



# รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์



## โครงการวิจัย

สมบัติทางฟิสิกส์ เคมี และวิศวกรรมของข้าวไทย

โดย

นายสิริชัย ส่งเสริมพงษ์

ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กรกฎาคม 2553

สัญญาเลขที่ MRG5080447

## รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการสมบัตินานาชาติ เคมี และวิศวกรรมของข้าวไทย

นายสิริชัย ส่งเสริมพงษ์

ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

## บทคัดย่อ

รหัสโครงการ: MRG 5080447

ชื่อโครงการ: สมบัติทางฟิสิกส์ เคมี และวิศวกรรมของข้าวไทย

ชื่อนักวิจัย: นายสิริชัย ส่งเสริมพงษ์

สถาบัน: ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อีเมลล์: [fagisrsp@ku.ac.th](mailto:fagisrsp@ku.ac.th)

ระยะเวลาโครงการ: 2 กรกฎาคม 2550 – 2 กรกฎาคม 2552

สมบัติทางฟิสิกส์ เคมี และวิศวกรรมของข้าวไทยมีประโยชน์ในการออกแบบกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์จากข้าว การบรรจุ การออกแบบเครื่องจักร การควบคุมคุณภาพ การพัฒนาผลิตภัณฑ์ และการตั้งมาตรฐานข้าว งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์ เคมี และวิศวกรรมของข้าวไทยและหาดัชนีชี้วัดความเก่าของข้าวและศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างเก็บรักษาข้าว โดยในปีแรกศึกษาสมบัติของข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวสาร ที่เก็บเกี่ยวในปีพ.ศ. 2550/2551 จำนวน 28 พันธุ์ และ ปีที่สองศึกษาสมบัติของข้าวที่เก็บเกี่ยว ในปี พ.ศ. 2551/2552 จำนวน 24 พันธุ์

ข้าวเปลือกไทยมีความกว้าง 1.97 - 2.98 มม. ความหนา 1.67 - 2.11 มม. ความยาว 8.29 - 10.88 มม. ความหนาแน่นจริง 1,041.9-1,274.5 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความหนาแน่นปรากฏ 487 – 602 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความเป็นรูปพรุน ร้อยละ 42.66 - 57.99 ปริมาตร 62.83 – 87.00 ลูกบาศก์เซนติเมตร ต่อ 100 กรัม มุมกอง 34.40 – 40.50 มุมไหล 20.33 – 24.10 องศา โดยมีค่า  $L^*$  47.14 – 60.27  $a^*$  4.22 - 8.91  $b^*$  25.49 – 36.04 ความต้านทานกระแสไฟฟ้า 3.19 – 117.91 เมกกะโอห์ม ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก 1.2811 – 1.9116 ค่าการสูญเสียไดอิเล็กตริก 0.1274 – 0.2935 ค่าลอสมแทนเจนต์ 0.0995 – 0.2178

ข้าวกล้องไทยมีความกว้าง 1.67 – 2.66 มม. ความหนา 1.49 – 2.05 มม. ความยาว 6.18 – 9.99 มม. ความหนาแน่นจริง 1,133 – 1,457 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความหนาแน่นปรากฏ 748 – 824 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความเป็นรูปพรุน ร้อยละ 26.74-48.18 ปริมาตร 55.60 – 79.17 ลูกบาศก์เซนติเมตร ต่อ 100 กรัม มุมกอง 27.67 – 35.00 มุมไหล 19.00 – 22.10 องศา โดยมีค่า  $L^*$  36.78 – 69.54  $a^*$  0.89 – 15.53  $b^*$  2.92 – 23.86 ความชื้น 0.40 - 1.16 ความชื้นร้อยละ 11.05 – 12.90 โปรตีนร้อยละ 4.76 – 10.22 ไขมันร้อยละ 1.76 – 6.84 เส้นใยร้อยละ 0.211 – 0.416 เส้นใยร้อยละ 0.50 – 1.27 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 72.26 – 79.69 การนำความร้อนของเจลแป้งสุก 0.482 -0.953 วัตต์ต่อเมตรเคลวิน ความต้านทานความร้อนของเจลแป้งสุก 1.151 – 2.077 เมตรเคลวิน ต่อวัตต์ ความจุความร้อนของเจลแป้งสุก 3.328 – 5.237 เมกกะจูลต่อลูกบาศก์

เมตรเคลวิน สัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อนของเจลแป้งสุก 0.140 – 0.237 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที ความต้านทานไฟฟ้า 3.03 – 234.91 เมกกะโอห์ม ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก 2.2119 – 2.5870 ค่าการสูญเสียไดอิเล็กตริก 0.3628 – 0.4994 ค่าลอสมแทนเจนต์ 0.1467– 0.2066

ข้าวสารไทยมีความกว้าง 1.66 – 2.85 มม. ความหนา 1.48 - 2.03 มม. ความยาว 5.80 – 10.50 มม. ความหนาแน่นจริง 1,428 – 1,666 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความหนาแน่นปรากฏ 773 – 864 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความเป็นรูปพรุน ร้อยละ 43.45-51.15 ปริมาตร 49.17 – 69.67 ลูกบาศก์เซนติเมตร ต่อ 100 กรัม มุมกอง 22.73 – 34.33 มุมไหล 13.40 – 21.07 องศา โดยมีความ  $L^*$  69.65 – 83.91  $a^*$  -1.45 – 2.16  $b^*$  11.71 – 17.91 ความเลื่อมมัน 1.10 – 1.50 ข้าวเหนียวมีอุณหภูมิที่แป้งเริ่มสุก 66.45 – 70.20 องศาเซลเซียส มีความหนืดสูงสุด 2,894 – 3,532 เซนติพอยส์ ความหนืดลดลง 1,704 – 2,144 เซนติพอยส์ ความหนืดสุดท้าย 1,210 – 1,826 เซนติพอยส์ และ ค่าการกินตัว 235 – 438 เซนติพอยส์ ข้าวเจ้ามีอุณหภูมิที่แป้งเริ่มสุก 68.70 – 82.30 องศาเซลเซียส มีความหนืดสูงสุด 1,698 – 4,070 เซนติพอยส์ ความหนืดลดลง 309-2,199 เซนติพอยส์ ความหนืดสุดท้าย 2,630 – 5,044 เซนติพอยส์ และ ค่าการกินตัว 1,030- 2,683 เซนติพอยส์ ปริมาณของแข็งในน้ำข้าวร้อยละ 0.04 – 0.53 อัตราการยืดตัวของข้าวสุก 1.51 – 1.93 เท่า อัตราการขยายปริมาตรของข้าวสุก 2.29 – 3.50 เท่า การอุ้มน้ำของข้าวสุกร้อยละ 38.45 – 67.61 การสลายตัวในสารละลายต่าง 4 - 6 ความชื้นร้อยละ 11.90 – 13.65 โปรตีนร้อยละ 4.20 – 7.83 ไขมันร้อยละ 0.13 - 2.46 เกลือร้อยละ 0.118 – 0.294 เส้นใย ร้อยละ 0.14 – 0.64 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 75.38 – 82.12 ปริมาณแอมิโลส ร้อยละ 6.15 – 32.92 การนำความร้อนของเจลแป้งสุก 0.479 – 0.702 วัตต์ต่อเมตรเคลวิน ความต้านทานความร้อนของเจลแป้งสุก 1.448 – 2.095 เมตรเคลวินต่อวัตต์ ความจุความร้อนของเจล แป้งสุก 3.18 – 5.46 เมกกะจูลต่อลูกบาศก์เมตรเคลวิน สัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อนของเจลแป้งสุก 0.131 – 0.158 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที อุณหภูมิกลาสแทรนซิชันของข้าวสาร 22.45 - 82.94 องศาเซลเซียส ความต้านทานไฟฟ้า 5.12– 335.26 เมกกะโอห์ม ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก 2.1317 – 2.8396 ค่าการสูญเสียไดอิเล็กตริก 0.3331 – 0.4756 ค่าลอสมแทนเจนต์ 0.1547– 0.1836

สมบัติด้านความหนืดของแป้งในเดือวันที่ 1 2 3 และ 4 แปรผันไปตามอายุการเก็บ ข้าวที่เก็บไว้นานขึ้นส่วนใหญ่จะมีความหนืดสูงสุดและความหนืดสุดท้ายเพิ่มขึ้น ข้าวจะมีการยืดตัวยาวขึ้นตามระยะเวลาเก็บที่เพิ่มขึ้น ข้าวจะมีการขยายปริมาตรมากขึ้นตามระยะเวลาเก็บที่เพิ่มขึ้น ข้าวมีแนวโน้มที่จะดูดน้ำเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาเก็บที่เพิ่มขึ้น ปริมาณของแข็งในน้ำข้าวสุก มีแนวโน้มลดลงเมื่อเก็บข้าวนานขึ้น ค่าความแข็งของข้าวสุกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เก็บรักษา ความเหนียวของข้าวสุกมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาที่เก็บรักษา การสลายตัวในสารละลายต่างก่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาที่เก็บรักษา

คำหลัก: ข้าว, สมบัติ, ฟิสิกส์, เคมี, วิศวกรรม

## Abstracts

Physical chemical and engineering properties of Thai rice is valuable in the rice processing and packaging design, design of equipments, quality control, product development and setting the standard of rice. The objective of this research is to obtain the physical chemical and engineering properties of Thai rice and investigate the rice aging index and study the change of the properties during storage. For the first year, twenty eight rice varieties harvested in 2007/2008 were studied and for the second year, twenty four rice varieties harvested in 2008/2009 were studied.

For Thai paddy, the width of the paddy was in the range of 1.97 – 2.98 mm, the thickness 1.67 – 2.11 mm, the length 8.29 – 10.88 mm, true density 1,041.9 – 1,274.5 kg/m<sup>3</sup>, bulk density 487 – 602 kg/m<sup>3</sup>, porosity 42.66 – 57.99 %, volume per 100 g 62.83 – 87.00 cm<sup>3</sup>, angle of repose 34.40 – 40.50, angle of friction on stainless steel 20.33 – 24.10, color L\* 47.14 – 60.27 a\* 4.22 – 8.91 b\* 25.49 – 36.04, electrical resistance 3.19 – 117.91 Mohm, dielectric constant 1.2811 – 1.9116, dielectric loss factor 0.1274 – 0.2935 and loss tangent 0.0995 – 0.2178

For Thai brown rice, the width was in the range of 1.67 – 2.66 mm, the thickness 1.49 – 2.05 mm, the length 6.18 – 9.99 mm, true density 1,133 – 1,457 kg/m<sup>3</sup>, bulk density 748 – 824 kg/m<sup>3</sup>, porosity 26.74 – 48.18 %, volume per 100 g 55.60 – 79.17 cm<sup>3</sup>, angle of repose 27.67 – 35.00, angle of friction on stainless steel 19.00 – 22.10, color L\* 36.78 – 69.54 a\* 0.89 – 15.53 b\* 2.92 – 23.86, gloss 0.40 - 1.16, moisture 11.05 – 12.90 %, protein 4.76 – 10.22 %, lipid 1.76 – 6.84 %, ash 0.211 - 0.416 %, fiber 0.50 – 1.27 %, carbohydrate 72.26 – 79.69 %, thermal conductivity of gel 0.482 – 0.953 W/mK, thermal resistivity of gel 1.151 – 2.077 mk/W, volumetric specific heat of gel 3.328 – 5.237 MJ/m<sup>3</sup>K, thermal diffusivity of gel 0.140 – 0.237 mm<sup>2</sup>/s, electrical resistance 3.03 – 234.91 Mohm, dielectric constant 2.2119 – 2.5870, dielectric loss factor 0.3628 – 0.4994 and loss tangent 0.1467 – 0.2066

For Thai white rice, the width was in the range of 1.66 – 2.85 mm, thickness 1.48 – 2.03 mm, length 5.80 – 10.50 mm, true density 1,428 – 1,666 kg/m<sup>3</sup>, bulk density 773 – 864 kg/m<sup>3</sup>, porosity 43.45 – 51.15 %, volume per 100 g 49.17 – 69.67 cm<sup>3</sup>, angle of repose 22.73 – 34.33, angle of friction 13.40 – 21.07, color L\* 69.65 – 83.91 a\* -1.45 – 2.16 b\* 11.71 – 17.91, gloss 1.10 – 1.50. For sticky rice, gelatinization temperature 66.45 – 70.20 C, peak viscosity 2,894 – 3,532 cP, breakdown 1,704 - 2,144 cP, final viscosity 1,210 – 1,826 cP, and setback 235 – 438 cP. For non sticky rice, gelatinization temperature 68.70 – 82.30 C, peak viscosity 1,698 – 4,070 cP, breakdown 309 - 2,199 cP, final viscosity 2,630 – 5,044 cP, and setback 1,030 – 2,683 cP, total solid in boiling water 0.04 – 0.53 %, expansion ratio of cooked rice

in length 1.51 – 1.93, expansion volume of cooked rice 2.29 -3.50, water uptake 38.45 – 67.61, alkaline test 4 – 6, moisture 11.90 – 13.65 %, protein 4.20 – 7.83 %, lipid 0.13 – 2.46 %, ash 0.118 – 0.294 %, fiber 0.14 – 0.64 %, carbohydrate 75.38 – 82.12 %, amylose 6.15 – 32.92, thermal conductivity of gel 0.479 – 0.702 W/mK, thermal resistivity of gel 1.448 – 2.095 mk/W, volumetric specific heat of gel 3.18 – 5.46 MJ/m<sup>3</sup>K, thermal diffusivity of gel 0.131 – 0.158 mm<sup>2</sup>/s, glass transition temperature 22.45 – 82.94 C, electrical resistance 5.12 – 335.26 Mohm, dielectric constant 2.1317 – 2.8396, dielectric loss factor 0.3331 – 0.4756 and loss tangent 0.1547 – 0.1836.

Viscosity of flour gel changes during storage. The peak viscosity and final viscosity was increased. Elongation in length and the expansion volume were increased during storage. Water uptake was increased. The solid content in boiling water was decreased. The hardness of cooked rice was increased and the stickiness decreased. The alkaline test showed not much change during storage.

Keywords: Rice, Property, Physical, Chemical, Engineering



## สารบัญ

|                   |     |
|-------------------|-----|
| สารบัญ            | (1) |
| สารบัญตาราง       | (2) |
| สารบัญภาพ         | (6) |
| บทนำ              | 1   |
| วัตถุประสงค์      | 2   |
| การตรวจเอกสาร     | 3   |
| อุปกรณ์และวิธีการ | 10  |
| ผลและวิจารณ์      | 15  |
| สรุป              | 160 |
| เอกสารอ้างอิง     | 161 |
| ภาคผนวก           | 165 |

## สารบัญตาราง

| ตารางที่ |                                                         | หน้า |
|----------|---------------------------------------------------------|------|
| 1        | พันธุ์ข้าวและแหล่งที่ปลูก                               | 10   |
| 2        | การจำแนกข้าวออกเป็นกลุ่มตามปริมาณแอมิโลส                | 15   |
| 3        | ขนาดของข้าวเปลือก                                       | 18   |
| 4        | ขนาดของข้าวกล้อง                                        | 20   |
| 5        | ขนาดของข้าวสาร                                          | 22   |
| 6        | ความหนาแน่นจริง (True density)                          | 25   |
| 7        | ความหนาแน่นปรากฏ (Bulk density)                         | 27   |
| 8        | ความเป็นรูพรุน (Porosity)                               | 30   |
| 9        | ปริมาตร (Volume)                                        | 32   |
| 10       | มุมกอง (Angle of repose)                                | 34   |
| 11       | มุมไหล (Angle of friction)                              | 36   |
| 12       | ค่าสี L*                                                | 39   |
| 13       | ค่าสี a*                                                | 41   |
| 14       | ค่าสี b*                                                | 43   |
| 15       | ความเลื่อมมัน (Gloss)                                   | 45   |
| 16       | ความเลื่อมมันของข้าวทางการค้า                           | 46   |
| 17       | สมบัติทางด้านรีโอโลยี (Rheological Properties)          | 48   |
| 18       | ปริมาณของแข็งในน้ำข้าว (Solid content in boiling water) | 51   |
| 19       | อัตราการยืดตัวของข้าวสุก (Expansion ratio in length)    | 53   |
| 20       | อัตราการขยายปริมาตรของข้าวสุก (Volumetric expansion)    | 55   |
| 21       | การอุ้มน้ำของข้าวสุก (Water absorption)                 | 57   |
| 22       | เกณฑ์การให้คะแนนการสลายตัวของเมล็ดข้าวในสารละลายด่าง    | 59   |
| 23       | ค่าการสลายตัวของเมล็ดข้าวในสารละลายด่าง (Alkaline test) | 60   |

### สารบัญตาราง (ต่อ)

| ตารางที่ |                                                                | หน้า |
|----------|----------------------------------------------------------------|------|
| 24       | ปริมาณความชื้น                                                 | 63   |
| 25       | ปริมาณโปรตีน (Crude protein)                                   | 65   |
| 26       | ปริมาณไขมัน (Crude fat)                                        | 67   |
| 27       | ปริมาณเถ้า (Ash)                                               | 69   |
| 28       | ปริมาณเส้นใย (Crude fiber)                                     | 71   |
| 29       | ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)                              | 73   |
| 30       | การนำความร้อนของเจลแป็งสุก (Thermal conductivity)              | 76   |
| 31       | ความต้านทานความร้อนของเจลแป็งสุก (Thermal resistivity)         | 78   |
| 32       | ความจุความร้อนจำเพาะของเจลแป็งสุก (Volumetric Specific Heat)   | 80   |
| 33       | สัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อนของเจลแป็งสุก (Thermal diffusivity) | 82   |
| 34       | อุณหภูมิกลาสแทรนซิชันของข้าวสาร (Glass transition Temperature) | 84   |
| 35       | ความต้านทานไฟฟ้า (Electrical resistance)                       | 87   |
| 36       | ปริมาณแอมิโลส                                                  | 89   |
| 37       | ขนาดของข้าวเปลือก                                              | 91   |
| 38       | ขนาดของข้าวกล้อง                                               | 93   |
| 39       | ขนาดของข้าวสาร                                                 | 95   |
| 40       | ความหนาแน่นจริง (True density)                                 | 97   |
| 41       | ความหนาแน่นปรากฏ (Bulk density)                                | 99   |
| 42       | ความเป็นรูพรุน (Porosity)                                      | 101  |
| 43       | ปริมาตร (Volume)                                               | 103  |
| 44       | มุกกอง                                                         | 105  |
| 45       | มุกไหล                                                         | 108  |

### สารบัญตาราง (ต่อ)

| ตารางที่ |                                                                  | หน้า |
|----------|------------------------------------------------------------------|------|
| 46       | การเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด (RVA) เดือนที่ 1                       | 111  |
| 47       | การเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด (RVA) เดือนที่ 2                       | 113  |
| 48       | การเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด (RVA) เดือนที่ 3                       | 115  |
| 49       | การเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด (RVA) เดือนที่ 4                       | 117  |
| 50       | อัตราการยืดตัว (Expansion ratio)                                 | 120  |
| 51       | อัตราการขยายปริมาตร (Volumetric expansion)                       | 122  |
| 52       | การอุ้มน้ำของข้าวสุก (Water absorption)                          | 124  |
| 53       | ปริมาณของแข็งในน้ำข้าวสุก (Solid content in boiling water)       | 126  |
| 54       | ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุก (Textural Properties) ด้านความแข็ง   | 128  |
| 55       | ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุก (Textural Properties) ด้านความเหนียว | 130  |
| 56       | การสลายตัวในด่าง (Alkaline test)                                 | 131  |
| 57       | สมบัติไดอิเล็กตริกของข้าวเปลือก                                  | 133  |
| 58       | สมบัติไดอิเล็กตริกของข้าวกล้อง                                   | 135  |
| 59       | สมบัติไดอิเล็กตริกของข้าวสาร                                     | 137  |
| 60       | ปริมาณความชื้น                                                   | 139  |
| 61       | ปริมาณโปรตีน (Crude protein)                                     | 141  |
| 62       | ปริมาณไขมัน (Crude fat)                                          | 143  |
| 63       | ปริมาณเถ้า (Ash)                                                 | 145  |
| 64       | ปริมาณเส้นใย (Crude fiber)                                       | 147  |
| 65       | ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)                                | 149  |
| 66       | การนำความร้อน (Thermal conductivity)                             | 151  |
| 67       | ความต้านทานความร้อน (Thermal resistivity)                        | 153  |
| 68       | ความจุความร้อนจำเพาะ (Volumetric specific heat)                  | 155  |

## สารบัญตาราง (ต่อ)

| ตารางที่ |                                                   | หน้า |
|----------|---------------------------------------------------|------|
| 69       | สัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อน (Thermal diffusivity) | 157  |
| 70       | ความต้านทานไฟฟ้า (Electric resistance)            | 159  |

## สารบัญภาพ

| ภาพผนวกที่ |                                                         | หน้า |
|------------|---------------------------------------------------------|------|
| 1          | ปริมาณแอมิโลสและค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐาน      | 172  |
| 2          | อุปกรณ์ที่ใช้วัดมุมกอง (Angle of repose)                | 176  |
| 3          | อุปกรณ์ที่ใช้วัดมุมไหล (Angle of friction)              | 177  |
| 4          | ลักษณะกราฟที่ได้จากเครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว | 179  |
| 5          | สาธิตการวัดเนื้อสัมผัสของตัวอย่างข้าวสุก                | 181  |
| 6          | ตัวอย่างกราฟที่ได้จากการวัดเนื้อสัมผัสข้าวสุก           | 181  |
| 7          | สาธิตการวัดค่า สมบัติไดอิเล็กทริกของข้าว                | 184  |
| 8          | เครื่อง KD 2 Pro Thermal Analyzer                       | 185  |
| 9          | สาธิตการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้า                          | 188  |
| 10         | ข้าวเปลือกสันป่าตอง 1 กำลังขยาย 20X                     | 190  |
| 11         | ข้าวเปลือกสันป่าตองกำลังขยาย กำลังขยาย 100X             | 190  |
| 12         | ข้าวเปลือกกกข 10 กำลังขยาย 20X                          | 190  |
| 13         | ข้าวเปลือกกกข 10 กำลังขยาย 100X                         | 190  |
| 14         | ข้าวเปลือกกกข 8 กำลังขยาย 20X                           | 191  |
| 15         | ข้าวเปลือกกกข 8 กำลังขยาย 100X                          | 191  |
| 16         | ข้าวเปลือกเหนียวสันป่าตอง กำลังขยาย 20X                 | 191  |
| 17         | ข้าวเปลือกเหนียวสันป่าตอง กำลังขยาย 100X                | 191  |
| 18         | ข้าวเปลือกสกลนคร กำลังขยาย 20X                          | 192  |
| 19         | ข้าวเปลือกสกลนคร กำลังขยาย 100X                         | 192  |
| 20         | ข้าวเปลือกหางยี 71 กำลังขยาย 20X                        | 192  |
| 21         | ข้าวเปลือกหางยี 71 กำลังขยาย 100X                       | 192  |
| 22         | ข้าวเปลือกกกข 6 กำลังขยาย 20X                           | 193  |
| 23         | ข้าวเปลือกกกข 6 กำลังขยาย 100X                          | 193  |
| 24         | ข้าวเปลือกเหนียวอุบลราชธานี 2 กำลังขยาย 20X             | 193  |
| 25         | ข้าวเปลือกเหนียวอุบลราชธานี 2 กำลังขยาย 100X            | 193  |

### สารบัญภาพ (ต่อ)

|    |                                           |     |
|----|-------------------------------------------|-----|
| 26 | ข้าวเปลือกกกข 15 กำลังขยาย 20X            | 194 |
| 27 | ข้าวเปลือกกกข 15 กำลังขยาย 100X           | 194 |
| 28 | ข้าวเปลือกขาวดอกมะลิ 105 กำลังขยาย 20X    | 194 |
| 29 | ข้าวเปลือกขาวดอกมะลิ 105 กำลังขยาย 100X   | 194 |
| 30 | ข้าวเปลือกสังข์หยดพัทลุง กำลังขยาย 20X    | 195 |
| 31 | ข้าวเปลือกสังข์หยดพัทลุง กำลังขยาย 100X   | 195 |
| 32 | ข้าวเปลือกปทุมธานี 1 กำลังขยาย 20X        | 195 |
| 33 | ข้าวเปลือกปทุมธานี 1 กำลังขยาย 100X       | 195 |
| 34 | ข้าวเปลือกกกข 21 กำลังขยาย 20X            | 196 |
| 35 | ข้าวเปลือกกกข 21 กำลังขยาย 100X           | 196 |
| 36 | ข้าวเปลือกสุพรรณบุรี 2 กำลังขยาย 20X      | 196 |
| 37 | ข้าวเปลือกสุพรรณบุรี 2 กำลังขยาย 100X     | 196 |
| 38 | ข้าวเปลือกเล็บนกปัตตานี กำลังขยาย 20X     | 197 |
| 39 | ข้าวเปลือกเล็บนกปัตตานี กำลังขยาย 100X    | 197 |
| 40 | ข้าวเปลือกอยุธยา 1 กำลังขยาย 20X          | 197 |
| 41 | ข้าวเปลือกอยุธยา 1 กำลังขยาย 100X         | 197 |
| 42 | ข้าวเปลือกสุพรรณบุรี 60 กำลังขยาย 20X     | 198 |
| 43 | ข้าวเปลือกสุพรรณบุรี 60 กำลังขยาย 100X    | 198 |
| 44 | ข้าวเปลือกพิษณุโลก 3 กำลังขยาย 20X        | 198 |
| 45 | ข้าวเปลือกพิษณุโลก 3 กำลังขยาย 100X       | 198 |
| 46 | ข้าวเปลือกเหนียวพัทลุง กำลังขยาย 20X      | 199 |
| 47 | ข้าวเปลือกเหนียวพัทลุง กำลังขยาย 100X     | 199 |
| 48 | ข้าวเปลือกพิษณุโลก 2 กำลังขยาย 20X        | 199 |
| 49 | ข้าวเปลือกพิษณุโลก 2 กำลังขยาย 100X       | 199 |
| 50 | ข้าวเปลือกเหลืองประทิว 123 กำลังขยาย 20X  | 200 |
| 51 | ข้าวเปลือกเหลืองประทิว 123 กำลังขยาย 100X | 200 |

### สารบัญภาพ (ต่อ)

|    |                                             |     |
|----|---------------------------------------------|-----|
| 52 | ข้าวเปลือกชัยนาท 1 กำลังขยาย 20X            | 200 |
| 53 | ข้าวเปลือกชัยนาท 1 กำลังขยาย 100X           | 200 |
| 54 | ข้าวเปลือกปราจีนบุรี 2 กำลังขยาย 20X        | 201 |
| 55 | ข้าวเปลือกปราจีนบุรี 2 กำลังขยาย 100X       | 201 |
| 56 | ข้าวเปลือกสุพรรณบุรี 1 กำลังขยาย 20X        | 201 |
| 57 | ข้าวเปลือกสุพรรณบุรี 1 กำลังขยาย 100X       | 201 |
| 58 | ข้าวกล้องสันป่าตอง 1 กำลังขยาย 80X          | 202 |
| 59 | ข้าวกล้องสันป่าตอง 1 กำลังขยาย 100X         | 202 |
| 60 | ข้าวกล้อง กข 10 กำลังขยาย 80X               | 202 |
| 61 | ข้าวกล้อง กข 10 กำลังขยาย 100X              | 202 |
| 62 | ข้าวกล้อง กข 8 กำลังขยาย 80X                | 203 |
| 63 | ข้าวกล้อง กข 8 กำลังขยาย 100X               | 203 |
| 64 | ข้าวกล้องเหนียวสันป่าตอง กำลังขยาย 80X      | 203 |
| 65 | ข้าวกล้องเหนียวสันป่าตอง กำลังขยาย 100X     | 203 |
| 66 | ข้าวกล้องสกลนคร กำลังขยาย 80X               | 204 |
| 67 | ข้าวกล้องสกลนคร กำลังขยาย 100X              | 204 |
| 68 | ข้าวกล้องหางยี 71 กำลังขยาย 80X             | 204 |
| 69 | ข้าวกล้องหางยี 71 กำลังขยาย 100X            | 204 |
| 70 | ข้าวกล้องกข 6 กำลังขยาย 80X                 | 205 |
| 71 | ข้าวกล้องกข 6 กำลังขยาย 100X                | 205 |
| 72 | ข้าวกล้องเหนียวอุบลราชธานี 2 กำลังขยาย 80X  | 205 |
| 73 | ข้าวกล้องเหนียวอุบลราชธานี 2 กำลังขยาย 100X | 205 |
| 74 | ข้าวกล้อง กข 15 กำลังขยาย 80X               | 206 |
| 75 | ข้าวกล้อง กข 15 กำลังขยาย 100X              | 206 |

### สารบัญภาพ (ต่อ)

|     |                                        |     |
|-----|----------------------------------------|-----|
| 76  | ข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 กำลังขยาย 80X  | 206 |
| 77  | ข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 กำลังขยาย 100X | 206 |
| 78  | ข้าวกล้องปทุมธานี 1 กำลังขยาย 80X      | 207 |
| 79  | ข้าวกล้องปทุมธานี 1 กำลังขยาย 100X     | 207 |
| 80  | ข้าวกล้อง กข 21 กำลังขยาย 80X          | 207 |
| 81  | ข้าวกล้อง กข 21 กำลังขยาย 100X         | 207 |
| 82  | ข้าวกล้องสุพรรณบุรี 2 กำลังขยาย 80X    | 208 |
| 83  | ข้าวกล้องสุพรรณบุรี 2 กำลังขยาย 100X   | 208 |
| 84  | ข้าวกล้องสุพรรณบุรี 60 กำลังขยาย 80X   | 208 |
| 85  | ข้าวกล้องสุพรรณบุรี 60 กำลังขยาย 100X  | 208 |
| 86  | ข้าวกล้องพิษณุโลก 3 กำลังขยาย 80X      | 209 |
| 87  | ข้าวกล้องพิษณุโลก 3 กำลังขยาย 100X     | 209 |
| 88  | ข้าวกล้องขาวตาแห้ง 17 กำลังขยาย 80X    | 209 |
| 89  | ข้าวกล้องขาวตาแห้ง 17 กำลังขยาย 100X   | 209 |
| 90  | ข้าวกล้องพิษณุโลก 2 กำลังขยาย 80X      | 210 |
| 91  | ข้าวกล้องพิษณุโลก 2 กำลังขยาย 100X     | 210 |
| 92  | ข้าวกล้องชัยนาท 1 กำลังขยาย 80X        | 210 |
| 93  | ข้าวกล้องชัยนาท 1 กำลังขยาย 100X       | 210 |
| 94  | ข้าวกล้องสุพรรณบุรี 1 กำลังขยาย 80X    | 211 |
| 95  | ข้าวกล้องสุพรรณบุรี 1 กำลังขยาย 100X   | 211 |
| 96  | ข้าวสารสันป่าตอง 1 กำลังขยาย 80X       | 211 |
| 97  | ข้าวสารสันป่าตอง 1 กำลังขยาย 300X      | 211 |
| 98  | ข้าวสารกข 10 กำลังขยาย 80X             | 212 |
| 99  | ข้าวสารกข 10 กำลังขยาย 1000X           | 212 |
| 100 | ข้าวสารกข 8 กำลังขยาย 80X              | 212 |
| 101 | ข้าวสารกข 8 กำลังขยาย 300X             | 212 |

### สารบัญภาพ (ต่อ)

|     |                                           |     |
|-----|-------------------------------------------|-----|
| 102 | ข้าวสารเหนียวสันป่าตอง กำลังขยาย 80X      | 213 |
| 103 | ข้าวสารเหนียวสันป่าตอง กำลังขยาย 1000X    | 213 |
| 104 | ข้าวสารสกลนคร กำลังขยาย 80X               | 213 |
| 105 | ข้าวสารสกลนคร กำลังขยาย 300X              | 213 |
| 106 | ข้าวสารหางยี 71 กำลังขยาย 80X             | 214 |
| 107 | ข้าวสารหางยี 71 กำลังขยาย 1000X           | 214 |
| 108 | ข้าวสารเหนียวอุบลราชธานี 2 กำลังขยาย 80X  | 214 |
| 109 | ข้าวสารเหนียวอุบลราชธานี 2 กำลังขยาย 300X | 214 |
| 110 | ข้าวสาร กข 6 กำลังขยาย 80X                | 215 |
| 111 | ข้าวสาร กข 6 กำลังขยาย 1000X              | 215 |
| 112 | ข้าวสาร กข 15 กำลังขยาย 80X               | 215 |
| 113 | ข้าวสาร กข 15 กำลังขยาย 1000X             | 215 |
| 114 | ข้าวสารขาวดอกมะลิ 105 กำลังขยาย 80X       | 216 |
| 115 | ข้าวสารขาวดอกมะลิ 105 กำลังขยาย 300X      | 216 |
| 116 | ข้าวสารปทุมธานี 1 กำลังขยาย 80X           | 216 |
| 117 | ข้าวสารปทุมธานี 1 กำลังขยาย 1000X         | 216 |
| 118 | ข้าวสาร กข 21 กำลังขยาย 80X               | 217 |
| 119 | ข้าวสาร กข 21 กำลังขยาย 1000X             | 217 |
| 120 | ข้าวสารสุพรรณบุรี 2 กำลังขยาย 80X         | 217 |
| 121 | ข้าวสารสุพรรณบุรี 2 กำลังขยาย 1000X       | 217 |
| 122 | ข้าวสารสุพรรณบุรี 60 กำลังขยาย 80X        | 218 |
| 123 | ข้าวสารสุพรรณบุรี 60 กำลังขยาย 1000X      | 218 |
| 124 | ข้าวสารสุพรรณบุรี 2 กำลังขยาย 80X         | 218 |
| 125 | ข้าวสารสุพรรณบุรี 2 กำลังขยาย 1000X       | 218 |
| 126 | ข้าวสารพิษณุโลก 3 กำลังขยาย 80X           | 219 |
| 127 | ข้าวสารพิษณุโลก 3 กำลังขยาย 300X          | 219 |

### สารบัญภาพ (ต่อ)

|     |                                     |     |
|-----|-------------------------------------|-----|
| 128 | ข้าวสารขาวตาแห้ง 17 กำลังขยาย 80X   | 219 |
| 129 | ข้าวสารขาวตาแห้ง 17 กำลังขยาย 300X  | 219 |
| 130 | ข้าวสารพิษณุโลก 2 กำลังขยาย 80X     | 220 |
| 131 | ข้าวสารพิษณุโลก 2 กำลังขยาย 1000X   | 220 |
| 132 | ข้าวสารชัยนาท 1 กำลังขยาย 80X       | 220 |
| 133 | ข้าวสารชัยนาท 1 กำลังขยาย 1000X     | 220 |
| 134 | ข้าวสารสุพรรณบุรี 1 กำลังขยาย 80X   | 221 |
| 135 | ข้าวสารสุพรรณบุรี 1 กำลังขยาย 1000X | 221 |

## สมบัติทางฟิสิกส์ เคมี และวิศวกรรมของข้าวไทย

### Physical Chemical and Engineering Properties of Thai Rice

#### บทนำ

ข้าวเป็นอาหารหลักที่สำคัญของชาวเอเชีย และของโลก ประเทศไทยสามารถผลิตข้าวเพียงพอ เพื่อการบริโภคในประเทศ และมีการส่งออกไปยังต่างประเทศในปริมาณ 10.2 ล้านตันทำรายได้เข้าประเทศเป็นมูลค่า 203,250 ล้านบาท ในปี พ.ศ. 2551 (สถาบันอาหาร, 2552)

การวิจัยสมบัติทางฟิสิกส์ เคมี และวิศวกรรมของข้าวไทย ได้แก่ สมบัติทางฟิสิกส์ สมบัติทางกล สมบัติทางความร้อน สมบัติด้านสี สมบัติทางไฟฟ้า สมบัติไดอิเล็กตริก และสมบัติด้านเคมี จะเป็นประโยชน์ต่อการออกแบบกระบวนการผลิตอาหาร การควบคุมคุณภาพวัตถุดิบ ผลผลิตขั้นระหว่างการผลิต และผลิตภัณฑ์สุดท้าย การวัดลักษณะทางประสาทสัมผัสและการพัฒนาผลิตภัณฑ์ รวมทั้งการออกแบบเครื่องจักรในการผลิตอาหาร การออกแบบบรรจุภัณฑ์ การคัดเลือกวัสดุบรรจุภัณฑ์ เครื่องจักรบรรจุ และกระบวนการบรรจุ รวมถึง การวางแผนโรงงาน นอกจากนี้ยังมีประโยชน์ในการตั้งมาตรฐานข้าวอีกด้วย

สมบัติทางฟิสิกส์ ได้แก่ ขนาด ความหนาแน่นจริง ความหนาแน่นปรากฏ ความเป็นรูพรุน ปริมาตรมูกอง และมูกอนไหล สมบัติทางกล ได้แก่ สมบัติด้านรีโอโลยี สมบัติทางความร้อน ได้แก่ ความจุความร้อนจำเพาะ สัมประสิทธิ์การนำความร้อน สัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อน อุณหภูมิกลาสทรานซิชัน สมบัติด้านแสง ได้แก่ สีและความเลื่อมมัน สมบัติทางไฟฟ้า ได้แก่ การต้านทานไฟฟ้า การนำไฟฟ้า ความจุไฟฟ้า สมบัติไดอิเล็กตริก ได้แก่ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก ค่าการสูญเสียไดอิเล็กตริก ความลึกของการแทรกผ่าน สมบัติทางเคมี ได้แก่ ปริมาณแอมิโลส และองค์ประกอบทางเคมี ซึ่งเกี่ยวข้องกับการนำไปใช้ประโยชน์ในการแปรรูปผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ

ข้อมูลสมบัติทางฟิสิกส์ เคมี และวิศวกรรม มีการตรวจสอบกันบ้างในกลุ่มนักวิจัยด้านข้าวของกรมวิชาการเกษตร และมหาวิทยาลัยต่าง ๆ และมีการตีพิมพ์ข้อมูลสมบัติพื้นฐานเหล่านี้้อยมาก ดังนั้นงานวิจัยนี้คาดหวังว่า จะได้ข้อมูล ครบทุกด้าน และสามารถตีพิมพ์ผลการตรวจสอบเพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการอ้างอิง และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในงานที่กล่าวมาข้างต้น

นอกจากนี้ ข้าวมีการเปลี่ยนแปลงสมบัติในระหว่างการเก็บรักษา ในงานวิจัยนี้สนใจศึกษาดัชนีชี้วัดความเก่าของข้าว โดยได้ศึกษาสมบัติต่างๆ จำนวน 8 ดัชนีเพื่อใช้ในการเร่งความเก่าของข้าวต่อไปในอนาคต

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อตรวจสอบสมบัติทางฟิสิกส์ เคมี และวิศวกรรมของข้าวไทย
2. เพื่อหาดัชนีชี้วัดความเก่าของข้าว และศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างเก็บรักษาข้าว

## การตรวจเอกสาร

ข้าวเป็นอาหารหลักที่ประชากรมากกว่าครึ่งของประชากรทั่วโลกบริโภค จนมีคำกล่าวว่าข้าวคือชีวิต ข้าวไทยผูกพันกับวิถีชีวิต ความเชื่อ ประเพณี วัฒนธรรม และความเป็นอยู่ของคนไทยมาตั้งแต่โบราณกาล ประเทศไทยส่งข้าวไปขายต่างประเทศ และเลี้ยงชาวโลกมาตั้งแต่สมัยโบราณ และประเทศไทยเป็นผู้นำในการส่งออกข้าวอันดับหนึ่งของโลกมานาน 30 ปี และนำเงินตราเข้าประเทศได้มาก ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจอันดับหนึ่งของประเทศและมีมูลค่าสูงที่สุด (งามชื่น, 2546 และ อรอนงค์, 2547)

งามชื่น (2546) ศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์ของเมล็ดข้าวที่ปลูกในแหล่งต่างๆ ฤดูนาปี 2542 จำนวน 32 พันธุ์ ลักษณะทางฟิสิกส์ที่ศึกษาได้แก่ ขนาดความยาว ความกว้าง ความหนา อัตราส่วนความยาวต่อความกว้าง คะแนนท้องไข และ งามชื่น(2541) ศึกษาคุณภาพการหุงต้มโดยจำแนกตามแอมิโลสของข้าวสาร 20 พันธุ์ ทั้งข้าวเหนียวและข้าวเจ้า และศึกษาอุณหภูมิแป้งสุกและความคงตัวของแป้งสุก นอกจากนี้ งามชื่น(2546) ยังได้ทำการศึกษาคุณภาพทางฟิสิกส์และเคมีของแป้งที่เกี่ยวกับคุณภาพข้าวสุกของข้าว 31 พันธุ์ในปี 2542 ได้แก่ความชื้น แอมิโลส โปรตีน ความคงตัวของแป้งสุก การสลายเมล็ดในด่าง อัตราการยืดตัวของเมล็ด ระยะเวลาในการต้มเมล็ดข้าวให้สุก และค่าความหนืดโดยเครื่องบราเบนเดอร์ ข้าวไทยคุณภาพดีต้องเป็นข้าวเมล็ดยาว คุณภาพการบริโภคมีหลากหลาย แยกเป็นข้าวเหนียวและข้าวเจ้า และแยกตามคุณสมบัติของข้าวสวยเช่นข้าวแข็ง ข้าวอ่อน และข้าวนุ่ม

รุ่งนภาและคณะ (2546) ศึกษาคุณสมบัติของแป้งข้าวพันธุ์ต่างๆในประเทศไทยเพื่อเป็นกลยุทธ์ในการสร้างผลิตภัณฑ์มูลค่าเพิ่ม โดยศึกษาสมบัติทางเคมี ฟิสิกส์และหน้าที่ของสตาร์ช และ แป้งของข้าว 16 พันธุ์ ทั้งข้าวเหนียวและข้าวเจ้า พบว่าสตาร์ชของข้าวทุกพันธุ์มีขนาดและรูปร่างของเม็ดไม่แตกต่างกันมาก ในช่วง 3 ถึง 12 ไมโครเมตร โครงสร้างมีหลายเหลี่ยม นอกจากนี้ยังได้วิเคราะห์ปริมาณแอมิโลสด้วยวิธีการต่างๆ และศึกษาโครงสร้างของแอมิโลเพกทิน ศึกษาโครงสร้างผลึกของสตาร์ชและศึกษาสมบัติความหนืด การเกิดเจลลาทีน เซชันและเนื้อสัมผัส

ลัดดาวัลย์ (2550) ระบุพันธุ์ข้าวเหนียวในประเทศไทยมี 16 พันธุ์ และแสดงคุณสมบัติทางฟิสิกส์ และเคมีของข้าวเหนียวพันธุ์ต่างๆ 14 พันธุ์ โดยจำแนกปริมาณแอมิโลส, ค่าการละลายในด่าง, swelling power, %soluble amylose คุณค่าทางโภชนาการของข้าวเหนียว ข้าวกล้อง และข้าวสาร

### คุณภาพข้าว (กรรมกรข้าว, มปป)

คุณภาพข้าวแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่ คุณภาพการสี คุณภาพการหุงต้ม รับประทาน และการแปรรูป คุณภาพทางด้านโภชนาการ และ คุณภาพตามมาตรฐานซื้อขาย

คุณภาพทั้ง 4 มีความสำคัญแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ ตัวอย่างเช่น ข้าวที่มีคุณภาพการสีดี ได้ข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวสูง หรือในด้านคุณภาพการหุงต้มรับประทาน และการแปรรูป ข้าวสุกที่ได้อาจมีลักษณะแตกต่างกัน ได้แก่ ข้าวสุกนุ่มและเหนียว และข้าวสุกร่วน เป็นต้น

คุณภาพข้าวเกี่ยวข้องกับลักษณะทางพันธุกรรมและสภาพแวดล้อม ดังนั้นการพัฒนาพันธุ์ข้าวนอกจากจะคำนึงถึงผลผลิตที่สูงแล้วควรมีคุณภาพการสีและคุณภาพการหุงต้มที่ดีด้วย การแข่งขันการค้าขายในตลาดโลกการกำหนดมาตรฐานข้าวเพื่อการส่งออกข้าวมีการใช้คุณสมบัติ เมล็ดทางฟิสิกส์ เพื่อใช้จำแนกคุณภาพของข้าวเนื่องจากตรวจสอบได้รวดเร็ว มาตรการที่ใช้สำหรับประเมินราคาข้าวเปลือกและข้าวสารล้วนเป็นลักษณะที่มองเห็นด้วยสายตา หรือ ชั่ง ตวง วัด

### ลักษณะทางฟิสิกส์ของข้าวที่ใช้ในการประเมินคุณภาพ (กรรมกรข้าว, มปป)

**น้ำหนักเมล็ด (Grain weight)** เป็นลักษณะที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับพันธุกรรม และ แปรรูปได้ตามสภาพแวดล้อม เช่น ชนิดของดิน การใส่ปุ๋ย ความชื้น และสภาพภูมิอากาศ การตรวจสอบน้ำหนักข้าวเปลือกจำนวน 100 เมล็ด ของข้าวพันธุ์ไทย จำนวน 344 พันธุ์ พบว่ามีน้ำหนักแปรปรวนอยู่ระหว่าง 1.62-4.17 กรัม การประเมินน้ำหนักข้าวทำได้ 2 วิธี คือ ใช้อัตราส่วนน้ำหนักต่อปริมาตร ประเมินเป็น กรัมต่อลิตร หรือ กิโลกรัมต่อถัง และอีกวิธีคือ ใช้อัตราส่วนน้ำหนักต่อเมล็ด ซึ่งนิยมใช้น้ำหนักต่อ 100 เมล็ด หรือ น้ำหนัก ต่อ 1,000 เมล็ด

**สีของข้าวเปลือก (Hull color)** เป็นลักษณะประจำพันธุ์ จะมีสีขาว (white) สีฟาง (straw) สีนํ้าตาลอ่อนถึงเข้ม (light to dark brown) ร่องสีนํ้าตาล (brown furrow) สีกระสีนํ้าตาล (brown spot) สีนํ้าตาลแดง (reddish brown) สีม่วง (purple) และสีดำ (black) สีเปลือกเมล็ดข้าวมีผลต่อสีของข้าวสารที่นึ่งแล้ว กล่าวคือ เมล็ดข้าวเปลือกที่มีสีเข้ม ข้าวสารนึ่งก็จะมีสีเข้มขึ้น

**สีของข้าวกล้อง (Pericarp color)** ข้าวกล้องมีหลายสี เช่น ขาว แดง นํ้าตาล และสีม่วงถึงเกือบดำ ข้าวกล้องที่มีสีเข้มต้องใช้เวลาชั้รนาน และไม่เป็นที่ต้องการของตลาด ซึ่งตรงกันข้ามกับข้าวกล้องสีอ่อน จะเป็นที่ต้องการของตลาด

**ขนาดรูปร่างเมล็ด (Grain dimension)** ประกอบด้วย ความยาว (length) ความกว้าง (width) ความหนา (thickness) และรูปร่างของเมล็ด (shape) ขนาดรูปร่างของเมล็ดจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับพันธุ์ และสภาพพื้นที่ปลูก การจำแนกความยาวของเมล็ดข้าวดังนี้

|         |                  |
|---------|------------------|
| ยาวมาก  | ยาวกว่า 7.5 มม.  |
| ยาว     | 6.6 - 7.5 มม.    |
| ปานกลาง | 5.5 - 6.6 มม.    |
| สั้น    | สั้นกว่า 5.5 มม. |

รูปร่างเมล็ดจำแนกโดยใช้สัดส่วนความยาว/ความกว้าง (L/W) ได้ดังนี้

|          |              |
|----------|--------------|
| เรียวยาว | มากกว่า 3.0  |
| ปานกลาง  | 2.0 - 3.0    |
| ป้อม     | น้อยกว่า 2.0 |

**ลักษณะท้องไข่ (Chalkiness)** ท้องไข่ในเมล็ดข้าว เกิดจากการจับตัวกันอย่างหลวมๆ ของเม็ดแป้ง (starch granule) กับโปรตีน (protein body) ในส่วนที่เป็นแป้งของเมล็ด (endosperm) มีลักษณะขุนขาว ข้าวท้องไข่มีชื่อเรียกต่างกัน เช่น ข้าวท้องปลาชิว ข้าวท้องขาว หรือชอล์กก็่ ท้องไข่ในเมล็ดข้าว จำแนกได้ 3 ชนิด คือ

(1) white center คือ ท้องไข่ที่เกิดขึ้นตอนกลางของส่วนที่เป็นแป้งในเมล็ด

(2) white belly คือ ท้องไข่ที่เกิดขึ้นที่ด้านข้างหรือด้านท้องของเมล็ดด้านเดียวกับคัพพะ (embryo)

(3) white back คือ ท้องไข่ที่เกิดขึ้นที่ด้านหลังของเมล็ด ด้านตรงข้ามกับคัพพะ ข้าวไทยเป็นท้องไข่น้อย ยกเว้นข้าวขึ้นน้ำ ส่วนใหญ่มักเป็นชนิด white belly ส่วน white center และ white back มีน้อย ลักษณะท้องไข่ในเมล็ดข้าว ไม่เป็นที่ต้องการของตลาด ข้าวที่เป็นท้องไข่ เมื่อนำไปสีจะมีข้าวหักมาก ข้าวที่มีมาตรฐานสูงนั้น กำหนดให้มีท้องไข่ได้ไม่เกินร้อยละ 3.0

**ความขาวของข้าวสาร (Milled rice whiteness)** ข้าวขัดสีจนเป็นข้าวสารมีสีขาว ความขาวของข้าวสารจะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ระดับการสี องค์ประกอบทางเคมี และเวลาการเก็บรักษา ข้าวเปลือก ความขาวของข้าวสารจำแนกโดยระดับการสีจะเป็นตัวกำหนดชั้นของข้าว เช่น ข้าว 100% จะต้องมีการสีเป็นสี่ดีพิเศษ หมายถึงการสีเอาส่วนรำออกจนหมด จะได้ข้าวมีลักษณะใสเป็นพิเศษ

**ความใสของข้าวสาร (Grain translucency)** หมายถึง ความทึบแสงหรือความโปร่งใสของเนื้อข้าวสาร สังเกตความแตกต่างได้ในเมล็ดข้าวเจ้า เกิดจากพันธุ์ข้าวและสภาพพื้นที่ปลูก เช่น ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ปลูกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือจะมีเมล็ดใสมากกว่าข้าวที่ปลูกในภาคกลาง

จากลักษณะทางกายภาพดังกล่าวข้างต้น สามารถนำมาใช้ในการพิจารณาคุณภาพการสีของข้าว และคุณภาพการซื้อขายข้าว ดังนี้คือ

### คุณภาพการสี (Milling quality) (กรรมการข้าว, มปป)

คุณภาพการสีของข้าวประเมินได้จากปริมาณข้าวเต็มเมล็ด และต้นข้าวสูง มีข้าวหักน้อย ดังนั้น การประเมินคุณภาพการสีของข้าวจึงเกี่ยวข้องกับการสีข้าว หมายถึง การทำให้เปลือก รำ และคัพพะออกจากเมล็ดข้าว การสีข้าวประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ดังนี้คือ

1.การทำความสะอาด (Cleaning) เพื่อกำจัดระแเง่ ใบข้าว เมล็ดลีบ เมล็ดวัชพืช และสิ่งเจือปนอื่นๆ ออกจากข้าวเปลือก

2.การกะเทาะ (Shelling หรือ Hulling) เป็นการทำให้เปลือกข้าวหลุดออกจากเมล็ด สิ่งที่ได้อีกคือ แกลบ และข้าวกล้อง

3.การขัดขาว (Whitening) โดยการทำให้รำหลุดจากเมล็ดข้าวกล้อง ซึ่งสิ่งที่ได้คือ รำและข้าวสาร

4.การคัดแยก (Grading) เพื่อแยกข้าวเต็มเมล็ด ต้นข้าว และข้าวหัก ออกจากกัน

คุณภาพการสีข้าวจะแปรปรวนมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยดังต่อไปนี้

1.พันธุ์ คุณภาพการสีข้าวขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว เช่น พันธุ์ที่มีขนาดเมล็ดยาวมีท้องไข่มาก จะให้ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวต่ำ หรือพันธุ์เปลือกบางสีอ่อน เมื่อนำไปสีจะให้ข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวสูง

2.การปฏิบัติดูแลก่อนเก็บเกี่ยว ให้ระบายน้ำออกจากแปลงนา ก่อนเก็บเกี่ยว 7-10 วัน เพื่อให้เมล็ดข้าวสุกแก่อย่างสม่ำเสมอต่อการเก็บเกี่ยว เมล็ดข้าวแห้งสม่ำเสมอ นำไปสีจะได้ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวสูง

3.ระยะเวลาและวิธีการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม การเก็บเกี่ยวข้าวเร็วหรือช้าเกินไปจะทำให้ข้าวมีคุณภาพการสีต่ำ ควรกระทำหลังจากข้าวออกดอกแล้วประมาณ 28-30 วัน ขณะที่เมล็ดมีความชื้นประมาณ 22-26% การเก็บเกี่ยวในระยะนี้จะได้น้ำหนักเมล็ดดี ปริมาณมาก และคุณภาพการสีดี

4.การตากข้าว คือการลดความชื้นในเมล็ดอยู่ที่ 14% เมื่อนำไปสีจะทำให้ข้าวมีคุณภาพการสีสูงและเก็บรักษาไว้ได้นาน เสื่อมคุณภาพช้า

5.การนวดข้าว อาจทำให้เกิดรอยร้าวในเมล็ดข้าวจะมีผลต่อคุณภาพการสี

6.การเก็บรักษา การเสื่อมคุณภาพสาเหตุ เกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อรา ทำให้เกิดข้าวเมล็ดเหืองหรือเมล็ดเสีย ซึ่งมีผลต่อคุณภาพการสี จะได้ข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวต่ำลง

7.กระบวนการขัดสี ขั้นตอนสำคัญในการสีข้าวที่มีผลต่อคุณภาพการสี เริ่มจาก การกะเทาะเปลือกและการขัดขาว ใน 2 ขั้นตอนนี้ ข้าวจะหักมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ

7.1 การตั้งระยะห่างระหว่างลูกยางหรือหินกากเพชรในเครื่องกะเทาะและระหว่างหินกากเพชรกับแท่นยางหรือแท่งเหล็กในเครื่องขัดขาว ถ้าตั้งชิดเกินไปข้าวจะหักมากขึ้น

7.2 อัตราการหมุนของลูกยางหรือหินกากเพชร การหมุนเร็วข้าวจะหักมาก

7.3 อัตราการไหลของข้าวสู่เครื่องกะเทาะ หรือเครื่องขัด อัตราการไหลสูงข้าวจะหักมาก

7.4 ระยะเวลาในการขัด หากขัดนานเกินไปข้าวจะหักมาก

### คุณภาพในการซื้อขาย (กรรมกรข้าว, มปป)

ปัจจัยที่กำหนดราคาข้าว ได้แก่

1.ความชื้น ข้าวที่มีความชื้น 13-15% จะมีราคาสูงกว่าข้าวที่มีความชื้นสูง

2.ลักษณะทางฟิสิกส์ของข้าว การกะเทาะและการขัดสี เพื่อประเมินสีข้าวกล้อง ท้องไข่ ความใสขุ่นของเมล็ด ปริมาณข้าวแดง ข้าวเหลือง ข้าวเสีย หรือข้าวชนิดอื่นปะปน เป็นต้น

3.คุณภาพการสี การประเมินการแปรสภาพข้าวเปลือกเป็นข้าวสาร ข้าวเต็มเมล็ด ต้นข้าว ข้าวหัก และปลายข้าว โรงสีจะตั้งเกณฑ์ขั้นต่ำของเมล็ดข้าวจากการขัดสีเมล็ดข้าวที่รับซื้อ หากข้าวที่เกษตรกรนำมาจำหน่ายมีผลการขัดสีต่ำกว่าเกณฑ์ จะขายได้ราคาต่ำ

4.ประเภทของข้าว จากปัจจัยต่าง ๆ ที่กำหนดราคาข้าวดังกล่าวแล้ว การซื้อขายยังมีการแบ่งชนิดของข้าวเป็นชั้น คือ ข้าว 100% ข้าว 5% และข้าว 10%

งานทั้งหมดนี้เป็นองค์ความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวกับข้าวไทยและแป้งข้าว การศึกษาสมบัติอื่นๆเพิ่มเติมและสมบัติอย่างเดียวกันในฤดูกาลเพาะปลูกที่เป็นปัจจุบันจึงมีความสำคัญและจำเป็น และทำให้เข้าใจสมบัติของข้าวไทยได้อย่างลึกซึ้งยิ่งขึ้น เพื่อให้เกิดการแปรรูปข้าวเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มอย่างยั่งยืนและมีประสิทธิภาพต่อไป

ในต่างประเทศทั้งสหรัฐอเมริกา ฟิลิปปินส์ ญี่ปุ่น ออสเตรเลีย สาธารณรัฐประชาชนจีน อินเดีย และประเทศอื่นๆที่ปลูกข้าวจะมีการวิจัยสมบัติของข้าวในประเทศนั้นๆ ข้าวที่มีจำแนกไว้ตามความยาวได้แก่ เมล็ดยาวมาก เมล็ดยาว เมล็ดปานกลาง และเมล็ดสั้น จำแนกตามรูปร่างได้แก่ข้าวเมล็ดเรียวยาว ปานกลาง ป้อม และกลม งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสมบัติต่างๆของข้าวมีดังนี้

Tan and Corke (2002) วิเคราะห์สมบัติทางฟิสิกส์และเคมีของข้าวเจ้า 63 พันธุ์ เพื่อหาดัชนีชี้วัดคุณภาพข้าว ซึ่งมีการตรวจวิเคราะห์ปริมาณแอมิโลส ความหนืดของเจล ปริมาณโปรตีน และอื่นๆรวมทั้งการใช้เครื่อง Differential Scanning Calorimeter, Rapid Visco Analyser และเครื่องมือวัดเนื้อสัมผัสของข้าว จากนั้นหาความสัมพันธ์ของค่าดัชนี ค่าแอมิโลสของข้าวมีค่าตั้งแต่ 6.3-28.2 % อุณหภูมิที่เกิดเจลในเซชัน 65.8-83.0 องศาเซลเซียส ปริมาณโปรตีน 7.2-13.5 % Peak viscosity 92-319 RVU และความแข็งของเมล็ดข้าว 2.5-24.4 กรัม ความยาวเมล็ด 4.8-8.4 มิลลิเมตร ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติต่างๆและเนื้อสัมผัสของข้าวได้แก่ปริมาณแอมิโลส อุณหภูมิที่เกิดเจลในเซชัน และรูปร่างของเมล็ดข้าว ข้อมูลเหล่านี้มีประโยชน์สำหรับการปรับปรุงพันธุ์ข้าวเพื่อให้ได้คุณภาพตามต้องการ

Yoenyongbuddhagal and Noomhorm (2002) ศึกษาผลของสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีของข้าวไทยที่มีปริมาณแอมิโลสสูงต่อคุณภาพของเส้นหมี่ โดยวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี สมบัติทางความหนืด สมบัติ

ทางความร้อนและเนื้อสัมผัสของเจลของข้าวไทย 6 พันธุ์ นอกจากนี้ยังได้หาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของข้าวและคุณภาพของเส้นหมี่ ค่าความแข็งของเจลมีค่าสหสัมพันธ์กับคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสและการต้มเส้นหมี่และเป็นดัชนีที่ใช้ทำนายคุณภาพเส้นหมี่ได้

Suwansri and Meullenet (2004) ศึกษาสมบัติของข้าวหอมที่ปลูกในสหรัฐอเมริกา 3 พันธุ์ และข้าวหอมที่นำเข้า 12 พันธุ์ โดยศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์ เคมี และความร้อนของเมล็ดข้าว แป้งและสตราซ์ ปริมาณแอมิโลส ชนิดของเจล อัตราส่วนความแข็งและความเหนียว ปริมาณไขมันที่ผิว ปริมาณโปรตีน และ สมบัติของเจลมีผลต่อคุณภาพการหุงต้มและการรับประทานและลักษณะปรากฏของข้าว และใช้เป็นดัชนีแยกความแตกต่างของพันธุ์ข้าวที่นำเข้าและปลูกในสหรัฐอเมริกา การศึกษานี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ผลิต ผู้นำเข้าและนักปรับปรุงพันธุ์

Juliano (1985) กล่าวว่าองค์ความรู้ในด้านองค์ประกอบของข้าวและส่วนอื่นๆของข้าวเพียงอย่างเดียวยังไม่เพียงพอ สิ่งสำคัญคือการเข้าใจโครงสร้างของข้าว องค์ประกอบและสมบัติเชิงหน้าที่ของข้าวจะทำให้สามารถใช้ประโยชน์จากข้าวได้ดีมากยิ่งขึ้น เนื่องจากในข้าวแต่ละพันธุ์มีสมบัติที่ไม่เหมือนกันจึงจำเป็นต้องรู้สมบัติต่างๆของข้าวได้แก่สมบัติทางกายภาพ เคมี ความร้อนและอื่นๆ แอมิโลสใช้เป็นเกณฑ์ในการจำแนกข้าวออกเป็น 5 กลุ่มได้แก่ ข้าวเหนียว มีแอมิโลส 0-2 % ข้าวแอมิโลสต่ำมาก มีแอมิโลส 2-9 % ข้าวแอมิโลสต่ำ มีแอมิโลส 10-20 % ข้าวแอมิโลส ปานกลาง มีแอมิโลส 20-25 % ข้าวแอมิโลสสูง มีแอมิโลส 25-33 % ค่าการสลายตัวในค่าสหสัมพันธ์กับอุณหภูมิในการเกิดเจลในเซชัน การใช้เครื่อง RVA สามารถบอกการเปลี่ยนแปลงความหนืดของเพสต์และเจลแป้ง ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติทางความหนืดเหล่านี้คือพันธุ์ข้าว ความเก่าของข้าวและระดับการขัดสีซึ่งไขมันมีบทบาทต่อการเจลาติไนเซชันของแป้ง คุณภาพของข้าวที่สำคัญต่อเกษตรกรได้แก่เปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ด ซึ่งขึ้นกับหลายปัจจัยได้แก่พันธุ์ ความชื้นขณะเก็บเกี่ยวและสภาวะในการอบแห้ง

Kunze, Lan and Wratten (2004) ทบทวนเอกสารสมบัติทางฟิสิกส์ของข้าวสหรัฐอเมริกา ซึ่งมีประโยชน์ต่อการปลูก เก็บเกี่ยว ทำแห้ง เก็บรักษา การสีข้าวและการแปรรูปข้าว ข้อมูลที่มีได้แก่ขนาดความกว้าง ยาว หนาของเมล็ดข้าว ความหนาแน่น ปริมาตรและพื้นที่ bulk density, porosity ของข้าว 3 พันธุ์ นอกจากนี้ยังได้ศึกษาสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนของข้าวสาร และกล่าวว่าการให้ความร้อนที่สูงกว่า 43 องศาเซลเซียสทำให้เกิดรอยร้าวในเมล็ดข้าว มุมกอง (Angle of repose) ของข้าวมีค่า 36-42 องศาขึ้นกับความชื้น สมบัติทางความร้อนได้แก่ค่าความจุความร้อน สัมประสิทธิ์การนำความร้อนและสัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อนแปรผันไปตามความชื้นและสามารถทำนายโดยใช้สมการคณิตศาสตร์ ค่าความจุความร้อนซึ่งวัดโดยวิธีผสมในช่วงอุณหภูมิ 10-38 องศาเซลเซียสมีค่า 1.84 กิโลจูลต่อกิโลกรัมเคลวิน สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของข้าวพันธุ์เบงกอลมีค่า 0.112 วัตต์ต่อเมตรเคลวินที่อุณหภูมิ 61 องศาเซลเซียสและความชื้น 9.2% สิ่งสำคัญที่นักวิจัยได้กล่าวถึงคือการศึกษาศักยภาพฟิสิกส์ของข้าวอยู่ในระยะ

ที่เพิ่งเริ่มต้น ยังจำเป็นต้องศึกษาเพิ่มเติมอีกมากและให้ได้ข้อมูลที่ต้องการ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างมั่นใจ

การเก็บรักษาข้าวทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงหลายอย่างในเมล็ดข้าว ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่เรียกว่า ความเก่าของข้าว Sawbhagya and Bhattacharya (2001) พบว่าสมบัติการคูดน้ำ การยืดตัวของเมล็ดข้าวของแข็งที่ละลายออกมาจากเมล็ดข้าว ความหนืดจะเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษา ปรากฏการณ์การเก่าของข้าวยังไม่เป็นที่เข้าใจอย่างแน่ชัด สันนิษฐานว่าเกิดจากการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีของแป้ง ไขมันและโปรตีน (Moritaka and Yasumatsu, 1972) ข้าวจะต้องเก็บรักษาไว้อย่างน้อย 4 เดือนจึงเป็นภาระของโรงสี ดังนั้นจึงมีความต้องการเร่งความเก่าของข้าวให้เร็วขึ้น Jaisut *et al.* (2009) จึงได้ศึกษาการเร่งความเก่าของข้าวโดยใช้เทคนิคฟลูอิดเซชันที่อุณหภูมิสูงมากในระดับ 130-150 องศาเซลเซียส ซึ่งแนวทางการเร่งความเก่าของข้าวยังมีอีกหลายวิธีส่วนมากอาศัยความร้อนในการเร่งปฏิกิริยาทางเคมี

การผสมข้าวเป็นอีกเทคโนโลยีที่มีความสำคัญต่อการแปรรูป และ ใช้ประโยชน์จากข้าวไทย เนื่องจากข้าวที่ปลูกมีความหลากหลายของพันธุ์มากและมีคุณภาพที่หลากหลาย โรงสีมีเป็นจำนวนมาก การแยกข้าวมีเพียงแค่ข้าวขาวดอกมะลิ 105 เท่านั้น นอกนั้นจะมีการผสมพันธุ์ข้าวต่างๆเข้าด้วยกัน การผสมอาศัยการทำสมดุลมวลสารเพื่อให้ได้ข้าวที่มีปริมาณแอมิโลส และสมบัติอื่นๆตามต้องการได้ ดังนั้นการทราบสมบัติของข้าวแต่ละพันธุ์จะทำให้สามารถผสมข้าวให้ได้สมบัติตามที่ต้องการได้

ในทางตรงกันข้ามการปลอมปนข้าวเป็นปัญหาใหญ่ที่คุกคามคุณภาพ และ ความเชื่อถือทางการค้า ปัญหานี้มีมาตั้งแต่สมัยอดีตจนกระทั่งปัจจุบัน ทำให้คุณภาพข้าวไทยยังไม่สามารถยกระดับให้สูงขึ้นได้อีก และเมื่อมีการเปิดการค้าเสรี การปลอมปนข้าวไทยและข้าวชาติอื่นจะยังมีโอกาสทำได้ง่ายยิ่งขึ้น ดังนั้นการพิสูจน์อัตลักษณ์ของข้าวไทยโดย การใช้เทคโนโลยีดีเอ็นเอในการตรวจสอบจึงมีความสำคัญและจำเป็น การปลอมปนข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 กับข้าวพันธุ์ชัยนาท ที่มีลักษณะทางกายภาพคล้ายคลึงกันนั้น สามารถตรวจสอบด้วย ค่าการสลายของเมล็ดในด่าง (งามชื่น, 2546)

จากการสำรวจเอกสารพบว่า ข้อมูลสมบัติทางฟิสิกส์ เคมีและวิศวกรรมมีการศึกษาอย่างกระจัดกระจายในกลุ่มนักวิจัยด้านข้าวของกรมวิชาการเกษตรและมหาวิทยาลัยต่างๆ แต่ยังไม่สามารถหาข้อมูลได้อย่างครบถ้วนและการตีพิมพ์สมบัติพื้นฐานเหล่านี้น้อยมาก ดังนั้นจึงมีความคิดที่จะศึกษาข้อมูลสมบัติต่างๆของ ข้าวไทยให้เป็นระบบและครบถ้วนเพื่อให้สามารถนำไปใช้ในงานที่กล่าวมาข้างต้น และสามารถตีพิมพ์ผลงานศึกษาวิจัย เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการอ้างอิงในเชิงวิชาการได้ นอกจากนี้องค์ความรู้ที่ได้ยังสามารถนำไปใช้สอนนิสิตปริญญาตรี โท และ เอกได้อีกจึงนับว่าเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง และยังเป็นประโยชน์กับผู้ประกอบการ แปรรูปข้าวอย่างมากและจะถ่ายทอดองค์ความรู้ให้แก่ผู้ประกอบการต่อไป

## อุปกรณ์และวิธีการ

### อุปกรณ์

#### 1. วัสดุดิบ

ข้าวเปลือกสายพันธุ์ต่าง ๆ ได้ซื้อจาก กรมการข้าว ซึ่งปลูกจากแหล่งต่างๆทั่วประเทศไทย ในปีฤดูเก็บเกี่ยว 2550/2551 และ 2551/2552 ดังแสดงในตารางที่ 1 ข้าวเปลือกได้รับการตากแดดจนมีความชื้นต่ำกว่า 14 % แล้วส่งมาที่ ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร จากนั้นทำการสีเป็นข้าวกล้องและข้าวสารบางส่วนเพื่อใช้ในการวิจัย

ตารางที่ 1 พันธุ์ข้าวและแหล่งที่ปลูก

| ลำดับ | พันธุ์ข้าว          | ชื่อย่อ | ประเภท     | แหล่งที่ปลูก              |
|-------|---------------------|---------|------------|---------------------------|
| 1     | สันป่าตอง 1         | SPT 1   | ข้าวเหนียว | ศูนย์วิจัยข้าวเชียงใหม่   |
| 2     | กข 6                | RD 6    | ข้าวเหนียว | ศูนย์วิจัยข้าวอุบลราชธานี |
| 3     | กข 10               | RD 10   | ข้าวเหนียว | ศูนย์วิจัยข้าวแพร่        |
| 4     | เหนียวอุบลราชธานี 2 | NUBN 2  | ข้าวเหนียว | ศูนย์วิจัยข้าวอุบลราชธานี |
| 5     | สกลนคร              | SKN     | ข้าวเหนียว | ศูนย์วิจัยข้าวสกลนคร      |
| 6     | เหนียวสันป่าตอง     | NSPT    | ข้าวเหนียว | ศูนย์วิจัยข้าวเชียงใหม่   |
| 7     | หางยี 71            | HY 71   | ข้าวเหนียว | ศูนย์วิจัยข้าวหนองคาย     |
| 8     | กข 8                | RD 8    | ข้าวเหนียว | ศูนย์วิจัยข้าวอุบลราชธานี |
| 9     | กข 15               | RD 15   | ข้าวเจ้า   | ศูนย์วิจัยข้าวสุรินทร์    |
| 10    | กข 21               | RD 21   | ข้าวเจ้า   | ศูนย์วิจัยข้าวแม่ฮ่องสอน  |
| 11    | ปิ่นแก้ว 56         | PG 56   | ข้าวเจ้า   | ศูนย์วิจัยข้าวอุรุยา      |
| 12    | ปราจีนบุรี 2        | PCR 2   | ข้าวเจ้า   | ศูนย์วิจัยข้าวอุรุยา      |
| 13    | อุรุยา 1            | AYT 1   | ข้าวเจ้า   | ศูนย์วิจัยข้าวอุรุยา      |
| 14    | ปทุมธานี 1          | PTT 1   | ข้าวเจ้า   | ศูนย์วิจัยข้าวอุรุยา      |

ตารางที่ 1 (ต่อ) พันธุ์ข้าวและแหล่งที่ปลูก

| ลำดับ | พันธุ์ข้าว       | ชื่อย่อ   | ประเภท   | แหล่งที่ปลูก             |
|-------|------------------|-----------|----------|--------------------------|
| 15    | เหลืองประทิว 123 | LPT 123   | ข้าวเจ้า | ศูนย์วิจัยข้าวราชบุรี    |
| 16    | สังข์หยดพัทลุง   | SYPTL     | ข้าวเจ้า | ศูนย์วิจัยข้าวพัทลุง     |
| 17    | เงี้ยวพัทลุง     | CHPTL     | ข้าวเจ้า | ศูนย์วิจัยข้าวพัทลุง     |
| 18    | เล็บนกปัตตานี    | LNPTN     | ข้าวเจ้า | ศูนย์วิจัยข้าวพัทลุง     |
| 19    | สุพรรณบุรี 1     | SPR 1     | ข้าวเจ้า | ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี   |
| 20    | พิษณุโลก 2       | PSL 2     | ข้าวเจ้า | ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี   |
| 21    | ชัยนาท 1         | CNT 1     | ข้าวเจ้า | ศูนย์วิจัยข้าวชัยนาท     |
| 22    | ขาวตาแห้ง 17     | KTH 17    | ข้าวเจ้า | ศูนย์วิจัยข้าวลพบุรี     |
| 23    | ขาวดอกมะลิ 105   | KDML 105  | ข้าวเจ้า | ศูนย์วิจัยข้าวสุรินทร์   |
| 24    | สุพรรณบุรี 2     | SPR 2     | ข้าวเจ้า | ศูนย์วิจัยข้าวสุพรรณบุรี |
| 25    | สุพรรณบุรี 60    | SPR 60    | ข้าวเจ้า | ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี   |
| 26    | พิษณุโลก 3       | PSL 3     | ข้าวเจ้า | ศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก   |
| 27    | ลูกผสมเบอร์ 2    | Line no.2 | ข้าวเจ้า | ศูนย์วิจัยข้าวอยุธยา     |
| 28    | สุพรรณบุรี 90    | SPR 90    | ข้าวเจ้า | ศูนย์วิจัยข้าวสุพรรณบุรี |

