ทดสอบอธิบายกลิ่นของ 2-อะเซทิล-1-ไพโรลีน (2-acetyl-1-pyrroline) ซึ่งเป็นสารประกอบหลักในข้าวหุงสุก อีกทั้งยังพบในปริมาณที่แตกต่างกันไปในข้าวแต่ละพันธุ์ และพบในข้าวกล้องมากกว่าข้าวสาร (ตารางที่ 5) โดยผู้ทดสอบได้อธิบายกลิ่นดังกล่าวนี้ว่ามีกลิ่นคล้ายข้าวโพดคั่ว ทั้งนี้สารชนิดนี้ยังมีปริมาณสูงมากในพืชตระกูลใบเตย (*Pandanus amaryllifolius* Roxb. *Frangrant screwpine*) (งามชื่น, 2545)

2.10 ความเก่าของข้าว

ภายหลังจากการเก็บเกี่ยว ภายในเมล็ดข้าวจะเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยเฉพาะในระยะเวลา 3-4 เดือน หลังการเก็บเกี่ยวเอนโดสเปิร์มจะแก่ยิ่งขึ้นทำให้คุณภาพสดีขึ้น หากเมล็ดไม่

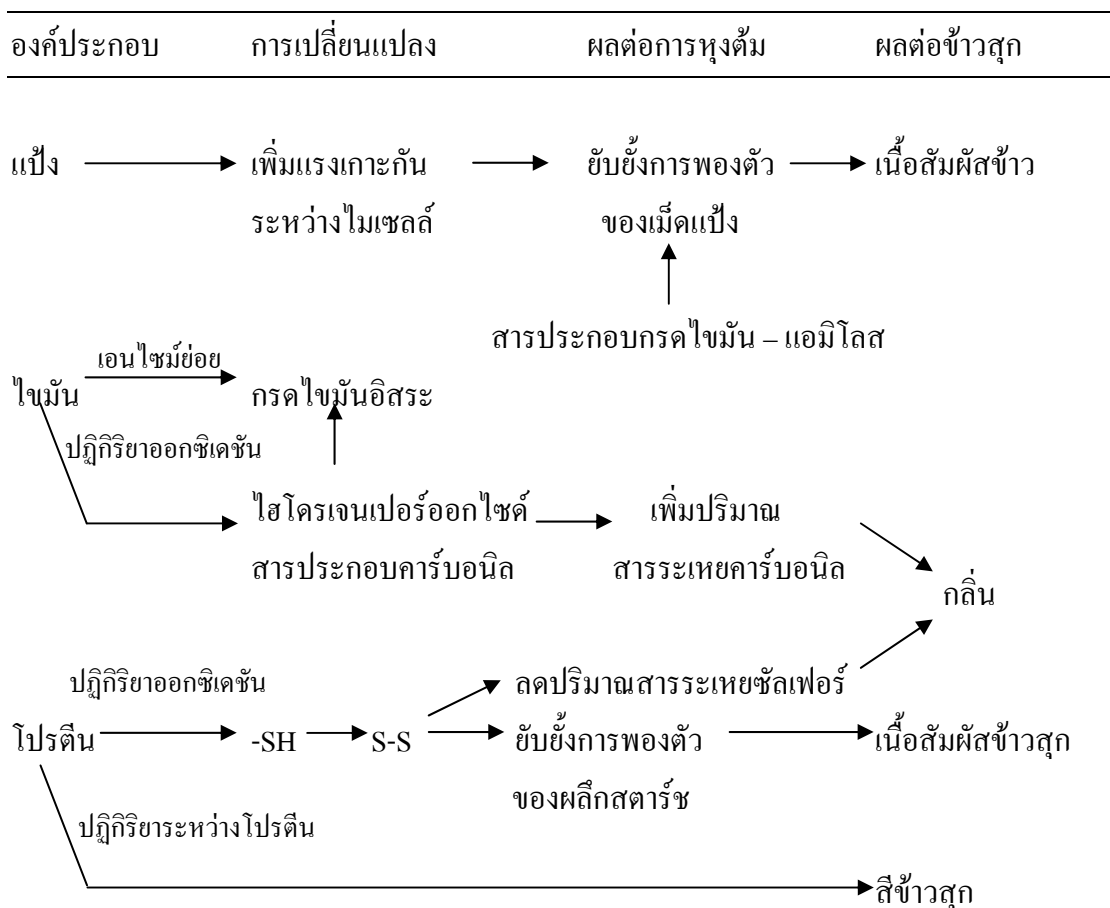
ตารางที่ 5 ปริมาณของสาร 2-อะเซทิล-1-ไพโรลีน ในข้าวขาวและข้าวกล้องหุงสุกพันธุ์ต่างๆ

พันธุ์	2-อะเซทิล-1-ไพโรลีน (ppm*)	
	ข้าวขาว	ข้าวกล้อง
Malagkit Sungsong	0.09	0.20
IR 841-76-1	0.07	0.20
Khao Dawk Mali 105 (ขาวดอกมะลิ 105)	0.07	0.20
Milagrosa	0.07	
Basmati 370	0.06	0.17
Seratus Malam	0.06	
Azucena Malam	0.04	0.16
Hieri	0.04	0.10
Texas long grain (ข้าวไม่หอม)	≤ 0.008	
Calrose (ข้าวหอม)	≤ 0.006	

หมายเหตุ * ppm = ปริมาณสารหนึ่งส่วนต่อล้านส่วนของข้าว (น้ำหนักแห้ง)

ที่มา: Buttery *et al.* (1983)

ถูกทำลายในระหว่างการเก็บ การเปลี่ยนแปลงในเมล็ดข้าวเกิดขึ้นจากการกระบวนการที่เกี่ยวข้อง 3 องค์ประกอบ คือ แป้ง ไขมัน และ โปรตีน แสดงดังภาพที่ 2 กรดไขมันอิสระที่ได้จากการย่อยของเอนไซม์เมื่อทำปฏิกิริยากับเม็ดแป้ง โดยเฉพาะโมเลกุลของเอมิโลส มีผลยับยั้งการขยายตัวของเม็ดแป้งในระหว่างการหุงต้ม และส่งผลต่อเนื้อสัมผัสของข้าวสวย นอกจากนี้กรดไขมันอิสระเมื่อทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ จะได้สารประกอบประเภทไฮโดรเปอร์ออกไซด์ คาร์บอนิล (hydroperoxide carbonyl) สารประกอบประเภทคาร์บอนิลนี้ ทำให้ข้าวมีกลิ่นหืน เช่นเดียวกับการเกิดกลิ่นหืนในน้ำมัน (งามชื่น, 2545) ซึ่งสอดคล้องกับที่ Chikuba (1970) ได้กล่าวว่า เมื่อเก็บข้าวไว้นานๆ ปริมาณกรดไขมันอิสระ สารประกอบคาร์บอนิล และอัลดีไฮด์ (aldehyde) จะเพิ่มขึ้น และจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสทำให้สันนิษฐานว่า กรดไขมันอิสระและสารประกอบคาร์บอนิลเป็นสาเหตุของกลิ่นรสเหม็นหืน (stale flavor)



ภาพที่ 2 กระบวนการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของเมล็ดข้าวในระหว่างการเก็บรักษา

ที่มา: Juliano (1985a)

สำหรับโปรตีนเมื่อทำปฏิกิริยากับออกซิเจนจะได้สารประกอบที่มีส่วนประกอบที่มีธาตุกำมะถัน (-S-S-) ที่คงตัวมากขึ้น ทำให้สารระเหยที่ได้มีส่วนประกอบของซัลไฟด์ลดลง และส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงด้านกลิ่นของข้าว ในขณะที่เดียวกันสารประกอบของกำมะถันนี้ยังมีผลต่อการพองตัวของเมล็ดข้าวในระหว่างการหุงต้ม ทำให้ข้าวสวยมีความนุ่มลดลง ปฏิกิริยาระหว่างโปรตีนทำให้ข้าวมีสีคล้ำกว่าข้าวใหม่ (งามชื่น, 2545)

ผลการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว ส่งผลให้ข้าวเก่ามีคุณภาพการหุงต้มและข้าวสุกแตกต่างจากข้าวใหม่ กล่าวคือ ข้าวเก่าต้องการเวลาในการหุงต้มนานกว่า เมื่อหุงเป็นข้าวสวย ข้าวสุกแข็งและร่วนมากขึ้น หรือเหนียวเกาะติดน้อยลง และแข็งขึ้น กลิ่นหอมของข้าวลดลง ทั้งนี้เมล็ดข้าวจะมีความสามารถในการดูดน้ำ (water absorption) และขยายปริมาตร (volume expansion) ได้มากกว่าข้าวใหม่ หรือขึ้นหม้อดีขึ้น น้ำข้าวจะใสขึ้น หรือมีของแข็ง (total solid) ลดลง เมล็ดข้าวอาจต้องใช้เวลาดำให้สุกนานขึ้นเล็กน้อย สีของข้าวจะคล้ำมากขึ้น มีกลิ่นสาบ เมล็ดเหลืองมากขึ้น (งามชื่น, 2545)

3. การตรวจสอบคุณภาพของข้าว

3.1 การตรวจสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวหุงสุก

การตรวจสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยการวิเคราะห์เชิงพรรณนา ซึ่งเป็นวิธีการที่สลับซับซ้อนที่สุด (Stone and Sidel, 1993) และเป็นวิธีการที่ใช้ในการประเมินคุณลักษณะเฉพาะและระดับความเข้มของตัวอย่าง โดยวิธีการนี้สามารถใช้ในการประเมิน คุณลักษณะของกลิ่น กลิ่นรส ลักษณะปรากฏ และเนื้อสัมผัส อย่างใดอย่างหนึ่ง หรือหลายอย่างรวมกัน (ISO, 1994) ผลจากการวิเคราะห์เชิงพรรณนาทำให้สามารถแยกแยะลักษณะทางประสาทสัมผัสที่มีความสำคัญต่อการยอมรับในผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค (Stone and Sidel, 1993)

เนื้อสัมผัสเป็นคุณลักษณะที่สำคัญต่อการยอมรับของอาหารโดยผู้บริโภค (Moskowitz and Drake, 1972) และเป็นส่วนหนึ่งที่มีความสำคัญต่อคุณภาพของข้าวหุงสุก (Meullenet *et al.*, 2000) ผู้บริโภคที่อยู่ในภูมิภาคต่างก็มีความชอบที่แตกต่างกัน เช่น ชาวญี่ปุ่นชอบข้าวข้าวเมล็ดสั้นซึ่งมีลักษณะนุ่ม และเหนียว (ข้าวจาโปนิกา) ชาวสหรัฐอเมริกาชอบข้าวเมล็ดปานกลางและข้าวเมล็ดยาวข้าว ที่มีลักษณะแข็ง ไม่เหนียว ส่วนชาวไทยชอบข้าวเมล็ดยาว ที่มีลักษณะนุ่ม ไม่เหนียว (ข้าวอินดิกา) (Lyon *et al.*, 2000)

เนื่องจากในข้าวหอมมะลิมีสารประกอบให้กลิ่นและกลิ่นรสที่มีอยู่ตามธรรมชาติ (Meullenet *et al.*, 2000) โดยเฉพาะ 2-อะเซทิล-1-ไพโรลีน ซึ่งเป็นสารหลักที่ให้กลิ่นหอม และมีบทบาทที่สำคัญในการพัฒนาด้านอุตสาหกรรมอาหาร (เหมือนหมาย, 2547) ดังนั้นนอกจากการตรวจสอบทางประสาทสัมผัสทั่วไป จึงต้องมีการฝึกฝนผู้ทดสอบในด้านกลิ่น โดยงามชื่น (2536) ได้เสนอวิธีทดสอบกลิ่นหอมของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (ข้าวหอมมะลิ) โดยชั่งเมล็ดข้าวสาร 2 กรัม ใส่ในหลอดปิดจุกทดลอง มีข้าวหอมมะลิใหม่ล้วน (เป็นมาตรฐานข้าวหอมมาก) 1 หลอด ข้าวหอมมะลิผสมข้าวธรรมดา (1:1) 1 หลอด เพื่อเป็นมาตรฐานข้าวหอม และข้าวธรรมดาล้วน 1 หลอด เพื่อเป็นมาตรฐานข้าวไม่หอม ทำไปพร้อมกับตัวอย่างข้าวที่ต้องการทดสอบความหอม เติมน้ำเกลือ 10% ปริมาตร 2.0 มิลลิลิตร หรือให้ท่วมเมล็ดข้าว ตั้งทิ้งไว้ในตู้อบ 50 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง จากนั้นนำออกจากตู้อบ ทิ้งให้เย็น เปิดจุกหลอดแก้วเพื่อดมกลิ่น แต่ละหลอดควรห่างกันอย่างน้อย 20 วินาที (ขึ้นอยู่กับความชำนาญของผู้ทดสอบ) เปรียบเทียบระดับความเข้มของกลิ่นหอมกับหลอดตัวอย่างมาตรฐานทั้ง 3 หลอด อาจใช้ข้าวกล้องหักเป็น 2 ส่วน แทนข้าวสาร เพื่อคัดเลือกพันธุ์ข้าวหอม โดยผู้ทดสอบต้องฝึกฝนจนมีความชำนาญในการดมกลิ่นข้าวหอมมะลิ

Yau and Huang (1996) ศึกษาคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของข้าวหุงสุกที่อุณหภูมิที่แตกต่างกันที่ คือ 18 องศาเซลเซียส และ 60 องศาเซลเซียส โดยใช้วิธีการวิเคราะห์เชิงพรรณนาแบบประยุกต์ (modified quantitative descriptive analysis) กับผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนแล้วจำนวน 20 คน ให้ระดับความเข้มในแต่ละคุณลักษณะ 0 ถึง 15 และทำการวิเคราะห์ค่าทางสถิติ โดยใช้ Least significant difference (LSD) จากการศึกษา พบว่าตัวอย่างข้าวหุงสุกที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส และ 60 องศาเซลเซียส มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยข้าวหุงสุกที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีความหลวม (looseness) กลิ่นข้าวร้อน (hot-rice aroma) กลิ่นข้าวกล้อง (brown-rice aroma) และรสหวาน (sweetness) ที่สูงกว่า แต่มีกลิ่นข้าวเย็น (cold-rice aroma) ความแข็ง (hardness) การเกาะรวมตัวกัน (cohesiveness) ความสามารถในการเคี้ยว (chewiness) และความหยาบ (roughness) ที่ต่ำกว่าข้าวหุงสุกที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิมีผลต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของข้าวหุงสุก

Meullenet *et al.* (2000) ศึกษาคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของข้าวที่จัดจำหน่ายในรัฐอาร์คันซอร์ ประเทศสหรัฐอเมริกา 21 ชนิด เพื่อหาคุณลักษณะของข้าวที่ผู้บริโภคชาวเอเชียในประเทศไทยยอมรับ โดยใช้การวิเคราะห์เชิงพรรณนา (Descriptive analysis) วิธีสเปกตรัม (Spectrum method) กับคณะผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 11 คน คุณลักษณะของข้าวหุงสุกที่ทำการประเมิน ได้แก่ ลักษณะปรากฏ 5 คุณลักษณะ, กลิ่นรส 16 คุณลักษณะ และเนื้อสัมผัส 11

คุณลักษณะ ผู้ทดสอบให้ระดับความเข้ม 0 ถึง 15 ทำการเสนอตัวอย่างที่อุณหภูมิ 160 องศาฟาเรนไฮต์ (71.11 องศาเซลเซียส) ผู้ทดสอบจะต้องประเมินตัวอย่างก่อนที่อุณหภูมิจะต่ำกว่า 140 องศาฟาเรนไฮต์ (60 องศาเซลเซียส) และทำการทดสอบผู้บริโภคร่วมกับผู้บริโภครชาวเอเชียในสหรัฐอเมริกาจำนวน 120 คน ผู้บริโภคจะทำการทดสอบตัวอย่างจำนวน 1 ชุด ซึ่งประกอบไปด้วย 7 ตัวอย่าง ตาม Balanced incomplete block design และประเมินการยอมรับโดยรวม การยอมรับในด้านลักษณะปรากฏ, กลิ่น, กลิ่นรส และเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ โดยใช้ 9-point hedonic scale รวมทั้งระดับความเข้มของผลิตภัณฑ์โดยรวมในด้านกลิ่น, กลิ่นรส, ความแน่นเนื้อ และความเหนียว โดยใช้ 9-point category scale จากการศึกษา พบว่าผู้บริโภครชาวเอเชียชอบข้าวหอมมะลิไทยมากกว่าตัวอย่างข้าวอื่นๆ โดยคุณลักษณะที่สำคัญที่ผู้บริโภครยอมรับ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ (appearance) และกลิ่น (aroma) และจากสมการการพยากรณ์พบว่าคุณลักษณะด้านประสาทสัมผัสมีความสำคัญต่อการยอมรับของผู้บริโภครกลุ่มนี้เป็นอย่างมาก

3.2 การวัดเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุกด้วยเครื่องมือ

การวัดเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุกสามารถวัดได้หลายวิธี เครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่าก็จะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการวัด ตัวอย่างเครื่องมือในการวัดเนื้อสัมผัส เช่น General Food Texturometer (Okabe, 1979), Tensipresser, Haake Consistometer (Meullenet *et al.*, 2002) และ Texture analyser เป็นต้น แต่ปัจจุบันเครื่องมือที่นิยมใช้ ได้แก่

3.2.1 General Food Texturometer

General Food Texturometer เป็นเครื่องวัดเนื้อสัมผัสที่นิยมใช้กันมากในประเทศญี่ปุ่น และมีใช้กันบ้างในประเทศสหรัฐอเมริกา มีหลักการทำงานเลียนแบบการเคี้ยวของมนุษย์ โดยมีหัวกดด้านบน แทนการใช้ฟันบนของมนุษย์ ด้านล่างเป็นภาชนะใส่ตัวอย่างสำหรับทดสอบที่ทำด้วยอลูมิเนียม การเคลื่อนที่ขึ้นลงของหัวกดจะถูกบังคับด้วยโซ่ที่ติดกับวงล้อ วงล้อนี้จะเคลื่อนที่ด้วยมอเตอร์ เมื่อวงล้อหมุนครบรอบจะทำให้หัวกดลงมาสัมผัสกับตัวอย่าง (Brennan, 1980)

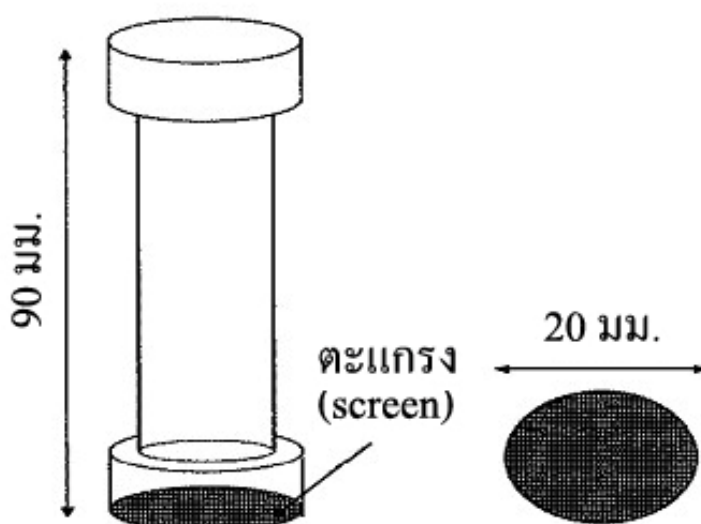
3.2.2 เครื่องมือวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture analyzer)

เครื่องมือวิเคราะห์เนื้อสัมผัส เป็นเครื่องมือที่สามารถวัดตัวอย่างได้หลายชนิด เนื่องจากสามารถเปลี่ยนหัววัดให้เหมาะสมกับชนิดของตัวอย่างได้ สำหรับตัวอย่างข้าวหุงสุก

สามารถทดสอบด้วยวิธี extrusion หรือการทดสอบด้วยวิธี compression โดย Sitakalin and Meullenet (2000) พบว่าการทดสอบด้วยวิธี extrusion ให้ผลที่ถูกต้องมากกว่าการทดสอบด้วยวิธี compression แต่ใช้ตัวอย่างมากกว่า โดยปัจจัยที่มีผลต่อการวัด เช่น

1) ปริมาณตัวอย่างที่ใช้ในการวัด วิธี extrusion จะใช้ตัวอย่างที่มาก คือ 35 กรัม (Sitakalin and Meullenet, 2000) แต่วิธี compression ใช้ตัวอย่างเพียง 3-5 เมล็ด (Sitakalin and Meullenet, 2000) โดย Juliano *et al.* (1981) ได้กล่าวว่า การวัดด้วยวิธี compression มีข้อจำกัดเนื่องจากใช้ตัวอย่างเป็นเมล็ดเพียงเล็กน้อย ซึ่งอาจไม่ใช่ตัวแทนที่ดี ซึ่งขัดแย้งกับ Okabe (1979) ที่พบว่าการใส่ตัวอย่างอัดเต็มภาชนะจะให้ผลการวัดไม่ดีเมื่อเทียบกับการทดสอบแบบเป็นเมล็ด

2) การเลือกใช้หัววัดก็มีความสำคัญเช่นกัน ควรเลือกที่มีขนาดเหมาะสม เนื่องจากขนาดของหัววัดมีผลต่อแรงที่ได้ ถ้าขนาดของหัววัดมีพื้นที่ผิวน้อยกว่าตัวอย่าง แรงที่ได้จะเป็นแรงเฉือนมากกว่าแรงกด (Brennan, 1980) ดังนั้นจึงควรเลือกหัววัดที่มีขนาดใหญ่เพื่อควบคุมความไม่สม่ำเสมอที่มาจากความหนาแน่นของเมล็ดข้าวที่จัดเรียงแตกต่างกันในการวัดแต่ละครั้ง (จรรย์, 2538) Meullenet *et al.* (2000) ได้พัฒนาหัววัด extrusion cell สำหรับการทดสอบด้วยวิธี extrusion ซึ่งมีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกสูง 90 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร หัววัดด้านล่างเป็นตะแกรง (รูตะแกรงขนาด 0.5 มิลลิเมตร) แสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 หัววัด extrusion cell

ที่มา: Meullenet *et al.* (2000)

3) ความสะอาดของหัววัด หัววัดที่ใช้ควรอยู่ในสภาพดี ปราศจากรอยขีดขีด เพราะถ้ามีรอยขีดขีดเกิดขึ้นจะทำให้เกิดแรงต้านทานจากตัวอย่างกับหัววัด (Brennan, 1980) นอกจากนี้หัววัดจะต้องสะอาด ไม่มีคราบน้ำมัน ไขมัน และฝุ่นละออง (Okabe, 1979)

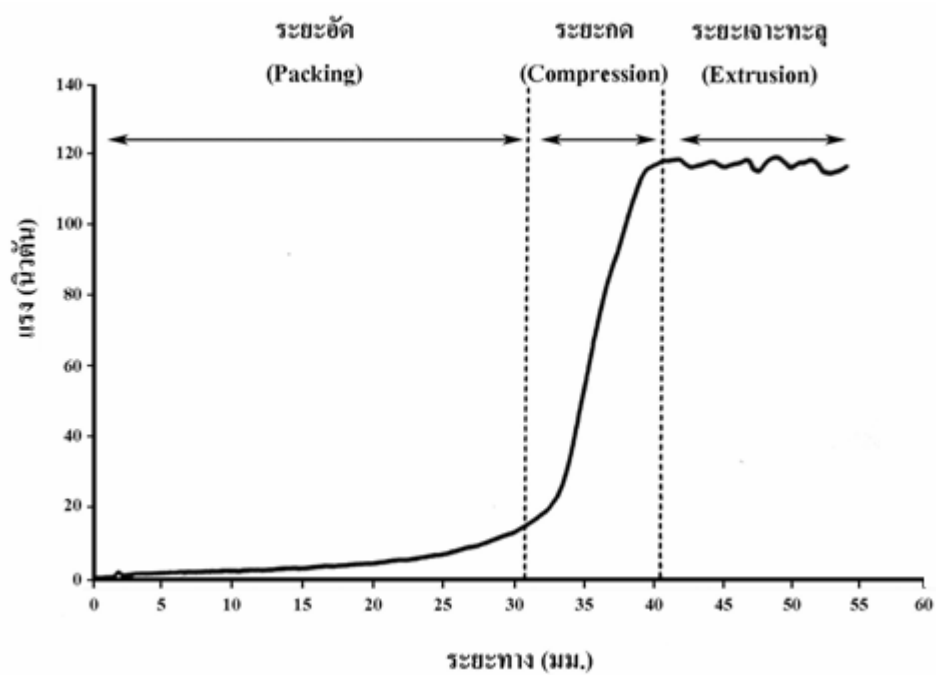
นฤกร (2550) ได้เปรียบเทียบเนื้อสัมผัสของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105, ข้าวหอมคลองหลวง, ปทุมธานี 1 และปทุมธานี 60 โดยการทดสอบแบบกด (Compression test) จากการศึกษา พบว่าข้าวขาวดอกมะลิ 105 มีความนุ่ม และเหนียวกว่าข้าวหอมคลองหลวง และปทุมธานี 1 ทำให้วิธีการนี้สามารถแยกความแตกต่างของคุณภาพข้าวแต่ละประเภทได้ ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีที่ง่าย ไม่ซับซ้อน และเชื่อถือได้ รวมทั้งสามารถเทียบเคียงกับสภาวะจริงที่ผู้ชิมได้ ทำให้สามารถกำหนด และคัดเลือกข้าวได้ตรงกับมาตรฐานตามที่ผู้บริโภคต้องการได้

Sitakalin and Meullenet (2000) ประเมินลักษณะเนื้อสัมผัสทางประสาทสัมผัสของข้าวหุงสุก โดยการทดสอบด้วยวิธี extrusion และ compression มีเงื่อนไขในการวัด แสดงดังตารางที่ 6 และได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรง (กรัม) และระยะทาง (% strain) ดังภาพที่ 4

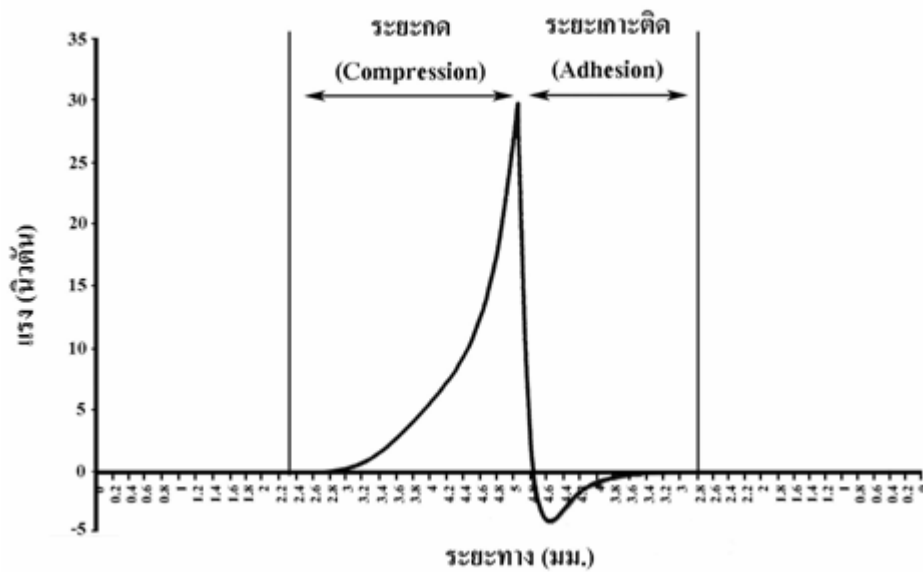
ตารางที่ 6 การใช้เครื่องมือวิเคราะห์เนื้อสัมผัส ด้วยวิธี extrusion และวิธี compression

เงื่อนไข	วิธี extrusion	วิธี compression
ปริมาณตัวอย่าง	35 กรัม	5 เมล็ด
การวางตัวอย่าง	ใส่ตัวอย่างลงใน back extrusion cell ทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลาง 40 มม. ลึก 70 มม. มีรูตรงฐาน เส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2 มม.	เรียงเป็นชั้นเดียวบนฐาน เส้นผ่านศูนย์กลาง 51 มม.
ความเร็วของหัววัด	5.0 มม. ต่อ วินาที	0.5 มม. ต่อ วินาที
ระยะห่างระหว่างหัววัดกับฐาน	-	5.4 มม.
หัววัดเคลื่อนที่	55 มม.	-
กราฟความสัมพันธ์	แรง (กรัม) และระยะทาง (มม.)	แรง (กรัม) และระยะทาง (มม.)

ที่มา: ดัดแปลงจาก Sitakalin and Meullenet (2000)



(ก)



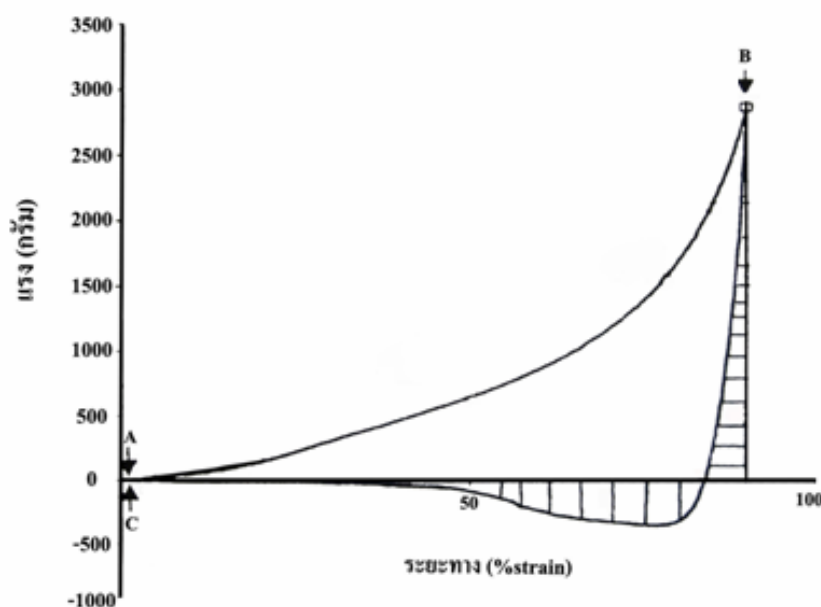
(ข)

ภาพที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรง (นิวตัน) และระยะทาง (มม.) ของการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของข้าวสุกโดยใช้เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (ก) วิธี extrusion และ (ข) วิธี compression

ที่มา: Sitakalin and Meullenet (2000)

จากการศึกษาพบว่า สามารถพยากรณ์คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสได้ทุกคุณลักษณะ ได้แก่ การเกาะติดริมฝีปาก (adhesion to lips) ขนาดอนุภาค (particle size) ความแข็ง (hardness) การเกาะรวมตัวกันของตัวอย่าง (cohesiveness of mass) ความหยาบของตัวอย่าง (roughness of mass) ความเหนียว หรือแรงที่ใช้ในการแยกฟัน (toothpull) การติดฟัน (toothpack) และความเป็นอิสระของอนุภาค (loose particles) ซึ่งสามารถทำนายค่าความสัมพันธ์ (relative ability of prediction values; RAP) ได้มากกว่า 0.70 โดยใช้การทดสอบทั้งสองวิธี แต่การทดสอบด้วยวิธี extrusion จะมีความถูกต้องมากกว่าวิธี compression

Sesmat and Meullenet (2001) ได้ทำนายลักษณะด้านเนื้อสัมผัสทางประสาทสัมผัสของข้าวหุงสุก จากการวัดค่าเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องมือโดยใช้วิธี compression ร่วมกับการวิเคราะห์ทางสถิติ multivariate regression และวิธี stepwise model optimization ได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรง (กรัม) และระยะทาง (% strain) แสดงดังภาพที่ 5 โดยช่วงแรกจากจุด A ถึง จุด B คือระยะกด (compression stage) เป็นช่วงที่หัววัดเริ่มสัมผัสตัวอย่าง และกดตัวอย่างลงไป 90% ของตัวอย่างเริ่มต้น หรือเป็นระยะที่กดตัวอย่างลงไปจนเกิดระยะทางสูงสุด ช่วงที่สอง จากจุด B ถึง C คือ ระยะเกาะติด (cohesion stage) เป็นช่วงที่หัววัดเคลื่อนที่กลับไปยังจุดเริ่มต้น

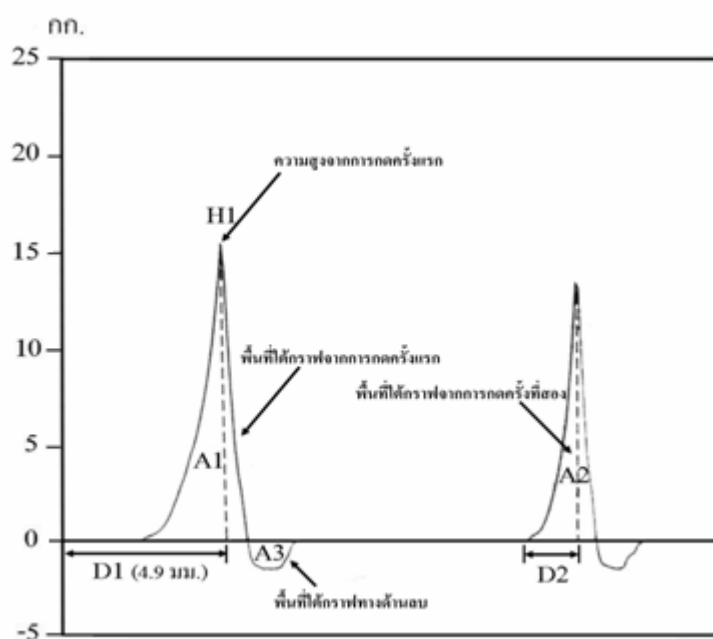


ภาพที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรง (กรัม) และระยะทาง (% strain)

ด้วยวิธี Compression test

ที่มา: Sesmat and Meullenet (2001)

Champagne *et al.* (1999) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเนื้อสัมผัสและการวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว (Rapid Visco Analyzer: RVA) Lyon *et al.* (2000) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการวัดค่าเนื้อสัมผัสจากการประเมินทางประสาทสัมผัสและเครื่องมือ ของข้าวหุงสุกพันธุ์ต่างๆที่เก็บรักษาในระยะเวลาต่างกันโดยงานวิจัยดังกล่าวได้ใช้วิธี compression แบบกด 2 ครั้ง ด้วยวิธีวิเคราะห์เค้าโครงคุณลักษณะเนื้อสัมผัส (texture profile analysis, TPA) ได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ ระหว่างแรง (กิโลกรัม) และระยะทาง (มิลลิเมตร) แสดงดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรง (กิโลกรัม) และระยะทาง (มิลลิเมตร) ด้วยวิธีแบบเค้าโครงคุณลักษณะเนื้อสัมผัส (TPA)

ที่มา: Champagne *et al.* (1998)

ค่าเนื้อสัมผัสที่ได้จากกราฟ ได้แก่ ค่าความแข็ง (hardness) หมายถึง แรงสูงสุดจากการกดครั้งแรก มีหน่วยเป็นกิโลกรัม (H1), ความเกาะติดผิว (adhesiveness) คือพื้นที่ใต้กราฟทางด้านลบ หมายถึง งานที่ใช้ในการถอนหัววัดออกจากตัวอย่าง (A3), การรวมตัวกันภายในของอาหาร (cohesiveness) คือ อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ใต้กราฟที่สองต่อพื้นที่ใต้กราฟแรก ($A2/A1$), การคืนกลับสู่ขนาดและรูปร่างเดิม (springiness) คืออัตราส่วนระหว่างระยะทางที่หัววัดกดตัวอย่างจนถอนหัววัดของการกดครั้งที่สองต่อการกดครั้งแรก ($D2/D1$), ระดับความเป็นกาวยางหรือเป็งเป็ยก (gumminess) คือ ค่าที่ได้จากผลคูณของความแข็งกับการรวมตัวกันภายในของอาหาร และ

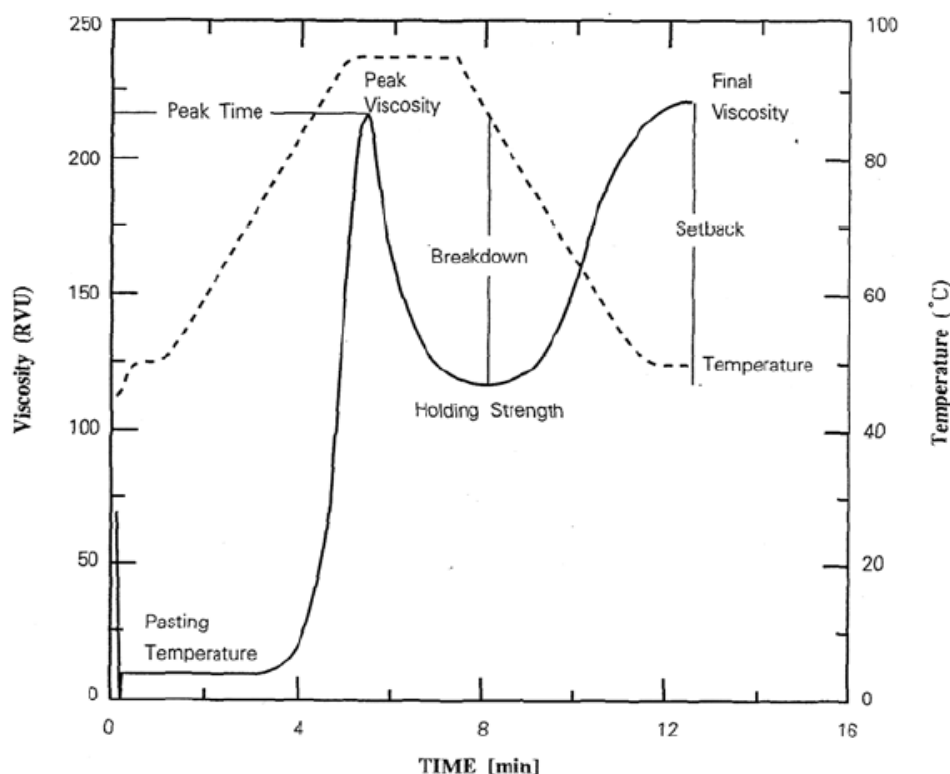
พลังงานในการเคี้ยว (chewiness) คือ ค่าที่ได้จากผลคูณของระดับความเป็นกาวยางหรือแป้งเปียกกับความยืดหยุ่น

3.2.3 เครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว (Rapid Visco Analyzer: RVA)

เครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว เป็นเครื่องทดสอบความที่เปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิ เวลา และอัตราเร็วในการกวน สำหรับการทดสอบข้าวนั้นเครื่องจะทดสอบตั้งแต่การเริ่มต้มแป้งข้าวกับน้ำจนกระทั่งเริ่มสุก และทำให้เย็นลงจนกลายเป็นน้ำแป้งจับตัวกับเจล (วิมลรัตน์, 2550) การทำงานจะถูกควบคุมจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Welsh *et al.*, 1990)

การเปลี่ยนแปลงทางด้านความหนืดของแป้ง (ภาพที่ 7) สามารถนำมาอธิบายได้ดังนี้

- 1) ระยะเวลาตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงความหนืดสูงสุด (peak time) มีหน่วยเป็นนาที
- 2) อุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนค่าความหนืด หรืออุณหภูมิที่ความหนืดเพิ่มขึ้น 2 RVU ในเวลา 20 วินาที (pasting temperature) มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส
- 3) อุณหภูมิที่ความหนืดสูงสุด (peak temperature) มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส
- 4) ความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ที่อ่านได้จากกราฟในช่วงของการให้ความร้อน มีหน่วยเป็น RVU (ช่วงอุณหภูมิเริ่มต้นถึงอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส)
- 5) ความหนืดสุดท้ายเมื่อสิ้นสุดการทดสอบ (final viscosity) มีหน่วยเป็น RVU
- 6) ค่าการแตกตัว (breakdown) เป็นค่าความแตกต่างของความหนืดสูงสุดที่อ่านได้จากกราฟในช่วงของการให้ความร้อน และความหนืดต่ำสุดระหว่างการทำให้เย็น (peak viscosity minus holding viscosity) มีหน่วยเป็น RVU
- 7) ความหนืดต่ำสุดในระหว่างการทำให้เย็น (holding strength or holding viscosity) มีหน่วยเป็น RVU
- 8) ค่าการคืนตัวกลับเทียบกับความหนืดสูงสุด (setback from peak) เป็นค่าผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดที่สูงสุดขณะให้ความร้อน (final viscosity minus peak viscosity) มีหน่วยเป็น RVU
- 9) ค่าการคืนตัวกลับเทียบกับความหนืดต่ำสุด (setback from trough) เป็นค่าผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุดระหว่างการทำให้เย็น (final viscosity minus holding viscosity) มีหน่วยเป็น RVU



ภาพที่ 7 ตัวอย่างกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งด้วยเครื่อง RVA
ที่มา: Newport Scientific (1995)

ข้อดีของการใช้เครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว คือ มีความสามารถในการเปลี่ยนระดับอุณหภูมิ สามารถทำให้ร้อน และเย็น ได้อย่างแม่นยำ และรวดเร็ว สามารถรักษาอุณหภูมิให้คงที่ได้ จึงทำให้สามารถหาลักษณะการเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting curve) ได้ภายในเวลาสั้น โดยใช้ระยะเวลาเพียง 14 นาที และใช้ตัวอย่างในการวิเคราะห์น้อย คือ ประมาณ 3 กรัม กับตัวอย่างแป้งข้าว (Newport Scientific, 1998)

วิมรัตน์ (2550) ได้ใช้เครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว เพื่อศึกษาลักษณะของพันธุ์ข้าว และอายุการเก็บของข้าวไทย ได้แก่ ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1, กข 15 และขาวดอกมะลิ 105 จากการศึกษา พบว่าข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีความหนืดสุดท้าย (final viscosity) ที่ต่ำกว่าข้าวพันธุ์อื่น ส่วนความเหนียวของข้าวแสดงให้เห็นจากค่าความหนืดลดลง (breakdown) ซึ่งมีค่าสูงกว่าข้าวพันธุ์อื่น ในขณะที่ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 เป็นข้าวที่เกิดเจลได้ดี เหมาะที่จะใช้ในการทำเส้นหมี่หรือก๋วยเตี๋ยว เนื่องจากมีค่าความหนืดสุดท้ายเมื่อทำให้เย็นสูงกว่าข้าวพันธุ์อื่น โดยข้าวที่เก็บไว้นานจะมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงในรูปของค่าความหนืดสุดท้าย และจะมีความเหนียวลดลง

ซึ่งแสดงในรูปของค่าความหนืดลดลง และอุณหภูมิที่ข้าวเริ่มสุกเพิ่มขึ้น (pasting temperature) แสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติของข้าวที่เพิ่งเก็บเกี่ยวจะมีความแตกต่างกับข้าวที่เก็บไว้ในระยะเวลาต่างๆ จึงควรมีการตรวจสอบคุณสมบัติของข้าวที่เก็บไว้ก่อนนำมาผลิต

Champagne *et al.* (1999) พบว่าการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว สามารถใช้ในการทำนายลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุกได้ โดยการวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว มีความสัมพันธ์อย่างมากกับลักษณะเนื้อสัมผัสทางประสาทสัมผัส ได้แก่ การเกาะรวมตัวกันของตัวอย่าง (cohesiveness of mass), ความเหนียว (stickiness) และ ความเป็นแป้งเคลือบปากในระยะแรก (initial starchy coating) และมีความสัมพันธ์กับลักษณะเนื้อสัมผัสที่ได้จากการวัดแบบการวิเคราะห์เค้านิรสีของลักษณะเนื้อสัมผัส คือ การเกาะติดผิว (adhesiveness) และยังพบอีกว่าค่าการคืนตัวกลับ (setback) มีความสัมพันธ์มากกับค่าการเกาะรวมตัวกันของตัวอย่าง ($r = 0.69$, $r^2 = 0.47$)

3.2.4 Near-infrared reflectance (NIR) spectroscopy

Near-infrared reflectance (NIR) spectroscopy หรือ เทคนิคสเปกโตรสโกปีย่านใกล้อินฟราเรด เป็นวิธีที่ใช้กันทั่วโลก (universal instrument) ให้ผลรวดเร็ว ไม่ต้องเตรียมตัวอย่าง และไม่ก่อให้เกิดสารเคมีเหลือทิ้ง เป็นวิธีที่แม่นยำ ให้ผลได้หลายค่าในการทดสอบครั้งเดียว ได้แก่ ปริมาณแป้ง โปรตีน แอมิโลส กรดอะมิโน ไขมัน ความชื้น ความขาว ความโปร่งแสง (transparency) ระดับการสี ลักษณะของ paste viscosity และระดับการเกิดเจลาคีโนส (Windham *et al.*, 1997) แต่ข้อจำกัดคือเครื่องมือ มีราคาแพง (Champagne *et al.*, 2001)

Champagne *et al.* (2001) ได้ใช้ NIR ร่วมกับการทดสอบทางประสาทสัมผัส ซึ่งสามารถทำนายค่าความแข็ง (hardness) ความเป็นแป้งเคลือบปากเริ่มต้น (initial starchy coating) การเกาะรวมตัวกันของตัวอย่าง (cohesiveness of mass) ความเหนียว (stickiness) และความลื่นเป็นมัน (slickness) ของข้าวหุงสุกได้ ($R^2 = 0.71-0.96$)

4. วิธีการทางสถิติ

4.1 แผนภาพความชอบ (Preference mapping)

แผนภาพความชอบ หมายถึง เทคนิคที่สามารถใช้เชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล 2 กลุ่ม โดยแต่ละกลุ่มเกิดจากการรวบรวมขึ้นโดยใช้เทคนิคทางสถิติ ซึ่งจะทำการสร้างความสัมพันธ์ในแต่ละข้อมูลระหว่างกลุ่มนั้นๆ ที่ศึกษา เช่น ความสัมพันธ์ระหว่างการยอมรับของผลิตภัณฑ์กับข้อมูล ที่ได้จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา (McEwan *et al.*, 1998) โดยวิธีนี้เป็นการนำเสนอข้อมูลเชิงลึกในรูปแผนภาพ เพื่ออธิบายความชอบผลิตภัณฑ์อาหารของผู้บริโภค โดยการเก็บข้อมูลความชอบของผู้บริโภคหลังจากทดสอบชิมตัวอย่างอาหารอย่างน้อย 6 ตัวอย่าง โดยใช้สเกลการยอมรับโดยรวม การจัดลำดับความชอบหรืออื่นๆ ที่เป็นการวัดความต้องการของผลิตภัณฑ์ จากนั้นค่าคะแนนจากผู้บริโภค “แต่ละคน” จะถูกนำไปสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ร่วมกันเพื่ออธิบายลักษณะข้อมูลทั้งหมดที่ได้โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์หลายตัวแปร (multivariate Analysis) รวมไปถึงการวิเคราะห์ความชอบในคุณลักษณะต่างๆของตัวอย่างอาหาร ด้วยวิธีการนี้จะลดปัญหาเกี่ยวกับการอธิบายคุณลักษณะของผู้บริโภคที่ไม่สามารถระบุออกมาได้ หรือไม่เข้าใจคำถามเกี่ยวกับคุณลักษณะนั้นๆ ภายใต้อสมมติฐานว่าผู้บริโภคแต่ละคนชอบอาหารชนิดหนึ่งด้วยคุณลักษณะต่างๆกัน และการใช้ค่าเฉลี่ยไม่สามารถเป็นตัวแทนอธิบายปรากฏการณ์ความชอบของผู้บริโภคทั้งหมดได้ (วิไลศนา, 2546ข)

เทคนิคนี้ ได้มีการนำไปใช้ในงานด้านประสาทสัมผัส และการวิจัยตลาด ผลจากการวิเคราะห์ช่วยในการตัดสินใจเพื่อวางแผนในการพัฒนาสูตร ก่อนนำผลิตภัณฑ์ออกสู่ตลาด ใช้ในการหาข้อมูลเพื่อหาตำแหน่งของผลิตภัณฑ์ โดยที่เทคนิคแผนภาพความชอบนี้สามารถแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ แผนภาพความชอบภายใน (Internal preference mapping หรือ Multidimensional preference mapping หรือ MDPREF) และแผนภาพความชอบภายนอก (External preference mapping หรือ PREFMAP) (Jaeger *et al.*, 2000)

แผนภาพความชอบภายใน เป็นการวิเคราะห์คุณลักษณะต่างๆในผลิตภัณฑ์เป็นกลุ่ม โดยใช้เทคนิคทางสถิติแบบหลายตัวแปร (multivariate) โดยการจัดกลุ่มของคุณลักษณะต่างๆนั้น ขึ้นอยู่กับข้อมูลการยอมรับ / หรือความชอบ / ผลิตภัณฑ์จากผู้บริโภคเท่านั้น ผู้บริโภคทุกคนต้องทดสอบชิมอาหารทุกอย่างแล้วให้คะแนนความชอบออกมา การศึกษาความชอบหรือการยอมรับของผู้บริโภคเพื่อนำไปสร้างแผนภาพความชอบภายใน ทำได้จากข้อมูล 2 ชุดที่ถูกเก็บรวบรวมเพื่อ

ค้นหาปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความชอบ (divers of liking) ในผลิตภัณฑ์อาหารใดๆ ซึ่งประกอบด้วยชุดข้อมูลการประเมินทางประสาทสัมผัส โดยนำเสนอเป็นค่าเฉลี่ยของความเข้มของคุณลักษณะต่างๆ หลายลักษณะของผลิตภัณฑ์อาหาร 6 ชนิดขึ้นไป จากผู้ทดสอบชิมที่ผ่านการฝึกฝน และชุดข้อมูลความชอบของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์อาหารชุดเดียวกัน โดยเริ่มขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลความชอบจากผู้บริโภคก่อน โดยใช้วิธี multivariate แบบสมการถดถอย (regression) กับแกน PC โดยให้ผู้บริโภคทุกคนเป็นตัวแปร (variables) แล้วสร้างแผนภูมิผลิตภัณฑ์ (product score plot) โดยหาพิกัดที่เป็นค่าสหสัมพันธ์กับแกน PCs (วิไลสนา, 2546ก)

ส่วนแผนภาพความชอบภายนอก เป็นการวิเคราะห์คุณลักษณะต่างๆ ในผลิตภัณฑ์อาหารเป็นกลุ่ม โดยเริ่มจากใช้เทคนิค multivariate กับข้อมูลความเข้มที่ได้ทางประสาทสัมผัส หรือจากการวัดโดยเครื่องมือ แล้วนำมาทำสมการถดถอยกับจุดพิกัดของผลิตภัณฑ์ซึ่งทำการวิเคราะห์แบบ multivariate เช่น หลักการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal component analysis; PCA) มาก่อนแล้วสมการถดถอยอาจเป็นเชิงเส้นตรง (2 มิติ) หรือมีค่าความสัมพันธ์ร่วมประกอบอยู่ได้ (3 มิติ) แบบจำลองในการสร้างแผนภาพความชอบภายนอกนี้อาจทำได้ในลักษณะความสัมพันธ์ของข้อมูลความชอบแบบเวกเตอร์ (vector model) หรือจุดในอุดมคติ (ideal point model) หรือ quadratic model หรือ cubic model (วิไลสนา, 2546ก)

เทคนิคแผนภาพความชอบ (Preference mapping) มีการใช้อย่างแพร่หลายในงานวิจัย เช่น Meullenet *et al.* (1999) ทำการศึกษาแผนภาพความชอบภายนอกของข้าว 21 ชนิด ได้แก่ ข้าวที่หักกลืน ข้าวที่มีขนาดเมล็ดยาว ข้าวที่มีขนาดเมล็ดปานกลาง ข้าวถึงสำเร็จรูป และผลิตภัณฑ์ข้าวหนึ่ง กับผู้บริโภคชาวเอเชียที่อาศัยอยู่ในประเทศสหรัฐอเมริกา และการประเมินทางประสาทสัมผัสกับผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝน จากการศึกษาพบว่าผู้บริโภคชอบข้าวหอมมะลิไทยที่นำเข้ามากที่สุด และมากกว่าข้าวหอมมะลิที่ปลูกในประเทศ โดยปัจจัยที่มีผลต่อการยอมรับ ได้แก่ ลักษณะปรากฏและกลิ่น โดยข้อมูลจากการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา (ลักษณะปรากฏ กลิ่นรส และเนื้อสัมผัส) สามารถนำมาหาสมการการพยากรณ์การยอมรับโดยรวมของข้าว ซึ่งใช้ในอธิบายคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสที่สำคัญกับการยอมรับของกลุ่มผู้บริโภคได้

4.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal components analysis)

การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal components analysis; PCA) เป็นวิธีการทางสถิติที่สกัด หรือเอาโครงสร้าง หรือสิ่งที่เหมือนกันออกจากเมตริกซ์ของความแปรปรวน และความ

แปรปรวนร่วม (variance-covariance matrix) หรือเมตริกซ์ของความสัมพันธ์ (correlation matrix) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะแสดงผลของความสัมพันธ์ของข้อมูล PCA สร้างความสัมพันธ์เชิงเส้นของข้อมูลเดิม โดยอธิบายความแปรปรวนได้สูงสุด และให้มีการสูญเสียข้อมูลน้อยที่สุด การแสดงข้อมูลได้ทั้งในรูปของตารางความสัมพันธ์ของตัวแปรใหม่ที่สร้างขึ้นมากับตัวแปรเดิม หรือแสดงในรูปของแผนภาพ

กลุ่มของข้อมูลที่กระจายอยู่ในช่องว่างซึ่งมีสองมิติ หรือมากกว่า แกนแรกซึ่งผ่านข้อมูลมากที่สุดจะเรียกว่า องค์ประกอบที่ 1 (PC 1; the first principal component) สมการของแกนจะประกอบไปด้วยตัวแปรที่สามารถลดความแปรปรวนของกลุ่มข้อมูลได้มากที่สุด แกนที่สองซึ่งตั้งฉากกับแกนที่หนึ่ง เรียกว่า องค์ประกอบที่ 2 (PC 2; second principal component) ซึ่งจะช่วยลดความแปรปรวนซึ่งอธิบายไม่ได้ที่เหลือมากที่สุด และทำนองเดียวกันกับแกนอื่นโดยใช้หลักการเช่นเดียวกัน

การตรวจสอบข้อมูลเดิมซึ่งจัดกลุ่มไปในองค์ประกอบต่างๆ ที่สร้างขึ้นมาโดยปกติจะอธิบายในแง่ของความแปรปรวนซึ่งถูกอธิบายได้โดยแต่ละองค์ประกอบ และในบางครั้งพบว่าการแสดงผลด้วยแผนภาพจะทำให้มองเห็นความนัย หรือความหมายที่ซ่อนอยู่ได้มากกว่าการพิจารณาผลจากตัวเลขอย่างเดียว การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักนิยมใช้ในการสร้างแผนภาพความชอบในงานพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อหาปัจจัยคุณภาพที่สำคัญที่มีอิทธิพลต่อความชอบ และใช้ศึกษาความสัมพันธ์ของข้อมูลจากการวัดด้วยเครื่อง (instrument measurement) และข้อมูลจากการประเมินทางประสาทสัมผัส (อนุวัตร, 2549)

Tomlins *et al.* (2005) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสกับข้าวหนึ่งที่ผลิตจากเมืองต่างๆ ในประเทศกานา และข้าวสารและข้าวหนึ่งที่นำเข้าจากสหรัฐอเมริกา โดยใช้หลักการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก จากการศึกษาคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของข้าวหุงสุก ด้านรูปร่าง กลิ่นที่ดึงดูด กลิ่นข้าว กลิ่นรสนม และรสหวาน มีความสัมพันธ์กับข้าวที่นำเข้า ความแข็ง ความเป็นเมล็ด รสเปรี้ยว สีนํ้าตาล และจุดสีนํ้าตาล มีความสัมพันธ์กับข้าวที่ผลิตในท้องถิ่น ข้าวหนึ่งที่นำเข้า และข้าวจากเมืองอะครา มีความสัมพันธ์กับสีเหลือง และข้าวสารที่นำเข้ามีความสัมพันธ์กับสีขาว และความเหนียว โดย PC 1 สามารถอธิบายได้ 78% และ PC 2 อธิบายได้ 17%

4.3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์รีเกรชันแบบ Partial Least Square (PLS)

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์รีเกรชันแบบ Partial Least Square (PLS) เป็นวิธีการที่ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม กับตัวแปรต้น หลายตัว โดยที่ทำการลดจำนวนข้อมูลของตัวแปรต้นด้วยวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบให้มีองค์ประกอบน้อยลงเสียก่อนแล้วนำเอาตัวแปรองค์ประกอบใหม่เหล่านั้น (PCs) ไปวิเคราะห์สมการถดถอยต่อไป แต่วิธีการนี้จะเลือกเพียงบาง PCs โดยพยายามใช้ให้น้อยที่สุด และอธิบายความแปรปรวนให้มากที่สุด (อนุวัตร, 2549)

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์รีเกรชันแบบ Partial Least Square (PLS) มี 2 วิธี คือ วิธี PLS 1 เป็นการหาความสัมพันธ์ที่มีตัวแปรตาม (Y) เพียงตัวเดียว และวิธี PLS 2 เป็นการหาความสัมพันธ์ที่มีตัวแปรตาม (Y) หลายตัวในสมการไปพร้อมๆกัน

สมการ (model) จะสร้างขึ้นเสมือนเป็นชุดองค์ประกอบของตัวอย่าง (samples) และตัวแปร (variables) แสดงความสัมพันธ์ในรูปแบบภาพโดยตัวอย่างอธิบายด้วยค่าคะแนน (score) และตัวแปรอธิบายด้วยค่าน้ำหนัก (loading)

Suwansri *et al.* (2002) ศึกษาตัวอย่างข้าวหอมมะลิที่ผลิตภายในประเทศ และข้าวหอมมะลิที่มีการนำเข้า โดยการประเมินทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนากับผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝน 9 คน ในคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ 5 คุณลักษณะ กลิ่นรส 16 คุณลักษณะ และเนื้อสัมผัส 11 คุณลักษณะ และการทดสอบผู้บริโภคด้วยวิธี Home Use testing กับชาวเอเชียจำนวน 105 คน ในรัฐอาร์แคนซาส ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยใช้การวิเคราะห์ความสัมพันธ์รีเกรชันแบบ Partial Least Square (PLS) ผลจากการศึกษาพบว่า ผู้บริโภคชอบข้าวหอมมะลิที่นำเข้ามากกว่าข้าวที่ผลิตในประเทศ โดยคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสที่มีผลต่อการยอมรับโดยรวมของผู้บริโภค (เรียงจากมากไปน้อย) คือ สี กลิ่นรส กลิ่น ความเหนียว และความแข็ง ตามลำดับในขณะที่ความชอบของผู้บริโภคจะลดลงเมื่อข้าวมีสีเหลือง มีกลิ่นดอกไม้ กลิ่นไม้ และกลิ่นกระด้างเป็ยก

Suwansri and Meullenet (2001) ได้ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ความสัมพันธ์รีเกรชันแบบ Partial Least Square (PLS) เพื่อทำนายเนื้อสัมผัสทางประสาทสัมผัส 11 คุณลักษณะ ของตัวอย่างข้าวหุงสุก (92 ตัวอย่าง) จากการทดสอบแบบกด (compression test) 14 พารามิเตอร์ จากการศึกษา พบว่าเนื้อสัมผัสทางประสาทสัมผัสที่สามารถทำนายได้ ($R > 0.6$) ได้แก่ การเกาะรวมตัวกันของตัวอย่างในระยะก่อนเคี้ยว (cohesiveness of bolus) การเกาะติดริมฝีปาก (adhesiveness to

lips) ความแข็ง (hardness) การเกาะรวมตัวกันของตัวอย่างในระยะเกี่ยว (cohesiveness of mass) ความเหนียวในการดึงฟัน (toothpull) และการเกาะติดฟัน (toothpack)

4.4 Cluster analysis

Cluster analysis เป็นเทคนิคที่ใช้จำแนกหรือแบ่ง case หรือ แบ่งตัวแปรออกเป็นกลุ่มย่อยๆ ตั้งแต่ 2 กลุ่มขึ้นไป case ที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันจะมีลักษณะที่เหมือนกันหรือคล้ายกัน ส่วน case ที่อยู่ต่างกลุ่มกันจะมีลักษณะที่แตกต่างกัน การนำเทคนิค Cluster analysis มาใช้ในการแบ่งกลุ่มตัวแปร จะให้ตัวแปรอยู่ในกลุ่มเดียวกันมีความสัมพันธ์กันมากกว่าตัวแปรที่อยู่ต่างกลุ่มกัน ตัวแปรที่อยู่ต่างกลุ่มกันมีความสัมพันธ์กันน้อยหรือไม่มีความสัมพันธ์กันเลย

เทคนิคที่นิยมใช้กันมากในการแบ่งกลุ่มตัวแปร สำหรับหลักการในการรวมกลุ่มของเทคนิค Hierarchical cluster analysis นั้นมีหลายวิธี โดยวิธีที่นิยมกันมากคือ Agglomerative hierarchical cluster analysis หลักเกณฑ์นี้ จะทำการรวมกลุ่ม cluster อย่างเป็นขั้นตอน คือ ก่อนทำการวิเคราะห์จะกำหนดให้ 1 กลุ่ม หรือ 1 cluster มี case 1 case นั่นคือ ถือว่าแต่ละ case เป็น 1 cluster จึงมีจำนวน cluster เท่ากับจำนวนข้อมูลหรือจำนวน Case กรณีที่มีข้อมูล n case จะมี n cluster หรือ n กลุ่ม จากนั้นจะทำการรวม case 2 case ให้อยู่ในกลุ่มเดียวกันหรือ cluster เดียวกัน โดยพิจารณาจากค่าระยะห่างหรือความคล้าย และพิจารณาว่าควรรวม case ที่ 3 เข้าอยู่ในกลุ่มเดียวกับ 2 case แรก หรือควรจะรวม 2 case ใหม่เข้าอยู่ในกลุ่มใหม่อีกกลุ่มหนึ่ง โดยพิจารณาจากค่าระยะห่าง หรือค่าความคล้าย ทำเช่นนี้ต่อไปโดยในแต่ละขั้นอาจจะรวม case ใหม่เข้าไปในกลุ่มที่มีอยู่แล้ว หรือรวม case ใหม่ 2 case เป็นกลุ่มใหม่ ทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งได้ ทุก case อยู่ในกลุ่มเดียวกัน นั่นคือ สุดท้ายมีเพียง 1 กลุ่ม หรือ 1 cluster และ case ใดที่ถูกจัดกลุ่มแล้วจะไม่มีการเปลี่ยนแปลง (กัลยา, 2548)

Heinemann *et al.* (2006) ดำรวจพฤติกรรมในการบริโภค ทัศนคติ และคุณลักษณะของชาวนึ่ง โดยการสัมภาษณ์ผู้บริโภคในประเทศบราซิล จำนวน 186 คน จากนั้นทำการจำแนกกลุ่มผู้บริโภคโดยใช้เทคนิคในการจัดกลุ่ม Cluster analysis จากการศึกษพบว่าสามารถแบ่งกลุ่มผู้บริโภคได้ออกเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มผู้บริโภคที่มีทัศนคติในแง่บวกกับชาวนึ่ง กลุ่มที่ 2 และกลุ่มที่ 3 เป็นกลุ่มที่มีทัศนคติในแง่ลบกับชาวนึ่ง โดยปัจจัยหลักในการแบ่งกลุ่ม คือ ความเชื่อในแง่ลบเกี่ยวกับคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของชาวนึ่ง

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัตถุดิบ

ข้าวเจ้าปี พ.ศ. 2550 จากกรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (กรุงเทพฯ)

- 1.1 ข้าวเจ้าพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 (KDML 105)
- 1.2 ข้าวเจ้าพันธุ์กข 15 (RD 15)
- 1.3 ข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1 (PTT 1)
- 1.4 ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 2 (PNL 2)
- 1.5 ข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1 (CNT 1)
- 1.6 ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1 (SPB 1)

เก็บรักษาในถุงพลาสติกใสชนิดไนลอน ขนาดบรรจุ 1 กิโลกรัม ปิดผนึกแบบสุญญากาศ และเก็บไว้ในที่อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส)

2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพ

2.1 เครื่องมือที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่าง

- 2.1.1 หม้อหุงข้าวไฟฟ้าอัตโนมัติ (RC-18JM, Sharp, ประเทศญี่ปุ่น)
- 2.1.2 หม้อหุงข้าวสำหรับไมโครเวฟ (ไมครอนโปรโมชั่น, ประเทศไทย)
- 2.1.3 หม้อนึ่ง 2 ชั้น
- 2.1.4 หม้ออตุมิเนียม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 เซนติเมตร
- 2.1.5 เครื่องไมโครเวฟ (MS2643C, LG Electronic Inc., ประเทศจีน)
- 2.1.6 เตาไฟฟ้า (1022, Foss Tecator, ประเทศสวีเดน)
- 2.1.7 เครื่องบดละเอียดแบบ Ultra centrifugal mill (Retsch model ZM100, ไชแอนติฟิคโปรโมชั่น, ประเทศไทย)

2.1.8 ตะแกรงเขย่าตะแกรงร่อนแป้ง ขนาด 100 เมช (Retsch model AS200, ไชแอนติฟิสิกโปรโมชัน, ประเทศไทย)

2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

2.2.1 เครื่องวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture analyzer รุ่น TA.XT plus, Stable Micro System, ประเทศอังกฤษ) พร้อมหัววัด compression plate ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร

2.2.2 เครื่องวิเคราะห์ความหนืดแบบรวดเร็ว (Rapid visco analyser model RVA 4D, Newport Scientific, ประเทศออสเตรเลีย)

2.2.3 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (CM-3500d, Minolta, ประเทศญี่ปุ่น)

2.2.4 อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water bath)

2.2.5 เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Sartorius BS 224 S, ไชแอนติฟิสิกโปรโมชัน, ประเทศไทย)

2.2.6 อุปกรณ์เครื่องแก้ว

2.2.7 เทอร์โมมิเตอร์

2.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

2.3.1 ถ้วยอลูมิเนียมพร้อมฝาปิด

2.3.2 เครื่องมือวิเคราะห์โปรตีนแบบ Kjeldahl (Buchi distillation Unit B-324, Buchi, ประเทศสวิตเซอร์แลนด์)

