

บทที่ 4 ผลของฟลูอิดเซชันอุณหภูมิสูงที่มีต่อสมบัติด้านเนื้อสัมผัส สมบัติด้านความเหนียวและสมบัติด้านการย่อยและดูดซึมของ ข้าวเหนียวกล็องและข้าวเหนียวขาว



4.1 บทนำ

สมบัติด้านเนื้อสัมผัส ด้านความเหนียวและด้านการย่อยและดูดซึมของข้าวเหนียวมีความสำคัญต่อการยอมรับของผู้บริโภค โดยเฉพาะกับผู้บริโภคที่ใส่ใจต่อสุขภาพที่ต้องการรับประทานข้าวเหนียวที่มีความนุ่มและมีประโยชน์ต่อร่างกาย การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีภายในเมล็ดข้าวเหนียวเนื่องจากกระบวนการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงมีผลโดยตรงต่อสมบัติต่างๆ เหล่านี้ จากรายงานของ Anderson and Guraya (2006) กล่าวว่า การอบแห้งด้วยไมโครเวฟมีผลต่อโครงสร้างทางกายภาพของสตรัซข้าวเหนียวเพียงเล็กน้อย แต่สมบัติด้านความเหนียวเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ การใช้รังสีแกมมาที่มีโดส (Dose) อยู่ในช่วง 0.5-2 kGy ทำให้สมบัติด้านความเหนียวเช่นความเหนียวสูงสุดและ Setback มีค่าลดลง (Sung et al., 2008) นอกจากนี้สมบัติด้านเนื้อสัมผัสได้แก่ Firmness และความเหนียวของข้าวใหม่หลังผ่านการอบแห้งด้วยฟลูอิดเซชันอุณหภูมิสูงเมื่อนำมาผ่านการหุงต้มแล้วมีค่าน้อยลงซึ่งคล้ายข้าวเก่า (Soponronnarit et al., 2008)

แม้ว่าข้าวเหนียวกล็องมีคุณค่าทางโภชนาการมากกว่าข้าวเหนียวขาวเพราะประกอบด้วยรำซึ่งอุดมไปด้วยเส้นใยอาหาร แร่ธาตุ และวิตามินต่างๆ สามารถลดความเสี่ยงต่อโรคเหน็บชา โรคอ้วน มะเร็ง และโรคหัวใจและหลอดเลือด ผู้บริโภคข้าวกล็องเป็นประจำทำให้มีสุขภาพดี แต่เนื่องจากเนื้อสัมผัสของข้าวเหนียวกล็องค่อนข้างแข็ง จึงยังมีส่วนใหญ่ที่ยังนิยมรับประทานข้าวเหนียวขาวเนื่องจากสะดวก เนื้อสัมผัสมีความนุ่มเหนียว หุงต้มง่าย การทำให้เนื้อสัมผัสของข้าวเหนียวกล็องนุ่มลงได้จึงมีความน่าสนใจ และจากงานวิจัยการอบแห้งข้าวเหนียวขาวที่อุณหภูมิสูงที่ผ่านมา พบว่าข้าวเหนียวขาวสุกมีความแข็งลดลงและความเหนียวเพิ่มขึ้นเมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิสูงขึ้น

จากรายงานวิจัยที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณโปรตีนและไขมันต่อสมบัติด้านความเหนียวและสมบัติทางความร้อนของข้าวมีดังนี้ Likitwattanasade and Hongprabhas (2010) ทำการศึกษาผลของปริมาณโปรตีนที่มีต่อสมบัติด้านความเหนียวของแป้งข้าว โดยการกำจัดโปรตีนออกไป 60% จากข้าว 3 พันธุ์ ได้แก่ ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1 (ปริมาณอะมิโลส 1.3% และปริมาณโปรตีน 8.3%) ข้าวเจ้า

พันธุ์พุ่มธานี 1 (ปริมาณอะมิโลส 14.1% และปริมาณโปรตีน 6.7%) และ ข้าวพันธุ์เหลืองประทิว 123 (ปริมาณอะมิโลส 28.6% และปริมาณโปรตีน 9.6%) พบว่า ข้าวที่มีปริมาณโปรตีนมากกว่าทำให้ อุณหภูมิเริ่มเกิดความร้อนของแป้งข้าว (Pasting temperature) มีค่าเพิ่มขึ้น เวลาที่ใช้เปลี่ยนจากแป้ง ปกติเป็นแป้งเหนียว (Peak time) เพิ่มขึ้นแต่ความหนืดสูงสุด (Peak viscosity) ของแป้งข้าวทุกพันธุ์มีค่า ลดลงเมื่อเทียบกับความหนืดสูงสุดของข้าวที่มีปริมาณโปรตีนต่ำกว่า ข้าวที่มีปริมาณโปรตีนที่น้อย กว่าทำให้เวลาที่ใช้ในการหุงต้มข้าวมีค่าน้อยลงตามไปด้วย (Likitwattanasade and Hongprabhas, 2010) นอกจากนี้ Zhu et al. (2010) ทำการศึกษาปริมาณโปรตีนที่แตกต่างกันในแป้ง (Flour) และ สตาร์ช (Starch) ในข้าวเหนียวขาว 3 พันธุ์ได้แก่ พันธุ์ Yangfu-nuo (สายพันธุ์อินดิกามีปริมาณโปรตีน ในแป้ง = $10.66 \pm 0.03\%$ และปริมาณโปรตีนในสตาร์ช = $0.38 \pm 0.00\%$) พันธุ์ Guang-ling-xiang-nuo (สายพันธุ์จาปอนิกามีปริมาณโปรตีนในแป้ง = $9.83 \pm 0.01\%$ และปริมาณโปรตีนในสตาร์ช = $0.32 \pm 0.01\%$) และพันธุ์ Su-yu-nuo (สายพันธุ์จาปอนิกามีปริมาณโปรตีนในแป้ง = $10.55 \pm 0.03\%$ และ ปริมาณโปรตีนในสตาร์ช = $0.07 \pm 0.00\%$) พบว่า ปริมาณโปรตีนที่มีอยู่เป็นจำนวนน้อยในสตาร์ช ของข้าวเหนียวทั้ง 3 พันธุ์ ทำให้อุณหภูมิเริ่มต้น (T_o) อุณหภูมิสูงสุด (T_p) และอุณหภูมิสุดท้ายของการ เกิดเจลลิตินเซชัน (T_c) มีค่าน้อยกว่า T_o , T_p , T_c ของแป้งแต่ละชนิด (ΔH) ของสตาร์ชมีค่ามากกว่าค่า ΔH ของแป้ง

สำหรับผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาณไขมันในข้าวมีผู้ศึกษาน้อยมาก โดย Kar et al. (2005) พบว่า การดัดไขมันออกจากผิวของเมล็ดแป้งทำให้ T_o , T_p , T_c ไม่เปลี่ยนแปลง และการดัดไขมันออกทั้งหมด ส่งผลให้สตาร์ชมีการพองตัวเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

สมบัติด้านการย่อยและดูดซึมของข้าวเป็นอีกสมบัติหนึ่งที่มีความสำคัญต่อร่างกายของมนุษย์หลังจาก บริโภคข้าวซึ่งเป็นอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตเข้าไป โดยดัชนีที่ตรวจวัดคุณภาพของอาหาร ประเภทคาร์โบไฮเดรตได้แก่ ค่าดัชนีไกลซีมิก (Glycemic Index: GI) ซึ่งเป็นดัชนีที่ตรวจวัดคุณภาพ ของอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตว่าหลังจากรับประทานอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตและเข้าสู่ ระบบการย่อยและดูดซึมของร่างกายแล้วสามารถเพิ่มระดับน้ำตาลในเลือดได้มากหรือน้อยเพียงใดใน เวลา 2-3 h โดยเทียบกับสารมาตรฐานได้แก่น้ำตาลกลูโคสหรือขนมปังขาวซึ่งมีค่า GI เท่ากับ 100 สำหรับข้าวเหนียวมีค่า GI สูงกว่าข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสสูง (Frei et al., 2003; Hu et al., 2004) Anderson and Guraya (2006) พบว่า การอบแห้งด้วยไมโครเวฟไม่มีผลต่อสมบัติด้านการย่อยและดูด ซึมของสตาร์ชข้าวเหนียว Chung et al. (2006) รายงานว่าสตาร์ชข้าวเหนียวที่เกิดเจลลิตินเซชัน บางส่วนโดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60, 65 และ 70 °C เป็นเวลา 5 min มีผลทำให้การย่อยและดูด ซึมสตาร์ชเป็นไปอย่างรวดเร็วเนื่องจากสตาร์ชถูกทำให้แตกออก ส่งผลให้ดัชนีไกลซีมิกมีค่าสูงกว่า สตาร์ชอ้างอิง และค่าดัชนีไกลซีมิกมีค่าสูงขึ้นเมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงขึ้น

จากงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า งานวิจัยเกี่ยวกับผลของความร้อนที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณโปรตีนและไขมันส่งผลต่อสมบัติด้านเนื้อสัมผัส สมบัติด้านความหนืด และสมบัติด้านการย่อยและดูดซึมของข้าวเหนียวมีอยู่อย่างจำกัด ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไรซ์เบดที่มีต่อคุณภาพของข้าวเหนียวกลึงและข้าวเหนียวขาวในด้าน สมบัติทางความร้อน สมบัติด้านสภาพเป็นผลึก โครงสร้างระดับจุลภาค สมบัติด้านการหุงต้ม สมบัติด้านความหนืด สมบัติด้านเนื้อสัมผัส สมบัติด้านการย่อยและดูดซึมรวมทั้งการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค

4.2 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

ส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไรซ์เบดด้วยอากาศร้อนอธิบายไว้ในหัวข้อที่ 3.2.1

