

## บทที่ 4

### ผลการวิจัย และอภิปรายผล

#### 4.1 ผลการศึกษาคุณภาพของข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ระยะเวลาการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน

##### 4.1.1 ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ระยะเวลาการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน

จากการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของข้าวที่ระยะการเก็บเกี่ยวต่าง ๆ ของข้าวไรซ์เบอร์รี่ โดยนำข้าวที่ระยะการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน 2 ระยะ ได้แก่ ระยะเฒ่า และระยะข้าวแก่ โดยนำมาศึกษาปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ได้แก่ ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ( $EC_{50}$ ) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณสารฟลาโวนอยด์ ได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของข้าวไรซ์เบอร์รี่ ที่ระยะการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน

ระยะการเก็บเกี่ยวของข้าวไรซ์เบอร์รี่	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/g extract)	ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ (mg QE/g extract)	ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ( $EC_{50}$ )
ระยะเฒ่า	49.88 ± 1.24 <sup>a</sup>	31.71 ± 2.15 <sup>a</sup>	0.12 ± 0.03 <sup>b</sup>
ระยะแก่	25.48 ± 3.79 <sup>b</sup>	21.48 ± 3.08 <sup>b</sup>	0.33 ± 0.01 <sup>a</sup>

หมายเหตุ ตัวอักษรต่างกันในแต่ละแถว แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

#### 4.1.1.1 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

สารประกอบกลุ่มฟีนอลิกเป็นสารกลุ่มที่สำคัญซึ่งมีสมบัติต้านอนุมูลอิสระ จากการศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/g extract) ของข้าวไรซ์เบอร์รี่ ที่ระยะการเก็บเกี่ยวที่ต่างกัน 2 ระยะ ได้แก่ ระยะเฝ้า และระยะแก่ พบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดตัวอย่างข้าวแต่ละระยะการเก็บเกี่ยวมีปริมาณแตกต่างกัน โดยปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมีค่าอยู่ในช่วง 25.48- 49.88 mg GAE/g extract โดยสารสกัดตัวอย่างข้าวไรซ์เบอร์รี่ ระยะเฝ้า มีค่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สูงสุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) คือ มีค่าเท่ากับ 49.88 mg GAE/g extract ส่วนข้าวไรซ์เบอร์รี่ระยะแก่ มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด เท่ากับ 25.48 ซึ่งการทดลองนี้ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Lin Pei-Yin (2011) ได้ศึกษาสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในข้าวที่กำลังเจริญเติบโต 2 สายพันธุ์ พบว่า ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดและฟลาโวนอยด์ ในข้าวอ่อนทั้ง 2 สายพันธุ์ มีค่าสูงกว่าข้าวที่แก่เต็มที่แล้วอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่ข้าวอ่อนที่กำลังเจริญเติบโตและข้าวที่แก่เต็มที่ จะอุดมไปด้วยสาร tocopherol, วิตามิน E และยังมีปริมาณกรดเพอร์รูลิกที่สูง มีเส้นใยละลายน้ำ และมีสารอริซานอล (oryzanol) โดยจะพบในข้าวอ่อนในระยะ 15 และ 18 วัน หลังดอกข้าวติดเมล็ด โดยสารประกอบฟีนอลิกพบในธรรมชาติมีมากมายหลายชนิด และมีสูตรโครงสร้างทางเคมีที่แตกต่างกัน ตั้งแต่กลุ่มที่มีโครงสร้างอย่างง่าย เช่น กรดฟีนอลิก (phenolic acids) ไปจนถึงกลุ่มที่มีโครงสร้างเป็นพอลิเมอร์ เช่น ลิกนิน (lignin) กลุ่มใหญ่ที่สุดที่พบ คือ สารประกอบพวกฟลาโวนอยด์ (flavonoid) สารประกอบฟีนอลิกที่พบในพืช มักจะรวมอยู่ในโมเลกุลของน้ำตาลในรูปของสารประกอบไกลโคไซด์ (glycoside) (Velioğlu, Y. *et.al.* 1998) นอกจากนี้ โพลีฟีนอลเป็นสารที่มีบทบาทสำคัญโดยมีฤทธิ์ต้านแบคทีเรีย ต้านไวรัส ต้านการอักเสบและการแพ้ รวมถึงการมีคุณสมบัติในการสลาย ลิ่มเลือด เป็นสารต้านการก่อมะเร็งและลดความดันโลหิตจากฤทธิ์ขยายหลอดเลือด ซึ่งคุณสมบัติ ดังกล่าว สอดคล้องกับคุณสมบัติของการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (โอภา วัชระคุปต์ และคณะ, 2549)

#### 4.1.1.2 ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด

ฟลาโวนอยด์เป็นสารประกอบในกลุ่มฟีนอลิก ซึ่งมีสมบัติในการต้านออกซิเดชันที่ดี เนื่องจากโครงสร้างทางเคมีของฟลาโวนอยด์สามารถให้อิเล็กตรอน หรือไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระ ทำให้เกิดเป็นอนุมูลอิสระที่มีความคงตัวมากขึ้น จึงช่วยยับยั้ง หรือชะลอปฏิกิริยาออกซิเดชันได้

จากการศึกษาปริมาณสารฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (mg QE/g extract) ของข้าวไรซ์เบอร์รี่ ที่ระยะการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน 2 ระยะ ได้แก่ ระยะเฝ้า และระยะแก่ พบว่า ปริมาณฟลาโวนอยด์ของสารสกัดตัวอย่างข้าวแต่ละระยะการเก็บเกี่ยวมีปริมาณแตกต่างกัน ข้าวไรซ์เบอร์รี่ ระยะเฝ้าจะมีปริมาณฟลาโวนอยด์ สูงกว่าในข้าวไรซ์เบอร์รี่ระยะแก่ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) คือ มีค่าเท่ากับ 31.71 และ 21.48 mg QE/g extract ตามลำดับ ซึ่งการทดลองนี้ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Lin Pei-Yin (2011) ได้ศึกษาสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในข้าวที่กำลังเจริญเติบโต 2 สายพันธุ์ พบว่าปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดและฟลาโวนอยด์ ในข้าวอ่อนทั้ง 2 สายพันธุ์ มีค่าสูงกว่าข้าวที่แก่เต็มที่แล้วอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่ข้าวอ่อนที่กำลังเจริญเติบโตและข้าวที่แก่เต็มที่ จะอุดมไปด้วยสารโทโคฟีรอล (tocopherol), วิตามิน E และยังมีปริมาณกรดเพอร์รูสิกที่สูง มีเส้นใยละลายน้ำ และมีสารออริซานอล (oryzanol) โดยจะพบในข้าวอ่อนในระยะ 15 และ 18 วัน หลังดอกข้าวติดเมล็ด

#### 4.1.1.3 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ( $EC_{50}$ )

จากการศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ของข้าวไรซ์เบอร์รี่ ที่ระยะการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน 2 ระยะ ได้แก่ ระยะเฝ้า และระยะแก่ โดยวัดค่า  $EC_{50}$  ซึ่งหมายถึง ความเข้มข้นของสารต้านอนุมูลอิสระที่สามารถลดปริมาณอนุมูลอิสระ (DPPH) เริ่มต้นลงได้ร้อยละ 50 ของตัวอย่าง ดังนั้นถ้าค่า  $EC_{50}$  ของตัวอย่างต่ำแสดงว่าตัวอย่างมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูง จากการทดลอง พบว่า ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดตัวอย่างข้าวแต่ละระยะการเก็บเกี่ยว มีปริมาณแตกต่างกัน โดยความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของ ข้าวไรซ์เบอร์รี่ ระยะเฝ้ามีค่าสูงกว่าในระยะแก่ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) คือมีค่า  $EC_{50}$  เท่ากับ 0.12 และ 0.33 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าปริมาณฟลาโวนอยด์และสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่เป็นองค์ประกอบในข้าวมีความสอดคล้องกันกับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่วัดได้โดยวิธี DPPH assay โดยข้าวที่มีปริมาณฟลาโวนอยด์และสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ที่เป็นองค์ประกอบในปริมาณมาก จะมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่สูงด้วยเช่นกัน สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ทำหน้าที่เป็น free radical terminators (Abdel-Hameed, 2009) ที่โครงสร้างหลักประกอบด้วย aromatic ring ที่ถูกแทนที่ด้วย hydroxyl group ที่สามารถใช้จับกับอนุมูลอิสระผ่านกระบวนการยับยั้งปฏิกิริยาลูกโซ่ของอนุมูลอิสระที่มีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว โดยการให้ไฮโดรเจนอะตอมแก่อนุมูลอิสระ (chain breaker) ซึ่งเป็นหลักการของ DPPH assay ดังนั้นเมื่อสารสกัดจากข้าวที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูง ทำให้มีฤทธิ์การต้านหรือสลายอนุมูลอิสระดังกล่าวสูงด้วยเช่นกัน

#### 4.1.2 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวไรซ์เบอร์รี่ ที่ระยะการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน

จากการศึกษาเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของข้าวไรซ์เบอร์รี่ ที่ระยะการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน 2 ระยะ ได้แก่ ระยะเม่า และระยะแก่ โดยปริมาณองค์ประกอบทางเคมีที่ศึกษา ได้แก่ ปริมาณโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต เส้นใยหยาบ เถ้า และความชื้น ได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของข้าวไรซ์เบอร์รี่ ที่ระยะการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน

องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)	ข้าวไรซ์เบอร์รี่ ระยะเม่า	ข้าวไรซ์เบอร์รี่ ระยะแก่
โปรตีน <sup>(ns)</sup>	15.97 ± 0.19	16.07 ± 0.13
ไขมัน <sup>(ns)</sup>	3.26 ± 0.15	3.39 ± 0.09
คาร์โบไฮเดรต <sup>(ns)</sup>	66.35 ± 0.14	65.71 ± 0.43
เส้นใยหยาบ	2.51 ± 0.03 <sup>b</sup>	2.62 ± 0.16 <sup>a</sup>
เถ้า <sup>(ns)</sup>	1.33 ± 0.12	1.34 ± 0.06
ความชื้น	10.56 ± 0.07 <sup>b</sup>	10.85 ± 0.12 <sup>a</sup>

หมายเหตุ ตัวอักษรต่างกันในแนวนอน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของข้าวไรซ์เบอร์รี่ ที่ระยะการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน 2 ระยะ ได้แก่ ระยะเม่า และระยะแก่ พบว่า ปริมาณโปรตีนของข้าวไรซ์เบอร์รี่ ระยะเม่า และระยะแก่ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) โดยมีปริมาณโปรตีนเท่ากับ 15.97 และ 16.07 ตามลำดับ การศึกษาปริมาณไขมันของข้าวไรซ์เบอร์รี่ ระยะเม่า และระยะแก่ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) โดยมีปริมาณไขมันเท่ากับ 3.26 และ 3.39 ตามลำดับ การศึกษาปริมาณคาร์โบไฮเดรตของข้าวไรซ์เบอร์รี่ ระยะเม่า และระยะแก่ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) โดยมีค่าเท่ากับ 66.35 และ 65.71 ตามลำดับ การศึกษาปริมาณเส้นใยหยาบ พบว่า ปริมาณเส้นใยหยาบในข้าวไรซ์เบอร์รี่ ระยะแก่ มีค่าสูงกว่าในระยะเม่า อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 2.62 และ 2.51 ตามลำดับ การศึกษาปริมาณเถ้า พบว่าปริมาณเถ้าในข้าวไรซ์เบอร์รี่ ระยะเม่า และระยะแก่ ไม่มีความแตกต่างกัน

ทางสถิติ ( $p>0.05$ ) โดยมีค่าเท่ากับ 1.33 และ 1.34 ตามลำดับ ส่วนการศึกษาปริมาณความชื้น พบว่าในข้าวไรซ์เบอร์รี่ระยะแก่มีปริมาณความชื้นสูงกว่าข้าวไรซ์เบอร์รี่ ระยะเม่า อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) คือมีค่าเท่ากับ 10.85 และ 10.56 ตามลำดับ โดยองค์ประกอบทางเคมีของข้าวมีผลมาจากสภาวะการปลูก ระยะเวลาการเก็บเกี่ยว และกระบวนการแปรรูปจากข้าวเปลือกเป็นข้าวกล้องข้าวสาร

#### 4.2 ผลการศึกษาการทำแห้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ โดยใช้วิธีโคม-แมท

##### 4.2.1 ผลการเตรียมน้ำข้าวไรซ์เบอร์รี่และการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและทางเคมี

นำข้าวไรซ์เบอร์รี่ระยะเม่า ที่มีปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ได้แก่ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงสุด มาเตรียมนำได้เป็นน้ำข้าวไรซ์เบอร์รี่ จากนั้นนำน้ำข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้มาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี L, a\* และ b\* และวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 คุณภาพทางกายภาพและเคมีบางประการของน้ำข้าวไรซ์เบอร์รี่ก่อนทำให้เกิดโคม

คุณภาพทางกายภาพและทางเคมี	น้ำข้าวไรซ์เบอร์รี่
ค่าสี L*	19.3± 0.01
ค่าสี a*	3.9 ± 0.01
ค่าสี b*	3.2 ± 0.01
โปรตีน (ร้อยละ ของน้ำหนักเปียก)	1.71 ± 0.08
ไขมัน (ร้อยละ ของน้ำหนักเปียก)	1.11± 0.05
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ ของน้ำหนักเปียก)	2.50 ±0.01
เส้นใยหยาบ (ร้อยละ ของน้ำหนักเปียก)	1.16± 0.01
เถ้า (ร้อยละ ของน้ำหนักเปียก)	0.17± 0.01
ความชื้น (ร้อยละ ของน้ำหนักเปียก)	93.36 ± 0.05
ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/100g wet weight)	27.88± 0.97
ความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี DPPH (mM TE/100g wet weight)	21.08± 0.02

