รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

เรื่อง

การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึก
จากหมึกทะเล
Development of functional rice-based food products fortified with cephalopod ink

ผู้วิจัย

อโนชา	สุขสมบูรณ์	หัวหน้าโครงการ
กุลยา	ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์	ผู้ร่วมวิจัย
วิชมณี	ยืนยงพุทธกาล	ผู้ร่วมวิจัย
อาภัสรา	แสงนาค	ผู้ร่วมวิจัย

โครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้
จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน)
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558
มหาวิทยาลัยบูรพา

รหัสโครงการ 174564
สัญญาเลขที่ 46/2558

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

เรื่อง

การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกจากหมึกทะเล

Development of functional rice-based food products fortified with cephalopod ink

ผู้วิจัย

อโนชา	สุขสมบูรณ์	หัวหน้าโครงการ
กุลยา	ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์	ผู้ร่วมวิจัย
วิชมณี	ยืนยงพุทธกาล	ผู้ร่วมวิจัย
อาภัสรา	แสงนาค	ผู้ร่วมวิจัย

สิงหาคม 2560

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558 มหาวิทยาลัยบูรพา ผ่านสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ เลขที่สัญญา 46/2558

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพจากข้าวเจ้า ได้แก่ พาสต้าและขนมขบเคี้ยวแบบพองกรอบเสริมน้ำหมึกจากหมึกทะเล โดยตอนที่ 1 ศึกษาวิธีการเตรียมน้ำหมึกผงที่เหมาะสม โดยการทำแห้ง 3 วิธี จากผลการทดลองพบว่าน้ำหมึกผงที่เตรียมการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -50 องศาเซลเซียส มีคุณภาพที่ดีที่สุด เนื่องจากมีปริมาณความชื้นต่ำที่สุด และมีค่าการละลาย ปริมาณโปรตีน และสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระที่สูงกว่า การทำแห้งแบบตู้อบลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส การทำแห้งด้วยตู้อบในสภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ความดัน 26 เซนติเมตรปรอท ($p<0.05$) จึงนำมาศึกษาในขั้นตอนต่อไป ตอนที่ 2 การพัฒนาผลิตภัณฑ์พาสต้าจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึก โดยเตรียมพาสต้าจากแป้งข้าวโดยแปรปริมาณน้ำหมึกผงเป็นร้อยละ 0, 1, 3, 5 และ 7 โดยน้ำหนักแป้ง วิเคราะห์คุณภาพหลังการต้ม คุณลักษณะทางกายภาพ และคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส พบว่าพาสต้าที่เติมน้ำหมึกผงในปริมาณร้อยละ 0 1 และ 3 ได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด ซึ่งไม่แตกต่างกัน ($p\geq0.05$) แต่พบว่าพาสต้าที่มีการเสริมน้ำหมึกผงร้อยละ 3 มีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระมากกว่า ดังนั้นจึงคัดเลือกไปศึกษาในขั้นตอนต่อไป จากนั้นหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม (ร้อยละ 20, 25, 30, 35 และ 40 ของน้ำหนักแป้ง) พบว่าพาสต้าที่มีปริมาณน้ำในส่วนผสมร้อยละ 20, 25 และ 30 มีคุณลักษณะด้านการหุงต้ม ค่าความต้านทานการดึงขาด และคะแนนความชอบโดยรวมสูงสุดไม่แตกต่างกัน ($p\geq0.05$) แต่พบว่าพาสต้าที่มีปริมาณน้ำในส่วนผสมร้อยละ 30 มีลักษณะพื้นผิวภายนอกและโครงสร้างภายในที่เรียบเนียน ซึ่งน่าจะมีแนวโน้มที่จะแตกหักได้ยากกว่า ดังนั้นจึงเลือกไปศึกษาในขั้นตอนต่อไป จากนั้นพัฒนากระบวนการผลิตที่เหมาะสม โดยศึกษาอุณหภูมิในการเอกซ์ทรูชันที่เหมาะสมโดยแปรอุณหภูมิของบาร์เรล (65, 80 และ 95 องศาเซลเซียส) จากผลการทดลองพบว่า พาสต้าที่ผลิตด้วยอุณหภูมิของบาร์เรล 80 องศาเซลเซียส ลักษณะของเส้นก่อนและหลังการคืนรูปที่สมบูรณ์กว่า จากนั้นนำพาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงร้อยละ 3 ที่พัฒนาได้ไปวิเคราะห์คุณภาพเทียบกับพาสต้าทางการค้าซึ่งทำจากแป้งสาลีและผสมน้ำหมึกร้อยละ 5 พบว่า พาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกมีใช้เวลาการต้มสุกนานกว่า ปริมาณของแข็งที่สูญเสียจากการต้มสูงกว่า ค่าการต้านทานการดึงขาดต่ำกว่า และมีปริมาณโปรตีนและสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระที่ต่ำกว่า พาสต้าทางการค้า แต่อย่างไรก็ตามพบว่าพาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกมีคะแนนการยอมรับโดยรวมไม่แตกต่างกับพาสต้าทางการค้า ($p\geq0.05$) ตอนที่ 3 การพัฒนาขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึก โดยการศึกษาปริมาณน้ำหมึกที่เหมาะสมที่ใช้เติมในขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้า (ร้อยละ 0, 2.5, 5.0, 7.5 และ 10.0 ของน้ำหนักแป้ง) แล้วนำไปผลิตเป็นขนมขบเคี้ยวแบบพองกรอบด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชัน พบว่า ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5 ได้รับคะแนน

ความชอบโดยรวมสูงที่สุด ($p<0.05$) มีสัดส่วนการพองตัวและมีเนื้อสัมผัสที่เหมาะสม จึงคัดเลือกไปศึกษาในตอนต่อไป จากนั้นพัฒนากระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึก โดยเตรียมขนมขบเคี้ยวด้วยการแปรความชื้นของส่วนผสม 3 ระดับ (ร้อยละ 15, 20 และ 25) และอุณหภูมิบาร์เรล 3 ระดับ (90, 100 และ 110 องศาเซลเซียส) พบว่า ปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิของบาร์เรลและความชื้นของส่วนผสม มีผลต่อเส้นผ่าศูนย์กลาง สัดส่วนการพองตัว การดูดซับน้ำ การละลายน้ำ ค่าความแข็ง และค่าความแตกเปราะของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อพิจารณาคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวมร่วมกับคุณภาพทางกายภาพ และเนื้อสัมผัส พบว่า สภาวะของกระบวนการเอกซ์ทรูชันที่ความชื้นของส่วนผสมร้อยละ 20 และอุณหภูมิของบาร์เรล 100 องศาเซลเซียส เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงร้อยละ 5 จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระพบว่า ขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงที่พัฒนาได้ มีปริมาณโปรตีน และสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ที่สูงกว่าขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าที่ไม่เสริมน้ำหมึกผง ($p<0.05$)

ABSTRACT

This research aim was to develop pasta and expanded snack from rice flour fortified with cephalopod ink as functional foods. In part 1, three drying methods for cephalopod ink powder preparation was studied. The results showed that ink powder from freeze drying at -50 °C gave the optimum properties of ink powder due to its lowest moisture content and highest solubility, protein content and antioxidant activities compared with ink powder from tray drying at 70 °C and vacuum drying (26 cmHg) at 70 °C ($p<0.05$). Then it was selected for the further study. In part 2, development of pasta from rice flour fortified with cephalopod ink powder was studied. Rice pasta with 5 levels of cephalopod ink powder of 0, 1, 3, 5 and 7 % flour basis were prepared. Cooking properties, physical properties and sensory score of pasta were evaluated. The results showed that pasta from rice flour with 0, 1 and 3% cephalopod ink powder had similarly the highest overall liking score ($p\geq0.05$). However, The 3% cephalopod ink powder fortified pasta gave higher antioxidant activity than the others. Then it was selected for the further study. The optimum moisture content of flour blend levels (20, 25, 30, 35 and 40 % flour basis) was studied. The result showed that rice pasta from 20, 25 and 30 % moisture content of flour blend gave the similar highest overall liking score, cooking and textural properties ($p\geq0.05$). However, the 30 % moisture content of flour blend showed smoother outer and inner surface of pasta strains which might resist to broken than the others did. Then it was selected for the further study. The optimum temperature (65, 80 and 95°C) of pasta extrusion was studied. The result showed that temperature of extrusion of 80°C gave the best quality of uncooked and cooked rice pasta fortified with cephalopod ink powder than the others did. Cooking properties and chemical properties of rice pasta fortified with 3% cephalopod ink powder and commercial black pasta made from wheat flour mixed with 5% squid ink were determined. The result showed that rice pasta fortified with 3% cephalopod ink powder had longer cooking time, higher cooking loss, lower tensile strength, protein content and antioxidant activities than those of the commercial pasta ($p<0.05$). However, rice pasta fortified with 3% cephalopod ink powder had similarly score of overall liking as the commercial pasta ($p\geq0.05$). In part 3, development of

expanded snack from rice flour fortified with cephalopod ink powder was studied. Expanded snack from 5 levels of cephalopod ink powder (0, 2.5, 5.0, 7.5 and 10.0 % flour basis) was prepared. The expanded snack with 5% fortified cephalopod ink powder had the highest overall score of liking and presented the optimum expansion and texture. Then it was selected for the further study. The optimum raw material mixer moisture content and barrel temperature was evaluated. Expanded snack was prepared with 3 levels of raw material mixer moisture content (15, 20 and 25 %) and 3 levels of barrel temperature (90, 100 and 110°C). Interaction between raw material mixer moisture content and barrel temperature showed significantly affect to diameter, expansion ratio, water absorption, solubility, hardness and fracturability of snack ($p<0.05$). The 20 % of raw material mixer moisture content and 100°C of barrel temperature was the optimum condition for production of expanded snack from rice flour fortified with 5% cephalopod ink powder produced because it gave the highest overall liking score snack with high expansion and good texture. The expanded snack from rice flour fortified with 5% cephalopod ink powder gave higher protein content and antioxidant activities than expanded snack from rice flour without cephalopod ink powder fortification ($p<0.05$).

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ค

สารบัญ ..... จ

สารบัญตาราง ..... ช

สารบัญภาพ ..... ญ

บทที่

1 บทนำ 1

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย 1

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย 2

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย 2

1.4 ทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย 3

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

1.6 ตรวจเอกสาร 4

2 วิธีดำเนินการวิจัย 20

2.1 การศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพ และสมบัติเชิงหน้าที่ของน้ำหมึกผงที่เตรียมได้ 20

2.2 การพัฒนาผลิตภัณฑ์พาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึก 21

2.3 การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผง 24

3 ผลการวิจัยและวิจารณ์ 27

3.1 ผลการศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพ และสมบัติเชิงหน้าที่ของน้ำหมึกผงที่เตรียมได้ 27

3.2 ผลการพัฒนาผลิตภัณฑ์พาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึก 32

3.3 ผลการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผง 58

4 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 81

5 ผลผลิต 83

สารบัญ (ต่อ)

รายงานการเงิน 84
บรรณานุกรม 85
ภาคผนวก 92
ภาคผนวก ก การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี 92
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ 101
ภาคผนวก ค แบบประเมินผลที่ใช้ในการทดสอบทางประสาทสัมผัส 110
ภาคผนวก ง ภาพประกอบการวิจัย 112
ประวัตินักวิจัยและคณะ 115

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

3-1 องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระของน้ำหมึกผงที่ทำแห้งแตกต่างกัน 3 วิธี 29

3-2 สมบัติทางกายภาพของน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่ผ่านทำแห้งทั้ง 3 วิธี 31

3-3 คุณลักษณะด้านการหุงต้มของผลิตภัณฑ์พาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงในปริมาณร้อยละ 0, 1, 3, 5 และ 7 34

3-4 ค่าสีของผลิตภัณฑ์พาสต้าอบแห้งจากแป้งข้าวเจ้าที่เสริมน้ำหมึกผงในปริมาณร้อยละ 0, 1, 3, 5 และ 7 35

3-5 ค่าสีของผลิตภัณฑ์พาสต้าหลังต้มสุกจากแป้งข้าวเจ้าที่เสริมน้ำหมึกผงในปริมาณร้อยละ 0, 1 ,3, 5 และ 7 36

3-6 ลักษณะเนื้อสัมผัสของพาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงที่ปริมาณร้อยละ 0, 1, 3, 5 และ 7 37

3-7 ผลคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์พาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าที่เสริมน้ำหมึกผงในปริมาณร้อยละ 0, 1, 3, 5 และ 7 39

3-8 คุณลักษณะด้านการหุงต้มของผลิตภัณฑ์พาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงในปริมาณร้อยละ 3 ที่มีปริมาณน้ำในส่วนผสม 42

3-9 ค่าสีของผลิตภัณฑ์พาสต้าอบแห้งจากแป้งข้าวเจ้าที่เสริมน้ำหมึกผงในปริมาณร้อยละ 3 ที่มีปริมาณน้ำในส่วนผสมร้อยละ 20, 25, 30, 35 และ 40 42

3-10 ค่าสีของผลิตภัณฑ์พาสต้าหลังต้มสุกจากแป้งข้าวเจ้าที่เสริมน้ำหมึกผงในปริมาณร้อยละ 3 ที่มีปริมาณน้ำในส่วนผสมร้อยละ 20, 25, 30, 35 และ 40 43

3-11 ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์พาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าที่เสริมน้ำหมึกผงในปริมาณร้อยละ 3 ที่มีปริมาณน้ำในส่วนผสมร้อยละ 20 25 30 35 และ 40 44

3-12 ผลคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์พาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าที่เสริมน้ำหมึกผงปริมาณร้อยละ 3 มีปริมาณน้ำในส่วนผสมร้อยละ 20, 25, 30, 35 และ 40.. 48

3-13 คุณภาพของผลิตภัณฑ์พาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงและผลิตภัณฑ์พาสต้าทางการค้า 53

สารบัญตาราง (ต่อ)

3-14 ค่าสีของผลิตภัณฑ์พาสต้าอบแห้งจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกและพาสต้าทางการค้า .. 54
3-15 ค่าสีของผลิตภัณฑ์พาสต้าหลังต้มสุกจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกและพาสต้าทางการค้า 54
3-16 ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์พาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกและผลิตภัณฑ์พาสต้าทางการค้า 55
3-17 ผลคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของของผลิตภัณฑ์พาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกและผลิตภัณฑ์พาสต้าทางการค้า 56
3-18 องค์ประกอบทางเคมีผลิตภัณฑ์พาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกและผลิตภัณฑ์พาสต้าดีหมึกทางการค้า 57
3-19 เส้นผ่านศูนย์กลางและสัดส่วนการพองตัวของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงในปริมาณต่างๆ 59
3-20 ค่าการดูดซับน้ำและค่าการละลายน้ำของของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงในปริมาณต่างๆ 61
3-21 ค่าสี L* a* b* ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงที่ปริมาณต่าง ๆ 62
3-22 ค่าความแข็งและค่าความแตกเปราะของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงในปริมาณต่าง ๆ 63
3-23 ผลคะแนนการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวแป้งเจ้าเสริมน้ำหมึกผงในปริมาณต่าง ๆ 65
3-24 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมบัติทางกายภาพของขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 โดยแปรอุณหภูมิของบาร์เรลและความชื้นของส่วนผสม 68
3-25 ค่าเส้นผ่าศูนย์กลาง ค่าสัดส่วนการพองตัว ค่าการดูดซับน้ำ ค่าการละลาย ค่าความแข็งและค่าความแตกเปราะ ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 โดยแปรอุณหภูมิของบาร์เรลและความชื้นของส่วนผสมที่แตกต่างกัน..... 69

สารบัญตาราง (ต่อ)

3-26 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 โดยแปรอุณหภูมิของบาร์เรลและความชื้นของส่วนผสม 75

3-27 ผลคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 ที่สภาวะความชื้นและอุณหภูมิต่าง ๆ..... 76

3-28 องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระของขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 เปรียบเทียบกับขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้า..... 78

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1-1	เครื่องอบแห้งแบบถาด	6
1-2	ลักษณะเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ	7
1-3	เฟสไดอะแกรมของน้ำ แสดงการระเหิดของน้ำแข็ง	8
1-4	การถ่ายเทความร้อนและความชื้นระหว่างการอบแห้งแบบระเหิด (a) ความร้อนเคลื่อนที่ผ่านผิวร้อนหรือเครื่องทำความร้อนผ่านชั้นแห้ง (b) ความร้อนเคลื่อนที่ผ่านชั้นเยือกแข็ง (c) ความร้อนเกิดขึ้นในน้ำแข็งโดยคลื่นไมโครเวฟ กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (--) และปริมาณความชื้น (-) ตามแนว A-->B-->C ในแต่ละตัวอย่าง	9
1-5	ส่วนประกอบของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์	12
1-6	การเปลี่ยนแปลงของสตาร์ชในระหว่างกระบวนการเอกซ์ทรูชัน	18
3-1	ลักษณะของน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่ทำแห้งแบบตู้อบลมร้อนแบบถาด (Tray dryer) ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส 6 ชั่วโมง (ก) การทำแห้งด้วยตู้อบในสภาวะสุญญากาศ ข อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ความดัน 26 เซนติเมตรปรอท 6 ชั่วโมง (ข) และการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze dryer) ที่อุณหภูมิ -50±2 องศาเซลเซียส 6 ชั่วโมง (ค)	27
3-2	พาสต้าอบแห้งจากแป้งข้าวเจ้าที่เสริมน้ำหมึกผงร้อยละ 0, 1, 3, 5 และ 7	32
3-3	พาสต้าหลังต้มสุกจากแป้งข้าวเจ้าที่เสริมน้ำหมึกผงร้อยละ 0, 1, 3, 5 และ 7	32
3-4	พาสต้าอบแห้งจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงปริมาณร้อยละ 3 ที่มีปริมาณน้ำในส่วนผสมร้อยละ 20 (ก) ร้อยละ 25 (ข) ร้อยละ 30 (ค) ร้อยละ 35 (ง) และร้อยละ 40 (จ)	40
3-5	โครงสร้างจุลภาคในลักษณะตัดขวางของผลิตภัณฑ์พาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงในปริมาณร้อยละ 3 ที่มีปริมาณน้ำในส่วนผสมต่าง ๆ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ที่กำลังขยาย 15 เท่า	46

สารบัญภาพ (ต่อ)

3-6 โครงสร้างจุลภาคบริเวณพื้นผิวรอบนอกของผลิตภัณฑ์พาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงในปริมาณร้อยละ 3 ที่มีปริมาณน้ำในส่วนผสมต่าง ๆ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเลกตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ที่กำลังขยาย 50 เท่า 47

3-7 พาสต้าอบแห้งจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงที่ผลิตด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชันที่อุณหภูมิบาร์เรลชุดที่ 2 เท่ากับ 65, 80 และ 95 องศาเซลเซียส 50

3-8 พาสต้าหลังต้มสุกจากแป้งข้าวเจ้าที่เสริมน้ำหมึกผงที่ผลิตด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชันที่อุณหภูมิบาร์เรลชุดที่ 2 เท่ากับ 65, 80 และ 95 องศาเซลเซียส 50

3-9 พาสต้าอบแห้งจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผง (ก) และพาสต้าดีหมึกทางการค้า (ข) 51

3-10 พาสต้าหลังต้มสุกจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผง (ก) และพาสต้าดีหมึกทางการค้า (ข) 52

3-11 ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่ปริมาณร้อยละ 0.0, 2.5, 5.0, 7.5 และ 10 ของน้ำหนักแป้ง 58

3-12 ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 ที่ความชื้นของส่วนผสมและอุณหภูมิต่าง ๆ 67

3-13 โครงสร้างจุลภาคของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 ที่ความชื้นของส่วนผสมและอุณหภูมิต่าง ๆโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเลกตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ที่กำลังขยาย 15 เท่า 74

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ปัจจุบันผู้บริโภคทั่วโลกให้ความสนใจผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพในรูปแบบต่างๆ เช่น อาหารที่เป็นยา อาหารจากพืชสมุนไพร ตลอดจนใช้อาหารสำหรับโภชนบำบัดแทนการรักษาโรคโดยใช้สารเคมีตลาดอาหารเพื่อสุขภาพได้รับการตอบรับอย่างดีจากผู้บริโภคทั่วโลกทั้งในเอเชีย อเมริกาเหนือ ยุโรป ลาตินอเมริกา ออสเตรเลีย และนิวซีแลนด์ โดยในปี พ.ศ. 2553 มีมูลค่าสูงถึง 7,000-63,000 ล้านเหรียญสหรัฐอเมริกา (ประมาณ 224,000-2,016,000 ล้านบาท) และคาดว่าในปี พ.ศ. 2556 จะมีมูลค่าประมาณ 90,500 ล้านเหรียญสหรัฐอเมริกา (ประมาณ 2,896,000 ล้านบาท) โดยตลาดที่สำคัญ คือ สหรัฐอเมริกา รองลงมา คือ ญี่ปุ่น และยุโรป (Kaur & Das, 2011)

ข้าวเจ้าเป็นพืชเศรษฐกิจที่สามารถผลิตเพื่อใช้บริโภคภายในประเทศและมีปริมาณมากพอสำหรับการส่งออก ข้าวเจ้าเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตอาหารได้หลายชนิด เช่น พาสต้า ก๋วยเตี๋ยว และขนม ขบเคี้ยว นอกจากนี้ ผลิตภัณฑ์อาหารจากข้าวเจ้ายังจัดอยู่ในกลุ่มของผลิตภัณฑ์อาหารที่ปราศจากกลูเตน (gluten-free) ซึ่งในปัจจุบันตลาดผลิตภัณฑ์อาหารปราศจากกลูเตน (gluten-free foods) กำลังเติบโตอย่างรวดเร็วทั่วโลก โดยคาดว่าจะมีมูลค่าของยอดขายในตลาดโลกเพิ่มขึ้นเป็น 4,300 ล้านเหรียญสหรัฐอเมริกา (ประมาณ 137,600 ล้านบาท) ภายใน 5 ปีข้างหน้า (บงกช วรรธนะภูติ, 2555) เนื่องจากมีผู้บริโภคจำนวนมากที่เกิดภาวะ Celiac disease หรือมีอาการแพ้โปรตีนกลูเตนที่พบในข้าวสาลี ข้าวไรย์ ข้าวบาร์เลย์ และข้าวโอ๊ตโดยเฉพาะผู้บริโภคในประเทศแถบยุโรปและอเมริกา

น้ำหมึกเป็นผลพลอยได้จากการแปรรูปหมึกเพื่อการบริโภคและจากอุตสาหกรรมอาหารทะเลโดยมีการนำน้ำหมึกมาใช้ประโยชน์ในทางยาและในผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น มีการใช้เป็นยารักษาระดับฮอร์โมนในผู้หญิง ในประเทศจีนมีการนำมาใช้เป็นยารักษาโรคหัวใจ (heart pain) ในประเทศญี่ปุ่นมีการนำน้ำหมึกมาใช้ในการหมักเนื้อหมึกและช่วยยืดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ (Nair et al., 2011) ในประเทศแถบตะวันตกมีการนำมาทำพาสต้าหมึกดำซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผู้บริโภคคุ้นเคยเป็นอย่างดี โดยการเติมน้ำหมึก ในส่วนผสมแป้งข้าวสาลีเพื่อเป็นสารให้สีและเพิ่มกลิ่นรสให้แก่ผลิตภัณฑ์ พาสต้าน้ำหมึกประกอบด้วย รงควัตถุเมลานิน (ร้อยละ 90) และโปรตีน (ร้อยละ 5.8) นอกจากนี้น้ำหมึกยังมีสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (anti-oxidant) สารต้านเนื้องอก (anti-tumor) สารต้านมะเร็ง (anti-cancer) และสารต้านแบคทีเรีย (anti-bacteria) (Nair et al., 2011; Vate & Benjakul, 2013) แม้ว่าน้ำหมึกประกอบด้วยสารที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ อย่างไรก็ตามการใช้

ประโยชน์จากน้ำหมึกในผลิตภัณฑ์อาหารยังมีน้อยดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาผลของกระบวนเตรียมน้ำหมึกผงต่อสมบัติทางเคมีกายภาพ และสมบัติเชิงหน้าที่ของน้ำหมึกผงที่เตรียมได้ รวมทั้งศึกษาผลของการเติมน้ำหมึกผงต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารที่ทำจากแป้งข้าวเจ้าเป็นส่วนผสมหลักได้แก่ พาสต้าและขนมขบเคี้ยว

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1) เพื่อศึกษาผลของกระบวนเตรียมน้ำหมึกผงต่อองค์ประกอบทางเคมี และสมบัติเชิงหน้าที่ของน้ำหมึกผงที่เตรียมได้

2) เพื่อพัฒนาสูตรและกระบวนการผลิตพาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผง

3) เพื่อพัฒนาสูตรและกระบวนการผลิตขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผง

4) เพื่อตรวจสอบคุณภาพทางเคมี กายภาพ และลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์พาสต้าและขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผง

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

โครงการวิจัยนี้ศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพที่ทำจากแป้งข้าวเจ้าทางการค้าที่ผลิตได้ภายในประเทศ และพัฒนาให้เป็นอาหารเพื่อสุขภาพโดยการเติมน้ำหมึกในขั้นตอนการวิจัยประกอบด้วยการเตรียมน้ำหมึกในรูปผงแห้งและศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพและสมบัติเชิงหน้าที่ของหมึกผงที่เตรียมได้ การพัฒนาสูตรและการพัฒนากระบวนการผลิตพาสต้าและขนมขบเคี้ยวในการพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์พาสต้าจะศึกษาหาปริมาณน้ำหมึกที่เหมาะสมและปริมาณน้ำที่เหมาะสมที่สามารถเติมในผลิตภัณฑ์ส่วนการพัฒนากระบวนการผลิตจะศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตพาสต้าจากข้าวเจ้าโดยใช้เครื่องเอกซ์ทรูชัน โดยแปรอุณหภูมิในการให้ความร้อนของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ (cooking extruder) หลังจากนั้น นำผลิตภัณฑ์พาสต้าที่ได้มาวิเคราะห์คุณภาพในด้านลักษณะทางกายภาพ คุณค่าทางโภชนาการและการยอมรับทางประสาทสัมผัสในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเสริมน้ำหมึกผง ทำได้โดยศึกษาหาปริมาณน้ำหมึกผงที่เหมาะสมที่สามารถเติมลงในผลิตภัณฑ์ส่วนการพัฒนากระบวนการผลิตจะศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าโดยใช้เครื่องเอกซ์ทรูชัน โดยแปรความชื้นของส่วนผสมและอุณหภูมิของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ (cooking extruder) หลังจากนั้น นำผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่ได้มาวิเคราะห์คุณภาพในด้านลักษณะทางกายภาพ คุณค่าทางโภชนาการและการยอมรับทางประสาทสัมผัส

1.4 ทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

จากการที่ผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพได้รับการตอบรับอย่างดีจากผู้บริโภคและมีแนวโน้มที่จะขยายได้รวดเร็ว ประกอบกับตลาดผลิตภัณฑ์อาหารประเภทนี้มีมูลค่าการตลาดสูงมาก ประเทศไทยมีศักยภาพในการผลิตอาหารประเภทนี้ เนื่องจากมีแหล่งวัตถุดิบที่หลากหลายสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ โดยน้ำหมึกประกอบด้วยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพหลายชนิด ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการนำน้ำหมึกไปใช้เป็นส่วนผสมของอาหารชนิดต่าง ๆ การนำมาทำแห้งให้เป็นน้ำหมึกผงจึงเป็นวิธีที่ทำการศึกษาในการวิจัยนี้ โดยการทำแห้งน้ำหมึกด้วยวิธีการที่แตกต่างกันอาจส่งผลถึงองค์ประกอบทางเคมี และสมบัติเชิงหน้าที่ของน้ำหมึกผงที่ได้ นอกจากนั้นปริมาณน้ำหมึกที่ใช้และกระบวนการผลิต ผลิตภัณฑ์พาสต้าและขนมขบเคี้ยว ยังอาจส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ โครงการวิจัยนี้จึงมีสมมุติฐานดังนี้

1. กระบวนการทำแห้งแต่ละวิธีมีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติเชิงหน้าที่ของน้ำหมึกผง
2. ปริมาณน้ำหมึกและกระบวนการผลิตที่แตกต่างกันมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์พาสต้าจากแป้งข้าวเจ้า
3. ปริมาณน้ำหมึกและกระบวนการผลิตที่แตกต่างกันมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้า

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	หน่วยงานที่จะนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์
1) สร้างองค์ความรู้และนวัตกรรมใหม่ในการผลิตน้ำหมึกผง พาสต้าและขนมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพ โดยแนวทางและรูปแบบการเผยแพร่องค์ความรู้และเทคโนโลยีสามารถดำเนินการโดย -เผยแพร่ในวารสารทางวิชาการที่เกี่ยวข้อง -การเสนอผลงานวิจัยในการประชุมวิชาการ	- ประชาชนทั่วไปที่มีทางเลือกใหม่ในการบริโภคผลิตภัณฑ์ใหม่ - หน่วยงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยพื้นฐาน งานวิจัยประยุกต์ และงานวิจัยพัฒนา - ผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมอาหาร โดยเฉพาะอุตสาหกรรมผลิตอาหารเพื่อสุขภาพ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	หน่วยงานที่จะนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์
2) ประโยชน์ในการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับข้าวเจ้าซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจของไทย รวมทั้งสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับน้ำหมึก	- เกษตรกรและชุมชนท้องถิ่น - ผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมอาหาร โดยเฉพาะอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารทะเล อุตสาหกรรมการผลิตพาสต้า อาหารขบเคี้ยว และอาหารเพื่อสุขภาพ
3) ประโยชน์ด้านการพัฒนาการเรียนการสอนด้านวิทยาศาสตร์การอาหาร ผ่านการบูรณาการร่วมกับการทำงานวิจัย	- มหาวิทยาลัยบูรพา - มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

1.6 การตรวจเอกสาร

ผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ

ผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ หรือฟังก์ชันนัลฟูดส์ (functional foods) หมายถึง อาหารเพื่อสุขภาพที่มีลักษณะทางกายภาพเหมือนอาหารที่บริโภคเป็นประจำและสามารถบริโภคได้ตามปกติ เมื่อบริโภคแล้วให้ประโยชน์ต่อร่างกายโดยช่วยส่งเสริมสุขภาพให้ดีขึ้นหรือช่วยป้องกันการเกิดโรค นอกจากนี้ยังมีคำที่เกี่ยวข้องหรือใช้แทนฟังก์ชันนัลฟูดส์ ได้แก่ Bioactive compounds, Dietary supplements, Functional ingredients, Medical foods, Natural health products และ Nutraceutical (Kaur & Das, 2011)

หน้าที่อื่นๆ ของอาหารเพื่อสุขภาพที่นอกเหนือจากคุณค่าทางโภชนาการ ได้แก่ ปรับปรุงระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย ปรับปรุงระบบและสภาพการทำงานของร่างกาย ชะลอการเสื่อมโทรมของอวัยวะต่างๆ จากการสูงอายุ ป้องกันโรคต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นจากภาวะโภชนาการผิดปกติ และบำบัดหรืออาการของโรคที่เกิดจากความผิดปกติของร่างกาย โดยสารประกอบที่ทำให้เกิดหน้าที่ดังกล่าว เรียกว่า Physiological active components หรือ Functional ingredients ในประเทศญี่ปุ่นซึ่งมีพัฒนาการของผลิตภัณฑ์อาหารเหล่านี้มาก่อนประเทศอื่น ได้กำหนดลักษณะจำเพาะของอาหารเพื่อสุขภาพเหล่านี้ คือ ต้องมีสภาพทางกายภาพเป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่แท้จริง ไม่อยู่ในรูปของแคปซูล หรือเป็นผงเหมือนยา และเป็นอาหารที่ไม่ได้ดัดแปลงจากวัตถุดิบตามธรรมชาติ สามารถบริโภคได้เป็นประจำไม่มีข้อจำกัดเหมือนยา มีส่วนประกอบที่ให้ผลโดยตรงในการเสริมสร้างการทำงานของระบบต่างๆ ในร่างกายและป้องกันโรคต่างๆ ได้ (ไพโรจน์ หลวงพิทักษ์, 2552)

น้ำหมึก

หมึกกล้วย (squid) หรือที่นิยมเรียกว่าปลาหมึก เป็นสัตว์ทะเลที่อยู่ในกลุ่มสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง อยู่ในไฟลัมมอลลัสกา (Mollusca) หมึกจัดเป็นสัตว์น้ำเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทยและอีกหลายประเทศในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ น้ำหมึก (squid ink) เป็นของเหลวสีดำที่อยู่ภายในอวัยวะของหมึกที่เรียกว่า ถุงหมึก (ink sac) โดยน้ำหมึกเป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมอาหารที่ใช้หมึกเป็นวัตถุดิบ ซึ่งหากไม่มีการกำจัดอย่างถูกวิธี อาจก่อให้เกิดปัญหาด้านมลพิษได้ น้ำหมึกประกอบด้วยสารหลายชนิดและมีปริมาณที่แตกต่างกันไปตามสายพันธุ์ของหมึก ทั้งนี้องค์ประกอบหลัก ได้แก่ เมลานิน และสารเมือก นอกจากนั้น ยังประกอบไปด้วย เอนไซม์ tyrosinase, dopamine และ L-DOPA และประกอบด้วยกรดอะมิโนหลายชนิด เช่น taurine, aspartic acid, glutamic acid, alanine และ lysine อย่างไรก็ตาม มีรายงานว่าน้ำหมึกดังกล่าวเป็นแหล่งของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพหลายชนิด ทั้งนี้ได้มีการเอาน้ำหมึกมาใช้เป็นยารักษาโรคมานานแล้ว (McConnell, Longley, Koehn & Gullo, 1994) โดย Liu, Luo, Chen and Shang (2011) ได้รายงานถึงผลของน้ำหมึกในการกระตุ้นการเติบโต การเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ และการส่งเสริมความต้านทานโรคที่ในไก่เนื้อ และสาร peptidoglycan ที่สกัดจากน้ำหมึก มีสมบัติยับยั้งการเกิดเนื้องอกในหนู ทั้งนี้สารดังกล่าวยังสามารถทนความร้อนได้ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที และ Ramasamy and Murugan (2005) รายงานว่าน้ำหมึกจากหมึกสายพันธุ์ *Sepioteuthis lessoniana* และ *Sepia pharaonis* มีฤทธิ์ในการต้าน biofilm จากแบคทีเรีย โดยโปรตีนที่สกัดจากหมึกกระดอง (cuttlefish) *S. lessoniana* สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของ *Staphylococcus aureus* (Mochizuki, 1979) โดย Takai, Kawai, Inou and Shinano (1992) รายงานว่าเอนไซม์ Tyrosinase ในน้ำหมึกมีบทบาทสำคัญในการยับยั้งจุลินทรีย์ และมีรายงานว่าน้ำหมึกจากหมึกสายพันธุ์ *Sapia officinalis* (Lei et al., 2007) *Sapiella inermis* (Rejaganapathy, Thyagarajan & Edward, 2000) มีสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ทั้งนี้ Vate and Benjakul (2013) รายงานว่าน้ำหมึกที่สกัดเอาสารเมลานินออกแล้ว มีความคงตัวต่อความร้อน และมีสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ

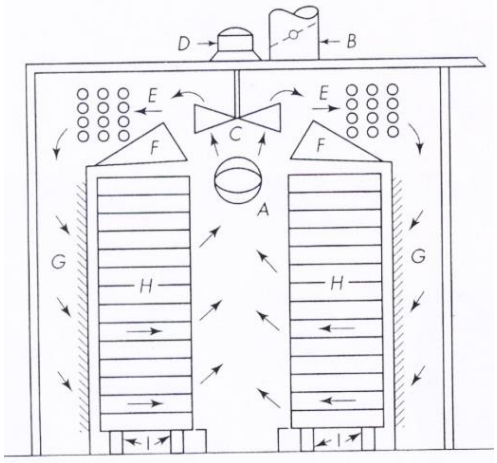
ในปัจจุบันการใช้น้ำหมึกยังจำกัดอยู่ที่การใช้เป็นหมึกเพื่อเขียน และการนำไปเป็นส่วนผสมในอาหาร เช่น พาสต้า ข้าว ซอส ผลิตภัณฑ์ขนมอบ เพื่อทำให้เกิดสีและกลิ่นรสเฉพาะ โดยรูปแบบการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารดังกล่าว จะเป็นลักษณะน้ำหมึกสด น้ำหมึกเข้มข้น หรือแบบเป็นผง (squid ink powder) อย่างไรก็ตาม ยังไม่พบงานวิจัยที่เกี่ยวกับการเตรียมน้ำหมึกผงที่ใช้สำหรับผสมในการอาหาร รวมทั้งสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และคุณค่าทางโภชนาการของน้ำหมึกผงที่ได้

กระบวนการทำแห้ง (วิไล รังสาดทอง, 2546)

การทำแห้งหรือการกำจัดน้ำ (drying) หมายถึง การใช้ความร้อนภายใต้สภาวะควบคุมเพื่อกำจัดน้ำส่วนใหญ่ที่อยู่ในอาหารโดยการระเหยน้ำ วัตถุประสงค์ของการกำจัดน้ำคือการยืดอายุการเก็บรักษาอาหารโดยการลดค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (a_w) ซึ่งมีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์และการทำงานของเอนไซม์ นอกจากนั้น การลดน้ำหนักและปริมาณของอาหารยังช่วยลดค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาและการขนส่ง เพิ่มความหลากหลายและความสะดวกให้แก่ผู้บริโภค อย่างไรก็ตามการทำแห้งทำให้เกิดการสูญเสียทั้งคุณภาพการบริโภคและคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร วัตถุประสงค์หลักของการออกแบบเครื่องทำแห้งคือ การหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทำอาหารแต่ละชนิดให้แห้งโดยมีการสูญเสียคุณภาพการบริโภคและคุณค่าทางโภชนาการน้อยที่สุด

<u>การอบแห้งแบบถาด (tray dryer)</u>

เครื่องอบประกอบด้วยกลองโลหะข่างในมีชั้นวางสองชั้น ซึ่งรองรับตะแกรง H ตะแกรงเปนที่วางถาดอบขนาดตาง ๆ ซึ่งใชบรรจุวัสดุที่จะอบอากาศร่อนถูกบังคับให้หมุนวนด่วยความเร็วประมาณ 2 ถึง 5 เมตรตอวินาที ระหวางถาดดวยพัดลมแผนครีบ G ชวยบังคับลมใหพัดขนานกับผิวอาหารในถาด อากาศชื้นบางสวนถูกปลอยออกที่ปลอง B และอากาศ make up เข้าทางจุด A ชั้นวางตั้งอยูบนลูกลอซึ่งทำใหสามารถเข็นออกจากตูอบไดเมื่อจบการอบ



ภาพที่ 1-1 เครื่องอบแห้งแบบถาด
ที่มา : การอบแห้ง (ม.ป.ป)

<u>การอบแห้งแบบสุญญากาศ (vacuum dryer)</u>

เครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศเป็นเครื่องอบแห้งแบบทีละครั้ง (batch type) วัตถุดิบที่ต้องการอบจะวางบนถาดที่อยู่ในตู้อบที่เป็นทรงกระบอกนอน เนื่องจากรูปทรงกลมจะสามารถทนแรงดันสุญญากาศได้ดีกว่าทรงอื่นที่ความหนาเท่ากัน โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการอบจะต่ำกว่าตู้อบ

ธรรมดา เพราะมีปั้มสุญญากาศเป็นตัวสร้างให้ความดันติดลบ น้ำที่อยู่ในวัตถุดิบจะสามารถระเหยออกได้ตั้งแต่อุณหภูมิ 40-80 องศาเซลเซียส ขึ้นอยู่กับความดันสุญญากาศที่ใช้

เครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศเป็นเครื่องอบแห้งที่ใช้หลักการของการถ่ายเทมวลของน้ำออกจากวัตถุดิบโดยความแตกต่างของความดันระหว่างภายในและภายนอกวัตถุดิบ โดยมีหลักการคือ ภายในห้องอบแห้งจะมีการลดความดันให้ต่ำลงกว่าความดันภายในของวัตถุดิบส่งผลทำให้ปริมาณน้ำในวัตถุดิบเคลื่อนที่ออกมาได้อย่างรวดเร็ว แม้ว่าจะมีการใช้อุณหภูมิอบแห้งต่ำๆ สารอาหารรวมทั้งกลิ่นรสของวัตถุดิบยังคงถูกเก็บรักษาไว้ได้ (ไพบูลย์ ธรรมรัตนวาสิก, 2532)

