

## บทที่ 4 ผลการวิจัย

### การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของข้าวกล้องสีนเหล็ก

ข้าวกล้องสีนเหล็กที่ใช้ในการทดลอง ซื้อมาจากศูนย์เทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์และการส่งเสริมข้าวพันธุ์พิเศษ ศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ซึ่งเป็นข้าวที่ผ่านการกะเทาะเปลือกเพียงอย่างเดียว ลักษณะเมล็ดข้าวกล้องสีนเหล็กมีสีน้ำตาลอ่อน ดังแสดงในภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 ลักษณะเมล็ดข้าวกล้องสีนเหล็ก

จากนั้นนำเมล็ดข้าวกล้องสีนเหล็กมาวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการและเปรียบเทียบกับข้าวกล้องหอมมะลิ ได้ผลดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 คุณค่าทางโภชนาการของข้าวกล้องสีนเหล็กและข้าวกล้องหอมมะลิ

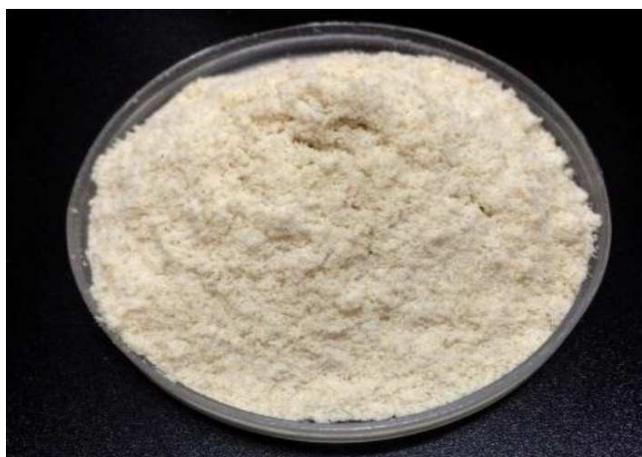
คุณค่าทางโภชนาการ	ข้าวกล้องสีนเหล็ก	ข้าวกล้องหอมมะลิ
ความชื้น (%)	11.53 <sup>a</sup> ± 0.22	9.06 <sup>b</sup> ± 0.08
โปรตีน (%)	15.17 <sup>a</sup> ± 0.10	12.52 <sup>b</sup> ± 0.13
ไขมัน (%)	1.86 <sup>b</sup> ± 0.16	2.62 <sup>a</sup> ± 0.30
เถ้า (%) <sup>ns</sup>	1.57 ± 0.17	1.43 ± 0.11
เส้นใย (%) <sup>ns</sup>	1.52 ± 0.23	1.54 ± 0.36
คาร์โบไฮเดรต (%)	68.36 <sup>b</sup> ± 0.31	72.83 <sup>a</sup> ± 0.31
เหล็ก (mg/kg)	17.10 <sup>a</sup> ± 0.34	14.08 <sup>b</sup> ± 0.70

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยตามตัวอักษร <sup>a-b</sup> ที่ต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )  
<sup>ns</sup> ค่าเฉลี่ยในแนวนอน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

จากตารางที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าข้าวกล้องสีนเหล็กมีปริมาณความชื้นและโปรตีนที่สูงกว่าข้าวกล้องหอมมะลิ ปริมาณเถ้าและเส้นใยใกล้เคียงกันกับข้าวกล้องหอมมะลิซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) แต่ข้าวกล้องสีนเหล็กมีปริมาณไขมันและคาร์โบไฮเดรตที่ต่ำกว่าข้าวกล้องหอมมะลิ ส่วนปริมาณเหล็กจะพบว่าข้าวกล้องสีนเหล็กจะมีธาตุเหล็กที่สูงถึง  $17.10 \pm 0.34$  mg/kg ซึ่งในข้าวกล้องหอมมะลิจะพบ  $14.08 \pm 0.70$  mg/kg แสดงว่าข้าวกล้องสีนเหล็กเป็นข้าวที่มีปริมาณโปรตีนและธาตุเหล็กสูง ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ ผาณิต รุจิรพิสิฐ และคณะ (2555) ในด้านปริมาณเถ้าและเส้นใย แต่มีความแตกต่างในด้านปริมาณโปรตีนและไขมัน โดยปริมาณโปรตีนที่วิเคราะห์ได้มีค่าที่สูงกว่าและปริมาณไขมันที่วิเคราะห์ได้มีค่าที่ต่ำกว่างานวิจัยของ ผาณิต รุจิรพิสิฐ และคณะ (2555) เมื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณธาตุเหล็กกับข้าวสายพันธุ์อื่น จะพบว่า ข้าวกล้องสีนเหล็กมีปริมาณธาตุเหล็กที่ใกล้เคียงกับข้าว กข 29 และพันธุ์ IR68144 ซึ่งมีธาตุเหล็กอยู่ 15.7 และ 16.2 mg/kg ตามลำดับ (สุรเดช ปาละวิสุทธิ และคณะ, 2008)