2.3.3 ตู้อบลมร้อน (Hot air oven, ไชแอนติฟิสิกโปรโมชัน, ประเทศไทย)

2.3.4 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-160A, Shimadzu, ประเทศญี่ปุ่น)

2.3.5 เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่ง (Ohaus ARC 120, Ohaus Corp., สหรัฐอเมริกา)

2.3.6 เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Sartorius BS 224 S, ไชแอนติฟิสิกโปรโมชัน, ประเทศไทย)

2.3.7 เตาไฟฟ้า (hot plate)

2.3.8 เดซิเคเตอร์ (dessicator) ที่มีสารดูดความชื้น

2.3.9 อุปกรณ์เครื่องแก้ว

2.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัส

2.4.1 ถ้วยใส่ตัวอย่างพร้อมฝาปิด

2.4.2 ช้อน

2.4.3 แก้วน้ำ เขี่ยก้นน้ำ

3. สารเคมี

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน ได้แก่ คอปเปอร์ซัลเฟต (CuSO_4) และ โพแทสเซียมไดซัลเฟต (K_2SO_4) กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) กรดบอริก (H_3BO_3) เมทิลเรด (methyl red) โบรโมคริสซอลกรีน (bromocresol green) เอทานอล (ethanol) และ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

3.2 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณแอมิโลส ได้แก่ เอทิลแอลกอฮอล์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ กรดแอซิดิก สารละลายไอโอดีน แอมิโลสจากมันฝรั่งที่มีความบริสุทธิ์ ไม่น้อยกว่า 95%

3.3 สารเคมีที่ใช้ในการคัดเลือกผู้ทดสอบในการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ได้แก่ โซเดียมคลอไรด์ ซดริกโมโนไฮเดรต น้ำตาลทราย คาเฟอีน วุ้นผง น้ำหวานเข้มข้น กลิ่นสละ สารให้กลิ่น

3.4 ตัวอย่างมาตรฐานในการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

4. เครื่องมือที่ใช้ในการคำนวณและวิเคราะห์ผลทางสถิติ

4.1 โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS[®] v.12.0

4.2 โปรแกรมสำเร็จรูป Unscamber[®] v.8.0

วิธีการ

1. การสำรวจพฤติกรรม ทักษะคติ ในการบริโภคข้าวเจ้าหุงสุก และการหุงต้มข้าว

การสำรวจความคิดเห็น พฤติกรรม และทัศนคติ ของผู้ตอบแบบสอบถามในการบริโภคข้าว และวิธีการหุงต้มข้าว กับกลุ่มผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมาย ที่อาศัยอยู่ในเขตกรุงเทพมหานคร โดยมีขั้นตอนดังนี้

1.1 ออกแบบสอบถาม และทดลองใช้แบบสอบถามกับกลุ่มตัวอย่างจำนวน 10 คน เพื่อปรับปรุงข้อบกพร่องของแบบสอบถาม

1.2 ทำการสำรวจผู้บริโภคโดยใช้แบบสอบถามกับกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 30 คน เพื่อหาสัดส่วนของประชากรที่รับประทานข้าวเจ้าหุงสุกเป็นประจำ (p)

1.3 กำหนดขนาดตัวอย่างโดยคำนวณจากสูตรการแจกแจงค่าสัดส่วนตัวอย่าง (วิธียูนิยา, 2545) คือ

$$n = Z^2 pq / E^2$$

โดยที่ n = ขนาดของตัวอย่าง

p = สัดส่วนของประชากรที่คาดว่าจะรับประทานข้าวเจ้าหุงสุกเป็นประจำ

q = 1 - p

Z = ความเชื่อมั่นที่กำหนด

E = ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้เกิดขึ้นได้

จากการสำรวจเบื้องต้นเพื่อหาสัดส่วนของผู้บริโภคที่รับประทานข้าวเจ้าหุงสุกเป็นประจำจำนวน 30 คน พบว่าผู้บริโภคที่รับประทานข้าวเจ้าหุงสุกเป็นประจำจำนวน 24 คน และรับประทานข้าวหุงสุกประเภทอื่นจำนวน 6 คน คิดเป็นสัดส่วนค่า p = 0.80 และ q = 0.20 เมื่อนำไปแทนค่าในสมการ จะได้ขนาดของตัวอย่างจำนวน = 245.86 ($n = \{(1.96)^2(0.80)(0.20)\} / (0.05)^2$)

1.4 ทำการสำรวจผู้บริโภคโดยใช้แบบสอบถาม จำนวน 250 คน ใกล้เคียงกับจำนวนที่คำนวณได้จากข้อ 1.3 ที่คำนวณได้ 245.86 คน และสุ่มตัวอย่างโดยใช้ความสะดวก (convenience sampling) แบบสอบถาม (ภาคผนวก ก) แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่

ส่วนที่ 1 เป็นข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม ส่วนที่ 2 เป็นข้อมูลพฤติกรรมในการบริโภคข้าวเจ้าหุงสุก และการหุงต้มข้าว ข้อมูลที่รวบรวมได้จากการตอบแบบสอบถามทั้ง 2 ส่วนนี้ จะทำการวิเคราะห์ด้วยสถิติเชิงพรรณนา โดยการหาอัตราส่วนเป็นร้อยละของความถี่

และส่วนที่ 3 ปัจจัยที่มีผลต่อระดับความคิดเห็นพฤติกรรมในการเลือกซื้อคุณลักษณะของข้าวหุงสุก และพฤติกรรมในการหุงข้าว ที่ผู้ตอบแบบสอบถามให้คะแนนระดับความคิดเห็นในปัจจัยต่างๆ แบ่งเป็น 5 ระดับคะแนน คือ 5 คะแนน เท่ากับ เห็นด้วยมากที่สุดไปจนถึง 1 คะแนน เท่ากับ ไม่เห็นด้วยมากที่สุด มาวิเคราะห์โดยการหาค่าเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนัก และหาความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทางประชากรศาสตร์ (ส่วนที่ 1) กับระดับความคิดเห็นของปัจจัยด้านต่างๆ ซึ่งจะต้องมีการแบ่งกลุ่มตัวอย่างของลักษณะทางประชากรศาสตร์ให้มีการกระจายของประชากรในแต่ละกลุ่มที่มีสัดส่วนใกล้เคียงกัน จึงจะนำมาศึกษาอิทธิพลของกลุ่มลักษณะประชากรศาสตร์นั้นๆ จากนั้นทำการวิเคราะห์ความแตกต่างของกลุ่มด้วยสถิติ t-test เมื่อลักษณะประชากรศาสตร์แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม และใช้สถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เมื่อลักษณะประชากรศาสตร์มากกว่า 2 กลุ่ม

2. การตรวจสอบคุณภาพทางเคมี และคุณภาพทางกายภาพของข้าวสาร

ตัวอย่างข้าวทั้ง 6 พันธุ์ ได้แก่ KDML 105, RD 15, PTT 1, CNT 1, SPB 1 และ PNL 2 มาบดด้วยเครื่องบดแห้ง จากนั้นนำไปร่อนผ่านตะแกรง ขนาด 100 เมช จนมีขนาดอนุภาค 150 ไมครอน นำไปตรวจสอบคุณภาพทางเคมี และคุณภาพกายภาพ โดยในแต่ละตัวอย่างทำการวิเคราะห์ จำนวน 3 ซ้ำ

2.1 คุณภาพทางเคมีของข้าวสาร

2.1.1 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นโดยวิธีอบแห้ง ตามวิธีการของ A.O.A.C. (2000) ดังแสดงในภาคผนวก ข

2.1.2 การวิเคราะห์ปริมาณแอมิโลส ตามวิธีการของ Juliano (1971) ดังแสดงในภาคผนวก ข

2.1.3 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน ตามวิธีการของ A.A.C.C. (2000) ดังแสดงในภาคผนวก ข

2.2 คุณภาพทางกายภาพของข้าวสาร

2.2.1 การยืดตัวของเมล็ด ตามวิธีการของงามชื่น (2536) ดังแสดงในภาคผนวก ค

2.2.2 การวัดอัตราการขยายปริมาตร ตามวิธีการของงามชื่น (2536) ดังแสดงในภาคผนวก ค

2.2.3 การตรวจสอบลักษณะความหนืดจากเครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว ตามวิธีการของ Newport Scientific (1998) ดังแสดงในภาคผนวก ค ได้ค่าดังนี้ ความหนืดสูงสุด (peak viscosity), ความหนืดต่ำสุด (holding strength), ความหนืดลดลง (breakdown), ความหนืดสุดท้าย (final viscosity) และค่าการคืนตัวกลับ (setback from trough)

2.3 วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ทางสถิติจากข้อมูลที่ได้จากการตรวจสอบคุณภาพทางเคมี และคุณภาพทางกายภาพของข้าวสารในข้อ 2.1 และ ข้อ 2.2 โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) ด้วยแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Complete Block Design: CRD) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Fisher's Least Significant Difference (LSD) เมื่อพบนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

3. การตรวจสอบคุณภาพของข้าวหุงสุก

การเตรียมตัวอย่างข้าวหุงสุกจากข้าวพันธุ์ต่างๆ ได้แก่ KDML 105, RD 15, PTT 1, CNT 1, SPB 1 และ PNL 2 โดยการหุงต้มด้วยวิธีการต่างๆ ได้แก่ การหุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า, การนึ่ง, การหุงด้วยเครื่องไมโครเวฟ และการหุงแบบเช็ดน้ำ โดยมีวิธีการหุงต้ม แสดงดังภาพที่ 8 จากนั้น

ตรวจสอบคุณภาพทางเคมี คุณภาพทางกายภาพ และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวหุงสุก 24 ตัวอย่าง จากข้าวที่หุงต้มด้วยวิธีการต่างๆ วิธีการหุงต้มละ 3 ซ้ำ ในแต่ละสายพันธุ์ข้าว ดังนี้

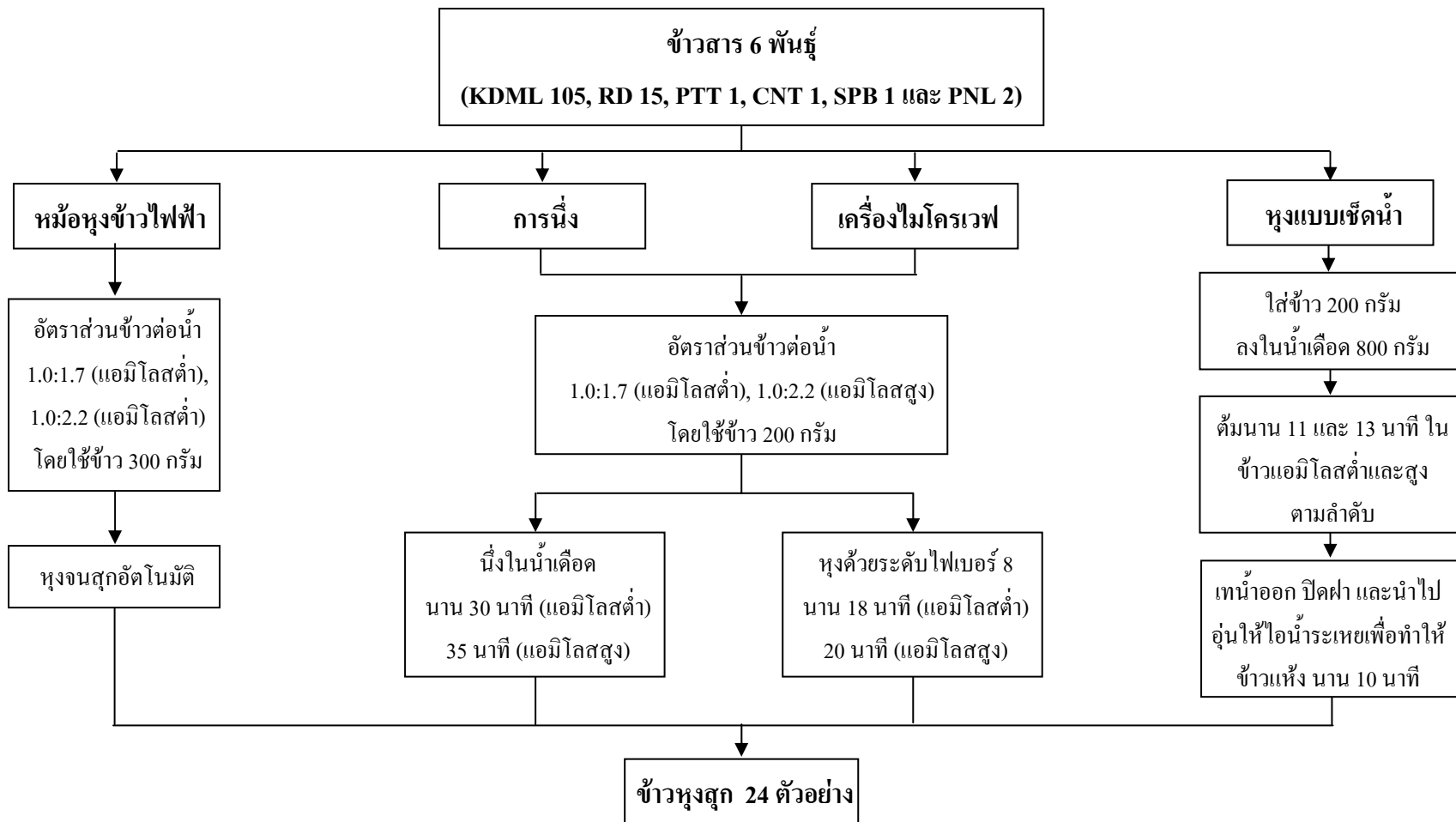
3.1 การตรวจสอบคุณภาพทางเคมี และคุณภาพกายภาพ

3.1.1 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นโดยวิธีอบแห้ง ตามวิธีการของ A.O.A.C. (2000) ดังแสดงในภาคผนวก ข จำนวน 3 ซ้ำ ของตัวอย่างข้าวหุงสุกในแต่ละพันธุ์ข้าวและแต่ละวิธีการหุงต้ม

3.1.2 การวัดค่าสี ในระบบ CIE Lab ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ โดยเลือกแหล่งกำเนิดแสง D65 เป็นแหล่งกำเนิดแสงมาตรฐาน จากนั้น calibrate ด้วย zero calibration box และ white calibration plate ช่องวัดตัวอย่าง petri dish แล้วนำตัวอย่างข้าวหุงสุกใส่ใน petri dish อ่านค่าทั้งหมด 3 จุด และวัดค่า L^* , a^* และ b^* โดยค่า L^* แสดงค่าความสว่าง ($100 =$ สว่างมาก, $0 =$ สีดำน) a^* แสดงค่าความเป็นสีแดง ($+$ = redness, $-$ = greenness) และ b^* แสดงค่าความเป็นสีเหลือง ($+$ = yellowness = blueness) จำนวน 3 ซ้ำ ของตัวอย่างข้าวหุงสุกในแต่ละพันธุ์ข้าวและแต่ละวิธีการหุงต้ม

3.1.3 การวิเคราะห์คุณลักษณะเนื้อสัมผัส ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส หรือ TA.XT plus texture analyzer (Stable Micro system Ltd., Surry UK) หัววัดชนิดทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มม. บันทึกค่าด้วยซอฟต์แวร์ Exponent 32 ตัวอย่างข้าวหุงสุกที่นำมาวัดค่านั้น จะต้องมียุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 60 องศาเซลเซียส ดังนั้นก่อนนำไปวัดเนื้อสัมผัสควรใส่ข้าวไว้ในภาชนะที่สามารถเก็บความร้อนได้ โดยมีวิธีการวัด ดังนี้

3.1.3.1 วิเคราะห์ค่าโครงคุณลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture profile analysis: TPA) โดยมีวิธีการวัดดัดแปลงจาก Champagn *et al.* (1998) ดังแสดงในภาคผนวก ค ทำการวัดเนื้อสัมผัสจำนวน 6 ซ้ำ ของตัวอย่างข้าวหุงสุกในแต่ละพันธุ์ข้าวและแต่ละวิธีการหุงต้ม ได้ค่าเนื้อสัมผัสจากการวัด ได้แก่ ค่าความแข็ง (hardness), การเกาะติดผิว (adhesiveness), การรวมตัวกัน (cohesiveness), ความยืดหยุ่น (springiness), ความเป็นกาวยาง (gumminess) และพลังงานในการเคี้ยว (chewiness)



ภาพที่ 8 การเตรียมตัวอย่างข้าวหุงสุกด้วยวิธีการหุงต้มต่างๆ

ที่มา: ดัดแปลงจาก Juliano (1985a), Mullenet *et al.* (2000) และ Mullenet *et al.* (2001)

3.1.3.2 การทดสอบแบบกด (Compression test) 1 ครั้ง โดยมีวิธีการวัดดัดแปลงจาก Sesmat and Meullenet (2001) และ Suwansri and Meullenet (2004) ดังในภาคผนวก ค ทำการวัดเนื้อสัมผัสจำนวน 6 ซ้ำ ของตัวอย่างข้าวหุงสุกในแต่ละพันธุ์ข้าวและแต่ละวิธีการหุงต้ม ได้ค่าเนื้อสัมผัสจากการวัด ได้แก่ ความแข็ง (hardness) และ ความเหนียว (stickiness)

3.1.4 วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ทางสถิติจากข้อมูลที่ได้จากการตรวจสอบคุณภาพทางเคมี และคุณภาพทางกายภาพของข้าวหุงสุกในข้อ 3.1.1 ถึง ข้อ 3.1.13 ดังนี้

3.1.4.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) โดยใช้แผนการทดลองแบบบล็อกอย่างสมบูรณ์ (Complete Block Design: CRD) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Fisher's Least Significant Difference (LSD) เมื่อพบนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

3.1.4.2 การจัดกลุ่มตัวแปรของข้าวหุงสุก โดยนำค่าคุณภาพทางเคมีและคุณภาพกายภาพ ได้แก่ ค่าสี ปริมาณความชื้น และเนื้อสัมผัส มาจัดกลุ่มตัวแปรด้วยการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal component analysis; PCA) โดยข้อมูลค่าเฉลี่ยจะต้องทำการปรับค่ามาตรฐาน (standardize) และจำแนกกลุ่มตัวอย่างด้วยหลักการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก ร่วมกับการจำแนกกลุ่มตัวแปรด้วยเทคนิค Hierarchical cluster analysis โดยใช้หลักเกณฑ์การรวมกลุ่มของ Agglomerative schedule และวิธี Between-groups linkage

3.2 การตรวจสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

3.2.1 การตรวจสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส ด้วยวิธีวิเคราะห์เชิงพรรณนา (Generic descriptive analysis) โดยใช้ผู้ทดสอบฝึกฝนจำนวน 8 คน จากหน่วยวิจัยทางประสาทสัมผัสและผู้บริโภคแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (Kasetsart University Sensory and Consumer Research Unit; KU-SCR) ที่ผ่านการคัดเลือกเบื้องต้นได้แก่ การทดสอบความสามารถในการรับรสพื้นฐาน (basic taste test) การทดสอบความแตกต่างโดยวิธีเลือกตัวอย่างที่จากสามตัวอย่าง (triangle test) การทดสอบความสามารถในการเรียงลำดับความเข้ม (ranking test) โดยใช้ระดับความเข้มข้นของสารละลายต่างๆ แสดงในตารางผนวกที่ ง1 และการทดสอบความสามารถในการจดจำกลิ่น (odor

recognition test) จากนั้นทำการพัฒนาคำศัพท์ ฝึกฝนผู้ทดสอบ และประเมินทางประสาทสัมผัส ด้วยวิธีวิเคราะห์เชิงพรรณนา เสนอตัวอย่างข้าวหุงสุกปริมาณ 40 กรัม ในถ้วยสีขาวพร้อมฝาปิด พร้อมทั้งใส่รหัสตัวอย่างด้วยเลขสุ่ม 3 หลัก เสนอตัวอย่างโดยการสุ่มเดี่ยวที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และทดสอบตัวอย่างก่อนที่อุณหภูมิจะต่ำกว่า 60 องศาเซลเซียส ประเมินคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น กลิ่นรส รสพื้นฐาน เนื้อสัมผัส และความรู้สึกตกค้าง ระบุระดับความเข้มของตัวอย่าง 0-15 (น้อยไปมาก) ทำการทดสอบ 3 ซ้ำในแต่ละตัวอย่าง

3.2.2 วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ทางสถิติจากข้อมูลที่ได้จากการตรวจสอบคุณภาพทางเคมี และคุณภาพทางกายภาพของข้าวหุงสุกในข้อ 3.1.1 ถึง 3.1.3 ดังนี้

3.2.2.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance: ANOVA) โดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกอย่างสมบูรณ์ (Randomized complete block design: RCBD) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Fisher's Least significant difference (LSD) เมื่อพบนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

3.2.2.2 การจัดกลุ่มตัวแปรของข้าวหุงสุก โดยนำค่าคุณภาพทางประสาทสัมผัส ด้วยวิธีวิเคราะห์เชิงพรรณนา มาจัดกลุ่มตัวแปรด้วยการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal component analysis; PCA) โดยข้อมูลค่าเฉลี่ยจะต้องทำการปรับค่ามาตรฐาน (standardize) และจำแนกกลุ่มตัวอย่างด้วยหลักการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก ร่วมกับการจำแนกกลุ่มตัวแปรด้วยเทคนิค Hierarchical cluster analysis โดยใช้หลักเกณฑ์การรวมกลุ่มของ Agglomerative schedule และวิธี Between-groups linkage

4. การจัดกลุ่มตัวอย่างข้าว 6 พันธุ์ ที่หุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า

การจัดกลุ่มตัวอย่างข้าวทั้ง 6 พันธุ์ ได้แก่ KDML 105, RD 15, PTT 1, CNT 1, SPB 1 และ PNL 2 จากการตรวจสอบคุณภาพทางเคมี และคุณภาพกายภาพของข้าวสาร และข้าวหุงสุก

4.1 คุณภาพทางเคมี และคุณภาพทางกายภาพของข้าวสาร

4.1.1 การวิเคราะห์ปริมาณแอมิโลส ในข้อ 2.1.2

4.1.2 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน ในข้อ 2.1.3

4.1.3 การยืดตัวของเมล็ด ในข้อ 2.2.1

4.1.4 การวัดอัตราการขยายปริมาตร ในข้อ 2.2.2

4.1.5 การตรวจสอบลักษณะความหนืดจากเครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว ได้แก่ ความหนืดสูงสุด (peak viscosity), ความหนืดต่ำสุด (holding strength), ความหนืดลดลง (breakdown), ความหนืดสุดท้าย (final viscosity) และค่าการคืนตัวกลับ (setback from trough) ในข้อ 2.2.3

4.2 คุณภาพทางเคมี และคุณภาพทางกายภาพของข้าวหุงสุกที่หุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า

4.2.1 การวัดค่าสี ในระบบ CIE Lab ในข้อ 3.1.2

4.2.2 การวิเคราะห์คุณลักษณะเนื้อสัมผัส ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส หรือ TA.XT plus texture analyzer (Stable Micro system Ltd., Surrey UK)

4.2.2.1 วิธีวิเคราะห์เค้าโครงคุณลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture profile analysis: TPA) ค่าเนื้อสัมผัส ได้แก่ ค่าความแข็ง (hardness), การเกาะติดผิว (adhesiveness), การรวมตัวกัน (cohesiveness), ความยืดหยุ่น (springiness), ความเป็นกาวยาง (gumminess) และพลังงานในการเคี้ยว (chewiness) ในข้อ 3.1.3.1

4.2.2.2 การทดสอบแบบกด (Compression test) ค่าเนื้อสัมผัส ได้แก่ ความแข็ง (hardness) และ ความเหนียว (stickiness) ในข้อ 3.1.3.2

4.3 วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

การจัดกลุ่มตัวแปรของปัจจัยคุณภาพทางเคมี และคุณภาพทางกายภาพของข้าวสาร และข้าวหุงสุก ด้วยการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal component analysis; PCA) โดยข้อมูลค่าเฉลี่ยจะต้องทำการปรับค่ามาตรฐาน (standardize) จากนั้นทำการจำแนกกลุ่มตัวอย่างด้วยหลักการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก ร่วมกับการจำแนกกลุ่มตัวแปรด้วยเทคนิค Hierarchical cluster analysis โดยใช้หลักเกณฑ์การรวมกลุ่มของ Agglomerative schedule และวิธี Between-groups linkage

5. การหาความสัมพันธ์ระหว่างความชอบของผู้บริโภคกับปัจจัยคุณภาพของข้าวหุงสุก

5.1 การทดสอบความชอบของผู้บริโภค โดยใช้ตัวอย่างข้าว 6 พันธุ์ ได้แก่ KDML 105, RD 15, PTT 1, CNT 1, SPB 1 และ PNL 2 ที่หุงต้มด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า, การนึ่ง และการหุงแบบเช็ดน้ำ ซึ่งมีวิธีการเตรียมตัวอย่างเช่นเดียวกับข้อ 2 วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกไม่สมบูรณ์ (Balance incompletely block design; BIB) ประเภทที่ 2 ดังตารางผนวกที่ จ1 ทั้งนี้แผนการทดลองที่เลือกต้องใช้ตัวอย่างจำนวน 19 ตัวอย่าง แต่เนื่องจากตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบความชอบของผู้บริโภคมีเพียง 18 ตัวอย่าง จึงทำการสุ่มตัวอย่างเพิ่มอีกตัวอย่างเพื่อให้ครบจำนวนตัวอย่างในแผนการทดลอง ทำการทดลองจำนวน 4 ชุด รวมจำนวนผู้ทดสอบ 228 คน ในการทดสอบเสนอตัวอย่างข้าวหุงสุกที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และให้ผู้บริโภคระดับคะแนนความชอบในคุณลักษณะต่างๆ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ, กลิ่น, กลิ่นรส, เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ด้วยวิธี 9-point hedonic scale ลงในแบบสอบถาม (ภาคผนวก จ) ผู้บริโภคจะได้รับตัวอย่างคนละ 4 ตัวอย่าง โดยตัวอย่างแรกเป็นตัวอย่างอุ่นเครื่อง (warm-up sample) เพื่อให้ผู้บริโภคได้ทำการปรับสภาวะต่างๆ ให้คงตัว และเข้าใจในคำถามก่อนการทดสอบ และทำให้ข้อมูลที่ได้มีความน่าเชื่อถือ จากนั้นทำการเสนอตัวอย่างข้าวหุงสุก 3 ตัวอย่าง เป็นตัวอย่างทดสอบ ทดสอบแบบ Laboratory tests สถานที่ทดสอบ คือ ห้องปฏิบัติการการประเมินทางประสาทสัมผัส ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยรับสมัครผู้บริโภคผ่านทางเว็บไซต์ และทำการคัดเลือกผู้บริโภคทางโทรศัพท์ ทั้งนี้ผู้ทดสอบจะต้องแสดงความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากผู้ทดสอบโดยการลงนามในหนังสือแสดงความยินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัย (informed consent form) ในภาคผนวก จ

5.2 วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

5.2.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance: ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Fisher's Least Significant Difference (LSD) เมื่อพบนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

5.2.2 การหาความสัมพันธ์ระหว่างความชอบโดยรวมของผู้บริโภคกับคุณภาพของข้าวหุงสุก

5.2.2.1 การหาความสัมพันธ์ระหว่างความชอบโดยรวมของผู้บริโภคกับคุณภาพทางเคมี และคุณภาพทางกายภาพของข้าวหุงสุก โดยการหาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (Pearson correlation coefficients) ร่วมกับการวิเคราะห์แผนภาพความชอบ (Preference mapping) โดยใช้วิธี Partial least square (PLS) ประเภทที่ 1 ทั้งนี้ข้อมูลที่น่าวิเคราะห์แผนภาพความชอบจะต้องทำการปรับค่ามาตรฐาน (standardize)

5.2.2.2 การหาความสัมพันธ์ระหว่างความชอบโดยรวมของผู้บริโภคกับคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของข้าวหุงสุก โดยการหาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (Pearson correlation coefficients) ร่วมกับการวิเคราะห์แผนภาพความชอบ (Preference mapping) โดยใช้วิธี Partial least square (PLS) ประเภทที่ 1 ทั้งนี้ข้อมูลที่น่าวิเคราะห์แผนภาพความชอบจะต้องทำการปรับค่ามาตรฐาน (standardize)

6. การทำนายเนื้อสัมผัสทางประสาทสัมผัสของข้าวหุงสุก

ตัวอย่างข้าวหุงสุกพันธุ์ต่างๆ ได้แก่ KDML 105, RD 15, PTT 1, CNT 1, SPB 1 และ PNL 2 ที่หุงต้มด้วยวิธีการต่างๆ ได้แก่ การหุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า, การนึ่ง, การหุงด้วยเครื่องไมโครเวฟ และการหุงแบบเช็ดน้ำ ซึ่งมีวิธีการเตรียมตัวอย่างเช่นเดียวกับข้อ 2 จากนั้นนำตรวจสอบเนื้อสัมผัสดังนี้

6.1 การตรวจสอบคุณภาพเนื้อสัมผัสจากการประเมินทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา ในข้อ 3.2.1

6.2 การตรวจสอบคุณภาพเนื้อสัมผัสจากการวัดด้วยเครื่องมือ ได้แก่

6.2.1 วิธีวิเคราะห์ค่าโครงคุณลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture profile analysis: TPA) ค่าเนื้อสัมผัส ได้แก่ ค่าความแข็ง (hardness), การเกาะติดผิว (adhesiveness), การรวมตัวกัน (cohesiveness), ความยืดหยุ่น (springiness), ความเป็นกาวยาง (gumminess) และพลังงานในการเคี้ยว (chewiness) ในข้อ 3.1.3.1

6.2.2 การทดสอบแบบกด (Compression test) 1 ครั้ง โดยมีวิธีการวัดดัดแปลงจาก Sesmat and Meullenet (2001) ดังในภาคผนวก ค ทำการวัดเนื้อสัมผัสจำนวน 6 ซ้ำ ของตัวอย่างข้าวหุงสุกในแต่ละพันธุ์ข้าวและแต่ละวิธีการหุงต้ม ได้ค่าเนื้อสัมผัสจากการวัด ได้แก่ ความสูงของตัวอย่าง, ความชื้นที่ 0-10%strain, ค่าแรงสูงสุดที่หัววัดกดตัวอย่าง 90%strain, ระยะทางหัววัดกดตัวอย่าง 90%strain, ระยะทางที่หัววัดกลับมาจุดเริ่มต้น, แรงสูงสุดในการถอนหัววัดออกจากฐาน, ระยะทางที่หัววัดถอนแรงออกจากหัววัด, พื้นที่ใต้กราฟตั้งแต่หัววัดเคลื่อนที่จนถึง 90%strain, พื้นที่ใต้กราฟทางด้านหลังกราฟ, พื้นที่ใต้กราฟทั้งหมดทางด้านบวก และพื้นที่ใต้กราฟทั้งหมดทางด้านลบ

6.3 วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

ทำนายเนื้อสัมผัสทางประสาทสัมผัส จากการวัดด้วยเครื่องมือ ได้แก่ การวิเคราะห์ค่าโครงเนื้อสัมผัส และการทดสอบแบบกด โดยการนำข้อมูลค่าเฉลี่ยมาทำการปรับค่ามาตรฐาน (standardize) และสร้างสมการทำนายเนื้อสัมผัสโดยใช้วิธี Partial least square (PLS) ประเภทที่ 1 ในการสร้างสมการทำนายจะพิจารณาค่า Root Mean Square Error of Prediction (RMSEP) และค่า Correlation coefficient for the validation (RVal) โดยทำการตัดปัจจัยจากการวัดด้วยเครื่องมือของสมการที่มีค่า RMSEP น้อยที่สุด และค่า RVal มากที่สุดออกที่ละปัจจัย จนกระทั่งค่า RMSEP ไม่ลดลง และ RVal ไม่เพิ่มขึ้น จากนั้นพิจารณาค่า Correlation coefficient for the calibration (RCal) โดยสมการที่สามารถทำนายได้จะต้องมีค่า RCal มากกว่า 0.600 (Sesmat and Meullenet, 2001)

7. สถานที่ทำการวิจัย

ห้องปฏิบัติการเคมี ห้องปฏิบัติการทางกายภาพ และห้องปฏิบัติการทางประสาทสัมผัส ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพฯ

8. ระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย

ตั้งแต่เดือนมีนาคม 2550 ถึง เดือนมีนาคม 2551

ผลและวิจารณ์

1. การสำรวจพฤติกรรม ทักษะคิด ในการบริโภค และการหุงต้มข้าว

1.1 ลักษณะทางประชากรศาสตร์ของผู้ตอบแบบสอบถาม

การศึกษาลักษณะทางประชากรศาสตร์ของกลุ่มผู้ตอบแบบสอบถามทั้งหมด 250 คน โดยการแบ่งประชากรให้มีสัดส่วนของเพศ และอายุในแต่ละช่วง ให้มีสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน ส่วนใหญ่ผู้ตอบแบบสอบถามมีภูมิลำเนาอยู่ในภาคกลาง ร้อยละ 76.00 เนื่องจากได้ทำการทดสอบในเขตกรุงเทพมหานคร ทำให้มีภูมิลำเนาอยู่ในภาคกลางมากกว่าภาคอื่นๆ ระดับการศึกษาสูงสุดหรือระดับการศึกษาที่ได้รับมากที่สุด คือ ปริญญาตรี ร้อยละ 53.20 มีอาชีพนักเรียน/นิสิต/นักศึกษา ร้อยละ 36.00 มากที่สุด รองลงมาคือ ข้าราชการ/รัฐวิสาหกิจ ร้อยละ 27.20 มีรายได้ต่อเดือน 5,001-10,000 บาท ร้อยละ 29.20 รองลงมาคือ น้อยกว่าหรือเท่ากับ 5,000 บาท ร้อยละ 21.20 จำนวนสมาชิกในครอบครัว โดยส่วนใหญ่มีจำนวน 4-5 คน ร้อยละ 44.00 รองลงมาคือ 2-3 คน ร้อยละ 30.80 แสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ลักษณะทางประชากรศาสตร์ของกลุ่มผู้บริโภคเป้าหมายจำนวน 250 คน

(n = 250)			
	ข้อมูลทั่วไป	ความถี่	ร้อยละ
เพศ	หญิง	126	50.40
	ชาย	124	49.60
อายุ	น้อยกว่า 21 ปี	54	21.60
	21-30	65	26.00
	31-40	59	23.60
	40 ปี ขึ้นไป	72	28.80
ภูมิลำเนา	ภาคกลาง	190	76.00
	ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	19	7.60
	ภาคเหนือ	12	4.80
	ภาคตะวันออก	8	3.20
	ภาคตะวันตก	3	1.20

ตารางที่ 7 (ต่อ)

	ข้อมูลทั่วไป	ความถี่	ร้อยละ
ระดับการศึกษา	ต่ำกว่ามัธยมศึกษาตอนปลาย	23	9.20
	มัธยมศึกษาตอนปลาย	30	12.00
	ปริญญาตรี	133	53.20
	สูงกว่าปริญญาตรี	64	25.60
อาชีพ	นักเรียน/นิสิต/นักศึกษา	90	36.00
	ข้าราชการ/รัฐวิสาหกิจ	68	27.20
	ธุรกิจส่วนตัว/ค้าขาย	32	12.80
	พนักงานบริษัทเอกชน	28	11.20
	แม่บ้าน/พ่อบ้าน	18	7.20
	รับจ้าง	10	4.00
	เกษียณอายุ/ว่างงาน	4	1.60
รายได้	น้อยกว่าหรือเท่ากับ 5,000 บาท	53	21.20
	5,001-10,000 บาท	73	29.20
	10,001-15,000 บาท	38	15.20
	15,001-20,000 บาท	21	8.40
	20,001-25,000 บาท	20	8.00
	มากกว่า 25,000 บาท	45	18.00
จำนวนสมาชิก	1 คน	21	8.40
ภายในครอบครัว	2-3 คน	77	30.80
	4-5 คน	110	44.00
	มากกว่า 5 คน	42	16.80

1.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของผู้ตอบแบบสอบถาม

ผลการศึกษาในเชิงพฤกษศาสตร์ต่อการเลือกซื้อข้าวสารพบว่า ผู้บริโภคส่วนใหญ่จะให้บุคคลในครอบครัวเป็นผู้ซื้อข้าวสาร ร้อยละ 55.20 โดยผู้ที่ซื้อคือ บิดา-มารดา, สามิ-ภรรยา หรือญาติพี่น้อง เป็นต้น และอีกร้อยละ 44.80 จะซื้อข้าวสารด้วยตนเอง สถานที่ในการซื้อมักซื้อที่ไฮเปอร์มาร์เก็ต เช่น บิ๊กซี, เทสโก้โลตัส หรือคาร์ฟูร์ เป็นต้น ร้อยละ 44.44 โดยซื้อเดือนละครั้ง ครั้งละ 5 กิโลกรัม คิดเป็นร้อยละ 45.60 และ 50.40 ตามลำดับ ปัจจัยที่ผู้บริโภคคิดว่ามีผลในการเลือกซื้อมากที่สุด คือ ชนิด/ประเภทข้าว ร้อยละ 84.40 รองลงมาคือ ราคาที่เหมาะสม, ไม่มีสิ่งแปลกปลอม และลักษณะของเมล็ดข้าว ร้อยละ 66.80, 54.40 และ 50.40 ตามลำดับ สำหรับปัจจัยอื่น ๆ ก็มีผลต่อการเลือกซื้อเช่นเดียวกัน เช่น มีเครื่องหมายรับรองคุณภาพ, ตรายี่ห้อ, ลักษณะและขนาดของบรรจุภัณฑ์ และอื่นๆ ได้แก่ คุณภาพของข้าวหุงสุก ข้าวหุงสุกจะต้องนิ่ม หุงขึ้นหม้อ การนำไปใช้ การบอกกล่าวจากคนอื่น แหล่งปลูกข้าว ความน่าเชื่อถือของร้านค้า และการโฆษณาประชาสัมพันธ์ โดยชนิดหรือประเภทของข้าวสารที่นิยมเลือกซื้อ คือ ข้าวสารที่เมื่อหุงแล้วเป็นข้าวหุงสุกที่มีลักษณะเหนียวนุ่ม และ/หรือมีกลิ่นหอม เช่น ข้าวหอมมะลิ 100% ร้อยละ 67.20 รองลงมาคือ ข้าวหอมมะลิ 10%, 5% ร้อยละ 16.80 และมีจำนวนน้อยที่มักจะเลือกซื้อข้าวสารที่เมื่อหุงแล้วเป็นข้าวหุงสุกที่มีลักษณะเป็นข้าวร่วน และแข็ง เช่น ข้าวเสาไห้ ร้อยละ 8.40 และข้าวผสม (ซื้อข้าวหลายประเภทมาหุงรวมกัน) ร้อยละ 7.60 สำหรับวิธีในการหุงต้มโดยส่วนใหญ่จะหุงต้มด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า ร้อยละ 99.20 สำหรับวิธีการหุงต้มอื่นๆ ได้แก่ การนึ่ง การหุงด้วยเครื่องไมโครเวฟ และการหุงแบบเช็ดน้ำ มีเพียงร้อยละ 4.40, 4.00 และ 2.40 ตามลำดับ เหตุผลในการเลือกใช้วิธีการหุงข้าว คือ เป็นวิธีการที่สะดวกและรวดเร็วมากที่สุด ร้อยละ 88.80 รองลงมาคือ มีอุปกรณ์ในการหุงอยู่แล้ว ร้อยละ 58.40 ในการหุงข้าวแต่ละครั้งผู้ตอบแบบสอบถามมักจะหุงข้าวครั้งละประมาณ 2-3 ถ้วย (120 กรัม/ถ้วย) และหุงครั้งเดียวรับประทานทั้งวัน ร้อยละ 65.60 แสดงดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ลักษณะทางพฤติกรรมศาสตร์ของกลุ่มผู้บริโภคเป้าหมายจำนวน 250 คน

		(n = 250)	
	ข้อมูลเชิงพฤติกรรมศาสตร์	ความถี่	ร้อยละ
ผู้เลือกซื้อข้าวสาร	บุคคลในครอบครัว	138	55.20
	ตนเอง	112	44.80
สถานที่ซื้อข้าวสาร	ไฮเปอร์มาร์เก็ต	111	44.40
	ร้านขายข้าวสารทั่วไป	70	28.00
	ร้านขายของชำ, ตลาดสด	26	10.40
	ซูเปอร์มาร์เก็ต	26	10.40
	อื่นๆ เช่น สหกรณ์ ขายตรง โรงสีข้าว	12	4.80
	ร้านสะดวกซื้อ	5	2.00
	น้อยกว่าสัปดาห์ละครั้ง	6	2.40
ความถี่ในการซื้อ	สัปดาห์ละครั้ง	21	8.40
	2-3 สัปดาห์ครั้ง	49	19.60
	เดือนละครั้ง	114	45.60
	นานกว่าเดือนละครั้ง	60	24.00
	น้อยกว่า 2 กิโลกรัม	14	5.60
ขนาดบรรจุ	2 กิโลกรัม	29	11.60
	5 กิโลกรัม	126	50.40
	มากกว่า 5 กิโลกรัม	81	32.40
	ชนิด/ประเภทของข้าว	211	84.40
ปัจจัยที่มีผลในการเลือกซื้อ	ราคาที่เหมาะสม	167	66.80
	ไม่มีสิ่งแปลกปลอม	136	54.40
	ลักษณะของเมล็ดข้าว	126	50.40
	มีเครื่องหมายรับรองคุณภาพ	83	33.20
	ตราที่ยี่ห้อ	80	32.00
	ลักษณะของบรรจุภัณฑ์	49	19.60
	ขนาดของบรรจุภัณฑ์	38	15.20
	อื่นๆ เช่น คุณภาพ การนำไปใช้ การบอกกล่าว	16	6.40
	แหล่งปลูก ความน่าเชื่อถือ และการโฆษณา		

ตารางที่ 8 (ต่อ)

	ข้อมูลเชิงพฤกษศาสตร์	ความถี่	ร้อยละ
ชนิดของข้าวสารที่เลือกซื้อ	ข้าวหอมมะลิ 100%	168	67.20
	ข้าวหอมมะลิ 10%, 5%	42	16.80
	ข้าวเสาไห้	21	8.40
	ข้าวผสมหลายประเภท	19	7.60
วิธีการหุงข้าว	หม้อหุงข้าวไฟฟ้า	248	99.20
	การนึ่ง	11	4.40
	เครื่องไมโครเวฟ	10	4.00
	การหุงแบบเช็ดน้ำ	6	2.40
เหตุผลในการเลือกใช้วิธีการหุงดังกล่าว	สะดวก รวดเร็ว	222	88.80
	มีอุปกรณ์ในการหุง	146	58.40
	สามารถอุ่นได้อัตโนมัติ	101	40.40
	ความเคยชิน	98	39.20
	ให้กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัสดี	36	14.40
	ประหยัดพลังงานในการหุง	25	10.00
	อื่นๆ เช่น ความปลอดภัย และไม่สามารถหุงต้มด้วยวิธีการอื่น	5	2.00
ปริมาณที่ใช้ในการหุง	น้อยกว่า 2 ถ้วยตวง	20	8.00
	2-3 ถ้วยตวง	164	65.60
	3-4 ถ้วยตวง	56	22.40
	4-5 ถ้วยตวง	7	2.80
	6-7 ถ้วยตวง	3	1.20
	มากกว่า 7 ถ้วยตวง	20	8.00
พฤติกรรมในการหุงข้าว	หุงครั้งเดียว รับประทานทั้งวัน	164	65.60
	หุงข้าวเมื่อต่อเมื่อ	86	34.40

จากการสำรวจระดับความคิดเห็นพฤติกรรมในการเลือกซื้อ คุณลักษณะของข้าวหุงสุก และพฤติกรรมในการหุงข้าว พบว่าผู้บริโภคเห็นด้วยอย่างยิ่งกับประเภทของข้าวต่อการตัดสินใจเลือกซื้อ ลักษณะของข้าวสารจะต้องเต็มเมล็ดมากกว่าข้าวที่มีเมล็ดหัก และบรรจุภัณฑ์ที่สะอาด ลักษณะของข้าวหุงสุกต้องมีลักษณะเต็มเมล็ด และมีกลิ่นหอม สำหรับการหุงต้มผู้บริโภคเห็นด้วยอย่างยิ่งกับการหุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้าเพราะสามารถอุ่นได้ โดยปัจจัยเหล่านี้อยู่ในระดับสำคัญมากที่สุด ผู้บริโภคเห็นด้วยกับขนาดบรรจุภัณฑ์ต่อการตัดสินใจเลือกซื้อ เมล็ดข้าวหุงสุกไม่ควรมีการแตกหักของเมล็ด มีความร่วน และมีรสหวานเมื่อเคี้ยว ไม่แน่ใจในเรื่อง สีของข้าวสาร ราคา และการจัดโปรโมชัน ต่อการตัดสินใจเลือกซื้อ สี ความเหนียวติดกัน และความเหนียวของข้าวหุงสุกต่อคุณภาพของข้าว รวมทั้งวิธีในการหุงข้าวต่อเนื่องสัมผัสของข้าว ไม่เห็นด้วยกับความคิดเห็นที่ว่าหากต้องการความรวดเร็วจะหุงด้วยไมโครเวฟ สำหรับการหุงข้าวแบบแช่น้ำ และการนึ่ง เป็นวิธีการที่ง่าย และสะดวก แสดงให้เห็นว่าผู้บริโภคส่วนใหญ่ไม่นิยมหุงข้าวแบบแช่น้ำ และการนึ่ง และผู้บริโภคไม่เห็นด้วยอย่างยิ่งกับข้าวหุงสุกที่มีกลิ่นแปลกปลอม แสดงดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ระดับความคิดเห็นพฤติกรรมในการเลือกซื้อ คุณลักษณะของข้าวหุงสุก และพฤติกรรมในการหุงข้าวจากการสำรวจผู้บริโภค

(n = 250)

ลักษณะ	ระดับความคิดเห็น*					เฉลี่ย -ค่าเฉลี่ย	ระดับความ คิดเห็นเฉลี่ย**
	1	2	3	4	5		
<u>พฤติกรรมในการเลือกซื้อข้าวสาร</u>							
ประเภทของข้าวช่วยในการตัดสินใจซื้อ	1	5	9	94	141	4.48	เห็นด้วยอย่างยิ่ง
สีของข้าวไม่ช่วยในการตัดสินใจซื้อ	30	93	43	62	22	2.81	ไม่แน่ใจ
เลือกซื้อข้าวที่เต็มเมล็ดมากกว่าเมล็ดหัก	2	6	14	86	142	4.44	เห็นด้วยอย่างยิ่ง
ราคาไม่ช่วยในการตัดสินใจซื้อ	42	99	36	48	25	2.66	ไม่แน่ใจ
โปรโมชันไม่ช่วยในการตัดสินใจซื้อ	19	67	60	72	32	3.12	ไม่แน่ใจ
ขนาดบรรจุภัณฑ์ช่วยในการตัดสินใจซื้อ	7	31	45	132	35	3.63	เห็นด้วย
เลือกซื้อข้าวที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่สะอาด	2	2	4	69	173	4.64	เห็นด้วยอย่างยิ่ง
<u>คุณลักษณะของข้าวหุงสุก (ข้าวสวย)</u>							
สีข้าวของข้าวหุงสุกไม่ได้บ่งบอกถึงคุณภาพ	4	12	45	105	84	4.01	เห็นด้วย
ข้าวหุงสุกที่ดีไม่ควรมีการแตกหักของเมล็ด	1	1	11	107	130	4.46	เห็นด้วยอย่างยิ่ง
ชอบข้าวหุงสุกที่เต็มเมล็ด	11	48	58	94	39	3.41	เห็นด้วย
ข้าวหุงสุกที่ดีควรมีความร่วน	1	8	20	107	114	4.30	เห็นด้วยอย่างยิ่ง
ข้าวหุงสุกที่ดีควรมีกลิ่นหอม	116	81	42	10	1	1.80	ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง

ตารางที่ 9 (ต่อ)

ลักษณะ	ระดับความคิดเห็น*					ค่าเฉลี่ย	ระดับความคิดเห็นเฉลี่ย**
	1	2	3	4	5		
ยอมรับข้าวหุงสุกที่มีกลิ่นแปลกปลอม	17	62	83	75	13	3.02	ไม่แน่ใจ
ข้าวหุงสุกที่ดีต้องเหนียวติดกัน	4	23	47	132	44	3.76	เห็นด้วย
ชอบข้าวหุงสุกที่มีรสหวานเมื่อเคี้ยว	12	64	44	110	20	3.25	ไม่แน่ใจ
ชอบข้าวหุงสุกที่เหนียวเมื่อเคี้ยว	104	99	22	20	5	1.89	ไม่เห็นด้วย
<u>พฤติกรรมในการหุงข้าว</u>							
วิธีในการหุงข้าวไม่ส่งผลต่อเนื้อสัมผัส	30	67	88	53	12	2.80	ไม่แน่ใจ
การหุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้าสามารถอุ่นได้	1	6	14	143	86	4.23	เห็นด้วยอย่างยิ่ง
ต้องการความรวดเร็วจะหุงด้วยไมโครเวฟ	50	89	68	29	14	2.47	ไม่เห็นด้วย
การหุงข้าวแบบแช่น้ำง่าย และสะดวก	61	99	54	27	9	2.30	ไม่เห็นด้วย
การหุงข้าวด้วยวิธีการนึ่งเป็นวิธีการที่สะดวก	38	97	75	31	9	2.50	ไม่เห็นด้วย

หมายเหตุ * ระดับความคิดเห็น โดยให้ลำดับที่ 5 คือ เห็นด้วยอย่างยิ่ง และลำดับที่ 1 คือ ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง

** ระดับความคิดเห็นเฉลี่ย จากวิธีการวิเคราะห์โดยการหาค่าเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนัก แบ่งเป็น 5 ช่วง ได้แก่ 4.21-5.00 คือ เห็นด้วยอย่างยิ่ง, 3.41-4.20 คือ เห็นด้วย, 2.61-3.40 คือ ไม่แน่ใจ, 1.81-2.60 คือ ไม่เห็นด้วย และ 1.00-1.80 คือ ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง

จากข้อมูลทางประชากรศาสตร์ของผู้ตอบแบบสอบถาม (ตารางที่ 7) ได้แก่ เพศ อายุ และรายได้ นำมาหาความสัมพันธ์กับระดับความคิดเห็นเกี่ยวกับพฤติกรรมในการเลือกซื้อ คุณลักษณะของข้าวหุง สำหรับภูมิภาค ระดับการศึกษา อาชีพ และจำนวนสมาชิกในครอบครัว ไม่ได้นำมาศึกษา เนื่องจากมีจำนวนในการกระจายตัวของประชากรที่แตกต่างกันมาก ถ้าหากนำมาวิเคราะห์จะทำให้ผลที่ได้อธิบายได้ไม่ดีเท่าที่ควร เพราะฉะนั้นจึงศึกษาเพียงอิทธิพลของเพศ อายุ และรายได้ ต่อระดับความคิดเห็นของปัจจัยที่มีต่อพฤติกรรมในการเลือกซื้อ คุณลักษณะของข้าว และพฤติกรรมในการหุงข้าว โดยมีสมมติฐานว่ากลุ่มของอายุ และเพศ มีผลต่อการให้ความสำคัญกับปัจจัยต่างๆ ที่มีต่อพฤติกรรมในการเลือกซื้อ คุณลักษณะของข้าว และพฤติกรรมในการหุงข้าว

กลุ่มเพศของผู้ตอบแบบสอบถาม แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม โดยมีการกระจายของประชากรที่ใกล้เคียงกัน คือ กลุ่มเพศชาย และกลุ่มเพศหญิง คิดเป็นร้อยละ 49.60 และร้อยละ 50.40 ตามลำดับ โดยมีสมมติฐานว่ากลุ่มเพศทั้ง 2 กลุ่มดังกล่าวนี้ให้ระดับความคิดเห็นของปัจจัยที่มีต่อพฤติกรรมในการเลือกซื้อ คุณลักษณะของข้าว และพฤติกรรมในการหุงข้าวทั้ง 22 ปัจจัย ได้แตกต่างกัน โดยใช้สถิติ t-test ในการทดสอบความแตกต่างที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จากการศึกษา (ตารางที่ 10) พบว่าเพศที่ต่างกัน มีผลต่อระดับความคิดเห็นด้านความชอบในคุณลักษณะเรื่องความสมบูรณ์ของเมล็ดข้าวหุงสุก โดยเพศหญิงเห็นด้วยกับปัจจัยด้านนี้มากกว่าเพศชาย และการหุงข้าวแบบเช็ดน้ำเป็นวิธีที่ง่าย และสะดวก โดยเพศหญิงไม่เห็นด้วยกับปัจจัยด้านนี้มากกว่าเพศชาย สำหรับปัจจัยอื่นๆพบว่าเพศที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อระดับความคิดเห็น

กลุ่มอายุของผู้ตอบแบบสอบถาม แบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม โดยมีการกระจายของประชากรที่ใกล้เคียงกัน คือ กลุ่มอายุน้อยกว่า 21 ปี อายุ 21-30 ปี อายุ 31-40 ปี และอายุ 40 ปี ขึ้นไป คิดเป็นร้อยละ 21.60, 26.00, 23.60 และ 28.80 ตามลำดับ โดยมีสมมติฐานว่ากลุ่มอายุทั้ง 4 กลุ่ม ให้ระดับความคิดเห็นของปัจจัยที่มีต่อพฤติกรรมในการเลือกซื้อ คุณลักษณะของข้าว และพฤติกรรมในการหุงข้าว 22 ปัจจัย ได้แตกต่างกัน โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ในการทดสอบความแตกต่างที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จากการศึกษา (ตารางที่ 11) พบว่าอายุที่แตกต่างกันมีผลต่อระดับความคิดเห็นของปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับ สี และราคาของข้าวสารต่อการตัดสินใจเลือกซื้อ, คุณลักษณะของข้าวในด้านความร่วน ความเหนียวติดกัน กลิ่นแปลกปลอม และรสหวานในข้าวหุงสุก รวมทั้งวิธีในการหุงข้าวต่อเนื้อสัมผัส และวิธีการในการนึ่งข้าวกับความสะดวก ผู้ตอบแบบสอบถามในทุกช่วงอายุจะไม่แน่ใจกับปัจจัยด้านสี และราคาของข้าวสารต่อการตัดสินใจเลือกซื้อ โดยผู้ตอบแบบสอบถามในช่วงอายุ 21-30 ปี ไม่เห็นด้วยกับปัจจัยด้านสีต่อการตัดสินใจเลือกซื้อน้อยกว่าช่วงอายุอื่นๆ และผู้ตอบแบบสอบถามในช่วงอายุ 40 ปีขึ้นไป ไม่เห็นด้วยกับปัจจัยด้านราคาต่อการตัดสินใจเลือกซื้อมากกว่าช่วงอายุอื่นๆ แสดงว่าในการตัดสินใจเลือกซื้อผู้ที่มีอายุ 21-30 ปี จะคำนึงถึงสีของข้าวสาร ในขณะที่ผู้ที่มีอายุ 40 ปีขึ้นไปคำนึงถึงราคาน้อยกว่าช่วงอายุอื่น เมื่อพิจารณาคุณลักษณะของข้าวหุงสุก พบว่าผู้ตอบแบบสอบถามในทุกช่วงอายุเห็นด้วยหากข้าวหุงสุกนั้นมีความร่วน และมีรสหวาน โดยผู้ที่มีอายุ 40 ปี ขึ้นไป จะคำนึงถึงปัจจัยด้านนี้น้อยกว่าช่วงอายุอื่น และผู้ที่มีอายุ 21-30 ปี จะคำนึงถึงปัจจัยด้านรสหวานมากกว่าช่วงอายุอื่น ในทางกลับกัน คุณลักษณะที่ผู้บริโภคไม่ต้องการ คือ ข้าวหุงสุกที่มีกลิ่นแปลกปลอม โดยเฉพาะผู้ที่มีอายุมากกว่า 40 ปี จะคำนึงถึงปัจจัยด้านนี้มากกว่าช่วงอายุอื่น สำหรับพฤติกรรมในการหุงต้ม พบว่าผู้ตอบแบบสอบถามไม่แน่ใจกับวิธีในการหุงข้าวต่อเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุก และการนึ่งข้าวเป็นวิธีการที่

สะดวก โดยผู้ตอบแบบสอบถามอายุ 30 ปีขึ้นไป และ 40 ปีขึ้นไป ก็ยังเห็นด้วยกับวิธีในการหุงข้าว ต่อเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุก และการนึ่งข้าวเป็นวิธีการที่สะดวก มากกว่าช่วงอายุอื่นๆ ตามลำดับ

จากลักษณะด้านกลุ่มรายได้ของผู้ตอบแบบสอบถาม พบว่ามีการกระจายตัวของประชากรที่ไม่ใกล้เคียงกันมากนัก ดังนั้นจึงทำการแบ่งกลุ่มผู้มีรายได้ออกเป็นสองกลุ่มที่มีสัดส่วนใกล้เคียงกัน คือ กลุ่มผู้มีรายได้น้อยกว่าหรือเท่ากับ 10,000 บาท และกลุ่มที่มีรายได้มากกว่า 10,000 บาท (ร้อยละ 50.40 และร้อยละ 49.60 ตามลำดับ) โดยมีสมมติฐานว่ากลุ่มของผู้ตอบแบบสอบถามที่มีรายได้แตกต่างกัน 2 กลุ่ม มีผลต่อการให้ระดับความคิดเห็นของปัจจัยที่มีต่อพฤติกรรมในการเลือกซื้อ คุณลักษณะของข้าว และพฤติกรรมในการหุงข้าว 22 ปัจจัย ได้แตกต่างกัน โดยใช้สถิติ t-test ในการทดสอบความแตกต่างที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จากการศึกษา (ตารางที่ 12) พบว่ารายได้ที่แตกต่างกันมีผลต่อระดับความคิดเห็นที่เกี่ยวข้องกับ ประเภทของข้าว และราคาต่อการตัดสินใจเลือกซื้อ คุณลักษณะด้านรสหวานของข้าวหุงสุกที่ผู้บริโภคชอบ และการหุงข้าวแบบเช็ดน้ำกับความสะดวก โดยผู้ตอบแบบสอบถามที่มีรายได้มากกว่า 10,000 บาท เห็นด้วยกับประเภทของข้าวต่อการตัดสินใจเลือกซื้อ ถึงแม้ว่าผู้ตอบแบบสอบถามจะไม่แน่ใจกับราคาต่อการตัดสินใจเลือกซื้อ แต่ผู้ที่มีรายได้น้อยกว่าหรือเท่ากับ 10,000 บาท ก็ยังเห็นด้วยกับราคาต่อการตัดสินใจเลือกซื้อ มากกว่ากลุ่มผู้ตอบแบบสอบถามที่มีรายได้มากกว่า 10,000 บาท คุณลักษณะของข้าวหุงสุก พบว่ารสหวานของข้าวเป็นคุณลักษณะหนึ่งที่ผู้ตอบแบบสอบถามต้องการ โดยผู้ที่มีรายได้น้อยกว่าหรือเท่ากับ 10,000 บาท เห็นด้วยกับข้าวที่มีรสหวานมากกว่า แต่ไม่แน่ใจในวิธีการหุงข้าวแบบเช็ดน้ำกับความสะดวก ในขณะที่ผู้มีรายได้มากกว่า 10,000 บาท นั้นไม่เห็นด้วยอย่างยิ่งกับการหุงข้าวแบบเช็ดน้ำกับความสะดวก

จากการนำข้อมูลจากการสำรวจผู้บริโภคมาศึกษาผลของลักษณะประชากรศาสตร์ ได้แก่ เพศ อายุ และรายได้ ที่มีอิทธิพลต่อระดับความคิดเห็นของปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมในการเลือกซื้อ คุณลักษณะของข้าว และพฤติกรรมในการหุงข้าว แสดงให้เห็นว่าลักษณะประชากรศาสตร์ที่แตกต่างกันมีผลต่อความคิดเห็นที่แตกต่างกัน เพราะฉะนั้นสามารถนำเอากลยุทธ์ทางการตลาดต่างๆมาใช้ เพื่อกระตุ้นให้เกิดการซื้อขายผลิตภัณฑ์ หรือการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีคุณลักษณะตรงตามความต้องการของผู้บริโภคในแต่ละกลุ่มได้ตามปัจจัยที่ผู้บริโภคกลุ่มนั้นๆ ให้ความสำคัญระดับความคิดเห็น

ตารางที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างเพศ กับค่าเฉลี่ยระดับความคิดเห็นของปัจจัยด้านต่างที่มีต่อพฤติกรรมในการเลือกซื้อ คุณลักษณะของข้าว และพฤติกรรมในการหุงข้าว

ความคิดเห็นต่อปัจจัยด้านต่างๆ	เพศ		t	p-value
	ชาย (n = 124)	หญิง (n = 126)		
<u>พฤติกรรมในการเลือกซื้อข้าวสาร</u>				
ประเภทของข้าวช่วยในการตัดสินใจซื้อ	4.50	4.65	-1.261	0.082
สีของข้าวไม่ช่วยในการตัดสินใจซื้อ	4.50	4.65	-1.261	0.082
เลือกซื้อข้าวที่เต็มเมล็ดมากกว่าเมล็ดหัก	4.30	4.51	-1.448	0.179
ราคาไม่ช่วยในการตัดสินใจซื้อ	2.43	2.45	-0.100	0.416
โปรโมชั่นไม่ช่วยในการตัดสินใจซื้อ	2.98	2.91	0.334	0.358
ขนาดบรรจุภัณฑ์ช่วยในการตัดสินใจซื้อ	3.52	3.55	-0.215	0.305
เลือกซื้อข้าวที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่สะอาด	4.67	4.60	0.622	0.385
<u>คุณลักษณะของข้าวหุงสุก (ข้าวสวย)</u>				
สีข้าวของข้าวหุงสุกไม่ได้บ่งบอกถึงคุณภาพ	2.65	2.58	-2.031	0.890
ข้าวหุงสุกที่ดีไม่ควรมีการแตกหักของเมล็ด	3.85	4.18	-2.031	0.890
ชอบข้าวหุงสุกที่เต็มเมล็ด	4.48	4.52	-0.371	0.041*
ข้าวหุงสุกที่ดีควรมีความร่วน	3.78	3.60	1.029	0.090
ข้าวหุงสุกที่ดีควรมีกลิ่นหอม	4.26	4.35	-0.688	0.942
ยอมรับข้าวหุงสุกที่มีกลิ่นแปลกปลอม	2.04	1.94	0.586	0.401
ข้าวหุงสุกที่ดีต้องเหนียวติดกัน	3.00	3.32	-1.976	0.192
ชอบข้าวหุงสุกที่มีรสหวานเมื่อเคี้ยว	3.65	4.05	-3.039	0.000
ชอบข้าวหุงสุกที่เหนียวเมื่อเคี้ยว	3.24	3.54	-1.652	0.374
ชอบข้าวหุงสุกที่แข็ง	2.07	1.80	1.494	0.529
<u>พฤติกรรมในการหุงข้าว</u>				
วิธีในการหุงข้าวไม่ส่งผลต่อเนื้อสัมผัส	2.74	2.43	1.537	0.943
การหุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้าสามารถอุ่นได้	4.19	4.15	0.245	0.217
ต้องการความรวดเร็วจะหุงด้วยไมโครเวฟ	2.39	2.54	-0.751	0.816
การหุงข้าวแบบแช่น้ำง่าย และสะดวก	2.31	2.26	0.281	0.009*
การหุงข้าวด้วยวิธีการนึ่งเป็นวิธีการที่สะดวก	2.43	2.25	1.082	0.708

หมายเหตุ * หมายถึง มีความแตกต่างที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุ กับค่าเฉลี่ยระดับความคิดเห็นของปัจจัยด้านต่างที่มีต่อพฤติกรรมในการเลือกซื้อ คุณลักษณะของข้าว และพฤติกรรมในการหุงข้าว

ความคิดเห็นต่อปัจจัยด้านต่างๆ	อายุ				F	p-value
	< 21 ปี	21-30 ปี	31-40 ปี	> 40 ปี		
	(n = 54)	(n = 65)	(n = 59)	(n = 72)		
พฤติกรรมในการเลือกซื้อข้าวสาร						
ประเภทของข้าวช่วยในการตัดสินใจซื้อ	4.50	4.65	4.37	4.39	2.122	0.098
สีของข้าวไม่ช่วยในการตัดสินใจซื้อ	2.89	2.43	3.08	2.88	3.486	0.016*
เลือกซื้อข้าวที่เต็มเมล็ดมากกว่าเมล็ดหัก	4.30	4.51	4.59	4.36	1.819	0.144
ราคาไม่ช่วยในการตัดสินใจซื้อ	2.43	2.45	2.61	3.07	4.044	0.008*
โปรโมชันไม่ช่วยในการตัดสินใจซื้อ	2.98	2.91	3.22	3.35	2.050	0.107
ขนาดบรรจุภัณฑ์ช่วยในการตัดสินใจซื้อ	3.52	3.55	3.73	3.69	0.684	0.563
เลือกซื้อข้าวที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่สะอาด	4.67	4.60	4.68	4.61	0.229	0.876
คุณลักษณะของข้าวหุงสุก (ข้าวสวย)						
สีข้าวของข้าวหุงสุกไม่ได้บ่งบอกถึงคุณภาพ	2.65	2.58	2.68	2.88	0.866	0.459
ข้าวหุงสุกที่ดีไม่ควรมีการแตกหักของเมล็ด	3.85	4.18	3.88	4.08	1.849	0.139
ชอบข้าวสวยที่มีลักษณะเต็มเมล็ด	4.48	4.52	4.42	4.40	0.479	0.697
ข้าวหุงสุกที่ดีควรมีความร่วน	3.78	3.60	3.46	2.92	8.200	0.000*
ข้าวหุงสุกที่ดีควรมีกลิ่นหอม	4.26	4.35	4.41	4.19	0.954	0.415
ยอมรับข้าวสวยที่มีกลิ่นแปลกปลอม	2.04	1.94	1.73	1.54	4.109	0.007*
ข้าวสวยที่ดีเมื่อหุงแล้วจะต้องเหนียวติดกัน	3.00	3.32	2.90	2.86	2.869	0.037*
ชอบข้าวสวยที่มีรสหวานเมื่อเคี้ยว	3.65	4.05	3.53	3.76	3.889	0.010*
ชอบข้าวสวยที่เหนียว	3.24	3.54	3.03	3.17	2.557	0.056
ชอบข้าวสวยที่แข็ง	2.07	1.80	1.92	1.82	0.920	0.432
พฤติกรรมในการหุงข้าว						
วิธีการหุงข้าวไม่ส่งผลต่อเนื้อสัมผัส	2.74	2.43	2.88	3.11	5.144	0.002*
การหุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้าสามารถอุ่นได้	4.19	4.15	4.27	4.29	0.591	0.622
ต้องการความรวดเร็วจะหุงด้วยไมโครเวฟ	2.39	2.54	2.39	2.54	0.381	0.767
การหุงข้าวแบบแช่น้ำง่าย และสะดวก	2.31	2.26	2.42	2.21	0.471	0.703
การหุงข้าวด้วยวิธีการนึ่งเป็นวิธีการที่สะดวก	2.43	2.25	2.56	2.75	3.071	0.028*