## 2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

2.1 เครื่องกะเทาะข้าวเปลือกและเครื่องสีข้าวต้นแบบ จากประเทศไทย

2.2 เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์คุณสมบัติทางฟิสิกส์

2.2.1 ดิจิตอลเวอร์เนียร์คาลิเปอร์ ประเทศสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนจีน

2.2.2 เครื่องวัดค่าสี ยี่ห้อ Minolta รุ่น CM-3500d ประเทศ ญี่ปุ่น

2.2.3 เครื่องวัดความเลื่อมมันยี่ห้อ Konica Minolta รุ่น Uni Gloss 60 ประเทศ ญี่ปุ่น

2.2.4 เครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว ยี่ห้อNewport Scientific รุ่น 3Dประเทศออสเตรเลีย

2.3 เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี

2.3.1 เครื่องมือวิเคราะห์โปรตีน ยี่ห้อ Buchi รุ่น B-324 ประเทศสวิสเซอร์แลนด์

2.3.2 เครื่องวิเคราะห์ไขมัน ยี่ห้อ Soxtec system รุ่น HT 1043 ประเทศสวีเดน

2.3.3 เครื่องวิเคราะห์เส้นใย ยี่ห้อ fibertec systemรุ่น M1020 ประเทศสวีเดน

- 2.3.4 เตาเผาถ้ำ ยี่ห้อ Gallenkamp ประเทศอังกฤษ
- 2.3.5 ตู้อบลมร้อน ยี่ห้อ Binder ประเทศ เยอรมันนี
- 2.3.6 สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ยี่ห้อ Genesis รุ่น 10-S ประเทศสหรัฐอเมริกา

## 2.4 เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์คุณสมบัติทางวิศวกรรม

- 2.4.1 เครื่องวัดสมบัติทางความร้อน ยี่ห้อ Decagon รุ่น KD2 Pro ประเทศสหรัฐอเมริกา
- 2.4.2 เครื่องวัดความต้านทานไฟฟ้า ผลิตภัณฑ์ในประเทศไทย
- 2.4.3 เครื่องวัดสมบัติไดอิเล็กตริก ยี่ห้อ Pueschner รุ่น PDMK V1.03e ประเทศเยอรมัน

## 3. สารเคมี

- 3.1 สำหรับวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี
- 3.2 สำหรับวิเคราะห์แอมิโนส
- 3.3 สำหรับวิเคราะห์ค่าการสลายตัวในสารละลายต่าง

## วิธีการ

### 1. สมบัติทางฟิสิกส์

#### 1.1 ขนาด (Size)

วัดขนาดของเมล็ดข้าวตามความกว้าง ยาว และหนาโดยใช้ ดิจิตอล เวอร์เนียคาลิเปอร์ แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจำนวน 100 เมล็ด ตามวิธีของ อรอนงค์ (2550)

#### 1.2 ความหนาแน่นจริง (True density)

ใช้วิธี Toluene displacement method โดยชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของตัวอย่าง (ทราบความชื้นเริ่มต้น) นำมาแทนที่ในโทลูอิน ( $C_7H_8$ ) แล้ววัดปริมาตรของโทลูอิน ตามวิธีของ Mohsenin (1980)

#### 1.3 ความหนาแน่นปรากฏ (Bulk density)

ใส่ตัวอย่างในภาชนะที่ทราบปริมาตรที่แน่นอน ปาดปากภาชนะให้เรียบ แล้วนำตัวอย่างออกมาชั่งตามวิธีของ Mohsenin (1980), Baumler *et al.* (2006) and Razavi *et al.* (2007)

#### 1.4 ความเป็นรูพรุน (Porosity)

คำนวณได้จากความสัมพันธ์ของ True density และ Bulk density ตามวิธีของ Moshenin (1980) และ Singh *et al.* (1996)

#### 1.5 ปริมาตร (Volume)

ใช้วิธี Toluene displacement method โดยชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่แน่นอน ประมาณ 100 กรัม (ทราบความชื้นเริ่มต้น) แทนที่ใน toluene ( $C_7H_8$ ) แล้ววัดปริมาตรของ toluene ตามวิธีของ Moshenin (1980) และ Rao *et al.* (2005)

#### 1.6 มุมกอง (Angle of repose) คัดแปลงจาก Fraczek *et al.* (2007)

#### 1.7 มุมไหล (Angle of friction) คัดแปลงจาก Singh (1996)

#### 1.8 ค่าสี โดยใช้เครื่อง Minolta รุ่น CM-3500d

#### 1.9 ความเลื่อมมัน โดยใช้เครื่องวัดความเลื่อมมัน Konica Minolta รุ่น Uni Gloss 60

#### 1.10 การสลายตัวในด่าง (Alkaline test) อรอนงค์ (2550)

#### 1.11 การเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด (Rheological properties) Newport Scientific

#### 1.12 ปริมาณของแข็งในน้ำข้าวสุก (solid content in boiling water) อรอนงค์ (2550)

#### 1.13 อัตราการยืดยึดตัวของเมล็ดข้าวสุก (Expansion ratio) อรอนงค์ (2550)

#### 1.14 อัตราการขยายปริมาตรของเมล็ดข้าวสุก (Volumetric expansion) อรอนงค์ (2550)

#### 1.15 การอุ้มน้ำของข้าวสุก (Water absorption) อรอนงค์ (2550)

## 2. สมบัติทางเคมี

2.1 ปริมาณแอมิโลส ตามวิธีของ Juliano (1971)

2.2 องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า เส้นใย และคาร์โบไฮเดรต AOAC(2000)

## 3. สมบัติทางวิศวกรรม

3.1 สมบัติการนำความร้อน (Thermal conductivity) KD2Pro Thermal properties analyzer

3.2 สมบัติการต้านทานความร้อน (Thermal resistivity) KD2Pro Thermal properties analyzer

3.3 สมบัติความจุความร้อน (Volumetric specific heat) KD2Pro Thermal properties analyzer

3.4 สมบัติการแพร่ความร้อน (Thermal diffusivity) KD2Pro Thermal properties analyzer

3.5 อุณหภูมิกลาสแทรนซิชัน (Glass transition temperature) Differential Scanning Calorimeter

3.6 สมบัติความต้านทานไฟฟ้า (Electrical resistance)

## 4 . สถานที่ทำการทดลอง

ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

## 5. ระยะเวลา

กรกฎาคม 2550 -กรกฎาคม 2552

## ผลและวิจารณ์

พันธุ์ข้าวของไทยมีคุณภาพข้าวสุกที่แตกต่างกัน ได้แก่ ข้าวเหนียว ข้าวเจ้านุ่มเหนียว ข้าวเจ้าสุกร่วน และ ข้าวเจ้าสุกร่วนแข็ง เนื่องจาก ข้าวไทยมีความหลากหลายทางชีวภาพมาก มีปริมาณแอมิโลสที่แตกต่างกัน ปริมาณแอมิโลสเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพการหุงต้ม งานวิจัยนี้ จึงจัดกลุ่มข้าวตามปริมาณแอมิโลส วิเคราะห์แอมิโลสมี 2 วิธี คือ การทำให้เกิดสีกับสารละลายไอโอดีน และการตกตะกอนแอมิโลเพคติน ด้วยคอกานาวาลิน เอ งานวิจัยนี้ใช้วิธีการทำให้เกิดสีกับไอโอดีน ตามวิธีของ Juliano (1971) ซึ่งเป็นวิธีวิเคราะห์ที่สะดวกและราคาไม่แพง ผลการวิเคราะห์ปริมาณแอมิโลส แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การจำแนกข้าวออกเป็นกลุ่มตามปริมาณแอมิโลส ปีเก็บเกี่ยว 2550/2551

| กลุ่ม                     | สายพันธุ์           | ปริมาณแอมิโลส(ร้อยละ) |
|---------------------------|---------------------|-----------------------|
| 1. ข้าวเหนียว             | สันป่าตอง 1         | $6.15 \pm 0.00$       |
|                           | กข 10               | $6.26 \pm 0.00$       |
|                           | กข 8                | $6.30 \pm 0.00$       |
|                           | เหนียวสันป่าตอง     | $6.31 \pm 0.00$       |
|                           | สกลนคร              | $6.45 \pm 0.00$       |
|                           | หางยี 71            | $6.46 \pm 0.00$       |
|                           | กข 6                | $7.56 \pm 0.00$       |
|                           | เหนียวอุบลราชธานี 2 | $8.21 \pm 0.01$       |
| 2. ข้าวสุกนุ่มและเหนียว   | กข 15               | $17.12 \pm 0.01$      |
|                           | ขาวดอกมะลิ 105      | $17.77 \pm 0.01$      |
|                           | สังข์หยดพัทลุง      | $17.85 \pm 0.00$      |
|                           | ปทุมธานี 1          | $18.45 \pm 0.00$      |
|                           | กข 21               | $20.76 \pm 0.01$      |
| 3. ข้าวสุกร่วน (ข้าวอ่อน) | ลูกผสมเบอร์ 2       | $22.56 \pm 0.00$      |
|                           | สุพรรณบุรี 2        | $22.95 \pm 0.01$      |
|                           | เล็บนกปัตตานี       | $24.18 \pm 0.02$      |

ตารางที่ 2 (ต่อ) การจำแนกข้าวออกเป็นกลุ่มตามปริมาณแอมิโลส

| กลุ่ม                     | สายพันธุ์        | ปริมาณแอมิโลส(ร้อยละ) |
|---------------------------|------------------|-----------------------|
| 3. ข้าวสุกนุ่ม (ข้าวอ่อน) | อยุธยา 1         | 25.90 ±0.00           |
|                           | สุพรรณบุรี 60    | 26.08 ±0.01           |
|                           | พิษณุโลก 3       | 26.08 ± 0.01          |
|                           | เฉื่อยพัทลุง     | 26.66 ± 0.00          |
|                           | ขาวตาแห้ง 17     | 29.20 ± 0.01          |
| 4. ข้าวสุกนุ่มแข็ง        | พิษณุโลก 2       | 29.95 ± 0.02          |
|                           | เหลืองประทิว 123 | 30.14 ± 0.01          |
|                           | ชัยนาท 1         | 30.90 ± 0.01          |
|                           | ปราจีนบุรี 2     | 31.48 ± 0.01          |
|                           | สุพรรณบุรี 1     | 31.84 ± 0.01          |
|                           | ปิ่นแก้ว 56      | 32.19 ± 0.00          |
|                           | สุพรรณบุรี 90    | 32.92 ± 0.01          |

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ โดยนำหน้ามาตรฐานแห่ง ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากการวิเคราะห์ปริมาณแอมิโลส พบว่า ข้าวไทยมีปริมาณแอมิโลสอยู่ในช่วงร้อยละ 6.15 – 32.92 มาตรฐานแห่ง ข้าวเหนียวทั้ง 8 พันธุ์ มีปริมาณแอมิโลสต่ำที่สุดอยู่ในช่วงร้อยละ 6.15 -8.21 มาตรฐานแห่ง ข้าวเจ้าสุกนุ่มและเหนียวทั้ง 5 พันธุ์ มีปริมาณแอมิโลสอยู่ในช่วงร้อยละ 17.12 – 20.76 มาตรฐานแห่ง ข้าวเจ้าสุกนุ่มทั้ง 8 พันธุ์ มีปริมาณแอมิโลสอยู่ในช่วงร้อยละ 22.56 – 29.20 มาตรฐานแห่ง ข้าวเจ้าสุกนุ่มแข็งทั้ง 7 พันธุ์ มีปริมาณแอมิโลสอยู่ในช่วงร้อยละ 29.95 -32.92 มาตรฐานแห่ง ผลการวิเคราะห์หมีค่าใกล้เคียงกับลัดดาวัลย์ (2550) งามชื่น (2541) และ รุ่งนภา (2546) ปริมาณแอมิโลสที่มากขึ้นเป็นปัจจัยที่สำคัญที่ทำให้ข้าวสุกมีความเหนียวลดลงหรือร่วนมากและทำให้ข้าวแข็งมากขึ้น เนื่องจากการคั่นตัวของแอมิโลสในข้าวสุก (งามชื่น, 2546) ข้าวที่มีแอมิโลสสูงจะดูดน้ำได้มากในระหว่างหุงต้ม ความรู้นี้นำไปใช้ในการกำหนดปริมาณน้ำที่เหมาะสมในการหุงข้าวแต่ละพันธุ์หรือข้าวผสมหลากหลายสายพันธุ์ รวมถึงการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากข้าว

## 1. สมบัติทางฟิสิกส์ (Physical Properties)

### 1.1 ขนาด (Size)

สมบัติทางฟิสิกส์ที่สำคัญ คือ ขนาด มีความสำคัญในการออกแบบเครื่องคัดขนาด เครื่องสีข้าว และการแยกเมล็ดข้าวออกจากสิ่งที่ไม่เจือปน นอกจากนี้ ขนาดยังมีความสำคัญในแง่คุณภาพ ซึ่งในทางการค้านั้น กำหนดข้าวเมล็ดยาวเป็นข้าวคุณภาพดี สถาบันวิจัยข้าวระหว่างประเทศ แบ่งความยาวของเมล็ดข้าวเป็น 4 ขนาด คือ เมล็ดยาวมาก (ยาวมากกว่า 7.50 มม.) เมล็ดยาว (ยาว 6.61 – 7.50 มม.) เมล็ดปานกลาง (ยาว 5.51 – 6.60 มม.) และ เมล็ดสั้น (ยวน้อยกว่า 5.50 มม.) และรูปร่างเมล็ดจากอัตราส่วนความยาวต่อความกว้าง เป็น 3 ประเภท คือ รูปร่างเมล็ดเรียว ( $> 3.0$ ) รูปร่างเมล็ดปานกลาง ( $> 2.1 - 3.0$ ) รูปร่างเมล็ดป้อม ( $1.1 - 2.0$ ) และรูปร่างเมล็ดกลม ( $< 1.1$ )

มาตรฐานข้าวไทย (2540) แบ่งชั้นคุณภาพข้าวออกเป็น 4 ขนาด คือ เมล็ดยาวชั้น 1 มีขนาดมากกว่า 7.0 มม. เมล็ดยาวชั้น 2 มีขนาด 6.6 – 7.0 มม. เมล็ดยาวชั้น 3 มีขนาด 6.2 – 6.6 มม. เมล็ดสั้นมีขนาดน้อยกว่า 6.2 มม. ขนาดข้าวเปลือก ข้าวกล้อง ข้าวสารของข้าวพันธุ์ต่างๆ ที่เก็บเกี่ยวในปี พศ. 2550/2551 แสดงในตารางที่ 3 4 และ 5

ตารางที่ 3 ขนาดของข้าวเปลือก

| ข้าวเปลือก                           | กว้าง (มม.) | หนา (มม.) | ยาว (มม.) | L/W  |
|--------------------------------------|-------------|-----------|-----------|------|
| กลุ่มแอมิโลสต่ำมาก                   |             |           |           |      |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1         | 2.98        | 2.11      | 10.43     | 3.50 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 10               | 2.70        | 2.06      | 10.50     | 3.89 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 8                | 2.71        | 2.01      | 9.95      | 3.67 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง     | 2.90        | 2.04      | 10.36     | 3.57 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สกลนคร              | 2.28        | 1.99      | 10.45     | 4.58 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์หางยี 71            | 2.85        | 2.03      | 10.05     | 3.53 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 6                | 2.88        | 2.00      | 10.01     | 3.48 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวอุบลราชธานี 2 | 2.83        | 2.01      | 10.28     | 3.63 |
| กลุ่มแอมิโลสต่ำ                      |             |           |           |      |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 15                 | 2.40        | 2.05      | 10.25     | 4.27 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105        | 2.81        | 2.02      | 10.04     | 3.57 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สังข์หยดพัทลุง        | 2.00        | 1.67      | 9.30      | 4.65 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1            | 2.43        | 1.98      | 10.88     | 4.48 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 21                 | 2.98        | 2.07      | 10.18     | 3.42 |
| กลุ่มแอมิโลสปานกลาง                  |             |           |           |      |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 2          | 2.09        | 1.98      | 9.96      | 4.77 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เล็บนกปัตตานี         | 2.18        | 1.79      | 8.29      | 3.80 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์อุทุมพรพิสัย 1        | 2.72        | 2.07      | 10.65     | 3.92 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 60         | 2.40        | 1.99      | 10.26     | 4.27 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 3            | 2.12        | 2.06      | 10.24     | 4.83 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เฉิมพิทลุง            | 2.40        | 1.81      | 9.49      | 3.95 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ลูกผสม เบอร์ 2        | 2.86        | 1.89      | 10.10     | 3.53 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวตาแห้ง 17          | 2.85        | 2.01      | 10.03     | 3.52 |

ตารางที่ 3 (ต่อ) ขนาดของข้าวเปลือก

| ข้าวเปลือก                      | กว้าง (มม.) | หนา (มม.) | ยาว (มม.) | L/W  |
|---------------------------------|-------------|-----------|-----------|------|
| กลุ่มเอมิโลสสูง                 |             |           |           |      |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 2       | 2.31        | 1.94      | 10.18     | 4.41 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เหลืองประทิว 123 | -           | -         | -         | -    |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1         | 1.97        | 1.75      | 10.13     | 5.14 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปราจีนบุรี 2     | -           | -         | -         | -    |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1     | 2.31        | 1.95      | 9.99      | 4.29 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปิ่นแก้ว 56      | -           | -         | -         | -    |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 90    | 2.41        | 1.99      | 10.03     | 4.16 |

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยคำนวณจากการวัด 100 เมล็ด, - หมายความว่าไม่ได้ทำการวัด

ข้าวเปลือกไทยมีความกว้างตั้งแต่ 1.97 – 2.98 มม. หนาตั้งแต่ 1.67 – 2.11 มม. ยาวตั้งแต่ 8.29 – 10.88 มม. และอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างอยู่ในช่วง 3.42 – 5.14 ข้าวเปลือก 19 พันธุ์มีความยาว 10 มม. ขึ้นไป และมี 6 พันธุ์ ที่มีความยาวต่ำกว่า 10 มม. บางพันธุ์ ไม่ได้วัดขนาด เนื่องจากข้าวเปลือกถูกสีเป็นข้าวสารหมดแล้ว จึงต้องรอผลในฤดูกาลถัดไป ในขณะที่ข้าวเปลือกของสหรัฐอเมริกา มีความยาวตั้งแต่ 7.90 - 10.03 มม. (Kunze and Wratten, 1985) แสดงให้เห็นว่าข้าวเปลือกไทยมีความหลากหลายของขนาด และรูปร่างมากกว่าข้าวเปลือกสหรัฐอเมริกา ดังนั้น การเลือกซื้อเครื่องสีข้าว หรือเครื่องจักรอื่น ๆ จึงต้องระมัดระวังเรื่องขนาด ซึ่งอาจไม่เหมาะสมกับข้าวไทย สมบัติด้านขนาดขึ้นอยู่กับความชื้น โดยข้าวจะขยายตัวในด้านต่างๆเมื่อความชื้นมากขึ้น (Kunze and Wratten, 1985)

ตารางที่ 4 ขนาดของข้าวกล้อง

| ข้าวกล้อง                            | กว้าง (มม.) | หนา (มม.) | ยาว (มม.) | L/W  |
|--------------------------------------|-------------|-----------|-----------|------|
| กลุ่มแอมิโลสต่ำมาก                   |             |           |           |      |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1         | 2.66        | 1.88      | 9.14      | 3.43 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 10               | 2.13        | 1.75      | 7.48      | 3.51 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 8                | 2.11        | 1.59      | 7.02      | 3.33 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง     | 2.19        | 1.75      | 7.77      | 3.52 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สกลนคร              | 2.17        | 1.91      | 9.01      | 4.15 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์หางยี 71            | 2.25        | 1.99      | 9.98      | 4.44 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 6                | 2.18        | 1.69      | 7.14      | 3.28 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวอุบลราชธานี 2 | 2.24        | 2.00      | 9.99      | 4.45 |
| กลุ่มแอมิโลสต่ำ                      |             |           |           |      |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 15                 | 2.40        | 2.05      | 9.25      | 3.85 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105        | 2.01        | 1.83      | 9.03      | 4.49 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สังข์หยดพัทลุง        | 1.67        | 1.49      | 6.52      | 3.90 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1            | 2.08        | 1.73      | 7.35      | 3.53 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 21                 | 2.28        | 2.00      | 9.91      | 4.34 |
| กลุ่มแอมิโลสปานกลาง                  |             |           |           |      |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 2          | 2.00        | 1.86      | 9.03      | 4.52 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เล็บนกปัตตานี         | 1.94        | 1.56      | 6.18      | 3.18 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์อยุธยา 1              | 2.20        | 1.87      | 9.81      | 4.45 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 60         | 2.08        | 1.83      | 8.38      | 4.23 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 3            | 2.12        | 1.95      | 9.24      | 4.35 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เงี้ยวพัทลุง          | 1.98        | 1.61      | 6.86      | 3.46 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ลูกผสม เบอร์ 2        | 2.43        | 1.89      | 9.94      | 4.09 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวตาแห้ง 17          | 2.41        | 1.83      | 9.83      | 4.07 |

ตารางที่ 4 (ต่อ) ขนาดของข้าวกล้อง

| ข้าวกล้อง                       | กว้าง (มม.) | หนา (มม.) | ยาว (มม.) | L/W  |
|---------------------------------|-------------|-----------|-----------|------|
| กลุ่มแอมิโลสสูง                 |             |           |           |      |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 2       | 2.04        | 1.95      | 8.13      | 3.98 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เหลืองประทิว 123 | -           | -         | -         | -    |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1         | 1.78        | 1.60      | 8.01      | 4.50 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปราจีนบุรี 2     | -           | -         | -         | -    |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1     | 2.04        | 1.77      | 6.70      | 3.28 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปิ่นแก้ว 56      | -           | -         | -         | -    |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 90    | 2.09        | 1.72      | 6.75      | 3.23 |

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยคำนวณจากการวัด 100 เมล็ด, - หมายความว่า ไม่ได้ทำการวัด

ข้าวกล้องของไทยมีความกว้าง ตั้งแต่ 1.67 – 2.66 มม. หนาตั้งแต่ 1.49 – 2.05 มม. ข้าวกล้องของไทยมีความยาวตั้งแต่ 6.18 – 9.99 มม. และอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างอยู่ในช่วง 3.18 – 4.52 มม. ในขณะที่ข้าวกล้องเมล็ดยาวของสหรัฐอเมริกา มีความยาวอยู่ในช่วง 6.61 – 7.50 มม. และอัตราส่วนความยาวต่อความกว้าง อยู่ในช่วงมากกว่าหรือเท่ากับ 3.1 (Web, 1985) ดังนั้นข้าวกล้องไทยจึงมีความหลากหลายของความยาว และอัตราส่วนความยาวต่อความกว้าง มากกว่าข้าวกล้องสหรัฐอเมริกา

ข้าวกล้องไทยมีความยาวแตกต่างกันมาก มีข้าวกล้อง 20 พันธุ์ ที่มีความยาวมากกว่า 7 มม. และมี 5 พันธุ์ ที่มีความยาวน้อยกว่า 7 มม. ได้แก่พันธุ์สังข์หยดพัทลุง พันธุ์เล็บนกปัตตานี พันธุ์เจียงพัทลุง พันธุ์สุพรรณบุรี 1 และ พันธุ์สุพรรณบุรี 90 ถึงแม้ว่าข้าวไทยส่วนใหญ่เป็นข้าวเมล็ดยาว มีเพียง 1 พันธุ์ที่จัดเป็นข้าวเมล็ดสั้น เพราะมีความยาวน้อยกว่า 6.2 มม.ตามมาตรฐานข้าวไทย ได้แก่ พันธุ์เล็บนกปัตตานี

ตารางที่ 5 ขนาดของข้าวสาร

| ข้าวสาร                              | กว้าง (มม.) | หนา (มม.) | ยาว (มม.) | L/W  |
|--------------------------------------|-------------|-----------|-----------|------|
| กลุ่มเอมิโลสต่ำมาก                   |             |           |           |      |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1         | 2.66        | 1.81      | 8.14      | 3.06 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 10               | 2.11        | 1.73      | 7.95      | 3.77 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 8                | 2.08        | 1.49      | 7.01      | 3.37 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง     | 2.18        | 1.67      | 6.8       | 3.12 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สกลนคร              | 2.28        | 1.99      | 8.05      | 3.53 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์หางยี 71            | 2.83        | 2.01      | 8.67      | 3.06 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 6                | 2.19        | 1.71      | 7.17      | 3.27 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวอุบลราชธานี 2 | 2.85        | 2.03      | 9.05      | 3.17 |
| กลุ่มเอมิโลสต่ำ                      |             |           |           |      |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 15                 | 2.12        | 1.93      | 8.19      | 3.86 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105        | 2.03        | 1.75      | 8.06      | 3.97 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สังข์หยดพัทลุง        | 1.66        | 1.48      | 6.41      | 3.86 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1            | 2.08        | 1.72      | 7.32      | 3.52 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 21                 | 2.18        | 2.07      | 8.18      | 3.75 |
| กลุ่มเอมิโลสปานกลาง                  |             |           |           |      |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 2          | 1.90        | 1.86      | 7.14      | 3.75 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เล็บนกปัตตานี         | 1.88        | 1.53      | 5.80      | 3.09 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์อยุธยา 1              | 2.21        | 1.76      | 7.57      | 3.43 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 60         | 2.08        | 1.82      | 7.71      | 3.71 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 3            | 2.36        | 1.99      | 7.21      | 3.05 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เงี้ยวพัทลุง          | 1.92        | 1.57      | 6.72      | 3.50 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ลูกผสม เบอร์ 2        | 2.21        | 1.62      | 7.33      | 3.32 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวตาแห้ง 17          | 2.71        | 1.94      | 8.15      | 3.07 |

ตารางที่ 5 (ต่อ) ขนาดของข้าวสาร

| ข้าวสาร                         | กว้าง (มม.) | หนา (มม.) | ยาว (มม.) | L/W  |
|---------------------------------|-------------|-----------|-----------|------|
| กลุ่มแอมิโลสสูง                 |             |           |           |      |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 2       | 2.01        | 2.01      | 8.77      | 4.36 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เหลืองประทิว 123 | 2.14        | 1.71      | 7.12      | 3.33 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1         | 1.81        | 1.53      | 9.01      | 4.97 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปราจีนบุรี 2     | 2.24        | 1.67      | 6.73      | 3.00 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1     | 2.03        | 1.76      | 6.68      | 3.29 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปิ่นแก้ว 56      | 2.05        | 1.72      | 6.88      | 3.36 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 90    | 2.07        | 1.68      | 6.67      | 3.22 |

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยคำนวณจากการวัด 100 เมล็ด

ข้าวสารของไทย มีความกว้างตั้งแต่ 1.66 – 2.85 มม. หนาตั้งแต่ 1.48 – 2.07 มม. ยาวตั้งแต่ 5.80 – 9.05 มม. และอัตราส่วนความยาวต่อความกว้าง อยู่ในช่วง 3.00 – 4.36 ในขณะที่ข้าวสารเมล็ดยาวของสหรัฐอเมริกา มีความยาวอยู่ในช่วง 6.7 – 7.0 มม. และอัตราส่วน ความยาวต่อความกว้าง 3.4 – 3.6 (Web, 1985) ดังนั้นข้าวสารไทยมีความหลากหลายของความยาว และอัตราส่วนความยาวต่อความกว้าง มากกว่าข้าวสารสหรัฐอเมริกา

ในการจัดแบ่งชั้นขนาดเมล็ดตามมาตรฐานข้าวไทย พบว่า มีข้าว 20 พันธุ์ที่อยู่ในเกณฑ์เมล็ดยาวชั้น 1 ที่มีขนาดยาวมากกว่า 7.0 มม. มีข้าว 6 พันธุ์ที่อยู่ในเกณฑ์เมล็ดยาวชั้น 2 ที่มีขนาด 6.6 – 7.0 มม. ได้แก่ พันธุ์เหนียวสันป่าตอง พันธุ์เจียงพิทลุง พันธุ์ปราจีนบุรี 2 พันธุ์สุพรรณบุรี 1 พันธุ์ปิ่นแก้ว 56 และพันธุ์สุพรรณบุรี 90 มีข้าว 1 พันธุ์ ที่อยู่ในเกณฑ์เมล็ดยาวชั้น 3 ที่มีขนาด 6.2 – 6.6 มม.คือพันธุ์สังข์หยดพิทลุง และมีข้าว 1 พันธุ์ ที่เป็นข้าวเมล็ดสั้น ที่มีขนาดน้อยกว่า 6.2 มม.คือพันธุ์เล็บนกปัตตานี

## 1.2 ความหนาแน่นจริง (True Density)

ความหนาแน่น คือ คำนวณน้ำหนักต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของสาร ปัจจัยที่มีผลต่อความหนาแน่น เช่น ขนาดและน้ำหนักขององค์ประกอบ การจัดเรียงตัวของอะตอม และปริมาณรูพรุนในโครงสร้างของวัสดุ ประกอบด้วย ความหนาแน่นจริง ซึ่งเป็นความหนาแน่นทางทฤษฎีของสารซึ่งประกอบด้วยเนื้อสารเท่านั้น ไม่รวมรูพรุนเปิดและรูพรุนปิด ความหนาแน่นจริง มีความสำคัญในการคำนวณในกระบวนการแยกสาร การตกตะกอน การเหวี่ยง การกรอง การถ่ายเทความร้อน และการถ่ายเทโมเมนตัม งานวิจัยนี้หาค่าความหนาแน่นจริง โดยการแทนที่ข้าวในโทลูอิน ความหนาแน่นจริงหาได้โดยการใช้ข้าวที่ชั่งน้ำหนักแน่นอนหารด้วยปริมาตรของโทลูอินที่ถูกแทนที่ ความหนาแน่นจริงของข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวสาร แสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ความหนาแน่นจริง (True density)

| สายพันธุ์                            | ความหนาแน่นจริง (kg/m <sup>3</sup> ) |             |             |
|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------|-------------|
|                                      | ข้าวเปลือก                           | ข้าวกล้อง   | ข้าวสาร     |
| กลุ่มแอมิโลสต่ำมาก                   |                                      |             |             |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1         | 1,087±0.008                          | 1,331±0.006 | 1,519±0.008 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 10               | 1,210±0.005                          | 1,331±0.006 | 1,504±0.007 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 8                | 1,042±0.003                          | 1,348±0.006 | 1,481±0.000 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง     | 1,056±0.003                          | 1,133±0.008 | 1,630±0.002 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สกลนคร              | 1,111±0.000                          | 1,420±0.006 | 1,626±0.002 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์หางยี 71            | 1,077±0.000                          | 1,442±0.001 | 1,626±0.001 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 6                | 1,201±0.004                          | 1,379±0.000 | 1,629±0.003 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวอุบลราชธานี 2 | 1,073±0.009                          | 1,285±0.004 | 1,626±0.003 |
| กลุ่มแอมิโลสต่ำ                      |                                      |             |             |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 15                 | 1,105±0.004                          | 1,205±0.000 | 1,627±0.002 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105        | 1,197±0.004                          | 1,425±0.006 | 1,514±0.008 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สังข์หยดพัทลุง        | 1,154±0.005                          | 1,443±0.009 | 1,438±0.004 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1            | 1,053±0.000                          | 1,316±0.006 | 1,626±0.001 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 21                 | 1,216±0.005                          | 1,350±0.006 | 1,491±0.007 |
| กลุ่มแอมิโลสปานกลาง                  |                                      |             |             |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 2          | 1,065±0.003                          | 1,301±0.000 | 1,625±0.000 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เล็บนกปัตตานี         | 1,190±0.004                          | 1,410±0.000 | 1,470±0.005 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์อยุธยา 1              | 1,179±0.006                          | 1,433±0.019 | 1,479±0.012 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 60         | 1,163±0.004                          | 1,417±0.001 | 1,634±0.005 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 3            | 1,189±0.004                          | 1,312±0.000 | 1,624±0.001 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เถียงพัทลุง           | 1,198±0.000                          | 1,269±0.004 | 1,463±0.008 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ลูกผสม เบอร์ 2        | 1,166±0.002                          | 1,457±0.014 | 1,445±0.004 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวตาแห้ง 17          | 1,257±0.005                          | 1,350±0.006 | 1,529±0.016 |

ตารางที่ 6 (ต่อ) ความหนาแน่นจริง (True density)

| สายพันธุ์                       | ความหนาแน่นจริง (kg/m <sup>3</sup> ) |             |             |
|---------------------------------|--------------------------------------|-------------|-------------|
|                                 | ข้าวเปลือก                           | ข้าวกล้อง   | ข้าวสาร     |
| กลุ่มแอมิโลสสูง                 |                                      |             |             |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 2       | 1,275±0.005                          | 1,301±0.011 | 1,630±0.002 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เหลืองประทิว 123 | -                                    | -           | 1,428±0.004 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1         | 1,219±0.004                          | 1,331±0.005 | 1,519±0.021 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปราจีนบุรี 2     | -                                    | -           | 1,441±0.100 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1     | 1,053±0.000                          | 1,417±0.010 | 1,666±0.031 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปิ่นแก้ว 56      | -                                    | -           | 1,551±0.017 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 90    | 1,177±0.000                          | 1,349±0.005 | 1,564±0.035 |

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยคิดจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, - หมายความว่าไม่ได้ทำการวัด

ความหนาแน่นจริงของข้าวเปลือกอยู่ในช่วง 1,042 – 1,275 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความหนาแน่นจริงของข้าวกล้องอยู่ในช่วง 1,133 – 1,457 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความหนาแน่นจริงของข้าวสารอยู่ในช่วง 1,428 – 1,666 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าความหนาแน่นจริงมีความแปรผันไปตามความชื้นโดยที่ความชื้น 12.7-23.95% ความหนาแน่นจริงมีค่าเพิ่มขึ้นแต่เมื่อความชื้นมากกว่า 29.38% ความหนาแน่นจริงมีค่าลดลง (พรหมจันทร์และคณะ, 2541) ซึ่งตรงข้ามกับข้าวเมล็ดปานกลางของสหรัฐอเมริกาพันธุ์ Saturn และข้าวเมล็ดยาวพันธุ์ Bluebonnet-50 ของสหรัฐอเมริกาที่มีค่าความหนาแน่นจริงเพิ่มขึ้นเมื่อความชื้นเพิ่มขึ้น (Kunze and Wratten, 1985)

ความหนาแน่นจริงของข้าวเปลือกอิหร่านอยู่ในช่วง 1,172.23 – 1,1252.68 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความหนาแน่นจริงของข้าวกล้องอิหร่านอยู่ในช่วง 1358.11 – 1410.42 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความหนาแน่นจริงของข้าวสารอิหร่านอยู่ในช่วง 1282.43 – 1375.18 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (Razavi and Farahmandfar, 2008)

### 1.3 ความหนาแน่นปรากฏ (Bulk Density)

ความหนาแน่นปรากฏ มีความสำคัญในการเลือกบรรจุภัณฑ์ การกำหนดขนาดของถังฉาง และไซโล รวมถึงการคำนวณพื้นที่เก็บข้าว การหาความหนาแน่นปรากฏในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการตวงปริมาตรแล้วชั่งน้ำหนักของข้าว ความหนาแน่นปรากฏของข้าวเปลือก ข้าวกล้อง ข้าวสาร แสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ความหนาแน่นปรากฏ (Bulk density)

| สายพันธุ์                            | ความหนาแน่นปรากฏ (kg/m <sup>3</sup> ) |           |           |
|--------------------------------------|---------------------------------------|-----------|-----------|
|                                      | ข้าวเปลือก                            | ข้าวกล้อง | ข้าวสาร   |
| กลุ่มแอมิโลสต่ำมาก                   |                                       |           |           |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1         | 527±0.303                             | 813±0.001 | 832±0.002 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 10               | 545±0.313                             | 810±0.001 | 823±0.002 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 8                | 551±0.317                             | 801±0.002 | 822±0.000 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง     | 549±0.315                             | 812±0.001 | 838±0.000 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สกลนคร              | 519±0.298                             | 801±0.000 | 819±0.000 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์หางยี 71            | 531±0.305                             | 805±0.001 | 823±0.001 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 6                | 548±0.315                             | 787±0.002 | 814±0.001 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวอุบลราชธานี 2 | 542±0.311                             | 802±0.001 | 823±0.000 |
| กลุ่มแอมิโลสต่ำ                      |                                       |           |           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 15                 | 546±0.314                             | 796±0.001 | 805±0.001 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105        | 586±0.337                             | 803±0.001 | 833±0.009 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สังข์หยดพัทลุง        | 487±0.276                             | 748±0.016 | 773±0.005 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1            | 577±0.332                             | 784±0.000 | 803±0.002 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 21                 | 583±0.335                             | 801±0.004 | 827±0.001 |
| กลุ่มแอมิโลสปานกลาง                  |                                       |           |           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 2          | 564±0.324                             | 794±0.001 | 829±0.001 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เล็บนกปัตตานี         | 568±0.328                             | 778±0.003 | 792±0.005 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์อยุธยา 1              | 548±0.311                             | 750±0.002 | 765±0.006 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 60         | 589±0.338                             | 792±0.001 | 828±0.001 |

ตารางที่ 7 (ต่อ) ความหนาแน่นปรากฏ (Bulk density)

| สายพันธุ์                       | ความหนาแน่นปรากฏ (kg/m <sup>3</sup> ) |           |           |
|---------------------------------|---------------------------------------|-----------|-----------|
|                                 | ข้าวเปลือก                            | ข้าวกล้อง | ข้าวสาร   |
| กลุ่มแอมิโลสปานกลาง             |                                       |           |           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 3       | 597±0.343                             | 799±0.002 | 805±0.002 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เลี้ยงพัทลุง     | 551±0.317                             | 754±0.001 | 768±0.001 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ลูกผสม เบอร์ 2   | 541±0.313                             | 771±0.006 | 805±0.012 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวตาแห้ง 17     | 599±0.403                             | 820±0.002 | 864±0.000 |
| กลุ่มแอมิโลสสูง                 |                                       |           |           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 2       | 602±0.346                             | 797±0.001 | 804±0.002 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เหลืองประทิว 123 | -                                     | -         | -         |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1         | 597±0.343                             | 824±0.000 | 848±0.004 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปราจีนบุรี 2     | -                                     | -         | -         |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1     | 598±0.343                             | 801±0.003 | 808±0.001 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปิ่นแก้ว 56      | -                                     | -         | -         |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 90    | 568±0.326                             | 798±0.002 | 836±0.002 |

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยคิดจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, - หมายความว่าไม่ได้ทำการวัด

ความหนาแน่นปรากฏของข้าวเปลือก อยู่ในช่วง 487 – 602 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความหนาแน่นปรากฏของข้าวกล้อง อยู่ในช่วง 748 – 824 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และความหนาแน่นปรากฏของข้าวสารอยู่ในช่วง 773 – 864 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ทั้งนี้ความหนาแน่นปรากฏขึ้นอยู่กับความชื้นด้วย โดยเมื่อความชื้นเพิ่มขึ้นความหนาแน่นปรากฏจะลดลง (พรหมจันทร์และคณะ, 2551) เมื่อเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นปรากฏของข้าวเปลือกที่วัดได้กับค่าที่วัดได้โดยเครื่องวัด (2543) พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน

ความหนาแน่นปรากฏของข้าวเปลือกเมล็ดปานกลางของสหรัฐอเมริกา พันธุ์ Saturn อยู่ในช่วง 599 – 650 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และข้าวเปลือกพันธุ์ Bluebonnet-50 อยู่ในช่วง 587 – 616 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อความชื้นเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นปรากฏจะเพิ่มขึ้น (Kunze and Wratten, 1985)

ความหนาแน่นปรากฏของข้าวเปลือกอิหร่าน อยู่ในช่วง 563.13 – 687.76 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความหนาแน่นปรากฏของข้าวกล้อง อยู่ในช่วง 864.08 – 887.95 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และความ

หนาแน่นปรากฏของข้าวสารอยู่ในช่วง 936.14 - 940.34 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (Razavi and Farahmandfar, 2008)

สาเหตุที่ความหนาแน่นปรากฏของข้าวเปลือกมีค่าต่ำที่สุด เมื่อเทียบกับข้าวกล้องและข้าวสาร เนื่องจากข้าวเปลือกมีหนามแหลม เมื่อกองรวมกันจะมีช่องว่างจำนวนมากอยู่ระหว่างข้าวเปลือก ทำให้ในปริมาตรที่เท่ากันจุข้าวเปลือกได้น้อยกว่า ส่วนข้าวกล้องยังมีผิวที่ขรุขระมากกว่าข้าวสาร ทำให้ยังคงมีช่องว่างระหว่างเมล็ดข้าวมากกว่าข้าวสาร ทำให้ข้าวกล้องมีความหนาแน่นปรากฏน้อยกว่าข้าวสาร

#### 1.4 ความเป็นรูพรุน (Porosity)

ความเป็นรูพรุน คือ เปอร์เซ็นต์ช่องว่างระหว่างเมล็ดข้าว และหาได้จากการคำนวณ โดยใช้สูตรของ Mohsenin (1970) ดังนี้

$$\epsilon = 100 * (1 - P_b / P_t)$$

โดยที่  $\epsilon$  = ความเป็นรูพรุน (%)

$P_b$  = ความหนาแน่นปรากฏ

$P_t$  = ความหนาแน่นจริง

ความเป็นรูพรุนของข้าวเปลือก ข้าวกล้อง ข้าวสารพันธุ์ต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 8 ค่าความเป็นรูพรุนมีประโยชน์ในการศึกษาการทำแห้ง การเก็บรักษาผลผลิตทางการเกษตร และใช้ตรวจสอบการสูญเสียคุณภาพของวัตถุดิบทางการเกษตร (Correa *et al.*, 2007)

ตารางที่ 8 ความเป็นรูพรุน (Porosity)

| สายพันธุ์                            | ความเป็นรูพรุน (%) |            |            |
|--------------------------------------|--------------------|------------|------------|
|                                      | ข้าวเปลือก         | ข้าวกล้อง  | ข้าวสาร    |
| กลุ่มแอมิโลสต่ำมาก                   |                    |            |            |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1         | 51.44±0.57         | 37.46±0.25 | 46.46±0.40 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 10               | 54.87±0.10         | 39.11±0.39 | 45.31±0.40 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 8                | 54.75±0.37         | 38.19±0.39 | 45.93±0.06 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง     | 50.94±0.39         | 26.74±0.09 | 47.19±0.10 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สกลนคร              | 53.27±0.20         | 43.57±0.30 | 49.58±0.04 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์หางยี 71            | 50.64±0.39         | 42.90±0.15 | 50.49±0.12 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 6                | 54.32±0.37         | 44.09±0.45 | 50.01±0.18 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวอุบลราชธานี 2 | 49.47±0.69         | 35.93±0.34 | 49.48±0.08 |
| กลุ่มแอมิโลสต่ำ                      |                    |            |            |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 15                 | 54.86±0.34         | 33.40±0.14 | 50.49±0.03 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105        | 51.03±0.40         | 41.55±0.16 | 46.18±0.80 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สังข์หยดพัทลุง        | 57.99±0.56         | 48.18±1.09 | 46.21±0.47 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1            | 49.95±0.41         | 40.39±0.25 | 50.58±0.21 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 21                 | 52.01±0.41         | 38.96±0.57 | 46.27±0.23 |
| กลุ่มแอมิโลสปานกลาง                  |                    |            |            |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 2          | 47.00±0.30         | 36.31±0.14 | 51.15±0.07 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เสี้ยนกัปิตตานี       | 52.24±0.50         | 44.78±0.25 | 46.13±0.46 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์อยุธยา 1              | 53.50±0.34         | 47.61±0.85 | 48.29±0.21 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 60         | 49.30±0.41         | 44.09±0.11 | 49.34±0.03 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 3            | 50.71±0.41         | 38.66±0.22 | 49.78±0.19 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เฉียกพัทลุง           | 53.97±0.16         | 40.55±0.21 | 47.47±0.37 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ลูกผสม เบอร์ 2        | 53.55±0.46         | 44.07±0.84 | 47.27±0.70 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวตาแห้ง 17          | 52.33±0.39         | 35.95±0.48 | 46.34±0.55 |

ตารางที่ 8 (ต่อ) ความเป็นรูพรุน (Porosity)

| สายพันธุ์                       | ความเป็นรูพรุน (%) |            |            |
|---------------------------------|--------------------|------------|------------|
|                                 | ข้าวเปลือก         | ข้าวกล้อง  | ข้าวสาร    |
| กลุ่มเอมิโลสสูง                 |                    |            |            |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 2       | 50.00±0.31         | 36.32±0.14 | 47.65±0.13 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เหลืองประทิว 123 | -                  | -          | 46.15±0.57 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1         | 42.66±0.45         | 38.11±0.27 | 44.17±0.93 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปราจีนบุรี 2     | -                  | -          | 45.07±0.51 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1     | 51.21±0.25         | 43.06±0.67 | 43.45±0.99 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปิ่นแก้ว 56      | -                  | -          | 48.59±0.42 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 90    | 51.75±0.21         | 40.79±0.45 | 46.58±1.15 |

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยจากการคำนวณของตัวอย่าง 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- หมายความว่าไม่ได้ทำการวัด

ความเป็นรูพรุนของข้าวเปลือกอยู่ในช่วง ร้อยละ 42.66-57.99 ความเป็นรูพรุนของข้าวกล้องอยู่ในช่วงร้อยละ 26.74-48.18 ความเป็นรูพรุนของข้าวสารอยู่ในช่วงร้อยละ 43.45-51.15 ความเป็นรูพรุนของข้าวเปลือกมีค่ามากที่สุดเนื่องจากข้าวเปลือกมีหนามแหลม ทำให้เมื่อกองซ้อนกันจะเกิดช่องว่างมากที่สุด รองลงมาคือ ข้าวสารและข้าวกล้อง

ความเป็นรูพรุนของข้าวเปลือกเมล็ดปานกลางของสหรัฐอเมริกาพันธุ์ Saturn อยู่ในช่วง ร้อยละ 53.1-58.5 ความเป็นรูพรุนของข้าวเปลือกเมล็ดยาวของสหรัฐอเมริกาพันธุ์ Bluebonnet-50 อยู่ในช่วงร้อยละ 56.9-59.6 ความเป็นรูพรุนของข้าวกล้องเมล็ดยาวของสหรัฐอเมริกาพันธุ์ Starbonnet อยู่ในช่วงร้อยละ 51.9-53.08 ความเป็นรูพรุนจะลดลงเมื่อความชื้นสูงขึ้นทั้งข้าวเปลือกและข้าวกล้อง (Kunze and Wratten, 1985)

ความเป็นรูพรุนของข้าวเปลือกของอิหร่านอยู่ในช่วง ร้อยละ 45.16-51.77 ความเป็นรูพรุนของข้าวกล้องอยู่ในช่วงร้อยละ 35.24-38.69 ความเป็นรูพรุนของข้าวสารอยู่ในช่วงร้อยละ 26.41-31.90 (Razavi and Farahmandfar, 2008)

#### 1.4 ปริมาตร (Volume)

ปริมาตรของข้าวเปลือก ข้าวกล้อง ข้าวสาร หาได้โดยการแทนที่ในโทลูอิน ตามวิธีของ Mohsenin (1970) โทลูอินเป็นที่นิยมใช้เพราะเมล็ดข้าวจะไม่ดูดซึมโทลูอิน นอกจากนี้ แรงตึงผิวของโทลูอินมีค่าต่ำทำให้โทลูอิน สามารถกระจายไปทั่วทั้งเมล็ดข้าวได้ดี ในการทดลองใช้ข้าวที่มีน้ำหนัก 100 กรัม แทนที่ในโทลูอิน

ตารางที่ 9 ปริมาตร (Volume)

| สายพันธุ์                            | ปริมาตร (cm <sup>3</sup> ) ต่อ 100 กรัม |            |            |
|--------------------------------------|-----------------------------------------|------------|------------|
|                                      | ข้าวเปลือก                              | ข้าวกล้อง  | ข้าวสาร    |
| กลุ่มเอมิโลสต่ำมาก                   |                                         |            |            |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1         | 73.67±0.57                              | 60.17±0.20 | 52.67±0.28 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 10               | 66.17±0.28                              | 60.17±0.20 | 53.17±0.28 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 8                | 65.67±0.28                              | 60.17±0.28 | 53.99±0.00 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง     | 75.83±0.28                              | 70.00±0.01 | 49.17±0.05 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สกลนคร              | 71.99±0.01                              | 56.33±0.28 | 49.30±0.10 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์หางยี 71            | 74.33±0.28                              | 55.60±0.01 | 49.27±0.05 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 6                | 66.67±0.28                              | 58.02±0.04 | 49.20±0.10 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวอุบลราชธานี 2 | 74.67±0.76                              | 62.33±0.28 | 49.30±0.10 |
| กลุ่มเอมิโลสต่ำ                      |                                         |            |            |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 15                 | 66.17±0.28                              | 65.97±0.04 | 49.23±0.05 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105        | 66.83±0.28                              | 56.17±0.28 | 52.83±0.28 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สังข์หยดพัทลุง        | 87.00±0.50                              | 70.50±0.50 | 69.67±0.28 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1            | 69.33±0.28                              | 60.83±0.28 | 49.27±0.05 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 21                 | 65.83±0.28                              | 59.33±0.28 | 53.67±0.28 |
| กลุ่มเอมิโลสปานกลาง                  |                                         |            |            |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 2          | 75.17±0.28                              | 61.73±0.39 | 49.29±0.01 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เล็บนกปัตตานี         | 84.17±0.28                              | 71.00±0.00 | 68.33±0.28 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์อยุธยา 1              | 85.00±0.50                              | 70.00±1.00 | 67.67±0.57 |

ตารางที่ 9 (ต่อ) ปริมาตร (Volume)

| สายพันธุ์                       | ปริมาตร (cm <sup>3</sup> )ต่อ 100 กรัม |             |            |
|---------------------------------|----------------------------------------|-------------|------------|
|                                 | ข้าวเปลือก                             | ข้าวกล้อง   | ข้าวสาร    |
| กลุ่มแอมีโลสปานกลาง             |                                        |             |            |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 60    | 68.83±0.28                             | 56.50±0.01  | 49.03±0.15 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 3       | 67.33±0.28                             | 60.97±0.04  | 49.37±0.05 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เลียงพิบูลง      | 83.50±0.00                             | 79.17±0.28  | 68.63±0.55 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ลูกผสม เบอร์ 2   | 85.83±0.28                             | 68.83±0.76  | 59.67±0.28 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวตาแห้ง 17     | 63.67±0.28                             | 59.33±0.28  | 52.33±0.57 |
| กลุ่มแอมีโลสสูง                 |                                        |             |            |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 2       | 62.83±0.28                             | 58.00±0.50  | 49.17±0.05 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เหลืองประทิว 123 | -                                      | -           | 60.17±0.28 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1         | 76.83±0.28                             | 59.33±0.28  | 52.67±0.76 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปราจีนบุรี 2     | -                                      | -           | 61.50±0.50 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1     | 76.01±0.02                             | 56.50±0.50  | 48.03±0.89 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปิ่นแก้ว 56      | -                                      | -           | 54.83±0.76 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 90    | 68.00±0.00                             | 59.33 ±0.28 | 51.17±1.15 |

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยคิดจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, - หมายความว่าไม่ได้ทำการวัด

ข้าว 100 กรัมจะมีปริมาตรของข้าวเปลือกอยู่ในช่วง 62.83 – 87.00 ลูกบาศก์เซนติเมตร ปริมาตรของข้าวกล้องอยู่ในช่วง 55.60 – 79.17 ลูกบาศก์เซนติเมตร ปริมาตรข้าวสารอยู่ในช่วง 49.17 – 69.67 ลูกบาศก์เซนติเมตร จากการทดลองจะเห็นได้ว่า ข้าวเปลือก มีปริมาตรมากกว่าข้าวกล้องและ ข้าวกล้องมีปริมาตรมากกว่าข้าวสาร

ข้าวอิหร่าน 1 เมล็ดจะมีปริมาตรของข้าวเปลือกอยู่ในช่วง 0.580-0.702 ลูกบาศก์มิลลิเมตร ปริมาตรของข้าวกล้องอยู่ในช่วง 0.392-0.532 ลูกบาศก์มิลลิเมตร ปริมาตรข้าวสารอยู่ในช่วง 0.342-0.458 ลูกบาศก์มิลลิเมตร จะเห็นได้ว่า ข้าวเปลือก มีปริมาตรมากกว่าข้าวกล้องและ ข้าวกล้องมีปริมาตรมากกว่าข้าวสาร (Razavi and Farahmandfar, 2008)

### 1.5 มุมกอง (Angle of repose)

มุมกองเป็นสมบัติอีกประการหนึ่งที่สำคัญของเมล็ดข้าวเมื่อเทเมล็ดข้าวลงบนพื้น จะเห็นว่าเมล็ดข้าวจะกองคล้ายภูเขา เป็นมุมแหลมที่เกิดขึ้นระหว่างพื้นผิวในแนวระนาบกับพื้นผิวของเมล็ดข้าว มุมกองใช้ในการออกแบบอุปกรณ์จัดเก็บ เช่น ไซโลหรือฮอปเปอร์ ต้องมีขนาดที่รองรับกับปริมาณการจัดเก็บที่เหมาะสม เนื่องจากข้าวจะกองเป็นยอดแหลม ทำให้เสียปริมาตรด้านข้างไปเป็นจำนวนหนึ่ง ดังนั้น จึงควรออกแบบให้ไซลอนั้นมีปริมาตรที่ชดเชยกับพื้นที่ที่หายไป และ โดยปกติแล้วไซโลหรือฮอปเปอร์จะมีมุมลาดเอียง เพื่อให้ข้าวสามารถไหลออกมาจากไซโล หรือฮอปเปอร์ได้ มุมนั้นจึงต้องมากกว่ามุมกองของข้าว ทำให้ข้าวไหลออกมาได้ มุมกองเป็นสมบัติที่ขึ้นกับปริมาณและความชื้น มุมกองของข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวสาร แสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 มุมกอง (Angle of repose)

| สายพันธุ์                            | มุมกอง (องศา) |            |            |
|--------------------------------------|---------------|------------|------------|
|                                      | ข้าวเปลือก    | ข้าวกล้อง  | ข้าวสาร    |
| กลุ่มแอมิโลสต่ำมาก                   |               |            |            |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1         | 40.50±1.32    | 30.17±0.76 | 30.80±1.05 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 10               | 34.83±0.80    | 27.67±1.52 | 22.73±0.64 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 8                | 36.83±0.76    | 31.50±0.50 | 27.17±0.76 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง     | 39.90±0.45    | 34.80±0.72 | 33.33±0.57 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สกลนคร              | 37.00±1.73    | 31.10±1.01 | 29.43±0.51 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์หางยี 71            | 34.40±0.52    | 31.33±0.57 | 28.53±0.50 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 6                | 35.33±0.85    | 31.33±1.52 | 30.60±0.65 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวอุบลราชธานี 2 | 36.80±0.72    | 30.67±0.57 | 27.33±0.57 |
| กลุ่มแอมิโลสต่ำ                      |               |            |            |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 15                 | 39.43±0.51    | 34.67±0.57 | 33.13±1.02 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105        | 37.47±0.50    | 30.33±0.57 | 29.00±1.00 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สังข์หยดพัทลุง        |               |            |            |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1            | 40.33±0.57    | 35.00±1.00 | 34.33±0.57 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 21                 | 36.77±0.40    | 30.53±0.41 | 28.47±1.74 |

ตารางที่ 10 (ต่อ) มุมกอง (Angle of repose)

| สายพันธุ์                       | มุมกอง (องศา) |            |            |
|---------------------------------|---------------|------------|------------|
|                                 | ข้าวเปลือก    | ข้าวกล้อง  | ข้าวสาร    |
| กลุ่มแอมิโลสปานกลาง             |               |            |            |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 2     | 36.00±0.20    | 30.67±0.57 | 28.33±0.57 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เสี้ยนกัปปิตานี  | 37.01±0.20    | 33.13±0.57 | 30.02±0.52 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์อยุธยา 1         | 36.18±0.08    | 32.16±0.53 | 30.01±1.02 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 60    | 36.53±0.50    | 32.00±1.00 | 30.33±0.57 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 3       | 39.40±0.52    | 31.00±1.00 | 29.00±1.00 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เฉียกพัทลุง      | 37.31±0.51    | 33.10±0.56 | 30.30±0.57 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ลูกผสม เบอร์ 2   | 38.74±0.31    | 33.01±0.11 | 31.67±0.15 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวตาแห้ง 17     | 35.33±0.57    | 29.00±1.00 | 28.17±0.15 |
| กลุ่มแอมิโลสสูง                 |               |            |            |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 2       | 36.00±0.20    | 30.67±0.57 | 28.33±0.57 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เหลืองประทิว 123 | -             | -          | 27.67±0.20 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1         | 35.13±0.80    | 29.67±1.15 | 28.00±1.00 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปราจีนบุรี 2     | -             | -          | 27.67±0.81 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1     | 36.50±0.50    | 31.67±1.52 | 31.67±1.52 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปิ่นแก้ว 56      | -             | -          | 28.50±0.50 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 90    | 35.80±1.05    | 32.67±0.57 | 30.67±0.57 |

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยคิดจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

-หมายความว่าไม่ได้ทำการวัด

มุมกองของข้าวเปลือกอยู่ในช่วง 34.40 – 40.50 มุมกองของข้าวกล้องอยู่ในช่วง 27.67 – 35.00 มุมกองของข้าวสาร อยู่ในช่วง 22.73 – 34.33 มุมกองของข้าวเปลือก มีค่าสูงสุด เนื่องจากข้าวเปลือกมีหนามยาวและแหลมคม เมื่อกองซ้อนกันจะเกาะเกี่ยวกันทำให้กองซ้อนกันได้สูง ส่วนข้าวกล้องจะมีมุมกองมากกว่าข้าวสาร เนื่องจากผิวข้าวกล้องหยาบกว่ามีโอกาสกองได้สูงกว่าข้าวสารซึ่งมีผิวเรียบ

ค่ามุมกองของข้าวเปลือกของอิหร่าน 3 พันธุ์อยู่ในช่วง 13.60-14.76 ค่ามุมกองของข้าวกล้องอิหร่านอยู่ในช่วง 13.26-13.47 ค่ามุมกองของข้าวสารอิหร่าน อยู่ในช่วง 11.65-12.76 (Razavi and Farahmandfar, 2008)

### 1.6 มุมไหล (Angle of friction)

มุมไหล (Angle of friction) เป็นมุมที่ข้าวเริ่มไหล ซึ่งเป็นสมบัติที่ขึ้นกับแรงเสียดทานของข้าวกับวัสดุที่ทดลอง ในการทดลองนี้ใช้วัสดุเป็นแผ่นสแตนเลส มุมไหลมีประโยชน์ในการหาค่า สัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต (coefficient of static friction,  $\mu$ ) ซึ่งหาได้จากสมการ  $\mu = \tan \theta$  มุมไหลของข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวสาร บนแผ่นสแตนเลส แสดงในตารางที่ 11

ตารางที่ 11 มุมไหล (Angle of friction)

| สายพันธุ์                            | มุมไหล (องศา) |             |             |
|--------------------------------------|---------------|-------------|-------------|
|                                      | ข้าวเปลือก    | ข้าวกล้อง   | ข้าวสาร     |
| กลุ่มแอมิโลสต่ำมาก                   |               |             |             |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1         | 22.33±1.15    | 19.53±0.41  | 18.73±0.64  |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 10               | 20.67±0.57    | 19.80±0.72  | 18.67±0.57  |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 8                | 23.23±0.20    | 20.47±0.50  | 13.40±0.40  |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง     | 23.40±0.25    | 21.33±0.57  | 19.13±0.23  |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สกลนคร              | 22.00±0.00    | 20.47±0.50  | 19.23±0.75  |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์หางยี 71            | 24.10±0.36    | 21.97±0.15  | 19.70±0.26  |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 6                | 21.67±1.15    | 19.33±0.57  | 17.00±1.00  |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวอุบลราชธานี 2 | 20.67±0.577   | 19.20±0.346 | 19.67±4.618 |
| กลุ่มแอมิโลสต่ำ                      |               |             |             |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 15                 | 22.67±0.57    | 20.00±0.00  | 18.67±0.57  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105        | 23.47±0.50    | 20.33±0.57  | 18.67±0.57  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สังข์หยดพัทลุง        | 21.33±0.56    | 20.22±0.15  | 18.67±0.75  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1            | 23.33±0.57    | 22.00±0.00  | 18.67±0.57  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 21                 | 20.80±0.34    | 19.83±0.55  | 17.27±0.64  |

ตารางที่ 11 (ต่อ) มุมไหล (Angle of friction)

| สายพันธุ์                       | มุมไหล (องศา) |            |            |
|---------------------------------|---------------|------------|------------|
|                                 | ข้าวเปลือก    | ข้าวกล้อง  | ข้าวสาร    |
| กลุ่มแอมิโลสปานกลาง             |               |            |            |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 2     | 23.00±1.00    | 22.00±0.00 | 19.33±0.57 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เล็บนกปัตตานี    | 23.07±0.90    | 21.17±0.57 | 20.14±0.64 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์อยุธยา 1         | 22.10±0.41    | 20.67±0.55 | 19.33±0.15 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 60    | 21.43±0.51    | 19.80±0.34 | 16.70±0.60 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 3       | 23.33±0.30    | 22.10±0.10 | 19.93±0.11 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เงี้ยวพัทลุง     | 21.33±1.15    | 20.67±0.25 | 18.83±0.55 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ลูกผสม เบอร์ 2   | 22.47±0.57    | 19.98±0.15 | 17.40±0.23 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวตาแห้ง 17     | 23.07±0.90    | 20.17±0.20 | 18.83±0.20 |
| กลุ่มแอมิโลสสูง                 |               |            |            |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 2       | 22.80±0.34    | 21.67±0.57 | 21.07±0.11 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เหลืองประทิว 123 | -             | -          | 19.17±0.50 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1         | 23.43±0.15    | 21.67±0.57 | 19.47±0.55 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปราจีนบุรี 2     | -             | -          | 18.33±0.56 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1     | 20.33±0.57    | 19.00±0.00 | 16.80±0.34 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปิ่นแก้ว 56      | -             | -          | 18.67±0.50 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 90    | 22.47±0.50    | 20.47±0.50 | 19.67±0.57 |

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยคิดจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

สำหรับข้าวไทย ข้าวเปลือกมีมุมไหลอยู่ในช่วง 20.33 – 24.10 ข้าวกล้องมีมุมไหลอยู่ในช่วง 19.00 – 22.10 และข้าวสารมีมุมไหลอยู่ในช่วง 13.40 – 21.07 ข้าวเปลือกมีสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตกับสแตนเลสอยู่ในช่วง 0.371 – 0.447 ข้าวกล้องมีสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตกับสแตนเลสอยู่ในช่วง 0.344 – 0.406 และข้าวสารมีสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตกับสแตนเลสอยู่ในช่วง 0.238 – 0.385

สำหรับข้าวอเมริกา ข้าวเปลือกมีสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตกับเหล็กแผ่น อยู่ในช่วง 0.183-0.200 นั่นคือมุมไหลอยู่ในช่วง 10.37 – 11.31 (Kunze and Wratten, 1985)

สำหรับข้าวอิหร่าน ข้าวเปลือกมีสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตกับเหล็กแผ่นเคลือบสังกะสีอยู่ในช่วง 0.3366 - 0.4452 ข้าวกล้องมีสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตกับเหล็กแผ่นเคลือบสังกะสีอยู่ในช่วง 0.2815 - 0.3019 และข้าวสารมีสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตกับเหล็กแผ่นเคลือบสังกะสีอยู่ในช่วง 0.2460 - 0.2739 (Razavi and Farahmandfar, 2008)

ข้าวสารมีมุมไหลต่ำสุดเพราะข้าวสารมีผิวเรียบมีสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตต่ำที่สุด รองลงมาเป็นข้าวกล้อง เนื่องจากมีผิวขรุขระเพิ่มขึ้น ส่วนข้าวเปลือกมีมุมไหลสูงที่สุด เพราะข้าวเปลือกมีหนามแหลมที่ใช้เกาะเกี่ยวพื้นผิวโลหะไว้ได้ ทำให้ไหลยาก ต้องหมุนให้มุมสูงขึ้นจึงจะเริ่มไหล

### 1.7 สี (Color)

สีของข้าวเป็นสมบัติที่สำคัญที่ใช้ในการแยกสีด้วยเครื่องคัดแยกสี ส่วนใหญ่โรงสีต้องทำการคัดแยกเมล็ดข้าวเปลือก เมล็ดดำ เมล็ดแดง เมล็ดเหลืองจากข้าวขาว ในการวัดความขาวของข้าวสารโรงสีจะใช้เครื่องวัดความขาว แต่ในปัจจุบันหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับสีและแสงได้กำหนดระบบการวัดสีเป็นระบบ CIELAB ซึ่งเป็นมาตรฐานสากล และนักวิจัยมีเครื่องวัดสีในระบบนี้ เพื่อให้ได้ข้อมูลใหม่ที่เป็นพื้นฐานแก่ข้าวไทย โดยวัดออกมาเป็นค่า  $L^*$   $a^*$   $b^*$  ซึ่งค่า  $L^*$  เป็นค่าความสว่าง ความมืด หรือขาว-ดำ มีค่าตั้งแต่ 0 – 100 ค่า  $L^*$  เป็น 0 แสดงว่ามีมืดหรือดำ 100 แสดงว่า สว่างหรือขาว ค่า  $a^*$  เป็นลบ แสดงว่ามีสีเขียวเจือปน เป็นค่าบวกแสดงว่ามีสีแดงเจือปน ค่า  $b^*$  เป็นค่าลบแสดงว่ามีสีน้ำเงินเจือปน เป็นค่าบวกแสดงว่ามีสีเหลืองเจือปน สมบัติด้านสีของข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวสาร แสดงในตารางที่ 12 13 และ 14

ตารางที่ 12 ค่าสี L\*

| สายพันธุ์                            | ค่าสี L*   |            |            |
|--------------------------------------|------------|------------|------------|
|                                      | ข้าวเปลือก | ข้าวกล้อง  | ข้าวสาร    |
| กลุ่มแอมิโลสต่ำมาก                   |            |            |            |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1         | 55.48±0.06 | 66.78±0.21 | 81.71±0.16 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 10               | 56.39±0.37 | 67.22±0.62 | 81.50±0.00 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 8                | 55.33±0.71 | 69.01±0.87 | 83.91±0.88 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง     | 52.14±0.34 | 67.72±0.37 | 82.91±0.05 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สกลนคร              | 54.30±0.30 | 65.40±0.17 | 80.48±0.11 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์หางยี 71            | 47.14±0.62 | 69.22±0.55 | 80.14±0.05 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 6                | 57.67±0.16 | 69.10±0.36 | 80.74±0.28 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวอุบลราชธานี 2 | 49.25±0.13 | 68.01±0.13 | 80.91±0.19 |
| กลุ่มแอมิโลสต่ำ                      |            |            |            |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 15                 | 55.57±0.15 | 62.86±0.09 | 73.42±0.06 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105        | 60.27±0.08 | 60.43±0.13 | 74.73±0.04 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สังข์หยดพัทลุง        | 52.86±0.06 | 36.78±0.25 | 76.64±0.05 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1            | 58.24±0.15 | 61.23±0.13 | 70.90±0.08 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 21                 | 52.66±0.42 | 66.54±0.83 | 71.35±0.40 |
| กลุ่มแอมิโลสปานกลาง                  |            |            |            |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 2          | 52.54±0.35 | 60.74±0.34 | 72.10±0.35 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เล็บนกปัตตานี         | 56.10±0.03 | 64.94±0.05 | 73.74±1.96 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์อยุธยา 1              | 53.89±0.06 | 60.62±0.71 | 72.82±0.85 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 60         | 56.93±0.04 | 60.43±0.10 | 73.07±0.16 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 3            | 51.87±0.59 | 64.01±0.40 | 69.65±0.35 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เงี้ยวพัทลุง          | 55.09±0.09 | 64.68±0.12 | 71.54±0.18 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ลูกผสม เบอร์ 2        | 52.52±0.10 | 63.75±0.15 | 75.80±0.16 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวตาแห้ง 17          | 56.14±0.93 | 65.89±0.35 | 73.81±0.24 |

ตารางที่ 12 (ต่อ) ค่าสี L\*

| สายพันธุ์                       | ค่าสี L*   |            |            |
|---------------------------------|------------|------------|------------|
|                                 | ข้าวเปลือก | ข้าวกล้อง  | ข้าวสาร    |
| กลุ่มเอมิโลสสูง                 |            |            |            |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 2       | 55.78±0.1  | 58.85±0.15 | 72.10±0.19 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เหลืองประทิว 123 | -          | -          | 72.27±0.56 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1         | 58.25±0.11 | 69.54±0.61 | 72.80±0.72 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปราจีนบุรี 2     | -          | -          | 76.96±0.22 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1     | 55.12±0.13 | 67.10±0.09 | 76.35±0.04 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปิ่นแก้ว 56      | -          | -          | 75.34±0.06 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 90    | 55.30±0.26 | 61.28±0.11 | 71.87±0.17 |

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยคิดจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, -หมายความว่าไม่ได้ทำการวัด

ค่าความขาวหรือความสว่างของข้าวเปลือกอยู่ในช่วง 47.14 – 60.27 ค่าความขาวหรือความสว่างของข้าวกล้องอยู่ในช่วง 36.78 – 69.54 และค่าความขาวหรือความสว่างของข้าวสารอยู่ในช่วง 69.65 – 83.91 ค่าความขาวหรือความสว่างของข้าวสารมีค่ามากที่สุด รองลงมา ได้แก่ ข้าวกล้อง และข้าวเปลือกมีค่าความขาวต่ำที่สุด

เครื่องวัดความขาวที่โรงสีข้าวนิยมใช้เป็นเครื่องวัดความขาวยี่ห้อ Kett ใช้ในการควบคุมคุณภาพการวัดสีโดยเครื่อง Minolta Colorimeter จะทำให้ได้ตัวเลขที่แน่นอนกว่าและสามารถนำไปใช้ในการวิจัยเพื่อตั้งมาตรฐานในอนาคต

ตารางที่ 13 ค่าสี a\*

| สายพันธุ์                            | ค่าสี a*   |            |            |
|--------------------------------------|------------|------------|------------|
|                                      | ข้าวเปลือก | ข้าวกล้อง  | ข้าวสาร    |
| กลุ่มเอมิโลสต่ำมาก                   |            |            |            |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1         | 6.22±0.09  | 2.35±0.10  | -1.45±0.02 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 10               | 6.77±0.04  | 2.85±0.17  | -1.17±0.00 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 8                | 7.11±0.22  | 2.32±0.24  | -1.04±0.04 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง     | 6.22±0.09  | 2.35±0.10  | -1.45±0.02 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สกลนคร              | 6.13±0.14  | 2.65±0.18  | -1.24±0.07 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์หางยี 71            | 8.91±0.29  | 1.97±0.28  | -0.61±0.08 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 6                | 5.50±0.56  | 0.89±0.09  | -1.22±0.03 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวอุบลราชธานี 2 | 7.50±0.04  | 2.32±0.24  | -1.04±0.04 |
| กลุ่มเอมิโลสต่ำ                      |            |            |            |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 15                 | 6.90±0.21  | 3.68±0.07  | -0.49±0.08 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105        | 4.73±0.05  | 3.76±0.14  | -0.30±0.24 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สังข์หยดพัทลุง        | 5.31±0.31  | 15.53±0.32 | 2.16±0.06  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1            | 4.22±0.30  | 3.21±0.27  | -0.17±0.04 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 21                 | 6.8±0.44   | 2.30±0.19  | -0.66±0.23 |
| กลุ่มเอมิโลสปานกลาง                  |            |            |            |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 2          | 8.23±0.10  | 4.15±0.12  | -0.14±0.04 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เล็บนกปัตตานี         | 7.77±0.02  | 3.29±0.11  | -0.14±0.10 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์อยุธยา 1              | 6.22±0.39  | 4.41±0.59  | 0.23±0.09  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 60         | 5.78±0.17  | 3.94±0.07  | -0.49±0.13 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 3            | 6.58±0.36  | 4.49±0.47  | -0.06±0.05 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เจียะปัตลุง           | 8.63±0.081 | 3.37±0.21  | 0.36±0.10  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ลูกผสม เบอร์ 2        | 6.51±0.19  | 2.96±0.31  | -0.41±0.83 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวตาแห้ง 17          | 6.03±0.46  | 2.33±0.10  | -0.82±0.12 |

