

## บทที่ 5

### สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

#### 1. สรุปผลการวิจัย

ตัวอย่างข้าวหอมมะลิทั้ง 50 ตัวอย่าง ที่เก็บรวบรวมจากศูนย์วิจัย สถานีทดลอง และศูนย์เมล็ดข้าวต่าง ๆ ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคเหนือตอนล่าง และภาคกลางนั้น มีคุณสมบัติทางเคมีกายภาพไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยเก็บรักษาในเครื่องทำเย็นที่อุณหภูมิ 10°C นาน 4 เดือน จึงนำมาทำการทดลอง

1.1 คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวกล้อง ทั้ง 60 ตัวอย่าง ได้แก่ ข้าวหอมมะลิ ข้าวกลุ่มปริมาณแอมิโลสต่ำ ข้าวกลุ่มปริมาณแอมิโลสปานกลาง และข้าวกลุ่มปริมาณแอมิโลสสูง พบว่าปริมาณโปรตีนของตัวอย่างข้าวกล้องอยู่ในช่วง 5.27-9.06% โดยข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 60 และข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 มีปริมาณโปรตีนสูงที่สุด ในขณะที่ข้าวพันธุ์ชัยนาท 2 มีปริมาณโปรตีนน้อยที่สุด สำหรับปริมาณแอมิโลสพบว่าข้าวกลุ่มปริมาณแอมิโลสสูง ได้แก่ข้าวพันธุ์ชัยนาท 2 พันธุ์ปทุมธานี 60 พันธุ์เหลืองประทิว 123 พันธุ์พิษณุโลก 2 และพันธุ์ชัยนาท 1 มีปริมาณแอมิโลสสูงที่สุด รองลงมาคือข้าวกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสปานกลาง ข้าวกลุ่มปริมาณแอมิโลสต่ำ และข้าวหอมมะลิ ตามลำดับ และยังพบว่าข้าวหอมมะลิมีปริมาณแอมิโลสไม่แตกต่างกับข้าวกลุ่มปริมาณแอมิโลสต่ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ยกเว้นข้าวพันธุ์หอมคลองหลวง

1.2 เมื่อพิจารณาค่าความคงตัวของเจล พบว่าข้าวหอมมะลิพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และข้าวกลุ่มปริมาณแอมิโลสต่ำพันธุ์ปทุมธานี 1 มีค่าความคงตัวของเจลสูงที่สุด รองลงมาคือข้าวกลุ่มปริมาณแอมิโลสปานกลาง และข้าวกลุ่มปริมาณแอมิโลสสูง ตามลำดับ แต่ข้าวหอมมะลิมีค่าความคงตัวของเจลไม่แตกต่างกับข้าวกลุ่มปริมาณแอมิโลสต่ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) นอกจากนี้ยังพบว่าข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ซึ่งเป็นข้าวกลุ่มปริมาณแอมิโลสสูงมีค่าความคงตัวของเจลไม่แตกต่างกับข้าวหอมมะลิและข้าวกลุ่มปริมาณแอมิโลสต่ำ เนื่องจากข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 เป็นข้าวที่มีลักษณะเฉพาะโดยมีค่าความคงตัวของเจลอยู่ในกลุ่มนุ่มปานกลาง เมื่ออายุการเก็บรักษาข้าวไม่เกิน 4 เดือน สำหรับค่าการสลายเมล็ดข้าวในสารละลายต่าง พบว่าข้าวหอมมะลิมีค่าการสลายเมล็ดข้าวในสารละลายต่างอยู่ในระดับ 7.0 และไม่แตกต่างกับข้าวกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำ ยกเว้นข้าวพันธุ์พิษณุโลก 1 ซึ่งมีค่าการสลายเมล็ดข้าวในสารละลายต่างอยู่ในระดับ 5.0 และไม่แตกต่างกับข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 2 ที่จัดอยู่ในกลุ่มข้าวปริมาณแอมิโลสปานกลาง ในขณะที่ข้าว