ภาพที่ 1-2 ลักษณะเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ

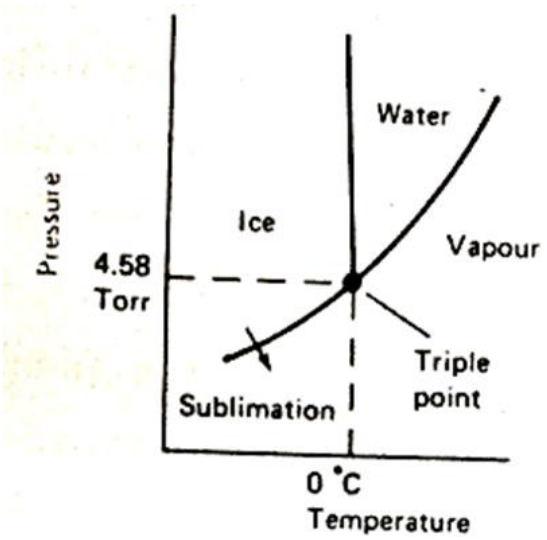
ฤทธิไกร งามชุ่ม (2547) กล่าวว่า หลักการอบแห้งแบบสุญญากาศ คือเมื่ออากาศที่อยู่ในห้องอบแห้งนั้นอยู่ในสภาวะสุญญากาศทำให้อากาศนั้นมีความดันของไอน้ำต่ำและความเข้มข้นของความชื้นในอากาศต่ำเมื่อมีวัสดุอยู่ในห้องอบแห้งสุญญากาศจะทำให้เกิดการถ่ายเทมวลเกิดขึ้นโดยไอน้ำที่ผิวของวัสดุจะแพร่สู่อากาศเนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้นของความชื้น (vapor diffusion) และความดันไอ (partial vapor pressure) และของเหลวที่อยู่ในวัสดุจะเคลื่อนที่ออกมายังผิวด้วยแรง capillary flow ซึ่งเป็นผลมาจากแรงตึงผิว (surface force) โดยอากาศที่อยู่ในห้องอบแห้งอาจจะไม่ต้องจำเป็นต้องให้ความร้อนมากเท่ากับการอบแห้งลมร้อนเนื่องจากของเหลวที่อยู่ในวัสดุเมื่ออยู่ในสภาวะความดันสุญญากาศแล้วนั้นอาจจะมีการเดือดเกิดขึ้นในเนื้อวัสดุทำให้เหมือนเป็น

การเร่งอัตราการถ่ายเทมวลสารโดยน้ำภายในวัสดุจะเคลื่อนที่มายังผิววัสดุในรูปของเหลวหรือไอน้ำ แล้วระเหยอย่างรวดเร็วซึ่งถ้าของเหลวที่อยู่ภายใต้สภาวะความดันสุญญากาศต่ำมากๆแล้วนั้นอาจจะทำให้ผิวของวัสดุที่อบแห้งมีความเป็นรูพรุนสูงเนื่องจากมีการเดือดอย่างรุนแรงในเนื้อวัสดุ

การอบแห้งแบบระเหิด (freeze drying)

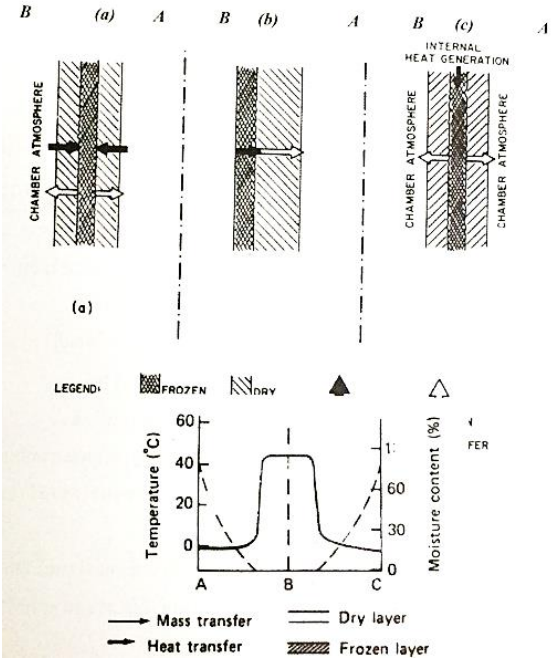
ความร้อนที่ใช้ในการทำแห้งจะช่วยกำจัดน้ำและเป็นการถนอมรักษาอาหารโดยการลดค่า a_w อย่างไรก็ตามความร้อนดังกล่าวเป็นต้นเหตุทำให้เกิดการสูญเสียคุณภาพทางประสาทสัมผัสหรือคุณค่าทางโภชนาการ กรรมวิธีการอบแห้งแบบระเหิดจะให้ผลในการเก็บรักษาอาหารคล้ายคลึงกันคือการลดค่า a_w โดยไม่ต้องให้ความร้อนแก่อาหาร ดังนั้นอาหารที่ได้จึงมีคุณภาพทางประสาทสัมผัสและคุณค่าทางโภชนาการดีกว่าอาหารแห้งทั่วไป

ความสัมพันธ์ระหว่างของแข็ง ของเหลวและก๊าซของน้ำเกี่ยวข้องกับกระบวนการแปรรูปอาหารหลายชนิด เช่น การทำให้เข้มข้น การอบแห้ง การแช่เยือกแข็ง การอบแห้งแบบระเหิด สามารถอธิบายความสัมพันธ์นี้ได้โดยใช้แผนภาพวัฏภาคหรือเฟสไดอะแกรม (phase diagram) ของน้ำดังในภาพที่ 1-3 แผนภาพดังกล่าวแสดงให้เห็นความเป็นเนื้อเดียวกันและความแตกต่างทางกายภาพของระบบที่สามารถแยกระบบออกจากอีกระบบหนึ่งโดยเส้นแบ่งของทั้งสองสถานะของน้ำบริสุทธิ์ แผนภาพดังกล่าวแสดงความดันและอุณหภูมิของวัฏภาคของน้ำ เส้นแบ่งแต่ละเส้นแสดงอุณหภูมิและความดันที่ทำให้เกิดสถานะสมดุล จุดทริปเปิล (triple point) เป็นจุดที่ทุกเส้นมาตัดกันเป็นจุดที่แสดงว่าทั้งสามสถานะอยู่ในภาวะสมดุล



ภาพที่ 1-3 เฟสไดอะแกรมของน้ำ แสดงการระเหิดของน้ำแข็ง
ที่มา: วิไล รังสาดทอง (2546)

ขั้นตอนแรกของการอบแห้งแบบระเหิดคือการแช่เยือกแข็งอาหารในเครื่องแช่เยือกแข็งแบบดั้งเดิม ชนิดของเครื่องมือขึ้นอยู่กับลักษณะของอาหาร อาหารชิ้นเล็กๆ จะถูกแช่เยือกแข็งอย่างรวดเร็วเพื่อให้เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กและเพื่อลดความเสียหายที่จะเกิดกับเซลล์ของอาหาร มีการใช้การแช่เยือกแข็งแบบช้ากับอาหารเหลวเพื่อให้เกิดโครงตาข่ายของผลึกน้ำแข็งเพื่อเป็นช่องให้ไอน้ำเคลื่อนที่ได้



ภาพที่ 1-4 การถ่ายเทความร้อนและความชื้นระหว่างการอบแห้งแบบระเหิด (a) ความร้อนเคลื่อนที่ผ่านผิวร้อนหรือเครื่องทำความร้อนผ่านชั้นแห้ง (b) ความร้อนเคลื่อนที่ผ่านชั้นเยือกแข็ง (c) ความร้อนเกิดขึ้นในน้ำแข็งโดยคลื่นไมโครเวฟ กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (--) และปริมาณความชื้น (-) ตามแนว A-->B-->C ในแต่ละตัวอย่าง

ที่มา: วิไล รังสาดทอง, (2546)

ถ้าความดันไอของอาหารต่ำกว่า 4.58 ทอร์ (610.5 ปาสคาล) และน้ำเกิดการเยือกแข็ง เมื่ออาหารได้รับความร้อนน้ำแข็งจะระเหิดไปเป็นไอน้ำทันทีโดยไม่ผ่านการละลาย ไอน้ำจะถูกกำจัดออกจากอาหารอย่างต่อเนื่องด้วยการรักษาความดันในตู้ให้ต่ำกว่าความดันไอน้ำที่ผิวของน้ำแข็ง ไอน้ำจะถูกกำจัดออกไปด้วยปั๊มสุญญากาศและกลั่นตัวบนขดลวดทำความเย็น เมื่อกระบวนการทำแห้งดำเนินต่อไป ผิวหน้าของการระเหิดจะเคลื่อนที่เข้าไปในอาหาร (ภาพที่ 1-4) ความร้อนแฝงของการระเหิดจะเคลื่อนที่ผ่านอาหารไปยังผิวหน้าของการระเหิดหรือเกิดขึ้นในอาหารถ้าใช้ไมโครเวฟ ไอน้ำจะเคลื่อนที่และถูกกำจัดออกไปจากอาหารโดยผ่านช่องน้ำแข็งที่ระเหิดไป การทำแห้งอาหารจะ

เกิดขึ้นใน 2 ขั้นตอน คือ ขั้นแรกโดยการระเหิดจนเหลือความชื้นประมาณร้อยละ 15 (น้ำหนักเปียก) และขั้นตอนที่ 2 คือการทำแห้งโดยการกำจัดน้ำที่ยังเป็นของเหลวจนมีความชื้นประมาณร้อยละ 2 (น้ำหนักเปียก) การกำจัดน้ำเกิดขึ้นโดยการเพิ่มอุณหภูมิในเครื่องทำแห้งจนมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้องโดยยังรักษาความดันต่ำอยู่

สารต้านออกซิเดชัน (antioxidant)

สารต้านออกซิเดชัน (antioxidant) คือสารที่ทำหน้าที่ยับยั้งหรือต่อต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือ สารที่สามารถขจัดอนุมูลอิสระออกจากร่างกาย ร่างกายมีระบบต้านออกซิเดชัน แบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ ประเภทแรกป้องกันการเกิดสารอนุมูลอิสระ ได้แก่ เอนไซม์ superoxide dismutase,glutathione peroxidase, catalase, peroxidase, cytochrome C peroxidase ทองแดง สังกะสี ซีเลเนียมโปรตีนซึ่งมีทองแดงอยู่ในโมเลกุล (ceruloplasmin) ส่วนอีกประเภทหนึ่ง คือ สารต้านออกซิเดชัน ในกลุ่มที่ทำลายปฏิกิริยาลูกโซ่นี้ ได้แก่ วิตามินอี เบต้า-แคโรทีน วิตามินซี ubiquinone, uric acid, bilirubin,albumin, sulfhydryl groups ในกรดอะมิโน cysteine ซึ่งมีอยู่ในโปรตีน เช่น เนื้อสัตว์ นอกจากวิธีนี้ยังมีสารประกอบ ฟีโนลิก (phenolic compounds) และสารกลุ่ม flavanoids ที่เป็นสารต้านออกซิเดชันที่น่าสนใจอีกด้วย (บุหรัน พันธุ์สวรรค์. 2556)

สารต้านออกซิเดชัน สามารถแบ่งตามกลไกการยับยั้งได้เป็น 3 ชนิด ดังนี้ (Strain and Benzie, 1999)

1. Preventive antioxidant ป้องกันการเกิดอนุมูลอิสระ
2. Scavenging antioxidant ทำลายหรือยับยั้งอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้น
3. Chain breaking antioxidant ทำให้ลูกโซ่ของการเกิดอนุมูลอิสระสิ้นสุดลง

กระบวนการเอกซ์ทรูชัน (extrusion process) (รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, 2551)

เอกซ์ทรูชันเป็นกระบวนการที่รวมเอาหน่วยปฏิบัติการหลายหน่วยเข้าด้วยกัน ได้แก่ การผสม การทำให้สุก (cooking) การนวด การเฉือน (shearing) การขึ้นรูปและการทำให้เกิดรูปร่าง เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์สำหรับอาหารจะใช้สำหรับผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวหรือผลิตภัณฑ์ธัญชาติ ไม่ว่าจะเป็นการทำให้วัตถุดิบทั้งหมดสุกหรือเพียงแต่ทำให้เกิดรูปร่าง ในช่วงแรกที่มีการพัฒนาสกรูเอกซ์ทรูเดอร์ใช้ในการอัดโด (dough) ของมะกะโรนีที่เหนียวให้เกิดรูปร่างต่างๆ ซึ่งสามารถใช้แทนระบบการผลิตเดิมที่ยุ่งยาก ซึ่งใช้วิธีการม้วน ทำให้เป็นแผ่นและการตัด

เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์นิยมใช้ในการแปรรูปอาหารเนื่องจากมีข้อดีดังต่อไปนี้

- ต้นทุนลดลง เนื่องจากต้องการแรงงาน และพื้นที่ในการแปรรูปต่อหน่วยการผลิตน้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับระบบการทำให้สุกหรือทำให้เกิดรูปร่างชนิดอื่น เช่น ในการผลิตอาหารธัญ

ชาติ (cereal breakfast) ด้วยวิธีดั้งเดิม เทียบกับกระบวนการเอกซ์ทรูชันพบว่าสามารถประหยัดวัตถุดิบ (ร้อยละ 19) พลังงาน (ร้อยละ 100) แรงงาน (ร้อยละ 14) และการลงทุน (ร้อยละ 44) และเนื่องจากการทำให้สุกของกระบวนการเอกซ์ทรูชันกระทำที่ความชื้นต่ำ (ความชื้นของวัตถุดิบที่ป้อนเข้าสู่เครื่องเอก์ทรูเดอร์ต่ำ) จึงต้องการพลังงานในการอบแห้งน้อยลง

- สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเฉพาะได้หลายอย่าง ซึ่งการผลิตให้ได้รูปร่าง ลักษณะเนื้อสัมผัส สี และลักษณะปรากฏต่างๆกัน กระทำได้โดยการเปลี่ยนส่วนผสมที่เป็นส่วนผสมรองและเปลี่ยนสภาวะการเดินเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ กระบวนการเอกซ์ทรูชันจึงมีความยืดหยุ่นสูง สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ใหม่ๆตามความต้องการของผู้บริโภคโดยมีส่วนผสมหลักเป็นพวกโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนใหญ่

- อัตราการผลิตสูงและเป็นการผลิตระบบอัตโนมัติ เช่น อัตราการผลิตขนมขบเคี้ยวสูงถึง 315 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ของธัญชาติความหนาแน่นต่ำ 1200 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และของอาหารสัตว์ที่พองและแห้ง 9000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

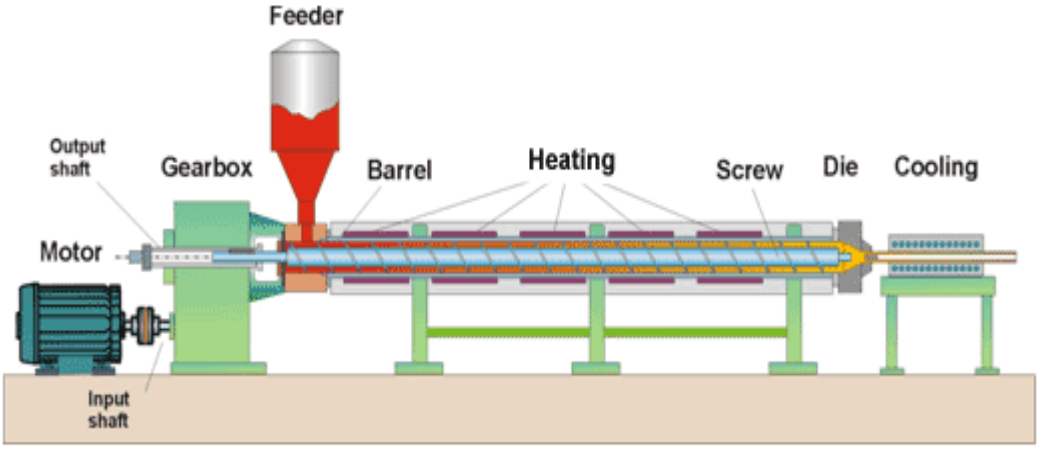
- มีการสูญเสียของแข็งน้อยมาก ซึ่งจะลด BOD ของน้ำทิ้งจากโรงงานที่ทำการแปรรูป

- สามารถควบคุมสภาวะทางด้านความร้อน/ทางกล เพื่อเปลี่ยนส่วนผสมของอาหารต่างๆในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ

เนื่องจากกระบวนการเอกซ์ทรูชัน เป็นกระบวนการทำให้เกิดรูปร่างโดยการบังคับสารที่อ่อนตัวหรือหลอมเหลวผ่านรูหรือได (die) ด้วยความดัน เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ที่ใช้ในอาหารจึงเป็นเครื่องมือสำหรับการทำให้เกิดกระบวนการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและรูปร่างของอาหาร ปัจจัยหลักที่มีผลต่อลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเอกซ์ทรูชันมากที่สุดคือ สภาวะการเดินเครื่องเอกทรูเดอร์และสมบัติทางรีโอโรจีของอาหาร พารามิเตอร์ที่สำคัญที่สุดของการเดินเครื่องคือ อุณหภูมิ ความดันเส้นผ่าศูนย์กลางของช่องเปิดของไดและอัตราการเฉือน (shear rate) โดยที่อัตราการเฉือนขึ้นกับ การออกแบบภายในของสกรู ความเร็วและรูปร่างของสกรู ส่วนคุณสมบัติของส่วนผสมที่ป้อนเข้าสู่เครื่องก้มีผลต่อลักษระเนื้อสัมผัส และสีของเอกซ์ทรูเดอร์ (extrudate : ผลิตภัณฑ์ที่ออกจากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์) ปัจจัยที่สำคัญที่สุดได้แก่ ความชื้น ขนาดของสาร และองค์ประกอบทางเคมีโดยเฉพาะปริมาณและชนิดของแป้ง โปรตีน ไขมันและน้ำตาล ส่วนประกอบของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แสดงดังภาพที่ 1-5

<u>การทำงานของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ (extruder operation)</u>

ส่วนผสมที่เป็นวัตถุดิบหลักที่ใช้ในเครื่องคุ้กกิ้งเอกซ์ทรูเดอร์ ประกอบด้วยธัญชาติที่ผ่านการบด สตาร์ช และโปรตีนที่ได้จากพืช นอกจากนี้ยังมีส่วนผสมอื่นๆที่ป็นวัตถุดิบรอง ได้แก่ ไขมัน น้ำตาล เกลือ กรดหรือด่าง สารอิมัลซิไฟเออร์ สีและกลิ่นรส น้ำเติมเพื่อปรับให้ส่วนผสมมีความชื้นอยู่ในระดับร้อยละ 10-40



ภาพที่ 1-5 ส่วนประกอบของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์
ที่มา : รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต (2551)

พลังงานต่างๆที่ป้อนเข้าเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์นั้นทำให้อุณหภูมิของฟีดที่ป้อนเข้าสู่เครื่องเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วขณะที่เคลื่อนผ่านไปในเครื่อง ในบรรดาพลังงานต่างๆเหล่านี้ การเพิ่มพลังงานทางกลโดยการหมุนสกรูเป็นส่วนที่สำคัญที่สุดและคิดเป็นร้อยละ 50-100 ของพลังงานทั้งหมดที่มีโดยความร้อนที่ถ่ายเทจากผนังบาร์เรลที่ร้อนหรือเย็น หรือพลังงานที่เกิดจากการส่งไอน้ำเข้าไปและผสมโดยตรงกับอาหารภายในเครื่องเอกทรูเดอร์เป็นส่วนที่สำคัญน้อยกว่า

ในกระบวนการคุกกิ้งเอกซ์ทรูชัน อุณหภูมิของส่วนผสมอาหารหลังจากที่ถูกอัดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วไปเป็น 150-200 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่สูงที่สุดนี้จะคงอยู่น้อยกว่า 20 วินาที ไม่เช่นนั้นจะทำให้ไหม้และเกิดกลิ่นรสแปลกปลอมขึ้น ความดันในเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ที่สูงทำให้เกิดสภาวะแวดล้อมที่คล้ายกับหม้อต้มความดัน (pressure cooker) ซึ่งจะป้องกันการพุ่งกระจายของ ไอน้ำจนกว่าความดันจะถูกปล่อยออกมาเมื่อผลิตภัณฑ์ออกจากได เมื่อโดออกจากได ความดันถูกปลดปล่อยออกมา ทำให้เกิดการพองตัว (puffing) อย่างทันทีที่อุณหภูมิสูง การพองตัวนี้ส่วนใหญ่เกิดจากไอน้ำที่ออกจากน้ำในผลิตภัณฑ์ที่ถูกทำให้ร้อนขึ้น การสูญเสียความชื้น และ ความร้อนในผลิตภัณฑ์ร่วมกับการพองตัวทำให้อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ลดลงอย่างรวดเร็วจนมีอุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส เอกซ์ทรูเดอร์ที่ขยายตัวจะมีโครงสร้างของเซลล์เปิด

ซึ่งประกอบด้วยเซลที่แต่ละเซลถูกล้อมรอบด้วยเมมเบรนของแป้งหรือโปรตีน ขนาดของเซลเหล่านี้จะถูกควบคุมลักษณะเฉพาะที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ คือ ลักษณะเนื้อสัมผัสและความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์เอกซ์ทรูเดอร์เหล่านี้มักจะถูกตัดทีผิวหน้าด้วยใบมีดที่หมุน แล้วอบแห้งต่อในเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนให้มีความชื้น 2-12% ขึ้นกับชนิดของผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ต้องการอาจเคลือบด้วยสี กลิ่นรส น้ำมัน/หรือน้ำตาล

การควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป ส่วนใหญ่ขึ้นกับปริมาณความชื้นของส่วนผสมที่ป้อนเข้าสู่กระบวนการเอกซ์ทรูชัน อุณหภูมิที่จุดออกจากเครื่อง ระดับหรือปริมาณความเสียหายของส่วนผสมที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการไหล และลักษณะรูปร่างของโด

ประเภทของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์

1. ผลิตภัณฑ์กรอบพองสุกทันที (direct expanded products) เป็นผลิตภัณฑ์ที่พองตัวทันทีเมื่อออกจากหน้าแปลนของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ และไม่ต้องแปรรูปอื่นนอกจากการทำแห้ง

2. ผลิตภัณฑ์ที่ยังไม่พองสุกทันที (indirect expanded products) หรือเรียกว่าผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จรูป (half products หรือ intermediate products) คำจำกัดความของผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จรูป หมายถึง ผลิตภัณฑ์อาหารที่ได้จากการทำแป้งให้ชื้น ร้อน หนืดเหนียว จนกระทั่งกลายเป็นเจล (แป้งสุก) ได้อย่างสมบูรณ์แล้วอัดผ่านรูเปิดของหน้าแปลน หรือรีดให้เป็นแผ่นออกมาแล้วตัดเป็นชิ้นหรือแผ่นบาง ๆ จากนั้นนำไปอบไล่ความชื้น จนกระทั่งเหลือความชื้นประมาณร้อยละ 12 โดยน้ำหนัก หรือน้อยกว่าเพื่อให้เก็บไว้ได้นาน แต่เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จรูปดังนั้นจึงต้องมีขั้นตอนของกระบวนการผลิตเพิ่มเข้ามาอีกจึงจะรับประทานได้ ซึ่งขั้นตอนการผลิตที่เพิ่มเข้ามานี้เป็นตัวทำให้เกิดรูปร่างปรากฏขึ้นหรือเกิดลักษณะเนื้อสัมผัสที่เป็นจริงตามสภาพของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ ตามแบบชนิดของขั้นตอนหรือกระบวนการผลิตที่เพิ่มเข้ามาซึ่งอาจประกอบด้วยการทอดในน้ำมัน การอบด้วยความร้อนสูง หรือการต้มสุก

ผลของกระบวนการเอกซ์ทรูชันต่อคุณภาพของอาหารในด้านต่างๆ (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2543)

1. ลักษณะทางประสาทสัมผัส

การทำ extrusion cooking ในสภาวะ HTST มีผลกระทบเพียงเล็กน้อยต่อสี กลิ่น และรสชาติตามธรรมชาติของอาหาร อย่างไรก็ตามอาหารหลายชนิดจะมีการเติมสีสังเคราะห์ลงไป อาจเป็นสีผงที่ละลายน้ำหรือละลายในน้ำมัน อีมัลชัน หรือ lake สีของผลิตภัณฑ์อาหารที่ได้จะเปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากการขยายตัวของผลิตภัณฑ์ หรือได้รับความร้อนสูงเกินไป หรือทำปฏิกิริยากับโปรตีน น้ำตาลรีดิวซ์ หรือไอออนของโลหะ นอกจากนี้อาจมีปัญหาในเรื่องการเติมสารปรุงแต่งกลิ่นก่อนการทำ cold extrusion ซึ่งกลิ่นรสดังกล่าวจะระเหยไป เมื่อนำผลิตภัณฑ์ออกมาจากแม่พิมพ์ การใช้สารปรุงแต่งกลิ่นที่ห่อหุ้มอยู่ในแคปซูลเล็กๆ (microencapsulated flavours) จะช่วยแก้ปัญหาดังกล่าวได้ แต่มีราคาแพง ดังนั้นสารปรุงแต่งกลิ่นนิยมใช้กับผิวด้านนอกของผลิตภัณฑ์ มักอยู่ในรูปของอิมัลชันหรือของเหลวข้นหนืด (viscous slurries) เมื่อเติมลงไปแล้วอาจทำให้เกิดความเหนียวเหนอะที่ผิวนอกในผลิตภัณฑ์บางชนิดจึงต้องอบให้แห้งอีกครั้ง

2.คุณค่าทางโภชนาการ

การสูญเสียวิตามินในผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำ extrusion cooking จะมากหรือน้อยผันแปรตามชนิดของวัตถุดิบ ปริมาณความชื้น อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการแปรรูป อย่างไรก็ตาม โดยทั่วไปแล้วจะสูญเสียวิตามินเพียงเล็กน้อยในการทำ cold extrusion ส่วนสภาวะของ HTST ใน extrusion cooking และการทำให้ผลิตภัณฑ์เย็นลงอย่างรวดเร็วทันทีที่นำออกมาจากพิมพ์ จะทำให้วิตามินและกรดอะมิโนจำเป็นสูญเสียค่อนข้างน้อย ตัวอย่างเช่น ถ้าใช้อุณหภูมิในการ extruder 145 องศาเซลเซียส จะสูญเสียวิตามินบีหนึ่งเพียงร้อยละ 5 เท่านั้น ส่วนวิตามินบีสอง วิตามินบีหก และไนอะซีนหรือกรดโฟลิค ที่มีอยู่ในธัญพืชจะสูญเสียเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ส่วนการสูญเสียวิตามินซีและวิตามินเอจะสูงถึงร้อยละ 50 ขึ้นอยู่กับเวลาที่ใช้ในการแปรรูปเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น การสูญเสียกรดอะมิโนไลซีน ซีสตีน และเมไธโอนีนในผลิตภัณฑ์จากข้าว ผันแปรอยู่ในช่วงร้อยละ 50-90 ขึ้นอยู่กับสภาวะที่ใช้ในการแปรรูป สำหรับการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนในแป้งถั่วเหลือง (soy flour) จะขึ้นอยู่กับสูตรและกระบวนการแปรรูปการใช้อุณหภูมิสูงและมีน้ำตาลจะทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (maillard reaction) จะทำให้คุณภาพของโปรตีนลดลง การใช้อุณหภูมิต่ำและลดความเข้มข้นของน้ำตาลให้น้อยลงจะช่วยให้ความสามารถในการย่อย (digestibility) ของโปรตีนเพิ่มขึ้น เนื่องจากโปรตีนมีการเรียงตัวของโครงสร้างใหม่ส่วนการทำ extrusion cooking ในผลิตภัณฑ์จากถั่ว ความร้อนจะช่วยทำลายสารต้านโภชนาการและสารพิษในถั่วตามธรรมชาติ เช่น ทำลายสารต้านการทำงานของเอนไซม์ทริพซิน ทำให้คุณค่าทางโภชนาการของโปรตีนในถั่วเพิ่มขึ้น

พาสต้า

พาสต้า (pasta) เป็นผลิตภัณฑ์อาหารเส้นที่ทำจากแป้งและน้ำเป็นส่วนประกอบหลัก โดยทั่วไปพาสต้าหมายถึงผลิตภัณฑ์อาหารเส้นแบบตะวันตกซึ่งทำจากข้าวสาลีชนิดดูรัมและอัดผ่านหน้าแปลน (die) ออกมาให้มีรูปร่างแตกต่างกัน เช่น สปาเก็ตตี้ มักกะโรนี เป็นต้น นอกจากนี้ยังรวมถึงผลิตภัณฑ์พาสต้าแบบตะวันออก เช่น บะหมี่ (noodles) ก๋วยเตี๋ยว วุ้นเส้น เป็นต้น การจำแนกประเภทของพาสต้าอาจแตกต่างกันไปขึ้นกับชนิดของวัตถุดิบ สูตรผลิตภัณฑ์ กรรมวิธีการผลิต หรือรูปร่างของผลิตภัณฑ์

<u>กระบวนการผลิตพาสต้า</u> จำแนกตามชนิดของวัตถุดิบได้ดังนี้

1. วิธีการผลิตพาสต้าจากข้าวสาลี

วิธีการผลิตพาสต้าจากข้าวสาลีเป็นวิธีการผลิตแบบดั้งเดิม (conventional pasta process) โดยการผสมเซโมลินาข้าวสาลีหรือแป้งกับน้ำให้เป็นโด (dough) ที่มีความชื้นร้อยละ 30-34 นำโดที่ได้มาอัดให้มีรูปร่างต่างๆ ผ่านหน้าแปลนหรือช่องเปิดของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์เป็นเครื่องมือที่รวมหน่วยปฏิบัติการหลายหน่วยเข้าด้วยกัน โดยสามารถผสม นวด และอัดเส้น

ออกมาให้มีรูปร่างตามต้องการขึ้นกับหน้าแปลนที่ใช้ จากนั้น นำผลิตภัณฑ์มาทำให้แห้ง เพื่อให้พาสต้ามีความชื้นลดลงเหลือร้อยละ 12.5ก่อนการบรรจุ (Giese, 1992)

2. วิธีการผลิตพาสต้าจากแป้งชนิดอื่น

วิธีการผลิตพาสต้าจากแป้งชนิดอื่นที่ไม่ใช่แป้งสาลีนั้นไม่ใช้วิธีการผลิตแบบดั้งเดิม เนื่องจากแป้งสาลีนั้นมีโปรตีนกลูเตน เมื่อนำแป้งสาลีผสมกับน้ำแล้วนวดให้เข้ากันจะเกิดเป็นก้อนโดที่มีความแข็งพอเหมาะ แต่สำหรับผลิตภัณฑ์พาสต้าบางประเภท ได้แก่ ก๋วยเตี๋ยว เส้นหมี่ ขนมจีน วุ้นเส้น เป็นต้น สามารถผลิตได้จากแป้งข้าวเจ้า แป้งจากพืชหัว หรือ แป้งจากถั่ว เช่น แป้งมันเทศ แป้งมันฝรั่ง แป้งถั่วเขียว เป็นต้น ซึ่งเป็นที่ไม่มีโปรตีนกลูเตน จึงไม่สามารถใช้การผลิตแบบเดียวกับการทำพาสต้าที่ทำจากข้าวสาลีได้ วิธีการที่นำมาใช้ทำได้หลายวิธี คือ (1) การใช้สมบัติของสตาร์ชซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในแป้ง โดยการให้ความร้อนเช่น การนึ่ง หรือการต้ม เพื่อให้แป้งเกิดเจลและให้โครงสร้างที่แข็งแรงกับผลิตภัณฑ์ (2) การเติมโปรตีนเพื่อให้เป็นโครงสร้างแก่ผลิตภัณฑ์ (3) การใช้สารปรับปรุงคุณภาพที่มีสมบัติเฉพาะ เช่น กัม คาร์ราจีแนน อัลจิเนต เป็นต้น โดยปกติเทคโนโลยีที่ใช้ผลิตพาสต้าจากแป้งที่ไม่ใช่ข้าวสาลีใช้วิธีการให้ความร้อนอุณหภูมิ 90-95 องศาสเซลเซียส กับสตาร์ชโดบางส่วน จากนั้นนำมาผสมกับส่วนผสมที่เหลือ สตาร์ชที่ผ่านการให้ความร้อนทำหน้าที่เป็นตัวประสานให้เกิดการจับกันเป็นโครงสร้างที่แข็งแรง (Pagani, 1986)

<u>ลักษณะคุณภาพของพาสต้า</u> (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2532)

พาสต้าคุณภาพดี จะมีสีเหลืองใสสวย ไม่มีรอยแตกแยก มีความยืดหยุ่น เมื่อนำมาต้มแล้วไม่เปื่อย มีความคงตัวและดูดซึมน้ำได้ดี ในขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพพาสต้า ทำได้โดย

1. การวัดสี ใช้เครื่องวัดสีแบบสะท้อนแสง (light reflectance) เช่น เครื่อง Hunter Color Difference Meter (Model D25) วัดค่าสีของพาสต้าเปรียบเทียบกับสีดำเป็นพื้น อ่านค่าได้ 0-12 โดยค่ายิ่งสูงมีสีเหลืองสวย (เนื่องจากค่าสีดำพื้นอ่านค่าได้ 0)

2. น้ำหนักหลังการต้ม เมื่อนำเส้นพาสต้าหนัก 10 กรัม มาต้มกับน้ำกลั่น 300 มิลลิลิตร จนเดือดเป็นเวลา 12 นาที จากนั้นนำมาทำให้สะเด็ดน้ำ แล้วชั่งน้ำหนังของเส้นหลังต้ม

3. น้ำหนักที่หายไปหลังการต้ม เป็นจำนวนของแข็งจากการระเหยน้ำ ที่ใช้ต้มพาสต้าคิดเป็นเปอร์เซนต์น้ำหนักแห้งของพาสต้า

4. ความคงทน ใช้วัดด้วยเครื่องวัดแรงเฉือน (shearing) มีหน่วยเป็นกรัมต่อเซนติเมตร

ขนมขบเคี้ยว

ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทพร้อมรับประทาน (ready-to-eat) ที่มีความชื้นต่ำ ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว (snack) หรือ อาหารขบเคี้ยว (snack food) ควรมีลักษณะพื้นฐานดังนี้มีลักษณะรูปร่างขนาดเล็ก อาจเป็นของหวานหรือของคาว โดยที่ผลิตภัณฑ์ผ่าน

กระบวนการแปรรูปมาแล้วพร้อมบริโภคได้ทันที หรือมีการเตรียมเพียงเล็กน้อยบริโภคขณะร้อนหรือเย็นในรูปของแข็งหรือของเหลวก็ได้ใช้รับประทานเป็นอาหารว่างหรือโอกาสต่าง ๆ ตามที่ผู้บริโภคต้องการ ซึ่งจะทำให้เกิดความพึงพอใจและประทังความหิวในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ ได้ ผลิตภัณฑ์สามารถเก็บรักษาได้นาน 6 สัปดาห์ โดยไม่ต้องอาศัยความเย็น นอกจากอาหารที่ประกอบภายในครัวเรือนแล้วอาหารขบเคี้ยวส่วนใหญ่ยังมีการผลิตในระดับอุตสาหกรรม (วิลาสินี ดีปัญญา, 2557)

ชนิดของขนมขบเคี้ยวที่ผลิตจากกระบวนการเอกซ์ทรูชัน (จุฬาลักษณ์ จารุนุช, 2546)

ปัจจุบันนี้กระบวนการผลิตอาหารขบเคี้ยวได้พัฒนาขึ้นโดยมีการใช้เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบต่างๆ มาใช้ในการผลิตขนมขบเคี้ยว ทำให้รูปแบบและเนื้อสัมผัส รสชาติของอาหารขบเคี้ยวนั้นแตกต่าง กันออกไปหลายรูปแบบ อาหารขบเคี้ยวแบ่งออกตามลำดับก่อนหลังของการผลิตออกจำหน่ายเป็น 3 ชนิด หรือ 3 รุ่น ดังนี้

1. อาหารขบเคี้ยวรุ่นแรก (first generation snacks) โดยทั่วไปหากกล่าวถึงชนิดหรือประเภทของขนมขบเคี้ยว (Snack foods) ตามยุคสมัยเป็นที่ทราบกันดีว่าขนมขบเคี้ยวรุ่นแรก (First generation) หมายถึง ขนมขบเคี้ยวที่ต้องการกระบวนการผลิตน้อยที่สุดในการแปรรูปวัตถุดิบให้เป็นอาหารที่รับประทานได้ อาหารขบเคี้ยวที่ผลิตและนิยมรับประทานได้แก่ มันฝรั่งทอด (conventional potato chip) ข้าวโพดคั่ว (pop corn) ถั่ว (roasted peanut) และขนมปังกรอบ (crackers)

2. อาหารขบเคี้ยวรุ่นที่สอง (second generation snacks) เป็นขนมขบเคี้ยวที่สุกแล้วพองออกมาทันที (direct expansion snacks) ที่โผล่พ้นหน้าแปลนของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ อบแห้งแล้วเคลือบกลิ่นรสบรรจุในภาชนะปิดสนิท จำหน่ายให้กับผู้บริโภคได้โดยตรง ลักษณะโครงสร้างของผลิตภัณฑ์มีความพอง เนื่องจากแป้งในวัตถุดิบเมื่อผ่านเข้าไปในเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ แล้วได้รับความชื้น ความร้อนและความดันคงที่เหมาะสม จะสุกและหลอมละลายเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วถูกอัดผ่านหน้าแปลนที่มีรูเปิดจำกัดและด้วยความดันที่สูงภายในเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ เมื่อโผล่พ้นหน้าแปลนความดันจะลดต่ำลงอย่างรวดเร็วปริมาณน้ำที่มีอยู่ในเนื้ออาหารจะระเหยตัวออกอย่างรวดเร็วทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการพองขึ้น ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ผลิตและมีจำหน่ายตามทองตลาดในปัจจุบัน ได้แก่ กาก้า ชีสซ่าบอล คาราด้า ทวิสตี้ ริงโก้ คอร์นพัฟ

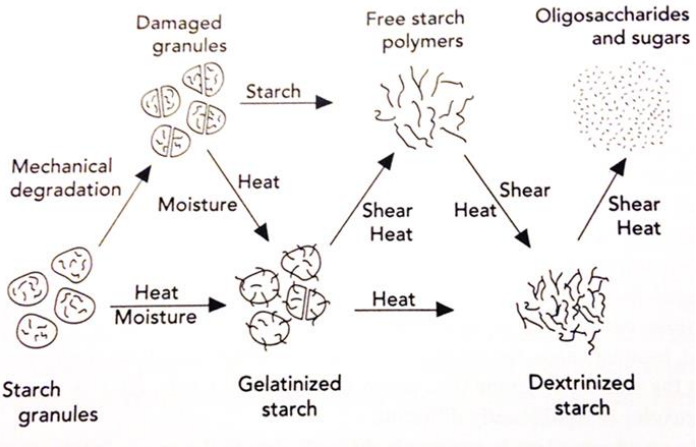
3. อาหารขบเคี้ยวรุ่นที่สาม (third generation snacks) หรือ 3 G snacks เป็นอาหารขบเคี้ยวรุ่นที่สามนี้จะเกี่ยวข้องกับการอัดอาหารขบเคี้ยวให้ออกมาเป็นลักษณะ รูปทรงต่างๆที่มีเนื้อสัมผัส (texture) ที่แตกต่างจากอาหารขบเคี้ยวที่ทำมาจาก collet extruder อาหารขบเคี้ยวประเภทนี้เป็นประเภทที่ไม่ได้สุกพองขยายตัวทันทีที่ออกจากเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ที่เรียกว่า indirect expansion snacks จัดเป็นผลิตภัณฑ์ชนิด half – finished ที่ต้องนำไปผ่านกระบวนการต่อ เช่น การทอดในน้ำมันที่ร้อนจัด เพื่อให้ได้เนื้อสัมผัสที่เหมาะสม ผู้ประกอบการสามารถจำหน่ายได้ ทั้งใน

รูปแบบของผลิตภัณฑ์สุดท้ายพร้อมรับประทาน (Ready-to-eat-snack) หรือผลิตภัณฑ์ที่ผู้บริโภคสามารถนำไปเตรียมต่อที่บ้าน เพื่อรับประทานใหม่ ๆได้ นับเป็นผลิตภัณฑ์ที่กำลังเติบโตในตลาดขนมขบเคี้ยวและได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย ผลิตภัณฑ์ชนิดนี้มีประโยชน์ในแง่ของการขนส่งเพราะไม่เปลืองเนื้อที่ ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการขนส่งและเก็บรักษาได้นานก่อนที่จะนำมาทอดให้พองและบรรจุใหม่อีกครั้ง เพื่อจำหน่ายให้กับลูกค้าหรือผู้บริโภค ในกระบวนการเอกซ์ทรูชัน ต้องประกอบด้วยขั้นตอนของการ cooking กับ forming โดยอุณหภูมิของการ cooking จะอยู่ระหว่าง 80 – 100 องศาเซลเซียส และเมื่อส่วนผสมผ่านช่วง cooking แล้วจะมีการปล่อยอากาศออกบ้าง (Venting) เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการพอง จากนั้นจึงเข้าสู่ช่วง forming ซึ่งจะทำให้ผลิตภัณฑ์เย็นตัวลงและเนื้อแน่นขึ้น โดยอุณหภูมิของการ forming นี้อาจใช้เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์อีกเครื่อง หรือเครื่องเดียวกัน แต่อยู่ในช่วงปลาย โดยมีลักษณะโครงสร้างของสกรูที่ไม่ทำให้เกิดอัตราแรงเฉือน หรืออุณหภูมิสูง ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ผลิตและมีจำหน่ายตามทองตลาดในปัจจุบัน ได้แก่ ปาปริก้า โปเต้