4.2.1 การเตรียมตัวอย่าง

ข้าวเปลือกเหนียวจำนวน 1.9 kg มีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 28% (d.b.) นำมาอบด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไรซ์เบดที่อุณหภูมิอบแห้งระหว่าง 90-150 °C ความสูงเบด 9.5 cm และความเร็วลมที่ใช้ 2.5 m/s จนกระทั่งความชื้นลดลงเหลือประมาณ 23% (d.b.) จากนั้นนำไปเก็บในที่อับอากาศเป็นเวลา 30 min ตามด้วยการเป่าด้วยอากาศแวดล้อมจนความชื้นลดลงเหลือ $16 \pm 0.5\%$ (d.b.) (ประมาณ 30-40 min) หลังจากนั้นนำตัวอย่างไปเก็บที่อุณหภูมิ 4-6 °C เพื่อรอการทดสอบคุณภาพต่อไป

ก่อนทดสอบคุณภาพ ตัวอย่างข้าวเปลือกเหนียวจากการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ นำมากะเทาะเปลือกด้วยเครื่องกะเทาะ (Satake, model no. THU-35, Hiroshima, Japan) ทำให้ได้ข้าวเหนียวกลึง จากนั้นนำตัวอย่างข้าวเหนียวกลึงไปขัดรำออกด้วยเครื่องขัดขาว (Satake, model no. TM05, Hiroshima, Japan) ทำให้ได้ข้าวเหนียวขาว คัดเอาเฉพาะตัวอย่างข้าวเหนียวกลึงและข้าวเหนียวขาวเต็มเมล็ดโดยใช้เครื่องคัดขนาด (Satake, model no. TRG-05A, Hiroshima, Japan) สำหรับการทดสอบคุณภาพด้านต่างๆ ต่อไป

4.2.2 การทดสอบคุณภาพข้าวเหนียวหลังการอบแห้ง

คุณภาพของข้าวเหนียวที่ทำการทดสอบได้แก่ สมบัติทางความร้อน สมบัติด้านสภาพเป็นผลึก สมบัติด้านเนื้อสัมผัส สมบัติด้านความหนืด สมบัติด้านการย่อย รายละเอียดวิธีการทดลองอยู่ในบทที่ 3

4.2.3 การหาปริมาณโปรตีนของแป้งข้าวเหนียว (AOAC, 1995)

การหาปริมาณโปรตีนของแป้งข้าวเหนียวขาวและแป้งข้าวเหนียวกลี้งใช้วิธี Kjeldahl method มีขั้นตอนดังนี้ ชั่งตัวอย่างแป้งข้าวเหนียวจำนวน 1 g ใส่ในหลอดย่อย (Digestion flask) เติมตัวเร่งปฏิกิริยา (ประกอบด้วย K_2SO_4 98% และ $CuSO_4$ 2%) ประมาณ 1 g เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้นลงไปประมาณ 20 mL จากนั้นนำหลอดทดลองไปใส่ในเครื่องย่อยโปรตีน สวมเครื่องดักจับไอกรดลงบนส่วนบนของหลอดทดลอง และเปิด Power ของเครื่องดักจับไอกรดโดยทำการย่อยในตู้ดูดควัน จากนั้นเปิดเครื่องย่อยโปรตีนเมื่ออุณหภูมิภายในหลอดย่อยมีค่าประมาณ $420\text{ }^{\circ}C$ ทำการย่อยสลายตัวอย่างแป้งข้าวเหนียวจนกระทั่งสารละลายใส แล้วย่อยสลายต่ออีก 30-45 min เพื่อให้การย่อยสลายเป็นไปอย่างสมบูรณ์ จากนั้นยกหลอดย่อยออกมาตั้งทิ้งไว้ให้เย็น ตวงสารละลายอิมตัวของกรดบอริก (ความเข้มข้น 4%) จำนวน 25 mL ใส่ใน Flask จากนั้นนำไปตั้งไว้ในตำแหน่งของมันที่เครื่องกลั่นเลื่อนฐานขึ้นโดยให้ปลายแท่งแก้วจุ่มอยู่ใต้สารละลาย ใส่หลอดย่อยที่เตรียมไว้ในเครื่องกลั่น เลื่อนหน้าต่างป้องกันลงมา เปิดเครื่องกลั่นโดยโยกคันโยกต่าง (แอมโมเนีย) ลงมา เปิด Steam โดยเลื่อนคันโยกของ Steam ไปตำแหน่งเปิด ตั้งเวลาที่ใช้ในการกลั่น ประมาณ 1 min เมื่อกลั่นเสร็จแล้วเลื่อนคันโยก Steam ไปที่ตำแหน่งปิด เลื่อนหน้าต่างป้องกันขึ้น ถอดหลอดย่อยออก และนำ Flask มาไตเตรทด้วยสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริก 0.1 N จนได้สารละลายสีเทาจึงหยุด ปริมาณโปรตีนในตัวอย่างแป้งข้าวเหนียวคำนวณได้ดังนี้

$$\text{Nitrogen content (\%)} = \frac{14 \times (v_1 - v_2) \times \text{Normality of HCL (mol/L)} \times 100}{\text{Weight of Sample (g)} \times 1000} \quad (4.1)$$

เมื่อ v_1 = ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ไตเตรทตัวอย่าง
 v_2 = ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ไตเตรท blank

$$\text{ปริมาณโปรตีน} = \text{ร้อยละไนโตรเจน} \times \text{Empirical factor} \quad (4.2)$$

โดย Empirical factor ของข้าว = 6.25

แต่ละตัวอย่างทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้งและนำค่าเฉลี่ยมาแสดงผล

4.2.4 การหาปริมาณไขมันทั้งหมดของแป้งข้าวเหนียวโดยใช้ Soxtec (AOAC, 1995)

การหาปริมาณไขมันทั้งหมดของแป้งข้าวเหนียวขาวและแป้งข้าวเหนียวกลี้งมีขั้นตอนดังนี้ ซึ่งตัวอย่างแป้งข้าวเหนียวประมาณ 3 g (W) บนกระดาษกรองห่อให้มีคชิดนำไปใส่ใน Thimbles แล้วนำ Thimbles ไปติดตั้งกับชุด Soxtec system HT โดยใช้ Adapter สวม นำ Extraction cups ไปอบที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 30 min ทิ้งไว้ให้เย็นเป็นเวลา 30 min ในโถดูดความชื้น นำมาชั่งน้ำหนัก (W_1) เติมนิโตรเลียมอีเทอร์ ปริมาตร 50 mL ลงใน Extraction cups แล้วนำไปติดตั้งกับชุด Soxtec system HT เลื่อนคันโยกไปที่ตำแหน่ง Boiling และสกัดเป็นเวลา 15-20 min จากนั้นเลื่อนคันโยกไปที่ตำแหน่ง Rinsing ทำการ Rinsing เป็นเวลา 30-45 min ระเหยนิโตรเลียมอีเทอร์ออกไปจนหมด แล้วนำ Extraction cups ไปอบที่ 100 °C ประมาณ 30 min ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น จึงนำมาชั่งน้ำหนัก (W_2)

$$\text{Lipid content (\%)} = \frac{W_2 - W_1}{W} \times 100 \quad (4.3)$$

เมื่อ W = น้ำหนักตัวอย่าง (g)

W_1 = น้ำหนักของ Round bottom flask (g)

W_2 = น้ำหนักของ Round bottom flask และตัวอย่าง (g)

แต่ละตัวอย่างทำการทดลองซ้ำ 2 ซ้ำและนำค่าเฉลี่ยมาแสดงผล

4.2.5 การหาปริมาณการดูดซับน้ำของข้าวเหนียวกลี้งและข้าวเหนียวขาว

วิธีการทดสอบการดูดซับน้ำ (Water uptake) ของตัวอย่างข้าวเหนียวกลี้งและข้าวเหนียวขาว มีดังนี้ นำตัวอย่างข้าวเหนียวกลี้งและข้าวเหนียวขาวจำนวน 20 g แช่ในน้ำกลั่น 100 mL ที่อุณหภูมิห้อง เวลาของการแช่น้ำคือ 1, 2, 3, 5 และ 16 h จากนั้นรินน้ำออกและชั่งน้ำหนักข้าวเหนียวหลังการแช่น้ำ เปรียบเทียบการดูดซับน้ำของตัวอย่างข้าวเหนียวทั้งสองหาได้จากผลต่างของน้ำหนักข้าวเหนียวหลังและก่อนการแช่น้ำหารน้ำหนักข้าวเหนียวก่อนแช่น้ำคูณด้วย 100 (Bean et al., 1984) แต่ละตัวอย่างทำการทดลอง 2 ซ้ำและนำค่าเฉลี่ยมาแสดงผล

4.2.6 การหาปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำของข้าวเหนียวกลิ้งและข้าวเหนียวขาว

วิธีการทดสอบหาปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำ (Solid loss) ของข้าวเหนียวกลิ้งและข้าวเหนียวขาวทำได้โดยนำน้ำที่ใส่แช่ตัวอย่างข้าวเหนียว (80 g) ที่เวลาต่างๆ ข้างต้น ใส่ในหลอดทดลองแล้วทำการระเหยที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 24 h จากนั้นนำตัวอย่างมาทิ้งไว้ในโถดูดความชื้นนาน 45 min ชั่งน้ำหนักอีกครั้ง ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำของข้าวเหนียวกลิ้งและข้าวเหนียวขาวสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 4.4

$$\text{Solid loss (\%)} = \frac{\text{Increased mass of Erlenmeyer flask}}{\text{Mass of waxy rice sample}} \times 100 \quad (4.4)$$

แต่ละตัวอย่างทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้งและนำค่าเฉลี่ยมาแสดงผล

4.2.7 วิธีการหุงต้มข้าวเหนียวกลิ้งและข้าวเหนียวขาว

วิธีการหุงต้มข้าวเหนียวกลิ้งและข้าวเหนียวขาวใช้วิธีการให้ความร้อนโดยใช้ไอน้ำ โดยก่อนทำการหุงต้ม ตัวอย่างข้าวเหนียวกลิ้งและข้าวเหนียวขาวถูกนำมาแช่น้ำกลั่นเป็นเวลา 1, 3 และ 5 h ซึ่งเวลาเหล่านี้เป็นเวลาที่ข้าวเหนียวดูดซับน้ำจนอิ่มตัวและมีปริมาณน้ำเพียงพอต่อการทำให้สุก เมื่อครบตามเวลาที่กำหนดแล้ว รินน้ำออก จากนั้นนำตัวอย่างข้าวเหนียวกลิ้งและข้าวเหนียวขาวที่ผ่านการแช่น้ำแล้ววางบนหม้อนึ่งไอน้ำ (Perforated steamer) เวลาที่ใช้ในการหุงต้มสำหรับข้าวเหนียวขาวและข้าวเหนียวกลิ้งคือ 30 และ 80 min ตามลำดับ จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องประมาณ 10 min (Juliano, 1985) ก่อนนำไปทดสอบสมบัติด้านเนื้อสัมผัสและการทดสอบด้านประสาทสัมผัสต่อไป