ตารางที่ 13 (ต่อ) ค่าสี a\*

| สายพันธุ์                       | ค่าสี a*   |           |            |
|---------------------------------|------------|-----------|------------|
|                                 | ข้าวเปลือก | ข้าวกล้อง | ข้าวสาร    |
| กลุ่มแอมิโลสสูง                 |            |           |            |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 2       | 5.47±0.36  | 3.55±0.11 | -0.51±0.03 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เหลืองประทิว 123 | -          | -         | -0.47±0.06 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1         | 5.56±0.27  | 2.35±0.10 | -0.23±0.07 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปราจีนบุรี 2     | -          | -         | -0.86±0.17 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1     | 7.30±0.07  | 1.83±0.16 | -0.68±0.00 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปิ่นแก้ว 56      | -          | -         | -0.64±0.08 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 90    | 5.51±0.38  | 2.89±0.11 | -0.32±0.10 |

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยคิดจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, -หมายความว่าไม่ได้ทำการวัด

ค่าสี a\* ของข้าวเปลือกมีค่าตั้งแต่ 4.22 - 8.91 ค่าสี a\* ของข้าวกล้องมีค่าตั้งแต่ 0.89 – 15.53 ค่าสี a\* ของข้าวสารมีค่าตั้งแต่ -1.45 – 2.16

ค่าสี a\* ของข้าวเปลือกและข้าวกล้องอยู่ในเกณฑ์บวก แสดงว่ามีสีแดงเจือปน ส่วนค่าสี a\* ของข้าวสารอยู่ในเกณฑ์ลบ แสดงว่า มีสีเขียวเจือปนเล็กน้อยซึ่งแตกต่างจากข้าวเปลือกและข้าวกล้องอย่างเห็นได้ชัด และมีข้าวสารบางพันธุ์ที่ a\* อยู่ในเกณฑ์บวกได้แก่พันธุ์สังข์หยดพัทลุง พันธุ์อุรุยา 1 พันธุ์เลี้ยงพัทลุง แสดงว่ามีสีแดงเจือปนเล็กน้อย

ตารางที่ 14 ค่าสี b\*

| สายพันธุ์                            | ค่าสี b*   |            |            |
|--------------------------------------|------------|------------|------------|
|                                      | ข้าวเปลือก | ข้าวกล้อง  | ข้าวสาร    |
| กลุ่มแอมิโลสต่ำมาก                   |            |            |            |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1         | 28.73±0.03 | 21.86±0.16 | 11.71±0.09 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 10               | 31.73±0.25 | 21.89±0.07 | 13.13±0.01 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 8                | 29.90±0.24 | 20.87±0.27 | 13.19±0.10 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง     | 31.81±0.13 | 21.58±3.08 | 12.02±0.16 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สกลนคร              | 28.70±0.31 | 2.92±0.45  | 12.77±0.11 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์หางยี 71            | 29.11±0.46 | 20.89±0.95 | 14.54±0.41 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 6                | 36.04±0.80 | 22.57±0.04 | 14.21±0.21 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวอุบลราชธานี 2 | 30.90±0.40 | 21.24±0.32 | 13.56±0.31 |
| กลุ่มแอมิโลสต่ำ                      |            |            |            |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 15                 | 29.78±0.32 | 22.31±0.08 | 15.34±0.03 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105        | 29.75±0.03 | 22.95±0.18 | 16.79±0.26 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สังข์หยดพัทลุง        | 25.49±0.72 | 19.76±0.20 | 13.98±0.12 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1            | 27.95±0.46 | 22.31±0.25 | 17.69±0.41 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 21                 | 29.66±0.19 | 20.78±0.20 | 15.02±0.33 |
| กลุ่มแอมิโลสปานกลาง                  |            |            |            |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 2          | 28.56±0.52 | 22.27±0.23 | 17.91±0.27 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เล็บนกปัตตานี         | 30.85±0.13 | 22.26±0.04 | 16.32±0.14 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์อยุธยา 1              | 28.41±0.23 | 23.45±0.30 | 17.55±0.39 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 60         | 27.78±0.22 | 21.00±0.25 | 15.60±0.29 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 3            | 25.63±0.20 | 20.100±.17 | 16.55±0.38 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เขื่องพัทลุง          | 31.42±0.27 | 22.69±0.59 | 17.95±0.18 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ลูกผสม เบอร์ 2        | 27.42±1.32 | 21.92±0.15 | 17.55±0.39 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวตาแห้ง 17          | 29.65±0.53 | 23.86±0.66 | 15.34±0.36 |

ตารางที่ 14 (ต่อ) ค่าสี b\*

| สายพันธุ์                       | ค่าสี b*   |            |            |
|---------------------------------|------------|------------|------------|
|                                 | ข้าวเปลือก | ข้าวกล้อง  | ข้าวสาร    |
| กลุ่มแอมิโลสสูง                 |            |            |            |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 2       | 28.83±0.45 | 20.83±0.14 | 15.65±0.10 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เหลืองประทิว 123 | -          | -          | 16.10±0.13 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1         | 26.69±0.42 | 22.33±0.27 | 17.02±0.15 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปราจีนบุรี 2     | -          | -          | 14.79±0.13 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1     | 29.54±0.08 | 19.50±0.13 | 14.73±0.28 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปิ่นแก้ว 56      | -          | -          | 14.09±0.11 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 90    | 27.78±0.31 | 21.09±0.17 | 17.13±0.10 |

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยคิดจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, - หมายความว่าไม่ได้ทำการวัด

ค่าสี b\* ของข้าวเปลือกมีค่าตั้งแต่ 25.49 – 36.04 ค่าสี b\* ของข้าวกล้องมีค่าตั้งแต่ 2.92 – 23.86 ค่าสี b\* ของข้าวสารมีค่าตั้งแต่ 11.71 – 17.91 ค่าสี b\* อยู่ในเกณฑ์บวก แสดงว่ามีสีเหลืองเจือปน ข้าวเปลือกมีสีเหลืองเจือปนมากกว่า ข้าวกล้องและข้าวสาร

ตารางที่ 15 ความเงา (Gloss)

| สายพันธุ์                            | ความเงา (%) |         |
|--------------------------------------|-------------|---------|
|                                      | ข้าวกล้อง   | ข้าวขาว |
| กลุ่มเอมิโลสต่ำมาก                   |             |         |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1         | 0.90        | 1.30    |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 10               | -           | 1.30    |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 8                | 0.63        | 1.20    |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง     | -           | 1.37    |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สกลนคร              | -           | 1.37    |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์หางยี 71            | 0.80        | -       |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 6                | 0.90        | 1.17    |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวอุบลราชธานี 2 | -           | 1.27    |
| กลุ่มเอมิโลสต่ำ                      |             |         |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 15                 | 0.97        | 1.37    |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105        | 1.00        | 1.17    |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สังข์หยดพัทลุง        | 0.40        | 1.30    |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1            | 0.77        | 1.37    |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 21                 | 1.00        | -       |
| กลุ่มเอมิโลสปานกลาง                  |             |         |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 2          | -           | 1.37    |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เล็บนกปัตตานี         | 1.13        | 1.30    |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์อยุธยา 1              | 0.90        | 1.40    |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 60         | -           | 1.10    |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 3            | 0.70        | 1.23    |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เฉิมพัทลุง            | 1.03        | 1.50    |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ลูกผสม เบอร์ 2        | 0.97        | 1.30    |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวตาแห้ง 17          | -           | 1.36    |

ตารางที่ 15 (ต่อ) ความเงา (Gloss)

| สายพันธุ์                       | ความเงา (%) |         |
|---------------------------------|-------------|---------|
|                                 | ข้าวกล้อง   | ข้าวขาว |
| กลุ่มเอมิโลสสูง                 |             |         |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 2       | 0.93        | 1.33    |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เหลืองประทิว 123 | -           | 1.33    |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1         | 0.93        | 1.33    |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปราจีนบุรี 2     | -           | 1.17    |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1     | 1.16        | 1.30    |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปิ่นแก้ว 56      | -           | 1.50    |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 90    | 1.20        | -       |

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยคิดจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ  $\pm$  ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, - หมายความว่าไม่ได้ทำการวัด

ความเงาของข้าวกล้องพันธุ์ต่างๆอยู่ในช่วงร้อยละ 0.40 - 1.16 ความเงาของข้าวสารพันธุ์ต่างๆอยู่ในช่วงร้อยละ 1.10 – 1.50 แสดงว่าข้าวสารมีความเงามากกว่าข้าวกล้อง

ตารางที่ 16 ความเงาของข้าวทางการค้า

| ข้าวทางการค้า               | ความเงา (%) |
|-----------------------------|-------------|
| ข้าวหอมมะลิ100% มานูญครอง   | 1.63        |
| ข้าวหอมมะลิ100% ตราฉัตรทอง  | 1.63        |
| ข้าวหอมมะลิ100% ตราหงษ์ทอง  | 1.57        |
| ข้าวเสาไห้คัดพิเศษ ตราเกษตร | 1.40        |

ข้าวสารที่ผ่านการปรับปรุงสภาพข้าวคือทำความสะอาด แยกหิน ขัดมัน คัดขนาด และคัดแยกข้าวสีออกไป จนได้ข้าวที่สะอาดจะมีความเงาสูง จากการตรวจวัดความเงาพบว่าอยู่ในช่วงร้อยละ 1.40 - 1.63 ซึ่งมีค่าสูงกว่าข้าวสารอย่างมาก สาเหตุที่มีความเงาสูงเนื่องจากข้าวได้ผ่านการขัดสีเพิ่มขึ้นเพื่อกำจัดรำที่เหลือออกไปโดยเครื่องขัดมันที่มีการเติมน้ำและอากาศ และขัดผิวโดยอาศัยความเสียดสีระหว่างเมล็ดข้าวด้วยกันและความเสียดสีระหว่างเมล็ดข้าวและแผ่นหนัง

### 1.8 สมบัติวิทยากระแส (Rheological properties)

สมบัติวิทยากระแส เป็นการศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง และการไหลเมื่อมีแรงมากระทำต่อวัตถุ การศึกษาสมบัติทางวิทยากระแสของข้าวไทย สามารถนำไปออกแบบกระบวนการผลิต กระบวนการไหล ของของเหลวในท่อ การถ่ายเทความร้อน ศึกษาโครงสร้างของอาหาร ศึกษาเนื้อสัมผัสของอาหาร ใน งานวิจัยนี้สนใจศึกษาสมบัติทางด้านความหนืดของแป้งข้าว โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว (Rapid Visco Analyzer) โดยการผสมแป้งกับน้ำแล้วกวนผสมและให้ความร้อนสตาร์ชจะดูดน้ำและพองตัว ความหนืดจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนถึงจุดที่สตาร์ชพองตัวเต็มที่ ซึ่งเป็นจุดที่ส่วนผสมมีความหนืดมากที่สุด เรียกว่า การเกิดเจลในเซชัน หรือสุก ในขณะที่เครื่องยังกวนผสมต่อไปจะทำลายโครงสร้างของสตาร์ช ให้ความหนืดลดลง เมื่อลดอุณหภูมิ ทำให้โมเลกุลของสตาร์ชจัดเรียงตัวใหม่ มีผลทำให้ส่วนผสมหนืดขึ้น อีกครั้ง เรียกปรากฏการณ์นี้ว่ารีโทเกรเดชัน (Sanders, 1996; Whister and Bemiller, 1999)

สมบัติทางด้านความหนืดของแป้งข้าวพันธุ์ต่างๆแสดงในตารางที่ 17 Pasting temperature คือ อุณหภูมิที่แป้งข้าวเริ่มเกิดความหนืด Peak viscosity คือ ค่าความหนืดสูงสุดของแป้งข้าวเมื่อให้ความร้อน Breakdown คือ ความคงทนต่ออุณหภูมิของแป้งข้าว คำนวณจากค่าความหนืดสูงสุด ลบด้วยค่าความหนืดต่ำสุด Setback from though คือ ความหนืดสุดท้ายของเจลแป้งข้าวลบด้วยค่าความหนืดต่ำสุด หน่วยของความหนืดสามารถบอกเป็น RVU (Rapid Visco Unit) หรือ cP (centi Poise) โดยที่  $1 \text{ RVU} = 12 \text{ cP}$

ตารางที่ 17 สมบัติทางความหนืด ของแป้งข้าวไทย

| สายพันธุ์                                | สมบัติทางความหนืด              |                           |                   |                            |                 |
|------------------------------------------|--------------------------------|---------------------------|-------------------|----------------------------|-----------------|
|                                          | Pasting<br>temperature<br>(°C) | Peak<br>viscosity<br>(cP) | Breakdown<br>(cP) | Final<br>Viscosity<br>(cP) | Setback<br>(cP) |
| กลุ่มแอมิโลสต่ำมาก                       |                                |                           |                   |                            |                 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1             | 66.50                          | 3,060                     | 1,886             | 1,413                      | 239             |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 10                   | 66.50                          | 3,133                     | 1,766             | 1,694                      | 327             |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 8                    | 66.45                          | 2,948                     | 1,704             | 1,519                      | 275             |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง         | 67.30                          | 2,894                     | 1,923             | 1,221                      | 250             |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สกลนคร                  | 69.65                          | 3,532                     | 2,144             | 1,826                      | 438             |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์หางยี 71                | 67.33                          | 2,973                     | 1,920             | 1,357                      | 304             |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 6                    | 66.50                          | 2,918                     | 1,943             | 1,210                      | 235             |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียว<br>อุบลราชธานี 2 | 70.20                          | 3,243                     | 2,074             | 1,442                      | 273             |
| กลุ่มแอมิโลสต่ำ                          |                                |                           |                   |                            |                 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 15                     | 72.22                          | 4,070                     | 2,199             | 2,901                      | 1,030           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105            | 69.62                          | 3,798                     | 2,114             | 2,729                      | 1,045           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สังข์หยดพัทลุง            | 80.62                          | 3,591                     | 1,699             | 3,369                      | 1,477           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1                | 72.20                          | 3,744                     | 2,152             | 2,709                      | 1,117           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 21                     | 68.70                          | 3547                      | 1727              | 3114                       | 1294            |
| กลุ่มแอมิโลสปานกลาง                      |                                |                           |                   |                            |                 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 2              | 82.30                          | 1,993                     | 512               | 3,536                      | 2,055           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เล็บนกปัตตานี             | 79.90                          | 2,995                     | 1,466             | 3,121                      | 1,592           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์อยุธยา 1                  | 77.35                          | 3,301                     | 906               | 5,044                      | 2,649           |

ตารางที่ 17 (ต่อ) สมบัติทางความหนืดของแป้งข้าวไทย

| สายพันธุ์                       | สมบัติทางความหนืด        |                     |                |                      |              |
|---------------------------------|--------------------------|---------------------|----------------|----------------------|--------------|
|                                 | Pasting temperature (°C) | Peak viscosity (cP) | Breakdown (cP) | Final Viscosity (cP) | Setback (cP) |
| กลุ่มเอมิโลสปานกลาง (ต่อ)       |                          |                     |                |                      |              |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 60    | 69.50                    | 2,727               | 1,255          | 3,420                | 1,948        |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 3       | 76.30                    | 2,663               | 1,010          | 3,251                | 1,598        |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เงี้ยวพัทลุง     | 78.55                    | 3,722               | 1,164          | 5,241                | 2,683        |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ลูกผสม เบอร์ 2   | 80.60                    | 3,779               | 1,282          | 4,682                | 2,183        |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวตาแห้ง 17     | 78.05                    | 3,779               | 1,284          | 4,682                | 2,186        |
| กลุ่มเอมิโลสสูง                 |                          |                     |                |                      |              |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 2       | 72.00                    | 1,698               | 309            | 2,630                | 1,241        |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เหลืองประทิว 123 | 78.90                    | 3,220               | 953            | 4,423                | 2,156        |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1         | 78.55                    | 3,245               | 1,117          | 4,216                | 2,088        |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปราจีนบุรี 2     | 80.60                    | 3,804               | 1,704          | 4,026                | 1,926        |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1     | 81.55                    | 2,495               | 821            | 3,919                | 2,245        |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปิ่นแก้ว 56      | 78.85                    | 2,756               | 1,306          | 3,228                | 1,778        |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 90    | 73.60                    | 2,230               | 708            | 3,503                | 1,981        |

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยคิดจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

ข้าวเหนียวมีอุณหภูมิที่แป้งเริ่มสุก (Pasting temperature) อยู่ในช่วง 66.45 – 70.20 องศาเซลเซียส มีความหนืดสูงสุด (Peak viscosity) อยู่ในช่วง 2,894 – 3,532 cP ความหนืดลดลง (Breakdown) อยู่ในช่วง 1,704 – 2,144 cP ความหนืดสุดท้าย (Final viscosity) อยู่ในช่วง 1,210 – 1,826 cP และ ค่าการคืนตัว (Setback) อยู่ในช่วง 235 – 438 cP

ข้าวเจ้ามีอุณหภูมิที่แป้งเริ่มสุก (Pasting temperature) อยู่ในช่วง 68.70 – 82.30 องศาเซลเซียส มีความหนืดสูงสุด (Peak viscosity) อยู่ในช่วง 1,698 – 4,070 cP ความหนืดลดลง (Breakdown) อยู่ในช่วง 309- 2,199 cP ความหนืดสุดท้าย (Final viscosity) อยู่ในช่วง 2,630 – 5,044 cP และ ค่าการคืนตัว (Setback) อยู่ในช่วง 1,030- 2,683 cP

จากข้อมูลดังกล่าว จะเห็นได้ว่า ข้าวเหนียวสุกเร็วกว่าข้าวเจ้า ความหนืดสูงสุด และค่าความหนืดลดลงของข้าวเจ้ามีช่วงที่ต่ำกว่า ไกล่เคียงและสูงกว่าข้าวเหนียว ค่าความหนืดสุดท้าย และค่าการคืนตัวของข้าวเจ้าสูงกว่าข้าวเหนียวอย่างเห็นได้ชัดเจน ซึ่งค่าความหนืดสุดท้ายและค่าการคืนตัวที่สูงจึงจะเหมาะในการทำก๋วยเตี๋ยวและผลิตภัณฑ์แป้งที่ต้องการความแข็งแรงของเจลสูง ข้อมูลนี้สามารถนำไปใช้ในการตั้งเกณฑ์มาตรฐานสำหรับการผสมแป้งข้าวเพื่อใช้ทำผลิตภัณฑ์ประเภทต่างๆโดยต้องมีข้อมูลปริมาณแอมิโลส และความหนืดสุดท้ายที่สามารถทำผลิตภัณฑ์ได้อย่างมีคุณภาพ กล้าณรงค์และคณะ (มปป) พบว่าค่าความหนืดสุดท้ายของตัวอย่างข้าวที่สูงกว่า 350 RVU (4200 cP) สามารถทำก๋วยเตี๋ยวได้ และเครื่องมือวัดความหนืดอย่างรวดเร็วสามารถใช้ในการควบคุมคุณภาพในกระบวนการผลิตก๋วยเตี๋ยวได้

### 1.9 ปริมาณของแข็งในน้ำข้าว (Solid content in boiling water)

ปริมาณของแข็งในน้ำข้าวเป็นสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งที่บ่งชี้ความใหม่ และความเก่าของข้าว โดยทั่วไปจะมีของแข็งละลายน้ำที่ใช้หุงมากส่วนข้าวเก่าจะมีของแข็งละลายน้ำน้อยลงซึ่งความรู้นี้สามารถใช้ในการเร่งความเก่าของข้าวหรือชะลอความเก่าของข้าว สมบัติปริมาณของแข็งในน้ำข้าวของข้าวสารพันธุ์ต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 18

ตารางที่ 18 ปริมาณของแข็งในน้ำข้าว (Solid content in boiling water)

| สายพันธุ์                            | ปริมาณของแข็งในน้ำข้าว (%) |
|--------------------------------------|----------------------------|
| กลุ่มแอมิโลสต่ำมาก                   |                            |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1         | $0.05 \pm 0.01$            |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 10               | $0.04 \pm 0.01$            |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 8                | $0.04 \pm 0.00$            |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง     | $0.05 \pm 0.00$            |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สกลนคร              | $0.13 \pm 0.01$            |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์หางยี 71            | $0.06 \pm 0.01$            |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 6                | $0.04 \pm 0.02$            |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวอุบลราชธานี 2 | $0.08 \pm 0.01$            |
| กลุ่มแอมิโลสต่ำ                      |                            |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 15                 | $0.27 \pm 0.02$            |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105        | $0.18 \pm 0.01$            |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สังข์หยดพัทลุง        | $0.29 \pm 0.02$            |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1            | $0.15 \pm 0.02$            |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 21                 | $0.20 \pm 0.02$            |
| กลุ่มแอมิโลสปานกลาง                  |                            |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 2          | $0.18 \pm 0.00$            |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เล็บนกปัตตานี         | $0.37 \pm 0.01$            |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์อยุธยา 1              | $0.30 \pm 0.03$            |

ตารางที่ 18 (ต่อ) ปริมาณของแข็งในน้ำข้าว (Solid content in boiling water)

| สายพันธุ์                       | ปริมาณของแข็งในน้ำข้าว (%) |
|---------------------------------|----------------------------|
| กลุ่มเอมิโลสปานกลาง             |                            |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 60    | $0.11 \pm 0.01$            |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 3       | $0.25 \pm 0.00$            |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เสี้ยนพัตลุง     | $0.28 \pm 0.03$            |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ลูกผสม เบอร์ 2   | $0.31 \pm 0.01$            |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวตาแห้ง 17     | $0.25 \pm 0.01$            |
| กลุ่มเอมิโลสสูง                 |                            |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 2       | $0.19 \pm 0.00$            |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เหลืองประทิว 123 | $0.35 \pm 0.02$            |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1         | $0.20 \pm 0.01$            |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปราจีนบุรี 2     | $0.42 \pm 0.06$            |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1     | $0.19 \pm 0.01$            |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปิ่นแก้ว 56      | $0.53 \pm 0.03$            |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 90    | $0.18 \pm 0.01$            |

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยคิดจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ  $\pm$  ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ข้าวเหนียวมีปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำต้มในช่วง 0.04 - 0.13 % ในขณะที่ข้าวเจ้ามีปริมาณของแข็งที่ละลายมาในน้ำต้มในช่วง 0.11 – 0.53 % แสดงให้เห็นว่าข้าวเหนียวมีปริมาณของแข็งที่ละลายออกมาจากเมล็ดข้าว น้อยกว่าข้าวเจ้าอย่างเห็นได้ชัด

### 1.10 อัตราการยืดตัวของข้าวสุก (Expansion ratio in length)

อัตราการยืดตัวของข้าวสุก เป็นสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งที่บ่งชี้ความใหม่และความเก่าของข้าว โดยทั่วไป ข้าวใหม่จะมีการยืดตัวของข้าวสุกน้อยกว่าข้าวเก่า สมบัติการยืดตัวของข้าวสุกสามารถนำไปใช้ศึกษาการเร่ง และชะลอความเก่าของข้าว สมบัติการยืดตัวของข้าวสุกในข้าวสารพันธุ์ต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 19

ตารางที่ 19 อัตราการยืดตัวของข้าวสุก (Expansion ratio in length)

| สายพันธุ์                            | อัตราการยืดตัวของข้าวสุก |
|--------------------------------------|--------------------------|
| กลุ่มแอมิโลสต่ำมาก                   |                          |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1         | $1.67 \pm 0.06$          |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 10               | $1.55 \pm 0.02$          |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 8                | $1.60 \pm 0.08$          |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง     | $1.63 \pm 0.06$          |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สกลนคร              | $1.93 \pm 0.09$          |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์หางยี 71            | $1.54 \pm 0.06$          |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 6                | $1.65 \pm 0.04$          |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวอุบลราชธานี 2 | $1.71 \pm 0.08$          |
| กลุ่มแอมิโลสต่ำ                      |                          |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 15                 | $1.81 \pm 0.09$          |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105       | $1.60 \pm 0.12$          |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สังข์หยดพัทลุง        | $1.52 \pm 0.07$          |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1            | $1.62 \pm 0.08$          |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 21                 | $1.63 \pm 0.04$          |
| กลุ่มแอมิโลสปานกลาง                  |                          |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 2          | $1.62 \pm 0.07$          |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เล็บนกปัตตานี         | $1.59 \pm 0.09$          |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์อยุธยา 1              | $1.68 \pm 0.13$          |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 60         | $1.51 \pm 0.04$          |

ตารางที่ 19 (ต่อ) อัตราการยืดตัวของข้าวสุก (Expansion ratio in length)

| สายพันธุ์                       | อัตราการยืดตัวของข้าวสุก |
|---------------------------------|--------------------------|
| กลุ่มแอมิโลสปานกลาง             |                          |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 3       | $1.66 \pm 0.10$          |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เหนียวพัทลุง     | $1.73 \pm 0.06$          |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ลูกผสม เบอร์ 2   | $1.55 \pm 0.06$          |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวตาแห้ง 17     | $1.76 \pm 0.09$          |
| กลุ่มแอมิโลสสูง                 |                          |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 2       | $1.71 \pm 0.05$          |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เหลืองประทิว 123 | $1.55 \pm 0.06$          |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1         | $1.82 \pm 0.07$          |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปราจีนบุรี 2     | $1.56 \pm 0.08$          |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1     | $1.71 \pm 0.04$          |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปิ่นแก้ว 56      | $1.67 \pm 0.06$          |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 90    | $1.88 \pm 0.10$          |

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยคิดจากการวิเคราะห์ 10 ซ้ำ  $\pm$  ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ข้าวเหนียวมีการยืดตัว 1.54 – 1.93 เท่า ในขณะที่ข้าวเจ้ามีการยืดตัว 1.51 – 1.88 เท่า แสดงว่าการยืดตัวของข้าวเหนียวและข้าวเจ้าใกล้เคียงกัน

### 1.11 การขยายปริมาตรของข้าวสุก (Volumetric expansion)

สมบัติการขยายตัวทางปริมาตรของข้าวสุก เป็นสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งที่บ่งชี้ความใหม่และความเก่าของข้าว โดยทั่วไปข้าวใหม่จะหุงไม่ขึ้นหมี มีอัตราการขยายปริมาตรต่ำ ในขณะที่ข้าวเก่าจะหุงขึ้นหมี มีอัตราการขยายปริมาตรสูง สมบัติการขยายตัวทางปริมาตร สามารถนำไปใช้ในการศึกษาการเร่ง และการชะลอความเก่าของข้าว สมบัติการขยายตัวทางปริมาตรของข้าวสุก ในข้าวสารพันธุ์ต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 20

ตารางที่ 20 อัตราการขยายปริมาตรของข้าวสุก (Volumetric expansion)

| สายพันธุ์                            | อัตราการขยายปริมาตรของข้าวสุก |
|--------------------------------------|-------------------------------|
| กลุ่มแอมิโลสต่ำมาก                   |                               |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1         | $2.29 \pm 0.07$               |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 10               | $2.52 \pm 0.04$               |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 8                | $2.23 \pm 0.03$               |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง     | $2.36 \pm 0.03$               |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สกลนคร              | $2.66 \pm 0.02$               |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์หางยี 71            | $2.30 \pm 0.03$               |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 6                | $2.63 \pm 0.04$               |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวอุบลราชธานี 2 | $2.43 \pm 0.04$               |
| กลุ่มแอมิโลสต่ำ                      |                               |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 15                 | $3.03 \pm 0.04$               |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105        | $3.17 \pm 0.09$               |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สังข์หยดพัทลุง        | $3.35 \pm 0.06$               |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1            | $2.88 \pm 0.02$               |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 21                 | $3.00 \pm 0.00$               |
| กลุ่มแอมิโลสปานกลาง                  |                               |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 2          | $2.94 \pm 0.06$               |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เสี้ยนกปัตตานี        | $3.45 \pm 0.08$               |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์อยุธยา 1              | $3.25 \pm 0.06$               |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 60         | $2.95 \pm 0.06$               |

ตารางที่ 20 (ต่อ) อัตราการขยายปริมาตรของข้าวสุก (Volumetric expansion)

| สายพันธุ์                       | อัตราการขยายปริมาตรของข้าวสุก |
|---------------------------------|-------------------------------|
| กลุ่มเอมิโลสปานกลาง             |                               |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 3       | $2.96 \pm 0.02$               |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เจียงพัทลุง      | $3.32 \pm 0.03$               |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ลูกผสม เบอร์ 2   | $3.50 \pm 0.04$               |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวตาแห้ง 17     | $2.68 \pm 0.03$               |
| กลุ่มเอมิโลสสูง                 |                               |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 2       | $2.93 \pm 0.06$               |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เหลืองประทิว 123 | $3.25 \pm 0.10$               |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1         | $2.63 \pm 0.04$               |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปราจีนบุรี 2     | $3.07 \pm 0.27$               |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1     | $3.05 \pm 0.03$               |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปิ่นแก้ว 56      | $3.25 \pm 0.06$               |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 90    | $3.13 \pm 0.08$               |

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยคิดจากการวิเคราะห์ 4 ซ้ำ  $\pm$  ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ข้าวเหนียวมีอัตราการขยายปริมาตร 2.29 – 2.66 เท่า ในขณะที่ข้าวเจ้ามีอัตราการขยายปริมาตร 2.63 – 3.50 เท่า แสดงว่าข้าวเจ้าขยายปริมาตรมากกว่าข้าวเหนียว

### 1.12 การอุ้มน้ำของข้าวสุก (Water absorption)

สมบัติการอุ้มน้ำของข้าวสุก เป็นสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งที่บ่งชี้ความใหม่และความเก่าของข้าว โดยทั่วไปข้าวใหม่จะดูดน้ำน้อยกว่าข้าวเก่า สมบัติการอุ้มน้ำของข้าวสุกจะเป็นประโยชน์ในการศึกษาการเร่งและการชะลอความเก่าของข้าว สมบัติการอุ้มน้ำของข้าวสุกในข้าวสารพันธุ์ต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 21

ตารางที่ 21 การอุ้มน้ำของข้าวสุก (Water absorption)

| สายพันธุ์                            | การอุ้มน้ำของข้าวสุก |
|--------------------------------------|----------------------|
| กลุ่มเอมิโลสต่ำมาก                   |                      |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1         | $51.38 \pm 2.13$     |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 10               | $51.70 \pm 1.84$     |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 8                | $50.28 \pm 0.85$     |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง     | $52.68 \pm 1.94$     |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สกลนคร              | $58.62 \pm 2.45$     |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์หางยี 71            | $53.96 \pm 1.05$     |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 6                | $61.84 \pm 0.39$     |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวอุบลราชธานี 2 | $53.32 \pm 2.41$     |
| กลุ่มเอมิโลสต่ำ                      |                      |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 15                 | $59.63 \pm 2.81$     |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105        | $67.61 \pm 1.30$     |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สังข์หยดพัทลุง        | $54.24 \pm 1.62$     |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1            | $53.30 \pm 1.38$     |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 21                 | $49.33 \pm 3.09$     |
| กลุ่มเอมิโลสปานกลาง                  |                      |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 2          | $38.45 \pm 1.50$     |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เล็บนกปัตตานี         | $53.02 \pm 3.04$     |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์อุรุยา 1              | $46.62 \pm 1.08$     |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 60         | $62.60 \pm 3.52$     |

ตารางที่ 21 (ต่อ) การอุ้มน้ำของข้าวสุก (Water absorption)

| สายพันธุ์                       | การอุ้มน้ำของข้าวสุก |
|---------------------------------|----------------------|
| กลุ่มแอมิโลสปานกลาง             |                      |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 3       | $56.88 \pm 3.32$     |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เสียดง           | $46.12 \pm 1.51$     |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ลูกผสม เบอร์ 2   | $48.62 \pm 4.37$     |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวตาแห้ง 17     | $53.12 \pm 2.68$     |
| กลุ่มแอมิโลสสูง                 |                      |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 2       | $56.69 \pm 2.08$     |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เหลืองประทิว 123 | $48.26 \pm 1.80$     |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1         | $43.79 \pm 1.57$     |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปราจีนบุรี 2     | $52.48 \pm 2.54$     |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1     | $47.22 \pm 2.13$     |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปิ่นแก้ว 56      | $47.01 \pm 1.12$     |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 90    | $53.88 \pm 2.71$     |

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยคิดจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ  $\pm$  ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ข้าวเหนียวดูดน้ำในช่วง 50.28 – 61.84 % ส่วนข้าวเจ้าดูดน้ำในช่วง 38.45 – 67.61 % ข้าวเจ้าดูดน้ำได้ในช่วงกว้างมาก

### 1.13 การสลายตัวของเมล็ดข้าวในสารละลายด่าง (Alkaline test)

การสลายตัวของเมล็ดข้าวในสารละลายด่าง เป็นวิธีทางอ้อมที่ใช้ตรวจสอบอุณหภูมิการเกิดเจลาทีไนเซชันซึ่งเกี่ยวข้องกับเนื้อสัมผัสของข้าวสุกและเวลาในการทำให้ข้าวสุก ทำได้โดยการวางเมล็ดข้าวประมาณ 6-10 เมล็ด ลงในจานแก้วมีฝาปิด เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 1.7% ให้เมล็ดข้าวจมในสารละลาย ปิดฝาทิ้งไว้ 23 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง โดยมีเกณฑ์การให้คะแนนดังนี้

ตารางที่ 22 เกณฑ์การให้คะแนนการสลายตัวของเมล็ดข้าวในสารละลายด่าง

| คะแนน | ความหมายของแต่ละระดับคะแนน                            |
|-------|-------------------------------------------------------|
| 1     | เมล็ดข้าวยังสมบูรณ์                                   |
| 2     | เมล็ดข้าวเริ่มพองตัว                                  |
| 3     | เมล็ดข้าวพองตัว และมีโครงร่างเมล็ดอยู่บ้าง            |
| 4     | เมล็ดข้าวพองตัวเต็มที่ และไม่เห็น โครงร่างเมล็ด       |
| 5     | เมล็ดข้าวแยกจากกัน                                    |
| 6     | เมล็ดข้าวสลายตัวแต่ยังเห็นเนื้อเมล็ดข้าว              |
| 7     | เมล็ดข้าวสลายตัวหมดโดยไม่เห็นลักษณะเมล็ดข้าวเหลืออยู่ |

ที่มา : อรอนงค์, 2547

ตารางที่ 23 ค่าการสลายตัวของเมล็ดข้าวในสารละลายด่าง (Alkaline test)

| สายพันธุ์                            | ค่าการสลายตัวในสารละลายด่าง |
|--------------------------------------|-----------------------------|
| กลุ่มเอมิโลสต่ำมาก                   |                             |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1         | 5                           |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 10               | 5                           |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 8                | 5                           |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง     | 5                           |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สกลนคร              | 6                           |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์หางยี 71            | -                           |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 6                | 5                           |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวอุบลราชธานี 2 | 5                           |
| กลุ่มเอมิโลสต่ำ                      |                             |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 15                 | 5                           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105        | 5                           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สังข์หยดพัทลุง        | -                           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1            | 5                           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 21                 | 6                           |
| กลุ่มเอมิโลสปานกลาง                  |                             |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 2          | 6                           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เล็บนกปัตตานี         | -                           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์อุรุยา 1              | -                           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 60         | 5                           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 3            | 6                           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เจียงพัทลุง           | -                           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวตาแห้ง 17          | 5                           |

ตารางที่ 23 (ต่อ) ค่าการสลายตัวของเมล็ดข้าวในสารละลายต่าง (Alkaline test)

| กลุ่มเอมิโลสสูง                 | ค่าการสลายตัวในสารละลายต่าง |
|---------------------------------|-----------------------------|
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 2       | 4                           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เหลืองประทิว 123 | -                           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1         | 5                           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปราจีนบุรี 2     | -                           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1     | 5                           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปิ่นแก้ว 56      | -                           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 90    | 5                           |

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยคิดจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ  $\pm$  ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, - หมายความว่าไม่ได้ทำการวัด

ค่าการสลายตัวของเมล็ดข้าวในสารละลายต่างมีค่าอยู่ในช่วง 4 - 6 โดยที่ลักษณะการสลายตัวของเมล็ดข้าวในสารละลายต่างมีค่า 6 - 7 จะมีอุณหภูมิการเกิดเจลลิตีในเซชันต่ำกว่า 65 องศาเซลเซียส ส่วนลักษณะการสลายตัวของเมล็ดข้าวในสารละลายต่างมีค่า 4 - 5 จะมีอุณหภูมิการเกิดเจลลิตีในเซชันประมาณ 70 - 74 องศาเซลเซียส ลักษณะการสลายตัวของเมล็ดข้าวในสารละลายต่างมีค่า 1 - 3 จะมีอุณหภูมิการเกิดเจลลิตีในเซชันสูงกว่า 74.5 องศาเซลเซียส (งามชื่น, 2536)

## 2. สมบัติทางเคมี (Chemical Properties)

องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของเมล็ดข้าว คือ ความชื้น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เส้นใย และเถ้า ความชื้นเป็นเกณฑ์สำคัญในการกำหนดราคาซื้อขายข้าวและกำหนดอายุการเก็บรักษาข้าว มาตรฐานข้าวสารกำหนดให้มีความชื้นต่ำกว่า 14 % คาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนประกอบส่วนใหญ่ในข้าวซึ่งมีสตาร์ชเป็นองค์ประกอบหลักและสตาร์ชประกอบด้วยแอมิโลสและแอมิโลเพกทินที่ทำให้ข้าวมีคุณภาพในการหุงต้มและรับประทานแตกต่างกัน โปรตีนในข้าวมีปริมาณแตกต่างกันขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว การวิเคราะห์โปรตีนและคำนวณปริมาณโปรตีนในข้าว ทำได้โดยการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนและคูณด้วยแฟกเตอร์ 5.95 โปรตีนจะพบตามส่วนต่างๆ ของเมล็ด แต่จะพบมากบริเวณชั้นเปลือกหุ้มเมล็ด และเนื้อเมล็ดด้านนอกมากกว่าใจกลางเมล็ด (อรอนงค์, 2547) โปรตีนในข้าวมีประมาณ 6-8% ประกอบด้วยโปรตีนที่ละลายในน้ำหรือแอลบูมิน ประมาณ 3.8-8.8 % ของโปรตีนทั้งหมด โปรตีนที่ละลายในเกลือหรือโกลบูลิน ประมาณ 9.6 – 10 % โปรตีนที่ละลายในแอลกอฮอล์หรือโพรลามีนหรือออริซานิน ประมาณ 66.1 – 78 % (Champange *et al.*, 1996) โปรตีนมีบทบาทสำคัญต่อการเจลาติไนซ์ของสตาร์ช โดยทำให้การพองตัวของเม็ดสตาร์ชไม่เสถียรได้ง่าย และทำให้โมเลกุลของแอมิโลสไม่ซึมผ่านออกไป มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าว นอกจากนี้โปรตีนยังมีบทบาทต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของเมล็ดข้าวในระหว่างการเก็บรักษา เนื่องจากโปรตีนเป็นตัวกลางขัดขวางการซึมของน้ำเข้าไปภายในเมล็ดข้าว นอกจากนี้ ข้าวที่มีโปรตีนสูงทำให้เมล็ดแข็งยิ่งขึ้น ทำให้ข้าวสุกนั้นเหนียวน้อยลง และมีสีคล้ำ ข้าวมีปริมาณไขมัน ประมาณ 3 % และมีมากบริเวณชั้นรำ ซึ่งอยู่ด้านผิวของเมล็ดมากกว่าชั้นในเมล็ด ดังนั้นเมื่อขัดข้าวให้ขาว ข้าวสารมีไขมันต่ำมาก ประมาณ 0.3 – 0.5 % (Hoseney, 1986) ไขมันจะอยู่ในรูปเกาะเกี่ยวกับโปรตีน หรืออาจจะอยู่รวมกับโครงสร้างของแอมิโลส และแอมิโลเพกทิน หรืออยู่ในรูปอิสระ (Morrison, 1988) ไขมันในข้าวส่วนใหญ่ประกอบด้วย ไตรกลีเซอไรด์ ฟอสโฟลิพิด โกลโคลิพิด และเทอร์พีนอยด์ (อรอนงค์, 2547) การเปลี่ยนแปลงของไขมันในระหว่างการเก็บมีผลทำให้ข้าวกลายเป็นข้าวเก่า และทำให้ข้าวมีกลิ่นหืนและกลิ่นสาบ (งามชื่น, 2546) ปริมาณเถ้าเกี่ยวข้องกับปริมาณแร่ธาตุ โดยทั่วไปข้าวกล้องจะมีปริมาณแร่ธาตุมากกว่าข้าวสาร ปริมาณแร่ธาตุในเมล็ดข้าวจะขึ้นอยู่กับปริมาณแร่ธาตุในดิน ในช่วงการปลูกข้าว ในเถ้าจะมีแร่ธาตุสำคัญ คือ ฟอสฟอรัส แมงกานีส และซิลิกอน Juliano (1972) ได้วิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุ 25 ชนิดในข้าวเปลือก ข้าวกล้องและข้าวสาร (งามชื่น, 2546) เส้นใยเป็นส่วนประกอบที่ย่อยไม่ได้ ประกอบด้วย เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และอื่นๆ โยอาหารมีความสำคัญต่อสุขภาพ โดยป้องกันโรคหัวใจและโรคเมเร็งบางชนิด โดยทั่วไป ข้าวกล้องจะมีปริมาณเส้นใยสูงกว่าข้าวสาร Juliano (1985) ได้วิเคราะห์เส้นใยในข้าวเปลือก ข้าวกล้องและ ข้าวสาร พบว่า ข้าวเปลือกมีเส้นใย 5.2 – 7.2 % ข้าวกล้อง 0.6 -1.0 % ข้าวสาร 0.2 – 0.5 % ที่ความชื้น 14 % เส้นใยอยู่ในชั้นของรำเป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้สมบัติด้านองค์ประกอบของอาหารใช้ในการทำนายสมบัติต่างๆของอาหารได้

ปริมาณความชื้นในข้าวกล้องและข้าวสารของข้าวพันธุ์ต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 24 ปริมาณโปรตีนแสดงในตารางที่ 25 ปริมาณไขมันแสดงในตารางที่ 26 ปริมาณเถ้าแสดงในตารางที่ 27 ปริมาณเส้นใยแสดงในตารางที่ 28 และ ปริมาณคาร์โบไฮเดรตแสดงในตารางที่ 29

## 2.1 ปริมาณความชื้น (Moisture content)

ตารางที่ 24 ปริมาณความชื้น

| สายพันธุ์                            | ปริมาณความชื้น (ร้อยละ) |         |
|--------------------------------------|-------------------------|---------|
|                                      | ข้าวกล้อง               | ข้าวสาร |
| กลุ่มเอมิโลสต่ำมาก                   |                         |         |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1         | 12.90                   | 12.40   |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 10               | 11.80                   | 12.18   |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 8                | 12.60                   | 12.70   |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง     | 11.55                   | 12.75   |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สกลนคร              | 12.42                   | 12.06   |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์หางยี 71            | 12.75                   | 12.62   |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 6                | 12.50                   | 13.28   |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวอุบลราชธานี 2 | 12.51                   | 13.15   |
| กลุ่มเอมิโลสต่ำ                      |                         |         |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 15                 | 11.80                   | 12.31   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105        | 12.60                   | 11.90   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สังข์หยดพัทลุง        | 11.50                   | 12.88   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1            | 12.27                   | 12.27   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 21                 | 12.54                   | 13.65   |
| กลุ่มเอมิโลสปานกลาง                  |                         |         |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 2          | 12.41                   | 12.41   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เล็บนกปัตตานี         | 11.51                   | 12.90   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์อุรุยา 1              | 12.15                   | 12.93   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 60         | 12.55                   | 12.37   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก              | 11.85                   | 12.93   |

ตารางที่ 24 (ต่อ) ปริมาณความชื้น

| สายพันธุ์                       | ปริมาณความชื้น (ร้อยละ) |         |
|---------------------------------|-------------------------|---------|
|                                 | ข้าวกล้อง               | ข้าวสาร |
| กลุ่มแอมิโลสปานกลาง             |                         |         |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เสียดงพันตูลง    | 11.35                   | 12.90   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ลูกผสม เบอร์ 2   | 12.14                   | 12.17   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวตาแห้ง 17     | 12.05                   | 13.01   |
| กลุ่มแอมิโลสสูง                 |                         |         |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 2       | 11.05                   | 12.87   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เหลืองประทิว 123 | -                       | 12.14   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1         | 11.30                   | 12.51   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปราจีนบุรี 2     | -                       | 12.52   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1     | 11.05                   | 12.89   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปิ่นแก้ว 56      | -                       | 13.16   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 90    | 11.97                   | 12.80   |

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยคิดจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ, - หมายความว่าไม่ได้ทำการวิเคราะห์

ข้าวกล้องมีความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 11.05 – 12.90 ข้าวสารมีความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 11.90 – 13.65 ความชื้นของข้าวอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำกว่าร้อยละ 14 ทำให้มั่นใจได้ว่าสามารถเก็บรักษาข้าวไว้ได้นานและปลอดภัยจากการเข้าทำลายของจุลินทรีย์

## 2.2 ปริมาณโปรตีน (Curde protein)

ตารางที่ 25 ปริมาณโปรตีน (Crude protein)

| สายพันธุ์                            | ปริมาณโปรตีน(ร้อยละ) |           |
|--------------------------------------|----------------------|-----------|
|                                      | ข้าวกล้อง            | ข้าวสาร   |
| กลุ่มเอมิโลสต่ำมาก                   |                      |           |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1         | 6.38±0.06            | 5.53±0.26 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 10               | 4.76±0.25            | 4.40±0.29 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 8                | 6.09±0.06            | 5.43±0.13 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง     | 6.10±0.05            | 4.90±0.08 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สกลนคร              | 7.29±0.18            | 6.40±0.57 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์หางยี 71            | 7.85±0.08            | 6.95±0.08 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 6                | 6.39±0.25            | 6.20±0.12 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวอุบลราชธานี 2 | 6.33±0.14            | 5.71±0.08 |
| กลุ่มเอมิโลสต่ำ                      |                      |           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 15                 | 6.66±0.09            | 5.40±0.06 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105        | 6.08±0.07            | 5.23±0.23 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สังข์หยดพัทลุง        | 7.01±0.10            | 6.15±0.08 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1            | 7.03±0.18            | 5.34±0.19 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 21                 | 6.37±0.11            | 5.65±0.11 |
| กลุ่มเอมิโลสปานกลาง                  |                      |           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 2          | 8.81±0.05            | 4.22±0.05 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เล็บนกปัตตานี         | 5.91±0.08            | 5.39±0.16 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์อยุธยา 1              | 5.93±0.21            | 4.20±0.17 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 60         | 5.70±0.42            | 4.76±0.09 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 3            | 7.88±0.09            | 5.44±0.12 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เจียะเป้พัทลุง        | 6.53±0.30            | 5.86±0.11 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ลูกผสม เบอร์ 2        | 6.81±0.23            | 5.00±0.90 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวตาแห้ง 17          | 6.34±0.11            | 5.64±0.10 |

ตารางที่ 25 (ต่อ)ปริมาณโปรตีน (Crude protein)

| สายพันธุ์                       | ปริมาณโปรตีน(ร้อยละ) |           |
|---------------------------------|----------------------|-----------|
|                                 | ข้าวกล้อง            | ข้าวสาร   |
| กลุ่มเอมิโลสสูง                 |                      |           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 2       | 6.01±0.15            | 6.00±0.07 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เหลืองประทิว 123 | -                    | 7.59±.16  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1         | 10.22±0.14           | 7.83±0.16 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปราจีนบุรี 2     | -                    | 6.12±0.26 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1     | 6.97±0.03            | 5.60±0.06 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปิ่นแก้ว 56      | -                    | 6.51±0.15 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 90    | 6.35±0.10            | 6.09±0.15 |

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยคิดจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, - หมายความว่าไม่ได้ทำการวิเคราะห์  
ปริมาณโปรตีนได้จากปริมาณไนโตรเจนคูณด้วย แฟกเตอร์ 5.95

ข้าวกล้องมีปริมาณโปรตีนอยู่ในช่วงร้อยละ 4.76 – 10.22 ข้าวสารมีปริมาณโปรตีนอยู่ในช่วงร้อยละ 4.20 – 7.83 ข้าวเหนียว มีปริมาณโปรตีนในข้าวกล้อง อยู่ในช่วงร้อยละ 4.76 – 7.85 ในข้าวสารอยู่ในช่วงร้อยละ 4.40 – 6.95 ปริมาณโปรตีนในข้าวกล้องจะมากกว่าข้าวสาร ข้าวเจ้ามีปริมาณโปรตีนในข้าวกล้องอยู่ในช่วงร้อยละ 5.70 – 10.22 ในข้าวสารอยู่ในช่วงร้อยละ 4.20 – 7.83 ปริมาณโปรตีนในข้าวกล้องจะมากกว่าข้าวสารเนื่องจากมีโปรตีนอยู่ในชั้นของรำจำนวนมาก

### 2.3 ปริมาณไขมัน (Crude fat)

ตารางที่ 26 ปริมาณ ไขมัน (Crude fat)

| สายพันธุ์                            | ปริมาณไขมัน(ร้อยละ) |           |
|--------------------------------------|---------------------|-----------|
|                                      | ข้าวกล้อง           | ข้าวสาร   |
| กลุ่มแอมิโลสต่ำมาก                   |                     |           |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1         | 3.68±0.06           | 0.18±0.00 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 10               | 4.22±0.09           | 0.46±0.00 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 8                | 3.79±0.04           | 0.20±0.00 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง     | 4.62±0.17           | 0.78±0.01 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สกลนคร              | 6.84±0.07           | 1.57±0.26 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์หางยี 71            | 2.74±0.19           | 0.89±0.05 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 6                | 2.84±0.04           | 0.44±0.02 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวอุบลราชธานี 2 | 2.97±0.12           | 1.22±0.03 |
| กลุ่มแอมิโลสต่ำ                      |                     |           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 15                 | 2.72±0.16           | 0.99±0.00 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105        | 2.75±0.05           | 0.13±0.00 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สังข์หยดพัทลุง        | 2.67±0.15           | 2.29±0.01 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1            | 2.25±0.02           | 1.54±0.15 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 21                 | 2.50±0.05           | 1.01±0.03 |
| กลุ่มแอมิโลสปานกลาง                  |                     |           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 2          | 3.94±0.02           | 1.07±0.03 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เล็บนกปัตตานี         | 2.73±1.05           | 1.61±0.35 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์อุทุมพรพิสัย 1        | 2.34±0.04           | 1.68±0.10 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 60         | 1.76±0.10           | 0.41±0.01 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 3            | 3.08±0.02           | 1.55±0.25 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เงี้ยวพัทลุง          | 2.29±0.03           | 2.21±0.10 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ลูกผสม เบอร์ 2        | 2.43±0.20           | 2.36±0.10 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวตาแห้ง 17          | 2.19±0.09           | 0.49±0.03 |

ตารางที่ 26 (ต่อ) ปริมาณไขมัน (Crude fat)

| สายพันธุ์                       | ปริมาณไขมัน(ร้อยละ) |           |
|---------------------------------|---------------------|-----------|
|                                 | ข้าวกล้อง           | ข้าวสาร   |
| กลุ่มเอมิโลสสูง                 |                     |           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 2       | 2.19±0.16           | 1.32±0.13 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เหลืองประทิว 123 | -                   | 2.42±0.10 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1         | 2.05±0.10           | 0.46±0.09 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปราจีนบุรี 2     | -                   | 2.46±0.01 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1     | 2.71±0.26           | 1.69±0.16 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปิ่นแก้ว 56      | -                   | 2.36±0.01 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 90    | 2.91±0.05           | 1.18±0.01 |

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยคิดจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, - หมายความว่าไม่ได้ทำการวิเคราะห์

ข้าวกล้องมีปริมาณไขมันอยู่ในช่วงร้อยละ 1.76 – 6.84 ข้าวสารมีปริมาณไขมันอยู่ในช่วงร้อยละ 0.13 - 2.46 ข้าวเหนียวมีปริมาณไขมันในข้าวกล้อง อยู่ในช่วงร้อยละ 2.74 – 6.84 ปริมาณไขมันในข้าวสาร อยู่ในช่วงร้อยละ 0.18 - 1.57 ข้าวเจ้ามีปริมาณไขมันในข้าวกล้อง อยู่ในช่วงร้อยละ 1.76 – 3.94 ปริมาณไขมันในข้าวสารอยู่ในช่วงร้อยละ 0.13 – 2.46 ปริมาณไขมันในข้าวกล้องจะมากกว่าข้าวสารเป็นอย่างมาก

## 2.4 ปริมาณเถ้า (Crude ash)

ตารางที่ 27 ปริมาณเถ้า (Ash)

| สายพันธุ์                            | ปริมาณเถ้า(ร้อยละ) |             |
|--------------------------------------|--------------------|-------------|
|                                      | ข้าวกล้อง          | ข้าวสาร     |
| กลุ่มแอมิโลสต่ำมาก                   |                    |             |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1         | 0.235±0.021        | 0.214±0.005 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 10               | 0.214±0.004        | 0.199±0.001 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 8                | 0.218±0.020        | 0.199±0.001 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง     | 0.239±0.015        | 0.203±0.006 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สกลนคร              | 0.219±0.009        | 0.210±0.003 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์หางยี 71            | 0.214±0.015        | 0.213±0.002 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 6                | 0.216±0.002        | 0.202±0.010 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวอุบลราชธานี 2 | 0.211±0.010        | 0.206±0.007 |
| กลุ่มแอมิโลสต่ำ                      |                    |             |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 15                 | 0.234±0.006        | 0.217±0.011 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105        | 0.237±0.014        | 0.212±0.012 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สังข์หยดพัทลุง        | 0.416±0.063        | 0.118±0.003 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1            | 0.227±0.017        | 0.211±0.050 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 21                 | 0.252±0.044        | 0.224±0.011 |
| กลุ่มแอมิโลสปานกลาง                  |                    |             |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 2          | 0.287±0.015        | 0.236±0.004 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เล็บนกปัตตานี         | 0.263±0.173        | 0.172±0.007 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์อุทุมพรพิสัย 1        | 0.398±0.056        | 0.199±0.169 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 60         | 0.308±0.006        | 0.294±0.004 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 3            | 0.287±0.029        | 0.245±0.012 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เงี้ยวพัทลุง          | 0.415±0.010        | 0.235±0.012 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ลูกผสม เบอร์ 2        | 0.399±0.247        | 0.154±0.106 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวตาแห้ง 17          | 0.288±0.010        | 0.291±0.010 |

ตารางที่ 27 (ต่อ) ปริมาณเถ้า (Ash)

| สายพันธุ์                       | ปริมาณเถ้า(ร้อยละ) |             |
|---------------------------------|--------------------|-------------|
|                                 | ข้าวกล้อง          | ข้าวสาร     |
| กลุ่มเอมิโลสสูง                 |                    |             |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 2       | 0.287±0.015        | 0.251±0.008 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เหลืองประทิว 123 | -                  | 0.153±0.042 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1         | 0.260±0.016        | 0.257±0.011 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปราจีนบุรี 2     | -                  | 0.128±0.028 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1     | 0.288±0.010        | 0.264±0.010 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปิ่นแก้ว 56      | -                  | 0.171±0.007 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 90    | 0.296±0.060        | 0.250±0.005 |

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยคิดจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, - หมายความว่าไม่ได้ทำการวิเคราะห์

ข้าวกล้องมีปริมาณเถ้าอยู่ในช่วงร้อยละ 0.211 – 0.416 ข้าวสารมีปริมาณเถ้าอยู่ในช่วงร้อยละ 0.118 – 0.294 ข้าวเหนียวมีปริมาณเถ้าในข้าวกล้องอยู่ในช่วงร้อยละ 0.211 – 0.239 ปริมาณเถ้าในข้าวสารอยู่ในช่วงร้อยละ 0.199 – 0.214 ข้าวเจ้ามี ปริมาณเถ้าในข้าวกล้องอยู่ในช่วงร้อยละ 0.227 – 0.416 ปริมาณเถ้าในข้าวสารอยู่ในช่วงร้อยละ 0.118 – 0.294 แสดงว่าข้าวกล้องมีปริมาณเถ้ามากกว่าข้าวสาร เนื่องจากในชั้นรำมีแร่ธาตุสะสมอยู่สูง และข้าวเจ้ามีปริมาณเถ้ามากกว่าข้าวเหนียว

## 2.5 ปริมาณเส้นใย (Crude fiber)

ตารางที่ 28 ปริมาณเส้นใย (Crude fiber)

| สายพันธุ์                            | ปริมาณเส้นใย(ร้อยละ) |             |
|--------------------------------------|----------------------|-------------|
|                                      | ข้าวกล้อง            | ข้าวสาร     |
| กลุ่มแอมิโลสต่ำมาก                   |                      |             |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1         | 1.17 ± 0.13          | 0.23 ± 0.01 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 10               | 0.96 ± 0.03          | 0.64 ± 0.02 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 8                | 0.98 ± 0.07          | 0.24 ± 0.03 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง     | 0.91 ± 0.08          | 0.22 ± 0.03 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สกลนคร              | 0.98 ± 0.08          | 0.14 ± 0.05 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์หางยี 71            | 0.95 ± 0.03          | 0.33 ± 0.01 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 6                | 1.08 ± 0.09          | 0.24 ± 0.04 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวอุบลราชธานี 2 | 0.81 ± 0.02          | 0.62 ± 0.02 |
| กลุ่มแอมิโลสต่ำ                      |                      |             |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 15                 | 0.65 ± 0.02          | 0.26 ± 0.01 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105        | 1.27 ± 0.23          | 0.63 ± 0.05 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สังข์หยดพัทลุง        | 0.64 ± 0.18          | 0.21 ± 0.03 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1            | 0.71 ± 0.04          | 0.56 ± 0.04 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 21                 | 0.62 ± 0.03          | 0.21 ± 0.03 |
| กลุ่มแอมิโลสปานกลาง                  |                      |             |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 2          | 0.50 ± 0.06          | 0.23 ± 0.01 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เล็บนกปัตตานี         | 1.06 ± 0.08          | 0.53 ± 0.02 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์อยุธยา 1              | 1.08 ± 0.06          | 0.16 ± 0.04 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 60         | 0.76 ± 0.04          | 0.55 ± 0.03 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 3            | 0.97 ± 0.08          | 0.21 ± 0.02 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เฌียงพัทลุง           | 0.89 ± 0.10          | 0.30 ± 0.05 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ลูกผสม เบอร์ 2        | 0.89 ± 0.01          | 0.13 ± 0.06 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวตาแห้ง 17          | 0.90 ± 0.09          | 0.16 ± 0.03 |

ตารางที่ 28 (ต่อ) ปริมาณเส้นใย (Crude fiber)

| สายพันธุ์                       | ปริมาณเส้นใย(ร้อยละ) |             |
|---------------------------------|----------------------|-------------|
|                                 | ข้าวกล้อง            | ข้าวสาร     |
| กลุ่มเอมิโลสสูง                 |                      |             |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 2       | 0.78 ± 0.05          | 0.18 ± 0.03 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เหลืองประทิว 123 | -                    | 0.17 ± 0.06 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1         | 0.92 ± 0.06          | 0.19 ± 0.03 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปราจีนบุรี 2     | -                    | 0.14 ± 0.07 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1     | 0.65 ± 0.09          | 0.26 ± 0.03 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปิ่นแก้ว 56      | -                    | 0.18 ± 0.09 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 90    | 0.63 ± 0.03          | 0.17 ± 0.01 |

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยคิดจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, - หมายความว่าไม่ได้ทำการวิเคราะห์

ข้าวกล้องมีปริมาณเส้นใยในช่วงร้อยละ 0.50 – 1.27 ข้าวสารมีปริมาณเส้นใยในช่วงร้อยละ 0.14 – 0.64 ข้าวเหนียวมีปริมาณเส้นใยในข้าวกล้องอยู่ในช่วงร้อยละ 0.81 – 1.17 ปริมาณเส้นใยในข้าวสารอยู่ในช่วงร้อยละ 0.14 – 0.64 ข้าวเจ้ามีปริมาณเส้นใยในข้าวกล้องอยู่ในช่วงร้อยละ 0.50 - 1.27 ปริมาณเส้นใยในข้าวสารอยู่ในช่วงร้อยละ 0.13 – 0.63 แสดงว่าข้าวกล้องมีปริมาณเส้นใยมากกว่าข้าวสาร เนื่องจากในชั้นรำมีเส้นใยสะสมอยู่สูง

## 2.6 ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)

ตารางที่ 29 ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)

| สายพันธุ์                            | ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ) |         |
|--------------------------------------|-----------------------------|---------|
|                                      | ข้าวกล้อง                   | ข้าวสาร |
| กลุ่มแอมิโลสต่ำมาก                   |                             |         |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1         | 75.64                       | 81.45   |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 10               | 78.05                       | 82.12   |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 8                | 76.33                       | 81.23   |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง     | 76.60                       | 81.15   |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สกลนคร              | 72.26                       | 79.00   |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์หางยี 71            | 75.50                       | 79.64   |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 6                | 76.98                       | 79.64   |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวอุบลราชธานี 2 | 77.18                       | 79.08   |
| กลุ่มแอมิโลสต่ำ                      |                             |         |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 15                 | 77.94                       | 80.82   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105       | 77.07                       | 81.89   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สังข์หยดพัทลุง        | 77.72                       | 78.29   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1            | 77.52                       | 80.06   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 21                 | 77.72                       | 79.24   |
| กลุ่มแอมิโลสปานกลาง                  |                             |         |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 2          | 74.69                       | 77.81   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เล็บนกปัตตานี         | 78.53                       | 79.39   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์อยุธยา 1              | 78.11                       | 76.15   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 60         | 78.93                       | 77.62   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 3            | 75.94                       | 77.61   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เฉียกพัทลุง           | 78.53                       | 78.48   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ลูกผสม เบอร์ 2        | 77.34                       | 78.05   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวตาแห้ง 17          | 78.24                       | 80.40   |

ตารางที่ 29 (ต่อ) ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)

| สายพันธุ์                       | ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ) |         |
|---------------------------------|-----------------------------|---------|
|                                 | ข้าวกล้อง                   | ข้าวสาร |
| กลุ่มแอมิโลสสูง                 |                             |         |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 2       | 79.69                       | 79.37   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เหลืองประทิว 123 | -                           | 75.38   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1         | 75.25                       | 78.81   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปราจีนบุรี 2     | -                           | 77.48   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1     | 78.34                       | 79.28   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปิ่นแก้ว 56      | -                           | 76.05   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 90    | 77.85                       | 79.51   |

หมายเหตุ : ได้จากการคำนวณ  $100 - (\% \text{ protein} + \% \text{ fat} + \% \text{ ash} + \% \text{ fiber} + \% \text{ moisture content})$

ข้าวกล้องมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตอยู่ในช่วงร้อยละ 72.26 – 79.69 ข้าวสารมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตอยู่ในช่วงร้อยละ 75.38 – 82.12 มีค่าใกล้เคียงกับข้าวที่ปลูกในปี 2550/2551 ข้าวเหนียวมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตในข้าวกล้องอยู่ในช่วงร้อยละ 72.26 – 78.05 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตในข้าวสารอยู่ในช่วงร้อยละ 79.00 – 82.12 ข้าวเจ้ามีปริมาณคาร์โบไฮเดรตในข้าวกล้องอยู่ในช่วงร้อยละ 74.69 – 79.69 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตในข้าวสารอยู่ในช่วงร้อยละ 75.38 – 81.89 แสดงว่าข้าวกล้องมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตน้อยกว่าข้าวสาร

### 3. สมบัติทางวิศวกรรม (Engineering Properties)

#### 3.1 สมบัติทางความร้อน (Thermal properties)

สมบัติทางความร้อน มีความสำคัญ ต่อการออกแบบการให้ความร้อนและการทำความเย็นแก่อาหาร นอกจากนี้ยังใช้ในการทำนายกระบวนการผลิต และการออกแบบเครื่องมือแปรรูปโดยใช้ความร้อน สมบัติทางความร้อนที่สำคัญ ได้แก่ ความจุความร้อน สัมประสิทธิ์การนำความร้อน สัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อน สัมประสิทธิ์ความต้านทานความร้อน (Mohsenin, 1980)

สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal conductivity) คือ ปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านวัสดุหนึ่งหน่วยพื้นที่ ความหนาหนึ่งหน่วยในหนึ่งหน่วยเวลา โดยความแตกต่างของอุณหภูมิที่ผิวของวัสดุ 2 ด้าน เป็น 1 หน่วย มีหน่วย  $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$

สัมประสิทธิ์ความต้านทานความร้อน (Thermal resistivity) คือ ส่วนกลับของค่าการนำความร้อน มีหน่วย  $\text{mKW}^{-1}$

สัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อน (Thermal diffusivity) คือ อัตราส่วนของสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ต่อ ความจุความร้อนจำเพาะซึ่งเป็นการวัดความสามารถของวัตถุในการส่งผ่านความร้อนซึ่งจะกำหนดความเร็วในการแพร่ความร้อนผ่านวัตถุ ทำให้สามารถทำนายระยะเวลาในการให้ความร้อน

ความจุความร้อนจำเพาะ (Specific heat) มีหน่วยเป็น  $\text{JKg}^{-1}\text{K}^{-1}$  คือ ปริมาณความร้อนที่ต้องการเพื่อเพิ่มอุณหภูมิของสาร 1 หน่วยมวล ให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น 1 องศา ความจุความร้อนจำเพาะมีประโยชน์ในการคำนวณปริมาณความร้อนที่จะต้องให้ หรือกำจัดออกจากวัตถุ

สำหรับเครื่องที่ใช้ในการศึกษาในครั้งนี้เป็นเครื่องของบริษัท Decagon รุ่น KD 2Pro จะให้หน่วยเป็น  $\text{MJm}^{-3}\text{K}^{-1}$

Cambell *et al.* (1911) ได้พัฒนาอุปกรณ์วัดสมบัติทางความร้อนแบบเข็มคู่ (Dual-needle heat pulse) ซึ่งสามารถวัดค่าทั้งหมดได้พร้อมกัน นอกจากนี้ยังสามารถวัดได้อย่างรวดเร็ว มีความแม่นยำ และสามารถวัดในอาหารได้หลากหลาย เช่น วัดในชิ้นเนื้อของแอปเปิ้ล ชิ้นเนื้อวัว หรือของเหลว ที่มีความชื้นหนืด เช่น ไข่ขาว (Fontana *et al.*, 1999)

สำหรับการเตรียมตัวอย่างจะเตรียมในรูปเจล โดยการเตรียมเจลจากแป้งข้าวกล้อง และแป้งข้าวขาว ให้มีความเข้มข้นร้อยละ 14 (w/v) นำไปให้ความร้อนพร้อมกับกวนตลอดเวลาจนอุณหภูมิได้ประมาณ 80 องศาเซลเซียส จากนั้นปิดปากภาชนะด้วยอลูมิเนียมฟอยล์ แล้วนำไปนึ่งในน้ำร้อนต่ออีก 20 นาที จากนั้นจึงทิ้งไว้ให้เย็นจึงทำการวัดค่าต่างๆ คุณสมบัติทางความร้อนของเจลแป้งข้าวกล้องและเจลแป้งข้าวขาว แสดงในตารางที่ 30 31 32 และ 33

ตารางที่ 30 การนำความร้อนของเจลแป็งสุก (Thermal conductivity)

| สายพันธุ์                            | การนำความร้อน (W/mK) |                  |
|--------------------------------------|----------------------|------------------|
|                                      | ข้าวกล้อง            | ข้าวสาร          |
| กลุ่มเอมิโลสต่ำมาก                   |                      |                  |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1         | $0.953 \pm 0.65$     | $0.559 \pm 0.13$ |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 10               | $0.512 \pm 0.20$     | $0.652 \pm 0.25$ |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 8                | $0.564 \pm 0.02$     | $0.623 \pm 0.03$ |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง     | $0.715 \pm 0.19$     | $0.641 \pm 0.09$ |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สกลนคร              | $0.650 \pm 0.10$     | $0.625 \pm 0.11$ |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์หางยี 71            | $0.548 \pm 0.04$     | $0.702 \pm 0.12$ |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 6                | $0.903 \pm 0.26$     | $0.649 \pm 0.12$ |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวอุบลราชธานี 2 | $0.614 \pm 0.08$     | $0.604 \pm 0.02$ |
| กลุ่มเอมิโลสต่ำ                      |                      |                  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 15                 | $0.537 \pm 0.06$     | $0.558 \pm 0.05$ |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105        | $0.511 \pm 0.02$     | $0.479 \pm 0.03$ |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สังข์หยดพัทลุง        | $0.626 \pm 0.06$     | $0.543 \pm 0.01$ |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1            | $0.620 \pm 0.04$     | $0.535 \pm 0.03$ |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 21                 | $0.571 \pm 0.04$     | $0.597 \pm 0.07$ |
| กลุ่มเอมิโลสปานกลาง                  |                      |                  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 2          | $0.573 \pm 0.15$     | $0.549 \pm 0.07$ |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เล็บนกปัตตานี         | $0.508 \pm 0.01$     | $0.520 \pm 0.02$ |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์อยุธยา 1              | $0.640 \pm 0.00$     | $0.553 \pm 0.01$ |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 60         | $0.514 \pm 0.15$     | $0.576 \pm 0.04$ |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 3            | $0.528 \pm 0.03$     | $0.608 \pm 0.02$ |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เฉียงพัทลุง           | $0.583 \pm 0.04$     | $0.565 \pm 0.03$ |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ลูกผสม เบอร์ 2        | $0.576 \pm 0.05$     | $0.568 \pm 0.02$ |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวตาแห้ง 17          | $0.595 \pm 0.04$     | $0.535 \pm 0.01$ |

ตารางที่ 30 (ต่อ) การนำความร้อนของเจลแป็งสุก (Thermal conductivity)

| สายพันธุ์                       | การนำความร้อน (W/mK) |                  |
|---------------------------------|----------------------|------------------|
|                                 | ข้าวกล้อง            | ข้าวสาร          |
| กลุ่มแอมิโลสสูง                 |                      |                  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 2       | $0.601 \pm 0.05$     | $0.546 \pm 0.03$ |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เหลืองประทิว 123 | -                    | $0.546 \pm 0.00$ |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1         | $0.482 \pm 0.01$     | $0.610 \pm 0.00$ |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปราจีนบุรี 2     | -                    | $0.552 \pm 0.02$ |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1     | $0.608 \pm 0.01$     | $0.552 \pm 0.01$ |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปิ่นแก้ว 56      | -                    | $0.553 \pm 0.01$ |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 90    | $0.613 \pm 0.08$     | $0.538 \pm 0.02$ |

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยคิดจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ  $\pm$  ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, - หมายความว่าไม่ได้วัด

เจลข้าวกล้องมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน อยู่ในช่วง  $0.482 - 0.953 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$  เจลข้าวขาวมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน อยู่ในช่วง  $0.479 - 0.702 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$  แสดงว่าเจลข้าวกล้อง มีความสามารถในการนำความร้อนได้สูงกว่าเจลข้าวขาว ข้าวเหนียว มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของเจลข้าวกล้อง อยู่ในช่วง  $0.512 - 0.953 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$  สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของเจลข้าวขาว อยู่ในช่วง  $0.559 - 0.702 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$  ข้าวเจ้ามีค่า สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของเจลข้าวกล้อง อยู่ในช่วง  $0.482 - 0.640 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$  สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของเจลข้าวขาว อยู่ในช่วง  $0.479 - 0.610 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$  แสดงว่าเจลข้าวเหนียว มีความสามารถในการนำความร้อนได้สูงกว่าเจลข้าวเจ้า

สมบัติการนำความร้อนของข้าวเปลือกสหรัฐอเมริกาแสดงเป็นสมการที่ขึ้นกับความชื้นได้ว่า  
 $K=0.0894+0.000958M$  โดยที่  $M$  เป็นความชื้นฐานแห้ง

สมบัติการนำความร้อนของข้าวกล้องสหรัฐอเมริกาแสดงเป็นสมการที่ขึ้นกับความชื้นได้ว่า  
 $K=0.10102+0.00308M$  (Kunze and Wratten, 1985)