#### คุณสมบัติของแป้งข้าวกล้องสีนเหล็ก

เพื่อศึกษาคุณสมบัติของแป้งข้าวกล้องสีนเหล็ก จึงได้นำข้าวกล้องสีนเหล็กมาผ่านกระบวนการโม่แห้ง ด้วยเครื่อง Pin Mill ที่สถาบันอาหารและโภชนาการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 mesh เพื่อให้ได้แป้งข้าวกล้องสีนเหล็ก ซึ่งมีลักษณะดังภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 ลักษณะของแป้งข้าวกล้องสีนเหล็ก

จากนั้นนำแป้งข้าวกล้องสีนเหล็กมาวิเคราะห์คุณสมบัติด้านต่าง ๆ ดังนี้

##### 1. คุณสมบัติทางเคมี

คุณสมบัติทางเคมีของแป้งข้าวสีนเหล็กที่ได้ทำการวิเคราะห์ ได้แก่ ปริมาณความชื้น โปรตีน เถ้า อะไมโลส และเหล็ก รวมทั้งมีการเปรียบเทียบกับแป้งข้าวเจ้าที่มีขายตามท้องตลาด ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติทางเคมีของแป้งข้าวกล้องสีเหลือง

คุณสมบัติทางเคมี	แป้งข้าวกล้องสีเหลือง	แป้งข้าวเจ้า
ความชื้น (%) <sup>ns</sup>	10.13 ± 0.04	9.87 ± 0.26
โปรตีน (%)	15.83 ± 0.26 <sup>a</sup>	12.91 ± 0.23 <sup>b</sup>
เถ้า (%)	1.46 ± 0.04 <sup>a</sup>	0.40 ± 0.13 <sup>b</sup>
อะไมโลส (%)	7.49 ± 0.16 <sup>b</sup>	18.97 ± 0.04 <sup>a</sup>
เหล็ก (mg/kg)	12.958	4.881

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยตามตัวอักษร<sup>a-b</sup> ที่ต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )  
<sup>ns</sup> ค่าเฉลี่ยในแนวนอน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

จากตารางที่ 4.2 พบว่าแป้งข้าวกล้องสีเหลืองมีปริมาณความชื้นที่ใกล้เคียงกับแป้งข้าวเจ้า ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมเป็นไปตามมาตรฐานอุตสาหกรรม-มอก. 638-2529 แป้งข้าวเจ้า โดยมีการกำหนดปริมาณความชื้นของแป้งไม่เกิน 13% ปริมาณโปรตีนและเถ้าของแป้งข้าวกล้องสีเหลืองสูงกว่าแป้งข้าวเจ้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เนื่องจากแป้งข้าวสีเหลืองได้จากการไม่ข้าวกล้องซึ่งข้าวกล้องเป็นข้าวที่มีการกะเทาะเปลือกแข็งหุ้มออกเพียงอย่างเดียว จึงมีส่วนของ Pericarp, Seed coat, Aleurone, Endosperm และ Embryo อยู่ (รสิตา ไอสถานนท์, 2555) ส่วนแป้งข้าวเจ้าเป็นแป้งที่ได้จากข้าวขาว ซึ่งได้ทำการขัดสีเยื่อหุ้มเมล็ดออกจนหมด เหลือเพียง Endosperm ซึ่งมีส่วนประกอบโดยส่วนใหญ่เป็นคาร์โบไฮเดรต ส่งผลให้แป้งข้าวกล้องสีเหลืองที่ได้มีโปรตีนและเถ้าสูงกว่าแป้งข้าวเจ้า สำหรับปริมาณอะไมโลสนั้น แป้งข้าวสีเหลืองมีปริมาณอะไมโลสค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับแป้งข้าวเจ้า โดยมีปริมาณอะไมโลสอยู่ที่  $7.49 \pm 0.16\%$

## 2. คุณสมบัติทางกายภาพ

คุณสมบัติทางกายภาพของแป้งข้าวกล้องสีเหลืองที่ได้ทำการวิเคราะห์ ได้แก่ ค่าสีและค่าเนื้อสัมผัส และทำการเปรียบเทียบกับแป้งข้าวเจ้าที่มีขายตามท้องตลาด ได้ผลการทดลอง ดังนี้

### 2.1 ค่าสี

นำแป้งข้าวกล้องสีเหลืองและแป้งข้าวเจ้ามาตรวจวัดค่าสีด้วยเครื่อง Handy Colorimeter ได้ผลดังตารางที่ 4.3 พบว่า แป้งข้าวกล้องสีเหลืองมีค่า L ต่ำกว่าแป้งข้าวเจ้า แสดงว่าแป้งข้าวกล้องสีเหลืองมีค่าความสว่างน้อยกว่าแป้งข้าวเจ้า ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะปรากฏของแป้งข้าวกล้องสีเหลืองที่มีสีที่เข้มกว่าแป้งข้าวเจ้า เนื่องจากการผลิตแป้งได้นำข้าวกล้องซึ่งมีสีน้ำตาลอ่อนมาไม่แบบแห้ง แป้งที่ได้จึงมีส่วนผสมของเปลือกหุ้มผล (Pericarp) เยื่อหุ้มเมล็ด (Seed coat) และคัพพะ (Embryo) ซึ่งสารที่ให้สี (Pigment) จะอยู่ในส่วนของเยื่อหุ้มเมล็ดและเยื่อโปร่งใส (Hyaline layer) ส่งผลให้แป้งที่ได้มีความสว่างที่น้อยกว่าแป้งข้าวเจ้า ซึ่งได้จากการไม่แบบน้ำและใช้ข้าวขาวเป็นวัตถุดิบในการไม่เท่านั้น สำหรับค่า a และ b ของแป้งข้าวกล้องสีเหลืองมีค่าที่มากกว่าแป้งข้าวเจ้า แสดงถึงค่าความเป็นสีแดงและสีเหลืองที่มากกว่าแป้งข้าวเจ้า ซึ่งสีแป้งข้าวกล้องสีเหลืองจะออกเป็นสีน้ำตาลอ่อน สอดคล้องกับลักษณะของแป้งที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า (ภาพที่ 4.2)

