

## บทที่ 6 สรุปผลและข้อเสนอแนะ

### 6.1 สรุปผล

จากผลการศึกษาการอบแห้งข้าวเหนียวด้วยเทคนิคฟลูอิดเซชันอุณหภูมิสูง (90-150 °C) ที่มีต่อ จลนพลศาสตร์การอบแห้งและคุณภาพของข้าวเหนียวในรูปข้าวเหนียวขาว ข้าวเหนียวกล้องและข้าวเหนียวกึ่งนึ่งขาว ได้แก่วัสดุเริ่มต้นข้าว สีสันสมบัติด้านการหุงต้ม สมบัติด้านเนื้อสัมผัส สมบัติด้านการย่อยและดูดซึม สมบัติด้านความหนืด และการทดสอบด้านประสาทสัมผัส สามารถสรุปได้ดังนี้

การอบแห้งข้าวเปลือกเหนียวที่อุณหภูมิสูงมีอัตราการอบแห้งสูงกว่าการอบแห้งด้วยอุณหภูมิต่ำ และการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงทำให้เมล็ดข้าวเหนียวเกิดเจลลิตีในเซชันและระดับการเกิดเจลลิตีในเซชันมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิต่ำสูงขึ้น โดยข้าวเหนียวขาวและข้าวเหนียวกล้องที่ผ่านการอบแห้งด้วยอุณหภูมิ 90-150 °C ความชื้นเริ่มต้นประมาณ 28% (d.b.) มีระดับการเกิดเจลลิตีในเซชันอยู่ระหว่าง 4.8-35.4% และ 6.2-43.8% ตามลำดับ สำหรับในกรณีของข้าวเหนียวกึ่งนึ่งขาว (ความชื้นเริ่มต้นประมาณ 52% (d.b.)) มีระดับการเกิดเจลลิตีในเซชันระหว่าง 51.4-65.1% เมื่ออบแห้งข้าวเปลือกเหนียวที่อุณหภูมิ 140-160 °C นอกจากนี้การแช่ข้าวเปลือกเหนียวในน้ำร้อนอุณหภูมิ 80 °C ทำให้เกิดระดับการเกิดเจลลิตีในเซชัน 23.1% ซึ่งการเกิดเจลลิตีในเซชันในเมล็ดข้าวเหนียวทำให้ข้าวเหนียวสูญเสียระดับสภาพเป็นผลึก โดยระดับสภาพเป็นผลึกมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิต่ำสูงขึ้นและสามารถสังเกตด้วยภาพโครงสร้างระดับจุลภาคจากการทดสอบด้วยเครื่อง SEM อย่างไรก็ตามการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงไม่ทำให้จำนวน Chain length distribution ของโมเลกุลอะมิโลเพคตินภายในเมล็ดข้าวเหนียวเปลี่ยนแปลง

การอบแห้งข้าวเปลือกเหนียวที่อุณหภูมิ 90-150 °C ความชื้นเริ่มต้นประมาณ 28% (d.b.) ทำให้ร้อยละต้นข้าวของข้าวเหนียวขาวมีค่าต่ำกว่าร้อยละต้นข้าวของข้าวเหนียวขาวอ้างอิง แต่เมื่อเปรียบเทียบร้อยละต้นข้าวระหว่างอุณหภูมิต่ำด้วยกัน อุณหภูมิต่ำที่สูงขึ้นทำให้ร้อยละต้นข้าวของข้าวเหนียวขาวมีค่าเพิ่มขึ้น สำหรับการเก็บในที่อับอากาศเป็นเวลานานขึ้นไม่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของร้อยละต้นข้าวของข้าวเหนียวขาวในกรณีอบแห้งที่อุณหภูมิมากกว่า 110 °C แต่ในกรณีอุณหภูมิต่ำ 90 °C การเก็บในที่อับอากาศนานกว่า 60 min ทำให้ร้อยละต้นข้าวของข้าวเหนียวขาวมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 12% สำหรับกรณีข้าวเหนียวกึ่งนึ่งขาวที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 140-160 °C ความชื้นเริ่มต้นประมาณ 52% (d.b.) ร้อยละต้นข้าวของข้าวเหนียวกึ่งนึ่งขาวที่ผ่านการอบแห้งมีค่าสูง