4.2.8 การทดสอบด้านประสาทสัมผัสของข้าวเหนียวกลิ้งสุกและข้าวเหนียวขาวสุก

การทดสอบด้านประสาทสัมผัสของข้าวเหนียวกลิ้งสุกและข้าวเหนียวขาวสุกมีวิธีทดสอบดังต่อไปนี้ ตัวอย่างข้าวเหนียวกลิ้งสุกและข้าวเหนียวขาวสุกตัวอย่างละ 300 g หลังจากหุงสุกใหม่ๆ เก็บไว้ในภาชนะที่มีฉนวนหุ้มเป็นเวลา 10 min ก่อนเริ่มทำการทดสอบ คุณภาพที่ทำการทดสอบได้แก่ ความขาว (Whiteness) ความเกาะตัว (Cohesiveness) รสชาติ (Taste) ความนุ่ม (Tenderness) ความเหนียว (Stickiness) และความชอบโดยรวม (Overall acceptability) จากผู้เชี่ยวชาญที่ได้รับการฝึกฝนเป็นอย่างดีของสถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จำนวน 15 คน ทำแบบทดสอบวัดสเกลความชอบ (Hedonic scale) ซึ่งมี 9 ระดับดังนี้

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

4.2.9 การหาปริมาณรูพรุนในเมล็ดข้าวเหนียวจากภาพ SEM โดยใช้โปรแกรม Image J

การวัดขนาดรูพรุนของเมล็ดข้าวเหนียวอ้างอิงและเมล็ดข้าวเหนียวที่ผ่านการอบแห้งจากภาพ SEM ใช้โปรแกรม Image J (version 1.37c, National Institutes of Health, Bethesda, MD) ในการวิเคราะห์ ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้สำหรับคำนวณขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและพื้นที่ของรูพรุนในเมล็ดข้าวเหนียว โดยมีหลักการดังนี้ ภาพ SEM เป็นภาพสีเทาและมีหน่วยวัดข้อมูลขนาด 8 bit ระดับความเข้มของสีเทามีค่าระหว่าง 0-255 จากนั้นภาพ SEM ถูกเปลี่ยนเป็นภาพขาวดำ (Binary images) ในโปรแกรม Image J และมีการปรับ Threshold เพื่อแบ่งพื้นที่ที่เป็นของแข็งและรูพรุน โดย Threshold ที่ปรับมีค่าอยู่ระหว่าง 30-50 ขึ้นอยู่กับมิติของแต่ละภาพ และกำหนดว่าสีดำ คือค่าที่ต่ำกว่าค่า Threshold ที่ตั้งไว้ และเป็นพื้นที่ของรูพรุน ส่วนสีขาวคือ ค่าที่มากกว่า Threshold ที่กำหนดและเป็นพื้นที่ของของแข็ง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนคำนวณจากพื้นที่วงกลมที่เป็นสีดำ

4.2.10 การวิเคราะห์ทางสถิติ

รายละเอียดการวิเคราะห์ทางสถิติได้กล่าวไว้ในบทที่ 3

4.3 ผลการทดลองและวิจารณ์

4.3.1 องค์ประกอบของโปรตีนและไขมันของแป้งข้าวเหนียวกลิ้ง

ตารางที่ 4.1 แสดงองค์ประกอบของโปรตีนและไขมันของแป้งข้าวเหนียวกลิ้งอ้างอิง แป้งข้าวเหนียวขาวอ้างอิง และแป้งข้าวเหนียวกลิ้งที่อุณหภูมิอบแห้งต่างๆ พบว่า ปริมาณโปรตีนและไขมันของตัวอย่างแป้งข้าวเหนียวกลิ้งอ้างอิงมีค่ามากกว่าปริมาณโปรตีนและไขมันของแป้งข้าวเหนียวขาวอ้างอิง เมื่อนำข้าวเหนียวกลิ้งมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 90-150 °C พบว่าปริมาณโปรตีนและไขมันของตัวอย่างแป้งทั้งหมดไม่แตกต่างจากปริมาณโปรตีนและไขมันของตัวอย่างแป้งข้าวเหนียวกลิ้งอ้างอิง

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบของโปรตีนและไขมันของแป้งข้าวเหนียวกล้องอ้างอิง แป้งข้าวเหนียวขาวอ้างอิง และแป้งข้าวเหนียวกล้องที่อุณหภูมิอบแห้งต่างๆ

Processing condition	Protein content (%)	Lipid content (%)
Reference white waxy rice	7.34 ± 0.02 ^a	0.57 ± 0.02 ^a
Reference brown waxy rice	7.41 ± 0.03 ^b	2.44 ± 0.09 ^b
90 °C	7.42 ± 0.01 ^b	2.61 ± 0.15 ^b
130 °C	7.45 ± 0.05 ^b	2.56 ± 0.00 ^b
150 °C	7.44 ± 0.05 ^b	2.69 ± 0.01 ^b

Different superscripts in the same column mean that the values are significantly different ($p<0.05$)

4.3.2 สมบัติทางความร้อนของแป้งข้าวเหนียวกล้องและแป้งข้าวเหนียวขาว

สมบัติทางความร้อนของแป้งข้าวเหนียวกล้องและแป้งข้าวเหนียวขาวได้แก่ อุณหภูมิทรานซิชัน (Transition temperature) คือ อุณหภูมิเริ่มต้น (T_o) อุณหภูมิสูงสุด (T_p) และอุณหภูมิตสุดท้าย (T_c) ของการเกิดเจลในเซชัน เอนทาลปี (ΔH) และระดับการเกิดเจลในเซชัน (DG) แสดงดังตารางที่ 4.2 จากผลการทดลอง พบว่า ตัวอย่างแป้งข้าวเหนียวกล้องอ้างอิงมีอุณหภูมิการเกิดเจลในเซชันทั้ง 3 ค่า (T_o , T_p , T_c) สูงกว่าตัวอย่างแป้งข้าวเหนียวขาวอ้างอิงแต่เอนทาลปีมีค่าต่ำกว่า สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากองค์ประกอบของโปรตีนและไขมันในข้าวเหนียวกล้องอ้างอิงมีค่ามากกว่าข้าวเหนียวขาวอ้างอิง (ดังตารางที่ 4.1) ขั้วขวางการพองตัวของเม็ดแป้งจึงทำให้อุณหภูมิทรานซิชันเพิ่มขึ้น จากรายงานของ Zhu, et al. (2010) พบว่า สัดส่วนของโปรตีนในแป้งข้าวเหนียวมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิทรานซิชันและเอนทาลปีของตัวอย่างแป้งข้าวเหนียว โดยอุณหภูมิทรานซิชันมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณโปรตีนสูงขึ้น ในขณะที่เอนทาลปีมีค่าลดลง

ตารางที่ 4.2 สมบัติทางความร้อนของแป้งข้าวเหนียวกลิ้งและแป้งข้าวเหนียวขาวที่อุณหภูมิอบแห้งต่างๆ

Processing condition	Transition temperature (°C)			ΔH^B	DG ^C
	T_o^A	T_p^A	T_c^A	(J/g)	(%)
White waxy rice					
Reference	61.1 ± 0.00 ^a	68.5 ± 0.00 ^a	76.8 ± 0.05 ^a	6.8	0
90 °C	62.0 ± 0.00 ^c	70.0 ± 0.05 ^d	78.4 ± 0.05 ^c	6.5	4.8
110 °C	62.3 ± 0.00 ^d	69.7 ± 0.00 ^c	78.2 ± 0.05 ^b	5.4	20.8
130 °C	61.9 ± 0.05 ^b	69.5 ± 0.05 ^b	78.4 ± 0.00 ^c	5.0	26.4
150 °C	62.9 ± 0.00 ^e	70.9 ± 0.00 ^e	79.2 ± 0.05 ^d	4.4	35.4
Brown waxy rice					
Reference	65.2 ± 0.07 ^a	71.1 ± 0.00 ^a	75.8 ± 0.05 ^a	4.8	0
90 °C	67.0 ± 0.01 ^b	72.3 ± 0.02 ^b	76.5 ± 0.00 ^b	4.5	6.2
110 °C	67.0 ± 0.00 ^b	72.4 ± 0.01 ^c	76.7 ± 0.02 ^c	3.4	29.2
130 °C	67.3 ± 0.02 ^c	73.1 ± 0.01 ^d	76.8 ± 0.02 ^d	2.9	39.6
150 °C	67.4 ± 0.01 ^d	73.9 ± 0.01 ^e	76.9 ± 0.01 ^e	2.7	43.8

^A T_o , T_p , T_c = The temperature of onset, peak, and conclusion of gelatinization, respectively,

^B ΔH = Enthalpy of gelatinization, ^C DG = Degree of gelatinization

Different superscripts in the same column mean that the values are significantly different (p<0.05)