ในปัจจุบันได้มีการนำกระบวนการเอกซ์ทรูชันมาใช้ในเป็นกระบวนการผลิตขนมขบเคี้ยวมากขึ้น เนื่องจาก เป็นกระบวนการที่สะอาด และสามารถผลิตผลิตภัณฑ์ได้หลากหลายรูปแบบ กระบวนการเอกซ์ทรูชันเป็นกระบวนการทำให้สุกแบบต่อเนื่องที่ใช้อุณหภูมิสูงและเวลาสั้น โดยทั่วไปอาจใช้อุณหภูมิสูงถึง 200 องศาเซลเซียส และใช้เวลาประมาณ 5-120 วินาทีเท่านั้น ความร้อนที่ให้แก่วัตถุดิบเป็นความร้อนที่ให้โดยตรง โดยการใช้ไอน้ำหรือขดลวดความร้อน และพลังงานทางกล (mechanical energy) ซึ่งเป็นความร้อนที่เกิดขึ้นเนื่องจากแรงเสียดทานและแรงเฉือนที่เกิดขึ้นภายในบาร์เรล กระบวนการเอกซ์ทรูชันจึงมีประโยชน์อย่างมากในการทำให้อาหารสุกเพิ่มได้มากขึ้น สามารถแปรรูปอาหารสำเร็จรูป (RTE หรือ Ready-To-Eat) และอาหารสำเร็จรูปชนิดพองตัว (expanded food or puffed food) โดยทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของอาหารเมื่อได้รับความร้อน ได้แก่ การเกิดเจลาติไนซ์เซชันในผลิตภัณฑ์แป้ง (gelatinization) เกิดการเสียสภาพของโปรตีน (denaturation of protein) นอกจากนี้ยังช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพดีขึ้น โดยช่วยทำลายเอนไซม์ที่เป็นสาเหตุของการเน่าเสียของอาหารขณะเก็บรักษา (inactivation of raw food enzyme) ทำลายสารพิษในธรรมชาติ เช่น สารยับยั้งการดูดซึมกรดอะมิโนทริปซินในถั่วเหลือง (trypsin inhibitor) และทำลายจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนวัตถุดิบสำหรับผลิตเป็นผลิตภัณฑ์อาหารได้ด้วย (Harper, 1981; Kadan & Pepperman, 2002)

วัตถุดิบหลักที่ใช้สำหรับการผลิตขนมขบเคี้ยวแบบพองกรอบนั้น คือ แป้ง และยังมีการใช้วัตถุดิบอื่นๆ เช่น เนยขาว น้ำมัน เกลือ และอิมัลซิไฟเออร์ ร่วมกับวัตถุดิบหลักเพื่อช่วยลดอาการติดฟัน (stickiness) และควบคุมการพองของผลิตภัณฑ์สุดท้ายให้มีโพรงอากาศ และสม่ำเสมอ (จุฬาลักษณ์ จารุนุช, 2546) ในงานวิจัยนี้สนใจใช้ แป้งข้าว มาใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตขนมขบเคี้ยว

ชนิดกรอบพอง เนื่องจากข้าวเจ้าเป็นวัตถุดิบที่สามารถผลิตได้ในประเทศและเป็นวัตถุดิบที่ปราศจากกลูเตน (gluten free) อีกทั้งเป็นวัตถุดิบที่มีศักยภาพในการนำมาทำเป็นขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชัน ซึ่งแป้งข้าวที่มีวางจำหน่ายทั่วไปในท้องตลาดนั้นเป็น แป้งข้าวเจ้า และแป้งข้าวเหนียว โดยแป้งข้าวต้องเป็นผลละเอียด ไม่จับตัวเป็นก้อน มีสีขาว ไม่มีกลิ่นอับ มีความชื้นไม่เกิดร้อยละ 13.0 มีปริมาณอะมิโลสไม่น้อยกว่าร้อยละ 15.0 ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งในส่วนของแป้งข้าวเหนียวนั้น จะมีมาตรฐานคล้ายคลึงกับแป้งข้าวเจ้า ยกเว้น ต้องมีปริมาณอะไมโลสไม่เกินร้อยละ 9.0 ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งคุณสมบัติของแป้งข้าวที่นิยมตรวจสอบได้แก่ โปรตีน ไขมัน เถ้า สตาร์ช อัตราส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพกติน การวัดอุณหภูมิการเกิเจลาทิไนเซชัน การวิเคราะห์ความหนืดด้วยเครื่องบราเบนเดอร์ เป็นต้น (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547)



ภาพที่ 1-6 การเปลี่ยนแปลงของสตาร์ชในระหว่างกระบวนการเอกซ์ทรูชัน
ที่มา : Dennis and Richard (1997)

ในระหว่างกระบวนการเอกซ์ทรูชันนั้น วัตถุดิบที่ถูกป้อนและเคลื่อนตัวผ่านเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์จะได้รับความร้อน แรงเฉือนที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการเอกซ์ทรูชัน ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของวัตถุดิบ ซึ่งวัตถุดิบหลักที่นิยมใช้ในกระบวนการเอกซ์ทรูชันคือ แป้ง ซึ่งในแป้งส่วนใหญ่ประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรต ส่วนใหญ่เป็นสตาร์ชเกือบทั้งหมด โดยจะพบว่าถ้าสตาร์ชอยู่ในสภาวะที่มีการให้ความร้อน และมีความชื้นสูง เม็ดสตาร์ชจะเกิดการพองตัว สามารถดูดซับโมเลกุลของน้ำไว้ และเกิดการเจลาติไนซ์ของสตาร์ช โดยอะไมโลสจะกระจายตัวออกมาอยู่บริเวณด้านนอกของเม็ดสตาร์ช ส่วนอะไมโลเพคตินนั้นยังคงอยู่ภายในเม็ดสตาร์ช ซึ่งถ้าสตาร์ชผ่านกระบวนการเอกซ์ทรูชัน เม็ดสตาร์ชจะได้รับแรงเฉือนขณะเคลื่อนผ่านเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ ทำให้เกิดเป็นเม็ดสตาร์ชที่เสียหาย (damaged starch granules) ร่วมกับการได้รับความร้อน จะทำให้สตาร์ชเกิดการเดกซ์ทริ

ไนเซชั่น (dextrinization) ทำให้โมเลกุลของสตาร์ชเล็กลง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของสตาร์ชในระหว่างกระบวนการเอกซ์ทรูชันแสดงดังภาพที่1-6 (Dennis & Richard, 1997) การศึกษาเปลี่ยนแปลงของสตาร์ชเมื่อใช้สภาวะในกระบวนการเอกซ์ทรูชันที่แตกต่างกันนั้น จะสามารถทำได้โดยการวัดค่าดัชนีการดูดน้ำ (WAI) และลักษณะการละลายน้ำ (WSI) ของผลิตภัณฑ์ที่ได้

กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์, รุจิรารัตน์ โดยคำดี และสุวลี จันทร์ชะลอ (2556) ได้ทำการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งเมล็ดขนุนโดยกระบวนการเอกซ์ทรูชัน โดยศึกษาหาอัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งเมล็ดขนุนที่เหมาะสม โดยแปรอัตราส่วนของแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งเมล็ดขนุน (100:0 70:30 50:50 30:70 และ 0:100) และศึกษาปัจจัยในการผลิตโดยเอกซ์ทรูชัน ได้แก่ ความเร็วรอบของสกรู (160 และ 200 รอบต่อนาที) และอุณหภูมิของบาร์เรล (105, 120 และ 135 องศาเซลเซียส) พบว่าขนมขบเคี้ยวที่ผลิตโดยใช้อัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเจ้าและแป้งเมล็ดขนุน 30:70 มีอัตราการพองตัวสูง (3.55) มีความหนาแน่นต่ำ (0.29 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) และได้คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวมสูงที่สุด โดยขนมขบเคี้ยวที่ผลิตด้วยความเร็วรอบ 160 รอบต่อนาทีและอุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส มีอัตราการพองตัวสูงที่สุด และมีความหนาแน่นต่ำ

นอกจากนี้ ขวัญทิพย์ นามแสง และมณีรัตน์ แก้วมี (2556) ได้พัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากแป้งข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงจากหมึกทะเลที่ผลิตด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชัน โดยทำการศึกษาปริมาณน้ำหมึกผง (ร้อยละ 0, 2.5, 5, 7.5 และ 10 โดยน้ำหนักแป้ง) ที่ใช้เติมลงในขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากแป้งข้าวเจ้า เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการด้านสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระที่ได้จากน้ำหมึกผง พบว่าขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากแป้งข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผง 2.5% ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงสุด และทำการศึกษาผลของความชื้นของส่วนผสมและอุณหภูมิต่อผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว พบว่า ปริมาณความชื้นและอุณหภูมิมีอิทธิพลร่วมต่อเส้นผ่าศูนย์กลาง อัตราส่วนการพองตัว แรงกดแตก ค่าสี L* และ b* โดยขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 2.5 ที่ความชื้นของส่วนผสมร้อยละ 10 และผ่านการเอกซ์ทรูชันที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส มีคะแนนความชอบโดยรวมสูงสุด รวมทั้งมีเส้นผ่าศูนย์กลางและอัตราส่วนการพองตัวมากที่สุด โดยมีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระเทียบกับสารมาตรฐาน Trolox เท่ากับ 228.36 μMTE/g sample ซึ่งสูงกว่าขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากแป้งข้าวเจ้าที่ไม่เติมน้ำหมึกผง

บทที่ 2
วิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 การศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพ และสมบัติเชิงหน้าที่ของน้ำหมึกผงที่เตรียมได้

2.1.1 การเตรียมน้ำหมึกผง

ทำการรวบรวมน้ำหมึกจากหมึกกล้วยโดยรีดออกจากถุงน้ำหมึกของหมึกกล้วย ที่ได้จากตลาดสดหนองมน (ในระหว่างรวบรวมทำการเก็บรักษาน้ำหมึกโดย นำน้ำหมึกที่ได้ใส่ในถุงพลาสติกโพลีเอทีลีน ปิดปากถุงให้สนิท นำไปเก็บในตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิ –20 องศาเซลเซียส เพื่อรอรวบรวมให้ได้ปริมาณที่ต้องการ) มาทำแห้ง 3 วิธี ได้แก่ ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (tray dryer) ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส 6 ชั่วโมง ทำแห้งด้วยตู้อบในสภาวะสุญญากาศ (vacuum dryer) อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ความดัน 26 เซนติเมตรปรอท 6 ชั่วโมง และทำแห้งด้วยแบบแช่เยือกแข็ง (freeze dryer) ที่อุณหภูมิ –50 องศาเซลเซียส 6 ชั่วโมง จากนั้นนำมาบดด้วยเครื่องบดของแห้งร่อนผ่านตะแกรงขนาด 80 เมช และเก็บในถุงถุงอลูมิเนียมฟอยด์ที่ปิดสนิท เพื่อนำไปวิเคราะห์ในขั้นต่อไป

2.1.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

นำน้ำหมึกผงที่ได้จากกการทำแห้งทั้ง 3 วิธี มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า คาร์โบไฮเดรต (AOAC, 2000) และสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ (Vate & Benjakul, 2013)

2.1.3 การศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงหน้าที่

นำน้ำหมึกผงที่ได้จากการทำแห้งทั้ง 3 วิธี มาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงหน้าที่ ดังนี้

2.1.3.1 ค่าสี วัดค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*)

2.1.3.2 ค่าความสามารถในการละลายน้ำและความหนาแน่น

2.1.4 การพิจารณาเลือกกระบวนการทำแห้งน้ำหมึกผงที่เหมาะสม

พิจารณาเลือกน้ำหมึกผงจากกระบวนการทำแห้งที่มีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด ร่วมกับมีสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงหน้าที่เหมาะสม เพื่อทำการทดลองในข้อ 2.2 และ 2.3 ต่อไป

2.2 การพัฒนาผลิตภัณฑ์พาสต้าจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึก

2.2.1 ศึกษาปริมาณน้ำหมึกผงที่เหมาะสมในการผลิตพาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผง

นำน้ำหมึกผงที่เตรียมด้วยการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่ได้จากข้อ 2.1 มาเติมลงในพาสต้า โดยแปรปริมาณน้ำหมึกผงเป็นร้อยละ 0, 1, 3, 5 และ 7 ของน้ำหนักแป้ง โดยปรับให้ส่วนผสมมีความชื้นร้อยละ 30 ผลิตพาสต้าโดยใช้เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ระดับห้องปฏิบัติการ ปรับอุณหภูมิบาร์เรลชุดที่ 1 (die Zone) เท่ากับ 70 องศาเซลเซียส อุณหภูมิบาร์เรลชุดที่ 2 (compression zone) 80 องศาเซลเซียส และความเร็วรอบ 80 รอบต่อนาที นำเส้นพาสต้าที่ได้มาทำให้แห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส บรรจุพาสต้าในถุงพลาสติกโพลีเอทิลีนและปิดผนึกให้สนิทเพื่อรอการวิเคราะห์คุณภาพดังต่อไปนี้

2.2.1.1 การวิเคราะห์คุณภาพของพาสต้าหลังการต้ม

1) คุณลักษณะด้านการหุงต้ม ได้แก่ เวลาที่เหมาะสมในการต้มให้สุก (cooking time) (AACC, 2000) ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้ม (cooking loss) (AACC, 2000) และน้ำหนักที่ได้หลังการต้ม (cooking yield) (AACC, 2000)

2) ค่าสี โดยใช้เครื่องวัดสี Hunter Lab, รุ่น Miniscan XE Plus วัดค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*)

3) ลักษณะเนื้อสัมผัส โดยใช้เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส Texture Analyzer (TA-XT2) วัดค่าความต้านทานต่อการดึงขาด (tensile strength) โดยใช้หัววัด spaghetti Tensile Grips (A/SPR) วัดค่าความแน่นเนื้อ (firmness) โดยใช้หัววัด A/LKB และค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้า (adhesiveness) โดยใช้หัววัด P/35

2.2.1.2 การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

นำพาสต้าที่เตรียมได้มาทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ใช้วิธีการทดสอบความชอบด้วยวิธี 9-Point Hedonic Scale ใช้ผู้ทดสอบ 30 คน โดยการเตรียมตัวอย่างพาสต้าที่ใช้ในการทดสอบใช้เวลาในการต้มพาสต้า ตามเวลาที่เหมาะสมในการต้มให้สุกที่ได้จากการวิเคราะห์คุณลักษณะด้านการหุงต้ม

2.2.1.3 การวางแผนการทดลองและวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ CRD (Completely Randomized Design) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan’s New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

และสำหรับการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบ RCBD (Randomized Complete Block Design) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

2.2.1.4 การพิจารณาเลือกปริมาณน้ำหมึกผงที่เหมาะสม

พิจารณาเลือกปริมาณน้ำหมึกผงที่เหมาะสมที่เติมในผลิตภัณฑ์พาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าจากคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด ร่วมกับคุณภาพหลังต้ม เช่น คุณลักษณะด้านการหุงต้ม ลักษณะเนื้อสัมผัส ไปศึกษาในขั้นตอนต่อไป

2.2.2 การศึกษาปริมาณน้ำที่เหมาะสมที่ใช้เติมในพาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผง

นำพาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงที่ได้จากการคัดเลือกจากข้อ 2.2.1 มาแปรปริมาณน้ำในส่วนผสมเป็น 5 ระดับ โดยปรับความชื้นสุดท้ายของส่วนผสมเป็น ร้อยละ 20, 25, 30, 35 และ 40 ของน้ำหนักแป้ง ทำการผลิตพาสต้าด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชัน ด้วยสภาวะเช่นเดียวกับ 2.2.1

2.2.2.1 การวิเคราะห์คุณภาพของพาสต้าหลังการต้ม เช่นเดียวกับข้อ 2.2.1.1

2.2.2.2 การวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค (Microstructure) โดยใช้ Scanning Electron Microscope

2.2.2.3 การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสเช่นเดียวกับข้อ 2.2.1.2

2.2.2.4 การวางแผนการทดลองและวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ CRD (Completely Randomized Design) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

และสำหรับการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบ RCBD (Randomized Complete Block Design) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

2.2.2.5 การพิจารณาคัดเลือกปริมาณน้ำที่เหมาะสม

การพิจารณาคัดเลือกปริมาณน้ำในส่วนผสมที่เหมาะสมในการผลิตพาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผง จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสคะแนนความชอบโดยรวมสูงสุด ร่วมกับคุณภาพหลังการต้ม เช่น คุณลักษณะด้านการหุงต้ม ลักษณะเนื้อสัมผัส และโครงสร้างจุลภาคของพาสต้า เพื่อไปศึกษาในขั้นตอนต่อไป

2.2.3 การพัฒนากระบวนการผลิตพาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงที่เหมาะสม

ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตพาสต้าจากข้าวเจ้าด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชัน โดยนำพาสต้าที่ได้คัดเลือกจากตอนที่ 2.2.2 โดยแปรอุณหภูมิปรับอุณหภูมิบาร์เรลชุดที่ 2 (compression zone) เป็น 3 ระดับได้แก่ 65, 80 และ 95 องศาเซลเซียส และกำหนดอุณหภูมิบาร์เรลชุดที่ 1 (die zone) ให้คงที่เท่ากับ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 80 รอบต่อนาที นำพาสต้าที่ได้มาวิเคราะห์คุณภาพดังนี้

2.2.3.1 การวิเคราะห์คุณภาพของพาสต้าหลังการต้ม เช่นเดียวกับข้อ 2.2.1.1

2.2.3.2 การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสเช่นเดียวกับข้อ 2.2.1.2

2.2.3.3 การวางแผนการทดลองและวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ CRD (Completely Randomized Design) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan’s New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

และสำหรับการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบ RCBD (Randomized Complete Block Design) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan’s New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

2.2.3.4 การพิจารณาคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสม

การพิจารณาคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตพาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผง จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสคะแนนความชอบโดยรวมสูง ร่วมกับคุณภาพหลังการต้ม เช่น คุณลักษณะด้านการหุงต้ม ลักษณะเนื้อสัมผัสเพื่อไปศึกษาในขั้นตอนต่อไป

2.2.4 การเปรียบเทียบคุณภาพทางเคมี กายภาพ และลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์พาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกกับผลิตภัณฑ์พาสต้าทางการค้า

นำผลิตภัณฑ์พาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าที่ได้รับคัดเลือกจากการทดลองข้อที่ 2.2.3 มาทำการเปรียบเทียบกับพาสต้าทางการค้าดีหมึกที่ทำจากแป้งสาลี (ซื้อจากห้างแม็คโคร ชลบุรี) โดยนำมาวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการและคุณภาพของผลิตภัณฑ์พาสต้าเปรียบเทียบกับพาสต้าทางการค้าดังนี้

2.2.4.1 การวิเคราะห์คุณภาพของพาสต้าหลังการต้ม เช่นเดียวกับการทดลองข้อที่ 2.2.1.1

2.2.4.2 การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสเช่นเดียวกับการทดลองข้อที่ 2.2.1.2

2.2.4.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า คาร์โบไฮเดรต (AOAC, 2000) และสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ (Vate & Benjakul, 2013)

2.3. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผง

2.3.1 การศึกษาปริมาณน้ำหมึกผงที่เหมาะสมที่เติมในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้า

เมื่อนำน้ำหมึกผงที่คัดเลือกจากข้อ 2.1 มาเติมลงในขนมขบเคี้ยว โดยแปรปริมาณน้ำหมึกผงเป็นร้อยละ 0.0, 2.5, 5.0, 7.5 และ 10.0 ของน้ำหนักแป้ง โดยปรับให้ส่วนผสมมีความชื้นร้อยละ 15 ผลิตขนมขบเคี้ยวโดยใช้เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ระดับห้องปฏิบัติการ ปรับอุณหภูมิบาร์เรลชุดที่ 1 (die zone) 110 องศาเซลเซียส โดยใช้ความเร็วรอบของสกรูคงที่ 150 รอบต่อนาที และอุณหภูมิบาร์เรลชุดที่ 2 คงที่ (compression zone) 80 องศาเซลเซียส นำขนมขบเคี้ยวที่ได้บรรจุในถุงพลาสติกโพลีเอทิลีนและปิดผนึกให้สนิทเพื่อรอการวิเคราะห์คุณภาพดังต่อไปนี้

2.3.1.1 วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของผลิตภัณฑ์ วัดค่าโดยใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์

2.3.1.2 การวิเคราะห์สัดส่วนการพองตัวของผลิตภัณฑ์

ทำโดยวัดและคำนวณสัดส่วนของเส้นผ่าศูนย์กลางของผลิตภัณฑ์ กับเส้นผ่าศูนย์กลางของช่องทางออกที่หน้าแปลนของเอกซ์ทรูเดอร์ ตามวิธีของ Sangnark et al. (2015)

2.3.1.3 การวิเคราะห์ค่าการดูดซับน้ำและค่าการละลายของผลิตภัณฑ์ ดัดแปลงจากวิธี Anderson et al. (1969)

2.3.1.4 การวิเคราะห์ค่าสี โดยวัดค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*)

2.3.1.5 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส

วิเคราะห์เนื้อสัมผัสโดยใช้เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Analyzer) วัดค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ (hardness) และค่าความแตกเปราะ (fracturability) ตามวิธีที่ดัดแปลงจาก Sangnark et al. (2015)

2.3.1.6 การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

นำผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่เตรียมได้ มาทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส ความชอบด้านต่างๆ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ด้วยวิธี 9-Point Hedonic Scale ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน

2.3.1.7 การวางแผนการทดลองและวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ CRD (Completely Randomized Design) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan’s New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สำหรับการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบ RCBD (Randomized Complete Block Design) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan’s New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

2.3.1.8 การพิจารณาเลือกปริมาณน้ำหมึกผงที่เหมาะสม

พิจารณาเลือกปริมาณน้ำหมึกผงที่เหมาะสมที่ใช้เติมในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเสริมน้ำหมึกจากการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส ที่ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด ร่วมกับค่าคุณภาพด้านอื่น ๆ เช่น สัดส่วนการพองตัว เนื้อสัมผัส ไปใช้ในการทดลองขั้นต่อไปโดย

2.3.2 การพัฒนากระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผง

ผลิตขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกโดยใช้ปริมาณน้ำหมึกที่คัดเลือกได้จากข้อ 2.3.1 โดยปัจจัยที่ต้องการศึกษามีด้วยกัน 2 ปัจจัย ได้แก่ ความชื้นของส่วนผสม 3 ระดับ คือ ร้อยละ 15, 20 และ 25 และอุณหภูมิบาร์เรล (barrel temperature) 3 ระดับ คือ 90, 100 และ 110 องศาเซลเซียส ผลิตขนมขบเคี้ยวโดยใช้เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ระดับห้องปฏิบัติการ โดยใช้ความเร็วรอบของสกรู 150 รอบต่อนาที ทำการจัดสิ่งทดลองแบบแฟคทอเรียล (3x3) นำขนมขบเคี้ยวที่ได้บรรจุพาสต้าในถุงพลาสติกโพลีเอทิลีนและปิดผนึกให้สนิทเพื่อรอการวิเคราะห์คุณภาพดังต่อไปนี้

2.3.2.1 วัดขนาดของผลิตภัณฑ์ เช่นเดียวกับการทดลองข้อที่ 2.3.1.1

2.3.2.2 การวิเคราะห์สัดส่วนการพองตัวของผลิตภัณฑ์ เช่นเดียวกับข้อที่ 2.3.1.2

2.3.2.3 การวิเคราะห์ค่าการดูดซับน้ำและค่าการละลายของผลิตภัณฑ์ เช่นเดียวกับการทดลองข้อที่ 2.3.1.3

2.3.2.4 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ เช่นเดียวกับการทดลองข้อที่ 2.3.1.5

2.3.2.5 การวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค (microstructure) โดยใช้ Scanning Electron Microscope

2.3.2.6 การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส เช่นเดียวกับการทดลองข้อที่ 2.3.1.6

2.3.2.7 การวางแผนการทดลองและวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบFactorial in CRD (Factorial in Completely Randomized Design) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan’s New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สำหรับการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบ Factorial in RCBD (Randomized Complete Block Design) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan’s New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

2.3.2.8 การพิจารณาเลือกสภาวะของกระบวนการเอกซ์ทรูชันที่เหมาะสม

พิจารณาเลือกผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกจากกระบวนการผลิต จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส ที่ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด โดยพิจารณาร่วมกับคุณภาพทางกายภาพ และเนื้อสัมผัสของขนมขบเคี้ยว ไปใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

2.3.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผง

นำผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงที่คัดเลือกจากข้อ 2.3.2 มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ โดยเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้า ได้แก่

2.3.3.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า คาร์โบไฮเดรต (AOAC, 2000)

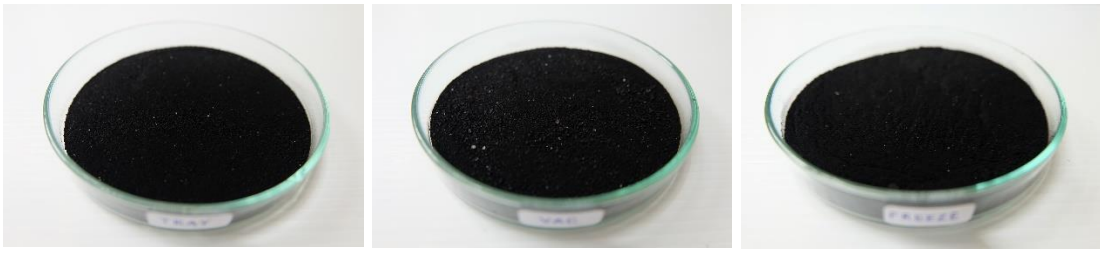
2.3.3.2 การวิเคราะห์สมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ (Vate & Benjakul, 2013)

บทที่ 3
ผลการวิจัยและวิจารณ์

3.1. ผลการศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพ และสมบัติเชิงหน้าที่ของน้ำหมึกผงที่เตรียมได้

3.1.1 ผลของการเตรียมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วย

นำน้ำหมึกจากหมึกกล้วย ที่ได้จากการรวบรวมจากตลาดสดหนองมน มาทำแห้ง 3 วิธี ได้แก่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (tray dryer) อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ทำแห้งในสภาวะสุญญากาศ (vacuum dryer) ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze dryer) แล้วนำมาบด และร่อนผ่านตะแกรง เก็บในถุงกันแสงที่ปิดสนิท มีลักษณะดังภาพที่ 3-1



(ก) ลมร้อน (ข) สุญญากาศ (ค) แช่เยือกแข็ง

ภาพที่ 3-1ลักษณะของน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่ทำแห้งแบบตู้อบลมร้อนแบบถาด (tray dryer) ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส 6 ชั่วโมง (ก) การทำแห้งด้วยตู้อบในสภาวะสุญญากาศ (vacuum dryer) อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ความดัน 26 เซนติเมตรปรอท 6 ชั่วโมง (ข) และการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze dryer) ที่อุณหภูมิ -50 องศาเซลเซียส 6 ชั่วโมง (ค)

จากการเตรียมน้ำหมึกในรูปผงแห้ง ด้วยวิธีการทำแห้งทั้ง 3 วิธี ได้แก่ ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด เครื่องทำแห้งในสภาวะสุญญากาศ ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง แล้วนำไปบดให้เป็นผง พบว่าน้ำหมึกผงที่มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีดำ แต่จะพบว่า น้ำหมึกผงที่ทำเตรียมจากทำแห้งแบบแช่เยือก จะมีลักษณะที่เบาและฟูกว่าน้ำหมึกที่ได้จากการทำอีกสองวิธี ฤทธิไกร งามชุ่ม (2547) ได้รายงานว่าการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เป็นกระบวนการ

ที่วัสดุที่ทำแห้งอยู่ในสภาวะสุญญากาศ มีการเดือดอย่างรุนแรงในเนื้อวัสดุ จึงอาจทำให้ผิวสัมผัสด้านนอกของวัสดุมีความเป็นรูพรุนสูง

3.1.2 ผลของการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วย

เมื่อนำน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่ผ่านการทำแห้งทั้ง 3 วิธีไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ ได้ผลดังตารางที่ 3-1 จากผลการทดลองพบว่ากระบวนการทำแห้งทั้ง 3 วิธี ทำให้ความชื้นของน้ำหมึกผงแตกต่างกัน ($p<0.05$) โดยน้ำหมึกที่การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีความชื้นต่ำที่สุด รองลงมาทำแห้งแบบตู้อบลมร้อนแบบถาด และการทำแห้งด้วยตู้อบในสภาวะสุญญากาศตามลำดับ ปริมาณความชื้นของน้ำหมึกผงที่แตกต่างกันนั้นอาจมีสาเหตุมาจากหลักการของกระบวนการทำแห้งที่แตกต่างกัน ซึ่งการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เป็นกระบวนการทำแห้งที่สามารถลดปริมาณความชื้นของน้ำหมึกผงได้มากที่สุด เนื่องจาก การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เป็นการทำแห้งภายใต้อุณหภูมิและความดันต่ำด้วยการแช่เยือกแข็ง ทำให้น้ำเปลี่ยนสถานะเป็นผลึกน้ำแข็งก่อน แล้วจึงลดความดันเพื่อให้ผลึกน้ำแข็งระเหิดเป็นไอ โดยจะเกิดขึ้นด้วยกันสองระยะ จึงทำให้สามารถดึงเอาน้ำในตัวอย่างออกมาได้มากกว่ากระบวนการทำแห้งวิธีอื่น (ปัณณธร ภัทรสถาพรกุล, 2547) อย่างไรก็ตาม น้ำหมึกผงที่ผลิตได้นั้น มีองค์ประกอบ เช่น โปรตีน และมีลักษณะเป็นผงใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์บางชนิดที่มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ตัวอย่างเช่น ผงปรุงรสอาหาร ที่มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนได้กำหนดให้มีความชื้นไม่เกินร้อยละ 13 โดยน้ำหนัก (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, 2547) ซึ่งจะพบว่าปริมาณความชื้นของน้ำหมึกผงหลังการทำแห้งทั้ง 3 วิธีมีค่าไม่เกินที่มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนที่ได้กำหนดไว้

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีพบว่าน้ำหมึกผงที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีปริมาณโปรตีนสูงที่สุด งานวิจัยนี้ผู้วิจัยเคราะปริมาณโปรตีนด้วยวิธี Kjeldahl method ปริมาณโปรตีนที่วิเคราะห์ได้ คำนวณจากปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในตัวอย่าง อาจกล่าวได้ว่าปริมาณโปรตีนในน้ำหมึกผงที่วิเคราะห์ได้ คือปริมาณสารประกอบไนโตรเจนที่พบในน้ำหมึกผง โดยส่วนหนึ่งอาจมาจากสารประกอบที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบในโมเลกุล ซึ่งเป็นรงควัตถุสีดำที่พบมากในน้ำหมึก ที่เรียกว่า เมลานิน (Vate & Benjakul, 2013) นอกจากนี้ Vega-Gálvez et al. (2011) กล่าวว่าความร้อนจากการทำแห้งมีผลต่อปริมาณโปรตีน และผลิตภัณฑ์จากหมึก ซึ่งการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งนั้นใช้อุณหภูมิที่ต่ำกว่าการทำแห้งแบบสุญญากาศและแบบลมร้อน จึงอาจทำให้ปริมาณโปรตีนของน้ำหมึกมีมากกว่า จากการวิเคราะห์ปริมาณไขมัน พบว่ากระบวนการทำแห้งทั้ง 3 วิธีนั้นไม่มีผลต่อปริมาณไขมันของน้ำหมึกผง ($p\geq0.05$) และแสดงให้เห็นว่าน้ำหมึกผงเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันต่ำ (ต่ำกว่าร้อยละ 1) และจากผลการวิเคราะห์ปริมาณเถ้าพบว่าหมึกผงที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีปริมาณเถ้าสูงที่สุด ได้มีรายงานของ Smith (2015) ระบุว่า น้ำหมึกมีปริมาณ

เถ้า (สารอนินทรีย์และแร่ธาตุ) ร้อยละ 10 น้ำหนักฐานแห้ง และจากการวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรตพบว่าปริมาณคาร์โบไฮเดรตของน้ำหมึกผงที่ทำแห้งแบบลมร้อนมีค่าสูงที่สุด รองลงมาเป็นน้ำหมึกที่ทำแห้งด้วยสุญญากาศ และทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ตามลำดับ

ตารางที่ 3-1 องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระของน้ำหมึกผงที่ทำแห้งแตกต่างกัน 3 วิธี

ค่าคุณภาพ	วิธีทำแห้ง		
	ลมร้อน	สุญญากาศ	แช่เยือกแข็ง
องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ			
ปริมาณความชื้น (กรัม/100 กรัม)	9.49±0.36^{b}	10.82±0.21^{a}	7.17±0.10^{c}
ปริมาณโปรตีน (กรัม/100 กรัม)*	62.38±0.05^{c}	63.24±0.03^{b}	64.09±0.10^{a}
ปริมาณไขมัน^{ns} (กรัม/100 กรัม)*	0.09±0.00	0.09±0.00	0.09±0.00
ปริมาณเถ้า^{ns} (กรัม/100 กรัม)*	10.04±0.02	10.45±0.46	10.79±0.21
ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (กรัม/100 กรัม)*	26.22±0.47^{b}	27.48±0.07^{a}	25.03±0.30^{c}
สมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ			
%Inhibition	87.23±1.54^{b}	88.49±0.84^{b}	98.89±0.19^{a}
DPPH[1] (µmol TE/g)*	911.44±40.66^{c}	1010.73±22.32^{b}	1323.45±4.98^{a}

$^{a,b,...}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีอักษรกำกับมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีอักษรกำกับไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

* รายงานโดยเทียบกับน้ำหนักฐานแห้ง (dry basis)

[1] DPPH หมายถึง DPPH radical scavenging activity หรือ ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH

จากผลการวิเคราะห์สมบัติในการต้านอนุมูลอิสระของน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่ทำแห้ง 3 วิธี แสดงดังตารางที่ 3-1 พบว่าน้ำหมึกผงที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง มีค่าเปอร์เซนต์การยับยั้งอนุมูลอิสระสูงที่สุด($p<0.05$) รองลงมาเป็น การทำแห้งแบบสุญญากาศและลมร้อน ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกัน ($p\geq0.05$) เช่นเดียวกับค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ที่พบว่าน้ำหมึกผงที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงที่สุด รองลงมาเป็นการทำแห้งแบบสุญญากาศ และการทำแห้งแบบลมร้อน ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Michalczyk, Macura and Matuszak (2009) ที่ทำการศึกษาผลของการทำแห้งด้วยลมร้อน การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง และการเก็บรักษาต่อคุณภาพและสมบัติในการต้านอนุมูลอิสสระของเบอรรี่ ซึ่งพบว่า

ตัวอย่างเบอร์รี่ที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งยังคงมีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ และสมบัติอื่น ๆ มากกว่าของตัวอย่างเบอร์รี่ที่ทำแห้งด้วยลมร้อน ซึ่งอาจเนื่องมาจากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เป็นการทำแห้งขณะที่อาหารมีอุณภูมิต่ำ จึงสามารถลดการสูญเสียของอาหารเนื่องจากความร้อน ลดการทำลายเนื้อเยื่อและโครงสร้างอาหาร ทำให้ได้อาหารแห้งที่ได้มีคุณภาพสูง คืนตัวได้ดี อีกทั้งยังรักษาคุณภาพอาหาร เช่น สี กลิ่น รสชาติ และลักษณะเนื้อสัมผัส คุณค่าทางอาหารของอาหารได้ดีเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการทำแห้งแบบอื่น เช่น การทำแห้งด้วยลมร้อน (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์, ม.ป.ป.)