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำข้าวไรซ์เบอร์รี่ (ตารางที่ 4.3) พบว่า น้ำข้าวไรซ์เบอร์รี่ มีค่าสี L, a\* และ b\* โดยค่าสี L (ความสว่าง) มีค่าเท่ากับ 19.3 ส่วนค่าสี a\* (สีแดง-สีเขียว) มีค่าเท่ากับ 3.9 ส่วนค่าสี b\* (สีเหลือง-น้ำเงิน) พบว่า ค่า b\* เป็นค่าของสีเหลือง (ค่าเป็นบวก) มีเท่ากับ 3.2 มีค่าความหนาแน่น เท่ากับ 1.01 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ส่วนองค์ประกอบทางเคมีของน้ำข้าวไรซ์เบอร์รี่ พบว่ามีค่า ปริมาณโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต เส้นใย หยาด ใย และความชื้น เท่ากับ 1.71, 1.11, 2.50, 1.16 และ 0.17 ตามลำดับ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำข้าวมีค่าเท่ากับ 27.88 mg GAE/100g wet weight และความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี DPPH มีค่าเท่ากับ 21.08 mM TE/100g wet weight ซึ่งจะนำน้ำข้าวไรซ์เบอร์รี่ ไปศึกษาการทำแห้งโดยวิธีโคม-แมท เพื่อให้ได้เป็นข้าวไรซ์เบอร์รี่ผง ต่อไป

#### 4.2.2 ผลการศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของสารก่อโคม และระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการเกิดโคม

ทำการทดลองเพื่อศึกษาปริมาณของสารก่อโคม (สารเมโทเซล) ที่เหมาะสม โดยแปรผัน ปริมาณของสารก่อโคม 3 ระดับ คือร้อยละ 3, 4 และ 5 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ และแปรผันเวลาที่ใช้ในการตีโคม 2 ระดับ คือ 10 และ 15 นาที ตามลำดับ วิเคราะห์ค่าไอเวอร์รัน และความหนาแน่นของโคม ได้ผลดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลของปริมาณเมโทเซลและเวลาที่ใช้ตีป่นที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพของโพน้ำข้าวไรซ์เบอร์รี่

ปริมาณเมโทเซล (ร้อยละ)	เวลาที่ใช้ตีป่น (นาท)	สมบัติทางกายภาพของโพน	
		ค่าโอเวอร์รัน (ร้อยละ)	ความหนาแน่น (กรัม/มิลลิลิตร)
3	10	219.32 ± 0.69 <sup>e</sup>	0.317 ± 0.01 <sup>a</sup>
	15	261.56 ± 0.66 <sup>d</sup>	0.280 ± 0.01 <sup>b</sup>
4	10	327.27 ± 1.31 <sup>c</sup>	0.237 ± 0.01 <sup>c</sup>
	15	330.25 ± 0.90 <sup>b</sup>	0.235 ± 0.01 <sup>d</sup>
5	10	327.17 ± 0.78 <sup>c</sup>	0.237 ± 0.01 <sup>c</sup>
	15	339.68 ± 0.56 <sup>a</sup>	0.230 ± 0.01 <sup>e</sup>

หมายเหตุ ตัวอักษรต่างกันในแนวตั้ง แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

#### 4.2.2.1 ค่าโอเวอร์รันของโพน

จากการทดลอง พบว่า การแปรผันปริมาณเมโทเซล และเวลา มีผลต่อค่าโอเวอร์รันของโพน้ำข้าวไรซ์เบอร์รี่ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.4 โดยค่าโอเวอร์รัน คือ การวัดปริมาณของอากาศที่ถูกตีเข้าไปในโพน โดยค่าโอเวอร์รันสูงถือเป็นคุณลักษณะที่ดีสำหรับการนำไปอบแห้ง เพราะเมื่อค่าโอเวอร์รันสูงแสดงว่ามีอากาศแทรกตัวอยู่ในโพนสูง ทำให้โพนที่ได้มีพื้นที่ผิวสูง จะทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนและมวลสูง ส่งผลให้อัตราการอบแห้งเกิดได้เร็วขึ้น และใช้ระยะเวลาในการอบแห้งสั้นลง จากการทดลอง พบว่า เมื่อปริมาณเมโทเซลเพิ่มมากขึ้น จะส่งผลให้โพนมีค่าโอเวอร์รันเพิ่มมากขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยโพนที่มีค่าโอเวอร์รันสูงสุดเท่ากับร้อยละ 339.68 ± 0.56 ที่ปริมาณของเมโทเซลร้อยละ 5 ใช้เวลาในการตีโพน 15 นาที รองลงมาคือ ปริมาณของเมโทเซลร้อยละ 4 ใช้เวลาในการป่นโพน 15 นาที ได้โพนที่มีค่าโอเวอร์รัน 330.25 ± 0.90 เมื่อเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการตีโพน พบว่า เวลาตีโพนที่ 15 นาที โพนมีค่าโอเวอร์รันมากกว่า เวลาป่นโพน 10 นาที ในทุกระดับปริมาณของเมโทเซลที่ใช้ โดยเมโทเซลเป็นสารช่วยให้โพนคงตัวชนิดหนึ่ง โดยมีสายโพลีเมอร์ของเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลัก ไม่มีรสชาติและไม่ทำปฏิกิริยากับอาหารที่เติมลงไป ลักษณะเป็นผง มีความบริสุทธิ์สูงและให้พลังงานต่ำ และใช้ในปริมาณเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เมโทเซลสามารถ