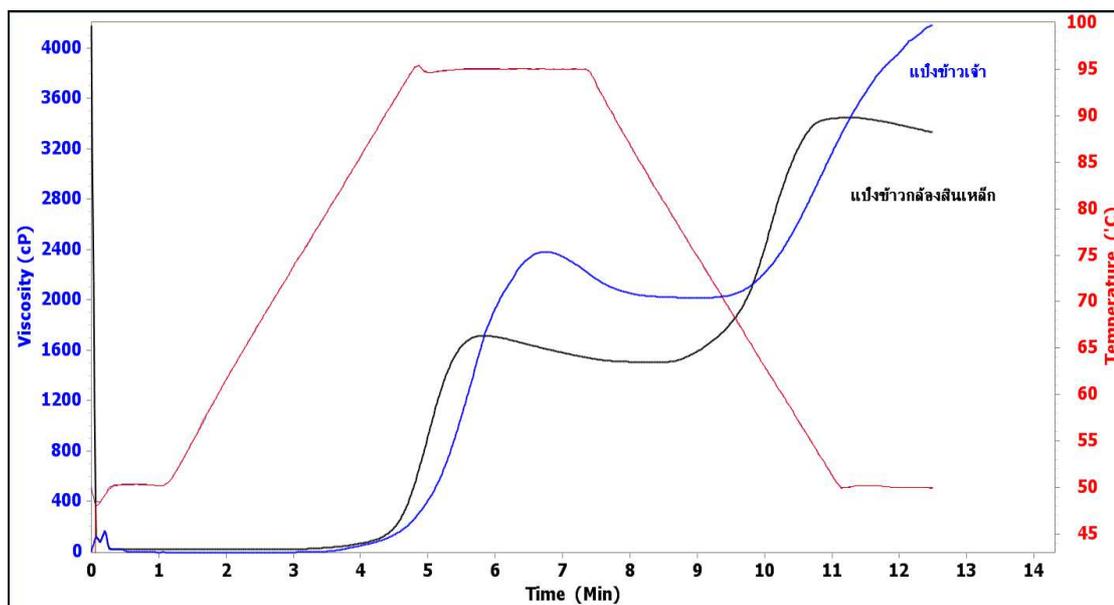
ตารางที่ 4.3 ค่าสีของแป้งข้าวกึ่งสีและแป้งข้าวเจ้า

ค่าสี	แป้งข้าวกึ่งสี	แป้งข้าวเจ้า
ค่าความสว่าง (L)	69.47 ± 1.54 <sup>b</sup>	83.00 ± 0.30 <sup>a</sup>
ค่าความเป็นสีเขียว-แดง (a)	1.57 ± 0.32 <sup>a</sup>	0.37 ± 0.06 <sup>b</sup>
ค่าความเป็นสีน้ำเงิน-เหลือง (b)	10.03 ± 0.61 <sup>a</sup>	2.20 ± 0.20 <sup>b</sup>

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยตามตัวอักษร <sup>a-b</sup> ที่ต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