ในขณะที่ข้าวกลุ่มปริมาณแอมิโลสสูงมีค่าการสลายของเมล็ดข้าวในสารละลายต่างต่ำที่สุดโดยมีค่าอยู่ในระดับ **1.00-2.00** แสดงถึงเมล็ดข้าวไม่มีการเปลี่ยนแปลงถึงพองตัวเล็กน้อยในสารละลายต่าง

ทั้งนี้ค่าความคงตัวของเจลมีความสัมพันธ์กับค่าการสลายของเมล็ดข้าวในสารละลายต่าง โดยข้าวพันธุ์ที่มีค่าความคงตัวของเจลสูงจะมีค่าการสลายของเมล็ดข้าวในสารละลายต่างอยู่ในระดับ **7** ในทางตรงกันข้ามข้าวพันธุ์ที่มีค่าความคงตัวของเจลต่ำจะมีค่าการสลายของเมล็ดข้าวในสารละลายต่างอยู่ในระดับ **1 ถึง 2** ซึ่งแสดงถึงเมล็ดข้าวไม่มีการพองตัวในสารละลายต่างเลย

**1.3** สำหรับคุณสมบัติด้านความเหนียวของข้าว พบว่าข้าวกลุ่มปริมาณแอมิโลสต่ำ ได้แก่ ข้าวพันธุ์หอมคลองหลวง พันธุ์ปทุมธานี **1** และพันธุ์พิษณุโลก **1** มีค่าความเหนียวสูงสุด รองลงมาคือ ข้าวหอมมะลิ ข้าวกลุ่มปริมาณแอมิโลสปานกลาง และข้าวกลุ่มปริมาณแอมิโลสสูง ตามลำดับ ข้าวหอมมะลิจึงมีค่าการแตกตัวของแป้งสุกไม่แตกต่างกับข้าวกลุ่มปริมาณแอมิโลสต่ำ ( $p>0.05$ ) แต่มีแนวโน้มสูงกว่าข้าวกลุ่มปริมาณแอมิโลสปานกลาง และข้าวกลุ่มปริมาณแอมิโลสสูง ตามลำดับ ( $p<0.05$ ) ค่าความเหนียวสุดท้ายจะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อปริมาณแอมิโลสเพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้ข้าวกลุ่มปริมาณแอมิโลสสูงมีค่าความเหนียวสุดท้ายสูงกว่าข้าวกลุ่มปริมาณแอมิโลสปานกลาง ข้าวกลุ่มปริมาณแอมิโลสต่ำ และข้าวหอมมะลิ ตามลำดับ แต่ค่าความเหนียวสุดท้ายของข้าวหอมมะลิไม่แตกต่างกับข้าวกลุ่มปริมาณแอมิโลสต่ำ ( $p>0.05$ ) เมื่อพิจารณาค่าความคงตัวของแป้งสุกและค่าความเหนียวหลังการทำให้เย็นของตัวอย่างข้าวกลุ่มต่าง ๆ พบว่าข้าวกลุ่มปริมาณแอมิโลสสูงจะมีค่าความคงตัวของแป้งสุกและค่าความเหนียวหลังการทำให้เย็นสูงที่สุด รองลงมาคือข้าวกลุ่มปริมาณแอมิโลสปานกลาง ข้าวกลุ่มปริมาณแอมิโลสต่ำ และข้าวหอมมะลิ ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าค่าความคงตัวของแป้งสุกและค่าความเหนียวหลังการทำให้เย็นของข้าวหอมมะลิจึงมีค่าแตกต่างกับข้าวกลุ่มปริมาณแอมิโลสต่ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.05$ ) ดังนั้น จึงมีความเป็นไปได้ในการแบ่งข้าวกลุ่มข้าวหอมมะลิออกจากข้าวกลุ่มอื่น ๆ โดยพิจารณาจากค่าความคงตัวของแป้งสุกและค่าความเหนียวหลังการทำให้เย็น