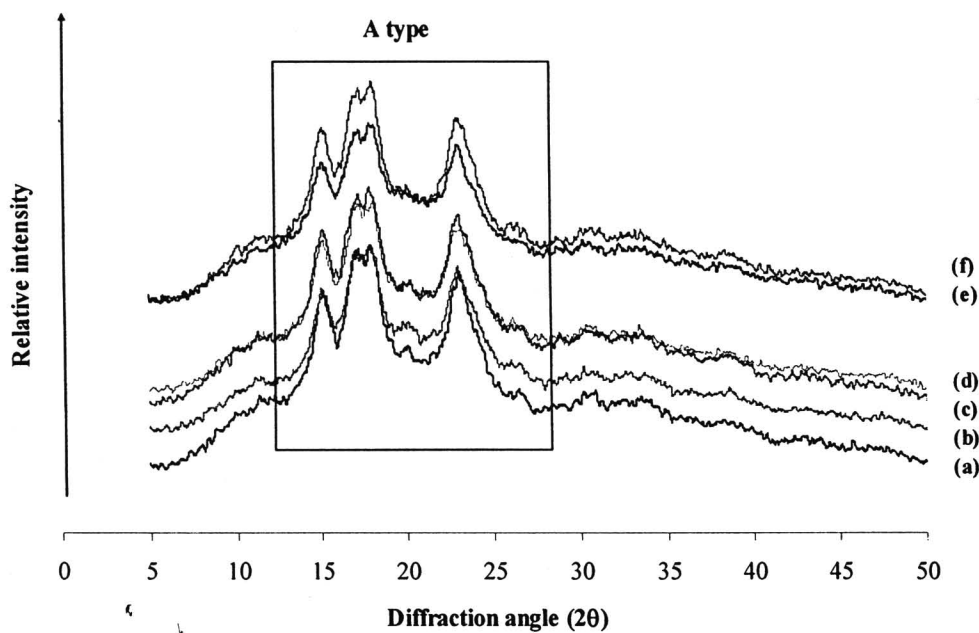
เมื่ออบแห้งข้าวเหนียวที่อุณหภูมิ 90-150 °C อุณหภูมิทรานซิชันทั้ง 3 ค่า (T_o , T_p , T_c) ของตัวอย่างแป้งข้าวเหนียวกลิ้งและแป้งข้าวเหนียวขาวที่ผ่านการอบแห้งมีค่ามากกว่าอุณหภูมิทรานซิชันของตัวอย่างแป้งข้าวเหนียวกลิ้งและแป้งข้าวเหนียวขาวอ้างอิง สำหรับเอนทาลปีของแป้งข้าวเหนียวกลิ้งและข้าวเหนียวขาวที่ผ่านการอบแห้งมีค่าน้อยกว่าตัวอย่างแป้งข้าวเหนียวกลิ้งและแป้งข้าวเหนียวขาวอ้างอิง เมื่ออุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้น เอนทาลปีของตัวอย่างแป้งข้าวเหนียวกลิ้งและแป้งข้าวเหนียวขาวมีค่าลดลงตามลำดับ โดยตัวอย่างแป้งข้าวเหนียวกลิ้งและแป้งข้าวเหนียวขาวที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 150 °C มีค่าเอนทาลปีน้อยที่สุดคือ 2.7 J/g และ 4.4 J/g ตามลำดับ เมื่อนำมาคำนวณระดับการเกิดเจลลิตีในเซชัน โดยเทียบกับตัวอย่างแป้งข้าวเหนียวกลิ้งและแป้งข้าวเหนียวขาวอ้างอิงพบว่า ระดับการเกิดเจลลิตีในเซชันของตัวอย่างข้าวเหนียวกลิ้งและข้าวเหนียวขาวที่อุณหภูมิอบแห้ง 150 °C มีค่าสูงสุด ระดับการเกิดเจลลิตีในเซชันของข้าวเหนียวกลิ้งและข้าวเหนียวขาวที่อุณหภูมิดังกล่าวคือ 35.4% และ 43.8% ตามลำดับ

การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิทรานซิชัน และการลดลงของเอนทัลปีของตัวอย่างแป้งข้าวเหนียวที่ผ่านการอบแห้งนั้น เกิดจากโครงสร้างภายในชั้นผลึกบางส่วนถูกทำลายด้วยความร้อนจากอุณหภูมิมอบแห้งที่สูงกว่าอุณหภูมิแป้งสุก เมื่อนำตัวอย่างแป้งข้าวเหนียวที่ผ่านการอบแห้งมาทดสอบสมบัติทางความร้อนจึงต้องใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้นในการทำให้เกิดเจลลิตีในซีกอีกครั้ง และใช้พลังงานในการทำให้ข้าวสุกน้อยลง นั่นหมายความว่าแป้งเกิดเจลลิตีในเซชันหรือสุกบางส่วนในระหว่างกระบวนการอบแห้ง

4.3.3 การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์และระดับสภาพเป็นผลึกของแป้งข้าวเหนียวกลิ้งและแป้งข้าวเหนียวขาว

การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์และระดับสภาพเป็นผลึกของตัวอย่างแป้งข้าวเหนียวกลิ้งอ้างอิง ข้าวเหนียวขาวอ้างอิง ข้าวเหนียวกลิ้งและข้าวเหนียวขาวที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4.1 และตารางที่ 4.3 ตามลำดับ โครงสร้างผลึกของแป้งข้าวเหนียวเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่มุม 15° , 17° , 18° และ 23° แสดงถึงโครงสร้างผลึกของแป้งข้าวเหนียวเป็นชนิด A (A-type) (Miao et al., 2010) และมีระดับสภาพเป็นผลึกของข้าวเหนียวขาวและข้าวเหนียวกลิ้งอ้างอิงระหว่าง 17.7%–18.8% เมื่ออุณหภูมิมอบแห้งสูงขึ้น โครงสร้างผลึกของแป้งข้าวเหนียวกลิ้งและข้าวเหนียวขาวที่ผ่านการอบแห้งยังมีโครงสร้างผลึกเป็นชนิด A เหมือนโครงสร้างผลึกของข้าวเหนียวอ้างอิงแต่มีระดับสภาพเป็นผลึกลดลง โดยระดับสภาพเป็นผลึกของแป้งข้าวเหนียวทั้งสองมีค่าลดลงจาก 17.2% เป็น 15.1% เมื่ออุณหภูมิมอบแห้งเพิ่มขึ้นจาก 90-150 °C การอบแห้งข้าวเหนียวที่อุณหภูมิสูงกว่า 130 °C ทำให้ระดับสภาพเป็นผลึกของแป้งข้าวเหนียวกลิ้งและข้าวเหนียวขาวมีความแตกต่างจากตัวอย่างแป้งข้าวเหนียวอ้างอิงอย่างมีนัยสำคัญ

การเปลี่ยนแปลงระดับสภาพเป็นผลึกเทียบกับระดับการเกิดเจลลิตีในเซชันของข้าวเหนียวขาวและข้าวเหนียวกลิ้ง พบว่า ระดับสภาพเป็นผลึกในกรณีข้าวเหนียวขาวและข้าวเหนียวกลิ้งไม่แตกต่างกันแต่ระดับการเกิดเจลลิตีในเซชันมีค่าแตกต่างกันระหว่างข้าวเหนียวขาวและข้าวเหนียวกลิ้งเนื่องจากเกิดการขัดขวางการหลอมละลายผลึกหรือการพองตัวของแป้งจาก อะมิโลเพกตินจับพันธะกับโปรตีนและ/หรือไขมัน



รูปที่ 4.1 การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของตัวอย่างแป้งข้าวเหนียว; (a) ข้าวเหนียวขาวอ้างอิง; (b) ข้าวเหนียวกล้องอ้างอิง; (c) ข้าวเหนียวขาวที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 °C; (d) ข้าวเหนียวกล้องที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 °C; (e) ข้าวเหนียวขาวที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 150 °C; (f) ข้าวเหนียวกล้องที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 150 °C

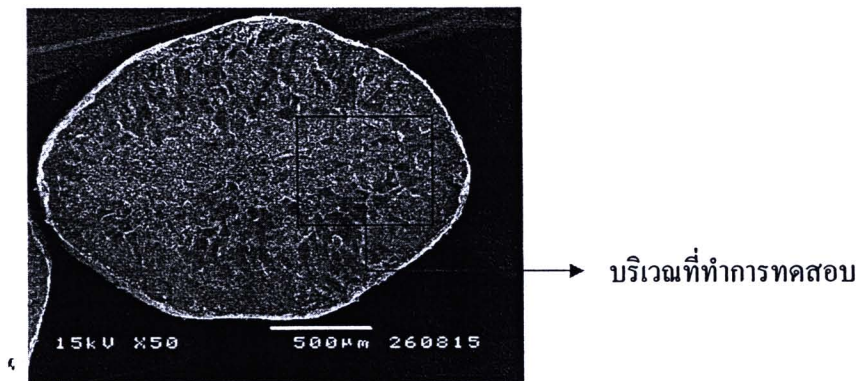
ตารางที่ 4.3 ระดับสภาพเป็นผลึกของแป้งข้าวเหนียวกล้องและแป้งข้าวเหนียวขาวที่เงื่อนไขต่างๆ

Processing condition	Degree of crystallinity (%)
White waxy rice	
Reference	17.7 ± 0.7 ^{cd}
90 °C	17.2 ± 0.4 ^{cd}
130 °C	15.9 ± 0.9 ^{abcd}
150 °C	15.2 ± 0.6 ^{ab}
Brown waxy rice	
Reference	18.8 ± 0.5 ^d
90 °C	17.2 ± 0.8 ^{bcd}
130 °C	16.6 ± 0.9 ^{abc}
150 °C	15.1 ± 0.4 ^a

Different superscripts in the same column mean that the values are significantly different (p<0.05)

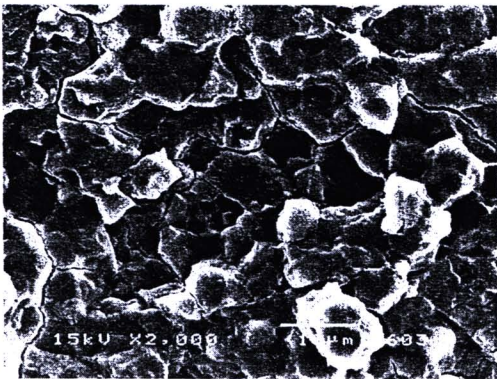
4.3.4 โครงสร้างระดับจุลภาคของเมล็ดข้าวเหนียวกลิ้งและข้าวเหนียวขาว

รูปที่ 4.2 แสดงภาคตัดขวางของเมล็ดข้าวเหนียวโดยเครื่อง SEM กำลังขยาย 50 เท่า โดยระบุตำแหน่ง ที่ทำการทดสอบโครงสร้างระดับจุลภาคของเมล็ดข้าวเหนียว