## 2.2 ความหนืด

นำแป้งข้าวกึ่งสีและแป้งข้าวเจ้าที่มีขายตามท้องตลาดมาตรวจวัดความหนืดด้วยเครื่อง Rapid viscosity analyzer (RVA) ที่บริษัท จาร์พา เทคโนโลยี จำกัด โดยเริ่มต้นที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 1 นาที และเพิ่มอุณหภูมิเป็น 95°C และคงที่ที่ 95°C เป็นเวลา 2.5 นาที หลังจากนั้นทำการลดอุณหภูมิลงเหลือ 50°C ได้ผลดังภาพที่ 4.3 และตารางที่ 4.4 พบว่า เมื่อแป้งได้รับความร้อน แป้งจะดูดซับน้ำและเกิดการพองตัวอย่างรวดเร็ว จนเกิดความหนืดขึ้น อุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนค่าความหนืด จะเรียกว่า Pasting temperature ซึ่งแป้งข้าวกึ่งสีมีค่า Pasting temperature (91.05 °C) ที่ต่ำกว่าแป้งข้าวเจ้า (92.90 °C) เล็กน้อย แสดงว่าแป้งข้าวกึ่งสีเกิดเจลลิตีในเซชันที่อุณหภูมิต่ำกว่าแป้งข้าวเจ้า สำหรับค่าความหนืดสูงสุด (Peak viscosity) และค่าความหนืดสุดท้าย (Final viscosity) ของแป้งข้าวกึ่งสีจะต่ำกว่าแป้งข้าวเจ้าอย่างชัดเจน แสดงว่าแป้งข้าวกึ่งสีมีกำลังการพองตัวที่น้อยกว่าแป้งข้าวเจ้า แต่เมื่อพิจารณาจากรูปแบบความหนืดของแป้งข้าวกึ่งสี พบว่า ลักษณะของกราฟความหนืดที่ได้จะมียอดสูงสุดแต่ไม่สูงมาก และเกิดการสลายตัวระหว่างการต้มสุกที่น้อยกว่าแป้งข้าวเจ้า ดังแสดงในค่าความแตกต่างระหว่างความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด (Breakdown) ซึ่งแป้งข้าวกึ่งสีมีค่าอยู่ที่ 206.67 RVU ส่วนแป้งข้าวเจ้ามีค่าอยู่ที่ 364 RVU อย่างไรก็ตามรูปแบบความหนืดของแป้งข้าวกึ่งสีใกล้เคียงกับรูปแบบความหนืดของแป้งจากธัญพืช ซึ่งเป็นแป้งในกลุ่มที่มีกำลังการพองตัวปานกลาง (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546)



ภาพที่ 4.3 กราฟความหนืดของแป้งข้าวกล้องสินเหล็กและแป้งข้าวเจ้า

ตารางที่ 4.4 ค่าความหนืดของแป้งข้าวกล้องสินเหล็กและแป้งข้าวเจ้า

ค่าแสดงผลความหนืด	ชนิดของแป้ง	
	แป้งข้าวกล้องสินเหล็ก	แป้งข้าวเจ้า
Peak viscosity	1710.33 ± 14.36	2383.00 ± 16.52
Hold	1503.67 ± 12.06	2019.00 ± 31.05
Breakdown	206.67 ± 4.04	364.00 ± 14.53
Final viscosity	3328.00 ± 9.54	4155.67 ± 25.79
Setback1	1824.33 ± 20.74	2136.67 ± 53.00
Setback2	1617.67 ± 22.01	1772.67 ± 39.55
Peak Time	5.91 ± 0.10	6.76 ± 0.04
Pasting Temperature	91.05 ± 0.44	92.90 ± 0.00

### 3. คุณสมบัติเชิงหน้าที่

คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของแป้งข้าวกล้องสินเหล็กที่ได้ทำการวิเคราะห์ ได้แก่ ค่าดัชนีการละลายน้ำและค่าดัชนีการดูดซับน้ำ และทำการเปรียบเทียบกับแป้งข้าวเจ้า ได้ผลการทดลอง ดังตารางที่ 4.5 พบว่า แป้งข้าวกล้องสินเหล็กมีค่าดัชนีการละลายน้ำที่สูงกว่าแป้งข้าวเจ้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ส่วนค่าดัชนีการดูดซับน้ำของแป้งทั้งสองชนิดมีค่าใกล้เคียงกันและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

ตารางที่ 4.5 คุณสมบัติน้ำที่ของแป้งข้าวสาลีและแป้งข้าวเจ้า

คุณสมบัติน้ำที่	แป้งข้าวกล้องสาลี	แป้งข้าวเจ้า
ดัชนีการละลายน้ำ	$5.74^a \pm 0.81$	$1.07^b \pm 0.41$
ดัชนีการดูดซับน้ำ <sup>ns</sup>	$2.58 \pm 0.60$	$2.55 \pm 0.05$

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยตามตัวอักษร<sup>a-b</sup> ที่ต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )  
<sup>ns</sup> ค่าเฉลี่ยในแนวนอน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

ค่าดัชนีการละลายน้ำและการดูดซับน้ำ เป็นค่าที่ได้จากการเติมน้ำลงในแป้งและตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เม็ดสตาร์ชที่อยู่ในแป้งจะดูดซึมน้ำภายใต้สภาวะบรรยากาศของห้อง จนเกิดความสมดุลขึ้น ซึ่งเป็นกระบวนการแบบผันกลับได้ (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยจอมขวัญ, 2546) โดยแป้งแต่ละชนิดจะให้ค่าดัชนีการละลายน้ำและการดูดซับน้ำที่แตกต่างกัน จากผลการทดลองพบว่า ค่าดัชนีการละลายน้ำของแป้งข้าวกล้องสาลีมีค่าที่สูงกว่าแป้งข้าวเจ้า ซึ่งค่าการละลายน้ำจะขึ้นอยู่กับสารที่ละลายน้ำได้ โดยอาจเกิดจากการสลายของแป้งและส่วนประกอบอื่น ๆ ในแป้ง (สุนทร เจริญพร, 2555) ซึ่งแป้งข้าวกล้องสาลีจะมีองค์ประกอบอื่น ได้แก่ โปรตีน ไขมัน และเส้นใยที่สูงกว่าแป้งข้าวเจ้า องค์ประกอบเหล่านี้มีคุณสมบัติช่วยในการละลายน้ำได้ดี อย่างไรก็ตามค่าการละลายน้ำและการดูดซับน้ำของแป้งข้าวกล้องสาลีจะมีค่าที่ใกล้เคียงกับแป้งข้าวกล้องของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ซึ่งมีค่าการละลายน้ำและการดูดซับน้ำที่  $5.15 \pm 0.10$  และ  $2.93 \pm 0.03\%$  ตามลำดับ (ณัฐพัชร์ สะอาดศรีวีระเดช และคณะ, 2556)