หมายเหตุ * หมายถึง มีความแตกต่างที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างรายได้ กับค่าเฉลี่ยระดับความคิดเห็นของปัจจัยด้านต่างที่มีต่อพฤติกรรมในการเลือกซื้อ คุณลักษณะของข้าว และพฤติกรรมในการหุงข้าว

ความคิดเห็นต่อปัจจัยด้านต่างๆ	รายได้		t	p-value
	≤10,000 บาท (n = 126)	>10,000 บาท (n = 124)		
<u>พฤติกรรมในการเลือกซื้อข้าวสาร</u>				
ประเภทของข้าวช่วยในการตัดสินใจซื้อ	4.40	4.55	-1.628	0.048*
สีของข้าวไม่ช่วยในการตัดสินใจซื้อ	2.81	2.81	-0.033	0.719
เลือกซื้อข้าวที่เต็มเมล็ดมากกว่าเมล็ดหัก	4.37	4.52	-1.545	0.108
ราคาไม่ช่วยในการตัดสินใจซื้อ	2.56	2.76	-1.235	0.017*
โปรโมชั่นไม่ช่วยในการตัดสินใจซื้อ	2.98	3.27	-1.920	0.384
ขนาดบรรจุภัณฑ์ช่วยในการตัดสินใจซื้อ	3.52	3.73	-1.726	0.360
เลือกซื้อข้าวที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่สะอาด	4.57	4.70	-1.614	0.054
<u>คุณลักษณะของข้าวหุงสุก (ข้าวสวย)</u>				
สีข้าวของข้าวหุงสุกไม่ได้บ่งบอกถึงคุณภาพ	2.69	2.72	-0.193	0.250
ข้าวหุงสุกที่ดีไม่ควรมีการแตกหักของเมล็ด	3.90	4.13	-1.997	0.830
ชอบข้าวสวยที่มีลักษณะเต็มเมล็ด	4.45	4.46	-0.090	0.969
ข้าวหุงสุกที่ดีควรมีความร่วน	3.49	3.32	1.221	0.550
ข้าวหุงสุกที่ดีควรมีกลิ่นหอม	4.29	4.31	-0.290	0.372
ยอมรับข้าวสวยที่มีกลิ่นแปลกปลอม	1.90	1.69	1.817	0.986
ข้าวสวยที่ดีเมื่อหุงแล้วจะต้องเหนียวติดกัน	3.05	2.99	0.433	0.888
ชอบข้าวสวยที่มีรสหวานเมื่อเคี้ยว	3.81	3.70	0.941	0.007*
ชอบข้าวสวยที่เหนียว	3.25	3.25	-0.029	0.485
ชอบข้าวสวยที่แข็ง	1.91	1.87	0.330	0.343
<u>พฤติกรรมในการหุงข้าว</u>				
วิธีในการหุงข้าวไม่ส่งผลต่อเนื้อสัมผัส	2.71	2.89	-1.295	0.119
การหุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้าสามารถอุ่นได้	4.21	4.24	-0.314	0.533
ต้องการความรวดเร็วจะหุงด้วยไมโครเวฟ	2.51	2.44	0.517	0.940
การหุงข้าวแบบแช่น้ำง่าย และสะดวก	2.44	2.15	2.242	0.006*
การหุงข้าวด้วยวิธีการนึ่งเป็นวิธีการที่สะดวก	2.44	2.56	-0.939	0.575

หมายเหตุ * หมายถึง มีความแตกต่างที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. ตรวจสอบคุณภาพของข้าวสาร

2.1 ศึกษาคุณภาพทางเคมีของข้าวสาร

ความชื้นเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญในการพิจารณาคุณภาพของข้าว หลักการของการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น คือ การระเหยน้ำออกจากตัวอย่างให้กลายเป็นไอน้ำจนข้าวนั้นมีน้ำหนักคงที่ น้ำหนักที่หายไปหลังการอบ คือ ปริมาณความชื้นในตัวอย่างข้าว จากการวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นพบว่า ตัวอย่างแป้งข้าวทั้ง 6 พันธุ์ มีความชื้นประมาณร้อยละ 10-12 และไม่มีมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) แสดงดังตารางที่ 13

การวิเคราะห์หาปริมาณแอมิโลส สามารถตรวจวิเคราะห์จากปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างแป้งข้าวที่ละลายในสารละลาย โดยปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างให้พอเหมาะ โดยทั่วไปในแป้งข้าวเจ้าจะมีแอมิโลสปนอยู่ประมาณ 10-34% ปริมาณแอมิโลสเป็นสาเหตุทำให้ข้าวสุกมีความเหนียวลดลง หรือร้อนมากขึ้น และทำให้ข้าวนุ่มน้อยลงด้วย (งามชื่น, 2546) จากการศึกษา พบว่าข้าวทั้ง 6 พันธุ์ มีปริมาณแอมิโลสที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) เมื่อจำแนกข้าว

ตารางที่ 13 ปริมาณความชื้น แอมิโลส และโปรตีนของข้าวพันธุ์ต่างๆ

หน่วย : ร้อยละน้ำหนักแห้ง

พันธุ์ข้าว	ความชื้น	แอมิโลส	โปรตีน
แอมิโลสดำ*			
KDML 105	10.60±0.07 a	18.07±0.17 d	5.97±0.02 e
RD 15	11.67±0.02 a	17.22±0.55 e	7.43±0.04 b
PTT 1	11.38±0.03 a	18.58±0.63 d	6.23±0.04 cd
แอมิโลสสูง			
CNT 1	10.14±0.02 a	32.78±0.24 b	6.12±0.08 de
SPB 1	10.41±0.05 a	31.78±0.19 c	8.18±0.22 a
PNL 2	10.94±0.03 a	33.76±0.46 a	6.41±0.04 c

หมายเหตุ * จำแนกกลุ่มตามปริมาณแอมิโลส (งามชื่น, 2545)

ตัวอักษร a-e ที่ต่างกันในแต่ละแถว หมายถึงค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$)

ตามปริมาณแอมิโลสของงามขึ้น (2545) พบว่า KDML 105, RD 15 และ PTT 1 จัดเป็นข้าวในกลุ่มข้าวแอมิโลสต่ำ สำหรับ CNT 1, SPB 1 และ PNL 2 จัดเป็นข้าวในกลุ่มข้าวแอมิโลสสูง การศึกษาดังกล่าว ข้าวแต่ละกลุ่มจะมีคุณภาพการหุงต้มแตกต่างกัน โดยข้าวแอมิโลสต่ำข้าวสุกจะเหนียวนุ่ม ส่วนข้าวแอมิโลสสูงข้าวสุกจะร่วนและแข็ง ดังนั้นการวิเคราะห์ปริมาณแอมิโลส สามารถคาดเดาคุณภาพของข้าวสุกแต่ละพันธุ์ได้ แต่ทั้งนี้ปริมาณแอมิโลสที่วิเคราะห์ได้ อาจเกิดความแปรปรวนซึ่งมีสาเหตุมาจากพื้นที่เพาะปลูก โดยข้าวพันธุ์เดียวกันที่ปลูกในพื้นที่ต่างกันอาจมีความแปรปรวนของปริมาณแอมิโลสได้ถึงร้อยละ 6 (งามขึ้น และคณะ, 2545)

สำหรับปริมาณโปรตีนนั้น พบว่าข้าวทั้ง 6 พันธุ์ มีปริมาณโปรตีนที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยโปรตีนจัดเป็นองค์ประกอบทางเคมีที่มีความสำคัญต่อคุณภาพของข้าว ข้าวที่มีปริมาณโปรตีนสูงจะมีเนื้อสัมผัสที่แข็งกว่าข้าวที่มีปริมาณโปรตีนต่ำ และข้าวที่มีปริมาณโปรตีนสูงจะดูดซึมน้ำได้ช้ากว่า (งามขึ้น และคณะ, 2536) โดยข้าวสุกจะมีความนุ่มลดลงเมื่อเมล็ดข้าวมีโปรตีนถึงร้อยละ 10 และหากมีโปรตีนสูงถึง ร้อยละ 12 ความเหนียวของข้าวจะลดลงด้วย ทั้งนี้ปริมาณโปรตีนขึ้นอยู่กับระดับการขัดสีหรือสภาพแวดล้อมในการปลูกข้าวด้วย แสดงให้เห็นว่าการใช้การวิเคราะห์ทางเคมีเพียงอย่างเดียวอาจไม่สามารถชี้ให้เห็นถึงลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุกได้แน่นอน ดังนั้นจึงต้องใช้วิธีการอื่นๆ เช่น การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส การวัดการเปลี่ยนแปลงความหนืดมาใช้ร่วมด้วยเพื่อให้ได้ผลที่ถูกต้องมากขึ้น (งามขึ้น และคณะ, 2531)

ทั้งนี้การพิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อคุณลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุกต้องพิจารณาจากปริมาณแอมิโลสเป็นอันดับแรก ต่อเมื่อข้าวต่างพันธุ์มีปริมาณแอมิโลสใกล้เคียงกันอิทธิพลของโปรตีนจึงจะแสดงออก โดยมีผลทำให้ข้าวแข็งกระด้างขึ้น ทั้งนี้ต้องพิจารณาว่าเป็นข้าวพันธุ์ใด เช่น RD 15 จัดเป็นข้าวแอมิโลสต่ำ ข้าวสวยเป็นข้าวเหนียวแม้โปรตีนสูงขึ้นจะส่งผลให้ข้าวสุกกระด้างจากเดิมแต่ยังจัดเป็นข้าวเหนียว สำหรับ CNT 1 จัดเป็นข้าวแอมิโลสสูง ข้าวสุกร่วนแข็งแม้โปรตีนจะต่ำข้าวสุกก็ไม่สามารถนุ่มได้ จากตารางที่ 13 KDML 105 มีปริมาณแอมิโลสใกล้เคียงกับ PTT 1 แต่เมื่อพิจารณาปริมาณโปรตีน พบว่า PTT 1 มีโปรตีนมากกว่า จึงมีแนวโน้มว่าจะได้ข้าวสุกที่แข็งกว่า KDML 105

2.2 ศึกษาคุณภาพทางกายภาพของข้าวสาร

การยืดตัวของเมล็ดข้าว และการหาอัตราการขยายปริมาตร นับเป็นวิธีหนึ่งในการตรวจสอบคุณภาพการหุงต้มของข้าวพันธุ์ต่างๆ จากการศึกษา (ตารางที่ 14) พบว่าข้าวทั้ง 6 พันธุ์ มีอัตราการยืดตัว น้อยกว่า 1.9 แสดงว่าเป็นข้าวที่มีการยืดตัวปกติ (ละม้าย, 2530) โดยข้าวที่มีแอมิโลสสูงจะมีอัตราการยืดตัวของเมล็ดมากกว่าข้าวที่มีแอมิโลสต่ำ โดย PNL 2 จะมีอัตราการยืดตัวของเมล็ดสูงที่สุด คือ 1.58 แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) กับ PTT 1 ซึ่งมีอัตราการยืดตัวของเมล็ดเท่ากับ 1.54 ในขณะที่ข้าวพันธุ์อื่นๆมีอัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าวสุกใกล้เคียงกัน โดยการยืดตัวของเมล็ดข้าวมีผลมาจากการดูดซึมน้ำของเมล็ดข้าว ซึ่งช่วยให้เมล็ดข้าวสุกขยายขนาดเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะด้านยาว คุณลักษณะนี้เป็นคุณภาพพิเศษของข้าวบางพันธุ์ ซึ่งจะส่งเสริมให้เมล็ดข้าวสุกขยายขนาดเพิ่มขึ้น และหากเมล็ดข้าวสุกเป็นข้าวที่ไม่เหนียวติดกัน การขยายขนาดเมล็ดข้าวสุกจะช่วยให้ข้าวขึ้นหม้อดียิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยให้ข้าวนุ่มมากขึ้น เพราะการขยายตัวทำให้เนื้อข้าวโปร่งขึ้น ไม่อัดกันแน่น (งามชื่น, 2545) การที่เมล็ดขยายตัวได้มากทำให้เนื้อในโปร่งขึ้น ไม่อัดแน่น และ KDML 105 ก็มีการยืดตัวดี ทำให้ข้าวสุกน่ารับประทาน แต่เนื่องจากเป็นข้าวแอมิโลสต่ำ ข้าวสุกจะเหนียวนุ่มติดกัน จึงทำให้ไม่ขึ้นหม้อ (ละม้ายมาศ, 2541)

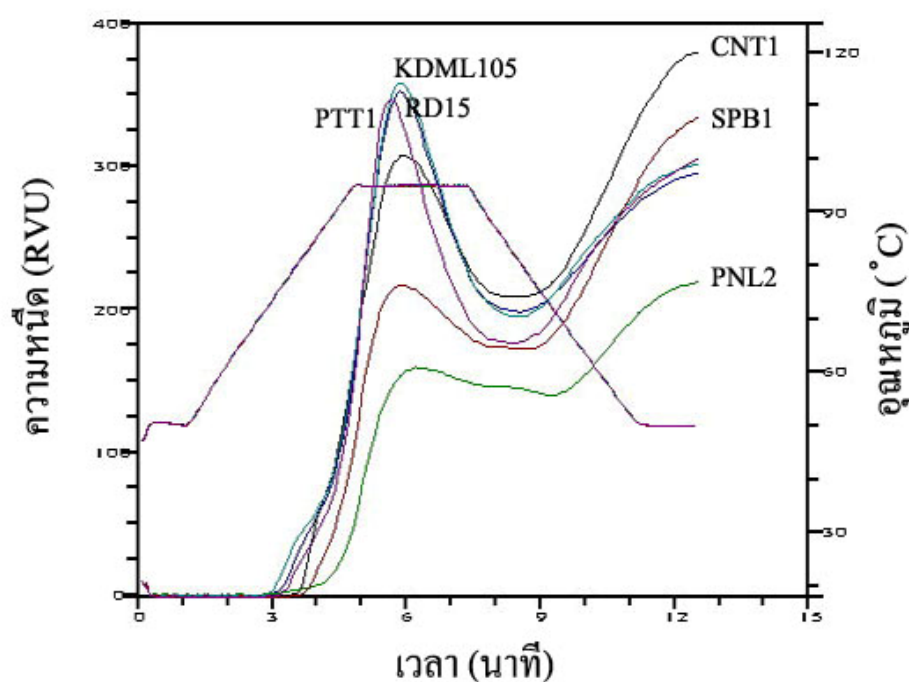
ตารางที่ 14 การยืดตัวของเมล็ด และอัตราการขยายปริมาตรของข้าว

พันธุ์ข้าว	การยืดตัวของเมล็ด	อัตราการขยายปริมาตร
แอมิโลสต่ำ		
KDML105	1.49±0.04 bc	1.33±0.06 d
RD15	1.46±0.04 c	1.39±0.04 c
PTT1	1.54±0.05 ab	1.48±0.04 b
แอมิโลสสูง		
CNT 1	1.42±0.01 c	1.38±0.05 cd
SPB 1	1.49±0.04 bc	1.50±0.06 ab
PNL 2	1.58±0.06 a	1.54±0.06 a

หมายเหตุ ตัวอักษร a-c ที่ต่างกันในแนวดิ่ง หมายถึงค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

การขยายปริมาตรของข้าวสุกทั้ง 6 พันธุ์ พบว่าข้าวทั้ง 6 พันธุ์ มีอัตราการขยายปริมาตรแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดย PNL 2 และ SPB 1 มีอัตราการขยายปริมาตรสูงสุด คือ 1.54 และ 1.50 ตามลำดับ แต่ SPB 1 มีอัตราการขยายปริมาตรที่ไม่แตกต่างกับ PTT 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) อัตราการขยายปริมาตรของเมล็ดข้าวสุก ทำให้ข้าวหุงสุกที่ได้ มีลักษณะร่วนฟู ไม่เหนียวติดกัน หรือเรียกว่าข้าวขึ้นหม้อ (งามชื่น, 2545) นั่นเอง โดยปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการขยายปริมาตรของเมล็ดข้าวสุก ได้แก่ ความชื้นของเมล็ด และระดับการขัดสี Park *et al.* (2001) พบว่าที่ระดับการขัดสีสูงเมล็ดจะดูดน้ำได้มาก เพราะการขัดสีในระดับสูงจะทำให้ไขมัน โปรตีน และเกลือแร่ที่อยู่บริเวณส่วนนอกของเมล็ดสูญเสียไปทำให้เมล็ดสามารถดูดน้ำเข้าไปแทนที่ได้มากขึ้น นอกจากนี้สภาวะการทำแห้งและอายุการเก็บรักษาก็มีผลต่อการขยายปริมาตรของข้าวสุก

การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้ง มีความสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงทางด้านกายภาพ ซึ่งจะมีคุณสมบัติเฉพาะตัวและแตกต่างไปตามชนิดและสายพันธุ์ (กล้าณรงค์ และคณะ, 2539) โดยผลที่ได้จากการวัดค่าสามารถนำมาอธิบายการเปลี่ยนแปลงทางด้านความหนืดของแป้งได้ แสดงดังภาพที่ 9 และตารางที่ 15



ภาพที่ 9 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวพันธุ์ต่างๆ

ตารางที่ 15 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวพันธุ์ต่างๆ

(หน่วย : RVU)

พันธุ์ข้าว	ความหนืด สูงสุด	ความหนืด ต่ำสุด	ความหนืด ลดลง	ความหนืด สุดท้าย	การคืน ตัวกลับ
แอมิโลสต่ำ					
KDML105	346.97±2.66 a	194.92±5.84 b	152.06±4.40 b	295.83±3.25 d	100.92±4.65 e
RD15	343.28±2.17 ab	185.31±8.16 bc	157.97±6.86 ab	296.78±4.30 d	111.47±3.86 d
PTT1	341.42±1.77 b	177.50±7.52 c	162.36±5.09 a	309.04±1.00 c	129.75±4.55 c
แอมิโลสสูง					
CNT1	289.61±6.71 c	220.36±8.54 a	69.25±8.60 c	367.56±9.70 a	147.20±3.94 b
SPB1	212.04±2.77 d	163.83±4.28 d	50.63±4.07 d	337.75±2.59 b	174.34±4.42 a
PNL2	160.39±1.55 e	141.39±1.79 e	19.00±0.87 e	229.97±1.33 e	88.59±0.85 f

หมายเหตุ ตัวอักษร a-f ที่ต่างกันในแต่ละแถว หมายถึงค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

โดยปกติโมเลกุลของแป้งยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน มีสมบัติที่ชอบน้ำ (hydrophilic) เม็ดแป้งจะอยู่ในรูปของโครงสร้างร่างแหที่แข็งแรงทำให้ละลายได้ยากในน้ำเย็น ดังนั้นสารแขวนลอยน้ำแป้งจะไม่ละลายในน้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่า 50 องศาเซลเซียส เมื่อให้ความร้อนกับสารละลายน้ำแป้ง พันธะไฮโดรเจนจะคลายตัวลง เม็ดแป้งจะดูดน้ำและพองตัว ส่วนผสมของน้ำแป้งจะมีความหนืดและใสขึ้น เนื่องจากโมเลกุลของน้ำอิสระที่อยู่รอบๆ เม็ดแป้งเหลือน้อยลง เม็ดแป้งเคลื่อนไหวย้ายขึ้นทำให้เกิดความหนืด ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การเกิดเจลลิตไนเซชัน (gelatinization) ในขณะที่เม็ดแป้งพองตัวขึ้น ความหนืดจะเพิ่มมากขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น และมีการกวนอย่างต่อเนื่อง เม็ดแป้งจะพองตัวเต็มที่ ทำให้เม็ดแป้งถูกทำลาย และโมเลกุลของแอมิโลสจะหลุดออกมาในจุดที่เรียกว่า ความหนืดสูงสุด ซึ่งมีความสัมพันธ์กับคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้าย และเป็นค่าที่บอกถึงความสามารถของแป้งในการจับตัวกับน้ำ และแรงที่ต้องใช้ในการกวนหรือผสมในอาหาร (Newport Scientific, 1995) จากตารางที่ 15 พบว่า KDML 105 และ RD 15 มีความหนืดสูงสุดสูงที่สุดคือ 346.97 RVU และ 343.28 RVU ตามลำดับ และ SPB 1 มีความหนืดสูงสุดต่ำที่สุด คือ 212.04 RVU แสดงว่าข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำมีความสามารถในการดูดน้ำ และพองตัวได้มากกว่าข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสสูง เมื่อแป้งได้รับความร้อนต่อไป ทำให้เม็ดแป้งพองตัวมากขึ้น จนถึงจุดที่พองตัวเต็มที่และแตกออก โมเลกุลของแอมิโลสขนาดเล็กจะกระจายออกมาทำให้ความหนืดลดลง ข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำจะมีความหนืดลดลงที่สูงกว่าข้าวที่มีปริมาณ

แอมิโลสสูง เมื่อความหนืดลดลงจนระดับที่มีความหนืดต่ำสุด ข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำมีแนวโน้มจะมีความหนืดต่ำสุดที่ต่ำกว่าข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสสูง เมื่อปล่อยให้แป้งเย็นตัวโมเลกุลของแอมิโลส ที่อยู่ใกล้กันจะเกิดการจับเรียงตัวกันใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล เกิดเป็นร่างแหสามมิติโครงสร้างใหม่ที่สามารถอุ้มน้ำและไม่มีการควบแน่นเข้ามาอีก ทำให้มีความหนืดคงตัวมากขึ้น เกิดลักษณะเจลเหนียว คล้ายฟิล์มหรือผลึก เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) หรือการคืนตัว (กล้านรงค์ และคณะ, 2539) ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นอีกครั้ง เห็นได้ว่าข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสสูงมีการคืนตัวได้สูงกว่าข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำ แสดงว่าข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสสูงสามารถเกิดรีโทรเกรเดชันได้มากกว่าข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำ เนื่องจากโมเลกุลแอมิโลเพกทินสามารถเกิดรีโทรเกรเดชันได้โดยเกิดจากการรวมตัวกันของกิ่งที่สั้น และใช้เวลาในการเกิดนานกว่าแอมิโลส (Jane and Royby, 1984) การเกิดรีโทรเกรเดชันทำให้ข้าวสุกที่ได้แข็งขึ้น (อรอนงค์, 2547) หลังจากที้นำแป้งเย็นตัวลงจนถึงอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จะได้ค่าความหนืดสุดท้าย โดยข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสสูงจะมีความหนืดสุดท้ายที่สูงกว่าข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำ

3. การตรวจสอบคุณภาพของข้าวหุงสุก

3.1 การตรวจสอบคุณภาพทางเคมี และคุณภาพทางกายภาพ

3.1.1 ปริมาณความชื้นโดยวิธีอบแห้ง

การตรวจสอบคุณภาพทางเคมี โดยการหาปริมาณความชื้นด้วยวิธีอบแห้ง (A.O.A.C., 2000) ของข้าวหุงสุกพันธุ์ต่างๆที่หุงต้มด้วยวิธีการต่าง ๆ กัน จากการศึกษา (ตารางที่ 16) พบว่าข้าวแอมิโลสสูงมีปริมาณความชื้นที่มากกว่าข้าวแอมิโลสต่ำ อาจเนื่องจากการในหุงต้มข้าวแอมิโลสสูงซึ่งเป็นข้าวชนิดรวนแห้ง จะใส่น้ำในการหุงต้มที่มากกว่าข้าวแอมิโลสต่ำ ซึ่งส่งผลให้ข้าวมีปริมาณความชื้นที่มากกว่า สำหรับวิธีการหุงต้ม พบว่าการนึ่งเป็นวิธีการหุงต้มที่ทำให้ข้าวมีปริมาณความชื้นมากที่สุด เนื่องจากการนึ่งเป็นการทำให้แป้งในข้าวเกิดการละลายในซ้ด้วยไอน้ำร้อน ซึ่งการใช้ไอน้ำเป็นวิธีการให้ความร้อนที่ไม่ต้องเอาความชื้นออกจากข้าว และยังเพิ่มความชื้นด้วยการควบแน่นของไอน้ำซึ่งจะเพิ่มปริมาตรความชื้นทั้งหมดในข้าว แต่วิธีการนึ่งก็เป็นวิธีการหุงต้มที่ทำให้ข้าวหุงสุกมีปริมาณความชื้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) กับข้าวที่หุงด้วยการหุงแบบแช่น้ำใน KDML 105, PTT 1, RD 15 และ CNT 1 สำหรับการหุงด้วยเครื่องไมโครเวฟทำให้เมล็ดข้าวหุงสุกมีปริมาณความชื้นต่ำที่สุด และแตกต่างกับวิธีการหุงต้มวิธีอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 16 ปริมาณความชื้นของข้าวหุงสุกพันธุ์ต่างๆที่หุงต้มด้วยวิธีการต่างกัน 4 วิธี

พันธุ์ข้าว	วิธีการหุงต้ม			
	หม้อหุงข้าวไฟฟ้า	การนึ่ง	หุงแบบเช็ดน้ำ	ไมโครเวฟ
<u>แอมิโลสต่ำ</u>				
KDML 105	61.72±0.36 bC	67.13±0.75 aBC	65.13±0.55 aB	51.10±2.09 cC
RD 15	59.82±0.94 bD	66.07±0.81 aC	64.47±1.06 aBC	55.77±2.00 cAB
PTT 1	59.73±0.75 bD	67.03±0.18 aBC	68.07±1.74 aA	54.50±3.00 cABC
<u>แอมิโลสสูง</u>				
CNT 1	66.41±1.26 aA	67.93±2.15 aB	68.30±1.90 aA	54.07±1.78 bBC
SPB 1	63.89±1.78 bB	67.33±0.45 aBC	63.53±0.96 bC	53.63±0.73 cBC
PNL 2	66.98±0.34 bA	69.73±0.81 aA	66.93±0.36 bA	58.20±1.19 cA

หมายเหตุ ตัวอักษรพิมพ์เล็ก a-c ที่ต่างกันในแนวนอน หมายถึง ค่าเฉลี่ยในข้าวพันธุ์เดียวกันที่มีวิธีการหุงต้มที่ต่างกัน และตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ A-C ที่ต่างกันในแนวดิ่ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยในข้าวพันธุ์ต่างกัน ที่มีวิธีการหุงต้มที่เหมือนกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ตามลำดับ

3.1.2 ค่าสี ในระบบ CIE Lab

การตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพ โดยหาค่าสีจากเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ โดยค่า L^* แสดงถึง ค่าความสว่างของสี ค่า a^* เป็นค่าความเป็นสีแดงและสีเขียว ถ้าค่า a^* เป็นบวก แสดงว่าจะมีความเป็นสีแดง แต่ถ้าค่าเป็นลบแสดงว่าจะมีความเป็นสีเขียว ส่วนค่า b^* เป็นค่า ความเป็นสีเหลือง และสีน้ำเงิน โดยถ้าค่า b^* เป็นบวกแสดงว่าจะมีความเป็นสีเหลือง แต่ถ้าเป็นลบ แสดงว่ามีความเป็นสีน้ำเงิน จากการศึกษา (ตารางที่ 17) พบว่า CNT 1 เป็นข้าวหุงสุกที่มีค่า L^* มากที่สุด แต่มีค่า a^* และ b^* น้อยที่สุด แสดงว่าข้าวหุงสุกพันธุ์นี้มีความสว่างมาก แต่มีความเป็นสีแดง และสีเหลืองน้อย หรืออีกนัยหนึ่ง คือมีความเป็นสีเขียวมาก เนื่องจากค่า a^* ติดลบ ในขณะที่ PNL 2 มีค่า a^* ที่มากที่สุด แสดงว่ามีความเป็นสีเขียวน้อยที่สุด สำหรับข้าวพันธุ์อื่นก็มีค่าสีที่แตกต่างกันออกไป เมื่อพิจารณาวิธีการหุงต้ม พบว่าข้าวแอมิโลสต่ำ การหุงต้มด้วยเครื่องไมโครเวฟ จะมีค่า L^* น้อย

ตารางที่ 17 ค่าสี ในระบบ CIE Lab ของข้าวหุงสุกพันธุ์ต่างๆที่หุงต้มด้วยวิธีการต่างกัน 4 วิธี

พันธุ์ข้าว		วิธีการหุงต้ม			
		หม้อหุงข้าวไฟฟ้า	การนึ่ง	หุงแบบเช็ดน้ำ	ไมโครเวฟ
<u>ค่าความสว่าง (L*)</u>					
แอมิโลสต่ำ	KDML 105	77.23 aB	77.15 aAB	77.20 aAB	75.56 bA
	RD 15	77.28 aB	76.98 aAB	77.42 aAB	74.26 bB
	PTT 1	76.33 aC	76.61 aA	76.54 aBC	73.66 bA
แอมิโลสสูง	CNT 1	78.57 aA	78.04 abAB	77.96 abA	76.33 bA
	SPB 1	77.14 aBC	76.88 abAB	76.16 abC	75.36 bA
	PNL 2	77.71 aB	76.23 abB	76.60 abBC	75.64 bA
<u>ค่าสีแดง-เขียว (a*)</u>					
แอมิโลสต่ำ	KDML 105	-1.95 aC	-2.04 aC	-2.46 bD	-1.96 aB
	RD 15	-1.93 abC	-2.01 bBC	-2.22 cC	-1.85 aB
	PTT 1	-1.74 aA	-1.97 aBC	-2.28 bC	-1.85 aB
แอมิโลสสูง	CNT 1	-2.27 aD	-2.22 aD	-2.56 bD	-2.33 aC
	SPB 1	-1.82 aB	-1.89 aAB	-2.09 bB	-1.84 aAB
	PNL 2	-1.75 bAB	-1.78 bA	-1.95 cA	-1.63 aA
<u>ค่าสีเหลือง-น้ำเงิน (b*)</u>					
แอมิโลสต่ำ	KDML 105	10.74 abA	9.89 bA	8.48 cBC	11.60 aABC
	RD 15	10.11 aB	9.02 cAB	8.76 cAB	11.74 bAB
	PTT 1	10.98 bA	9.83 cA	8.74 dAB	12.29 aA
แอมิโลสสูง	CNT 1	7.72 bD	7.71 bC	7.74 bD	9.76 aD
	SPB 1	9.23 bC	8.61 bB	9.10 bA	10.94 aC
	PNL 2	9.34 bC	8.56 cBC	8.25 cC	11.23 aBC

หมายเหตุ ตัวอักษรพิมพ์เล็ก a-b ที่ต่างกันในแนวนอน หมายถึง ค่าเฉลี่ยในข้าวพันธุ์เดียวกันที่มีวิธีการหุงต้มที่ต่างกัน และตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ A-D ที่ต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยในข้าวพันธุ์ต่างกัน ที่มีวิธีการหุงต้มที่เหมือนกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ตามลำดับ

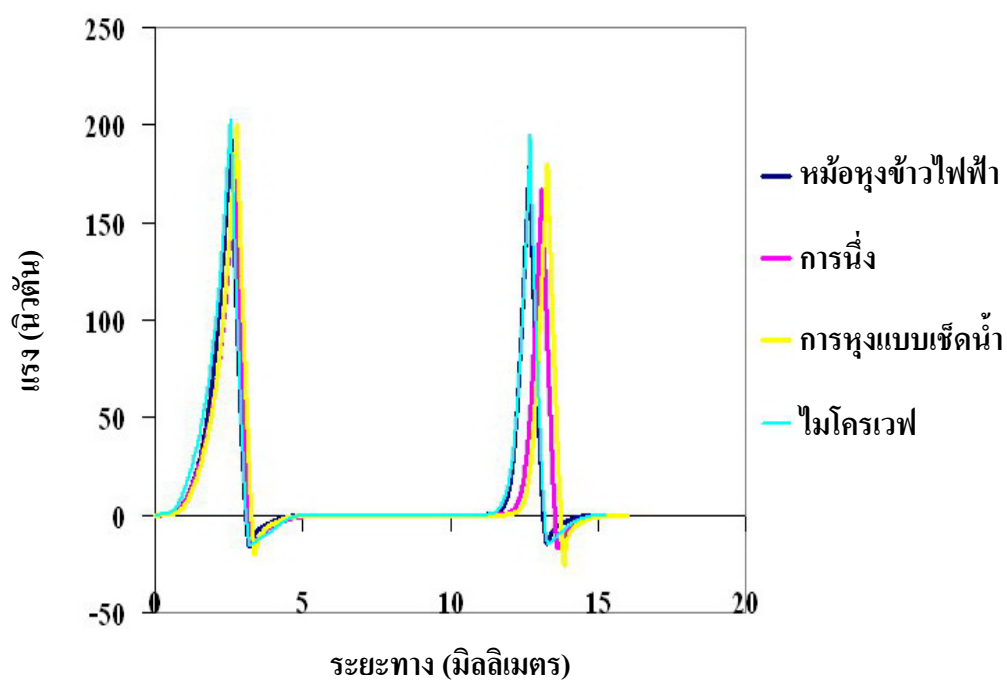
ที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แสดงว่าการหุงต้มด้วยไมโครเวฟ ข้าวจะมีความสว่างที่น้อยกว่าการหุงต้มด้วยวิธีอื่น ข้าวแอมิโลสสูงการหุงต้มด้วยเครื่องไมโครเวฟ จะมีค่า L^* น้อยเช่นเดียวกับข้าวแอมิโลสต่ำ แต่การหุงต้มด้วยวิธีนี้มีค่า L^* ไม่แตกต่างกับข้าวที่หุงต้มด้วยการนึ่ง และการหุงแบบเช็ดน้ำ ค่า b^* พบว่าการหุงต้มด้วยไมโครเวฟ ทำให้ข้าวหุงสุกมีค่า b^* มาก กับข้าวหุงสุกทุกพันธุ์ แสดงว่ามีความเป็นสีเหลืองมาก ยกเว้น RD 15 ที่การหุงต้มด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า ทำให้ข้าวหุงสุกมีความเป็นสีเหลืองมากที่สุด สำหรับค่า a^* พบว่า มีค่าเป็นลบ แสดงว่าข้าวหุงสุกมีความเป็นสีเขียว โดยข้าวหุงสุกที่มีความเป็นสีเขียวมากที่สุด คือข้าวที่หุงต้มด้วยการหุงแบบเช็ดน้ำ

3.1.3 การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส

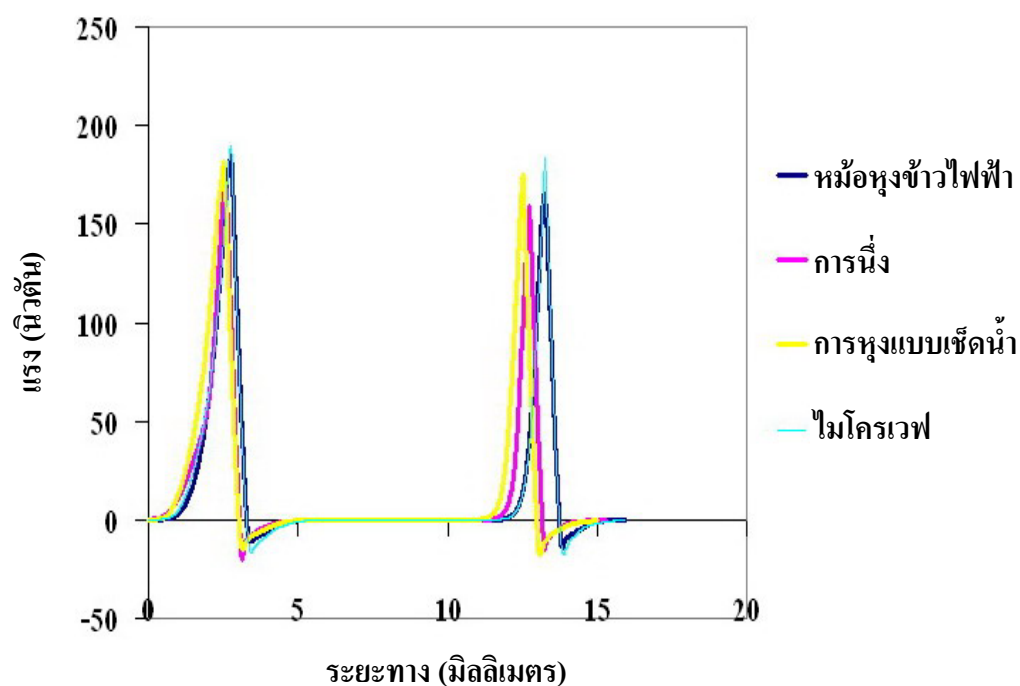
การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุกโดยการใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture analyzer model TA.XT plus) เป็นวิธีที่รวดเร็ว ให้ผลถูกต้อง และแม่นยำในการทดสอบหลายครั้ง (จารนัย, 2538) ดังนั้นจึงใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัสในการตรวจสอบคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุก โดยใช้วิธีการวิเคราะห์สัมผัส ดังนี้

3.1.3.1 วิธีวิเคราะห์เค้าโครงเนื้อสัมผัส (Texture profile analysis: TPA) ซึ่งเป็นวิธีการวัดแบบกด 2 ครั้ง กราฟที่ได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรง (นิวตัน) และระยะทาง (มิลลิเมตร) กราฟเปรียบเทียบระหว่างวิธีการหุงต้มที่แตกต่างกันของข้าวแต่ละพันธุ์ แสดงดังภาพที่ 10 ถึงภาพที่ 15 โดยค่าเนื้อสัมผัสค่าที่ได้จากการวิเคราะห์เค้าโครงเนื้อสัมผัส ได้แก่ ค่าความแข็ง (hardness), การเกาะติดผิว (adhesiveness), การรวมตัวกัน (cohesiveness), ความยืดหยุ่น (springiness), ความเป็นกาวยาง (gumminess) และพลังงานในการเคี้ยว (chewiness) แสดงดังตารางที่ 18

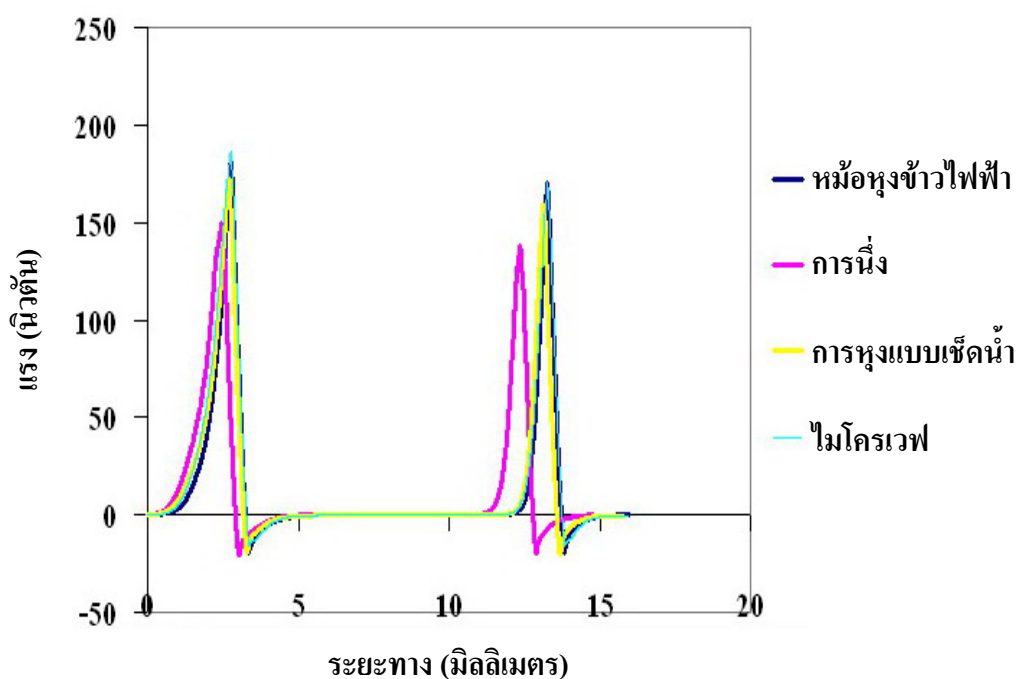
ข้าวแอมิโลสสูงที่หุงต้มด้วยวิธีการเดียวกัน จะมีความแข็งมากกว่าข้าวแอมิโลสต่ำ โดยเฉพาะ SPB 1 และ PNL 2 ที่มีความแข็งมากที่สุด แสดงให้เห็นว่าข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสสูงสามารถเกิดรีโทรเกรเดชันได้มากกว่าข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำ ซึ่งการเกิดรีโทรเกรเดชันนี้มีผลทำให้ข้าวหุงสุกที่ได้แข็งขึ้น (อรอนงค์, 2547) สำหรับวิธีการหุงต้มนั้นมีผลต่อเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุก โดยค่าความแข็งจากการวัดด้วยหลักการวิเคราะห์เค้าโครงเนื้อสัมผัสของข้าวที่หุงต้มด้วยไมโครเวฟ จะมีความแข็งมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่ไม่แตกต่างกับข้าวที่หุงต้มด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้าใน KDML 105, PTT 1 และ SPB 1 สำหรับข้าวที่มีความแข็งน้อยที่สุด คือข้าวที่หุงด้วยการนึ่ง สำหรับ RD 15, CNT 1 และ PNL 2 พบว่าวิธีการหุงต้มไม่มีผลต่อค่าความแข็ง



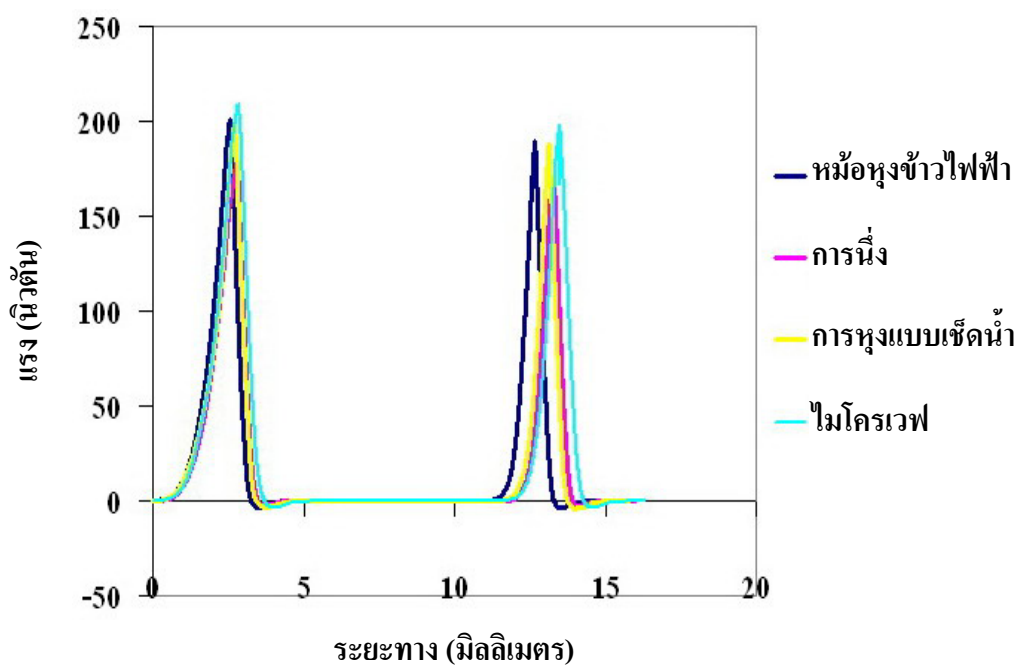
ภาพที่ 10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรง (นิวตัน) และระยะทาง (มิลลิเมตร) เปรียบเทียบวิธีการหุงต้มของข้าว KDML 105 ด้วยวิธีวิเคราะห์ค่าโครงคุณลักษณะเนื้อสัมผัส (TPA)



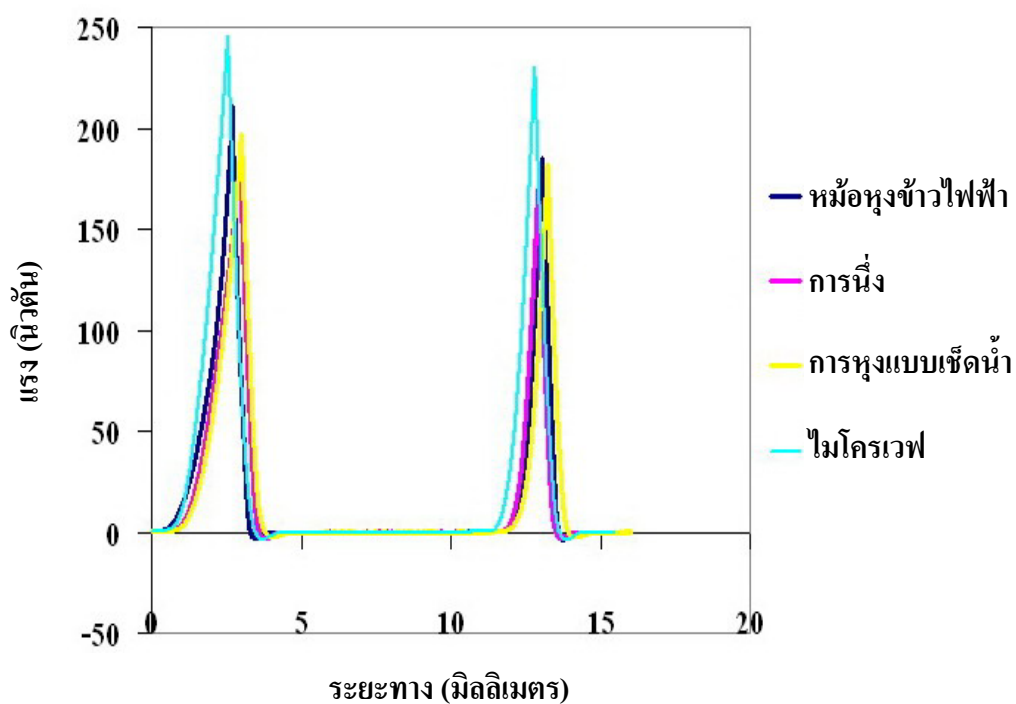
ภาพที่ 11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรง (นิวตัน) และระยะทาง (มิลลิเมตร) เปรียบเทียบวิธีการหุงต้มของข้าว RD 15 ด้วยวิธีวิเคราะห์ค่าโครงคุณลักษณะเนื้อสัมผัส (TPA)



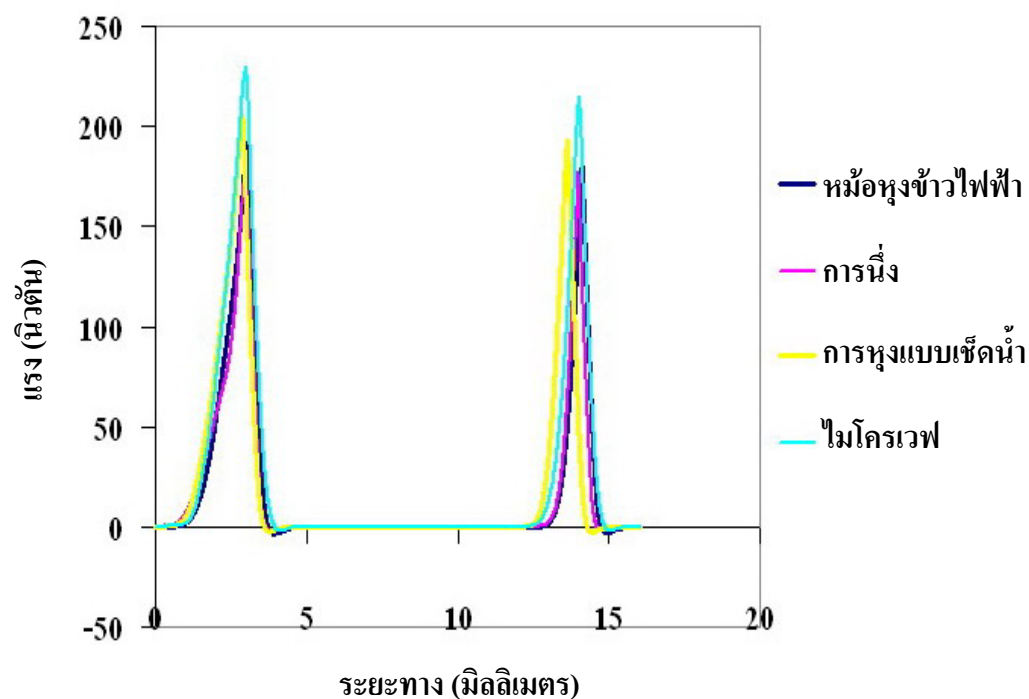
ภาพที่ 12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรง (มิลลิวัตต์) และระยะทาง (มิลลิเมตร) เปรียบเทียบวิธีการหุงต้มของข้าว PTT 1 ด้วยวิธีวิเคราะห์ค่าโครงคุณลักษณะเนื้อสัมผัส (TPA)



ภาพที่ 13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรง (มิลลิวัตต์) และระยะทาง (มิลลิเมตร) เปรียบเทียบวิธีการหุงต้มของข้าว CNT 1 ด้วยวิธีวิเคราะห์ค่าโครงคุณลักษณะเนื้อสัมผัส (TPA)



ภาพที่ 14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรง (มิลลิวัตต์) และระยะทาง (มิลลิเมตร) เปรียบเทียบวิธีการหุงต้มของข้าว SPB 1 ด้วยวิธีวิเคราะห์เค้าโครงคุณลักษณะเนื้อสัมผัส (TPA)



ภาพที่ 15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรง (มิลลิวัตต์) และระยะทาง (มิลลิเมตร) เปรียบเทียบวิธีการหุงต้มของข้าว PNL 2 ด้วยวิธีวิเคราะห์เค้าโครงคุณลักษณะเนื้อสัมผัส (TPA)

ตารางที่ 18 ค่าเนื้อสัมผัสจากการวัดด้วยหลักการวิเคราะห์เก้าโครงเนื้อสัมผัส (TPA) ของข้าว
หุงสุกพันธุ์ต่างๆที่หุงต้มด้วยวิธีการต่างกัน 4 วิธี

พันธุ์ข้าว	วิธีการหุงต้ม			
	หม้อหุงข้าวไฟฟ้า	การนึ่ง	หุงแบบเช็ดน้ำ	ไมโครเวฟ
<u>ความแข็ง (N)</u>				
แอมิโลสต่ำ KDML 105	179.89 abB	168.46 bB	182.24 abAB	195.30 aBC
RD 15	182.84 aB	169.49 aB	181.26 aAB	186.09 aC
PTT 1	179.75 aC	149.89 bC	170.93 abB	185.15 aC
แอมิโลสสูง CNT 1	200.66 aAB	178.62 aAB	198.46 aAB	207.70 aABC
SPB 1	211.23 abA	189.54 bA	199.67 bA	246.29 aA
PNL 2	190.41 aAB	180.33 aAB	204.58 aA	229.21 aAB
<u>การเกาะติดผิว (N.m)</u>				
แอมิโลสต่ำ KDML 105	10,042.44 aA	10,370.72 aA	9,750.65 aA	12,296.22 aA
RD 15	11,221.81 aA	9,896.73 aA	8,989.80 aA	12,417.63 aA
PTT 1	11,033.81 aB	8,010.39 aB	8,996.80 aA	10,425.63 aA
แอมิโลสสูง CNT 1	2,024.42 bC	1,115.38 cC	2,647.76 aB	2,077.12 bB
SPB 1	1,889.60 aC	1,550.63 abC	1,044.31 bC	1,754.08 aB
PNL 2	1,613.52 aC	1,198.17 bC	1,128.45 bBC	1,054.07 bB
<u>การเกาะรวมตัวกัน (-)</u>				
แอมิโลสต่ำ KDML 105	0.63 aBC	0.58 bBC	0.60 bB	0.62 aC
RD 15	0.63 aB	0.58 bB	0.60 bB	0.64 aC
PTT 1	0.64 aCD	0.56 bCD	0.59 bB	0.65 aBC
แอมิโลสสูง CNT 1	0.67 bA	0.61 cA	0.63 bcA	0.74 aA
SPB 1	0.63 bD	0.56 cD	0.63 bA	0.70 aAB
PNL 2	0.57 bcE	0.54 cE	0.59 bB	0.72 aA
<u>ความยืดหยุ่น (-)</u>				
แอมิโลสต่ำ KDML 105	0.74 aA	0.70 aA	0.69 aA	0.72 aA
RD 15	0.73 aA	0.66 aAB	0.69 aA	0.74 aA
PTT 1	0.68 aAB	0.59 aC	0.61 aB	0.71 aA
แอมิโลสสูง CNT 1	0.70 bAB	0.64 cBC	0.66 bcAB	0.77 aA
SPB 1	0.69 abAB	0.63 bBC	0.68 abA	0.75 aA
PNL 2	0.67 aB	0.63 aBC	0.69 aA	0.74 aA

ตารางที่ 18 (ต่อ)

พันธุ์ข้าว	วิธีการหุงต้ม			
	หม้อหุงข้าวไฟฟ้า	การนึ่ง	หุงแบบเช็ดน้ำ	ไมโครเวฟ
<u>ความเหนียวเป็นกาว (N)</u>				
แอมิโลสต่ำ KDML 105	113.62 abB	97.00 cB	109.38 bAB	121.59 aA
RD 15	115.51 abB	98.68 cB	108.44 bAB	118.59 aB
PTT 1	114.47 abB	83.75 cC	100.43 bB	118.96 aB
แอมิโลสสูง CNT 1	133.59 aA	109.61 aA	125.60 aA	154.26 aA
SPB 1	133.20 bA	105.62 cAB	126.37 bcA	172.36 aA
PNL 2	109.59 bcB	96.61 cB	119.70 bAB	163.24 aA
<u>พลังงานในการเคี้ยว (N.m)</u>				
แอมิโลสต่ำ KDML 105	83.42 aABC	68.17 bA	75.84 abAB	87.82 aB
RD 15	84.23 aAB	64.72 bAB	74.87 abAB	87.29 aB
PTT 1	77.58 aBC	49.89 bC	61.74 bB	83.70 aB
แอมิโลสสูง CNT 1	94.09 bA	70.66 bA	82.83 bA	119.43 aA
SPB 1	91.12 bA	66.63 cAB	85.92 bA	129.27 aA
PNL 2	73.20 bcC	60.87 cB	82.69 bA	120.34 aA

หมายเหตุ ตัวอักษรพิมพ์เล็ก a-c ที่ต่างกันในแนวนอน หมายถึง ค่าเฉลี่ยในข้าวพันธุ์เดียวกันที่มีวิธีการหุงต้มที่ต่างกัน และอักษรพิมพ์ใหญ่ A-C ที่ต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยในข้าวพันธุ์ต่างกัน ที่มีวิธีการหุงต้มที่เหมือนกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ตามลำดับ

การเกาะติดผิว พบว่าข้าวแอมิโลสต่ำที่หุงต้มด้วยวิธีการเดียวกัน จะมีการเกาะติดผิวมากกว่าข้าวแอมิโลสสูง โดยวิธีการหุงต้มไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) กับข้าวหุงสุกทุกพันธุ์ในข้าวแอมิโลสต่ำ การหุงแบบเช็ดน้ำกับ CNT 1 ทำให้ข้าวมีการเกาะติดมากที่สุด ซึ่งต่างกับ SPB 1 ที่ทำให้ข้าวมีการเกาะติดน้อยที่สุด สำหรับการหุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้ากับ PNL 2 ทำให้ข้าวมีการเกาะติดมากที่สุด

การเกาะรวมตัวกัน เป็นค่าที่ได้จากอัตราส่วนพื้นที่ได้กราฟของการกดครั้งที่ 2 กับพื้นที่ได้กราฟของการกดครั้งที่ 1 พบว่า CNT 1 เป็นข้าวหุงสุกที่มีการเกาะรวมตัวกัน

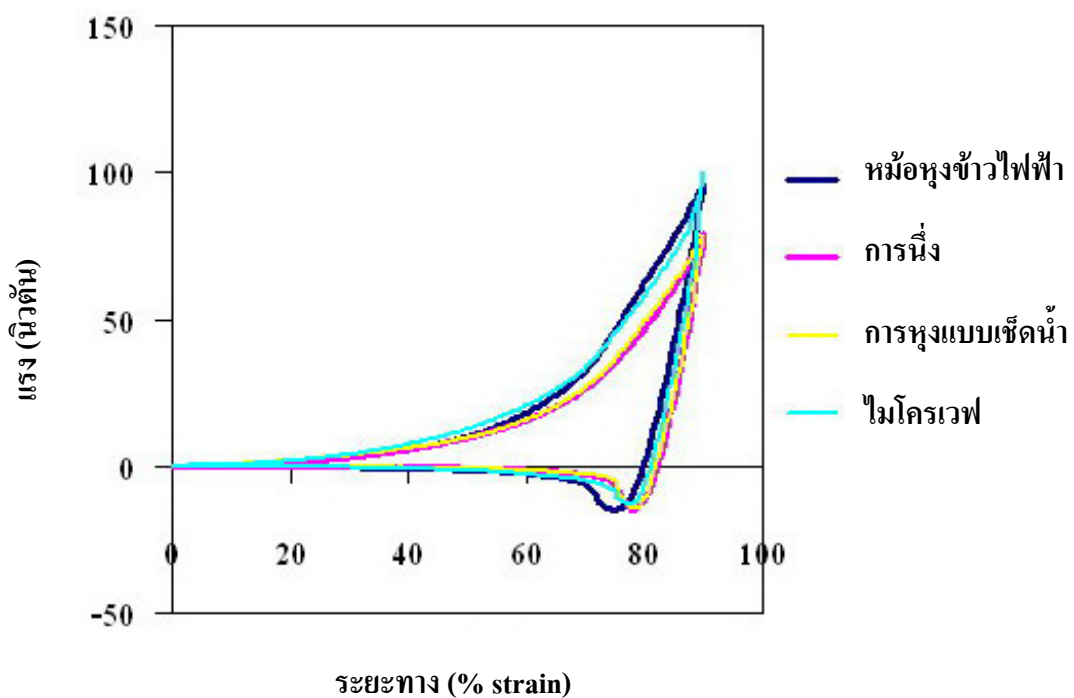
มากที่สุด โดยการหุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า และเครื่องไมโครเวฟ ทำให้ข้าวมีการเกาะรวมตัวกันมากกว่าการหุงด้วยการนึ่ง และการหุงแบบแช่น้ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับข้าวแอมิโลสต่ำ สำหรับข้าวแอมิโลสสูง พบว่าการหุงด้วยเครื่องไมโครเวฟ ทำให้ข้าวมีการเกาะรวมตัวกันมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และการนึ่งทำให้ข้าวมีการเกาะรวมตัวกันน้อยที่สุด

ความยืดหยุ่น พบว่าพันธุ์ข้าวที่แตกต่างกัน ไม่ค่อยมีผลกับค่าความยืดหยุ่นมากนัก โดยเฉพาะการหุงด้วยไมโครเวฟที่พันธุ์ข้าวไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ต่อความยืดหยุ่น เมื่อพิจารณาวิธีการหุงต้ม พบว่าวิธีการหุงต้มไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) กับข้าวหุงสุกทุกพันธุ์ในข้าวแอมิโลสต่ำ และ PNL 2 แต่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับ CNT 1 และ SPB 1 โดยการหุงด้วยเครื่องไมโครเวฟ ในข้าวทั้ง 2 พันธุ์นี้ ทำให้ข้าวมีความยืดหยุ่นมากที่สุด

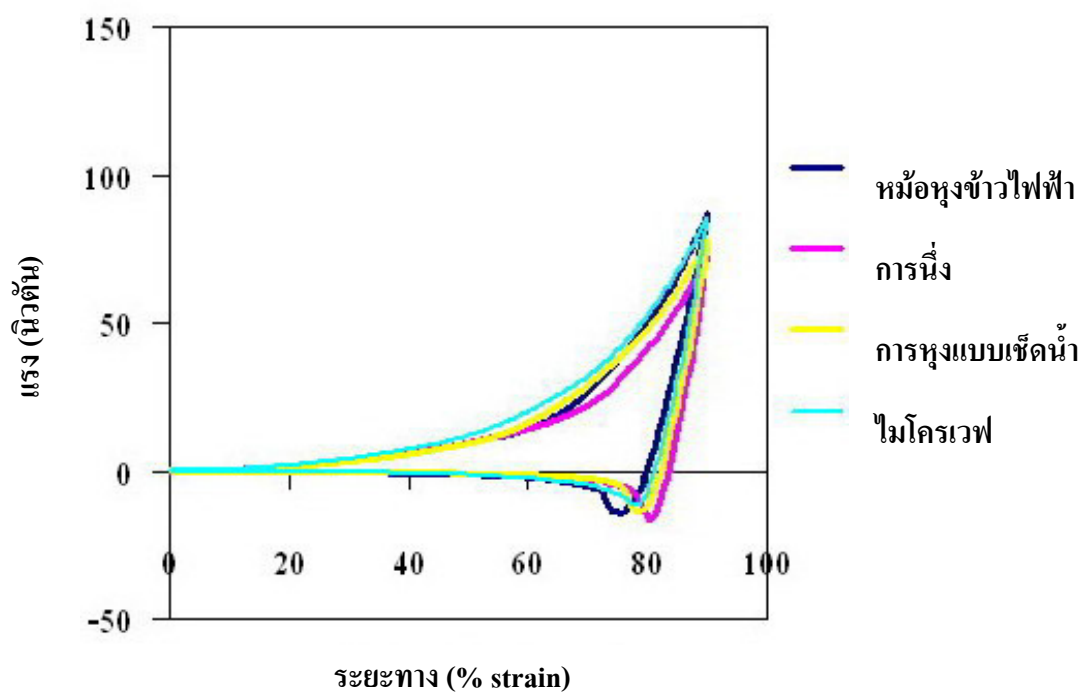
ความเหนียวเป็นกาว เป็นค่าที่ได้จากผลคูณของค่าความแข็ง และการเกาะรวมตัวกัน ข้าวแอมิโลสสูงมีค่าความเหนียวเป็นกาวมากกว่าข้าวแอมิโลสต่ำ โดยการหุงด้วยเครื่องไมโครเวฟ กับข้าวทุกพันธุ์ ทำให้ข้าวมีความเหนียวเป็นกาวมากที่สุด แต่การหุงด้วยการนึ่งทำให้ข้าวมีความเหนียวเป็นกาวน้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ยกเว้น CNT 1 ที่วิธีการหุงต้มไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยค่าความเหนียวเป็นกาวจะแปรเปลี่ยนตามค่าความแข็ง และการเกาะรวมตัวกัน

พลังงานในการเคี้ยว เป็นค่าที่ได้จากผลคูณของค่าความแข็ง การเกาะรวมตัวกัน และความยืดหยุ่น หรือผลคูณของความเหนียวเป็นกาว และความยืดหยุ่น ข้าวแอมิโลสสูงมีค่าการเคี้ยวมากกว่าข้าวแอมิโลสต่ำ โดยการหุงด้วยเครื่องไมโครเวฟทำให้ข้าวมีพลังงานในการเคี้ยวมากที่สุด กับข้าวหุงสุกทุกพันธุ์ แต่ไม่แตกต่างกับข้าวที่หุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า ในข้าวแอมิโลสต่ำ โดยพลังงานในการเคี้ยวจะแปรเปลี่ยนตามค่าความแข็ง การเกาะรวมตัวกัน และความยืดหยุ่น

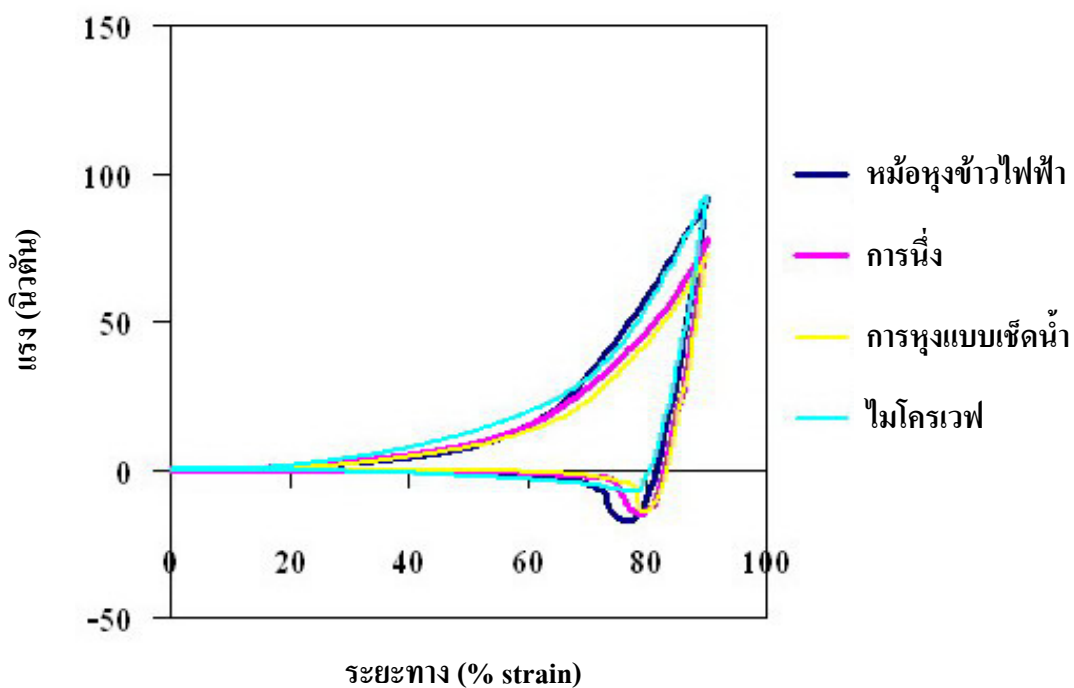
3.1.3.2 การทดสอบแบบกด (Compression test) เป็นวิธีการวัดแบบกด 1 ครั้ง กราฟที่ได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรง (นิวตัน) และระยะทาง (%strain) กราฟเปรียบเทียบระหว่างวิธีการหุงต้มที่แตกต่างกันของข้าวแต่ละพันธุ์ แสดงดังภาพที่ 16 ถึงภาพที่ 21 และค่าเนื้อสัมผัสที่ได้จากการทดสอบแบบ ได้แก่ ความแข็ง (hardness) และ ความเหนียว (stickiness) แสดงดังตารางที่ 19