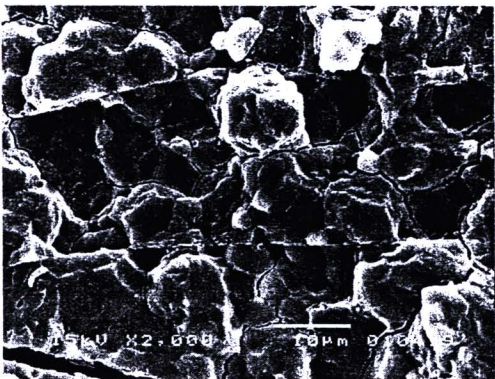


รูปที่ 4.2 ภาคตัดขวางของเมล็ดข้าวเหนียว

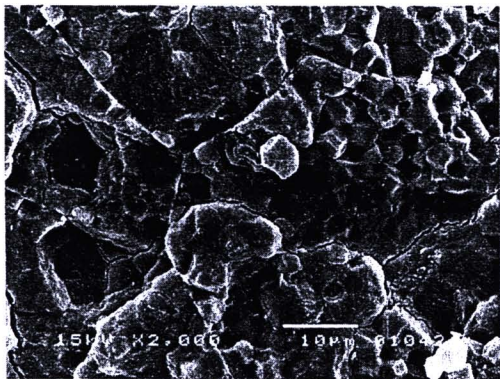
โครงสร้างระดับจุลภาคของเมล็ดข้าวเหนียวกลิ้งและข้าวเหนียวขาวโดยเครื่อง SEM ส่องบริเวณใกล้ตรงกลางของเมล็ดข้าวกำลังขยาย 2000 เท่า แสดงดังรูปที่ 4.3a-f โดยรูปที่ 4.3a และ b แสดงโครงสร้างภายในเมล็ดข้าวเหนียวกลิ้งอ้างอิงและข้าวเหนียวขาวอ้างอิงตามลำดับ พบว่า โครงสร้างเม็ดแป้งภายในของเมล็ดข้าวเหนียวทั้งสองไม่แตกต่างกันโดยเม็ดแป้งมีลักษณะเป็นรูปร่าง 5 เหลี่ยมเกาะรวมตัวกันอยู่เป็นกลุ่มและมีรูพรุนซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.3-0.6 µm (ขนาดของรูพรุนวัดโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Image J (Image J version 1.37c, National Institutes of Health, Bethesda, MD) กระจายอยู่ทั่วไปตลอดพื้นที่หน้าตัดของเมล็ด แต่ไม่สามารถระบุจำนวนได้เนื่องจากข้อจำกัดของเครื่อง SEM ที่ไม่สามารถถ่ายภาพให้เห็นโครงสร้างที่มีจำนวนรูพรุนได้ทั้งหมด เมื่อข้าวเหนียวผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 และ 150 °C (รูปที่ 4.3c-f) เมล็ดข้าวเหนียวกลิ้งและเมล็ดข้าวเหนียวขาวเกิดเจลาติไนเซชันบางส่วนทำให้เม็ดแป้งหลอมละลายเข้าด้วยกันแต่ยังคงมีบางส่วนมีรูพรุนซึ่งรูพรุนนี้อาจเป็นรูพรุนดั้งเดิมก่อนการอบแห้งและรูพรุนที่เกิดขึ้นใหม่ในระหว่างกระบวนการอบแห้ง โดยกระจายอยู่ทั่วไปตลอดพื้นที่หน้าตัดของเมล็ดข้าวเหนียว ในกรณีอุณหภูมิ 90 °C รูพรุนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.3-0.7 µm ส่วนกรณีอุณหภูมิ 150 °C รูพรุนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.06-1.2 µm



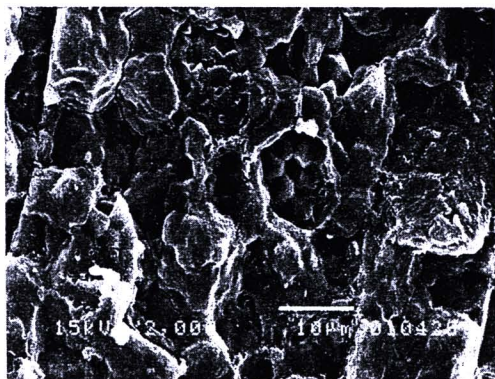
(a) Reference brown waxy rice



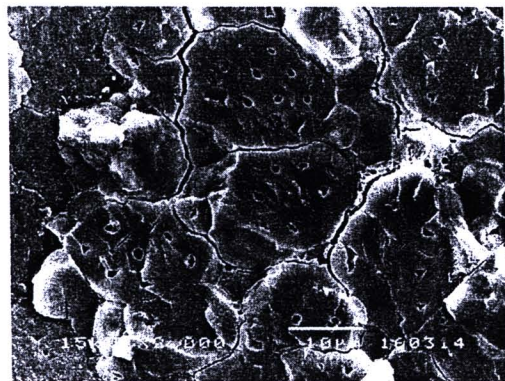
(b) Reference white waxy rice



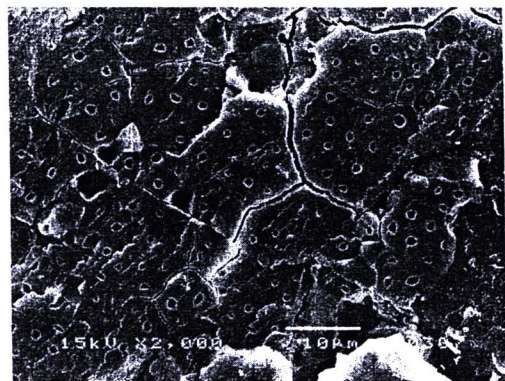
(c) Brown waxy rice dried at 90 °C



(d) White waxy rice dried at 90 °C



(e) Brown waxy rice dried at 150 °C



(f) White waxy rice dried at 150 °C

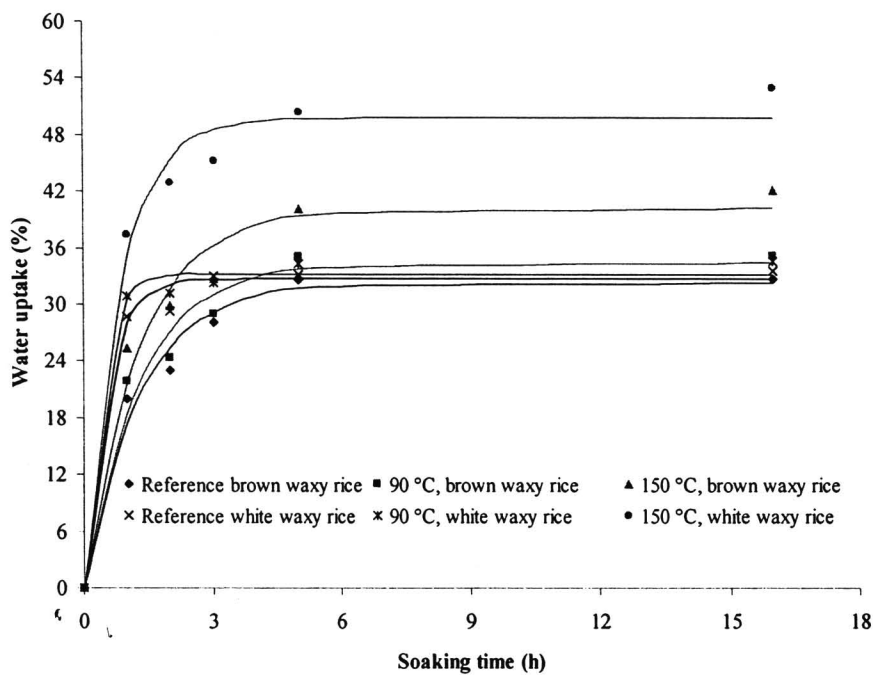
รูปที่ 4.3 โครงสร้างระดับจุลภาคของเมล็ดข้าวเหนียวกลี้งและข้าวเหนียวขาวที่เงื่อนไขต่างๆ

ในกรณีอุณหภูมิ 150 °C สังเกตได้ว่าขนาดของรูพรุนมีความหลากหลายตั้งแต่มีขนาดเล็กกว่ารูพรุนดั้งเดิมจนถึงมีขนาดใหญ่กว่ารูพรุนดั้งเดิมทั้งนี้เนื่องจากการเกิดเจลาติไนเซชันที่เพิ่มขึ้นทำให้เม็ดแป้งแตกตัวมากขึ้นและไหลไปเติมเต็มรูพรุนดั้งเดิมที่อยู่บริเวณใกล้เคียง ในขณะที่รูพรุนที่มีขนาดใหญ่กว่ารูพรุนดั้งเดิมเกิดขึ้นเนื่องจากเม็ดแป้งข้าวเหนียวที่แตกตัวแยกออกจากกันมากทำให้เกิดระยะห่าง