### ผลิตภัณฑ์บรานนี้แป้งข้าวกล้องสาลี

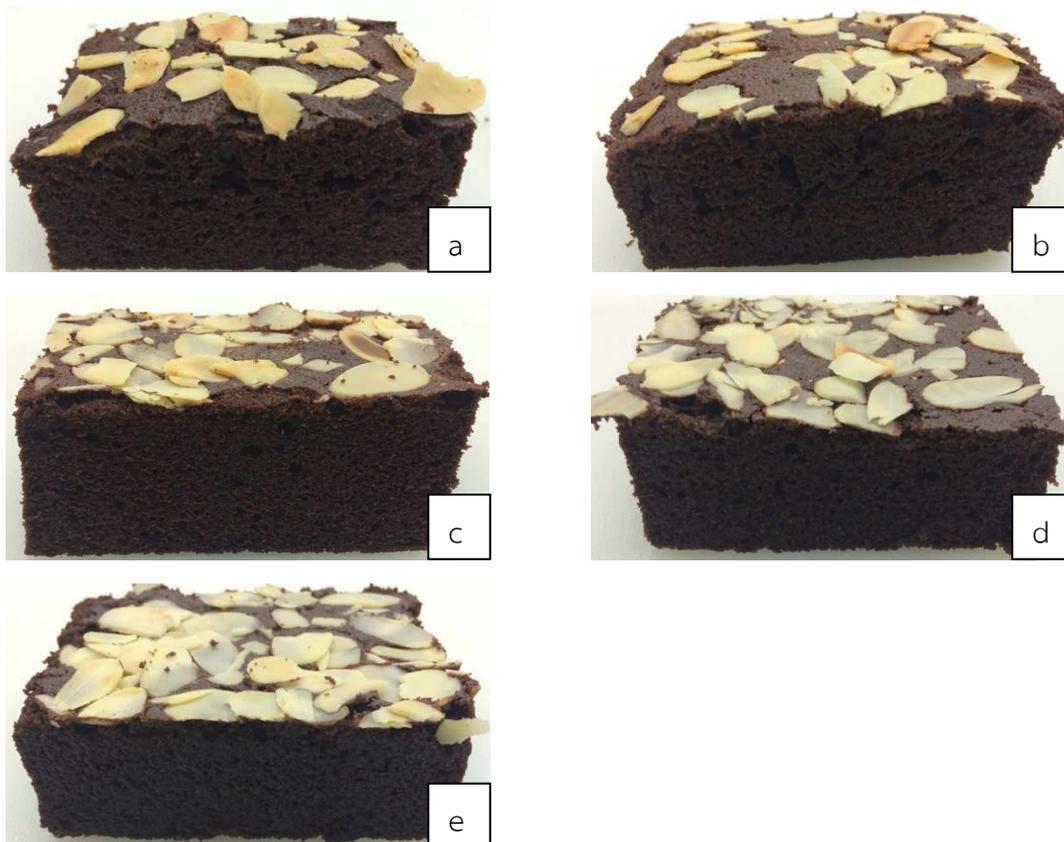
นำแป้งข้าวกล้องสาลีมาใช้เป็นวัตถุดิบทดแทนแป้งสาลีที่ 0-100% ในการผลิตบรานนี้ (ตารางที่ 3.1) ได้เป็นผลิตภัณฑ์บรานนี้ทั้ง 5 สูตร โดยสูตรที่ 1 บรานนี้แป้งสาลี 100% ไม่มีการใช้แป้งข้าวกล้องสาลี เป็นสูตรควบคุม หลังจากนั้นนำผลิตภัณฑ์บรานนี้ทั้ง 5 สูตร ซึ่งมีลักษณะดังภาพที่ 4.4 มาศึกษาคุณสมบัติในด้านต่าง ๆ ดังนี้

#### 1. คุณสมบัติน้ำที่ทางกายภาพ

##### 1.1 ค่าสี

นำผลิตภัณฑ์บรานนี้ทั้ง 5 สูตร โดยไม่มีอัลมอนต์สไลซ์มาตรวจวัดค่าสีด้วยเครื่อง Handy colorimeter ได้ผลดังตารางที่ 4.6 พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณของแป้งข้าวกล้องสาลีจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์บรานนี้มีค่า b ที่ลดลง แสดงว่าผลิตภัณฑ์บรานนี้ที่มีการทดแทนแป้งข้าวกล้องสาลีจะมีค่าสีเหลืองที่น้อยกว่าผลิตภัณฑ์บรานนี้แป้งสาลี ผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ พร่อมลักษณ์ สมบูรณ์ปัญญากุล และคณะ (2555) ซึ่งทดแทนแป้งข้าวกล้องสาลีในผลิตภัณฑ์คุกกี้ พบว่า ค่า L และ b ลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อพิจารณาค่า L และ a ของผลิตภัณฑ์บรานนี้ทั้ง 5 สูตร พบว่ามีค่าที่ใกล้เคียงกัน แสดงว่าผลิตภัณฑ์บรานนี้ในแต่ละสูตรมีค่าความสว่าง และค่าสีแดงที่ไม่