ละลายน้ำได้ มีคุณสมบัติเป็นสารยึดเกาะ (binders) ช่วยให้เกิดการแขวนลอย (suspension agent) และยังช่วยให้อิมัลชันคงตัว (emulsifier colloid) ที่สำคัญคือ เมโทเซลเป็นกัม (gum) ที่มีคุณสมบัติเป็นเจลสามารถเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ (thermally gel) สามารถทำหน้าที่เป็นตัวลดแรงตึงผิว (surfactant) ทำให้เกิดสภาพฟิล์มขึ้น (film forming) ในอาหารได้ทั้งที่อุณหภูมิสูงและต่ำ ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ดีในการเป็นสารช่วยให้โฟมคงตัวในอาหารที่ต้องการอบแห้งแบบโฟม

#### 4.2.2.2 ความหนาแน่นของโฟม

จากการทดลอง พบว่า การแปรผันความเข้มข้นของเมโทเซล และเวลาที่ใช้ตีปั่น โฟมมีผลต่อความหนาแน่นของโฟมน้ำข้าวไรซ์เบอร์รี่ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.4 โดยความหนาแน่นของโฟมเป็นอีกคุณลักษณะหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการนำโฟมไปอบแห้ง เพราะความหนาแน่น หมายถึง มวลต่อปริมาตร เมื่อความหนาแน่นต่ำ แสดงว่ามีมวลน้อย มีอากาศแทรกตัวอยู่มาก พื้นที่ผิวสัมผัสอากาศร้อนเพิ่มมากขึ้น ทำให้การอบแห้งเป็นไปอย่างรวดเร็ว โดยความหนาแน่นควรอยู่ในระหว่างช่วง 0.20-0.80 กรัมต่อมิลลิลิตร (ดร.ณัฐ มุสิกโรจน์, 2550) จากตารางที่ 4.4 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของเมโทเซลจากร้อยละ 3 เป็นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ความหนาแน่นของโฟมมีค่าลดลง โดยความหนาแน่นของโฟม มีค่าอยู่ในช่วง 0.230 – 0.317 กรัม/มิลลิลิตร โดยการใช้ความเข้มข้นของเมโทเซล ร้อยละ 5 และเวลาที่ใช้ตีปั่น 15 นาที จะได้โฟมข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่มีความหนาแน่นต่ำที่สุด คือ 0.230 กรัม/มิลลิลิตร ส่วนการใช้ความเข้มข้นของเมโทเซล ร้อยละ 3 และเวลาที่ใช้ตีปั่น 10 นาที จะได้โฟมข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่มีความหนาแน่นสูงที่สุดคือ 0.317

โดยค่าโอเวอร์รัน และค่าความหนาแน่นของโฟมจะมีความสัมพันธ์กันแบบแปรผกผันคือ ถ้าค่าโอเวอร์รันของโฟมมีค่าสูง ค่าความหนาแน่นของโฟมจะมีค่าต่ำ กล่าวคือเมื่อใช้เมโทเซลในปริมาณที่ต่ำ จะส่งผลให้โฟมมีความหนาแน่นสูง เนื่องจากปริมาณของสารเมโทเซลมีผลต่อความหนาแน่นของโฟม คือ เมื่อเพิ่มปริมาณเมโทเซลมากขึ้น จะช่วยให้มีความสามารถในการอุ้มอากาศไว้ได้มากขึ้น เนื่องจากเมโทเซลมีคุณสมบัติเป็นสารยึดเกาะ (binder) ทำให้ของเหลวที่เกิดขึ้นมีลักษณะเป็นอิมัลชัน และอากาศมีความคงตัว และสามารถป้องกันไม่ให้สารแขวนลอยแยกตัว โดยเมโทเซลเกิดเจลบริเวณ interface ระหว่างผิวหน้าอากาศกับน้ำในโฟม ซึ่งเป็นส่วนที่เป็นฟิล์มบาง ๆ ยึดเกาะ และเมื่อความเข้มข้นของสารเมโทเซลมากขึ้น ทำให้ความสามารถในการเกิดความคงตัวมากขึ้น การที่โฟมมีค่าโอเวอร์รันสูงและความหนาแน่นต่ำ จะส่งผลให้โฟมมีฟองอากาศที่ละเอียดและสม่ำเสมอ มีพื้นที่ผิวที่จะเกิดการระเหยของน้ำมากขึ้น ทำให้น้ำภายในโฟมซึ่งอยู่ในรูปฟิล์มบาง ๆ สามารถระเหยออกมาได้ง่ายและ

ต่อเนื่อง นอกจากนี้เมโทเซลยังทำหน้าที่พองโครงสร้างของโพลีไม์ไม่ใหยุบตัวลงมา เพราะการยุบตัวของโพลีไม์ ทำให้เกิดโพรงอากาศขนาดใหญ่ซึ่งขัดขวางความร้อนที่แพร่เข้าไปในโพลีไม์ น้ำจึงระเหยออกได้ยากขึ้น ซึ่งทำให้กระบวนการอบแห้งเป็นไปได้ช้า (กัลยาณี โสมนัส, 2540)