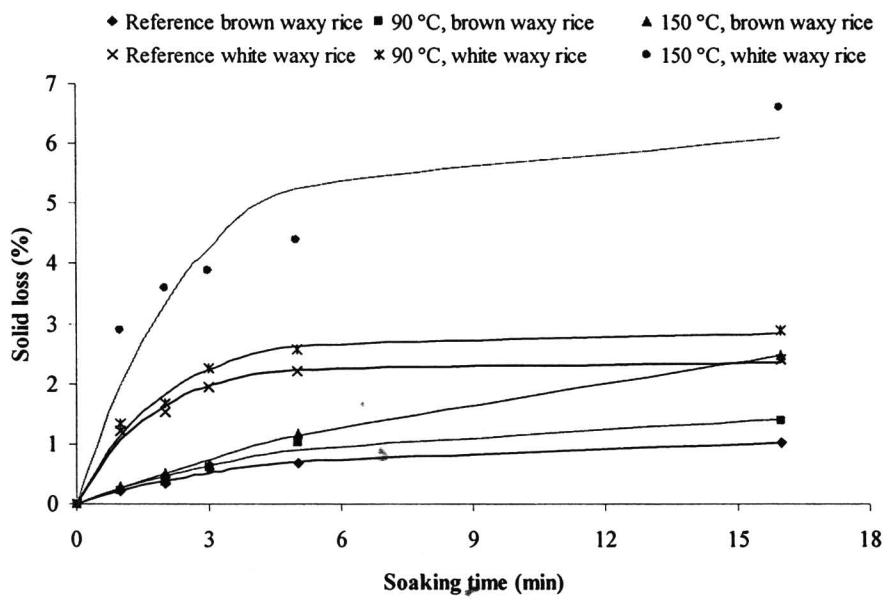
มากขึ้นและข้าวเหนียวมีความหนืดสูงทำให้เม็ดแป้งไหลไปเติมเต็มช่องว่างที่เกิดขึ้นนั้นได้ยากซึ่งแตกต่างจากการเกิดเจลลิตีในเซชันในข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสสูงที่พบว่าความหนืดสูงสุดของเม็ดแป้งระหว่างเกิดเจลลิตีในเซชันมีค่าต่ำกว่าความหนืดสูงสุดในกรณีของข้าวเหนียวจึงทำให้มีการไหลไปเติมเต็มช่องว่างที่เกิดขึ้นได้ดีกว่า จากงานวิจัยของ Zavareze et al. (2010) พบว่า ความหนืดสูงสุดของข้าวอ้างอิงที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำมีค่ามากกว่าข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสปานกลางและข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสสูงตามลำดับ และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.5$) ผลการทดลองสอดคล้องกับ Hu et al. (2004) พบว่า ข้าวสายพันธุ์อินดิกาได้แก่พันธุ์ Yunuo No.1 (ปริมาณอะมิโลส 1.1%) มีความหนืดสูงสุดสูงกว่าพันธุ์ Zhefu504 (ปริมาณอะมิโลส 13.2%) และ พันธุ์ ZF201 (ปริมาณอะมิโลส 26.8%) ตามลำดับ

4.3.5 ปริมาณการดูดซับน้ำและปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำของเมล็ดข้าวเหนียวกล้องและเมล็ดข้าวเหนียวขาว

รูปที่ 4.4 แสดงปริมาณการดูดซับน้ำ (Water uptake) และปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำ (Solid loss) ของเมล็ดข้าวเหนียวกล้องและเมล็ดข้าวเหนียวขาวระหว่างการแช่ในน้ำกลั่นที่ระยะเวลาแช่ 0-16 h ผลการทดลอง พบว่า ตัวอย่างเมล็ดข้าวเหนียวขาวอ้างอิง เมล็ดข้าวเหนียวกล้องอ้างอิง เมล็ดข้าวเหนียวขาวและเมล็ดข้าวเหนียวกล้องที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ มีปริมาณการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาแช่นานขึ้น ตัวอย่างเมล็ดข้าวเหนียวขาวอ้างอิงและเมล็ดข้าวเหนียวกล้องอ้างอิงมีปริมาณการดูดซับน้ำสูงสุดประมาณ 33% ที่ระยะเวลาแช่ 3 และ 5 h ตามลำดับ หลังระยะเวลาแช่ดังกล่าว ปริมาณการดูดซับน้ำของตัวอย่างเมล็ดข้าวเหนียวทั้งสองมีค่าคงที่จนถึงสิ้นสุดการทดลอง (16 h) (รูปที่ 4.4a) สำหรับตัวอย่างเมล็ดข้าวเหนียวขาวและข้าวเหนียวกล้องหลังผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 150 °C มีปริมาณการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาแช่นานขึ้น ส่วนกรณีข้าวเหนียวขาวและข้าวเหนียวกล้องที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 °C มีปริมาณการดูดซับน้ำคล้ายคลึงกับกรณีข้าวเหนียวขาวและข้าวเหนียวกล้องอ้างอิง ข้าวเหนียวกล้องใช้เวลาแช่นานกว่าข้าวเหนียวขาว เนื่องจากชั้นรำที่มีองค์ประกอบของโปรตีนในปริมาณมากกว่าจัดเรียงตัวเป็นชั้นหนาล้อมรอบเม็ดแป้งเอาไว้ทำให้น้ำแพร่เข้าไปภายในเมล็ดช้ากว่าข้าวเหนียวขาว



(a) ปริมาณการดูดซับน้ำ



(b) ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำ

รูปที่ 4.4 (a) ปริมาณการดูดซับน้ำและ (b) ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำของข้าวเหนียวกลิ้งอ้างอิง และข้าวเหนียวขาวอ้างอิง ข้าวเหนียวกลิ้งและข้าวเหนียวขาวที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ ต่างๆ

เมื่อพิจารณาผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำจากรูปที่ 4.4b พบว่า ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำของข้าวเหนียวกลิ้งอ้างอิงและข้าวเหนียวขาวอ้างอิงมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการแช่น้ำนานขึ้น ที่เวลาในการแช่เดียวกันข้าวเหนียวขาวมีปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำมากกว่าข้าวเหนียวกลิ้ง ที่เวลาในการแช่ 16 h ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำของข้าวเหนียวกลิ้งมีค่า 1.0% สำหรับข้าวเหนียวขาวมีปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำ 2.4% สำหรับข้าวเหนียวกลิ้งและข้าวเหนียวขาวที่ผ่านการอบแห้งที่เงื่อนไขต่างๆ มีปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาแช่น้ำนานขึ้น โดยตัวอย่างเมล็ดข้าวเหนียวขาวและข้าวเหนียวกลิ้งที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงกว่า มีปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำมากกว่าตัวอย่างเมล็ดข้าวเหนียวขาวและข้าวเหนียวกลิ้งที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำกว่า

จากผลการทดลองแช่ข้าวเหนียวขาวอ้างอิงและข้าวเหนียวกลิ้งอ้างอิงเป็นเวลา 16 h (ซึ่งเป็นวิธีที่ปฏิบัติกัน) พบว่า ปริมาณการดูดซับน้ำสูงสุดของเมล็ดข้าวเหนียวมีค่าประมาณ 33% และเป็นปริมาณความชื้นที่ทำให้ข้าวเหนียวสุก ดังนั้น จึงใช้ความชื้นนี้เป็นเกณฑ์สำหรับการแช่ข้าวเหนียวโดย พบว่า ข้าวเหนียวกลิ้งหลังผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90, 130 และ 150 °C ระยะเวลาสำหรับการแช่คือ 5, 3 และ 3 h ตามลำดับ ส่วนระยะเวลาการแช่สำหรับข้าวเหนียวขาวหลังผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90, 130 และ 150 °C คือ 3, 1 และ 1 h ตามลำดับ ดังนั้นจึงนำข้าวเหนียวกลิ้งและข้าวเหนียวขาวที่แช่น้ำตามระยะเวลาที่เหมาะสมเหล่านี้ไปทดสอบสมบัติด้านเนื้อสัมผัสในหัวข้อถัดไป

ที่ปริมาณการดูดซับน้ำของตัวอย่างข้าวเหนียวกลิ้งและตัวอย่างข้าวเหนียวขาวเดียวกัน (ประมาณ 33%) พบว่า ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำของตัวอย่างข้าวเหนียวกลิ้งและตัวอย่างข้าวเหนียวขาวที่ผ่านการอบแห้งมีค่าสูงกว่าปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำของข้าวเหนียวกลิ้งอ้างอิงและข้าวเหนียวขาวอ้างอิง เมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิสูงขึ้น ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำของตัวอย่างข้าวเหนียวกลิ้งและข้าวเหนียวขาวมีค่าเพิ่มขึ้น โดยข้าวเหนียวกลิ้งที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 และ 150 °C ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น 5 และ 14% ตามลำดับ สำหรับข้าวเหนียวขาว พบว่า ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำของข้าวเหนียวขาวที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 และ 150 °C มีค่าเพิ่มขึ้น 15 และ 42% เมื่อเทียบกับข้าวเหนียวขาวอ้างอิง ตามลำดับ (ดูรูปที่ 4.4b)

4.3.6 สมบัติด้านเนื้อสัมผัสของข้าวเหนียวกลิ้งสุกและข้าวเหนียวขาวสุก

ตารางที่ 4.4 แสดงสมบัติด้านเนื้อสัมผัสเช่น ความแข็ง และความเหนียวของข้าวเหนียวกลิ้งสุกและข้าวเหนียวขาวสุกที่เงื่อนไขต่างๆ โดยเลือกที่ระยะเวลาการแช่ดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 4.3.5 สำหรับแต่ละเงื่อนไขของการอบแห้งนำมาเปรียบเทียบกัน ผลการทดลองพบว่า ความแข็งของข้าวเหนียวกลิ้ง



สุกมีค่ามากกว่าความแข็งของข้าวเหนียวขาวสุก ในขณะที่ความเหนียวของตัวอย่างทั้งสองมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเนื่องจากปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำมีค่าไม่แตกต่างกัน (ดังรูปที่ 4.3b)

หลังจากอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่าความแข็งของตัวอย่างข้าวเหนียวทั้งสองมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิอบแห้งเพิ่มสูงขึ้น โดยความแข็งของตัวอย่างข้าวเหนียวกล้องสุกเมื่อผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 150 °C มีค่าลดลง 16% เมื่อเทียบกับตัวอย่างข้าวเหนียวกล้องอ้างอิง ในขณะที่ความแข็งของข้าวเหนียวขาวสุกเมื่อผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 150 °C มีค่าลดลง 42% จากความแข็งของข้าวเหนียวขาวสุกอ้างอิง

ตารางที่ 4.4 สมบัติด้านเนื้อสัมผัสของข้าวเหนียวกล้องและข้าวเหนียวขาวสุกที่เงื่อนไขต่างๆ

Processing condition	Cooking time (min)	Hardness (N)	Stickiness (N)
White waxy rice			
Reference, ST = 3 h	30	52.1 ± 4.2 ^c	0.9 ± 0.6 ^a
90 °C, ST = 3 h		50.6 ± 6.3 ^c	1.0 ± 0.1 ^a
130 °C, ST = 1 h		39.3 ± 5.3 ^d	2.1 ± 0.1 ^b
150 °C, ST = 1 h		34.1 ± 6.8 ^d	2.1 ± 0.1 ^b
Brown waxy rice			
Reference, ST = 5 h	80	131.4 ± 1.7 ^a	1.2 ± 0.5 ^a
90 °C, ST = 5 h		125.8 ± 2.4 ^a	2.1 ± 0.3 ^b
130 °C, ST = 3 h		121.7 ± 4.2 ^b	2.1 ± 0.4 ^b
150 °C, ST = 3 h		111.8 ± 6.7 ^b	2.3 ± 0.2 ^b