แตกต่างกันมากนัก อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบสีของผลิตภัณฑ์ด้วยตาเปล่า จะไม่พบความแตกต่างในด้านของสีในผลิตภัณฑ์บราวนี่แต่ละสูตร



ภาพที่ 4.4 ลักษณะผลิตภัณฑ์บราวนี่ (a) สูตรที่ 1 บราวนี่แป้งสาลี (สูตรควบคุม) (b) สูตรที่ 2 บราวนี่แป้งข้าวกล้องสีนเหล็ก 25% (c) สูตรที่ 3 บราวนี่แป้งข้าวกล้องสีนเหล็ก 50% (d) สูตรที่ 4 บราวนี่แป้งข้าวกล้องสีนเหล็ก 75% และ (e) สูตรที่ 5 บราวนี่แป้งข้าวกล้องสีนเหล็ก 100%

ตารางที่ 4.6 ค่าสีของผลิตภัณฑ์บราวนี่

สูตรที่	ค่าสี		
	L	a <sup>ns</sup>	b
1	19.93 <sup>c</sup> ± 1.59	2.87 ± 1.00	6.20 <sup>a</sup> ± 2.52
2	21.67 <sup>b,c</sup> ± 0.76	2.43 ± 0.55	4.87 <sup>a,b</sup> ± 1.03
3	24.20 <sup>a</sup> ± 1.11	3.27 ± 1.07	4.60 <sup>a,b</sup> ± 0.95
4	23.73 <sup>a,b</sup> ± 0.74	2.50 ± 2.00	3.23 <sup>b,c</sup> ± 0.40
5	22.27 <sup>a,c</sup> ± 1.96	2.07 ± 0.40	1.60 <sup>c</sup> ± 1.73

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยตามตัวอักษร <sup>a-c</sup> ที่ต่างกันในแต่ละแถว มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

<sup>ns</sup> ค่าเฉลี่ยในแต่ละแถว ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

## 1.2 เนื้อสัมผัส

นำผลิตภัณฑ์บราวนี่ทั้ง 5 สูตร โดยไม่มีอัลมอนต์สไลซ์มาหั่นเป็นชิ้นลูกบาศก์ที่มีด้านกว้าง ยาวและสูง ด้านละ 1 เซนติเมตร และนำมาตรวจวัดค่าเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texture analyzer ได้ผลดังตารางที่ 4.7 พบว่า คุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์บราวนี่ในสูตรที่ 1-3 จะใกล้เคียงกันในทุกด้าน และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) แสดงว่าการทดแทนแป้งข้าวกล้องสึนเหล็กในปริมาณ 0-50% ไม่ส่งผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์บราวนี่ แต่คุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์บราวนี่ในสูตรที่ 4 และ 5 แตกต่างจากสูตรที่ 1 (สูตรควบคุม) แสดงว่าการทดแทนแป้งข้าวกล้องสึนเหล็ก 75-100% ส่งผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์บราวนี่ โดยเฉพาะในด้านความแข็ง (Hardness) ซึ่งพบว่า การทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวกล้องสึนเหล็กในผลิตภัณฑ์จะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งที่ลดลง โดยเห็นได้อย่างชัดเจนในค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์บราวนี่สูตรที่ 5 ที่ใช้แป้งข้าวกล้องสึนเหล็ก 100% ที่มีค่าความแข็งต่ำที่สุด ส่วนค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์บราวนี่สูตรที่ 4 ที่ใช้แป้งข้าวกล้องสึนเหล็ก 75% มีค่าความแข็งที่ต่ำกว่าสูตรที่ 1-3 แต่มากกว่าสูตรที่ 5 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) นอกจากค่าความแข็งแล้วผลิตภัณฑ์บราวนี่ในสูตรที่ 4 ยังมีค่าความยืดหยุ่น (Springiness) ความเหนียว (Gumminess) และค่าการต้านทานการเคี้ยว (Chewiness) ที่มากกว่าสูตรที่ 5 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) แต่ผลิตภัณฑ์บราวนี่สูตรที่ 4 และ 5 มีค่าการยึดติด (Adhesiveness) และ ค่าการยึดเกาะ (Cohesiveness) ที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