ตารางที่ 31 ความต้านทานความร้อนของเจลแข็งสุก (Thermal resistivity)

| สายพันธุ์                            | ความต้านทานความร้อน (mK/W) |                  |
|--------------------------------------|----------------------------|------------------|
|                                      | ข้าวกล้อง                  | ข้าวสาร          |
| กลุ่มเอมิโลสต่ำมาก                   |                            |                  |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1         | $1.367 \pm 0.71$           | $1.864 \pm 0.48$ |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 10               | $1.928 \pm 1.16$           | $1.669 \pm 0.53$ |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 8                | $1.273 \pm 0.93$           | $1.609 \pm 0.08$ |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง     | $1.217 \pm 0.76$           | $1.580 \pm 0.21$ |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สกลนคร              | $1.556 \pm 0.23$           | $1.629 \pm 0.25$ |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์หางยี 71            | $1.831 \pm 0.15$           | $1.448 \pm 0.22$ |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 6                | $1.151 \pm 0.29$           | $1.572 \pm 0.26$ |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวอุบลราชธานี 2 | $1.648 \pm 0.21$           | $1.657 \pm 0.06$ |
| กลุ่มเอมิโลสต่ำ                      |                            |                  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 15                 | $1.880 \pm 0.22$           | $1.804 \pm 0.17$ |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105        | $1.960 \pm 0.06$           | $2.095 \pm 0.12$ |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สังข์หยดพัทลุง        | $1.605 \pm 0.14$           | $1.840 \pm 0.02$ |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1            | $1.618 \pm 0.11$           | $1.873 \pm 0.09$ |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 21                 | $1.758 \pm 0.13$           | $1.693 \pm 0.22$ |
| กลุ่มเอมิโลสปานกลาง                  |                            |                  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 2          | $1.822 \pm 0.45$           | $1.845 \pm 0.25$ |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เล็บนกปัตตานี         | $1.969 \pm 0.05$           | $1.928 \pm 0.09$ |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์อยุธยา 1              | $1.562 \pm 0.00$           | $1.809 \pm 0.02$ |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 60         | $1.759 \pm 0.74$           | $1.743 \pm 0.14$ |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 3            | $1.899 \pm 0.11$           | $1.646 \pm 0.07$ |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เฉียงพัทลุง           | $1.722 \pm 0.14$           | $1.772 \pm 0.09$ |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ลูกผสม เบอร์ 2        | $1.763 \pm 0.14$           | $1.763 \pm 0.08$ |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวตาแห้ง 17          | $1.685 \pm 0.97$           | $1.870 \pm 0.05$ |

ตารางที่ 31 (ต่อ) ความต้านทานความร้อนของเจลแข็งสุก (Thermal resistivity)

| สายพันธุ์                       | ความต้านทานความร้อน (mK/W) |                  |
|---------------------------------|----------------------------|------------------|
|                                 | ข้าวกล้อง                  | ข้าวสาร          |
| กลุ่มเอมิโลสสูง                 |                            |                  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 2       | $1.673 \pm 0.14$           | $1.837 \pm 0.10$ |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เหลืองประทิว 123 | -                          | $1.831 \pm 0.01$ |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1         | $2.077 \pm 0.04$           | $1.639 \pm 0.01$ |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปราจีนบุรี 2     | -                          | $1.812 \pm 0.06$ |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1     | $1.645 \pm 0.03$           | $1.814 \pm 0.04$ |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปิ่นแก้ว 56      | -                          | $1.809 \pm 0.06$ |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 90    | $1.648 \pm 0.20$           | $1.862 \pm 0.07$ |

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยคิดจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ  $\pm$  ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, - หมายความว่าไม่ได้วัด

เจลข้าวกล้องมีค่าความต้านทานความร้อน อยู่ในช่วง  $1.151 - 2.077$  mK/W ในขณะที่ เจลข้าวขาวมีค่าความต้านทานความร้อน อยู่ในช่วง  $1.448 - 2.095$  mK/W ค่าที่ได้ใกล้เคียงกับข้าวที่เพาะปลูกในปี 2550/2551 ข้าวเหนียว ความต้านทานความร้อนของเจล ข้าวกล้อง อยู่ในช่วง  $1.151 - 1.928$  mK/W ความต้านทานความร้อนของเจลข้าวขาว อยู่ในช่วง  $1.448 - 1.864$  mK/W ข้าวเจ้า ความต้านทานความร้อนของเจลข้าวกล้อง อยู่ในช่วง  $1.562 - 2.077$  mK/W ความต้านทานความร้อนของเจลข้าวขาว อยู่ในช่วง  $1.639 - 2.095$  mK/W

ตารางที่ 32 ความจุความร้อนจำเพาะของเจลแป้งสุก (Volumetric Specific Heat)

| สายพันธุ์                            | ความจุความร้อนจำเพาะ (MJ/m <sup>3</sup> K) |             |
|--------------------------------------|--------------------------------------------|-------------|
|                                      | ข้าวกล้อง                                  | ข้าวสาร     |
| กลุ่มเอมิโลสต่ำมาก                   |                                            |             |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1         | 3.712 ± 0.48                               | 3.69 ± 0.72 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 10               | 3.328 ± 1.42                               | 4.32 ± 1.52 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 8                | 4.783 ± 1.82                               | 4.01 ± 0.10 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง     | 5.066 ± 1.76                               | 4.06 ± 0.54 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สกลนคร              | 4.170 ± 0.52                               | 4.10 ± 0.52 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์หางยี 71            | 3.728 ± 0.26                               | 4.58 ± 0.79 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 6                | 5.237 ± 0.57                               | 5.46 ± 0.76 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวอุบลราชธานี 2 | 4.072 ± 0.47                               | 3.93 ± 0.06 |
| กลุ่มเอมิโลสต่ำ                      |                                            |             |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 15                 | 3.842 ± 0.35                               | 3.60 ± 0.41 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105        | 3.496 ± 0.12                               | 3.18 ± 0.20 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สังข์หยดพัทลุง        | 4.071 ± 0.29                               | 3.65 ± 0.04 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1            | 4.026 ± 0.25                               | 3.52 ± 0.16 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 21                 | 3.744 ± 0.15                               | 3.84 ± 0.38 |
| กลุ่มเอมิโลสปานกลาง                  |                                            |             |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 2          | 3.787 ± 6.95                               | 3.50 ± 0.47 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เล็บนกปัตตานี         | 3.449 ± 0.07                               | 3.39 ± 0.39 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์อยุธยา 1              | 4.160 ± 0.02                               | 3.72 ± 0.02 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 60         | 3.284 ± 1.10                               | 3.81 ± 0.24 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 3            | 3.562 ± 0.21                               | 3.98 ± 0.12 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เงี้ยวพัทลุง          | 3.862 ± 0.25                               | 3.76 ± 0.14 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ลูกผสม เบอร์ 2        | 3.776 ± 0.24                               | 3.78 ± 0.32 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวตาแห้ง 17          | 3.908 ± 0.18                               | 3.64 ± 0.07 |

ตารางที่ 32 (ต่อ) ความจุความร้อนจำเพาะของเจลแป้งสุก (Volumetric Specific Heat)

| สายพันธุ์                       | ความจุความร้อนจำเพาะ (MJ/m <sup>3</sup> K) |             |
|---------------------------------|--------------------------------------------|-------------|
|                                 | ข้าวกล้อง                                  | ข้าวสาร     |
| กลุ่มเอมิโลสสูง                 |                                            |             |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 2       | 3.943 ± 0.27                               | 3.66 ± 0.16 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เหลืองประทิว 123 | -                                          | 3.68 ± 0.03 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1         | 3.289 ± 0.02                               | 4.00 ± 0.00 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปราจีนบุรี 2     | -                                          | 3.70 ± 0.10 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1     | 3.988 ± 0.06                               | 3.70 ± 0.08 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปิ่นแก้ว 56      | -                                          | 3.70 ± 0.09 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 90    | 3.984 ± 0.36                               | 3.62 ± 0.12 |

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยคิดจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, - หมายความว่าไม่ได้วัด

เจลข้าวกล้องมีค่าความจุความร้อนจำเพาะ อยู่ในช่วง 3.328 – 5.237 MJ/m<sup>3</sup>K เจลข้าวขาว มีค่าความจุความร้อนจำเพาะ อยู่ในช่วง 3.18 – 5.46 MJ/m<sup>3</sup>K แสดงว่า เจลข้าวกล้องมีความจุความร้อนสูงกว่าเจลข้าวสาร

สำหรับข้าวเหนียว ความจุความร้อนจำเพาะของเจลข้าวกล้อง อยู่ในช่วง 3.328 – 5.237 MJ/m<sup>3</sup>K ความจุความร้อนจำเพาะของเจลข้าวขาว อยู่ในช่วง 3.69 – 5.46 MJ/m<sup>3</sup>K สำหรับข้าวเจ้า ความจุความร้อนจำเพาะของเจลข้าวกล้อง อยู่ในช่วง 3.284 – 4.16 MJ/m<sup>3</sup>K ความจุความร้อนจำเพาะของเจลข้าวขาว อยู่ในช่วง 3.18 – 4.0 MJ/m<sup>3</sup>K แสดงว่า เจลข้าวเหนียวมีความจุความร้อนสูงกว่าเจลข้าวเจ้า

ตารางที่ 33 สัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อนของเจลแป้งสุก (Thermal diffusivity)

| สายพันธุ์                            | สัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อน (mm <sup>2</sup> /s) |              |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------|
|                                      | ข้าวกล้อง                                        | ข้าวสาร      |
| กลุ่มแอมิโลสต่ำมาก                   |                                                  |              |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1         | 0.143 ± 0.01                                     | 0.150 ± 0.01 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 10               | 0.156 ± 0.01                                     | 0.150 ± 0.00 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 8                | 0.199 ± 0.09                                     | 0.158 ± 0.01 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง     | 0.237 ± 0.15                                     | 0.158 ± 0.01 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สกลนคร              | 0.156 ± 0.00                                     | 0.152 ± 0.01 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์หางยี 71            | 0.147 ± 0.00                                     | 0.153 ± 0.00 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 6                | 0.171 ± 0.02                                     | 0.131 ± 0.04 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวอุบลราชธานี 2 | 0.150 ± 0.00                                     | 0.154 ± 0.00 |
| กลุ่มแอมิโลสต่ำ                      |                                                  |              |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 15                 | 0.140 ± 0.02                                     | 0.155 ± 0.00 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105        | 0.146 ± 0.00                                     | 0.150 ± 0.00 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สังข์หยดพัทลุง        | 0.153 ± 0.00                                     | 0.149 ± 0.00 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1            | 0.154 ± 0.00                                     | 0.152 ± 0.00 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 21                 | 0.152 ± 0.00                                     | 0.155 ± 0.01 |
| กลุ่มแอมิโลสปานกลาง                  |                                                  |              |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 2          | 0.150 ± 0.01                                     | 0.157 ± 0.00 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เล็บนกปัตตานี         | 0.147 ± 0.00                                     | 0.154 ± 0.01 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์อยุธยา 1              | 0.154 ± 0.00                                     | 0.149 ± 0.00 |
| ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 60          | 0.158 ± 0.01                                     | 0.151 ± 0.00 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 3            | 0.148 ± 0.00                                     | 0.153 ± 0.00 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เงี้ยวพัทลุง          | 0.151 ± 0.00                                     | 0.150 ± 0.00 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ลูกผสม เบอร์ 2        | 0.151 ± 0.00                                     | 0.150 ± 0.00 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวตาแห้ง 17          | 0.152 ± 0.00                                     | 0.147 ± 0.00 |

ตารางที่ 33 (ต่อ) สัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อนของเจลแป้งสุก (Thermal diffusivity)

| สายพันธุ์                       | สัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อน ( $\text{mm}^2/\text{s}$ ) |                  |
|---------------------------------|--------------------------------------------------------|------------------|
|                                 | ข้าวกล้อง                                              | ข้าวสาร          |
| กลุ่มเอมิโลสสูง                 |                                                        |                  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 2       | $0.152 \pm 0.00$                                       | $0.149 \pm 0.00$ |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เหลืองประทิว 123 | -                                                      | $0.148 \pm 0.00$ |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1         | $0.146 \pm 0.00$                                       | $0.153 \pm 0.00$ |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปราจีนบุรี 2     | -                                                      | $0.149 \pm 0.00$ |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1     | $0.153 \pm 0.00$                                       | $0.149 \pm 0.00$ |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปิ่นแก้ว 56      | -                                                      | $0.149 \pm 0.00$ |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 90    | $0.154 \pm 0.01$                                       | $0.149 \pm 0.00$ |

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยคิดจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ  $\pm$  ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, - หมายความว่าไม่ได้วัด

เจลข้าวกล้องมีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อน อยู่ในช่วง  $0.140 - 0.237 \text{ mm}^2/\text{s}$  เจลข้าวขาวมีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อน อยู่ในช่วง  $0.131 - 0.158 \text{ mm}^2/\text{s}$  แสดงว่าเจลข้าวกล้องมีสัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อนมากกว่าเจลข้าวสาร

สำหรับข้าวเหนียว สัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อนของเจลข้าวกล้อง อยู่ในช่วง  $0.143 - 0.237 \text{ mm}^2/\text{s}$  สัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อนของเจลข้าวขาว อยู่ในช่วง  $0.131 - 0.158 \text{ mm}^2/\text{s}$  ส่วนข้าวเจ้า สัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อนของเจลข้าวกล้อง อยู่ในช่วง  $0.140 - 0.154 \text{ mm}^2/\text{s}$  สัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อนของเจลข้าวขาว อยู่ในช่วง  $0.148 - 0.157 \text{ mm}^2/\text{s}$

สัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อนของข้าวเปลือกสหรัฐอเมริกา มีค่าเท่ากับ  $(12.843-0.172M) \times 10^8$  สัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อนของข้าวกล้องมีค่า  $(5.397+0.0456M) \times 10^8$  มีหน่วย  $\text{m}^2/\text{s}$  (Kunze and Wratten, 1985)

ตารางที่ 34 อุณหภูมิกลาสแทรนซิชันของข้าวสาร (Glass transition Temperature)

| สายพันธุ์                            | Glass transition Temperature (°C) |
|--------------------------------------|-----------------------------------|
| กลุ่มเอมิโลสต่ำมาก                   |                                   |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1         | 64.44                             |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 10               | 74.94                             |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 8                | 64.23                             |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง     | 58.04                             |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สกลนคร              | 57.64                             |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์หางยี 71            | 67.80                             |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 6                | 77.48                             |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวอุบลราชธานี 2 | 50.61                             |
| กลุ่มเอมิโลสต่ำ                      |                                   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 15                 | 65.13                             |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105        | 47.00                             |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สังข์หยดพัทลุง        | 76.53                             |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1            | 64.87                             |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 21                 | 61.00                             |
| กลุ่มเอมิโลสปานกลาง                  |                                   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 2          | 78.87                             |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เล็บนกปัตตานี         | 52.83                             |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์อยุธยา 1              | 73.65                             |
| ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 60          | 60.13                             |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 3            | 75.33                             |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เฉียงพัทลุง           | 75.97                             |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ลูกผสม เบอร์ 2        | 74.12                             |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวตาแห้ง 17          | 55.50                             |

ตารางที่ 34 (ต่อ) อุณหภูมิกลาสแทรนซิชันของข้าวสาร (Glass transition Temperature)

| สายพันธุ์                       | Glass transition Temperature (°C) |
|---------------------------------|-----------------------------------|
| กลุ่มแอมิโลสสูง                 |                                   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 2       | 56.92                             |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เหลืองประทิว 123 | 70.58                             |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1         | 65.87                             |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปราจีนบุรี 2     | 74.62                             |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1     | 82.94                             |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปิ่นแก้ว 56      | 22.45                             |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 90    | 80.15                             |

อุณหภูมิกลาสแทรนซิชันของข้าวสาร อยู่ในช่วง 22.45 - 82.94 องศาเซลเซียส โดยข้าวสารพันธุ์ปิ่นแก้วมีค่าอุณหภูมิกลาสแทรนซิชันของข้าวสารต่ำที่สุดและข้าวสารพันธุ์สุพรรณบุรี 1 มีค่าอุณหภูมิกลาสแทรนซิชันของข้าวสารสูงที่สุด ข้าวเหนียวมีอุณหภูมิกลาสแทรนซิชัน อยู่ในช่วง 50.61 - 67.80 องศาเซลเซียส ขณะที่ข้าวเจ้ามีอุณหภูมิกลาสแทรนซิชัน อยู่ในช่วง 22.45 - 82.94 องศาเซลเซียส ความรู้เกี่ยวกับอุณหภูมิกลาสแทรนซิชันของข้าวสารมีบทบาทสำคัญในการอธิบายการแตกร้าวในระหว่างการทำแห้ง และการควบน้ำ

### 3.2 สมบัติทางไฟฟ้า (Electrical Properties)

สมบัติทางไฟฟ้าของอาหารมีประโยชน์ต่อการกำหนดกระบวนการให้ความร้อนโดยใช้กระแสไฟฟ้า (Ohmic heating) ซึ่งประกอบด้วย การนำไฟฟ้า (electrical conductivity) ความจุไฟฟ้า (capacitance) และ ความต้านทานไฟฟ้า (electrical resistance)

การนำไฟฟ้า (electrical conductivity) คือ ความสามารถที่กระแสไฟฟ้าจะผ่านวัตถุ วัสดุอาหารที่มีประจุหรือสารอิเล็กโทรไลต์ สามารถที่จะนำไฟฟ้า หน่วยการนำไฟฟ้า s/m

ความต้านทานไฟฟ้า (electrical resistance) หน่วยความต้านทาน ได้แก่ โอห์ม วัสดุสามารถจำแนกเป็นตัวนำไฟฟ้าซึ่งมีความต้านทานการไหลของกระแสไฟฟ้าต่ำ ฉนวนไฟฟ้า มีความต้านทานการไหลของกระแสไฟฟ้าสูง วัสดุกึ่งตัวนำมีความต้านทานการไหลของกระแสไฟฟ้าปานกลาง

ในงานวิจัยนี้ จะวัดความต้านทานไฟฟ้าของข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวขาว โดยอาศัยวงจร Wheatstone bridge และเปรียบเทียบกับค่าความต้านทานมาตรฐาน เพื่อนำไปใช้ในการหาความสัมพันธ์กับความชื้นของเมล็ดข้าว ต่อไป

ตารางที่ 35 ความต้านทานไฟฟ้า (Electrical resistance)

| สายพันธุ์                            | ความต้านทานไฟฟ้า (MOhm) |           |         |
|--------------------------------------|-------------------------|-----------|---------|
|                                      | ข้าวเปลือก              | ข้าวกล้อง | ข้าวสาร |
| กลุ่มแอมิโลสต่ำมาก                   |                         |           |         |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1         | 28.13                   | 93.48     | 102.76  |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 10               | 22.59                   | 14.33     | 18.64   |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 8                | 3.19                    | 6.58      | 5.12    |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง     | 16.01                   | 93.48     | 73.32   |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สกลนคร              | 6.97                    | 17.48     | 55.34   |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์หางยี 71            | 27.3                    | 44.99     | 55.12   |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 6                | 6.66                    | 13.11     | 7.09    |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวอุบลราชธานี 2 | 4.61                    | 15.17     | 7.97    |
| กลุ่มแอมิโลสต่ำ                      |                         |           |         |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 15                 | 25.87                   | 39.23     | 44.75   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105        | 30.88                   | 120.52    | 98.64   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สังข์หยดพัทลุง        | 117.91                  | 51        | 111.29  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1            | 27.98                   | 70.06     | 58.45   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 21                 | 8.07                    | 3.03      | 7       |
| กลุ่มแอมิโลสปานกลาง                  |                         |           |         |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 2          | 27.41                   | 108.86    | 59.76   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เล็บนกปัตตานี         | 52.15                   | 200.65    | 169.33  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์อุษยา 1               | 14.7                    | 58.35     | 70.81   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 60         | 22.82                   | 51.22     | 66.77   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 3            | 11.97                   | 28.51     | 14.96   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เถียงพัทลุง           | 44.49                   | 30.86     | 66.81   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ลูกผสม เบอร์ 2        | 25.75                   | 117.91    | 200.65  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวตาแห้ง 17          | 5.85                    | 24.32     | 23.29   |

ตารางที่ 35 (ต่อ) ความต้านทานไฟฟ้า (Electrical resistance)

| สายพันธุ์                       | ความต้านทานไฟฟ้า (MOhm) |           |         |
|---------------------------------|-------------------------|-----------|---------|
|                                 | ข้าวเปลือก              | ข้าวกล้อง | ข้าวสาร |
| กลุ่มแอมิโลสสูง                 |                         |           |         |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 2       | 38.04                   | 120.52    | 115.66  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เหลืองประทิว 123 | -                       | -         | 335.26  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1         | 26.84                   | 234.91    | 94.52   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปราจีนบุรี 2     | -                       | -         | 230.09  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1     | 43.49                   | 39.96     | 41.03   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปิ่นแก้ว 56      | -                       | -         | 169.33  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 90    | 30.67                   | 72.97     | 40.32   |

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยคิดจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ, - หมายความว่าไม่ได้วัด

ความต้านทานไฟฟ้าของข้าวเปลือกอยู่ในช่วง 3.19 – 117.91 Mohm ความต้านทานไฟฟ้าของข้าวกล้องอยู่ในช่วง 3.03 – 234.91 Mohm ความต้านทานไฟฟ้าของข้าวสารอยู่ในช่วง 5.12– 335.26 Mohm แสดงว่าความต้านทานกระแสของข้าวสารสูงที่สุด รองลงมาคือ ข้าวกล้อง และข้าวเปลือกมีความต้านทานไฟฟ้าต่ำที่สุด

ในปี พศ. 2552 ทำการศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์ เคมี และวิศวกรรมของข้าวไทย ซ้ำอีกครั้ง เพื่อให้มั่นใจ แต่เนื่องจาก กรรมกรข้าว ไม่ได้ทำการปลูกข้าวบางพันธุ์ เนื่องจากน้ำท่วม หรือเกิดปัญหาโรคระบาด จึงมีพันธุ์ข้าวที่ศึกษาน้อยลง อย่างไรก็ตาม นักวิจัยได้ทำการศึกษาสมบัติไดอิเล็กตริกของข้าวไทยเพิ่มขึ้น และได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของข้าวในขณะเก็บรักษา เพื่อให้ได้ดัชนีชี้วัดความเก่าของข้าวที่เป็นประโยชน์ในการศึกษา การเร่งหรือชะลอความเก่าของข้าวต่อไป

ปริมาณแอมิโลสในข้าวสายพันธุ์ต่าง ๆ ที่เพาะปลูกในปี พศ. 2551/2552 แสดงในตารางที่ 36

ตารางที่ 36 ปริมาณแอมิโลส ปีเก็บเกี่ยว 2551/2552

| สายพันธุ์                            | แอมิโลส (ร้อยละ)               |
|--------------------------------------|--------------------------------|
| กลุ่มแอมิโลสดำมาก                    |                                |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1         | 6.28 $\pm$ 0.24 <sup>nop</sup> |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 10               | 6.94 $\pm$ 0.07 <sup>m</sup>   |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 8                | 6.57 $\pm$ 0.04 <sup>mno</sup> |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง     | 5.86 $\pm$ 0.12 <sup>p</sup>   |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สกลนคร              | 5.99 $\pm$ 0.07 <sup>op</sup>  |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์หางยี 71            | 7.05 $\pm$ 0.12 <sup>m</sup>   |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 6                | 6.04 $\pm$ 0.09 <sup>nop</sup> |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวอุบลราชธานี 2 | 6.62 $\pm$ 0.15 <sup>mn</sup>  |
| กลุ่มแอมิโลสดำ                       |                                |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 15                 | 18.39 $\pm$ 0.24 <sup>j</sup>  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105        | 17.79 $\pm$ 0.18 <sup>kl</sup> |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สังข์หยดพัทลุง        | 17.26 $\pm$ 0.11 <sup>l</sup>  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1            | 18.13 $\pm$ 0.31 <sup>jk</sup> |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 21                 | 19.35 $\pm$ 0.32 <sup>i</sup>  |

ตารางที่ 36 (ต่อ) ปริมาณแอมิโลส

| สายพันธุ์                       | แอมิโลส (ร้อยละ)           |
|---------------------------------|----------------------------|
| กลุ่มแอมิโลสปานกลาง             |                            |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 2     | 25.46 ± 0.47 <sup>h</sup>  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เสี้ยนกปัตตานี   | 28.10 ± 0.47 <sup>g</sup>  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์อยุธยา 1         | 32.55 ± 0.37 <sup>b</sup>  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 60    | 25.14 ± 0.16 <sup>h</sup>  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 3       | 25.25 ± 0.12 <sup>h</sup>  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เฉียงพัทลุง      | 31.52 ± 0.52 <sup>cd</sup> |
| กลุ่มแอมิโลสสูง                 |                            |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 2       | 29.77 ± 0.33 <sup>f</sup>  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เหลืองประทิว 123 | 30.96 ± 0.47 <sup>de</sup> |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1         | 31.81 ± 0.16 <sup>c</sup>  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปราจีนบุรี 2     | 33.74 ± 0.52 <sup>a</sup>  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1     | 30.88 ± 0.19 <sup>e</sup>  |

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยคิดจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ โดยนำหนักแห้ง ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรที่ต่างกันในแถวแนวนอน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $P \leq 0.05$ )

จากการวิเคราะห์ปริมาณแอมิโลส พบว่า ข้าวไทยมีปริมาณแอมิโลสอยู่ในช่วงร้อยละ 5.86 – 33.74 มาตรฐานแห่ง ข้าวเหนียวทั้ง 8 พันธุ์ มีปริมาณแอมิโลสต่ำที่สุดอยู่ในช่วง 5.86 – 7.05 % มาตรฐานแห่ง ข้าวเจ้าสุกนุ่มและเหนียวทั้ง 5 พันธุ์ มีปริมาณแอมิโลสอยู่ในช่วง 17.26 – 19.35 % มาตรฐานแห่ง ข้าวเจ้าสุกร่วนทั้ง 6 พันธุ์ มีปริมาณแอมิโลสอยู่ในช่วง 25.14 – 32.55% มาตรฐานแห่ง ข้าวเจ้าสุกร่วนแข็งทั้ง 5 พันธุ์ มีปริมาณแอมิโลสอยู่ในช่วง 29.77 – 33.74% มาตรฐานแห่ง ผลการวิเคราะห์หามีค่าใกล้เคียงกับปี 2550/2551 ยกเว้นพันธุ์ อยุธยา 1 และ เฉียงพัทลุงที่มีปริมาณแอมิโลสเพิ่มขึ้นอย่างมาก คาดว่าน่าจะมีการผลิตใน การวิเคราะห์ กรมการข้าวมีรายงานข้าวพันธุ์อยุธยา 1 มีปริมาณแอมิโลส 28.4% สามารถทำผลิตภัณฑ์เส้น ใต้ดีและพันธุ์เฉียงพัทลุงมีปริมาณแอมิโลส 27%

ตารางที่ 37 ขนาดของข้าวเปลือก

| ข้าวเปลือก                           | กว้าง (มม.) | หนา (มม.) | ยาว (มม.)  | L/W  |
|--------------------------------------|-------------|-----------|------------|------|
| กลุ่มแอมิโลสต่ำมาก                   |             |           |            |      |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1         | 2.89±0.23   | 2.20±0.19 | 10.67±0.52 | 3.69 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 10               | 2.75±0.15   | 2.12±0.16 | 10.94±0.52 | 3.97 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 8                | 3.07±0.24   | 2.25±0.19 | 9.96±0.43  | 3.24 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง     | 2.77±0.18   | 1.93±0.16 | 10.50±0.45 | 3.79 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สกลนคร              | 2.63±0.16   | 2.10±0.14 | 11.74±0.39 | 4.46 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์หางยี 71            | 2.62±0.13   | 1.94±0.15 | 10.06±0.53 | 3.83 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 6                | 2.76±0.14   | 2.01±0.08 | 10.08±0.49 | 3.65 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวอุบลราชธานี 2 | 2.51±0.12   | 2.05±0.09 | 10.37±0.43 | 4.13 |
| กลุ่มแอมิโลสต่ำ                      |             |           |            |      |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 15                 | 2.45±0.11   | 1.93±0.11 | 10.35±0.42 | 4.22 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105        | 2.50±0.13   | 1.97±0.15 | 10.38±0.53 | 4.15 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สังข์หยดพัทลุง        | 2.05±0.12   | 1.78±0.09 | 9.57±0.42  | 4.66 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1            | 2.51±0.12   | 2.06±0.12 | 10.82±0.47 | 4.31 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 21                 | 2.73±0.16   | 1.98±0.09 | 10.02±0.45 | 3.67 |
| กลุ่มแอมิโลสปานกลาง                  |             |           |            |      |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 2          | 2.43±0.13   | 1.92±0.13 | 9.46±0.41  | 3.89 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เล็บนกปัตตานี         | 2.17±0.12   | 1.79±0.06 | 8.37±0.36  | 3.85 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์อุทุมพรพิสัย 1        | 2.76±0.13   | 2.14±0.12 | 11.39±0.55 | 4.12 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 60         | 2.55±0.15   | 2.12±0.11 | 10.69±0.43 | 4.19 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 3            | 2.53±0.17   | 1.99±0.11 | 10.74±0.47 | 4.24 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เงี้ยวพัทลุง          | 2.22±0.12   | 1.84±0.08 | 9.29±0.40  | 4.18 |

ตารางที่ 37 (ต่อ) ขนาดของข้าวเปลือก

| ข้าวเปลือก                      | กว้าง (มม.) | หนา (มม.) | ยาว (มม.)  | L/W  |
|---------------------------------|-------------|-----------|------------|------|
| กลุ่มแอมิโลสสูง                 |             |           |            |      |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 2       | 2.34±0.12   | 1.96±0.09 | 10.36±0.57 | 4.42 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เหลืองประทิว 123 | 2.51±0.14   | 1.99±0.11 | 10.36±0.35 | 4.12 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1         | 2.55±0.17   | 2.00±0.09 | 11.09±0.45 | 4.34 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปราจีนบุรี 2     | 2.67±0.15   | 2.01±0.09 | 10.13±0.42 | 3.79 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1     | 2.45±0.12   | 2.03±0.09 | 10.22±0.44 | 4.17 |

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยจาก 100 เมล็ด ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ข้าวเปลือกไทยมีความกว้างตั้งแต่ 2.05 - 3.07 มม. มีความหนาตั้งแต่ 1.78 – 2.25 มม. มีความยาวตั้งแต่ 8.37 – 11.74 มม. และอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างอยู่ในช่วง 3.24 – 4.66 มม. ข้าวเปลือก 19 พันธุ์มีความยาว 10 มม. ขึ้นไป และข้าวเปลือก 5 พันธุ์ มีความยาวต่ำกว่า 10 มม. ขนาดของข้าวเปลือกที่วัดได้ใกล้เคียงกับปี 2550/2551

ตารางที่ 38 ขนาดของข้าวกล้อง

| ข้าวกล้อง                            | กว้าง (มม.) | หนา (มม.) | ยาว (มม.) | L/W  |
|--------------------------------------|-------------|-----------|-----------|------|
| กลุ่มแอมิโลสต่ำมาก                   |             |           |           |      |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1         | 2.34±0.10   | 1.88±0.08 | 7.63±0.26 | 3.26 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 10               | 2.21±0.09   | 1.91±0.07 | 8.06±0.28 | 3.64 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 8                | 2.54±0.13   | 1.93±0.09 | 7.34±0.30 | 2.88 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง     | 2.22±0.09   | 1.70±0.13 | 7.47±0.30 | 3.36 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สกลนคร              | 2.06±0.10   | 1.75±0.12 | 8.56±0.43 | 4.15 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์หางยี 71            | 2.17±0.13   | 1.73±0.08 | 7.60±0.31 | 3.50 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 6                | 2.23±0.11   | 1.70±0.10 | 7.30±0.35 | 3.27 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวอุบลราชธานี 2 | 2.05±0.11   | 1.73±0.08 | 7.37±0.28 | 3.59 |
| กลุ่มแอมิโลสต่ำ                      |             |           |           |      |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 15                 | 2.03±0.08   | 1.69±0.08 | 7.67±0.28 | 3.77 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105        | 2.08±0.09   | 1.73±0.07 | 7.76±0.35 | 3.73 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สังข์หยดพัทลุง        | 1.73±0.07   | 1.54±0.05 | 6.83±0.30 | 3.94 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1            | 2.07±0.11   | 1.72±0.08 | 8.01±0.47 | 3.86 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 21                 | 2.31±0.08   | 1.75±0.15 | 7.72±0.27 | 3.34 |
| กลุ่มแอมิโลสปานกลาง                  |             |           |           |      |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 2          | 2.03±0.10   | 1.73±0.07 | 7.34±0.25 | 3.61 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เล็บนกปัตตานี         | 1.88±0.10   | 1.56±0.07 | 6.43±0.33 | 3.42 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์อุทุมพรพิสัย 1        | 2.22±0.09   | 1.83±0.09 | 8.87±0.47 | 3.99 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 60         | 2.17±0.10   | 1.88±0.09 | 8.09±0.43 | 3.72 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 3            | 2.12±0.09   | 1.71±0.06 | 8.02±0.35 | 3.78 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เขื่องยพัทลุง         | 1.96±0.09   | 1.58±0.6  | 7.03±0.30 | 3.58 |

ตารางที่ 38 (ต่อ) ขนาดของข้าวกล้อง

| ข้าวกล้อง                       | กว้าง (มม.) | หนา (มม.) | ยาว (มม.) | L/W  |
|---------------------------------|-------------|-----------|-----------|------|
| กลุ่มแอมิโลสสูง                 |             |           |           |      |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 2       | 1.99±0.11   | 1.70±0.06 | 8.17±0.39 | 4.10 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เหลืองประทิว 123 | 2.19±0.13   | 1.81±0.08 | 7.84±0.26 | 3.57 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1         | 2.19±0.09   | 1.75±0.07 | 8.22±0.31 | 3.75 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปราจีนบุรี 2     | 2.29±0.10   | 1.73±0.09 | 7.46±0.32 | 3.25 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1     | 2.11±0.09   | 1.76±0.07 | 7.42±0.31 | 3.51 |

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยจาก 100 เมล็ด ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ข้าวกล้องของไทยมีความกว้าง ตั้งแต่ 1.73 – 2.54 มม. หนาตั้งแต่ 1.54 – 1.93 มม. ยาวตั้งแต่ 6.43 – 8.87 มม. และอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างอยู่ในช่วง 2.88 - 4.15 มม. ข้าวกล้องจำนวน 22 พันธุ์ มีความยาวมากกว่า 7 มม. และมี 2 พันธุ์ ที่มีความยาวน้อยกว่า 7 มม. ได้แก่ พันธุ์สังข์หยดพัทลุง และพันธุ์เล็บนกปัตตานี ขนาดของข้าวกล้องที่วัดได้ใกล้เคียงกับปี 2550/2551

ตารางที่ 39 ขนาดของข้าวสาร

| ข้าวสาร                              | กว้าง (มม.) | หนา (มม.) | ยาว (มม.) | L/W  |
|--------------------------------------|-------------|-----------|-----------|------|
| กลุ่มแอมิโลสต่ำมาก                   |             |           |           |      |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1         | 2.21±0.12   | 1.81±0.09 | 7.26±0.34 | 3.28 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 10               | 2.11±0.10   | 1.80±0.09 | 7.65±0.37 | 3.62 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 8                | 2.45±0.13   | 1.82±0.09 | 6.92±0.32 | 2.82 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง     | 2.18±0.13   | 1.69±0.09 | 6.82±0.29 | 3.12 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สกลนคร              | 2.01±0.11   | 1.75±0.08 | 7.91±0.19 | 3.93 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์หางยี 71            | 2.10±0.08   | 1.69±0.06 | 6.98±0.28 | 3.32 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 6                | 2.18±0.07   | 1.69±0.08 | 6.80±0.23 | 3.11 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวอุบลราชธานี 2 | 2.00±0.06   | 1.72±0.06 | 7.08±0.31 | 3.54 |
| กลุ่มแอมิโลสต่ำ                      |             |           |           |      |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 15                 | 1.95±0.09   | 1.69±0.09 | 7.36±0.14 | 3.77 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105        | 2.01±0.12   | 1.69±0.14 | 7.33±0.20 | 3.64 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สังข์หยดพัทลุง        | 1.66±0.13   | 1.50±0.05 | 6.40±0.21 | 3.85 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1            | 2.03±0.09   | 1.70±0.11 | 7.42±0.34 | 3.65 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 21                 | 2.90±0.09   | 1.98±0.12 | 7.83±0.21 | 2.70 |
| กลุ่มแอมิโลสปานกลาง                  |             |           |           |      |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 2          | 1.95±0.10   | 1.65±0.08 | 7.24±0.29 | 3.71 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เล็บนกปัตตานี         | 1.79±0.10   | 1.51±0.06 | 6.27±0.33 | 3.50 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์อุทุมพรพิสัย 1        | 2.09±0.11   | 1.79±0.10 | 7.48±0.22 | 3.57 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 60         | 2.09±0.09   | 1.82±0.07 | 7.89±0.37 | 3.77 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 3            | 2.06±0.10   | 1.67±0.08 | 7.53±0.35 | 3.65 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เถียงพันธุ            | 1.80±0.10   | 1.53±0.08 | 6.84±0.35 | 3.80 |

ตารางที่ 39 (ต่อ) ขนาดของข้าวสาร

| ข้าวสาร                         | กว้าง (มม.) | หนา (มม.) | ยาว (มม.) | L/W  |
|---------------------------------|-------------|-----------|-----------|------|
| กลุ่มแอมิโลสสูง                 |             |           |           |      |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 2       | 1.92±0.12   | 1.72±0.09 | 7.60±0.24 | 3.95 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เหลืองประทิว 123 | 2.07±0.10   | 1.75±0.08 | 7.45±0.35 | 3.59 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1         | 2.11±0.08   | 1.70±0.05 | 7.27±0.34 | 3.44 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปราจีนบุรี 2     | 2.20±0.11   | 1.70±0.07 | 7.29±0.28 | 3.31 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1     | 2.06±0.08   | 1.77±0.07 | 7.26±0.34 | 3.52 |

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยจาก 100 เมล็ด ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ข้าวสารของไทย มีความกว้างตั้งแต่ 1.66 – 2.45 มม. หนาดั้งแต่ 1.50 – 1.98 มม. ยาวตั้งแต่ 6.27 – 7.91 มม. และอัตราส่วนความยาวต่อความกว้าง อยู่ในช่วง 2.70 – 3.95 มม. ขนาดของข้าวสารที่วัดได้ใกล้เคียงกับปี 2550/2551

ตารางที่ 40 ความหนาแน่นจริง (True density)

| สายพันธุ์                            | ความหนาแน่นจริง (kg/m <sup>3</sup> ) |                              |                            |
|--------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------|----------------------------|
|                                      | ข้าวเปลือก                           | ข้าวกล้อง                    | ข้าวสาร                    |
| กลุ่มแอมิโลสต่ำมาก                   |                                      |                              |                            |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1         | 1,055±0.005 <sup>ij</sup>            | 1,248±0.009 <sup>fgh</sup>   | 1,460±0.010 <sup>d</sup>   |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 10               | 1,114±0.008 <sup>fghi</sup>          | 1,360±0.010 <sup>ab</sup>    | 1,468±0.006 <sup>d</sup>   |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 8                | 1,059±0.038 <sup>ij</sup>            | 1,306±0.011 <sup>cd</sup>    | 1,460±0.000 <sup>d</sup>   |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง     | 1,034±0.025 <sup>j</sup>             | 1,241±0.010 <sup>fghi</sup>  | 1,503±0.074 <sup>bcd</sup> |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สกลนคร              | 1,091±0.071 <sup>hij</sup>           | 1,385±0.018 <sup>a</sup>     | 1,478±0.006 <sup>d</sup>   |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์หางยี 71            | 1,235±0.056 <sup>abc</sup>           | 1,247±0.050 <sup>fgh</sup>   | 1,475±0.016 <sup>d</sup>   |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 6                | 1,157±0.005 <sup>defgh</sup>         | 1,270±0.013 <sup>defg</sup>  | 1,552±0.043 <sup>ab</sup>  |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวอุบลราชธานี 2 | 1,041±0.008 <sup>j</sup>             | 1,205±0.026 <sup>j</sup>     | 1,467±0.006 <sup>d</sup>   |
| กลุ่มแอมิโลสต่ำ                      |                                      |                              |                            |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 15                 | 1,148±0.062 <sup>defgh</sup>         | 1,226±0.005 <sup>hij</sup>   | 1,468±0.030 <sup>d</sup>   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105        | 1,057±0.005 <sup>ij</sup>            | 1,297±0.003 <sup>cde</sup>   | 1,471±0.000 <sup>d</sup>   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สังข์หยดพัทลุง        | 1,123±0.025 <sup>efghi</sup>         | 1,276±0.049 <sup>cdef</sup>  | 1,536±0.059 <sup>bc</sup>  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1            | 1,203±0.086 <sup>abcd</sup>          | 1,248±0.042 <sup>fgh</sup>   | 1,461±0.010 <sup>d</sup>   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 21                 | 1,247±0.014 <sup>ab</sup>            | 1,306±0.005 <sup>cd</sup>    | 1,493±0.011 <sup>cd</sup>  |
| กลุ่มแอมิโลสปานกลาง                  |                                      |                              |                            |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 2          | 1,176±0.025 <sup>cdefg</sup>         | 1,350±0.010 <sup>b</sup>     | 1,537±0.023 <sup>bc</sup>  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เล็บนกปัตตานี         | 1,182±0.007 <sup>bcdef</sup>         | 1,293±0.011 <sup>cde</sup>   | 1,497±0.031 <sup>cd</sup>  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์อุทุมพรพิสัย 1        | 1,111±0.035 <sup>fghi</sup>          | 1,266±0.010 <sup>efg</sup>   | 1,471±0.010 <sup>d</sup>   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 60         | 1,096±0.015 <sup>hij</sup>           | 1,207±0.006 <sup>ij</sup>    | 1,468±0.006 <sup>d</sup>   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 3            | 1,036±0.038 <sup>j</sup>             | 1,275±0.005 <sup>cdefg</sup> | 1,596±0.007 <sup>a</sup>   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เถียงพันธุ            | 1,116±0.015 <sup>fghi</sup>          | 1,237±0.007 <sup>fghi</sup>  | 1,478±0.012 <sup>d</sup>   |

ตารางที่ 40 (ต่อ) ความหนาแน่นจริง (True density)

| สายพันธุ์                       | ความหนาแน่นจริง (kg/m <sup>3</sup> ) |                            |                            |
|---------------------------------|--------------------------------------|----------------------------|----------------------------|
|                                 | ข้าวเปลือก                           | ข้าวกล้อง                  | ข้าวสาร                    |
| กลุ่มเอมิโลสสูง                 |                                      |                            |                            |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 2       | 1,160±0.002 <sup>defgh</sup>         | 1,251±0.008 <sup>fgh</sup> | 1,471±0.018 <sup>d</sup>   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เหลืองประทิว 123 | 1,253±0.037 <sup>a</sup>             | 1,310±0.001 <sup>c</sup>   | 1,506±0.047 <sup>bcd</sup> |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1         | 1,201±0.003 <sup>abcd</sup>          | 1,300±0.001 <sup>cde</sup> | 1,590±0.058 <sup>a</sup>   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปราจีนบุรี 2     | 1,146±0.051 <sup>defgh</sup>         | 1,295±0.015 <sup>cde</sup> | 1,490±0.006 <sup>cd</sup>  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1     | 1,186±0.005 <sup>abcde</sup>         | 1,289±0.009 <sup>cde</sup> | 1,485±0.012 <sup>cd</sup>  |

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยคิดจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $P \leq 0.05$ )

ความหนาแน่นจริงของข้าวเปลือกอยู่ในช่วง 1034 – 1,253 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความหนาแน่นจริงของข้าวกล้องอยู่ในช่วง 1205 – 1,385 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความหนาแน่นจริงของข้าวสารอยู่ในช่วง 1460 – 1,596 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความหนาแน่นจริงที่วัดได้ใกล้เคียงกับปี 2550/2551

ตารางที่ 41 ความหนาแน่นปรากฏ (Bulk density)

| สายพันธุ์                            | ความหนาแน่นปรากฏ (kg/m <sup>3</sup> ) |                             |                               |
|--------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
|                                      | ข้าวเปลือก                            | ข้าวกล้อง                   | ข้าวสาร                       |
| กลุ่มแอมิโลสต่ำมาก                   |                                       |                             |                               |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1         | 546.2±0.873 <sup>h</sup>              | 782.4±4.866 <sup>a</sup>    | 783.4±4.279 <sup>bcde</sup>   |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 10               | 537.1±1.101 <sup>i</sup>              | 774.1±3.439 <sup>abcd</sup> | 775.3±4.739 <sup>efgh</sup>   |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 8                | 520.3±1.374 <sup>j</sup>              | 778.1±2.657 <sup>ab</sup>   | 796.6±1.167 <sup>a</sup>      |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง     | 512.2±0.984 <sup>k</sup>              | 757.7±2.463 <sup>efg</sup>  | 778.3±2.570 <sup>defg</sup>   |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สกลนคร              | 520.4±1.509 <sup>j</sup>              | 756.5±5.402 <sup>efg</sup>  | 770.5±2.539 <sup>ghi</sup>    |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์หางยี 71            | 556.7±2.003 <sup>g</sup>              | 777.8±2.565 <sup>ab</sup>   | 781.3±3.341 <sup>bcdef</sup>  |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 6                | 564.9±3.971 <sup>f</sup>              | 764.3±5.686 <sup>cdef</sup> | 771.8±4.151 <sup>fghi</sup>   |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวอุบลราชธานี 2 | 543.1±5.282 <sup>hi</sup>             | 766.8±5.923 <sup>cde</sup>  | 770.7±9.490 <sup>ghi</sup>    |
| กลุ่มแอมิโลสต่ำ                      |                                       |                             |                               |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 15                 | 546.2±3.555 <sup>h</sup>              | 755.9±4.801 <sup>efg</sup>  | 767.4±4.483 <sup>hi</sup>     |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105        | 584.4±2.098 <sup>ab</sup>             | 782.1±3.482 <sup>a</sup>    | 781.1±2.588 <sup>bcdef</sup>  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สังข์หยดพัทลุง        | 511.4±1.637 <sup>k</sup>              | 758.3±8.960 <sup>efg</sup>  | 766.0±9.656 <sup>hi</sup>     |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1            | 546.4±2.379 <sup>h</sup>              | 751.4±3.174 <sup>g</sup>    | 762.0±1.837 <sup>ij</sup>     |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 21                 | 574.7±4.895 <sup>cde</sup>            | 763.7±3.996 <sup>cdef</sup> | 770.8±6.684 <sup>ghi</sup>    |
| กลุ่มแอมิโลสปานกลาง                  |                                       |                             |                               |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 2          | 566.3±3.214 <sup>f</sup>              | 772.2±9.087 <sup>abcd</sup> | 780.4±7.148 <sup>bcdefg</sup> |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เล็บนกปัตตานี         | 588.0±0.950 <sup>a</sup>              | 771.4±3.092 <sup>bcd</sup>  | 786.3±3.815 <sup>bcd</sup>    |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์อุทุมพรพิสัย 1        | 568.2±3.850 <sup>ef</sup>             | 778.3±3.055 <sup>ab</sup>   | 789.8±3.340 <sup>ab</sup>     |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 60         | 584.2±5.225 <sup>ab</sup>             | 763.3±4.163 <sup>def</sup>  | 778.0±0.849 <sup>defg</sup>   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 3            | 562.8±5.749 <sup>fg</sup>             | 753.6±6.429 <sup>fg</sup>   | 767.8±6.682 <sup>hi</sup>     |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เสียวพัทลุง           | 577.3±5.930 <sup>bcd</sup>            | 742.0±2.645 <sup>h</sup>    | 754.0±4.013 <sup>cdefg</sup>  |

ตารางที่ 41 (ต่อ) ความหนาแน่นปรากฏ (Bulk density)

| สายพันธุ์                       | ความหนาแน่นปรากฏ (Kg/m <sup>3</sup> ) |                             |                            |
|---------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|----------------------------|
|                                 | ข้าวเปลือก                            | ข้าวกล้อง                   | ข้าวสาร                    |
| กลุ่มเอมิโลสสูง                 |                                       |                             |                            |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 2       | 576.1±5.367 <sup>cd</sup>             | 738.3±7.637 <sup>h</sup>    | 754.0±3.245 <sup>j</sup>   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เหลืองประทิว 123 | 566.3±5.612 <sup>f</sup>              | 774.3±7.234 <sup>abc</sup>  | 782.7±1.172 <sup>bcd</sup> |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1         | 570.8±9.608 <sup>def</sup>            | 764.0±4.582 <sup>cdef</sup> | 771.0±4.247 <sup>ghi</sup> |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปราจีนบุรี 2     | 565.3±5.033 <sup>f</sup>              | 766.3±8.082 <sup>cde</sup>  | 786.0±2.978 <sup>bcd</sup> |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1     | 580.3±8.056 <sup>abc</sup>            | 765.7±6.658 <sup>cde</sup>  | 788.6±6.167 <sup>abc</sup> |

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยคิดจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถว มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $P \leq 0.05$ )

ความหนาแน่นปรากฏของข้าวเปลือก อยู่ในช่วง 511.4 – 588.0 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความหนาแน่นปรากฏของข้าวกล้อง อยู่ในช่วง 738.3 – 782.4 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และความหนาแน่นปรากฏของข้าวสารอยู่ในช่วง 754.0 – 796.6 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความหนาแน่นปรากฏที่วัดได้ใกล้เคียงกับปี 2550/2551

ตารางที่ 42 ความเป็นรูพรุน (Porosity)

| สายพันธุ์                            | ความเป็นรูพรุน (%)       |                            |                             |
|--------------------------------------|--------------------------|----------------------------|-----------------------------|
|                                      | ข้าวเปลือก               | ข้าวกล้อง                  | ข้าวสาร                     |
| กลุ่มเอมิโลสต่ำมาก                   |                          |                            |                             |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1         | 48.19±0.94 <sup>fg</sup> | 37.36±0.38 <sup>i</sup>    | 46.36±0.61 <sup>fg</sup>    |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 10               | 51.80±0.89 <sup>c</sup>  | 43.08±.24 <sup>b</sup>     | 47.17±0.11 <sup>defg</sup>  |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 8                | 50.89±0.94 <sup>de</sup> | 40.40±0.65 <sup>def</sup>  | 45.45±0.10 <sup>g</sup>     |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง     | 50.48±0.97 <sup>de</sup> | 38.92±0.22 <sup>gh</sup>   | 48.21±2.31 <sup>cdef</sup>  |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สกลนคร              | 53.31±0.14 <sup>c</sup>  | 45.39±0.37 <sup>a</sup>    | 47.87±0.11 <sup>def</sup>   |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์หางยี 71            | 54.92±0.16 <sup>a</sup>  | 37.59±0.19 <sup>i</sup>    | 47.03±0.81 <sup>efg</sup>   |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 6                | 51.11±0.36 <sup>d</sup>  | 39.82±0.44 <sup>fg</sup>   | 50.28±1.59 <sup>ab</sup>    |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวอุบลราชธานี 2 | 47.83±0.49 <sup>g</sup>  | 36.15±0.54 <sup>j</sup>    | 47.48±0.58 <sup>defg</sup>  |
| กลุ่มเอมิโลสต่ำ                      |                          |                            |                             |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 15                 | 52.43±0.31 <sup>c</sup>  | 39.01±1.38 <sup>gh</sup>   | 47.58±1.26 <sup>def</sup>   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105        | 44.66±0.19 <sup>j</sup>  | 39.71±0.26 <sup>fg</sup>   | 46.89±0.16 <sup>efg</sup>   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สังข์หยดพัทลุง        | 54.46±0.13 <sup>ab</sup> | 40.58±0.70 <sup>cdef</sup> | 50.07±2.50 <sup>abc</sup>   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1            | 54.58±0.21 <sup>ab</sup> | 39.75±0.23 <sup>fg</sup>   | 47.83±0.33 <sup>def</sup>   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 21                 | 53.58±0.40 <sup>b</sup>  | 41.53±0.29 <sup>c</sup>    | 48.36±0.82 <sup>bcdef</sup> |
| กลุ่มเอมิโลสปานกลาง                  |                          |                            |                             |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 2          | 51.84±0.27 <sup>c</sup>  | 42.80±0.67 <sup>b</sup>    | 49.21±0.62 <sup>bcd</sup>   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เล็บนกปัตตานี         | 50.25±0.08 <sup>c</sup>  | 40.32±0.24 <sup>def</sup>  | 47.45±1.15 <sup>defg</sup>  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์อุทุมพรพิสัย 1        | 48.87±0.36 <sup>f</sup>  | 38.54±0.22 <sup>h</sup>    | 46.31±0.32 <sup>fg</sup>    |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 60         | 46.62±0.45 <sup>h</sup>  | 36.74±0.33 <sup>ij</sup>   | 46.98±0.20 <sup>efg</sup>   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 3            | 45.68±0.58 <sup>i</sup>  | 40.80±0.50 <sup>cde</sup>  | 51.90±0.56 <sup>a</sup>     |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เงี้ยวพัทลุง          | 48.29±0.54 <sup>fg</sup> | 40.08±0.21 <sup>ef</sup>   | 48.99±0.35 <sup>defg</sup>  |

ตารางที่ 42 (ต่อ) ความเป็นรูพรุน (Porosity)

| สายพันธุ์                       | ความเป็นรูพรุน (%)       |                            |                            |
|---------------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|
|                                 | ข้าวเปลือก               | ข้าวกล้อง                  | ข้าวสาร                    |
| กลุ่มเอมิโลสสูง                 |                          |                            |                            |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 2       | 50.34±0.45 <sup>c</sup>  | 41.01±0.59 <sup>cde</sup>  | 48.73±0.42 <sup>bcde</sup> |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เหลืองประทิว 123 | 54.82±0.42 <sup>a</sup>  | 40.88±0.56 <sup>cde</sup>  | 47.98±1.58 <sup>def</sup>  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1         | 52.48±0.78 <sup>c</sup>  | 41.27±0.34 <sup>cd</sup>   | 51.55±2.09 <sup>a</sup>    |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปราจีนบุรี 2     | 50.67±0.43 <sup>de</sup> | 40.82±0.62 <sup>cde</sup>  | 47.23±0.43 <sup>defg</sup> |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1     | 51.09±0.84 <sup>d</sup>  | 40.62±0.50 <sup>cdef</sup> | 46.91±0.87 <sup>efg</sup>  |

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยคำนวณจากความหนาแน่นปรากฏและความหนาแน่นจริง ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถว มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $P \leq 0.05$ )

ความเป็นรูพรุนของข้าวเปลือกอยู่ในช่วง ร้อยละ 44.66 – 54.92 ความเป็นรูพรุนของข้าวกล้องอยู่ในช่วงร้อยละ 36.15 – 45.39 ความเป็นรูพรุนของข้าวสารอยู่ในช่วงร้อยละ 45.45 - 51.90 ความเป็นรูพรุนของข้าวเปลือกมีค่ามากที่สุดเนื่องจากข้าวเปลือกมีหนามแหลมทำให้เมื่อกองซ้อนกันจะเกิดช่องว่างมากที่สุด รองลงมา คือ ข้าวสาร และข้าวกล้อง ความเป็นรูพรุนที่วัดได้มีค่าใกล้เคียงกับ ปี 2550/2551

ตารางที่ 43 ปริมาตร (Volume)

| สายพันธุ์                            | ปริมาตร (cm <sup>3</sup> /100 g) |                           |                          |
|--------------------------------------|----------------------------------|---------------------------|--------------------------|
|                                      | ข้าวเปลือก                       | ข้าวกล้อง                 | ข้าวสาร                  |
| กลุ่มเอมิโลสต่ำมาก                   |                                  |                           |                          |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1         | 82.7±0.71 <sup>abcdef</sup>      | 75.2±0.56 <sup>ab</sup>   | 68.5±0.50 <sup>a</sup>   |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 10               | 83.3±0.99 <sup>abcde</sup>       | 71.5±0.71 <sup>fgh</sup>  | 68.2±0.28 <sup>a</sup>   |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 8                | 85.4±0.85 <sup>a</sup>           | 68.3±0.63 <sup>i</sup>    | 68.5±0.00 <sup>a</sup>   |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง     | 80.2±1.41 <sup>fghij</sup>       | 72.1±0.21 <sup>defg</sup> | 66.7±3.17 <sup>abc</sup> |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สกลนคร              | 84.3±1.06 <sup>ab</sup>          | 67.6±0.56 <sup>i</sup>    | 67.7±0.28 <sup>a</sup>   |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์หางยี 71            | 82.3±0.99 <sup>defg</sup>        | 65.5±0.70 <sup>j</sup>    | 67.8±0.76 <sup>a</sup>   |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 6                | 83.5±0.71 <sup>abcd</sup>        | 71.7±0.35 <sup>efgh</sup> | 64.5±1.80 <sup>cd</sup>  |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวอุบลราชธานี 2 | 79.0±1.41 <sup>ij</sup>          | 68.5±0.71 <sup>i</sup>    | 68.2±0.28 <sup>a</sup>   |
| กลุ่มเอมิโลสต่ำ                      |                                  |                           |                          |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 15                 | 79.8±0.91 <sup>ghij</sup>        | 70.5±0.71 <sup>h</sup>    | 68.3±1.44 <sup>a</sup>   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105        | 77.7±1.27 <sup>j</sup>           | 71.5±0.71 <sup>fgh</sup>  | 68.0±0.00 <sup>a</sup>   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สังข์หยดพัทลุง        | 81.1±1.27 <sup>defghi</sup>      | 72.5±0.71 <sup>def</sup>  | 65.2±2.51 <sup>bc</sup>  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1            | 81.2±1.06 <sup>cdefghi</sup>     | 73.1±0.50 <sup>cde</sup>  | 68.5±0.50 <sup>a</sup>   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 21                 | 83.5±0.71 <sup>abcd</sup>        | 76.6±0.85 <sup>a</sup>    | 67.0±0.50 <sup>ab</sup>  |
| กลุ่มเอมิโลสปานกลาง                  |                                  |                           |                          |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 2          | 82.0±1.41 <sup>bcdefgh</sup>     | 73.6±0.21 <sup>cd</sup>   | 65.2±0.86 <sup>bc</sup>  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เล็บนกปัตตานี         | 84.0±1.41 <sup>abc</sup>         | 72.3±0.15 <sup>defg</sup> | 66.8±1.44 <sup>abc</sup> |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์อุทุมพรพิสัย 1        | 83.2±1.06 <sup>abcde</sup>       | 73.4±0.85 <sup>cd</sup>   | 68.0±0.50 <sup>a</sup>   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 60         | 83.2±1.06 <sup>abc</sup>         | 74.5±0.71 <sup>bc</sup>   | 68.2±0.28 <sup>a</sup>   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 3            | 81.2±1.06 <sup>cdefghi</sup>     | 71.7±0.35 <sup>efgh</sup> | 62.7±0.28 <sup>d</sup>   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เสียวพัทลุง           | 83.2±1.76 <sup>abcde</sup>       | 70.8±0.50 <sup>gh</sup>   | 67.7±0.57 <sup>a</sup>   |

ตารางที่ 43 (ต่อ) ปริมาตร (Volume)

| สายพันธุ์                       | ปริมาตร (cm <sup>3</sup> /100 g) |                           |                          |
|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------|--------------------------|
|                                 | ข้าวเปลือก                       | ข้าวกล้อง                 | ข้าวสาร                  |
| กลุ่มเอมิโลสสูง                 |                                  |                           |                          |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 2       | 82.2±1.60 <sup>bcdefg</sup>      | 72.5±0.71 <sup>def</sup>  | 68.0±0.86 <sup>a</sup>   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เหลืองประทิว 123 | 79.0±1.41 <sup>ij</sup>          | 71.5±0.71 <sup>fgh</sup>  | 66.5±2.17 <sup>bca</sup> |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1         | 83.3±1.06 <sup>abc</sup>         | 73.0±1.41 <sup>cdef</sup> | 62.8±2.36 <sup>d</sup>   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปราจีนบุรี 2     | 79.3±1.20 <sup>hij</sup>         | 73.7±0.35 <sup>bcd</sup>  | 67.2±0.28 <sup>ab</sup>  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1     | 80.5±1.41 <sup>efghi</sup>       | 70.3±1.06 <sup>h</sup>    | 67.3±0.57 <sup>ab</sup>  |

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยคิดจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรที่ต่างกันในแถวแนวนอน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $P \leq 0.05$ )

ข้าว 100 กรัมจะมีปริมาตรของข้าวเปลือกอยู่ในช่วง 77.7 – 85.4 ลูกบาศก์เซนติเมตร ปริมาตรของข้าวกล้องอยู่ในช่วง 65.5 – 76.6 ลูกบาศก์เซนติเมตร ปริมาตรข้าวสารอยู่ในช่วง 62.7– 68.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร จากการทดลองจะเห็นได้ว่า ข้าวเปลือก มีปริมาตรมากกว่าข้าวกล้องและ ข้าวกล้องมีปริมาตรมากกว่าข้าวสาร ปริมาตรที่วัดได้มีค่าใกล้เคียงกับปี 2550/2551

ตารางที่ 44 มุมกอง (Angle of repose)

| สายพันธุ์                            | มุมกอง (องศา) |           |          |
|--------------------------------------|---------------|-----------|----------|
|                                      | ข้าวเปลือก    | ข้าวกล้อง | ข้าวสาร  |
| กลุ่มแอมิโลสต่ำมาก                   |               |           |          |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1         | 34.5±0.1      | 30.5±0.2  | 29.6±0.7 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 10               | 32.4±0.3      | 28.5±0.3  | 24.0±0.2 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 8                | 36.0±0.3      | 32.0±0.6  | 28.5±0.7 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง     | 37.7±0.7      | 35.2±0.6  | 33.0±0.3 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สกลนคร              | 35.0±0.3      | 32.1±0.8  | 29.9±0.3 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์หางยี 71            | 33.0±0.6      | 30.0±0.3  | 29.2±0.5 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 6                | 35.1±0.9      | 31.8±0.2  | 30.0±0.6 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวอุบลราชธานี 2 | 34.6±0.2      | 30.8±0.2  | 28.3±0.5 |
| กลุ่มแอมิโลสต่ำ                      |               |           |          |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 15                 | 39.1±0.1      | 35.0±0.6  | 34.0±0.1 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105        | 36.7±0.7      | 31.2±0.5  | 29.5±0.6 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สังข์หยดพัทลุง        | 35.4±0.4      | 34.0±0.5  | 33.3±0.3 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1            | 40.1±0.1      | 35.4±0.1  | 34.8±0.1 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 21                 | 36.0±0.1      | 31.0±0.5  | 29.0±0.1 |
| กลุ่มแอมิโลสปานกลาง                  |               |           |          |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 2          | 36.4±0.6      | 30.2±0.2  | 28.1±0.4 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เล็บนกปัตตานี         | 35.2±0.1      | 33.6±0.1  | 32.8±0.2 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์อุทุมพร 1             | 35.2±0.7      | 32.3±0.7  | 30.6±0.5 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 60         | 36.1±0.3      | 33.0±0.1  | 31.2±0.1 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 3            | 38.8±0.3      | 32.0±0.2  | 30.0±0.4 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เถียงพันธุ            | 36.3±0.2      | 34.7±0.3  | 33.8±0.6 |

ตารางที่ 44 (ต่อ) มุมกอง (Angle of repose)

| สายพันธุ์                       | มุมกอง (องศา) |           |          |
|---------------------------------|---------------|-----------|----------|
|                                 | ข้าวเปลือก    | ข้าวกล้อง | ข้าวสาร  |
| กลุ่มเอมิโลสสูง                 |               |           |          |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 2       | 37.9±0.9      | 34.6±0.5  | 34.6±0.5 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เหลืองประทิว 123 | 34.8±0.7      | 32.1±0.9  | 31.4±0.1 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1         | 34.1±0.8      | 29.8±0.3  | 29.0±0.2 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปราจีนบุรี 2     | 34.5±0.6      | 33.0±0.5  | 32.4±0.3 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1     | 36.9±0.5      | 32.0±0.2  | 31.5±0.4 |

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยคิดจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $P \leq 0.05$ )

ค่ามุมกองของข้าวเปลือกอยู่ในช่วง 32.4 – 40.1 ค่ามุมกองของข้าวกล้องอยู่ในช่วง 28.5 – 35.4 ค่ามุมกองของข้าวสาร อยู่ในช่วง 24.0 – 34.8 มุมกองของข้าวเปลือก มีค่าสูงสุด เนื่องจากข้าวเปลือกมีหนามยาวและแหลมคมเมื่อกองซ้อนกันจะเกาะเกี่ยวกันทำให้กองซ้อนกันได้สูง ส่วนข้าวกล้องจะมีมุมกองมากกว่าข้าวสารเนื่องจากผิวข้าวกล้องหยาบกว่ามีโอกาสกองได้สูงกว่าข้าวสารซึ่งมีผิวเรียบ มุมกองที่วัดได้มีค่าใกล้เคียงกับปี 2550/2551

ตารางที่ 45 มุมไหล (Angle of friction)

| สายพันธุ์                            | มุมไหล (องศา) |           |          |
|--------------------------------------|---------------|-----------|----------|
|                                      | ข้าวเปลือก    | ข้าวกล้อง | ข้าวสาร  |
| กลุ่มแอมิโลสต่ำมาก                   |               |           |          |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1         | 22.0±0.1      | 19.2±0.1  | 18.6±0.4 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 10               | 20.4±0.2      | 19.4±0.4  | 18.8±0.1 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 8                | 22.4±0.5      | 20.2±0.3  | 19.8±0.2 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง     | 22.4±0.2      | 21.6±0.4  | 19.7±0.3 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สกลนคร              | 22.7±0.2      | 20.8±0.5  | 19.6±0.2 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์หางยี 71            | 23.7±0.2      | 21.5±0.5  | 19.0±0.1 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 6                | 21.2±0.4      | 19.1±0.2  | 17.8±0.4 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวอุบลราชธานี 2 | 20.2±0.2      | 18.5±0.2  | 18.3±.04 |
| กลุ่มแอมิโลสต่ำ                      |               |           |          |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 15                 | 22.0±0.4      | 20.7±0.2  | 19.4±0.4 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105        | 22.6±0.3      | 20.6±0.4  | 19.0±0.2 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สังข์หยดพัทลุง        | 22.7±0.3      | 21.2±0.1  | 20.5±0.2 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1            | 23.1±0.1      | 22.0±0.3  | 19.6±0.2 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 21                 | 20.1±0.2      | 19.5±0.3  | 18.5±0.5 |
| กลุ่มแอมิโลสปานกลาง                  |               |           |          |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 2          | 22.6±0.1      | 21.4±0.2  | 20.2±0.1 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เล็บนกปัตตานี         | 22.0±0.4      | 20.4±0.2  | 19.2±0.3 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์อยุธยา 1              | 21.5±0.6      | 19.5±0.6  | 18.1±0.2 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 60         | 21.8±0.2      | 19.4±0.3  | 18.0±0.2 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 3            | 24.2±0.1      | 22.8±0.1  | 21.0±0.2 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เลี้ยงพัทลุง          | 21.0±0.3      | 19.2±0.2  | 18.5±0.5 |

ตารางที่ 45 (ต่อ) มุมไหล (Angle of friction)

| สายพันธุ์                       | มุมไหล(องศา) |           |          |
|---------------------------------|--------------|-----------|----------|
|                                 | ข้าวเปลือก   | ข้าวกล้อง | ข้าวสาร  |
| กลุ่มแอมิโลสสูง                 |              |           |          |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 2       | 23.3±0.2     | 22.0±0.2  | 21.0±0.4 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เหลืองประทิว 123 | 22.4±0.1     | 21.2±0.2  | 20.0±0.1 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1         | 23.0±0.1     | 21.4±0.5  | 19.8±0.1 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปราจีนบุรี 2     | 20.5±0.2     | 19.4±0.1  | 18.2±0.1 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1     | 19.7±0.1     | 18.4±0.2  | 16.0±0.1 |

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยคิดจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $P \leq 0.05$ )

สำหรับข้าวไทย ข้าวเปลือกมีมุมไหลอยู่ในช่วง 19.7 – 24.2 ข้าวกล้องมีมุมไหลอยู่ในช่วง 18.4 – 22.8 และข้าวสารมีมุมไหลอยู่ในช่วง 16.0 – 21.0 มุมไหลที่วัดได้มีค่าใกล้เคียงกับปี 2550/2551

## การศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติของข้าวในระหว่างการเก็บรักษา

เนื่องจากข้าวมีการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีอยู่ตลอดเวลาในระหว่างการเก็บรักษา โดยขึ้นอยู่กับสถานะในการเก็บรักษา เช่น อุณหภูมิ เวลา และความชื้น โดยพบว่า อุณหภูมิจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด ลักษณะที่เห็นได้ชัด คือ เนื้อสัมผัสของข้าวสุก ข้าวใหม่จะมีลักษณะที่แฉะ ไม่ขึ้นหม้อ มีของแข็งละลายออกมามาก อุ่นน้ำได้น้อย ขยายปริมาตรไม่มาก ในขณะที่ข้าวเก่าจะมีลักษณะร่วนแข็ง ไม่เกาะติดกัน มีของแข็งละลายในน้ำที่หุงน้อย อุ่นน้ำมาก ขยายปริมาตรมาก หุงขึ้นหม้อ

จึงต้องการศึกษาดัชนีวัดความเก่าของข้าว เพื่อนำไปศึกษาการเร่งหรือชะลอความเก่าของข้าวในอนาคต ในงานวิจัยนี้ สนใจศึกษา สมบัติด้านความหนืดของแป้ง โดยใช้เครื่องวัดความหนืดแบบรวดเร็ว (RVA) และศึกษาสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของเมล็ดข้าว สมบัติการดูดน้ำ การขยายตัวทางปริมาตร การขยายตัวตามความยาวของเมล็ด ปริมาณของแข็งที่ละลายออกจากเมล็ดข้าว ความแข็งและความเหนียวของข้าวสุก และการสลายตัวในด่าง ในงานวิจัยนี้ทำการเก็บรักษาข้าวสารเป็นระยะเวลา 1 – 4 เดือน แล้วศึกษาสมบัติที่กล่าวมาข้างต้น ผลการศึกษาสมบัติด้านความหนืดของแป้งในเดือนที่ 1 2 3 และ 4 แสดงในตารางที่ 46 47 48 และ 49 คุณสมบัติด้านความหนืดแปรผันไปตามอายุการเก็บ ข้าวที่เก็บไว้นานขึ้นมักมีความหนืดสูงสุดและความหนืดสุดท้ายเพิ่มขึ้น ผลการทดลองสอดคล้องกับวิมลรัตน์ (2550) ซึ่งศึกษาข้าวขาวดอกมะลิ 105 และข้าวพันธุ์ชัยนาทที่เก็บไว้ 0-4 เดือน ดังนั้นจึงควรตรวจสอบสมบัติของข้าวที่เก็บไว้ก่อนนำมาผลิตเพื่อจะได้ปรับค่าความหนืดให้เหมาะสมในการผลิตทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพสม่ำเสมอ อัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าวแสดงในตารางที่ 50 ข้าวจะมีการยืดตัวยาวขึ้นตามระยะเวลาเก็บที่เพิ่มขึ้น อัตราการขยายปริมาตรของข้าวแสดงในตารางที่ 51 ข้าวจะมีการขยายปริมาตรมากขึ้นข้าวจะมีการยืดตัวยาวขึ้นตามระยะเวลาเก็บที่เพิ่มขึ้น นั่นคือหุงขึ้นหม้อมากขึ้น การอุ่นน้ำของข้าวสุก แสดงในตารางที่ 52 ข้าวมีแนวโน้มที่จะดูดน้ำเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาเก็บที่เพิ่มขึ้น ปริมาณของแข็งในน้ำข้าวสุกแสดงในตารางที่ 53 ปริมาณของแข็งมีแนวโน้มลดลงเมื่อเก็บข้าวนานขึ้น ค่าความแข็งของข้าวสุกแสดงในตารางที่ 54 ความแข็งของข้าวสุกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เก็บรักษา ความเหนียวของข้าวสุกแสดงในตารางที่ 55 ความเหนียวมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาที่เก็บรักษา การสลายตัวในสารละลายด่างแสดงในตารางที่ 56 พบว่าค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลา 4 เดือน