กว่าร้อยละต้นข้าวของข้าวเหนียวอ้างอิง (ความชื้นเริ่มต้นประมาณ 12% (d.b.)) แต่ร้อยละต้นข้าวของข้าวเหนียวกึ่งหนึ่งขาวมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างอุณหภูมิอบแห้ง นอกจากนี้การแช่ข้าวเปลือกเหนียวที่อุณหภูมิ 80 °C ทำให้ร้อยละต้นข้าวของข้าวเหนียวกึ่งหนึ่งขาวมีค่าเพิ่มขึ้น และความชื้นของข้าวเปลือกเหนียวหลังผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องฟลูอิดซ์เบดควรมีค่าระหว่าง 22-23% (d.b.) จึงทำให้ได้ร้อยละต้นข้าวสูง

เมล็ดข้าวเหนียวขาวหลังผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 °C มีค่า WI,  $L$  และ  $b$  เพิ่มขึ้นส่วนค่า  $a$  ไม่แตกต่างจากข้าวเหนียวขาวอ้างอิง สำหรับระยะเวลาการเก็บในที่อับอากาศที่อุณหภูมิอบแห้ง 90 °C ไม่ส่งผลต่อค่า WI,  $L$  และค่า  $a$  แต่ส่งผลต่อค่า  $b$  โดยค่า  $b$  มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บในที่อับอากาศนาน 120 min เมื่ออุณหภูมิอบแห้งสูงกว่า 90 °C ค่า  $a$  และ  $b$  เพิ่มขึ้นทำให้ข้าวเหนียวขาวมีสีคล้ำขึ้นเมื่อเทียบกับข้าวเหนียวขาวที่ได้จากการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 °C นอกจากนี้เมล็ดข้าวเหนียวขาวที่ผ่านการอบแห้งทุกเงื่อนไขการทดลอง (อุณหภูมิอบแห้ง 90-130 °C และระยะเวลาการเก็บในที่อับอากาศเป็นเวลา 0-120 min) มีค่า  $L$ ,  $a$  และ  $b$  ผ่านเกณฑ์มาตรฐานการยอมรับจากผู้ประกอบการ สำหรับกรณีของข้าวเหนียวกึ่งหนึ่งขาวที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 140-160 °C และข้าวเหนียวกึ่งหนึ่งขาวที่ผ่านการแช่น้ำอุณหภูมิ 80 °C มีค่า  $L$  ลดลง ส่วนค่า  $a$  และ  $b$  เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามการอบแห้งข้าวเปลือกเหนียวที่อุณหภูมิสูงกว่า 130 °C ทำให้เมล็ดข้าวเหนียวโปร่งแสงประมาณ 10%

ปริมาณการดูดซับน้ำ ปริมาณของแข็งละลายในน้ำ ของข้าวเหนียวขาวและข้าวเหนียวกล้องหลังผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90-150 °C มีค่ามากกว่าปริมาณการดูดซับน้ำและปริมาณของแข็งละลายในน้ำของข้าวเหนียวขาวและข้าวเหนียวกล้องอ้างอิง เมื่ออุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้นปริมาณการดูดซับน้ำและปริมาณของแข็งละลายในน้ำของข้าวเหนียวขาวและข้าวเหนียวกล้องมีค่าเพิ่มขึ้น การอบแห้งที่อุณหภูมิสูงช่วยลดระยะเวลาสำหรับการแช่ข้าวเหนียวขาวและข้าวเหนียวกล้องโดยข้าวเหนียวขาวและข้าวเหนียวกล้องที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิมากกว่า 130 °C ใช้เวลาในการแช่ข้าวเหนียว 1 h และ 3 h ตามลำดับ ส่วนอุณหภูมิอบแห้ง 90 °C ใช้เวลาในการแช่ข้าวเหนียวขาวและข้าวเหนียวกล้อง 3 h และ 5 h โดยมีค่าเท่ากับข้าวเหนียวขาวและข้าวเหนียวกล้องอ้างอิง