ตารางที่ 4.7 ค่าเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์บราวนี่

สูตรที่	คุณลักษณะ					
	Hardness	Adhesiveness	Springiness	Cohesiveness	Gumminess	Chewiness
1	615.76 <sup>a,b</sup> ± 77.64	-0.46 <sup>a</sup> ± 1.49	0.97 <sup>a</sup> ± 0.03	0.60 <sup>a</sup> ± 0.03	370.24 <sup>a</sup> ± 57.07	358.92 <sup>a</sup> ± 60.55
2	645.48 <sup>a</sup> ± 122.57	-0.91 <sup>a</sup> ± 0.71	0.94 <sup>a</sup> ± 0.02	0.55 <sup>a</sup> ± 0.02	356.03 <sup>a</sup> ± 74.10	332.67 <sup>a</sup> ± 66.86
3	628.03 <sup>a</sup> ± 101.39	-1.15 <sup>a</sup> ± 0.46	0.93 <sup>a</sup> ± 0.02	0.57 <sup>a</sup> ± 0.03	355.81 <sup>a</sup> ± 49.99	331.23 <sup>a</sup> ± 43.94
4	521.98 <sup>b</sup> ± 74.52	-3.85 <sup>b</sup> ± 1.37	0.77 <sup>b</sup> ± 0.08	0.40 <sup>b</sup> ± 0.06	209.68 <sup>b</sup> ± 57.49	164.30 <sup>b</sup> ± 58.45
5	311.64 <sup>c</sup> ± 30.76	-3.99 <sup>b</sup> ± 1.48	0.71 <sup>c</sup> ± 0.05	0.38 <sup>b</sup> ± 0.02	116.96 <sup>c</sup> ± 10.97	83.17 <sup>c</sup> ± 9.68

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยตามตัวอักษร<sup>a-c</sup> ที่ต่างกันในแต่ละแถว มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

## 2. การประเมินผลทางประสาทสัมผัส

การประเมินผลทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์บราวนี่แป้งข้าวกล้องสีนเหล็ก ทำโดยทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัสแบบ 9 Point Hedonic Scale โดยใช้ผู้ประเมินที่ไม่ได้ผ่านการฝึกฝนจำนวน 50 คน และทำการประเมินในด้านสี ความนุ่ม ความฉ่ำ กลิ่นรส และความชอบโดยรวม ได้ผลดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ผลทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์บราวนี่

ลักษณะทางประสาทสัมผัส	สูตรที่				
	1	2	3	4	5
สี	6.72 <sup>b</sup> ± 1.51	7.02 <sup>b</sup> ± 1.48	7.02 <sup>b</sup> ± 1.44	8.05 <sup>a</sup> ± 0.89	7.70 <sup>a</sup> ± 1.38
ความนุ่ม	5.58 <sup>c</sup> ± 2.01	5.97 <sup>b,c</sup> ± 1.69	6.49 <sup>b</sup> ± 1.79	7.35 <sup>a</sup> ± 1.46	5.70 <sup>c</sup> ± 1.68
ความฉ่ำ	5.25 <sup>c</sup> ± 1.77	5.85 <sup>b,c</sup> ± 1.68	6.15 <sup>a,b</sup> ± 1.84	6.85 <sup>a</sup> ± 1.56	6.15 <sup>b</sup> ± 1.90
กลิ่นรส	6.19 <sup>b</sup> ± 1.44	6.58 <sup>b</sup> ± 1.09	6.86 <sup>a,b</sup> ± 1.41	7.40 <sup>a</sup> ± 1.09	6.65 <sup>b</sup> ± 1.34
ความชอบโดยรวม	5.79 <sup>d</sup> ± 1.91	6.25 <sup>c,d</sup> ± 1.60	6.78 <sup>b,c</sup> ± 1.68	7.70 <sup>a</sup> ± 0.86	6.95 <sup>b</sup> ± 1.09

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยตามตัวอักษร<sup>a-d</sup> ที่ต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

จากผลการประเมินทางประสาทสัมผัส พบว่า ผลิตภัณฑ์บราวนี่สูตรที่ 4 ซึ่งมีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวกล้องสีนเหล็ก 75% เป็นสูตรที่ผู้ประเมินชอบมากที่สุดในทุกด้าน โดยเฉพาะในด้านความนุ่มและความชอบโดยรวม ซึ่งแตกต่างจากผลิตภัณฑ์บราวนี่สูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) แต่ในด้านสี ผู้ประเมินมีความชอบมากที่สุดแต่ไม่แตกต่างจากผลิตภัณฑ์บราวนี่สูตรที่ 5 และด้านความฉ่ำและกลิ่นรส ผู้ประเมินมีความชอบมากที่สุดแต่ไม่แตกต่างจากผลิตภัณฑ์บราวนี่สูตรที่ 3 อย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์บราวนี่สูตรที่ 1 (สูตรควบคุม) สูตรที่ 2 และสูตรที่ 5 มีค่าความชอบในด้านความนุ่มที่ค่อนข้างต่ำ เนื่องจากผลิตภัณฑ์บราวนี่สูตรที่ 1 มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่แข็งมากที่สุด และสูตรที่ 5 มีความอ่อนนุ่มมากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสด้านค่าความแข็ง (ตารางที่ 4.7) แสดงว่าผู้ประเมินมีความชอบในผลิตภัณฑ์ที่อ่อนนุ่มกว่าสูตรควบคุม (สูตรที่ 1) แต่ต้องมีความคงตัวของผลิตภัณฑ์ไม่อ่อนนุ่มจนเกินไปดังสูตรที่ 5