**1.4** การศึกษาสมการสำหรับทำนายคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวกล้อง ได้แก่ ปริมาณโปรตีน ปริมาณแอมิโลส ค่าความคงตัวของเจล ค่าการสลายเมล็ดข้าวในสารละลายต่าง และคุณสมบัติด้านความเหนียวของข้าวโดยใช้เทคนิคสเปกโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้ช่วงความยาวคลื่น  $10,000-4,000 \text{ cm}^{-1}$  โดยค่าคุณภาพทางเคมีกายภาพที่กล่าวมามีความสัมพันธ์กับความยาวคลื่นที่ตำแหน่งต่างกัน อาทิเช่นปริมาณโปรตีนมีความเกี่ยวข้องกับพันธะ **N-H** และ **O=C-NH**

จะมีความสัมพันธ์กับความยาวคลื่นที่ตำแหน่ง 1,270 และ 2,100 นาโนเมตร ปริมาณแอมิโลสมีความเกี่ยวข้องกับพันธะ C-H ซึ่งมีความสัมพันธ์กับความยาวคลื่นที่ตำแหน่ง 1,260, 2,080 และ 2,270 นาโนเมตร เป็นต้น สมการที่สร้างขึ้นเพื่อทำนายคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวกล้องด้วยวิธี PLSR ได้แก่ ปริมาณโปรตีน ปริมาณแอมิโลส ค่าความคงตัวของเจล ค่าการสลายเมล็ดข้าวในสารละลายต่าง และคุณสมบัติด้านความหนืด ได้แก่ ค่าความหนืดสูงสุด ค่าการแตกตัวของแป้งสุก ค่าความคงตัวของแป้งสุก ค่าความหนืดสุดท้าย และค่าความหนืดหลังการทำเย็นมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) เท่ากับ 0.98, 0.90, 0.82, 0.91, 0.78, 0.92, 0.91, 0.93 และ 0.93 ตามลำดับ ค่าความคลาดเคลื่อนในการทำนายคุณภาพทางเคมีที่กล่าวมาด้วยตัวอย่างกลุ่มสร้างสมการ (Standard Error of Calibration; SEC) เท่ากับ 0.95%, 1.27%, 5.01 มิลลิเมตร, 0.52, 115 RVU, 60 RVU, 219 RVU, 69 RVU และ 0.45 RVU ตามลำดับ เมื่อทำการตรวจสอบความแม่นยำของสมการด้วยกลุ่มตรวจสอบความถูกต้อง พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนในการทำนายคุณภาพทางเคมีด้วยกลุ่มตัวอย่างดังกล่าว (Standard Error of Prediction: SEP) เท่ากับ 1.51%, 1.47%, 5.66 มิลลิเมตร, 0.67, 137 RVU, 71 RVU, 245 RVU, 141 RVU และ 0.86 RVU ตามลำดับ ค่า Bias เท่ากับ -0.07, 0.23, 0.26, -0.03, -11.90, -7.15, 33.47, 0.84 และ -0.11% ตามลำดับ