#### 4.2.3 ผลการศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพทางด้านกายภาพ ข้าวไรซ์เบอร์รี่ผงที่ได้จากการทำแห้งแบบโพลี-เมท

นำข้าวไรซ์เบอร์รี่ผงที่ได้จากการทำแห้งแบบโพลี-เมท ที่มีการใช้ปริมาณของเมโทเซลที่แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ ร้อยละ 3, 4 และ 5 โดยน้ำหนัก มาศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพทางกายภาพบางประการ ได้แก่ ดัชนีการดูดซับน้ำ (Water absorption index, WAI), ดัชนีการละลายน้ำ (Water solubility index, WSI), ระยะเวลาการคั่วตัว (วินาที), ค่าสี L\*, a\* และ b\* และ ค่าปริมาณน้ำอิสระ (Aw) ได้ผลการวิเคราะห์ ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลการศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพทางด้านกายภาพ ของข้าวไรซ์เบอร์รี่ผงที่ได้จากการทำแห้งแบบโพลี-เมท

สมบัติทางกายภาพของผงข้าวไรซ์เบอร์รี่	ปริมาณเมโทเซล (ร้อยละ)		
	3	4	5
Water absorption index (WAI)	5.75 ± 0.22 <sup>b</sup>	9.44 ± 0.56 <sup>a</sup>	10.38 ± 0.81 <sup>a</sup>
Water solubility index (WSI)	3.00 ± 0.20 <sup>b</sup>	4.26 ± 0.30 <sup>a</sup>	4.73 ± 0.41 <sup>a</sup>
ระยะเวลาการคั่วตัว (วินาที)	30-40	30-40	30-40
Bulk density (g/ml)	0.55 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.50 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.46 ± 0.01 <sup>c</sup>
ค่าสี L*	30.45 ± 0.31 <sup>b</sup>	32.40 ± 0.40 <sup>a</sup>	32.30 ± 0.23 <sup>a</sup>
a*	6.27 ± 0.61 <sup>a</sup>	5.97 ± 0.49 <sup>ab</sup>	5.32 ± 0.05 <sup>b</sup>
B*	4.72 ± 0.55 <sup>b</sup>	6.00 ± 0.50 <sup>a</sup>	5.62 ± 0.05 <sup>a</sup>
ค่าAw <sup>ns</sup>	0.47 ± 0.01	0.49 ± 0.01	0.49 ± 0.01

หมายเหตุ ตัวอักษรต่างกันในแนวนอน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

จากตารางที่ 4.5 พบว่า ค่าดัชนีการดูดซับน้ำ ของข้าวไรซ์เบอร์รี่ผง ที่ได้จากการทำแห้งแบบ โฟม-แมท ที่มีการใช้ปริมาณของเมโทเซลที่แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ ร้อยละ 3, 4 และ 5 พบว่า ค่าดัชนี การดูดซับน้ำ ของข้าวไรซ์เบอร์รี่ผงที่มีการใช้ปริมาณเมโทเซล ในการตีโฟม ร้อยละ 5 มีค่าการดูดซับน้ำ สูงสุด แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) กับการใช้ปริมาณเมโทเซล ในการตีโฟม ร้อยละ 4 แต่ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) กับการใช้ปริมาณเมโทเซล ในการตีโฟม ร้อยละ 3 ซึ่งสอดคล้องกับผลโอเวอร์รันของโฟมข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่การใช้เมโทเซล ปริมาณร้อยละ 5 มีค่าโอเวอร์รัน สูงสุด ทำให้โฟมมีความหนาแน่นต่ำสุด แสดงว่ามีมวลน้อย โฟมมีรูพรุนจำนวนมาก มีอากาศแทรกตัวอยู่ มาก ทำให้มีค่าการดูดซับน้ำที่สูง ส่วนค่าดัชนีการละลาย ได้ผลในการทำงานเดียวกัน ซึ่งพบว่า ข้าวไรซ์เบอร์รี่ ผงที่มีการใช้ปริมาณเมโทเซล ในการตีโฟม ร้อยละ 5 มีค่าดัชนีการละลายน้ำสูงสุด แต่ไม่มีความแตกต่าง กันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) กับการใช้ปริมาณเมโทเซล ในการตีโฟม ร้อยละ 4 แต่มีความแตกต่างอย่างมี นัยสำคัญทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) กับการใช้ปริมาณเมโทเซล ในการตีโฟม ร้อยละ 3