3.1.3 ผลของการศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงหน้าที่

3.1.3.1 ผลการวิเคราะห์ค่าสีของน้ำหมึกผง

จากผลการวิเคราะห์ค่าสีของน้ำหมึกผง แสดงดังตารางที่ 3-2 พบว่ากระบวนการทำแห้งน้ำหมึกผง 3 วิธี มีผลทำให้ค่าความสว่าง (L*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ของน้ำหมึกผงที่ได้แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ค่าความสว่างที่ได้อยู่ในช่วง 14.80-15.84 ซึ่งถือว่ามีค่า L* ต่ำ กล่าวคือตัวอย่างมีความเป็นสีดำมาก ความเป็นสีดำของตัวอย่างน้ำหมึกผงอาจเกิดมาจากรงควัตถุสีดำที่เป็นเอกลักษณ์ของหมึกซึ่งรงควัตถุสีดำนี้ได้ เมลานิน (Vate & Benjakul, 2013) ในส่วนของค่าความเป็นสีแดง (a*) ของน้ำหมึกผงที่ทำแห้งด้วยกระบวนการที่แตกต่างกัน 3 กระบวนการมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

3.1.3.2 ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการละลายและความหนาแน่นของน้ำหมึกผง

น้ำหมึกผงที่ทำแห้งทั้ง 3 วิธีมีความสามารถในการละลายแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แสดงดังตารางที่ 3-2 โดยที่น้ำหมึกผงที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีค่าความสามารถในการละลายสูงที่สุด แต่ไม่แตกต่างกับการทำแห้งแบบสุญญากาศ รองลงมาเป็นการทำแห้งแบบลมร้อน ตามลำดับ และจากผลการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นพบว่าน้ำหมึกผงที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งนั้นมีความหนาแน่นต่ำที่สุด รองลงมาเป็นการทำแห้งแบบสุญญากาศและการทำแห้งแบบลมร้อน ตามลำดับ ฤทธิไกร งามชุ่ม (2547) ได้รายงานว่าการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เป็นกระบวนการที่วัสดุที่ทำแห้งอยู่ในสภาวะสุญญาญากาศ มีการเดือดอย่างรุนแรงในเนื้อวัสดุ จึงอาจทำให้ผิวสัมผัสด้านนอกของวัสดุมีความเป็นรูพรุนสูง จึงอาจส่งผลให้น้ำหมึกผงที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีความสามารถในการละลายสูงและความหนาแน่นต่ำ เนื่องจากโครงสร้างของน้ำหมึกมีความเป็นรูพรุน

ตารางที่ 3-2 สมบัติทางกายภาพของน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่ผ่านทำแห้งทั้ง 3 วิธี

ค่าคุณภาพ	วิธีการทำแห้ง		
	ลมร้อน	สุญญากาศ	แช่เยือกแข็ง
ค่าสี			
L*	15.84±0.06[c]	15.48±0.17[b]	14.80±0.08[a]
a* [ns]	0.99±0.03	1.06±0.04	1.05±0.08
b*	-1.02±0.09[a]	-1.14±0.09[ab]	-1.21±0.08[b]
ความสามารถในการละลาย (กรัม/มิลลิลิตร)	11.61±0.24[b]	14.83±0.06[a]	15.12±0.10[a]
ความหนาแน่น (กรัม/100 กรัม)	0.64±0.02[a]	0.45±0.01[b]	0.43±0.00[c]

[a,b...] หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีอักษรกำกับมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

[ns] หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีอักษรกำกับไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

3.1.4 ผลการพิจารณาเลือกกระบวนการทำแห้งน้ำหมึกผง

จากการพิจารณาเลือก กระบวนการทำแห้งน้ำหมึกผงที่เหมาะสมจากวิธีการทำแห้งทั้ง 3 วิธี ได้แก่ การทำแห้งแบบตู้อบลมร้อน การทำแห้งแบบสุญญากาศ และการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ที่เหมาะสม เมื่อพิจารณาจากผลการวิเคราะห์ที่ได้กล่าวมาข้างต้น พบว่า น้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีการใช้เครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ที่อุณหภูมิ -50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง มีสมบัติทางเคมี เช่น ปริมาณโปรตีน สมบัติในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด อีกทั้งยังมีสมบัติทางกายภาพที่เหมาะสม เช่น มีสีดำ และมีค่าการละลายสูงสุด ดังนั้นจึงเลือกน้ำหมึกผงจากการทำแห้งด้วยวิธีการใช้เครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งไปใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

3.2. ผลการพัฒนาผลิตภัณฑ์พาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผง

3.2.1 ผลการศึกษาปริมาณน้ำหมึกผงที่เหมาะสมในการผลิตพาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผง

เมื่อนำน้ำหมึกผงที่เตรียมด้วยการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่ได้จากข้อ 3.1 มาเติมลงในพาสต้า โดยแปรปริมาณน้ำหมึกผงเป็นร้อยละ 0, 1, 3, 5 และ 7 ของน้ำหนักแป้ง โดยปรับให้ส่วนผสมมีความชื้นร้อยละ 30 ผลิตพาสต้าโดยใช้เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ระดับห้องปฏิบัติการ ปรับอุณหภูมิบาร์เรลชุดที่ 1 (die zone) เท่ากับ 70 องศาเซลเซียส อุณหภูมิบาร์เรลชุดที่ 2 (compression zone) 80 องศาเซลเซียส และความเร็วรอบ 80 รอบต่อนาที นำเส้นพาสต้าที่ได้มาทำให้แห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส พาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าที่เสริมน้ำหมึกผงในปริมาณต่าง ๆ แบบอบแห้ง แสดงดังภาพที่ 3-2 และพาสต้าที่ผ่านการต้มสุก แสดงดังภาพที่ 3-3

(ก) น้ำหมึกผงร้อยละ 0 (ข) น้ำหมึกผงร้อยละ 1 (ค) น้ำหมึกผงร้อยละ 3 (ง) น้ำหมึกผงร้อยละ 5 (จ) น้ำหมึกผงร้อยละ 7

ภาพที่ 3-2 พาสต้าอบแห้งจากแป้งข้าวเจ้าที่เสริมน้ำหมึกผงร้อยละ 0, 1, 3, 5 และ 7

(ก) น้ำหมึกผงร้อยละ 0 (ข) น้ำหมึกผงร้อยละ 1 (ค) น้ำหมึกผงร้อยละ 3 (ง) น้ำหมึกผงร้อยละ 5 (จ) น้ำหมึกผงร้อยละ 7

ภาพที่ 3-3 พาสต้าหลังต้มสุกจากแป้งข้าวเจ้าที่เสริมน้ำหมึกผงร้อยละ 0, 1, 3, 5 และ 7

จากภาพลักษณะปรากฏของพาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกที่อบแห้ง (ภาพที่ 3-2) พบว่า พาสต้าที่ไม่มีการเติมน้ำหมึกผงสีขาวครีมขุ่น ไม่เป็นมันวาว และพาสต้าที่การเติมน้ำหมึกผงในร้อยละ 1, 3, 5 และ 7 มีสีดำ เป็นมัน เช่นเดียวกับเมื่อหลังต้มสุก (ภาพที่ 3-3) โดยหลังการนำไปต้มด้วยระยะเวลาที่เหมาะสมตามข้อมูลในตารางที่ 3-3 พบว่าพาสต้าที่การเติมน้ำหมึกผงเส้นมีสีดำ มันลื่น จากภาพที่ 3-3 จะเห็นได้ว่าพาสต้าต้มสุกที่ไม่มีการเติมน้ำหมึกผงที่ผ่านการอบแห้งมีสีขาวออกเหลือง ค่อนข้างใส และพาสต้าจากข้าวเจ้าที่มีการเติมน้ำหมึกผงในร้อยละ 1, 3, 5 และ 7 มีสีดำมากขึ้นตามลำดับ สีดำนั้นอาจมาจากในน้ำหมึกมีเมลานินที่เป็นรงควัตถุสีดำเป็นองค์ประกอบ โดยเส้นพาสต้าที่ทำจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกร้อยละ 1 และ 3 ที่ผ่านการอบแห้งมีลักษณะผิวไม่เรียบ แต่เส้นพาสต้าที่มีการเติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5 และ 7 มีผิวเป็นมันวาวและค่อนข้างเรียบ ความมันวาวที่เกิดขึ้นนั้นมาจากในน้ำหมึกมีสารเมือกเป็นองค์ประกอบ (สายันต์ รวดเร็ว, 2551) ซึ่งความขรุขระของเส้นอาจเกิดมาจากน้ำหมึกที่เติมลงไปนั้นไม่สามารถรวมตัวและเกิดโครงสร้างกับสตาร์ชในแป้งข้าวเจ้าได้ จึงทำให้ผิวของเส้นพาสต้าที่เติมน้ำหมึกที่ร้อยละ 1 และ 3 มีความขรุขระ แต่เมื่อเติมน้ำหมึกในปริมาณร้อยละ 5 และ 7 จะเห็นได้ว่าเส้นมีความขรุขระน้อยลง แต่มีความมันวาวเพิ่มมากขึ้น อาจเกิดมากเมื่อเติมน้ำหมึกเพิ่มมากขั้น ทำให้มีปริมาณสารเมือกเพิ่มมากขึ้น ทำให้สารเมือกเหล่านั้นมาเคลือบที่ผิวของเส้นพาสต้า จึงทำให้เส้นมีความขรุขระน้อยลงและมีความมันวาวเพิ่มมากขึ้น

3.2.1.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของพาสต้าหลังการต้ม

1) ผลการตรวจสอบคุณลักษณะด้านการหุงต้ม

จากการวิเคราะห์หาระยะเวลาในการต้มสุก (cooking time) แสดงดังตารางที่ 3-3 พบว่าพาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าทั้งที่ไม่มีการเติมน้ำหมึกผง (ร้อยละ 0) และที่มีการเติมน้ำหมึกผงปริมาณร้อยละ 1, 3, 5 และ 7 มีระยะเวลระหว่าง 15.00-15.50 นาที

การสูญเสียระหว่างการต้ม (cooking loss) เป็นลักษณะที่ไม่พึงประสงค์ของผลิตภัณฑ์พาสต้าและสปาเกตตี การสูญเสียระหว่างการต้มสามารถสังเกตได้จากลักษณะการขุ่นของน้ำที่ใช้ในการต้ม โดยสิ่งที่ละลายลงสู่น้ำที่ใช้ต้มจะเป็นแป้งหรืออะไมโลสที่หลุดออกมาจากเส้นพาสต้าหรือสปาเกตตี (Smewing, 1997) จากการวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้ม แสดงดังตารางที่ 3-3 พบว่า เมื่อเติมปริมาณน้ำหมึกผงเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มเพิ่มขึ้น โดยเมื่อไม่มีการเติมน้ำหมึกผงมีปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มร้อยละ 6.60 แต่เมื่อเติมน้ำหมึกผงปริมาณร้อยละ 1, 3, 5 และ 7 ทำให้ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากน้ำหมึกผงอาจไปขัดขวางการเชื่อมโครงสร้างของสตาร์ชและโปรตีนในเส้นพาสต้า จึงทำให้โครงสร้างของพาสต้าไม่แข็งแรง เมื่อนำไปต้มจึงทำให้สตาร์ชละลายออกมากับน้ำ

ที่ใช้ต้มได้มาก นอกจากนี้น้ำหมึกผงที่เติมลงไปนั้นอาจละลายออกมา ซึ่งสังเกตได้จากน้ำที่ใช้ต้มเส้นพาสต้ามีสีดำละลายอยู่ จึงส่งผลให้มีปริมาณของแข็งที่สูญเสียในระหว่างการต้มเพิ่มขึ้นได้

จากการวิเคราะห์น้ำหนักที่ได้หลังการต้ม (cooking yield) แสดงดังตารางที่ 3-3 เมื่อมีการเพิ่มปริมาณน้ำหมึกผงมากขึ้นร้อยละ 0, 1, 3, 5 และ 7 น้ำหนักที่ได้หลังการต้มไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) น้ำหนักที่ได้หลังการต้มบอกถึงองค์ประกอบนั้นมีการดูดซับน้ำได้มากเท่าไร อาจกล่าวได้ว่าพาสต้าจากแป้งข้าวที่เติมน้ำหมึกผงในปริมาณต่าง ๆ นั้นสามารถดูดซับน้ำไว้ได้ในปริมาณที่ไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 3-3 คุณลักษณะด้านการหุงต้มของผลิตภัณฑ์พาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าที่เสริมน้ำหมึกผงในปริมาณร้อยละ 0, 1, 3, 5 และ 7

ปริมาณน้ำหมึกผง (ร้อยละ)	เวลาที่เหมาะสมในการต้มสุก (นาที)	ปริมาณของเสียที่สูญเสียระหว่างการต้ม (ร้อยละ)	น้ำหนักที่ได้หลังต้ม (ร้อยละ)^{ns}
0	15.50±00	6.60 ^{e} ±0.02	237.50±1.50
1	15.50±00	7.21 ^{d} ±0.04	236.89±1.61
3	15.00±00	7.66 ^{c} ±0.14	250.22±3.65
5	15.00±00	8.38 ^{b} ±0.20	247.44±12.01
7	15.00±00	10.04 ^{a} ±0.03	240.75±1.25

$^{a,b...}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีอักษรกำกับมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีอักษรกำกับไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

2) ผลการวิเคราะห์วัดค่าสี

จากการวิเคราะห์ค่าสีของพาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าที่เสริมน้ำหมึกผงในปริมาณร้อยละ 1, 3, 5 และ 7 ที่ผ่านการอบแห้ง แสดงดังตารางที่ 3-4 พบว่า เมื่อเติมน้ำหมึกผงปริมาณเพิ่มมากขึ้นมีผลให้ค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง-เขียว (a*) และ ค่าความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน (b*) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำหมึกผง มีผลทำให้ ค่า L* ลดลง หมายถึงตัวอย่างมีความมืดหรือมีความเป็นสีดำมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องภาพลักษณะปรากฏที่เห็นดังภาพที่ 3-2 สีดำที่เพิ่มมากขึ้นนั้นมาจาก เมลานิน รงควัตถุสีดำที่พบมากในน้ำหมึก (สายันต์ รวดเร็ว, 2551) ดังนั้นเมื่อเติมน้ำหมึกผงในปริมาณที่มากขึ้นจึงทำให้ค่าความสว่างของพาสต้ามีค่าลดลงมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยพบว่าพาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าที่ไม่มีการเติมน้ำหมึกผงมีค่า a* เป็นลบ ซึ่งหมายถึงตัวอย่างมีความเป็นเขียว แต่จะพบว่าเส้นพาสต้าที่มีการเติมน้ำหมึกผงมีค่า a* เป็นค่าบวก ซึ่งหมายถึงตัวอย่างมีความเป็นสีแดง และมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำ

หมึกผง และค่าความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน (b*) พบว่าพาสต้าที่มีการเติมน้ำหมึกผงมีค่า b* เป็นลบ (สีน้ำเงิน) และมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยพาสต้าที่มีการเติมน้ำหมึกผงร้อยละ 7 มีค่า b* ติดลบสูงที่สุด แสดงให้เห็นว่าเมื่อพาสต้ามีความเป็นสีน้ำเงินมากขึ้นเมื่อเติมน้ำหมึกผงในปริมาณที่มากขึ้น

จากการทดลองพบว่าพาสต้าจากข้าวเจ้าที่เสริมน้ำหมึกผงในปริมาณต่าง ๆ ที่ผ่านการต้มสุกแสดงดังตารางที่ 3-5 ซึ่งได้ผลใกล้เคียงกับค่าสีของพาสต้าจากข้าวเจ้าที่เสริมน้ำหมึกผงในปริมาณต่าง ๆ ที่ผ่านการอบแห้ง พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำหมึกผงเพิ่มมากขึ้น มีผลทำให้ค่า L* ของพาสต้าต้มสุกลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ซึ่งค่า L* ของพาสต้าที่ไม่เติมน้ำหมึกผงที่ผ่านการต้มสุกมีค่ามากกว่าค่า L* ของพาสต้าที่มีการเติมน้ำหมึกผงในปริมาณต่าง ๆ เมื่อพิจารณาพาสต้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 1, 3, 5 และ 7 มีค่า L* เท่ากับ 19.88, 17.43, 16.27 และ 16.27 ตามลำดับ ซึ่งค่าความสว่างที่ลดลงมีผลมาจากน้ำหมึกผงซึ่งมีสีดำที่เติมลงในเส้นพาสต้า ในส่วนของค่าความเป็นสีแดง-เขียว (a*) พบว่าพาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าที่เสริมน้ำหมึกผงในปริมาณต่าง ๆ ที่ผ่านการต้มสุกมีค่าความเป็นสีแดง-เขียว (a*) เป็นลบ (สีเขียว) และมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำหมึกผง และพาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าที่เสริมน้ำหมึกผงในปริมาณต่าง ๆ ที่ผ่านการต้มสุกมีค่าความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน (b*) มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยพาสต้าที่มีการเติมน้ำหมึกผงที่ปริมาณต่าง ๆ มีค่า b* เป็นลบและมีค่าต่ำกว่าพาสต้าที่ไม่ได้เติมน้ำหมึกผง ซึ่งหมายถึงพาสต้าที่เติมน้ำหมึกผงมีสีน้ำเงินมากกว่าพาสต้าที่ไม่ได้เติมน้ำหมึกผง โดยพาสต้าที่เติมน้ำหมึกผงในปริมาณร้อยละ 1, 3 และ 5 มีค่า b* ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) แต่อย่างไรก็ตามพบว่าพาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าที่เสริมน้ำหมึกผงในปริมาณร้อยละ 7 มีค่า b* ลดลง ทั้งนี้อาจเกิดจากพาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าที่เสริมน้ำหมึกผงในปริมาณร้อยละ 7 มีผิวหน้าที่ลื่นและมันวาว อาจทำให้วัดค่า b* ได้ลดลง

ตารางที่ 3-4 ค่าสีของผลิตภัณฑ์พาสต้าอบแห้งจากแป้งข้าวเจ้าที่เสริมน้ำหมึกผงในปริมาณร้อยละ 0, 1, 3, 5 และ 7

ปริมาณน้ำหมึกผง (ร้อยละ)	L*	a*	b*
0	69.41 ^{a} ±0.03	-0.76 ^{C} ±0.01	18.7 ^{a} ±0.13
1	28.36 ^{b} ±0.07	0.98 ^{a} ±0.03	-0.12 ^{b} ±0.07
3	22.12 ^{c} ±0.04	0.28 ^{b} ±0.13	-1.27 ^{c} ±0.15
5	22.03 ^{c} ±0.08	0.24 ^{b} ±0.25	-1.14 ^{c} ±0.08
7	19.73 ^{d} ±0.12	0.08 ^{b} ±0.03	-1.74 ^{d} ±0.02

$^{a,b...}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีอักษรกำกับมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 3-5 ค่าสีของผลิตภัณฑ์พาสต้าหลังต้มสุกจากแป้งข้าวเจ้าที่เสริมน้ำหมึกผงในปริมาณร้อยละ 0, 1, 3, 5 และ 7

ปริมาณน้ำหมึกผง (ร้อยละ)	L*	a*	b*
0	70.20 [a] ± 0.07	-0.94 [b] ± 0.06	4.45 [a] ± 0.00
1	19.88 [b] ± 0.07	0.36 [a] ± 0.09	-1.66 [c] ± 0.10
3	17.43 [c] ± 0.00	0.10 [a] ± 0.02	-1.85 [c] ± 0.16
5	16.27 [d] ± 0.02	0.25 [a] ± 0.19	-1.79 [c] ± 0.21
7	16.27 [d] ± 0.54	0.15 [a] ± 0.03	-1.23 [b] ± 0.15

[a,b,...] หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีอักษรกำกับมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

3) ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส

จากการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของพาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงในปริมาณต่าง ๆ ได้ผลดังตารางที่ 3-6 พบว่าเมื่อเติมปริมาณน้ำหมึกผงเพิ่มขึ้น ค่าความต้านทานต่อการดึงขาดมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยค่าความต้านทานต่อการดึงขาดแสดงถึงความเหนียว ความยืดหยุ่น และความคงทนของเส้นพาสต้า ค่าความต้านทานการดึงขาดที่ลดลงอาจมีผลมาจากน้ำหมึกผงที่เติมลงไปอาจไปขัดขวางโครงสร้างของสตาร์ชและโปรตีน ทำให้โครงสร้างไม่เกาะเกี่ยวกัน ลดความแข็งแรงของเส้นลง นอกจากนั้นในระหว่างการต้มน้ำหมึกผงอาจละลายปนออกมากับน้ำที่ต้ม ทำให้โครงสร้างภายในเส้นขาดความต่อเนื่องเส้นจึงขาดง่ายขึ้น

จากการวิเคราะห์ค่าความแน่นเนื้อ พบว่าการเติมปริมาณน้ำหมึกผงเพิ่มขึ้นค่าความแน่นเนื้อลดลงอย่างมีทางสถิติ ($p>0.05$) วิภา สุโรจนะเมธากุล (2545) กล่าวว่า ค่าความแน่นเนื้อเป็นค่าแรงสูงสุดที่ใช้ในการกดลงบนเส้น ถ้าใช้แรงในการกดมากแสดงว่าเส้นพาสต้ามีความแน่นเนื้อมาก ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้พบว่าเมื่อเติมน้ำหมึกผงเพิ่มมากขึ้น ความแน่นเนื้อของพาสต้าลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของกิตติยา ไชยฉิน และเมธาวี สุนณรงค์ (2555) ที่กล่าวว่าพาสต้าที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงปริมาณมากขึ้นส่งผลทำให้ค่าความแน่นเนื้อลดลง ซึ่งค่าความแน่นเนื้อที่ลดลงอาจเป็นผลมาจากเมื่อเติมน้ำหมึกผงปริมาณเพิ่มมากขึ้นทำให้ปริมาณสตาร์ชลดลง และน้ำหมึกผงที่เติมลงไปนั้นไม่สามารถรวมตัวกับสตาร์ชและเกิดเป็นโครงสร้างที่แข็งแรงได้ จึงส่งผลให้โครงสร้างของพาสต้าไม่แข็งแรง

ตารางที่ 3-6 ลักษณะเนื้อสัมผัสของพาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงปริมาณร้อยละ 0, 1, 3, 5 และ 7

ปริมาณน้ำหมึกผง (ร้อยละ)	ความต้านทานการดึงขาด (gf)	ความแน่นเนื้อ (gf)	การยึดเกาะที่ผิวหน้า (gf.sec)
0	29.42^{a}±0.50	5524.53^{c}±31.20	88.67^{d}±1.47
1	26.25^{b}±0.71	7154.12^{a}±20.95	274.68^{a}±7.78
3	22.60^{c}±0.89	6585.04^{b}±9.05	185.92^{b}±12.59
5	18.95^{d}±0.32	5496.52^{c}±1.63	106.81^{c}±2.21
7	16.15^{e}±0.10	4001.64^{d}±15.59	56.44^{e}±3.47

$^{a,b,...}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยนในแนวตั้งที่มีอักษรกำกับมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้า หมายถึง แรงที่ใช้แยกผลิตภัณฑ์ออกมาเมื่อผิวของผลิตภัณฑ์เกาะกับผิวอื่น คือถ้ามีแรงเกาะที่ผิวหน้าสูงแสดงว่าใช้แรงในการแยกผลิตภัณฑ์ออกจากกันมาก (วิภา สุโรจนะเมธากุล, 2545) จากผลการวิเคราะห์พบว่าเมื่อปริมาณน้ำหมึกผงเพิ่มขึ้น ค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้ามีค่าลดลงอย่างมีทางสถิติ ($p>0.05$) โดยพาสต้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 0, 1, 3, 5 และ 7 มีค่าการยึดเกาะกันที่ผิวหน้าลดลงเท่ากับ 88.67, 274.68, 185.92, 106.81 และ 56.44 gf.sec ตามลำดับ อาจเป็นผลมาจากน้ำหมึกมีองค์ประกอบหลักได้แก่ เมลานิน และสารเมือก (สายันต์ รวดเร็ว, 2551) สารเมือกที่อยู่ในน้ำหมึกนี้อาจเป็นสาเหตุทำให้ผิวเส้นพาสต้ามีลักษณะเป็นลื่น ทำให้เมื่อเติมน้ำหมึกผงในปริมาณที่มากขึ้น เป็นร้อยละ 3, 5 และ 7 เป็นผลให้ค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้าลดลง แต่ถ้าเติมน้ำหมึกผงในปริมาณน้อยสารเมือกนี้อาจทำให้ผิวของเส้นพาสต้ามีลักษณะเหนียว เกาะกันได้ดีซึ่งจะเห็นได้จากพาสต้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 1 มีค่าการยึดเกาะกันที่ผิวหน้าสูงกว่าพาสต้าทางการค้า

3.2.1.2 ผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสทางด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์พาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าที่เสริมน้ำหมึกผงในปริมาณร้อยละ 0, 1, 3, 5 และ 7 โดยวิธี 9-point hedonic scale ในการทดสอบใช้ผู้ทดสอบ 30 คน แสดงดังตารางที่ 3-7 พบว่าเมื่อเติมน้ำหมึกผงในปริมาณต่าง ๆ มีผลให้คะแนนความชอบด้านสีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยพาสต้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 3 ได้รับคะแนนความชอบด้านสีสูงสุดคือ 7.15 คะแนน แต่ไม่แตกต่างจากพาสต้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 1 (6.85 คะแนน) โดยคะแนนที่ได้แสดงถึงผู้ทดสอบมีความชอบปานกลาง สำหรับพาสต้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 0, 1, 5 และ 7 ซึ่งมีคะแนนอยู่ในช่วง

6.20-6.45 คะแนน ซึ่งอยู่ที่ระดับชอบเล็กน้อย แสดงให้เห็นว่าผู้ทดสอบมีความชอบสีของพาสต้าที่มีการเติมน้ำหมึก แต่ต้องไม่เติมมากจนเกินไปซึ่งทำให้สีเข้มมาก

เมื่อพิจารณาคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นและรสชาติ พบว่าพาสต้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 3 ได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่นและรสชาติสูงที่สุด คือ 6.65 และ 6.57 ตามลำดับ แต่ค่าที่ได้ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับคะแนนความชอบของการเติมน้ำหมึกผงในปริมาณร้อยละ 0 และ 1 และพบว่าเมื่อเติมน้ำหมึกผงในปริมาณมากขึ้นเป็นร้อยละ 5 และ 7 มีผลทำให้คะแนนความชอบด้านกลิ่นและรสชาติลดลง อย่างไรก็ตามเมื่อเติมน้ำหมึกผงมากถึงร้อยละ 7 ทำให้ได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่นและรสชาติลดลงจนได้คะแนนความชอบระดับไม่ชอบเล็กน้อย (4.67 และ 4.95 คะแนนตามลำดับ) ทั้งนี้เนื่องมาจากปริมาณน้ำหมึกผงที่เพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์พาสต้ามีกลิ่นและรสคาวของน้ำหมึกเพิ่มมากขึ้น ผู้ทดสอบบางคนอาจไม่ชอบกลิ่นและรสของน้ำหมึก ส่งผลให้คะแนนความชอบในด้านกลิ่น และรสชาติลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ สุธีรา มีภักดี และเพชรดา รัตนสุวรรณ์ (2555) ที่ศึกษาการผลิตเลือดปลาทูน่าผงเพื่อใช้เป็นส่วนประกอบในขนมขบเคี้ยว โดยแปรปริมาณเลือดปลาทูน่าผงที่เติมลงในผลิตภัณฑ์เป็นร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 พบว่า เมื่อเติมเลือดปลาทูน่าผงมากถึงร้อยละ 15 ทำให้คะแนนความชอบด้านรสชาติและกลิ่นรสลดลงถึงระดับไม่ชอบเล็กน้อย อีกทั้งยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Hurtado et al. (2012) ที่พบว่าหากเติมพลาสมาเลือดหมูในแฟรงค์เฟอร์เตอร์ในปริมาณมากถึงร้อยละ 27 ทำให้ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบด้านรสชาติลดลงโดยผลิตภัณฑ์มีกลิ่นรสคาวเนื้อเพิ่มขึ้น และได้รับคะแนนความชอบต่ำกว่าสูตรควบคุม

เมื่อพิจารณาคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสเนื้อสัมผัส พบว่าพาสต้าที่เติมน้ำหมึกผง ร้อยละ 0, 1, และ 3 ได้รับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสสูงที่สุด และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และเมื่อเติมน้ำหมึกผงในปริมาณร้อยละ 5 และ 7 พบว่าคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสมีแนวโน้มลดลง สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส ที่พบว่าการเติมน้ำหมึกผงในปริมาณสูงขึ้นทำให้ ความต้านทานต่อการดึงขาด ความแน่นเนื้อและค่าการยึดเกาะกันที่ผิวหน้าลดลง อาจกล่าวได้ว่าผู้ทดสอบมีความชอบผลิตภัณฑ์พาสต้าที่มีความยืดหยุ่น และแน่น จึงส่งผลให้คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์พาสต้าที่เติมน้ำหมึกผงในปริมาณร้อยละ 0, 1 และ 3 มากกว่าผลิตภัณฑ์พาสต้าที่เติมน้ำหมึกผงในปริมาณร้อยละ 5 และ 7

สำหรับผลคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวม พบว่าพาสต้าที่เติมน้ำหมึกผงปริมาณร้อยละ 3 ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด เท่ากับ 6.95 คะแนน แต่มีค่าไม่แตกต่างกับพาสต้าที่เติมน้ำหมึกผงในปริมาณร้อยละ 0 และ 1 มีค่าเท่ากับ 6.61 และ 6.60 คะแนนตามลำดับ ($p \leq 0.05$) และเมื่อเติมน้ำหมึกผงในปริมาณมากขึ้นเป็นร้อยละ 5 และ 7 ส่งผลให้คะแนน

ความชอบลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยผลิตภัณฑ์พาสต้าที่เติมน้ำหมึกผงปริมาณร้อยละ 7 มีคะแนนความชอบโดยรวมน้อยที่สุด (4.57)

ตารางที่ 3-7 ผลคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์พาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าที่เสริมน้ำหมึก ผงในปริมาณร้อยละ 0, 1, 3, 5 และ 7

ปริมาณน้ำหมึกผง (ร้อยละ)	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
0	$6.23^{c}\pm1.50$	$6.24^{a}\pm1.35$	$6.27^{a}\pm1.13$	$6.61^{a}\pm1.31$	$6.61^{a}\pm0.98$
1	$6.85^{ab}\pm1.67$	$6.19^{a}\pm1.32$	$6.13^{a}\pm1.35$	$6.27^{a}\pm1.45$	$6.60^{a}\pm1.09$
3	$7.15^{a}\pm1.05$	$6.65^{a}\pm1.25$	$6.57^{a}\pm1.30$	$6.57^{a}\pm1.13$	$6.95^{a}\pm1.15$
5	$6.45^{bc}\pm1.50$	$5.38^{b}\pm1.34$	$5.37^{b}\pm1.41$	$5.43^{b}\pm1.50$	$5.41^{b}\pm1.41$
7	$6.20^{c}\pm1.65$	$4.67^{c}\pm1.43$	$4.95^{b}\pm1.24$	$4.91^{b}\pm1.60$	$4.57^{c}\pm1.20$

$^{a,b,\ldots}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีอักษรกำกับมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

3.2.1.3 ผลการพิจารณาเลือกปริมาณน้ำหมึกที่เหมาะสม

การพิจารณาคัดเลือกปริมาณน้ำหมึกผงที่เหมาะสมที่เติมลงในพาสต้าจากแป้งข้าวเจ้า ได้แก่ ร้อยละ 0, 1, 3, 5 และ 7 จากผลการวิเคราะห์ที่ได้ข้างต้น เมื่อพิจารณาจากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส คะแนนความชอบโดยรวม พบว่าพาสต้าที่เติมน้ำหมึกผงในปริมาณร้อยละ 3 มีคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด ซึ่งไม่แตกต่างจากพาสต้าที่มีการเติมน้ำหมึกผงร้อยละ 1 และ 0 แต่พบว่าพาสต้าที่มีการเสริมน้ำหมึกผงร้อยละ 3 มีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระมากกว่า นอกจากนั้นยังมีลักษณะเนื้อสัมผัส และคุณลักษณะด้านการหุงต้มที่ยอมรับได้ ดังนั้นจึงเลือกพาสต้าที่เติมน้ำหมึกผงในปริมาณร้อยละ 3 ไปศึกษาในขั้นตอนต่อไป

3.2.2 ผลการศึกษาปริมาณน้ำที่เหมาะสมที่ใช้เติมในพาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผง

นำพาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงในปริมาณร้อยละ 3 ที่ได้จากการคัดเลือกจากข้อ 3.2.1 มาแปรปริมาณน้ำในส่วนผสมเป็น 5 ระดับ โดยปรับความชื้นสุดท้ายของส่วนผสมเป็น ร้อยละ 20, 25, 30, 35 และ 40 ของน้ำหนักแป้ง ทำการผลิตพาสต้าด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชัน ด้วยสภาวะเช่นเดียวกับ 3.2.1 ได้ผลิตภัณฑ์พาสต้า ดังภาพที่ 3-4

(ก) ปริมาณน้ำร้อยละ 20 (ข) ปริมาณน้ำร้อยละ 25 (ค) ปริมาณน้ำร้อยละ 30 (ง) ปริมาณน้ำร้อยละ 35 (จ) ปริมาณน้ำร้อยละ 40

ภาพที่ 3-4 พาสต้าอบแห้งจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงปริมาณร้อยละ 3 ที่มีปริมาณน้ำในส่วนผสมร้อยละ 20 (ก) ร้อยละ 25 (ข) ร้อยละ 30 (ค) ร้อยละ 35 (ง) และร้อยละ 40 (จ)

จากภาพที่ 3-4 แสดงลักษณะปรากฏพาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงปริมาณร้อยละ 3 ที่มีปริมาณน้ำในส่วนผสมต่าง ๆ จากภาพจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าผลิตภัณฑ์พาสต้าที่มีปริมาณน้ำในส่วนผสมร้อยละ 20 (ภาพที่ 3-4(ก)) เส้นมีลักษณะพอง มีขนาดเส้นใหญ่กว่าที่ปริมาณน้ำระดับอื่น ๆ และมีผิวไม่เรียบ เช่นเดียวกับพาสต้าที่มีปริมาณน้ำในส่วนผสมร้อยละ 25 เส้นจะพองเล็กน้อย ผิวเส้นไม่เรียบ ซึ่งจะพบว่าเมื่อปริมาณน้ำในส่วนผสมเพิ่มมากขึ้น เป็นร้อยละ 30 (ภาพที่ 3-4(ค) และร้อยละ 35 (ภาพที่ 3-4(ง)) ผิวของเส้นพาสต้าเรียบ แต่พาสต้าที่มีปริมาณน้ำในส่วนผสมร้อยละ 40 ผิวของเส้นพาสต้าจะไม่เรียบ และมีความขรุขระเล็กน้อย และเมื่อพิจารณาถึงขนาดของเส้นพาสต้าจะสังเกตเห็นว่าเมื่อปริมาณน้ำในส่วนผสมเพิ่มมากขึ้น ขนาดของเส้นจะมีขนาดเล็กลง ซึ่งจะเห็นได้อย่างชัดเจนจากพาสต้าที่มีปริมาณน้ำในส่วนผสมมากที่สุดร้อยละ 40 เส้นพาสต้ามีขนาดเล็กที่สุด ((ภาพที่ 3-4(จ)) ซึ่งแตกต่างจากพาสต้าที่มีปริมาณน้ำในส่วนผสมน้อยที่สุดร้อยละ 20 เส้นมีขนาดใหญ่กว่าอย่างชัดเจน แต่อย่างไรก็ตามพาสต้าที่มีปริมาณในส่วนผสมแตกต่างกันทั้ง 5 ระดับ มีสีดำใกล้เคียงกัน

3.2.2.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของพาสต้าหลังการต้ม

1) ผลการตรวจสอบคุณลักษณะด้านการหุงต้ม

จากผลการวิเคราะห์ค่าคุณลักษณะด้านการหุงต้มได้แก่ เวลาที่เหมาะสมในการต้มให้สุก (cooking time) ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้ม (cooking Loss) น้ำหนักที่ได้หลังการต้ม (cooking yield) ของพาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกที่มีปริมาณน้ำในส่วนผสม 5 ระดับ คือ ร้อยละ 20, 25, 30, 35 และ 40 แสดงดังตารางที่ 3-8 จากผลการทดลองพบว่าพาสต้ามีเวลาในการหุงต้มใกล้เคียงกัน มีค่าระหว่าง 14.50-15.00 นาที โดยพาสต้าที่มีปริมาณน้ำในส่วนผสมร้อยละ 35 และ 40 ใช้เวลาในการต้มสุกน้อยกว่าพาสต้าที่มีปริมาณน้ำในส่วนผสมร้อยละ 20, 25 และ 30 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก เส้นพาสต้ามีขนาดส้นผ่านศูนย์กลางที่เล็กกว่า แต่มีผลต่อปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้ม และน้ำหนักที่ได้หลังต้มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) พบว่าพาสต้าที่มีปริมาณน้ำในส่วนผสมร้อยละ 20, 25 และ 30 มีปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มไม่แตกต่างกัน แต่มีค่าน้อยกว่าพาสต้าที่มีปริมาณน้ำในส่วนผสมร้อยละ 35 และ 40 กล่าวคือเมื่อปริมาณน้ำในส่วนผสมเพิ่มมากขึ้น ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์, สมถวิล จริตควร, อโนชา สุขสมบูรณ์ และ วรรธนะภูติ บงกช (2558) ที่ได้ทำการพัฒนาผลิตภัณฑ์พาสต้าเพื่อสุขภาพจากข้าวเจ้าเสริมสาหร่าย ซึ่งพบว่าเมื่อปริมาณความชื้นของส่วนผสมเพิ่มขึ้น (ร้อยละ 27, 30 และ 33) มีผลทำให้ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างต้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณน้ำที่มากเกินไปทำให้สัดส่วนของสตาร์ช ซึ่งเป็นโครงสร้างหลักของพาสต้ามีปริมาณลดลง ทำให้เส้นมีความแข็งแรงลดลง จึงทำให้ค่าปริมาณของแข็งที่สูญเสียในระหว่างการต้มเพิ่มขึ้น ในขณะที่เมื่อปริมาณน้ำในส่วนผสมเพิ่มมากขึ้น น้ำหนักที่ได้หลังการต้มมีแนวโน้มลดลง โดยที่พาสต้าที่มีปริมาณน้ำในส่วนผสมสูงที่สุดที่ร้อยละ 40 มีน้ำหนักที่ได้หลังต้มน้อยที่สุด ($p<0.05$) และพาสต้ามีปริมาณน้ำในส่วนผสมร้อยละ 20, 25, 30 และ 35 มีน้ำหนักที่ได้หลังต้มไม่แตกต่างกัน ($p\geq0.05$)

2) ผลการวิเคราะห์วัดค่าสี

จากผลการวิเคราะห์ค่าสีของผลิตภัณฑ์พาสต้าอบแห้งที่ทำจากแป้งข้าวเจ้าที่เสริมน้ำหมึกผงในปริมาณร้อยละ 3 ที่มีปริมาณน้ำในส่วนผสมร้อยละ 20, 25, 30, 35 และ 40 อบแห้ง แสดงผลดังตารางที่ 3-9 จากผลการวิเคราะห์พบว่าปริมาณน้ำในส่วนผสมมีผลต่อค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง-เขียว (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน (b*) ของพาสต้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) พาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าที่เสริมน้ำหมึกผงที่มีปริมาณน้ำในส่วนผสมร้อยละ 20, 25, 30 และ 35 มีค่า L* ไม่แตกต่างกัน ($p\geq0.05$) แต่เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำในส่วนผสมสูงที่สุดในระดับร้อยละ 40 มีผลทำให้ค่า L* ลดลงเล็กน้อย ($p<0.05$) ซึ่งอาจเกิดจาก เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นที่เล็กเมื่อนำไปวัดค่าสีจึงทำให้เกิดความทึบน้อยกว่าพาสต้าที่มีปริมาณน้ำในส่วนผสมอื่น ๆ ในขณะที่ค่า a*

ของพาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าที่เสริมน้ำหมึกผงอบแห้งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณน้ำในส่วนผสมเพิ่มมากขึ้น โดยค่า a* ของพาสต้าอยู่ในช่วงที่มีค่าใกล้เคียงกัน คือ 0.29-0.33 ซึ่งอยู่ในช่วงบวก ซึ่งหมายถึงตัวอย่างมีความเป็นสีแดง และพบว่าค่า b* มีค่าใกล้เคียงกัน ระหว่าง -0.95 - -1.19

จากผลการวิเคราะห์ค่าสีของผลิตภัณฑ์พาสต้าที่ต้มสุกจากแป้งข้าวเจ้าที่เสริมน้ำหมึกผงในปริมาณร้อยละ 3 ที่มีปริมาณน้ำในส่วนผสมร้อยละ 20, 25, 30, 35 และ 40 ที่ผ่านการต้มสุก แสดงผลดังตารางที่ 3-10 พบว่าปริมาณน้ำในส่วนผสมไม่มีผลต่อค่าความสว่าง (L*) และค่าความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน (b*) ของพาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าที่เสริมน้ำหมึกผงต้มสุกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) แต่พบว่าปริมาณน้ำในส่วนผสมมีผลต่อค่าความเป็นสีแดง-เขียว (a*) ของพาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าที่เสริมน้ำหมึกผงต้มสุก ($p<0.05$) โดยที่เมื่อปริมาณน้ำในส่วนผสมมีค่าเพิ่มมากขึ้น ค่า a* มีแนวโน้มลดลง แต่อย่างไรก็ตามค่าที่ได้แตกต่างกันเล็กน้อย ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.09-0.11

ตารางที่ 3-8 คุณลักษณะด้านการหุงต้มของผลิตภัณฑ์พาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าที่เสริมน้ำหมึกผงในปริมาณร้อยละ 3 ที่มีปริมาณน้ำในส่วนผสม

ปริมาณน้ำในส่วนผสม (ร้อยละ)	เวลาที่เหมาะสมในการต้มสุก (นาที)	ปริมาณของเสียที่สูญเสียระหว่างการต้ม (ร้อยละ)	น้ำหนักที่ได้หลังต้ม (ร้อยละ)
20	15.00±00	7.68 ^{b}±0.03	250.20^{a}±1.19
25	15.00±00	7.70 ^{b}±0.01	250.92^{a}±1.21
30	15.00±00	7.69 ^{b}±0.1	250.46^{a}±1.76
35	14.50±00	7.80 ^{a}±0.14	247.43^{a}±2.68
40	14.50±00	7.82 ^{a}±0.03	239.89^{b}±1.32

$^{a,b...}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีอักษรกำกับมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 3-9 ค่าสีของผลิตภัณฑ์พาสต้าอบแห้งจากแป้งข้าวเจ้าที่เสริมน้ำหมึกผงในปริมาณร้อยละ 3 ที่มีปริมาณน้ำในส่วนผสมร้อยละ 20, 25, 30, 35 และ 40

ปริมาณน้ำในส่วนผสม (ร้อยละ)	L*	a*	b*
20	22.11 ^{a}±0.11	0.29 ^{b}±0.01	- 1.19^{a}±0.01
25	22.43 ^{a}±0.45	0.29 ^{b}±0.02	-1.16^{a}±0.08
30	22.12 ^{a}±0.04	0.30 ^{ab}±0.01	-1.11^{ab}±0.06
35	22.03 ^{a}±0.08	0.31 ^{ab}±0.01	-0.99^{b}±0.03
40	19.73 ^{b} ±0.12	0.33 ^{a}±0.02	-0.95^{c}±0.05

$^{a,b...}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีอักษรกำกับมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 3-10 ค่าสีของผลิตภัณฑ์พาสต้าหลังต้มสุกจากแป้งข้าวเจ้าที่เสริมน้ำหมึกผงในปริมาณร้อยละ 3 ที่มีปริมาณน้ำในส่วนผสมร้อยละ 20, 25, 30, 35 และ 40

ปริมาณน้ำในส่วนผสม (ร้อยละ)	L^{*ns}	a^{*}	b^{*ns}
20	22.07±0.08	0.11^{a}±0.01	- 1.84±0.02
25	21.90±1.23	0.10^{ab}±0.01	-1.82±0.11
30	22.27±0.23	0.10^{ab}±0.00	-1.90±0.09
35	22.23±0.28	0.09^{b} ±0.02	-1.89±0.08
40	22.65±0.21	0.09^{b} ±0.01	-1.93±0.01

$^{a,b...}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีอักษรกำกับมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีอักษรกำกับไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

3) ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส

ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์พาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าที่เสริมน้ำหมึกผงในปริมาณร้อยละ 3 ที่มีปริมาณน้ำในส่วนผสมร้อยละ 20, 25, 30, 35 และ 40 ได้แก่ค่าความต้านทานการดึงขาด ความแน่นเนื้อ และค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้า แสดงดังตารางที่ 3-11 จากผลการวิเคราะห์พบว่าปริมาณน้ำในส่วนผสมมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของพาสต้าทั้ง 3 ค่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อปริมาณน้ำในส่วนผสมเพิ่มมากขึ้นมีผลทำให้ค่าความต้านทานการดึงขาด และความแน่นเนื้อลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แสดงให้เห็นว่าปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นไปลดความแข็งแรงของโครงสร้างเส้นพาสต้า ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการเพิ่มปริมาณน้ำจะไปลดปริมาณสตาร์ชซึ่งทำหน้าที่เป็นโครงสร้างหลักของพาสต้า ทำให้เส้นพาสต้ามีความแข็งแรงลดลง นอกจากนั้นปริมาณน้ำในส่วนผสมที่มากจะทำให้ส่วนผสมมีความเหลวมากขึ้น ทำให้ระยะเวลาของส่วนผสมที่อยู่ภายในเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ ซึ่งมีการสัมผัสกับความร้อนลดลง สตาร์ชยังคงเกิดเจลาติไนซ์เซชันไม่สมบูรณ์ จึงทำให้โครงสร้างภายในเส้นมีความแข็งแรงลดลง ในขณะที่เมื่อปริมาณน้ำในส่วนผสมเพิ่มมากขึ้นมีผลทำให้การยึดเกาะที่ผิวหน้าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งปริมาณน้ำที่มากจะทำให้ส่วนผสมมีความเหลวและได้พาสต้าที่มีผิวหน้าแฉะ

ตารางที่ 3-11 ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์พาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าที่เสริมน้ำหมึกผงในปริมาณร้อยละ 3 ที่ มีปริมาณน้ำในส่วนผสมร้อยละ 20 25 30 35 และ 40

ปริมาณน้ำในส่วนผสม (ร้อยละ)	ความต้านทานการดึงขาด (gf)	ความแน่นเนื้อ (gf)	การยึดเกาะที่ผิวหน้า(gf.sec)
20	22.62^{a}±0.72	6583.07^{a}±8.51	76.45^{d}±3.41
25	22.58^{a}±0.12	6539.11^{a}±15.09	107.81^{c}±2.02
30	21.12^{a}±1.13	6107.17^{b} ±4.48	159.89^{b}±7.71
35	18.93^{b}±0.32	5326.51^{c}±21.67	178.67^{a}±2.18
40	18.06^{b}±0.14	3815.51^{d}±24.59	180.71^{a}±0.83

$^{a,b...}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีอักษรกำกับมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

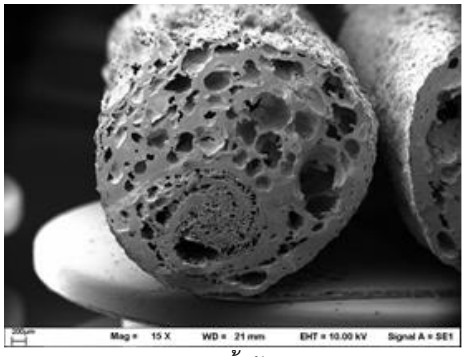
3.2.2.2 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค (microstructure)

โครงสร้างจุลภาคของผลิตภัณฑ์พาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าที่เสริมน้ำหมึกผงในปริมาณร้อยละ 3 ที่มีปริมาณน้ำในส่วนผสมร้อยละ 20, 25, 30, 35 และ 40 จากใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ในลักษณะตัดขวางที่กำลังขยาย 15 เท่า แสดงดังภาพที่ 3-5 และโครงสร้างจุลภาคบริเวณพื้นผิวของของผลิตภัณฑ์ กำลังขยาย 50 เท่า แสดงดังภาพที่ 3-6

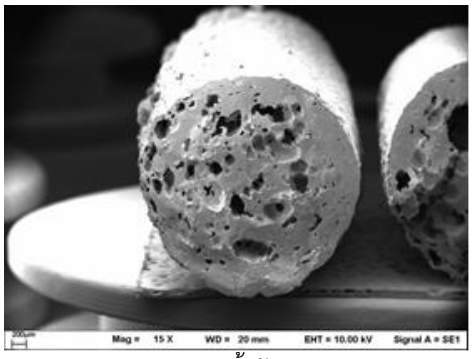
จากผลวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคในลักษณะตัดขวางกำลังขยาย 15 เท่า (ภาพที่ 3-5) พบว่า เมื่อปริมาณน้ำในส่วนผสมเป็นร้อยละ 20 และ 25 พบว่าภายในเส้นพาสต้าที่ได้มีรูพรุนกระจายอยู่ทั่วไป โดยเฉพาะที่ปริมาณน้ำในส่วนผสมร้อยละ 20 เนื่องจากในสภาวะที่ความชื้นต่ำทำให้ส่วนผสมมีความหนืดสูง และเคลื่อนที่ภายในบาร์เรลได้ช้าลง ส่วนผสมมีโอกาสสัมผัสกับความร้อนและแรงเฉือนเป็นเวลานาน เกิดการสะสมของความร้อนรวมทั้งแรงเฉือนที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของสกรูทำให้น้ำในส่วนผสมมีอุณหภูมิสูงมากขึ้น เมื่อส่วนผสมถูกผลักพาออกมาผ่านหน้าแปลน น้ำที่อยู่ภายในส่วนผสมจะระเหยกลายเป็นไอน้ำ ดันโครงสร้างของเส้นพาสต้าให้พองตัว และทิ้งส่วนที่เป็นรูพรุนไว้ภายในโครงสร้างเส้นพาสต้า ดังภาพที่ 3-5(ก) และ (ข) ในขณะที่เมื่อปริมาณน้ำในส่วนผสมสูงมากขึ้น ได้แก่ร้อยละ 30, 35 และ 40 น้ำจะทำให้ส่วนผสมมีความหนืดลดลง เมื่อส่วนผสมสัมผัสกับความร้อนภายในบาร์เรล สตาร์ชได้รับความร้อน และความชื้นทำให้เกิดสตาร์ชเกิดเจลาติไนซ์เซชันกลายเป็นโครงสร้างของเส้นพาสต้าจึงไม่ปรากฏเป็นรูพรุน เหมือนกับส่วนผสมที่มีปริมาณน้ำน้อย ๆ ดังภาพที่ 3-5(ค) (ง) และ (จ)

สำหรับผลของปริมาณน้ำในส่วนผสมที่มีต่อโครงสร้างทางจุลภาคบริเวณพื้นผิวรอบนอกของพาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าที่เสริมน้ำหมึกผง ดังภาพที่ 3-6 พบว่าพาสต้าที่มีปริมาณน้ำในส่วนผสม

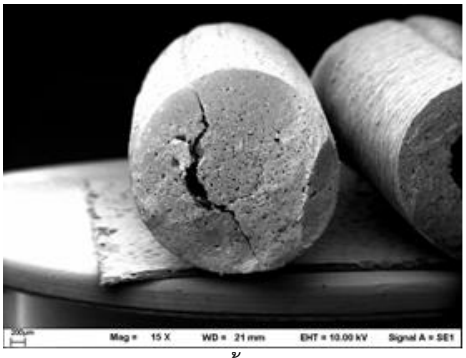
ร้อยละ 20 มีพื้นผิวรอบนอกที่ไม่เรียบ อาจเนื่องมาจากความชื้นที่ปริมาณต่ำทำให้ส่วนผสมมีความหนืดสูงและมีความแห้ง ส่วนผสมมีระยะเวลาอยู่ภายในเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์นานขึ้น ทำให้สตาร์ชได้รับความร้อนและแรงเฉือนมาก จนทำให้โครงสร้างของถูกย่อยจนมีโมเลกุลที่เล็กลง ปริมาณน้ำที่น้อยเกินไปจึงไม่สามารถทำให้สตาร์ชเกิดเจลาติไนซ์เซชันจนทำให้เส้นมีพื้นผิวที่เรียบเนียนต่อเนื่องได้ (ภาพที่ 3-6(ก)) ซึ่งแตกต่างกับพาสต้าที่มีปริมาณน้ำในส่วนผสมร้อยละ 25, 30 และ 35 (ภาพที่ 3-6(ข) (ค) และ (ง) ตามลำดับ) ที่มีพื้นผิวรอบนอกที่มีความเรียบเนียน ซึ่งเกิดจากโครงสร้างของสตาร์ชผ่านการเจลาติไนซ์เซชันแล้วเนื่องจากสตาร์ชได้รับปริมาณน้ำและความร้อนที่เหมาะสม ในขณะที่พบว่าเมื่อปริมาณน้ำในส่วนผสมเพิ่มมากขึ้นเป็นร้อยละ 40 (ภาพที่ 3-6(จ)) พื้นผิวรอบนอกของเส้นพาสต้ามีความขรุขระ อาจเนื่องจากน้ำในส่วนผสมมีปริมาณมาก ทำให้ส่วนผสมมีความหนืดต่ำ และถูกผลักพาออกสู่ด้านหน้าแปลนของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ได้อย่างรวดเร็ว ทำให้ระยะเวลาที่สตาร์ชได้รับความร้อนภายในเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์น้อยลง จนสตาร์ชไม่สามารถเกิดเจลาติไนซ์เซชันได้อย่างสมบูรณ์ ทำให้เห็นโครงสร้างที่ไม่ต่อเนื่องของส่วนผสมกลายเป็นผิวที่ขรุขระ แทนที่จะเกิดเป็นโครงสร้างที่ต่อเนื่องของสตาร์ชที่ผ่านการเจลาติไนซ์เซชันอย่างสมบูรณ์ เหมือนกับพาสต้าที่มีปริมาณน้ำในส่วนผสมร้อยละ 25, 30 และ 35



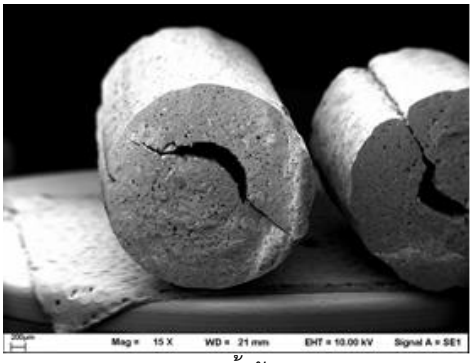
(ก) ปริมาณน้ำร้อยละ 20



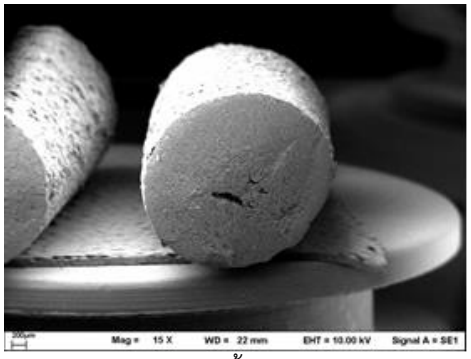
(ข) ปริมาณน้ำร้อยละ 25



(ค) ปริมาณน้ำร้อยละ 30

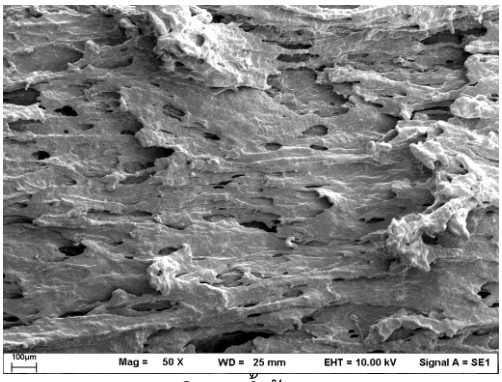


(ง) ปริมาณน้ำร้อยละ 35

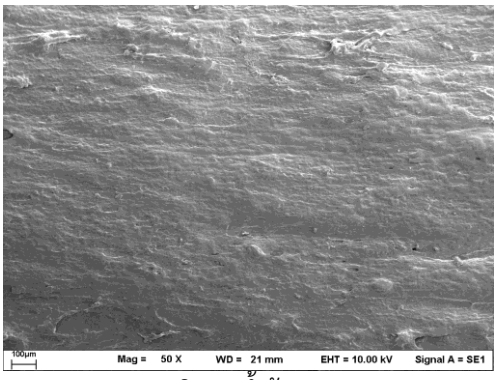


(จ) ปริมาณน้ำร้อยละ 40

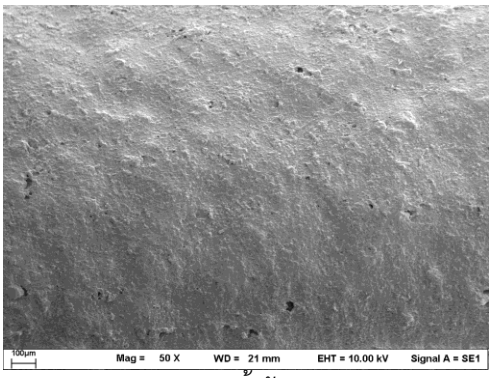
ภาพที่ 3-5 โครงสร้างจุลภาคในลักษณะตัดขวางของผลิตภัณฑ์พาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าที่เสริมน้ำหมึกผงในปริมาณร้อยละ 3 ที่มีปริมาณน้ำในส่วนผสมต่าง ๆ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ที่กำลังขยาย 15 เท่า



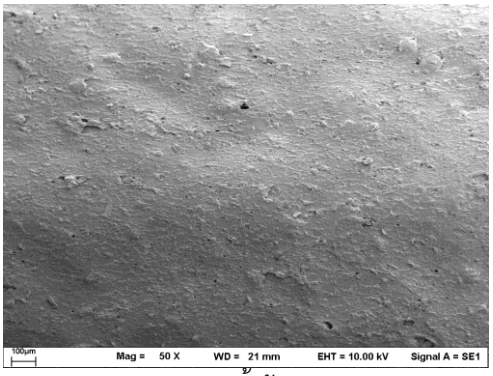
(ก) ปริมาณน้ำร้อยละ 20



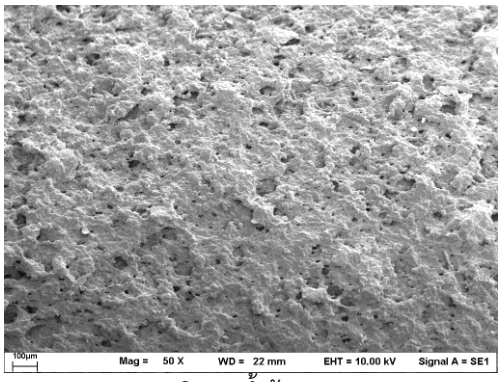
(ข) ปริมาณน้ำร้อยละ 25



(ค) ปริมาณน้ำร้อยละ 30



(ง) ปริมาณน้ำร้อยละ 35



(จ) ปริมาณน้ำร้อยละ 40

ภาพที่ 3-6 โครงสร้างจุลภาคบริเวณพื้นผิวรอบนอกของผลิตภัณฑ์พาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าที่เสริมน้ำหมึกผงในปริมาณร้อยละ 3 ที่มีปริมาณน้ำในส่วนผสมต่าง ๆ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope, SEM) ที่กำลังขยาย 50 เท่า

3.2.2.3 ผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสทางด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์พาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าที่เสริมน้ำหมึกผงในปริมาณร้อยละ 3 ที่มีปริมาณน้ำใน

ส่วนผสมร้อยละ 20, 25, 30, 35 และ 40 โดยวิธี 9-point hedonic scale ในการทดสอบใช้ผู้ทดสอบ 30 คน แสดงดังตารางที่ 3-12 พบว่าพาสต้าที่มีปริมาณน้ำในส่วนผสมแตกต่างกัน ได้รับคะแนนความชอบด้านสี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่ได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่นไม่แตกต่างกัน ($p\geq0.05$) พาสต้าที่มีปริมาณน้ำในส่วนผสมร้อยละ 20 ได้รับคะแนนความชอบด้านสีสูงที่สุด แต่ไม่แตกต่างกับที่ปริมาณน้ำร้อยละ 25 ในส่วนความชอบในด้านรสชาติพบว่าพาสต้าที่มีปริมาณน้ำในส่วนผสมร้อยละ 25 ได้รับคะแนนความชอบรสชาติสูงที่สุด แต่ไม่แตกต่างกับที่พาสต้าที่มีปริมาณน้ำร้อยละ 20 และ 30 ส่วนคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสพบว่าพาสต้าที่มีปริมาณน้ำในส่วนผสมร้อยละ 20 ได้รับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสสูงที่สุด แต่ไม่แตกต่างกับที่ปริมาณน้ำร้อยละ 25 และ 30 และพบว่าพาสต้าที่มีปริมาณน้ำในส่วนผสมร้อยละ 30 ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่ เท่ากับ 6.57 ซึ่งอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย แต่มีค่าไม่แตกต่างกับที่ปริมาณน้ำในส่วนผสมร้อยละ 20 และ 25

ตารางที่ 3-12 ผลคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์พาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าที่เสริมน้ำหมึกผงในปริมาณร้อยละ 3 ที่มีปริมาณน้ำในส่วนผสมร้อยละ 20, 25, 30, 35 และ 40

ปริมาณน้ำในส่วนผสม (ร้อยละ)	สี	กลิ่น^{ns}	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
20	7.10^{a}±0.92	6.70±0.99	6.00^{bc}±0.95	6.57^{a}±0.97	6.50^{a}±0.94
25	6.53^{ab}±0.97	6.43±0.94	6.50^{a}±0.94	6.17^{ab}±0.95	6.60^{a}±0.86
30	6.40^{bc}±0.93	6.37±0.93	6.33^{ab}±0.88	6.13^{ab}±0.97	6.57^{a}±0.97
35	5.87^{cd}±0.90	6.27±0.91	6.07^{abc}±0.91	5.85^{b}±0.85	5.87^{b}±0.97
40	5.67^{d}±0.84	6.57±0.90	5.77^{c}±0.86	5.60^{b}±0.93	5.80^{b}±0.85

$^{a,b...}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีอักษรกำกับมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีอักษรกำกับไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

3.2.2.4 ผลการพิจารณาคัดเลือกปริมาณน้ำที่เหมาะสม

การพิจารณาคัดเลือกปริมาณน้ำในส่วนผสมที่เหมาะสมในการผลิตพาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงร้อยละ 3 จากผลการวิเคราะห์การแปรปริมาณน้ำ 5 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 20, 25, 30, 35 และ 40 เมื่อพิจารณาผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส คะแนนความชอบโดยรวม พบว่าพาสต้าที่มีปริมาณน้ำในส่วนผสมร้อยละ 30 มีคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด ซึ่งไม่แตกต่างจากพาสต้าที่มีปริมาณน้ำในส่วนผสมร้อยละ 20 และ 25 ทั้งนี้ยังพบว่าพาสต้าที่มีปริมาณน้ำในส่วนผสม

ร้อยละ 20 25 และ 30 มีคุณลักษณะด้านการหุงต้ม เช่น เวลาที่เหมาะสมในการต้ม ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้ม และน้ำหนักที่ได้หลังการต้ม รวมทั้งลักษณะเนื้อสัมผัสค่าความต้านทานการดึงขาดที่ไม่แตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตามพบว่าพาสต้าที่มีปริมาณน้ำในส่วนผสมร้อยละ 30 มีลักษณะพื้นผิวภายนอกที่เรียบเนียน และโครงสร้างภายในมีฟองอากาศที่ขนาดเล็กกว่าพาสต้าที่มีปริมาณน้ำในส่วนผสมร้อยละ 20 และ 25 ซึ่งถือเป็นพาสต้าที่มีรูปลักษณ์ที่ดีกว่าและมีแนวโน้มที่จะแตกหักได้ยากกว่าเมื่ออยู่ในรูปแบบของผลิตภัณฑ์อบแห้งก่อนการคืนรูป โดยพาสต้าที่มีรูพรุนอยู่ภายในโครงสร้างมีแนวโน้มจะแตกหักเสียหายได้ง่ายกว่า ดังนั้นจึงเลือกพาสต้าที่มีปริมาณน้ำในส่วนผสมร้อยละ 30 ไปศึกษาในขั้นตอนต่อไป

3.2.3 ผลการพัฒนากระบวนการผลิตพาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงที่เหมาะสม

นำพาสต้าที่ได้คัดเลือกจากตอนที่ 3.2.2 คือ พาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงในปริมาณร้อยละ 3 มีปริมาณน้ำในส่วนผสมร้อยละ 30 มาทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตพาสต้าจากข้าวเจ้าด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชัน โดยแปรอุณหภูมิปรับอุณหภูมิบาร์เรลชุดที่ 2 (compression zone) เป็น 3 ระดับได้แก่ 65, 80 และ 95 องศาเซลเซียส และกำหนดอุณหภูมิบาร์เรลชุดที่ 1 (die zone) คงที่เท่ากับ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 80 รอบต่อนาที แต่จากการทำการทดลองเบื้องต้นดังภาพที่ 3-7 และ 3-8 พบว่า อุณหภูมิของบาร์เรลที่กำหนด 2 ระดับ คือ 65 และ 95 องศาเซลเซียส ไม่สามารถทำการผลิตพาสต้าออกมาเป็นเส้นที่สมบูรณ์อย่างต่อเนื่องได้ กล่าวคือที่ระดับอุณหภูมิของบาร์เรล 65 องศาเซลเซียส พบว่าเส้นของพาสต้าที่ได้ออกมาแตก บริเวณกลางของเส้นตามแนวยาว ผิวเส้นไม่เรียบเรียน ขระขรุ มีผงแป้งติดอยู่ ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากอุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ที่ใช้สำหรับการผลิตพาสต้าจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกน้อยเกินไป ไม่พอให้สตาร์ชเกิดการเจลาติไนซ์เซชันได้อย่างสมบูรณ์ จึงทำให้โครงสร้างของเส้นยังไม่แข็งแรง แต่ในขณะที่เมื่อปรับอุณหภูมิของบาร์เรลเป็น 95 องศาเซลเซียส พบว่าเส้นพาสต้าที่ได้มีลักษณะพองตัว และบิดงอ มีรูปร่างไม่สม่ำเสมอ ซึ่งอาจเป็นผลมาจากอุณหภูมิที่สูงเกิดไป อาจทำให้สตาร์ชเกิดการเสียหายเมื่อเส้นออกมาสู่หน้าแปลนความแตกต่างของอุณหภูมิและความดัน จึงทำให้น้ำที่อยู่ส่วนผสม ระเหยกลายเป็นไอน้ำ ดันโครงสร้างขึ้นมาเกิดเป็นลักษณะของรูพรุนและทำให้เส้นพองตัว ซึ่งไม่ใช่ลักษณะที่ดีของเส้นพาสต้า ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์มะกะโรนี (มอก. 475-2546) กำหนดความหมายของสปาเกตตี หมายถึง ผลิตภัณฑมะกะโรนีที่มีรูปรางเปนแทงกลมตัน และมีผิวเรียบ สม่ำเสมอ และมีคุณลักษณะที่ต้องการคือ ให้มีรูปร่างและลักษณะปรากฏสม่ำเสมอ (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2547) ดังนั้นผลิตภัณฑ์พาสต้าที่ผลิตในสภาวะอุณหภูมิของบาร์เรลชุดที่ 2 เท่ากับ 65 และ 95 องศาเซลเซียส มีคุณลักษณะที่ต้องการไม่เป็นตามเกณฑ์ที่กำหนด จากผล

การทดลองเบื้องต้นที่ได้กล่าวมาอาจสรุปได้ว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการผลิตพาสต้าจากข้าวเจ้าด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชันคือ อุณหภูมิบาร์เรลชุดที่ 2 เท่ากับ 80 องศาเซลเซียส

(ก.) อุณหภูมิ 65 °C (ข.) อุณหภูมิ 80 °C (ค.) อุณหภูมิ 95 °C

ภาพที่ 3-7 พาสต้าอบแห้งจากแป้งข้าวเจ้าที่เสริมน้ำหมึกผงที่ผลิตด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชันที่อุณหภูมิบาร์เรลชุดที่ 2 เท่ากับ 65, 80 และ 95 องศาเซลเซียส

(ก.) อุณหภูมิ 65 °C (ข.) อุณหภูมิ 80 °C (ค.) อุณหภูมิ 95 °C

ภาพที่ 3-8 พาสต้าหลังต้มสุกจากแป้งข้าวเจ้าที่เสริมน้ำหมึกผงที่ผลิตด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชันที่อุณหภูมิบาร์เรลชุดที่ 2 เท่ากับ 65, 80 และ 95 องศาเซลเซียส

3.2.4 ผลการเปรียบเทียบคุณภาพทางเคมี กายภาพ และลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์พาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกกับผลิตภัณฑ์พาสต้าทางการค้า

นำผลิตภัณฑ์พาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าที่ได้รับคัดเลือกจากการทดลองข้อที่ 3.2.3 คือ พาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกร้อยละ 3 มีปริมาณน้ำในส่วนผสมร้อยละ 30 ที่ผลิตพาสต้าโดยใช้เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ระดับห้องปฏิบัติการ ปรับอุณหภูมิบาร์เรลชุดที่ 1 (die zone) เท่ากับ 70 องศาเซลเซียส อุณหภูมิบาร์เรลชุดที่ 2 (compression zone) 80 องศาเซลเซียส และความเร็วรอบ 80 รอบต่อนาที มาทำการเปรียบเทียบกับพาสต้าทางการค้าดีหมึกที่ทำจากแป้งสาลี (ซื้อจากห้างแม็คโครชลบุรี)

ลักษณะปรากฏของพาสต้าอบแห้งจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงในปริมาณร้อยละ 3 และพาสต้าทางการค้ามีลักษณะดังภาพที่ 3-9 จากภาพจะเห็นได้ว่าพาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกในปริมาณร้อยละ 3 ที่ผ่านการอบแห้งมีสีดำ เป็นมันวาวเล็กน้อย เส้นมีขนาดใหญ่กว่าพาสต้าทางการค้าเล็กน้อย ซึ่งพาสต้าทางการค้าจะมีผิวเรียบเนียน และสม่ำเสมอมากกว่าพาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผง โดยหลังจากการการนำพาสต้าไปต้มด้วยระยะเวลาที่เหมาะสมตามข้อมูลในตารางที่ 3-13 พบว่าพาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าที่เสริมน้ำหมึกผงในปริมาณร้อยละ 3 และพาสต้าทางการค้าที่ผ่านการต้มสุกมีสีดำใกล้เคียงกัน แต่เส้นพาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงมีความเป็นมันวาว และเส้นมีความลื่นมากกว่าพาสต้าทางการค้า นอกจากนี้พบว่าเส้นพาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงผิวมีความขรุขระล็กน้อย และขาดง่าย แต่พาสต้าทางการค้ามีผิวเรียบเนียนสม่ำเสมอ เส้นมีลักษณะแน่นและเหนียว ซึ่งอาจเนื่องมาจากพาสต้าทางการค้า ทำจากแป้งสาลี ซึ่งมีโปรตีนกลูเตน โครงสร้างของพาสต้าทางการค้าจึงมีโครงสร้างที่แข็งแรง จึงมีลักษณะเหนียว และไม่ขาดง่ายเช่นเดียวกับพาสต้าที่ทำจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผง ซึ่งในแป้งข้าวมีสตาร์ชเป็นส่วนใหญ่ ไม่มีโปรตีนตีนกลูเตนเหมือนกับแป้งสาลี ดังภาพที่ 3-10

(ก) พาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผง

(ข) พาสต้าดีหมึกทางการค้า

ภาพที่ 3-9 พาสต้าอบแห้งจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผง (ก) และพาสต้าดีหมึกทางการค้า (ข)

(ก) พาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผง

(ข) พาสต้าดีหมึกทางการค้า

ภาพที่ 3-10 พาสต้าหลังต้มสุกจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผง (ก) และพาสต้าดีหมึกทางการค้า (ข)

3.2.4.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของพาสต้า

1) ผลการตรวจสอบคุณลักษณะด้านการหุงต้ม

จากการวิเคราะห์คุณลักษณะด้านการหุงต้มของผลิตภัณฑ์พาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์พาสต้าทางการค้าที่ แสดงผลดังตารางที่ 3-13

จากผลการทดลองพบว่าระยะเวลาที่เหมาะสมในการต้มสุกของพาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงปริมาณร้อยละ 3 มีค่ามากกว่าพาสต้าทางการค้า คือ 15.00 และ 12.00 นาที ตามลำดับ ($p<0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากพาสต้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 3 มีเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นพาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงเท่ากับ 0.21 เซนติเมตร ซึ่งมากกว่า พาสต้าทางการค้า (0.18 เซนติเมตร) ซึ่งเส้นพาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 3 มีขนาดใหญ่กว่านั้นความร้อนอาจเข้าไปได้ช้ากว่า และมีพื้นที่ผิวในการสัมผัสความร้อนได้น้อยกว่าพาสต้าทางการค้า จึงทำให้ต้องใช้เวลาในการต้มสุกนานกว่าพาสต้าทางการค้า นอกจากนี้อาจเป็นผลมาจากวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตแตกต่างกัน โดยโครงสร้างของเส้นพาสต้าที่ทำจากข้าวสาลีทางการค้าเกิดจากโปรตีนกลูเตนและสตาร์ช ซึ่งเป็นโครงสร้างที่มีช่องว่างที่น้ำสามารถแทรกผ่านไปได้ ส่วนพาสต้าที่ทำจากแป้งข้าวเจ้ามีโครงสร้างที่ทึบและแน่น ที่เกิดจากสตาร์ชเพียงอย่างเดียว (จริยา ตังพิริยะพงศ์ และชัชวาล หนูสูงเนิน , 2554) นอกจากนั้นยังเกี่ยวข้องกับอุณหภูมิการเกิดเจลาติไนซ์เซชันของแป้งทั้งสองชนิด กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยจอมขวัญ (2546) ที่กล่าวไว้ว่า อุณหภูมิในการเกิดเจลาทิไนซ์ของเม็ดแป้งแตกต่างกัน ซึ่งแป้งข้าวเจ้ามีอุณหภูมิในการเกิดเจลาทิไนซ์อยู่ในช่วง 68-78 องศาเซลเซียส สำหรับ

แป้งสาลีจะอยู่ในช่วง 58-64 องศาเซลเซียส และกระบวนการผลิตที่แตกต่างกันทำให้พาสต้าทั้งสองชนิดใช้เวลาในการต้มสุกแตกต่างกัน

ปริมาณของของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มของพาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 3 มีค่าเท่ากับร้อยละ 7.58 ซึ่งสูงกว่าพาสต้าทางการค้าที่มีค่าเท่ากับร้อยละ 6.18 จริยา ตังพิริยะพงศ์ และชัชวาล หนูสูงเนิน (2554) กล่าวว่า โครงสร้างของเส้นพาสต้าที่ทำจากข้าวสาลีทางการค้าเกิดจากโปรตีนกลูเตนและสตาร์ช ซึ่งเป็นโครงสร้างร่างแหที่มีความแข็งแรงมาก ส่วนพาสต้าที่ทำจากแป้งข้าวเจ้ามีโครงสร้างของเส้นเกิดจากสตาร์ชเป็นส่วนใหญ่ เมื่อนำไปต้มสตาร์ชจึงละลายออกมาได้มาก จึงทำให้พาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกมีปริมาณของแข็งที่สูญเสียมากกว่าพาสต้าทางการค้าที่ทำจากแป้งสาลี นอกจากนั้นการใช้เวลาในการต้มสุกที่มากกว่าทำให้พาสต้าจากแป้งข้าวมีปริมาณของแข็งที่สูญเสียสูงกว่าพาสต้าจากทางการค้า ซึ่งสอดคล้องกับ Baljeet et al. (2011) ที่กล่าวว่าเมื่อเพิ่มเวลาในการต้มทำให้ปริมาณอะไมโลสที่อยู่ในเม็ดแป้งละลายออกมา ส่งผลให้ปริมาณของของแข็งที่สูญเสียไปในระหว่างการต้มสูงขึ้น

จากผลการทดลอง พบว่า น้ำหนักที่ได้หลังการต้มของพาสต้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 3 มีค่าสูงกว่าเมื่อเทียบกับพาสต้าทางการค้า โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 252.58 และ 219.67 ตามลำดับ ($p < 0.05$) ซึ่งค่าที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ จริยา ตังพิริยะพงศ์ และชัชวาล หนูสูงเนิน (2554) ได้ทำการศึกษาผลของการเติมสาหร่ายผมนางต่อคุณภาพของพาสต้าจากข้าวเจ้า พบว่าพาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผมนางผงร้อยละ 4 มีน้ำหนักที่ได้หลังการต้มร้อยละ 92.29 ซึ่งมีค่ามากกว่าน้ำหนักที่ได้หลังการต้มของพาสต้าจากข้าวสาลีทางการค้าที่มีค่าเท่ากับร้อยละ 74.79 ทั้งนี้อาจเกิดจากส่วนผสมของพาสต้าทั้งสองชนิดที่มีความแตกต่างกัน

ตารางที่ 3-13 คุณภาพของผลิตภัณฑ์พาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงและผลิตภัณฑ์พาสต้าทางการค้า

ชนิดตัวอย่าง	เส้นผ่าศูนย์กลาง (เซนติเมตร)	เวลาที่เหมาะสมในการต้มสุก (นาที)	ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างต้ม (ร้อยละ)	น้ำหนักที่ได้หลังต้ม (ร้อยละ)
พาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผง	$0.21^{a} \pm 0.01$	15.00 ± 0.00	$7.58^{a} \pm 0.05$	$252.58^{a} \pm 2.68$
พาสต้าทางการค้า	$0.18^{b} \pm 0.00$	12.00 ± 0.00	$6.18^{b} \pm 0.08$	$219.67^{b} \pm 2.93$

$^{a,b...}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีอักษรกำกับมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

2) ผลการวิเคราะห์วัดค่าสี

จากการวิเคราะห์ค่าสีก่อนการคืนรูปของผลิตภัณฑ์พาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์พาสต้าทางการค้าที่ได้ แสดงผลดังตารางที่ 3-14 จากผลการทดลองพบว่าพาสต้าอบแห้งที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 3 มีค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน (b*) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 21.61 และ -1.12 ตามลำดับ และพาสต้าทางการค้ามีค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน (b*) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 17.88 และ -0.31 ตามลำดับ โดยค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน (b*) ที่ได้ของพาสต้าทั้งสองชนิดมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่พบว่าค่าความเป็นสีแดง-สีเขียว (a*) มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) จากผลการทดลองพบว่าค่าความสว่างของเส้นพาสต้าทางการค้ามีค่าต่ำกว่า หมายถึงเส้นมีความเป็นสีดำมากกว่าเส้นพาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงร้อยละ 3 ซึ่งอาจเนื่องมาจากพาสต้าทางการค้ามีการเติมน้ำหมึกในปริมาณที่มากกว่า (ร้อยละ 5.5) พาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงร้อยละ 3 แต่อย่างไรก็ตามจากการวิเคราะห์ค่าสีหลังต้มสุกของผลิตภัณฑ์ ดังตารางที่ 3-15 พาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์พาสต้าทางการค้าที่ได้พบว่าค่าสี (ค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน (b*) ค่าความเป็นสีแดง-สีเขียว (a*)) ของพาสต้าทั้งสองชนิดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

ตารางที่ 3-14 ค่าสีของผลิตภัณฑ์พาสต้าอบแห้งจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกและพาสต้าทางการค้า

ชนิดตัวอย่าง	L*	a*^{ns}	b*
พาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผง	21.61^{a} ± 0.04	0.76 ±0.03	-1.12^{a} ± 0.08
พาสต้าทางการค้า	17.88^{b} ± 0.08	0.42 ± 0.25	-0.31^{b} ± 0.23

$^{a,b...}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีอักษรกำกับมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีอักษรกำกับไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

ตารางที่ 3-15 ค่าสีของผลิตภัณฑ์พาสต้าหลังต้มสุกจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกและพาสต้าทางการค้า

ชนิดตัวอย่าง	L*^{ns}	a*^{ns}	b*^{ns}
พาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผง	15.52 ± 0.16	0.77 ± 0.29	-0.20 ± 0.06
พาสต้าทางการค้า	15.54 ± 0.01	0.52 ± 0.28	-0.11 ± 0.03

$^{a,b...}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีอักษรกำกับมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีอักษรกำกับไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

3) ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส

จากการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์พาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์พาสต้าทางการค้า แสดงผลดังตารางที่ 3-16 พบว่าพาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงร้อยละ 3 และพาสต้าทางการค้า มีค่าความต้องการต่อการดึงขาด ค่าความแน่นเนื้อ และการยึดเกาะที่ผิวหน้าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยพบว่าพาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึก มีค่าความต้านทานต่อการดึงขาด ค่าความแน่นเนื้อ และการยึดเกาะที่ผิวหน้า ต่ำกว่าพาสต้าทางการค้า อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เนื่องจากในแป้งสาลีมีคุณสมบัติพิเศษคือเมื่อนำมาผสมกับน้ำจะเกิดเป็นโดเหนียวที่เรียกว่ากลูเตน ซึ่งโปรตีนกลูเตนในแป้งสาลีจะส่งผลให้เส้นมีความแข็งแรงดังนั้นค่าแรงที่ใช้ในการดึงเส้นให้ขาดจึงมีค่าสูง ในขณะที่แป้งข้าวไม่มีโปรตีนกลูเตน จึงได้พาสต้าที่มีความต้านทานการดึงขาด ความแน่นเนื้อต่ำกว่าพาสต้าทางการค้าที่ทำจากแป้งสาลี ซึ่งสอดคล้องกับภาพลักษณะปรากฏของพาสต้าหลังจากการต้มสุกของพาสต้าทั้งสองชนิด ดังภาพที่ 3-10

ตารางที่ 3-16 ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์พาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกและผลิตภัณฑ์พาสต้าทางการค้า

ชนิดตัวอย่าง	ความต้านทานการดึงขาด (gf)	ความแน่นเนื้อ (gf)	การยึดเกาะที่ผิวหน้า (gf.sec)
พาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผง	$22.11^{b} \pm 1.02$	$6236.19^{b} \pm 102.03$	$201.21^{b} \pm 15.29$
พาสต้าทางการค้า	$40.78^{a} \pm 1.24$	$10477.42^{a} \pm 88.95$	$416.46^{a} \pm 15.12$

$^{a,b...}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีอักษรกำกับมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

3.2.4.2 ผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสทางด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์พาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าที่เสริมน้ำหมึกและผลิตภัณฑ์พาสต้าทางการค้า โดยวิธี 9-point hedonic scale ในการทดสอบใช้ผู้ทดสอบ 30 คน แสดงผลดังตารางที่ 3-17 พบว่าพาสทั้งสองชนิดได้รับคะแนนความชอบด้านสี กลิ่น และเนื้อสัมผัสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยพบว่าพาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกได้รับคะแนนความชอบด้านสี และกลิ่นมากว่าพาสต้าทางการค้า แต่พาสต้าพาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกได้รับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสน้อยกว่าพาสต้าทางการค้า และพบว่าพาสต้าทั้งสองชนิดได้รับคะแนนความชอบด้านรสชาติไม่แตกต่างกัน ($p\geq0.05$) ในส่วนของความชอบโดยรวมพบว่าพาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผง

ได้รับคะแนนความชอบโดยรวม 6.93 คะแนน (อยู่ในระดับความชอบปานกลาง) ซึ่งไม่แตกต่างกับพาสต้าทางการค้า ที่ได้ 6.80 คะแนน ($p \geq 0.05$)

ตารางที่ 3-17 ผลคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของของผลิตภัณฑ์พาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงและผลิตภัณฑ์พาสต้าทางการค้า

ชนิดตัวอย่าง	สี	กลิ่น	รสชาติ^{ns}	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม^{ns}
พาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผง	7.53 ^{a}±0.63	6.00 ^{a}±0.74	6.47±0.62	6.27 ^{b}±0.58	6.93±0.94
พาสต้าทางการค้า	6.87 ^{b}±0.73	5.60 ^{b}±0.72	6.50±0.63	6.93 ^{a}±0.78	6.80±0.55

$^{a,b...}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีอักษรกำกับมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีอักษรกำกับไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

3.2.4.3 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์พาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงร้อยละ 3 เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์พาสต้าทางการค้าที่ได้จากการวิเคราะห์ แสดงผลดังตารางที่ 3-18 เมื่อพิจารณาองค์ประกอบทางเคมีของพาสต้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 3 เปรียบเทียบกับพาสต้าทางการค้า พบว่าพาสต้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 3 มีปริมาณความชื้น โปรตีน เถ้า ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต ต่ำกว่า แต่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงกว่าพาสต้าทางการค้า

จากการวิเคราะห์สมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ ค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH และ การทำลายอนุมูลอิสระ DPPH ของผลิตภัณฑ์พาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงและพาสต้าทางการค้า แสดงดังตารางที่ 3-18 พบว่า ค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH และการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH ของผลิตภัณฑ์พาสต้าจากแป้งข้าวเสริมน้ำหมึกผงมีค่าน้อยกว่าน้อยกว่าพาสต้าทางการค้า อาจมีสาเหตุมาจากผลิตภัณฑ์พาสต้าทางการค้ามีการเติมน้ำหมึกในปริมาณร้อยละ 5.5 ของน้ำหนักแป้ง จึงส่งผลให้พาสต้าทางการค้ามีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าผลิตภัณฑ์พาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผง ที่มีการเติมน้ำหมึกผงเพียงร้อยละ 3