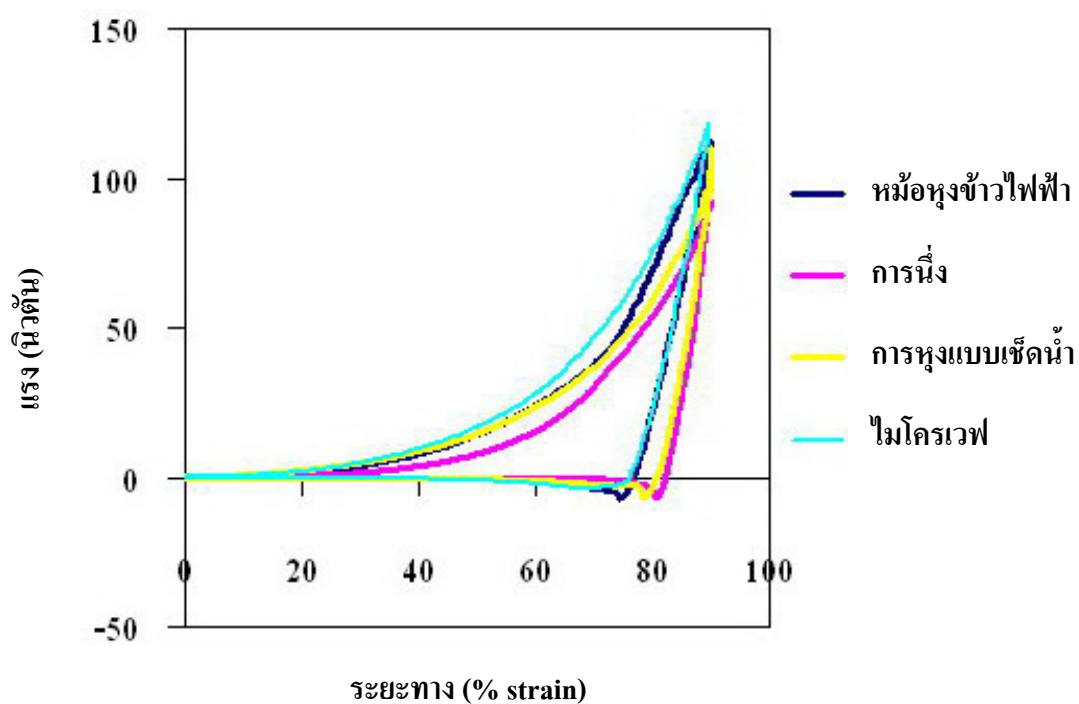
ภาพที่ 16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรง (นิวตัน) และระยะทาง (%strain) เปรียบเทียบวิธีการหุงต้มของข้าว KDML 105 ด้วยการทดสอบแบบกด (Compression test)



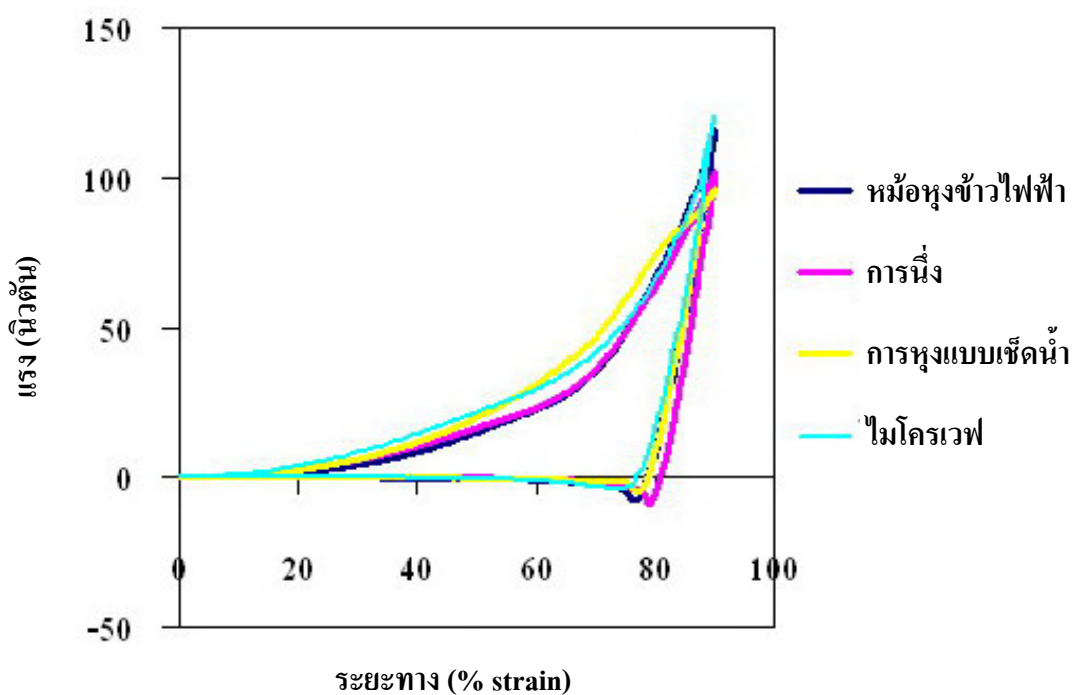
ภาพที่ 17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรง (นิวตัน) และระยะทาง (%strain) เปรียบเทียบวิธีการหุงต้มของข้าว RD15 ด้วยการทดสอบแบบกด (Compression test)



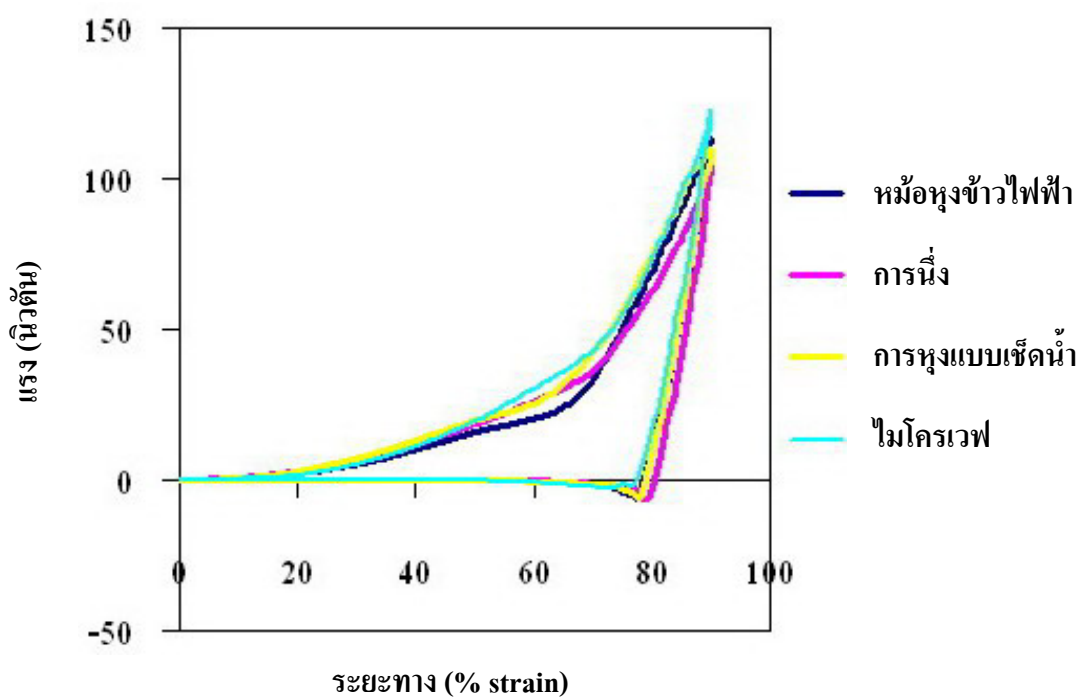
ภาพที่ 18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรง (นิวตัน) และระยะทาง (%strain) เปรียบเทียบวิธีการหุงต้มของข้าว PTT 1 ด้วยการทดสอบแบบกด (Compression test)



ภาพที่ 19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรง (นิวตัน) และระยะทาง (%strain) เปรียบเทียบวิธีการหุงต้มของข้าว CNT 1 ด้วยการทดสอบแบบกด (Compression test)



ภาพที่ 20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรง (นิวตัน) และระยะทาง (%strain) เปรียบเทียบวิธีการหุงต้มของข้าว SPB 1 ด้วยการทดสอบแบบกด (Compression test)



ภาพที่ 21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรง (นิวตัน) และระยะทาง (%strain) เปรียบเทียบวิธีการหุงต้มของข้าว PNL 2 ด้วยการทดสอบแบบกด (Compression test)

ตารางที่ 19 ค่าเนื้อสัมผัสจากการทดสอบแบบกด (Compression test) ของข้าวหุงสุกพันธุ์ต่างๆ ที่หุงต้มด้วยวิธีการต่างกัน 4 วิธี

พันธุ์ข้าว	วิธีการหุงต้ม			
	หม้อหุงข้าวไฟฟ้า	การนึ่ง	หุงแบบเช็ดน้ำ	ไมโครเวฟ
<u>ความแข็ง (N)</u>				
แอมิโลสต่ำ KDML 105	94.04 aB	79.67 bB	78.93 bC	99.58 aB
RD 15	87.40 aB	73.03 bC	77.53 bCD	86.85 aC
PTT 1	92.20 aB	76.97 bBC	73.48 bD	94.53 aBC
แอมิโลสสูง CNT 1	111.57 aA	93.70 bA	110.29 aB	118.74 aA
SPB 1	116.11 aA	103.38 bA	95.66 bA	121.62 aA
PNL 2	111.75 bA	104.29 cA	109.16 bcA	123.42 aA
<u>ความเหนียว (N)</u>				
แอมิโลสต่ำ KDML 105	14.58 aB	14.65 aAB	14.54 aA	11.40 bAB
RD 15	14.64 aB	13.98 aA	13.57 aA	12.24 aA
PTT 1	17.46 aA	14.14 bB	13.67 bA	10.73 cB
แอมิโลสสูง CNT 1	8.51 bC	9.83 aC	5.33 cB	4.43 dC
SPB 1	6.75 aC	4.61 bcC	6.05 abB	3.60 cC
PNL 2	4.84 aD	5.70 aC	4.52 aB	3.30 aC

หมายเหตุ ตัวอักษรพิมพ์เล็ก a-d ที่ต่างกันในแนวนอน หมายถึง ค่าเฉลี่ยในข้าวพันธุ์เดียวกันที่มีวิธีการหุงต้มที่ต่างกัน และตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ A-D ที่ต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยในข้าวพันธุ์ต่างกัน ที่มีวิธีการหุงต้มที่เหมือนกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ตามลำดับ

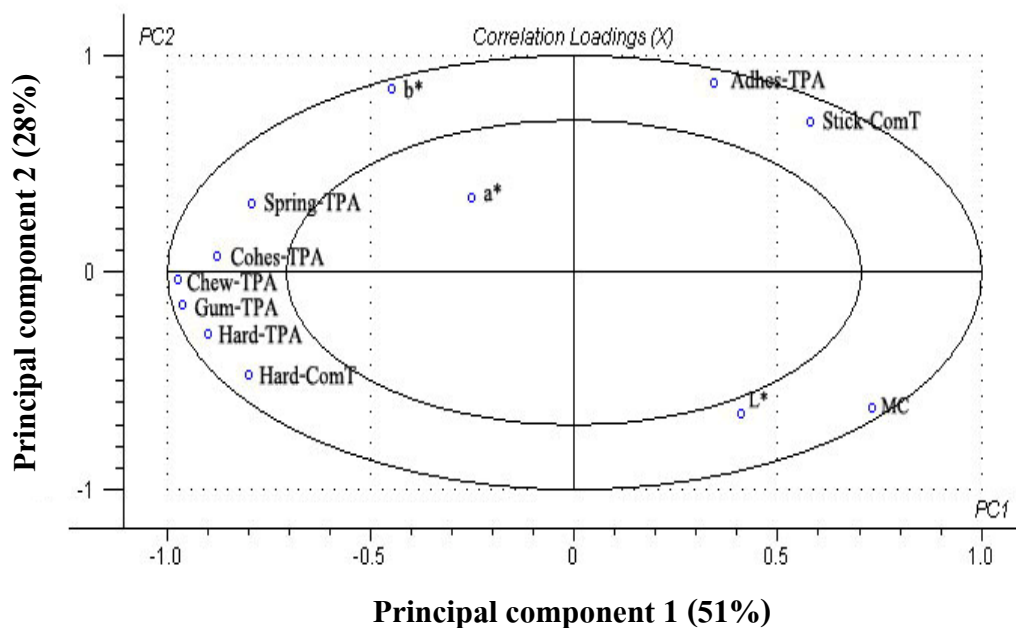
ความแข็งในข้าวแอมิโลสสูงที่หุงต้มด้วยวิธีการเดียวกัน จะมีความแข็งมากกว่าข้าวแอมิโลสต่ำ โดยข้าวที่หุงด้วยไมโครเวฟ และหม้อหุงข้าวไฟฟ้านั้น ทำให้ข้าวมีความแข็งมากที่สุดในข้าวทุกพันธุ์ ซึ่งมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับค่าความแข็งจากหลักการวิเคราะห์เก้าโครงเนื้อสัมผัส (TPA)

ค่าความเหนียว จากการทดสอบแบบกด พบว่าข้าวแอมิโลสต่ำมีค่าความเหนียวมากกว่าข้าวแอมิโลสสูง ซึ่งสอดคล้องกับตีนฤกร (2550) กล่าวว่าข้าวแอมิโลสต่ำจะมีความนุ่มเหนียวมากกว่าข้าวแอมิโลสสูง และสอดคล้องกับผลการทดลองของ Campagne *et al.* (2001) ที่พบว่าข้าวแอมิโลสสูง ความเหนียวจะลดลง โดยวิธีการหุงต้มมีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับ KDML 105, PTT 1, CNT 1 และ SPB 1 ทั้งนี้การหุงต้มด้วยไมโครเวฟจะทำให้ข้าวหุงสุกมีความเหนียวน้อยที่สุด

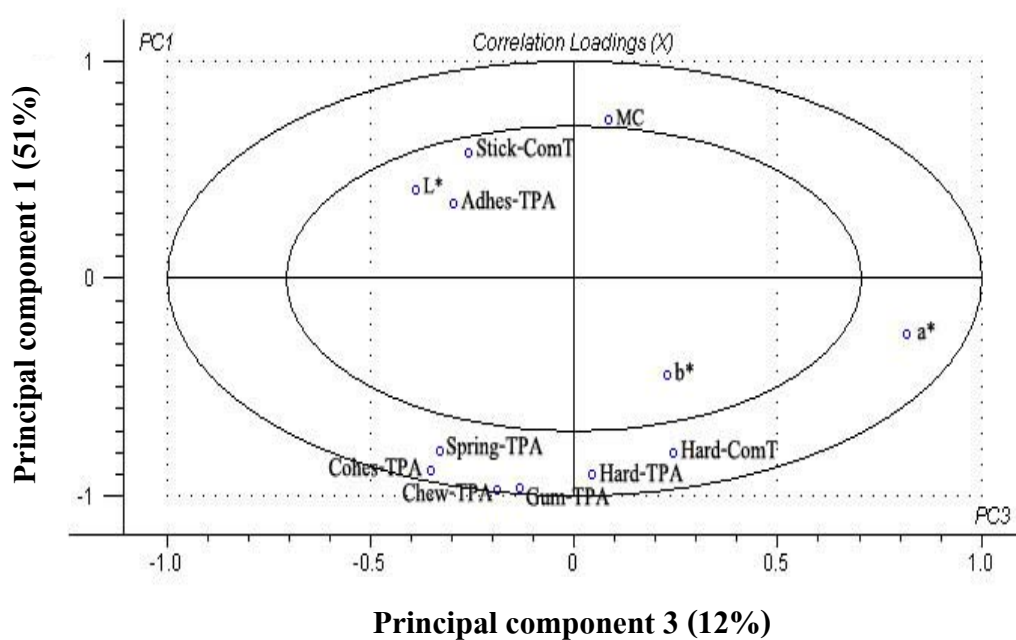
3.1.4 การจัดกลุ่มตัวแปรของข้าวหุงสุกจากปัจจัยคุณภาพทางเคมีและคุณภาพทางกายภาพ

เมื่อนำผลจากการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี และคุณภาพกายภาพ ของข้าวหุงสุก 6 พันธุ์ ที่มีวิธีการหุงต้มที่แตกต่างกัน 4 วิธี มาจัดกลุ่มตัวแปร โดยใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) ทำให้สามารถอธิบายจำแนกกลุ่มของตัวแปรได้โดยการแสดงแผนภาพแบบจุดออกมา และมีแกนของกราฟนั้นเป็น principal component กลุ่มต่างๆ เป็นกลุ่มตัวเลข เช่น PC1, PC2 ... PC_i เมื่อ i เป็นจำนวน PC ที่กำหนดเพื่อใช้จำแนกสิ่งทดลอง และกราฟ correlation loading (ภาพที่ 22 และ ภาพที่ 23) แสดงการจัดกลุ่ม และตำแหน่งของค่าคุณลักษณะที่ศึกษาในพื้นที่กราฟ ซึ่งถ้าอยู่ในบริเวณพื้นที่เดียวกันก็อธิบายได้ว่าสิ่งทดลองนั้นมีคุณลักษณะนั้นมาก ในทางกลับกันถ้าสิ่งทดลองอยู่ในตำแหน่งพื้นที่ตรงกันข้ามกันกับคุณลักษณะในแกนก็จะอธิบายได้ว่าสิ่งทดลองนั้นมีคุณลักษณะนั้นน้อย นอกจากนี้หลักการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) ยังสามารถหาความสัมพันธ์และอธิบายแนวโน้มระหว่างตัวอย่างข้าวหุงสุกพันธุ์ต่างๆ ที่หุงต้มด้วยวิธีการต่างกับกับค่าคุณภาพ ว่าค่าความแตกต่างของตัวอย่างที่เกิดขึ้นเกิดจากค่าคุณภาพตัวใด และแนวโน้มค่าคุณภาพนั้นเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร

จากการวิเคราะห์พบว่าที่ 3 PC แรก สามารถอธิบายความแปรปรวนรวมได้ 91% เมื่อพิจารณาค่า correlation loading ในแต่ละคุณลักษณะพบว่า กลุ่มของตัวแปรองค์ประกอบหลัก 1 (PC1) สามารถอธิบายความแปรปรวนได้สูงที่สุด (51%) ประกอบด้วย ความชื้น (MC) แสดงใน PC1 ทางด้านบวก สำหรับค่าจากการวัดเนื้อสัมผัส ได้แก่ ความแข็ง (Hard-TPA), การเกาะรวมตัวกัน (Cohes-TPA), ความยืดหยุ่น (Spring-TPA), ความเหนียวเป็นกาว (Gum-TPA), พลังงานในการเคี้ยว (Chew-TPA) และความแข็ง (Hard-ComT) แสดงใน PC1 ทางด้านลบ ซึ่งองค์ประกอบที่ 1 นี้ สามารถแยกความแตกต่างของตัวอย่างทั้ง 24 ตัวอย่าง ได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ คือ 1) กลุ่มที่มีความแข็ง,



ภาพที่ 22 ค่า Correlation loading ของปัจจัยคุณภาพทางเคมี และคุณภาพทางกายภาพ
ของข้าวหุงสุก 6 พันธุ์ ที่มีวิธีการหุงต้มที่แตกต่างกัน 4 วิธี บนแกน PC1 และ PC2

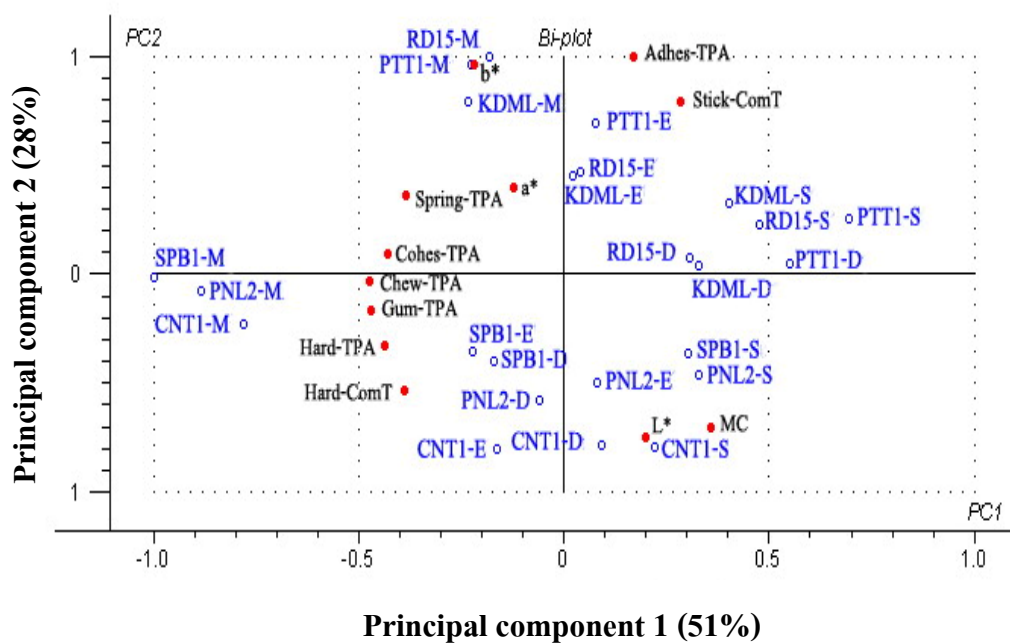


ภาพที่ 23 ค่า Correlation loading ของปัจจัยคุณภาพทางเคมี และคุณภาพทางกายภาพ
ของข้าวหุงสุก 6 พันธุ์ ที่มีวิธีการหุงต้มที่แตกต่างกัน 4 วิธี บนแกน PC3 และ PC1

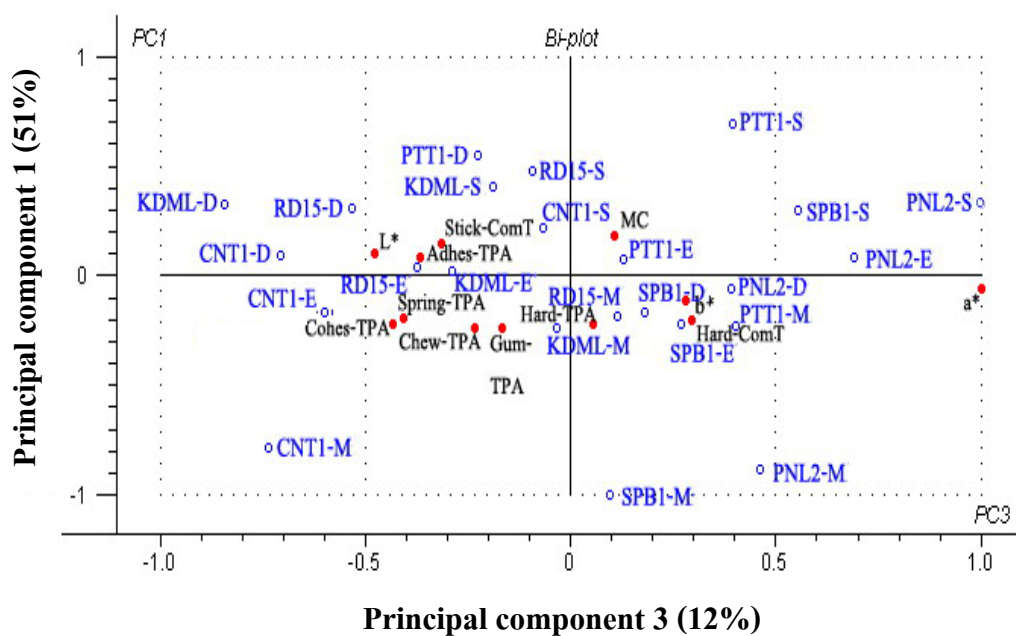
การเกาะรวมตัวกัน, ความยืดหยุ่น, การเหนียวเป็นกาวยาง, พลังงานในการเกี่ยวสูง ขณะที่ปริมาณความชื้นน้อย ได้แก่ CNT 1, SPB 1 และ PNL 2 ที่หุงด้วยเครื่องไมโครเวฟ 2) กลุ่มที่มีลักษณะดังกล่าวปานกลาง ได้แก่ KDML 105, RD 15 และ PTT 1 ที่หุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า และเครื่องไมโครเวฟ CNT 1, SPB 1 และ PNL 2 ที่หุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า และการหุงแบบเช็ดน้ำ และ CNT 1, SPB 1 และ PNL 2 ที่หุงด้วยการนึ่ง และ 3) กลุ่มที่มีลักษณะดังกล่าวตรงกันข้ามกับกลุ่มที่ 1 ได้แก่ KDML 105, RD 15 และ PTT 1 ที่หุงด้วยการนึ่ง และการหุงแบบเช็ดน้ำ แสดงดังภาพที่ 24

กลุ่มของตัวแปรองค์ประกอบหลัก 2 (PC2) ประกอบด้วย ค่าความเป็นสียเหลือง (b*) และค่าจากการวัดเนื้อสัมผัส ได้แก่ การเกาะติดผิว (Adhes-TPA) และความเหนียว (Stick-ComT) แสดงใน PC2 ทางด้านบวก และค่าความสว่าง (L*) แสดงใน PC2 ทางด้านลบ ซึ่งสามารถอธิบายความแปรปรวนได้ 25% องค์ประกอบที่ 2 นี้สามารถแยกความแตกต่างของตัวอย่างทั้ง 24 ตัวอย่าง ได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ คือ 1) กลุ่มที่มีความเป็นสียเหลือง, การเกาะติดผิว และความเหนียวมาก แต่มีค่าความสว่างน้อย ได้แก่ KDML 105, RD 15 และ PTT 1 ที่หุงด้วยเครื่องไมโครเวฟ, หม้อหุงข้าวไฟฟ้า, การนึ่ง และการหุงแบบเช็ดน้ำ 2) กลุ่มที่มีลักษณะดังกล่าวปานกลาง ได้แก่ CNT 1, SPB 1 และ PNL 2 ที่หุงด้วยเครื่องไมโครเวฟ และ 3) กลุ่มที่มีลักษณะดังกล่าวตรงกันข้ามกับกลุ่มที่ 1 ได้แก่ CNT 1, SPB 1 และ PNL 2 ที่หุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า, การนึ่ง และการหุงแบบเช็ดน้ำ แสดงดังภาพที่ 24

สำหรับกลุ่มของตัวแปรองค์ประกอบหลัก 3 (PC3) คือ ค่าความเป็นสีแดง (a*) แสดงใน PC3 ทางด้านบวก สามารถอธิบายความแปรปรวนได้ 12% โดยองค์ประกอบที่ 3 นี้สามารถแยกความแตกต่างของตัวอย่างทั้ง 24 ตัวอย่าง ได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ คือ 1) กลุ่มที่มีค่าความเป็นสีแดงมาก ได้แก่ SPB 1 ที่หุงด้วยการนึ่ง, PNL 2 ที่หุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า, เครื่องไมโครเวฟ และการนึ่ง 2) กลุ่มที่มีลักษณะดังกล่าวปานกลาง ได้แก่ KDML 105, RD 15 และ PTT 1 ที่หุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า, เครื่องไมโครเวฟ และการนึ่ง, PTT 1 ที่หุงแบบเช็ดน้ำ, CNT 1 ที่หุงด้วยการนึ่ง, SPB 1 ที่หุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า, เครื่องไมโครเวฟ และการหุงแบบเช็ดน้ำ และ PNL 2 ที่หุงแบบเช็ดน้ำ และ 3) กลุ่มที่มีลักษณะดังกล่าวตรงกันข้ามกับกลุ่มที่ 1 ได้แก่ KDML 105 และ RD 15 ที่หุงแบบเช็ดน้ำ, CNT 1 ที่หุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า, เครื่องไมโครเวฟ และการหุงแบบเช็ดน้ำ แสดงดังภาพที่ 25



ภาพที่ 24 ค่า Bi-plot ของปัจจัยคุณภาพทางเคมี และคุณภาพทางกายภาพ ของข้าวหุงสุก 6 พันธุ์ ที่มีวิธีการหุงต้มที่แตกต่างกัน 4 วิธี บนแกน PC1 และ PC2



ภาพที่ 25 ค่า Bi-plot ของปัจจัยคุณภาพทางเคมี และคุณภาพทางกายภาพ ของข้าวหุงสุก 6 พันธุ์ ที่มีวิธีการหุงต้มที่แตกต่างกัน 4 วิธี บนแกน PC3 และ PC1

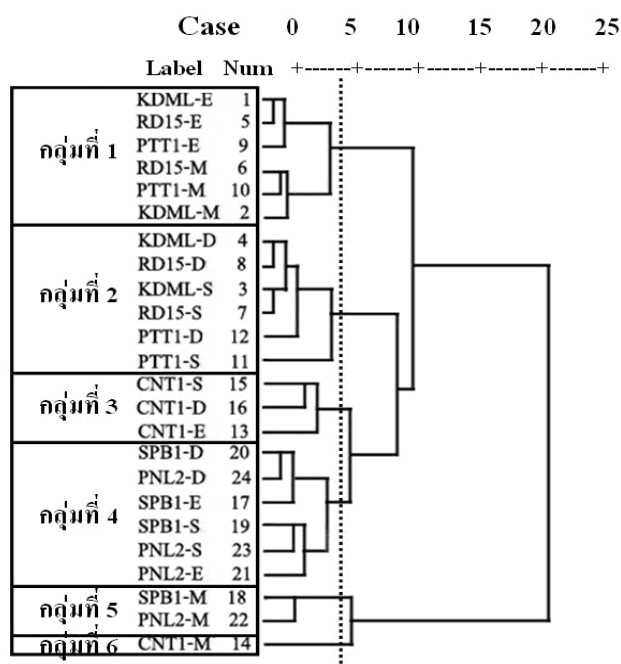
จากหลักการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) เมื่อพิจารณาโดยรวมทั้ง 3 องค์ประกอบของคุณภาพทางเคมีและกายภาพ โดยสามารถอธิบายความแปรปรวนรวมได้ 91% ร่วมกับการจำแนกกลุ่มตัวอย่างด้วยเทคนิค Hierarchical cluster analysis (ภาพที่ 26) สามารถจัดกลุ่มตัวอย่างข้าวหุงสุก 6 พันธุ์ ที่มีวิธีการหุงต้มที่แตกต่างกัน 4 วิธี ได้ออกเป็น 6 กลุ่ม (ภาพที่ 27 และภาพที่ 28) โดยที่แต่ละกลุ่มจะมีลักษณะแตกต่างกันออกไป ดังนี้

กลุ่มที่ 1 ประกอบด้วย KDML 105, RD 15 และ PTT 1 ที่หุงต้มด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า (E) และเครื่องไมโครเวฟ (M) เป็นข้าวที่มีความเป็นสีแดง (a*) และสีเหลือง (b*) มาก ด้านเนื้อสัมผัสจากการวัดด้วยเครื่องมือ พบว่าการเกาะติดผิว (Adhes-TPA) และความเหนียว (Stick-ComT) มาก โดยมีความเหนียวมากเมื่อหุงต้มด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า

กลุ่มที่ 2 ประกอบด้วย KDML 105, RD 15 และ PTT 1 ที่หุงต้มด้วยการนึ่ง (S) และการหุงแบบเชื้ดน้ำ (D) เป็นข้าวที่มีความชื้น (MC) ด้านเนื้อสัมผัสจากการวัดด้วยเครื่องมือ พบว่าการเกาะติดผิว (Adhes-TPA) และความเหนียว (Stick-ComT) มาก

Dendrogram using Average Linkage (Between Groups)

Rescaled Distance Cluster Combine



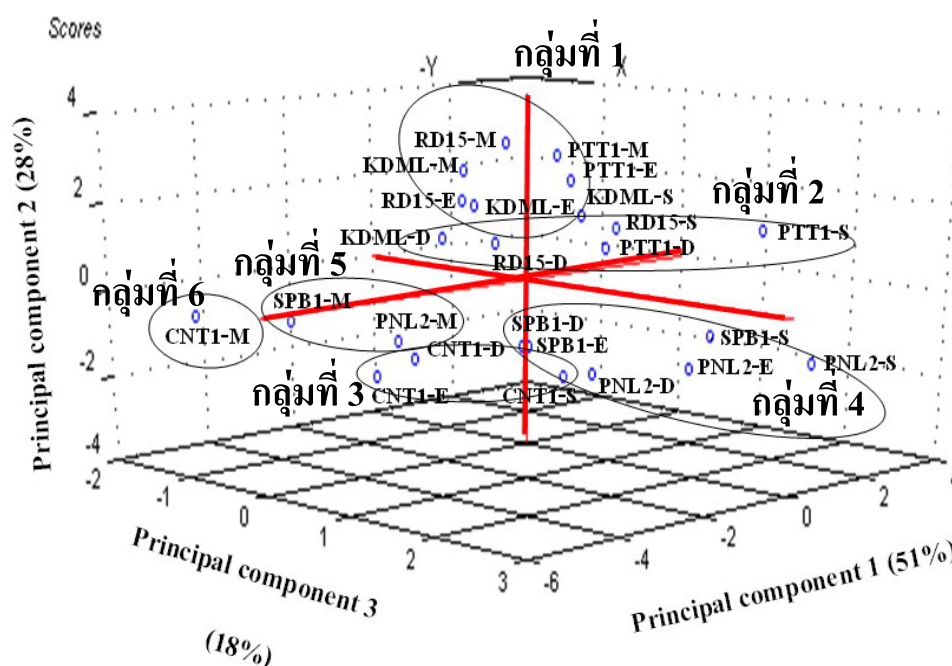
ภาพที่ 26 การจำแนกกลุ่มตัวอย่างข้าวหุงสุก 6 พันธุ์ที่มีวิธีการหุงต้มที่แตกต่างกัน 4 วิธี จากปัจจัย คุณภาพทางเคมี และคุณภาพทางกายภาพ ด้วยเทคนิค Hierarchical cluster analysis

กลุ่มที่ 3 ประกอบด้วย CNT 1 ที่หุงต้มด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า (E) การนึ่ง (S) และการหุงแบบเช็ดน้ำ (D) เป็นข้าวที่มีความชื้น (MC) และความสว่าง (L*) มาก และมีค่าทางด้านเนื้อสัมผัสจากการวัดด้วยเครื่องมือในระดับปานกลางถึงน้อยในทุกปัจจัย

กลุ่มที่ 4 ประกอบด้วย SPB 1 และ PNL 2 ที่หุงต้มด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า (E) การนึ่ง (S) และการหุงแบบเช็ดน้ำ (D) เป็นข้าวที่มีความเป็นสีแดง (a*) และความชื้น (MC) มาก และมีค่าทางด้านเนื้อสัมผัสจากการวัดด้วยเครื่องมือในระดับปานกลางถึงน้อยในทุกพารามิเตอร์

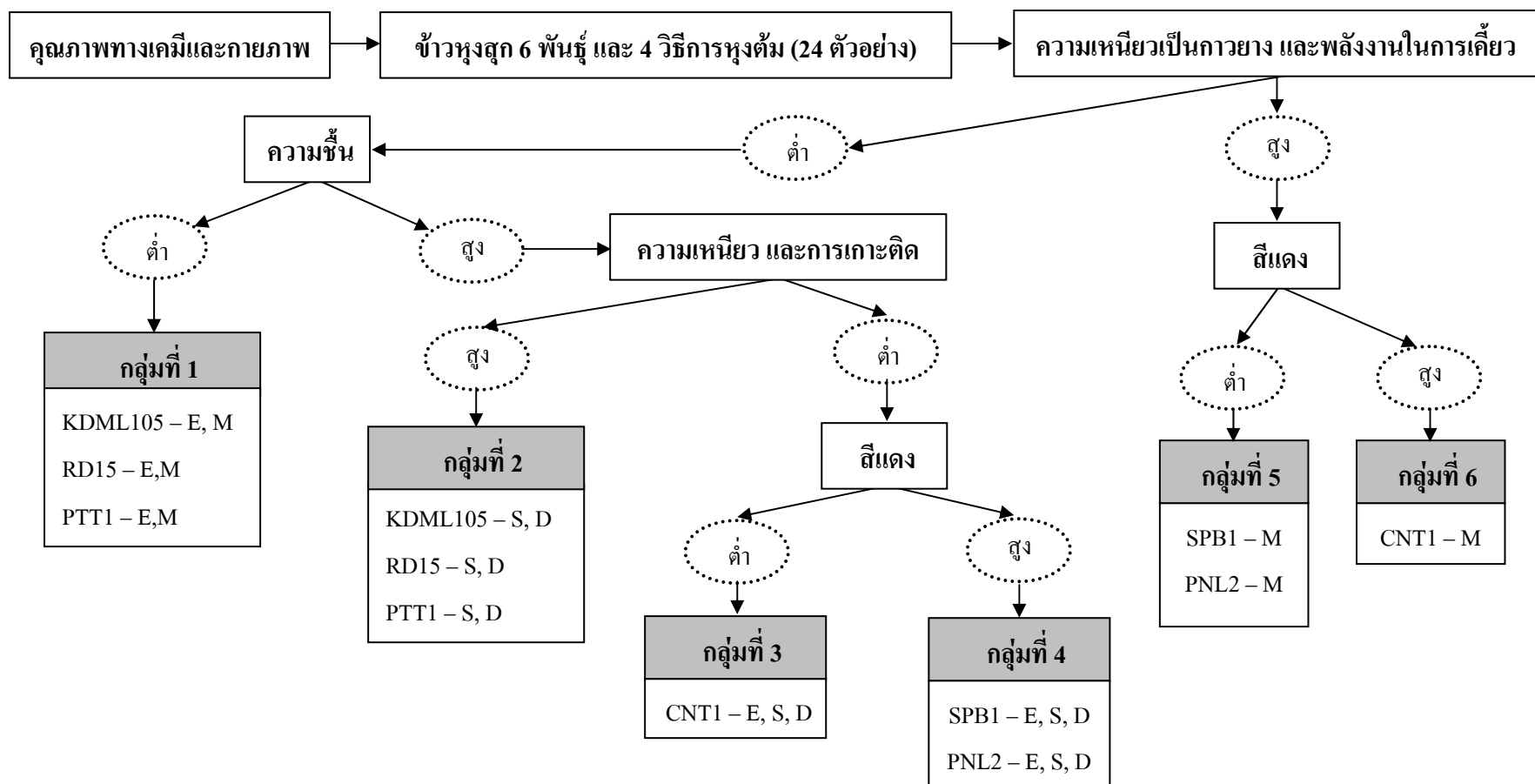
กลุ่มที่ 5 ประกอบด้วย SPB 1 และ PNL 2 ที่หุงต้มด้วยเครื่องไมโครเวฟ (M) เป็นข้าวที่มีความเป็นสีแดง (a*) มาก มีค่าเนื้อสัมผัสจากการวัดด้วยเครื่องมือ ได้แก่ ความแข็ง (Hard-TPA /ComT), การเกาะรวมตัวกัน (Cohes-TPA), ความยืดหยุ่น (Sping-TPA), ความเหนียวเป็นกาว (Gum-TPA) และพลังงานในการเคี้ยว (Chew-TPA) มาก

กลุ่มที่ 6 ประกอบด้วย CNT 1 ที่หุงต้มด้วยเครื่องไมโครเวฟ (M) เป็นข้าวที่มีค่าเนื้อสัมผัสจากการวัดด้วยเครื่องมือ ได้แก่ ความแข็ง (Hard-TPA/ComT), การเกาะรวมตัวกัน (Cohes-TPA), ความยืดหยุ่น (Sping-TPA), ความเหนียวเป็นกาว (Chew-TPA) และพลังงานในการเคี้ยว (Chew-TPA) มาก



ภาพที่ 27 การจัดกลุ่มตัวอย่างข้าวหุงสุก 6 พันธุ์ ที่มีวิธีการหุงต้มที่แตกต่างกัน 4 วิธี

จากปัจจัยคุณภาพทางเคมี และคุณภาพทางกายภาพ บนแกน PC1, PC2 และ PC3



ภาพที่ 28 การจำแนกกลุ่มตัวอย่างข้าวหุงสุก 6 พันธุ์ ที่มีวิธีการหุงต้มที่แตกต่างกัน 4 วิธี จากปัจจัยคุณภาพทางเคมี และคุณภาพทางกายภาพที่ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบ (PCA) ที่ PC1, PC2 และ PC3 ร่วมกับการจัดกลุ่มด้วยเทคนิค Hierarchical cluster analysis

หมายเหตุ E = หม้อหุงข้าวไฟฟ้า, S = การนึ่ง, D = การหุงแบบเช็ดน้ำ และ M = เครื่องไมโครเวฟ

3.2 การตรวจสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

3.2.1 การตรวจสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีวิเคราะห์เชิงพรรณนา (Generic descriptive analysis) โดยการพัฒนาหาคำอธิบายลักษณะทางประสาทสัมผัส ด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น กลิ่นรส ความรู้สึกตกค้าง และเนื้อสัมผัส ที่บ่งบอกถึงคุณลักษณะของข้าวหุงสุก คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสต่างๆ คำอธิบาย ตัวอย่างอ้างอิง และระดับความเข้ม แสดงดังตารางที่ 20 และวิธีการเตรียมตัวอย่างอ้างอิงแสดงดังตารางผนวกที่ 2 ถึงตารางผนวกที่ 4 จากนั้นให้ผู้ทดสอบระบุระดับความเข้มของคุณลักษณะต่างๆ โดยให้คะแนน 0-15 (น้อยไปมาก) ลงในใบบันทึกผลการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของข้าวหุงสุก (ภาคผนวก ง)

ตารางที่ 20 คำอธิบายคำศัพท์ ตัวอย่างอ้างอิง คำจำกัดความ และวิธีการประเมินทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีวิเคราะห์เชิงพรรณนาของข้าวหุงสุก

คุณลักษณะ / คำจำกัดความ / วิธีประเมิน	ตัวอย่างอ้างอิง	
<u>ลักษณะปรากฏ</u>		
สีขาว (Whiteness; White)		
- ระดับความขาวของตัวอย่างที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตา	แถบสี	= 1-15
- ประเมินโดยการมองตัวอย่างโดยรวมภายในถ้วยด้วย สายตา (น้อย-มาก)		
ความสมบูรณ์ของเมล็ด (Grain integrity; GrainIn)		
- ระดับของความสมบูรณ์ของเมล็ดข้าว	ข้าวหอม	= 9.5
- สังเกตและตัดสินเมล็ดข้าวโดยรวมภายในถ้วยที่แตกหัก (น้อย-มาก)		
การเกาะติดระหว่างเมล็ด (Stickiness between grain; Stick)		
- ระดับความเหนียว หรือการเกาะติดกันระหว่างเมล็ด	ข้าวสาร	= 0.0
- ประเมินโดยใช้ช้อนแยกตัวอย่างส่วนที่เป็นเมล็ดออก จากกัน (น้อย-มาก)	ข้าวเหนียว	= 14.0
ความเรียวยาวของเมล็ด (Thinness, Thin)		
- ระดับความเรียวยาวของเมล็ดข้าวที่เต็มเมล็ด	ข้าวญี่ปุ่น	= 4.0
- สังเกตและตัดสินใจระดับความเรียวยาวของเมล็ดข้าวที่เต็ม เมล็ด (น้อย-มาก)	ข้าวเหนียว	= 14.0

ตารางที่ 20 (ต่อ)

คุณลักษณะ / คำจำกัดความ / วิธีประเมิน		ตัวอย่างอ้างอิง	
ความขรุขระของผิว (Surface roughness; SRough)			
- ระดับความเรียบเนียนจนถึงความขรุขระของเมล็ดข้าว	ข้าวหุงสุก	=	5.0
- สังเกตและตัดสินใจระดับความขรุขระของผิวเมล็ดข้าว (น้อย-มาก)	ข้าวต้ม	=	14.0
กลิ่น			
กลิ่นแป้ง (Starchy; StarchAr)			
- กลิ่นแป้งเฉพาะที่ได้จากเมล็ดข้าวหุงสุก	น้ำแป้งข้าวสุก 0.5%	=	3.0
- ประเมินโดยการดมตัวอย่าง (น้อย-มาก)	น้ำแป้งข้าวสุก 1%	=	7.0
	น้ำแป้งข้าวสุก 2%	=	8.5
กลิ่นข้าวสาร (Raw rice; RicrAr)			
- กลิ่นของเมล็ดข้าวสาร	ข้าวสาร	=	14.0
- ประเมินโดยการดมตัวอย่าง (น้อย-มาก)			
กลิ่นไข่ขาว (Egg white; EggAr)			
- กลิ่นของไข่ขาวนี้	ไข่ขาวนี้	=	10.5
- ประเมินโดยการดมตัวอย่าง (น้อย-มาก)			
กลิ่นใบเตย (Pandan; PandanAr)			
- กลิ่นหอมหวานของใบเตย	น้ำใบเตย 0.2%	=	0.3
- ประเมินโดยการดมตัวอย่าง (น้อย-มาก)	น้ำใบเตย 0.6%	=	1.0
	น้ำใบเตย 1.0%	=	3.0
กลิ่นไม้ (Woody; WoodAr)			
- กลิ่นของเศษไม้	ไม้	=	10.0
- ประเมินโดยการดมตัวอย่าง (น้อย-มาก)			
กลิ่นแกลบ (Chaff; ChaffAr)			
- กลิ่นที่ได้จากแกลบ หรือเปลือกข้าว	แกลบ	=	8.0
- ประเมินโดยดมตัวอย่าง (น้อย-มาก)			
กลิ่นรำ (Bran; BranAr)			
- กลิ่นที่ได้จากรำข้าว	รำ	=	12.0
- ประเมินโดยดมตัวอย่าง (น้อย-มาก)			

ตารางที่ 20 (ต่อ)

คุณลักษณะ / คำจำกัดความ / วิธีประเมิน		ตัวอย่างอ้างอิง	
กลั่นกระสอบ (Burlap; BurlapAr)			
- กลั่นที่ได้จากผ้ากระสอบ	กระสอบ	=	14.0
- ประเมินโดยดมตัวอย่าง (น้อย-มาก)			
กลั่นรส และรสพื้นฐาน			
กลั่นรสแป้ง (Starchy; StarchF)			
- กลั่นรสแป้งเฉพาะที่ได้จากเมล็ดข้าวหุงสุก	น้ำแป้งข้าวสุก 0.5%	=	4.5
- ประเมินหลังจากเคี้ยวตัวอย่าง ½ ช้อนชา ไปแล้ว 8 ครั้ง	น้ำแป้งข้าวสุก 1%	=	8.0
(น้อย-มาก)	น้ำแป้งข้าวสุก 2%	=	10.0
กลั่นรสไข่ขาว (Egg white; EggF)			
- กลั่นรสของไข่ขาวนี้	ไข่ขาวนี้	=	10.5
- ประเมินหลังจากเคี้ยวตัวอย่าง ½ ช้อนชา ไปแล้ว 8 ครั้ง			
(น้อย-มาก)			
กลั่นรสใบเตย (Pandan; PandanF)			
- กลั่นรสหอมหวานของใบเตย	น้ำใบเตย 0.2%	=	0.3
- ประเมินหลังจากเคี้ยวตัวอย่าง ½ ช้อนชา ไปแล้ว 8 ครั้ง	น้ำใบเตย 0.6%	=	1.0
(น้อย-มาก)	น้ำใบเตย 1.0%	=	3.0
รสหวาน (Sweetness; Sweet)			
- การรับรสพื้นฐานของลิ้นเมื่อถูกกระตุ้นด้วยน้ำตาล	สารละลายซูโครส 1%	=	0.5
- ประเมินหลังจากเคี้ยวตัวอย่าง ½ ช้อนชา ไปแล้ว 8 ครั้ง	สารละลายซูโครส 2%	=	2.0
(น้อย-มาก)			
ความรู้สึกลูกตลก			
ความเป็นแป้งเคลือบปาก (Starchy coating; StarchAf)			
- ความเป็นแป้งเคลือบปาก	น้ำแป้งข้าวสุก 0.5%	=	0.5
- ประเมินโดยใช้ลิ้นกวาดเพดานปากหลังจากกลืนตัวอย่าง	น้ำแป้งข้าวสุก 1%	=	2.0
(น้อย-มาก)	น้ำแป้งข้าวสุก 2%	=	5.0
รสหวาน (Sweetness; SweetAf)			
- การรับรสของลิ้นเมื่อถูกกระตุ้นด้วยน้ำตาล	สารละลายซูโครส 1%	=	0.5
- ประเมินโดยใช้ลิ้นกวาดเพดานปากหลังจากกลืนตัวอย่าง	สารละลายซูโครส 2%	=	2.0
(น้อย-มาก)			

ตารางที่ 20 (ต่อ)

คุณลักษณะ / คำจำกัดความ / วิธีประเมิน	ตัวอย่างอ้างอิง		
<u>เนื้อสัมผัส: ระยะแรกของการทดสอบ (Initial stage)</u>			
ความเหนียว (Manual stickiness; MStick)			
- แรงที่ใช้ในการแยกนิ้วมือออกจากกัน เมื่อกดตัวอย่างระหว่างนิ้วหัวแม่มือและนิ้วชี้	ถั่วเขียวซีกคั่ว	=	0.5
- กดตัวอย่าง 6-7 เมล็ด ระหว่างนิ้วหัวแม่มือและนิ้วชี้ โดยไม่ทำให้ตัวอย่างเสียรูป และประเมินแรงที่ใช้ในการแยกนิ้วออกจากกัน (น้อย-มาก)	ข้าวเหนียว	=	10.0
การเกาะรวมตัวกัน (Cohesiveness; Cohes1)			
- ระดับการเกาะติดกันของตัวอย่าง เมื่อยังไม่ได้เคี้ยว	ถั่วเขียวซีกคั่ว	=	0.5
- วางตัวอย่าง ½ ช้อนชา ไว้ในปาก ห้ามเคี้ยว และประเมินทันทีโดยใช้ลิ้นรับความรู้สึกว่าตัวอย่างเหนียว หรือการเกาะรวมตัวกันมากน้อยเพียงใด (หลวม-แน่น)	ข้าวเหนียว	=	14.0
ความเป็นเมล็ด (Kernelness; Kernel)			
- การรับรู้ระดับของเมล็ดข้าว เมื่อมีการรวมตัวกันในปาก	โจ๊ก	=	2.5
- วางตัวอย่าง ½ ช้อนชา ไว้ในปาก ห้ามเคี้ยว และประเมินทันทีโดยใช้ลิ้นรับความรู้สึกว่าตัวอย่างมีความเป็นเมล็ดมากน้อยเพียงใด (น้อย-มาก)	ถั่วเขียวซีกคั่ว	=	13.0
<u>เนื้อสัมผัส: ระยะกดตัวอย่างบางส่วน (partial compression stage)</u>			
การเกาะติดริมฝีปาก (Adhesive to lips; AdhesLip)			
- ปริมาณของตัวอย่างที่เกาะติดริมฝีปาก	ข้าวพองเคลือบโกโก้	=	6.0
- ตักตัวอย่าง ½ ช้อนชา ใช้ริมฝีปากกดตัวอย่าง ปล่อย และประเมิน ปริมาณตัวอย่างที่เกาะติดริมฝีปาก (ตก-ติดแน่น)	ถั่วเขียวซีกทอด	=	12.0
ความลื่นเป็นมันของผิว (Slickiness; Slick)			
- ความลื่นเป็นมันของพื้นผิวตัวอย่าง	ถั่วเขียวซีกคั่ว	=	1.5
- วางตัวอย่าง ½ ช้อนชา ไว้ในปาก หลังฟันหน้า และประเมินโดยใช้ลิ้นกดพื้นผิวตัวอย่าง และกวาดไปมา เมื่อน้ำลายเริ่มรวมกับตัวอย่าง(น้อย - มาก)	เยลลี่ (เล็ก)	=	14.0

ตารางที่ 20 (ต่อ)

คุณลักษณะ / คำจำกัดความ / วิธีประเมิน	ตัวอย่างอ้างอิง		
<u>เนื้อสัมผัส: ระยะกดตัวอย่างบางส่วน (Partial compression stage) (ต่อ)</u>			
ความยืดหยุ่น (Springiness; Spring)			
- ระดับการคืนตัวของเมล็ดข้าวสุรูปรางเดิม หลังจากกดตัวอย่างลงบางส่วนด้วยฟันกราม	เต้าหู้อ่อน 1 ชิ้น	=	1.0
	เค้กเนยสด 1 ชิ้น	=	3.5
- วางตัวอย่าง ½ ซ้อนชา ไว้ในปาก ประเมินก่อนกัดหรือกัดครั้งแรก (น้อย-มาก)	เยลลี่กลม 1 เม็ด	=	7.0
ความเป็นแป้งเคลือบปาก (Initial starchy coating; StarchC)			
- ปริมาณของความเป็นแป้งที่รับรู้ได้ก่อนที่ตัวอย่างจะผสมกับน้ำลาย	น้ำแป้งข้าวสุก 0.5%	=	1.0
	น้ำแป้งข้าวสุก 1%	=	3.0
- วางตัวอย่าง ½ ซ้อนชา ไว้ในปาก หลังฟันหน้า กดด้วยลิ้นและประเมิน (น้อย-มาก)	น้ำแป้งข้าวสุก 2%	=	6.0
<u>เนื้อสัมผัส : ระยะกัดหรือเคี้ยวครั้งแรก (First bite / chew)</u>			
ความแข็ง (Hardness; Hard)			
- แรงที่ใช้ในการกดตัวอย่างด้วยฟันกราม	เต้าหู้อ่อน	=	0.5
- วางตัวอย่าง ½ ซ้อนชา ไว้ในปาก กัดตัวอย่าง 1 ครั้ง ด้วยฟันกราม ประเมินแรงที่ใช้ในการกัด (น้อย-มาก)	วุ้น 1.0%	=	1.0
	วุ้น 1.5%	=	4.5
	วุ้น 3.0%	=	6.0
การเกาะรวมตัวกัน (Cohesiveness; Cohes2)			
- ระดับการเกาะติดกันของตัวอย่าง	เค้กเนยสด 1 ชิ้น	=	6.0
- วางตัวอย่าง ½ ซ้อนชา ไว้ระหว่างฟันกราม และกดตัวอย่างลงอย่างเต็มที่ (หลวม-แน่น)	ขนมปัง 2 ชิ้น	=	14.0
<u>เนื้อสัมผัส: ระยะเคี้ยว (Chew down)</u>			
การเคี้ยว (Chewiness; Chew)			
- จำนวนในการเคี้ยวตัวอย่างที่พร้อมสำหรับกลืน	ขนมปัง	=	3.5
- วางตัวอย่าง ½ ซ้อนชา ไว้ในปาก และนับจำนวนครั้งในการเคี้ยวด้วยอัตราคงที่ (1 ครั้ง/1 วินาที) จนตัวอย่างนั้นสามารถจะกลืนได้ (น้อย-มาก)	ไส้กรอกดิบ	=	10.0

ตารางที่ 20 (ต่อ)

คุณลักษณะ / คำจำกัดความ / วิธีประเมิน	ตัวอย่างอ้างอิง		
การเกาะรวมตัวกันของตัวอย่าง (Cohesiveness of mass; Cohes3)			
- ปริมาณการเกาะหรือยึดติดด้วยกันของตัวอย่างเมื่อถูกเคี้ยว	ถั่วเขียวซีกคั่ว	=	3.0
- วางตัวอย่าง ½ ซ้อนชา ไว้ในปาก เคี้ยวตัวอย่างด้วยฟันกราม 5 ครั้ง และประเมิน การเกาะรวมตัวกันของตัวอย่าง (หลวม-แน่น)	เค้กเนยสด 1 ชิ้น	=	6.0
	ขนมปัง 2 ชิ้น	=	12.0
ความหยาบของตัวอย่าง (Roughness of mass; Rough)			
- ปริมาณความหยาบของผิวตัวอย่างที่รับรู้ได้เมื่อเคี้ยว	โจ๊ก	=	3.0
- วางตัวอย่าง ½ ซ้อนชา ไว้ในปาก เคี้ยวตัวอย่างด้วยฟันกราม 5 ครั้ง และประเมินความหยาบของผิวตัวอย่าง (เรียบเนียน-ขรุขระ)	ถั่วเขียวซีกทอด	=	14.0
ความเหนียว (Toothpull; TPull)			
- แรงที่ใช้ในการแยกฟันออกจากกันในระหว่างการเคี้ยว	แครกเกอร์ ½ แผ่น	=	3.0
- วางตัวอย่าง ½ ซ้อนชา ไว้ในปาก เคี้ยวตัวอย่างด้วยฟันกราม 5 ครั้ง และประเมินแรงที่ใช้ในการแยกฟันออกจากกัน (น้อย-มาก)	ขนมข้าวหอมมะลิ	=	9.0
	ไทย ½ แผ่น		
เนื้อสัมผัส: ระยะเวลาหลังเคี้ยว (Residual)			
การติดฟัน (Toothpack; TPack)			
- ปริมาณของตัวอย่างที่ติดอยู่ระหว่างฟัน หลังจากการเคี้ยว	เค้กเนยสด 1 ชิ้น	=	4.0
- วางตัวอย่าง ½ ซ้อนชา ไว้ในปาก เคี้ยวตัวอย่างด้วยฟันกราม จำนวน 15 ครั้ง กลืน และประเมินปริมาณตัวอย่างที่ติดอยู่ที่พื้นผิวของฟันด้วยลิ้น (น้อย-มาก)	ขนมข้าวหอมมะลิ	=	9.0
	ไทย ½ แผ่น		
อนุภาคตกค้าง (Loose particles; LParticle)			
- ปริมาณของอนุภาคที่เหลืออยู่ภายในหรือบนพื้นผิวของปาก ภายหลังการกลืน	เค้กเนยสด 1 ชิ้น	=	4.0
- วางตัวอย่าง ½ ซ้อนชา ไว้ในปาก เคี้ยวตัวอย่างด้วยฟันกราม จำนวน 15 ครั้ง กลืน และประเมินปริมาณตัวอย่างที่ติดอยู่ที่พื้นผิวของปากด้วยลิ้น (น้อย-มาก)	ขนมข้าวหอมมะลิ	=	9.0
	ไทย ½ แผ่น		

จากการประเมินทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการวิเคราะห์เชิงพรรณนาของข้าวหุงสุก 6 พันธุ์ ได้แก่ KDML 105, RD 15, PTT 1, CNT 1, SPB 1 และ PNL 2 ที่มีวิธีการหุงต้มแตกต่างกัน 4 ชนิด ได้แก่ การหุงต้มด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า เครื่องไมโครเวฟ การนึ่ง และการหุงแบบเช็ดน้ำ โดยเปรียบเทียบระดับความเข้มของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏของข้าวหุงสุก 5 คุณลักษณะ ได้แก่ ความเป็นสีขาว, ความสมบูรณ์ของเมล็ด, การเกาะติดระหว่างเมล็ด, ความเรียวยาวของเมล็ด และความขรุขระของผิวตัวอย่าง ที่มีวิธีการหุงต้มที่แตกต่างกัน 4 วิธี ในข้าวแต่ละพันธุ์ แสดงดังตารางที่ 21

ตารางที่ 21 ค่าเฉลี่ยระดับความเข้มคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการวิเคราะห์เชิงพรรณนา ด้านลักษณะปรากฏของข้าวหุงสุกพันธุ์ต่างๆที่หุงต้มด้วยวิธีการต่างกัน 4 วิธี

พันธุ์ข้าว		วิธีการหุงต้ม			
		หม้อหุงข้าวไฟฟ้า	การนึ่ง	หุงแบบเช็ดน้ำ	ไมโครเวฟ
ความเป็นสีขาว					
แอมิโลสต่ำ	KDML 105	11.00 bC	11.19 bD	11.60 aB	10.50 cC
	RD 15	10.52 cD	12.22 aB	11.82 aB	10.26 dCD
	PTT 1	10.75 aCD	10.67 bE	11.00 aD	10.16 dA
แอมิโลสสูง	CNT 1	11.87 aA	12.91 aA	12.35 bA	11.47 dA
	SPB 1	11.33 bB	12.10 aB	11.28 bB	11.13 bB
	PNL 2	11.88 bA	11.61 bC	12.45 aA	11.18 cB
ความสมบูรณ์ของเมล็ด					
แอมิโลสต่ำ	KDML 105	10.14 abA	9.98 bA	10.03 bAB	10.46 aA
	RD 15	10.18 aA	9.74 bAB	9.82 bBC	10.38 aA
	PTT 1	9.88 aB	9.35 dC	9.50 cD	9.68 bB
แอมิโลสสูง	CNT 1	9.80 bB	9.52 bBC	10.06 bA	10.68 aA
	SPB 1	8.97 bC	8.81 bD	9.42 aD	9.47 aBC
	PNL 2	8.75 bcC	8.54 cD	9.64 aCD	9.09 bC
การเกาะติดกันระหว่างเมล็ด					
แอมิโลสต่ำ	KDML 105	9.72 aA	9.81 aA	9.61 a,A	9.80 aA
	RD 15	9.68 aA	9.75 aA	9.63 a,A	9.74 aA
	PTT 1	9.70 aA	9.76 aA	9.71 aA	9.82 aA
แอมิโลสสูง	CNT 1	8.75 bB	8.90 abB	8.88 abB	8.95 aA
	SPB 1	7.32 cD	7.94 bC	7.83 bC	8.37 aC
	PNL 2	7.90 bC	8.00 bC	7.91 bC	8.33 aC

ตารางที่ 21 (ต่อ)

พันธุ์ข้าว		วิธีการหุงต้ม			
		หม้อหุงข้าวไฟฟ้า	การนึ่ง	หุงแบบเช็ดน้ำ	ไมโครเวฟ
<u>ความเรียวยาวของเมล็ด</u>					
แอมิโลสต่ำ	KDML 105	9.83 abA	9.27 cA	9.48 bcA	10.00 aB
	RD 15	9.79 bAB	8.97 cB	9.07 cB	10.40 aA
	PTT 1	9.50 aAB	8.87 cB	8.83 cCD	9.98 aB
แอมิโลสสูง	CNT 1	9.42 bB	8.79 dB	9.06 cB	10.04 aB
	SPB 1	8.82 bC	8.12 cD	8.76 bD	9.67 aC
	PNL 2	8.72 aC	8.54 bC	8.95 aBC	8.94 aD
<u>ความขรุขระของผิว</u>					
แอมิโลสต่ำ	KDML 105	4.75 bE	5.38 aC	5.50 aAB	4.59 bC
	RD 15	4.57 bF	5.60 aBC	5.70 aA	3.96 cD
	PTT 1	5.33 aD	5.62 aBC	5.68 aA	5.26 aA
แอมิโลสสูง	CNT 1	5.60 aC	5.44 aC	4.81 bC	4.66 bC
	SPB 1	6.09 aB	6.09 aA	5.25 bB	4.89 cBC
	PNL 2	6.45 aA	5.96 aAB	5.21 cB	5.21 cAB

หมายเหตุ ตัวอักษรพิมพ์เล็ก a-d ที่ต่างกันในแนวนอน หมายถึง ค่าเฉลี่ยในข้าวพันธุ์เดียวกันที่มีวิธีการหุงต้มที่ต่างกัน และตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ A-D ที่ต่างกันในแนวดิ่ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยในข้าวพันธุ์ต่างกัน ที่มีวิธีการหุงต้มที่เหมือนกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ตามลำดับ

ข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสสูงมีความเป็นสีขาวมากกว่าข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำ โดยข้าวที่มีความเป็นสีขาวมากที่สุด คือ CNT 1 สำหรับวิธีการหุงต้ม พบว่ามีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ต่อระดับความเข้มของคุณลักษณะด้านความเป็นสีขาวในข้าวทุกพันธุ์ โดยการหุงแบบเช็ดน้ำ การนึ่ง และการหุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า ทำให้ข้าวมีความเป็นสีขาวมากกว่าการหุงต้มด้วยเครื่องไมโครเวฟ ความสมบูรณ์ของเมล็ดข้าว พบว่าข้าวแอมิโลสต่ำมีความสมบูรณ์ของเมล็ดข้าวมากกว่าข้าวแอมิโลสสูง โดยข้าวที่มีความสมบูรณ์ของเมล็ดมากที่สุด คือ KDML 105 และ RD 15 รวมทั้ง CNT 1 ที่หุงแบบเช็ดน้ำและเครื่องไมโครเวฟ เมื่อพิจารณาวิธีการหุงต้ม พบว่าวิธีการหุงต้มมีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ต่อระดับความเข้มของคุณลักษณะด้านนี้ การ

หุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า และเครื่องไมโครเวฟ ทำให้เมล็ดข้าวมีความสมบูรณ์มากที่สุด กับ KDML 105, RD 15 และ PTT 1 สำหรับ CNT 1, SPB 1 และ PNL 2 พบว่าการหุงด้วยเครื่องไมโครเวฟ และการหุงแบบเช็ดน้ำทำให้เมล็ดข้าวมีความสมบูรณ์มากกว่าการหุงต้มด้วยวิธีอื่น การเกาะติดระหว่างเมล็ด พบว่าข้าวแอมิโลสต่ำมีการเกาะติดระหว่างเมล็ดมากกว่าข้าวแอมิโลสสูง ส่งผลให้ข้าวแอมิโลสสูง ซึ่งเป็นข้าวที่เหนียวติดกันน้อย มีการขยายขนาดเมล็ดข้าวสุกเพิ่มขึ้น และจะช่วยให้ข้าวหุงขึ้นหม้อดียิ่งขึ้นและเนื้อข้าวโปร่ง ไม่อัดแน่น (งามชื่น, 2545) โดยวิธีการหุงต้มไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ต่อระดับความเข้มของการเกาะติดระหว่างเมล็ดในข้าวแอมิโลสต่ำ แต่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับข้าวแอมิโลสสูง โดยการหุงด้วยเครื่องไมโครเวฟทำให้ข้าวมีการเกาะติดกันมาก สำหรับความเรียบของเมล็ด และความขรุขระของผิวตัวอย่าง พบว่าวิธีการหุงต้มด้วยเครื่องไมโครเวฟทำให้เมล็ดข้าวมีความเรียบมาก แต่มีความขรุขระของผิวตัวอย่างน้อย