ST = Soaking time (h)

Different superscripts in the same column mean that the values are significantly different ($p<0.05$)

สำหรับกรณีความเหนียวของข้าวเหนียวสุก พบว่า ข้าวเหนียวกล้องสุกที่ผ่านการอบแห้งมีความเหนียวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับข้าวเหนียวกล้องอ้างอิง ในกรณีของข้าวเหนียวขาวสุกที่ผ่านการอบแห้งก็เป็นไปในทำนองเดียวกัน เมื่ออุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้น ความเหนียวของตัวอย่างข้าวเหนียวที่ผ่านการอบแห้งทั้งสองมีค่าเพิ่มขึ้น สำหรับเหตุผลของความแข็งที่มีค่าลดลงแต่ความเหนียวมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อผ่านกระบวนการอบแห้งแล้วเนื่องจากการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงทำให้โครงสร้างภายในเมล็ดข้าวเหนียวทั้งสองเกิดรูพรุนมากขึ้น ทำให้เกิดการสูญเสียปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำของข้าว

เหนียวขาวและข้าวเหนียวกลิ้งเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้น ส่งผลให้เมื่อนำไปผ่านการหุงต้ม ตัวอย่างเมล็ดข้าวเหนียวที่ผ่านการอบแห้งจึงมีความนุ่มเหนียวมากขึ้น

4.3.7 สมบัติด้านความหนืดของแป้งข้าวเหนียวกลิ้งและแป้งข้าวเหนียวขาว

สมบัติด้านความหนืดของแป้งข้าวเหนียวกลิ้งและแป้งข้าวเหนียวขาวได้แก่ ความหนืดสูงสุด (Peak viscosity) ความหนืดสุดท้าย (Final viscosity), Setback (Final viscosity - Peak viscosity) และ อุณหภูมิเริ่มต้นของการหนืดของแป้ง (Pasting temperature) แสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 สมบัติด้านความหนืดของแป้งข้าวเหนียวกลิ้งและแป้งข้าวเหนียวขาวที่เงื่อนไขต่างๆ

Processing condition	Peak viscosity (RVU)	Final viscosity (RVU)	Setback (RVU)	Pasting temperature (°C)
White waxy rice				
Reference	248.0 ± 0.3 ^h	131.4 ± 0.5 ^d	-116.6 ± 0.6 ^g	65.2 ± 0.5 ^a
90 °C	245.7 ± 1.0 ^h	142.9 ± 1.2 ^g	-102.8 ± 2.0 ^f	65.3 ± 0.4 ^a
110 °C	241.2 ± 1.2 ^g	140.2 ± 1.3 ^f	-101.0 ± 2.5 ^f	66.6 ± 0.4 ^b
130 °C	233.0 ± 2.8 ^f	135.6 ± 1.6 ^e	-97.4 ± 1.5 ^e	67.5 ± 0.4 ^c
150 °C	225.0 ± 0.2 ^e	136.1 ± 0.7 ^e	-88.9 ± 0.9 ^d	68.9 ± 0.3 ^d
Brown waxy rice				
Reference	196.0 ± 2.5 ^d	127.6 ± 1.3 ^c	-68.4 ± 1.7 ^c	71.7 ± 0.4 ^h
90 °C	183.0 ± 4.3 ^c	122.3 ± 2.2 ^b	-60.6 ± 2.4 ^b	70.4 ± 0.1 ^{ef}
110 °C	178.4 ± 2.0 ^b	118.4 ± 1.3 ^a	-60.0 ± 2.0 ^b	70.9 ± 0.4 ^{fg}
130 °C	173.8 ± 1.8 ^a	116.2 ± 1.0 ^a	-57.6 ± 0.9 ^b	71.2 ± 0.1 ^{gh}
150 °C	171.0 ± 2.2 ^a	118.6 ± 1.3 ^a	-52.4 ± 1.8 ^a	70.1 ± 0.5 ^e

Different superscripts in the same column mean that the values are significantly different (p<0.05)

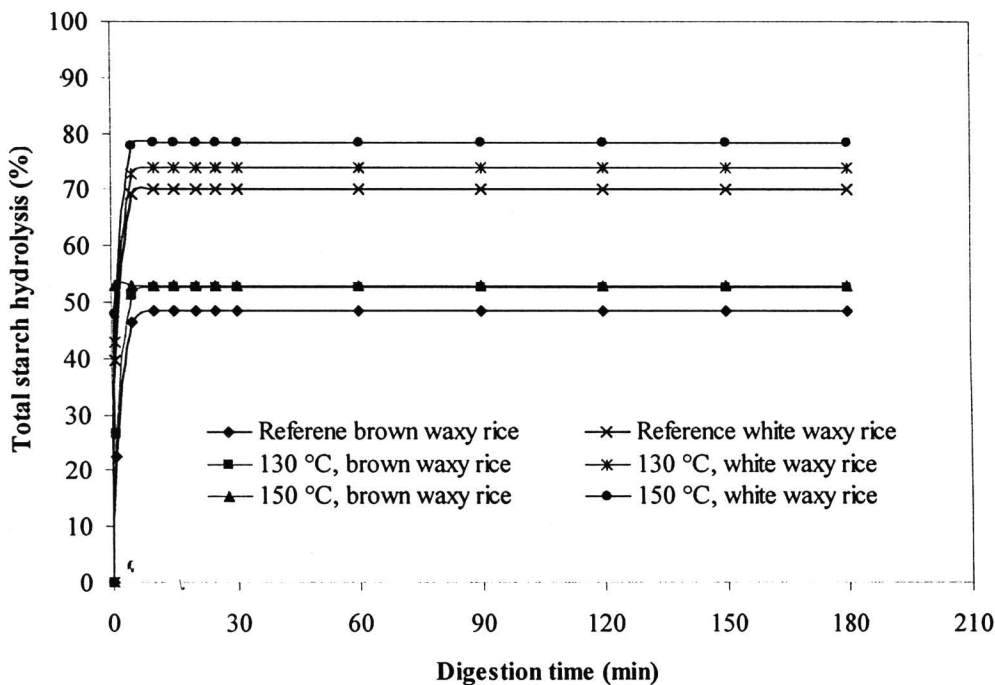
ผลการทดลอง พบว่า ความหนืดสูงสุดของแป้งข้าวเหนียวกลิ้งมีค่าต่ำกว่าความหนืดสูงสุดของแป้งข้าวเหนียวขาวเนื่องจากองค์ประกอบของชั้นรำในข้าวเหนียวกลิ้งขัดขวางการพองตัวของเม็ดแป้ง ค่า Setback ของข้าวเหนียวกลิ้งต่ำกว่าข้าวเหนียวขาวบ่งบอกถึงความแน่นแข็ง (Firmness) ในข้าวเหนียวกลิ้งมากกว่าข้าวเหนียวขาว อุณหภูมิเริ่มต้นของความหนืดของแป้ง (Pasting temperature) บ่ง

บอกถึงเวลาในการหุงต้มถ้ามีค่าสูงแสดงว่ามีการหุงต้มนานขึ้นจากตารางที่ 4.5 ตัวอย่างข้าวเหนียวกล้องใช้เวลาในการหุงต้มนานกว่าข้าวเหนียวขาว

หลังจากข้าวเหนียวผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่าความหนืดสูงสุดของทั้งข้าวเหนียวกล้องและข้าวเหนียวขาวมีค่าลดลงโดยเมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิ 150 °C ความหนืดสูงสุดของตัวอย่างข้าวเหนียวกล้องและข้าวเหนียวขาว ลดลงจากตัวอย่างข้าวเหนียวกล้องและข้าวเหนียวขาวอ้างอิง 14% และ 10% ตามลำดับ สำหรับค่า Setback มีค่าลดลงประมาณ 26% ของทั้งตัวอย่างข้าวเหนียวกล้องและข้าวเหนียวขาว ผลการทดลองสอดคล้องกับผลของ DSC แสดงว่าระดับการเกิดเจลในเซชันสูงขึ้นไปทำให้ค่าความหนืดสูงสุดและ Setback ของข้าวเหนียวลดลง

4.3.8 สมบัติด้านการย่อยและดูดซึมของข้าวเหนียวกล้องสุกและข้าวเหนียวขาวสุก

รูปที่ 4.5 แสดงอัตราการย่อยและดูดซึมของตัวอย่างข้าวเหนียวกล้องและข้าวเหนียวขาวที่เวลาการย่อยตั้งแต่ 0-180 min พบว่าความชันของกราฟมีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงค่าสูงสุดที่เวลาของการย่อย 30 min หลังจากนั้นกราฟมีค่าคงที่จนถึงเวลาสิ้นสุด (180 min) เส้นกราฟของตัวอย่างข้าวเหนียวขาวมีค่าสูงกว่าตัวอย่างข้าวเหนียวกล้องทุกเงื่อนไขของการอบแห้งนั่นคือ ณ เวลาเดียวกันข้าวเหนียวขาวมีอัตราการย่อยมากกว่าข้าวเหนียวกล้อง หลังจากข้าวเหนียวผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงขึ้น อัตราการย่อยของตัวอย่างข้าวเหนียวขาวและตัวอย่างข้าวเหนียวกล้องมีค่าสูงขึ้นเมื่อเทียบกับตัวอย่างข้าวเหนียวอ้างอิงและมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้น ตารางที่ 4.6 แสดงค่าดัชนีไกลซีมิก (Glycemic Index: GI) ของตัวอย่างข้าวเหนียวขาวอ้างอิง ข้าวเหนียวกล้องอ้างอิง ข้าวเหนียวขาวและข้าวเหนียวกล้องที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่าอัตราการย่อยและดูดซึมของตัวอย่างข้าวเหนียวกล้องสุกมีค่าต่ำที่สุดและมีค่าดัชนีไกลซีมิก 87.4 ในขณะที่ตัวอย่างข้าวเหนียวขาวอ้างอิงมีอัตราการย่อยและดูดซึมสูงกว่าและมีค่าดัชนีไกลซีมิกคือ 108.6 ข้าวเหนียวกล้องอ้างอิงมีชั้นรำขัดขวางกระบวนการย่อยและดูดซึมน้ำตาลกลูโคสเข้าสู่ร่างกายทำให้ค่าไกลซีมิกต่ำกว่าข้าวเหนียวขาวอ้างอิง