การทดสอบระยะเวลาการคืนตัว พบว่า ข้าวไรซ์เบอร์รี่ผงที่มีการใช้ปริมาณเมโทเซล ร้อยละ 3, 4 และ 5 มีระยะเวลาการคืนตัว ใกล้เคียงกัน คือ ประมาณ 30-40 วินาที ส่วนค่าความหนาแน่น ของข้าว ไรซ์เบอร์รี่ผง พบว่าข้าวไรซ์เบอร์รี่ผงที่มีการใช้ปริมาณเมโทเซลเป็นสารก่อโฟม ร้อยละ 3, 4 และ 5 โดย น้ำหนัก มีค่าความหนาแน่น แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) โดยเมื่อใช้เมโทเซลเป็นสาร ก่อโฟมในปริมาณที่มากขึ้น ส่งผลต่อค่าความหนาแน่นของผงข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ต่ำลง สอดคล้องกับผลการ ทดลองในเรื่องค่าโอเวอร์รันและความหนาแน่นของโฟม ที่เมื่อใช้ปริมาณเมโทเซลเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าโอเวอร์ รันของโฟมเพิ่มขึ้น และค่าความหนาแน่นของโฟมมีค่าลดลง

การวิเคราะห์ค่า  $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$  ของข้าวไรซ์เบอร์รี่ผง พบว่า ค่า  $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$  ของข้าวไรซ์ เบอร์รี่ผงที่ใช้ปริมาณเมโทเซลในการให้โฟมร้อยละ 4 และ 5 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) แต่ จะแตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) จากการใช้ปริมาณเมโทเซลในการให้โฟมร้อยละ 3 ผลการวิเคราะห์ค่า ปริมาณน้ำอิสระ ( $A_w$ ) พบว่า ข้าวไรซ์เบอร์รี่ผงที่ใช้ปริมาณเมโทเซลในการให้โฟมร้อยละ 3, 4 และ 5 ไม่ มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) โดยมีค่า  $A_w$  อยู่ในช่วง 0.47-0.49 ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานที่ระบุ ว่าอาหารแห้งต้องมีค่า  $A_w$  ไม่เกิน 0.6 การที่ค่า  $A_w$  อยู่ในช่วง 0.6 - 0.7 หรือต่ำกว่า ทำให้จุลินทรีย์ไม่ สามารถเจริญได้ ซึ่งค่า  $A_w$  เป็นตัวบ่งชี้ หรือทำนายการเสื่อมสลายและการเน่าเสียของอาหาร และเป็น ตัวกำหนดการสิ้นสุดอายุการเก็บรักษาของอาหารอบแห้ง เพื่อให้ผลิตภัณฑ์อาหารอบแห้งสามารถเก็บ รักษาได้นาน และมีความคงตัวดี (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2544) จากการพิจารณาในเรื่องโอเวอร์รัน

ความหนาแน่นของโพลีเมอร์ ค่าดัชนีการดูดซับน้ำ และค่าดัชนีการละลายน้ำของข้าวไรซ์เบอร์รี่ผง จึงทำให้เลือกใช้ปริมาณของเมโทเซลที่ร้อยละ 5 และใช้เวลาในการตีปั่น 15 นาที ซึ่งเป็นสถานะที่มีค่าโอเวอร์รันของโพลีเมอร์สูงที่สุด และมีค่าความหนาแน่นของโพลีเมอร์ในระดับต่ำที่สุด ซึ่งเป็นคุณลักษณะที่สำคัญในการทำแห้งแบบโพลีเมอร์-แมท

#### 4.2.4 ผลการศึกษาปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในข้าวไรซ์เบอร์รี่ผงที่ได้จากการทำแห้งแบบโพลีเมอร์-แมท

นำข้าวไรซ์เบอร์รี่ผงที่ได้จากการทำแห้งแบบโพลีเมอร์-แมท ที่มีการใช้ปริมาณของเมโทเซลที่ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก มาศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ผลการทดลองดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลการศึกษาปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในข้าวไรซ์เบอร์รี่ผงที่ได้จากการทำแห้งแบบโพลีเมอร์-แมท

ตัวอย่าง	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/100g sample)	ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (mM TE/100g sample) DPPH
ข้าวไรซ์เบอร์รี่ผง ที่มีการใช้ปริมาณของเมโทเซล ร้อยละ 5	139.25 ± 2.41	105.00 ± 0.44

จากตารางที่ 4.6 พบว่าข้าวไรซ์เบอร์รี่ผงที่ได้จากการทำแห้งแบบโพลีเมอร์-แมท มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด เท่ากับ 139.25 ± 2.41 mg GAE/100g sample และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ วัดโดยวิธี DPPH เท่ากับ 105.00 ± 0.44 mM TE/100g dry weight

### 4.3 การพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มธัญญาหารสำเร็จรูปจากข้าวไรซ์เบอร์รี่ผง

จากการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มธัญญาหารสำเร็จรูปจากข้าวไรซ์เบอร์รี่ผง โดยดัดแปลงสูตรจากสูตรทางการค้า และได้พัฒนากลิ่นรส โดยแบ่งเป็น 3 กลิ่นรส ได้แก่ รสธรรมชาติ รสชาเขียว และรสช็อกโกแลต จากนั้นทำการเตรียมเครื่องดื่มข้าวไรซ์เบอร์รี่ผงสำเร็จรูป และนำไปทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส ด้วยวิธีให้คะแนนความชอบแบบ 9-point Hedonic Scale ต่อคุณลักษณะ กลิ่น สี รสชาติ ความมัน และความชอบโดยรวม โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 50 คน ได้ผลดังตารางที่ 4.7