การเปรียบเทียบระดับความเข้มของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่น 8 คุณลักษณะ ได้แก่ กลิ่นแป้ง, กลิ่นข้าวสาร, กลิ่นไข่ขาว, กลิ่นใบเตย, กลิ่นไม้, กลิ่นแกลบ, กลิ่นรำ และกลิ่นกระสอบ แสดงดังตารางที่ 22 กลิ่นรส 4 คุณลักษณะ ได้แก่ กลิ่นรสแป้ง, กลิ่นรสไข่ขาว, กลิ่นรสใบเตย, รสหวาน, ความรู้สึตกค้าง 2 คุณลักษณะ ได้แก่ ความเป็นแป้ง และรสหวานตกค้าง แสดงดังตารางที่ 23

ตารางที่ 22 ค่าเฉลี่ยระดับความเข้มคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการวิเคราะห์เชิงพรรณนา ด้านกลิ่นของข้าวหุงสุกพันธุ์ต่างๆที่หุงต้มด้วยวิธีการต่างกัน 4 วิธี

พันธุ์ข้าว		วิธีการหุงต้ม			
		หม้อหุงข้าวไฟฟ้า	การนึ่ง	หุงแบบเช็ดน้ำ	ไมโครเวฟ
กลิ่นแป้ง					
แอมิโลสต่ำ	KDML 105	3.28 aAB	3.33 aA	2.94 bBC	2.91 bA
	RD 15	3.03 aBC	3.00 aB	3.06 aB	2.94 aA
	PTT 1	3.33 aA	3.31 aA	3.35 aA	2.90 aA
แอมิโลสสูง	CNT 1	2.75 aB	2.63 aC	2.59 aD	2.30 bB
	SPB 1	3.00 aCD	3.13 aB	2.48 bD	2.22 cB
	PNL 2	3.08 aAB	2.43 cD	2.88 bC	2.25 d

ตารางที่ 22 (ต่อ)

พันธุ์ข้าว		วิธีการหุงต้ม			
		หม้อหุงข้าวไฟฟ้า	การนึ่ง	หุงแบบเช็ดน้ำ	ไมโครเวฟ
<u>กลิ่นข้าวสาร</u>					
แอมิโลสต่ำ	KDML 105	2.07 aA	1.95 bA	1.76 dC	1.85 cAB
	RD 15	2.05 aA	1.92 bA	1.78 cBC	1.86 bA
	PTT 1	2.05 aA	1.94 bA	1.83 cA	1.86 cA
แอมิโลสสูง	CNT 1	2.03 aA	1.91 abA	1.72 cD	1.82 bcBC
	SPB 1	1.98 aA	1.90 bA	1.79 cABC	1.80 cC
	PNL 2	2.00 aA	1.85 bA	1.80 cAB	1.86 bA
<u>กลิ่นไข่ขาว</u>					
แอมิโลสต่ำ	KDML 105	0.48 bcC	0.41 cE	0.60 aD	0.52 abC
	RD 15	0.58 bA	0.58 bC	0.67 aC	0.65 abBC
	PTT 1	0.54 aBC	0.50 aD	0.61 aD	0.61 aC
แอมิโลสสูง	CNT 1	1.06 aA	0.96 bA	0.89 cB	0.95 bA
	SPB 1	1.03 aA	0.70 cB	0.66 cC	0.81 bAB
	PNL 2	1.01 aA	0.69 cC	0.96 bA	0.56 dC
<u>กลิ่นใบเตย</u>					
แอมิโลสต่ำ	KDML 105	0.21 bA	0.30 aA	0.22 bA	0.20 bA
	RD 15	0.20 bA	0.28 aA	0.20 bA	0.18 bA
	PTT 1	0.14 bB	0.19 aB	0.14 bB	0.15 bB
แอมิโลสสูง	CNT 1	0.12 abB	0.14 aB	0.11 bC	0.14 abBC
	SPB 1	0.11 bB	0.15 aB	0.13 aBC	0.15 aB
	PNL 2	0.13 aB	0.15 aB	0.12 aBC	0.13 aC
<u>กลิ่นไม้</u>					
แอมิโลสต่ำ	KDML 105	0.24 bcB	0.28 aA	0.26 abB	0.22 cE
	RD 15	0.25 aB	0.26 aA	0.26 aB	0.25 aDE
	PTT 1	0.32 aA	0.33 aB	0.31 aA	0.33 aA
แอมิโลสสูง	CNT 1	0.33 aA	0.31 abB	0.30 bA	0.29 bBC
	SPB 1	0.31 aA	0.32 aB	0.30 aA	0.26 bCD
	PNL 2	0.31 aA	0.32 aB	0.31 aA	0.31 aAB

ตารางที่ 22 (ต่อ)

พันธุ์ข้าว		วิธีการหุงต้ม			
		หม้อหุงข้าวไฟฟ้า	การนึ่ง	หุงแบบเช็ดน้ำ	ไมโครเวฟ
กลั่นแกลบ					
แอมิโลสต่ำ	KDML 105	0.26 aC	0.25 aB	0.26 aA	0.27 aB
	RD 15	0.28 bcBC	0.26 cB	0.30 abA	0.31 aA
	PTT 1	0.31 aA	0.32 aA	0.30 aA	0.31 aA
แอมิโลสสูง	CNT 1	0.30 aAB	0.25 bB	0.27 bA	0.27 abB
	SPB 1	0.29 aAB	0.30 aA	0.30 aA	0.28 aB
	PNL 2	0.31 aA	0.31 aA	0.29 aA	0.29 aAB
กลั่นรำ					
แอมิโลสต่ำ	KDML 105	0.32 aA	0.31 aAB	0.26 bC	0.26 cB
	RD 15	0.30 aA	0.26 cC	0.27 bBC	0.31 aA
	PTT 1	0.32 aA	0.32 aA	0.30 aAB	0.30 aA
แอมิโลสสูง	CNT 1	0.33 aA	0.31 aAB	0.31 aA	0.26 bB
	SPB 1	0.31 aA	0.27 bBC	0.27 bBC	0.26 bB
	PNL 2	0.30 abA	0.31 aAB	0.27 bC	0.31 aA
กลั่นกระสอบ					
แอมิโลสต่ำ	KDML 105	0.23 aB	0.22 aC	0.26 aB	0.24 aA
	RD 15	0.24 aB	0.21 aC	0.24 aB	0.25 aA
	PTT 1	0.25 aB	0.26 aB	0.26 aB	0.23 aA
แอมิโลสสูง	CNT 1	0.29 abA	0.28 bAB	0.31 aA	0.27 bA
	SPB 1	0.31 aA	0.29 abA	0.28 bcAB	0.25 cA
	PNL 2	0.30 aA	0.26 bB	0.26 bB	0.24 cA

หมายเหตุ ตัวอักษรพิมพ์เล็ก a-c ที่ต่างกันในแนวนอน หมายถึง ค่าเฉลี่ยในข้าวพันธุ์เดียวกันที่มีวิธีการหุงต้มที่ต่างกัน และตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ A-E ที่ต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยในข้าวพันธุ์ต่างกัน ที่มีวิธีการหุงต้มที่เหมือนกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ตามลำดับ

ตารางที่ 23 ค่าเฉลี่ยระดับความเข้มคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการวิเคราะห์เชิงพรรณนา
ด้านกลิ่นรส และความรู้สึกลิ้นคั่ง ของข้าวหุงสุกพันธุ์ต่างๆที่หุงต้มด้วยวิธีการต่างกัน
4 วิธี

พันธุ์ข้าว		วิธีการหุงต้ม			
		หม้อหุงข้าวไฟฟ้า	การนึ่ง	หุงแบบเช็ดน้ำ	ไมโครเวฟ
<u>กลิ่นรสแป้ง</u>					
แอมิโลสต่ำ	KDML 105	3.32 cD	4.33 aA	4.10 bA	3.09 dD
	RD 15	3.36 cD	4.54 aA	4.03 bA	3.35 cB
	PTT 1	3.83 bB	3.79 bB	4.19 aA	3.60 bA
แอมิโลสสูง	CNT 1	4.08 aA	3.53 cBC	3.72 bB	3.11 dCd
	SPB 1	3.64 aC	3.70 aB	3.33 bB	3.29 dCD
	PNL 2	3.60 aC	3.31 bC	3.64 aB	3.05 cD
<u>กลิ่นรสไข่ขาว</u>					
แอมิโลสต่ำ	KDML 105	0.53 bC	0.43 cD	0.73 aB	0.50 bD
	RD 15	0.53 cC	0.59 bB	0.70 aB	0.63 bB
	PTT 1	0.52 bC	0.43 cD	0.67 aB	0.53 bCD
แอมิโลสสูง	CNT 1	0.85 aB	0.72 bA	0.71 bB	0.72 bA
	SPB 1	0.92 aAB	0.61 bB	0.60 bcC	0.59 cBC
	PNL 2	0.95 aA	0.53 cC	0.86 bA	0.51 dD
<u>กลิ่นรสใบเตย</u>					
แอมิโลสต่ำ	KDML 105	0.14 bA	0.20 aA	0.18 aA	0.13 bB
	RD 15	0.19 aA	0.20 aA	0.17 aA	0.16 aA
	PTT 1	0.12 cC	0.16 aB	0.14 bcB	0.15 abAB
แอมิโลสสูง	CNT 1	0.09 abD	0.11 aC	0.08 bC	0.11 aC
	SPB 1	0.09 bD	0.12 aC	0.10 bC	0.11 abC
	PNL 2	0.11 bC	0.13 aBC	0.09 dC	0.10 cC
<u>รสหวาน</u>					
แอมิโลสต่ำ	KDML 105	0.24 bA	0.27 abA	0.29 aA	0.17 cB
	RD 15	0.20 abC	0.24 aB	0.23 aC	0.18 bB
	PTT 1	0.24 abAB	0.20 bB	0.26 aB	0.22 bA
แอมิโลสสูง	CNT 1	0.18 aC	0.19 aC	0.17 aD	0.17 aB
	SPB 1	0.20 bC	0.23 aB	0.18 bD	0.17 bB
	PNL 2	0.21 bBC	0.22 aB	0.18 bD	0.18 aB

ตารางที่ 23 (ต่อ)

พันธุ์ข้าว		วิธีการหุงต้ม			
		หม้อหุงข้าวไฟฟ้า	การนึ่ง	หุงแบบเช็ดน้ำ	ไมโครเวฟ
ความเป็นแป้งตกค้าง					
แอมิโลสต่ำ	KDML 105	2.28 abAB	2.40 aA	1.95 bBC	2.09 abA
	RD 15	1.97 bC	2.42 aA	2.18 abAB	1.93 bA
	PTT 1	2.41 aA	2.32 aAB	2.43 aA	1.72 bB
แอมิโลสสูง	CNT 1	2.11 aBC	2.05 aB	2.13 aB	1.63 bBC
	SPB 1	1.94 bC	2.42 aA	2.00 bBC	1.72 cBC
	PNL 2	1.93 abC	2.06 aB	1.76 bC	1.53 cC
รสหวานตกค้าง					
แอมิโลสต่ำ	KDML 105	0.28 bAB	0.30 abA	0.32 aB	0.22 cAB
	RD 15	0.27 aAB	0.28 aAB	0.30 aB	0.22 bB
	PTT 1	0.31 bA	0.28 cAB	0.35 aA	0.25 dA
แอมิโลสสูง	CNT 1	0.20 bD	0.23 aC	0.18 bD	0.20 bB
	SPB 1	0.25 aBC	0.27 aB	0.21 bC	0.21 bB
	PNL 2	0.23 bCD	0.26 aB	0.20 bCD	0.23 bAB

หมายเหตุ ตัวอักษรพิมพ์เล็ก a-d ที่ต่างกันในแนวนอน หมายถึง ค่าเฉลี่ยในข้าวพันธุ์เดียวกันที่มีวิธีการหุงต้มที่ต่างกัน และตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ A-D ที่ต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยในข้าวพันธุ์ต่างกัน ที่มีวิธีการหุงต้มที่เหมือนกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ตามลำดับ

วิธีการหุงต้มมีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ต่อระดับความเข้มของกลิ่นกลิ่นรส และความรู้สึตกค้าง ในข้าวหุงสุกที่มีวิธีการหุงต้มที่แตกต่างกัน โดยกลิ่น (ตารางที่ 22) ที่พบมากในข้าวหุงสุก คือ กลิ่นแป้ง และกลิ่นข้าวสาร มีระดับความเข้ม 1.72-3.35 กลิ่นที่พบในปริมาณปานกลาง คือ กลิ่นไข่ขาว มีระดับความเข้ม 0.41-1.06 สำหรับกลิ่นอื่นๆ เช่น กลิ่นใบเตย กลิ่นไม้ กลิ่นแกลบ กลิ่นรำ และกลิ่นกระสอบ จะพบในปริมาณน้อย คือ 0.11-0.33 กลิ่นรส (ตารางที่ 23) ที่พบในข้าวหุงสุกมีเพียง 3 คุณลักษณะ โดยกลิ่นรสที่พบมากที่สุด คือ กลิ่นรสแป้ง มีระดับความเข้ม 3.05-4.54 รองลงมา คือ กลิ่นไข่ขาว มีระดับความเข้ม 0.43-0.98 และกลิ่นรสที่พบน้อยที่สุด คือ กลิ่นรสใบเตย มีระดับความเข้ม 0.08-0.20 สำหรับรสที่พบ คือ รสหวาน มีระดับความเข้ม

0.17-0.29 รสหวานเกิดจาก ภายในต่อมน้ำลาย (salivary gland) ผลิตน้ำย่อยอะไมเลส (amylase) หรือไพทาลิน (ptyalin) ซึ่งจะย่อยแป้งจากข้าว ในระยะเวลาสั้นๆ ให้กลายเป็นเดกซ์ทริน (dextrin) ซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีโมเลกุลเล็กกว่าแป้ง แต่ใหญ่กว่าน้ำตาล และถูกย่อยต่อไปจนเป็นน้ำตาล โมเลกุลคู่ คือ มอลโตส (กีร์รด์น, 2550) ทำให้ข้าวมีรสหวาน สำหรับความรู้สึกตกค้าง (ตารางที่ 23) หลังจากกลืนตัวอย่างมีเพียง 2 คุณลักษณะ คือ ความรู้สึกตกค้างของแป้ง มีระดับความเข้ม 1.53-2.43 และความรู้สึกตกค้างของรสหวาน มีระดับความเข้ม 0.18-0.35 เมื่อพิจารณาตามประเภทของ ข้าวตามปริมาณแอมิโลส พบว่าข้าวแอมิโลสสูงมีกลิ่น และกลิ่นรสข้าวมากกว่าข้าวแอมิโลสต่ำ สำหรับข้าวแอมิโลสต่ำจะมีกลิ่นแป้งที่สูงกว่าข้าวแอมิโลสสูง กลิ่นใบเตย จะพบมากใน KDML 105 และ RD 15 รองลงมา คือ PTT 1 เนื่องจากในข้าวหุงสุก 3 พันธุ์นี้ มีสาร 2-อะเซทิล-1-ไพโรลีน (Buttery *et al.*, 1983) ในปริมาณมากกว่าข้าวพันธุ์อื่น เมื่อพิจารณาวิธีการหุงต้ม พบว่าข้าวหุงสุกที่ หุงด้วยเครื่องไมโครเวฟ ทำให้ข้าวมีกลิ่น กลิ่นรส และความรู้สึกตกค้างของแป้ง ที่น้อยกว่าการหุง ต้มด้วยวิธีการอื่น และการหุงด้วยเครื่องไมโครเวฟ และการหุงแบบเช็ดน้ำทำให้ข้าวมีกลิ่นข้าวสาร ที่น้อยกว่าการหุงต้มด้วยวิธีการอื่น สำหรับการนี้ทำให้ข้าวนั้นมีกลิ่นใบเตยมากกว่าการหุงต้มด้วย วิธีการอื่น

คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุก ประกอบด้วยระยะ ของการทดสอบ 5 ระยะ ได้แก่ ระยะแรกของการทดสอบ 3 คุณลักษณะ ระยะกดตัวอย่างบางส่วน 4 คุณลักษณะ ระยะกัดหรือเคี้ยวครั้งแรก 2 คุณลักษณะ ระยะเคี้ยว 4 คุณลักษณะ และระยะหลังเคี้ยว 2 คุณลักษณะ

คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส ด้านเนื้อสัมผัสในระยะแรกของการทดสอบจาก การประเมินทางประสาทสัมผัส (ตารางที่ 24) เมื่อพิจารณาข้าวหุงสุกตามปริมาณแอมิโลส พบว่า ข้าวแอมิโลสต่ำจะมีเนื้อสัมผัสในด้านความเหนียว หรือแรงที่ใช้ในการแยกนิ้วมือออกจากกัน เมื่อ กดตัวอย่างระหว่างนิ้วหัวแม่มือและนิ้วชี้ และการเกาะรวมตัวกัน ในระยะแรกของการทดสอบ มากกว่าข้าวแอมิโลสสูง โดยวิธีการหุงต้มมีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ต่อคุณลักษณะ ด้านความเหนียว กับข้าวหุงสุกทุกพันธุ์ ยกเว้น RD 15 และ PNL 2 การหุงด้วยการนึ่ง และการหุง แบบเช็ดน้ำ ทำให้ข้าวมีความเหนียวในการดึงมือออกจากกันมากกว่าการหุงต้มด้วยวิธีการอื่น การ เกาะรวมตัวกัน หรือระดับการเกาะติดกันของตัวอย่างเมื่อยังไม่ได้เคี้ยว พบว่าวิธีการหุงต้มมีผล อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับข้าวหุงสุกเพียง 2 พันธุ์เท่านั้น คือ PTT 1 และ CNT 1 สำหรับความเป็นเมล็ด หรือการรับรู้ระดับของเมล็ดข้าว วิธีการหุงต้มมีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับข้าว 3 พันธุ์ ได้แก่ RD 15, CNT 1 และ PNL 2 โดย RD 15 และ CNT 1 การหุงด้วย

ไมโครเวฟทำให้ข้าวมีความเป็นเมล็ดมากที่สุด และการหุงแบบเช็ดน้ำทำให้ข้าวมีความเป็นเมล็ดน้อย แต่ใน PNL 2 การหุงแบบเช็ดน้ำทำให้ข้าวมีความเป็นเมล็ดมากที่สุด

ตารางที่ 24 ค่าเฉลี่ยระดับความเข้มในคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสในระยะแรกของการทดสอบของข้าวหุงสุกพันธุ์ต่างๆที่หุงต้มด้วยวิธีการต่างกัน 4 วิธี

พันธุ์ข้าว		วิธีการหุงต้ม			
		หม้อหุงข้าวไฟฟ้า	การนึ่ง	หุงแบบเช็ดน้ำ	ไมโครเวฟ
ความเหนียว					
แอมิโลสต่ำ	KDML 105	7.50 bA	8.20 aA	8.00 aA	7.53 bB
	RD 15	7.50 aA	8.16 aA	8.06 aA	7.81 aA
	PTT 1	7.67 bA	8.35 aA	8.20 abA	7.68 bAB
แอมิโลสสูง	CNT 1	6.39 abB	6.63 aC	6.74 aB	5.78 bD
	SPB 1	6.28 bcB	6.86 aB	6.66 abB	6.09 cC
	PNL 2	6.33 aB	6.57 aC	6.38 aC	6.27 aC
การเกาะรวมตัวกัน					
แอมิโลสต่ำ	KDML 105	7.50 aA	8.98 aA	9.00 aA	9.13 aA
	RD 15	7.50 aA	8.75 aA	9.38 aA	9.28 aA
	PTT 1	7.67 bA	8.67 bA	9.06 aA	9.04 aA
แอมิโลสสูง	CNT 1	6.39 abB	7.60 abB	6.97 bB	8.23 bB
	SPB 1	6.28 aD	7.39 aB	6.23 aC	7.09 aC
	PNL 2	6.33 aC	6.33 aC	6.52 aC	7.00 aC
ความเป็นเมล็ด					
แอมิโลสต่ำ	KDML 105	7.50 aA	8.84 aB	8.50 aCD	9.19 aAB
	RD 15	7.50 abA	8.39 bC	8.33 bD	9.62 aA
	PTT 1	7.67 aA	8.92 aB	8.66 aBC	8.97 aB
แอมิโลสสูง	CNT 1	6.39 bcA	9.51 abA	8.69 cB	9.63 aA
	SPB 1	6.28 aA	9.25 aA	8.62 aBC	9.00 aB
	PNL 2	6.33 bB	7.93 bD	9.20 aA	8.80 abB

หมายเหตุ ตัวอักษรพิมพ์เล็ก a-c ที่ต่างกันในแนวนอน หมายถึง ค่าเฉลี่ยในข้าวพันธุ์เดียวกันที่มีวิธีการหุงต้มที่ต่างกัน และตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ A-D ที่ต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยในข้าวพันธุ์ต่างกัน ที่มีวิธีการหุงต้มที่เหมือนกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ตามลำดับ

คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส ด้านเนื้อสัมผัสในระยะกดตัวอย่างบางส่วนจากการประเมินทางประสาทสัมผัส (ตารางที่ 25) พบว่าข้าวแอมิโลสต่ำจะมีเนื้อสัมผัสในด้านการเกาะติดริมฝีปาก หรือระดับของตัวอย่างที่เกาะติดริมฝีปาก และความลื่นเป็นมันของผิวมากกว่าข้าวแอมิโลสสูง โดยวิธีการหุงต้มมีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ต่อคุณลักษณะด้านการเกาะติดริมฝีปากใน RD 15, SPB 1 และ PNL 2 การหุงต้มด้วยไมโครเวฟ ทำให้ RD 15 มีปริมาณการเกาะติดริมฝีปากมากที่สุด และการนี้ทำให้ SPB 1 และ PNL 2 มีปริมาณการเกาะติดริมฝีปากมากที่สุด คุณลักษณะด้านความลื่นเป็นมันของผิว วิธีการหุงต้มมีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ใน RD 15 และ SPB 1 การหุงต้มด้วยไมโครเวฟ และการนี้ ทำให้ RD 15 มีผิวที่ลื่นเป็นมันมากที่สุด และการหุงต้มด้วยการนี้ทำให้ SPB 1 มีผิวที่ลื่นเป็นมันมากที่สุดเช่นเดียวกัน สำหรับคุณลักษณะด้านความยืดหยุ่น หรือระดับการคืนตัวกลับของเมล็ดข้าวสุ่งปร่าเดิม หลังจากกดตัวอย่างลงบางส่วนด้วยฟันกราม และความเป็นแป็งเคลือบปาก หรือปริมาณของความเป็นแป็งที่รับรู้ได้ก่อนที่ตัวอย่างจะผสมกับน้ำลาย จะแตกต่างกันไปตามวิธีการหุงต้ม โดยคุณลักษณะด้านความยืดหยุ่น วิธีการหุงต้มมีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในข้าวทุกพันธุ์ ยกเว้น CNT 1 การหุงต้มด้วยไมโครเวฟ ทำให้ KDML 105, RD 15 และ PTT 1 มีความยืดหยุ่นสูงสุด และการหุงแบบเช็ดน้ำ ทำให้ SPB 1 และ PNL 2 มีความยืดหยุ่นสูงสุด คุณลักษณะด้านความเป็นแป็งเคลือบปาก วิธีการหุงต้มมีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในข้าวทุกพันธุ์ โดยการนี้ทำให้ข้าวมีความเป็นแป็งเคลือบปากมาก

ตารางที่ 25 ค่าเฉลี่ยระดับความเข้มในคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสในระยะกดตัวอย่างบางส่วนของข้าวหุงสุกพันธุ์ต่างๆที่หุงต้มด้วยวิธีการต่างกัน 4 วิธี

พันธุ์ข้าว		วิธีการหุงต้ม			
		หม้อหุงข้าวไฟฟ้า	การนึ่ง	หุงแบบเช็ดน้ำ	ไมโครเวฟ
<u>การเกาะติดริมฝีปาก</u>					
แอมิโลสต่ำ	KDML 105	8.81 aA	9.26 aA	8.95 aA	9.29 aB
	RD 15	8.98 abA	9.07 abA	8.84 bA	9.58 aA
	PTT 1	9.00 aA	9.03 aA	8.98 aA	8.88 aC
แอมิโลสสูง	CNT 1	7.39 aB	7.86 aB	7.82 aB	7.30 aD
	SPB 1	7.21 bB	7.78 aB	7.24 bC	7.07 bD
	PNL 2	7.42 aB	7.50 aB	7.21 bC	7.31 abD

ตารางที่ 25 (ต่อ)

พันธุ์ข้าว		วิธีการหุงต้ม			
		หม้อหุงข้าวไฟฟ้า	การนึ่ง	หุงแบบเช็ดน้ำ	ไมโครเวฟ
<u>ความชื้นเป็นมัน</u>					
แอมิโลสต่ำ	KDML 105	8.66 aA	8.50 aB	8.55 aA	8.57 aB
	RD 15	8.30 bB	8.78 aA	8.14 bB	8.96 aA
	PTT 1	8.42 aAB	8.27 aBC	8.73 aA	8.79 aAB
แอมิโลสสูง	CNT 1	7.93 aC	8.08 aCD	7.94 aC	7.94 aC
	SPB 1	6.15 cE	7.90 aD	7.19 bD	6.18 cD
	PNL 2	6.56 aD	6.66 aE	6.81 aE	6.42 aD
<u>ความยืดหยุ่น</u>					
แอมิโลสต่ำ	KDML 105	5.10 abBC	5.08 abA	4.81 bE	5.37 aA
	RD 15	5.20 bB	4.91 bAB	5.20 bC	5.83 aA
	PTT 1	5.44 aA	4.61 bD	5.25 aBC	5.25 aA
แอมิโลสสูง	CNT 1	4.92 aD	4.64 aCD	5.01 aD	5.17 aA
	SPB 1	4.97 bCD	4.87 bABC	5.32 aB	5.07 abA
	PNL 2	5.20 abB	4.77 bBCD	5.54 bA	5.19 aA
<u>ความเป็นแป้งเคลือบปาก</u>					
แอมิโลสต่ำ	KDML 105	2.24 bB	2.59 aA	2.00 cC	1.92 cA
	RD 15	1.93 bD	2.60 aA	2.10 bC	1.59 cBC
	PTT 1	2.19 aB	2.36 aB	2.57 aA	1.63 bB
แอมิโลสสูง	CNT 1	2.35 aA	2.12 aB	2.35 aB	1.63 bBC
	SPB 1	1.95 cD	2.27 aC	2.12 bC	1.65 dBC
	PNL 2	2.07 aC	2.11 aC	2.09 aC	1.50 bC

หมายเหตุ ตัวอักษรพิมพ์เล็ก a-d ที่ต่างกันในแนวนอน หมายถึง ค่าเฉลี่ยในข้าวพันธุ์เดียวกันที่มีวิธีการหุงต้มที่ต่างกัน และตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ A-E ที่ต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยในข้าวพันธุ์ต่างกัน ที่มีวิธีการหุงต้มที่เหมือนกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ตามลำดับ

ตารางที่ 26 ค่าเฉลี่ยระดับความเข้มในคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสในระยะกักหรือเดี่ยวครั้งแรกของข้าวหุงสุกพันธุ์ต่างๆที่หุงต้มด้วยวิธีการต่างกัน

พันธุ์ข้าว		วิธีการหุงต้ม			
		หม้อหุงข้าวไฟฟ้า	การนึ่ง	หุงแบบเช็ดน้ำ	ไมโครเวฟ
<u>ความแข็ง</u>					
แอมิโลสต่ำ	KDML 105	4.00 bD	4.07 bC	3.58 cC	5.10 aB
	RD 15	4.40 cC	4.00 cC	3.88 cC	5.06 aB
	PTT 1	4.48 bC	4.54 bBC	3.95 cC	5.32 aB
แอมิโลสสูง	CNT 1	4.85 bAB	4.56 cAB	4.22 dB	5.37 aAB
	SPB 1	4.90 bA	4.71 bA	4.65 bA	5.59 aA
	PNL 2	4.71 bB	4.60 aAB	4.75 bA	5.56 aA
<u>การเกาะรวมตัวกัน</u>					
แอมิโลสต่ำ	KDML 105	6.78 aA	6.82 aAB	7.07 aA	7.16 aB
	RD 15	6.76 bA	7.00 abA	7.05 abA	7.68 aA
	PTT 1	6.69 aA	6.86 aAB	7.07 aA	7.12 aB
แอมิโลสสูง	CNT 1	6.63 aA	6.17 aD	6.74 aB	6.58 aC
	SPB 1	6.74 aA	6.64 aBC	6.73 aB	6.98 aB
	PNL 2	6.76 aA	6.44 bCD	6.70 abB	6.61 abC

หมายเหตุ ตัวอักษรพิมพ์เล็ก a-d ที่ต่างกันในแนวนอน หมายถึง ค่าเฉลี่ยในข้าวพันธุ์เดียวกันที่มีวิธีการหุงต้มที่ต่างกัน และตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ A-D ที่ต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยในข้าวพันธุ์ต่างกัน ที่มีวิธีการหุงต้มที่เหมือนกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ตามลำดับ

คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส ด้านเนื้อสัมผัสในระยะกัก หรือเดี่ยวครั้งแรกของข้าวหุงสุก (ตารางที่ 26) คุณลักษณะด้านความแข็ง หรือแรงที่ใช้ในการกดตัวอย่างด้วยฟันกราม 1 ครั้ง พบว่าวิธีการหุงต้มมีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับข้าวหุงสุกทุกพันธุ์ โดยการหุงด้วยเครื่องไมโครเวฟจะทำให้ข้าวมีความแข็งมากที่สุด และการหุงแบบเช็ดน้ำ ทำให้ข้าวมีความแข็งน้อยที่สุด โดยเฉพาะการหุงด้วยวิธีนี้กับข้าวแอมิโลสต่ำ ทำให้ข้าวมีความแข็งน้อยที่สุด เนื่องจากปริมาณแอมิโลสเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้ข้าวหุงสุกมีความแข็ง หรือความนุ่มแตกต่างกัน คุณลักษณะด้านการเกาะรวมตัวกัน หรือปริมาณของตัวอย่างที่เสียรูปร่าง พบว่าข้าวแอมิโลสต่ำ มีการเกาะ

รวมตัวกันในระยะกัศครั้งแรกมากกว่าข้าวแอมิโลสสูง ยกเว้นข้าวที่หุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า ที่พันธุ์ข้าวไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับคุณลักษณะนี้ ทั้งนี้วิธีการหุงต้มมีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับ RD 15 และ PNL 2 โดย RD 15 มีการเกาะรวมตัวกันมากที่สุดเมื่อหุงด้วยเครื่องไมโครเวฟ และน้อยที่สุดเมื่อหุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า แต่ใน PNL 2 มีการเกาะรวมตัวกันมากเมื่อหุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า

ตารางที่ 27 ค่าเฉลี่ยระดับความเข้มในคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสในระยะเกี่ยวของข้าวหุงสุกพันธุ์ต่างๆที่หุงต้มด้วยวิธีการต่างกัน 4 วิธี

พันธุ์ข้าว		วิธีการหุงต้ม			
		หม้อหุงข้าวไฟฟ้า	การนึ่ง	หุงแบบเช็ดน้ำ	ไมโครเวฟ
<u>การเกี่ยว</u>					
แอมิโลสต่ำ	KDML 105	6.59 bBC	6.42 cBC	6.16 dCD	7.00 aC
	RD 15	6.37 bC	6.28 bC	6.43 bB	8.32 aC
	PTT 1	6.50 bBC	6.27 cC	6.04 dD	7.60 aC
แอมิโลสสูง	CNT 1	6.48 bBC	6.49 bB	6.27 bC	7.75 aAB
	SPB 1	6.91 bAB	6.67 bA	6.86 bA	8.06 aA
	PNL 2	6.92 bA	6.69 bA	6.96 bA	7.71 aB
<u>การเกาะรวมตัว</u>					
แอมิโลสต่ำ	KDML 105	6.68 aBC	6.97 aA	7.07 aA	6.81 aAB
	RD 15	7.07 aA	6.74 aAB	6.87 aAB	7.15 aA
	PTT 1	7.00 aAB	6.99 aA	7.07 aA	7.20 aA
แอมิโลสสูง	CNT 1	6.41 aC	6.39 aBC	6.41 aCD	6.45 aBC
	SPB 1	6.59 aC	6.40 abBC	6.34 bD	6.00 bC
	PNL 2	6.35 aC	6.15 aC	6.67 aBC	6.14 aC
<u>ความหยาบ</u>					
แอมิโลสต่ำ	KDML 105	6.41 abB	6.04 bC	6.64 aA	6.65 aD
	RD 15	6.28 bcB	5.54 cD	6.36 abB	7.14 aA
	PTT 1	6.34 bB	6.00 cC	6.18 bcB	6.87 aB
แอมิโลสสูง	CNT 1	6.92 aA	6.46 abA	5.73 bC	7.17 aA
	SPB 1	6.92 aA	6.68 aB	6.30 aB	6.79 aB
	PNL 2	6.50 aB	6.53 aAB	6.66 aA	6.87 aB

ตารางที่ 27 (ต่อ)

พันธุ์ข้าว		วิธีการหุงต้ม			
		หม้อหุงข้าวไฟฟ้า	การนึ่ง	หุงแบบเช็ดน้ำ	ไมโครเวฟ
<u>ความเหนียว</u>					
แอมิโลสต่ำ	KDML 105	5.14 cD	6.28 aA	5.53 bBC	6.38 aA
	RD 15	5.32 bCD	6.07 abB	5.72 bAB	6.74 aA
	PTT 1	5.94 aA	5.59 aCD	6.03 aA	6.02 aB
แอมิโลสสูง	CNT 1	5.56 aBC	5.14 aE	5.32 aC	5.39 aC
	SPB 1	5.40 aBCD	5.50 aD	5.51 aBC	5.46 aC
	PNL 2	5.60 aB	5.70 aC	4.87 bD	4.87 bD

หมายเหตุ ตัวอักษรพิมพ์เล็ก a-d ที่ต่างกันในแนวนอน หมายถึง ค่าเฉลี่ยในข้าวพันธุ์เดียวกันที่มีวิธีการหุงต้มที่ต่างกัน และตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ A-D ที่ต่างกันในแนวดิ่ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยในข้าวพันธุ์ต่างกัน ที่มีวิธีการหุงต้มที่เหมือนกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ตามลำดับ

คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส ด้านเนื้อสัมผัสในระยะเคี้ยวของข้าวหุงสุก (ตารางที่ 27) คุณลักษณะด้านการเคี้ยว หรือจำนวนในการเคี้ยวตัวอย่างที่พร้อมสำหรับกลืน พบว่าข้าวแอมิโลสสูงมีจำนวนในการเคี้ยวตัวอย่างมากกว่าข้าวแอมิโลสต่ำ โดยวิธีการหุงต้มมีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับข้าวหุงสุกทุกพันธุ์ การหุงด้วยเครื่องไมโครเวฟ ส่งผลให้มีจำนวนในการเคี้ยวข้าวก่อนกลืนมากที่สุด และแตกต่างกับการหุงต้มด้วยวิธีการอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) คุณลักษณะด้านการเกาะรวมตัวกันของตัวอย่าง หรือปริมาณการเกาะหรือยึดติดด้วยกันของตัวอย่างเมื่อถูกเคี้ยว พบว่าข้าวแอมิโลสต่ำมีการเกาะรวมตัวกันมากกว่าข้าวแอมิโลสสูง โดยวิธีการหุงต้มไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) กับข้าวหุงสุกทุกพันธุ์ ยกเว้น SPB 1 ที่การหุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้าทำให้ข้าวมีการเกาะรวมตัวกันมากที่สุด คุณลักษณะด้านความหยาบของตัวอย่าง หรือปริมาณความหยาบของผิวตัวอย่างที่รับรู้ได้เมื่อเคี้ยว พบว่าวิธีการหุงต้มมีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับ KDML 105, RD 15, PTT 1 และ CNT 1 โดยการหุงด้วยเครื่องไมโครเวฟทำให้ข้าวมีความหยาบมากที่สุดในขณะเคี้ยว คุณลักษณะด้านความเหนียว หรือแรงที่ใช้ในการแยกฟันออกจากกันในระหว่างการเคี้ยว พบว่าข้าวแอมิโลสต่ำต้องใช้แรงในการแยกฟันออกจากกันมากกว่าข้าวที่แอมิโลสสูง ยกเว้นข้าวหุงสุกที่หุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า เมื่อพิจารณาวิธีการ

หุงต้ม พบว่าวิธีการหุงต้มมีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับ KDML 105, RD 15 และ PNL 2 โดยการหุงด้วยเครื่องไมโครเวฟ และการนึ่ง ทำให้ KDML 105 และ RD 15 ต้องใช้แรงในการแยกฟืนออกจากกันในช่วงการเคี้ยวมากที่สุด สำหรับ PNL 2 การนึ่ง และการหุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า ทำให้ต้องใช้แรงในการแยกฟืนออกจากกันในช่วงการเคี้ยวมากที่สุด

ตารางที่ 28 ค่าเฉลี่ยระดับความเข้มในคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสในระยะหลังเคี้ยวของข้าวหุงสุกพันธุ์ต่างๆที่หุงต้มด้วยวิธีการต่างกัน 4 วิธี

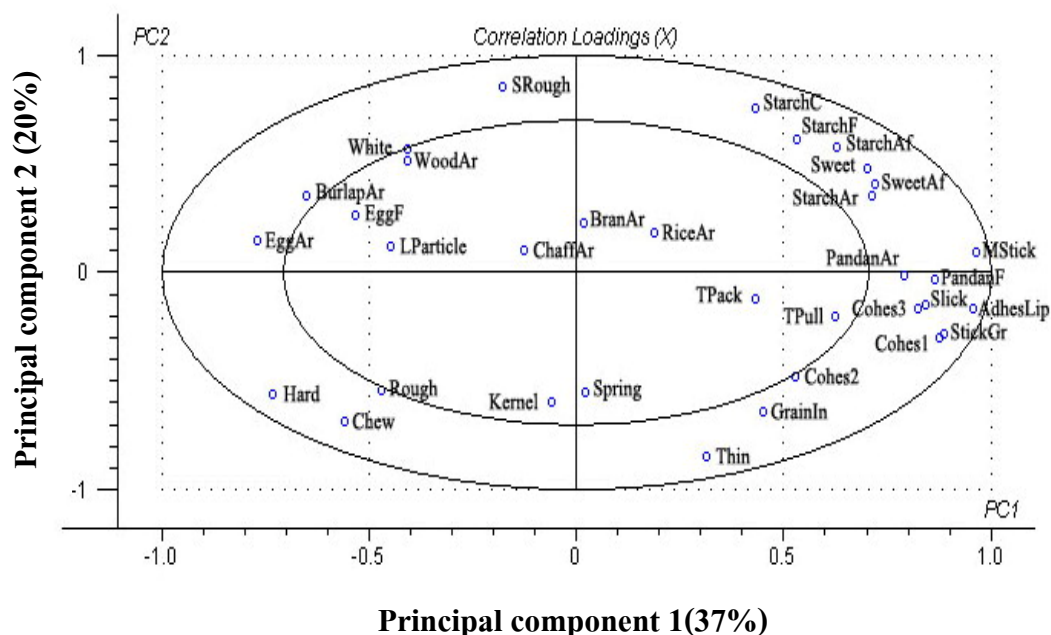
พันธุ์ข้าว		วิธีการหุงต้ม			
		หม้อหุงข้าวไฟฟ้า	การนึ่ง	หุงแบบเช็ดน้ำ	ไมโครเวฟ
<u>การติดฟืน</u>					
แอมิโลสต่ำ	KDML 105	5.11 aA	5.05 aB	4.91 aABC	5.37 aA
	RD 15	5.02 aA	5.19 aA	5.06 aA	5.55 aA
	PTT 1	5.17 aA	4.93 bC	4.77 bC	4.77 bB
แอมิโลสสูง	CNT 1	4.89 aA	4.79 aC	4.97 aA	4.40 bC
	SPB 1	5.01 aA	5.15 aAB	4.95 aAB	4.91 aB
	PNL 2	5.05 aA	4.86 aC	4.79 aBC	4.81 aB
<u>อนุภาคตกค้าง</u>					
แอมิโลสต่ำ	KDML 105	5.14 aC	4.92 aB	4.58 aC	5.33 aAB
	RD 15	5.16 aC	5.22 aB	5.22 aAB	5.47 aA
	PTT 1	5.04 aC	5.08 aB	5.12 aAB	4.73 aC
แอมิโลสสูง	CNT 1	5.25 aBC	5.22 aB	5.17 aAB	5.02 aC
	SPB 1	5.61 aA	5.66 aA	5.40 aA	5.28 aABC
	PNL 2	5.58 aAB	5.11 aB	5.20 aAB	5.17 aBC

หมายเหตุ ตัวอักษรพิมพ์เล็ก a-b ที่ต่างกันในแนวนอน หมายถึง ค่าเฉลี่ยในข้าวพันธุ์เดียวกันที่มีวิธีการหุงต้มที่ต่างกัน และตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ A-C ที่ต่างกันในแนวดิ่ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยในข้าวพันธุ์ต่างกัน ที่มีวิธีการหุงต้มที่เหมือนกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ตามลำดับ

ลักษณะทางประสาทสัมผัส ด้านเนื้อสัมผัสในระยะหลังเกี่ยวของข้าวหุงสุก (ตารางที่ 28) คุณลักษณะด้านการติดฟัน หรือปริมาณของตัวอย่างที่ติดอยู่ระหว่างฟันหลังจากการเกี่ยว พบว่าข้าวแอมิโลสต่ำมีการเกาะติดฟันมากกว่าข้าวแอมิโลสสูง ยกเว้นข้าวหุงสุกที่หุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้าที่พันธุ์ข้าวไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยวิธีการหุงต้มมีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับ PTT 1 และ CNT 1 ข้าวหุงสุกจะติดฟันมากที่สุดเมื่อหุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า กับ PTT 1 และเมื่อหุงแบบเช็ดน้ำ, หม้อหุงข้าวไฟฟ้า และการนึ่ง กับ CNT 1 สำหรับคุณลักษณะด้านอนุภาคตกค้าง หรือปริมาณของอนุภาคที่เหลืออยู่ในหรือบนพื้นผิวของปากภายหลังการกลืน พบว่าวิธีการหุงต้มไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับวิธีการหุงต้มต่างๆในข้าวแต่ละพันธุ์ แต่พันธุ์ข้าวมีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) ต่อระดับความเข้มข้นของอนุภาคตกค้าง ซึ่งจะแตกต่างกันออกไปตามวิธีการหุงต้ม

3.2.2 การจัดกลุ่มตัวแปรของข้าวหุงสุก โดยนำค่าคุณภาพทางประสาทสัมผัส ด้วยวิธีวิเคราะห์เชิงพรรณนา มาจัดกลุ่มตัวแปรด้วยหลักการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก

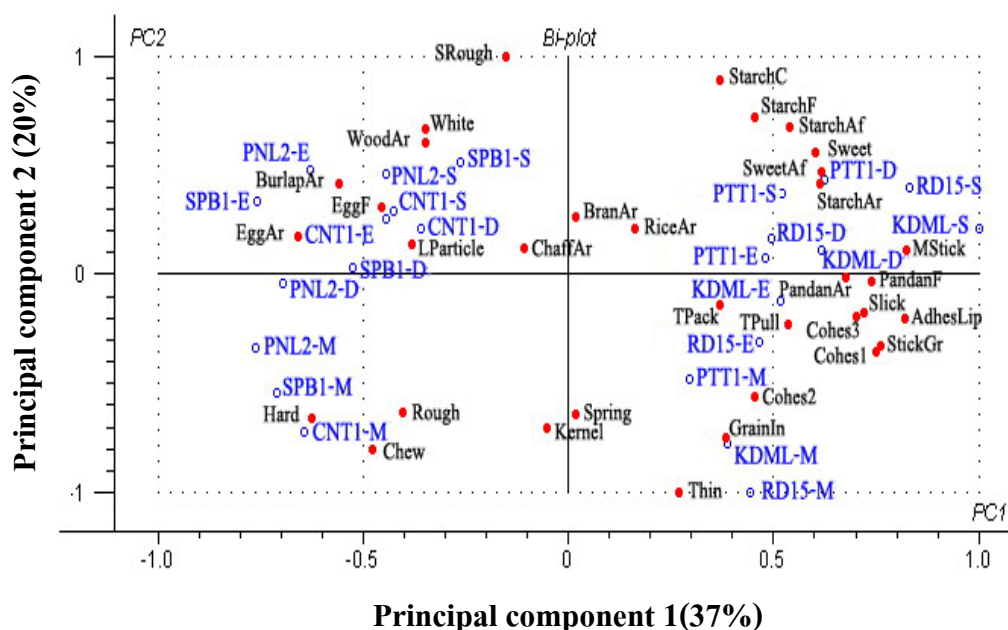
เมื่อนำผลจากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวหุงสุก 6 พันธุ์ ที่มีวิธีการหุงต้มที่แตกต่างกัน 4 วิธี มาจัดกลุ่มตัวแปรโดยใช้หลักการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) ทำให้สามารถอธิบายจำแนกกลุ่มของตัวแปรได้โดยการแสดงแผนภาพแบบจุดออกมา และมีแกนของกราฟนั้นเป็น principal component กลุ่มต่างๆ เป็นกลุ่มตัวเลข เช่น PC1, PC2 ... PC_i เมื่อ i เป็นจำนวน PC ที่กำหนดเพื่อใช้จำแนกสิ่งทดลอง และกราฟ correlation loading (ภาพที่ 29) แสดงการจัดกลุ่ม และตำแหน่งของค่าคุณลักษณะที่ศึกษาในพื้นที่กราฟ ซึ่งถ้าอยู่ในบริเวณพื้นที่เดียวกันก็อธิบายได้ว่าสิ่งทดลองนั้นมีคุณลักษณะนั้นมาก ในทางกลับกันถ้าสิ่งทดลองอยู่ในตำแหน่งพื้นที่ตรงกันข้ามกับคุณลักษณะในแกนก็จะอธิบายได้ว่าสิ่งทดลองนั้นมีคุณลักษณะนั้นน้อย นอกจากนี้หลักการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) ยังสามารถหาความสัมพันธ์ และอธิบายแนวโน้มระหว่างตัวอย่างข้าวหุงสุกพันธุ์ต่างๆ ที่หุงต้มด้วยวิธีการต่างกับค่าคุณภาพทางประสาทสัมผัส ว่าค่าความแตกต่างของตัวอย่างที่เกิดขึ้นเกิดจากค่าคุณภาพทางประสาทสัมผัสตัวใด และแนวโน้มค่าคุณภาพทางประสาทสัมผัสนั้นเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร



ภาพที่ 29 ค่า Correlation loading ของปัจจัยคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา ของข้าวหุงสุก 6 พันธุ์ ที่มีวิธีการหุงต้มที่แตกต่างกัน 4 วิธี บนแกน PC1 และ PC2

จากการศึกษาพบว่าที่ 2 PC แรก สามารถอธิบายความแปรปรวนรวมได้ 57% เมื่อพิจารณาค่า correlation loading ในแต่ละคุณลักษณะ พบว่ากลุ่มของตัวแปรองค์ประกอบหลัก 1 (PC1) สามารถอธิบายความแปรปรวนได้สูงที่สุด (37%) ประกอบด้วย การเกาะติดระหว่างเมล็ด (StickGr), ความเหนียว (MStick), กลิ่นแป้ง (StarchAr), กลิ่นใบเตย (PandanAr), กลิ่นรสใบเตย (PandanF), รสหวาน (Sweet), ความเป็นแป้งตกล้าง (StarchAr), ความหวานตกล้าง (SweetAr), การเกาะรวมตัวกันในระยะแรกของการทดสอบ (Cohes1), การเกาะติดริมฝีปาก (AdhesLip), ความลื่นเป็นมัน (Slick), การเกาะรวมตัวกันในระยะเคี้ยว (Cohes3) และแรงในการดึงฟัน (TPull) แสดงใน PC1 ทางด้านบวก กลิ่นไข่ขาว (EggAr), กลิ่นกระสอบ (BurlapAr), กลิ่นรสไข่ขาว (EggF) และความแข็ง (Hard) แสดงใน PC1 ทางด้านลบ องค์ประกอบที่ 1 นี้สามารถแยกความแตกต่างของตัวอย่างทั้ง 24 ตัวอย่าง ได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ 1) KDML 105, RD 15 และ PTT 1 ซึ่งอยู่ PC1 ทางด้านบวก แสดงว่ามีคุณลักษณะต่างๆทางประสาทสัมผัสที่ PC1 ทางด้านบวกมาก และคุณลักษณะต่างๆที่ PC1 ทางด้านลบน้อย และ 2) SPB 1, CNT 1 และ PNL 2 ซึ่งอยู่ PC1 ทางด้านลบ ซึ่งจะมีคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสที่ตรงกันข้ามกับตัวอย่างข้าวหุงสุกในกลุ่มที่ 1 แสดงให้เห็นว่าที่ PC1 สามารถแบ่งประเภทของข้าวตามปริมาณแอมิโลสได้ เนื่องจากข้าวหุงสุกในกลุ่มที่ 1 จัดเป็นข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำ และข้าวหุงสุกในกลุ่มที่ 2 จัดเป็นข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสสูง

สำหรับกลุ่มของตัวแปรองค์ประกอบหลัก 2 (PC2) ประกอบด้วย ความหยาบของผิว (SRough), ความเป็นแป้งเคลือบปาก (StarchC), กลิ่นรสแป้ง (StarchF) แสดงใน PC2 ทางด้านบวก ความสมบูรณ์ของเมล็ด (GrainIn), ความเรียวยาวของเมล็ด (Thin) และการเคี้ยว (Chew) แสดงใน PC2 ทางด้านลบ ซึ่งสามารถอธิบายความแปรปรวนได้ 20% องค์ประกอบที่ 2 นี้สามารถแยกความแตกต่างของตัวอย่างทั้ง 24 ตัวอย่าง ได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ 1) กลุ่มที่มีความหยาบของผิว, ความเป็นแป้งเคลือบปาก, กลิ่นรสแป้งมาก แต่มีความสมบูรณ์ของเมล็ด, ความเรียวยาวของเมล็ด และการเคี้ยวต่ำ ได้แก่ PTT 1, CNT 1, SPB 1 และ PNL 2 ที่หุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า และข้าวหุงสุกทุกพันธุ์ ที่หุงด้วยการนึ่ง และการหุงแบบเช็ดน้ำ ยกเว้น PNL 2 ที่หุงแบบเช็ดน้ำ และ 2) กลุ่มที่มีลักษณะดังกล่าวตรงกันข้ามกับกลุ่มที่ 1 ได้แก่ ข้าวหุงสุกทุกพันธุ์ที่หุงด้วยเครื่องไมโครเวฟ, KDML 105 และ RD 15 ที่หุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า และ PNL 2 ที่หุงแบบเช็ดน้ำ แสดงให้เห็นว่าที่ PC2 สามารถแบ่งวิธีการหุงต้ม ได้โดย PC2 ทางด้านบนลงด้านล่าง คือ ข้าวหุงสุกที่หุงด้วยการนึ่ง, หม้อหุงข้าวไฟฟ้า, การหุงแบบเช็ดน้ำ และทางด้านล่างสุด คือข้าวที่หุงด้วยเครื่องไมโครเวฟ แสดงดังภาพที่ 30

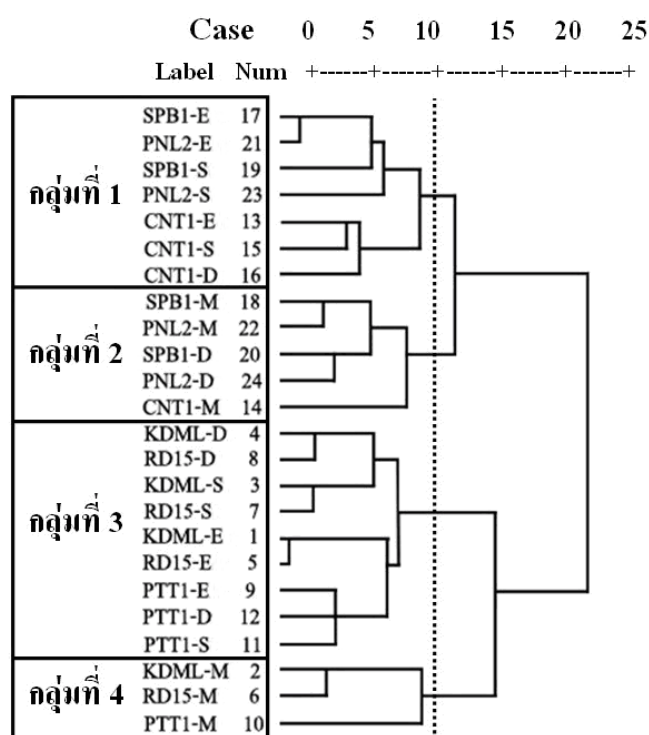


ภาพที่ 30 ค่า Bi-plot ของปัจจัยคุณภาพคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของข้าวหุงสุก 6 พันธุ์ ที่มีวิธีการหุงต้มที่แตกต่างกัน 4 วิธี บนแกน PC1 และ PC2

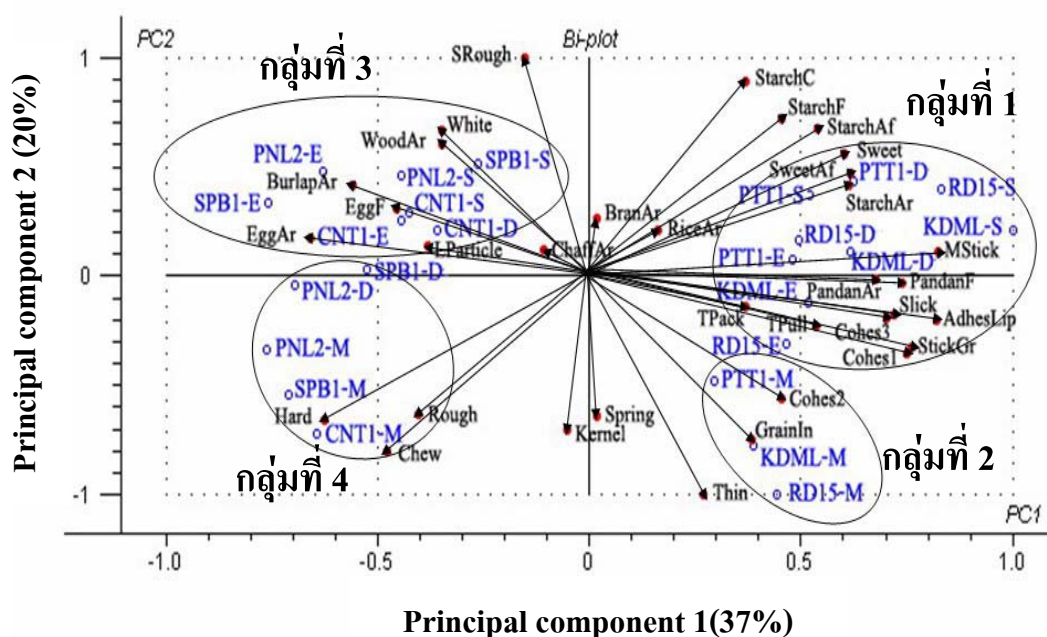
จากหลักการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) เมื่อพิจารณาโดยรวมทั้ง 2 องค์ประกอบของปัจจัยคุณภาพทางประสาทสัมผัส ซึ่งสามารถอธิบายความแปรปรวนรวมได้ 57% ร่วมกับการจำแนกกลุ่มตัวอย่างด้วยเทคนิค Hierarchical cluster analysis (ภาพที่ 31) สามารถจัดกลุ่มตัวอย่างข้าวหุงสุก 6 พันธุ์ ที่มีวิธีการหุงต้มที่แตกต่างกัน 4 วิธี ได้ออกเป็น 4 กลุ่ม (ภาพที่ 32 และภาพที่ 33) โดยที่แต่ละกลุ่มจะมีคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสที่แตกต่างกันออกไป ดังนี้

Dendrogram using Average Linkage (Between Groups)

Rescaled Distance Cluster Combine



ภาพที่ 31 การจำแนกกลุ่มตัวอย่างของข้าวหุงสุก 6 พันธุ์ ที่มีวิธีการหุงต้มที่แตกต่างกัน 4 วิธี จากปัจจัยคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา ด้วยเทคนิค Hierarchical cluster analysis



ภาพที่ 32 การจัดกลุ่มตัวอย่างข้าวหุงสุก 6 พันธุ์ ที่มีวิธีการหุงต้มที่แตกต่างกัน 4 วิธี จากคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา บนแกน PC1 และ PC2

กลุ่มที่ 1 CNT 1, SPB 1 และ PNL 2 ที่หุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า (E) และการนึ่ง (S) และ CNT 1 ที่หุงแบบเช็ดน้ำ (D) เป็นข้าวที่มีความเป็นสีขาว (White) และมากที่สุด ใน CNT 1 ที่หุงต้มด้วยการนึ่ง (S) และการหุงแบบเช็ดน้ำ (D) บริเวณผิวของเมล็ดข้าวมีความขรุขระ (SRough) โดยเฉพาะ PNL 2 ที่หุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า มีกลิ่น/กลิ่นรสไข่ขาว (EggAr/F) และมากที่สุด ในข้าวที่หุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า มีกลิ่นกระสอบ (BurlapAr) และหลังจากกลั่นตัวอย่างพบว่ามีอนุภาคตกค้าง (LParticle) มาก โดยเฉพาะ SPB1 ที่หุงด้วยการนึ่งและหม้อหุงข้าวไฟฟ้า

กลุ่มที่ 2 CNT 1, SPB 1 และ PNL 2 ที่หุงด้วยเครื่องไมโครเวฟ (D) และ SPB 1 และ PNL 2 ที่หุงแบบเช็ดน้ำ (D) เป็นข้าวที่มีความแข็ง (Hard), ต้องใช้แรงในการเคี้ยว (Chew) และความหยาบของตัวอย่างเมื่อเคี้ยว (Rough) โดยการหุงด้วยเครื่องไมโครเวฟจะมีคุณลักษณะเหล่านี้ที่มากกว่าการหุงแบบเช็ดน้ำ และมีอนุภาคตกค้าง (LParticle) หลังจากกลั่นตัวอย่างมาก

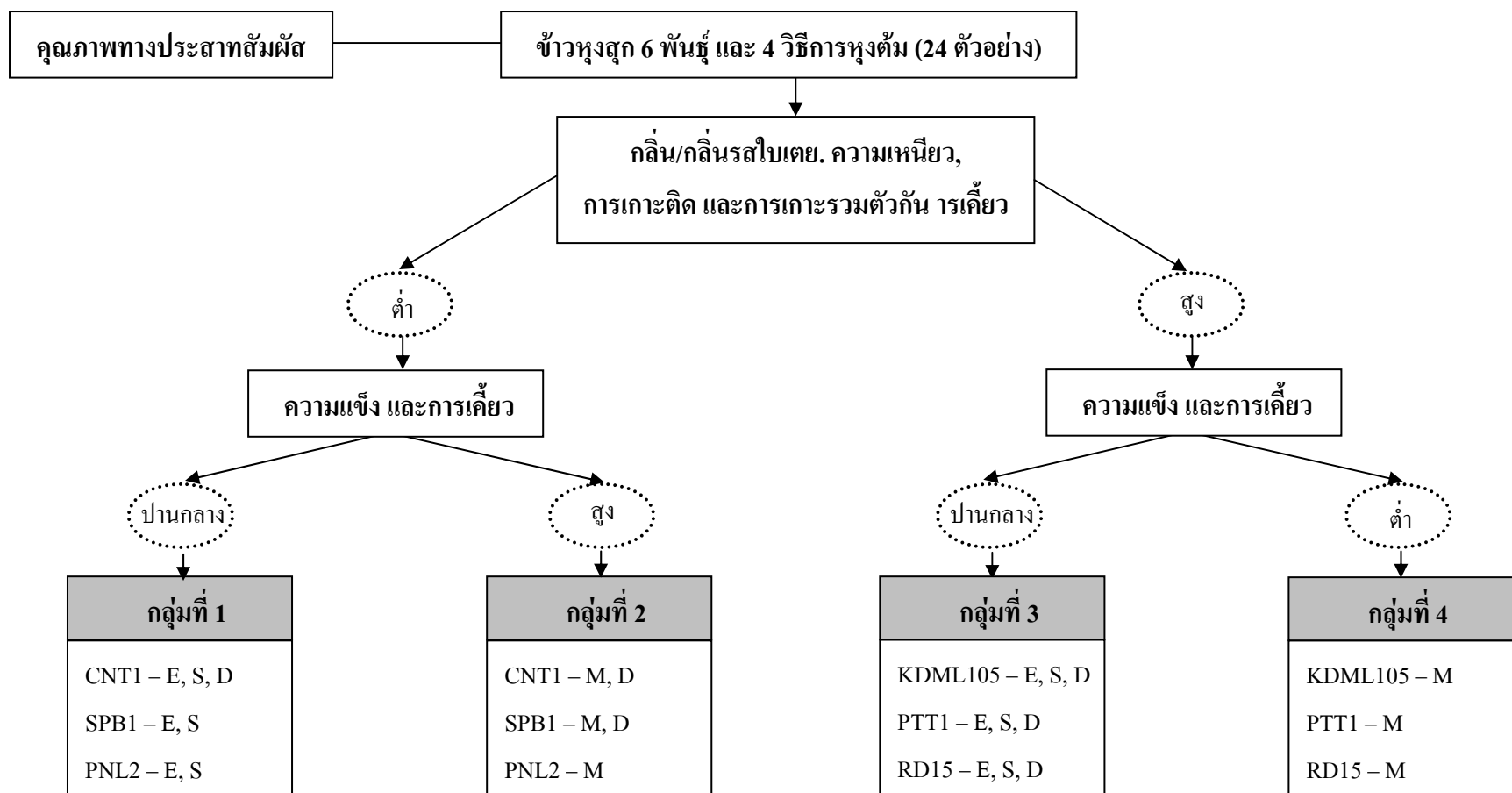
กลุ่มที่ 3 KDML 105, RD 15 และ PTT 1 ที่หุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า (E) การนึ่ง (S) และการหุงแบบเช็ดน้ำ (D) เป็นข้าวที่มีการเกาะติดกันระหว่างเมล็ด (StickGr), กลิ่น/กลิ่นรส/ความรู้สึตกค้างแบ่ง (StarchAr/F/ArF), กลิ่น/กลิ่นรสใบเตย (PandanAr/Fl) โดยกลิ่น/กลิ่นรสใบเตย

จะมีมากใน KDML 105 และ RD 15 และมากที่สุดเมื่อหุงด้วยการนึ่ง, รสหวาน/หวานดกค้ำ (SweetB/Af), ความเหนียว (MStick) โดยเฉพาะข้าวที่หุงด้วยการนึ่งจะมีความเหนียวมาก มีการเกาะรวมตัวกัน ในระยะก่อนเคี้ยว และระยะหลังเคี้ยว (Cohes1,3), ความลื่นของผิว (Slick) และการติดฟัน (TPack) มาก

กลุ่มที่ 4 KDML 105, RD 15 และ PTT 1 ที่หุงด้วยเครื่องไมโครเวฟ (M) มีความสมบูรณ์ของเมล็ด (GrainIn), การเกาะติดกันระหว่างเมล็ด (StickGr), ความเรียบของเมล็ด (Thin), ความเหนียว (MStick), การเกาะรวมตัวกันก่อนเคี้ยว ระยะเคี้ยว และหลังเคี้ยว (Cohes1,2,3), การเกาะติดริมฝีปาก (AdhesLip), ความลื่นของผิว (Slick), ความยืดหยุ่น (Spring), ความหยาบ (Rough), ความเหนียวในการดึงฟัน (TPull) และการติดฟัน (TPack) มาก

เมื่อพิจารณาวิธีการหุงต้ม พบว่าข้าวที่หุงด้วยเครื่องไมโครเวฟ จะมีการแบ่งกลุ่มออกอย่างชัดเจนกับข้าวที่หุงต้มด้วยวิธีการอื่นๆ โดยข้าวหุงสุกที่ได้จะมีความสมบูรณ์ของเมล็ด (GrainIn), เมล็ดข้าวมีความเรียบ (Thin), ความเป็นเมล็ด (Ker), ความยืดหยุ่น (Spr), ความแข็ง (Hard), การเกาะรวมตัวกันในระยะกัดครั้งแรก (Cohes2), การเคี้ยว (Chew), ความหยาบ (Rough) มาก แต่มีกลิ่น และ/หรือ กลิ่นรสที่พบในข้าวหุงสุกน้อยกว่าการหุงต้มด้วยวิธีการอื่นๆ โดยเฉพาะข้าวในกลุ่มที่ 4 ที่การหุงต้มด้วยเครื่องไมโครเวฟ แบ่งออกมาอย่างชัดเจนมาก

นอกจากนี้ยังพบว่าปัจจัยคุณภาพทางเคมี คุณภาพทางกายภาพ หรือคุณภาพทางประสาทสัมผัส ส่งผลให้ข้าวมีคุณภาพที่แตกต่างกันออกไป รวมทั้งการจำแนกแยกแยะกลุ่มตัวอย่างด้วยวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบ ของปัจจัยคุณภาพทางเคมี คุณภาพทางกายภาพ และคุณภาพทางประสาทสัมผัส ทำให้สามารถแบ่งกลุ่มตัวอย่างได้แตกต่างกัน แสดงว่าการประเมินคุณภาพข้าวหุงสุกเพียงวิธีการเดียวอาจไม่เพียงพอ และบอกรายละเอียดของตัวอย่างได้ไม่ดีเท่าใดนัก เมื่อเทียบกับการใช้ทั้งวิธีการประเมินคุณภาพทางเคมี คุณภาพกายภาพ และคุณภาพทางประสาทสัมผัสร่วมกัน