ตารางที่ 46 สมบัติด้านความหนืดของแป้งเดือนที่ 1

| สายพันธุ์                            | ความหนืด                    |                        |                   |                         |                 |
|--------------------------------------|-----------------------------|------------------------|-------------------|-------------------------|-----------------|
|                                      | Pasting temperature<br>(°C) | Peak viscosity<br>(cP) | Breakdown<br>(cP) | Final viscosity<br>(cP) | Setback<br>(cP) |
| กลุ่มแอมีโลสต่ำมาก                   |                             |                        |                   |                         |                 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1         | 70.38                       | 2670.5                 | 1635.4            | 1332.5                  | 297.5           |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 10               | 70.45                       | 3297.0                 | 2097.0            | 1536.0                  | 336.0           |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 8                | 69.63                       | 2798.5                 | 1743.5            | 1362.5                  | 307.5           |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง     | 68.30                       | 2904.0                 | 1977.0            | 1194.5                  | 267.5           |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สกลนคร              | 72.13                       | 3327.0                 | 2117.0            | 1565.0                  | 355.0           |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 6                | 69.70                       | 2558.5                 | 1636.5            | 1185.0                  | 263.0           |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวอุบลราชธานี 2 | 72.05                       | 2863.0                 | 1830.0            | 1321.0                  | 288.5           |
| กลุ่มแอมีโลสต่ำ                      |                             |                        |                   |                         |                 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 15                 | 72.10                       | 3618.5                 | 1768.5            | 2838.5                  | 988.5           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ข้าวคอกมะลิ 105       | 72.83                       | 3676.5                 | 1668.5            | 2943.5                  | 935.5           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สังข์หยดพัทลุง        | 81.48                       | 2916.0                 | 962.0             | 3454.0                  | 1500.0          |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 21                 | 72.10                       | 4021.5                 | 1888              | 3504.0                  | 1370.5          |

ตารางที่ 46 (ต่อ) สมบัติด้านความหนืดของแป้ง เดือนที่ 1

| สายพันธุ์                   | ความหนืด                    |                        |                   |                         |                 |
|-----------------------------|-----------------------------|------------------------|-------------------|-------------------------|-----------------|
|                             | Pasting temperature<br>(°C) | Peak viscosity<br>(cP) | Breakdown<br>(cP) | Final viscosity<br>(cP) | Setback<br>(cP) |
| กลุ่มเอมิโลสปานกลาง         |                             |                        |                   |                         |                 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 3   | 76.83                       | 2954.5                 | 990.5             | 3317.5                  | 1353.5          |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เขียงพัตลุง  | 77.58                       | 3091.5                 | 668.5             | 3938.5                  | 1515.5          |
| กลุ่มเอมิโลสสูง             |                             |                        |                   |                         |                 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1 | 79.18                       | 2333.0                 | 854 .5            | 3091.5                  | 1612.5          |

ตารางที่ 47 สมบัติด้านความหนืดของแป้ง เดือนที่ 2

| สายพันธุ์                         | ความหนืด                    |                        |                   |                         |                 |
|-----------------------------------|-----------------------------|------------------------|-------------------|-------------------------|-----------------|
|                                   | Pasting temperature<br>(°C) | Peak viscosity<br>(cP) | Breakdown<br>(cP) | Final viscosity<br>(cP) | Setback<br>(cP) |
| กลุ่มแอมีโลสต่ำมาก                |                             |                        |                   |                         |                 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1      | 69.68                       | 2895.0                 | 1767.0            | 1410.5                  | 282.5           |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 10            | 70.43                       | 3363.0                 | 2038.0            | 1639.0                  | 314.0           |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 8             | 69.70                       | 2735.0                 | 1655.0            | 1380.5                  | 300.5           |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง  | 69.60                       | 2794.5                 | 1793.0            | 1281.5                  | 280.0           |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สกลนคร           | 70.40                       | 3354.5                 | 2147.5            | 1583.5                  | 376.5           |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 6             | 68.03                       | 2460.0                 | 1503.0            | 1231.0                  | 274.0           |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวสราษธานี 2 | 72.08                       | 3026.5                 | 1944.0            | 1404.5                  | 302.0           |
| กลุ่มแอมีโลสต่ำ                   |                             |                        |                   |                         |                 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 15              | 72.80                       | 3781.0                 | 1616.0            | 3246.5                  | 1081.5          |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105     | 74.40                       | 3755.0                 | 1770.0            | 2980.5                  | 995.5           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สังข์หยดพัทลุง     | 81.45                       | 2714.0                 | 979.5             | 3409.0                  | 1674.5          |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1         | 74.48                       | 3895.5                 | 1777.0            | 3148.5                  | 1030.0          |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 21              | 72.83                       | 4010.5                 | 1737.0            | 3699.5                  | 1426.0          |

ตารางที่ 47 (ต่อ) สมบัติด้านความหนืดของแป้ง เดือนที่ 2

| สายพันธุ์                    | ความหนืด                    |                        |                   |                         |                 |
|------------------------------|-----------------------------|------------------------|-------------------|-------------------------|-----------------|
|                              | Pasting temperature<br>(°C) | Peak viscosity<br>(cP) | Breakdown<br>(cP) | Final viscosity<br>(cP) | Setback<br>(cP) |
| กลุ่มแอมีโลสปานกลาง          |                             |                        |                   |                         |                 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เสียบนกปีตानी | 79.20                       | 2941.0                 | 1142.5            | 3341.0                  | 1542.5          |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์อยุธยา 1      | 76.80                       | 3819.5                 | 1223.5            | 4531.0                  | 1935.0          |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 60 | 72.83                       | 2737.0                 | 739.0             | 3417.5                  | 1479.5          |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิชญ์โลก 3    | 75.20                       | 2903.5                 | 1141.5            | 3376.5                  | 1614.5          |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เกีย่งพัทลุง  | 79.23                       | 3324.0                 | 752.0             | 4434.0                  | 1860.0          |
| กลุ่มแอมีโลสสูง              |                             |                        |                   |                         |                 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิชญ์โลก 2    | 70.43                       | 1258.0                 | 182.0             | 1703.5                  | 627.5           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1      | 79.93                       | 3125.5                 | 901.0             | 3989.5                  | 1765.0          |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปราจีนบุรี 2  | 76.83                       | 3131.0                 | 1164.0            | 3672.0                  | 1705.0          |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1  | 79.95                       | 2488.5                 | 781.0             | 3341.0                  | 1633.5          |

ตารางที่ 48 สมบัติด้านความหนืดของแป้ง เต๋อนที่ 3

| สายพันธุ์                            | ความหนืด                    |                        |                   |                         |                 |
|--------------------------------------|-----------------------------|------------------------|-------------------|-------------------------|-----------------|
|                                      | Pasting temperature<br>(°C) | Peak viscosity<br>(cP) | Breakdown<br>(cP) | Final viscosity<br>(cP) | Setback<br>(cP) |
| กลุ่มแอมีโลสดำมาก                    |                             |                        |                   |                         |                 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1         | 69.68                       | 2640.0                 | 1433.5            | 1548.5                  | 342.0           |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 10               | 69.65                       | 3001.0                 | 1651.0            | 1682.5                  | 332.5           |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 8                | 69.65                       | 2977.0                 | 1687.5            | 1574.5                  | 285.0           |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง     | 68.03                       | 2868.5                 | 1763.5            | 1385.0                  | 280.0           |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สกลนคร              | 70.43                       | 3189.0                 | 1945.5            | 1630.0                  | 386.5           |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์หางฮี 71            | 70.45                       | 3042.5                 | 1965.0            | 1411.0                  | 333.5           |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 6                | 69.65                       | 2628.0                 | 1471.0            | 1425.0                  | 268.0           |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวอุบลราชธานี 2 | 70.43                       | 3079.5                 | 1878.0            | 1507.0                  | 306.0           |
| กลุ่มแอมีโลสต่ำ                      |                             |                        |                   |                         |                 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 15                 | 72.83                       | 3462.0                 | 1728.5            | 2952.5                  | 1219.0          |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105        | 74.43                       | 3424.5                 | 1415.0            | 3128.5                  | 1119.0          |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สังข์หยดพัทลุง        | 81.45                       | 2978.0                 | 1052.0            | 3792.0                  | 1866.0          |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1            | 74.40                       | 4023.5                 | 2048.0            | 3192.5                  | 1217.0          |

ตารางที่ 48 (ต่อ) สมบัติด้านความหนืดของแป้งเดือนที่ 3

| สายพันธุ์                    | ความหนืด                    |                        |                   |                         |                 |
|------------------------------|-----------------------------|------------------------|-------------------|-------------------------|-----------------|
|                              | Pasting temperature<br>(°C) | Peak viscosity<br>(cP) | Breakdown<br>(cP) | Final viscosity<br>(cP) | Setback<br>(cP) |
| กลุ่มเอมิโลสต่ำ              |                             |                        |                   |                         |                 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 21         | 72.85                       | 3661.5                 | 1564.0            | 3572.5                  | 1475.0          |
| กลุ่มเอมิโลสปานกลาง          |                             |                        |                   |                         |                 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เล็บนกปีตานิ  | 79.18                       | 3018.0                 | 1111.0            | 3662.0                  | 1755.0          |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์อุทุมพร 1     | 76.80                       | 3031.5                 | 1328.5            | 3508.0                  | 1805.0          |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 60 | 72.08                       | 2826.5                 | 828.0             | 3629.0                  | 1630.5          |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เสียวพัทลุง   | 79.13                       | 3450.5                 | 827.5             | 4696.5                  | 2073.5          |
| กลุ่มเอมิโลสสูง              |                             |                        |                   |                         |                 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 2    | 70.85                       | 1307.0                 | 149.5             | 1832.5                  | 675.0           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1      | 79.88                       | 3130.5                 | 807.0             | 4097.5                  | 1774.0          |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปราจีนบุรี 2  | 76.85                       | 3135.5                 | 1088.5            | 3915.0                  | 1868.0          |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1  | 79.50                       | 2700.5                 | 897.5             | 3778.0                  | 1975.0          |

ตารางที่ 49 สมบัติด้านความหนืดของแป้ง เต๋อนที่ 4

| สายพันธุ์                            | ความหนืด                    |                        |                   |                         | Setback<br>(cP) |
|--------------------------------------|-----------------------------|------------------------|-------------------|-------------------------|-----------------|
|                                      | Pasting temperature<br>(°C) | Peak viscosity<br>(cP) | Breakdown<br>(cP) | Final viscosity<br>(cP) |                 |
| กลุ่มแอมิโลสต่ำมาก                   |                             |                        |                   |                         |                 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1         | 69.68                       | 2796.0                 | 1547.0            | 1546.0                  | 297.0           |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 10               | 70.43                       | 3081.0                 | 1699.5            | 1700.5                  | 319.0           |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 8                | 69.70                       | 2960.5                 | 1663.5            | 1607.0                  | 310.0           |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง     | 67.63                       | 2891.0                 | 1701.0            | 1460.5                  | 270.5           |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สกลนคร              | 70.45                       | 3371.5                 | 1928.0            | 1853.5                  | 410.0           |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์หางยี 71            | 69.73                       | 2820.0                 | 1760.5            | 1388.5                  | 329.0           |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 6                | 68.03                       | 2551.0                 | 1378.5            | 1437.0                  | 264.5           |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวอุบลราชธานี 2 | 69.63                       | 2926.0                 | 1729.0            | 151.0                   | 313.5           |
| กลุ่มแอมิโลสต่ำ                      |                             |                        |                   |                         |                 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 15                 | 70.83                       | 3444.5                 | 1664.0            | 2927.5                  | 1147.0          |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105        | 72.85                       | 3718.5                 | 1826.5            | 3026.0                  | 1134.0          |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สังข์หยดพัทลุง        | 81.45                       | 2853.5                 | 967.0             | 3949.0                  | 2062.5          |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1            | 74.43                       | 3755.5                 | 2006.5            | 3065.5                  | 1316.5          |

ตารางที่ 49 (ต่อ) สมบัติด้านความหนืดของแป้ง เดือนที่ 4

| สายพันธุ์                    | ความหนืด                    |                        |                   |                         |                 |
|------------------------------|-----------------------------|------------------------|-------------------|-------------------------|-----------------|
|                              | Pasting temperature<br>(°C) | Peak viscosity<br>(cP) | Breakdown<br>(cP) | Final viscosity<br>(cP) | Setback<br>(cP) |
| กลุ่มเอมิโลสต่ำ              |                             |                        |                   |                         |                 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 21         | 72.80                       | 3614.5                 | 1532.0            | 3641.5                  | 1559.0          |
| กลุ่มเอมิโลสปานกลาง          |                             |                        |                   |                         |                 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เล็บนกปัตตานี | 79.18                       | 3021.0                 | 1238.0            | 3820.0                  | 2037.0          |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์อูยธยา 1      | 76.80                       | 3819.0                 | 1187.0            | 4769.5                  | 2137.5          |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 60 | 72.85                       | 2806.0                 | 882.0             | 3940.5                  | 2016.5          |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 3    | 76.83                       | 3134.0                 | 1270.5            | 3760.0                  | 1896.5          |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เสียวพัทลุง   | 79.15                       | 3639.5                 | 934.5             | 4986.0                  | 2281.0          |
| กลุ่มเอมิโลสสูง              |                             |                        |                   |                         |                 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 2    | 72.05                       | 1499.0                 | 290.5             | 2219.0                  | 1010.5          |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1      | 73.63                       | 3049.0                 | 956.0             | 4231.5                  | 2138.5          |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปราจีนบุรี 2  | 76.80                       | 3607.0                 | 1216.5            | 4370.0                  | 1979.5          |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1  | 79.15                       | 2579.5                 | 790.5             | 3683.0                  | 1894.0          |

ตารางที่ 50 อัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าว (Expansion ratio)

| สายพันธุ์                            | อัตราการยืดตัว |      |      |      | สมการรีเกรสชั่น     | R <sup>2</sup> |
|--------------------------------------|----------------|------|------|------|---------------------|----------------|
|                                      | 1              | 2    | 3    | 4    |                     |                |
| กลุ่มเอมิโลสต่ำมาก                   |                |      |      |      |                     |                |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1         | 1.35           | 1.36 | 1.38 | 1.39 | y = 0.0124x + 1.341 | 0.91           |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 10               | 1.45           | 1.46 | 1.47 | 1.49 | y = 0.012x + 1.4395 | 0.93           |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 8                | 1.42           | 1.43 | 1.44 | 1.45 | y = 0.0097x + 1.414 | 0.98           |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง     | 1.33           | 1.38 | 1.39 | 1.41 | y = 0.0256x + 1.314 | 0.85           |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สกลนคร              | 1.43           | 1.41 | 1.44 | 1.54 | y = 0.0374x + 1.362 | 0.65           |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์หางยี 71            | -              | -    | 1.32 | 1.38 | y = 0.053xx + 1.168 | 1.00           |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 6                | 1.52           | 1.53 | 1.54 | 1.61 | y = 0.0275x + 1.482 | 0.75           |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวอุบลราชธานี 2 | 1.42           | 1.39 | 1.46 | 1.52 | y = 0.0358x + 1.359 | 0.67           |
| กลุ่มเอมิโลสต่ำ                      |                |      |      |      |                     |                |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 15                 | 1.46           | 1.50 | 1.57 | 1.60 | y = 0.0514x + 1.404 | 0.98           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105        | 1.51           | 1.47 | 1.57 | 1.63 | y = 0.0445x + 1.437 | 0.72           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สังข์หยดพัทลุง        | 1.40           | 1.45 | 1.51 | 1.53 | y = 0.0454x + 1.361 | 0.97           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1            | -              | 1.38 | 1.43 | 1.51 | y = 0.0665x + 1.241 | 0.97           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 21                 | 1.33           | 1.33 | 1.40 | 1.51 | y = 0.0623x + 1.237 | 0.87           |

ตารางที่ 50 (ต่อ) อัตราการขยายตัวของเมล็ดข้าว (Expansion ratio)

| สายพันธุ์                    | อัตราการขยายตัว |      |      |      | สมการรีเกรสชั่น     | R <sup>2</sup> |
|------------------------------|-----------------|------|------|------|---------------------|----------------|
|                              | 1               | 2    | 3    | 4    |                     |                |
| กลุ่มเอมิโลสปานกลาง          |                 |      |      |      |                     |                |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เล็บนกปีตานิ  | -               | 1.31 | 1.35 | 1.39 | y = 0.042x + 1.224  | 0.98           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์อุยฺยูธา 1    | -               | 1.37 | 1.41 | 1.42 | y = 0.22xx + 1.331  | 0.90           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 60 | -               | 1.45 | 1.48 | 1.51 | y = 0.031x + 1.386  | 1.00           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 3    | 1.41            | 1.45 | 1.50 | 1.52 | y = 0.0373x + 1.377 | 0.95           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เขื่องพัตลุง  | 1.39            | 1.40 | 1.42 | 1.50 | y = 0.0199x + 1.365 | 0.95           |
| กลุ่มเอมิโลสสูง              |                 |      |      |      |                     |                |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 2    | -               | 1.60 | 1.64 | 1.69 | y = 0.0495x + 1.496 | 0.97           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1      | -               | 1.44 | 1.50 | 1.51 | y = 0.0325x + 1.389 | 0.87           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปราจีนบุรี 2  | -               | 1.38 | 1.41 | 1.42 | y = 0.0165x + 1.357 | 0.96           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1  | 1.36            | 1.42 | 1.49 | 1.52 | y = 0.0546x + 1.312 | 0.96           |

หมายเหตุ “-” หมายถึง ข้าวที่ส่งมามีอายุหลังการเก็บเกี่ยวมากกว่า 1 เดือนจึงไม่ไว้วัด

**ตารางที่ 51** อัตราการขยายปริมาตรของเมล็ดข้าว (Volumetric expansion)

| สายพันธุ์                            | อัตราการขยายปริมาตร / เดือน |      |      |      | สมการรีเกรสชั่น     | R <sup>2</sup> |
|--------------------------------------|-----------------------------|------|------|------|---------------------|----------------|
|                                      | 1                           | 2    | 3    | 4    |                     |                |
| กลุ่มเอมิโลสดำมาก                    |                             |      |      |      |                     |                |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1         | 2.43                        | 2.47 | 2.60 | 2.82 | y = 0.1303x + 2.254 | 0.92           |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 10               | 2.69                        | 2.71 | 2.78 | 2.80 | y = 0.0396x + 2.647 | 0.93           |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 8                | 2.15                        | 2.19 | 2.26 | 2.42 | y = 0.0873x + 2.037 | 0.91           |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง     | 2.61                        | 2.70 | 2.81 | 2.90 | y = 0.0968x + 2.514 | 0.99           |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สกลนคร              | 2.67                        | 2.64 | 2.71 | 2.83 | y = 0.0552x + 2.576 | 0.70           |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์หางยี 71            | -                           | -    | 2.79 | 2.84 | y = 0.050x + 2.640  | 1.00           |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 6                | 2.71                        | 2.83 | 2.86 | 2.89 | y = 0.0588x + 2.678 | 0.89           |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวอุบลราชธานี 2 | 2.44                        | 2.44 | 2.48 | 2.51 | y = 0.0256x + 2.405 | 0.92           |
| กลุ่มเอมิโลสต่ำ                      |                             |      |      |      |                     |                |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 15                 | 2.96                        | 3.03 | 3.25 | 3.38 | y = 0.1471x + 2.788 | 0.96           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105        | 3.34                        | 3.29 | 3.42 | 3.52 | y = 0.0664x + 3.225 | 0.72           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สังข์หยดพัทลุง        | 3.01                        | 3.11 | 3.21 | 3.34 | y = 0.1091x + 2.894 | 0.99           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1            | -                           | 3.43 | 3.37 | 3.57 | y = 0.0658x + 3.250 | 0.46           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 21                 | 2.88                        | 3.40 | 3.45 | 3.69 | y = 0.249x + 2.734  | 0.87           |

ตารางที่ 51 (ต่อ) อัตราการขยายปริมาตรของเมล็ดข้าว (Volumetric expansion)

| สายพันธุ์                    | อัตราการขยายปริมาตร / เดือน |      |      |      | สมการถดถอย             | R <sup>2</sup> |
|------------------------------|-----------------------------|------|------|------|------------------------|----------------|
|                              | 1                           | 2    | 3    | 4    |                        |                |
| กลุ่มแอมิโลสปานกลาง          |                             |      |      |      |                        |                |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เล็บนกปีตทานี | -                           | 2.90 | 2.99 | 3.01 | $y = 0.056x + 2.800$   | 0.89           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์อุทุมพร 1     | -                           | 2.99 | 3.01 | 3.11 | $y = 0.0555x + 2.873$  | 0.82           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 60 | -                           | 3.31 | 3.48 | 3.49 | $y = 0.0874x + 3.168$  | 0.81           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิชญ์โลก 3    | 2.94                        | 3.05 | 3.11 | 3.21 | $y = 0.0867x + 2.864$  | 0.98           |
| กลุ่มแอมิโลสสูง              |                             |      |      |      |                        |                |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิชญ์โลก 2    | -                           | 3.14 | 3.21 | 3.38 | $y = 0.01185x + 2.889$ | 0.94           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1      | -                           | 3.45 | 3.45 | 3.52 | $y = 0.0345x + 3.367$  | 0.76           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปราจีนบุรี 2  | -                           | 2.91 | 3.01 | 3.15 | $y = 0.1195x + 2.666$  | 0.99           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1  | 3.12                        | 3.14 | 3.21 | 3.31 | $y = 0.0652x + 3.031$  | 0.92           |

หมายเหตุ “-” หมายถึง ข้าวที่ส่งมามีอายุหลังการเก็บเกี่ยวมากกว่า 1 เดือน

ตารางที่ 52 การดูดน้ำของข้าวสุก (Water absorption)

| สายพันธุ์                            | การดูดน้ำของข้าวสุก (%) / เดือน |       |       |       | สมการรีเกรสชัน        | R <sup>2</sup> |
|--------------------------------------|---------------------------------|-------|-------|-------|-----------------------|----------------|
|                                      | 1                               | 2     | 3     | 4     |                       |                |
| กลุ่มเอมิโลสต่ำมาก                   |                                 |       |       |       |                       |                |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1         | 41.12                           | 39.37 | 36.36 | 60.35 | y = 5.4674x + 30.635  | 0.42           |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 10               | 44.04                           | 54.54 | 40.88 | 46.26 | y = -0.6987x + 48.178 | 0.02           |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 8                | 63.04                           | 51.94 | 57.72 | 65.02 | y = 1.1738x + 56.498  | 0.06           |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง     | 38.22                           | 37.51 | 35.97 | -     | y = -1.1255x + 39.484 | 0.95           |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สกลนคร              | 38.66                           | 44.78 | 24.04 | 24.45 | y = -6.338x + 48.832  | 0.61           |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 6                | 41.68                           | 36.94 | 40.92 | 41.08 | y = 0.2155x + 39.622  | 0.01           |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวอุบลราชธานี 2 | 35.10                           | 28.76 | 46.47 | 57.51 | y = 8.494x + 20.728   | 0.74           |
| กลุ่มเอมิโลสต่ำ                      |                                 |       |       |       |                       |                |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 15                 | 24.55                           | 44.38 | 25.82 | 45.31 | y = 4.3705x + 24.090  | 0.24           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105       | 24.32                           | 45.58 | 47.79 | 56.13 | y = 9.7631x + 19.048  | 0.86           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สังข์หยดพัทลุง        | 24.35                           | 63.26 | -     | -     | y = 38.91x - 14.56    | 1.00           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1            | -                               | 38.81 | 32.28 | 40.25 | y = 11.422x-0.7105    | 0.61           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 21                 | 33.99                           | 31.14 | 26.19 | 33.31 | y = -0.6982x + 32.906 | 0.06           |

ตารางที่ 52 (ต่อ) การดูดน้ำของข้าวสุก (water absorption)

| สายพันธุ์                    | การอุ้มน้ำของข้าวสุก (%) / เดือน |       |       |       | สมการรีเกรสชัน      | R <sup>2</sup> |
|------------------------------|----------------------------------|-------|-------|-------|---------------------|----------------|
|                              | 1                                | 2     | 3     | 4     |                     |                |
| กลุ่มเอมิโลสปานกลาง          |                                  |       |       |       |                     |                |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์อยุธยา 1      | -                                | 46.51 | 35.94 | 40.51 | y = -3x + 53.32     | 0.83           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 60 | -                                | 38.24 | 44.16 | 46.50 | y = 4.13x + 30.577  | 0.94           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 3    | 34.48                            | 37.72 | 38.59 | 39.93 | y = 1.722x + 33.375 | 0.92           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เจียงพัทลุง   | 51.17                            | 40.5  | -     | -     | y = -10.67x + 61.84 | 1.00           |
| กลุ่มเอมิโลสสูง              |                                  |       |       |       |                     |                |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 2    | -                                | 49.29 | 49.96 | 59.27 | y = 4.99x + 42.86   | 0.80           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1      | -                                | 24.38 | 30.94 | 54.04 | y = 14.83x + 6.7933 | 0.91           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปราจีนบุรี 2  | -                                | 35.63 | 36.44 | 41.21 | y = 2.79x + 29.39   | 0.85           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1  | 46.99                            | 43.73 | 56.88 | 49.48 | y = 2.064x + 44.115 | 0.23           |

หมายเหตุ “-” หมายถึง ข้าวที่ส่งมามีอยู่หลังการเก็บเกี่ยวมากกว่า 1 เดือน

ตารางที่ 53 ปริมาณของแข็งในน้ำข้าวสุก (Solid content in boiling water)

| สายพันธุ์                            | ปริมาณของแข็งในน้ำข้าวสุก (กรัม) / เดือน |      |      |      | สมการถดถอย             | R <sup>2</sup> |
|--------------------------------------|------------------------------------------|------|------|------|------------------------|----------------|
|                                      | 1                                        | 2    | 3    | 4    |                        |                |
| กลุ่มเอมิโกลต้ามาก                   |                                          |      |      |      |                        |                |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1         | 0.32                                     | 0.31 | 0.25 | 0.35 | $y = 0.003x + 0.3$     | 0.008          |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กย 10               | 0.27                                     | 0.28 | 0.18 | 0.31 | $y = 0.002x + 0.255$   | 0.002          |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กย 8                | 0.90                                     | 0.41 | 0.25 | 0.16 | $y = -0.238x + 1.025$  | 0.87           |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง     | 0.43                                     | 0.34 | 0.34 | -    | $y = -0.045x + 0.46$   | 0.75           |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สกกลนคร             | 0.40                                     | 0.28 | 0.21 | 0.35 | $y = -0.022x + 0.365$  | 0.12           |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กย 6                | 0.31                                     | 0.30 | 0.34 | 0.35 | $y = 0.016x + 0.285$   | 0.75           |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวอุบลราชธานี 2 | 0.39                                     | 0.30 | 0.35 | 0.37 | $y = -0.001x + 0.355$  | 0.001          |
| กลุ่มเอมิโกลต้า                      |                                          |      |      |      |                        |                |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กย 15                 | 0.51                                     | 0.37 | 0.47 | 0.55 | $y = -0.035x + 0.4033$ | 0.13           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105        | 0.57                                     | 0.41 | 0.31 | 0.54 | $y = -0.084x + 0.63$   | 0.04           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สังข์หยดพัทลุง        | 0.54                                     | 0.35 | 0.28 | 0.25 | $y = 0.007x + 0.375$   | 0.87           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1            | -                                        | 0.43 | 0.52 | 0.52 | $y = 0.045x + 0.4$     | 0.75           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กย 21                 | 0.46                                     | 0.54 | 0.36 | 0.33 | $y = -0.023x + 0.33$   | 0.59           |

ตารางที่ 53 (ต่อ) ปริมาณของแข็งในน้ำข้าวสุก (Solid content in boiling water)

| สายพันธุ์                    | ปริมาณของแข็งในน้ำข้าวสุก (กรัม) / เดือน |      |      |      | สมการรีเกรสชัน         | R <sup>2</sup> |
|------------------------------|------------------------------------------|------|------|------|------------------------|----------------|
|                              | 1                                        | 2    | 3    | 4    |                        |                |
| กลุ่มเอมิโอสปานกลาง          |                                          |      |      |      |                        |                |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เล็บนกปีตตานี | -                                        | 0.45 | 0.24 | -    | $y = -0.21x + 0.87$    | 1.00           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์อุทุมพร 1     | -                                        | 0.45 | 0.42 | 0.27 | $y = -0.084x + 0.63$   | 0.93           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 60 | -                                        | 0.31 | 0.41 | 0.42 | $y = 0.007x + 0.375$   | 0.02           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิชญ์โลก 3    | 0.52                                     | 0.36 | 0.23 | 0.39 | $y = -0.052x + 0.505$  | 0.31           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เลี้ยงพัทลุง  | 0.33                                     | 0.21 | 0.34 | 0.21 | $y = -0.023x + 0.33$   | 0.17           |
| กลุ่มเอมิโอสสูง              |                                          |      |      |      |                        |                |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิชญ์โลก 2    | -                                        | 0.47 | 0.51 | 0.51 | $y = 0.02x + 0.4367$   | 0.75           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1      | -                                        | 0.42 | 0.34 | 0.25 | $y = -0.085x + 0.5917$ | 0.99           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปราจีนบุรี 2  | -                                        | 0.5  | 0.57 | 0.65 | $y = 0.075x + 0.3483$  | 0.99           |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1  | 0.28                                     | 0.47 | 0.47 | 0.51 | $y = 0.069x + 0.26$    | 0.7422         |

หมายเหตุ “-” หมายถึง ข้าวที่ส่งมาเมื่อภายหลังการเก็บเกี่ยวมากกว่า 1 เดือน

ตารางที่ 54 ค่าความแข็งของข้าวสุก (Hardness)

| สายพันธุ์                            | ความแข็ง (g) ในแต่ละเดือน |         |          |           |         |
|--------------------------------------|---------------------------|---------|----------|-----------|---------|
|                                      | 1                         | 2       | 3        | 4         | 5       |
| กลุ่มเอมิโลสต่ำมาก                   |                           |         |          |           |         |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1         | 7990.47                   | 9251.21 | 10234.96 | 108687.63 | -       |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 10               | 8898.99                   | 9221.71 | 10776.49 | 10848.86  | -       |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 8                | 9935.27                   | 8916.5  | 10089.66 | 8719.45   | -       |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง     | 8091.94                   | 8020.54 | 9148.42  | 8677.21   | -       |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สกลนคร              | 7197.59                   | 8666.5  | 8917.41  | 9336.99   | -       |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์หางยี 71            | -                         | -       | 84606.97 | 9653.95   | 8062.57 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 6                | 3039.99                   | 8238.34 | 8432.06  | 8053.79   | -       |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวอุบลราชธานี 2 | 6613.94                   | 7922.03 | 10029.65 | 8885.66   | -       |
| กลุ่มเอมิโลสต่ำ                      |                           |         |          |           |         |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 15                 | 7638.42                   | 9578.71 | 9650.85  | 9198.42   | -       |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105        | 9497.34                   | 9746.61 | 10564.16 | 109310.50 | -       |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สังข์หยดพัทลุง        | -                         | 7950.67 | 8680.96  | 62769.25  | -       |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1            | 9316.05                   | 9935.23 | 9457.38  | 9927.09   | -       |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 21                 | 9316.05                   | 9580.01 | 10872.07 | 10338.83  | -       |

**ตารางที่ 54 (ต่อ) ค่าความแข็งของข้าวสุก (Hardness)**

| สายพันธุ์                    | ความแข็ง (g) ในแต่ละเดือน |          |          |          |          |
|------------------------------|---------------------------|----------|----------|----------|----------|
|                              | 1                         | 2        | 3        | 4        | 5        |
| <b>กลุ่มเอมิโลสปานกลาง</b>   |                           |          |          |          |          |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เล็บปัดตานี   | -                         | 7667.24  | 9573.30  | 9700.87  | -        |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์อุยฺยยา       | -                         | 13759.81 | 13947.75 | 12517.75 | 12665.32 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 60 | -                         | 14952.54 | 13017.16 | 12992.67 | -        |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 3    | 11000.61                  | 13414.45 | 10235.33 | 11965.19 | -        |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เลี้ยงพตลุง   | -                         | 10678.21 | 12064.77 | 10449.37 | -        |
| <b>กลุ่มเอมิโลสสูง</b>       |                           |          |          |          |          |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 2    | -                         | 12917.64 | 11675.10 | 13183.60 | 11699.13 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1      | -                         | 13525.35 | 13512.71 | 12465.01 | 10151.59 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปราจีนบุรี 2  | -                         | 12681.43 | 12902.86 | 11843.53 | 12184.21 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1  | 8206.47                   | 12083.02 | 12498.40 | 12423.91 | -        |

ตารางที่ 55 ค่าความหนะของข้าวสุก (Stickiness)

| สายพันธุ์                            | ความหนะ (g.sec) ในแต่ละเดือน |        |        |        |        |
|--------------------------------------|------------------------------|--------|--------|--------|--------|
|                                      | 1                            | 2      | 3      | 4      | 5      |
| กลุ่มเอมิโลสต่ำมาก                   |                              |        |        |        |        |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1         | 167.91                       | 178.97 | 135.44 | 156.51 | -      |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 10               | 168.92                       | 165.68 | 127.49 | 143.80 | -      |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 8                | 140.78                       | 180.46 | 154.83 | 165.23 | -      |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง     | 149.00                       | 134.90 | 139.33 | 153.36 | -      |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สกลนคร              | 187.21                       | 185.37 | 189.45 | 162.24 | -      |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์หางฮี 71            | -                            | -      | 135.07 | 117.99 | 122.25 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 6                | 90.18                        | 126.77 | 126.00 | 133.60 | -      |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวอุบลราชธานี 2 | 154.88                       | 165.67 | 127.46 | 125.84 | -      |
| กลุ่มเอมิโลสต่ำ                      |                              |        |        |        |        |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 15                 | 123.66                       | 99.89  | 94.97  | 93.08  | -      |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105        | 81.87                        | 105.12 | 91.76  | 93.74  | -      |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สังข์หยดพัทลุง        | -                            | 66.03  | 60.17  | 50.83  | -      |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1            | 121.13                       | 91.69  | 102.75 | 90.77  | -      |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 21                 | -                            | 102.55 | 90.98  | 81.44  | -      |

ตารางที่ 55 (ต่อ) ค่าความหนะของข้าวสุก (Stickiness)

| สายพันธุ์                    | ความหนะ (g.sec) ในแต่ละเดือน |       |       |       |       |
|------------------------------|------------------------------|-------|-------|-------|-------|
|                              | 1                            | 2     | 3     | 4     | 5     |
| กลุ่มเอมิโลสปานกลาง          |                              |       |       |       |       |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เล็บปัดตานี   | -                            | 50.42 | 42.82 | 58.59 | -     |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์อุยงยา        | -                            | 35.61 | 36.15 | 52.44 | 51.45 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 60 | -                            | 18.52 | 58.05 | 50.11 | -     |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 3    | 74.43                        | 52.24 | 72.65 | 59.41 | -     |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เลี้ยงพัทลุง  | -                            | 30.02 | 29.68 | 25.05 | -     |
| กลุ่มเอมิโลสสูง              |                              |       |       |       |       |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 2    | -                            | 29.77 | 37.93 | 36.62 | 45.76 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1      | -                            | 44.29 | 39.22 | 48.62 | 77.40 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปราจีนบุรี 2  | -                            | 45.55 | 51.39 | 36.90 | 47.36 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1  | 67.88                        | 48.33 | 44.42 | 41.77 | -     |

ตารางที่ 56 การสลายตัวในด่าง (Alkaline test)

| สายพันธุ์                            | ค่าการสลายตัวในด่าง / เดือน |     |     |     |
|--------------------------------------|-----------------------------|-----|-----|-----|
|                                      | 1                           | 2   | 3   | 4   |
| กลุ่มเอมิโลสต่ำมาก                   |                             |     |     |     |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1         | 6.3                         | *   | 6   | 7   |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 10               | 6                           | 6.3 | 6   | 6.3 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 8                | 6                           | 7   | 6   | 6   |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง     | 6                           | 7   | 5   | 5   |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สกลนคร              | *                           | 6   | 7   | 6   |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์หางยี 71            | -                           | -   | 6.3 | 7   |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 6                | 6                           | 7   | 6   | 6   |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวอุบลราชธานี 2 | *                           | 6.3 | 6   | 6   |
| กลุ่มเอมิโลสต่ำ                      |                             |     |     |     |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 15                 | *                           | 6.7 | 7   | 7   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105        | *                           | 7   | 7   | 7   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สังข์หยดพัทลุง        | 6.7                         | 6.7 | 6.7 | 6   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1            | -                           | 7   | 6.7 | 6   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 21                 | 7                           | 7   | 7   | 7   |
| กลุ่มเอมิโลสปานกลาง                  |                             |     |     |     |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เล็บนกปัตตานี         | -                           | 6   | 6   | 5   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์อุรุยา 1              | -                           | 6.3 | 6.7 | 6.7 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 60         | -                           | 7   | 7   | 7   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 3            | 6.7                         | 6.3 | 6.3 | 6.7 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เงี้ยวพัทลุง          | 7                           | 6.7 | 6.7 | 6   |

ตารางที่ 56 (ต่อ) การสลายตัวในด่าง (Alkaline test)

| สายพันธุ์                   | ค่าการสลายตัวในด่าง / เดือน |     |     |     |
|-----------------------------|-----------------------------|-----|-----|-----|
|                             | 1                           | 2   | 3   | 4   |
| กลุ่มเอมิโลสสูง             |                             |     |     |     |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 2   | -                           | 6   | 6   | 6   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1     | -                           | 6.7 | 6   | 6.7 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปราจีนบุรี 2 | -                           | 6   | 6.3 | 6.3 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1 | 6                           | 6   | 7   | 6   |

หมายเหตุ เป็นค่าเฉลี่ยของการทดลอง 3 ซ้ำ

- หมายถึง ข้าวที่ส่งมามีอายุหลังการเก็บเกี่ยวมากกว่า 1 เดือน

\* หมายถึง ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

### สมบัติไดอิเล็กตริก (Dielectric properties)

สมบัติไดอิเล็กตริกของอาหารมีประโยชน์สำหรับการออกแบบการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ ประกอบด้วย ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (Dielectric constant) ค่าการสูญเสียไดอิเล็กตริก (dielectric loss factor) และค่าลอสมแทนเจนต์ (loss tangent)

ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก เป็นค่าที่บ่งบอกว่า วัตถุจะสามารถดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟได้มากน้อยเพียงใด ค่าการสูญเสียไดอิเล็กตริก เป็นค่าที่บ่งบอกว่า วัสดุสามารถเปลี่ยนค่าพลังงานไมโครเวฟที่ดูดกลืน ไปเป็นพลังงานความร้อนได้เท่าใด ค่าลอสมแทนเจนต์ เป็นค่าที่บ่งบอกความสามารถในการผลิต ความร้อนของวัสดุ ไดอิเล็กตริก ในขณะที่ดูดซับพลังงานคลื่นไมโครเวฟ

สมบัติไดอิเล็กตริก ขึ้นอยู่กับค่าความถี่ อุณหภูมิ และความชื้น เครื่องมือที่ใช้วัดสมบัติไดอิเล็กตริก เรียกว่า เครื่องเนตเวิร์ก อนาไลเซอร์ ซึ่งประกอบด้วยสองส่วนหลัก คือ เครื่องมือวัด ซึ่งประกอบด้วย อุปกรณ์ปล่อยคลื่นไมโครเวฟ สายส่งคลื่น และหัววัด ส่วนที่สอง คือ ซอฟต์แวร์ที่เชื่อมต่อกับระบบ คอมพิวเตอร์ ซึ่งทำหน้าที่ประมวลผลการวัด (ผดุงศักดิ์, 2551; Pueschner, 2008)

สมบัติไดอิเล็กตริกของข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวสาร แสดงในตารางที่ 57

ตารางที่ 57 สมบัติไดอิเล็กตริกของข้าวเปลือก

| สายพันธุ์                            | Dielectric properties         |                                |                               |
|--------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
|                                      | Dielectric constant           | loss factor                    | loss tangent                  |
| กลุ่มเอมิโลสต่ำมาก                   |                               |                                |                               |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1         | 1.5261±0.070 <sup>j</sup>     | 0.2141±0.022 <sup>defgh</sup>  | 0.1400±0.008 <sup>abcde</sup> |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 10               | 1.7695±0.067 <sup>cdefg</sup> | 0.2644±0.028 <sup>abcd</sup>   | 0.1495±0.017 <sup>abc</sup>   |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 8                | 1.7326±0.064 <sup>defg</sup>  | 0.2277±0.018 <sup>cdefgh</sup> | 0.1313±0.007 <sup>bcdef</sup> |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง     | 1.5045±0.096 <sup>j</sup>     | 0.1274±0.017 <sup>hi</sup>     | 0.1144±0.004 <sup>efg</sup>   |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สกลนคร              | 1.2811±0.029 <sup>k</sup>     | 0.1412±0.004 <sup>i</sup>      | 0.1412±0.001 <sup>fg</sup>    |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์หางยี 71            | 1.6064±0.050 <sup>hij</sup>   | 0.1355±0.012 <sup>cdefgh</sup> | 0.2178±0.006 <sup>bcdef</sup> |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 6                | 1.7686±0.064 <sup>cdefg</sup> | 0.2043±0.044 <sup>efgh</sup>   | 0.1154±0.024 <sup>efg</sup>   |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวอุบลราชธานี 2 | 1.9116±0.083 <sup>a</sup>     | 0.2319±0.056 <sup>bcdefg</sup> | 0.1206±0.025 <sup>defg</sup>  |

ตารางที่ 57 (ต่อ) สมบัติไดอิเล็กทริกของข้าวเปลือก

| สายพันธุ์                       | Dielectric properties          |                                |                               |
|---------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
|                                 | Dielectric constant            | loss factor                    | loss tangent                  |
| กลุ่มเอมิโลสต่ำ                 |                                |                                |                               |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 15            | 1.7116±0.92 <sup>efgh</sup>    | 0.1858±0.049 <sup>ghi</sup>    | 0.1085±0.029 <sup>fg</sup>    |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105   | 1.7326±0.008 <sup>defg</sup>   | 0.2181±0.001 <sup>cdefg</sup>  | 0.1259±0.001 <sup>cdefg</sup> |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สังข์หยดพัทลุง   | 1.7151±0.06 <sup>3efgh</sup>   | 0.2684±0.017 <sup>abcd</sup>   | 0.1564±0.005 <sup>ab</sup>    |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1       | 1.7053±0.064 <sup>fgh</sup>    | 0.2435±0.014 <sup>abcdef</sup> | 0.1427±0.003 <sup>abcde</sup> |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 21            | 1.9016±0.146 <sup>ab</sup>     | 0.2880±0.095 <sup>ab</sup>     | 0.1526±0.051 <sup>abc</sup>   |
| กลุ่มเอมิโลสปานกลาง             |                                |                                |                               |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 2     | 1.7442±0.009 <sup>cdefg</sup>  | 0.2656±0.007 <sup>abcd</sup>   | 0.1523±0.003 <sup>abc</sup>   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เล็บนกปัตตานี    | 1.7454±0.116 <sup>cdefg</sup>  | 0.2487±0.042 <sup>abcdef</sup> | 0.1420±0.016 <sup>abcde</sup> |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์อยุธยา 1         | 1.7112±0.014 <sup>efgh</sup>   | 0.2628±0.003 <sup>abcd</sup>   | 0.1536±0.002 <sup>abc</sup>   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 60    | 1.6573±0.057 <sup>ghi</sup>    | 0.1949±0.028 <sup>fghi</sup>   | 0.1176±0.017 <sup>defg</sup>  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 3       | 1.8396±0.067 <sup>abcde</sup>  | 0.2910±0.018 <sup>a</sup>      | 0.1581±0.005 <sup>ab</sup>    |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เถียงพัทลุง      | 1.8129±0.074 <sup>abcdef</sup> | 0.2752±0.014 <sup>abc</sup>    | 0.1517±0.003 <sup>aabc</sup>  |
| กลุ่มเอมิโลสสูง                 |                                |                                |                               |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 2       | 1.7542±0.068 <sup>cdefg</sup>  | 0.2935±0.020 <sup>a</sup>      | 0.1672±0.007 <sup>a</sup>     |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เหลืองประทิว 123 | 1.8566±0.037 <sup>abcd</sup>   | 0.2129±0.027 <sup>defgh</sup>  | 0.1146±0.016 <sup>efg</sup>   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1         | 1.8692±0.106 <sup>abc</sup>    | 0.1850±0.040 <sup>ghi</sup>    | 0.0995±0.024 <sup>g</sup>     |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปราจีนบุรี 2     | 1.7796±0.085 <sup>bcdefg</sup> | 0.2591±0.020 <sup>abcde</sup>  | 0.1455±0.004 <sup>abcd</sup>  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1     | 1.5261±0.033 <sup>ij</sup>     | 0.2141±0.003 <sup>abcdef</sup> | 0.1400±0.002 <sup>ab</sup>    |

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยคิดจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $P \leq 0.05$ )

ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของข้าวเปลือกอยู่ในช่วง 1.2811 – 1.9116 ค่าการสูญเสียไดอิเล็กตริกอยู่ในช่วง 0.1274 – 0.2935 และค่าลอสมแทนเจนที่อยู่ในช่วง 0.0995 – 0.2178

ตารางที่ 58 สมบัติไดอิเล็กตริกของข้าวกล้อง

| สายพันธุ์                            | Dielectric properties         |                             |                              |
|--------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
|                                      | Dielectric constant           | loss factor                 | loss tangent                 |
| กลุ่มแอมิโลสต่ำมาก                   |                               |                             |                              |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1         | 2.2119±0.014 <sup>i</sup>     | 0.3905±0.003 <sup>bcd</sup> | 0.1765±0.000 <sup>bcd</sup>  |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 10               | 2.3086±0.047 <sup>fghi</sup>  | 0.3970±0.011 <sup>bcd</sup> | 0.1720±0.008 <sup>bcd</sup>  |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 8                | 2.3796±0.091 <sup>defg</sup>  | 0.4039±0.027 <sup>bcd</sup> | 0.1696±0.006 <sup>cdef</sup> |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง     | 2.3471±0.080 <sup>efgh</sup>  | 0.3874±0.032 <sup>cd</sup>  | 0.1648±0.008 <sup>cdef</sup> |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สกลนคร              | 2.2356±0.050 <sup>hi</sup>    | 0.3655±0.014 <sup>d</sup>   | 0.1634±0.003 <sup>cdef</sup> |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์หางยี 71            | 2.3007±0.041 <sup>fghi</sup>  | 0.4000±0.005 <sup>bcd</sup> | 0.1738±0.003 <sup>bcd</sup>  |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 6                | 2.3930±0.010 <sup>cdefg</sup> | 0.4003±0.012 <sup>bcd</sup> | 0.1673±0.006 <sup>cdef</sup> |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวอุบลราชธานี 2 | 2.3954±0.036 <sup>cdefg</sup> | 0.4205±0.013 <sup>bcd</sup> | 0.1755±0.003 <sup>bcd</sup>  |
| กลุ่มแอมิโลสต่ำ                      |                               |                             |                              |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 15                 | 2.5870±0.087 <sup>a</sup>     | 0.4922±0.029 <sup>a</sup>   | 0.1901±0.005 <sup>ab</sup>   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105        | 2.4177±0.145 <sup>bcdef</sup> | 0.4994±0.057 <sup>a</sup>   | 0.2066±0.022 <sup>a</sup>    |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สังข์หยดพัทลุง        | 2.5128±0.114 <sup>abc</sup>   | 0.3790±0.015 <sup>cd</sup>  | 0.1511±0.013 <sup>f</sup>    |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1            | 2.3062±0.069 <sup>fghi</sup>  | 0.3883±0.016 <sup>cd</sup>  | 0.1683±0.003 <sup>cdef</sup> |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 21                 | 2.4656±0.085 <sup>bcde</sup>  | 0.4086±0.015 <sup>bcd</sup> | 0.1663±0.005 <sup>cdef</sup> |
| กลุ่มแอมิโลสปานกลาง                  |                               |                             |                              |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 2          | 2.4140±0.156 <sup>bcdef</sup> | 0.3814±0.075 <sup>cd</sup>  | 0.1570±0.021 <sup>def</sup>  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เล็บนกปัตตานี         | 2.5283±0.033 <sup>ab</sup>    | 0.4179±0.011 <sup>bcd</sup> | 0.1653±0.004 <sup>cdef</sup> |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์อยุธยา 1              | 2.3967±0.069 <sup>cdefg</sup> | 0.4330±0.029 <sup>bc</sup>  | 0.1805±0.009 <sup>bc</sup>   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 60         | 2.3948±0.050 <sup>cdefg</sup> | 0.4186±0.022 <sup>bcd</sup> | 0.1748±0.006 <sup>bcd</sup>  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 3            | 2.5274±0.099 <sup>ab</sup>    | 0.4181±0.015 <sup>bcd</sup> | 0.1654±0.003 <sup>cdef</sup> |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เขื่องยพัทลุง         | 2.3694±0.032 <sup>defg</sup>  | 0.4171±0.052 <sup>bcd</sup> | 0.1758±0.020 <sup>bcd</sup>  |

ตารางที่ 58 (ต่อ) สมบัติไดอิเล็กตริกของข้าวกล้อง

| สายพันธุ์                       | Dielectric properties         |                             |                              |
|---------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
|                                 | Dielectric constant           | loss factor                 | loss tangent                 |
| กลุ่มเอมิโลสสูง                 |                               |                             |                              |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 2       | 2.3377±0.085 <sup>efghi</sup> | 0.3868±0.021 <sup>cd</sup>  | 0.1654±0.005 <sup>cdef</sup> |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เหลืองประทิว 123 | 2.2688±0.085 <sup>ghi</sup>   | 0.3679±0.015 <sup>d</sup>   | 0.1621±0.002 <sup>cdef</sup> |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1         | 2.3305±0.088 <sup>efghi</sup> | 0.4448±0.081 <sup>b</sup>   | 0.1912±0.036 <sup>ab</sup>   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปราจีนบุรี 2     | 2.4747±0.084 <sup>bcde</sup>  | 0.3628±0.042 <sup>cd</sup>  | 0.1467±0.017 <sup>ef</sup>   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1     | 2.4864±0.078 <sup>abcd</sup>  | 0.4107±0.020 <sup>bcd</sup> | 0.1651±0.006 <sup>cdef</sup> |

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยคิดจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $P \leq 0.05$ )

ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของข้าวกล้องอยู่ในช่วง 2.2119 – 2.5870 ค่าการสูญเสียไดอิเล็กตริกอยู่ในช่วง 0.3628 – 0.4994 และค่าลอสมแทนเจนที่อยู่ในช่วง 0.1467– 0.2066

ตารางที่ 59 สมบัติไดอิเล็กตริกของข้าวสาร

| สายพันธุ์                            | Dielectric properties         |                              |                                 |
|--------------------------------------|-------------------------------|------------------------------|---------------------------------|
|                                      | Dielectric constant           | loss factor                  | loss tangent                    |
| กลุ่มเอมิโลสต่ำมาก                   |                               |                              |                                 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1         | 2.2240±0.168 <sup>fgh</sup>   | 0.3652±0.030 <sup>defg</sup> | 0.1642±0.007 <sup>defgh</sup>   |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 10               | 2.5256±0.171 <sup>ab</sup>    | 0.4476±0.040 <sup>ab</sup>   | 0.1771±0.008 <sup>abcd</sup>    |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 8                | 2.5389±0.070 <sup>a</sup>     | 0.4399±0.025 <sup>abc</sup>  | 0.1732±0.006 <sup>abcdef</sup>  |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง     | 2.5191±0.089 <sup>ab</sup>    | 0.4328±0.016 <sup>abc</sup>  | 0.1718±0.004 <sup>abcdef</sup>  |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สกลนคร              | 2.4899±0.164 <sup>abc</sup>   | 0.4116±0.034 <sup>abcd</sup> | 0.1651±0.003 <sup>cdefgh</sup>  |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์หางยี 71            | 2.3384±0.060 <sup>cdefg</sup> | 0.3737±0.011 <sup>defg</sup> | 0.1598±0.003 <sup>fgh</sup>     |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 6                | 2.4913±0.039 <sup>abc</sup>   | 0.4459±0.032 <sup>ab</sup>   | 0.1790±0.013 <sup>ab</sup>      |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวอุบลราชธานี 2 | 2.8396±0.060 <sup>efgh</sup>  | 0.4756±0.021 <sup>abcd</sup> | 0.1783±0.005 <sup>abc</sup>     |
| กลุ่มเอมิโลสต่ำ                      |                               |                              |                                 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 15                 | 2.2256±0.088 <sup>fgh</sup>   | 0.3567±0.012 <sup>efg</sup>  | 0.1603±0.001 <sup>fgh</sup>     |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105        | 2.1353±0.092 <sup>h</sup>     | 0.3745±0.017 <sup>defg</sup> | 0.1754±0.005 <sup>abcde</sup>   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สังข์หยดพัทลุง        | 2.3025±0.079 <sup>defg</sup>  | 0.3953±0.011 <sup>cde</sup>  | 0.1718±0.008 <sup>abcdef</sup>  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1            | 2.4184±0.071 <sup>bcdef</sup> | 0.4134±0.045 <sup>cde</sup>  | 0.1710±0.017 <sup>bcdefgh</sup> |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 21                 | 2.4369±0.061 <sup>abcde</sup> | 0.4476±0.024 <sup>ab</sup>   | 0.1836±0.005 <sup>a</sup>       |
| กลุ่มเอมิโลสปานกลาง                  |                               |                              |                                 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 2          | 2.3603±0.058 <sup>bcdef</sup> | 0.4001±0.024 <sup>bcde</sup> | 0.1694±0.006 <sup>bcdefg</sup>  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เล็บนกปัตตานี         | 2.3403±0.076 <sup>cdefg</sup> | 0.3835±0.023 <sup>def</sup>  | 0.1637±0.004 <sup>defgh</sup>   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์อุทุมพรพิสัย 1        | 2.4235±0.027 <sup>abcde</sup> | 0.4005±0.013 <sup>bcde</sup> | 0.1652±0.006 <sup>cdefgh</sup>  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 60         | 2.3418±0.041 <sup>cdefg</sup> | 0.4092±0.028 <sup>abcd</sup> | 0.1746±0.010 <sup>abcde</sup>   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 3            | 2.1317±0.236 <sup>h</sup>     | 0.3331±0.083 <sup>g</sup>    | 0.1547±0.021 <sup>h</sup>       |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เสียวพัทลุง           | 2.1824±0.104 <sup>gh</sup>    | 0.3411±0.026 <sup>fg</sup>   | 0.1561±0.004 <sup>gh</sup>      |

ตารางที่ 59 (ต่อ) สมบัติไดอิเล็กตริกของข้าวสาร

| สายพันธุ์                       | Dielectric properties         |                              |                                 |
|---------------------------------|-------------------------------|------------------------------|---------------------------------|
|                                 | Dielectric constant           | loss factor                  | loss tangent                    |
| กลุ่มแอมิโลสสูง                 |                               |                              |                                 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 2       | 2.5141±0.043 <sup>ab</sup>    | 0.4448±0.022 <sup>ab</sup>   | 0.1768±0.006 <sup>abcd</sup>    |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เหลืองประทิว 123 | 2.3222±0.030 <sup>cdefg</sup> | 0.3802±0.017 <sup>def</sup>  | 0.1637±0.006 <sup>defgh</sup>   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1         | 2.3694±0.093 <sup>bcdef</sup> | 0.3946±0.018 <sup>cde</sup>  | 0.1665±0.002 <sup>bcdefgh</sup> |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปราจีนบุรี 2     | 2.4699±0.078 <sup>abcd</sup>  | 0.4525±0.08 <sup>a</sup>     | 0.1833±0.004 <sup>a</sup>       |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1     | 2.4612±0.024 <sup>abcd</sup>  | 0.4011±0.029 <sup>bcde</sup> | 0.1630±0.013 <sup>efgh</sup>    |

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยคิดจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถว มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $P \leq 0.05$ )

ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของข้าวสารอยู่ในช่วง 2.1317 – 2.8396 ค่าการสูญเสียไดอิเล็กตริกอยู่ในช่วง 0.3331 – 0.4756 และค่าลอสมแทนเจนต์อยู่ในช่วง 0.1547 – 0.1836

ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของข้าวกล้องมีค่าสูงและต่ำกว่าข้าวสารและค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของข้าวสารและข้าวกล้องสูงกว่าข้าวเปลือกอย่างมาก ค่าการสูญเสียไดอิเล็กตริกของข้าวกล้องมีค่าสูงกว่าข้าวสารและค่าการสูญเสียไดอิเล็กตริกของข้าวสารสูงกว่าข้าวเปลือกอย่างมาก ค่าลอสมแทนเจนต์ของข้าวกล้องมีค่าสูงและต่ำกว่าข้าวสาร และค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของข้าวสารและข้าวกล้องมีทั้งสูงกว่าและต่ำกว่าข้าวเปลือก

ตารางที่ 60 ปริมาณความชื้น

| สายพันธุ์                            | ปริมาณความชื้น (ร้อยละ) |           |         |
|--------------------------------------|-------------------------|-----------|---------|
|                                      | ข้าวเปลือก*             | ข้าวกล้อง | ข้าวสาร |
| กลุ่มแอมิโลสต่ำมาก                   |                         |           |         |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1         | 12.95                   | 12.55     | 12.25   |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 10               | 13.45                   | 13.05     | 12.37   |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 8                | 13.15                   | 13.00     | 11.37   |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง     | 11.80                   | 12.10     | 10.69   |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สกลนคร              | 12.60                   | 11.60     | 11.12   |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์หางยี 71            | 11.55                   | 11.65     | 10.30   |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 6                | 13.40                   | 12.35     | 11.36   |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวอุบลราชธานี 2 | 12.75                   | 12.35     | 11.91   |
| กลุ่มแอมิโลสต่ำ                      |                         |           |         |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 15                 | 11.75                   | 12.00     | 11.93   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105        | 11.50                   | 12.20     | 11.73   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สังข์หยดพัทลุง        | 11.20                   | 11.65     | 11.04   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1            | 13.05                   | 11.95     | 12.17   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 21                 | 12.35                   | 12.01     | 11.79   |
| กลุ่มแอมิโลสปานกลาง                  |                         |           |         |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 2          | 11.85                   | 11.20     | 11.67   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เล็บนกปัตตานี         | 11.20                   | 11.10     | 11.05   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์อุรุยา 1              | 13.35                   | 11.50     | 12.46   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 60         | 11.54                   | 11.35     | 12.44   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 3            | 11.85                   | 11.65     | 11.55   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เขื่องพัทลุง          | 11.35                   | 10.85     | 11.16   |

ตารางที่ 60 (ต่อ) ปริมาณความชื้น

| สายพันธุ์                       | ปริมาณความชื้น (ร้อยละ) |           |         |
|---------------------------------|-------------------------|-----------|---------|
|                                 | ข้าวเปลือก*             | ข้าวกล้อง | ข้าวสาร |
| กลุ่มแอมิโลสสูง                 |                         |           |         |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 2       | 11.25                   | 11.21     | 11.70   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เหลืองประทิว 123 | 11.15                   | 11.55     | 11.09   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1         | 11.40                   | 11.05     | 10.01   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปราจีนบุรี 2     | 12.60                   | 11.10     | 11.56   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1     | 11.10                   | 11.10     | 11.44   |

ข้าวเปลือกมีความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 11.10 - 13.45 ข้าวกล้องมีความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 10.85 - 13.0 ข้าวสารมีความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 10.01 - 12.46 ความชื้นของข้าวอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำกว่าร้อยละ 14 ทำให้มั่นใจได้ว่าสามารถเก็บรักษาข้าวไว้ได้นานและปลอดภัยจากการเข้าทำลายของจุลินทรีย์ ความชื้นของข้าวที่ปลูกในปี พ.ศ. 2550/2551 มีค่าใกล้เคียงข้าวที่ปลูกในปี พ.ศ. 2551/2552

ตารางที่ 61 ปริมาณโปรตีน (Crude protein)

| สายพันธุ์                            | ปริมาณโปรตีน(ร้อยละ)        |                            |
|--------------------------------------|-----------------------------|----------------------------|
|                                      | ข้าวกล้อง                   | ข้าวสาร                    |
| กลุ่มเอมิโลสต่ำมาก                   |                             |                            |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1         | 6.350 ± 0.030 <sup>1</sup>  | 5.103 ± 0.100 <sup>c</sup> |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 10               | 5.363 ± 0.055 <sup>o</sup>  | 4.933 ± 0.152 <sup>c</sup> |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 8                | 5.853 ± 0.047 <sup>n</sup>  | 4.266 ± 0.057 <sup>d</sup> |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง     | 6.843 ± 0.041 <sup>ij</sup> | 5.800 ± 0.100 <sup>b</sup> |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สกลนคร              | 6.906 ± 0.097 <sup>i</sup>  | 5.826 ± 0.200 <sup>b</sup> |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์หางยี 71            | 7.493 ± 0.015 <sup>de</sup> | 4.150 ± 0.050 <sup>d</sup> |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 6                | 6.643 ± 0.051 <sup>k</sup>  | 5.273 ± 0.141 <sup>c</sup> |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวอุบลราชธานี 2 | 7.050 ± 0.052 <sup>h</sup>  | 6.056 ± 0.037 <sup>b</sup> |
| กลุ่มเอมิโลสต่ำ                      |                             |                            |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 15                 | 5.400 ± 0.040 <sup>o</sup>  | 4.216 ± 0.076 <sup>d</sup> |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105        | 6.823 ± 0.068 <sup>ij</sup> | 4.916 ± 0.076 <sup>c</sup> |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สังข์หยดพัทลุง        | 7.136 ± 0.055 <sup>gh</sup> | 6.200 ± 0.050 <sup>b</sup> |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1            | 7.423 ± 0.153 <sup>f</sup>  | 6.076 ± 0.025 <sup>b</sup> |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 21                 | 9.343 ± 0.040 <sup>a</sup>  | 6.166 ± 0.152 <sup>b</sup> |
| กลุ่มเอมิโลสปานกลาง                  |                             |                            |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 2          | 7.906 ± 0.095 <sup>c</sup>  | 4.216 ± 0.076 <sup>d</sup> |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เล็บนกปัตตานี         | 6.140 ± 0.051 <sup>m</sup>  | 4.800 ± 0.100 <sup>c</sup> |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์อยุธยา 1              | 6.850 ± 0.134 <sup>gh</sup> | 6.850 ± 0.134 <sup>a</sup> |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 60         | 6.193 ± 0.011 <sup>m</sup>  | 5.086 ± 0.092 <sup>c</sup> |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 3            | 6.433 ± 0.057 <sup>l</sup>  | 5.166 ± 0.057 <sup>c</sup> |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เขื่องพัทลุง          | 6.380 ± 0.026 <sup>l</sup>  | 5.050 ± 0.134 <sup>c</sup> |

ตารางที่ 61 (ต่อ) ปริมาณโปรตีน (Crude protein)

| สายพันธุ์                       | ปริมาณโปรตีน (ร้อยละ)       |                            |
|---------------------------------|-----------------------------|----------------------------|
|                                 | ข้าวกล้อง                   | ข้าวสาร                    |
| กลุ่มแอมิโลสสูง                 |                             |                            |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 2       | 7.536 ± 0.055 <sup>de</sup> | 5.216 ± 0.055 <sup>c</sup> |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เหลืองประทิว 123 | 8.063 ± 0.066 <sup>b</sup>  | 6.166 ± 0.152 <sup>b</sup> |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1         | 7.176 ± 0.040 <sup>g</sup>  | 5.983 ± 0.076 <sup>b</sup> |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปราจีนบุรี 2     | 6.780 ± 0.026 <sup>j</sup>  | 5.200 ± 0.020 <sup>c</sup> |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1     | 7.633 ± 0.057 <sup>d</sup>  | 4.970 ± 0.125 <sup>c</sup> |

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยคิดจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถว มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $P \leq 0.05$ )

ข้าวกล้องมีปริมาณโปรตีนอยู่ในช่วงร้อยละ 5.363 – 9.343 ข้าวสารมีปริมาณโปรตีนอยู่ในช่วงร้อยละ 4.15 – 6.85 ใกล้เคียงกับข้าวที่ปลูกในปี 2550/2551 ข้าวเหนียว มีปริมาณโปรตีนในข้าวกล้อง อยู่ในช่วงร้อยละ 5.363 – 7.493 ในข้าวสารอยู่ในช่วงร้อยละ 4.15 – 6.056 ปริมาณโปรตีนในข้าวกล้องจะมากกว่าข้าวสาร ข้าวเจ้ามีปริมาณโปรตีนในข้าวกล้องอยู่ในช่วงร้อยละ 5.40 – 9.34 ในข้าวสารอยู่ในช่วงร้อยละ 4.22 – 6.85 ปริมาณโปรตีนในข้าวกล้องจะมากกว่าข้าวสาร เนื่องจากมีโปรตีนอยู่ในชั้นของรำจำนวนมาก

ตารางที่ 62 ปริมาณไขมัน (Crude fat)

| สายพันธุ์                            | ปริมาณไขมัน(ร้อยละ)          |                            |
|--------------------------------------|------------------------------|----------------------------|
|                                      | ข้าวกล้อง                    | ข้าวสาร                    |
| กลุ่มเอมิโลสต่ำมาก                   |                              |                            |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1         | 3.11 ± 0.09 <sup>abcd</sup>  | 0.32 ± 0.03 <sup>ij</sup>  |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 10               | 3.71 ± 0.30 <sup>a</sup>     | 0.50 ± 0.02 <sup>efg</sup> |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 8                | 2.95 ± 0.32 <sup>cdef</sup>  | 0.30 ± 0.02 <sup>ijk</sup> |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง     | 3.61 ± 0.28 <sup>ab</sup>    | 0.64 ± 0.02 <sup>c</sup>   |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สกลนคร              | 2.97 ± 0.12 <sup>bcde</sup>  | 0.42 ± 0.01 <sup>h</sup>   |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์หางยี 71            | 2.32 ± 0.18 <sup>fgh</sup>   | 0.45 ± 0.02 <sup>gh</sup>  |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 6                | 3.04 ± 0.04 <sup>bcd</sup>   | 0.52 ± 0.02 <sup>ef</sup>  |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวอุบลราชธานี 2 | 3.01 ± 0.67 <sup>bcde</sup>  | 0.57 ± 0.04 <sup>d</sup>   |
| กลุ่มเอมิโลสต่ำ                      |                              |                            |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 15                 | 3.31 ± 0.86 <sup>abc</sup>   | 0.48 ± 0.02 <sup>fg</sup>  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105        | 2.15 ± 0.02 <sup>h</sup>     | 0.55 ± 0.04 <sup>de</sup>  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สังข์หยดพัทลุง        | 3.26 ± 0.08 <sup>abc</sup>   | 0.97 ± 0.06 <sup>a</sup>   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1            | 2.26 ± 0.16 <sup>gh</sup>    | 0.70 ± 0.03 <sup>b</sup>   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 21                 | 2.90 ± 0.04 <sup>cdef</sup>  | 0.66 ± 0.06 <sup>bc</sup>  |
| กลุ่มเอมิโลสปานกลาง                  |                              |                            |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 2          | 2.88 ± 0.08 <sup>cdefg</sup> | 0.31 ± 0.01 <sup>ijk</sup> |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เล็บนกปัตตานี         | 2.37 ± 0.08 <sup>efgh</sup>  | 0.28 ± 0.03 <sup>jk</sup>  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์อยุธยา 1              | 3.22 ± 0.56 <sup>abcd</sup>  | 0.19 ± 0.02 <sup>m</sup>   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 60         | 2.27 ± 0.14 <sup>gh</sup>    | 0.26 ± 0.04 <sup>kl</sup>  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิชญ์โลก 3            | 3.17 ± 0.21 <sup>abcd</sup>  | 0.48 ± 0.01 <sup>fg</sup>  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เจียงพัทลุง           | 2.58 ± 0.13 <sup>defgh</sup> | 0.49 ± 0.02 <sup>fg</sup>  |

ตารางที่ 62 (ต่อ) ปริมาณไขมัน (Crude fat)

| สายพันธุ์                       | ปริมาณไขมัน (ร้อยละ)          |                            |
|---------------------------------|-------------------------------|----------------------------|
|                                 | ข้าวกล้อง                     | ข้าวสาร                    |
| กลุ่มเอมิโลสสูง                 |                               |                            |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 2       | 2.92 ± 0.41 <sup>cdef</sup>   | 0.52 ± 0.01 <sup>def</sup> |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เหลืองประทิว 123 | 2.77 ± 0.36 <sup>cdefgh</sup> | 0.22 ± 0.02 <sup>lm</sup>  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1         | 2.25 ± 0.35 <sup>gh</sup>     | 0.27 ± 0.02 <sup>jk</sup>  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปราจีนบุรี 2     | 3.22 ± 0.19 <sup>abcd</sup>   | 0.35 ± 0.02 <sup>i</sup>   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1     | 2.91 ± 0.47 <sup>cdef</sup>   | 0.31 ± 0.01 <sup>ijk</sup> |

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยคิดจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถว มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $P \leq 0.05$ )

ข้าวกล้องมีปริมาณไขมันอยู่ในช่วงร้อยละ 2.15 – 3.61 ข้าวสารมีปริมาณไขมันอยู่ในช่วงร้อยละ 0.19 – 0.97 ค่าที่วิเคราะห์ได้มีค่าต่ำกว่า ข้าวที่ปลูกในปี 2550/2551 ข้าวเหนียว มี ปริมาณไขมันในข้าวกล้อง อยู่ในช่วงร้อยละ 2.32 – 3.71 ปริมาณไขมันในข้าวสารอยู่ในช่วงร้อยละ 0.30 – 0.64 ข้าวเจ้ามี ปริมาณไขมันในข้าวกล้อง อยู่ในช่วงร้อยละ 2.15 – 3.31 ปริมาณไขมันในข้าวสารอยู่ในช่วงร้อยละ 0.19 – 0.97 ปริมาณไขมันในข้าวกล้องจะมากกว่าข้าวสารเป็นอย่างมาก

ตารางที่ 63 ปริมาณเถ้า (Ash)

| สายพันธุ์                            | ปริมาณเถ้า (ร้อยละ)          |                             |
|--------------------------------------|------------------------------|-----------------------------|
|                                      | ข้าวกล้อง                    | ข้าวสาร                     |
| กลุ่มเอมิโลสต่ำมาก                   |                              |                             |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1         | 1.12 ± 0.04 <sup>fg</sup>    | 0.25 ± 0.02 <sup>def</sup>  |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 10               | 1.28 ± 0.04 <sup>def</sup>   | 0.31 ± 0.03 <sup>de</sup>   |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 8                | 1.67 ± 0.11 <sup>ab</sup>    | 0.21 ± 0.03 <sup>ef</sup>   |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง     | 1.43 ± 0.00 <sup>bcde</sup>  | 0.28 ± 0.03 <sup>a</sup>    |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สกลนคร              | 1.27 ± 0.04 <sup>def</sup>   | 0.20 ± 0.03 <sup>ef</sup>   |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์หางยี 71            | 1.32 ± 0.10 <sup>cdef</sup>  | 0.26 ± 0.02 <sup>def</sup>  |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 6                | 1.44 ± 0.08 <sup>bcde</sup>  | 0.30 ± 0.04 <sup>def</sup>  |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวอุบลราชธานี 2 | 1.40 ± 0.10 <sup>bcdef</sup> | 0.38 ± 0.03 <sup>bcde</sup> |
| กลุ่มเอมิโลสต่ำ                      |                              |                             |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 15                 | 1.46 ± 0.31 <sup>bcde</sup>  | 0.28 ± 0.04 <sup>def</sup>  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105        | 1.32 ± 0.02 <sup>cdef</sup>  | 0.31 ± 0.02 <sup>def</sup>  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สังข์หยดพัทลุง        | 1.82 ± 0.02 <sup>a</sup>     | 0.42 ± 0.03 <sup>bcd</sup>  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1            | 0.94 ± 0.02 <sup>g</sup>     | 0.43 ± 0.02 <sup>bcd</sup>  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 21                 | 1.38 ± 0.21 <sup>bcdef</sup> | 0.41 ± 0.01 <sup>bcd</sup>  |
| กลุ่มเอมิโลสปานกลาง                  |                              |                             |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 2          | 1.17 ± 0.11 <sup>efg</sup>   | 0.43 ± 0.02 <sup>bcd</sup>  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เล็บนกปัตตานี         | 1.49 ± 0.25 <sup>bcd</sup>   | 0.50 ± 0.01 <sup>abc</sup>  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์อยุธยา 1              | 1.57 ± 0.00 <sup>abcd</sup>  | 0.32 ± 0.11 <sup>cde</sup>  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 60         | 1.27 ± 0.02 <sup>def</sup>   | 0.61 ± 0.02 <sup>a</sup>    |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิชญ์โลก 3            | 1.57 ± 0.06 <sup>abcd</sup>  | 0.35 ± 0.05 <sup>bcde</sup> |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เขื่องพัทลุง          | 1.63 ± 0.04 <sup>ab</sup>    | 0.53 ± 0.26 <sup>ab</sup>   |