1.5 การสร้างสมการทำนายการจำแนกกลุ่มข้าวหอมมะลิออกจากข้าวกลุ่มปริมาณแอมิโลสต่ำ ข้าวกลุ่มปริมาณแอมิโลสปานกลาง และข้าวกลุ่มปริมาณแอมิโลสสูง ตามคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวกล้องด้วยวิธี PCA และ PLS-DA นั้น พบว่าการแบ่งข้าวด้วยวิธี PCA สามารถแบ่งข้าวออกเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ ข้าวหอมมะลิ ข้าวกลุ่มปริมาณแอมิโลสต่ำ ข้าวกลุ่มปริมาณแอมิโลสปานกลาง และข้าวกลุ่มปริมาณแอมิโลสสูง ซึ่งประกอบด้วย 2 องค์ประกอบหลัก (Principal components; PCs) โดยพบว่าองค์ประกอบ 1 ( $PC_1$ ) และองค์ประกอบ 2 ( $PC_2$ ) สามารถอธิบายค่าความแปรปรวนทั้ง 9 ตัวแปรได้ 67.46% และ 9.83% ตามลำดับ โดยทั้งสององค์ประกอบสามารถอธิบายค่าความแปรปรวนรวมของตัวแปรทั้ง 9 ตัวแปร ได้ 77.29% และยังพบว่าวิธี PCA สามารถจำแนกข้าวพันธุ์กช 15 ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มข้าวหอมมะลิออกจากข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ได้ ซึ่งเป็นข้าวที่อยู่ในกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำ และเป็นพันธุ์ข้าวที่นิยมมาผสมกับข้าวหอมมะลิ

1.6 เมื่อพิจารณาการสร้างสมการการทำนายการจำแนกข้าวหอมมะลิออกจากข้าวกลุ่มอื่น ๆ ด้วยวิธี PLS-DA พบว่าสมการที่เหมาะสม คือ สมการที่สร้างขึ้นจากการปรับแต่งสเปคตรัมด้วยวิธีการปรับความแปรปรวนให้เป็นมาตรฐานช่วงจำนวนคลื่น  $10,000-4,000 \text{ cm}^{-1}$  โดยสมการที่สร้างขึ้นมีการจัดกลุ่มตัวแปรเดิมเป็นตัวแปรใหม่ได้ 5 แพกเตอร์ โดยมีค่า  $R^2_{cal}$ ,  $RMSE_{cal}$ ,  $R^2_{val}$

$RMSE_{val}$  และค่าความถูกต้องของการจำแนกกลุ่ม (Correctly classified) เท่ากับ 0.79, 0.17, 0.69, 0.21 และ 66.46% ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าสมการที่สร้างขึ้นจากการปรับแต่งสเปคตรัมด้วยวิธีการปรับแก้การกระเจิงแบบผลคูณช่วงจำนวนคลื่น  $10,000-4,000\text{ cm}^{-1}$  ก็สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการจำแนกข้าวกล้องหอมมะลิออกจากข้าวกล้องกลุ่มอื่น ๆ ได้เช่นเดียวกัน โดยสมการที่สร้างขึ้นมีการจัดกลุ่มตัวแปรเดิมเป็นตัวแปรใหม่ได้ 5 แพกเตอร์ โดยมีค่า  $R^2_{cal}$ ,  $RMSE_{cal}$ ,  $R^2_{val}$ ,  $RMSE_{val}$  และค่าความถูกต้องของการจำแนกกลุ่ม (Correctly classified) เท่ากับ 0.78, 0.17, 0.66, 0.22 และ 65.61% ตามลำดับ

## 2. ข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการสร้างสมการสำหรับทำนายคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวกล้อง และการแบ่งกลุ่มข้าวกล้องหอมมะลิออกจากข้าวกล้องอื่น ๆ ด้วยวิธีเทคนิคสเปคโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้ นั่น กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยส่วนใหญ่เป็นข้าวหอมมะลิ ทำให้สมการที่สร้างขึ้นมีความเหมาะสมกับการทำนายค่าทางเคมีของข้าวหอมมะลิเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นในการวิจัยครั้งต่อไปควรศึกษาตัวอย่างข้าวกล้องของตัวอย่างข้าวในกลุ่มอื่น ๆ เช่น ข้าวกลุ่มปริมาณแอมิโลสต่ำ ข้าวกลุ่มปริมาณแอมิโลสปานกลาง และข้าวกลุ่มปริมาณแอมิโลสสูง เพื่อให้สมการที่ได้มีความแม่นยำในการทำนายค่าคุณภาพทางเคมีของข้าวกล้องเพิ่มขึ้น