ตารางที่ 3-18 องค์ประกอบทางเคมีผลิตภัณฑ์พาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงและผลิตภัณฑ์พาสต้าดีหมึกทางการค้า

ค่าคุณภาพ	พาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึก	พาสต้าทางการค้า	น้ำหมึกผง[1]
องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ			
ปริมาณความชื้น[ns] (กรัม/100 กรัม)	9.64[b]±0.15	10.72[a]±0.03	7.17±0.10[c]
ปริมาณโปรตีน (กรัม/100 กรัม)*	8.35[b]±0.08	15.01[a]±0.04	64.09±0.10[a]
ปริมาณไขมัน (กรัม/100 กรัม)*	0.04[b]±0.01	1.05[a]±0.00	0.09±0.00
ปริมาณเถ้า (กรัม/100 กรัม)*	0.57[b]±0.00	1.22[a]±0.03	10.79±0.21
ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (กรัม/100 กรัม)*	91.04[a]±0.08	82.72[b]±0.08	25.03±0.30[c]
สมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ			
%Inhibition	35.01[b] ± 0.13	37.18[a]±0.16	98.89±0.19[a]
DPPH radical scavenging activity (µmol TE/g)*	77.85[b] ± 0.52	84.76[a]±0.52	1323.45±4.98[a]

[a,b,...] หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีอักษรกำกับมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

[ns] หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีอักษรกำกับไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

* รายงานโดยเทียบกับน้ำหนักฐานแห้ง (dry basis)

[1] หมายถึง น้ำหมึกผงที่ได้จากการทำแห้งน้ำหมึกด้วยเครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ที่อุณหภูมิ -50 ^{o}C 6 ชั่วโมง

อย่างไรก็ตามจากผลการวิจัยพบว่า แม้ว่าพาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงร้อยละ 3 จะมีคุณภาพด้านการหุงต้ม และเนื้อสัมผัสที่ยังไม่เทียบเท่าพาสต้าทางการค้า รวมทั้งมีปริมาณสารอาหาร เช่น โปรตีน ไขมัน และเถ้า รวมทั้งสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระที่ต่ำกว่า แต่จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสก็พบว่าผู้ทดสอบให้การยอมรับพาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงร้อยละ 3 ไม่แตกต่างกับพาสต้าทางการค้า ถือเป็นข้อมูลเบื้องต้น ที่แสดงให้เห็นว่าเราสามารถพัฒนาพาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงร้อยละ 3 ที่ผู้ทดสอบให้การยอมรับได้ ทั้งนี้อาจมีการศึกษาต่อไปเกี่ยวกับการปรับปรุงคุณภาพด้านการหุงต้ม และเนื้อสัมผัสของพาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงร้อยละ 3 ให้สามารถเทียบเท่ากับพาสต้าทางการค้าได้ในลำดับต่อไป

3.3. ผลการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผง

3.3.1 ผลการศึกษาปริมาณน้ำหมึกที่เหมาะสมที่เติมในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผง

เมื่อนำน้ำหมึกผงที่เตรียมด้วยการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่ได้จากข้อ 3.1 มาเติมลงในขนมขบเคี้ยว โดยแปรปริมาณน้ำหมึกผงเป็นร้อยละ 0.0, 2.5, 5.0, 7.5 และ 10.0 ของน้ำหนักแป้ง โดยปรับให้ส่วนผสมมีความชื้นร้อยละ 15 ผลิตขนมขบเคี้ยวโดยใช้เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ระดับห้องปฏิบัติการ ปรับอุณหภูมิบาร์เรลชุดที่ 1 (die zone) 110 องศาเซลเซียส โดยใช้ความเร็วรอบของสกรูคงที่ 150 รอบต่อนาที และอุณหภูมิบาร์เรลชุดที่ 2 คงที่ (compression zone) 80 องศาเซลเซียส ขนมขบเคี้ยวที่ได้มีลักษณะดังภาพที่ 3-11 จากภาพจะเห็นได้ว่า ขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าที่ไม่เติมน้ำหมึกผง มีสีขาว และเมื่อเติมน้ำหมึกผงลงในขนมขบเคี้ยว มีสีดำ ที่แตกต่างกับที่ไม่เติมน้ำหมึกผงอย่างชัดเจน และจากภาพลักษณะปรากฏเมื่อพิจารณาถึงการเพิ่มปริมาณน้ำหมึกผง จะพบว่าขนมขบเคี้ยวมีลักษณะพองตัวลดลง รูปร่างบิดเกลียว โดยเฉพาะขนมขบเคี้ยวที่มีการเติมน้ำหมึกผงร้อยละ 7.5 และ 10.0

(ก) น้ำหมึกผงร้อยละ 0.0 (ข) น้ำหมึกผงร้อยละ 2.5 (ค) น้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 (ง) น้ำหมึกผงร้อยละ 7.5 (ง) น้ำหมึกผงร้อยละ 10.0

ภาพที่ 3-11 ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงที่ปริมาณร้อยละ 0.0, 2.5, 5.0, 7.5 และ 10.0 ของน้ำหนักแป้ง

3.3.1.1 ผลของการวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของผลิตภัณฑ์

จากผลการวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่ปริมาณร้อยละ 0.0, 2.5, 5.0, 7.5 และ 10.0 ของน้ำหนักแป้ง ได้ผลดังตารางที่ 3-19 ซึ่งพบว่าปริมาณน้ำหมึกผงมีผลต่อเส้นผ่าศูนย์กลางของนมขบจากแป้งข้าวเจ้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ขนมขบเคี้ยวที่ไม่ได้เติมน้ำหมึกผงมีเส้นผ่าศูนย์กลางมากที่สุด แต่ไม่แตกต่างกับที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 2.5 ($p\geq0.05$) รองลงมาเป็นขนมขบเคี้ยวที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5 (แต่ไม่แตกต่างกับขนมขบเคี้ยวที่เติมร้อยละ 2.5) และขนมขบเคี้ยวที่มีการเติมน้ำหมึกผงร้อยละ

7.5 และ 10 มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยที่สุด เท่ากับ 0.74 และ 0.70 เซนติเมตร ตามลำดับ และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

3.3.1.2 ผลการวิเคราะห์สัดส่วนการพองตัวของผลิตภัณฑ์

จากผลการวิเคราะห์สัดส่วนการพองตัวของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่ปริมาณร้อยละ 0.0, 2.5, 5.0, 7.5 และ 10.0 ของน้ำหนักแป้ง ได้ผลดังตารางที่ 3-19 ซึ่งพบว่าปริมาณน้ำหมึกผงมีผลต่อสัดส่วนการพองตัวของขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ขนมขบเคี้ยวที่มีการเติมน้ำหมึกผงร้อยละ 2.5 มีสัดส่วนการพองตัวสูงที่สุด รองลงมาเป็น ที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 0.0 และ 5.0 ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) และขนมขบเคี้ยวที่มีการเติมน้ำหมึกผงร้อยละ 7.5 และ 10.0 มีสัดส่วนการพองตัวน้อยที่สุดและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ซึ่งเมื่อพิจารณาค่าเส้นผ่าศูนย์กลางที่รายงานไว้ข้างต้น จะเห็นได้ว่าสัดส่วนการพองตัและเส้นผ่าศูนย์กลางมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน เนื่องจากสัดส่วนการพองตัวของผลิตภัณฑ์ คือสัดส่วนระหว่างเส้นผ่าศูนย์กลางของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวและเส้นผ่าศูนย์กลางของหน้าแปลน (die) (Sangnark et al., 2015) ซึ่งเส้นผ่าศูนย์กลางแสดงถึงขนาดของผลิตภัณฑ์ ถ้าผลิตภัณฑ์มีเส้นผ่าศูนย์กลางมาก คือมีขนาดใหญ่ ผลิตภัณฑ์ก็จะมีสัดส่วนการพองตัวที่มากเช่นกัน

ตารางที่ 3-19 เส้นผ่าศูนย์กลางและสัดส่วนการพองตัวของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงในปริมาณต่างๆ

ปริมาณน้ำหมึกผง (ร้อยละของน้ำหนักแป้ง)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (เซนติเมตร)	สัดส่วนการพองตัว
0.0	0.88 ± 0.01^{a}	2.93 ± 0.13^{b}
2.5	0.87 ± 0.03^{ab}	3.16 ± 0.14^{a}
5.0	0.84 ± 0.03^{b}	2.86 ± 0.12^{b}
7.5	0.74 ± 0.02^{c}	2.46 ± 0.08^{c}
10.0	0.70 ± 0.02^{c}	2.36 ± 0.07^{c}

$^{a,b,...}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีอักษรกำกับมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

จากผลการวิเคราะห์ค่าเส้นผ่าศูนย์กลางและสัดส่วนการพองตัวของผลิตภัณฑ์ที่ได้พบว่าเมื่อปริมาณน้ำหมึกผงที่เติมลงขนมขบเคี้ยวมากขึ้น มีผลทำให้เส้นผ่าศูนย์กลางและสัดส่วนการพองตัวลดลง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งอาจเนื่องมาจาก อนุภาคของน้ำหมึกผงที่เติมลง

ไปนั้นไม่สามารถไปรวมตัวกับสตาร์ชให้เป็นเนื้อเดียวกัน จึงทำให้ขนมขบเคี้ยวพองตัวได้น้อยลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Charunuch, Tangkanakul, Rungchang and Sonted (2008) ที่ทำการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชันจากข้าวเจ้าเสริมใบหม่อน โดยเติมใบหม่อนผง 3 ระดับ คือ ร้อยละ 5.0, 7.5 และ 10.0 ซึ่งพบว่าปริมาณใบหม่อนผงมีผลต่อสัดส่วนการพองตัวของขนมขบเคี้ยวที่ได้ โดยเมื่อปริมาณใบหม่อนผงที่เติมเพิ่มมากขึ้น มีผลให้สัดส่วนการพองตัวของขนมขบเคี้ยวที่ได้ลดลง

3.3.1.3 ผลการวิเคราะห์ค่าการดูดซับน้ำและค่าการละลายของผลิตภัณฑ์

จากผลการวิเคราะห์ค่าการดูดซับน้ำและค่าการละลายน้ำของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่ปริมาณร้อยละ 0.0, 2.5, 5.0, 7.5 และ 10.0 ของน้ำหนักแป้ง ได้ผลดังตารางที่ 3-20 ซึ่งพบว่าปริมาณน้ำหมึกผงมีผลต่อค่าการดูดซับน้ำและค่าการละลายน้ำของขนมขบเคี้ยวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ค่าการดูดซับน้ำ แสดงถึงระดับการเกิดเจลาทิไนซ์เซชันของสตาร์ชโดยเป็นการวัดปริมาตรอนุภาคของตัววัตถุดิบที่สามารถดูดซับน้ำเอาไว้ (โสภิดา ก่อเกิด, 2555) จากผลการวิเคราะห์พบว่าการเพิ่มปริมาณน้ำหมึกผงเป็นร้อยละ 2.5 ทำให้ค่าการดูดซับน้ำลดลง ซึ่งอาจเนื่องมาจากน้ำหมึกผงที่เติมลงไป ไปแย่งสตาร์ชดูดซับน้ำ ทำให้สตาร์ชดูดซับน้ำได้น้อยลง น้ำปริมาณที่สตาร์ชดูดซับไว้ได้จึงน้อยลง ส่งผลให้ระดับการเกิดเจลาทิไนซ์เซชันของสตาร์ชลดลง ค่าการดูดซับน้ำจึงลดลง แต่เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำหมึกผงเป็นร้อยละ 5.0, 7.5 และ 10.0 ค่าการดูดซับน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ทั้งนี้อาจเนื่องจาก ตัวน้ำหมึกเองมีสารเอกต่าง ๆ ซึ่งสามารถดูดซับน้ำไว้ในตัว เมื่อเติมน้ำหมึกผงในปริมาณที่มากขึ้น ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์มีการดูดซับน้ำมากขึ้นเล็กน้อย แต่อย่างไรก็ตามพบว่าขนมขบเคี้ยวที่มีการเติมน้ำหมึกผงร้อยละ 0.0, 5.0, 7.5 และ 10.0 มีค่าการดูดซับน้ำไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

ค่าการละลายน้ำ แสดงถึง ปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์ที่ปล่อยออกมาจากอนุภาคของสตาร์ชในน้ำปริมาณมากเกินพอ ซึ่งค่านี้บ่งบอกถึงลักษณะของผลิตภัณฑ์เอกซ์ทรูเดต โดยเมื่อมีค่านี้สูง แสดงถึงสตาร์ชถูกทำลายจากกระบวนการเอกซ์ทรูชันมาก (Sriburi & Hill, 2000) จากผลการทดลองค่าการละลายน้ำ ดังตารางที่ 3-20 พบว่าขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 10.0 มีค่าการละลายน้ำสูงที่สุด โดยการเติมน้ำหมึกผงร้อยละ 0.0, 2.5, 5.0 และ 7.5 มีค่าการละลายที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) อย่างไรก็ตามเป็นที่สังเกตว่าค่า เมื่อปริมาณน้ำหมึกผงที่เติมมีปริมาณมากขึ้นการละลายน้ำมีค่าเพิ่มมากขึ้น การเพิ่มขึ้นของค่าการละลายน้ำ อาจเกิดจากในระหว่างการวิเคราะห์น้ำหมึกผงที่เติมลงไปละลายออกมา ซึ่งทำให้ค่าการละลายน้ำมากขึ้น และส่วนหนึ่งอาจเกิดจากน้ำหมึกผงจะไปกระจายตัวในส่วนผสม และเพิ่มความหนืดของส่วนผสมให้มากขึ้น เมื่อส่วนผสมอยู่ภายในเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์นานขึ้น จึงทำให้สตาร์ชเกิดการสลายตัวกลายเป็น

โมเลกุลขนาดเล็ก (degradation) จากความร้อนและแรงเฉือนที่เกิดขึ้นภายในเครื่องเอกทรูเดอร์ (Ding et al., 2005) ทำให้ค่าการละลายน้ำมีค่าเพิ่มมากขึ้นด้วย

ตารางที่ 3-20 ค่าการดูดซับน้ำและค่าการละลายน้ำของของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงในปริมาณต่างๆ

ปริมาณน้ำหมึกผง (ร้อยละของน้ำหนักแป้ง)	การดูดซับน้ำ	การละลายน้ำ
0.0	7.67±0.18^{a}	14.02±1.83^{c}
2.5	6.36±1.14^{b}	13.61±1.87^{c}
5.0	7.75±0.24^{a}	13.81±0.51^{c}
7.5	7.04±0.32^{a}	15.84±±1.36^{bc}
10.0	7.48±0.25^{a}	17.72±1.52^{a}

$^{a,b,...}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยนในแนวตั้งที่มีอักษรกำกับมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

3.3.1.4 ผลการวิเคราะห์ค่าสี

จากผลการวิเคราะห์ค่าสีของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่ปริมาณร้อยละ 0.0, 2.5, 5.0, 7.5 และ 10.0 ของน้ำหนักแป้ง ได้ผลดังตารางที่ 3-21 ซึ่งพบว่าปริมาณน้ำหมึกผงมีผลต่อค่า L* a* และ b* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) จากผลการทดลองพบว่า เมื่อเติมน้ำหมึกผงในปริมาณที่มากขึ้นที่ร้อยละ 2.5, 5.0, 7.5 และ 10.0 มีผลทำให้ค่า L* ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ค่า L* ซึ่งเป็นค่าแสดงถึงความสว่างมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำหมึกผง แสดงว่าการเพิ่มปริมาณน้ำหมึกผงมีผลทำให้ขนมขบเคี้ยวมีสีเข้มหรือดำขึ้น ค่า a* แสดงถึงค่าความเป็นสีเขียว-แดง โดยที่ถ้าเป็นบวกคือสีมีแนวโน้มไปทางสีแดง ถ้าเป็นลบคือสีมีแนวโน้มไปทางสีเขียว จากผลการวิเคราะห์ พบว่าขนมขบเคี้ยวที่ไม่มีการเติมน้ำหมึกผงมีค่า a* เป็นลบ คือมีความเป็นสีเขียว แต่ในขณะที่ขนมขบเคี้ยวที่มีการเติมน้ำหมึกผงทุกระดับมีค่า a* เป็นบวก คือตัวอย่างมีความเป็นสีแดง ในด้านค่า b* แสดงถึงความเป็นสีน้ำเงินเหลือง ถ้าค่าเป็นบวกคือสีมีแนวโน้มไปทางสีเหลือง แต่ถ้าค่าเป็นลบสีมีแนวโน้มไปทางสีน้ำเงิน พบว่าขนมขบเคี้ยวที่มีการเติมน้ำหมึกผงมีค่า b* มากกว่าขนมขบเคี้ยวที่ไม่ได้เติมน้ำหมึกผง ($p<0.05$) และขนมขบเคี้ยวที่เติมน้ำหมึกผงร้อย 2.5, 5.0, 7.5 และ 10.0 มีค่า b* ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) และมีค่า b* น้อยกว่าขนมขบเคี้ยวที่ไม่มีการเติมน้ำหมึกผง หมายถึงสีของขนมขบเคี้ยวที่เติมน้ำหมึกผงมีความเป็นสีน้ำเงินมากขึ้น เนื่องจากรงควัตถุสีดำ หรือเมลานิน ที่อยู่ในน้ำหมึกประมาณร้อยละ 30.8 (ชาติ ประชาชื่น, 2556) ดังนั้นเมื่อเติมน้ำหมึกผงในปริมาณที่มากขึ้นจึงทำให้ค่าความสว่าง และค่าความเป็นสีเหลืองของขนมขบเคี้ยวลดลง

ตารางที่ 3-21 ค่าสี L* a* b* ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงที่ปริมาณต่าง ๆ

ปริมาณน้ำหมึกผง (ร้อยละของน้ำหนักแป้ง)	L*	a*	b*
0.0	82.61±0.06[a]	-0.22±0.04[b]	12.14±0.11[a]
2.5	23.57±0.16[b]	0.92±0.26[a]	0.95±0.54[b]
5.0	21.13±0.08[c]	0.60±0.20[a]	0.92±1.44[b]
7.5	19.72±0.08[d]	0.53±0.08[a]	0.64±0.27[b]
10.0	17.18±0.12[c]	0.72±0.16[a]	0.51±0.18[b]

[a,b,...] หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีอักษรกำกับมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

3.3.1.5 ผลการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์

จากผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ซึ่งได้แก่ค่าความแข็ง (hardness) และค่าความแตกเปราะ (fracturability) ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่ปริมาณร้อยละ 0.0, 2.5, 5.0, 7.5 และ 10.0 ของน้ำหนักแป้ง ได้ผลดังตารางที่ 3-22 ซึ่งพบว่าปริมาณน้ำหมึกผงมีผลต่อค่า ความแข็งและค่าความแตกเปราะของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ค่าความแข็ง เป็นสมบัติด้านเนื้อสัมผัส โดยทำการวิเคราะห์ค่าความแข็งด้วยการทดสอบแบบการกด (compression test) ความแข็ง ของวัสดุแสดงด้วย แรงกดสูงสุด (maximum force, N) ก่อนที่วัสดุจะแตกหัก โดยที่ถ้าวัสดุที่มีความแข็งมากจะมีแรงกดมาก (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์, ม.ป.ป.) จากผลการทดลองพบว่าเมื่อเติมน้ำหมึกผงในปริมาณที่มากขึ้นในทุกระดับ (ร้อยละ 0.0, 2.5, 5.0, 7.5 และ 10.0) มีผลทำให้ค่าความแข็งของขนมขบเคี้ยวที่ได้ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ค่าความแข็งที่ลดลงนั้น อาจเนื่องมาจากความแข็งแรงของโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวมีค่าลดลง เป็นผลมาจากน้ำหมึกเข้าไปขัดขวางการจับกันสตาร์ชซึ่งทำหน้าที่เป็นโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ จึงอาจส่งผลให้ความแข็งของผลิตภัณฑ์มีค่าลดลง

จากผลการวิเคราะห์ค่าความแตกเปราะดังตารางที่ 3-22 พบว่าปริมาณน้ำหมึกผงมีผลต่อค่าความแตกเปราะอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งพบว่าขนมขบเคี้ยวที่มีการเติมน้ำหมึกผงที่ร้อยละ 2.5, 5.0 และ 7.5 และ 10.0 มีค่าความแตกเปราะต่ำกว่าขนมขบเคี้ยวที่ไม่มีการเติมน้ำหมึกผง แต่ขนมขบเคี้ยวที่มีการเติมน้ำหมึกผงร้อยละ 10.0 มีค่าความแตกเปราะต่ำกว่าขนมขบเคี้ยวที่ไม่ได้เติมน้ำหมึกผง (แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)) จากการพิจารณาการเพิ่มปริมาณน้ำหมึกผง จะพบว่าเมื่อปริมาณน้ำหมึกผงเพิ่มมากขึ้น จากประมาณร้อยละ 0.0 เป็นร้อยละ

2.5 และ 7.5 ค่าความแตกเปราะมีแนวโน้มลดลง แต่เมื่อปริมาณน้ำหมึกผงที่เติมเพิ่มมากขึ้น เป็นร้อยละ 7.5 และ 10.0 ค่าความแตกเปราะกลับมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

Fracturability หรือค่าความแตกเปราะนั้นคือค่าระยะทางที่กดลงไปถึงจุดที่ทำให้ตัวอย่างแตก ถ้าระยะสั้น คือตัวอย่างแตกง่าย หมายถึงตัวอย่างมีค่าความกรอบสูง ซึ่งจากผลการเพิ่มปริมาณน้ำหมึกผงที่กล่าวมาข้างต้น สังเกตได้ว่าขนมขบเคี้ยวที่เติมน้ำหมึกผงในปริมาณร้อยละ 2.5 ถึงร้อยละ 5.0 มีความกรอบมากขึ้น แต่เมื่อเติมน้ำหมึกผงเพิ่มมากเกินไปเป็นร้อยละ 7.5 ถึงร้อยละ 10.0 จะทำให้ขนมขบเคี้ยวมีความกรอบลดลง

ตารางที่ 3-22 ค่าความแข็งและค่าความแตกเปราะของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงในปริมาณต่างๆ

ปริมาณน้ำหมึกผง (ร้อยละ)	ค่าความแข็ง (gf)	ค่าความแตกเปราะ (mm.)
0.0	3177.12±12.80^{a}	2.12±0.06^{a}
2.5	2543.46±45.57^{b}	1.49±0.25^{b}
5.0	2175.25±70.53^{c}	1.24±0.03^{c}
7.5	1385.47±70.32^{d}	1.40±0.05^{bc}
10.0	712.85±11.75^{e}	2.00±0.07^{a}

$^{a,b,...}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยนในแนวตั้งที่มีอักษรกำกับมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ความกรอบเป็นตัวบ่งชี้ถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว ซึ่งผู้บริโภคใช้เป็นเกณฑ์หลักเพื่อพิจารณาตัดสินการยอมรับ ขนมขบเคี้ยวที่มีความกรอบ จะมีภายในที่เป็นโพรงอากาศหรือช่องว่าง โครงสร้างที่เป็นโพรงอากาศหรือช่องว่างนี้เกิดมาจาก น้ำภายในส่วนผสมระเหยออกมาและดันสตาร์ชพองขึ้น เมื่อส่วนผสมเคลื่อนที่ออกมาสู่ด้านหน้าแปลนของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ (ชลลดา ไร่ขาม, 2556) ขนมขบเคี้ยวที่ผลิตจากกระบวนการเอกซ์ทรูชันจะมีลักษณะพอง และกรอบได้นั้น ต้องอาศัยสภาวะที่มีปัจจัยต่าง ๆ เหมาะสม เช่น ชนิดของส่วนผสม ความชื้นของส่วนผสม อุณหภูมิในระหว่างการเอกซ์ทรูชัน ระยะเวลาที่ส่วนผสมอยู่ในเครื่อง เป็นต้น ซึ่งการเติมน้ำหมึกผงในปริมาณแตกต่างกัน ทำให้ปริมาณสตาร์ชในส่วนผสมแตกต่างกันตามไปด้วย ในขณะที่ปัจจัยอื่น ๆ เช่น ความชื้นของส่วนผสม และอุณหภูมิอยู่ในสภาวะคงที่ ย่อมส่งผลให้การพองตัวหรือความแข็งแรงของโครงสร้างขนมขบเคี้ยวแตกต่างกัน ดังนั้น อาจกล่าวได้ว่าจะมีปริมาณน้ำหมึกผงที่ความเหมาะสม ที่ทำให้สภาะของกระบวนการเอกซ์ทรูชันเหมาะสมสามารถผลิตขนมขบเคี้ยวมีค่าความกรอบมากที่สุด ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าขนมขบเคี้ยวที่มีการเติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 มีค่าความแตกเปราะต่ำ

ที่สุด แต่อย่างไรก็ตาม ขนมขบเคี้ยวที่มีการเติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 และ 7.5 มีค่าความกรอบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าเมื่อเติมน้ำหมึกผงในปริมาณมากร้อยละ 10.0 ค่าความแตกเปราะจะมีค่าเพิ่มขึ้นมาก ซึ่งจากภาพลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ (ภาพที่ 3-11) ขนมขบเคี้ยวที่มีการเติมน้ำหมึกผงร้อยละ 10.0 จะมีเนื้อสัมผัสคล้ายโฟม เนื้อกดจะมีลักษณะนุ่มและยุบลง จึงทำให้ค่าการแตกเปราะของผลิตภัณฑ์มีค่ามากขึ้น

3.3.1.6 ผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

จากผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงในปริมาณร้อยละ 0.0, 2.5, 5.0, 7.5 และ 10.0 ด้วยวิธี 9-Point Hedonic Scale ใช้ผู้ทดสอบทั้งหมด 30 คน แสดงผลดังตารางที่ 3-23 พบว่าผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงในปริมาณที่แตกต่างกัน ได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมแตกต่างกัน ($p<0.05$) ด้านลักษณะปรากฏพบว่า ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่มีการน้ำหมึกผงร้อยละ 0.0, 2.5, 5.0 และ 7.5 ได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏสูงที่สุด และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) แต่ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 10.0 ได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏน้อยที่สุด ($p<0.05$) อาจเนื่องมาจากลักษณะของขนมขบเคี้ยวที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 10.0 จะมีลักษณะแตกต่างจากผลิตภัณฑ์อื่น มีลักษระผิวขรุขระ บิดเกลียว มีรูปร่างไม่สม่ำเสมอ ดังภาพลักษณะปรากฏที่ 3-11 ในส่วนคะแนนความชอบด้านสี พบว่าขนมขบเคี้ยวที่มีการเติมน้ำหมึกผงร้อยละ 7.5 ได้รับคะแนนความชอบด้านสีสูงที่สุด แต่มีคะแนนไม่แตกต่างกับขนมขบเคี้ยวที่มีการเติมน้ำหมึกผงร้อยละ 2.5, 5.0 และ 10.0 ($p \geq 0.05$) อย่างไรก็ตามจากการสังเกตแนวโน้มจะพบว่าขนมขบเคี้ยวที่มีการเติมน้ำหมึกผงจะได้รับคะแนนความชอบด้านสี อยู่ในช่วง 6.13-6.77 คะแนน (อยู่ในระดับชอบเล็กน้อย) ซึ่งมากกว่าคะแนนความชอบด้านสีขนมขบเคี้ยวที่ไม่ได้เติมน้ำหมึกผงที่มีค่าเท่ากับ 5.90 คะแนน (อยู่ในระดับเฉย ๆ) อาจแสดงถึงผู้บริโภคมีความชอบสีของขนมขบเคี้ยวที่มีการเติมน้ำหมึกผงมากกว่า โดยขนมขบเคี้ยวที่มีการเติมน้ำหมึกผงร้อยละ 2.5, 5.0 และ 10.0 ได้รับคะแนนความชอบด้านสีไม่แตกต่างกับขนมขบเคี้ยวที่ไม่เติมน้ำหมึกผงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) คะแนนความชอบด้านกลิ่น พบว่าขนมขบเคี้ยวที่เติมน้ำหมึกร้อยละ 5.0 ได้รับคะแนนความชอบสูงที่สุด แต่ไม่แตกต่างจากขนมขบเคี้ยวที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 2.5 และ 7.5 ($p \geq 0.05$) และพบว่าขนมขบเคี้ยวที่มีการเติมน้ำหมึกผงร้อยละ 0.0 และ 10.0 ได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่นน้อยที่สุด ($p<0.05$) อาจเนื่องมาจากขนมขบเคี้ยวที่ไม่มีการเติมน้ำหมึกผง ไม่มีกลิ่นรส แต่ถ้าเติมน้ำหมึกผงมากถึงร้อยละ 10.0 ขนมขบเคี้ยวที่ได้อาจมีกลิ่นคาวจากหมึก ผู้บริโภคจึงมีความด้านกลิ่นลดลง ส่วนความชอบด้านกลิ่นรส พบว่าขนมขบเคี้ยวที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 ได้รับคะแนน

ความชอบสูงที่สุด รองลงมาเป็นขนมขบเคี้ยวที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 2.5 และ 7.5 และมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) และพบว่าขนมขบเคี้ยวที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 0.0 และ 10.0 ได้รับคะแนนต่ำที่สุด และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) ทั้งนี้แสดงให้เห็นว่า ขนมขบเคี้ยวที่ไม่ได้เติมน้ำหมึกผงอาจไม่มีกลิ่นรส ผู้บริโภคจึงให้คะแนนความชอบน้อย แต่ถ้าเติมน้ำหมึกผงปริมาณมากเกินไป เป็นร้อยละ 10.0 อาจกลิ่นรสความจากหมึกที่เติมมากจนเกินไป จนทำให้ผู้บริโภคมีความชอบลดลง และคะแนนความชอบด้านลักษณะเนื้อสัมผัสพบว่าขนมขบเคี้ยวที่มีการเติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 ได้รับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสมากที่สุด ($p<0.05$) ทั้งนี้เมื่อพิจารณาจากการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส ขนมขบเคี้ยวที่มีการเติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 มีความกรอบมากที่สุด ผู้บริโภคจึงให้คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสมากที่สุด รองลงมาคือขนมขบเคี้ยวที่มีการเติมน้ำหมึกร้อยละ 2.5, 7.5 และ 10.0 ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) และขนมขบเคี้ยวที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 0.0 ได้รับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสน้อยที่สุด ($p<0.05$) และจากผลคะแนนความชอบโดยรวม พบว่าขนมขบเคี้ยวที่มีการเติมน้ำหมึกร้อยละ 5.0 ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมมากที่สุด ($p<0.05$) เท่ากับ 7.07 คะแนน อยู่ในระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าขนมขบเคี้ยวที่มีการเติมน้ำหมึกร้อยละ 5.0 ได้รับคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านอื่นๆ (ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นรส และเนื้อสัมผัส) มากที่สุดเช่นกัน

ตารางที่ 3-23 ผลคะแนนการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวแป้งเจ้าเสริมน้ำหมึกผงในปริมาณต่างๆ

ปริมาณน้ำหมึกผง (ร้อยละ)	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่น	กลิ่นรส	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
0.0	6.33 ± 1.88^{a}	5.90 ± 1.84^{b}	5.77 ± 1.75^{b}	5.23 ± 1.79^{d}	4.80 ± 2.07^{c}	5.53 ± 1.79^{c}
2.5	6.63 ± 1.37^{a}	6.57 ± 1.28^{ab}	5.93 ± 1.23^{a}	6.10 ± 1.18^{b}	5.97 ± 1.65^{b}	6.23 ± 1.33^{b}
5.0	6.57 ± 1.43^{a}	6.13 ± 1.50^{ab}	6.27 ± 1.38^{a}	6.73 ± 1.25^{a}	6.97 ± 1.33^{a}	7.07 ± 1.33^{a}
7.5	6.83 ± 1.15^{a}	6.77 ± 1.33^{a}	5.77 ± 1.16^{ab}	5.90 ± 1.21^{bc}	5.50 ± 1.55^{b}	5.97 ± 1.21^{bc}
10.0	5.33 ± 1.77^{b}	6.30 ± 1.47^{ab}	5.27 ± 1.46^{b}	5.50 ± 1.19^{cd}	5.33 ± 1.47^{bc}	5.40 ± 1.25^{c}

$^{a,b\ldots}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยนในแนวตั้งที่มีอักษรกำกับมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

3.3.1.7 ผลการพิจารณาเลือกปริมาณน้ำหมึกผงที่เหมาะสม

จากผลการวิเคราะห์ค่าคุณภาพและผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงในปริมาณต่างๆ ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงการยอมรับของ

ผู้บริโภคจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านต่างๆ พบว่าผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด ($p<0.05$) และเมื่อพิจารณาร่วมกับค่าคุณภาพด้านอื่น ๆ พบว่า ขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและสัดส่วนการพองตัวมาก และมีเนื้อสัมผัสที่เหมาะสม คือมีความกรอบมากที่สุด ดังนั้นจึงคัดเลือกผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 ของน้ำหนักแป้งมาศึกษาในตอนต่อไป

3.3.2 ผลการพัฒนากระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผง

จากการผลิตขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผง โดยใช้ปริมาณน้ำหมึกผงที่คัดเลือกมาคือร้อยละ 5.0 โดยปัจจัยที่ต้องการศึกษามีด้วยกัน 2 ปัจจัย ได้แก่ ความชื้นของส่วนผสม 3 ระดับ คือ ร้อยละ 15, 20 และ 25 และอุณหภูมิบาร์เรล (barrel temperature) 3 ระดับ คือ 90, 100 และ 110 องศาเซลเซียส ผลิตขนมขบเคี้ยวโดยใช้เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ระดับห้องปฏิบัติการ โดยใช้ความเร็วรอบของสกรู 150 รอบต่อนาที ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกที่ได้จากการพัฒนากระบวนการผลิตมีลักษณะดังภาพที่ 3-12

จากการวิเคราะห์ผลความแปรปรวนของสมบัติทางกายภาพของขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 ได้แก่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง สัดส่วนการพองตัว การดูดซับน้ำ การละลายน้ำ ลักษณะเนื้อสัมผัส โดยแปรอุณหภูมิของบาร์เรลและความชื้นของส่วนผสม ได้ผลดังตารางที่ 3-24 จากตารางพบว่า ปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิของบาร์เรลและความชื้นของส่วนผสม มีผลต่อค่าคุณภาพทุกค่า คือเส้นผ่าศูนย์กลาง สัดส่วนการพองตัว การดูดซับน้ำ การละลายน้ำ ค่าความแข็ง และค่าความแตกเปราะของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

(ก) ความชื้น 15% อุณหภูมิ 90 °C

(ข) ความชื้น 15% อุณหภูมิ 100 °C

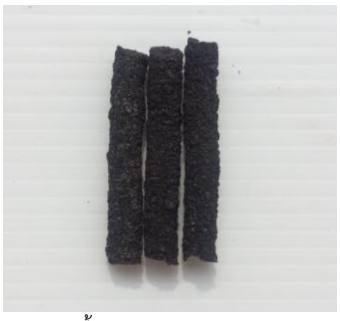
(ค) ความชื้น 15% อุณหภูมิ 110 °C

(ง) ความชื้น 20% อุณหภูมิ 90 °C

(จ) ความชื้น 20% อุณหภูมิ 100 °C

(ฉ) ความชื้น 20% อุณหภูมิ 110 °C

(ช) ความชื้น 25% อุณหภูมิ 90 °C



(ซ) ความชื้น 25% อุณหภูมิ 100 °C

(ฌ) ความชื้น 25% อุณหภูมิ 110 °C

ภาพที่ 3-12 ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 ที่ความชื้นของส่วนผสมและอุณหภูมิต่าง ๆ

ตารางที่ 3-24 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมบัติทางกายภาพของขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 โดยแปรอุณหภูมิของบาร์เรลและความชื้นของส่วนผสม

ค่าคุณภาพ	อุณหภูมิ	ความชื้น	อุณหภูมิxความชื้น
เส้นผ่าศูนย์กลาง	ns	Sig	Sig
สัดส่วนการพองตัว	Sig	Sig	Sig
การดูดซับน้ำ	ns	Sig	Sig
การละลายน้ำ	ns	Sig	Sig
ค่าความแข็ง	Sig	Sig	Sig
ค่าความแตกเปราะ	ns	Sig	Sig

Sig หมายถึง ปัจจัยที่ศึกษามีอิทธิพลต่อค่าคุณภาพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ns หมายถึง ปัจจัยที่ศึกษาไม่มีอิทธิพลต่อค่าคุณภาพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

จากการแปรปัจจัยที่ต้องการศึกษา 2 ปัจจัย ได้แก่ ความชื้นของส่วนผสม 3 ระดับ คือ ร้อยละ 15, 20 และ 25 และอุณหภูมิบาร์เรล 3 ระดับ คือ 90, 100 และ 110 องศาเซลเซียส ได้เป็น 9 สิ่งทดลอง ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่าปัจจัยร่วมมีอิทธิพลต่อค่าคุณภาพทุกค่า ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่าศูนย์กลาง สัดส่วนการพองตัว การดูดซับน้ำ การละลายน้ำ ค่าความแข็ง และค่าความแตกเปราะของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงของทั้ง 9 สิ่งทดลอง แสดงดังตารางที่ 3-25

ตารางที่ 3-25 ค่าเส้นผ่าศูนย์กลาง ค่าสัดส่วนการพองตัว ค่าการดูดซับน้ำ ค่าการละลาย ค่าความแข็ง และค่าความแตกเปราะ ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 โดยแปรอุณหภูมิของบาร์เรลและความชื้นของส่วนผสมที่แตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	ความชื้น (ร้อยละ)	อุณหภูมิ (°C)	เส้นผ่าศูนย์กลาง (cm)	สัดส่วนการพองตัว	การดูดซับน้ำ	การละลายน้ำ	ค่าความแข็ง (gf)	ค่าความแตกเปราะ (mm)
1	15	90	0.93 ± 0.03^{ab}	3.09 ± 0.09^{ab}	6.68 ± 0.10^{c}	13.37 ± 0.05^{g}	2005.01 ± 52.12^{d}	1.24 ± 0.03^{f}
2		100	0.90 ± 0.02^{ab}	2.99 ± 0.05^{ab}	6.14 ± 0.10^{d}	13.47 ± 0.02^{g}	1403.12 ± 139.65^{e}	1.78 ± 0.09^{e}
3		110	0.76 ± 0.02^{bcd}	2.52 ± 0.07^{bcd}	5.91 ± 0.05^{e}	13.78 ± 0.08^{f}	871.42 ± 70.36^{f}	2.00 ± 0.02^{d}
4	20	90	0.66 ± 0.04^{bde}	2.19 ± 1.03^{de}	6.93 ± 0.09^{b}	13.76 ± 0.04^{f}	2055.12 ± 119.90^{d}	1.25 ± 0.03^{f}
5		100	0.87 ± 0.03^{abc}	2.90 ± 0.09^{abc}	7.68 ± 0.04^{a}	14.04 ± 0.14^{e}	2176.89 ± 102.30^{d}	1.24 ± 0.03^{f}
6		110	0.96 ± 0.01^{a}	3.20 ± 0.03^{a}	7.71 ± 0.08^{a}	14.35 ± 0.03^{c}	2179.53 ± 187.86^{d}	1.20 ± 0.02^{f}
7	25	90	0.53 ± 0.01^{e}	1.77 ± 0.04^{e}	7.73 ± 0.01^{a}	14.15 ± 0.06^{d}	3010.46 ± 83.37^{c}	3.28 ± 0.18^{a}
8		100	0.63 ± 0.01^{ade}	2.11 ± 0.02^{de}	7.75 ± 0.08^{a}	14.58 ± 0.06^{b}	4960.90 ± 128.72^{a}	2.96 ± 0.13^{b}
9		110	0.68 ± 0.04^{cde}	2.28 ± 0.12^{cde}	7.75 ± 0.04^{a}	14.78 ± 0.04^{a}	4160.21 ± 94.12^{b}	2.59 ± 0.04^{c}

[a,b...] หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีอักษรกำกับมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