ความแข็งของข้าวเหนียวขาวสุก ข้าวเหนียวกล้องสุกและข้าวเหนียวกึ่งหนึ่งขาวสุกหลังผ่านการอบแห้งมีค่าลดลง แต่มีความเหนียวเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับข้าวเหนียวอ้างอิง เมื่ออุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้นความแข็งของตัวอย่างข้าวเหนียวขาวสุก ข้าวเหนียวกล้องสุกและข้าวเหนียวกึ่งหนึ่งขาวสุกมีค่าลดลง แต่มีความเหนียวเพิ่มขึ้น การลดลงของความแข็งแต่มีความเหนียวเพิ่มขึ้นในตัวอย่างข้าวเหนียวกล้องหลังผ่านการอบแห้งทำให้ผู้บริโภคมีความชอบต่อตัวอย่างข้าวเหนียวกล้องอบแห้งมากกว่าข้าวเหนียวกล้อง

อ้างอิง ในขณะที่ความชอบของผู้บริโภคต่อข้าวเหนียวขาวหลังอบแห้งไม่แตกต่างจากข้าวเหนียวขาวอ้างอิงโดยผู้บริโภคมีความชอบเล็กน้อยถึงปานกลางต่อตัวอย่างข้าวเหนียวขาวสุก

ความหนืดสูงสุด และ Setback ของแป้งข้าวเหนียวขาวและข้าวเหนียวกลี้งหลังผ่านการอบแห้งมีค่าลดลงจากข้าวเหนียวขาวและข้าวเหนียวกลี้งอ้างอิง เมื่ออุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้นความหนืดสูงสุดและ Setback มีค่าลดลง ค่า Setback ที่ลดลงในข้าวเหนียวขาวและข้าวเหนียวกลี้งหลังผ่านการอบแห้งแสดงถึงความแน่นแข็ง (Firmness) ของข้าวเหนียวที่ผ่านการอบแห้งมีมากกว่าข้าวเหนียวอ้างอิง

ค่าดัชนีโกลซีมิคหรือค่า GI ของข้าวเหนียวขาวสุกอ้างอิงมีค่ามากกว่า ข้าวเหนียวกึ่งนึ่งขาวสุกอ้างอิง และ ข้าวเหนียวกลี้งสุกอ้างอิง ตามลำดับ เมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิสูงขึ้นตัวอย่างข้าวเหนียวหลังการอบแห้งมีค่า GI เพิ่มขึ้น ค่า GI ของข้าวเหนียวขาวสุก ข้าวเหนียวกลี้งสุกและข้าวเหนียวกึ่งนึ่งขาวสุกอยู่ในระดับสูงหมายถึงเมื่อรับประทานข้าวเหนียวทำให้มีการย่อยและดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้เร็ว

การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งข้าวเปลือกเหนียวด้วยเทคนิคฟลูอิดไอเซชัน อุณหภูมิ 90-150 °C ค วามชื้นเริ่มต้น 28% (d.b.) ค่าสัมประสิทธิ์ของการแพร่ความร้อนคือ  $D_{\text{eff}} = 5 \times 10^{-5} \exp\left(\frac{-37000}{RT_p}\right)$  และสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนใช้ตามสมการของ Douglas and Churchill (1956) สามารถทำนายผลการลดลงของความชื้นและอุณหภูมิเมล็ดได้ใกล้เคียงกับผลการทดลอง

## 6.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในการอบแห้งข้าวเหนียวหลายๆ พันธุ์เช่นข้าวเหนียวพันธุ์พื้นเมืองตามท้องถิ่นที่อยู่อาศัย
2. ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในกรณีการอบแห้งข้าวเหนียวกึ่งนึ่งให้เป็นข้าวเหนียวหนึ่งสมบูรณ์โดยการอบแห้งโดยใช้ไอน้ำร้อนชนิดยิ่งทั้งในรูปแบบข้าวเหนียวหนึ่งขาวและข้าวเหนียวหนึ่งกลี้งเนื่องจากมีข้อดีคือได้ร้อยละข้าวเต็มเมล็ดมาก มีความสะดวกในการหุงต้ม สามารถเก็บรักษาได้นานและเพื่อเป็นอีกทางเลือกสำหรับผู้บริโภคข้าวเหนียวที่ใส่ใจต่อสุขภาพ
3. ควรศึกษาตลาดการส่งออกข้าวเหนียวในรูปข้าวเหนียวหนึ่งเพิ่มเติมซึ่งอาจเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรจากท้องถิ่นสู่ตลาดการค้าระดับโลก