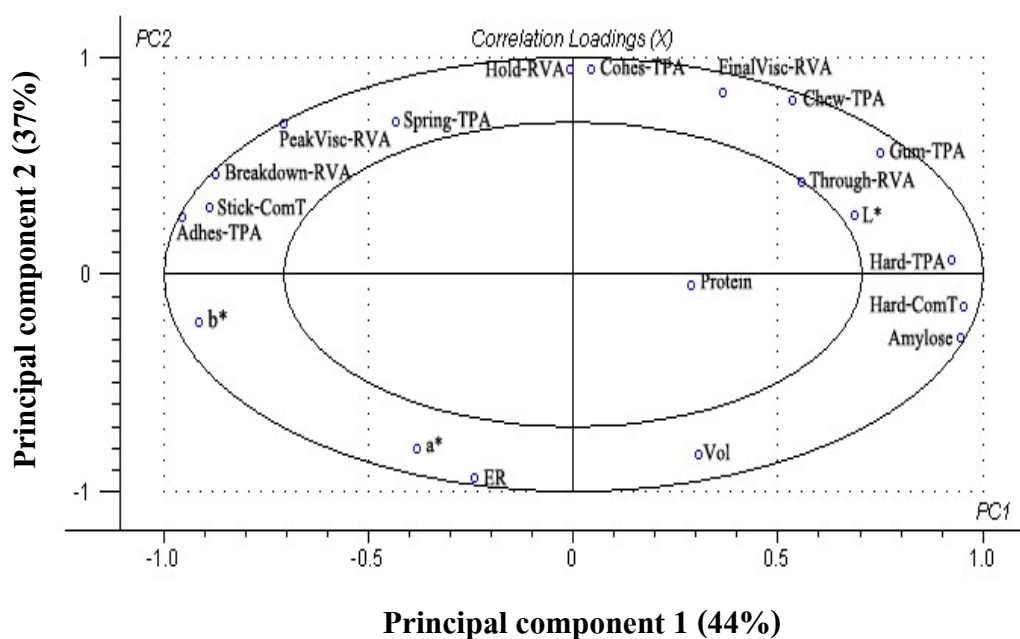
ภาพที่ 33 การจำแนกกลุ่มตัวอย่างข้าวหุงสุก 6 พันธุ์ ที่มีวิธีการหุงต้มที่แตกต่างกัน 4 วิธี จากปัจจัยคุณภาพทางประสาทสัมผัสที่ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบ (PCA) ที่ PC1 และ PC2 ร่วมกับการจัดกลุ่มด้วยเทคนิค Hierarchical cluster analysis

หมายเหตุ E = หม้อหุงข้าวไฟฟ้า, S = การนึ่ง, D = การหุงแบบเช็ดน้ำ และ M = เครื่องไมโครเวฟ

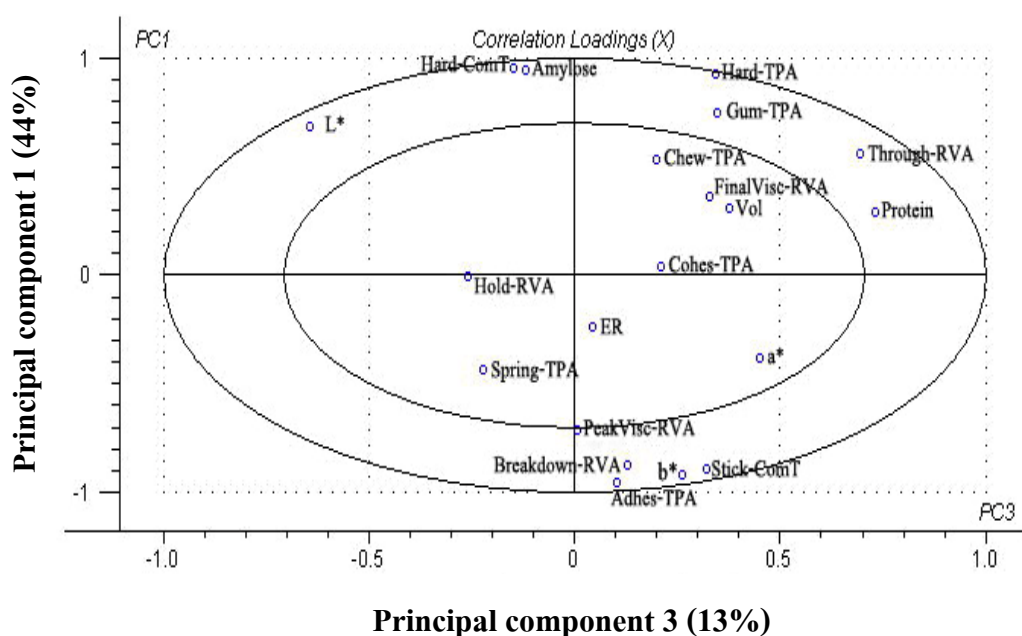
3. การจัดกลุ่มตัวอย่างข้าว 6 พันธุ์ ที่หุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า

การจัดกลุ่มตัวอย่างข้าว 6 พันธุ์ ได้แก่ KDML 105, RD 15, PTT 1, CNT 1, SPB 1 และ PNL 2 ที่หุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า เนื่องจากเป็นวิธีการหุงต้มนี้เป็นวิธีการที่ผู้บริโภคนิยมใช้มากที่สุด โดยนำค่าปัจจัยคุณภาพทางเคมี ได้แก่ ปริมาณแอมิโลส และปริมาณโปรตีน ปัจจัยคุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ การยึดตัวของเมล็ด อัตราการขยายปริมาตร ค่าจากการวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว (RVA) ค่าเนื้อสัมผัสจากวิธีแบบเก้าโครงเนื้อสัมผัส (TPA) และการทดสอบแบบกด 1 ครั้ง (Compression test) และค่าสีในระบบ CIE L^* a^* และ b^* มาจัดกลุ่มตัวแปรด้วยหลักการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) เพื่อให้สามารถอธิบายจำแนกกลุ่มของตัวแปรได้โดยการแสดงแผนภาพแบบจุดออกมา และมีแกนของกราฟนั้นเป็น principal component กลุ่มต่างๆ เป็นกลุ่มตัวเลข เช่น PC1, PC2 ... PC_i เมื่อ i เป็นจำนวน PC ที่กำหนดเพื่อใช้จำแนกสิ่งทดลอง และกราฟ correlation loading (ภาพที่ 34 และภาพที่ 35) แสดงการจัดกลุ่ม และตำแหน่งของค่าคุณลักษณะที่ศึกษาในพื้นที่กราฟ ซึ่งถ้าอยู่ในบริเวณพื้นที่เดียวกันก็อธิบายได้ว่าสิ่งทดลองนั้นมีคุณลักษณะนั้นมาก ในทางกลับกันถ้าสิ่งทดลองอยู่ในตำแหน่งพื้นที่ตรงกันข้ามกับคุณลักษณะในแกนก็จะอธิบายได้ว่าสิ่งทดลองนั้นมีคุณลักษณะนั้นน้อย นอกจากนี้หลักการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก ยังสามารถหาความสัมพันธ์ และอธิบายแนวโน้มระหว่างตัวอย่างข้าวหุงสุกพันธุ์ต่างๆ กับค่าคุณภาพทางเคมี และคุณภาพทางกายภาพ ว่าค่าความแตกต่างของตัวอย่างที่เกิดขึ้นเกิดจากค่าคุณภาพตัวใด และแนวโน้มค่าคุณภาพนั้นเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร

จากการศึกษาพบว่าที่ 3 PC แรก สามารถอธิบายความแปรปรวนรวมได้ 94 % เมื่อพิจารณาค่า correlation loading ในแต่ละคุณลักษณะ พบว่ากลุ่มของตัวแปรองค์ประกอบหลัก 1 (PC1) สามารถอธิบายความแปรปรวนได้สูงที่สุด (44%) ประกอบด้วย ปริมาณแอมิโลส (Amylose), ความแข็ง (Hard-TPA และ Hard-ComT), ความเหนียวเป็นกาวยาง (Gum-TPA) และความสว่าง (L^*) แสดงใน PC1 ทางด้านบวก ความหนืดสูงสุด (PeakVisc-RVA), ความหนืดลดลง (Break-RVA), การเกาะติดผิว (Adhes-TPA), ความเหนียว (Stick-ComT) และความเป็นสีเหลือง (b^*) แสดงใน PC1 ทางด้านลบ องค์ประกอบที่ 1 นี้สามารถแยกความแตกต่างของข้าว 6 พันธุ์ ได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ 1) ข้าว CNT 1, SPB 1 และ PNL 2 ซึ่งมีปัจจัยคุณภาพทางเคมี และคุณภาพทางกายภาพที่อยู่บริเวณ PC1 ทางด้านบวกมาก และ PC1 ทางด้านลบน้อย และ 2) KDML 105, RD 15 และ PTT 1 ซึ่งมีปัจจัยคุณภาพทางเคมี และคุณภาพทางกายภาพในทิศทางตรงกันข้ามกับข้าวในกลุ่มที่ 1 แสดงดังภาพที่ 36



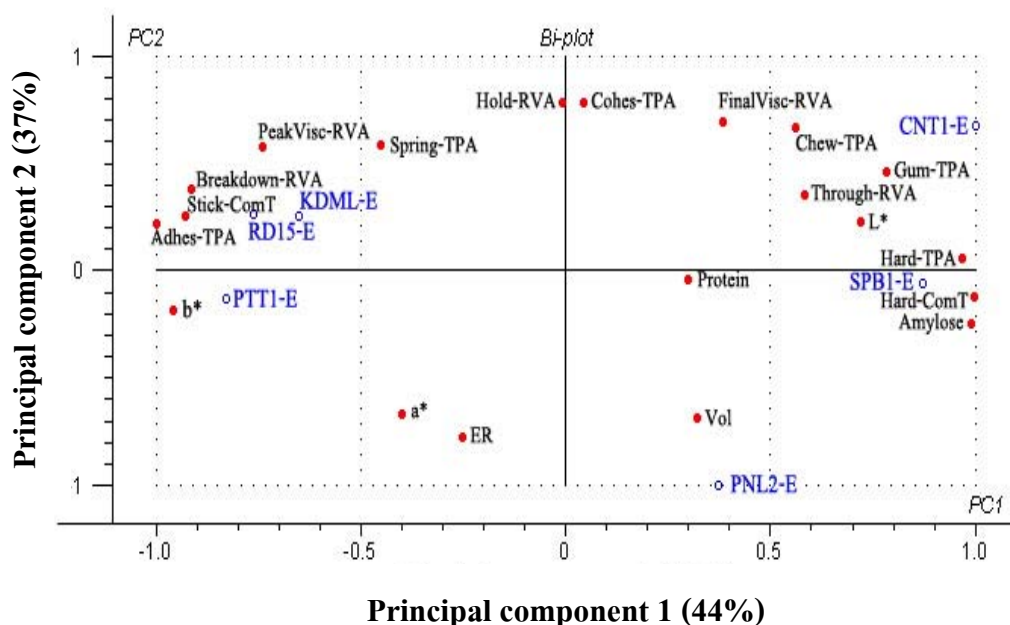
ภาพที่ 34 ค่า Correlation loading ของปัจจัยคุณภาพทางเคมี และคุณภาพทางกายภาพของข้าว 6 พันธุ์ ที่หุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า บนแกน PC 1 และ PC 2



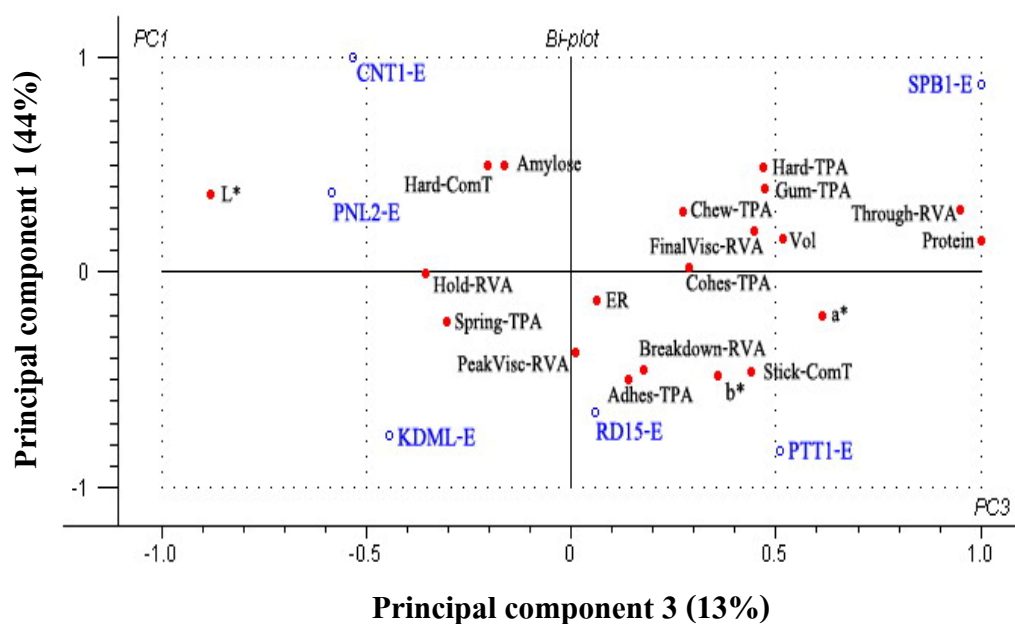
ภาพที่ 35 ค่า Correlation loading ของปัจจัยคุณภาพทางเคมี และคุณภาพทางกายภาพของข้าว 6 พันธุ์ ที่หุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า บนแกน PC 3 และ PC 1

กลุ่มของตัวแปรองค์ประกอบหลัก 2 (PC 2) ประกอบด้วย ความหนืดสุดท้าย (FinalVisc-RVA), ความหนืดต่ำสุด (Hold-RVA), การเกาะรวมตัวกัน (Cohes-TPA), ความยืดหยุ่น (Spring-TPA), การเคี้ยว (Chew-TPA) แสดงใน PC 2 ทางด้านบวก การยึดตัวของเมล็ด (ER), อัตราการขยายปริมาตร (Vol) และความเป็นสีแดง (a^*) แสดงใน PC 2 ทางด้านลบ อธิบายความแปรปรวนได้ 37% องค์ประกอบที่ 2 นี้สามารถแยกความแตกต่างของข้าว 6 พันธุ์ได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ คือ 1) CNT 1 และ SPB 1 เป็นข้าวพันธุ์ที่มีความหนืดสุดท้าย, ความหนืดต่ำสุด, การเกาะรวมตัวกัน, ความยืดหยุ่น, การเคี้ยวมาก แต่มีการยึดตัวของเมล็ด, อัตราการขยายปริมาตร และความเป็นสีแดงน้อย 2) KDML 105, RD 15 และ PTT 1 เป็นข้าวพันธุ์ที่มีปัจจัยคุณภาพดังกล่าวในปริมาณปานกลาง และ 3) PNL 2 เป็นข้าวที่มีปัจจัยคุณภาพดังกล่าวในทิศทางตรงกันข้ามกับข้าวในกลุ่มที่ 1 แสดงดังภาพที่ 36

สำหรับกลุ่มของตัวแปรองค์ประกอบหลัก 3 (PC 3) ประกอบด้วย ปริมาณโปรตีน (Protein) และการคิ่นตัว (Through-RVA) แสดงใน PC 3 ทางด้านบวก อธิบายความแปรปรวนได้ 13% องค์ประกอบที่ 3 นี้สามารถแยกความแตกต่างของตัวอย่าง 6 ตัวอย่างได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ 1) ข้าวที่มีปริมาณโปรตีน และการคิ่นตัวมาก ได้แก่ RD 15, PTT 1 และ SPB 1 และ 2) ข้าวที่มีปริมาณโปรตีน และการคิ่นตัวน้อย ได้แก่ KDML 105, CNT 1 และ PNL 2 แสดงดังภาพที่ 37



ภาพที่ 36 ค่า Bi-plot ของปัจจัยคุณภาพทางเคมี และคุณภาพทางกายภาพ ของข้าวหุงสุก 6 พันธุ์ ที่หุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า บนแกน PC1 และ PC2



ภาพที่ 37 ค่า Bi-plot ของปัจจัยคุณภาพทางเคมี และคุณภาพทางกายภาพ ของข้าวหุงสุก 6 พันธุ์ ที่หุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า บนแกน PC1 และ PC2

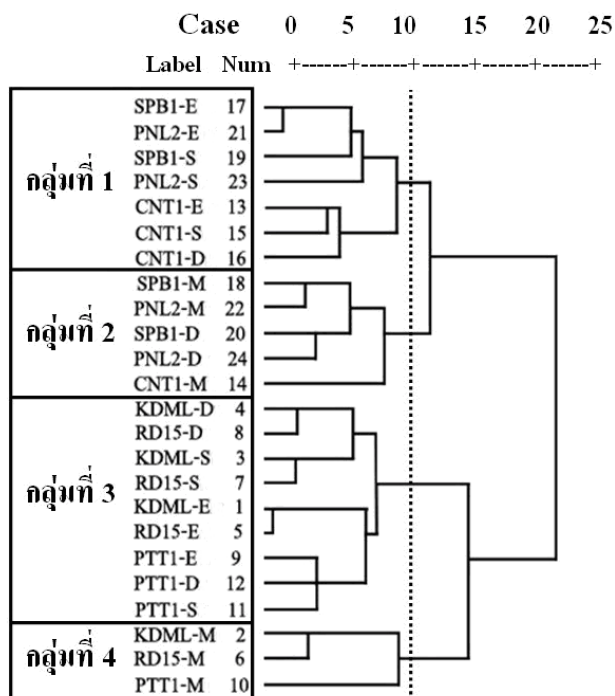
จากหลักการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) เมื่อพิจารณาโดยรวมทั้ง 2 องค์ประกอบของคุณภาพทางเคมีและกายภาพ ซึ่งสามารถอธิบายความแปรปรวนรวมได้ 81 % ร่วมกับการจำแนกกลุ่มตัวอย่างด้วยเทคนิค Hierarchical cluster analysis (ภาพที่ 38) สามารถจัดกลุ่มตัวอย่างข้าวหุงสุก 6 พันธุ์ ได้ออกเป็น 3 กลุ่ม (ภาพที่ 39 และภาพที่ 40) โดยที่แต่ละกลุ่มจะมีปัจจัยคุณภาพทางเคมี และคุณภาพทางกายภาพ ดังนี้

กลุ่มที่ 1 ประกอบด้วย KDML 105, RD 15 และ PTT 1 จัดเป็นข้าวแอมิโลส (Amylose) ต่ำ แต่มีความหนืดสูงสุด (PeakVisc-RVA), ความหนืดลดลง (Breakdown-RVA), การเกาะติดผิว (Adhes-TPA), การเกาะรวมตัวกัน (Cohes-TPA), ความยืดหยุ่น (Spring-TPA), ความเหนียว (Stick-ComT) ค่าความเป็นสีแดง (a*) และความเป็นสีเหลือง (b*) มาก

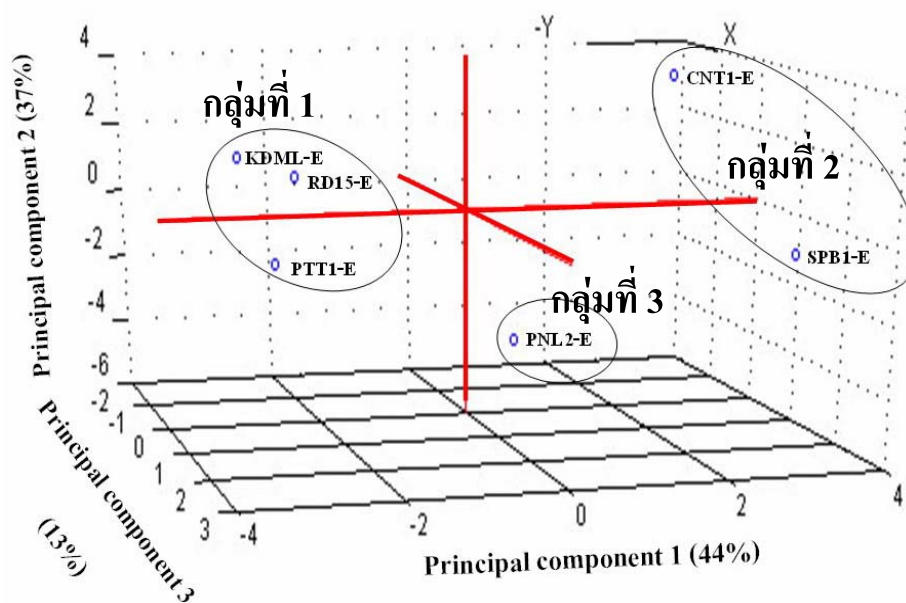
กลุ่มที่ 2 ประกอบด้วย SPB 1 และ CNT 1 จัดเป็นข้าวแอมิโลส (Amylose) สูง และมีค่าการคืนตัวกลับ (Through-RVA), ความหนืดสุดท้าย (FinalVisc-RVA), ความหนืดต่ำสุด (Hold-RVA), ความแข็ง (Hard-TPA, ComT) การเกาะรวมตัวกัน (Cohes-TPA), ความเหนียวเป็นกาวยาง (Gum-TPA), การเคี้ยว (Chew-TPA) และความสว่าง (L*) มาก

Dendrogram using Average Linkage (Between Groups)

Rescaled Distance Cluster Combine

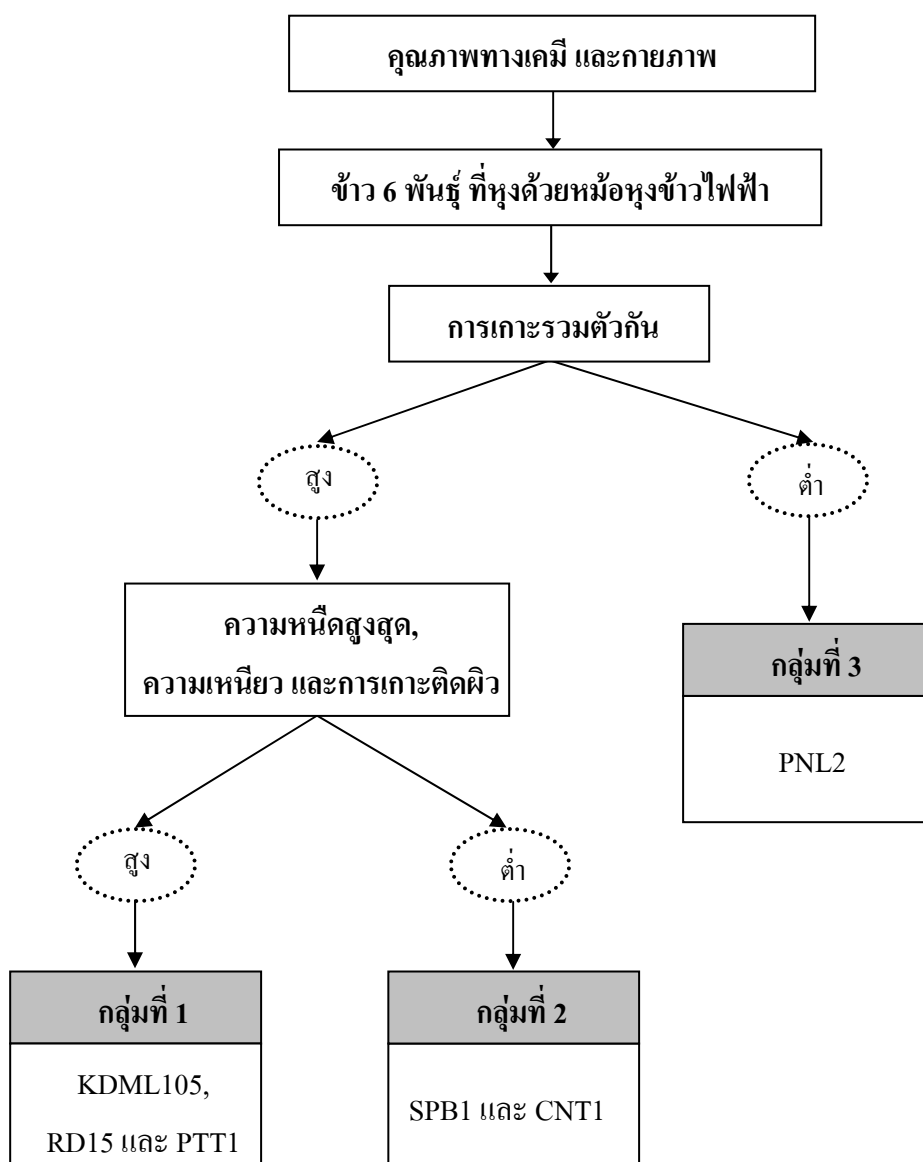


ภาพที่ 38 การจำแนกกลุ่มตัวอย่างของข้าวหุงสุก 6 พันธุ์ มามีวิธีการหุงต้มที่แตกต่างกัน 4 วิธี จากปัจจัยคุณภาพทางประสาทสัมผัส ด้วยเทคนิค Hierarchical cluster analysis



ภาพที่ 39 การจัดกลุ่มตัวอย่างข้าวหุงสุก 6 พันธุ์ ที่หุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า จากปัจจัยคุณภาพทางเคมี และคุณภาพทางกายภาพ บนแกน PC1, PC2 และ PC3

กลุ่มที่ 3 มีเพียง PNL 2 เพียงพันธุ์เดียว โดยข้าวในกลุ่มนี้จัดเป็นข้าวแอมิโลสสูง เช่นเดียวกับข้าวในกลุ่มที่ 2 และมีการยืดตัวของเมล็ด (ER), การขยายปริมาตร (Vol), ความแข็ง (Hard-TPA, ComT), ความสว่าง (L*) และความเป็นสีแดง (a*) มาก



ภาพที่ 40 การจำแนกกลุ่มตัวอย่างข้าวหุงสุก 6 พันธุ์ ที่หุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า จากปัจจัยคุณภาพทางเคมี และกายภาพที่ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบ (PCA) ที่ PC1, PC2 และ PC3 ร่วมกับการจัดกลุ่มด้วยเทคนิค Hierarchical cluster analysis

5. การหาความสัมพันธ์ระหว่างความชอบของผู้บริโภคกับปัจจัยคุณภาพของข้าวหุงสุก

การหาความสัมพันธ์ระหว่างความชอบของผู้บริโภคกับปัจจัยคุณภาพของข้าวหุงสุก โดยการทดสอบความชอบของผู้บริโภค กับตัวอย่างข้าว 6 พันธุ์ ได้แก่ KDML 105, RD 15, PTT 1, CNT 1, SPB 1 และ PNL 2 ที่หุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า, การนึ่ง และการหุงแบบเช็ดน้ำ สำหรับการหุงด้วยเครื่องไมโครเวฟจะไม่นำมาศึกษา เนื่องจากข้าวที่หุงด้วยเครื่องไมโครเวฟ จะมีคุณลักษณะที่แข็งแกร่ง ไม่เหมาะสมกับการบริโภค ดังนั้นตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาจะมี 18 ตัวอย่าง

5.1 การทดสอบความชอบของผู้บริโภค จำนวน 228 คน

ลักษณะทางประชากรศาสตร์ของกลุ่มผู้บริโภค พบว่าเป็นเพศชาย และเพศหญิง ในสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน คือ ร้อยละ 46.93 และ 53.07 ตามลำดับ อายุน้อยกว่า 21 ปี ร้อยละ 22.37 อายุ 21-30 ปี ร้อยละ 24.12 อายุ 31-40 ปี ร้อยละ 25.00 และอายุ 40 ปีขึ้นไป ร้อยละ 28.51 ระดับการศึกษา ส่วนใหญ่คือ ปริญญาตรี ร้อยละ 54.82 สูงกว่าปริญญาตรี ร้อยละ 25.88 มัธยมศึกษาตอนปลาย ร้อยละ 11.40 และต่ำกว่ามัธยมศึกษาตอนปลาย ร้อยละ 7.81 มีอาชีพเป็นนักเรียน/นิสิต/นักศึกษา ร้อยละ 36.40 รองลงมาคือ ข้าราชการ/รัฐวิสาหกิจ ร้อยละ 28.95 ธุรกิจส่วนตัว/ค้าขาย ร้อยละ 12.28 พนักงานบริษัทเอกชน ร้อยละ 9.21 แม่บ้าน/พ่อบ้าน ร้อยละ 7.89 รับจ้าง ร้อยละ 3.95 และเกษียณอายุ/ว่างงาน ร้อยละ 1.32 แสดงดังตารางที่ 29

การทดสอบความชอบกับผู้บริโภค (ตารางที่ 30) พบว่ามีความชอบรวมเฉลี่ยต่อข้าวหุงสุกในทุกคุณลักษณะที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อพิจารณาข้าวจากปริมาณแอมิโลส จะพบว่าผู้บริโภคชอบข้าวหุงสุกในกลุ่มที่มีแอมิโลสต่ำมากกว่าข้าวแอมิโลสสูงในทุกคุณลักษณะ ยกเว้นคุณลักษณะปรากฏที่ผู้บริโภคชอบ CNT 1 ซึ่งเป็นข้าวแอมิโลสสูง ไม่แตกต่างกับข้าวแอมิโลสต่ำ เมื่อพิจารณาวิธีการหุงต้ม พบว่าข้าวแอมิโลสต่ำวิธีการหุงต้มไม่มีต่อความชอบรวมในทุกคุณลักษณะ ยกเว้น KDML 105 ผู้บริโภคชอบกลิ่นรสโดยรวมของข้าวหุงสุกมากที่สุดเมื่อหุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า และการนึ่ง สำหรับข้าวแอมิโลสสูง พบว่าผู้บริโภคชอบ CNT 1 มากกว่าข้าวพันธุ์อื่นๆ ในกลุ่มนี้ และการนึ่ง SPB 1 ทำให้ผู้บริโภคชอบข้าวหุงสุกมากกว่าการหุงด้วยวิธีการอื่น

ตารางที่ 29 ลักษณะทางประชากรศาสตร์จากการทดสอบผู้บริโภคนจำนวน 228 คน

(n = 228)

	ข้อมูลทั่วไป	ความถี่	ร้อยละ
เพศ	หญิง	121	53.07
	ชาย	107	46.93
อายุ	น้อยกว่า 21 ปี	51	22.37
	21-30	55	24.12
	31-40	57	25.00
	40 ปี ขึ้นไป	65	28.51
ระดับการศึกษา	ต่ำกว่ามัธยมศึกษาตอนปลาย	18	7.89
	มัธยมศึกษาตอนปลาย	26	11.40
	ปริญญาตรี	125	54.82
	สูงกว่าปริญญาตรี	59	25.88
อาชีพ	นักเรียน/นิสิต/นักศึกษา	83	36.40
	ข้าราชการ/รัฐวิสาหกิจ	66	28.95
	ธุรกิจส่วนตัว/ค้าขาย	28	12.28
	พนักงานบริษัทเอกชน	21	9.21
	แม่บ้าน/พ่อบ้าน	18	7.89
	รับจ้าง	9	3.95
	เกษียณอายุ/ว่างงาน	3	1.32

ทั้งนี้จะแนบความชอบโดยรวมของแต่ละตัวอย่างข้าวหุงสุกทั้ง 18 ตัวอย่าง ผู้บริโภคจะพิจารณาความชอบในคุณลักษณะต่างๆ ร่วมด้วย ซึ่งหมายความว่าถ้าคะแนนความชอบในคุณลักษณะต่างๆ มีค่าน้อย จะส่งผลให้คะแนนความชอบโดยรวมต่ำด้วย เช่น PNL 2 ที่หุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า มีคะแนนความชอบในแต่ละคุณลักษณะที่น้อย ซึ่งส่งผลให้มีคะแนนความชอบโดยรวมน้อย ในทางกลับกันถ้าคะแนนความชอบในคุณลักษณะต่างๆ สูง จะทำให้คะแนนความชอบโดยรวมมากขึ้นตามด้วย ดังนั้นเมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จากการวิเคราะห์ทางสถิติ (ตารางที่ 31) พบว่าความชอบโดยรวมมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.01$) กับคะแนนความชอบที่เกิดจากคุณลักษณะต่างๆ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ กลิ่น กลิ่นรส และเนื้อสัมผัส โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.887, 0.960, 0.994 และ 0.993 ตามลำดับ

ตารางที่ 30 ค่าเฉลี่ยของคะแนนความชอบของผู้บริโภคที่มีต่อตัวอย่างข้าวหุงสุก 18 ตัวอย่าง

(n = 228)

พันธุ์ข้าว	วิธีการหุงต้ม	ลักษณะ ปรากฏ	กลิ่น	กลิ่นรส	เนื้อสัมผัส	ความชอบ โดยรวม
<u>แอมิโลสต่ำ</u>						
KDML 105	หม้อหุงข้าวไฟฟ้า	6.67a	6.81a	7.06a	7.03a	7.03a
	การนึ่ง	6.22ab	6.28abc	6.33ab	6.72a	6.56ab
	หุงแบบแช่น้ำ	6.81a	6.28abc	6.08b	6.42ab	6.50ab
RD 15	หม้อหุงข้าวไฟฟ้า	6.56a	6.14abcd	6.31ab	6.35ab	6.42ab
	การนึ่ง	6.47a	6.06abcd	5.39bc	5.56bc	5.61bc
	หุงแบบแช่น้ำ	6.81a	6.22abc	6.06b	6.42ab	6.42ab
PTT 1	หม้อหุงข้าวไฟฟ้า	6.17ab	6.08abcd	6.11b	6.31ab	6.25ab
	การนึ่ง	6.11abc	5.94abcd	5.72bc	6.31ab	6.00b
	หุงแบบแช่น้ำ	6.44a	6.44ab	6.22ab	6.25ab	6.31ab
<u>แอมิโลสสูง</u>						
CNT 1	หม้อหุงข้าวไฟฟ้า	5.53bcd	5.31de	5.03cd	4.75cd	4.97cd
	การนึ่ง	6.36ab	5.64bcde	5.42bc	5.22cd	5.61bc
	หุงแบบแช่น้ำ	6.36ab	5.39cde	5.14c	4.92cd	5.06cd
SPB 1	หม้อหุงข้าวไฟฟ้า	4.89de	5.00f	4.00e	3.47ef	4.00ef
	การนึ่ง	4.92de	5.28de	4.28de	4.33de	4.42de
	หุงแบบแช่น้ำ	5.28cd	4.81f	3.42e	3.33f	3.47f
PNL 2	หม้อหุงข้าวไฟฟ้า	3.94f	5.06f	3.67e	3.31f	3.47f
	การนึ่ง	4.39ef	4.86f	3.94e	3.75ef	3.94ef
	หุงแบบแช่น้ำ	5.06de	5.03f	3.39e	2.86f	3.36f

หมายเหตุ ตัวอักษร a-f ที่ต่างกันในแต่ละแถว หมายถึงค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 31 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) และค่า p-value ระหว่างความชอบในคุณลักษณะ ด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น กลิ่นรส และเนื้อสัมผัส กับความชอบโดยรวม ของตัวอย่างข้าวหุงสุก

คุณลักษณะความชอบ	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)	p-value
ลักษณะปรากฏ	0.887 [*]	0.000
กลิ่น	0.960 [*]	0.000
กลิ่นรส	0.994 [*]	0.000
เนื้อสัมผัส	0.993 [*]	0.000

หมายเหตุ *มีความสัมพันธ์กันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความชอบโดยรวมของผู้บริโภค (Preference) กับคุณภาพของ ข้าวหุงสุก

5.2.1 ความความสัมพันธ์ระหว่างความชอบโดยรวมของผู้บริโภค (Preference) กับ คุณภาพทางเคมี และคุณภาพทางกายภาพ

การหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยคุณภาพทางเคมี และคุณภาพทางกายภาพ 11 ปัจจัย กับความชอบโดยรวมของผู้บริโภค (Preference) ต่อตัวอย่างข้าวหุงสุก 6 พันธุ์ ที่มีวิธีการหุงต้มที่แตกต่างกัน 3 วิธี ในเบื้องต้นด้วยสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (ตารางที่ 32) พบว่าความชอบโดยรวม (Preference) มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญในทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับปัจจัยคุณภาพทางเคมี และคุณภาพทางกายภาพ 4 ปัจจัย ซึ่งทั้ง 4 ปัจจัยนี้เกี่ยวข้องกับเนื้อสัมผัสจากการวัดด้วยเครื่องมือ ได้แก่ ความแข็ง (Hard-TPA, ComT), การเกาะติดผิว (Adhes-TPA) และความเหนียว (Stick-TPA) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูง โดยเนื้อสัมผัสด้านการเกาะติดผิว (Adhes-TPA) และความเหนียว (Stick-ComT) มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียว กับความชอบโดยรวม มีค่า r เท่ากับ 0.877 และ 0.839 ตามลำดับ และมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้ามกับ เนื้อสัมผัสด้านความแข็ง จากการวัดด้วยเครื่องมือทั้ง 2 วิธี (Hard-ComT และ Hard-TPA) มีค่า r เท่ากับ -0.759 และ -0.648 ตามลำดับ สามารถอธิบายได้ว่าตัวอย่างข้าวหุงสุกจะได้รับความชอบโดยรวมเพิ่มขึ้น เมื่อตัวอย่างข้าวหุงสุกมีการเกาะติดผิว และความเหนียวมาก แต่มีความแข็งน้อย ในทางกลับกันหากตัวอย่างข้าวหุงสุกมีการเกาะติดผิว และความเหนือน้อย แต่มีความแข็งมาก จะส่งผลให้ความชอบโดยรวม

ลดลง นอกจากนี้เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของปัจจัยคุณภาพทางเคมี และคุณภาพทางกายภาพ กับ ความชอบโดยรวมเพิ่มเติม พบว่าความชอบโดยรวมมีความสัมพันธ์ไม่สูงมากนักกับค่าความเป็นสี เหลือง (b^*) โดยมีค่า r เท่ากับ 0.407 ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าความชอบโดยรวมจะเพิ่มขึ้น เมื่อ ตัวอย่างข้าวหุงสุกมีความเป็นสีเหลืองมาก แต่อย่างไรก็ตามค่าความเป็นสีเหลืองก็มีอิทธิพลต่อ ความชอบโดยรวมที่ต่ำกว่าคุณลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความแข็ง, การเกาะติดผิว และความเหนียว สำหรับปัจจัยคุณภาพอื่นๆ ที่เหลืออีก 7 ปัจจัย การเพิ่มขึ้นหรือลดลงของปัจจัยเหล่านี้ไม่ได้ส่งผลต่อ ความชอบโดยรวมให้เพิ่มขึ้นหรือลดลง ซึ่งบ่งชี้ว่าจะต้องมีค่าหรือระดับที่เป็นจุดที่เหมาะสมต่อ ความชอบโดยรวมของผู้บริโภคเท่านั้น ยกตัวอย่างเช่น ค่าความสว่าง (L^*) ถ้าตัวอย่างข้าวหุงสุกมี ความสว่างมากหรือน้อยเกินไปอาจทำให้ความชอบโดยรวมมีค่าลดลงได้ หากตัวอย่างข้าวหุงสุกมี ระดับความสว่างที่เหมาะสมจะทำให้ได้รับความชอบโดยรวมมาก

ตารางที่ 32 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) และค่า p -value ระหว่างความชอบโดยรวมของ ผู้บริโภค และคุณภาพทางเคมีและกายภาพของข้าวหุงสุก

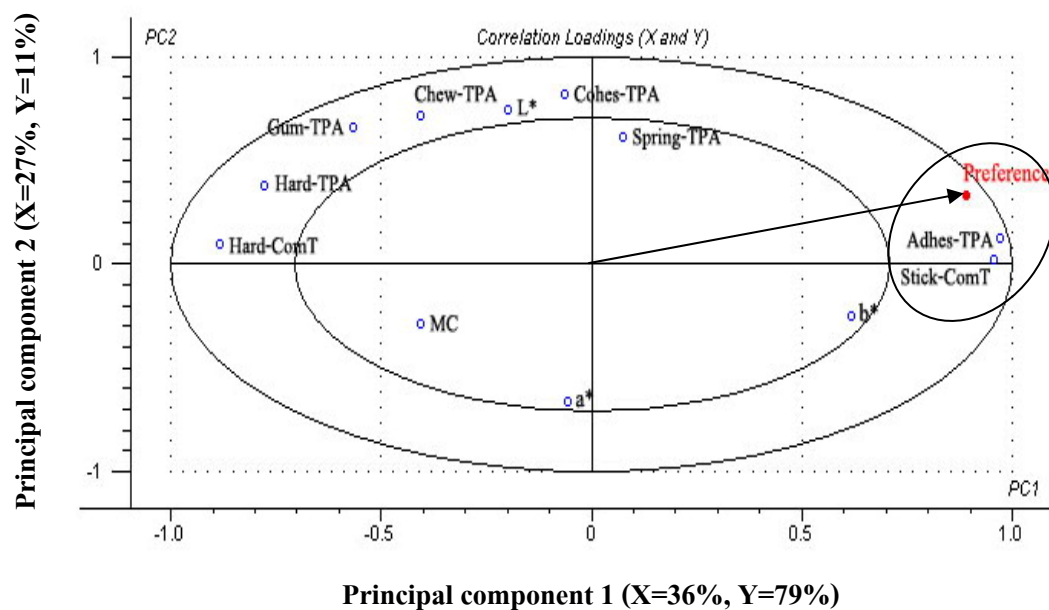
ปัจจัยคุณภาพ	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)	p - value
การวิเคราะห์เค้าโครงเนื้อสัมผัส (TPA)		
ความแข็ง (Hard)	-0.648*	0.004
การเกาะติดผิว (Adhes)	0.877*	0.000
ความยืดหยุ่น(Spring)	0.183	0.467
ความเหนียวเป็นกาวยาง (Gum)	-0.362	0.140
พลังงานในการเคี้ยว (Chew)	-0.205	0.414
การทดสอบแบบกด 1 ครั้ง (ComT)		
ความแข็ง (Hard)	-0.759*	0.000
ความเหนียว (Stick)	0.839*	0.000
ความชื้น (MC)	-0.356	0.147
ค่าสี		
ความสว่าง (L^*)	0.129	0.609
ความเป็นสีแดง (a^*)	-0.312	0.208
ความเป็นสีเหลือง (b^*)	0.407	0.093

หมายเหตุ * มีความสัมพันธ์กันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

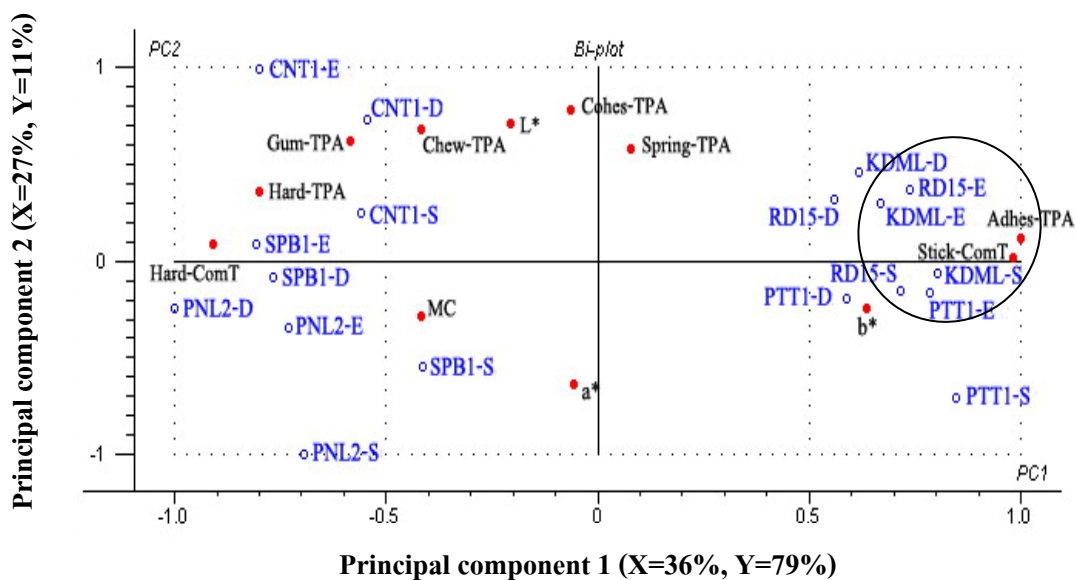
เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความชอบโดยรวมของผู้บริโภค (Preference) กับปัจจัยคุณภาพทางเคมี และคุณภาพทางกายภาพ โดยใช้วิธี Partial least square (PLS) แสดงด้วยเทคนิคแผนภาพความชอบ (Preference mapping) รวมทั้งแสดงความสัมพันธ์ของตัวอย่างข้าวหุงสุกที่ได้รับความชอบโดยรวมมากหรือน้อยแตกต่างกัน

แผนภาพความชอบ (Preference mapping) ของปัจจัยคุณภาพทางเคมี และคุณภาพทางกายภาพ ของตัวอย่างข้าวหุงสุก ที่มีความสัมพันธ์กับความชอบโดยรวม (Preference) ของผู้บริโภค (ภาพที่ 41) พบว่าค่าความชอบโดยรวม (Preference) นั้นมีความสัมพันธ์กับค่าการเกาะติดผิว (Adhes-TPA) และความเหนียว (Stick-ComT) มากที่สุด และมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับความชอบโดยรวมด้วย ในทางกลับกันค่าความแข็ง (Hard-TPA และ Hard-ComT) นั้นก็มีความสัมพันธ์เช่นเดียวกัน แต่มีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามกับค่าความชอบโดยรวม เนื่องจากค่าความแข็งนั้นอยู่ในทิศทางตรงกันข้ามกับค่าความชอบโดยรวม หรือในทิศทางตรงกันข้ามกันในแนวแกน y กับค่าความชอบโดยรวม แสดงให้เห็นว่าผู้บริโภคนั้นชอบข้าวหุงสุกที่มีการเกาะติด และมีความเหนียวมาก แต่มีความแข็งน้อย ซึ่งมีความสอดคล้องและเป็นไปในทิศทางเดียวกับการหาความสัมพันธ์เบื้องต้นจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) (ตารางที่ 32) โดยพบว่าตัวอย่างข้าวแอมิโลสต่ำ ได้แก่ KDML 105, RD 15 และ PTT 1 ที่หุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า รวมทั้ง KDML 105 และ RD 15 ที่หุงด้วยการนึ่ง มีคุณภาพทางเคมี และคุณภาพทางกายภาพที่สัมพันธ์กับความชอบโดยรวมสูงที่สุด รองลงมา คือ ข้าวแอมิโลสต่ำ ได้แก่ KDML 105, RD 15 และ PTT 1 ที่หุงต้มแบบเช็ดน้ำ และสุดท้ายคือ PTT 1 ที่หุงต้มด้วยการนึ่ง สำหรับข้าวแอมิโลสสูง ได้แก่ CNT 1, SPB 1 และ PNL 2 ที่หุงต้มจากทั้ง 3 วิธี มีคุณภาพทางเคมี และคุณภาพทางกายภาพในทิศทางตรงกันข้ามกับความชอบโดยรวม (ภาพที่ 42)

สำหรับค่าการเกาะรวมตัวกัน (Cohes-TPA), ความเหนียวเป็นกาว (Gum-TPA), พลังงานในการเคี้ยว (Chew-TPA) และค่าความสว่าง (L^*) นั้นก็มีความสัมพันธ์กันเอง ค่าคุณภาพอื่นๆ เช่น ความยืดหยุ่น (Spring-TPA) ความชื้น (MC) และค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ก็มีความสัมพันธ์กับค่าความชอบโดยรวมเช่นเดียวกัน แต่มีความสัมพันธ์กันน้อยมาก เนื่องจากค่าเหล่านี้อยู่บริเวณในวงกลมเล็ก



ภาพที่ 41 Preference mapping ของปัจจัยคุณภาพทางเคมี และคุณภาพกายภาพ (X) กับความชอบโดยรวม (Y) ของตัวอย่างข้าวหุงสุก



ภาพที่ 42 ค่า Bi-plot ของปัจจัยคุณภาพทางเคมี และคุณภาพทางกายภาพ (X) เพื่ออธิบายความชอบโดยรวม (Y) ของผู้บริโภค ต่อตัวอย่างข้าวหุงสุก บนแกน PC1 และ PC2

5.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความชอบโดยรวมของผู้บริโภค (Preference) กับคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา

การหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา 35 คุณลักษณะ กับความชอบโดยรวมของผู้บริโภค (Preference) ต่อตัวอย่างข้าวหุงสุก 6 พันธุ์ ที่มีวิธีการหุงต้มที่แตกต่างกัน 3 วิธี ในเบื้องต้นด้วยสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (ตารางที่ 33) พบว่าความชอบโดยรวม (Preference) มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับปัจจัยคุณภาพทางประสาทสัมผัส 21 ปัจจัย ซึ่งทั้ง 21 ปัจจัยนี้เกี่ยวข้องกับลักษณะปรากฏ, กลิ่น, กลิ่นรส, เนื้อสัมผัส และความรู้สึกตกค้าง เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูง คุณลักษณะที่มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกับความชอบโดยรวม คือ คุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ ได้แก่ ความสมบูรณ์ของเมล็ด (GrainIn) การเกาะติดกันระหว่างเมล็ด (StickGr) และความเรียวยาวของเมล็ด (Thin) มีค่า r เท่ากับ 0.701, 0.938 และ 0.648 ตามลำดับ กลิ่นและกลิ่นรส ได้แก่ กลิ่นแป้ง (StarchAr), กลิ่นใบเตย (PandanAr), กลิ่นรสใบเตย (PandanF) และรสหวาน (Sweet) มีค่า r เท่ากับ 0.570, 0.588, 0.706 และ 0.646 ตามลำดับ ความรู้สึกตกค้าง ได้แก่ ความเป็นแป้งตกค้าง (StarchAf) และรสหวานตกค้าง (SweetAf) มีค่า r เท่ากับ 0.546 และ 0.683 เนื้อสัมผัส ได้แก่ ความเหนียว (MStick), การเกาะรวมตัวกันในระยะก่อนกัดและระยะเคี้ยว (Cohes1 และ 3), การเกาะติดริมฝีปาก (AdhesLip) และความลื่นเป็นมัน (Slick) ได้แก่ 0.813, 0.926, 0.751, 0.908 และ 0.875 ตามลำดับ และมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้ามกับคุณลักษณะกลิ่น ได้แก่ กลิ่นไข่ขาว (EggAr), กลิ่นไม้ (WoodAr) และกลิ่นกระสอบ (BurlapAr) มีค่า r เท่ากับ -0.669, -0.532, -0.626 กลิ่นรส ได้แก่ กลิ่นรสไข่ขาว (EggF) มีค่า r เท่ากับ -0.545 เนื้อสัมผัส ได้แก่ ความแข็ง (Hard), การเคี้ยว (Chew) และอนุภาคตกค้าง (LParticle) มีค่า r เท่ากับ -0.833, -0.776, และ -0.644 ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าตัวอย่างข้าวหุงสุกจะได้รับความชอบโดยรวมเพิ่มขึ้น เมื่อตัวอย่างเมล็ดข้าวมีลักษณะเรียวยาว มีความสมบูรณ์ และเกาะติดกัน มีกลิ่นแป้ง, กลิ่น/กลิ่นรสใบเตย และรสหวาน เนื้อสัมผัส มีความเหนียว, การเกาะรวมตัวกันในระยะก่อนกัดและระยะเคี้ยว, การเกาะติดริมฝีปาก และความลื่นเป็นมัน และหลังจากกลืนตัวอย่างมีความเป็นแป้ง และรสหวานตกค้างมาก แต่มีกลิ่น/กลิ่นรสไข่ขาว, กลิ่นไม้ และกลิ่นกระสอบ ความแข็ง, การเคี้ยว และอนุภาคตกค้างน้อย ในทางกลับกันหากตัวอย่างข้าวหุงสุกมีคุณลักษณะที่ตรงกันข้ามกับคุณลักษณะดังกล่าว จะส่งผลให้ความชอบโดยรวมลดลง นอกจากนี้เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของปัจจัยคุณภาพทางประสาทสัมผัสกับความชอบโดยรวมเพิ่มเติม พบว่าความชอบโดยรวมมีความสัมพันธ์ไม่สูงมากนักกับความเป็นสีขาว และความขรุขระของผิว โดยมีค่า r เท่ากับ -0.418 และ -0.451 ตามลำดับ ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าความชอบโดยรวมจะเพิ่มขึ้น เมื่อตัวอย่างข้าวหุงสุกมีความเป็นสีขาวลดลง แต่มีความขรุขระของผิวเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม

ตารางที่ 33 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) และค่า p-value ระหว่างความชอบโดยรวมของผู้บริโภค และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวหุงสุก

คุณภาพทางประสาทสัมผัส	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)	p – value
<u>ลักษณะปรากฏ</u>		
ความเป็นสีขาว (White)	-0.418	0.084
ความสมบูรณ์ของเมล็ด (GrainIn)	0.701*	0.001
การเกาะติดกันระหว่างเมล็ด (StickGr)	0.938*	0.000
ความเรียวยาวของเมล็ด (Thin)	0.648*	0.004
ความขรุขระของผิว (Rough)	-0.451	0.060
<u>กลิ่น (Aroma; Ar)</u>		
กลิ่นแป้ง (StarchAr)	0.570*	0.014
กลิ่นข้าวสาร (RiceAr)	0.212	0.398
กลิ่นไข่ขาว (EggAr)	-0.669*	0.002
กลิ่นใบเตย (PandanAr)	0.588*	0.010
กลิ่นไม้ (WoodAr)	-0.532*	0.023
กลิ่นแกลบ (ChaffAr)	-0.381	0.119
กลิ่นรำ (BranAr)	0.200	
กลิ่นกระสอบ (BurlapAr)	-0.626*	0.005
<u>กลิ่นรส (Flavor; F)</u>		
กลิ่นรสแป้ง (StarchF)	0.374	0.126
กลิ่นรสไข่ขาว (EggF)	-0.545*	0.019
กลิ่นรสใบเตย (PandanF)	0.706*	0.001
รสหวาน (Sweet)	0.646*	0.004
<u>ความรู้สึตกค้าง (After taste; Af)</u>		
กลิ่นรสแป้งตกค้าง (StarchAf)	0.546*	0.019
รสหวานตกค้าง (SweetAf)	0.683*	0.002

ตารางที่ 33 (ต่อ)

คุณภาพทางประสาทสัมผัส	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)	p – value
<u>เนื้อสัมผัส (Texture)</u>		
ความเหนียว (MStick)	0.813 ^{**}	0.000
การเกาะรวมตัวกัน 1 (Cohes1)	0.926 [*]	0.000
ความเป็นเมล็ด (Kernel)	0.168	0.506
การเกาะติดริมฝีปาก (AdhesLip)	0.908 [*]	0.000
ความลื่นเป็นมัน (Slick)	0.875 [*]	0.000
ความยืดหยุ่น (Spring)	-0.142	0.575
ความเป็นแป้งเคลือบปาก (StarchC)	0.310	0.210
ความแข็ง (Hard)	-0.833 [*]	0.000
การเกาะรวมตัวกัน 2 (Cohes2)	0.384	0.115
การเคี้ยว (Chew)	-0.776 [*]	0.000
การเกาะรวมตัวกัน 3 (Cohes3)	0.751 [*]	0.000
ความหยาบ (Rough)	-0.349	0.156
ความเหนียว (TPull)	0.326	0.187
การติดฟัน (TPack)	0.204	0.417
อนุภาคตกค้าง (LParticle)	-0.644 [*]	0.004

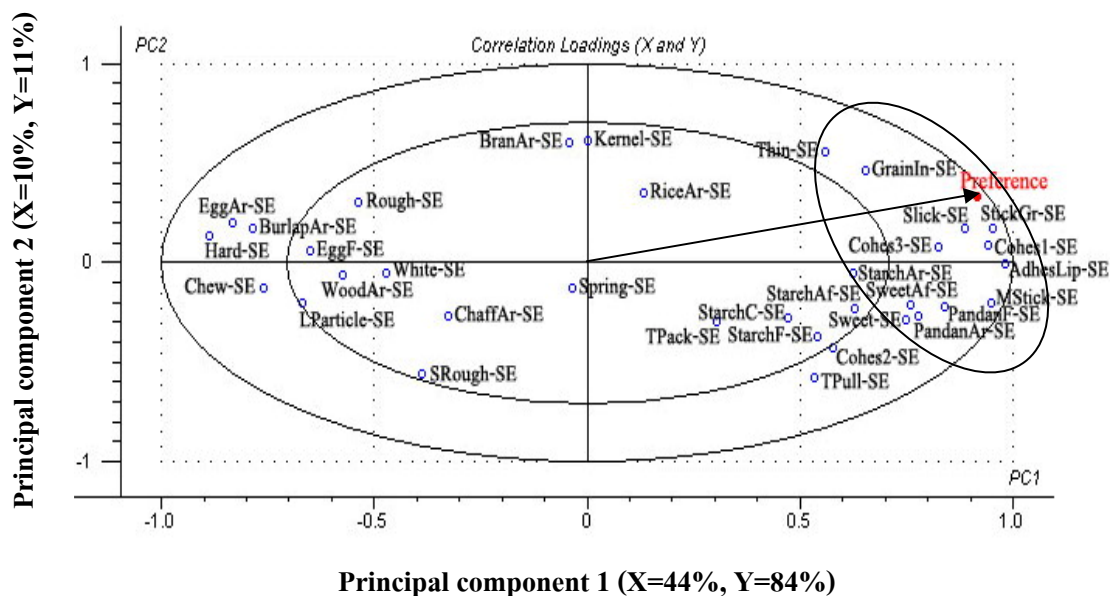
หมายเหตุ * มีความสัมพันธ์กันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตามความเป็นสีขาว และความขรุขระก็มีอิทธิพลต่อความชอบโดยรวมที่ต่ำกว่าคุณลักษณะดังกล่าวข้างต้น สำหรับคุณลักษณะอื่นๆ ที่เหลืออีก 11 ปัจจัย การเพิ่มขึ้นหรือลดลงของปัจจัยเหล่านี้ไม่ได้ส่งผลต่อความชอบโดยรวมให้เพิ่มขึ้นหรือลดลง ซึ่งบ่งชี้ว่าจะต้องมีค่าหรือระดับที่เป็นจุดที่เหมาะสมต่อความชอบโดยรวมของผู้บริโภคเท่านั้น ยกตัวอย่างเช่น ความยืดหยุ่น (Spring) ถ้าตัวอย่างข้าวหุงสุกมีความยืดหยุ่นมากหรือน้อยเกินไปอาจทำให้ความชอบโดยรวมมีค่าลดลงได้ หากตัวอย่างข้าวหุงสุกจะมีระดับความยืดหยุ่นที่เหมาะสมจะทำให้ได้รับความชอบโดยรวมมาก

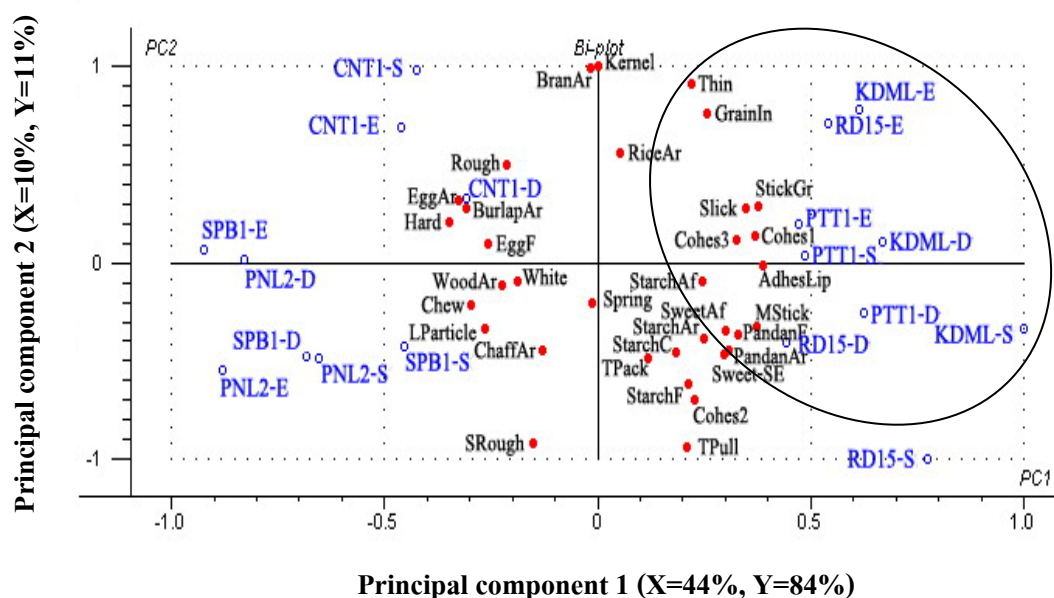
เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความชอบโดยรวมของผู้บริโภค (Preference) กับปัจจัยคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาโดยใช้วิธี Partial least square (PLS)

โดยแสดงด้วยเทคนิคแผนภาพความชอบ (Preference mapping) รวมทั้งแสดงความสัมพันธ์ของตัวอย่างข้าวหุงสุกที่ได้รับความชอบโดยรวมมากหรือน้อยแตกต่างกัน

แผนภาพความชอบ (Preference Mapping) บ่งชี้คุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของตัวอย่างข้าวหุงสุกที่มีความสัมพันธ์กับความชอบโดยรวม (Preference) ของผู้บริโภค (ภาพที่ 43) พบว่าค่าความชอบโดยรวม (Preference) นั้นมีความสัมพันธ์อย่างมากกับคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ ได้แก่ ความสมบูรณ์ของเมล็ด (GrainIn), ความเรียวยาวของเมล็ด (Thin) และการเกาะติดกันระหว่างเมล็ด (StickGr), กลิ่น/กลิ่นรสไบเตย (PandanAr/F), รสหวาน (Sweet) รสหวานตกค้าง (SweetAr) และเนื้อสัมผัส ได้แก่ ความเหนียวในการดัดมือ (MStick), ความลื่นเป็นมัน (Slick), การเกาะรวมตัวกันของตัวอย่างในระยะก่อนกัด และระยะเคี้ยว (Cohes1, 3) การเกาะติดริมฝีปาก (AdhesLip) และอนุภาคตกค้าง (LParticle) ในทางกลับกันจะเห็นได้ว่ากลิ่นไข่ขาว (EggAr), กลิ่นกระสอบ (BurlapAr), ความแข็ง (Hard) และการเคี้ยว (Chew) นั้นก็มีความสัมพันธ์เช่นเดียวกัน แต่มีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามกับค่าความชอบโดยรวม เนื่องจากอยู่ในทิศทางตรงกันข้ามกันในแนวแกน y กับค่าความชอบรวม แสดงให้เห็นว่าผู้บริโภคชอบข้าวหุงสุกที่มีเมล็ดข้าวที่เรียวยาว มีความสมบูรณ์ มีการเกาะติดกันระหว่างเมล็ด, มีกลิ่น/กลิ่นรสไบเตย, รสหวาน, รสหวานตกค้าง, ความเหนียวในการดัดมือ, ความลื่นเป็นมัน, การเกาะรวมตัวกันของตัวอย่างในระยะก่อนกัด และระยะเคี้ยว, การเกาะติดริมฝีปาก และอนุภาคตกค้างหลังกลืนมาก แต่ไม่ชอบข้าวหุงสุกที่มีกลิ่นไข่ขาว, กลิ่นกระสอบ, มีความแข็ง และต้องใช้แรงการเคี้ยวมาก ซึ่งมีความสอดคล้อง และเป็นไปในทิศทางเดียวกับการหาความสัมพันธ์เบื้องต้นจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) (ตารางที่ 33) โดยพบว่าตัวอย่างข้าวแอมิโลสต่ำ ได้แก่ KDML 105, RD 15 และ PTT 1 ที่หุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า การนึ่ง และการหุงแบบเช็ดน้ำ มีคุณภาพทางประสาทสัมผัสที่สัมพันธ์กับความชอบโดยรวมสูงกว่าข้าวแอมิโลสสูง อย่างไรก็ตาม RD 15 ที่หุงด้วยการนึ่งจะมีค่าความชอบโดยรวมที่น้อยกว่าข้าวหุงสุกตัวอย่างอื่นในข้าวกลุ่มนี้ (ภาพที่ 44)



ภาพที่ 43 Preference mapping ของปัจจัยคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา (X) กับความชอบโดยรวม (Y) ของตัวอย่างข้าวหุงสุก



ภาพที่ 44 ค่า Bi-plot ของปัจจัยคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาเคมี และคุณภาพทางกายภาพ (X) เพื่ออธิบายความชอบโดยรวม (Y) ของผู้บริโภค ต่อตัวอย่างข้าวหุงสุกบนแกน PC1 และ PC2

จากการศึกษาทำให้สามารถกำหนดคุณภาพทางเคมี ทางกายภาพ และคุณภาพทางประสาทสัมผัสเป็นมาตรฐานในการปลูกข้าวพันธุ์ต่างๆ หรือการเลือกใช้วิธีการหุงต้มต่างๆ รวมทั้งการพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวหุงสุก เพื่อให้ได้คุณภาพของข้าวหุงสุกที่ทำให้เกิดการยอมรับจากผู้บริโภคมากที่สุด โดยช่วงของค่าคุณภาพที่ผู้บริโภคต้องการได้จากค่าคุณภาพทางเคมี และคุณภาพทางกายภาพของ KDML 105, RD 15 และ PTT 1 ที่หุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า และ KDML 105 และ RD 15 ที่หุงด้วยการนึ่ง แสดงดังตารางที่ 34 และค่าคุณภาพทางประสาทสัมผัสของ KDML 105, RD 15 และ PTT 1 ที่หุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า และการหุงแบบเช็ดน้ำ และ KDML 105 และ PTT 1 ที่หุงด้วยการนึ่ง แสดงดังตารางที่ 35

ตารางที่ 34 ค่าคุณภาพทางเคมี และคุณภาพทางกายภาพของข้าวหุงสุกที่ผู้บริโภคต้องการ จากการทดสอบผู้บริโภค