3.3.2.1 ผลของการวัดขนาดของผลิตภัณฑ์

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน ดังตารางที่ 3-24 พบว่าปัจจัยร่วมระหว่างความชื้นของส่วนผสมและอุณหภูมิของบาร์เรล มีผลต่อค่าเส้นผ่าศูนย์กลาง ($p<0.05$) จากผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่าศูนย์กลาง ดังตารางที่ 3-25 พบว่าสิ่งทดลองที่ 6 ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางสูงที่สุด โดยมีสภาวะความชื้นของส่วนผสมเท่ากับร้อยละ 20 และ อุณหภูมิของบาร์เรลเท่ากับ 110 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.96 เซนติเมตร แต่ไม่แตกต่างกับสิ่งทดลองที่ 1, 2, 5 และ 8 เมื่อพิจารณาในสภาวะที่ความชื้นคงที่ ที่ระดับต่ำร้อยละ 15 เส้นผ่าศูนย์กลางของขนมขบเคี้ยวมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิของบาร์เรลเพิ่มขึ้น ในทางตรงข้ามเมื่อความชื้นของส่วนผสมคงที่ ที่ระดับเพิ่มขึ้น เป็นร้อยละ 20 และ 25 พบว่าเส้นผ่าศูนย์กลางของขนมขบเคี้ยวมีค่ามากขึ้น ทั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้น ร่วมกับการเพิ่มปริมาณน้ำให้เหมาะสมจะทำให้ ทำให้สตาร์ชเกิดการเจลาทิไนเซชันที่สมบูรณ์ ผลิตภัณฑ์มีการพองตัวมากขึ้นเมื่อออกมาสู่หน้าแปลน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของผลิตภัณฑ์จึงมีค่ามากขึ้น

3.3.2.2 ผลของสัดส่วนการพองตัวของผลิตภัณฑ์

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน ดังตารางที่ 3-24 พบว่าปัจจัยร่วมระหว่างความชื้นของส่วนผสมและอุณหภูมิของบาร์เรล มีผลต่อสัดส่วนการพองตัวของผลิตภัณฑ์ ($p<0.05$) จากผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของสัดส่วนการพองตัว ดังตารางที่ 3-25 พบว่าสิ่งทดลองที่ 6 ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสัดส่วนการพองตัวสูงที่สุด โดยมีสภาวะความชื้นของส่วนผสมเท่ากับร้อยละ 20 และ อุณหภูมิของบาร์เรลเท่ากับ 110 องศาเซลเซียส แต่ไม่แตกต่างกับสิ่งทดลองที่ 1, 2 และ 5 เมื่อพิจารณาค่าสัดส่วนการพองตัวของผลิตภัณฑ์และเส้นผ่าศูนย์กลางของผลิตภัณฑ์มีความสัมพันธ์ไปในทิดทางเดียวกัน เนื่องจากสัดส่วนการพองตัวของผลิตภัณฑ์ คือสัดส่วนระหว่างเส้นผ่าศูนย์กลางของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวกับเส้นผ่าศูนย์กลางของหน้าแปลน (Die) (Sangnark et al., 2015) กล่าวคือเมื่อเส้นผ่าศูนย์กลางของผลิตภัณฑ์มีค่ามาก สัดส่วนการพองตัวของผลิตภัณฑ์ก็จะมีค่ามากเช่นกัน จากผลการวิเคราะห์พบว่าในสภาวะที่ความชื้นส่วนผสมคงที่ การเพิ่มอุณหภูมิของบาร์เรลมีผลต่อสัดส่วนการพองตัวแตกต่างกัน คือ ในสภาวะความชื้นของส่วนผสมคงที่ในระดับต่ำ ร้อยละ 15 เมื่ออุณหภูมิของบาร์เรลเพิ่มขึ้น สัดส่วนการพองตัวมีค่าลดลง สอดคล้องกับ จุฬาลักษณ์ จารุนุช (2546) ได้ศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวจากข้าวกล้องไทยพันธุ์ปทุมธานี 1 และสุพรรณบุรี โดยพบว่าเมื่ออุณหภูมิที่การเอกซ์ทรูชันเพิ่มสูงขึ้นจาก 110 องศาเซลเซียส เป็น 120 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นเดียวกัน ส่งผลให้ขนมขบเคี้ยวมีเส้นผ่าศูนย์กลางและอัตราส่วนการพองตัวลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากที่ระดับความชื้นต่ำ การเอกซ์ทรูชันที่อุณหภูมิสูงจะทำให้สตาร์ชถูกทำลาย ทำให้มีโมเลกุลที่เล็กลง (dextrinization) สามารถอุ้มน้ำเข้าไปได้น้อยลง ทำให้วัตถุอาหารที่อยู่ในเอกซ์ทรูเดอร์มีความหนืดต่ำลง เกิดโครงสร้างที่สามารถกักเก็บไอน้ำที่เกิดจากการระเหยของน้ำภายในวัตถุอาหารได้

น้อยลง จึงทำให้การพองตัวลดลง ซึ่งในทางกลับกันถ้าความชื้นของส่วนผสมคงที่ในระดับความชื้นสูงขึ้น ร้อยละ 20 และ 25 เมื่ออุณหภูมิของบาร์เรลเพิ่มขึ้น สัดส่วนการพองตัวมีค่าเพิ่มขึ้น Chiang and Johnson (1997) ได้รายงานความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับอุณหภูมิในกระบวนการเอกซ์ทรูชัน ไว้ว่าเมื่อนำวัตถุดิบที่มีความชื้นค่อนข้างสูง มาผลิตผลิตภัณฑ์โดยใช้เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ที่อุณหภูมิต่ำ ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีการพองตัวต่ำ ดังนั้นการใช้อุณหภูมิสูงในกระบวนการเอกซ์ทรูชันจะต้องใช้ความชื้นที่สูงมากพอจึงจะได้ผลิตภัณฑ์ที่สามารถเกิดการพองตัวได้มาก

3.3.2.3 ผลการวิเคราะห์ค่าการดูดซับน้ำและค่าการละลายน้ำ

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าการดูดซับน้ำ ดังตารางที่ 3-24 พบว่าปัจจัยร่วมระหว่างความชื้นของส่วนผสมและอุณหภูมิของบาร์เรล มีผลต่อค่าการดูดซับน้ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) จากผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่าศูนย์กลาง ดังตารางที่ 3-25 พบว่าสิ่งทดลองที่ 5-9 ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีค่าการดูดซับน้ำสูงที่สุด มีค่าอยู่ในช่วง 7.68-7.75 และพบว่าในสภาวะที่ความชื้นของส่วนผสมมีค่าสูงขึ้น ค่าการดูดซับน้ำของผลิตภัณฑ์จะมีค่าสูงขึ้น ในสภาวะที่ความชื้นของส่วนผสมต่ำร้อยละ 15 เมื่ออุณหภูมิของบาร์เรลเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าการดูดซับน้ำมีค่าลดลง สอดคล้องกับ อาภัสรา แสงนาค และคณะ (2555) พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิในกระบวนการผลิตขนมขบเคี้ยวด้วยเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ให้สูงขึ้นมีแนวโน้มให้ค่าการดูดซับน้ำของผลิตภัณฑ์มีค่าลดลง เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิโดยเฉพาะการเอกซ์ทรูชันที่ความชื้นต่ำทำให้เกิดการตัดของสายสตาร์ช (dextrinization) จะทำให้สตาร์ชดูดซับน้ำได้น้อยลง

จากผลการวิเคระห์ความแปรปรวนค่าการละลายน้ำ ดังตารางที่ 3-24 พบว่าปัจจัยร่วมระหว่างความชื้นของส่วนผสมและอุณหภูมิของบาร์เรล มีผลต่อค่าการละลายน้ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) จากผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่าศูนย์กลาง ดังตารางที่ 3-25 พบว่าสิ่งทดลองที่ 9 ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีค่าการละลายสูงที่สุด โดยมีสภาวะความชื้นของส่วนผสมเท่ากับร้อยละ 25 และ อุณหภูมิของบาร์เรลเท่ากับ 110 องศาเซลเซียส และพบว่าในสภาวะที่ความชื้นของส่วนผสมคงที่ การเพิ่มอุณหภูมิของบาร์เรลทำให้ค่าการละลายน้ำมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น สอดคล้องกับ โสภิดา ก่อเกิด (2555) ได้ศึกษาผลของปัจจัยการผลิตโดยกระบวนการเอ็กซทรูชันที่มีต่อสมบัติของขนมขบเคี้ยวที่เป็นแหล่งของไฟเบอร์ พบว่าค่าการละลายน้ำของผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ ออุณหภูมิบาร์เรลเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้การเอกซ์ทรูชันที่อุณหภูมิสูง โดยเฉพาะถ้าวัตถุดิบมีความชื้นต่ำจะทำให้โมเลกุลของสตาร์ชถูกตัดเป็นสายสั้นๆ (dextrinization) จึงทำให้สามารถละลายน้ำได้มากขึ้น ทั้งนี้จากผลการวิเคราะห์ยังพบว่าเมื่ออุณหภูมิของบาร์เรลคงที่ การเพิ่มความชื้นของส่วนผสมทำให้ค่าการละลายน้ำของผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากปริมาณน้ำที่มากขึ้นอาจส่งผลให้สตาร์ชมีโอกาสเกิดเจลาติไนซ์เซชันได้สมบูรณ์ขึ้น

3.3.2.4 ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์

จากผลการวิเคระห์ความแปรปรวนลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเสริมน้ำหมึก ได้แก่ ความแข็ง (hardness) และค่าความแตกเปราะ (fracturability) ดังตารางที่ 3-24 พบว่าปัจจัยร่วมระหว่างความชื้นของส่วนผสมและอุณหภูมิของบาร์เรล มีผลต่อค่าค่าความแข็งและค่าความแตกเปราะอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ความแข็งของตัวอย่างแสดงด้วย ค่าแรงกดสูงสุด ก่อนที่ตัวอย่างจะแตกหัก (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์, ม.ป.ป.) ตารางที่ 3-25 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยความแข็งของขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึก พบว่าในสภาวะที่ความชื้นของส่วนผสมต่ำ ร้อยละ 15 การเพิ่มอุณหภูมิของบาร์เรลมีผลทำให้ค่าความแข็งของขนมขบเคี้ยวลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่เมื่อความชื้นของส่วนผสมมีค่าเพิ่มมากขึ้น เท่ากับร้อยละ 20 และ 25 พบว่าในสภาวะที่มีความชื้นสูงนี้ การเพิ่มอุณหภูมิมีผลทำให้ค่าความแข็งมีค่าเพิ่มขึ้น และพบว่าในสภาวะที่อุณหภูมิของบาเรลคงที่ เมื่อความชื้นของส่วนผสมเพิ่มมากขึ้นทำให้ค่าความแข็งมีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นของความชื้น ทำให้ขนมขบเคี้ยวมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นเนื่องจากการเพิ่มความชื้นในส่วนผสมทำให้ขนมขบเคี้ยวมีการพองตัวลดลง (สอดคล้องกับสัดส่วนการพองตัวที่รายงานไว้ข้างต้น ดังตารางที่ 3-25) จึงทำให้ขนมขบเคี้ยวมีความแข็งเพิ่มขึ้น และพบว่าที่สภาวะความชื้นของส่วนผสมร้อยละ 25 อุณหภูมิของบาร์เรล 100 องศาเซลเซียสทำให้ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่ได้มีค่าความแข็งสูงที่สุด เท่ากับ 4960.90 gf

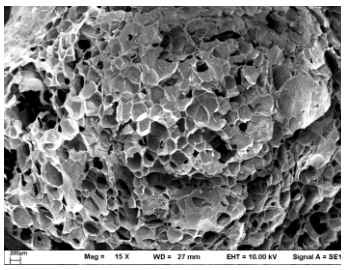
ค่าความแตกเปราะ (fracturability) คือค่าระยะทางที่กดลงไปถึงจุดที่ทำให้ตัวอย่างแตกครั้งแรก ถ้าตัวอย่างมีความกรอบสูง จะสามารถแตกได้ง่าย ระยะทางที่กดจะมีค่าน้อย ตารางที่ 3-25 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยค่าความแตกเปราะของขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกพบว่า ที่สภาวะความชื้นของส่วนผสมร้อยละ 20 ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวมีค่าความแตกเปราะต่ำที่สุด คือใช้ระยะในการกดให้แตกน้อยที่สุด เมื่อพิจารณาที่สภาวะความชื้นต่ำที่สุด ที่ร้อยละ 15 พบว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิมีผลทำให้ค่าความแตกเปราะสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และในสภาวะที่ความชื้นของส่วนผสมเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 20 และ 25 พบว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิมีผลทำให้ค่าความแตกเปราะลดลง ซึ่งเมื่อพิจารณาที่ระดับความชื้นของส่วนผสมทั้ง 3 ระดับ อาจกล่าวได้ว่าที่ระดับความชื้นร้อยละ 20 ผลิตภัณฑ์ที่ได้ใช้ระยะทางในการกดให้เกิดค่าการแตกเปราะน้อยที่สุดแสดงถึงผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความกรอบมากที่สุด รองลงมาที่ระดับความชื้นร้อยละ 15 ผลิตภัณฑ์ที่ได้ใช้ระยะทางในการกดให้เกิดค่าการแตกเปราะปานกลาง (มากกว่าที่ความชื้นร้อยละ 20 แต่น้อยกว่าที่ความชื้นร้อยละ 25) แสดงถึงผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความกรอบปานกลาง และที่สภาวะความชื้นสูงที่สุดที่ร้อยละ 25 พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้ใช้ระยะทางในการกดให้เกิดค่าการแตกเปราะมากที่สุด ซึ่งหมายถึงผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความกรอบน้อย มีลักษณะนุ่ม ซึ่งสอดคล้องกับ Badrie & Mellowed (1991) ที่รายงานว่าค่าความแข็ง (hardness) และค่าแรงที่ทำให้เกิดการแตกหัก (fracturability) ของ

ผลิตภัณฑ์จากฟลาวร์มันสำปะหลังที่ผลิตด้วยเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ ซึ่งพบว่าค่าความแข็งและค่าแรงที่ทำให้เกิดการแตกหักมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความชื้นของวัตถุดิบเพิ่มขึ้น

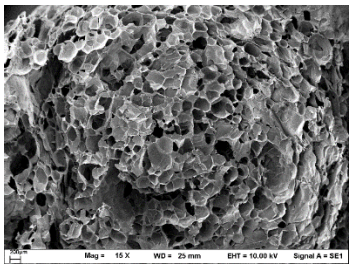
3.3.2.5 ผลการศึกษาโครงสร้างจุลภาค (microstructure)

จากผลการศึกษาโครงสร้างทางจุลภาคของผลิตภัณฑ์ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 ที่ความชื้นของส่วนผสมและอุณหภูมิต่าง ๆ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเลกตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) ได้ภาพตัดขวางผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 ที่กำลังขยาย 15 เท่า แสดงดังภาพที่ 3-13

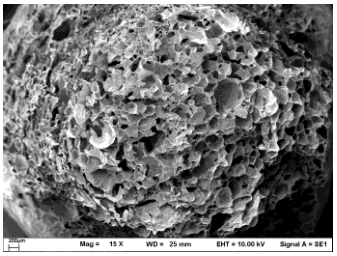
เมื่อพิจารณาภาพตัดขวางของผลิตภัณฑ์ที่กำลังขยาย 15 เท่า จากภาพตัดขวางจะสามารถสังเกตได้ว่า เมื่อความชื้นของส่วนผสมมีค่ามากขึ้น ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและสัดส่วนการพองตัวมีค่าลงลด ซึ่งเห็นได้อย่างชัดเจนในผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นของส่วนผสมเท่ากับร้อยละ 25 อุณหภูมิ 90, 100 และ 110 องศาเซลเซียส ดังภาพที่ 3-13(ช) (ซ) และ (ฌ) ตามลำดับ ที่สภาวะความชื้นร้อยละ 15 ผลิตภัณฑ์มีความพองตัวมาก มีฟองอากาศจำนวนมาก ฟองอากาศที่เป็นท่ออย่างชัดเจน แต่เซลของฟองอากาศมีลักษณะเหี่ยว ซึ่งอาจเกิดจากการยุบตัวของผลิตภัณฑ์ ถัดมาที่ระดับความชื้นของส่วนผสมเป็นร้อยละ 20 ผลิตภัณฑ์มีความพองตัวมาก ฟองอากาศที่เป็นท่ออย่างชัดเจนเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ฟองอากาศมีขนาดใหญ่ ผนังเซลของฟองอากาศมีลักษณะพองและหนา เห็นได้ชัดเจน และในระดับความชื้นของส่วนผสมร้อยละ 25 พบว่าผลิตภัณฑ์มีการพองตัวน้อยกว่าที่ระดับความชื้นร้อยละ 15 และ 20 สังเกตได้จากภาพที่ 3-13(ช) (ซ) และ (ฌ) ภายในโครงสร้างของขนมขบเคี้ยวมีฟองอากาศขนาดเล็ก และใหญ่กระจายอยู่ภายในเนื้อผลิตภัณฑ์ ผนังเซลล์ของฟองอากาศเรียงชิดติดกันจนหนา ซึ่งแตกต่างกับที่สภาวะความชื้นของส่วนผสมร้อยละ 15 และ 20 ที่ผนังเซลล์ของฟองอากาศมีลักษณะบาง Saeleaw et al. (2012) ได้รายงานว่าผลิตภัณฑ์ที่มีผนังเซลล์ของฟองอากาศบาง อาจเกิดจากผลิตภัณฑ์ได้รับความร้อนอย่างพอเหมาะ ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการพองตัวและสามารถกักเก็บก๊าซไว้ได้เมื่อถูกผลักออกผ่านหน้าแปลน แต่ถ้าผลิตภัณฑ์ได้รับคความร้อนสูงเกินไปอาจทำให้เม็ดสตาร์ชฉีกขาด (dextrinization) เมื่อผลิตภัณฑ์ถูกผลักออกจากหน้าแปลน น้ำระเหยออกดันโครงสร้างเกิดการพองตัว แต่โครงสร้างที่เกิดการฉีดขายจึงไม่สามารถกักเก็บอากาศไว้ได้ ผนังเซลล์ของฟองอากาศจึงพับตัวลงมา เรียงชิดกัน จึงเห็นเป็นลักษณะผนังเซลล์ที่หนาทึบ ดังภาพที่ 3-13(ช) (ซ) และ (ฌ)



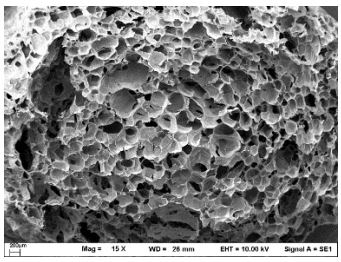
(ก) ความชื้น 15% อุณหภูมิ 90 °C



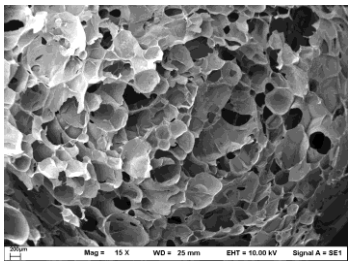
(ข) ความชื้น 15% อุณหภูมิ 100 °C



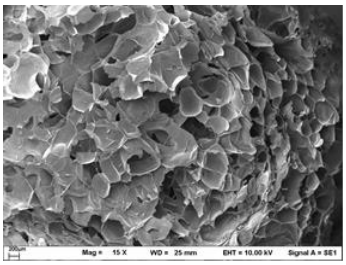
(ค) ความชื้น 15% อุณหภูมิ 110 °C



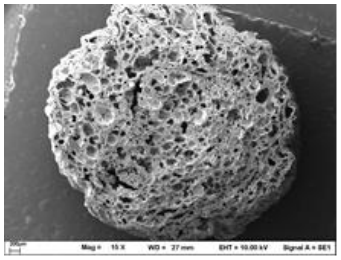
(ง) ความชื้น 20% อุณหภูมิ 90 °C



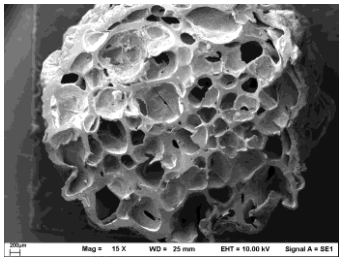
(จ) ความชื้น 20% อุณหภูมิ 100 °C



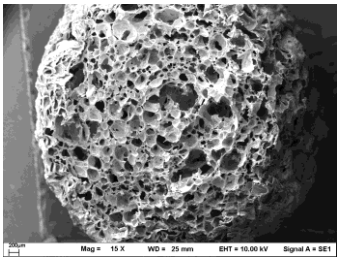
(ฉ) ความชื้น 20% อุณหภูมิ 110 °C



(ช) ความชื้น 25% อุณหภูมิ 90 °C



(ซ) ความชื้น 25% อุณหภูมิ 100 °C



(ฌ) ความชื้น 25% อุณหภูมิ 110 °C

ภาพที่ 3-13 โครงสร้างจุลภาคของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 ที่ความชื้นของส่วนผสมและอุณหภูมิต่าง ๆโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเลกตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ที่กำลังขยาย 15 เท่า

3.3.2.6 ผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

จากการวิเคราะห์ผลความแปรปรวนของคะแนนการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 ได้แก่ ด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยแปรอุณหภูมิของบาร์เรลและความชื้นของส่วนผสม ได้ผลดังตาราง ที่ 3-26 จากตารางพบว่า ปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิของบาร์เรลและความชื้นของส่วนผสม มีอิทธิพล

ร่วมต่อค่าการยอมรับด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และการยอมรับโดยรวม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ไม่มีอิทธิพลร่วมต่อการยอมรับด้านสีของผลิตภัณฑ์ ($p\geq0.05$)

ตารางที่ 3-26 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 โดยแปรอุณหภูมิของบาร์เรลและความชื้นของส่วนผสม

ค่าคุณภาพ	อุณหภูมิ	ความชื้น	อุณหภูมิxความชื้น
ลักษณะปรากฏ	Sig	Sig	Sig
สี	ns	ns	ns
กลิ่น	ns	Sig	Sig
กลิ่นรส	ns	Sig	Sig
เนื้อสัมผัส	Sig	Sig	Sig
การยอมรับโดยรวม	Sig	Sig	Sig

Sig หมายถึง ปัจจัจที่ศึกษามีอิทธิพลต่อค่าคุณภาพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ns หมายถึง ปัจจัจที่ศึกษาไม่มีอิทธิพลต่อค่าคุณภาพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

ตารางที่ 3-27 ผลคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 ที่สภาวะความชื้นและอุณหภูมิต่าง ๆ

สิ่งทดลอง	ความชื้น (ร้อยละ)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ลักษณะปรากฏ	สี [ns]	กลิ่น	กลิ่นรส	เนื้อสัมผัส	การยอมรับโดยรวม
1	15	90	6.00±0.64^{cd}	7.10±0.48	6.60±0.48^{ab}	6.53±0.51^{a}	6.47± 0.63^{b}	6.27± 0.45^{bc}
2		100	6.10±0.71^{bc}	7.10±0.48	6.60±0.50^{ab}	6.53±0.51^{a}	6.47±0.63^{b}	6.13±0.35^{c}
3		110	5.10±0.84^{f}	7.10±0.48	6.70±0.47^{ab}	6.27±0.45^{b}	5.53±0.73^{c}	5.13±0.51^{de}
4	20	90	5.70±0.79^{de}	7.10±0.48	6.50±0.51^{bc}	6.53±0.51^{a}	5.40±0.89^{c}	5.00±0.64^{e}
5		100	7.40±0.50^{a}	7.10±0.48	6.80±0.41^{a}	6.60±0.49^{a}	7.07±0.69^{a}	7.00±0.53^{a}
6		110	6.40±0.67^{b}	7.10±0.48	6.80±0.40^{a}	6.60±0.49^{a}	6.87±0.73^{ab}	6.47±0.51^{b}
7	25	90	5.40±0.67^{ef}	7.10±0.48	6.50±0.51^{bc}	6.07±0.25^{bc}	5.27±0.02^{c}	4.53±0.73^{f}
8		100	5.30±0.79^{f}	7.10±0.48	6.30±0.47^{c}	6.00±0.00^{e}	5.27±0.02^{c}	4.93±0.69^{e}
9		110	5.30±0.65^{f}	7.03±0.55	6.20±0.41^{d}	6.00±0.00^{c}	5.13±0.82^{c}	5.40±0.49^{d}

[a,b...] หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีอักษรกำกับมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

[ns] หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีอักษรกำกับไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

จากการแปรปัจจัยที่ต้องการศึกษา 2 ปัจจัย ได้แก่ ความชื้นของส่วนผสม 3 ระดับ คือ ร้อยละ 15, 20 และ 25 และอุณหภูมิบาร์เรล 3 ระดับ คือ 90, 100 และ 110 องซาเซลเซียส ได้เป็น 9 สิ่งทดลอง ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงของทั้ง 9 สิ่งทดลอง แสดงดังตารางที่ 3-27 จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวทั้ง 9 สิ่งทดลองได้รับคะแนนการยอมรับลักษณะปรากฏแตกต่างกัน พบว่าสิ่งทดลองที่ 5 คือผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่ผลิตด้วยสภาวะความชื้นของส่วนผสมร้อยละ 20 และอุณหภูมิของบาร์เรล 100 องศาเซลเซียส ได้รับคะแนนยอมรับด้านลักษณะปรากฏสูงที่สุด (7.40 คะแนน) และพบว่าผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวทั้ง 9 สิ่งทดลอง ที่ผลิตจากสภาวะที่แตกต่างกัน 9 สภาวะได้รับคะแนนการยอมรับด้านสีจากผู้ทดสอบไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) โดยพบว่าสิ่งทดลองที่ 5 ได้รับคะแนนการยอมรับในด้านกลิ่น กลิ่นรส และเนื้อสัมผัส อยู่ในกลุ่มที่สูงที่สุด เช่นเดียวกับคะแนนการยอมรับโดยรวม โดยพบว่าสิ่งทดลองที่ 5 ได้รับคะแนนการยอมรับโดยรวมสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งได้คะแนน 7.00 คะแนน อยู่ในช่วงชอบปานกลาง

3.3.2.7 ผลการพิจารณาเลือกสภาวะของกระบวนการเอกซ์ทรูชันที่เหมาะสม

จากผลการศึกษาหาสภาวะของกระบวนการเอกซ์ทรูชัน โดยศึกษาปัจจัยระหว่างความชื้นของส่วนผสม และอุณหภูมิของบาร์เรลที่ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงได้อย่างเหมาะสมที่สุด เมื่อพิจารณาจากคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสซึ่งเป็นปัจจัยหลักในการใช้พิจารณา พบว่า ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่ได้รับคะแนนการยอมรับโดยรวมสูงกว่า 6 ได้แก่ สิ่งทดลองที่ 1, 2, 5 และ 6 โดยที่ สิ่งทดลองที่ 5 (ความชื้นของส่วนผสมร้อยละ 20 และอุณหภูมิของบาร์เรล 100 องศาเซลเซียส) ได้รับคะแนนการยอมรับโดยรวมสูงที่สุด เมื่อพิจารณาร่วมกับคุณภาพทางกายภาพ และเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่ได้ ก็พบว่ามีสัดส่วนการพองตัวมาก มีการดูดซับน้ำดี และมีความกรอบมากที่สุด ดังนั้นจึงทำการเลือกสภาวะของกระบวนการเอกซ์ทรูชันที่ความชื้นของส่วนผสมร้อยละ 20 และอุณหภูมิของบาร์เรล 100 องศาเซลเซียส ไปใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

3.3.3 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผง

จากการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกที่มีสารต้านอนุมูลอิสระและมีคุณลักษณะที่เหมาะสม โดยผ่านการศึกษาผลของหาปริมาณน้ำหมึกผงที่เหมาะสมที่ใช้เติมลงในขนมขบเคี้ยว ซึ่งปริมาณน้ำหมึกที่เหมาะสมคือ ร้อยละ 5.0 โดยน้ำหนักแป้ง และศึกษาการพัฒนาสภาวะของกระบวนเอกซ์ทรูชันที่ใช้ในการผลิตขนมขบเคี้ยวที่เหมาะสม คือ ความชื้นของส่วนผสม

ร้อยละ 20 และอุณหภูมิของบาร์เรลชุดที่ 100 องศาเซลเซียส โดยใช้ความเร็วรอบของสกรูคงที่ 150 รอบต่อนาที และอุณหภูมิบาร์เรลชุดที่ 2 คงที่ 80 องศาเซลเซียส นำผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงที่ได้ไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ ผลการวิเคราะห์คุณภาพแสดงดังตารางที่ 3-28

ตารางที่ 3-28 องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระของขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 เปรียบเทียบกับขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้า

ค่าคุณภาพ	ขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0	ขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้า
องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ		
ปริมาณความชื้น^{ns} (กรัม/100 กรัม)	4.44 ± 0.32	4.39 ± 0.20
ปริมาณโปรตีน (กรัม/100 กรัม)*	8.54 ± 0.07^{a}	6.99 ± 0.04^{b}
ปริมาณไขมัน (กรัม/100 กรัม)*	0.06 ± 0.02^{a}	0.02 ± 0.01^{b}
ปริมาณเถ้า (กรัม/100 กรัม)*	0.60 ± 0.09^{a}	0.41 ± 0.01^{b}
ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (กรัม/100 กรัม)*	90.85 ± 0.01^{b}	92.80 ± 0.34^{a}
สมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ		
%Inhibition	26.43±0.26^{a}	22.42±0.57^{b}
DPPH radical scavenging activity (μmol TE/g)*	385.32±24.27^{a}	26.43±0.26^{b}

$^{a,b,...}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีอักษรกำกับมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีอักษรกำกับไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

* รายงานโดยเทียบกับน้ำหนักฐานแห้ง (dry basis)

3.3.3.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

จากตารางที่ 3-28 แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น โปรตีน เถ้า ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าที่เติมผงร้อยละ 5.0 และผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้า (ไม่เติมน้ำหมึกผง) พบว่าผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 และผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้า มีปริมาณความชื้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) และพบว่าผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าที่

เติมผงร้อยละ 5.0 มีปริมาณโปรตีน เถ้า และไขมัน มากกว่าผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าที่เติมผงร้อยละ 5.0 มีปริมาณโปรตีน มากกว่าผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วยที่เติมลงในขนมขบเคี้ยว มีปริมาณโปรตีนเท่ากับ 64.09 กรัม/100 กรัม (ตารางที่ 3-1) ซึ่งมากกว่าในแป้งข้าวเจ้าปกติที่มีปริมาณโปรตีนอยู่ในช่วงร้อยละ 6.96 (น้ำทิพย์ วงษ์ประทีป และจุติญาณี จิตรสุวรรณ, 2554) จึงส่งผลให้ขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 มีปริมาณโปรตีนมากกว่าขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้า และเมื่อพิจารณาปริมาณไขมัน พบว่าขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 มีปริมาณไขมันมากกว่าขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้า แม้น้ำหมึกผงซึ่งมีปริมาณไขมัน 0.09กรัม/100 กรัม จะมีไขมันต่ำกว่าแป้งข้าวเจ้าซึ่งมีปริมาณไขมันอยู่ในช่วงร้อยละ 0.32 (น้ำทิพย์ วงษ์ประทีป และจุติญาณี จิตรสุวรรณ, 2554) แต่กระบวนการเอกซ์ทรูชันอาจก่อให้เกิดการลดลงของปริมาณไขมันในแป้งข้าวเจ้าอันเกิดจากการเปลี่ยนเป็นสารประกอบอื่นที่ระเหยได้มากกว่าไขมันที่อยู่ในน้ำหมึกผง ดังนั้นเมื่อเติมน้ำหมึกผงจึงทำให้ไขมันในขนมขบเคี้ยวที่ได้มีปริมาณมากกว่าขนมขบเคี้ยวที่ไม่เติมน้ำหมึกผง และจากการวิเคราะห์พบว่าปริมาณคาร์โบไฮเดรตของขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้ามีปริมาณมากกว่าขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 2.5 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

3.3.3.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ

จากตารางที่ 3-28 แสดงผลการวิเคราะห์สมบัติในการต้านอนุมูลอิระ โดยรายงานไว้ 2 รูปแบบ คือ %Inhibition หรือ เปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH รายงานในหน่วยร้อยละ และค่า DPPH radical scavenging activity หรือ ค่าการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH รายงานเทียบกับสารมาตรฐาน Trolox ในหน่วย μmol TE/g ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าที่เติมผงร้อยละ 5.0 และผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้า (ไม่เติมน้ำหมึกผง) พบว่าผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 มี เปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระและค่าการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH มากกว่าผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้า อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) น้ำหมึกผงที่เติมลงในขนมขบเคี้ยวนั้นมีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระร้อยละ 98.89 และค่าการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH 132.45 μmol TE/g (ตารางที่ 3-2) ดังนั้นเมื่อเติมน้ำหมึกผงลงไปเป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวมากขึ้นจึงทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวที่ได้มีปริมาณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระสูงตามไปด้วย

จากการตรวจเอกสารพบว่า ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่มีวางขายในท้องตลาดนั้นมีคุณค่าทางโภชนาการต่ำ แต่ให้พลังงานสูง เนื่องจากมีคาร์โบไฮเดรต และไขมันเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ของขนมขบเขี้ยว ชัชวิน เพชรเลิศ (2549) ได้รายงานว่า ขนมขบเคี้ยวส่วนใหญ่ประกอบด้วย แป้ง น้ำตาล ไขมัน เกลือ และผงชูรส เป็นสารปรุงแต่งสีและรสชาติ ผสมอยู่ในขนมขบเคี้ยวปริมาณสูง หากบริโภคขนมขบเคี้ยวที่ไม่เหมาะสมเกินความจำเป็นของร่างกาย จะก่อให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพ เช่น ทำให้ความอยากอาหารลดลง จนถึงการขาดสารอาหารที่จำเป็นและไม่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกายได้ หรือเกิดปัญหาการได้รับสารอาหารเกินเนื่องจากขนมขบเคี้ยวให้พลังงานสูง เพราะมีแป้งและน้ำตาลมาก จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระของขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 พบว่ามีปริมาณโปรตีนสูง มีไขมันและคาร์โบไฮเดรตต่ำ รวมทั้งมีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระสูง อาจกล่าวได้ว่าขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงมีคุณค่าทางโภชนาการดีกว่าขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าที่ไม่มีการเติมน้ำหมึกผง

ดังนั้นจากการเปรียบเทียบคุณภาพทางเคมี สมบัติทางกายภาพ และการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 จึงเห็นศักยภาพของขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงร้อยละ 5.0 สามารถพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพต่อไปได้

บทที่ 4

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

กระบวนการผลิตน้ำหมึกผงจากหมึกทะเลที่เหมาะสมคือการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6 ชั่วโมง เนื่องจากทำให้ได้น้ำหมึกผงมีคุณภาพที่ดีที่สุด คือ ปริมาณความชื้นต่ำ และมีค่าการละลาย ปริมาณโปรตีน และสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระที่สูงกว่าวิธีอื่น

จากการศึกษาปริมาณน้ำหมึกผง (ร้อยละ 0, 1, 3, 5 และ 7 โดยน้ำหนักแป้ง) ปริมาณน้ำในส่วนผสม (ร้อยละ 20, 25 และ 30 ของน้ำหนักแป้ง) อุณหภูมิของบาร์เรล (65 80 และ 95 องศาเซลเซียส) พบว่า พาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงร้อยละ 3 ที่ใช้ปริมาณน้ำในส่วนผสมเป็นร้อยละ 30 และทำการขึ้นรูปด้วยเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ที่ปรับอุณหภูมิของบาร์เรลเป็น 80 องศาเซลเซียส เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตพาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกจากหมึกทะเลผง แม้พาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกมีใช้เวลาการต้มสุกนานกว่า ปริมาณของแข็งที่สูญเสียจากการต้มสูงกว่า ค่าการต้านทานการดึงขาดต่ำกว่า และมีปริมาณโปรตีนและสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระที่ต่ำกว่า พาสต้าทางการค้า แต่อย่างไรก็ตามพบว่าพาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกมีคะแนนการยอมรับโดยรวมไม่แตกต่างกับพาสต้าทางการค้า

จากการศึกษาปริมาณน้ำหมึกที่เหมาะสมที่ใช้เติมในขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้า (ร้อยละ 0 2.5 5.0 7.5 และ 10.0 ของน้ำหนักแป้ง) ความชื้นของส่วนผสม (ร้อยละ 15 20 และ 25) และอุณหภูมิบาร์เรล (90 100 และ 110 องศาเซลเซียส) พบว่า สภาวะที่ดีที่สุดในการผลิตขนมขบเคี้ยวแบบพองกรอบจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงคือ ใช้ปริมาณน้ำหมึกผงร้อยละ 5 ปรับปริมาณความชื้นของส่วนผสมเป็นร้อยละ 20 และปรับอุณหภูมิของบาร์เรลภายในเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์เป็น 100 องศาเซลเซียส โดยขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงที่พัฒนาได้ มีปริมาณโปรตีนและสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ที่สูงกว่าขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าที่ไม่เสริมน้ำหมึกผง

ข้อเสนอแนะ

1. สำหรับผลิตภัณฑ์พาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผง ควรมีการวิจัยเพื่อพัฒนาคุณภาพด้านการหุงต้มและเนื้อสัมผัสของพาสต้า เช่น การใช้สารประกอบไฮโดรคอลลอยด์ การใช้เอนไซม์บางชนิด การใช้สตาร์ชดัดแปรด้วยวิธีทางกายภาพ เพื่อปรับปรุงคุณภาพของเส้นพาสต้าให้ดี

ขึ้นเทียบเท่ากับพาสต้าจากแป้งสาลี รวมทั้งมีการศึกษาหาอายุการเก็บรักษา และการเปลี่ยนแปลงของสาระสำคัญระหว่างการเก็บรักษา

2. สำหรับผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเสริมน้ำหมึกผง อาจมีการพัฒนาให้ผลิตภัณฑ์มีรสชาติที่ดีขึ้น ด้วยการเติมหรือเคลือบสารให้กลิ่นรส รวมทั้งมีการศึกษาหาอายุการเก็บรักษา ชนิดของภาชนะบรรจุที่เหมาะสม และการเปลี่ยนแปลงของสาระสำคัญระหว่างการเก็บรักษา

บทที่ 5
ผลผลิต

5.1 ผลงานตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ

อโนชา สุขสมบูรณ์, กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์, วิชมณี ยืนยงพุทธกาล, อาภัสรา แสงนาค, ชญานิศ คล่องแคล่ว และ ปรียาภรณ์ กุลจีน. (๒๕๕๙). การพัฒนาผลิตภัณฑ์พาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมผงน้ำหมึกจากหมึกทะเล. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, 47(2)* (พิเศษ): 501-504.

5.2 ผลงานเชิงสาธารณะ

เผยแพร่และถ่ายทอดองค์ความรู้ให้กับผู้ประกอบการที่สนใจ ในพิธีการลงนามบันทึกข้อตกลงความร่วมมือ ด้านการจัดการความรู้และสนับสนุนให้เกิดการพัฒนาความรู้สู่ท้องถิ่นและชุมชน ระหว่าง หอการค้าจังหวัดชลบุรี กับ มหาวิทยาลัยบูรพา ในวันอังคารที่ 18 กรกฎาคม พ.ศ. 2560 ณ คณะวิทยาศาสตร์ ม.บูรพา

บรรณานุกรม

กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. (2546). *เทคโนโลยีของแป้ง* (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มาหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กิตติยา ไชยฉิม และเมธาวี สุนณรงค์. (2555). *ผลของการเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงและปัจจัยในกระบวนการผลิตต่อคุณภาพของพาสต้าข้าวเจ้าที่ผลิตโดยกระบวนการเอกซ์ทรูชัน.* ปัญหาพิเศษ, ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์, รุจิรารัตน์ โดยคำดี และสุวลี จันทร์ชะลอ. (2556). การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดอบพองจากแป้งเมล็ดขนุน. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, 44*(2)(พิเศษ), 201-204.

กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์, สมถวิล จริตควร, อโนชา สุขสมบูรณ์ และวรรธนะภูติ บงกช. (2558). *การพัฒนาผลิตภัณฑ์พาสต้าเพื่อสุขภาพจากข้าวเจ้าเสริมสาหร่าย.* เข้าถึงได้จาก http://www.lib.buu.ac.th/buuir/research/node/2463

การอบแห้ง. (ม.ป.ป.) เข้าถึงได้จาก http://202.28.24.44e_books/604303/electronic%20 laboratory_word/Lab13-tray%20drying.doc

ขวัญทิพย์ นามแสง และมณีรัตน์ แก้วมี. (2556). *การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมึกผงจากหมึกทะเลที่ผลิตด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชัน.* ปัญหาพิเศษ วิทยาศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, มหาวิทยาลัยบูรพา.

จริยา ตังพิริยะพงศ์ และชัชวาล หนูสูงเนิน. (2554). *ผลของการเติมสาหร่ายผมนางต่อคุณภาพของพาสต้าจากข้าวเจ้า.* ปัญหาพิเศษ, ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

จุฬาลักษณ์ จารุนุช. (2546). ผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพ “สแนคข้าวกล้อง”. *อาหาร, 33*(4), 263-264.

ชลลดา ไร่ขาม. (2556). *การพัฟฟิงกล้วยด้วยเทคนิคฟลูอิไดเซชัน*. วิทยานิพนธ์ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต, สาขาเทคโนโลยีพลังงาน, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ชัชวิน เพชรเลิศ. (2549). ภัยร้ายที่มากับขนมขบเคี้ยว. ภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สำนักบริการวิชาการ มหาวิทยาลัยบูรพา.