ตารางที่ 63 (ต่อ)ปริมาณเถ้า (Ash)

| สายพันธุ์                       | ปริมาณเถ้า (ร้อยละ)          |                            |
|---------------------------------|------------------------------|----------------------------|
|                                 | ข้าวกล้อง                    | ข้าวสาร                    |
| กลุ่มแอมิโลสสูง                 |                              |                            |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 2       | 1.30 ± 0.02 <sup>cdef</sup>  | 0.34 ± 0.05 <sup>cde</sup> |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เหลืองประทิว 123 | 1.59 ± 0.14 <sup>abc</sup>   | 0.42 ± 0.01 <sup>bcd</sup> |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1         | 1.07 ± 0.21 <sup>fg</sup>    | 0.25 ± 0.05 <sup>def</sup> |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปราจีนบุรี 2     | 1.55 ± 0.08 <sup>cdef</sup>  | 0.42 ± 0.03 <sup>bcd</sup> |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1     | 1.38 ± 0.00 <sup>bcdef</sup> | 0.32 ± 0.10 <sup>cde</sup> |

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยคิดจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถว มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $P \leq 0.05$ )

ข้าวกล้องมีปริมาณเถ้าอยู่ในช่วงร้อยละ 0.94 – 1.82 ข้าวสารมีปริมาณเถ้าอยู่ในช่วงร้อยละ 0.20 – 0.61 ค่าที่วิเคราะห์ได้สูงกว่าข้าวที่ปลูกในปี 2550/2551 ข้าวเหนียวมีปริมาณเถ้าในข้าวกล้องอยู่ในช่วงร้อยละ 1.12 – 1.67 ปริมาณเถ้าในข้าวสารอยู่ในช่วงร้อยละ 0.20 – 0.38 ข้าวเจ้ามี ปริมาณเถ้าในข้าวกล้องอยู่ในช่วงร้อยละ 0.94 – 1.82 ปริมาณเถ้าในข้าวสารอยู่ในช่วงร้อยละ 0.28 – 0.61 แสดงว่าข้าวกล้องมีปริมาณเถ้ามากกว่าข้าวสาร เนื่องจากในชั้นรำมีแร่ธาตุสะสมอยู่สูง

ตารางที่ 64 ปริมาณเส้นใย (Crude fiber)

| สายพันธุ์                            | ปริมาณเส้นใย (ร้อยละ)        |                               |
|--------------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
|                                      | ข้าวกล้อง                    | ข้าวสาร                       |
| กลุ่มเอมิโลสต่ำมาก                   |                              |                               |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1         | 1.12 ± 0.014 <sup>b</sup>    | 0.15 ± 0.014 <sup>hij</sup>   |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 10               | 0.98 ± 0.014 <sup>fgh</sup>  | 0.26 ± 0.007 <sup>ab</sup>    |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 8                | 1.25 ± 0.021 <sup>a</sup>    | 0.18 ± 0.014 <sup>efgh</sup>  |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง     | 1.03 ± 0.028 <sup>defg</sup> | 0.18 ± 0.007 <sup>defgh</sup> |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สกลนคร              | 0.92 ± 0.014 <sup>hij</sup>  | 0.12 ± 0.014 <sup>j</sup>     |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์หางยี 71            | 1.03 ± 0.021 <sup>defg</sup> | 0.24 ± 0.021 <sup>abc</sup>   |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 6                | 0.96 ± 0.014 <sup>ghi</sup>  | 0.17 ± 0.014 <sup>efgh</sup>  |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวอุบลราชธานี 2 | 1.05 ± 0.049 <sup>cdef</sup> | 0.16 ± 0.014 <sup>fghi</sup>  |
| กลุ่มเอมิโลสต่ำ                      |                              |                               |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 15                 | 0.85 ± 0.049 <sup>jkl</sup>  | 0.19 ± 0.014 <sup>defg</sup>  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105        | 0.93 ± 0.021 <sup>hij</sup>  | 0.22 ± 0.014 <sup>bcd</sup>   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สังข์หยดพัทลุง        | 1.07 ± 0.049 <sup>bcd</sup>  | 0.25 ± 0.010 <sup>ab</sup>    |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1            | 0.81 ± 0.028 <sup>klm</sup>  | 0.26 ± 0.028 <sup>a</sup>     |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 21                 | 0.78 ± 0.007 <sup>lm</sup>   | 0.14 ± 0.028 <sup>ij</sup>    |
| กลุ่มเอมิโลสปานกลาง                  |                              |                               |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 2          | 0.65 ± 0.021 <sup>n</sup>    | 0.21 ± 0.070 <sup>cde</sup>   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เล็บนกปัตตานี         | 1.00 ± 0.014 <sup>defg</sup> | 0.19 ± 0.007 <sup>defg</sup>  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์อยุธยา 1              | 1.01 ± 0.005 <sup>defg</sup> | 0.21 ± 0.014 <sup>cde</sup>   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 60         | 0.89 ± 0.028 <sup>ijk</sup>  | 0.23 ± 0.021 <sup>abc</sup>   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 3            | 1.11 ± 0.014 <sup>bc</sup>   | 0.20 ± 0.014 <sup>cdef</sup>  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เขื่องพัทลุง          | 1.05 ± 0.084 <sup>bcde</sup> | 0.20 ± 0.014 <sup>cdef</sup>  |

ตารางที่ 64 (ต่อ) ปริมาณเส้นใย (Crude fiber)

| สายพันธุ์                       | ปริมาณเส้นใย (ร้อยละ)        |                              |
|---------------------------------|------------------------------|------------------------------|
|                                 | ข้าวกล้อง                    | ข้าวสาร                      |
| กลุ่มเอมิโลสสูง                 |                              |                              |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 2       | 0.85 ± 0.010 <sup>jk</sup>   | 0.15 ± 0.014 <sup>hij</sup>  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เหลืองประทิว 123 | 0.88 ± 0.009 <sup>jk</sup>   | 0.16 ± 0.014 <sup>ghi</sup>  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1         | 0.98 ± 0.049 <sup>efgh</sup> | 0.12 ± 0.021 <sup>j</sup>    |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปราจีนบุรี 2     | 1.26 ± 0.049 <sup>a</sup>    | 0.21 ± 0.014 <sup>cdef</sup> |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1     | 0.76 ± 0.021 <sup>m</sup>    | 0.19 ± 0.028 <sup>defg</sup> |

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยคิดจากการวิเคราะห์ 2 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถว มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $P \leq 0.05$ )

ข้าวกล้องมีปริมาณเส้นใยในช่วงร้อยละ 0.65 – 1.26 ข้าวสารมีปริมาณเส้นใยในช่วงร้อยละ 0.12 – 0.26 ใกล้เคียงกับข้าวที่ปลูกในปี 2550/2551 ข้าวเหนียวมี ปริมาณเส้นใยในข้าวกล้องอยู่ในช่วงร้อยละ 0.92 – 1.25 ปริมาณเส้นใยในข้าวสารอยู่ในช่วงร้อยละ 0.12 – 0.26 ข้าวเจ้ามี ปริมาณเส้นใยในข้าวกล้องอยู่ในช่วงร้อยละ 0.65 – 1.26 ปริมาณเส้นใยในข้าวสารอยู่ในช่วงร้อยละ 0.12 – 0.26 แสดงว่าข้าวกล้องมีปริมาณเส้นใยมากกว่าข้าวสาร เนื่องจากในชั้นรำมีเส้นใยสะสมอยู่สูง

ตารางที่ 65 ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)

| สายพันธุ์                            | ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ) |         |
|--------------------------------------|-----------------------------|---------|
|                                      | ข้าวกล้อง                   | ข้าวสาร |
| กลุ่มเอมิโลสต่ำมาก                   |                             |         |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1         | 75.75                       | 82.54   |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 10               | 75.61                       | 81.49   |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 8                | 75.27                       | 83.26   |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง     | 74.98                       | 81.27   |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สกลนคร              | 76.33                       | 80.93   |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์หางยี 71            | 76.18                       | 83.71   |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 6                | 75.56                       | 80.35   |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวอุบลราชธานี 2 | 75.14                       | 81.18   |
| กลุ่มเอมิโลสต่ำ                      |                             |         |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 15                 | 76.98                       | 83.08   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105        | 76.57                       | 82.16   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สังข์หยดพัทลุง        | 75.06                       | 81.14   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1            | 76.61                       | 80.47   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 21                 | 73.59                       | 81.21   |
| กลุ่มเอมิโลสปานกลาง                  |                             |         |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 2          | 76.19                       | 83.58   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เล็บนกปัตตานี         | 77.90                       | 82.33   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์อยุธยา 1              | 75.85                       | 80.13   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 60         | 77.02                       | 82.79   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 3            | 76.06                       | 81.74   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เขื่องพัทลุง          | 77.51                       | 82.02   |

ตารางที่ 65 (ต่อ) ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)

| สายพันธุ์                       | ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ) |         |
|---------------------------------|-----------------------------|---------|
|                                 | ข้าวกล้อง                   | ข้าวสาร |
| กลุ่มแอมิโลสสูง                 |                             |         |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 2       | 76.19                       | 82.81   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เหลืองประทิว 123 | 75.14                       | 82.32   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1         | 77.47                       | 82.07   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปราจีนบุรี 2     | 76.09                       | 82.54   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1     | 76.21                       | 83.14   |

หมายเหตุ : ได้จากการคำนวณ  $100 - (\% \text{ protein} + \% \text{ fat} + \% \text{ ash} + \% \text{ fiber} + \% \text{ moisture content})$

ข้าวกล้องมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตอยู่ในช่วงร้อยละ 73.59 – 77.90 ข้าวสารมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตอยู่ในช่วงร้อยละ 80.13 – 83.71 ข้าวเหนียวมี ปริมาณคาร์โบไฮเดรตในข้าวกล้องอยู่ในช่วงร้อยละ 75.14 – 76.33 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตในข้าวสารอยู่ในช่วงร้อยละ 80.35 – 83.71 ข้าวเจ้ามี ปริมาณคาร์โบไฮเดรตในข้าวกล้องอยู่ในช่วงร้อยละ 75.06 – 77.90 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตในข้าวสารอยู่ในช่วงร้อยละ 80.13 – 83.58 แสดงว่าข้าวกล้องมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตน้อยกว่าข้าวสาร

ตารางที่ 66 การนำความร้อนของเจลแป็งสุก (Thermal conductivity)

| สายพันธุ์                            | การนำความร้อน (W/mK)         |                                  |
|--------------------------------------|------------------------------|----------------------------------|
|                                      | เจลข้าวกล้อง                 | เจลข้าวขาว                       |
| กลุ่มเอมิโลสต่ำมาก                   |                              |                                  |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1         | 0.871 ± 0.113 <sup>a</sup>   | 0.618 ± 0.082 <sup>ab</sup>      |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 10               | 0.527 ± 0.137 <sup>cd</sup>  | 0.528 ± 0.015 <sup>cdefg</sup>   |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 8                | 0.617 ± 0.086 <sup>bc</sup>  | 0.392 ± 0.020 <sup>h</sup>       |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง     | 0.563 ± 0.031 <sup>bcd</sup> | 0.566 ± 0.070 <sup>abcdefg</sup> |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สกลนคร              | 0.655 ± 0.101 <sup>b</sup>   | 0.514 ± 0.003 <sup>defg</sup>    |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์หางยี 71            | 0.589 ± 0.033 <sup>bcd</sup> | 0.577 ± 0.008 <sup>abcde</sup>   |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 6                | 0.587 ± 0.105 <sup>bcd</sup> | 0.637 ± 0.094 <sup>a</sup>       |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวอุบลราชธานี 2 | 0.597 ± 0.018 <sup>bc</sup>  | 0.561 ± 0.009 <sup>abcdefg</sup> |
| กลุ่มเอมิโลสต่ำ                      |                              |                                  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 15                 | 0.584 ± 0.063 <sup>bcd</sup> | 0.579 ± 0.006 <sup>abcde</sup>   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105        | 0.590 ± 0.028 <sup>bcd</sup> | 0.578 ± 0.022 <sup>abcde</sup>   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สังข์หยดพัทลุง        | 0.560 ± 0.011 <sup>bcd</sup> | 0.553 ± 0.025 <sup>bcdefg</sup>  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1            | 0.543 ± 0.014 <sup>cd</sup>  | 0.554 ± 0.031 <sup>bcdefg</sup>  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 21                 | 0.568 ± 0.067 <sup>bcd</sup> | 0.531 ± 0.033 <sup>cdefg</sup>   |
| กลุ่มเอมิโลสปานกลาง                  |                              |                                  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 2          | 0.615 ± 0.045 <sup>bc</sup>  | 0.499 ± 0.053 <sup>fg</sup>      |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เล็บนกปัตตานี         | 0.559 ± 0.027 <sup>bcd</sup> | 0.562 ± 0.034 <sup>abcdefg</sup> |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์อยุธยา 1              | 0.586 ± 0.025 <sup>bcd</sup> | 0.606 ± 0.073 <sup>abc</sup>     |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 60         | 0.494 ± 0.024 <sup>d</sup>   | 0.551 ± 0.049 <sup>bcdefg</sup>  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิชญ์โลก 3            | 0.616 ± 0.040 <sup>bc</sup>  | 0.490 ± 0.029 <sup>g</sup>       |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เฉียงพัทลุง           | 0.566 ± 0.059 <sup>bcd</sup> | 0.572 ± 0.028 <sup>abcdef</sup>  |

ตารางที่ 66 (ต่อ) การนำความร้อนของเจลแป็งสุก (Thermal conductivity)

| สายพันธุ์                       | การนำความร้อน (W/mK)        |                                |
|---------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|
|                                 | เจลข้าวกล้อง                | เจลข้าวขาว                     |
| กลุ่มเอมิโลสสูง                 |                             |                                |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 2       | 0.622 ± 0.038 <sup>bc</sup> | 0.592 ± 0.031 <sup>abcd</sup>  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เหลืองประทิว 123 | 0.605 ± 0.006 <sup>bc</sup> | 0.531 ± 0.030 <sup>cdefg</sup> |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1         | 0.601 ± 0.021 <sup>bc</sup> | 0.516 ± 0.032 <sup>defg</sup>  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปราจีนบุรี 2     | 0.595 ± 0.011 <sup>bc</sup> | 0.539 ± 0.002 <sup>cdefg</sup> |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1     | 0.600 ± 0.040 <sup>bc</sup> | 0.510 ± 0.022 <sup>efg</sup>   |

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยคิดจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถว มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $P \leq 0.05$ )

เจลข้าวกล้องมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน อยู่ในช่วง 0.494 -0.871  $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$  เจลข้าวขาวมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน อยู่ในช่วง 0.392 – 0.637  $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$  แสดงว่าเจลข้าวกล้อง มีความสามารถในการนำความร้อนได้สูงกว่าเจลข้าวขาว ค่าที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับข้าวที่ปลูกในปี 2550/2551 ข้าวเหนียว มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของเจลข้าวกล้อง อยู่ในช่วง 0.527 -0.871  $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$  สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของเจลข้าวขาว อยู่ในช่วง 0.392 – 0.637  $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$  ข้าวเจ้ามีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของเจลข้าวกล้อง อยู่ในช่วง 0.494 – 0.622  $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$  สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของเจลข้าวขาว อยู่ในช่วง 0.490 – 0.606  $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$

ตารางที่ 67 ความต้านทานความร้อนของเจลแป้งสุก (Thermal resistivity)

| สายพันธุ์                            | ความต้านทานความร้อน (mK/W)    |                                 |
|--------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
|                                      | เจลข้าวกล้อง                  | เจลข้าวขาว                      |
| กลุ่มเอมิโลสต่ำมาก                   |                               |                                 |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1         | 1.457 ± 0.631 <sup>d</sup>    | 1.635 ± 0.203 <sup>gh</sup>     |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 10               | 1.991 ± 0.546 <sup>ab</sup>   | 1.895 ± 0.054 <sup>bcd</sup>    |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 8                | 1.641 ± 0.226 <sup>cd</sup>   | 2.557 ± 0.125 <sup>a</sup>      |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง     | 1.779 ± 0.098 <sup>abcd</sup> | 1.785 ± 0.209 <sup>cdefgh</sup> |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สกลนคร              | 1.573 ± 0.139 <sup>cd</sup>   | 1.945 ± 0.013 <sup>bcd</sup>    |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์หางยี 71            | 1.702 ± 0.098 <sup>bcd</sup>  | 1.734 ± 0.024 <sup>defgh</sup>  |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 6                | 1.738 ± 0.286 <sup>abcd</sup> | 1.593 ± 0.217 <sup>h</sup>      |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวอุบลราชธานี 2 | 1.676 ± 0.051 <sup>bcd</sup>  | 1.784 ± 0.027 <sup>cdefgh</sup> |
| กลุ่มเอมิโลสต่ำ                      |                               |                                 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 15                 | 1.727 ± 0.186 <sup>abcd</sup> | 1.727 ± 0.108 <sup>defgh</sup>  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105        | 1.697 ± 0.081 <sup>bcd</sup>  | 1.730 ± 0.066 <sup>defgh</sup>  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สังข์หยดพัทลุง        | 1.785 ± 0.034 <sup>abc</sup>  | 1.810 ± 0.084 <sup>cdefgh</sup> |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1            | 1.842 ± 0.049 <sup>abc</sup>  | 1.810 ± 0.101 <sup>cdefgh</sup> |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 21                 | 1.778 ± 0.208 <sup>abcd</sup> | 1.889 ± 0.116 <sup>bcd</sup>    |
| กลุ่มเอมิโลสปานกลาง                  |                               |                                 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 2          | 1.632 ± 0.114 <sup>cd</sup>   | 1.933 ± 0.173 <sup>bcd</sup>    |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เล็บนกปัตตานี         | 1.792 ± 0.087 <sup>abc</sup>  | 1.783 ± 0.108 <sup>cdefgh</sup> |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์อยุธยา 1              | 1.707 ± 0.075 <sup>bcd</sup>  | 1.666 ± 0.197 <sup>fgh</sup>    |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 60         | 2.030 ± 0.130 <sup>a</sup>    | 1.824 ± 0.168 <sup>cdefg</sup>  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิชญ์โลก 3            | 1.629 ± 0.102 <sup>cd</sup>   | 2.047 ± 0.120 <sup>b</sup>      |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เฉียงพัทลุง           | 1.780 ± 0.193 <sup>abcd</sup> | 1.752 ± 0.083 <sup>cdefgh</sup> |

ตารางที่ 67 (ต่อ) ความต้านทานความร้อนของเจลแป็งสุก (Thermal resistivity)

| สายพันธุ์                       | ความต้านทานความร้อน (mK/W)   |                                 |
|---------------------------------|------------------------------|---------------------------------|
|                                 | เจลข้าวกล้อง                 | เจลข้าวขาว                      |
| กลุ่มเอมิโลสสูง                 |                              |                                 |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 2       | 1.612 ± 0.096 <sup>cd</sup>  | 1.693 ± 0.910 <sup>efgh</sup>   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เหลืองประทิว 123 | 1.653 ± 0.017 <sup>cd</sup>  | 1.803 ± 0.103 <sup>cdefgh</sup> |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1         | 1.665 ± 0.057 <sup>bcd</sup> | 1.942 ± 0.117 <sup>bc</sup>     |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปราจีนบุรี 2     | 1.680 ± 0.030 <sup>bcd</sup> | 1.855 ± 0.007 <sup>bcefg</sup>  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1     | 1.672 ± 0.109 <sup>bcd</sup> | 1.964 ± 0.085 <sup>bc</sup>     |

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยคิดจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถว มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $P \leq 0.05$ )

เจลข้าวกล้องมีค่าความต้านทานความร้อน อยู่ในช่วง 1.457 – 2.030 mK/W ในขณะที่ เจลข้าวขาวมีค่าความต้านทานความร้อน อยู่ในช่วง 1.593 – 2.557 mK/W แสดงว่าเจลข้าวกล้องมีความต้านทานความร้อนต่ำกว่าเจลข้าวขาว ข้าวเหนียว มี ความต้านทานความร้อนของเจล ข้าวกล้อง อยู่ในช่วง 1.457 – 1.991 mK/W มีความต้านทานความร้อนของเจลข้าวขาว อยู่ในช่วง 1.593 – 2.557 mK/W ข้าวเจ้า มี ความต้านทานความร้อนของเจลข้าวกล้อง อยู่ในช่วง 1.612 – 2.030 mK/W มีความต้านทานความร้อนของเจลข้าวขาว อยู่ในช่วง 1.666 – 2.047 mK/W

ตารางที่ 68 ความจุความร้อนจำเพาะของเจลแป้งสุก (Volumetric specific heat)

| สายพันธุ์                            | ความจุความร้อนจำเพาะ (MJ/m <sup>3</sup> K) |                                |
|--------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------|
|                                      | เจลข้าวกล้อง                               | เจลข้าวขาว                     |
| กลุ่มเอมิโลสต่ำมาก                   |                                            |                                |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1         | 3.455 ± 0.317 <sup>bcd</sup>               | 4.112 ± 0.430 <sup>ab</sup>    |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 10               | 3.576 ± 0.810 <sup>abcd</sup>              | 3.535 ± 0.131 <sup>cdef</sup>  |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 8                | 4.014 ± 0.395 <sup>ab</sup>                | 2.662 ± 0.228 <sup>g</sup>     |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง     | 3.713 ± 0.208 <sup>abc</sup>               | 3.726 ± 0.337 <sup>abcde</sup> |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สกลนคร              | 4.035 ± 0.135 <sup>ab</sup>                | 3.390 ± 0.134 <sup>ef</sup>    |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์หางยี 71            | 3.855 ± 0.131 <sup>ab</sup>                | 3.776 ± 0.034 <sup>abcde</sup> |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 6                | 3.879 ± 0.500 <sup>ab</sup>                | 4.142 ± 0.517 <sup>a</sup>     |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวอุบลราชธานี 2 | 3.736 ± 0.105 <sup>abc</sup>               | 3.740 ± 0.048 <sup>abcde</sup> |
| กลุ่มเอมิโลสต่ำ                      |                                            |                                |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 15                 | 3.871 ± 0.334 <sup>ab</sup>                | 3.800 ± 0.081 <sup>abcde</sup> |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105        | 3.839 ± 0.135 <sup>abc</sup>               | 3.571 ± 0.352 <sup>cdef</sup>  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สังข์หยดพัทลุง        | 3.763 ± 0.040 <sup>abc</sup>               | 3.689 ± 0.150 <sup>bcd</sup>   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1            | 3.164 ± 0.083 <sup>d</sup>                 | 3.682 ± 0.188 <sup>bcd</sup>   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 21                 | 3.644 ± 0.271 <sup>abcd</sup>              | 3.570 ± 0.194 <sup>cdef</sup>  |
| กลุ่มเอมิโลสปานกลาง                  |                                            |                                |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 2          | 3.977 ± 0.215 <sup>a</sup>                 | 3.493 ± 0.455 <sup>def</sup>   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เล็บนกปัตตานี         | 3.747 ± 0.120 <sup>abc</sup>               | 3.699 ± 0.216 <sup>abcde</sup> |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์อยุธยา 1              | 3.865 ± 0.101 <sup>ab</sup>                | 3.957 ± 0.366 <sup>abc</sup>   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 60         | 3.315 ± 0.202 <sup>cd</sup>                | 3.671 ± 0.261 <sup>bcd</sup>   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิชญ์โลก 3            | 3.981 ± 0.212 <sup>ab</sup>                | 3.265 ± 0.166 <sup>f</sup>     |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เขื่องพัทลุง          | 3.774 ± 0.319 <sup>abc</sup>               | 3.790 ± 0.134 <sup>abcde</sup> |

ตารางที่ 68 (ต่อ) ความจุความร้อนจำเพาะของเจลแป้งสุก (Volumetric specify heat)

| สายพันธุ์                       | ความจุความร้อนจำเพาะ (MJ/m <sup>3</sup> K) |                                |
|---------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------|
|                                 | เจลข้าวกล้อง                               | เจลข้าวขาว                     |
| กลุ่มเอมิโลสสูง                 |                                            |                                |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 2       | 4.028 ± 0.169 <sup>ab</sup>                | 3.907 ± 0.172 <sup>abcd</sup>  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เหลืองประทิว 123 | 3.963 ± 0.038 <sup>ab</sup>                | 3.681 ± 0.045 <sup>bcdef</sup> |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1         | 3.938 ± 0.105 <sup>ab</sup>                | 3.453 ± 0.222 <sup>def</sup>   |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปราจีนบุรี 2     | 3.921 ± 0.055 <sup>ab</sup>                | 3.656 ± 0.006 <sup>bcdef</sup> |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1     | 3.942 ± 0.189 <sup>ab</sup>                | 3.357 ± 0.215 <sup>ef</sup>    |

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยคิดจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถว มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $P \leq 0.05$ )

เจลข้าวกล้องมีค่าความจุความร้อนจำเพาะ อยู่ในช่วง 3.164 – 4.035 MJ/m<sup>3</sup>K เจลข้าวขาว มีค่าความจุความร้อนจำเพาะ อยู่ในช่วง 2.662 – 4.141 MJ/m<sup>3</sup>K แสดงว่า เจลข้าวกล้องมีความจุความร้อนสูงกว่า เจลข้าวสาร ค่าที่วัดได้ต่ำกว่าข้าวที่เพาะปลูกในปี 2550/2551

ข้าวเหนียว มีความจุความร้อนจำเพาะของเจลข้าวกล้อง อยู่ในช่วง 3.455 – 4.035 MJ/m<sup>3</sup>K ความจุความร้อนจำเพาะของเจลข้าวขาว อยู่ในช่วง 2.662 – 4.142 MJ/m<sup>3</sup>K ข้าวเจ้า มีความจุความร้อนจำเพาะของเจลข้าวกล้อง อยู่ในช่วง 3.164 – 4.028 MJ/m<sup>3</sup>K ความจุความร้อนจำเพาะของเจลข้าวขาวอยู่ในช่วง 3.265 – 3.957 MJ/m<sup>3</sup>K

ตารางที่ 69 สัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อนของเจลแป้งสุก (Thermal diffusivity)

| สายพันธุ์                            | สัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อน ( $\text{mm}^2/\text{s}$ ) |                                |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------|
|                                      | เจลข้าวกล้อง                                           | เจลข้าวขาว                     |
| กลุ่มเอมิโลสต่ำมาก                   |                                                        |                                |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1         | 0.151 $\pm$ 0.007 <sup>cd</sup>                        | 0.150 $\pm$ 0.004 <sup>b</sup> |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 10               | 0.147 $\pm$ 0.005 <sup>d</sup>                         | 0.149 $\pm$ 0.002 <sup>b</sup> |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 8                | 0.153 $\pm$ 0.007 <sup>bcd</sup>                       | 0.148 $\pm$ 0.005 <sup>b</sup> |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง     | 0.152 $\pm$ 0.001 <sup>cd</sup>                        | 0.152 $\pm$ 0.006 <sup>b</sup> |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สกลนคร              | 0.155 $\pm$ 0.004 <sup>bcd</sup>                       | 0.150 $\pm$ 0.007 <sup>b</sup> |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์หางยี 71            | 0.153 $\pm$ 0.004 <sup>cd</sup>                        | 0.153 $\pm$ 0.001 <sup>b</sup> |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 6                | 0.151 $\pm$ 0.007 <sup>cd</sup>                        | 0.153 $\pm$ 0.003 <sup>b</sup> |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวอุบลราชธานี 2 | 0.160 $\pm$ 0.002 <sup>b</sup>                         | 0.150 $\pm$ 0.006 <sup>b</sup> |
| กลุ่มเอมิโลสต่ำ                      |                                                        |                                |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 15                 | 0.151 $\pm$ 0.004 <sup>cd</sup>                        | 0.153 $\pm$ 0.002 <sup>b</sup> |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105        | 0.154 $\pm$ 0.002 <sup>bcd</sup>                       | 0.163 $\pm$ 0.009 <sup>a</sup> |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สังข์หยดพัทลุง        | 0.149 $\pm$ 0.001 <sup>cd</sup>                        | 0.150 $\pm$ 0.002 <sup>b</sup> |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1            | 0.172 $\pm$ 0.006 <sup>a</sup>                         | 0.150 $\pm$ 0.002 <sup>b</sup> |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 21                 | 0.155 $\pm$ 0.007 <sup>bc</sup>                        | 0.149 $\pm$ 0.001 <sup>b</sup> |
| กลุ่มเอมิโลสปานกลาง                  |                                                        |                                |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 2          | 0.155 $\pm$ 0.003 <sup>bc</sup>                        | 0.157 $\pm$ 0.003 <sup>b</sup> |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เล็บนกปัตตานี         | 0.149 $\pm$ 0.003 <sup>cd</sup>                        | 0.152 $\pm$ 0.003 <sup>b</sup> |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์อยุธยา 1              | 0.152 $\pm$ 0.003 <sup>cd</sup>                        | 0.153 $\pm$ 0.004 <sup>b</sup> |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 60         | 0.149 $\pm$ 0.002 <sup>cd</sup>                        | 0.150 $\pm$ 0.003 <sup>b</sup> |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 3            | 0.155 $\pm$ 0.002 <sup>bc</sup>                        | 0.150 $\pm$ 0.002 <sup>b</sup> |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เขื่องพัทลุง          | 0.150 $\pm$ 0.003 <sup>cd</sup>                        | 0.151 $\pm$ 0.002 <sup>b</sup> |

ตารางที่ 69 (ต่อ) สัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อนของเจลแป้งสุก (Thermal diffusivity)

| สายพันธุ์                       | สัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อน ( $\text{mm}^2/\text{s}$ ) |                                |
|---------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------|
|                                 | เจลข้าวกล้อง                                           | เจลข้าวขาว                     |
| กลุ่มเอมิโลสสูง                 |                                                        |                                |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 2       | 0.155 $\pm$ 0.005 <sup>bc</sup>                        | 0.152 $\pm$ 0.002 <sup>b</sup> |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เหลืองประทิว 123 | 0.153 $\pm$ 0.000 <sup>bcd</sup>                       | 0.150 $\pm$ 0.002 <sup>b</sup> |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1         | 0.153 $\pm$ 0.001 <sup>cd</sup>                        | 0.149 $\pm$ 0.002 <sup>b</sup> |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปราจีนบุรี 2     | 0.152 $\pm$ 0.001 <sup>cd</sup>                        | 0.148 $\pm$ 0.001 <sup>b</sup> |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1     | 0.152 $\pm$ 0.003 <sup>cd</sup>                        | 0.152 $\pm$ 0.003 <sup>b</sup> |

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยคิดจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ  $\pm$  ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถว มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $P \leq 0.05$ )

เจลข้าวกล้องมีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อน อยู่ในช่วง 0.147 – 0.172  $\text{mm}^2/\text{s}$  เจลข้าวขาวมีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อน อยู่ในช่วง 0.148 – 0.163  $\text{mm}^2/\text{s}$  ค่าที่วัดได้ใกล้เคียงกับข้าวที่ปลูกในปี 2550/2551

ข้าวเหนียว สัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อนของเจลข้าวกล้อง อยู่ในช่วง 0.147 – 0.160  $\text{mm}^2/\text{s}$  สัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อนของเจลข้าวขาว อยู่ในช่วง 0.148 – 0.153  $\text{mm}^2/\text{s}$  ข้าวเจ้า สัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อนของเจลข้าวกล้อง อยู่ในช่วง 0.149 – 0.172  $\text{mm}^2/\text{s}$  สัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อนของเจลข้าวขาว อยู่ในช่วง 0.148 – 0.163  $\text{mm}^2/\text{s}$

ตารางที่ 70 ความต้านทานไฟฟ้า (Electric resistance)

| สายพันธุ์                            | ความต้านทานไฟฟ้า (MOhm) |           |         |
|--------------------------------------|-------------------------|-----------|---------|
|                                      | ข้าวเปลือก              | ข้าวกล้อง | ข้าวขาว |
| กลุ่มเอมิโลสต่ำมาก                   |                         |           |         |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1         | 129.496                 | 46.863    | 129.64  |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 10               | 161.923                 | 40.88     | 53.003  |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 8                | 15.7                    | 30.306    | 185.72  |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง     | 171.773                 | 56.306    | 104.63  |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์สกลนคร              | 217.456                 | 172.933   | 476.99  |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์หางยี 71            | 136.21                  | 163.02    | 251.64  |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์กข 6                | 61.04                   | 65.753    | 5.376   |
| -ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวอุบลราชธานี 2 | 45.513                  | 51.95     | 202.75  |
| กลุ่มเอมิโลสต่ำ                      |                         |           |         |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 15                 | 371.74                  | 137.143   | 129.62  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105        | 445.913                 | 56.87     | 104.63  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สังข์หยดพัทลุง        | 369.406                 | 130.39    | 476.99  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1            | 445.913                 | 108.823   | 219.78  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์กข 21                 | 77.656                  | 108.823   | 49.63   |
| กลุ่มเอมิโลสปานกลาง                  |                         |           |         |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 2          | 292.9                   | 237.5     | 557.82  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เล็บนกปัตตานี         | 96.493                  | 267.473   | 185.72  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์อุทุมพร 1             | 20.12                   | 164.687   | 157.92  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 60         | 445.913                 | 97.17     | 120.37  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 3            | 171.773                 | 115.577   | 76.143  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เงี้ยวพัทลุง          | 155.21                  | 192.993   | 476.99  |

ตารางที่ 70 (ต่อ) ความต้านทานไฟฟ้า (Electric resistance)

| สายพันธุ์                       | ความต้านทานไฟฟ้า (MOhm) |           |         |
|---------------------------------|-------------------------|-----------|---------|
|                                 | ข้าวเปลือก              | ข้าวกล้อง | ข้าวขาว |
| กลุ่มแอมิโลสสูง                 |                         |           |         |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 2       | 445.913                 | 341.683   | 315.34  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์เหลืองประทิว 123 | 203.5                   | 163.02    | 283.49  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1         | 119.646                 | 234.167   | 476.99  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์ปราจีนบุรี 2     | 27.0466                 | 188.23    | 251.64  |
| -ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1     | 522.42                  | 218.537   | 202.75  |

ความต้านทานไฟฟ้าของข้าวเปลือกอยู่ในช่วง 15.7– 445.9 Mohm ความต้านทานไฟฟ้าของข้าวกล้องอยู่ในช่วง 30.3 – 341.7 Mohm ความต้านทานไฟฟ้าของข้าวสารอยู่ในช่วง 5.4– 557.8 Mohm ค่าที่วัดได้มีค่าใกล้เคียงกับข้าวที่ปลูกในปี 2550/2551

## สรุป

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์ เคมี และวิศวกรรมต่างๆของข้าวไทยที่เพาะปลูกใน ฤดูกาล 2550/2551 จำนวน 28 พันธุ์ และ ในฤดูกาล 2551/2552 จำนวน 24 พันธุ์ โดยศึกษาข้าวเหนียว 8 พันธุ์ และที่เหลือเป็นข้าวเจ้า และได้จัดกลุ่มของข้าวตามปริมาณแอมิโลส เป็นกลุ่มแอมิโลสต่ำมาก กลุ่มแอมิโลสต่ำ กลุ่มแอมิโลสปานกลาง และ กลุ่มแอมิโลสสูง เนื่องจากคุณภาพการหุงต้มและการนำไปใช้ประโยชน์แปรผันตามปริมาณแอมิโลส ผลงานนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการออกแบบกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์จากข้าว การควบคุมคุณภาพวัตถุดิบ ผลิตภัณฑ์ระหว่างการผลิต และผลิตภัณฑ์สุดท้าย การวัดลักษณะทางประสาทสัมผัส และการพัฒนาผลิตภัณฑ์ รวมทั้งการออกแบบเครื่องจักรในการผลิตอาหาร การออกแบบบรรจุภัณฑ์ การคัดเลือกวัสดุบรรจุภัณฑ์ เครื่องจักรบรรจุ และกระบวนการบรรจุ รวมถึง การวางผังโรงงาน นอกจากนี้ยังมีประโยชน์ในการตั้งมาตรฐานข้าวอีกด้วย นอกจากนี้ ยังได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างเก็บรักษาข้าวเป็นเวลา 1-4 เดือนเพื่อหาดัชนีชี้วัดความเก่าของข้าว และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการเร่งความเก่าของข้าว จึงคาดหวังว่าความรู้นี้จะ เป็นประโยชน์ต่อนิสิต นักศึกษา อาจารย์ นักวิจัย และผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมข้าวต่อไป

งานวิจัยที่ควรศึกษาต่อไปในอนาคตได้แก่การทำนายสมบัติต่างๆที่ขึ้นกับความชื้นและองค์ประกอบของอาหารและอื่นๆ โดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์ให้มีความแม่นยำเชื่อถือได้ และการหาความสัมพันธ์ของสมบัติต่างๆกับคุณภาพ จะเป็นประโยชน์กว้างขวางมากยิ่งขึ้น

## เอกสารอ้างอิง

กรมการข้าว. มปป. องค์ความรู้เรื่องข้าว. จตุจักร, กรุงเทพฯ.

กล้าณรงค์ ศรีรอด สุณิสา นิทรยู และวันชัย โชคชัยไพศาล. มปป. การใช้ Rapid Visco Analyzer (RVA) ควบคุมคุณภาพในกระบวนการผลิตก๋วยเตี๋ยว. 181 – 191.

งามชื่น คงเสรี. 2539. คุณภาพข้าวและผลิตภัณฑ์. การสัมมนาวิชาการครบรอบ 80 ปี ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

\_\_\_\_\_. 2546. ข้าวและผลิตภัณฑ์ข้าว. กรมวิชาการเกษตร. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

जनัย พนัชกุล. 2538. การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของข้าวสุก. วารสารจรรพ. 16 : 21-24.

ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช. 2551. พื้นฐานการทำความร้อนด้วยไมโครเวฟ. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, กรุงเทพฯ.

พรรณภา พรหมจันทร์ บุภาภรณ์ เศรษฐาธิษฐาน วิทวัส สุธิดา สุทธิโพธิ์พงษ์ สุภารักษ์ ดวงมาลา. 2541. ผลของความชื้นต่อคุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดข้าวเหนียวและข้าวกล้อง. ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.

รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิตย์ กล้าณรงค์ ศรีรอด เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ ไชยรัตน์ เพ็ชรชลาณวัฒน์ รุ่งทิวา วันศรีสุข บุญทิวา นิลจันทร์. 2546. การศึกษาคุณสมบัติของแป้งข้าวพันธุ์ต่างๆในประเทศไทยเพื่อเป็นกลยุทธิ์ในการสร้างมูลค่าเพิ่ม. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, กรุงเทพฯ.

ลัดดาวัลย์ วรรณนุช. 2550. ข้าวเหนียว : อนาคต การผลิต และการค้า. สำนักพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าว กรมการข้าว, กรุงเทพฯ.

สถาบันอาหาร. 2552. โครงสร้างอุตสาหกรรมอาหารไทย. ศูนย์วิจัยเพื่ออุตสาหกรรมอาหาร, กรุงเทพฯ.

อรอนงค์ นัยวิกุล. 2547. ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ ฯ.

อรอนงค์ นัยวิกุล. 2550. ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ ฯ.

AACC. 2000. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists. 10<sup>th</sup> ed. Minnesota,  
U.S.A

AOAC. 2000. Official Method of Analysis of AOAC International. 17<sup>th</sup> ed. Gaithersburg, USA.

Baumler, E., A. Cuniberti, S.M. Nolasco and I.C.Riccobene. 2006. Moisture Dependent Physical and  
Compression Properties of Safflower Seed. J. of Food Engineering. 72 (2):134-140.

Champagne, E.T. 2004. Rice: Chemistry and Technology. 3<sup>rd</sup> ed. AACC Inc. St. Paul., U.S.A.

Champagne, E.T., B.G. Lyon, B.K. Kim, 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. Effect of  
Postharvest Processing on Texture Profile Analysis of Cooked Rice. Cereal Chem. 75(2):181-186.

Champagne, E.T., K.L. Bett, B.T. Vinyard, A.M. McClung, F.E. Barton II, K. Moldenhauer, S. Linscombe  
and K. McKenzie. 1999. Correlation between Cooked Rice Texture and Rapid Visco Analyzer  
Measurements. Cereal Chem. 76(5):764-771.

Correa. P.C., F. Schwanz da Silva, C. Jaren, P.C.Afonso Junior and I. Arana. 2007. Physical and  
Mechanical Properties in Rice Processing. J. of Food Engineering. 79: 137-142.

Fontana, A.J., J. Varith, J. Ikediala, J. Reyes and B. Wacker. 1999. Thermal Properties of Selected Foods  
using a Dual Needle Heat-pulse Sensor. ASME meeting presentation paper number 996063.  
Toronto.

- Fraczek, J., A. Złobicki. and J. Zemanek. 2007. Assessment of Angle of Repose of Granular Plant Material using Computer Image Analysis. *J. of Food Engineering*. 83 (1): 17-22.
- Jaisut, D., S. Prachayawarakorn, W. Varanyanond, P. Tungtrakul and S. Soponronnarit. 2009. Accelerated Aging of Jasmine Brown Rice by High-Temperature Fluidization Technique. *Food Research International*. 42: 674 – 681.
- Juliano, B. O. 1985. *Rice: Chemistry and Technology*. 2<sup>nd</sup> edition. AACC Inc., St. Paul.
- Kunze, O.R. and F.T. Wratten. 1985. Physical and Mechanical Properties of Rice. In *Rice Chemistry and Technology*. 2<sup>nd</sup> edition. Edited by Juliano. St. Paul.
- Mohsenin, N.N. 1980. *Physical Properties of Plant and Animal Materials*. Gordon and Breach Science Publishers, New York.
- Mohsenin, N.N. 1980. *Thermal Properties of Food and Agricultural Materials*. Gordon and Breach Science Publishers, New York.
- Pueschner, P. 2008. Dielectric Measurement Kit. Short Technical Notes. Puschgner GMBH, Germany.
- Rao, M.A., S. S.H. Rizvi and A. K. Datta. 2005. *Engineering Properties of Food*. 3<sup>rd</sup> edition. CRC Press, Florida.
- Razavi, S.M.A., A. Rafe, T.M. Moghaddam and A.M. Amini. 2007. Physical Properties of Pistachio Nut and its Kernel as a Function of Moisture Content and Variety. Part II. Gravimetric Properties. *J. of Food Engineering*. 81(1): 218-225.
- Razavi, S.M.A. and R. Farahmandfar. 2008. Effect of Hulling and Milling on the Physical Properties of Rice Grains. *International Agrophysics*. 22: 353-359.

- Sawbhagya, C.M. and K.R. Bhattacharya. 2001. Changes in Pasting Behaviour of Rice during Ageing. *J. of Cereal Science*. 34: 115 – 124.
- Singh, K.K. and T.K. Goswami. 1996. Physical Properties of Cumin Seed. *J. of Agricultural Engineering Research*. 64(2): 93-98.
- Tan, Y. and H. Corke. 2002. Factor Analysis of Physicochemical Properties of 63 Rice Varieties. *J. of the Science of Food and Agriculture*. 82 : 745 -752.
- Webb, B. D. 1985. Criteria of Rice Quality in the United States. In *Rice Chemistry and Technology*. 2<sup>nd</sup> edition. Edited by Juliano. St. Paul.
- Whistler, R.L. and J.N. Bemiller. 1984. *Starch Chemistry and Technology*. Academic Press, Orlando.
- Yoenyongbuddhagal, S. and A. Noomhorm. 2002. Effect of Physicochemical Properties of High-amylose Thai Rice Flours on Vermicelli Quality. *Cereal Chem*. 79(4): 481 - 485.

## ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.  
การวิเคราะห์สมบัติทางเคมี

## 1. การวิเคราะห์ความชื้น (Moisture content) ตามวิธีการของ AOAC (2000)

นำกระป๋องอลูมิเนียมและฝาไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนัก (W) ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 3 กรัม อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นานประมาณ 6 ชั่วโมง นำออกมาใส่เดสิเคเตอร์ ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปชั่งจนมีค่าแน่นอนคงที่ คำนวณค่าความชื้นเป็นร้อยละของน้ำหนัก

วิธีคำนวณ

ปริมาณความชื้น (ร้อยละของน้ำหนัก) =  $100 \times (W1 - W2) / (W1 - W)$

เมื่อ W คือ น้ำหนักของจานอลูมิเนียมเป็นกรัม

W1 คือ น้ำหนักของจานอลูมิเนียมและตัวอย่างก่อนอบเป็นกรัม

W2 คือ น้ำหนักของจานอลูมิเนียมและตัวอย่างหลังอบเป็นกรัม

## 2. การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (Kjeldahl's Method) ตามวิธีการของ AOAC (2000)

สารเคมี

1 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide) เข้มข้นร้อยละ 40

2 สารละลายกรดบอริก (Boric acid) เข้มข้นร้อยละ 4

3 กรดซัลฟูริกเข้มข้น (Concentrated sulfuric acid)

4 สารละลายกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐานเข้มข้น 0.1 โมลาร์

5 สารเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) เตรียมโดยผสมสาร โพตัสเซียมซัลเฟต ( $K_2SO_4$ ) และคอปเปอร์ซัลเฟต ( $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ ) เข้าด้วยกันในอัตราส่วน 7 กรัมต่อ 0.8 กรัม

6 สารละลาย Mixed indicator เตรียมโดยผสม โบรโมครีซอล กรีน 3 ส่วนกับเมทิลเรด 1 ส่วน

(สารละลายโบรโมครีซอล กรีน (Bromocresol green) เตรียมโดย ละลาย Bromocresol green 0.1 กรัม ในเอทานอล 95% 100 มิลลิลิตร และสารละลายเมทิลเรด (Methyl red) เตรียมโดยละลาย Methyl red 0.2 กรัม ในเอทานอล 95% 100 มิลลิลิตร )

วิธีวิเคราะห์

1 ชั่งตัวอย่าง 0.5-1.0 กรัม ใส่ลงในหลอดแก้วเคดดาห์สำหรับย่อย (digestion tube) ระวังอย่าให้ติดข้างหลอด ใส่สารเร่งปฏิกิริยา (catalyst)

2 เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 25 มิลลิลิตร เขย่าเบาๆ แล้ววางหลอดบนเครื่องย่อยในตู้คว้น

3 ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 420 องศาเซลเซียส นานประมาณ 30 นาที หรือจนกระทั่งได้สารละลายใส

4 นำออกมาตั้งทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำไปเข้าเครื่องกลั่น โดยเครื่องนี้เติมน้ำกลั่น 75 มิลลิลิตร และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้นร้อยละ 40 จำนวน 40 มิลลิลิตร

5 นำฟลาสที่บรรจุกรดบอริกความเข้มข้น ร้อยละ 4 จำนวน 25 มิลลิลิตร รองรับของเหลวที่กลั่นได้

6 เมื่อกลั่นเสร็จแล้วนำไปไตเตรทกับสารละลายกรดมาตรฐาน 0.1 โมลาร์ จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพู คำนวณหาร้อยละของโปรตีน

วิธีการคำนวณ

$$\% N = \frac{14.00 \times (A-B) \times C \times 100}{W}$$

$$\% \text{ protein} = \% N \times 5.95$$

เมื่อ A คือ ปริมาตรของกรดมาตรฐานที่ไตเตรทกับตัวอย่าง (ml)

B คือ ปริมาตรของกรดมาตรฐานที่ไตเตรทกับ blank (ml)

C คือ ความเข้มข้นของกรดมาตรฐาน (โมลาร์)

W คือ น้ำหนักของตัวอย่าง (g)

### 3. การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน ตามวิธีการของ AOAC (2000)

สารเคมี

ปิโตรเลียมอีเทอร์ ที่มีจุดเดือด 40-60 องศาเซลเซียส

วิธีวิเคราะห์

1 หาน้ำหนักแห้งของถ้วยไขมัน (can) โดยนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 3-5 ชั่วโมง นำมาทำให้เย็นใน เดสิคเคเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนัก (A)

2 ชั่งตัวอย่าง 2.0-2.5 กรัม ใส่ในกระดาศกรองเบอร์ 1 และห่อให้มิดชิด จดน้ำหนักที่แน่นอนไว้ ใส่ตัวอย่างลงในทิมเบิล (thimble) แล้วปิดด้วยวงแหวน

3 ใส่ปิโตรเลียมอีเทอร์ 45 มิลลิลิตร ลงในถ้วยไขมัน แล้วนำถ้วยไขมันเข้าไปใน Soxhtec System HT2 1045 Extraction unit พร้อมทั้งเลื่อนคันโยกไปที่ตำแหน่ง boiling ตั้งเวลาสกัด 30 นาที จากนั้นปิดสวิตช์ ตั้งเวลาระเหย 45 นาที

4 นำถ้วยไขมันออกมา จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 3-5 ชั่วโมง นำมาทำให้เย็นใน เดสิคเคเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนัก (B) คำนวณร้อยละของไขมัน

วิธีคำนวณ

$$\text{ไขมัน (ร้อยละ)} = (B - A / \text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง}) \times 100$$

#### 4. การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า ตามวิธีการของ AOAC (2000)

##### วิธีวิเคราะห์

- 1 นำจานกระเบื้องไปเผาในเตาเผาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส นานประมาณ 1 ชั่วโมง จากนั้นนำมาใส่ในเคชิกเคเตอร์ ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง นำไปชั่ง เย็นที่อุณหภูมิห้อง นำไปชั่ง
- 2 ชั่งตัวอย่างประมาณ 5 กรัม(W1) ใส่ในจานกระเบื้องเคลือบที่เตรียม ไว้ในข้อ 1. นำไปเผาด้วยไฟอ่อนๆ จนหมดควัน
- 3 นำไปใส่เตาเผาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส นานประมาณ 2-3 ชั่วโมง จนกระทั่งได้เถ้าสีขาว-เทา
- 4 นำออกมาใส่ในเคชิกเคเตอร์ ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง นำไปชั่ง (W2)

##### วิธีการคำนวณ

$$\text{ปริมาณเถ้าร้อยละของน้ำหนัก} = 100 (W2 - W)/W1$$

โดย W คือ น้ำหนักของจานกระเบื้องเคลือบ (กรัม)

W1 คือ น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

W2 คือ น้ำหนักของจานกระเบื้องและตัวอย่างหลังจากเผาจน (กรัม)

#### 5. การวิเคราะห์ปริมาณเส้นใย ตามวิธีของAOAC (2000)

##### สารเคมี

- 1 กรดซัลฟูริกที่มีความเข้มข้น 0.255 นอร์มัล (1.25 %)
- 2 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 0.313 นอร์มัล 1.25 %)
- 3 แอลกอฮอล์ ร้อยละ 95
- 4 n-octanol

##### วิธีวิเคราะห์

1. ใช้ตัวอย่างที่ได้จากการหาความชื้นแล้ว หรือผ่านการอบในตู้อบอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนได้น้ำหนักคงที่ แล้วทำให้เย็นในเคชิกเคเตอร์
2. ชั่งตัวอย่างน้ำหนักที่บดแล้ว  $1 \pm 0.001$  กรัม
3. เติมกรดซัลฟูริก ที่ร้อน 200 มิลลิลิตร (ทำให้ร้อนโดยการอุ่นใน hot plate เพื่อลดเวลาที่ใช้ในการย่อย)
4. เติม n-octanol 3-5 หยด
5. ทำการย่อยเป็นเวลา 30 นาที
6. กดปุ่ม vacuum เพื่อดึงกรดซัลฟูริกออก
7. ล้างตัวอย่างด้วย น้ำกลั่นที่ทำให้ร้อน 30 มิลลิลิตร จำนวน 3 ครั้ง โดยกดปุ่ม Compressed Air เพื่อกวนตัวอย่างให้กระจาย

8. หลังจากล้างน้ำสุดท้ายแล้ว เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ จำนวน 200 มิลลิลิตร แล้วหยด n-octanol 3-5 หยด
9. ทำการย่อยเป็นเวลา 30 นาที
10. ทำการกรองและล้างตัวอย่างเหมือนข้อ 7 หลังจากล้างด้วยน้ำกลั่นครั้งสุดท้ายแล้วให้ ล้างด้วยแอลกอฮอล์ 50 มิลลิลิตร พร้อมทั้งกดปุ่ม Compressed Air เพื่อกวาดตัวอย่างให้กระจายด้วย
11. นำ Crucible ออกจากเครื่อง แล้วชั่งน้ำหนักหลังจากอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสนาน 1 ชั่วโมงหรือจนกว่าน้ำหนักจะคงที่ น้ำหนักของตัวอย่างที่ได้นี้จะเป็นน้ำหนักของ Crude Fiber Content (F1)
12. นำไปเผาเถ้า โดยนำตัวอย่างที่เหลือจากการหาเส้นใย ไปเผาใน Muffle ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทำการชั่งน้ำหนักอีกครั้ง ผลต่างของน้ำหนักที่ได้นี้กับน้ำหนัก ที่ได้ในข้อ 12 จะเป็นค่า Crude ash Content (F2)

วิธีการคำนวณ

$$\text{ปริมาณเส้นใย (ร้อยละของน้ำหนัก)} = \frac{F1-F2 \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$

#### 6. การวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ตามวิธีของ AOAC (2000)

คำนวณหาโดยใช้ความแตกต่างของน้ำหนักตัวอย่าง และปริมาณขององค์ประกอบอื่นๆ

$$\text{ร้อยละปริมาณคาร์โบไฮเดรต} = 100 - (\% \text{ความชื้น} + \% \text{โปรตีน} + \% \text{ไขมัน} + \% \text{เส้นใย} + \% \text{เถ้า})$$

#### 7. การวิเคราะห์ปริมาณแอมิโลส ตามวิธีของ Juliano (1971)

สารเคมี

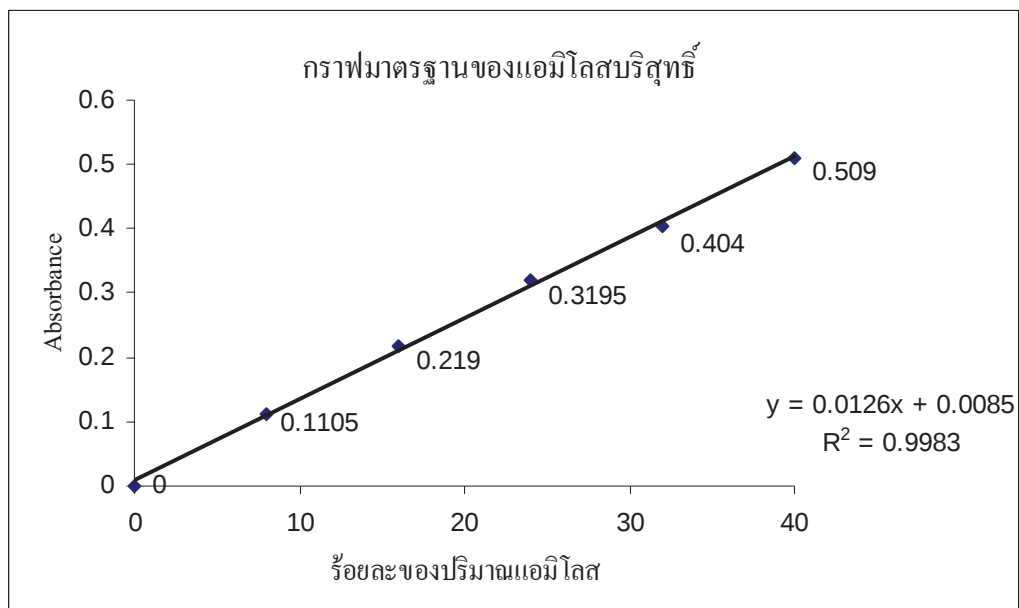
- 1 เอทิลแอลกอฮอล์ เข้มข้น 95 %
- 2 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 1 นอร์แมล
- 3 กรดเกล็ดเชิลอะซิติกเข้มข้น 1 นอร์แมล
- 4 สารละลายไอโอดีน เตรียมโดยใช้ไอโอดีน 0.2 กรัม และโพแทสเซียมไอโอไดด์ 2.0 กรัม ละลายในน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 100 มิลลิลิตร
- 5 แอมิโลสบริสุทธิ์จากมันฝรั่ง

### วิธีการเตรียมตัวอย่าง

1. ชั่งแบ่งมา 0.1000 กรัม ใส่ในขวดปรับปริมาตรตาม 100 มิลลิลิตรที่แห้งสนิท
2. เติมเอทิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 95 ปริมาตร 1 ลิตร เขย่าเบา ๆ
3. เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2 นอร์มัล ปริมาตร 9 มิลลิลิตร
4. ปั่นกวนตัวอย่างด้วยเครื่องแท่งแม่เหล็ก นาน 10 นาที ให้เป็นแป้งแล้วเติมน้ำกลั่นเพื่อ ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร
5. เตรียมขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ชุดใหม่ เติมน้ำกลั่นประมาณ 70 มิลลิลิตร  
กรดเกลือละลายซีดิกปริมาตร 2 มิลลิลิตร และสารละลายไอโอดีน 2 มิลลิลิตร (ไอโอดีน 0.2 กรัม และ โปแตสเซียมไอโอไดด์ 2.0 กรัม ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร)
6. ควบน้ำแป้ง ตามข้อ 4 ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ใส่ในขวดแก้วปริมาตร 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นเพื่อปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร แล้วตั้งทิ้งไว้ 10 นาที
7. วัดความเข้มของสีของสารละลายตาม 6 ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์โดยอ่านค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นแสง 620 นาโนเมตร หลังปรับเครื่องด้วย blank ให้ได้ค่าการดูดกลืนแสงเท่ากับ 0 (ศูนย์)
8. ทำ blank โดยเติมกรดเกลือละลายซีดิก ปริมาตร 2 มิลลิลิตร และสารละลายไอโอดีน 2 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น
9. นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปใช้ในหาปริมาณแอมิโลส โดยเทียบกับกราฟมาตรฐานที่ เตรียมไว้

### วิธีการเตรียมกราฟมาตรฐานแอมิโลส

1. ชั่งแอมิโลสบริสุทธิ์ 0.0400 กรัม ใส่ในขวดปรับปริมาตร 100 มิลลิลิตรที่แห้งสนิทแล้ว ดำเนินการเช่นเดียวกับ ตัวอย่างตามวิธีการวิเคราะห์ตัวอย่างข้อ 3 - 4 ได้เป็นสารละลายมาตรฐาน
2. เตรียมขวดปรับปริมาตรขนาดความจุ 100 มิลลิลิตร จำนวน 5 ขวด เติมน้ำกลั่นขวดละ 70 มิลลิลิตร เติมกรดเกลือละลายซีดิก ปริมาตร 0.4 มิลลิลิตร ในขวดที่ 1 ปริมาตร 0.8 มิลลิลิตรใน ขวดที่ 2 ปริมาตร 1.2 มิลลิลิตร ในขวดที่ 3 ปริมาตร 1.6 มิลลิลิตรในขวดที่ 4 ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ในขวดที่ 5 ตามลำดับ แล้วเติมสารละลายไอโอดีน 2 มิลลิลิตร ลงในแต่ละขวด
3. ควบสารละลายมาตรฐานจาก 1 ปริมาตร 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิลิตร ซึ่งเทียบเท่าปริมาณแอมิโลส 8%, 16 %, 24%, 32% และ 40% ตามลำดับ ใส่ในขวดที่เตรียมไว้ในข้อ 2 เติมน้ำกลั่น เพื่อปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 620 นาโนเมตร โดยปรับเครื่องด้วย blank ให้ได้ค่าการดูดกลืนแสงเท่ากับ 0 (ศูนย์)
4. นำค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้กับปริมาณแอมิโลสในสารละลายมาตรฐานจากข้อ 3 มาเขียนเป็นเส้นกราฟมาตรฐาน
5. นำเส้นกราฟมาตรฐานที่ได้จากข้อ 4 มาใช้แปลงค่าการดูดกลืนแสงให้เป็นร้อยละ (โดยน้ำหนัก) ของแอมิโลสในตัวอย่าง



ภาพผนวกที่ 1 ปริมาณแอมิโลสและค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐาน

**ภาคผนวก ข.**  
**การวิเคราะห์สมบัติทางฟิสิกส์**

### 1. ขนาด (size)

วัดขนาดของเมล็ดข้าวโดยใช้ ดิจิตอล คาลิปเปอร์ (Digital caliper) แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจำนวน 100 เมล็ด ตามวิธีของ อรอนงค์ (2550)

|           |         |                                                                |
|-----------|---------|----------------------------------------------------------------|
| ความยาว   | หมายถึง | ระยะทางจากปลายยอดสุดของเมล็ดถึงโคนเมล็ด                        |
| ความกว้าง | หมายถึง | ระยะทางส่วนที่กว้างที่สุดระหว่างเปลือกใหญ่ถึงเปลือกเล็ก        |
| ความหนา   | หมายถึง | ระยะทางที่มากที่สุดระหว่างเปลือกใหญ่ด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่ง |

### 2. ความหนาแน่นจริง (True density)

ใช้วิธี Toluene displacement method โดยชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของตัวอย่าง (ทราบความชื้นเริ่มต้น) นำมาแทนที่ในโทลูอิน ( $C_7H_8$ ) แล้ววัดปริมาตรของโทลูอิน ตามวิธีของ Mohsenin (1980)

$$\text{True density (g/cm}^3\text{)} = M/V$$

เมื่อ  $M =$  น้ำหนักของตัวอย่าง (g)

$$V = \text{ปริมาตรของโทลูอิน (cm}^3\text{)}$$

### 3. ความหนาแน่นปรากฏ (Bulk density)

ใส่ตัวอย่างในภาชนะที่ทราบปริมาตรที่แน่นอน (ทราบความชื้นเริ่มต้น) ปาดปากภาชนะให้เรียบ แล้วนำตัวอย่างออกมาชั่ง

$$\text{Bulk density (g/cm}^3\text{)} = M/V$$

เมื่อ  $M =$  น้ำหนักของตัวอย่าง (g)

$$V = \text{ปริมาตรของภาชนะ (cm}^3\text{)}$$

### 4. ความเป็นรูพรุน (Porosity)

คำนวณได้จากความสัมพันธ์ของ True density และ bulk density ตามวิธีของ Mohsenin (1980) และ Singh *et al.* (1996)

$$\text{Porosity (\%)} = 100 (1 - P_b/P_t)$$

เมื่อ  $P_b =$  Bulk density ( $\text{g/cm}^3$ )

$$P_t = \text{True density (g/cm}^3\text{)}$$

## 5. ปริมาตร (Volume)

ใช้วิธี Toluene displacement method โดยชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่แน่นอน ประมาณ 100 กรัม (ทราบความชื้นเริ่มต้น) แทนที่ในโทลูอิน ( $C_7H_8$ ) แล้ววัดปริมาตรของโทลูอิน ตามวิธีของ Mohsenin (1980) และ Rao *et al.* (2005)

$$\text{Volume (cm}^3\text{/100 g)}$$

## 6. อัตราการยืดตัวของข้าวสุก ตามวิธีของอรอนงค์ (2550)

1. คัดเลือกข้าวสารเต็มเมล็ด 18 เมล็ด
2. วัดความยาวของข้าวสารด้วย digital vernier caliper
3. ใส่แต่ละเมล็ดในหลอดทดลอง 18 หลอดที่ label ไว้
4. ใส่น้ำในแต่ละหลอดเกินพอดี
5. หุงข้าวในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 100 C เป็นเวลา 10 นาที
6. นำหลอดทดลองไปแช่ในน้ำเย็น
7. เทน้ำส่วนเกินทิ้ง
8. วัดความยาวของข้าวสุกด้วย digital vernier caliper (เลือกเฉพาะเมล็ดที่ตรงเท่านั้น)
9. วิเคราะห์ค่าอัตราการยืดตัวของข้าวสุกเฉลี่ย

## 7. อัตราการขยายปริมาตรของข้าวสุก ตามวิธีของ อรอนงค์ (2550)

1. เทข้าวสารใส่บีกเกอร์ขนาด 50 ml จนมีความสูง 1.5 cm
2. เติมน้ำ 30 g และปิดบีกเกอร์ด้วยฟอยล์
3. ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที
4. หุงข้าวในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 100 C เป็นเวลา 15 นาที
5. เทน้ำส่วนเกินทิ้ง
6. ทิ้งไว้ให้เย็น และวัดความสูงของข้าวสุก

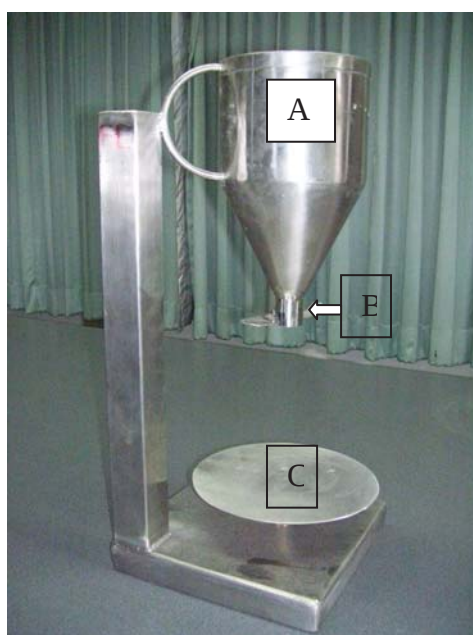
## 8. การอุ้มน้ำของข้าวสุก ตามวิธีของ อรอนงค์ (2550)

1. ชั่งข้าวสาร 20 กรัม ใส่บีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำ 70 กรัม ปิดบีกเกอร์ด้วยฟอยล์ และตั้งทิ้งไว้ 30 นาที
3. หุงข้าวในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 100 C เป็นเวลา 15 นาที
4. ระบายน้ำส่วนเกินใส่ในบีกเกอร์ที่ชั่งน้ำหนักไว้แล้ว

5. ชั่งน้ำหนักน้ำส่วนเกิน
9. ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำข้าวสุก ตามวิธีของ อรอนงค์ (2550)
  1. ชั่งข้าวสาร 15 กรัม ใส่ปิกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร
  2. เติมน้ำ 70 กรัม
  3. หุงข้าวในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 100 C เป็นเวลา 15 นาที
  4. รีบน้ำส่วนเกินใส่ใน moisture can ที่ชั่งน้ำหนักไว้แล้ว
  5. อบที่อุณหภูมิ 105 C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
  6. ชั่งน้ำหนักจนค่าที่ได้ไม่เปลี่ยนแปลง

#### 10. มุมกอง (Angle of repose)

1. ตวงตัวอย่างในภาชนะขนาด 500 มล. ปาดปากภาชนะให้เรียบ
2. เทตัวอย่างใส่ในกรวยรับตัวอย่าง (A) ซึ่งปิดอยู่
3. เปิดลิ้น(B) ที่อยู่ด้านล่างของกรวยใส่ตัวอย่าง ให้ตัวอย่างไหลลงที่รองรับซึ่งเป็นฐานรูปวงกลม(C)
4. ถ่ายรูป และวัดมุมจากรูปถ่าย

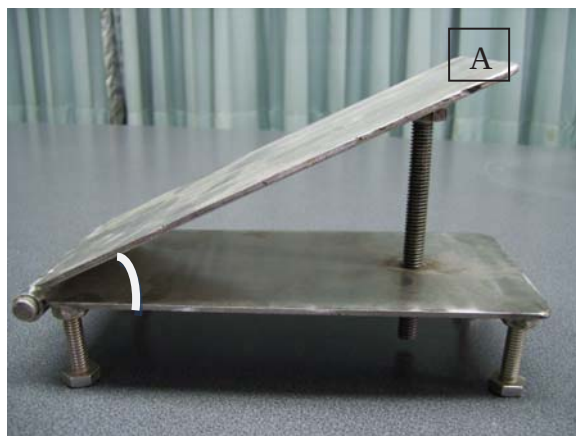


ภาพผนวกที่ 2 อุปกรณ์ที่ใช้วัดมุมกอง (Angle of repose)

ที่มา : ดัดแปลงจาก Fraczek *et al.* (2007)

### 11. มุมไหล (Angle of friction)

1. ปรับระดับของอุปกรณ์วัดมุมไหล ให้อยู่ในระดับต่ำ
2. วางตัวอย่างข้าวที่ปลายด้าน A และค่อยๆ ปรับระดับ ให้สูงขึ้น จนกระทั่งตัวอย่างไหล
3. วัดมุมที่ทำให้ตัวอย่างไหล



ภาพผนวกที่ 3 อุปกรณ์ที่ใช้วัดค่ามุมไหล (Angle of friction)

ที่มา : ดัดแปลงจาก Singh (1996)

### 12. การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความหนืด (AACC, 2000 method 61-02)

เครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว (Rapid visco analyzer, RVA 3D, Newport Scientific Instruments & Engineering, Australia)

#### วิธีการวิเคราะห์

- 3.2.1 ตัวอย่างแป้งข้าวที่ใช้ในการวิเคราะห์ต้องผ่านการบดจนมีอนุภาคขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับ 0.5 มิลลิเมตร แล้วจึงนำไปหาความชื้นตามวิธี AOAC (2000) ก่อนการวิเคราะห์
- 3.2.2 ชั่งแป้งข้าวจำนวน 3 กรัมใส่ลงในอุปกรณ์ชั่งน้ำหนัก และตวงน้ำปริมาตร 25.0 มิลลิลิตร (+ 0.1 มิลลิลิตร) ใส่ในกระป๋องสำหรับใส่ตัวอย่าง (canister) (คำนวณที่ความชื้น 12 เปอร์เซ็นต์) แต่ถ้าตัวอย่างแป้งมีความชื้นไม่เท่ากับ 12 เปอร์เซ็นต์ สามารถคำนวณปริมาณน้ำและแป้งที่ใช้ในการวิเคราะห์ตามสูตร

$$\begin{aligned} \text{สำหรับปริมาณแป้ง} \quad S &= \frac{88 \times 3.0}{100 - M} \\ \text{สำหรับปริมาณน้ำ} \quad W &= 25 + (3.0 - S) \end{aligned}$$

โดย  $S$  = น้ำหนักตัวอย่างที่ปรับค่าแล้ว  
 $W$  = น้ำหนักน้ำที่ปรับค่าแล้ว  
 $M$  = ปริมาณความชื้นที่แท้จริงของตัวอย่าง (%)

3.2.3 ใส่แป้งลงบนผิวหน้าของน้ำในถ้วยทรงกระบอก ใช้ใบพายเขย่าตัวอย่างในถ้วยทรงกระบอกขึ้นลง 10 ครั้ง แต่ถ้าแป้งยังคงอยู่บนผิวหน้าหรือติดบนใบพาย ให้เขย่าตัวอย่างซ้ำอีก

3.2.4 ใส่ใบพายในถ้วยทรงกระบอกและสวมใบพายเข้า กับที่ยึดโดยให้ใบพายอยู่กึ่งกลางถ้วย แล้วเริ่มต้นการวิเคราะห์โดยกดมอเตอร์ของเครื่องมือลง และมีสิ่งที่ต้องระวัง คืออย่าผสมแป้งกับน้ำนานกว่า 1 นาที ก่อนการวิเคราะห์ สภาวะอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ มีดังนี้

|                                  |                   |
|----------------------------------|-------------------|
| อุณหภูมิเริ่มต้น 50 องศาเซลเซียส | เวลานาน 1.00 นาที |
| อุณหภูมิ 50-95 องศาเซลเซียส      | เวลานาน 3.48 นาที |
| อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส         | เวลานาน 3.30 นาที |
| อุณหภูมิ 95-50 องศาเซลเซียส      | เวลานาน 3.48 นาที |
| อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส         | เวลานาน 3.00 นาที |
| รวมเวลา 12.30 นาที               |                   |

สำหรับความเร็วรอบเริ่มต้นที่ใช้ 960 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 วินาที แล้วจึงใช้ความเร็วรอบ 160 รอบต่อนาทีคงที่ตลอดการทดสอบ ค่าที่ได้จากเครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่าง รวดเร็ว ได้แก่

Peak time คือ เวลาที่เกิดพีคของความหนืด มีหน่วยเป็นนาที

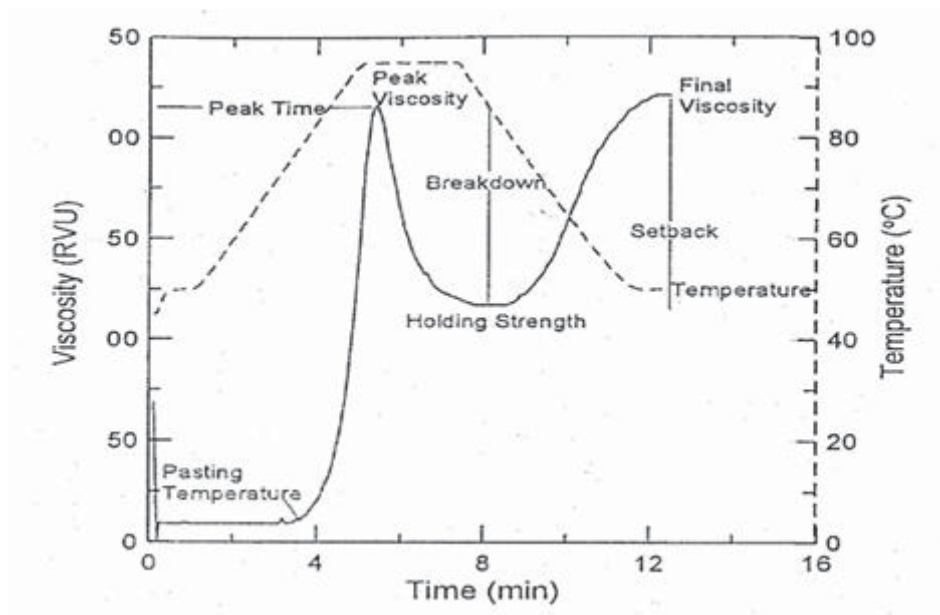
Pasting temperature คือ อุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนค่าความหนืด หรือมีค่าความหนืดเพิ่มขึ้น 2 RVU ในเวลา 20 วินาที มี หน่วยเป็นองศาเซลเซียส

Peak temperature คือ อุณหภูมิที่เกิดพีค มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส peak viscosity คือ ความหนืดสูงสุดในช่วงอุณหภูมิเริ่มต้นถึงอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส trough คือ ความหนืดที่ต่ำสุดในช่วงที่อุณหภูมิ ลดลงจาก 95-50 องศาเซลเซียส มีหน่วยเป็น RVU

Breakdown คือ ความแตกต่างของความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด มีหน่วยเป็น RVU

Final viscosity คือ ความหนืดสุดท้ายเมื่อสิ้นสุดการวัด มีหน่วยเป็น RVU และ

Setback คือ ผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด มีหน่วยเป็น RVU



ภาพผนวกที่ 4 ลักษณะกราฟที่ได้จากเครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว

## การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของข้าวสุก

เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture analyzer รุ่น TA-XT plus, ประเทศอังกฤษ)

หัววัดแบบทรงกระบอก (Cylinder plunger) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 36 มิลลิเมตร (P 36R)

### การเตรียมตัวอย่าง

1. หุงข้าวในปิกเกอร์ที่ตั้งบน hot plate ต้มให้น้ำเดือดเป็นเวลา 20 นาที
2. ยกออกจาก hot plate ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที
3. ล้างด้วยน้ำไหลผ่าน ให้เย็นเท่าอุณหภูมิห้อง
4. สะเด็ดน้ำ แล้วเก็บใส่ภาชนะ ปิดฝา

### สภาวะที่ใช้ในการทดสอบ

#### Compression mode

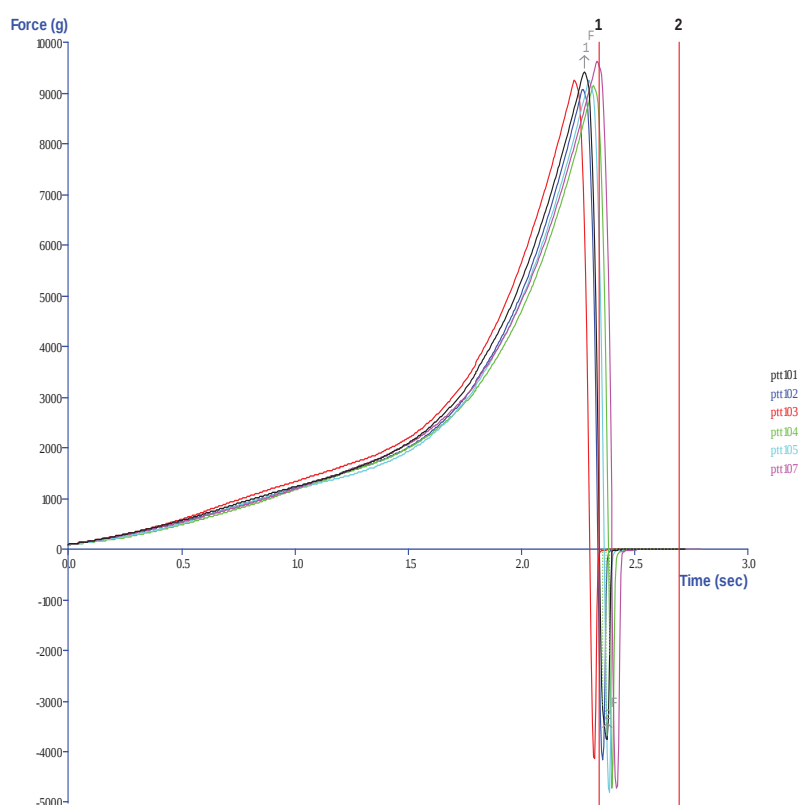
|                |              |
|----------------|--------------|
| Pre-test speed | 1.0 mm/s     |
| Test-speed     | 1.0 mm/s     |
| Post-speed     | 10.0mm/s     |
| Target         | strain       |
| Strain         | 90.00 %      |
| Trigger type   | auto (force) |
| Trigger type   | 100.0 g      |

### การวัดตัวอย่าง

1. นำตัวอย่างข้าวสุกที่เตรียมไว้มาเรียงบนฐานของเครื่อง texture analyzer
2. เรียงตัวอย่างข้าวสุกจำนวน 7 เมล็ด
3. ทำการวัดตัวอย่างจำนวน 7 ครั้ง เลือกมาเฉลี่ย 5 ครั้ง



ภาพผนวกที่ 5 สาริตถ์การวัดเนื้อสัมผัสของตัวอย่างข้าวสุก



ภาพผนวกที่ 6 ตัวอย่างกราฟที่ได้จากการวัดเนื้อสัมผัสข้าวสุก

ภาคผนวก ค.