**ตารางที่ 4.7** ผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเครื่องดื่มธัญญาหารสำเร็จรูปจากข้าวไรซ์เบอร์รี่สูตรต่าง ๆ

คุณลักษณะที่ทดสอบ	เครื่องดื่มธัญญาหาร		
	รสธรรมชาติ	รสชาเขียว	รสช็อกโกแลต
กลิ่น	6.40 ±1.19 <sup>b</sup>	7.56 ±1.28 <sup>a</sup>	7.58± 1.31 <sup>a</sup>
สี <sup>ns</sup>	7.12 ±1.42	7.50 ±1.22	7.36 ±1.33
รสชาติ <sup>ns</sup>	7.40 ±1.26	7.22 ±1.46	7.20 ±1.24
ความมัน <sup>ns</sup>	7.04 ±1.24	7.12 ±1.44	6.86 ±1.32
ความชอบรวม <sup>ns</sup>	7.14± 1.29	7.42 ±1.35	7.32 ±1.17

**หมายเหตุ** ตัวอักษรต่างกันในแนวนอน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

ผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส ของเครื่องดื่มธัญญาหารสำเร็จรูปจากข้าวไรซ์เบอร์รี่ แสดงดังตารางที่ 4.7 โดยทดสอบคุณลักษณะด้านต่าง ๆ ได้แก่ กลิ่น สี รสชาติ ความมัน และความชอบรวม ผลการทดสอบคุณลักษณะด้านกลิ่น พบว่า เครื่องดื่มธัญญาหารสูตรรสช็อกโกแลต ได้คะแนนการทดสอบสูงสุด คือ 7.58 แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติจากสูตรรสชาเขียว ( $p > 0.05$ ) ส่วนผลการทดสอบด้านสี พบว่า เครื่องดื่มธัญญาหารสูตรรสชาเขียว ได้รับคะแนนสูงสุด คือ 7.50 แต่ไม่มีความแตกต่างจากสูตรรสธรรมชาติ และสูตรรสช็อกโกแลต ( $p > 0.05$ ) ส่วนคะแนนด้านรสชาติ พบว่า เครื่องดื่มธัญญาหารทั้ง 3 สูตร ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) โดยสูตรรสธรรมชาติได้คะแนนสูงสุด คือ 7.40 รองลงมาคือ สูตรชาเขียว และสูตรรสช็อกโกแลต ส่วนคะแนนด้านความมัน พบว่า เครื่องดื่มธัญญาหารทั้ง 3 สูตร ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) โดยเครื่องดื่มธัญญาหารรสชาเขียว

ได้คะแนนสูงสุดคือ 7.12 ส่วนคะแนนด้านความชอบรวม พบว่า เครื่องดื่มธัญญาหารสูตรรสชาติเขียว ได้รับคะแนนสูงสุด คือ 7.42 แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) กับเครื่องดื่มธัญญาหารสูตรธรรมชาติ และสูตรรสช็อกโกแลต

#### 4.3.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเครื่องดื่มธัญญาหารสำเร็จรูป

จากการคัดเลือกสูตรผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มธัญญาหารสำเร็จรูปจากข้าวไรซ์เบอร์รี่ผง โดยได้คัดเลือกสูตรธรรมชาติ เนื่องจากมีคะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสในความชอบโดยรวมที่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) จากสูตรรสชาติเขียว และสูตรรสช็อกโกแลต และเป็นสูตรที่ไม่ได้เติมชาเขียว และช็อกโกแลต จึงได้นำเครื่องดื่มธัญญาหารสำเร็จรูปจากข้าวไรซ์เบอร์รี่ผง สูตรธรรมชาติมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี แสดงผลดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มธัญญาหารสำเร็จรูปจากข้าวไรซ์เบอร์รี่ผง

คุณภาพทางเคมี	เครื่องดื่มธัญญาหารสำเร็จรูปจากข้าวไรซ์เบอร์รี่ผง สูตรธรรมชาติ
โปรตีน	6.08 ± 5.92
ไขมัน	1.53 ± 0.37
คาร์โบไฮเดรต	78.28 ± 0.87
เส้นใยหยาบ	1.73 ± 0.15
เถ้า	2.47 ± 0.09
ความชื้น	3.54 ± 0.27

จากตารางที่ 4.8 พบว่าองค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มธัญญาหารสำเร็จรูปจากข้าวไรซ์เบอร์รี่ผง สูตรธรรมชาติ มีโปรตีน ร้อยละ 6.08 ไขมัน ร้อยละ 1.53 คาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 78.28 เส้นใยหยาบ ร้อยละ 1.73 เถ้า ร้อยละ 2.47 และ ความชื้น ร้อยละ 3.54