รูปที่ 4.5 อัตราการย่อยและดูดซึมน้ำตาลของข้าวเหนียวกล้องสุกและข้าวเหนียวขาวสุกที่เงื่อนไขต่างๆ

อย่างไรก็ตามเมื่อข้าวเหนียวผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงขึ้นอัตราการย่อยและดูดซึมมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ทั้งข้าวเหนียวกล้องสุกและข้าวเหนียวขาวสุก ส่งผลให้ค่า GI เพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยค่า GI ของตัวอย่างข้าวเหนียวกล้องสุกที่ผ่านการอบแห้งอุณหภูมิ 130 และ 150 °C มีค่า 91.5 และมีค่าสูงกว่าค่า GI ของข้าวเหนียวกล้องสุกอ้างอิง 4% สำหรับค่า GI ของตัวอย่างข้าวเหนียวขาวที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิดังกล่าวมีค่า 112.2 และ 116.7 ตามลำดับ โดยค่า GI ของตัวอย่างข้าวเหนียวขาวที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 150 °C มีความแตกต่างจากข้าวเหนียวขาวสุกอ้างอิง 8% การเพิ่มขึ้นของค่า GI เกิดจากการแตกตัวของโครงสร้างผลึกระหว่างการเกิดเจลลิตินเซชันเนื่องจากการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงทำให้เอนไซม์สามารถเข้าไปย่อยแป้งได้ง่ายขึ้น

ตารางที่ 4.6 ค่าดัชนีไกลซีมิกของข้าวเหนียวกล้องสุกและข้าวเหนียวขาวสุกที่เงื่อนไขต่างๆ

Processing condition	C_{∞} (%)	k (min ⁻¹)	HI	GI	R ² (%)
White waxy rice					
Reference	70.2 ± 1.6 ^c	0.83 ± 0.01 ^b	125.5 ± 2.8 ^a	108.6 ± 1.6 ^a	0.99
90 °C	71.8 ± 1.4 ^c	0.83 ± 0.00 ^b	127.5 ± 1.4 ^{ab}	109.7 ± 0.8 ^{ab}	0.99
130 °C	73.8 ± 1.0 ^d	0.92 ± 0.01 ^{bc}	132.1 ± 1.8 ^b	112.2 ± 1.0 ^b	0.99
150 °C	78.4 ± 0.1 ^e	0.95 ± 0.00 ^c	140.3 ± 0.2 ^c	116.7 ± 0.1 ^c	0.99
Brown waxy rice					
Reference	48.6 ± 0.7 ^a	0.73 ± 0.12 ^a	86.9 ± 1.3 ^c	87.4 ± 0.7 ^c	0.99
90 °C	50.0 ± 0.9 ^a	0.71 ± 0.07 ^a	89.4 ± 1.5 ^c	88.8 ± 0.8 ^c	0.99
130 °C	52.8 ± 1.8 ^b	0.73 ± 0.04 ^a	94.4 ± 3.3 ^c	91.5 ± 1.8 ^c	0.99
150 °C	52.8 ± 0.1 ^b	0.70 ± 0.03 ^a	94.3 ± 0.1 ^c	91.5 ± 0.1 ^c	0.99

Different superscripts in the same column mean that the values are significantly different ($p<0.05$)

4.3.9 การทดสอบด้านประสาทสัมผัสของข้าวเหนียวกล้องสุกและข้าวเหนียวขาวสุก

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการทดสอบด้านประสาทสัมผัสของข้าวเหนียวขาวสุกโดยให้ผู้ทดสอบชิมข้าวเหนียวในขณะที่ข้าวเหนียวยังอุ่นในเทอมของ ความขาว การเกาะตัว รสชาติ ความนุ่ม ความเหนียว และการยอมรับโดยรวม พบว่าความขาว การเกาะตัวกันระหว่างเมล็ดข้าวเหนียว รสชาติ และความเหนียวของตัวอย่างข้าวเหนียวขาวที่ผ่านการอบแห้งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับลักษณะเนื้อสัมผัสของตัวอย่างข้าวเหนียวขาวอ้างอิง ยกเว้นในกรณีความนุ่ม พบว่าข้าวเหนียวขาวสุกที่ผ่านการอบแห้งอุณหภูมิ 150 °C มีความนุ่มมากกว่าข้าวเหนียวขาวสุกอ้างอิง ในขณะที่ความนุ่มของข้าวเหนียวขาวสุกที่ได้จากการอบแห้งที่อุณหภูมิ 130 °C ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับความนุ่มของตัวอย่างข้าวเหนียวขาวสุกอ้างอิง เนื่องจากระดับการเกิดเจลลิตีในเซชันที่เพิ่มขึ้นทำให้ระดับสภาพเป็นผลึกภายในเมล็ดข้าวเหนียวมีค่าลดลง (ตารางที่ 4.2) จึงส่งผลให้ข้าวเหนียวสุกในกรณีนี้มีความนุ่มเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับการวัดสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของข้าวเหนียวขาวสุก พบว่าเมื่ออุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้นทำให้ความแข็งของข้าวเหนียวขาวสุกมีค่าลดลง (ตารางที่ 4.4) สำหรับระดับคะแนนความนุ่มของตัวอย่างข้าวเหนียวขาวที่ผ่านการอบแห้งมีค่าระหว่าง 6.6-7.3 บ่งบอกว่าผู้ทดสอบมีความชอบเล็กน้อยถึงปานกลางต่อตัวอย่างข้าวเหนียวสุกดังกล่าว อย่างไรก็ตามผลการยอมรับโดยรวม

ของข้าวเหนียวขาวสุกที่ได้จากการอบแห้งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับข้าวเหนียวขาวสุกอ้างอิงซึ่งมีค่าประมาณ 6.7 แสดงถึงผู้ทดสอบชอบเล็กน้อยถึงปานกลางต่อตัวอย่างข้าวเหนียวขาวสุกทั้งหมด

ตารางที่ 4.7 การทดสอบด้านประสาทสัมผัสของข้าวเหนียวขาวสุกที่เงื่อนไขต่างๆ

Processing condition	Whiteness	Cohesiveness	Taste	Tenderness	Stickiness	Overall acceptability
Reference						
white waxy						
rice	8.1 ± 0.4 ^a	7.1 ± 1.3 ^a	7.3 ± 0.7 ^a	5.7 ± 1.5 ^a	6.8 ± 0.9 ^a	6.7 ± 1.3 ^a
130 °C	7.8 ± 0.6 ^a	6.8 ± 1.4 ^a	7.1 ± 1.0 ^a	6.6 ± 1.4 ^{ab}	6.7 ± 1.8 ^a	6.8 ± 1.7 ^a
150 °C	7.8 ± 0.7 ^a	7.0 ± 1.0 ^a	7.1 ± 1.1 ^a	7.3 ± 1.7 ^b	6.8 ± 0.9 ^a	6.7 ± 1.1 ^a

Different superscripts in the same column mean that the values are significantly different (*p*<0.05)

ตารางที่ 4.8 การทดสอบด้านประสาทสัมผัสของข้าวเหนียวกลิ้งสุกที่เงื่อนไขต่างๆ

Processing condition	Whiteness	Cohesiveness	Taste	Tenderness	Stickiness	Overall acceptability
Reference						
brown waxy						
rice	7.5 ± 1.1 ^a	4.1 ± 1.7 ^a	6.7 ± 1.0 ^a	4.5 ± 1.7 ^a	4.3 ± 1.9 ^a	4.6 ± 1.6 ^a
130 °C	7.2 ± 1.0 ^a	5.9 ± 1.3 ^b	6.9 ± 0.8 ^a	6.0 ± 1.4 ^b	5.8 ± 1.4 ^b	6.1 ± 1.0 ^b
150 °C	7.3 ± 1.0 ^a	6.4 ± 1.7 ^b	6.7 ± 1.7 ^a	6.5 ± 1.9 ^b	6.1 ± 1.5 ^b	6.1 ± 1.7 ^b

Different superscripts in the same column mean that the values are significantly different (*p*<0.05)

สำหรับการทดสอบด้านประสาทสัมผัสของข้าวเหนียวกลิ้งสุก แสดงดังตารางที่ 4.8 พบว่าอุณหภูมิอบแห้งมีผลต่อความชอบของผู้ทดสอบที่มีต่อตัวอย่างข้าวเหนียวกลิ้งสุกในด้านความเกาะตัวกันของเมล็ด ความนุ่ม ความเหนียว และความชอบโดยรวม ในขณะที่ความขาวและรสชาติของข้าวเหนียวกลิ้งไม่แตกต่างกับข้าวเหนียวกลิ้งสุกอ้างอิง ผู้ทดสอบให้ระดับคะแนนความชอบต่อข้าวเหนียวกลิ้งสุกที่ผ่านการอบแห้งในด้านความเกาะตัว ความนุ่ม ความเหนียวและความชอบโดยรวมอยู่ในช่วง 5.8-6.5 บ่งบอกว่าผู้ทดสอบมีความชอบต่อตัวอย่างข้าวเหนียวกลิ้งสุกที่ผ่านการอบแห้ง

เล็กน้อย สำหรับตัวอย่างข้าวเหนียวกลิ้งสุกอ้างอิงผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบเท่ากับ 4 หมายถึงผู้ทดสอบไม่ชอบเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบด้านเนื้อสัมผัสของตัวอย่างข้าวเหนียวกลิ้งสุกพบว่าข้าวเหนียวกลิ้งที่ผ่านการอบแห้งแล้วมีความแข็งลดลง (หรือมีความนุ่มขึ้น) ผลการทดลองนี้มีความสอดคล้องกับประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบที่ชอบข้าวเหนียวที่ผ่านการอบแห้งมากกว่าข้าวเหนียวกลิ้งอ้างอิง เนื่องจากความนุ่มขึ้นของตัวอย่างข้าวเหนียวกลิ้งนั่นเอง