การวิเคราะห์สมบัติทางวิศวกรรม

## เครื่องวัดสมบัติไดอิเล็กตริก (Pueschner Co. Ltd.)

### การ Calibrate

1. ต่อสาย cable ที่หัว sensor
2. เปิดโปรแกรมและเปิดสวิตช์เครื่อง
3. คลิกปุ่ม calibration แล้วคลิก perform calibration
4. จะมีหน้าต่างขึ้นมามากให้ calibrate หัว 1
5. นำสาย cable อีกด้านหนึ่งใส่ที่หัว 1 แล้วคลิก ok
6. โปรแกรมจะทำงาน ซึ่งหลัง calibrate จะได้กราฟ Smith chart เป็นวงกลมที่มีเส้นกราฟต่อเนื่อง
7. เมื่อโปรแกรมทำงานเสร็จ จะแสดงหน้าต่างขึ้นมามากให้ calibrate หัว 2
8. ถอดสาย cable จากหัว 1 ไปใส่ที่หัว 2 แล้วคลิก ok
9. ทำเช่นนี้ไปจนครบ 5 หัว
10. นำสาย cable ไปต่อที่หัววัด แล้วคลิก start ปล่อยให้โปรแกรมทำงานจนได้ค่า dielectric constant ของอากาศเท่ากับ 1
11. จากนั้นนำพลาสติกที่เป็นตัวสำหรับ calibrate มาใส่ลงที่หัววัดด้านบนเบาๆ ให้โปรแกรมทำงานจนได้ค่า Dielectric constant ของพลาสติกนั้นใกล้เคียงกับค่าจริง
12. คลิก stop

### การเตรียมตัวอย่าง

1. ใส่ข้าวที่ต้องการวัดลงในภาชนะพลาสติกทรงกระบอก ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4.8 cm และสูง 5.9 cm กดข้าวให้แน่นเพื่อให้มีอากาศในภาชนะน้อยที่สุด และใส่ข้าวให้เต็มภาชนะนั้น
2. ปิดฝาตัวอย่างเพื่อรววัดค่า

### การวัดค่า

1. เปิดฝาภาชนะที่ใส่ข้าว
2. นำหัววัดด้านที่ปล่อยคลื่นไมโครเวฟวางลงบนพื้นผิวข้าว
3. คลิก start ให้โปรแกรมทำงานจนได้ค่า Resonant frequency, Quality factor, Dielectric constant และ Loss factor ค่อนข้างคงที่ และได้กราฟ Smith chart เป็นวงกลมที่มีเส้นกราฟต่อเนื่อง
4. คลิก stop
5. บันทึกค่า Resonant frequency, Quality factor, Dielectric constant และ Loss factor
6. วัดตัวอย่างละ 5 ครั้ง โดยเปลี่ยนตำแหน่งในการวัดได้เล็กน้อย



ภาพผนวกที่ 7 สาธิตการวัดค่า Dielectric properties ของข้าว

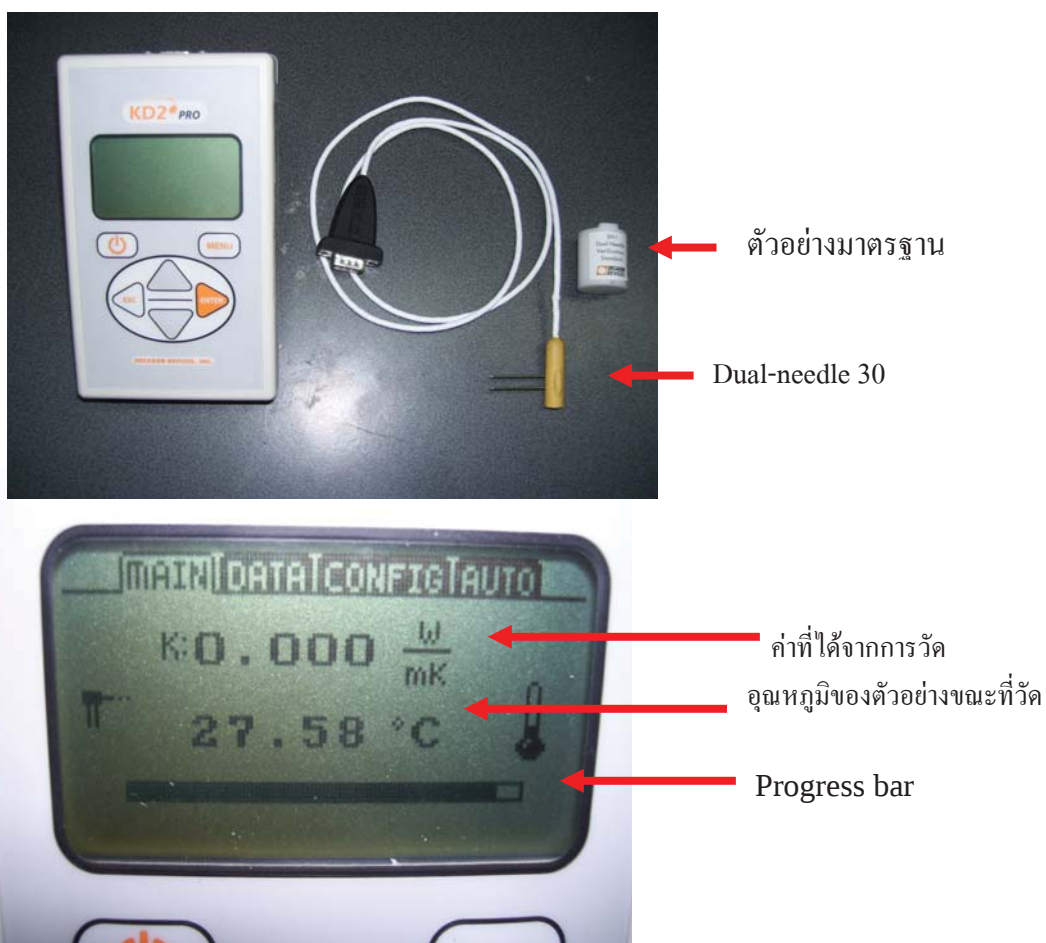
### เครื่องวัดคุณสมบัติทางความร้อน (Decagon Co. Ltd.)

KD 2 Pro Thermal Analyzer

KD 2 Pro Utility software v. 1.05

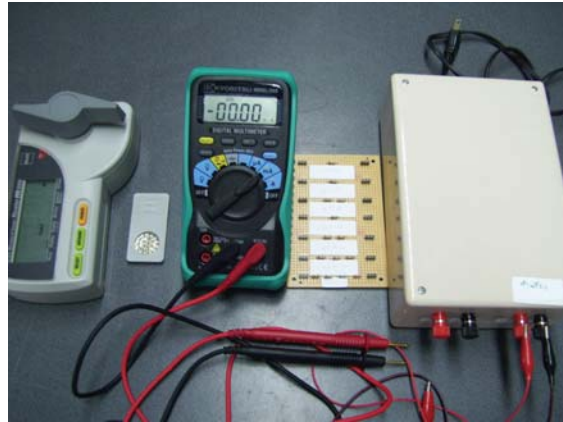
#### วิธีการ Calibrate

1. ต่อสายวัด dual-needle 30 mm (SH-1) เข้ากับตัวเครื่อง
2. เปิดเครื่อง
3. เสียบหัววัดกับ dual-needle verification standard
4. กด enter รอจนเสร็จ โดยสังเกตจากแถบ Progress bar ด้านล่าง ของจอ
5. นำหัววัดไปวัดกับตัวอย่างที่ต้องการ โดยต้องให้หัววัดอยู่ในตัวอย่างตลอดเวลาที่ทำการวัด
6. ทำการโหลดข้อมูลที่ได้ โดยใช้โปรแกรม KD 2 Pro Utility software v. 1.05

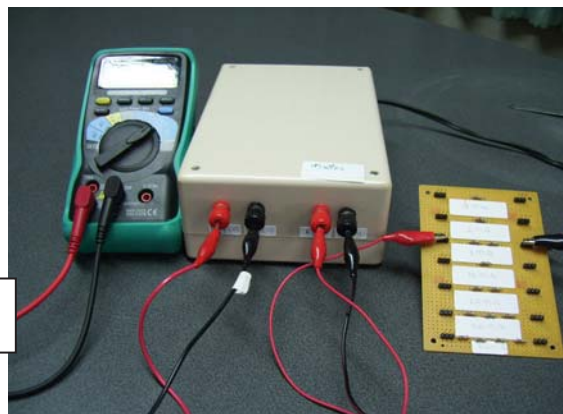


ภาพผนวกที่ 8 เครื่อง KD 2 Pro Thermal Analyzer

## เครื่องวัดความต้านทานไฟฟ้า



อุปกรณ์ต่าง ๆ สำหรับวัดค่าการต้านทานได้แก่ เครื่องวัดความชื้น เครื่องมัลติมิเตอร์ ตัวต้านทาน (รีซิสเตอร์)  
1 2 4 10 20 30 40 เมกกะโอห์ม ตามลำดับ



ต่อสายจากมัลติมิเตอร์ เข้ากับหม้อแปลง ต่อสายอีกชุดเข้ากับตัวต้านทาน  
ทำการ Calibrate จนครบทั้ง 7 ค่า

|    | B        | I       | J       | S               | T | U |
|----|----------|---------|---------|-----------------|---|---|
| 1  | VCC=     | Expect  | Measure |                 |   |   |
| 2  | R (Mohm) | Ic (mA) | Ic (mA) | R(Mohm) measure |   |   |
| 3  | 1.0      | 8.600   | 6.200   |                 |   |   |
| 4  | 2.0      | 4.200   | 3.480   |                 |   |   |
| 5  | 4.0      | 1.980   | 4.000   |                 |   |   |
| 6  | 10.0     | 0.760   | 0.750   |                 |   |   |
| 7  | 20.0     | 0.380   | 0.380   |                 |   |   |
| 8  | 30.0     | 0.250   | 0.240   |                 |   |   |
| 9  | 40.0     | 0.180   | 6.000   |                 |   |   |
| 10 |          |         | 2.250   | 18.63           |   |   |
| 11 |          |         |         |                 |   |   |
| 12 |          |         |         |                 |   |   |
| 13 |          |         |         |                 |   |   |

นำค่าที่ได้อ่านจาก มัลติมิเตอร์ (อ่านค่าจากโหมด mA) จากการ calibrate มาใช้ในช่องสี่เหลี่ยม ตามลำดับของการคำนวณ



ทำการถอดแผงวงจรของเครื่อง Grain moisture tester ออก



ต่อสายเข้ากับขั้วของเครื่อง Grain moisture tester



ใส่ตัวอย่างในที่ใส่ตัวอย่าง ของเครื่อง grain moisture tester อ่านค่าจากมัลติมิเตอร์ (ใน โหมด mA)

Microsoft Excel - RICE METER2

|    | B        | I       | J       | S               | T |
|----|----------|---------|---------|-----------------|---|
| 1  | VCC=     | Expect  | Measure |                 |   |
| 2  | R (Mohm) | Ic (mA) | Ic (mA) | R(Mohm) measure |   |
| 3  | 1.0      | 8.600   | 6.200   |                 |   |
| 4  | 2.0      | 4.200   | 3.480   |                 |   |
| 5  | 4.0      | 1.980   | 4.000   |                 |   |
| 6  | 10.0     | 0.760   | 0.750   |                 |   |
| 7  | 20.0     | 0.380   | 0.380   |                 |   |
| 8  | 30.0     | 0.250   | 0.240   |                 |   |
| 9  | 40.0     | 0.180   | 6.000   |                 |   |
| 10 |          |         | 2.250   | 18.63           |   |

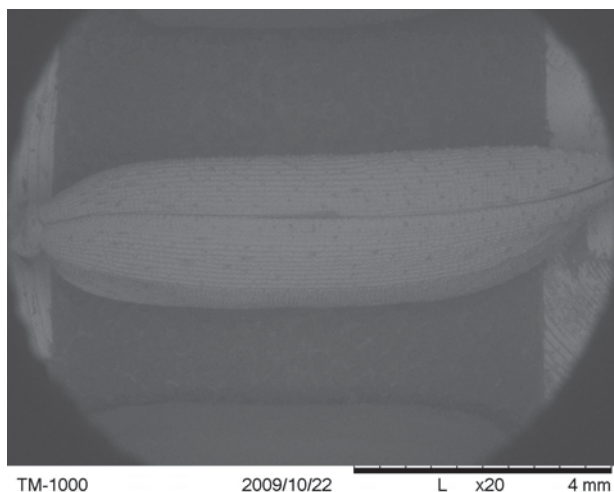
NUM 5:35 PM

นำค่าที่อ่านได้จากมัลติมิเตอร์ ใส่ในช่องกรอบสีน้ำเงิน อ่านค่าที่ได้จากการคำนวณ ในช่อง R (Mohm) measure

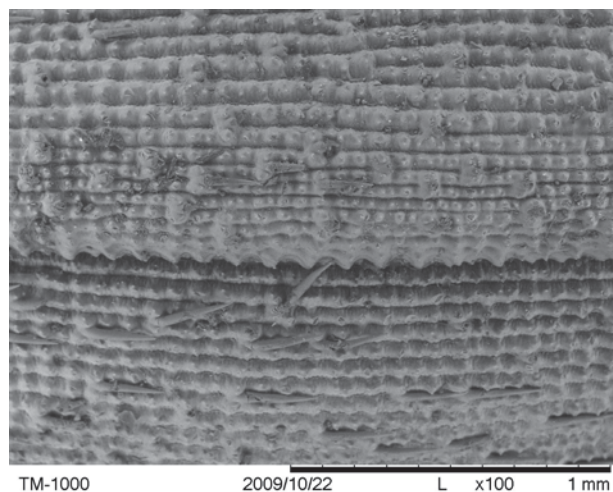
ภาพผนวกที่ 9 สาธิตการวัดค่าการต้านทานไฟฟ้า

ภาคผนวก ง.

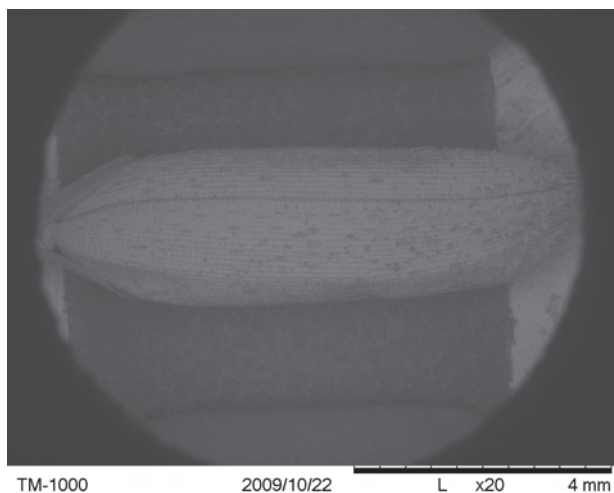
ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด



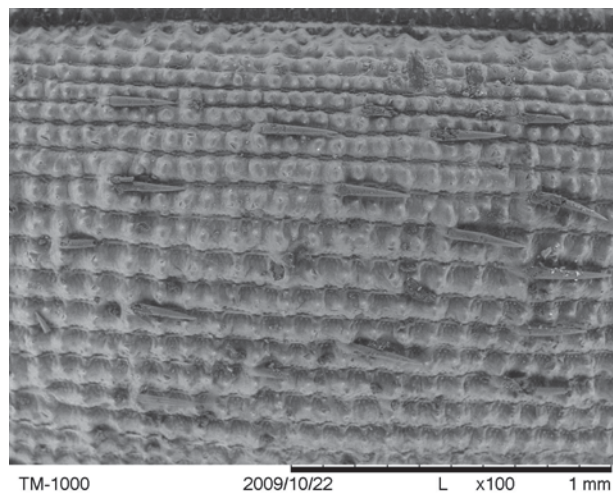
ภาพผนวกที่ 10 ข้าวเปลือกสันป่าตอง 1  
กำลังขยาย 20X



ภาพผนวกที่ 11 ข้าวเปลือกสันป่าตองกำลังขยาย  
100X



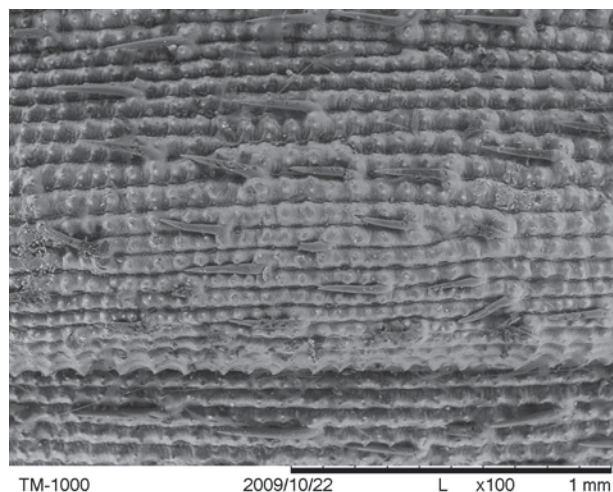
ภาพผนวกที่ 12 ข้าวเปลือกกข 10 กำลังขยาย  
20X



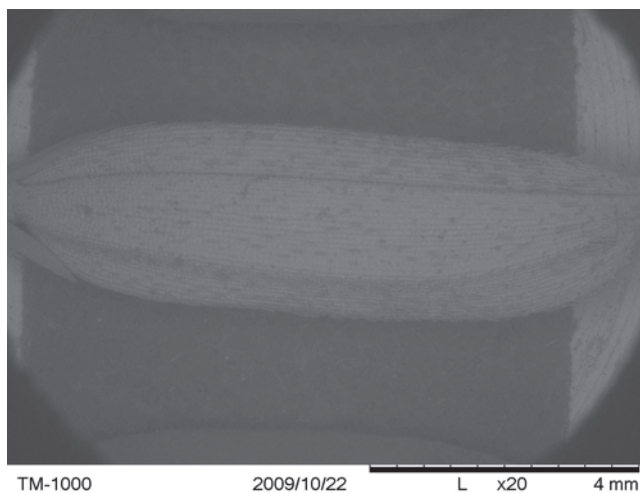
ภาพผนวกที่ 13 ข้าวเปลือกกข 10 กำลังขยาย  
100X



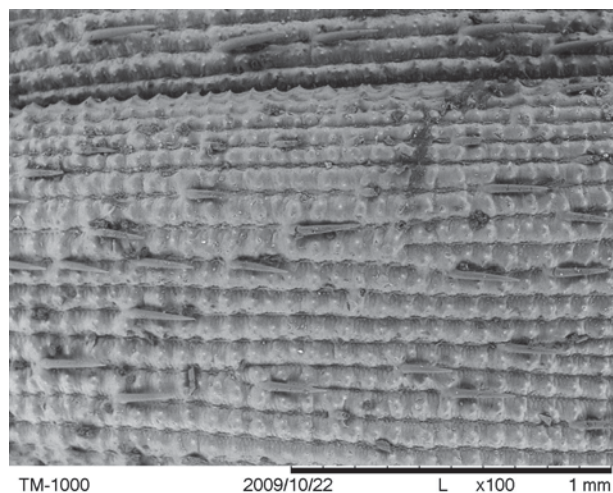
ภาพผนวกที่ 14 ข้าวเปลือกกข 8 กำลังขยาย 20X



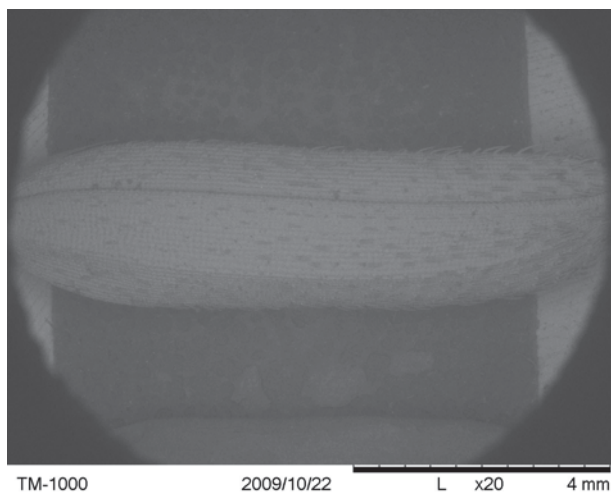
ภาพผนวกที่ 15 ข้าวเปลือกกข 8 กำลังขยาย 100X



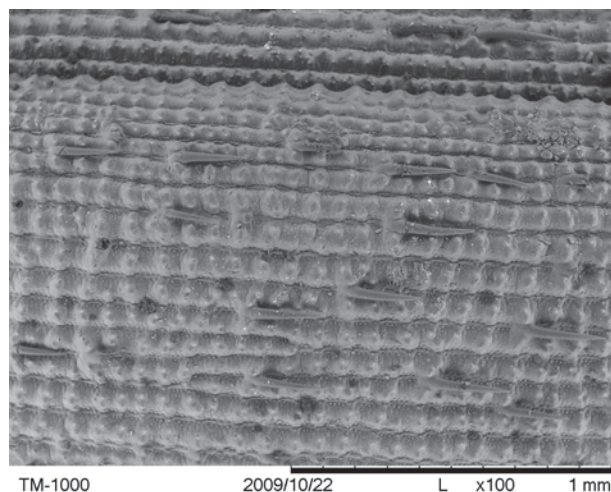
ภาพผนวกที่ 16 ข้าวเปลือกเหนียวสันป่าตอง  
กำลังขยาย 20X



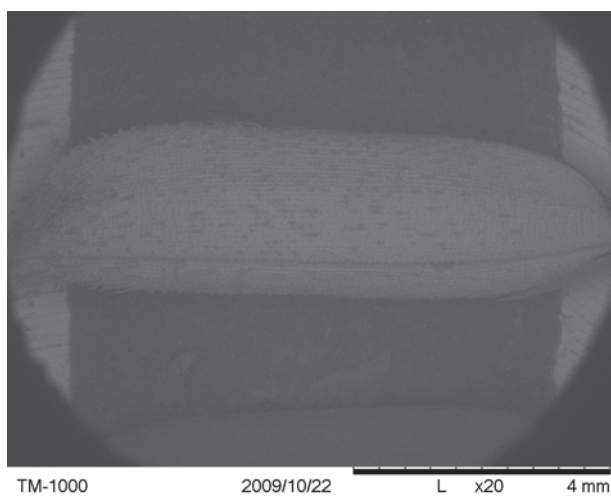
ภาพผนวกที่ 17 ข้าวเปลือกเหนียวสันป่าตอง  
กำลังขยาย 100X



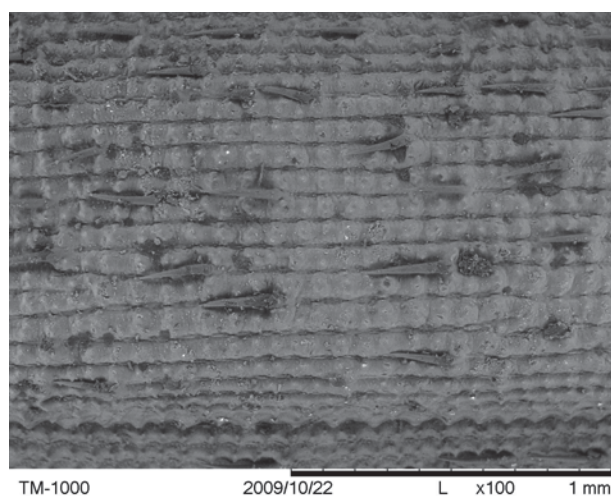
ภาพผนวกที่ 18 ข้าวเปลือกสกนกร  
กำลังขยาย 20X



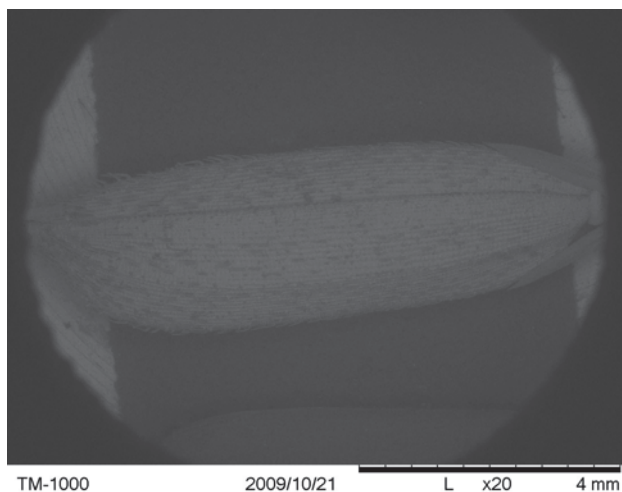
ภาพผนวกที่ 19 ข้าวเปลือกสกนกร กำลังขยาย  
100X



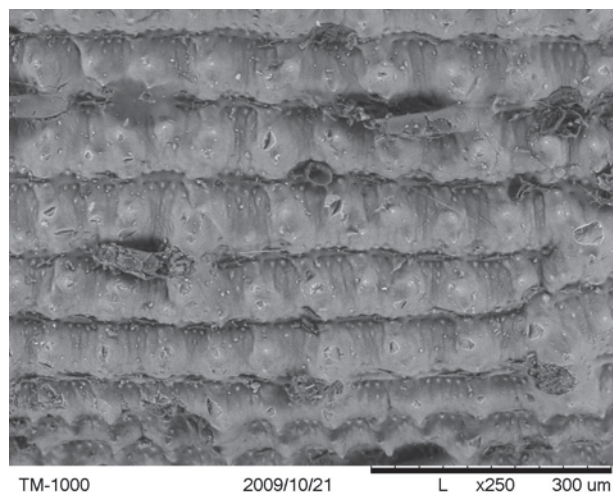
ภาพผนวกที่ 20 ข้าวเปลือกหางยี่ 71 กำลังขยาย  
20X



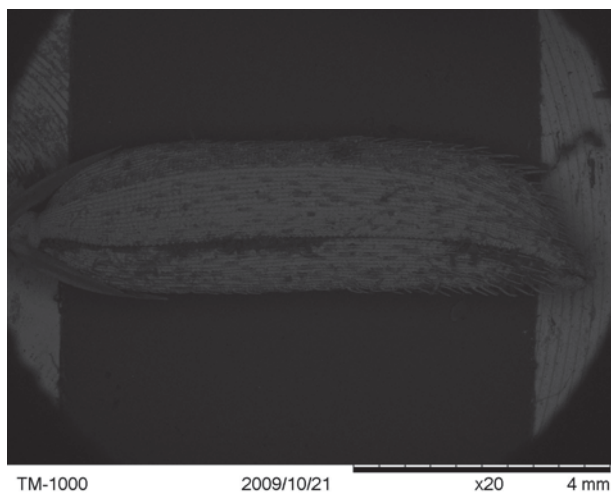
ภาพผนวกที่ 21 ข้าวเปลือกหางยี่ 71 กำลังขยาย  
100X



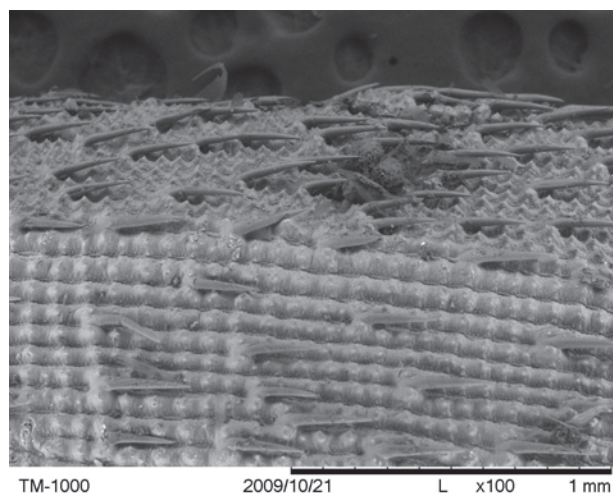
ภาพผนวกที่ 22 ข้าวเปลือกกกข 6 กำลังขยาย 20X



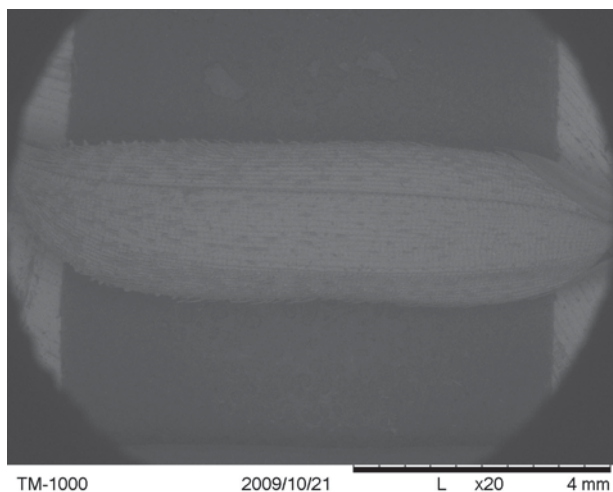
ภาพผนวกที่ 23 ข้าวเปลือกกกข 6 กำลังขยาย 100X



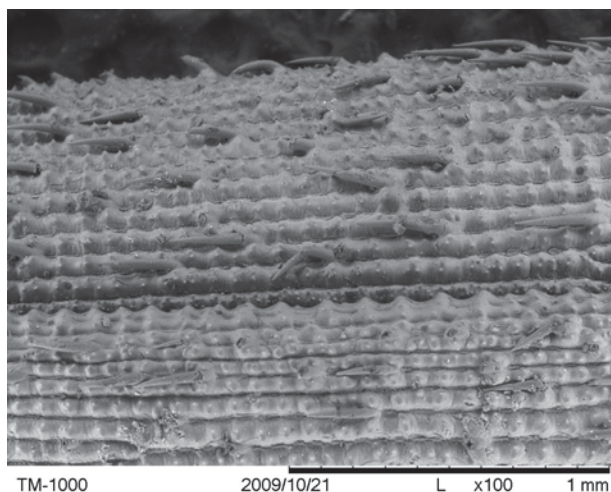
ภาพผนวกที่ 24 ข้าวเปลือกเหนียวอุบลราชธานี 2 กำลังขยาย 20X



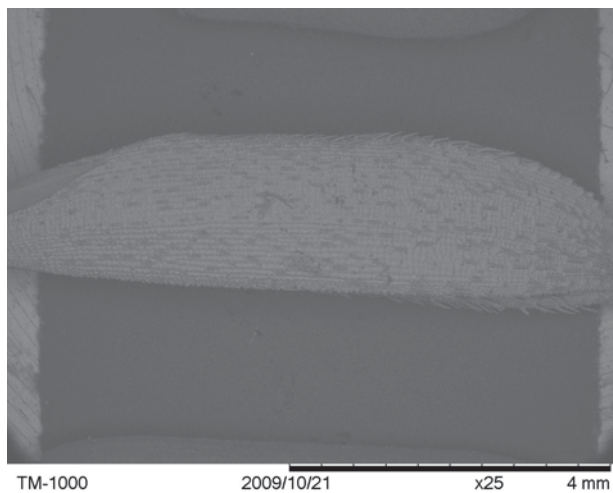
ภาพผนวกที่ 25 ข้าวเปลือกเหนียวอุบลราชธานี 2 กำลังขยาย 100X



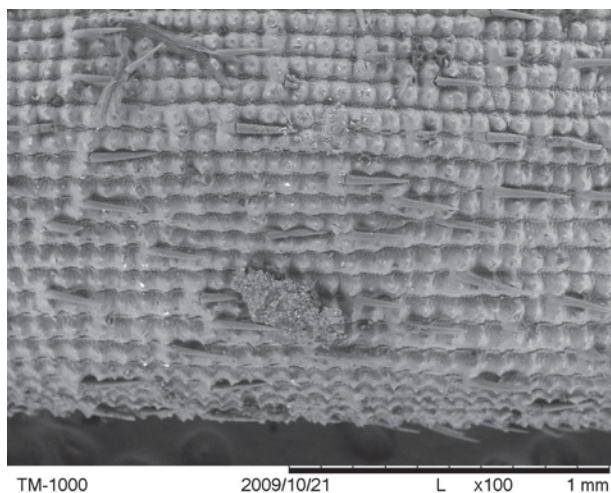
ภาพผนวกที่ 26 ข้าวเปลือกกข 15 กำลังขยาย  
20X



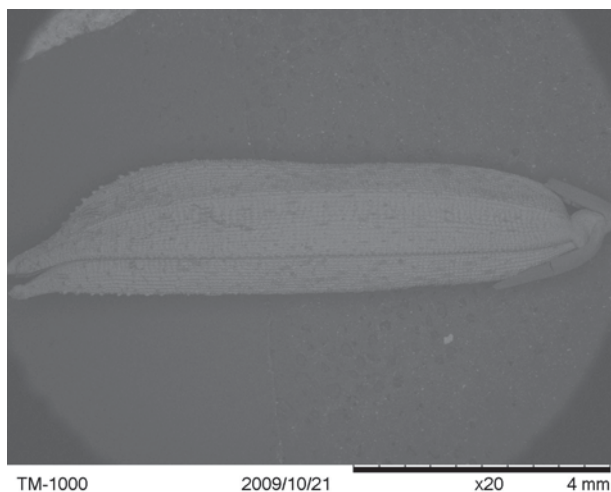
ภาพผนวกที่ 27 ข้าวเปลือกกข 15 กำลังขยาย  
100X



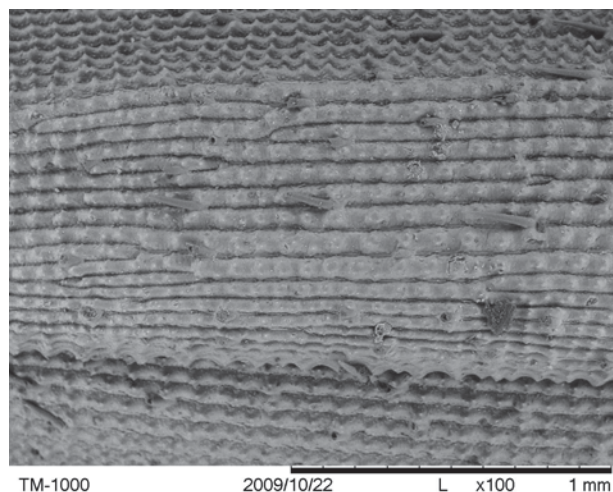
ภาพผนวกที่ 28 ข้าวเปลือกขาวดอกมะลิ 105  
กำลังขยาย 20X



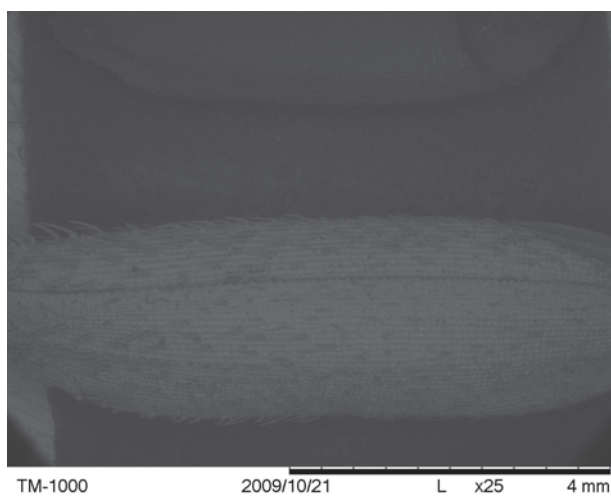
ภาพผนวกที่ 29 ข้าวเปลือกขาวดอกมะลิ 105  
กำลังขยาย 100X



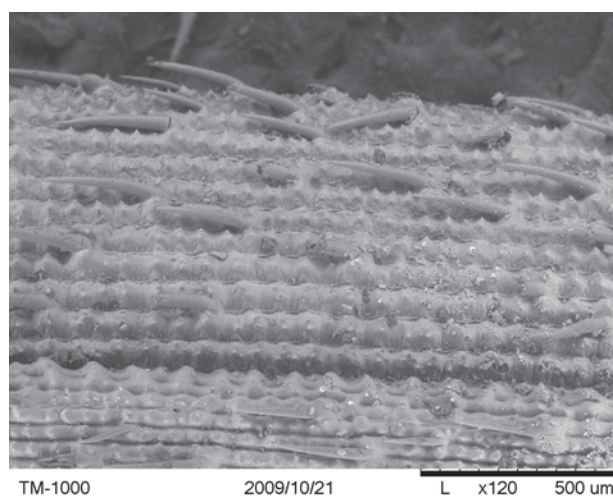
ภาพผนวกที่ 30 ข้าวเปลือกสังข์หยดพัทลุง  
กำลังขยาย 20X



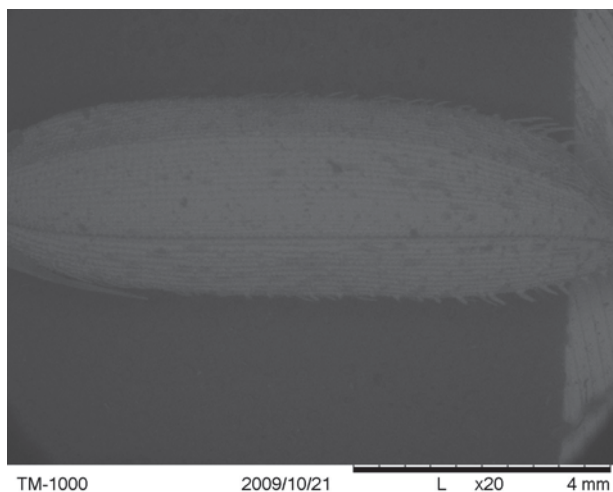
ภาพผนวกที่ 31 ข้าวเปลือกสังข์หยดพัทลุง  
กำลังขยาย 100X



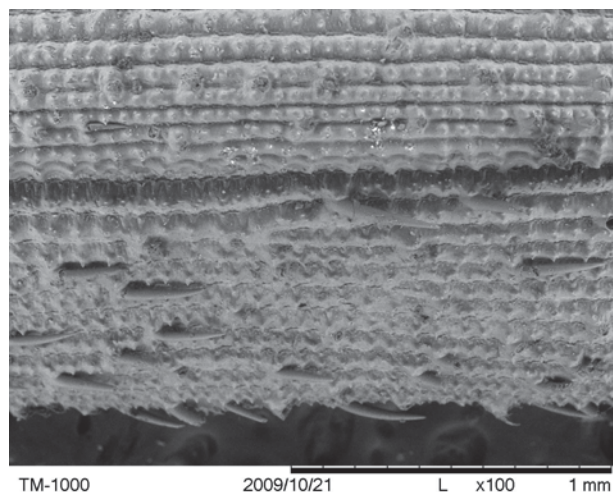
ภาพผนวกที่ 32 ข้าวเปลือกปทุมธานี 1  
กำลังขยาย 20X



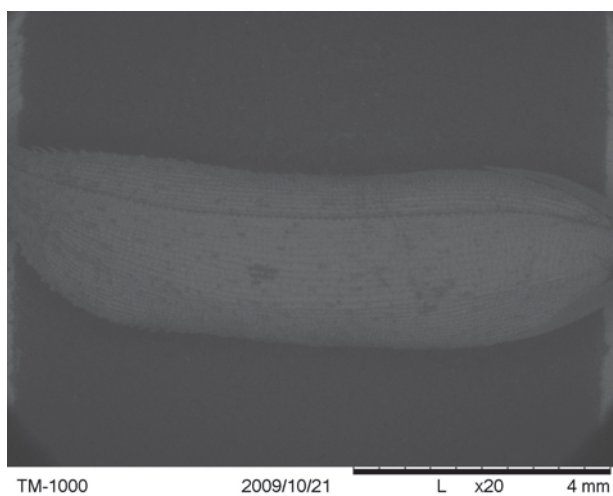
ภาพผนวกที่ 33 ข้าวเปลือกปทุมธานี 1  
กำลังขยาย 100X



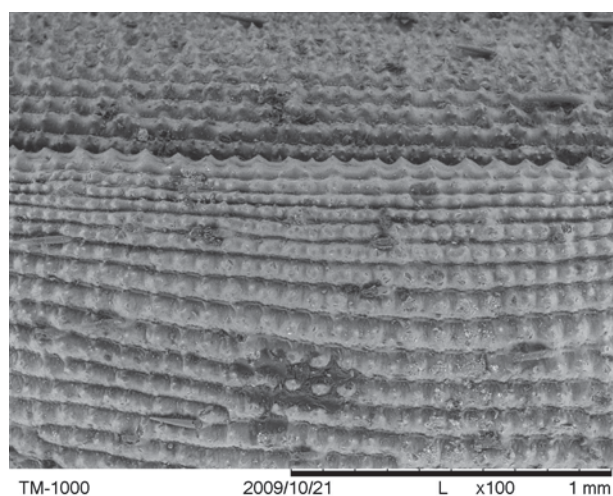
ภาพผนวกที่ 34 ข้าวเปลือกกข 21 กำลังขยาย  
20X



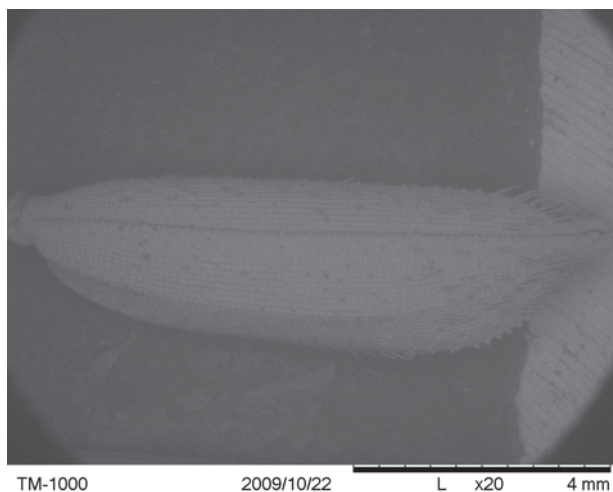
ภาพผนวกที่ 35 ข้าวเปลือกกข 21 กำลังขยาย  
100X



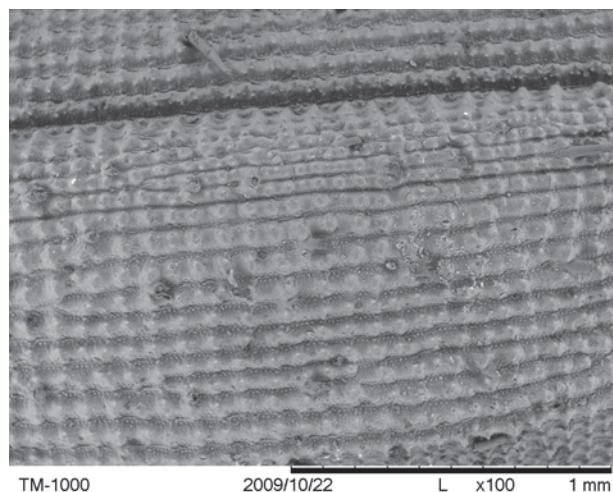
ภาพผนวกที่ 36 ข้าวเปลือกสุพรรณบุรี 2  
กำลังขยาย 20X



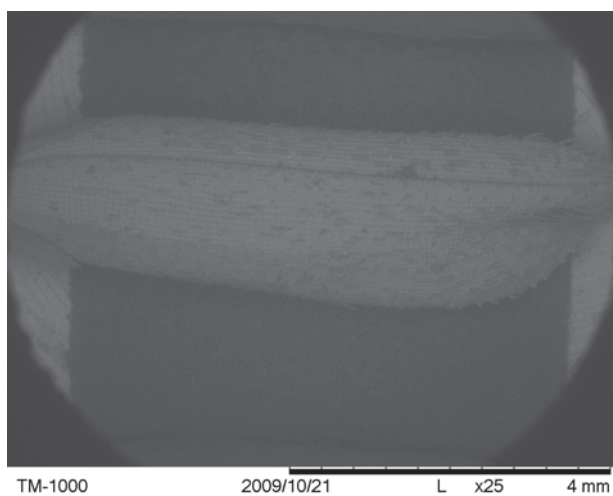
ภาพผนวกที่ 37 ข้าวเปลือกสุพรรณบุรี 2  
กำลังขยาย 100X



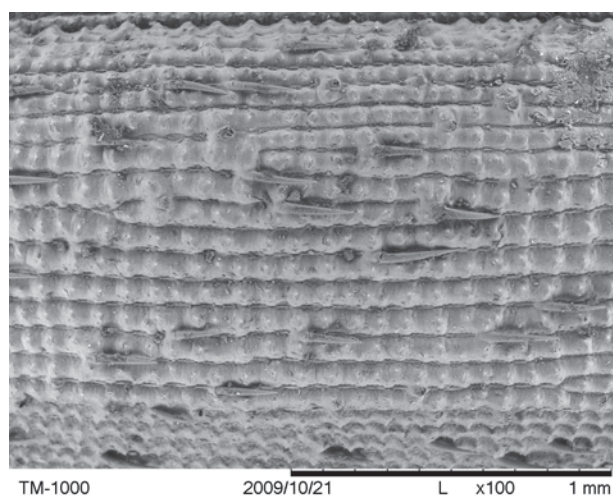
ภาพผนวกที่ 38 ข้าวเปลือกเล็บนกปัตตานี  
กำลังขยาย 20X



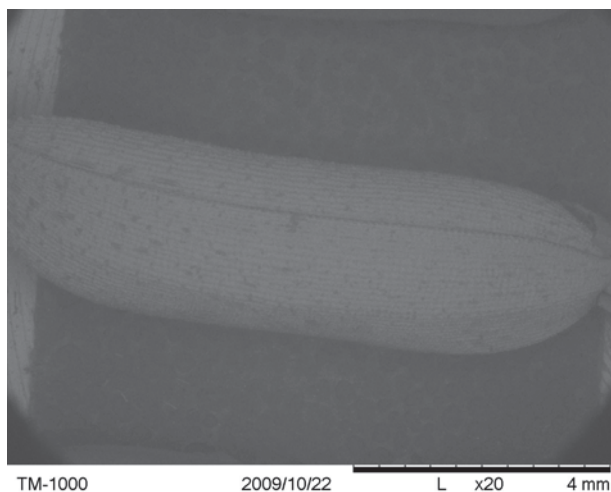
ภาพผนวกที่ 39 ข้าวเปลือกเล็บนกปัตตานี  
กำลังขยาย 20X



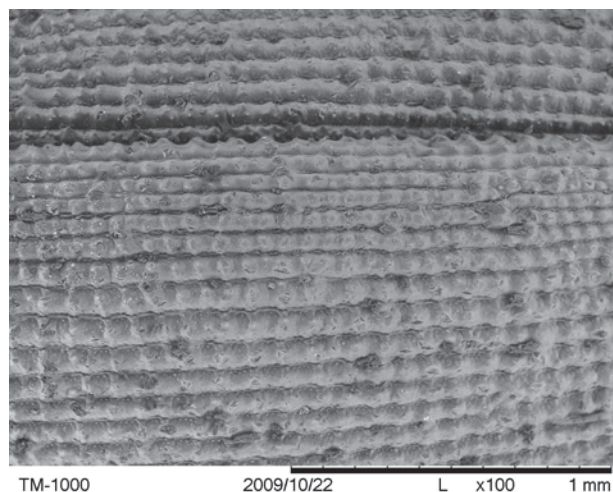
ภาพผนวกที่ 40 ข้าวเปลือกอยุธยา 1 กำลังขยาย  
20X



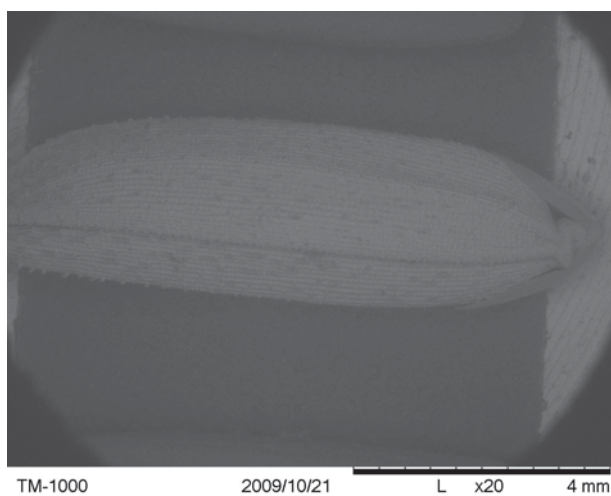
ภาพผนวกที่ 41 ข้าวเปลือกอยุธยา 1 กำลังขยาย  
100X



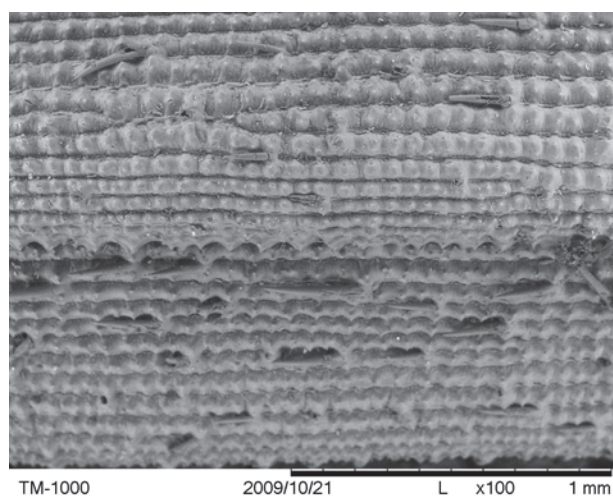
ภาพผนวกที่ 42 ข้าวเปลือกสุพรรณบุรี 60  
กำลังขยาย 20X



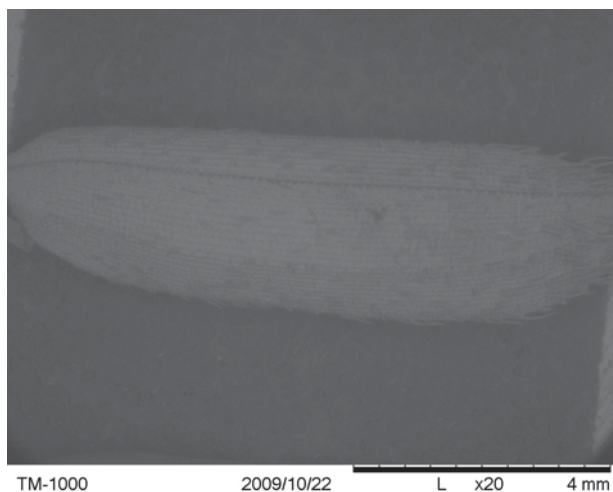
ภาพผนวกที่ 43 ข้าวเปลือกสุพรรณบุรี 60  
กำลังขยาย 100X



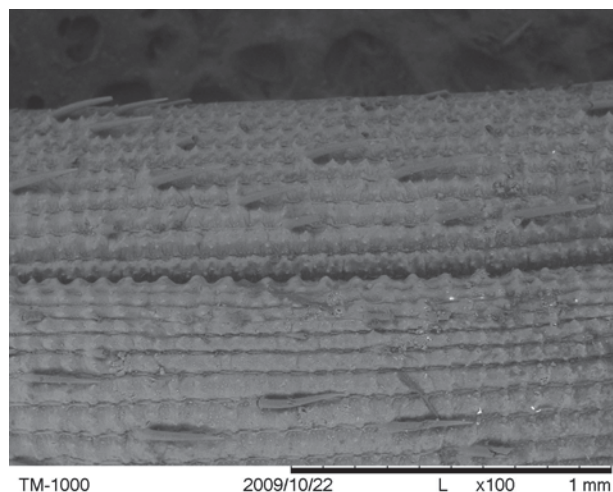
ภาพผนวกที่ 44 ข้าวเปลือกพิษณุโลก 3  
กำลังขยาย 20X



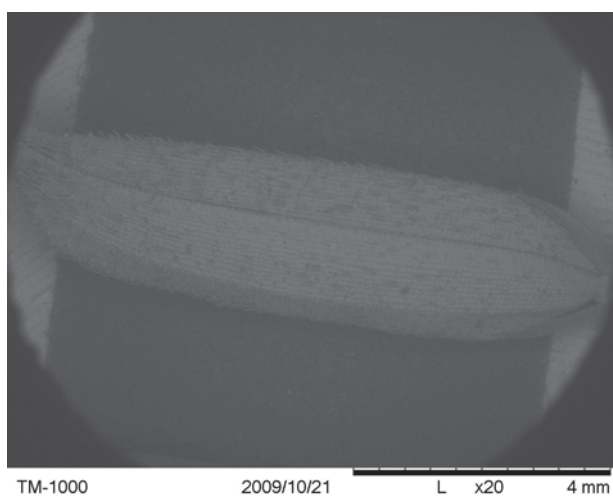
ภาพผนวกที่ 45 ข้าวเปลือกพิษณุโลก 3  
กำลังขยาย 100X



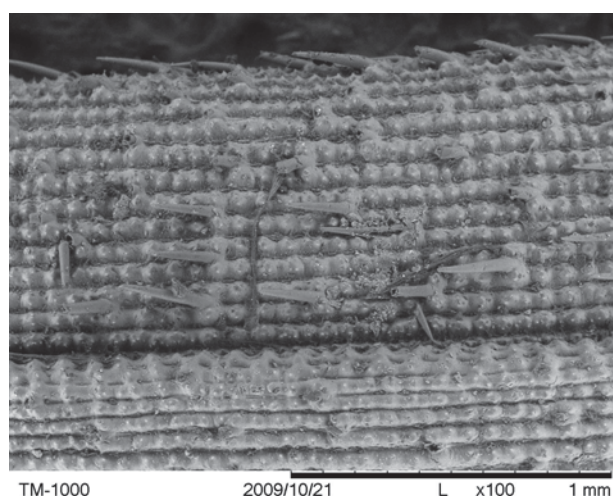
ภาพผนวกที่ 46 ข้าวเปลือกเหนียวพัทลุง  
กำลังขยาย 20X



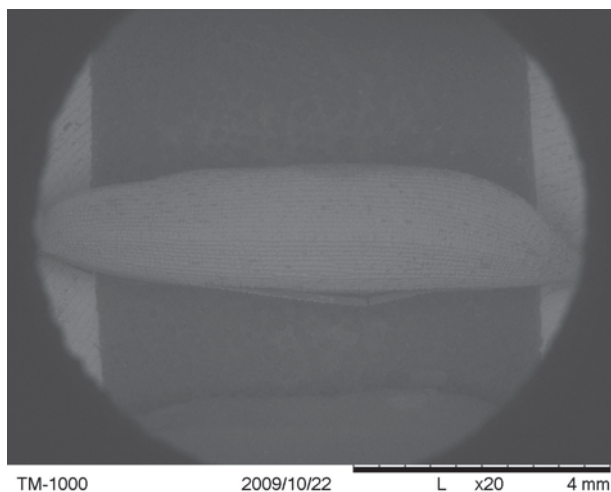
ภาพผนวกที่ 47 ข้าวเปลือกเหนียวพัทลุง  
กำลังขยาย 100X



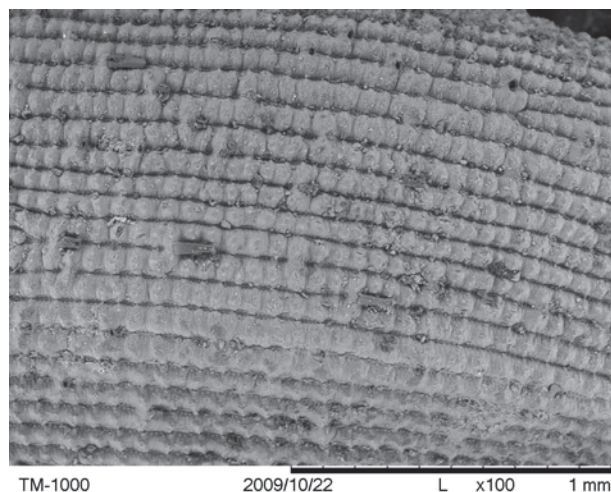
ภาพผนวกที่ 48 ข้าวเปลือกพิษณุโลก 2  
กำลังขยาย 20X



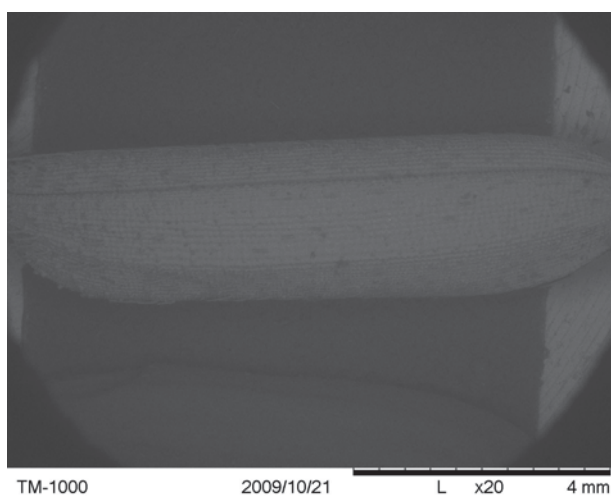
ภาพผนวกที่ 49 ข้าวเปลือกพิษณุโลก 2  
กำลังขยาย 100X



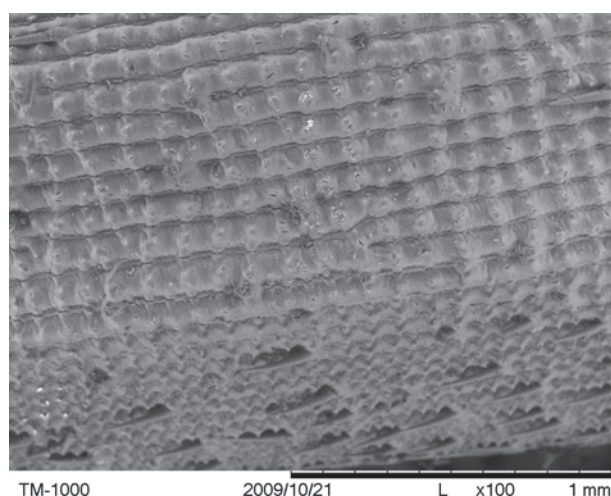
ภาพผนวกที่ 50 ข้าวเปลือกเหลืองประทิว 123  
กำลังขยาย 20X



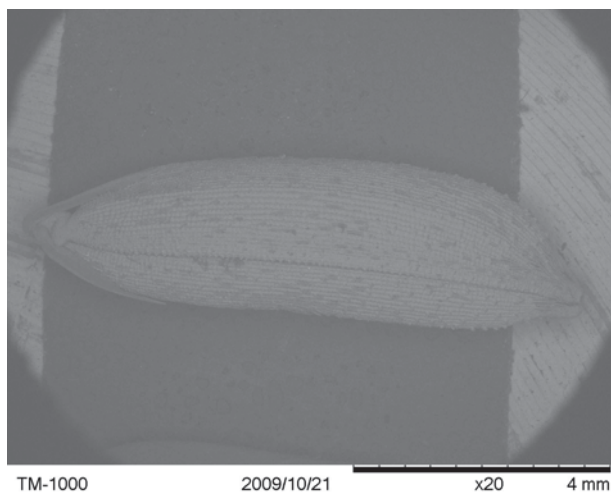
ภาพผนวกที่ 51 ข้าวเปลือกเหลืองประทิว 123  
กำลังขยาย 100X



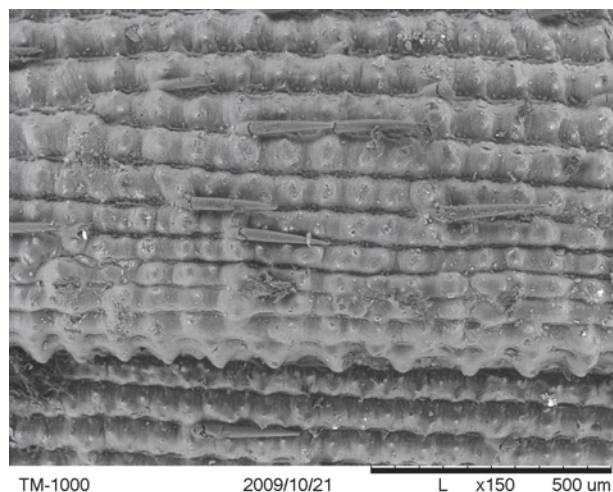
ภาพผนวกที่ 52 ข้าวเปลือกชัยนาท 1 กำลังขยาย  
20X



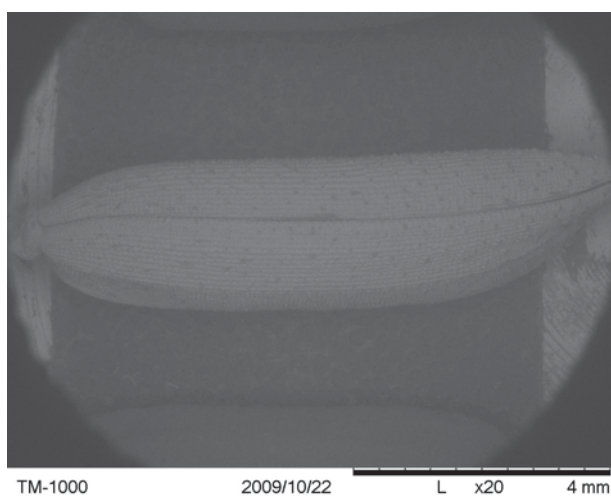
ภาพผนวกที่ 53 ข้าวเปลือกชัยนาท 1 กำลังขยาย  
100X



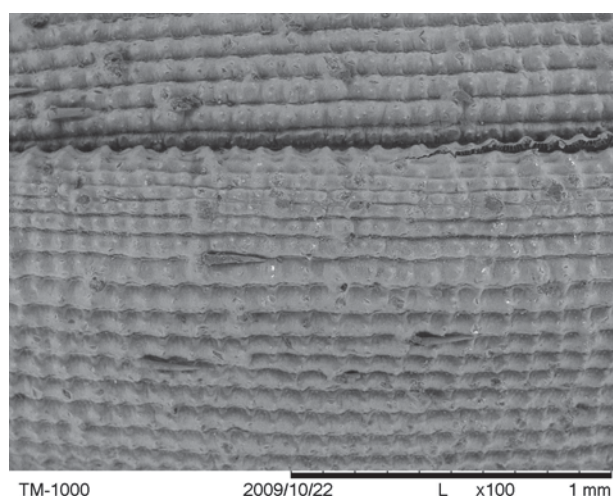
ภาพผนวกที่ 54 ข้าวเปลือกปราจีนบุรี 2  
กำลังขยาย 20X



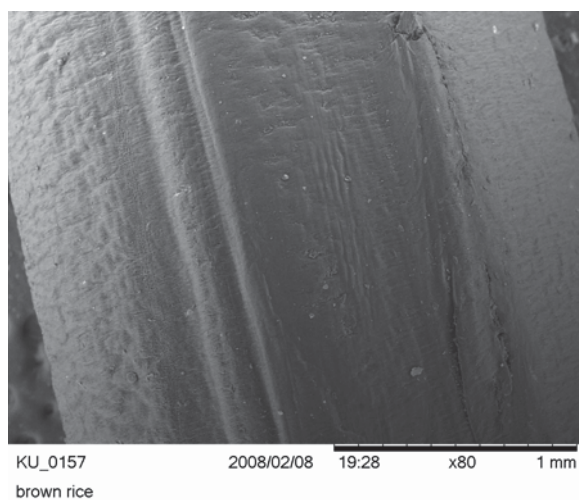
ภาพผนวกที่ 55 ข้าวเปลือกปราจีนบุรี 2  
กำลังขยาย 100X



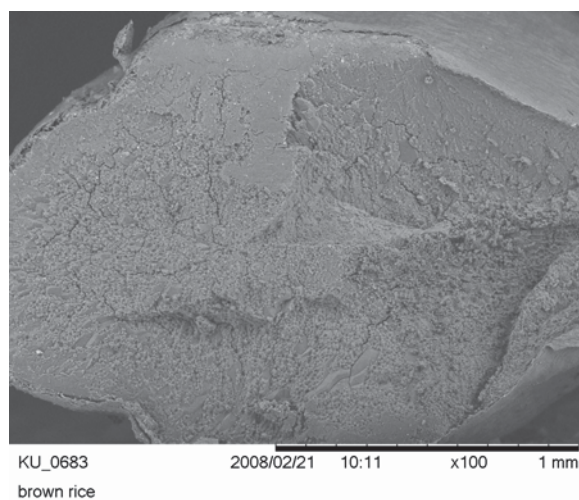
ภาพผนวกที่ 56 ข้าวเปลือกสุพรรณบุรี 1  
กำลังขยาย 20X



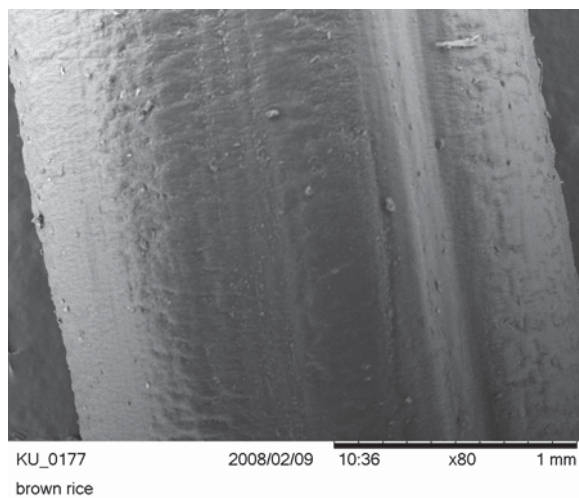
ภาพผนวกที่ 57 ข้าวเปลือกสุพรรณบุรี 1  
กำลังขยาย 100X



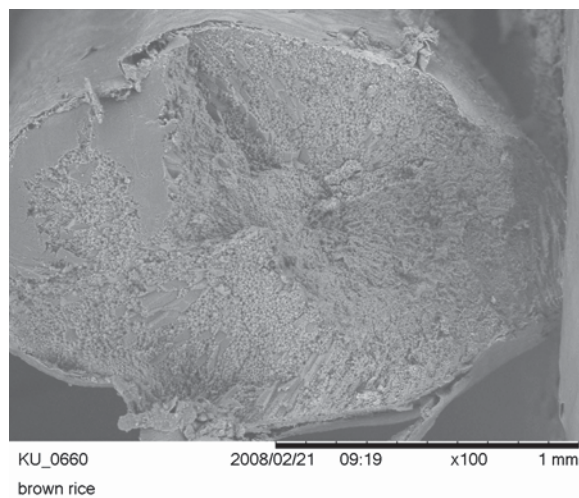
ภาพผนวกที่ 58 ข้าวกล้องสันป่าตอง 1  
กำลังขยาย 80X



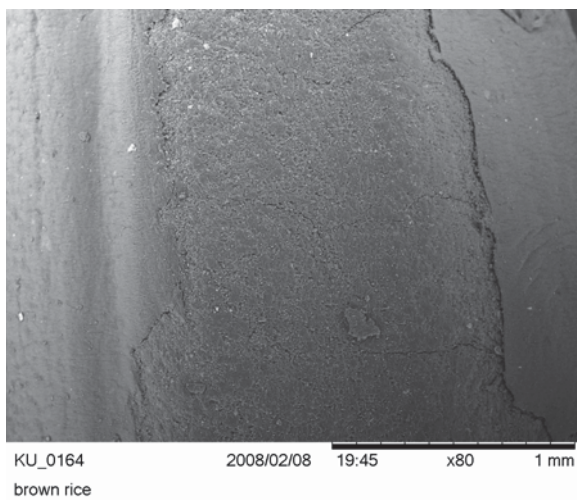
ภาพผนวกที่ 59 ข้าวกล้องสันป่าตอง 1  
กำลังขยาย 100X