คุณภาพทางเคมี และทางกายภาพ	ค่าคุณภาพ
ความชื้น (ร้อยละ)	59.73 – 67.13
ค่าสี	
- ค่าความสว่าง (L*)	76.33 – 77.28
- ค่าสีแดง (a*)	-2.04 – -1.74
- ค่าสีเหลือง (b*)	9.02 – 10.98
ค่าเนื้อสัมผัสจากวิธีแบบเก้าโครงเนื้อสัมผัส (TPA)	
- ความแข็ง (hardness) (N)	168.46 – 182.24
- การเกาะติดผิว (adhesiveness) (N.m)	9,896.73 – 11,221.81
- การเกาะรวมตัวกัน (cohesiveness)	0.58 – 0.64
- ความยืดหยุ่น (springiness)	0.68 – 0.74
- ความเหนียวเป็นกาว (gumminess) (N)	98.68 – 115.51
- พลังงานในการเคี้ยว (chewiness) (N.m)	64.72 – 84.23
ค่าเนื้อสัมผัสจากการทดสอบแบบกด (Compression test)	
- ความแข็ง (hardness) (N)	73.03 – 94.04
- ความเหนียว (stickiness) (N)	13.98 – 17.46

ตารางที่ 35 ค่าคุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวหุงสุกที่ผู้บริโภคร้องการ จากการทดสอบ
ผู้บริโภค

คุณภาพทางประสาทสัมผัส	คุณภาพที่ผู้บริโภคต้องการ
ลักษณะปรากฏ (appearance)	
- ความเป็นสีขาว (whiteness)	10.67 – 12.22
- ความสมบูรณ์ของเมล็ด (grain integrity)	9.35 – 10.18
- การเกาะติดกันระหว่างเมล็ด (stickiness between grain)	9.61 – 9.81
- ความเรียบของเมล็ด (thinness)	8.83 – 9.83
- ความขรุขระของผิว (surface roughness)	4.75 – 5.70
กลิ่น (aroma)	
- แป้ง (starch)	2.94 – 3.35
- ข้าวสาร (raw rice)	1.76 – 2.07
- ไข่ขาว (egg white)	0.41 – 0.67
- ใบเตย (pandan)	0.14 – 0.30
- ไม้ (woody)	0.24 – 0.33
- แกลบ (chaff)	0.25 – 0.32
- รำ (bran)	0.26 – 0.32
- กระสอบ (burlap)	0.21 – 0.26
กลิ่นรส (flavor)	
- แป้ง (starch)	3.32 – 4.54
- ไข่ขาว (egg white)	0.43 – 0.73
- ใบเตย (pandan)	0.12 – 0.20
- รสหวาน (sweetness)	0.20 – 0.29
ความรู้สึตกค้าง (aftertaste)	
- แป้ง (starchy)	1.95 – 2.43
- รสหวาน (sweetness)	0.28 – 0.35
เนื้อสัมผัส (texture): ระยะแรก (initial stage)	
- ความเหนียว (manual stickiness)	7.50 – 8.35
- การเกาะรวมตัวกัน (cohesiveness 1)	7.50 – 9.38
- ความเป็นเมล็ด (kernelness)	7.50 – 8.92

ตารางที่ 35 (ต่อ)

คุณภาพทางประสาทสัมผัส	คุณภาพที่ผู้บริโภคต้องการ
เนื้อสัมผัส (texture): ระยะกดตัวอย่างบางส่วน (partial compression)	
- การเกาะติดริมฝีปาก (adhesiveness to lips)	8.81 – 9.26
- ความลื่นเป็นมัน (slickiness)	8.14 – 8.78
- ความยืดหยุ่น (springiness)	4.61 – 5.44
- ความเป็นแป้งเคลือบปาก (starchy coating)	2.00 – 2.60
เนื้อสัมผัส (texture): ระยะกัดครั้งแรก (first bite)	
- ความแข็ง (hardness)	3.88 – 4.54
- การเกาะรวมตัวกัน (cohesiveness 2)	6.69 – 7.07
- การเคี้ยว (chewiness)	6.04 – 6.59
เนื้อสัมผัส (texture): ระยะเคี้ยว (chew down)	
- การเกาะรวมตัว (cohesiveness 3)	6.68 – 7.07
- ความหยาบ (roughness)	5.54 – 6.64
- ความเหนียว (toothpull)	5.14 – 6.28
เนื้อสัมผัส (texture) : ระยะหลังเคี้ยว (residual)	
- การติดฟัน (toothpack)	4.77 – 5.19
- อนุภาคตกค้าง (loose particles)	4.58 – 5.22

6. การทำนายเนื้อสัมผัสทางประสาทสัมผัส

การหาค่าสมการถดถอยเพื่อใช้ในการทำนายเนื้อสัมผัสทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา จากค่าที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องมือ ได้แก่ วิถีวิเคราะห์ค่าโครงคุณลักษณะเนื้อสัมผัส (TPA) และการทดสอบแบบกด (Compression test) ด้วยวิธี Partial least square (PLS) ประเภทที่ 1 เพื่อนำปัจจัยจากค่าที่ได้จากเครื่องมือที่มีการเก็บข้อมูลที่ยุ่งยากน้อยกว่า และประหยัดเวลาน้อยกว่ามาใช้ในการทำนายเนื้อสัมผัสทางประสาทสัมผัส ซึ่งมีความสะดวก และง่ายกว่าการประเมินทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาที่ต้องใช้เวลาในการฝึกฝนที่นาน โดยสัมประสิทธิ์การถดถอยแบบถ่วงน้ำหนักที่ได้จากการทดลองขั้นต้นที่คำนวณโดยทุกตัวแปรของค่าจากวิถีวิเคราะห์ค่าโครงคุณลักษณะเนื้อสัมผัส (TPA) และการทดสอบแบบกด (Compression test) เพื่ออธิบายค่าเนื้อสัมผัสจากการประเมินทางประสาทสัมผัส แสดงในตารางผนวกที่ ๓2 และตารางผนวกที่ ๓4 แต่ในความ

เป็นจริงแล้วมีเพียงปัจจัยจากเครื่องมือบางปัจจัยเท่านั้นที่มีความสำคัญต่อการทำนายค่าเนื้อสัมผัสจากการประเมินทางประสาทสัมผัส ดังนั้นเพื่อให้ได้สมการที่เหมาะสมที่สุด จึงทำการตัดปัจจัยจากการวัดด้วยเครื่องมือของสมการที่ให้ค่า RMSEP น้อยที่สุด และค่า RVal มากที่สุดออกทีละปัจจัย โดยมีวิธีการดังแสดงในภาคผนวก ข สมการทำนายเนื้อสัมผัสทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาจากปัจจัยที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าโครงคุณลักษณะเนื้อสัมผัส (TPA) แสดงดังตารางที่ 36 และสมการทำนายเนื้อสัมผัสทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาจากปัจจัยที่ได้จากการทดสอบแบบกด (ComT) แสดงดังตารางที่ 37

ค่าเนื้อสัมผัสจากวิธีวิเคราะห์ค่าโครงคุณลักษณะเนื้อสัมผัส (TPA) และการทดสอบแบบกด (ComT) สามารถทำนายเนื้อสัมผัสทางประสาทสัมผัส ได้แก่ ความเหนียว (MStick), การเกาะติดริมฝีปาก (AdhesLips) และการเกาะรวมตัวกันของตัวอย่างในระยะเกี่ยว (Cohes 3) ได้แม่นยำที่สุด ($R_{Cal} > 0.800$)

ความเหนียว (MStick) จากการประเมินทางประสาทสัมผัส สามารถทำนายได้จากการเกาะติดผิว (Adhes), ความยืดหยุ่น (Spring) และพลังงานในการเกี่ยว (Chew) จากวิธีวิเคราะห์ค่าโครงคุณลักษณะเนื้อสัมผัส (TPA) หรือทำนายได้จากความสูงของตัวอย่าง (C1), ค่าแรงสูงสุดที่หัววัดกดตัวอย่าง 90%strain (C3) และพื้นที่ใต้กราฟทั้งหมดทางด้านลบ (C11) จากการทดสอบแบบกด

การเกาะติดริมฝีปาก (Adhesiveness to lips) จากการประเมินทางประสาทสัมผัส สามารถทำนายได้จากความแข็ง (Hard), การเกาะติดผิว (Adhes) และความเป็นกาวยาง (Gum) จากวิธีวิเคราะห์ค่าโครงคุณลักษณะเนื้อสัมผัส (TPA) หรือทำนายได้จากค่าแรงสูงสุดที่หัววัดกดตัวอย่าง 90%strain (C3), แรงสูงสุดในการถอนหัววัดออกจากฐาน (C6), พื้นที่ใต้กราฟตั้งแต่หัววัดเคลื่อนที่จนถึง 90%strain (C8) และพื้นที่ใต้กราฟทั้งหมดทางด้านลบ (C11) จากการทดสอบแบบกด

การเกาะรวมตัวกันของตัวอย่างในระยะเกี่ยว (Cohes 3) จากการประเมินทางประสาทสัมผัส สามารถทำนายได้จากปัจจัยที่ได้จากวิธีวิเคราะห์ค่าโครงคุณลักษณะเนื้อสัมผัส (TPA) ทุกปัจจัยยกเว้นความยืดหยุ่น (Spring) และสามารถทำนายได้จากความสูงของตัวอย่าง (C1), ค่าแรงสูงสุดที่หัววัดกดตัวอย่าง 90%stain (C3), ระยะทางที่หัววัดกลับมาจุดเริ่มต้น (C5), ระยะทางที่

ห้วัดตอนแรงออกจากห้วัด (C7) พื้นที่ใต้กราฟทางด้านหลังกราฟ (C9) และพื้นที่ใต้กราฟทั้งหมดทางด้านบวก (C10) จากการทดสอบแบบกด

คุณลักษณะการเกาะรวมตัวกันในระยะก่อนกัด (Cohes1) จากการประเมินทางประสาทสัมผัส สามารถทำนายได้ดีจากการทดสอบด้วยวิธีวิเคราะห์ค่าโครงคุณลักษณะเนื้อสัมผัส (TPA) ($R_{Cal} = 0.858$) มากกว่าการทดสอบแบบกด ($R_{Cal} = 0.737$) แต่ความแข็ง (Hard) จากการประเมินทางประสาทสัมผัส สามารถทำนายได้ดีจากการทดสอบแบบกด ($R_{Cal} = 0.868$) มากกว่าการทดสอบด้วยหลักการวิเคราะห์ค่าโครงคุณลักษณะเนื้อสัมผัส ($R_{Cal} = 0.685$)

ความลื่นเป็นมัน (Slick) และการเคี้ยว (Chew) จากการทดสอบด้วยวิธีวิเคราะห์ค่าโครงคุณลักษณะเนื้อสัมผัส (TPA) และจากการทดสอบแบบกด และความเป็นแป้งเคลือบปาก (StarchC) จากการทดสอบแบบกด สามารถทำนายได้เช่นเดียวกัน เนื่องจากมีค่า R_{Cal} มากกว่า 0.600 สำหรับคุณลักษณะอื่นๆ ทำนายได้ไม่ดีนัก เนื่องจากมีค่า R_{Cal} ที่น้อยกว่า 0.600 แต่คุณลักษณะด้านความเป็นเมล็ด (Kernel) จากการประเมินทางประสาทสัมผัส ไม่สามารถทำนายได้จากการทดสอบแบบกด เนื่องจากมีค่า R_{Cal} ที่ต่ำมาก

ตารางที่ 36 สัมประสิทธิ์การถดถอยแบบถ่วงน้ำหนักที่ได้จากการทดลองที่คำนวณเฉพาะตัวแปรของค่าจากวิธีวิเคราะห์ค่าโครงสร้างคุณลักษณะเนื้อสัมผัส (TPA) เพื่ออธิบายค่าเนื้อสัมผัสจากการประเมินทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา

ปัจจัยจาก	เนื้อสัมผัสจากการประเมินทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา														
TPA *	MStick	Cohes1	Kernel	AdhesLip	Slick	Spring	StarchC	Hard	Cohes2	Chew	Cohes3	Rough	TPull	TPack	LParticle
ค่าคงที่	10.575	5.768	11.588	10.455	8.650	12.999	14.231	4.420	19.134	5.252	18.947	11.947	14.513	21.062	14.042
Hard		-0.299		-0.192	-0.352	0.187	-0.251	0.259	0.159	0.292	-0.249	0.192		0.326	1.222
Adhes	0.764	0.792		0.842	0.635	0.305		-0.158	0.776	-0.127	0.702		0.610	0.740	
Cohes		0.241	0.935		0.245				0.139		0.146		-0.216	-0.254	
Spring	-0.080					0.373	-0.264			0.250					
Gum			-0.429	-0.039	-0.112			0.255			-0.103	0.198			-0.238
Chew	-0.351	0.049	-0.092				-0.286	0.247		0.310	-0.021	0.208			-0.797
RCal	0.908	0.858	0.268	0.969	0.770	0.324	0.547	0.685	0.509	0.695	0.801	0.343	0.456	0.387	0.263
จำนวน PCs	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

หมายเหตุ *ปัจจัยจากวิธีวิเคราะห์ค่าโครงสร้างคุณลักษณะเนื้อสัมผัส (TPA) ได้แก่ ความแข็ง (Hardness; Hard) การเกาะติดผิว (Adhesiveness; Adhes) การเกาะรวมตัวกัน (Cohesiveness; Cohes) ความยืดหยุ่น (Springiness; Spring) ความเป็นกาวยาง (Gumminess; Gum) และพลังงานในการเคี้ยว (Chewiness; Chew)

ตารางที่ 37 สัมประสิทธิ์การถดถอยแบบถ่วงน้ำหนักที่ได้จากการทดลองที่คำนวณเฉพาะตัวแปรของค่าจาก Compression test เพื่ออธิบายค่าเนื้อสัมผัสจากการ
ประเมินทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา

ปัจจัยจากการ	เนื้อสัมผัสจากการประเมินทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา														
ทดสอบแบบกด*	MStick	Cohes1	Kernel	AdhesLip	Slick	Spring	StarchC	Hard	Cohes2	Chew	Cohes3	Rough	TPull	TPack	LParticle
ค่าคงที่	11.452	17.512	-	12.671	16.192	26.092	15.248	-7.511	25.519	-7.585	27.107	16.424	-6.700	9.594	13.646
C1	0.050	-0.135	-		-0.115	-0.125	-0.090	0.211	-0.080		-0.180		0.271		0.124
C2			-			0.401	0.000		0.395						
C3	-0.700	-0.165	-	-0.625	-0.199	0.012	0.243		-0.256	-1.144	-0.219	0.180	-0.193		
C4		-0.133	-			-0.132	0.000	0.254	-0.069	1.532			0.361		0.122
C5		-0.060	-			-0.096	-0.071	0.027	0.035		-0.068	-0.122	0.101	-1.916	
C6			-	0.357		-0.048	-0.134		0.000				0.989		
C7		-0.075	-			-0.070	0.135	-0.064	0.030	-1.080	-0.079	-0.115	0.259	2.663	0.094
C8		-0.163	-	-0.002	-0.201		-0.982	0.791	-0.059			0.176		0.758	0.089
C9		-0.138	-			-0.010	0.212	0.556	0.000		-0.196		0.230		
C10		-0.156	-		-0.196	0.061	-0.519		-0.129	2.096	-0.217	0.183		-0.147	0.082
C11	-0.374	-0.198	-	-0.808	-0.206	-0.131	0.825	-0.729	-0.336	-0.952	-0.260		-2.033	-1.259	0.124
RCal	0.942	0.737	-	0.945	0.694	0.375	0.714	0.868	0.452	0.896	0.805	0.420	0.592	0.535	0.236
จำนวน PCs	2	2	-	3	2	3	3	3	3	4	2	2	4	4	2

หมายเหตุ * การทดสอบแบบกด (Compression test) ได้แก่ ความสูงของตัวอย่าง (C1), ความชื้นที่ 0-10%strain (C2), ค่าแรงสูงสุดที่หัววัดกดตัวอย่าง 90%strain (C3), ระยะทางหัววัดกดตัวอย่าง 90%strain (C4), ระยะทางที่หัววัดกลับมาจุดเริ่มต้น (C5), แรงสูงสุดในการถอนหัววัดออกจากฐาน (C6), ระยะทางที่หัววัดถอนแรงออกจากหัววัด (C7), พื้นที่ใต้กราฟตั้งแต่หัววัดเคลื่อนที่จนถึง 90%strain (C8), พื้นที่ใต้กราฟทางด้านหลังกราฟ(C9), พื้นที่ใต้กราฟทั้งหมดทางด้านบวก (C10) และพื้นที่ใต้กราฟทั้งหมดทางด้านลบ (C11)

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. จากการสำรวจพฤติกรรม ทักษะคิด ในการบริโภค และการหุงต้มข้าว กับผู้บริโภค จำนวน 250 คน พบว่าผู้บริโภคโดยส่วนใหญ่ชอบข้าวหุงสุกที่มีลักษณะเหนียวนุ่ม และ/หรือมีกลิ่นหอม เช่น ข้าวหอมมะลิ 100% รองลงมาคือ ข้าวหอมมะลิ 10%, 5% และมีจำนวนน้อยที่มักจะเลือกซื้อข้าวสารที่เมื่อหุงแล้วเป็นข้าวหุงสุกที่มีลักษณะเป็นข้าวร่วน และแข็ง เช่น ข้าวเสาไห้ และข้าวผสม (ซื้อข้าวหลายประเภทมาหุงรวมกัน) โดยวิธีในการหุงต้มโดยส่วนใหญ่จะใช้หม้อหุงข้าวไฟฟ้า สำหรับวิธีการหุงต้มอื่นๆ ได้แก่ การนึ่ง การหุงด้วยเครื่องไมโครเวฟ และการหุงแบบเช็ดน้ำ มีเพียงเล็กน้อย สำหรับระดับความสำคัญของระดับความคิดเห็นที่มีต่อข้าว พบว่าผู้บริโภคให้ความสำคัญกับประเภทของข้าว โดยลักษณะของข้าวสารจะต้องมีลักษณะที่เต็มเมล็ด และบรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่สะอาด ลักษณะของข้าวหุงสุกต้องมีลักษณะเต็มเมล็ด และมีกลิ่นหอม สำหรับการหุงต้มผู้บริโภคเห็นด้วยกับการการหุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้าเพราะสามารถอุ่นได้ โดยปัจจัยเหล่านี้อยู่ในระดับสำคัญมากที่สุด ระดับความสำคัญของปัจจัยที่มีความสำคัญมาก ได้แก่ ขนาดบรรจุภัณฑ์ ลักษณะของเมล็ดข้าวหุงสุกไม่ควรมีการแตกหักของเมล็ด มีความร่วน และมีรสหวานเมื่อเคี้ยว สำหรับปัจจัยอื่นๆมีความสำคัญในระดับปานกลางถึงน้อยที่สุด

2. พันธุ์ข้าวเจ้าทั้ง 6 พันธุ์ ได้แก่ KDML 105, RD 15, PTT 1, CNT 1, SPB 1 และ PNL 2 และวิธีการหุงต้มทั้ง 4 วิธี ได้แก่ การหุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า, การนึ่ง, การหุงแบบเช็ดน้ำ และการหุงด้วยเครื่องไมโครเวฟ มีผลต่อคุณภาพที่แตกต่างกันของข้าวหุงสุก เมื่อนำปัจจัยคุณต่างของข้าวทั้ง 24 ตัวอย่างมาวิเคราะห์ทางสถิติด้วยเทคนิค PCA และ Cluster analysis พบว่าสามารถจำแนกได้ออกเป็น 6 กลุ่ม จากปัจจัยคุณภาพทางเคมี และกายภาพ 4 กลุ่มจากปัจจัยคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา

3. จากการจัดกลุ่มตัวอย่างข้าวพันธุ์ 6 พันธุ์ ได้แก่ KDML 105, RD 15, PTT 1, CNT 1, SPB 1 และ PNL 2 ที่หุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า สามารถแบ่งข้าว 6 พันธุ์ ได้ออกเป็น 3 กลุ่ม โดยกลุ่มที่ 1 คือ KDML 105, RD 15 และ PTT 1 กลุ่มที่ 2 คือ CNT 1 และ SPB 1 และกลุ่มที่ 3 คือ PNL

4. จากการทดสอบความชอบกับผู้บริโภคจำนวน 228 คน พบว่าผู้บริโภคชอบข้าวหุงสุกในกลุ่มที่มีแอมิโลสต่ำกว่าข้าวแอมิโลสสูง ได้แก่ KDML 105, RD15 และ PTT 1 สำหรับการหุงต้ม พบว่าวิธีการหุงต้ม ได้แก่ หม้อหุงข้าวไฟฟ้า การนึ่ง และการหุงแบบเช็ดน้ำ ไม่มีผลความชอบโดยรวม จากการหาแผนภาพความชอบ พบว่าความชอบโดยรวมของผู้บริโภคต่อข้าวหุงสุก ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะทางเคมีและกายภาพ ได้แก่ การเกาะติดผิว (9,897 – 11,222 N.m) และค่าความเหนียว (13.98 – 17.46 N) ส่วนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส นั้นขึ้นอยู่กับคุณลักษณะทางด้านความสมบูรณ์ของเมล็ด (9.35 – 10.18) การเกาะติดกันระหว่างเมล็ด (9.61 – 9.81) ความเรียบของเมล็ด (8.83 – 9.83) กลิ่น/กลิ่นรสใบเตย (0.12 – 0.30) รสหวานและหวานตกค้าง (0.20 – 0.35) ความเหนียวในการดึงมือ (7.50 – 8.35) การเกาะรวมตัวกันในครั้งแรกของการทดสอบ (7.50- 9.38) การเกาะติดริมฝีปาก (8.81 – 9.26) ความลื่นเป็นมัน (8.14 – 8.78) การเกาะรวมตัวกันในระยะเคี้ยว (6.68 – 7.07) และอนุภาคตกค้าง (4.58 – 5.22)

5. การทำนายเนื้อสัมผัสทางประสาทสัมผัส จากการวัดด้วยเครื่องมือด้วยวิธีวิเคราะห์ค่าโครงคุณลักษณะเนื้อสัมผัส (TPA) และการทดสอบแบบกด พบว่าสามารถทำนายเนื้อสัมผัสทางประสาทสัมผัสได้ ($R>0.600$) จากการทดสอบทั้ง 2 วิธี ได้แก่ ความเหนียวในการดึงมือ (manual stickiness) การเกาะรวมตัวกันในระยะแรก และระยะเคี้ยว (cohesiveness) การเกาะติดริมฝีปาก (adhesiveness to lips) ความลื่นเป็นมัน (slickiness) ความแข็ง (hardness) และการเคี้ยว (chewiness) สำหรับความเป็นแป้งเคลือบปาก (starchy coating) สามารถทำนายได้จากการทดสอบแบบกดเท่านั้น

ข้อเสนอแนะ

1. จากการสำรวจผู้บริโภค พบว่าลักษณะทางประชากรศาสตร์ด้านเพศ อายุ และรายได้ ที่แตกต่างกันในแต่ละกลุ่ม จะมีความคิดเห็นในการเลือกซื้อ คุณลักษณะของข้าว และพฤติกรรมในการหุงข้าวที่ต่างกัน ดังนั้นจึงสามารถนำเอากลยุทธ์ทางการตลาดต่างๆมาใช้ เพื่อกระตุ้นให้เกิดการซื้อผลิตภัณฑ์ หรือการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีคุณลักษณะตรงตามความต้องการของผู้บริโภคในแต่ละกลุ่ม รวมทั้งสามารถใช้เป็นแนวความคิดในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ได้

2. จากการตรวจสอบคุณภาพทางเคมี กายภาพ และคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของข้าวหุงสุก และนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างความชอบจากการทดสอบผู้บริโภค ทำให้ทราบถึงประเภทของข้าว และวิธีการหุงต้ม ที่ส่งผลต่อคุณภาพของข้าวที่ผู้บริโภคต้องการ รวมทั้งสามารถ

หาคุณลักษณะที่ผู้บริโภคต้องการ และสามารถนำค่าคุณลักษณะเหล่านั้นมาใช้เป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ได้

3. จากการสร้างสมการทำนายเนื้อสัมผัส ทำให้สามารถนำข้อมูลจากการตรวจสอบเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องมือมาใช้ในการทำนายเนื้อสัมผัสทางประสาทสัมผัสได้ ซึ่งนับเป็นวิธีการหนึ่งในการตรวจสอบคุณภาพเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุกที่มีการเก็บข้อมูลที่สะดวก และประหยัดเวลามากกว่าการประเมินทางประสาทสัมผัสที่ต้องใช้เวลาในการฝึกฝนที่นาน แต่ทั้งนี้การประเมินทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาก็เป็นวิธีการหนึ่งที่มีความสำคัญ เนื่องจากเป็นวิธีการที่สามารถประเมินคุณลักษณะต่างๆ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ กลิ่น กลิ่นรส และเนื้อสัมผัส เป็นต้น ดังนั้นในการตรวจสอบคุณภาพของข้าวหุงสุก จึงควรมีการตรวจสอบคุณภาพทางเคมี คุณภาพทางกายภาพ และคุณภาพทางประสาทสัมผัสร่วมกัน

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2548. **ความสำคัญของข้าว**. กรมการข้าว. แหล่งที่มา:

<http://www.moac.go.th/builder/rice/index.php?page=419&clicksub=419>, 6 พฤศจิกายน 2549.

_____. ม.ป.ป.. **องค์ความรู้เรื่องข้าว**. กรมการข้าว. แหล่งที่มา:

http://www.ricethailand.go.th/rkb/data_002/rice_xx2-02_New_index.html, 10 พฤศจิกายน 2549.

กีรรัตน์ ปาณะดิษ. 2550. **ระบบย่อยอาหาร**. ชุดการเรียนรู้เรื่อง โครงสร้างการทำงานระบบย่อยอาหารในร่างกายมนุษย์. แหล่งที่มา: <http://203.146.37.34/e-learning/keerarat/index.html>, 3 เมษายน 2550.

กล้าณรงค์ ศรีรอด. 2542. **เทคโนโลยีของแป้ง**. ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____ และ เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. 2546. **เทคโนโลยีของแป้ง**. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____, ไชยรัตน์ เพ็ชรชลาณวัฒน์, วิจารณ์ วิชชุกิจ และเจริญศักดิ์ โรจนฤทธิ์พิเชษฐ์. 2539. ผลกระทบของพันธุ์ อายุการเก็บเกี่ยวและอัตราปุ๋ยที่มีต่อคุณภาพของแป้งมันสำปะหลัง. **การประชุมวิชาการครั้งที่ 34**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

กัลยา วานิชย์บัญชา. 2548. **การวิเคราะห์สถิติขั้นสูงด้วย SPSS for windowa**. ครั้งที่ 8. บริษัทธรรมสาร จำกัด, กรุงเทพฯ.

งามชื่น คงเสรี. 2536. คุณภาพเมล็ดทางเคมี, น. 54-70. ใน **เอกสารประกอบการบรรยายการฝึกอบรมหลักสูตรวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว ณ ศูนย์วิจัยข้าวพัทลุง**. ฝ่ายฝึกอบรมสถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

- งามชื่น คงเสรี. 2539. คุณภาพข้าวสุก, น. 156-160. ใน เอกสารวิชาการครบรอบ 80 ปี ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี 12-14 พฤศจิกายน 2539. สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, ปทุมธานี.
- _____. 2541. ข้าวที่เหมาะสมสำหรับการแปรรูปก๋วยเตี๋ยวและการตรวจสอบคุณภาพ, น. 1-20. ใน เอกสารการบรรยาย โครงการฝึกอบรม เรื่อง การพัฒนาและยกระดับอุตสาหกรรมก๋วยเตี๋ยวและขนมจีนโดยใช้เทคโนโลยีสะอาด ณ โรงแรมมารวยการ์เด็น 26-28 มีนาคม 2541. ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี, ปทุมธานี.
- _____. 2545. คุณภาพข้าวสวย, น. 11-31. ใน งามชื่น คงเสรี, บรรณาธิการ. คุณภาพข้าวและการตรวจสอบข้าวป่นในข้าวหอมมะลิไทย. กรมวิชาการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ.
- _____. 2546. ข้าวและผลิตภัณฑ์ข้าว. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ.
- _____, ไชยรัตน์ เพ็ชรชลาณรงค์, วิจารย์ วิชชกิจ และ เจริญศักดิ์ โรจนฤทธิ์พิเชษฐ์. 2539. ผลกระทบของพันธุ์ อายุการเก็บเกี่ยวและอัตราปุ๋ยที่มีต่อคุณภาพของแป้งมันสำปะหลัง. ใน รายงานการประชุมวิชาการครั้งที่ 34. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- _____, พูลศรี สว่างจิต, อัญชลี ครัวศรี, ประนอม มงคลบรรจง, จันทนา ศรีศิริ และ กัมปนาท มุขดี. 2531. ผลการใส่ปุ๋ยในโตรเจนต่อคุณสมบัติการหุงต้มและรับประทานของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105. ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี สถาบันวิจัยข้าว, กรุงเทพฯ.
- _____, สุนันทา วงศ์ปิยชน, พูลศรี สว่างจิต, ประนอม มงคลบรรจง, กัมปนาท มุขดี และ จันทนา ศรีศิริ. 2536. ปริมาณน้ำที่เหมาะสมในการหุงต้มข้าวสาร. ใน เอกสารการสัมมนาวิชาการ เรื่องการพัฒนางานวิจัยข้าวและข้าวพื้นเมืองหนาว ณ โรงแรมมารวยการ์เด็น. กรุงเทพฯ.
- จรรย์ ปานิชกุล. 2538. การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของข้าวสุก. วารสารจารย์พา 16 (1): 21-24.

- จำรัส โปร่งศิริวัฒนา. 2534. **ความรู้เรื่องข้าว**. สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- ตลาดสินค้าเกษตรล่วงหน้าแห่งประเทศไทย. 2549. **การผลิตข้าว**. ข้าวขาว 5% ข้อตกลงขนาดเล็ก (WR5-M) แนะนำ. แหล่งที่มา: <http://www.afet.or.th/thai/product/wr5-m/index.php?page=1>, 1 พฤษภาคม 2550.
- นิรนาม. 2544. ข้าว ผลิตผลจากคนไทย เลี้ยงคนไทยและผลโลก. **วารสารสถาบันอาหาร** 3 (107): 26-31.
- นฤกร วิมลเกษม. 2550. **ข้าวกับการวัดเนื้อสัมผัส**. Charpa E-Magazine. แหล่งที่มา: http://www.charpa.co.th/e_mag/ta_on_rice/ta_on_rice1.htm, 10 เมษายน 2550.
- บุญหงษ์ จงกิด. 2547. **ข้าวและเทคโนโลยีการผลิต**. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- มูลนิธิข้าวไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. ม.ป.ป.. **การบริโภคข้าว**. รู้เรื่องข้าว. แหล่งที่มา: http://www.thairice.org/html/aboutrice/about_rice7.htm, 1 พฤษภาคม 2551.
- เรืองชัย รักศรีอักษร และ ราพรรณ รักศรีอักษร. ม.ป.ป.. **ฟิสิกส์ในชีวิตประจำวัน**. หนังสืออิเล็กทรอนิกส์. แหล่งที่มา: <http://www.rmutphysics.com/charud/scibook/physcis-for-everyday/index/index1.htm>, 17 มีนาคม 2551.
- ละม้าย ยังสุข. 2530. **คุณภาพการหุงต้มและการรับประทาน**. กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.
- ละม้ายมาศ ยังสุข. 2541. คุณภาพการหุงต้มและรับประทาน, น. 171-176. ใน เอกสาร **ประกอบการบรรยายหลักสูตรเทคโนโลยีการผลิตข้าวหอมมะลิคุณภาพดี**. โครงการผลิตและจำหน่ายข้าวหอมมะลิของสหกรณ์ กรมวิชาการเกษตรและกรมส่งเสริมสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- วรัญญา ภัทรสุข. 2545. **ระเบียบวิธีวิจัยทางสังคมศาสตร์**. ตำราลำดับที่ 49 ของโครงการพัฒนาตำรา. ศูนย์บริการเอกสารวิชาการ คณะเศรษฐศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

วิไลศนา โพธิ์ศรี. 2546ก. การทดสอบผู้บริโภค (Consumer test) และการสร้างผังความชอบของผู้บริโภค (Preference Mapping) : การวัดทัศนคติของผู้บริโภคที่มีต่อลักษณะสำคัญของผลิตภัณฑ์อาหารในเชิงปริมาณ. วารสารอาหาร 33 (4): 248-255.

_____. 2546ข. เทคนิคการกำหนด สร้าง คัดเลือกแนวความคิด และการออกแบบแนวความคิดผลิตภัณฑ์ใหม่เพื่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์. ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

วิมลรัตน์ ศุกกิกกาญจนา. 2550. **RVA กับพันธุ์ และอายุการเก็บของข้าวไทย**. Chapa E-Magazine April 2007. แหล่งที่มา: http://www.charpa.co.th/e_mag/rva_with_thai_rice_aging.htm, 6 มิถุนายน 2550.

สงกรานต์ จิตรากร. 2544. **วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีกับข้าวไทย**. ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ, กรุงเทพฯ.

สุรพล อุปติสสกุล. 2537. **สถิติการวางแผนการตลาด**. เค.ยู.บุ๊กเซ็นเตอร์, กรุงเทพฯ.

สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ. 2550. **สารสุขภาพ**. สารประโยชน์จากข้าวหอมมะลิ. แหล่งที่มา: <http://www.thaihealth.or.th/cms/detail.php?id=1334>, 26 กุมภาพันธ์ 2551.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2550. **ปริมาณและมูลค่าการส่งออกสินค้าเกษตร**. สถิตินำเข้าและส่งออก. แหล่งที่มา: http://www.oae.go.th/oae_website/oae_imex.php, 30 มกราคม 2550.

ศิริชัย พงษ์วิชัย. 2543. **การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยคอมพิวเตอร์**. ครั้งที่ 10. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

ศิริวรรณ สุทธิจิตต์. 2545. แหล่งอาหารและยาจากข้าว, น. 59-61. **40 ปี ศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก**. พิษณุโลก.

เหมือนหมาย อภินันทนาพงศ์. 2547. ข้าวและกลิ่นหอมในข้าว. วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัย
หอการค้า 24 (2): 36-50.

อัจฉรา พลายเวช. ม.ป.ป.. โมดูลที่1.1 หม้อหุงข้าว (Electric Rice Cooker). เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้
ความร้อน. แหล่งที่มา: <http://edu.e-tech.ac.th/mdec/learning/hot/mod01.htm>, 27 มีนาคม
2551.

อนุวัตร แจ่มชัด. 2549. สถิติสำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์และการประยุกต์. ภาควิชาพัฒนา
ผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อรอนงค์ นัยวิกุล. 2547. ข้าว : วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. สำนักพิมพ์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

A.A.C.C. 2000. **Approved methods of the A.A.C.C.**. The Association: St. Paul, Minnesota,
U.S.A.

A.O.A.C. 2000. **Official method of analysis**. 15th ed., The Association of Official Analytical
Chemistry, Washington DC, U.S.A.

ASTM. 1981. **Guidelines for the Selection and Training of Sensory Panel Members**.
American Society for Testing and Material, Philadelphia. Pa.

Brennan, J.G. 1980. Food texture measurement, pp. 1-79. In R.D. King, ed. **Developments in
Food Analysis Techniques**. Applied science pub, London.

Buttery, R.G., L.C. Ling, B.O. Juliano and J.G. Turnbaugh. 1983. Riced aroma and 2-acetyl-1-
pyrroline. **J. Agric. Food Chem.** 31 (24): 823-826.

- Champagne, E.T., B.G. Lyon, B.K. Min, B.T. Vinyard, K.L. Bett, F.E. Barton II, B. D. Webb, A. M. McClung, K. A. Moldenhauer, S. Linscombe, K. S. McKenzie and D. E. Kohlwey. 1998. Effects of postharvest processing on texture profile analysis of cooked rice. **Cereal Chem.** 75 (2): 181-186.
- _____, K.L. Bett, B.T. Vinyard, A.M. McClung, F.E. Barton, K. Moldenhauer, S. Linscombe and K. McKenzie. 1999. Correlation Between Cooked Rice Texture and Rapid Visco Analyser Measurements. **Cereal Chem.** 76 (5): 764-771.
- _____, _____, C.C. Grimm, A.M. McClung, K.A. Moldenhauer, S. Linscombe, K.S. McKenzie and F.E. Barton. 2001. Near-infrared reflectance analysis for prediction of cooked rice texture. **Cereal Chem.** 78 (3): 358-362.
- Chikuba, S. 1970. Stale flavor of stored rice. **Japan Agr.Research Quart.** 5: 63-68.
- Daniel, G.C. and G.C. Philip. 2001. Effect of cooking method and variety on the sensory quality of rice. **Food Service Tech.** 1: 133-140.
- Freach, A.D. 1979. Allowed and preferred shapes of amylose. **Baker's Dig.** 53(1) : 30.
- Hamaker, B.R. and V.K. Griffin. 1996. Effect of disulfide bond containing protein on rice starch gelatinization and pasting. **Cereal Chem.** 70 (4): 377-380.
- Hegenbart, S. 1995. **Truth of grain (December) In Food Product Design.** Weeks Publishing, Northbrook.
- Heinemann, R.J. B., J.H. Behrens and U.M. Lanfer-Marquez. 2006. A study on the acceptability and consumer attitude towards parboiled rice. **Int. J. Food Sci. and Tech.** 41: 627-634.
- ISO. 1994. **Sensory analysis – Methodology – Texture profile. 11036.** International Organization for Standardization, Geneva.

Jane, J.L. and J.F. Royby. 1984. Structure studies of amylose-V complexes and retrograded amylose by action of alpha amylose, and a new method for preparing amyloextrins. **Carbohydrate Research**. 132: 105-118.

Jaeger, S.R., I.N. Wakeling and H.J. H. MacFie. 2000. Behavioural extensions to reference ,aping : the role of synthesis. **Food Quality and Preference**. 11: 349-359.

Juliano, B.O. 1971. A simplified assay for milled-rice amylose. **Cereal Sci. Today**. 16 (10): 334-340.

_____. 1972. **Rice Chemistry and Technology**. The American Association of Cereal Chemists, St. Paul.

_____. 1985a. Criteria and tested for rice grain qualities, pp. 443-524. In B.O. Juliano, ed. **Rice : Chemistry and Technology**. The American Association of Cereal Chemists, St. Paul.

_____. 1985b. Production and utilization of rice, pp. 1-16. In B.O. Juliano, ed. **Rice : Chemistry and Technology**. The American Association of Cereal Chemists, St. Paul.

_____. 1993. **Rice in Human Nutrition**. FAO Food and Nutrition series. No. 26.

_____. 1998. Varietal impact on rice quality. **Cereal Foods World**. 43 (4): 207-222. Cited Julilano, B.O. and C.M. Perez. 1983. Major factors affecting cooked milled rice hardness and cooking time. **J. Texture Stud**. 14 : 235.

_____ and C.M. Perez. 1984. Results of a collaborative test on the measurement of grain elongation of milled rice during cooking. **J. Cereal Sci**. 2: 281-292.

_____ and J. Sakurai. 1985. Miscellaneous rice products, pp. 569-618. In B.O. Juliano, ed. **Rice : Chemistry and Technology**. The American Association of Cereal Chemists, St. Paul.

Kainuma, Y. and S. Ema. 1987. Effect of ratio of water of rice on cooking. **J. Home Econ.** 38: 567-575.

Kawamura, S., M. Natsuga, K. Takekura, K. Itoh. 2003. Development of an automatic rice-quality inspection system. **Computers and Electronics in Agr.** 40 (1-3): 115-126.

Knox, J. 2003. **The Physics of Pressure Cooker Physics 100**.

<http://www.physics.isu.edu/~knox/papers/cooker.PDF>. Available Source: The Physics Department at Idaho State University, June 1, 2007.

Lakshmi, S., A. Chakkaravarthi, R. Subramanian and V. Singh. 2007. Energy consumption in microwave cooking of rice and its comparison with other domestic appliances. **J. Food Engineering.** 78: 715-722.

Lyon, B.G., E.T. Champagne, B.T. Vinyard and W.R. Windham. 2000. Sensory and instrumental relationships of texture of cooked rice from selected cultivars and postharvest handling practices. **Cereal Chem.** 77 (1): 64-69.

McEwan, J.A., P.J. Earchy and C. Ducher. 1998. **Preference Mapping - A Review No. 6**. Campden & Chorleywood Food Research Association, Gloucestershire, UK. Cited J.D. Carroll. 1972. **Individual differences and multidimensional scaling : theory and application in the behavioral sciences**. Seminar Press, New York.

Meilgaard, M., C.V. Civille and B.T. Carr. 1999. **Sensory evaluation techniques**. 3rd ed. CRC Press, Florida.

- Meullenet, J.F., A. Mauromoustakos, T.B. Horner and B.P. Marks. 2002. Prediction of texture of cooked white rice by near-infrared reflectance analysis of whole-grain milled samples. **Cereal Chem.** 79(1): 52-57.
- _____, B.P. Marks, K. Griffin and M.J. Daniels. 1999. Effects of rough rice drying and storage conditions on sensory profiles of cooked rice. **Cereal Chem.** 76 (4): 483-486.
- _____, E.T. Champagne, K.L. Bett, A.M. McClung and D. Kauffmann. 2000. Instrument assessment of cooked rice texture characteristics: a method for breeders. **Cereal Chem.** 77 (3): 512-517.
- _____, J. Gross, B.P. Marks and M. Daniels. 1998. Sensory descriptive texture analyses of cooked rice and its correlation to instrument parameters using an extrusion cell. **Cereal Chem.** 75 (5): 714-720.
- _____, V.K. Griffin, K. Carson, G. Davis, S. Davis, J. Gross, J.A. Hankins, E. Sailer, C. Sitikarin, S. Suwansri and A.L. Vasquez Caicedo. 2001. Rice external preference mapping for Asia consumers living in the united states. **J. Sensory Stud.** 16: 73-94.
- Moskowitz, H.R. and B. Drake. 1972. Psychophysical measures of texture. **J. Texture Stud.** 3: 135-145.
- Mossman, A.P., D.A. Fellers and H. Suzuki. 1983. Rice Stickiness. I. Determination of Rice Stickiness with an Instron Tester. **Cereal Chem.** 60 (4): 286-292.
- Newport Scientific. 1995. **Operation Manual for the series 4 Rapid Visco Analysis.** Newport Scientific Pty Ltd., Australia.
- _____. 1998. **Application Manual for the Rapid Visco Analyser.** Newport Scientific Pty.Ltd., Australia.

- Okabe, M. 1979. Texture measurement of cooked rice and its relationship to the eating quality. **J. Texture Stud.** 10: 131-152.
- Park, J.K., S.S. Kim and K.O. Kim. 2001. Effect of milling ratio on sensory properties of cooked rice and on physicochemical properties of milled and cooked rice. **Cereal Chem.** 78 (2): 151-156.
- Paule, C.M. and J.J. Powers. 1989. Sensory and chemical examination of aromatic and nonaromatics rices. **J. Food Sci.** 54 (2): 343-346.
- Sesmat, A. and J.F. Meullenet. 2001. Predict of rice sensory texture attributes from a single compression test, multivariate regression, and a stepwise model optimization method. **J. Food Sci.** 66 (1): 124-131.
- Stone, H. and J.L. Sidel. 1993. **Sensory Evaluation Practices.** 2nd ed. Academic press. Inc., Sandiego.
- Sitakalin, C. and J.F. Meullenet. 2000. Prediction of cooked rice using extrusion and compression tests in conjunction with spectral stress strain analysis. **Cereal Chem.** 77 (4): 501-506.
- Srisawas, W. and V. K. Jindal. 2007. Sensory evaluation of cooked rice in relation to water-to-rice and physicochemical properties. **J. Texture Stud.** 38: 21-41.
- Suwansri, S and J.F. Meullenet. 2004. Physical characterization and consumer acceptance by Asia consumers of aromatic Jasmine rice. **J. Food Sci.** 69 (1): 30-37.
- _____, J.F. Meullenet, J.A. Hankins and K. Griffin. 2002. Preference mapping of domestic / imported Jasmine rice for U.S.-Asia Consumers. **J. Food Sci.** 67 (5): 2420-2431.

- Tomlins, K.I., J.T. Manful, P. Larwer and L. Hammond. 2005. Urban consumer preferences and sensory evaluation of locally produced and imported rice in West Africa. **Food Quality and Preference** 16: 79-89.
- Tran, T.U., K. Suzuki, H. Okadome, S. Homma and K. Ohtsubo. 2004. Analysis of the tastes of brown rice and milled rice with different milling yields using a taste sensing system. **Food Chem.** 88: 557–566..
- Welsh, L.A., A.B. Blakeney and D.R. Bannon. 1990. Modified R.V.A. for rice flour viscometry, pp. 241-243. *In* T. Wescott and Y. Williams, eds. **Proceeding of 40th RACI Cereal Chemistry Conference** . Royal Australian Chemical Institute, Parkville, Vic. Aust.
- Windham., W.R., B.G. Lyon, E.T. Champagne, F.E. Barton, B.D. Webb, A.M. McCiung, K.A. Moldenhauer, S. Linscombe and K.S. Mckenzie. 1997. Prediction of cooked rice texture quality using near-infrared reflectance analysis of whole-grain milled samples. **Cereal Chem.** 75 (4): 626-632.
- Yajima, I., T. Yanai, M. Nakamura, H. Sakakibara and K. Hayashi. 1979. Volatile flavor compounds of cooked Kaorimaki. **Agric. Biol. Chem.** 43: 2424-2429.
- Yau, N.J.N. and J.J. Huang. 1996. Sensory analysis of cooked rice. **Food Quality and Preference.** 7 (3-4): 263-270.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การสำรวจพฤติกรรมทัศนคติ ในการบริโภค และการหุงต้มข้าว

แบบสอบถามพฤติกรรม ทศนคติ ในการบริโภคข้าวเจ้าหุงสุก และการหุงต้มข้าว

เรียน ท่านผู้ตอบแบบสอบถาม

เรื่อง การสำรวจพฤติกรรม ทศนคติ และความต้องการของผู้บริโภคต่อข้าวหุงสุก (ข้าวสวย)

คำชี้แจง

แบบสอบถามชุดนี้เป็นการสำรวจพฤติกรรม และความต้องการของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ข้าวหุงสุก (ข้าวสวย) เพื่อประกอบวิทยานิพนธ์ ของ น.ส.สิริกาญจน์ เกียรติธนะไพบูลย์ นิติปรัชญาโท สาขาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ดังนั้นจึงขอความอนุเคราะห์จากท่านช่วยกรุณาตอบแบบสอบถามตามความเป็นจริง เพื่อนำข้อมูลจากท่านไปใช้ประโยชน์ในงานวิจัย

แบบสอบถามแบ่งออกเป็น 2 ส่วน

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

ส่วนที่ 2 ข้อมูลพฤติกรรมในการบริโภคข้าวหุงสุก และการหุงต้มข้าว

ส่วนที่ 3 ปัจจัยที่มีผลต่อระดับความคิดเห็นพฤติกรรมในการเลือกซื้อ คุณลักษณะของข้าวหุงสุก และพฤติกรรมในการหุงข้าว

กรุณาตอบแบบสอบถามทั้ง 2 ส่วน โดยข้อมูลที่ได้ทั้งหมดนี้จะเป็นความลับ และไม่มีผลกระทบใดๆต่อท่านทั้งสิ้น ขอขอบพระคุณท่านผู้ตอบแบบสอบถาม และสละเวลาอันมีค่าเพื่อให้ข้อมูลอันเป็นประโยชน์แก่การวิจัยไว้ ณ ที่นี้ด้วย

คำอธิบาย

ข้าว เป็นธัญพืชหลักที่มีการบริโภคกันทั่วไป มีคุณค่าทางโภชนาการ คือ มีคาร์โบไฮเดรตที่สูง มีไขมันต่ำ มีโปรตีน และกรดอะมิโนในสัดส่วนที่เหมาะสม มีปริมาณโซเดียมต่ำ และไม่มีกลูเตนที่ก่อให้เกิดอาการแพ้ ข้าวส่วนใหญ่จะบริโภคในรูปของข้าวหุงสุกจากข้าวขาวหรือข้าวสาร โดยลักษณะของข้าวหุงสุกที่นิยมบริโภคก็จะแตกต่างกันไปในแต่ละประเทศ แม้แต่ในประเทศเดียวกัน แต่ต่างภูมิภาคความชอบของผู้บริโภคก็แตกต่างกันไป

ขอแสดงความนับถือ

ผู้วิจัย

คำแนะนำ : กรุณาใส่เครื่องหมายถูก ✓ ลงในช่อง ☐ หน้าคำตอบที่ท่านเห็นว่าเหมาะสมและตรงกับความคิดเห็นของท่านมากที่สุด

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

เฉพาะเจ้าหน้าที่

1. เพศ

☐

1) ชาย

☐

2) หญิง

1. ☐

2. อายุ

☐

1) น้อยกว่า 21 ปี

☐

2) 21 - 30 ปี

2. ☐

☐

3) 31 - 40 ปี

☐

4) ตั้งแต่ 41 ปีขึ้นไป

3. ภูมิลำเนาของท่าน

☐

1) ภาคกลาง

☐

2) ภาคเหนือ

3. ☐

☐

3) ภาคตะวันตก

☐

4) ภาคตะวันออก

☐

5) ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (อีสาน)

☐

6) ภาคใต้

4. ระดับการศึกษาสูงสุดที่ได้รับหรือกำลังศึกษาอยู่

☐

1) ต่ำกว่ามัธยมศึกษาตอนปลาย

☐

2) มัธยมศึกษาตอนปลาย

4. ☐

☐

3) ปริญญาตรี

☐

4) สูงกว่าปริญญาตรี

5. อาชีพ

☐

1) นักเรียน / นิสิต / นักศึกษา

☐

2) ข้าราชการ / รัฐวิสาหกิจ

5. ☐

☐

3) พนักงานบริษัทเอกชน

☐

4) ธุรกิจส่วนตัว / ค้าขาย

☐

5) แม่บ้าน / พ่อบ้าน

☐

6) รับจ้าง (ไปรตระบุ).....

☐

7) เกษียณอายุ / ว่างาน

☐

8) อื่นๆ (ไปรตระบุ)

6. รายได้ต่อเดือน

☐

1) น้อยกว่าหรือเท่ากับ 5,000 บาท

☐

2) 5,001 – 10,000 บาท

6. ☐

☐

3) 10,001 - 15,000 บาท

☐

4) 15,001 - 20,000 บาท

☐

5) 20,001 - 25,000 บาท

☐

6) มากกว่า 25,000 บาท

เฉพาะเจ้าหน้าที่

7. จำนวนสมาชิกภายในครอบครัว

☐

1) 1 คน (อยู่คนเดียว)

☐

2) 2-3 คน

☐

3) 4-5 คน

☐

4) มากกว่า 5 คน

7. ☐**ส่วนที่ 2** ข้อมูลพฤติกรรมในการบริโภคข้าวเจ้าหุงสุก และการหุงต้มข้าว

8. ใครเป็นผู้เลือกซื้อข้าวสาร (เลือกตอบเพียงข้อเดียว)

☐

1) ตนเอง (ผู้ตอบแบบสอบถาม)

☐

2) บุคคลในครอบครัว (โปรดระบุ).....

☐

3) อื่นๆ (โปรดระบุ).....

8. ☐

9. ท่านมักจะซื้อข้าวสารจากที่ไหนมากที่สุด (เลือกตอบเพียงข้อเดียว)

☐

1) ร้านขายข้าวสารทั่วไป

☐

2) ร้านขายของชำ, ตลาดสด

☐

3) ร้านสะดวกซื้อ เช่น 7-eleven, Am-Pm, Family Mart

☐

4) ซูเปอร์มาร์เก็ต เช่น ท็อปส์, โตคิว

☐

5) ไฮเปอร์มาร์เก็ต เช่น บิ๊กซี, เทสโก้ โลตัส, คาร์ฟูร์

☐

6) อื่นๆ (โปรดระบุ).....

9. ☐

10. โปรดระบุความถี่ในการเลือกซื้อข้าวสาร (เลือกตอบเพียงข้อเดียว)

☐

1) น้อยกว่าสัปดาห์ละครั้ง

☐

2) สัปดาห์ละครั้ง

☐

3) 2 - 3 สัปดาห์ครั้ง

☐

4) เดือนละครั้ง

☐

5) นานกว่า เดือนละครั้ง

10. ☐

11. ขนาดบรรจุของข้าวสารที่ท่านเลือกซื้อ (เลือกตอบเพียงข้อเดียว)

☐

1) น้อยกว่า 2 กิโลกรัม

☐

2) 2 กิโลกรัม

☐

3) 5 กิโลกรัม

☐

4) มากกว่า 5 กิโลกรัม

11. ☐

เฉพาะเจ้าหน้าที่

12. ปัจจัยที่มีผลในการเลือกซื้อข้าวสาร (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)

- | | |
|---|--|
| ☐ 1) ชนิด / ประเภทของข้าว | ☐ 2) ลักษณะของเมล็ดข้าว |
| ☐ 3) ครายี่ห้อ | ☐ 4) ราคาที่เหมาะสม |
| ☐ 5) ลักษณะของบรรจุภัณฑ์ | ☐ 6) ขนาดของบรรจุภัณฑ์ |
| ☐ 7) มีเครื่องหมายรับรองคุณภาพ | |
| ☐ 8) ไม่มีสิ่งแปลกปลอม เช่น แมลง, เศษหิน | |
| ☐ 9) อื่นๆ (โปรดระบุ)..... | |

12.1-12.9

13. ชนิดของข้าวสาร (ข้าวขัดขาว) ที่ท่านเลือกซื้อบ่อยที่สุด (เลือกตอบเพียงข้อเดียว)

- | |
|--|
| ☐ 1) ข้าวสุกเหนียวนุ่ม และ/หรือ มีกลิ่นหอม เช่น ข้าวหอมมะลิ 100% |
| ☐ 2) ข้าวสุกเหนียวนุ่ม และ/หรือ มีกลิ่นหอม เช่น ข้าวหอมมะลิ 10%, 5% |
| ☐ 3) ข้าวสุกเป็นข้าวร่วน และแข็ง เช่น ข้าวเสาไห้ |
| ☐ 4) ข้าวผสม ชื่อข้าวหลายประเภทมา แล้วหุ้รวมกัน |
| ☐ 5) อื่นๆ (โปรดระบุ)..... |

13. ☐

14. ท่านนิยมหุงข้าวสวยด้วยวิธีการใด (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)

- | | |
|---|--|
| ☐ 1) หม้อหุงข้าวไฟฟ้า | ☐ 2) หุงด้วยเครื่องไมโครเวฟ |
| ☐ 3) การนึ่ง | ☐ 4) การหุงแบบเช็ดน้ำ |
| ☐ 5) อื่นๆ (โปรดระบุ)..... | |

14.

15. สาเหตุที่ท่านเลือกใช้วิธีการหุงข้าวดังกล่าว (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)

- | | |
|--|---|
| ☐ 1) สะดวก รวดเร็ว | ☐ 2) มีอุปกรณ์ในการหุงอยู่แล้ว |
| ☐ 3) ความเคยชิน | ☐ 4) ประหยัดพลังงานในการหุง |
| ☐ 5) สามารถอุ่นได้อัตโนมัติ | ☐ 6) ให้กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัสดี |
| ☐ 7) อื่นๆ (โปรดระบุ)..... | |

15.1-15.7

16. ปริมาณที่ท่านใช้ในการหุงข้าวแต่ละครั้ง (120 กรัม/ถ้วย) ปริมาณ.....ถ้วย.

16. ☐

17. พฤติกรรมที่ท่านใช้ในการหุงข้าว (เลือกตอบเพียงข้อเดียว)

- | |
|---|
| ☐ 1) หุงข้าวเมื่อต้องการรับประทานในแต่ละมื้อ |
| ☐ 2) หุงข้าวครั้งเดียว รับประทานทั้งวัน |

17. ☐

ส่วนที่ 3 ปัจจัยที่มีผลต่อระดับความคิดเห็นพฤติกรรมในการเลือกซื้อ คุณลักษณะของข้าวหุงสุก
และพฤติกรรมในการหุงข้าว

ลักษณะ	ไม่เห็นด้วย อย่างยิ่ง (1)	ไม่เห็น ด้วย (2)	ไม่ แน่ใจ (3)	เห็น ด้วย (4)	เห็นด้วย อย่างยิ่ง (5)	เฉพาะ เจ้าหน้าที่
พฤติกรรมในการเลือกซื้อข้าวสาร						
ประเภทหรือชนิดของข้าว (ข้าวหอมมะลิ, ข้าว เสาไห้) ช่วยในการตัดสินใจเลือกซื้อข้าวสาร						F1 ☐
สีของข้าวสารไม่มีส่วนช่วยในการตัดสินใจ เลือกซื้อข้าวสาร						F2 ☐
ท่านเลือกซื้อข้าวสารที่มีลักษณะของเมล็ดที่ เต็มเมล็ดมากกว่าการเลือกซื้อข้าวที่มีเมล็ดหัก						F3 ☐
ราคาไม่มีส่วนช่วยในการตัดสินใจเลือกซื้อ ข้าวสาร						F4 ☐
การจัดโปรโมชั่น เช่น แจกของสมนาคุณ ไม่มี ส่วนช่วยในการตัดสินใจเลือกซื้อข้าวสาร						F5 ☐
ขนาดของบรรจุภัณฑ์ (ปริมาณข้าวต่อหนึ่ง หน่วยบรรจุ) ช่วยในการตัดสินใจเลือกซื้อ ข้าวสาร						F6 ☐
ท่านเลือกซื้อข้าวสารที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่ สะอาด						F7 ☐
คุณลักษณะของข้าวหุงสุก (ข้าวสวย)						
สีของข้าวหุงสุกไม่ได้บ่งบอกถึงคุณภาพของ ข้าว						F8 ☐
ข้าวหุงสุกที่ดีไม่ควรมีการแตกหักของเมล็ด						F9 ☐
ท่านชอบข้าวสวยที่มีลักษณะเต็มเมล็ด						F10 ☐
ข้าวหุงสุกที่ดีควรมีความร่วน						F11 ☐
ข้าวหุงสุกที่ดีควรมีกลิ่นหอม						F12 ☐
ท่านยอมรับข้าวที่มีกลิ่นแปลกปลอม เช่น กลิ่นไม้ หรือกระสอบ						F13 ☐

ลักษณะ	ไม่เห็นด้วย อย่างยิ่ง (1)	ไม่เห็น ด้วย (2)	ไม่ แน่ใจ (3)	เห็น ด้วย (4)	เห็นด้วย อย่างยิ่ง (5)	เฉพาะ เจ้าหน้าที่
ข้าวหุงสุกที่ดีเมื่อหุงแล้วจะต้องเหนียวติดกัน						F14 ☐
ท่านชอบข้าวหุงสุกที่มีรสหวานเมื่อเคี้ยว						F15 ☐
ท่านชอบรับประทานข้าวหุงสุกที่เหนียว						F16 ☐
ท่านชอบรับประทานข้าวหุงสุกที่แข็ง						F17 ☐
<u>พฤติกรรมในการหุงข้าว</u>						
ท่านคิดว่าวิธีในการหุงข้าว เช่น การหุงด้วย หม้อหุงข้าวไฟฟ้า, การหุงด้วยไมโครเวฟ เป็นต้น ไม่ส่งผลต่อเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุก						F18 ☐
การหุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้าสามารถอุ่นได้ หากรับประทานไม่หมด และต้องการ รับประทานในมื้อต่อไป						F19 ☐
หากท่านต้องการความรวดเร็วในการหุงข้าว ท่านจะหุงด้วยไมโครเวฟ						F20 ☐
การหุงข้าวแบบแช่น้ำเป็นวิธีการที่ง่ายและ สะดวก						F21 ☐
การหุงข้าวด้วยวิธีการนึ่งเป็นวิธีการที่สะดวก						F22 ☐

ภาคผนวก ข
การตรวจสอบคุณภาพทางเคมี

การตรวจสอบคุณภาพทางเคมี

1. การวิเคราะห์ความชื้นโดยวิธีอบแห้ง (A.O.A.C., 2000)

1.1 นำถ้วยอะลูมิเนียมพร้อมฝาปิดไปอบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง ทำให้เย็นในเคซิเคเตอร์ จากนั้นนำถ้วยอะลูมิเนียมพร้อมฝาปิดไปชั่งน้ำหนักจนมีน้ำหนักที่แน่นอน

1.2 ชั่งตัวอย่างข้าวที่บดละเอียดให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน ประมาณ 3 กรัม ใส่ในถ้วยอะลูมิเนียมที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส นานประมาณ 1 ชั่วโมง โดยเปิดฝาอะลูมิเนียมไว้เล็กน้อย เมื่อครบเวลาที่กำหนด ทำการปิดฝา แล้วนำมาทิ้งให้เย็นในเคซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักที่แน่นอน และนำมาคำนวณปริมาณความชื้นดังสมการ

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

2. การวิเคราะห์ปริมาณแอมิโลส (Juliano, 1971)

2.1 สารเคมี

2.1.1 เอทิลแอลกอฮอล์ เข้มข้นร้อยละ 95

2.1.2 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 1 นอร์แมล

2.1.3 กรดแอซิดิกเข้มข้น 1 นอร์แมล

2.1.4 สารละลายไอโอดีน (ไอโอดีน 0.2 กรัม และโพแทสเซียมไอโอไดค์ 2.0 กรัม ละลายในน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 100 มิลลิลิตร)

2.1.5 แอมิโลสบริสุทธิ์จากมันฝรั่ง

2.2 วิธีการวิเคราะห์ตัวอย่าง

2.2.1 เตรียมสารละลายโดยใช้ตัวอย่างแป้ง 0.1000 กรัม ใส่ขวดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปิดเตอทิลแอลกอฮอล์ ร้อยละ 95 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าเบาๆ เพื่อเกลี่ยแป้งให้กระจาย

ออก ระวังอย่าให้แข็งขึ้นมากะตามผนังขวด ปิเปตสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 9 มิลลิลิตร พร้อมทั้งล้างเบ็งที่เกาะอยู่ตามผนังขวด ต้มในน้ำเดือด นาน 10 นาที เพื่อให้เกิดเจลาทิโนส เดิมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เขย่าให้สารละลายเข้ากันดี ตั้งทิ้งไว้ค้างคืน

2.2.2 ปิเปตแบ่งสารละลายตัวอย่าง (สารละลายเบ็ง) ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ลงในขวด ปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นประมาณ 70 มิลลิลิตร ปิเปตกรดแอสซิดิกเข้มข้น 1 นอร์แมล ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และสารละลายไอโอดีน 2 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เขย่าให้สารละลายเข้ากันและตั้งทิ้งไว้นาน 20 นาที

2.2.3 ทำเช่นเดียวกับข้อ 2.2.2 แต่ไม่ใส่สารตัวอย่างเพื่อใช้เป็นแบลนด์ (Blank)

2.2.4 วัดความเข้มสีของสารละลายโดยใช้สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 620 นาโนเมตร โดยปรับค่าของสารละลายแบลนด์เท่ากับศูนย์

2.2.5 เขียนกราฟมาตรฐาน (standard curve)

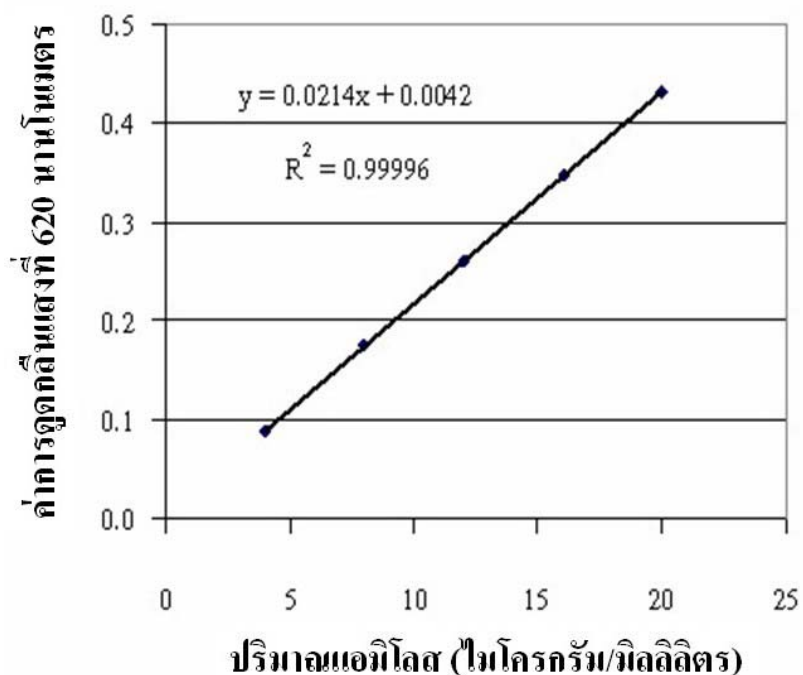
2.2.5.1 ชั่งแอมิโลสบริสุทธิ์ 0.040 กรัม ใส่ขวดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร และทำเช่นเดียวกับข้อ 2.2.1 เป็นสารละลายมาตรฐาน

2.2.5.2 ปิเปตแบ่งสารละลายมาตรฐานแอมิโลสที่เตรียมไว้ปริมาตร 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นประมาณ 70 มิลลิลิตร ปิเปตกรดแอสซิดิกเข้มข้น 1 นอร์แมล ปริมาตร 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 มิลลิลิตร ตามลำดับ ปิเปตสารละลายไอโอดีน 2 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นให้ครบปริมาตร 100 มิลลิลิตร เขย่าให้สารละลายเข้ากันและตั้งทิ้งไว้ 20 นาที

2.2.5.3 วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 620 นาโนเมตร

2.2.5.4 เขียนกราฟมาตรฐานระหว่างปริมาณแอมิโลส กับค่าการดูดกลืนแสง และหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแอมิโลสกับค่าการดูดกลืนแสง ดังภาพผนวกที่ 1

2.2.6 การเปลี่ยนค่าการดูดกลืนแสงเป็นปริมาณแอมิโลส โดยนำค่าการดูดกลืนแสงที่ปริมาณตัวอย่าง 0.1000 กรัมของแต่ละตัวอย่าง เทียบกับกราฟมาตรฐาน แล้วอ่านค่าเป็นร้อยละของแอมิโลสต่อแป้งข้าว 100 กรัม



ภาพผนวกที่ ข1 กราฟมาตรฐานระหว่างปริมาณแอมิไลส กับค่าการดูดกลืนแสง

3. การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (A.A.C.C, 2000)