หลังจากนั้นได้นำผลิตภัณฑ์บราวนี่สูตรที่ 4 ซึ่งเป็นสูตรที่ผู้ประเมินชอบมากที่สุด มาทำการทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค โดยทดสอบการยอมรับแบบ 9 Point Hedonic Scale โดยใช้ผู้บริโภคจำนวน 50 คน และทำการประเมินในด้านสี ความนุ่ม ความฉ่ำ กลิ่นรส และความชอบโดยรวม พร้อมทั้งบอกถึงการยอมรับผลิตภัณฑ์บราวนี่แป้งข้าวกล้องสีนเหล็ก ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ผลการยอมรับผลิตภัณฑ์บราวนี่แบ่งข้าวกล้องอินทรีย์

ลักษณะทางประสาทสัมผัส	สูตรที่ 4
สี	7.54±1.16
ความนุ่ม	6.9±1.79
ความฉ่ำ	6.88±1.89
กลิ่นรส	7.54±1.55
ความชอบโดยรวม	7.56±1.38
การยอมรับผลิตภัณฑ์	90%

คะแนนในการทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสมีดังนี้ ชอบมากที่สุดเท่ากับ 9 คะแนน ชอบมากเท่ากับ 8 คะแนน ชอบปานกลางเท่ากับ 7 คะแนน ชอบเล็กน้อยเท่ากับ 6 คะแนน เฉย ๆ เท่ากับ 5 คะแนน ไม่ชอบเล็กน้อยเท่ากับ 4 คะแนน ไม่ชอบปานกลางเท่ากับ 3 คะแนน ไม่ชอบมากเท่ากับ 2 คะแนน ไม่ชอบมากที่สุดเท่ากับ 1 คะแนน สำหรับผลการยอมรับผลิตภัณฑ์บราวนี่แบ่งข้าวกล้องอินทรีย์ พบว่า ผู้ประเมินมีความชอบมากถึงปานกลางในด้านสี กลิ่นรส และความชอบโดยรวม และผู้ประเมินมีความชอบปานกลางถึงเล็กน้อยในด้านความนุ่มและความฉ่ำ และเมื่อทำการทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์ โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 50 คน พบว่า ผู้ทดสอบร้อยละ 90 ยอมรับในผลิตภัณฑ์บราวนี่แบ่งข้าวกล้องอินทรีย์ (สูตรที่ 4)

### 3. การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ

ผลิตภัณฑ์บราวนี่แบ่งข้าวกล้องอินทรีย์สูตรที่ 4 ซึ่งมีลักษณะเนื้อสัมผัสและสีที่ดี รวมทั้งเป็นสูตรที่ผู้ประเมินชอบมากที่สุด ถูกนำมาวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ และเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์บราวนี่สูตรที่ 1 (สูตรควบคุม) ได้ผลดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์บราวนี่

คุณค่าทางโภชนาการ	สูตรที่ 1	สูตรที่ 4
ความชื้น (%)	14.73 <sup>a</sup> ± 0.33	12.46 <sup>b</sup> ± 0.40
โปรตีน (%)	10.35 <sup>b</sup> ± 0.21	10.77 <sup>a</sup> ± 0.09
ไขมัน (%)	33.79 <sup>b</sup> ± 0.84	37.18 <sup>a</sup> ± 1.11
เถ้า (%)	1.25 <sup>b</sup> ± 0.03	1.41 <sup>a</sup> ± 0.02
เส้นใย (%)	2.34 <sup>a</sup> ± 0.16	1.61 <sup>b</sup> ± 0.40
คาร์โบไฮเดรต (%) <sup>ns</sup>	37.55 ± 0.90	36.57 ± 1.57
เหล็ก (mg/kg)	8.84 <sup>b</sup> ± 0.23	16.22 <sup>a</sup> ± 0.11

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยตามตัวอักษร <sup>a-b</sup> ที่ต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>ns</sup> ค่าเฉลี่ยในแนวนอน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

จากตารางที่ 4.10 แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์บรานนี้สูตรที่ 4 มีปริมาณโปรตีน ไขมัน และเส้นใยที่สูงกว่าผลิตภัณฑ์บรานนี้สูตรที่ 1 (สูตรควบคุม) มีปริมาณความชื้นและเส้นใยที่ต่ำกว่าผลิตภัณฑ์บรานนี้สูตรที่ 1 ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ส่วนปริมาณคาร์โบไฮเดรตของผลิตภัณฑ์บรานนี้ทั้งสองสูตรมีค่าที่ใกล้เคียงกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาในส่วนของปริมาณเหล็กในผลิตภัณฑ์จะพบว่าผลิตภัณฑ์บรานนี้สูตรที่ 4 (แป้งข้าวกล้องสีเหลือง 75%) มีปริมาณธาตุเหล็กที่สูงถึง  $16.22 \pm 0.11$  mg/kg ซึ่งสูงกว่าผลิตภัณฑ์บรานนี้สูตรที่ 1 (แป้งสาลี 100%) ถึง 2 เท่า แสดงให้เห็นว่าผู้ที่บริโภคผลิตภัณฑ์บรานนี้สูตรที่ 4 จะได้รับปริมาณธาตุเหล็กที่สูงขึ้นถึง 2 เท่าเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์บรานนี้โดยทั่วไป