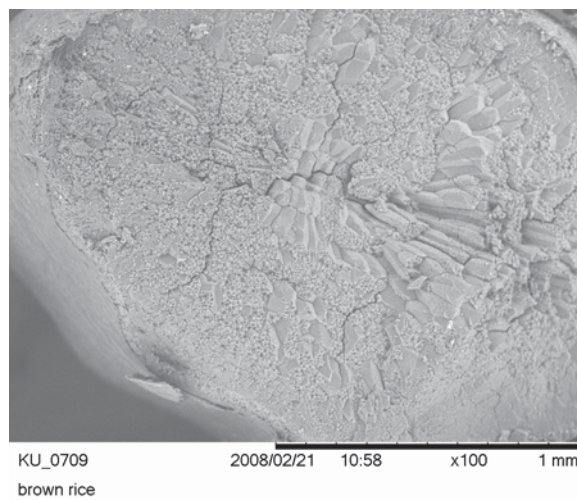
ภาพผนวกที่ 60 ข้าวกล้องกง 10 กำลังขยาย 80X



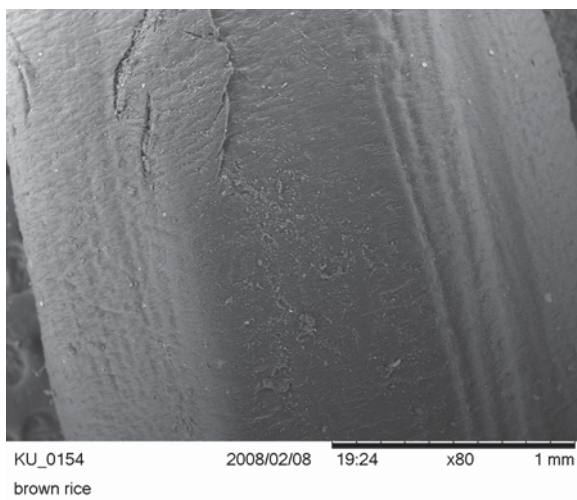
ภาพผนวกที่ 61 ข้าวกล้องกง 10 กำลังขยาย  
100X



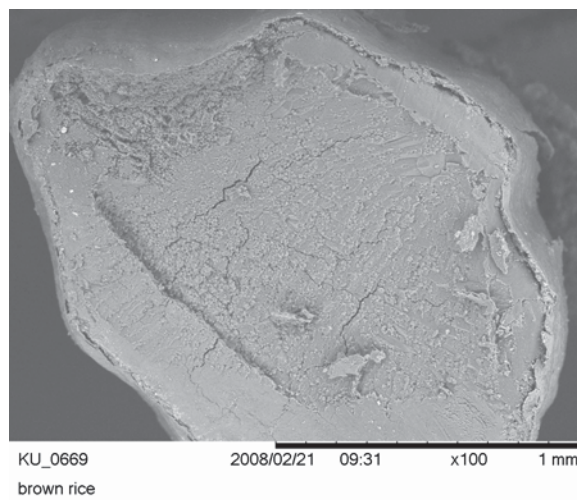
ภาพผนวกที่ 62 ข้าวกล้อง กข 8 กำลังขยาย 80X



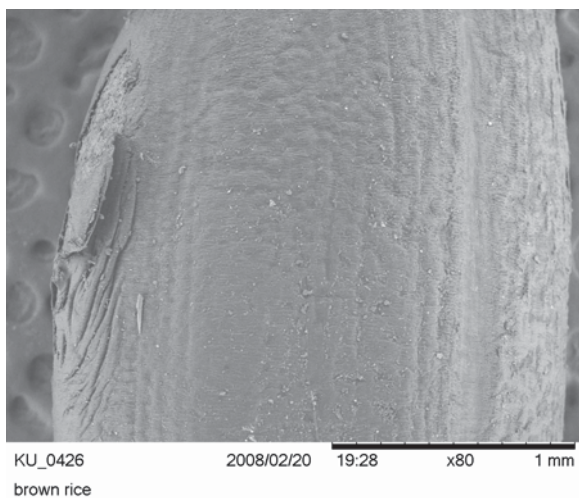
ภาพผนวกที่ 63 ข้าวกล้อง กข 8 กำลังขยาย 100X



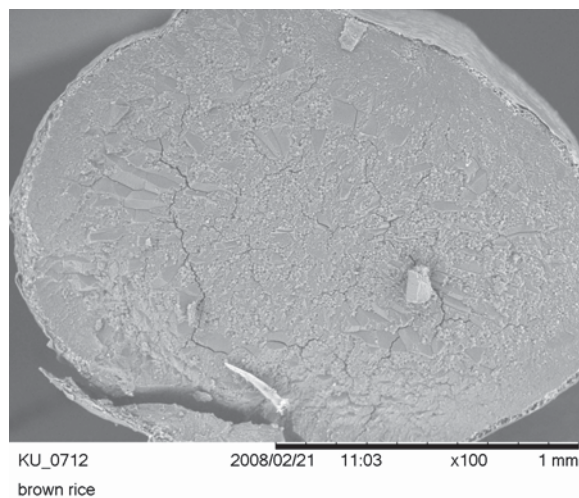
ภาพผนวกที่ 64 ข้าวกล้องเหนียวสันป่าตอง กำลังขยาย 80X



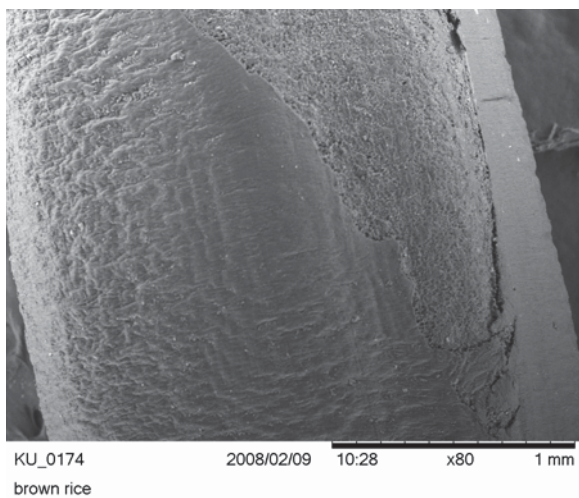
ภาพผนวกที่ 65 ข้าวกล้องเหนียวสันป่าตอง กำลังขยาย 100X



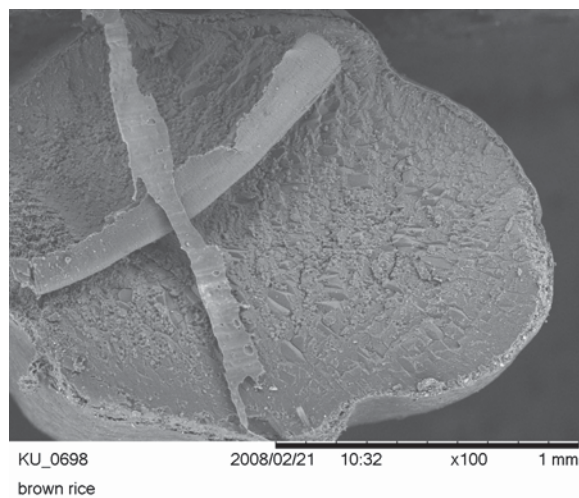
ภาพผนวกที่ 66 ข้าวกล้องสกลนคร กำลังขยาย  
80X



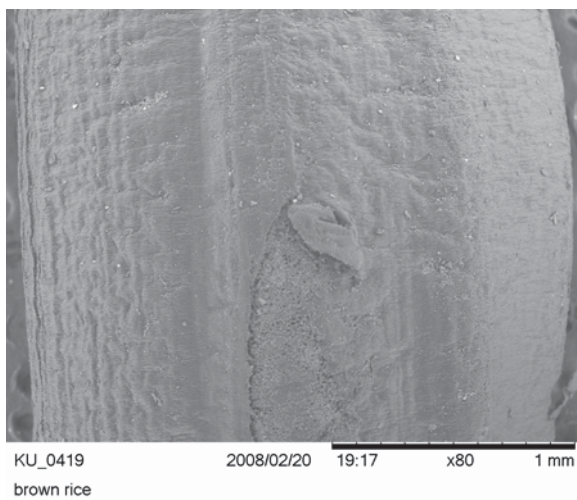
ภาพผนวกที่ 67 ข้าวกล้องสกลนคร กำลังขยาย  
100X



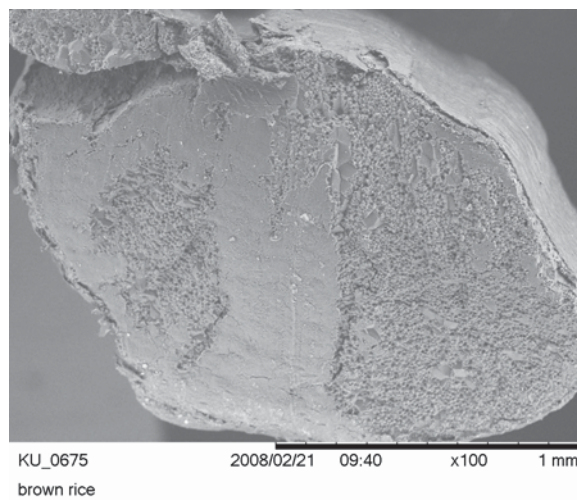
ภาพผนวกที่ 68 ข้าวกล้องหางยี 71 กำลังขยาย  
80X



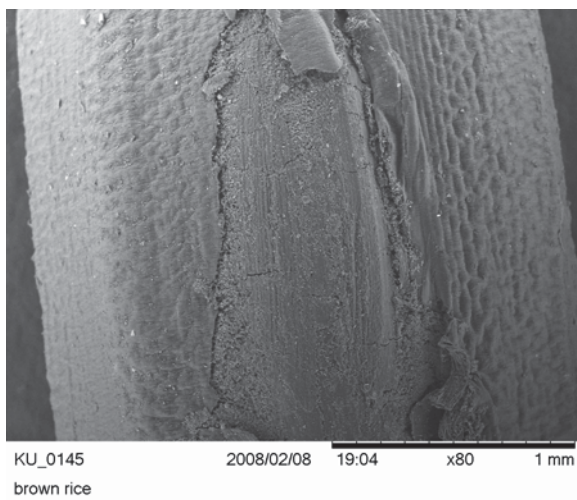
ภาพผนวกที่ 69 ข้าวกล้องหางยี 71 กำลังขยาย  
100X



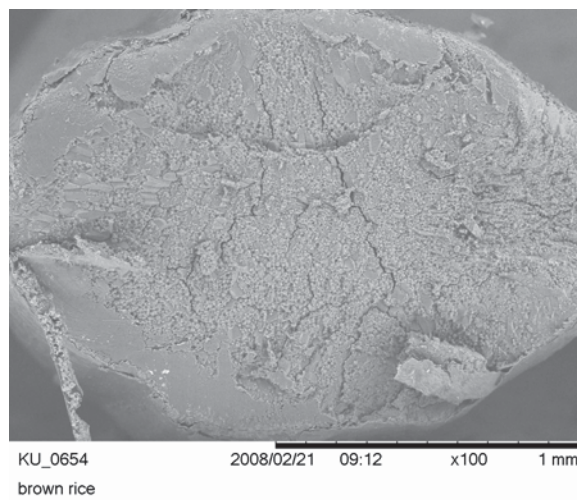
ภาพผนวกที่ 70 ข้าวกล้องงอก 6 กำลังขยาย 80X



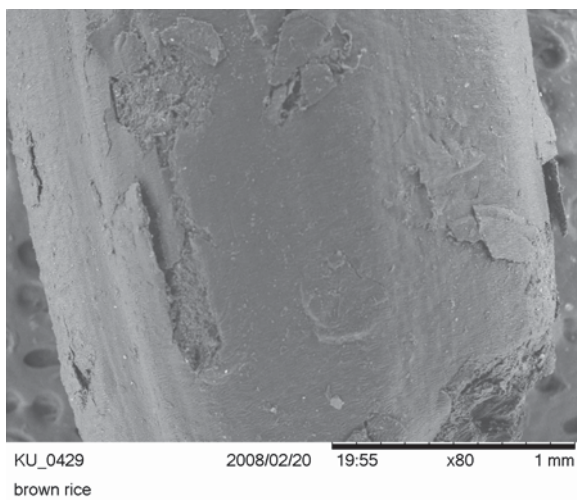
ภาพผนวกที่ 71 ข้าวกล้องงอก 6 กำลังขยาย 100X



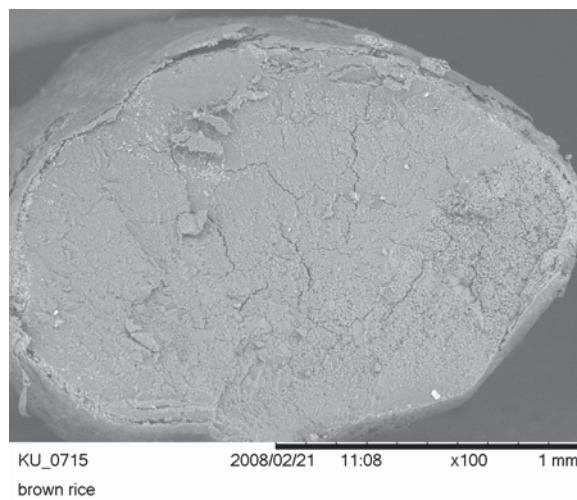
ภาพผนวกที่ 72 ข้าวกล้องเหนียวอุบลราชธานี 2 กำลังขยาย 80X



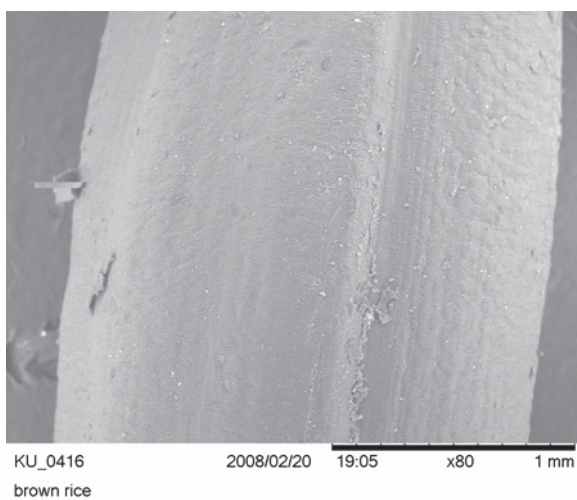
ภาพผนวกที่ 73 ข้าวกล้องเหนียวอุบลราชธานี 2 กำลังขยาย 100X



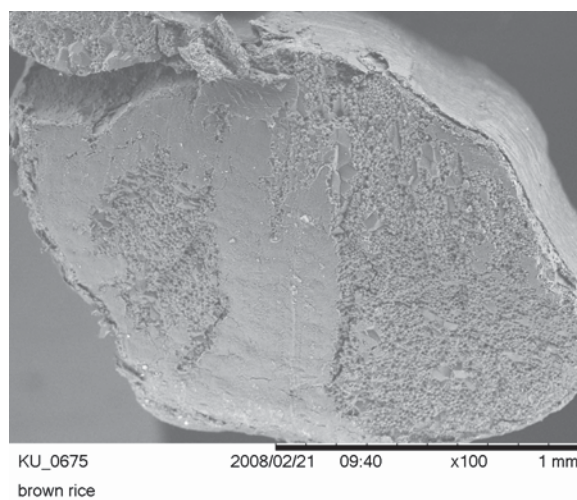
ภาพผนวกที่ 74 ข้าวกล้องกข 15 กำลังขยาย 80X



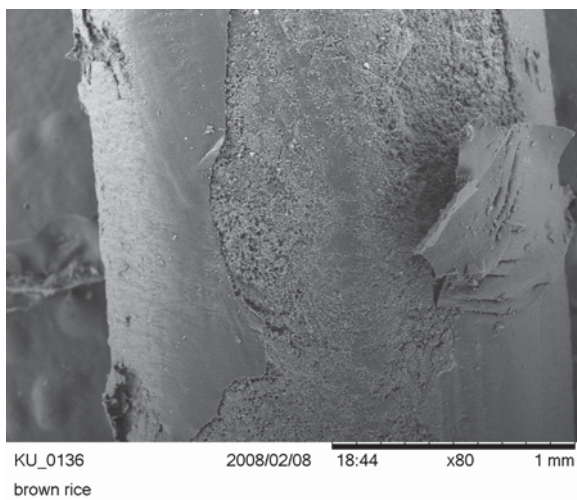
ภาพผนวกที่ 75 ข้าวกล้องกข 15 กำลังขยาย 100X



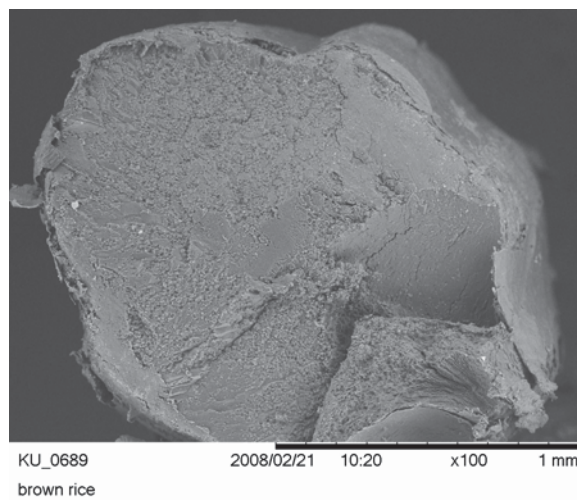
ภาพผนวกที่ 76 ข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105  
กำลังขยาย 80X



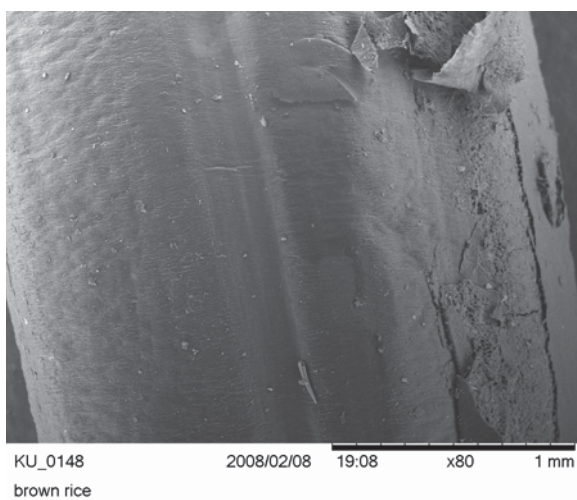
ภาพผนวกที่ 77 ข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105  
กำลังขยาย 100X



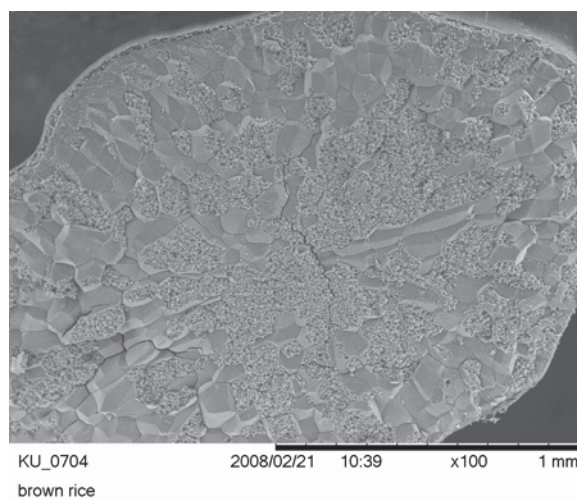
ภาพผนวกที่ 78 ข้าวกล้องปทุมธานี 1 กำลังขยาย 80X



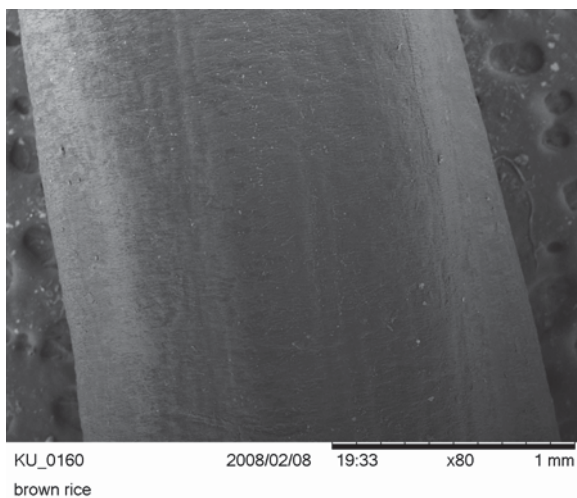
ภาพผนวกที่ 79 ข้าวกล้องปทุมธานี 1 กำลังขยาย 100X



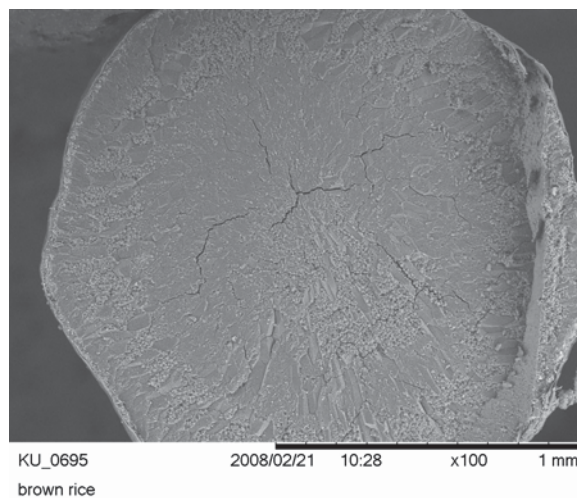
ภาพผนวกที่ 80 ข้าวกล้องกข 21 กำลังขยาย 80X



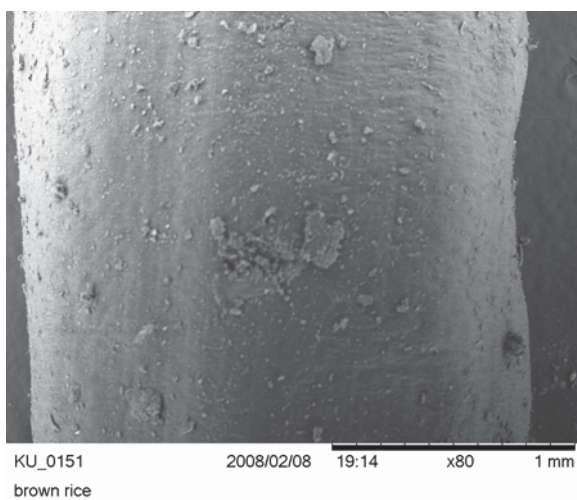
ภาพผนวกที่ 81 ข้าวกล้องกข 21 กำลังขยาย 100X



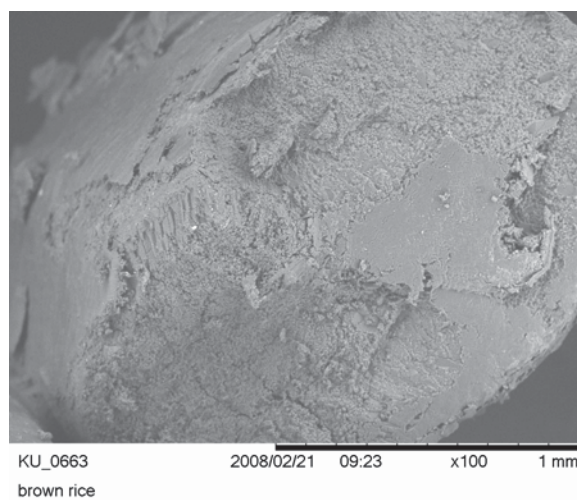
ภาพผนวกที่ 82 ข้าวกล้องสุพรรณบุรี 2  
กำลังขยาย 80X



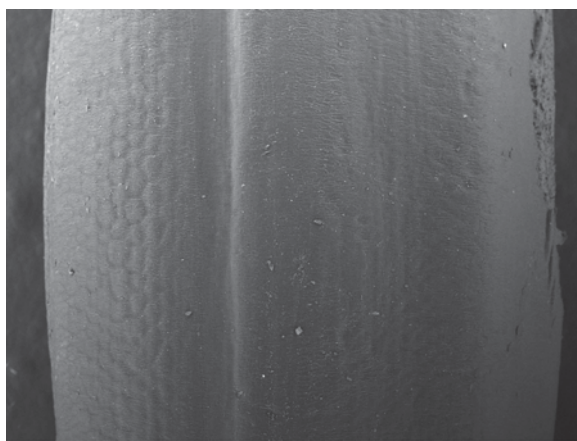
ภาพผนวกที่ 83 ข้าวกล้องสุพรรณบุรี 2  
กำลังขยาย 100X



ภาพผนวกที่ 84 ข้าวกล้องสุพรรณบุรี 60  
กำลังขยาย 80X

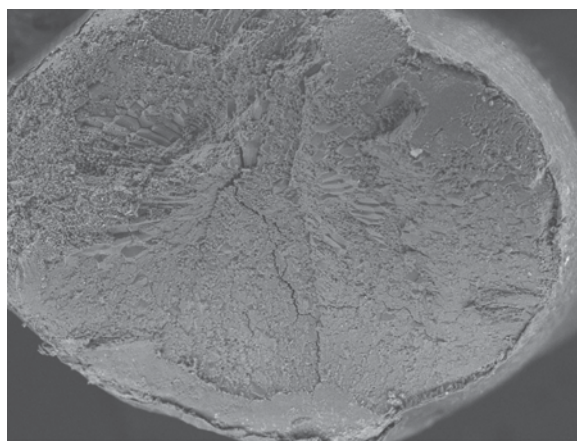


ภาพผนวกที่ 85 ข้าวกล้องสุพรรณบุรี 60  
กำลังขยาย 100X



KU\_0168 2008/02/08 19:49 x80 1 mm  
brown rice

ภาพผนวกที่ 86 ข้าวกล้องพิษณุโลก 3 กำลังขยาย 80X



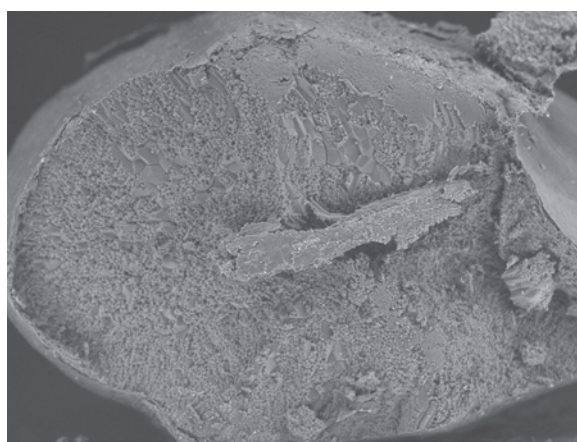
KU\_0701 2008/02/21 10:35 x100 1 mm  
brown rice

ภาพผนวกที่ 87 ข้าวกล้องพิษณุโลก 3 กำลังขยาย 100X



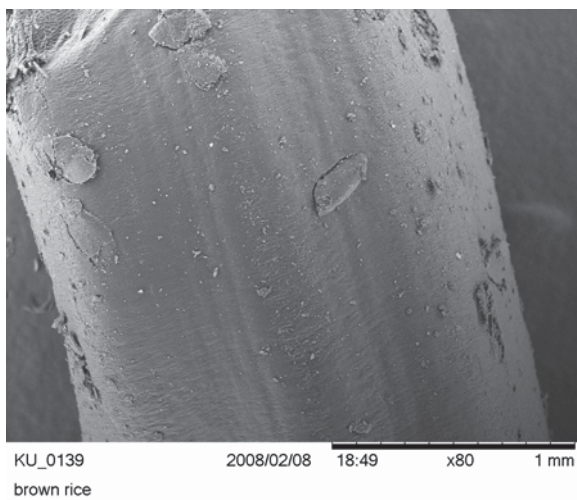
KU\_0171 2008/02/08 19:53 x80 1 mm  
brown rice

ภาพผนวกที่ 88 ข้าวกล้องขาวตาแห้ง 17 กำลังขยาย 80X

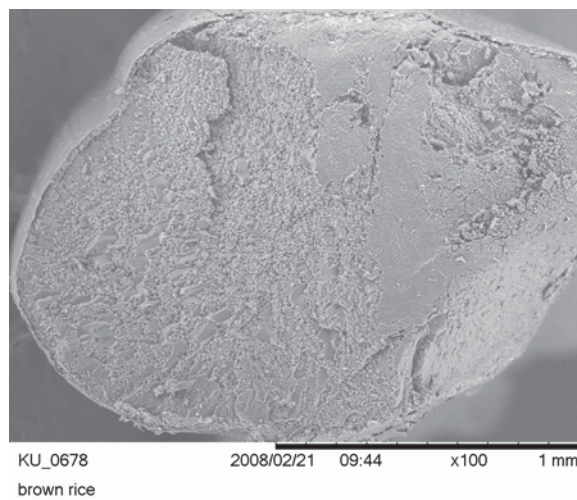


KU\_0686 2008/02/21 10:15 x100 1 mm  
brown rice

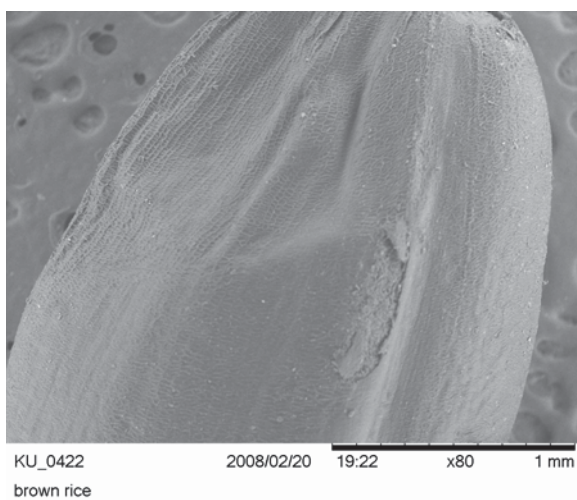
ภาพผนวกที่ 89 ข้าวกล้องขาวตาแห้ง 17 กำลังขยาย 100X



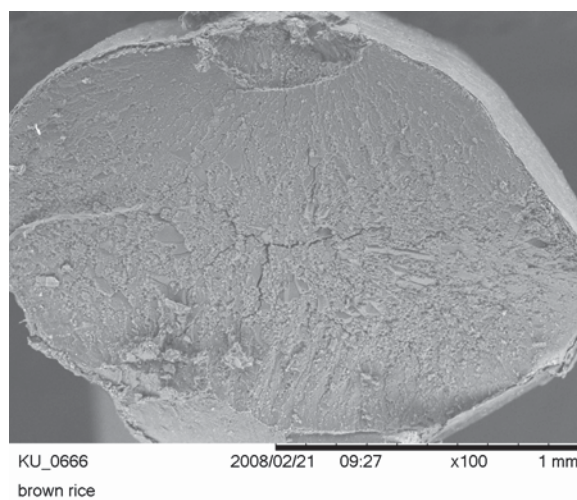
ภาพผนวกที่ 90 ข้าวกล้องพิษณุโลก 2 กำลังขยาย 80X



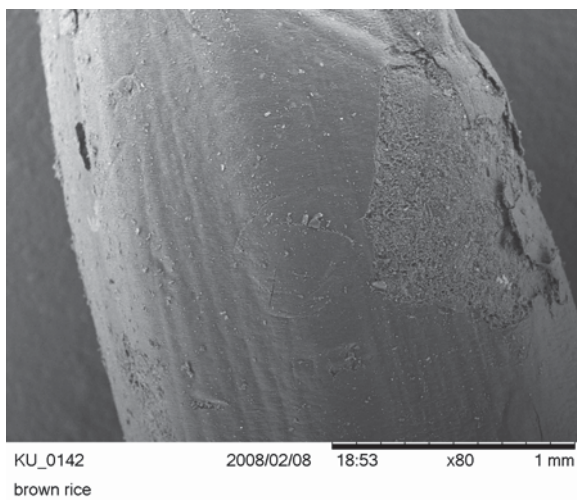
ภาพผนวกที่ 91 ข้าวกล้องพิษณุโลก 2 กำลังขยาย 100X



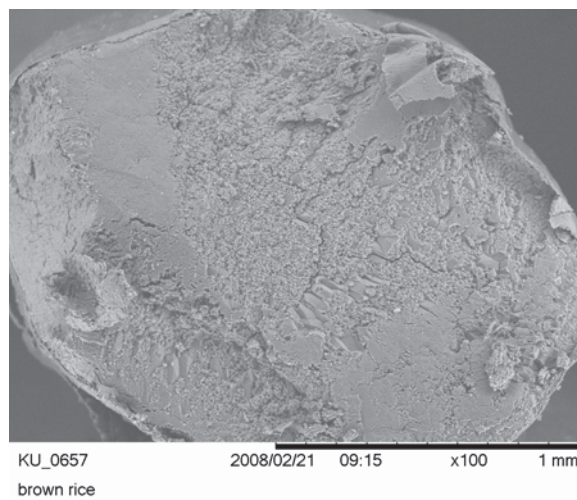
ภาพผนวกที่ 92 ข้าวกล้องชัยนาท 1 กำลังขยาย 80X



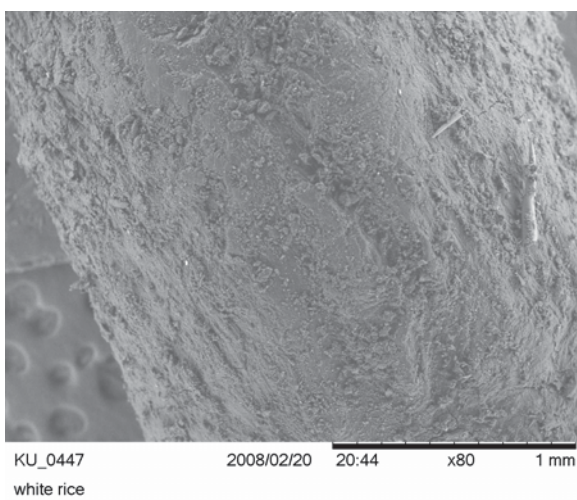
ภาพผนวกที่ 93 ข้าวกล้องชัยนาท 1 กำลังขยาย 100X



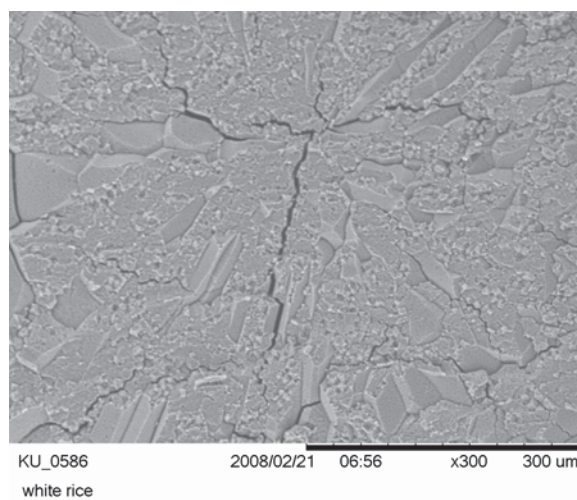
ภาพผนวกที่ 94 ข้าวกล้องสุพรรณบุรี 1  
กำลังขยาย 80X



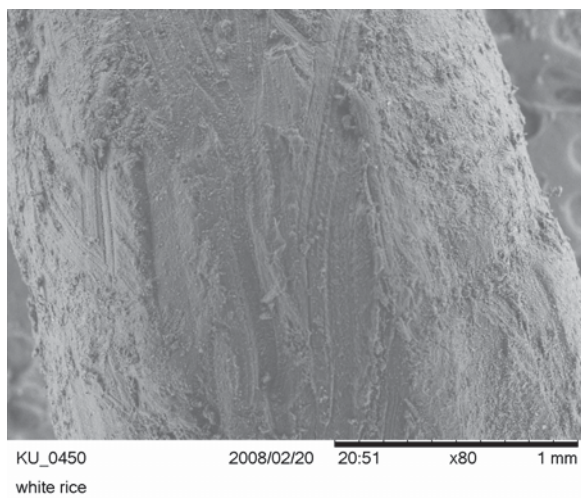
ภาพผนวกที่ 95 ข้าวกล้องสุพรรณบุรี 1  
กำลังขยาย 100X



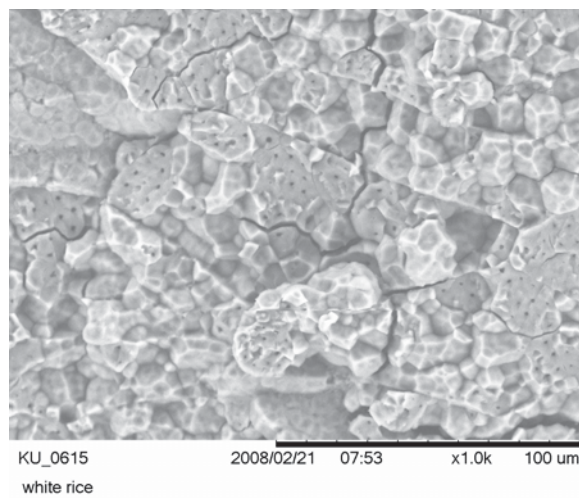
ภาพผนวกที่ 96 ข้าวสารสันป่าตอง 1 กำลังขยาย  
80X



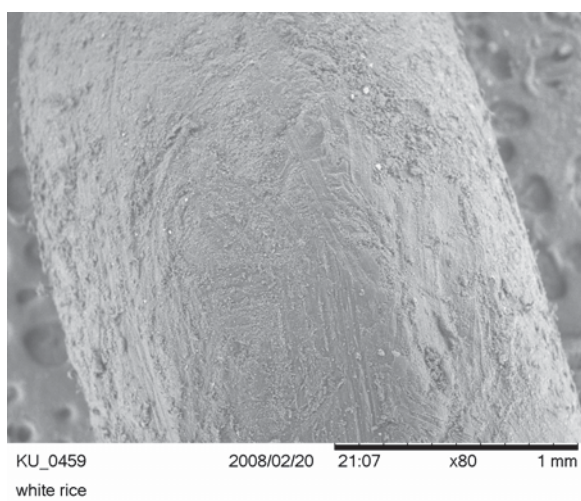
ภาพผนวกที่ 97 ข้าวสารสันป่าตอง 1 กำลังขยาย  
300X



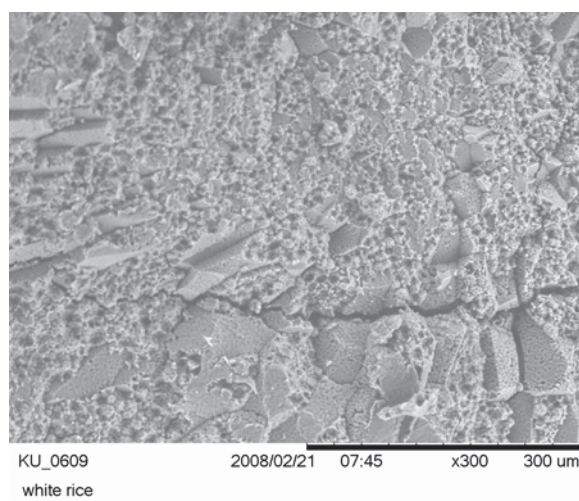
ภาพผนวกที่ 98 ข้าวสารกข 10 กำลังขยาย 80X



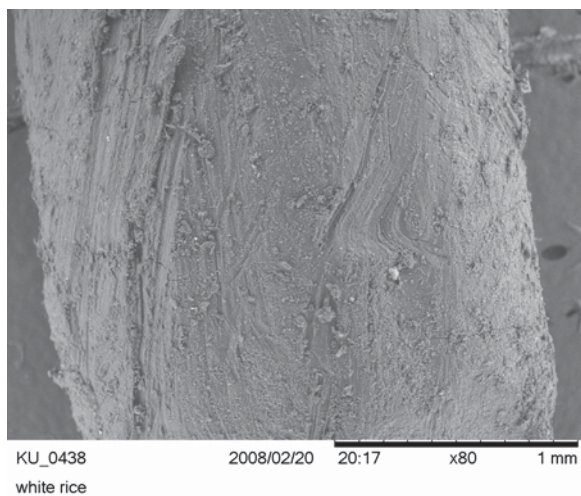
ภาพผนวกที่ 99 ข้าวสารกข 10 กำลังขยาย 1000X



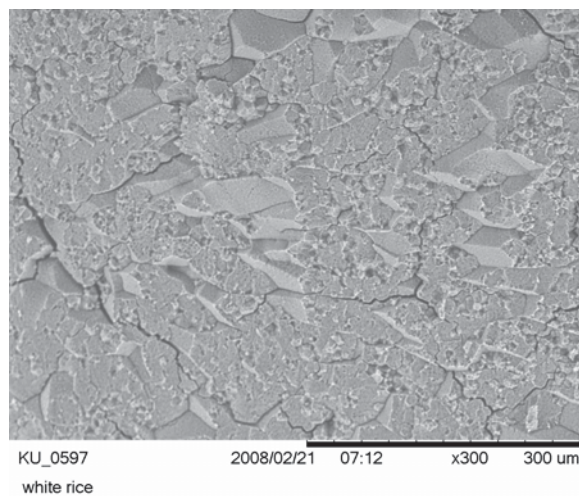
ภาพผนวกที่ 100 ข้าวสารกข 8 กำลังขยาย 80X



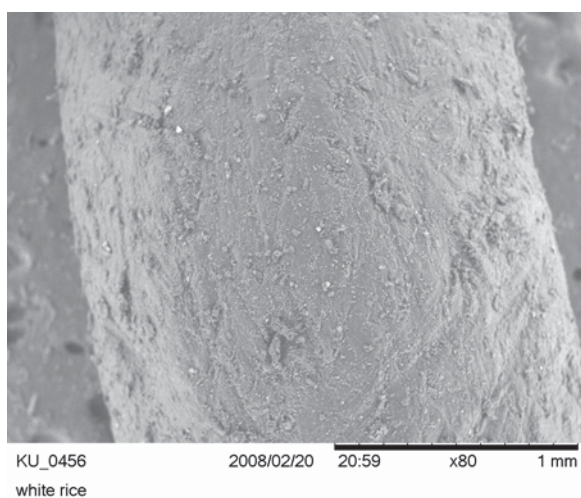
ภาพผนวกที่ 101 ข้าวสารกข 8 กำลังขยาย 300X



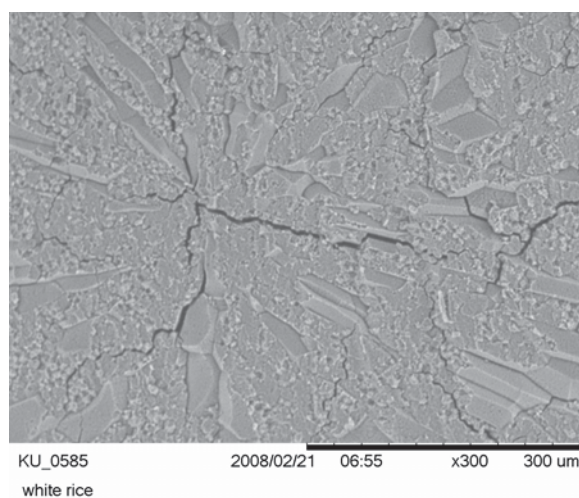
**ภาพผนวกที่ 102** ข้าวสารเหนียวสันป่าตอง  
กำลังขยาย 80X



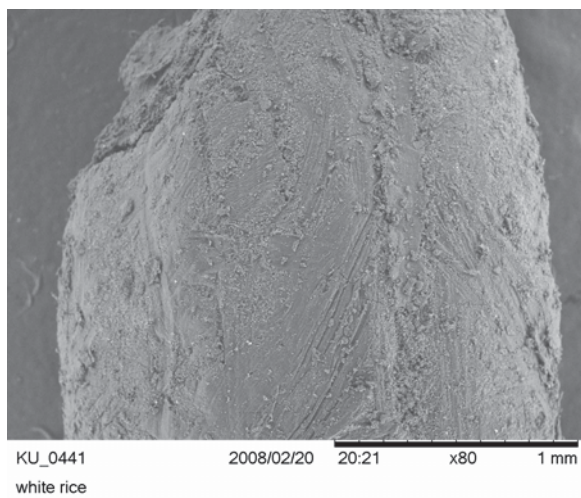
**ภาพผนวกที่ 103** ข้าวสารเหนียวสันป่าตอง  
กำลังขยาย 1000X



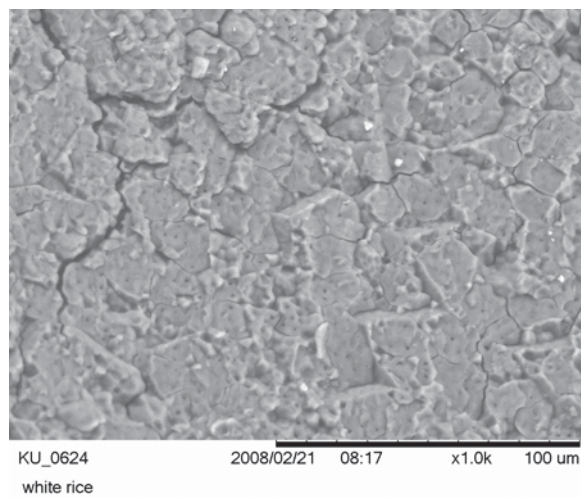
**ภาพผนวกที่ 104** ข้าวสารสกลนคร กำลังขยาย  
80X



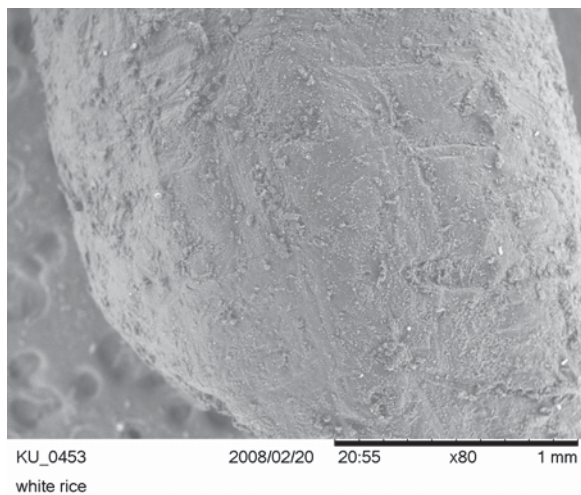
**ภาพผนวกที่ 105** ข้าวสารสกลนคร กำลังขยาย  
300X



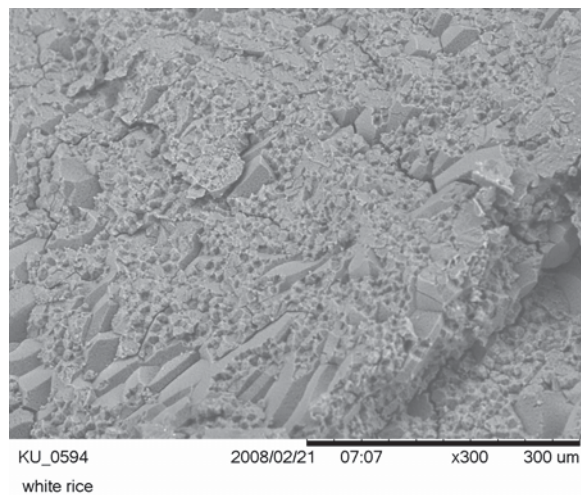
ภาพผนวกที่ 106 ข้าวสารหางยี 71 กำลังขยาย  
80X



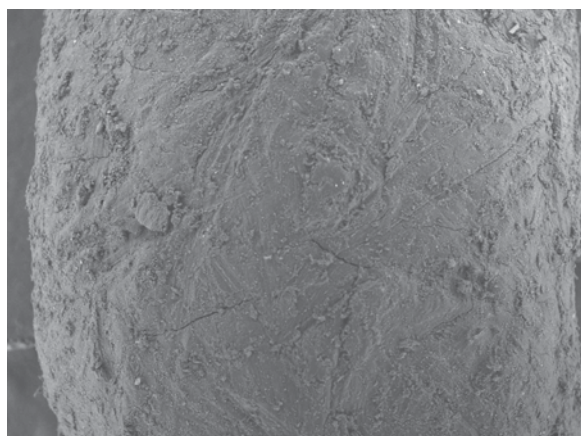
ภาพผนวกที่ 107 ข้าวสารหางยี 71 กำลังขยาย  
1000X



ภาพผนวกที่ 108 ข้าวสารเหนียวอุบลราชธานี 2  
กำลังขยาย 80X

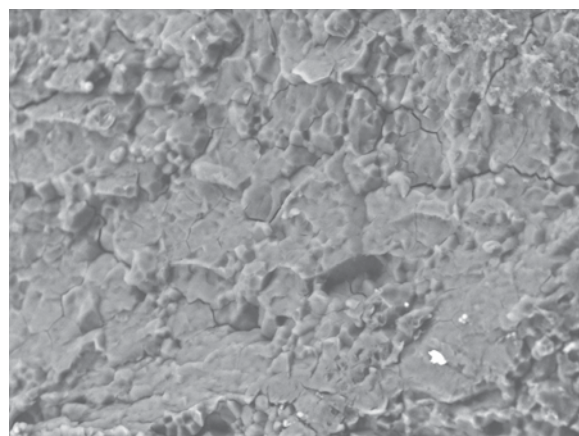


ภาพผนวกที่ 109 ข้าวสารเหนียวอุบลราชธานี 2  
กำลังขยาย 300X



KU\_0432 2008/02/20 20:10 x80 1 mm  
white rice

ภาพผนวกที่ 110 ข้าวสารกข 6 กำลังขยาย 80X



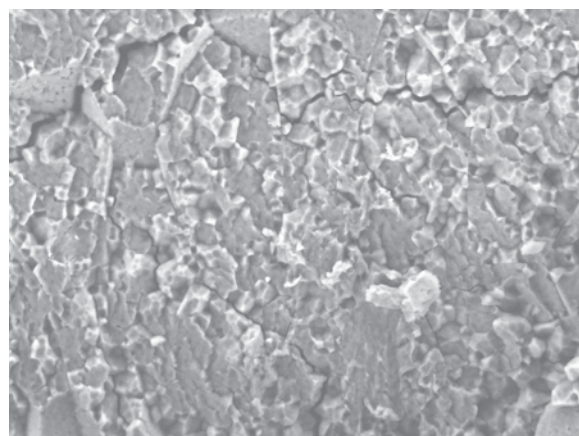
KU\_0640 2008/02/21 08:37 x1.0k 100 um  
white rice

ภาพผนวกที่ 111 ข้าวสารกข 6 กำลังขยาย 1000X



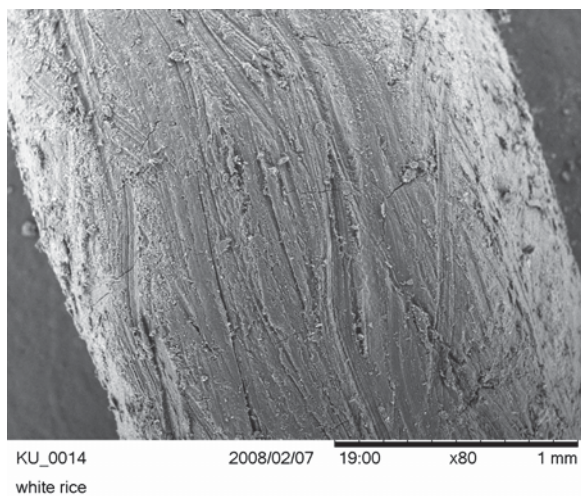
KU\_0038 2008/02/07 20:08 x80 1 mm  
white rice

ภาพผนวกที่ 112 ข้าวสารกข 15 กำลังขยาย 80X

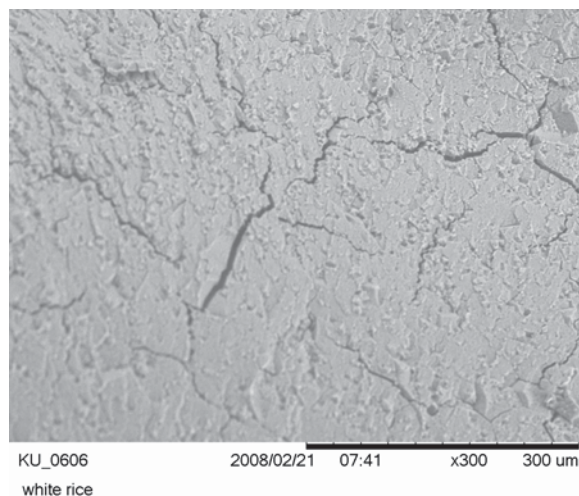


KU\_0617 2008/02/21 07:57 x1.0k 100 um  
white rice

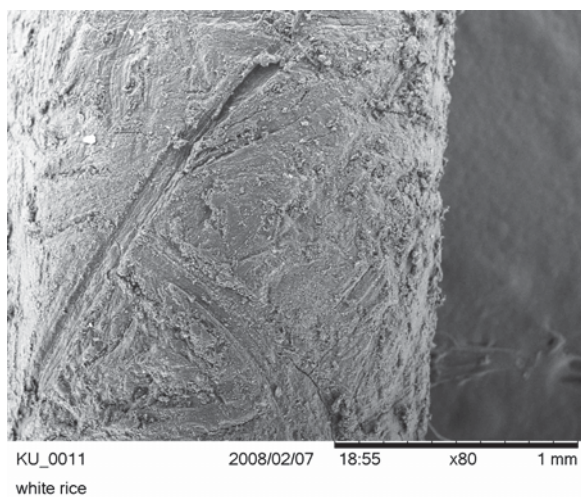
ภาพผนวกที่ 113 ข้าวสารกข 15 กำลังขยาย  
1000X



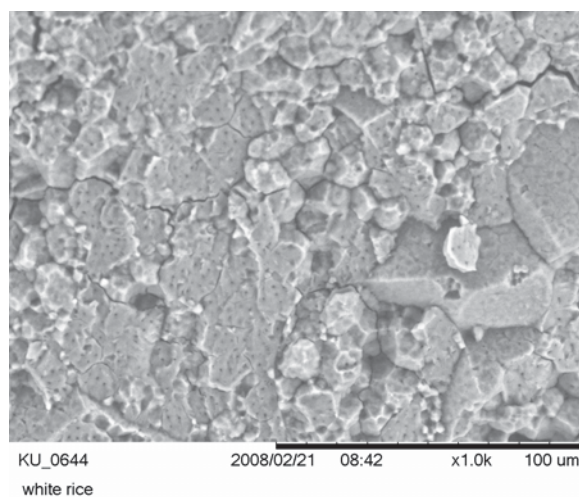
ภาพผนวกที่ 114 ข้าวสารขาวดอกมะลิ 105  
กำลังขยาย 80X



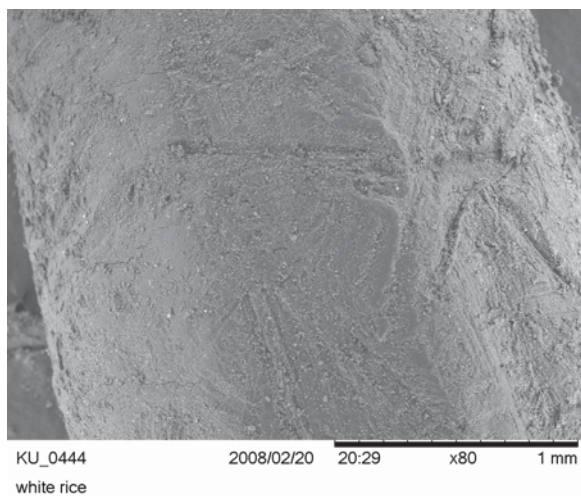
ภาพผนวกที่ 115 ข้าวสารขาวดอกมะลิ 105  
กำลังขยาย 300X



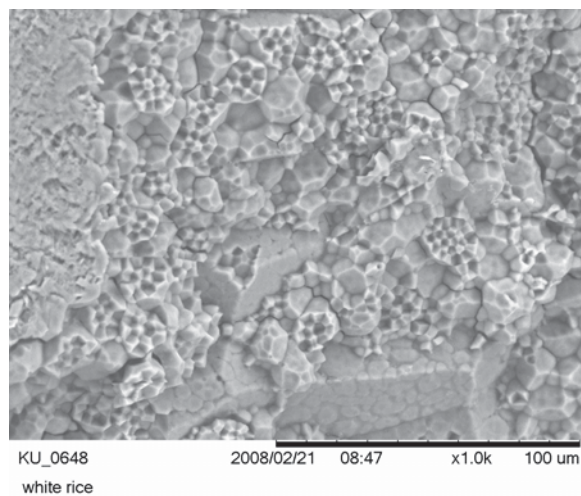
ภาพผนวกที่ 116 ข้าวสารปทุมธานี 1 กำลังขยาย  
80X



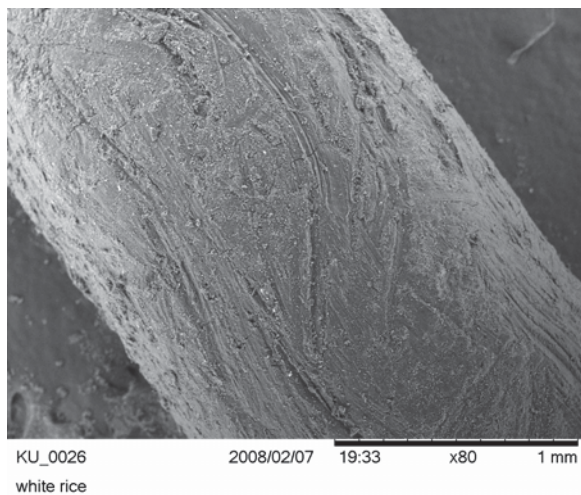
ภาพผนวกที่ 117 ข้าวสารปทุมธานี 1 กำลังขยาย  
1000X



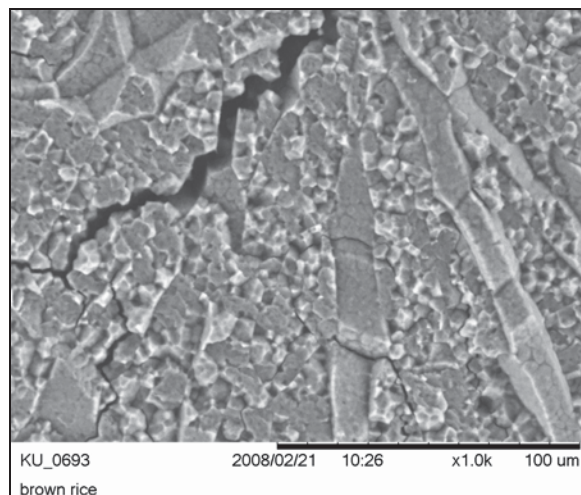
ภาพผนวกที่ 118 ข้าวสารกข 21 กำลังขยาย 80X



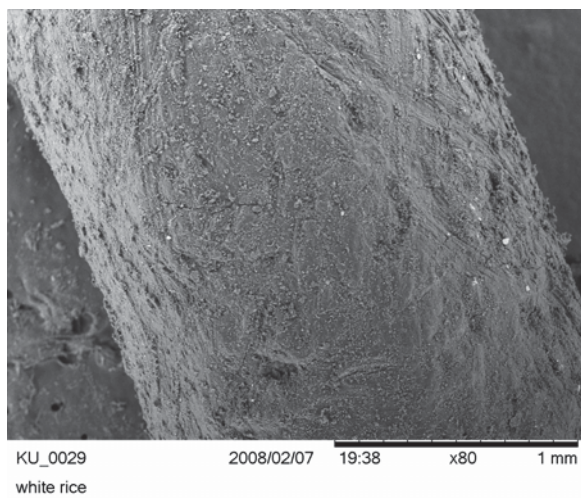
ภาพผนวกที่ 119 ข้าวสารกข 21 กำลังขยาย 1000X



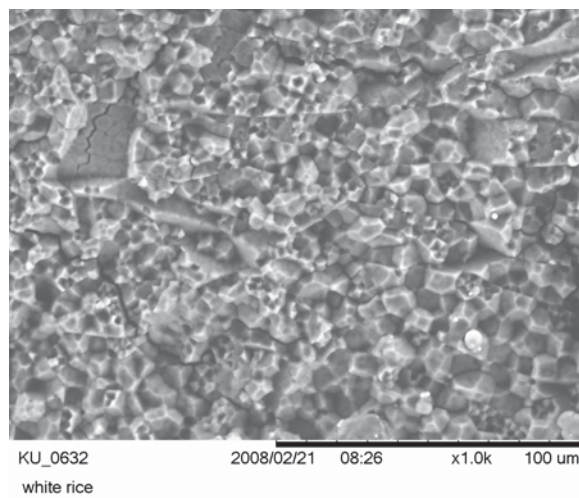
ภาพผนวกที่ 120 ข้าวสารสุพรรณบุรี 2 กำลังขยาย 80X



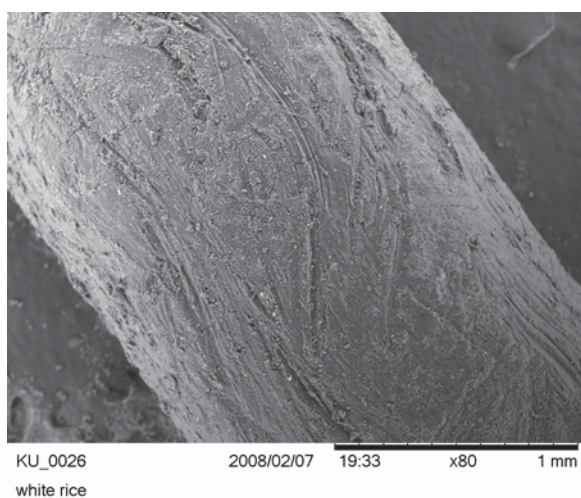
ภาพผนวกที่ 121 ข้าวสารสุพรรณบุรี 2 กำลังขยาย 1000X



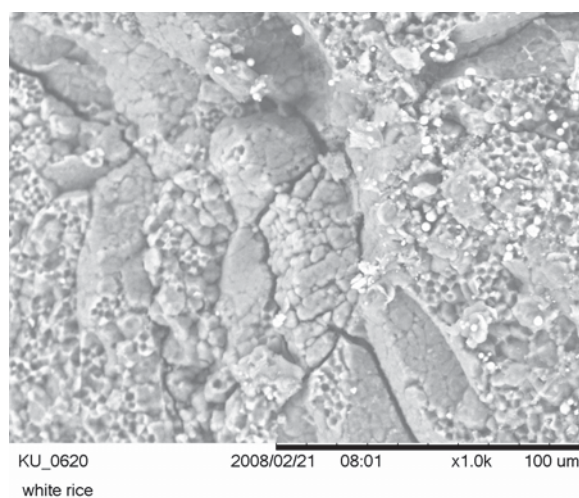
ภาพผนวกที่ 122 ข้าวสารสุพรรณบุรี 60  
กำลังขยาย 80X



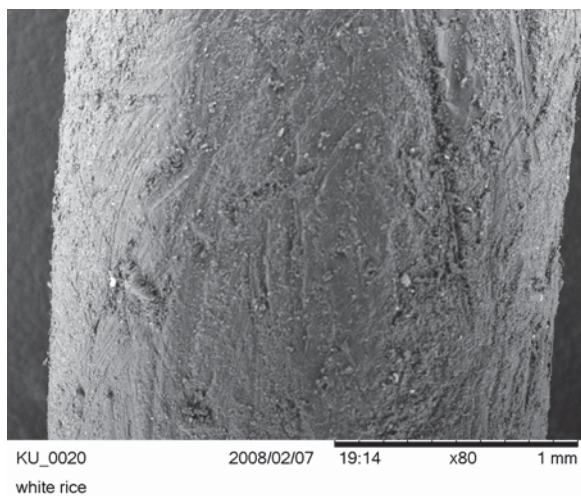
ภาพผนวกที่ 123 ข้าวสารสุพรรณบุรี 60  
กำลังขยาย 1000X



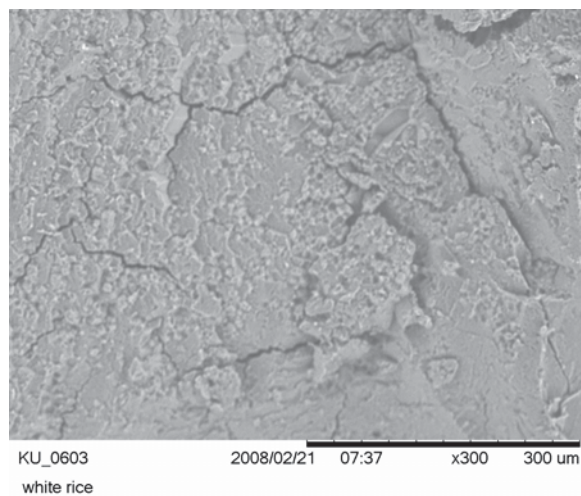
ภาพผนวกที่ 124 ข้าวสารสุพรรณบุรี 2  
กำลังขยาย 80X



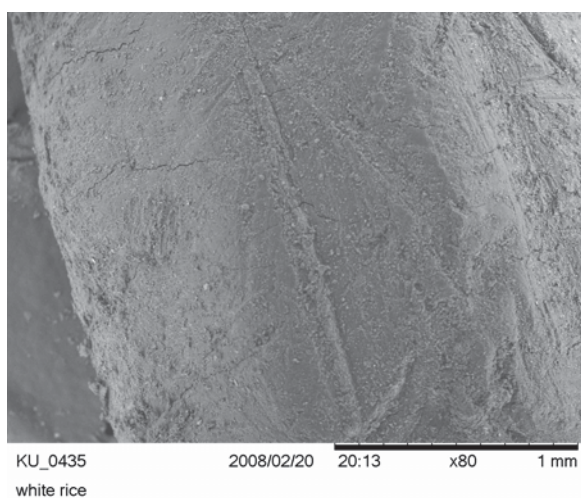
ภาพผนวกที่ 125 ข้าวสารสุพรรณบุรี 2  
กำลังขยาย 1000X



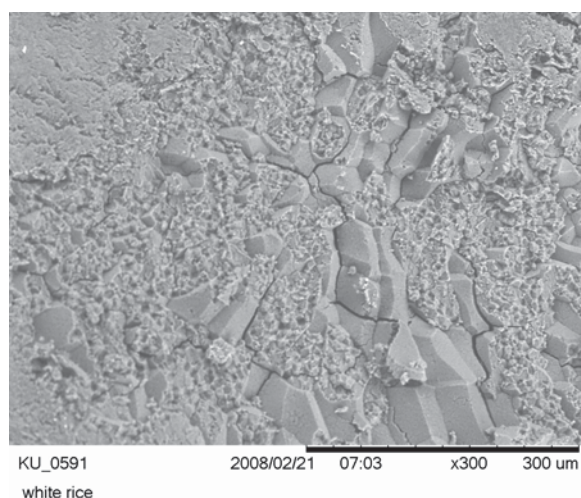
ภาพผนวกที่ 126 ข้าวสารพิษณุโลก 3 กำลังขยาย 80X



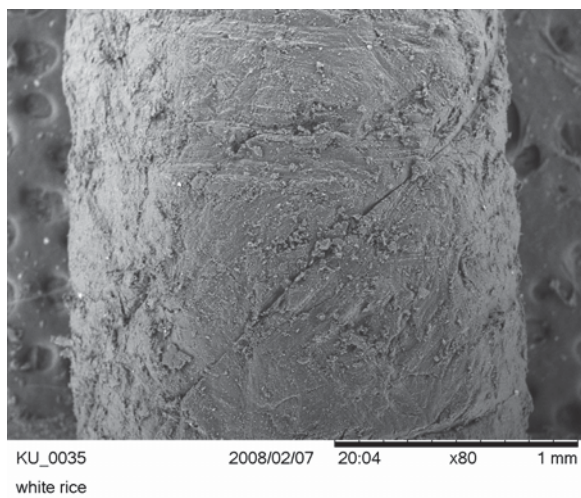
ภาพผนวกที่ 127 ข้าวสารพิษณุโลก 3 กำลังขยาย 300X



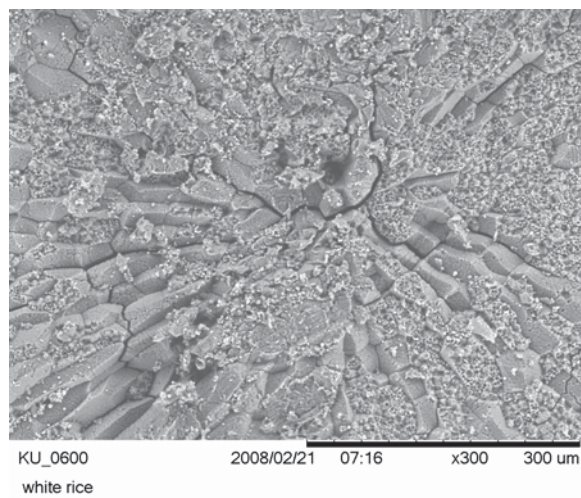
ภาพผนวกที่ 128 ข้าวสารขาวตาแห้ง 17 กำลังขยาย 80X



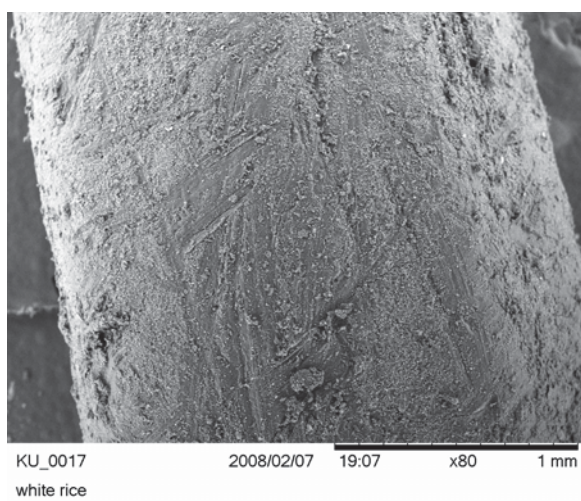
ภาพผนวกที่ 129 ข้าวสารขาวตาแห้ง 17 กำลังขยาย 300X



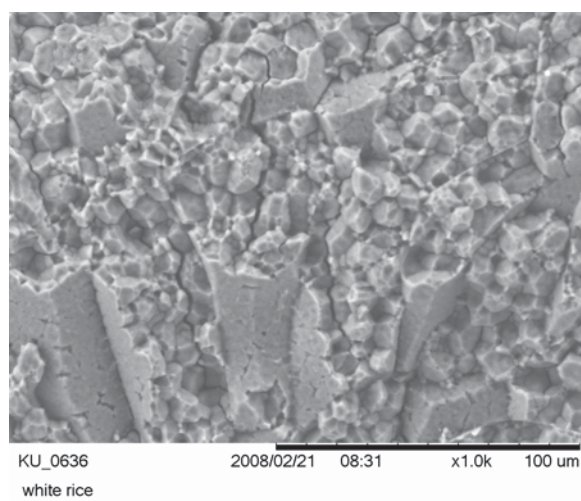
ภาพผนวกที่ 130 ข้าวสารพิษณุโลก 2 กำลังขยาย  
80X



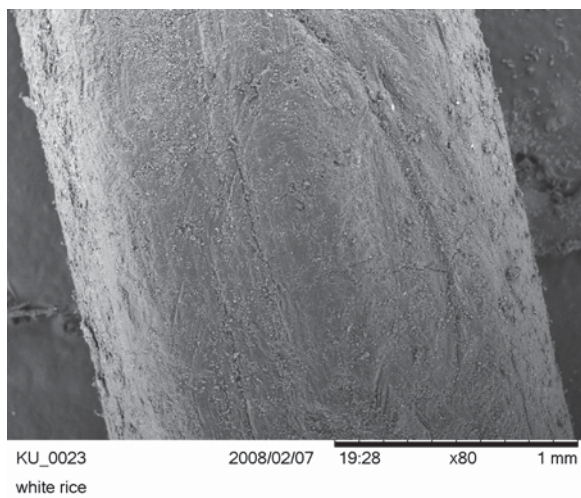
ภาพผนวกที่ 131 ข้าวสารพิษณุโลก 2 กำลังขยาย  
300X



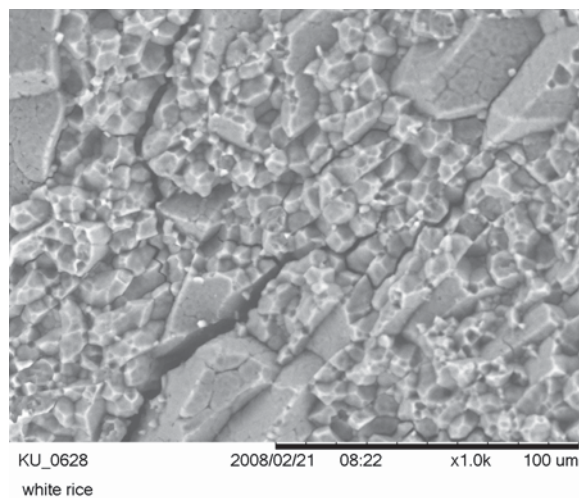
ภาพผนวกที่ 132 ข้าวสารชัยนาท 1 กำลังขยาย  
80X



ภาพผนวกที่ 133 ข้าวสารชัยนาท 1 กำลังขยาย  
1000X



ภาพผนวกที่ 134 ข้าวสารสุพรรณบุรี 1  
กำลังขยาย 80X



ภาพผนวกที่ 135 ข้าวสารสุพรรณบุรี 1  
กำลังขยาย 1000X