3.1 สารเคมี

3.1.1 ค่ะตะลิสต์ผสมระหว่างคอปเปอร์ซัลเฟต (CuSO_4) และโพแทสเซียมไดซัลเฟต (K_2SO_4) อัตราส่วน 0.5:10

3.1.2 กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) เข้มข้น 20 มิลลิลิตร

3.1.3 กรดบอริก (H_3BO_3) 4%

3.1.4 อินดิเคเตอร์ผสม ระหว่าง 0.1 กรัม เมทิลเรด (Methyl red) ในเอทานอล (Ethanol) 100 มิลลิลิตร และโบรโมครีซอลกรีน (Bromocresol Green) 0.1 กรัม ในเอทานอล (Ethanol) 100 มิลลิลิตร

3.1.5 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 40%

3.1.6 สารละลายกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) 0.1 นอร์มอล

3.2 วิธีการวิเคราะห์ตัวอย่าง

3.2.1 ชั่งตัวอย่างประมาณ 1.0 กรัม บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน ใส่ลงในหลอดย่อย ระวังไม่ให้เปื้อนข้างหลอด

3.2.2 เติมกะตะลิสต์ 10 กรัม ที่ผสมระหว่างคอปเปอร์ซัลเฟต (CuSO_4) และ โพแทสเซียมไดซัลเฟต (K_2SO_4) ในอัตราส่วน 0.5:10 เติมกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) เข้มข้น 20 มิลลิลิตร

3.2.3 นำไปย่อยด้วยเครื่องย่อยโปรตีน (digestor) ที่อุณหภูมิ 420 องศาเซลเซียส นานประมาณ 2 ชั่วโมง จนได้สารละลายสี ทึบไว้นั้น จากนั้นเติมน้ำกลั่น 75 มิลลิลิตร

3.2.4 ทำการกลั่นตัวอย่างที่ได้จากการย่อยด้วยน้ำกลั่นจำนวน 50 มิลลิลิตร โดยนำขวดรูปชมพู่ที่บรรจุสารละลายกรดบอริก (H_3BO_3) 4% จำนวน 25 มิลลิลิตร ซึ่งหยดอินดิเคเตอร์ผสม (0.1 กรัม เมทิลเรด (methyl red) ในเอทานอล (ethanol) 100 มิลลิลิตร และโบรโมครีซอลกรีน (bromocresol Green) 0.1 กรัม ในเอทานอล (ethanol) 100 มิลลิลิตร จนสารละลายมีสีชมพูม่วง และ 40% โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) จำนวน 50 มิลลิลิตร

3.2.5 สารละลายที่ได้จากการกลั่น นำไปไทเทรตกับสารละลายกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) มาตรฐาน 0.1 นอร์มอล จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีเทา บันทึกปริมาตรกรดที่ใช้ในการไทเทรต นำไปคำนวณดังสมการ

$$\%N_2 = \frac{14 \times (V_1 - V_2) \times N \times 100}{E \text{ (mg)}}$$

$$\% \text{ โปรตีน} = \%N_2 \times 5.95$$

$$= \text{แฟกเตอร์การคูณเป็นร้อยละของโปรตีนข้าว}$$

โดย V_1 คือ ปริมาตรกรดที่ใช้ในการไทเทรต (มิลลิลิตร)

V_2 คือ ปริมาตรกรดที่ใช้ในการไทเทรต blank (มิลลิลิตร)

N คือ ความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริก (นอร์มอล)

E คือ น้ำหนักตัวอย่าง (มิลลิกรัม)

ภาคผนวก ค

การตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพ

การตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพ

1. การยัดตัวของเมล็ด (งามชื่น, 2536)

การยัดตัวของเมล็ด ทำโดยลุ่มเมล็ดข้าวสารเต็มเมล็ด 20 เมล็ด วัดความยาว 10 เมล็ด คำนวณเป็นค่าเฉลี่ยต่อเมล็ด นำข้าว 20 เมล็ด ใส่ตะแกรงแช่น้ำเย็น 30 นาที นำข้าวในตะแกรงลงต้มในน้ำเดือด 10 นาที ยกตะแกรงจากน้ำเดือด จุ่มในน้ำเย็น เทข้าวลงในจานพลาสติกที่มีฝาปิด เลือกเมล็ดที่ตรง 10 เมล็ด วัดความยาว แล้วคำนวณอัตราการยัดตัวของข้าวหุงสุกดังนี้

$$\text{อัตราการยัดตัวของข้าวสุก} = \frac{\text{ความยาวเฉลี่ยของข้าวสุก}}{\text{ความยาวเฉลี่ยของข้าวสาร}}$$

2. การวัดอัตราการขยายปริมาตร (งามชื่น, 2536)

นำข้าวสาร 10 กรัม ใส่ในหลอดทดลอง วัดความสูง 5 จุด เติมน้ำ 20 กรัม นำไปต้มในน้ำเดือดนาน 5 นาที วัดความสูงของข้าวสุก

$$\text{ค่าอัตราการขยายปริมาตร} = \frac{\text{ความสูงของข้าวสุกหลังต้ม}}{\text{ความสูงของข้าวสารก่อนต้ม}}$$

3. การตรวจสอบลักษณะความหนืดจากเครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว (Newport Scientific, 1998)

3.1 นำตัวอย่างแป้งข้าวไปหาความชื้น คำนวณน้ำหนักตัวอย่างข้าวที่มีขนาด 100 เมช และปริมาณน้ำที่ต้องใช้ในการวัดค่าความหนืดจากเครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว (RVA) ตามสูตร

$$S = (88 \times 3.00) / (100 - M)$$

$$W = 28.0 - S$$

$$\begin{aligned}
 \text{โดย } S &= \text{น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้จริง (กรัม)} \\
 M &= \text{ความชื้นที่แท้จริงของตัวอย่าง (ร้อยละ)} \\
 W &= \text{น้ำหนักน้ำที่ใช้ (มิลลิลิตร)}
 \end{aligned}$$

3.2 จากนั้นจึงชั่งน้ำหนักแป้งตัวอย่าง 3.0 กรัม และตวงน้ำกลั่นปริมาตร 25 มิลลิลิตร ใส่ในอวลูมิเนียมแกน ใช้ใบพัดกวนให้แป้งกระจายตัวอย่างรวดเร็ว นำอวลูมิเนียมแกนใส่เข้าเครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว เพื่อวิเคราะห์ค่าความหนืดภายใต้สภาวะดังนี้

อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส	เวลา	1.00 นาที
อุณหภูมิ 50-95 องศาเซลเซียส	เวลา	3.38 นาที
อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส	เวลา	2.30 นาที
อุณหภูมิ 95-50 องศาเซลเซียส	เวลา	3.38 นาที
อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส	เวลา	1.24 นาที
รวม	เวลา	14.00 นาที

ค่าที่ได้จากเครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว ได้แก่ 1) peak time คือ ระยะเวลาตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงความหนืดสูงสุด มีหน่วยเป็นนาที 2) pasting temperature คือ อุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนค่าความหนืดหรืออุณหภูมิที่ความหนืดเพิ่มขึ้น 2 RVU ในเวลา 20 วินาที มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส 3) peak temperature คือ อุณหภูมิที่ความหนืดสูงสุด มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส 4) peak viscosity คือ ความหนืดสูงสุด ที่อ่านได้จากกราฟในช่วงของการให้ความร้อน มีหน่วยเป็น RVU (ช่วงอุณหภูมิเริ่มต้นถึงอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส) 5) breakdown คือ ค่าการแตกตัว เป็นค่าความแตกต่างของความหนืดสูงสุดที่อ่านได้จากกราฟในช่วงของการให้ความร้อนและความหนืดต่ำสุดระหว่างการทำให้เย็น (peak viscosity minus holding viscosity) มีหน่วยเป็น RVU 6) final viscosity คือ ความหนืดสุดท้ายเมื่อสิ้นสุดการทดสอบ มีหน่วยเป็น RVU 7) holding strength or holding viscosity คือ ความหนืดต่ำสุดในระหว่างการทำให้เย็น มีหน่วยเป็น RVU 8) setback from peak คือ ค่าการคืนตัวกลับเทียบกับความหนืดสูงสุด เป็นค่าผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดที่สูงสุดขณะให้ความร้อน (final viscosity minus peak viscosity) มีหน่วยเป็น RVU 9) setback from trough คือ ค่าการคืนตัวกลับเทียบกับความหนืดต่ำสุด เป็นค่าผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุดระหว่างการทำให้เย็น (final viscosity minus Holding viscosity) มีหน่วย เป็น RVU

4. การศึกษาลักษณะเนื้อสัมผัส

4.1 วิธีวิเคราะห์ค่าโครงคุณลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture Profile Analysis: TPA) (ดัดแปลงจาก Champagne *et al.* (1998) โดยใช้น้ำหนักข้าวหุงสุก 1 กรัม นำไปเรียงบนฐานวัด โดยเรียงเป็นชั้นเดียว ใช้หัววัดชนิดทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร ทำการกดตัวอย่าง 2 ครั้ง โดยมีสภาวะ การวัดดังนี้

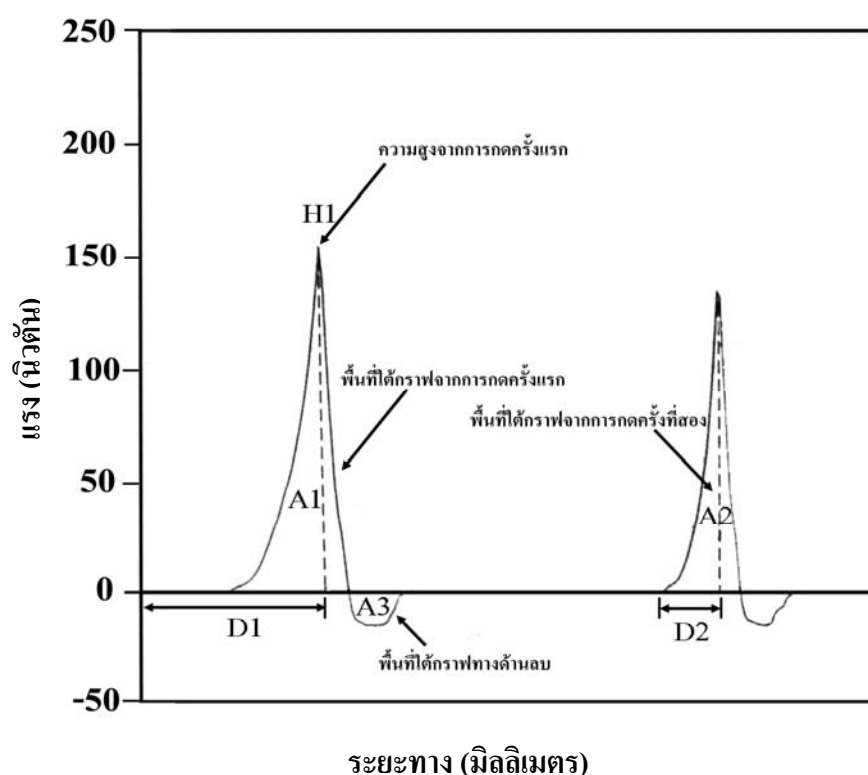
ระยะห่างระหว่างหัววัดกับฐาน 5 มิลลิเมตร

ระยะทางที่หัววัดกดตัวอย่าง 90% strain

ความเร็วก่อนวัด 1 มิลลิเมตรต่อวินาที

ความเร็วขณะวัด 1 มิลลิเมตรต่อวินาที

ความเร็วหลังวัด 1 มิลลิเมตรต่อวินาที



ภาพผนวกที่ ค1 กราฟที่ได้จากการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสแบบค่าโครงคุณลักษณะเนื้อสัมผัส (TPA) ของตัวอย่างข้าวหุงสุก

ที่มา: ดัดแปลงจาก Champagne *et al.* (1998)

กราฟที่ได้จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรง (นิวตัน) และระยะทาง (มิลลิเมตร) (ภาพผนวกที่ ค1) ให้ค่าเนื้อสัมผัสต่างๆ ได้แก่ ค่าความแข็ง (hardness) หมายถึง แรงสูงสุดจากการกดครั้งแรก (H1) มีหน่วยเป็นนิวตันเมตร, ความเกาะติดผิว (adhesiveness) คือพื้นที่ใต้กราฟทางด้านลบ หมายถึง งานที่ใช้ในการถอนหัววัดออกจากตัวอย่าง มีหน่วยเป็นนิวตันเมตร (A3), การรวมตัวกันภายในของอาหาร (cohesiveness) คือ อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ใต้กราฟที่สองต่อพื้นที่ใต้กราฟแรก ($A2/A1$), การคืนกลับสู่ขนาดและรูปร่างเดิม (springiness) คืออัตราส่วนระหว่างระยะทางที่หัววัดกดตัวอย่างจนถอนหัววัดของการกดครั้งที่สองต่อการกดครั้งแรก ($D2/D1$), ระดับความเป็นกาวยางหรือแป็งเปือก (gumminess) คือ ค่าที่ได้จากผลคูณของความแข็งกับการรวมตัวกันภายในของอาหาร มีหน่วยเป็นนิวตัน และพลังงานในการเคี้ยว (chewiness) คือ ค่าที่ได้จากผลคูณของระดับความเป็นกาวยางหรือแป็งเปือกกับความยืดหยุ่น มีหน่วยเป็นนิวตันเมตร

4.2 วิธีแบบกด (Compression test) (ดัดแปลงจาก Sesmat and Meullenet, 2001) โดยนำตัวอย่างข้าวหุงสุกที่มีขนาด และรูปร่างที่สมบูรณ์ และใกล้เคียงกันมา 5 เมล็ด วางเรียงบนฐานวัดเป็นชั้นเดียว ใช้หัววัดชนิดทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร ทำการกดตัวอย่าง 1 ครั้ง โดยมีสถานะ การวัดดังนี้

ระยะห่างระหว่างหัววัดกับฐาน 8 มิลลิเมตร

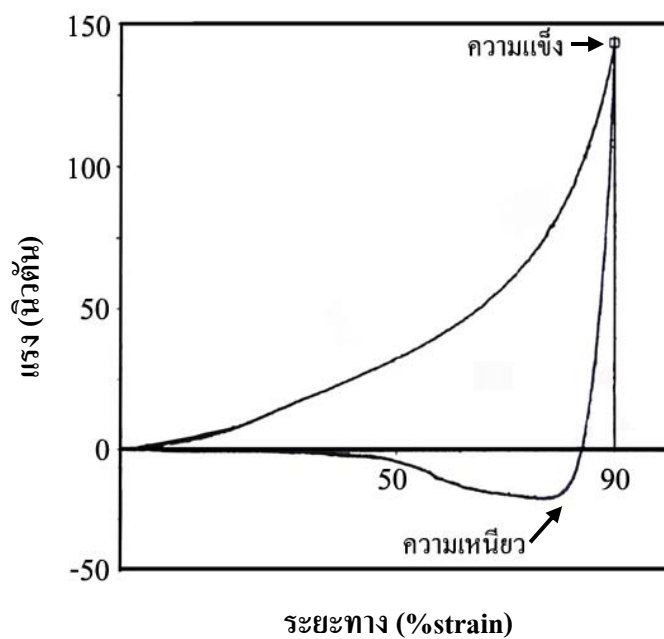
ระยะทางที่หัววัดกดตัวอย่าง 90% strain

ความเร็วก่อนวัด 2 มิลลิเมตรต่อวินาที

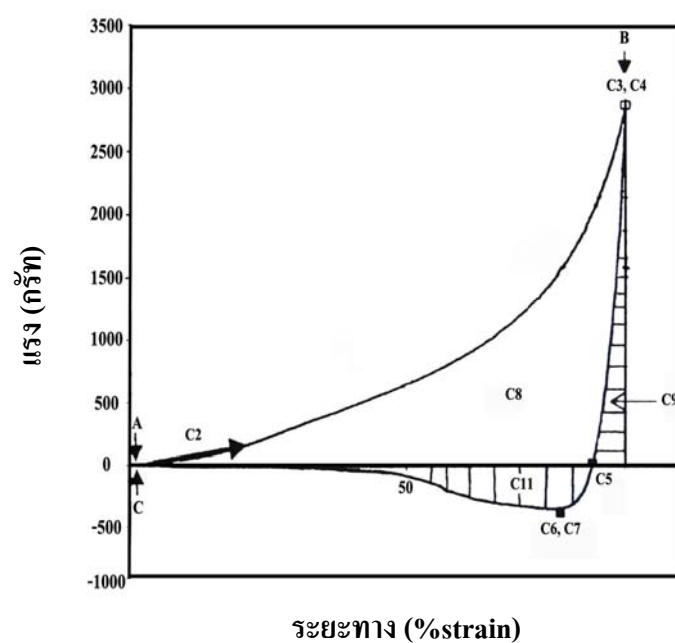
ความเร็วขณะวัด 0.5 มิลลิเมตรต่อวินาที

ความเร็วหลังวัด 0.5 มิลลิเมตรต่อวินาที

กราฟที่ได้จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรง (นิวตัน) และระยะทาง (% strain) ให้ค่าเนื้อสัมผัส (ภาพผนวกที่ ค2) ได้แก่ ความแข็ง หมายถึง ค่าแรงสูงสุดที่หัววัดกดตัวอย่าง 90% strain และค่าความเหนียว (stickiness) หมายถึง แรงสูงสุดในการถอนหัววัดออกจากฐาน สำหรับค่าต่างๆ ที่ใช้ในการสร้างสมการทำนายเนื้อสัมผัสทางประสาทสัมผัส กราฟที่ได้จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรง (กรัม) และระยะทาง (% strain) (ภาพผนวกที่ ค3) ให้ค่าต่างๆ ได้แก่ ความสูงของตัวอย่าง (C1) ความชันที่ 0-10% strain (C2) ค่าแรงสูงสุดที่หัววัดกดตัวอย่าง 90% strain (C3) ระยะทางหัววัดกดตัวอย่าง 90% strain (C4) ระยะทางที่หัววัดกลับมาจุดเริ่มต้น (C5) แรงสูงสุดในการถอนหัววัดออกจากฐาน (C6) ระยะทางที่หัววัดถอนแรงออกจากหัววัด (C7) พื้นที่ใต้กราฟตั้งแต่หัววัดเคลื่อนที่จนถึง 90% strain (C8) พื้นที่ใต้กราฟทางด้านหลังกราฟ (C9) พื้นที่ใต้กราฟทั้งหมดทางด้านลบ (C10=C8+C9) พื้นที่ใต้กราฟทั้งหมดทางด้านลบ (C11)



ภาพผนวกที่ ค2 กราฟที่ได้จากการทดสอบแบบกด (Compression test) ของตัวอย่างข้าวหุงสุก
ที่มา: คัดแปลงจาก Sesmat and Meullenet (2001)



ภาพผนวกที่ ค3 กราฟที่ได้จากการทดสอบแบบกด (Compression test) เพื่อใช้ในการสร้างสมการ
ทำนายเนื้อสัมผัสทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างข้าวหุงสุก
ที่มา: คัดแปลงจาก Sesmat and Meullenet (2001)

ภาคผนวก ง

การตรวจสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

การตรวจสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ตารางผนวกที่ 1 ระดับความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ในการคัดเลือกโดยการทดสอบ
ความสามารถในการประเมินทางประสาทสัมผัส

รสพื้นฐาน	สารที่ใช้	ความเข้มข้นของ (ร้อยละ ; w/v)
<u>การทดสอบความสามารถในการรับรสพื้นฐาน</u>		
รสหวาน	น้ำตาลซูโครส	1.75
รสเปรี้ยว	กรดซิตริก	0.05
รสเค็ม	โซเดียมคลอไรด์	0.15
รสขม	คาเฟอีน	0.04
<u>การทดสอบความแตกต่างโดยวิธีเลือกตัวอย่างที่จากสามตัวอย่าง</u>		
รสหวาน	น้ำตาลซูโครส	3.0, 4.0
รสเปรี้ยว	กรดซิตริก	0.07, 0.09
รสเค็ม	โซเดียมคลอไรด์	0.2, 0.3
รสขม	คาเฟอีน	0.03, 0.05
<u>การทดสอบความสามารถในการเรียงลำดับความเข้ม</u>		
รสหวาน	น้ำตาลซูโครส	1.00, 2.00, 3.00, 4.00
รสเปรี้ยว	กรดซิตริก	0.05, 0.07, 0.09, 0.12
รสเค็ม	โซเดียมคลอไรด์	0.10 , 0.15, 0.20, 0.30
ความแข็ง*	วุ้นผง	2.00, 2.50, 3.00

หมายเหตุ * ความแข็ง ร้อยละ w/w และผสมน้ำหวานเข้มข้น กลิ่นสละ ตราเฮลซ์ บลูบอย 9%

ที่มา: ดัดแปลงจาก ASTM (1981) และ Meilgaard *et al.* (1999)

ใบบันทึกผลการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของข้าวหุงสุก

รหัสตัวอย่าง

วันที่

คำแนะนำ กรุณาทดสอบตัวอย่างข้าวหุงสุก แล้วระบุระดับความเข้ม (0 – 15) ในแต่ละคุณลักษณะ

ลักษณะปรากฏ (appearance)

สีขาว (whiteness)	น้อย	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15	มาก
ความสมบูรณ์ของเมล็ด (grain integrity)	น้อย	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15	มาก
การเกาะติดกันระหว่างเมล็ด (stickiness between grain)	น้อย	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15	มาก
ความเรียวยาวของเมล็ด (thinness)	น้อย	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15	มาก
ความขรุขระของผิว (surface roughness)	น้อย	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15	มาก

กลิ่น (aroma)

แป้ง (starchy)	น้อย	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15	มาก
ข้าวสาร (raw rice)	น้อย	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15	มาก

ใบบันทึกผลการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของข้าวहुงสุก (ต่อ)

รหัสตัวอย่าง

วันที่

คำแนะนำ กรุณาทดสอบตัวอย่างข้าวहुงสุก แล้วระบุระดับความเข้ม (0 – 15) ในแต่ละคุณลักษณะ

กลิ่น (aroma)

ไข่ขาว (egg white)	น้อย	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15	มาก
ใบเตย (pandan)	น้อย	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15	มาก
ไม้ (woody)	น้อย	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15	มาก
แกลบ (chaff)	น้อย	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15	มาก
รำ (bran)	น้อย	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15	มาก
กระสอบ (burlap)	น้อย	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15	มาก

ใบบันทึกผลการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของข้าวहुงสุก (ต่อ)

รหัสตัวอย่าง

วันที่

คำแนะนำ กรุณาทดสอบตัวอย่างข้าวहुงสุก แล้วระบุระดับความเข้ม (0 – 15) ในแต่ละคุณลักษณะ

กลิ่นรส (flavor)

แป้ง	น้อย	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15	มาก
(starchy)																																	
ไข่ขาว	น้อย	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15	มาก
(egg white)																																	
ใบเตย	น้อย	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15	มาก
(pandan)																																	

รสพื้นฐาน (basic taste)

รสหวาน	น้อย	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15	มาก
(sweet)																																	

ความรู้สึตกค้าง (aftertaste)

แป้ง	น้อย	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15	มาก
(starchy)																																	
รสหวาน	น้อย	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15	มาก
(sweet)																																	

ใบบันทึกผลการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของข้าวहुงสุก (ต่อ)

รหัสตัวอย่าง

วันที่

คำแนะนำ กรุณาทดสอบตัวอย่างข้าวहुงสุก แล้วระบุระดับความเข้ม (0 – 15) ในแต่ละคุณลักษณะ

เนื้อสัมผัส (texture)

ระยะแรกของการทดสอบ (initial stage)

ความเหนียว (manual stickiness)	น้อย	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15	มาก
การเกาะรวมตัวกัน (cohesiveness)	หลวม	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15	แน่น
ความเป็นเมล็ด (kernelness)	น้อย	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15	มาก

ระยะกดตัวอย่างบางส่วน (partial compression stage)

การเกาะติดริมฝีปาก (adhesive to lips)	ตก	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15	มาก
ความลื่นเป็นมัน (slickiness)	น้อย	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15	ติด แน่น
ความยืดหยุ่น (springiness)	น้อย	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15	มาก
ความเป็นแป้งเคลือบปาก (starchy coating)	น้อย	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15	มาก

ใบบันทึกผลการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของข้าวหุงสุก (ต่อ)

รหัสตัวอย่าง

วันที่

คำแนะนำ กรุณาทดสอบตัวอย่างข้าวหุงสุก แล้วระบุระดับความเข้ม (0 – 15) ในแต่ละคุณลักษณะ

ระยะกัดหรือเคี้ยวครั้งแรก (first bite / chew)

ความแข็ง (hardness) น้อย 0 0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4 4.5 5 5.5 6 6.5 7 7.5 8 8.5 9 9.5 10 10.5 11 11.5 12 12.5 13 13.5 14 14.5 15 มาก

การเกาะรวมตัวกัน (cohesiveness) หลวม 0 0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4 4.5 5 5.5 6 6.5 7 7.5 8 8.5 9 9.5 10 10.5 11 11.5 12 12.5 13 13.5 14 14.5 15 แน่น

ระยะเคี้ยว (chew down)

การเคี้ยว (chewiness) น้อย 0 0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4 4.5 5 5.5 6 6.5 7 7.5 8 8.5 9 9.5 10 10.5 11 11.5 12 12.5 13 13.5 14 14.5 15 มาก

การเกาะรวมตัวกัน (cohesiveness) หลวม 0 0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4 4.5 5 5.5 6 6.5 7 7.5 8 8.5 9 9.5 10 10.5 11 11.5 12 12.5 13 13.5 14 14.5 15 แน่น

ความหยาบของตัวอย่าง (roughness of mass) เรียบ 0 0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4 4.5 5 5.5 6 6.5 7 7.5 8 8.5 9 9.5 10 10.5 11 11.5 12 12.5 13 13.5 14 14.5 15 ขรุขระ

ความเหนียว (toothpull) น้อย 0 0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4 4.5 5 5.5 6 6.5 7 7.5 8 8.5 9 9.5 10 10.5 11 11.5 12 12.5 13 13.5 14 14.5 15 มาก

ระยะหลังเคี้ยว (residual)

การติดฟัน (toothpack) น้อย 0 0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4 4.5 5 5.5 6 6.5 7 7.5 8 8.5 9 9.5 10 10.5 11 11.5 12 12.5 13 13.5 14 14.5 15 มาก

อนุภาคตกค้าง (loose particles) น้อย 0 0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4 4.5 5 5.5 6 6.5 7 7.5 8 8.5 9 9.5 10 10.5 11 11.5 12 12.5 13 13.5 14 14.5 15 มาก

การเตรียมตัวอย่างอ้างอิงในการประเมินทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา

ตารางผนวกที่ ง2 ตัวอย่างอ้างอิงที่ใช้ในการประเมินทางประสาทสัมผัสคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏของข้าวหุงสุก

คุณลักษณะ	ตัวอย่างอ้างอิง	ระดับความเข้ม
1. สีขาว (whiteness)	แอปเปิ้ล (ค่า L^* a^* และ b^* ดูตารางผนวกที่ ง5)	1-15
2. ความสมบูรณ์ของเมล็ด (grain integrity)	ข้าวหอม 1 ตราแสนดี หุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า อัตราส่วนข้าว : น้ำ = 1 : 1.8 (300 : 540 กรัม)	9.5
3. การเกาะติดระหว่างเมล็ด (stickiness between grain)	ข้าวสาร ตรารุ่งทิพย์ ข้าวเหนียว ตราดอกบัว หุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า อัตราส่วนข้าว : น้ำ = 1 : 1 (300 : 300 กรัม)	0.0 14.0
4. ความเรียวยาวของเมล็ด (thinness)	ข้าวญี่ปุ่น ตราช้าง หุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า อัตราส่วนข้าว : น้ำ = 1 : 1.5 (300 : 450 กรัม) ข้าวเหนียว ตราดอกบัว หุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า อัตราส่วนข้าว : น้ำ = 1 : 1 (300 : 300 กรัม)	4.0 14.0
5. ความขรุขระของผิว (roughness)	ข้าวหุงสุก ตราเกษตร หุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า อัตราส่วนข้าว : น้ำ = 1 : 2.2 (300 : 660 กรัม) ข้าวต้ม ตราเกษตร หุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า อัตราส่วนข้าว : น้ำ = 1 : 6 (150 : 900 กรัม)	5.0 14.0

ตารางผนวกที่ 3 ตัวอย่างอ้างอิงที่ใช้ในการประเมินทางประสาทสัมผัสคุณลักษณะด้านกลิ่น
กลิ่นรส รสพื้นฐาน และความรู้สึกตกค้าง ของข้าวหุงสุก

คุณลักษณะ	ตัวอย่างอ้างอิง	ระดับความเข้ม			
		กลิ่น	กลิ่น รส	รส พื้นฐาน	ความรู้สึก ตกค้าง
1. แป้ง	น้ำแป้งข้าวสุก ตรานิวเกรด 0.5% (w/v)	3.0	4.5	-	0.5
(starch)	น้ำแป้งข้าวสุก ตรานิวเกรด 1.0% (w/v)	7.0	8.0	-	2.0
	น้ำแป้งข้าวสุก ตรานิวเกรด 2.0% (w/v)	8.5	10.0	-	5.0
2. ข้าวสาร	ข้าวสาร ตรารุ้งทิพย์	14.0	-	-	-
(raw rice)					
3. ไข่ขาว	ไข่ขาวนึ่งนาน 10 นาที ขนาด 1x1 นิ้ว ³	10.5	10.5	-	-
(egg white)					
4. ใบเตย	น้ำใบเตย 0.2% (w/v)	0.3	0.3	-	-
(pandan)	น้ำใบเตย 0.6% (w/v)	1.0	1.0	-	-
	น้ำใบเตย 1.0% (w/v)	3.0	3.0	-	-
5. ไม้	ไม้ ตรา Sluis	10.0	-	-	-
(woody)					
6. แกลบ	แกลบ	8.0	-	-	-
(chaff)					
7. รำ	รำ	12.0	-	-	-
(bran)					
8. กระสอบ	กระสอบ ขนาด 1.5 x 1.5 นิ้ว	14.0	-	-	-
(burlap)					
9. รสหวาน	สารละลายซูโครส 1% (w/v)	-	-	0.5	0.5
(sweet)	สารละลายซูโครส 2% (w/v)	-	-	2.0	2.0

ตารางผนวกที่ 4 ตัวอย่างอ้างอิงที่ใช้ในการประเมินทางประสาทสัมผัสคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุก

คุณลักษณะ	ตัวอย่างอ้างอิง	ระดับความเข้ม
1. ระยะแรกของการทดสอบ (Initial stage)		
1. ความเหนียว (manual stickiness)	ถั่วเขียวชีกดัม ตราไรท์พิช (ถั่ว 170 กรัม แช่น้ำนาน 30 นาที จากนั้นนำไปต้มในน้ำ 600 กรัม นาน 20 นาที) ข้าวเหนียว ตราดอกบัว หุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า อัตราส่วนข้าว : น้ำ = 1 : 1 (300 : 300 กรัม)	0.5 10.0
2. การเกาะรวมตัวกันของตัวอย่าง (cohesiveness)	ถั่วเขียวชีกดัม ตราไรท์พิช (ถั่ว 170 กรัม แช่น้ำนาน 30 นาที จากนั้นนำไปต้มในน้ำ 600 กรัม นาน 20 นาที) ข้าวเหนียว ตราดอกบัว หุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า อัตราส่วนข้าว : น้ำ = 1 : 1 (300 : 300 กรัม)	0.5 14.0
3. ความเป็นเมล็ด (kernelness)	โจ๊กไก่ ตราคนอร์ (โจ๊ก 12.5 g : น้ำ 100 ml) ถั่วเขียวชีกดัม ตราไรท์พิช (ถั่ว 170 กรัม แช่น้ำนาน 30 นาที จากนั้นนำไปต้มในน้ำ 600 กรัม นาน 20 นาที)	2.5 13.0
2. ระยะกดตัวอย่างบางส่วน (Partial compression stage)		
4. การเกาะติดริมฝีปาก (adhesive to lips)	ข้าวพองเคลือบโกโก้ ตราเคลล็อกส์ โกโก้ ป๊อบส์ ถั่วเขียวชีกทอด ตรา วิ.อาร์.ที.	6.0 12.0
5. ความลื่นเป็นมันของผิว (slickiness)	ถั่วเขียวชีกดัม ตราไรท์พิช (ถั่ว 170 กรัม แช่น้ำนาน 30 นาที จากนั้นนำไปต้มในน้ำ 600 กรัม นาน 20 นาที) เยลลี่ ตราควีนเบอร์รี่ หั่นเป็นชิ้น ¼ ของชิ้น	1.5 14.0
6. ความยืดหยุ่น (springiness)	เต้าหู้อ่อนตราอังเก้ ขนาด 1 ชิ้น เค้กเนยสด ตรา S&P ขนาด 1x1 นิ้ว ³ เยลลี่ ตราควีนเบอร์รี่ 1 เม็ด	1.0 3.5 7.0
7. ความเป็นแป้งเคลือบปาก (initial starchy coating)	น้ำแป้งข้าวสุก ตรานิวเกรด 0.5% (w/v) น้ำแป้งข้าวสุก ตรานิวเกรด 1.0% (w/v) น้ำแป้งข้าวสุก ตรานิวเกรด 2.0% (w/v)	1.0 3.0 6.0

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

คุณลักษณะ	ตัวอย่างอ้างอิง	ระดับความเข้ม
3. ระยะกัดหรือเคี้ยวครั้งแรก (First bite / chew)		
8. ความแข็ง (hardness)	เต้าหู้อ่อนตราอังกี้ ขนาด 1x1 นิ้ว ³	0.5
	วุ้น ตราโทรศัพท์ 1.0% ผสมน้ำหวานเข้มข้นกลิ่น	1.0
	สละ ตราเฮลซ์ บลูบอย 9 % ขนาด 1x1 นิ้ว ³	
	วุ้น ตราโทรศัพท์ 1.5% ผสมน้ำหวานเข้มข้นกลิ่น	4.5
	สละ ตราเฮลซ์ บลูบอย 9 % ขนาด 1x1 นิ้ว ³	
	วุ้น ตราโทรศัพท์ 3.0% ผสมน้ำหวานเข้มข้นกลิ่น	6.0
	สละ ตราเฮลซ์ บลูบอย 9 % ขนาด 1x1 นิ้ว ³	
9. การเกาะรวมตัวกัน (cohesiveness)	เค้กเนยสด ตรา S&P ขนาด 1x1 นิ้ว ³	6.0
	ขนมปังไม่มีขอบ ตราฟาร์มเฮาส์ ขนาด 1x1 นิ้ว ³ 2 ชิ้น	14.0
4. ระยะเคี้ยว (Chew down)		
10. การเคี้ยว (chewiness)	ขนมปังไม่มีขอบ ตราฟาร์มเฮาส์ ขนาด 1x1 นิ้ว ³ 2 ชิ้น	3.5
	ไส้กรอกหมูสอทอด ตราหมูตัวเดียว เป็นแวน ½ นิ้ว	10.0
11. การเกาะรวมตัวกันของตัวอย่าง (cohesiveness of mass)	ถั่วเขียวชีกดัม ตราไรท์พิช (ถั่ว 170 กรัม แขน้นาน 30 นาที จากนั้นนำไปต้มในน้ำ 600 กรัม นาน 20 นาที)	3.0
	เค้กเนยสด ตรา S&P ขนาด 1x1 นิ้ว ³	6.0
	ขนมปังไม่มีขอบ ตราฟาร์มเฮาส์ ขนาด 1x1 นิ้ว ³ 2 ชิ้น	12.0
12. ความหยาบของตัวอย่าง (roughness of mass)	โจ๊กไก่ ตราคนอร์ (โจ๊ก 12.5 g : น้ำ 100 ml)	3.0
	ถั่วเขียวชีกทอด ตรา วี.อาร์.ที.	14.0
13. ความเหนียว (toothpull)	แครกเกอร์ ตราริทซ์ ½ แผ่น	3.0
	ขนมข้าวหอมมะลิไทย ตราชินมัย ½ แผ่น	9.0
14. การติดฟัน (toothpack)	เค้กเนยสด ตรา S&P ขนาด 1x1 นิ้ว ³	4.0
	ขนมข้าวหอมมะลิไทย ตราชินมัย ½ แผ่น	9.0
15. ความเป็นอิสระของอนุภาค (loose particles)	เค้กเนยสด ตรา S&P ขนาด 1x1 นิ้ว ³	4.0
	ขนมข้าวหอมมะลิไทย ตราชินมัย ½ แผ่น	9.0

ตารางผนวกที่ 5 ค่าสีในระบบ CIE Lab ของแถบสี ที่ใช้เป็นตัวอย่างอ้างอิงในการ
ประเมินทางประสาทสัมผัสคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏของข้าวหุงสุก

ระดับความเข้ม	L*	a*	b*
1	81.46	1.46	16.42
2	81.59	1.10	16.23
3	81.63	1.41	14.91
4	82.70	1.41	14.14
5	82.95	1.43	13.75
6	83.71	1.56	11.90
7	84.75	1.48	10.56
8	85.74	1.18	8.99
9	86.98	1.31	6.91
10	87.32	1.12	6.05
11	87.91	0.73	4.54
12	88.24	0.77	2.90
13	89.06	0.50	1.67
14	89.48	0.23	0.62
15	89.84	0.15	-0.90

หมายเหตุ ค่าสี (L* a* และ b*) จากเครื่องวัดค่าสีสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

ภาคผนวก จ
การทดสอบผู้บริโภคร

การทดสอบผู้บริโภคร

ตารางผนวกที่ จ1 แผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกไม่สมบูรณ์ (Balance incompletely block design; BIB) ประเภทที่ 2 และคูยูเค้นสแควร์

บล็อก	ซ้ำที่ 1, 2 และ 3			บล็อก	ซ้ำที่ 4, 5 และ 6			บล็อก	ซ้ำที่ 7, 8 และ 9		
(1)	1	7	11	(20)	2	3	14	(39)	4	6	9
(2)	2	8	12	(21)	3	4	15	(40)	5	7	10
(3)	3	9	13	(22)	4	5	16	(41)	6	8	11
(4)	4	10	14	(23)	5	6	17	(42)	7	9	12
(5)	5	11	15	(24)	6	7	18	(43)	8	10	13
(6)	6	12	16	(25)	7	8	19	(44)	9	11	14
(7)	7	13	17	(26)	8	9	1	(45)	10	12	15
(8)	8	14	18	(27)	9	10	2	(46)	11	13	16
(9)	9	15	19	(28)	10	11	3	(47)	12	14	17
(10)	10	16	1	(29)	11	12	4	(48)	13	15	18
(11)	11	17	2	(30)	12	13	5	(49)	14	16	19
(12)	12	18	3	(31)	13	14	6	(50)	15	17	1
(13)	13	19	4	(32)	14	15	7	(51)	16	18	2
(14)	14	1	5	(33)	15	16	8	(52)	17	19	3
(15)	15	2	6	(34)	16	17	9	(53)	18	1	4
(16)	16	3	7	(35)	17	18	10	(54)	19	2	5
(17)	17	4	8	(36)	18	19	11	(55)	1	3	6
(18)	18	5	9	(37)	19	1	12	(56)	2	4	7
(19)	19	6	10	(38)	1	2	13	(57)	3	5	8

หมายเหตุ จำนวนสิ่งทดลอง (t) = 19, จำนวนสิ่งทดลองต่อบล็อก (k) = 3, จำนวนซ้ำ (r) = 9,
 จำนวนบล็อก (b) = 57, จำนวนครั้งที่สิ่งทดลองแต่ละคู่ปรากฏร่วมกันในบล็อก (λ) = 1
 ที่มา: สุรพล (2537)

แบบสอบถามการคัดเลือกผู้บริโภค

คำแนะนำ: กรุณาตอบคำถาม เพื่อตรวจสอบว่าท่านมีคุณสมบัติตรงตามกลุ่มเป้าหมายหรือไม่

1. เพศ

☐

1) ชาย

☐

2) หญิง

1. ☐

2. อายุ

☐

1) น้อยกว่า 21 ปี

☐

2) 21 - 30 ปี

2. ☐

☐

3) 31 - 40 ปี

☐

4) ตั้งแต่ 41 ปีขึ้นไป

4. ระดับการศึกษาสูงสุดที่ได้รับหรือกำลังศึกษาอยู่

☐

1) ต่ำกว่ามัธยมศึกษาตอนปลาย

☐

2) มัธยมศึกษาตอนปลาย

4. ☐

☐

3) ปริญญาตรี

☐

4) สูงกว่าปริญญาตรี

5. อาชีพ

☐

1) นักเรียน / นิสิต / นักศึกษา

☐

2) ข้าราชการ / รัฐวิสาหกิจ

5. ☐

☐

3) พนักงานบริษัทเอกชน

☐

4) ธุรกิจส่วนตัว / ค้าขาย

☐

5) แม่บ้าน / พ่อบ้าน

☐

6) รับจ้าง (โปรดระบุ).....

☐

7) เกษียณอายุ / ว่างาน

☐

8) อื่นๆ (โปรดระบุ)

6. ท่านชอบบริโภค หรือดื่มอาหารชนิดใดบ้าง (เลือกได้ไม่เกิน 2 ข้อ)

6. ☐

☐

1) ข้าวหอมมะลิ

☐

2) ข้าวเสาไห้

☐

3) ข้าวกล้อง

☐

4) ข้าวเหนียว

กรุณาเขียนชื่อสกุล และหมายเลขโทรศัพท์

ชื่อ-สกุล : _____ เบอร์โทรศัพท์ที่สามารถติดต่อได้ _____

หนังสือแสดงความยินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัย (Informed consent form)
ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การวิจัยเรื่อง การทดสอบผู้บริโภคผลิตภัณฑ์ข้าวหุงสุก

วันที่ให้คำยินยอม / /

ข้าพเจ้า (นาย/นาง/นางสาว)

อยู่บ้านเลขที่ ซอย ถนน แขวง/ตำบล

เขต/อำเภอ จังหวัด รหัสไปรษณีย์

บัตรประชาชน/ข้าราชการเลขที่

ยินยอมเข้าร่วมทดสอบผู้บริโภคผลิตภัณฑ์ข้าวหุงสุก การทดสอบนี้มีขึ้นเพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบ
 วิทยานิพนธ์ของ น.ส.สิริภาญจน์ เกียรติธนะไพบูลย์ ทั้งนี้ผู้วิจัยได้ตอบคำถามต่างๆที่ข้าพเจ้าสงสัย
 ด้วยความเต็มใจ ไม่ปิดบัง ข้าพเจ้าเข้าร่วมโครงการวิจัยนี้ด้วยความสมัครใจ และมีสิทธิ์ที่จะบอก
 เลิกการเข้าร่วมโครงการนี้เมื่อใดก็ได้

ผู้วิจัยและ/หรือผู้ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยขอให้คำรับรองว่าจะเก็บข้อมูลเกี่ยวกับข้าพเจ้า
 เป็นความลับ และจะเปิดเผยเฉพาะในรูปที่เป็นการสรุปการวิจัย โดยไม่ระบุตัวบุคคลผู้เป็นเจ้าของ
 ข้อมูล หากมีข้อสงสัยเกี่ยวกับการวิจัยในโครงการนี้ ข้าพเจ้าสามารถติดต่อ รศ.ดร.จินตนา
 อุปติสสกุล ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
 50 ถ.พหลโยธิน จตุจักร ลาดยาว กรุงเทพฯ 10900 โทร.0-2562-5004 หรือ 08-1696-2091

..... (ผู้ยินยอม)	 (ผู้วิจัย)
(.....)	(.....)
..... (พยาน)	 (พยาน)
(.....)	(.....)

แบบสอบถามการทดสอบผู้บริโภคของผลิตภัณฑ์ข้าวหุงสุก (ข้าวสวย)

ผู้ทดสอบเลขที่.....

รหัสตัวอย่าง.....

คำสั่งที่ 1 : กรุณากรอกหมายเลขตัวอย่างที่ระบุบนถ้วย ลงที่หัวมุมขวาของแบบสอบถาม

คำสั่งที่ 2 : กรุณาเติมน้ำเปล่า ก่อนการทดสอบ และระหว่างแต่ละตัวอย่าง หรือ เท้าที่จำเป็น

คำสั่งที่ 3 : กรุณาอ่านคำชี้แจง ก่อนจะเริ่มตอบคำถามในแต่ละข้อ

คำสั่งที่ 4 : กากบาท (X) ลงในช่องว่าง 1 ช่อง สำหรับคำถามในแต่ละข้อ เพื่อให้คะแนนความชอบของท่านที่มีต่อตัวอย่างข้าวหุงสุก (ข้าวสวย)

1. ใช้สายตา ดู ตัวอย่าง และระบุว่า ท่านชอบ ลักษณะปรากฏ ของข้าวหุงสุกเท่าไร?

ไม่ชอบมากที่สุด	ไม่ชอบมาก	ไม่ชอบปานกลาง	ไม่ชอบเล็กน้อย	บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ	ชอบเล็กน้อย	ชอบปานกลาง	ชอบมาก	ชอบมากที่สุด
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

2. ดม ตัวอย่าง และระบุว่า ท่านชอบ กลิ่นหอม ของข้าวหุงสุกเท่าไร?

ไม่ชอบมากที่สุด	ไม่ชอบมาก	ไม่ชอบปานกลาง	ไม่ชอบเล็กน้อย	บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ	ชอบเล็กน้อย	ชอบปานกลาง	ชอบมาก	ชอบมากที่สุด
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

3. รับประทาน ตัวอย่าง และระบุว่า ท่านชอบ รสชาติ หรือกลิ่นรส ของข้าวหุงสุกเท่าไร?

ไม่ชอบมากที่สุด	ไม่ชอบมาก	ไม่ชอบปานกลาง	ไม่ชอบเล็กน้อย	บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ	ชอบเล็กน้อย	ชอบปานกลาง	ชอบมาก	ชอบมากที่สุด
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

4. รับประทาน ตัวอย่าง และระบุว่า ท่านชอบ เนื้อสัมผัส ของข้าวหุงสุกเท่าไร?

ไม่ชอบมากที่สุด	ไม่ชอบมาก	ไม่ชอบปานกลาง	ไม่ชอบเล็กน้อย	บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ	ชอบเล็กน้อย	ชอบปานกลาง	ชอบมาก	ชอบมากที่สุด
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

5. ใช้สายตา ดู ตัวอย่าง และระบุว่า ท่านชอบ ลักษณะปรากฏ ของข้าวหุงสุกเท่าไร?

ไม่ชอบมากที่สุด	ไม่ชอบมาก	ไม่ชอบปานกลาง	ไม่ชอบเล็กน้อย	บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ	ชอบเล็กน้อย	ชอบปานกลาง	ชอบมาก	ชอบมากที่สุด
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

ภาคผนวก จ

การทํานายเนื้อสัมผัสทางประสาทสัมผัส

การทำนายเนื้อสัมผัสทางประสาทสัมผัส

ตัวอย่างการสร้างสมการทำนายเนื้อสัมผัสทางประสาทสัมผัสจากการวัดด้วยเครื่องมือ

การหาค่าสมการถดถอยเพื่อใช้ในการทำนายเนื้อสัมผัสทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา จากค่าที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องมือ ได้แก่ วิเคราะห์ค่าโครงคุณลักษณะเนื้อสัมผัส (TPA) และการทดสอบแบบกด (ComT) ด้วยวิธี Partial least square (PLS) ประเภทที่ 1 โดยสัมประสิทธิ์การถดถอยแบบถ่วงน้ำหนักที่ได้จากการทดลองขึ้นต้นที่คำนวณโดยทุกตัวแปรของค่าจากการวัดด้วยเครื่องมือ เพื่ออธิบายค่าเนื้อสัมผัสจากการประเมินทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา แต่ในความเป็นจริงแล้วตัวแปรโดยเครื่องมือแต่บางตัวเท่านั้นที่มีความสำคัญต่อการทำนายค่าเนื้อสัมผัสจากการประเมินทางประสาทสัมผัส ดังนั้นจึงทำการตัดปัจจัยจากการวัดด้วยเครื่องมือของสมการที่มีค่า RMSEP น้อยที่สุด และ ค่า RCal มากที่สุดออกทีละปัจจัย จนกระทั่งค่า RMSEP ไม่ลดลง และ Rval ไม่เพิ่มขึ้น (Sesmat and Meullenet, 2001) ตารางผนวกที่ ฅ1 แสดงตัวอย่างการสร้างสมการทำนายเนื้อสัมผัสทางประสาทสัมผัสด้านความลื่นเป็นมัน (Slick) จากการวัดด้วยวิธีค่าโครงเนื้อสัมผัส (TPA) โดยสมการที่ได้จากการทดลองขึ้นต้นที่คำนวณโดยทุกตัวแปรของค่าจากการวัดด้วยวิธีค่าโครงเนื้อสัมผัส (TPA) พบว่ามีค่า RMSEP เท่ากับ 0.524 และมีค่า RVal เท่ากับ 0.693 จากนั้นจะทำการตัดปัจจัยที่ได้จากวิธีค่าโครงเนื้อสัมผัส (TPA) ออกทีละปัจจัย ในขั้นตอนแรก พบว่าการตัดปัจจัยที่ 4 ออก ทำให้ค่า RMSEP ลดลงจาก 0.524 เป็น 0.507 และค่า Rval เพิ่มขึ้นจาก 0.693 เป็น 0.715 ในขั้นตอนที่ 2 จึงทำการตัดปัจจัยที่ 4 ออก รวมทั้งตัดปัจจัยอื่นออกอีกทีละ 1 ปัจจัย ซึ่งพบว่าการตัดปัจจัยที่ 4 และปัจจัยที่ 6 ออก ทำให้ค่า RMSEP ลดลงจาก 0.507 เป็น 0.506 และค่า Rval เพิ่มขึ้นจาก 0.715 เป็น 0.716 ทำเช่นนี้ไปเรื่อยจนกระทั่งค่า RMSEP ไม่ลดลง และ Rval ไม่เพิ่มขึ้น ในที่นี้พบว่าในขั้นตอนที่ 3 การตัดปัจจัยออก ไม่ส่งผลให้มีค่าดังกล่าวเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางที่ต้องการ ดังนั้นในสมการการทำนายค่าความลื่นเป็นมันจากการประเมินทางประสาทสัมผัส สามารถทำนายได้จากปัจจัยจากวิธีค่าโครงเนื้อสัมผัส (TPA) ได้แก่ ความแข็ง (Hard), การเกาะติดผิว (Adhes), การเกาะรวมตัวกัน (Cohes), ความยืดหยุ่น (Spring) และความเป็นกาว (Gum)

ตารางผนวกที่ ๑1 ตัวอย่างการสร้างสมการทำนายเนื้อสัมผัสทางประสาทสัมผัสจากการวัดด้วยเครื่องมือ ด้วยเทคนิค PLS 1

ขั้นตอนที่ 1			ขั้นตอนที่ 2			ขั้นตอนที่ 3		
ปัจจัยที่ถูกตัดออก	RMSEP	Rval	ปัจจัยที่ถูกตัดออก	RMSEP	Rval	ปัจจัยที่ถูกตัดออก	RMSEP	Rval
ปัจจัยที่ 1*	0.580	0.631	ปัจจัยที่ 4,1**	0.563	0.655	ปัจจัยที่ 4,6,1	0.573	0.643
ปัจจัยที่ 2	0.565	0.667	ปัจจัยที่ 4,2	0.589	0.655	ปัจจัยที่ 4,6,2	0.588	0.656
ปัจจัยที่ 3	0.549	0.664	ปัจจัยที่ 4,3	0.548	0.667	ปัจจัยที่ 4,6,3	0.547	0.664
ปัจจัยที่ 4	0.507	0.715	ตัดออก			ตัดออก		
ปัจจัยที่ 5	0.522	0.695	ปัจจัยที่ 4,5	0.508	0.714	ปัจจัยที่ 4,6,5	0.508	0.715
ปัจจัยที่ 6	0.524	0.692	ปัจจัยที่ 4,6	0.506	0.716	ตัดออก		

หมายเหตุ * คือ Partial Least Squares Regression (PLSR) ของค่าความลื่นเป็นมัน (Slickiness) จากการวัดด้วย TPA ทุกปัจจัย ยกเว้นค่าจากปัจจัยแรก

** คือ Partial Least Squares Regression (PLSR) ของค่าความลื่นเป็นมัน (Slickiness) จากการวัดด้วย TPA ทุกปัจจัย ยกเว้นค่าจากปัจจัยที่ 4

และ ปัจจัยที่ 1

ตัวหนา หมายถึง สมการที่ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสมการในขั้นตอนก่อนหน้านี้

ตารางผนวกที่ ๑๒ สัมประสิทธิ์การถดถอยแบบถ่วงน้ำหนักที่ได้จากการทดลองขั้นต้นที่คำนวณโดยทุกตัวแปรของค่าจากการวิธีเค้าโครงเนื้อสัมผัส (TPA) เพื่ออธิบายค่าเนื้อสัมผัสจากการประเมินทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา

ปัจจัยจาก	เนื้อสัมผัสจากการประเมินทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา														
TPA*	MStick	Cohes1	Kernel	AdhesLip	Slick	Spring	StarchC	Hard	Cohes2	Chew	Cohes3	Rough	TPull	TPack	LParticle
ค่าคงที่	11.044	4.186	16.072	8.949	7.733	14.421	13.760	2.109	19.066	5.334	17.919	10.020	12.180	20.839	22.844
Hard	-0.261	-0.290	0.044	-0.278	-0.332	0.067	-0.146	0.187	-0.027	0.177	-0.264	0.125	-0.136	0.021	0.198
Adhes	0.580	0.675	0.021	0.681	0.563	0.318	0.030	-0.114	0.601	-0.077	0.614	-0.054	0.491	0.467	-0.318
Cohes	-0.012	0.152	0.120	0.048	0.147	0.050	-0.148	0.147	0.017	0.154	0.069	0.116	-0.012	-0.150	-0.145
Spring	0.070	0.242	0.100	0.192	0.169	0.274	-0.153	0.120	0.229	0.151	0.180	0.125	0.128	0.186	-0.133
Gum	-0.164	-0.107	0.080	-0.154	-0.144	0.038	-0.158	0.184	-0.014	0.183	-0.145	0.129	-0.091	-0.079	0.045
Chew	-0.110	-0.011	0.091	-0.072	-0.072	0.080	-0.167	0.179	0.045	0.188	-0.074	0.136	-0.042	-0.043	-0.011
RMSEC	0.281	0.442	0.391	0.193	0.448	0.203	0.209	0.293	0.209	0.293	0.161	0.322	0.330	0.184	0.218
RMSEP	0.343	0.509	0.438	0.232	0.524	0.234	0.228	0.317	0.241	0.323	0.186	0.352	0.387	0.220	0.249
Rcal	0.874	0.834	0.161	0.948	0.750	0.289	0.527	0.655	0.466	0.673	0.789	0.366	0.425	0.315	0.214
Rval	0.853	0.810	0.066	0.935	0.693	0.178	0.482	0.625	0.385	0.615	0.735	0.315	0.327	0.169	0.108
จำนวน PCs	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	2	2	2

หมายเหตุ * หลักการวิเคราะห์เค้าโครงเนื้อสัมผัส (Texture profile analysis: TPA) ได้แก่ ความแข็ง (Hardness; Hard) การเกาะติดผิว (Adhesiveness; Adhes) การเกาะรวมตัวกัน (Cohesiveness; Cohes) ความยืดหยุ่น (Springiness; Spring) ความเป็นกาวยาง (Gumminess; Gum) และพลังงานในการเคี้ยว (Chewiness; Chew)

ตารางผนวกที่ ๓ สัมประสิทธิ์การถดถอยแบบถ่วงน้ำหนักที่ได้จากการทดลองที่คำนวณเฉพาะตัวแปรของค่าจากการวิธีเค้าโครงเนื้อสัมผัส (TPA) เพื่ออธิบายค่าเนื้อสัมผัสจากการประเมินทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา

ปัจจัยจาก	เนื้อสัมผัสจากการประเมินทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา														
TPA*	MStick	Cohes1	Kernel	AdhesLip	Slick	Spring	StarchC	Hard	Cohes2	Chew	Cohes3	Rough	TPull	TPack	LParticle
ค่าคงที่	10.575	5.768	11.588	10.455	8.650	12.999	14.231	4.420	19.134	5.252	18.947	11.947	14.513	21.062	14.042
Hard		-0.299		-0.192	-0.352	0.187	-0.251	0.259	0.159	0.292	-0.249	0.192		0.326	1.222
Adhes	0.764	0.792		0.842	0.635	0.305		-0.158	0.776	-0.127	0.702		0.610	0.740	
Cohes		0.241	0.935		0.245				0.139		0.146		-0.216	-0.254	
Spring	-0.080					0.373	-0.264			0.250					
Gum			-0.429	-0.039	-0.112			0.255			-0.103	0.198			-0.238
Chew	-0.351	0.049	-0.092				-0.286	0.247		0.310	-0.021	0.208			-0.797
RMSEC	0.240	0.409	0.365	0.148	0.403	0.198	0.205	0.279	0.200	0.283	0.156	0.327	0.321	0.174	0.211
RMSEP	0.281	0.467	0.421	0.972	0.506	0.227	0.223	0.301	0.234	0.316	0.181	0.347	0.362	0.211	0.235
RCal	0.908	0.858	0.268	0.969	0.770	0.324	0.547	0.685	0.509	0.695	0.801	0.343	0.456	0.387	0.263
RVal	0.896	0.840	0.155	0.966	0.716	0.221	0.511	0.668	0.417	0.639	0.750	0.338	0.365	0.225	0.198
จำนวน PCs	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

หมายเหตุ *หลักการวิเคราะห์เค้าโครงเนื้อสัมผัส (Texture profile analysis: TPA) ได้แก่ ความแข็ง (Hardness; Hard) การเกาะติดผิว (Adhesiveness; Adhes) การเกาะรวมตัวกัน (Cohesiveness; Cohes) ความยืดหยุ่น (Springiness; Spring) ความเป็นกาวยาง (Gumminess; Gum) และพลังงานในการเคี้ยว (Chewiness; Chew)

ตารางผนวกที่ ๓4 สัมประสิทธิ์การถดถอยแบบถ่วงน้ำหนักที่ได้จากการทดลองขึ้นต้นที่คำนวณโดยทุกตัวแปรของค่าจากการทดสอบแบบกด (Compression test) เพื่ออธิบายค่าเนื้อสัมผัสจากการประเมินทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา

ปัจจัยจากการทดสอบแบบกด*	เนื้อสัมผัสจากการประเมินทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา														
	MStick	Cohes1	Kernel	AdhesLip	Slick	Spring	StarchC	Hard	Cohes2	Chew	Cohes3	Rough	TPull	TPack	LParticle
ค่าคงที่	13.241	15.430	24.569	16.147	14.656	27.556	3.016	-6.708	25.762	-7.246	25.816	17.126	-9.768	2.235	14.525
C1	-0.051	-0.107	-0.064	-0.085	-0.076	-0.137	0.066	0.156	-0.082	0.329	-0.095	-0.032	0.267	0.055	0.083
C2	-0.078	-0.081	0.017	-0.080	-0.074	0.267	-0.073	0.038	0.405	0.032	-0.066	0.050	0.209	0.167	0.036
C3	-0.166	-0.131	0.039	-0.151	-0.132	-0.015	-0.110	0.257	-0.180	-0.029	-0.137	0.114	0.194	0.327	0.064
C4	-0.049	-0.105	-0.065	-0.083	-0.075	-0.142	0.067	0.190	-0.071	0.374	-0.092	-0.032	0.317	0.045	0.082
C5	0.024	-0.047	-0.081	-0.015	-0.016	-0.104	0.113	0.069	-0.004	0.129	-0.028	-0.077	0.151	0.120	0.054
C6	-0.158	-0.143	0.016	-0.158	-0.130	-0.071	-0.079	-0.103	-0.082	-0.091	-0.148	0.073	-0.065	-0.554	0.065
C7	0.016	-0.060	-0.088	-0.023	-0.025	-0.087	0.113	-0.045	-0.006	-0.361	-0.034	-0.073	0.179	0.499	0.063
C8	-0.160	-0.129	0.046	-0.147	-0.133	0.049	-0.127	0.427	0.012	0.654	-0.138	0.111	-0.074	0.348	0.060
C9	-0.157	-0.109	0.052	-0.138	-0.118	-0.024	-0.121	0.292	-0.148	0.246	-0.125	0.117	0.259	-0.053	0.046
C10	-0.162	-0.124	0.050	-0.146	-0.130	0.020	-0.127	0.380	-0.052	0.501	-0.135	0.115	0.059	0.193	0.055
C11	-0.138	-0.157	-0.029	-0.160	-0.136	-0.140	-0.012	-0.603	-0.299	-0.934	-0.151	0.028	-1.395	-0.914	0.083
RMSEC	0.235	0.517	0.394	0.290	0.515	0.194	0.208	0.189	0.212	0.219	0.164	0.314	0.294	0.165	0.215
RMSEP	0.267	0.577	0.467	0.320	0.577	0.229	0.227	0.241	0.252	0.295	0.185	0.347	0.394	0.215	0.245
RCal	0.912	0.773	0.015	0.883	0.669	0.353	0.535	0.856	0.451	0.817	0.779	0.394	0.545	0.449	0.232
RVal	0.870	0.720	-0.010	0.837	0.605	0.285	0.471	0.805	0.354	0.735	0.717	0.322	0.413	0.215	0.120
จำนวน PCs	3	3	2	3	3	3	3	4	3	4	3	4	4	6	4

หมายเหตุ * การทดสอบแบบกด (Compression test) ได้แก่ ความสูงของตัวอย่าง (C1), ความชันที่ 0-10%strain (C2), ค่าแรงสูงสุดที่หัววัดกดตัวอย่าง 90%strain (C3), ระยะทางหัววัดกดตัวอย่าง 90%strain (C4), ระยะทางที่หัววัดกลับมาจุดเริ่มต้น (C5), แรงสูงสุดในการถอนหัววัดออกจากฐาน (C6), ระยะทางที่หัววัดถอนแรงออกจากหัววัด (C7), พื้นที่ใต้กราฟตั้งแต่หัววัดเคลื่อนที่จนถึง 90%strain (C8), พื้นที่ใต้กราฟทางด้านหลังกราฟ(C9), พื้นที่ใต้กราฟทั้งหมดทางด้านบวก (C10) และพื้นที่ใต้กราฟทั้งหมดทางด้านลบ (C11)

ตารางผนวกที่ ๑๕ สัมประสิทธิ์การถดถอยแบบถ่วงน้ำหนักที่ได้จากการทดลองที่คำนวณเฉพาะตัวแปรของค่าจากการทดสอบแบบกด (Compression test) เพื่ออธิบายค่าเนื้อสัมผัสจากการประเมินทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา

ปัจจัยจากการทดสอบแบบกด*	เนื้อสัมผัสจากการประเมินทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา														
	MStick	Cohes1	Kernel	AdhesLip	Slick	Spring	StarchC	Hard	Cohes2	Chew	Cohes3	Rough	TPull	TPack	LParticle
ค่าคงที่	11.452	17.512	-	12.671	16.192	26.092	15.248	-7.511	25.519	-7.585	27.107	16.424	-6.700	9.594	13.646
C1	0.050	-0.135	-		-0.115	-0.125	-0.090	0.211	-0.080		-0.180		0.271		0.124
C2			-			0.401	0.000		0.395						
C3	-0.700	-0.165	-	-0.625	-0.199	0.012	0.243		-0.256	-1.144	-0.219	0.180	-0.193		
C4		-0.133	-			-0.132	0.000	0.254	-0.069	1.532			0.361		0.122
C5		-0.060	-			-0.096	-0.071	0.027	0.035		-0.068	-0.122	0.101	-1.916	
C6			-	0.357		-0.048	-0.134		0.000				0.989		
C7		-0.075	-			-0.070	0.135	-0.064	0.030	-1.080	-0.079	-0.115	0.259	2.663	0.094
C8		-0.163	-	-0.002	-0.201		-0.982	0.791	-0.059			0.176		0.758	0.089
C9		-0.138	-			-0.010	0.212	0.556	0.000		-0.196		0.230		
C10		-0.156	-		-0.196	0.061	-0.519		-0.129	2.096	-0.217	0.183		-0.147	0.082
C11	-0.374	-0.198	-	-0.808	-0.206	-0.131	0.825	-0.729	-0.336	-0.952	-0.260		-2.033	-1.259	0.124
RMSEC	0.190	0.550	-	0.198	0.496	0.190	0.163	0.181	0.212	0.165	0.154	0.308	0.278	0.152	0.215
RMSEP	0.222	0.498	-	0.244	0.548	0.229	0.210	0.218	0.243	0.212	0.175	0.336	0.365	0.199	0.242
RCal	0.942	0.737	-	0.945	0.694	0.375	0.714	0.868	0.452	0.896	0.805	0.420	0.592	0.535	0.236
RVal	0.932	0.789	-	0.928	0.642	0.305	0.621	0.839	0.415	0.856	0.775	0.360	0.477	0.352	0.137
จำนวน PCs	2	2	-	3	2	3	3	3	3	4	2	2	4	4	2

หมายเหตุ * การทดสอบแบบกด (Compression test) ได้แก่ ความสูงของตัวอย่าง (C1), ความชันที่ 0-10%strain (C2), ค่าแรงสูงสุดที่หัววัดกดตัวอย่าง 90%strain (C3), ระยะทางหัววัดกดตัวอย่าง 90%strain (C4), ระยะทางที่หัววัดกลับมาจุดเริ่มต้น (C5), แรงสูงสุดในการถอนหัววัดออกจากฐาน (C6), ระยะทางที่หัววัดถอนแรงออกจากหัววัด (C7), พื้นที่ใต้กราฟตั้งแต่หัววัดเคลื่อนที่จนถึง 90%strain (C8), พื้นที่ใต้กราฟทางด้านหลังกราฟ(C9), พื้นที่ใต้กราฟทั้งหมดทางด้านบวก (C10) และพื้นที่ใต้กราฟทั้งหมดทางด้านลบ (C11)

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	สิริกาญจน์ เกียรติธนะไพบุลย์
วัน เดือน ปี ที่เกิด	7 กรกฎาคม 2526
สถานที่เกิด	กรุงเทพฯ
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนอุดหนุนวิจัย มก. ปีงบประมาณ 2549 โครงการวิจัย รหัส ว-ท(ค)60.49