ชาติ ประชาชื่น. (2556, 15 กรกฎาคม). หมึก-น้ำหมึก. *ข่าวสด*, หน้า 24.

ธงชัย สวุรรณสิชณน์. (2535). *การพัฒนาอาหารขบเคี้ยวจากแป้งถั่วลิสงไขมันต่ำผสมแป้งมันสำปะหลังชนิดพรีเจลาติไนซ์*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นิธิยา รัตนาปนนท์. (2543). *เคมีอาหาร.* เชียงใหม่: ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. คณะอุตสาหกรรม การเกษตร. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

น้ำทิพย์ วงษ์ประทีป และจุติญาณี จิตรสุวรรณ. (2554). *การพัฒนากระบวนการผลิตและขึ้นรูปครองแครงกรอบจากแป้งข้าว.* รายงานฉบับสมบูรณ์คลินิกเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม, คลินิกเทคโนโลยีที่พึ่งของชุมชน, กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

บงกช วรรธนะภูติ. (2555). *อาหารไร้สารกลูเตนและโอกาสของประเทศไทย.* เข้าถึงได้จาก http://www.ostc.thaiembdc.org/test2012/articleApril12

บุหรัน พันธุ์สวรรค์. (2556). อนุมูลอิสระ สารต้านอนุมูลอิสระ และการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี,* 21(3), 275-286.

ปัณณธร ภัทรสถาพรกุล. (2547). เทคโนโลยีการทำแห้งแบบเยือกแข็ง (ตอนที่ 1). *วารสารสมาคมเครื่องทำความเย็นไทย, 11*, 20-22.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. (ม.ป.ป.). *Freeze drying/การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง*.เข้าถึงได้จาก http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/3133/freeze-drying

ไพบูลย์ ธรรมรัตนวาสิก. (2532). กรรมวิธีการแปรรูปอาหาร.โอ เอส พรินติ้งเฮ้าส์.กรุงเทพฯ. น.244-276

ไพโรจน์ หลวงพิทักษ์. (2552). *ผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพ (Functional foods)*. เข้าถึงได้จาก http://www.sc.mahidol.ac.th/scbt/articles/functional/food-PL-12Oct 09.pdf

รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. (2551). *เอกซ์ทรูชัน*. วิศวกรรมอาหาร: หน่วยปฏิบัติการในอุตสาหกรรม. ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์, คณะอุตสาหกรรมอาหาร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ฤทธิไกร งามชม (2547). อ้างถึงใน ศิวพร หงส์ทอง และจุติมา สอนดี. 2554. *การพัฒนาผลิตภัณฑ์หนามแดงกึ่งแห้งด้วยวิธีออสโมซิสร่วมกับการอบแห้งในสภาวะสุญญากาศ.* ปัญหาพิเศษวิทยาศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, มหาวิทยาลัยบูรพา.

วิลาสินี ดีปัญญา (2557). *การผลิตขนมขบเคี้ยวจากบัวบกเพื่อส่งเสริมการบริโภคในเด็ก*. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์.

วิภา โรจนะเมธากุล. (2545). การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหารเส้นเพื่อการควบคุมคุณภาพ. อาหาร, *32(2),* 86-91.

วิไล รังสาดทอง. (2546). *เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร* (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

สายันต์ รวดเร็ว. (2551). *เรื่องลับๆ ของหมึก The secret of squid ink*. เข้าถึงได้จาก http://www.foodsafetymobile.org/data/J/J-04-51-03.pdf

สุธีรา มีภักดี และเพชรดา รัตนสุวรรณ์. (2555). *การผลิตเลือดปลาทูน่าผงเพื่อใช้เป็นส่วนประกอบในขนมขบเคี้ยว.* ปัญหาพิเศษ, ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2547). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมมะกะโรนี.* มอก.475-2546

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2547). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผงปรุง.* มผช. 494/2547

โสภิดา ก่อเกิด. (2555). *ผลของปัจจัยการผลิตโดยกระบวนการเอ็กซทรูชันที่มีต่อสมบัติของขนมขบเคี้ยวที่เป็นแหล่งของไฟเบอร์.* วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, เทคโนโลยีอุตสาหรรมชีวภาพ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

อรอนงค์ นัยวิกุล. (2532). *ข้าวสาลี : วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.* กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อาภัสรา แสงนาค อัญชลี เรืองเดช กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์ วิชมณี ยืนยงพุทธกาล และอุบลรัตน์สิริภัทราวรรณ. (2555). *รายงานวิจัยโครงการการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวโดย กระบวนการเอกซ์ทรูชันจากข้าวหอมนิล*. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ.

อภิญญา เจริญกุล. (2541). อาหารขบเคี้ยว. *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยหอการค้าไทย, (18),* 96-100

AOAC. (2000). *Official method of analysis* of AOAC international (17th ed.). Gaithersburg, MD: Association of Official Analytical Chemists.

Badrie, N., & Mellowes, W.A. (1991). Texture and microstructure of cassava flour extrudate. *Journal of Food Science, 56,* 1319-1322.

Baljeet, S., Ritika, Y.B., & Mahesh, Y.K., (2011). Suitability of pigeon pea and rice starches and their blends for noodle making. *Food Science and Technology, 44,* 1415-1421.

Chaing, B. Y., & Johnson, J. A. (1997). Measurement of total and gelatinized starch by glucoamylase and o-toluidine reagent. *Cereal Chem*, *54(3),* 429-435.

Charunuch, C., Tangkanakul, P., Rungchang, S., & Sonted, V. (2008). Application of Mulberry (Morus alba L.) for Supplementing Antioxidant Activity in Extruded Thai Rice Snack. *Kasetsart Journal, 42*, 79 – 87.

Chinnaswamy,R., & Hanna, M.A. (1990). Macromolecular and functional properties of native and extrusion cooking cornstarch. *Cereal chemistry, 87(5),* 490-499.

Ding, Q. B., Ainsworth, P., Plonkell, A. G., & Marson, H. (2005). The effect of extrusion on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice based expanded snacks. *Journal of Food Engineering*, *66***,** 283-289.

Giese, J. (1992). Pasta: *New twist on an old product. Food Technology*, *46*, 118-126.

Giri,S.K., & Bandyopadhyay,S. (2000). Effect of extrusion a variables on extradite characteristics of fish muscle and rice flour blend in a single screw extruder. *Journal of Food Processing Preservation, 24*, 177-190.

Guha, M., Ali, S.Z., & Bhattacharya, S. (1997). Twin extrusion of rice flour without a die : effect of barrel temptation and screw speed on extrusion and extrudate characteristics. *Journal of Food Engineering, 32,* 251-267.

Harper, J. M. (1981). *Extrusion of foods*. Volume I and II, Florida: CRC Press, Inc.

Hurtado S., Dagà I., Espigulé E., Parés D., Saguer E., ToldràM., & Carretero C. (2012). Use of Porcine Blood Plasma in Phosphate Free Frankfurters. *Procedia–Food Science, 1*, 477-482.

Kadan, R., S., & Pepperman, A., B. (2002). Physicochemical properties of starch in extruded rice flours. *Cereal Chemistry, 79(4)*, 476-480.

Kaur, S., & Das, M. (2011). Functional foods: An overview. *Food Science Biotechnology*, *20(4),* 861-875.

Lee, G., Y., Tsai, M., L., & Tseng, K., H. (1996). Effect of amylose content on the theological property of rice starch. *Cereal Chemistry, 73(4*), 415-420.

Lee, E., Y., Ryu, G., H., & Lim, S., T. (1999). Effect of processing parameter on physical properties of cornstarch extrudates expanded using supercritical CO_2 injection. *Cereal Chemistry, 76(1)*, 63-69.

Lei, M., Wang, J., F., Pang, L., Wang, Y., M., Chen, S., G., & Xue, C., H. (2007). Effects of sepia on the metabolization of blood lipid and antioxidant ability in hyperlipidemia rats. *Chin Journal Mar Drugs, 3*, 30–33.

Liu, H., Luo, P., Chen, S., & Shang, J. (2011). Effects of squid ink on growth performance, antioxidant functions and immunity in growing broiler chickens. *Asian-Aust Journal AnimSci, 24,*1752–1756.

McConnell, O., Longley, R., E., Koehn, F., E., & Gullo, V., P. (1994). In Gullo VP (Eds.), *The discovery of natural products with therapeutic potential* (pp. 109–174). Butterworth-Heinemann, Boston.

Michalczyk, M., Macura R., & Matuszak, I. (2009). The Effect of Air-Drying, Freeze-Drying and Storage on the Quallity and Antioxidant Activity of some Selected Berries. *Journal of Food Processing and Preservation, 33,* 11-21.

Mochizuki, A. (1979). An antiseptic effect of cuttlefish ink. *Bull Jpn Soc Sci Fish*, 45,1401–1403.

Nair, J., R., Pillai, D., Joseph, S., M., Gomathi, P., Senan, P., V., & Sherief, P., M. (2011). Cephalopod research and bioactive substances. *Indian Journal of Geo-Marine Sciences, 40(1)*, 13-27.

Pagani, M., A. (1986). Pasta products from non conventional raw materials. In Mercier, C., And Cantarelli, C. (Eds.), *Pasta and extrusion cooked foods: some technological and nutritional aspects* (pp 52-68). New York: Elsevier applied science publisher

Panutwat, S. (2004). Physical modification of low amylose rice (KDML105) flour and starch by extrusion cooking and drum drying. Dissertation, AIT, Thailand

Rajaganapathy, J., Thyagarajan, S., P., & Edward, J., K. (2000). Study on the cephalopod's ink for anti-retroviral activity. *Indian Journal ExpBiol, 38*, 519–520.

Ramasamy, M., S., & Murugan, A. (2005). Potential antimicrobial activity of marine molluscs from Tuticorin, southeast coast of India against 40 biofilm bacteria. *Journal Shellfish Research, 24,* 243–251.

Saeleaw, M., Durrschmid, K., & Schleining, G. (2012). The effect of extrusion conditions on mechanical-sound and sensory evaluation of rye expanded snack. *Journal of Food Engineering, 110,* 532–540.

Sangnark, A., Limroongreungrat, K., Yuenyongputtakal, W., Ruengdech, A., & Siripatrawan, U. (2015). Effect of Hom Nil rice flour moisture content, barrel temperature and screw speed of a single screw extruder on snack properties. *International Food Research Journal*, *22*(*5*), 2155-2161.

Smewing, J. (1997). Analyzing the texture of pasta for quality control. *Cereal Food World, 42(1),* 8-12

Smith, L., B. (2015). *What Are the Benefits of Squid Ink?*. Retrieved from http://www.livestrong.com/article/490032-what-are-the-benefits-of-squid-ink/.Sriburi, P., & Hill, S.E. (2000). Extrusion of cassava starch with either variation in ascorbic acid concentration or pH. *Internation Journal of Food Science and Technology, 35,* 141-154.

Takai, M., Kawai, Y., Inoue, N., & Shinano, H. (1992). Comparative studies on microbiological and chemical characteristics of Ika-shiokaraakazukuri and Ika-shiokarakurozukuri. *Bull JpnSocSci Fish, 58,* 2373–2378.

Vate, N., K., & Benjakul, S. (2013). Antioxidative activity of melanin-free ink from splendid squid (Loligoformosana). *International Aquatic Research, 5(9),* 1-12.

Vega-Gálvez, A., Miranda, M., Clavería, R., Quispe, I., Vergara, J., Uribe, E., Paez, H., & DiScala, K. (2011). Effect of air temperature on drying kinetics and quality characteristics of osmo-treated jumbo squid (Dosidicus gigas). LWT-Food Science & Technology, 44, 16–23.

Voragen, A., G., J. (1996). *Specific Application of Tapioca Starch.Advanced Post Academic Courses on Technology.* Bangkok, Thailand.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

ก-1 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000)

อุปกรณ์

1. ตู้อบลมร้อน
2. โถดูดความชื้น
3. ภาชนะอลูมิเนียมสำหรับหาความชื้น
4. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง

การวิเคราะห์

1. อบภาชนะอลูมิเนียมสำหรับหาความชื้นในตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วนำออกจากตู้อบ ทิ้งให้เย็นจนกระทั่งอุณหภูมิของภาชนะลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้องในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนัก (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง)

2. นำภาชนะอลูมิเนียมไปอบซ้ำ ชั่งหาน้ำหนักที่แน่นอน (แตกต่างไม่เกิน 0.05 กรัม)

3. ชั่งตัวอย่างที่ต้องการหาความชื้น (โดยตัวอย่างน้ำหมึกผง พาสต้า และขนมขบเคี้ยว ให้ชั่งน้ำหนักตัวอย่างละประมาณ 5 กรัม) บันทึกน้ำหนักของตัวอย่างที่ชั่งได้ ใส่ตัวอย่างลงในภาชนะอลูมิเนียม จนได้น้ำหนักที่คงที่แล้ว

4. นำไปอบในตู้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 5–6 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบและทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วชั่งน้ำหนักของภาชนะพร้อมตัวอย่าง จากนั้นนำไปอบซ้ำในตู้อบลมร้อนจนได้น้ำหนักคงที่ โดยผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งไม่เกิน 0.05 กรัม (ทำการทดลองการวิเคราะห์หาปริมาณความชทันของในแต่ละตัวอย่าง 3 ซ้ำ)

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)} = \frac{(W1 - W2) \times 100}{W1}$$

กำหนดให้ W1 = น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)

W2 = น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

ก-2 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (AOAC, 2000)

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์การย่อยโปรตีน ประกอบด้วยเตาเผาและเครื่องดักจับไอกรด
2. อุปกรณ์กลั่นโปรตีน
3. ขวดรูปชมพู่ ขนาด 125 มิลลิลิตร
4. ขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร
5. ปิเปต (แบบกระเปราะ) ขนาด 5 และ 10 มิลลิลิตร
6. บิวเรตขนาด 25 มิลลิลิตร
7. ลูกแก้ว

สารเคมี

1. สารผสมระหว่างคอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4.H_2O$) และโพแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) อัตราส่วน 1:10
2. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น
3. โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 40
4. กรดบอริกเข้มข้นร้อยละ 4
5. กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.2 N
6. อินดิเคเตอร์เป็นสารผสมระหว่างเมทิลเรต เมธีลีนบลู และโบรโมครีซอลกรีน

วิธีวิเคราะห์

ขั้นตอนการย่อย

1. ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน (โดยตัวอย่างน้ำหมึกผงให้ได้น้ำหนักประมาณ 2 กรัม, ตัวอย่างพาสต้าประมาณ 3 กรัม และตัวอย่างขนมขบเคี้ยวประมาณ 3 กรัม) ใส่ลงในหลอดย่อยโปรตีน
2. ใส่สารผสมระหว่างคอปเปอร์ซัลเฟตและโพแทสเซียมซัลเฟต ปริมาณ 5 กรัมและเติมกรดซัล
ฟูริกปริมาณ 20 มิลลิลิตร
3. วางหลอดย่อยในตัวอย่างย่อยแล้วประกอบสายยางระหว่างฝาครอบ ขวดใส่ด่างและเครื่องดักจับไอกรดให้เรียบร้อย

4. เปิดสวิทช์เครื่องดักจับไอกรดและเตาย่อยแล้วตั้งอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที จากนั้นปรับเพิ่มอุณหภูมิเป็น 400 องศาเซลเซียส ย่อยต่ออีก 60 นาที จนได้สารละลายใส

5. ปล่อยทิ้งไว้ให้เย็น

ขั้นตอนการกลั่นและไตเตรท

1. จัดอุปกรณ์กลั่น แล้วเปิดสวิทช์ให้ความร้อน และเปิดน้ำหล่อเย็นเครื่องควบแน่น

2. นำขวดรูปชมพู่ ขนาด 125 มิลลิลิตร ซึ่งบรรจุกรดบอริก (เข้มข้นร้อยละ 4) ปริมาตร 25 มิลลิลิตร

3. เติมอินดิเคเตอร์แล้วไปรองรับของเหลวที่กลั่นได้ โดยให้ส่วนปลายของอุปกรณ์ควบแน่นจุ่มลงในสารละลายกรด

4. เติมน้ำกลั่นลงในหลอดย่อย 20 มิลลิลิตร จากนั้นเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้ทำปฏิกิริยาเกินพอ สังเกตให้สารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลขุ่น

5. กลั่นให้ได้ของเหลวอยู่ในระดับ 125 มิลลิลิตร

6. ไตเตรทสารละลายที่กลั่นได้ด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.1 N จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีฟ้าอ่อนหรือใส และคำนวณหาปริมาณโปรตีนจากสูตร

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณโปรตีน (ร้อยละ)} = \frac{(A - B) \times N \times 1.4007 \times F}{W2}$$

เมื่อ A คือ ปริมาณกรดที่ใช้ไตเตรทกับตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

B คือ ปริมาณกรดที่ใช้ไตเตรทกับ blank (มิลลิลิตร)

N คือ ความเข้มข้นของกรด (N)

F คือ แฟคเตอร์ (6.25)

W1 คือ น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)

W2 คือ น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น – น้ำหนักน้ำในตัวอย่าง (กรัม)

ก-3 การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (AOAC, 2000)

อุปกรณ์

1. เครื่องสกัดไขมัน
2. เครื่องไฮโดรไลซิส

3. ทิมเบิ้ล

4. ตู้อบลมร้อน

5. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง

6. โถดูดความชื้น

7. กระดาษกรองปราศจากไขมัน

สารเคมี

1. ปิโตรเลียมอีเทอร์ จุดเดือด 40 องศาเซลเซียส

2. สารละลายมาตรฐานกรดโฮโดรคลอริกเข้มข้ม 4N

3. ซีไลท์

4. ซีแซนด์

การวิเคราะห์

1. นำตัวอย่างไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น

2. อบขวดสกัดไขมันที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น นำมาชั่งน้ำหนักจนกระทั่งน้ำหนักคงที่ แตกต่างกันไม่เกิน 0.05 (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) (a)

3. ชั่งตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน (โดยตัวอย่างน้ำหมึกผง ตัวอย่างพาสต้า และตัวอย่างขนมขบเคี้ยว ใช้ตัวอย่างละประมาณ 5 กรัม) (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) และชั่งซีไลท์ปริมาณ 5 กรัม ใส่ตัวอย่างและซีไลท์ลงในบีกเกอร์ไฮโดรไลซีส

4. เติมกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้ม 4 N ปริมาตร 50 มิลลิลิตร เพื่อละลายตัวอย่างและซีไลท์และเขย่าบีกเกอร์

5. เติมกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 4 N ปริมาตร 50 มิลลิลิตร อีกครั้งเพื่อชะล้างตัวอย่างและซีไลท์ ที่ติดอยู่บริเวณข้างบีกเกอร์ไฮโดรไลซีส

6. นำบีกเกอร์ไฮโดรไลซีสวางบนเตาไฟฟ้าของเครื่องไฮโดรไลซิส ให้ความร้อนเบอร์ 2 จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเข้มให้หยุดให้ความร้อน

7. กรองสารละลายขณะร้อนผ่านกระดาษกรองที่มีซีแซนด์ประมาณ 5 กรัม ในตู้ควัน

8. ล้างตะกอนที่ติดอยู่ข้างบีกเกอร์ด้วยน้ำกลั่นร้อนอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ผ่านกระดาษกรอง โดยให้สารละลายที่กรองได้มีปริมาตรรวมประมาณ 250 มิลลิลิตร

9. รอจนตะกอนบนกระดาษกรองแห้ง ห่อกระดาษกรองที่มีตะกอนใส่ทิมเบิล และใส่ลงไปในขวดสกัดที่มีปิโตรเลียมอีเทอร์ 140 มิลลิลิตร และต่อเข้ากับชุดเครื่องสกัดไขมัน ใช้เวลาในการสกัดประมาณ 4 ชั่วโมง

10. ให้ความร้อนประมาณ 200 องศาเซลเซียส เพื่อระเหยปิโตรเลียมอีเทอร์เป็นเวลาครึ่งชั่วโมง

11. เมื่อปิโตรเลียมอีเทอร์ระเหยออกหมดแล้ว อบขวดสกัดด้วยตู้อบลมร้อน ทิ้งขวดสกัดให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก (b) นำมาคำนวณได้ดังสมการ

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณไขมัน (ร้อยละ)} = \frac{(W1) \times 100}{W2}$$

กำหนดให้ W1 คือ น้ำหนักน้ำมันที่สกัดได้ คิดเป็น b – a (กรัม)
W2 คือ น้ำหนักตัวอย่า (กรัม)

ก-4 การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (AOAC, 2000)

อุปกรณ์

1. ตู้อบลมร้อน
2. เตาเผา
3. เตาไฟฟ้า
4. ถ้วยครูซิเบิ้ล
5. โถดูดความชื้น
6. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง

การวิเคราะห์

1. อบแห้งตัวอย่างด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมงทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น

2. เผาด้วยครูซิเบิ้ลในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง รอประมาณ 30-45 นาที เพื่อให้อุณหภูมิในเตาลดลงก่อน แล้วนำออกจากเตาเผาใส่ในโถดูดความชื้นปล่อยให้เย็นถึงอุณหภูมิห้องแล้วชั่งน้ำหนัก

3. เผาซ้ำอีกครั้ง ครั้งละประมาณ 30 นาที แล้วนำออกจากเตาเผาใส่ในโถดูดความชื้น ปล่อยให้เย็นถึงอุณหภูมิห้องแล้วชั่งน้ำหนักให้ได้ผลต่างของน้ำหนักทั้งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 0.05 กรัม

4. ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน (โดยตัวอย่างน้ำหมึกผงให้ได้น้ำหนักประมาณ 2 กรัม, ตัวอย่างพาสต้าประมาณ 3 กรัม และตัวอย่างขนมขบเคี้ยวประมาณ 3 กรัม) ใส่ในถ้วยครูซิเบิ้ลที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน

5. นำไปเผาบนเตาไฟฟ้าจนกระทั่งควันสีดำหมด แล้วจึงนำเข้าเตาเผาอุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส จนกระทั่งได้เถ้าสีขาว ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักเถ้า คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของเถ้าทั้งหมดในตัวอย่าง

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณเถ้า (ร้อยละ)} = \frac{(W2 - W1) \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$

กำหนดให้ W1 = น้ำหนักถ้วย (กรัม)

W2 = น้ำหนักถ้วย + น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา

ก-5 การวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรต

ในการวิเคราะห์ส่วนประกอบโดยรวมประมาณ (proximate analysis) ของตัวอย่างน้ำหมึกผง พาสต้า และขนมขบเคี้ยว จะต้องวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ไขมัน โปรตีน และเถ้า ของตัวอย่างแต่ละชนิดก่อน แล้วจึงหาปริมาณคาร์โบไฮเดรตในตัวอย่างแต่ละชนิดได้ สำหรับปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด คือ ส่วนที่เหลือโดยผลต่าง โดยวิธีคำนวณมีดังนี้

การคำนวณ

$$\text{คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)} = 100 - (\text{ความชื้น} + \text{โปรตีน} + \text{ไขมัน} + \text{เถ้า})$$

ก–6 การวิเคราะห์สมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ

อุปกรณ์

1. หลอดทดลอง
2. ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร

3. ขวดปรับปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร
4. กรวยกรอง พร้อมกระดาษกรองสาร No.2
5. ปิเปต ขนาด 10 มิลลิลิตร
6. ไมโครปิเปต
7. หลอด vival
8. ตะแกรงร่อน 50 เมช
9. เครื่องบด
10. เครื่องปั่นผสม
11. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

สารเคมี

1. เอทานอล ร้อยละ 95
2. เมทานอล
3. ดีพีพีเอช (2-diphenyl-1picrylhydrazyl (DPPH) : $C_{18}H_{12}N_5O_6$) ร้อยละ 90

การเตรียมสารละลาย

1. สารละลาย DPPH 0.15 มิลลิโมล

ชั่งสาร DPPH 0.0059 กรัม ละลายด้วยเอทานอล และปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วย
เอทานอล โดยใช้ขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร

การสกัดตัวอย่าง

การสกัดตัวอย่างน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วย (Vate & Benjakul, 2013)

เตรียมตัวอย่างน้ำหมึกผงให้ได้ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร โดยชั่งตัวอย่าง 5 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมเมทานอล 80 มิลลิลิตร เก็บไว้ในที่มืดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด กรองตัวอย่างด้วยกระดาษกรอง No.2 จากนั้นปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตรด้วยเมทานอล

การสกัดตัวอย่างพาสต้า (Sangnark et al., 2015)

นำเส้นพาสต้ามาบดละเอียดแล้วโดยเครื่องบด ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 80 เมช ชั่งตัวอย่างเส้นพาสต้าบดละเอียด 25 กรัม (ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 250 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) ใส่ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมเมทานอล 80 มิลลิลิตร เก็บไว้ในที่มืดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบตามเวลา

ที่กำหนด กรองตัวอย่างด้วยกระดาษกรอง No.2 จากนั้นปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตรด้วยเมทานอล

การสกัดตัวอย่างขนมขบเคี้ยว (Chan et al., 2008)

ทำการสกัดตัวอย่างตามวิธีที่ดัดแปลงจาก Chan et al. (2008) โดยนำตัวอย่างขนมขบเคี้ยวที่ได้มาบดละเอียดและร่อนผ่านตะแกรง ขนาด 50 เมช ชั่งตัวอย่างขนมขบเคี้ยว 4 กรัม ใส่หลอดหมุนเหวี่ยง ขนาด 50 มิลลิลิตร เติมเมทานอล 40 มิลลิลิตรลิตร (ความเข้มข้นของสารสกัดที่ได้ 100 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) และเขย่าที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำตัวอย่างที่ผ่านการสกัดหมุนปั่นเหวี่ยงที่ 10000 g เป็นเวลา 15 นาที นำสารละลายส่วนใสที่ได้มาใช้ในการวิเคราะห์

การวิเคราะห์

1. ปิเปตตัวอย่างสารละลายที่สกัดจากตัวอย่างแต่ละชนิดมา 1 มิลลิลิตร เติมสารละลาย 0.15 mM DPPH 1 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง

2. ทำให้เข้ากันด้วยเครื่องปั่นผสม ทิ้งให้ทำปฏิกิริยาในที่มืด ณ อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที

3. เมื่อครบเวลาที่กำหนด ทำให้ตัวสารละลายเข้ากันอีกครั้งด้วยเครื่องปั่นผสม และนำวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 517 nm

4. รายงานสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระของน้ำหมึกผง พาสต้า และขนมขบเคี้ยวที่วิเคราะห์ได้ในรูปของค่า เปอร์เซ็นการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH (%inhibition) และ ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (DPPH radical scavenging activity) โดยรายงานเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐาน Trolox ตามวิธีของ Vate and Benjakul (2013) ในหน่วย μmolTE/g

การคำนวณ

เปอร์เซ็นการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH (%Inhibition) คำนวณได้จากสูตรดังนี้

$$\%\text{Inhibition (ร้อยละ)} = [(A0 - A1) / A0] \times 100$$

กำหนดให้ A0 คือ ค่าการดูดกลืนแสงของ blank

A1 คือ ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง

ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (DPPH radical scavenging activity)

รายงานเปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐาน Trolox ตามวิธีของ Vate and Benjakul (2013) ในหน่วย μmolTE/g โดยคำนวณจากสมการที่ได้จากกราฟมาตรฐานของสารละลาย Trolox ที่ความเข้มข้น 10-50 μmol

ภาคผนวก ข
การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงหน้าที่ของน้ำหมึกผง

ข-1 การวิเคราะห์ค่าสีของน้ำหมึกผง

วิเคราะห์ค่าสี L* a* และ b* ของน้ำหมึกผง ด้วยเครื่องวัดค่าสี (colorimeter) Hunter LAB รุ่น Minican XP Plus โดยทำการทดลองตามขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าสีดังนี้

การวิเคราะห์

1. ก่อนทำการวัดค่าสีทุกครั้ง ต้องทำการปรับมาตรฐานของเครื่อง (calibration) โดยการวางบนแผ่นสำหรับ calibrate สีขาวและสีดำบนหัววัด แล้วกดปุ่ม Measure ซึ่งเครื่องวัดค่าสีจะบันทึกข้อมูลค่าสีขาวและสีดำของแผ่นสำหรับ calibrate ไว้

2. นำตัวอย่างน้ำหมึกผงใส่ภาชนะสำหรับวัดค่าสีโดยใส่เต็มภาชนะ ไม่ให้มีช่องว่างที่แสงผ่านได้ โดยเคาะภาชนะให้น้ำหมึกผงกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ

3. ทำการวัดสีของตัวอย่างด้วยระบบ CIE ซึ่งวัดค่า L* a* และ b* ซึ่งบอกค่าดังนี้

L* คือ ความสว่าง โดยสีดำมีค่าเท่ากับ 0 และสีขาวมีค่าเท่ากับ 100

a* คือ ค่าความเป็นสีแดงและสีเขียว โดยค่าบวกแสดงความเป็นสีแดง และค่าลบแสดงความเป็นสีเขียว

b* คือ ค่าความเป็นสีเหลืองและสีน้ำเงิน โดยค่าบวกแสดงความเป็นสีเหลือง และค่าลบแสดงความเป็นสีน้ำเงิน

ข-2 การวิเคราะห์ความสามารถในการละลายน้ำของน้ำหมึกผง (ตามวิธีที่ดัดแปลงจาก Fermandez, 2003)

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างน้ำหมึกผง 5 กรัม ใส่ในหลอดสำหรับนำไปปั่นเหวี่ยง ขนาด 50 มิลลิลิตร

2. เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วปั่นเหวี่ยงที่ 3,000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที

3. หลังการปั่นเหวี่ยงจะเกิดการแยกส่วนของเหลวด้านบน (supernatant) กับตะกอนตัวอย่าง ให้นำ supernatant ใส่ภาชนะอลูมิเนียมสำหรับหาความชื้น แล้วอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง

การคำนวณ

ความสามารถในการละลายน้ำ (กรัม/100 กรัม)

$$= \frac{\text{มวลแห้งของตัวอย่างที่ละลายใน supernatant (กรัม)} \times 100}{\text{มวลแห้งของตัวอย่างทั้งหมด (กรัม)}}$$

ข-3 การวิเคราะห์ความหนาแน่นของน้ำหมึกผง (ตามวิธีที่ดัดแปลงจาก Prakongpan et al., 2002)

การวิเคราะห์

1. ชั่งน้ำหนักของกระบอกตวง ขนาด 10 มิลลิลิตร บันทึกปริมาตร
2. ใส่ตัวอย่างน้ำหมึกผงลงในกระบอกตวง เขย่าเบาๆ ให้ได้ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ชั่งน้ำหนักและบันทึกปริมาณ

การคำนวณ

ความหนาแน่นจากสูตร $D = M/V$

กำหนดให้ D = ความหนาแน่น (กรัม/มิลลิลิตร)

M = น้ำหนักของน้ำหมึกผง (กรัม)

V = ปริมาตรของน้ำหมึกผง (มิลลิลิตร)

การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของพาสต้า

ข-4 การวิเคราะห์คุณลักษณะด้านการหุงต้มของพาสต้า (AACC, 1990)

การวิเคราะห์เวลาที่เหมาะสมในการต้มให้สุก (cooking time)

1. ชั่งพาสต้าหนัก 5 กรัม ตัดให้มีความยาว 5 เซนติเมตร

2. ต้มพาสต้าในน้ำเดือด 200 มิลลิลิตร ในบีกเกอร์ที่มีกระจกนาฬิกาปิด จับเวลาที่ใช้ในการต้มที่ทำให้พาสต้าสุก โดยสุ่มตัวอย่างมาทุกๆ 30 วินาที เพื่อตรวจสอบส่วนทึบแข็งที่จุดกึ่งกลางของเส้นพาสต้า จนเส้นพาสต้าไม่มีส่วนทึบแข็งที่จุดกึ่งกลางเหลืออยู่ บันทึกเป็นระยะเวลาที่เหมาะสมในการต้มพาสต้าให้สุก เวลาที่บันทึกได้ คือ เวลาที่เหมาะสมในการต้มให้สุก (cooking time)

การวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้ม (cooking loss)

1. ชั่งพาสต้าหนัก 5 กรัม ตัดให้มีความยาว 5 เซนติเมตร

2. ต้มในน้ำเดือด 200 มิลลิลิตร โดยใช้เวลาในการต้มพาสต้าตามเวลาที่เหมาะสมในการต้มสุกที่วิเคราะห์ได้

3. นำน้ำที่เหลือหลังจากการต้มใส่ในบีกเกอร์ (ที่ทราบน้ำหนักแน่นอน) นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่

4. ชั่งน้ำหนักบีกเกอร์ หลังการอบ แล้วคำนวณหาปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มดังนี้

การคำนวณ

ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้ม (ร้อยละ)

$$= \frac{(\text{น้ำหนักบีกเกอร์หลังอบ} - \text{น้ำหนักบีกเกอร์เปล่า}) \times 100}{\text{น้ำหนักพาสต้าก่อนต้ม}}$$

การวิเคราะห์น้ำหนักที่ได้หลังการต้ม (cooking yield)

1. ชั่งพาสต้าหนัก 5 กรัม ตัดให้มีความยาว 5 เซนติเมตร

2. ต้มในน้ำเดือด 200 มิลลิลิตร โดยใช้เวลาในการต้มพาสต้าตามเวลาที่เหมาะสมในการต้มสุกที่วิเคราะห์ได้

3. ทิ้งให้สะเด็ดน้ำนาน 1 นาที บนตะแกรง ซับความชื้นส่วนเกินด้วยกระดาษ แล้วนำพาสต้าไปชั่งน้ำหนัก น้ำหนักที่บันทึกได้ คือ น้ำหนักที่ได้หลังการต้ม (cooking yield)

ข-5 การวิเคราะห์ค่าสีของพาสต้า

วิเคราะห์ค่าสี L* a* และ b* ของพาสต้าอบแห้ง และพาสต้าหลังการต้มสุก (ใช้เวลาในการต้มพาสต้าตามเวลาที่เหมาะสมในการต้มสุก ตามที่วิเคราะห์ได้จากคุณลักษณะด้านการหุงต้มของพาสต้า) ด้วยเครื่องวัดค่าสี (colorimeter) Hunter LAB รุ่น Minican XP Plus โดยทำการทดลองตามขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าสีดังนี้

การวิเคราะห์

1. ก่อนทำการวัดค่าสีทุกครั้ง ต้องทำการปรับมาตรฐานของเครื่อง (calibration) โดยการวางบนแผ่นสำหรับ calibrate สีขาวและสีดำบนหัววัด แล้วกดปุ่ม Measure ซึ่งเครื่องวัดค่าสีจะบันทึกข้อมูลค่าสีขาวและสีดำของแผ่นสำหรับ calibrate ไว้

2. นำตัวอย่างพาสต้าเรียงใส่ภาชนะสำหรับวัดค่าสีทีละเส้น โดยเรียงให้เต็มภาชนะและเรียงสลับแนวกันในแต่ละชั้น ซ้อนกันจนเต็มภาชนะ เพื่อไม่ให้มีช่องว่างที่แสงผ่านได้

3. ทำการวัดสีของตัวอย่างด้วยระบบ CIE ซึ่งวัดค่า L* a* และ b* ซึ่งบอกค่าดังนี้

L* คือ ความสว่าง โดยสีดำมีค่าเท่ากับ 0 และสีขาวมีค่าเท่ากับ 100

a* คือ ค่าความเป็นสีแดงและสีเขียว โดยค่าบวกแสดงความเป็นสีแดง และค่าลบแสดงความเป็นสีเขียว

b* คือ ค่าความเป็นสีเหลืองและสีน้ำเงิน โดยค่าบวกแสดงความเป็นสีเหลือง และค่าลบแสดงความเป็นสีน้ำเงิน

ข-6 การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของพาสต้า

การวัดความต้านทานต่อการดึงขาด (tensile strength)

วัดค่าแรงดึงสูงสุดที่ทำให้เส้นขาดออกจากกัน (Peak force) และเวลาที่ใช้ในการดึงเส้นให้ขาดออกจากกัน ใช้หัววัด spaghetti tensile grips (A/SPR)

การเตรียมตัวอย่างเส้นพาสต้า : นำเส้นพาสต้าที่มีความยาว 30 เซนติเมตร มา 50 กรัม ต้มในน้ำเดือด (ใช้น้ำกลั่น 2000 มิลลิลิตร ในการต้ม) ตามเวลาที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลอง ตักเส้นพาสต้าขึ้นแล้วแช่ในน้ำเย็น 1 นาที ตักพาสต้าขึ้นจากน้ำเย็น ทิ้งให้สะเด็ดน้ำเป็นเวลา 2 นาที นำเส้นพาสต้าใส่กล่องพลาสติก ปิดฝา แล้วนำออกมาวัดค่าทีละเส้น โดยพันกับหัววัดด้านบนและด้านล่าง ด้านละ 3 รอบ ซึ่งการวัดตัวอย่างจะต้องทำให้เสร็จภายในเวลา 15 นาที หลังจากการต้ม ค่า tensile strength ที่วัดได้รายงานในหน่วย gf

การวัดความแน่นเนื้อ (firmness)

วัดค่า firmness โดยใช้หัววัด p/35

การเตรียมตัวอย่างเส้นพาสต้า: นำเส้นพาสต้าที่มีความยาว 10 เซนติเมตร มา 50 กรัม ต้มในน้ำเดือด (ใช้น้ำกลั่น 2000 มิลลิลิตร ในการต้ม) ตามเวลาที่ได้จากการทดลอง ตักเส้นพาสต้าขึ้นแล้วแช่ในน้ำเย็น 1 นาที ตักพาสต้าขึ้นจากน้ำเย็น ทิ้งให้สะเด็ดน้ำเป็นเวลา 2 นาที นำเส้นพาสต้าใส่กล่องพลาสติก ปิดฝา แล้วนำออกมาวัดค่าทีละเส้น โดยวางเส้นพาสต้า 5 เส้น ให้ติดกันและอยู่ตรงกลางเมื่อหัววัดกดลงมาซึ่งการวัดตัวอย่างจะต้องทำให้เสร็จภายในเวลา 15 นาที หลังจากการต้ม ค่า firmness ที่วัดได้รายงานในหน่วย gf

การวัดค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้า (adhesiveness)

วัดค่า adhesiveness โดยใช้หัววัด p/35

การเตรียมตัวอย่างเส้นพาสต้า : นำเส้นพาสต้าที่มีความยาว 15 เซนติเมตร มา 50 กรัม ต้มในน้ำเดือด (ใช้น้ำกลั่น 2000 มิลลิลิตร ในการต้ม) ตามเวลาที่ได้จากการทดลอง ตักเส้นพาสต้าขึ้นแล้วแช่ในน้ำเย็น 1 นาที ตักพาสต้าขึ้นจากน้ำเย็น ทิ้งให้สะเด็ดน้ำเป็นเวลา 2 นาที นำเส้นพาสต้าใส่กล่องพลาสติก ปิดฝา แล้วนำออกมาวัดค่าครั้งละ 2 เส้น ใช้กระดาษร้อยปอนด์รองที่ฐานโดยใช้กระดาษกาวสองหน้าติดตามแนวยาวกับฐาน วางเส้นทั้งสองให้ติดบนกระดาษร้อยปอนด์และอยู่ตรงกลางเมื่อหัววัดกดลงมา ซึ่งการวัดตัวอย่างจะต้องทำให้เสร็จภายในเวลา 15 นาที หลังจากการต้ม ค่า adhesiveness ที่วัดได้รายงานในหน่วย gf.sec

ข-7 การวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของพาสต้า

ศึกษาโครงสร้างในลักษณะตัดขวาง และบริเวณพื้นผิวของพาสต้า ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope, LEO 1450 VP, LEO, England) โดยฉาบตัวอย่างพาสต้าด้วยโลหะหนัก แล้วนำตัวอย่างที่ได้มาส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราดในช่วงความต่างศักย์ไฟฟ้า 10 โวลต์ที่กำลังขยายต่าง ๆ (Deng & Zhao, 2008)

<u>การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของขนมขบเคี้ยว</u>

ข-8 การวิเคราะห์สัดส่วนการพองตัวของขนมขบเคี้ยว (ตามวิธีที่ดัดแปลงจาก Sangnark et al., 2015)

การวิเคราะห์

ใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์วัดและคำนวณสัดส่วนของเส้นผ่าศูนย์กลางของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวกับเส้นผ่าศูนย์กลางของช่องทางออกที่หน้าแปลนของเอกซ์ทรูเดอร์ โดยคำนวณดังนี้

การคำนวณ

$$\text{สัดส่วนการพองตัว} = \frac{\text{เส้นผ่าศูนย์กลางของผลิตภัณฑ์}}{\text{เส้นผ่าศูนย์กลางของช่องทางออกที่หน้าแปลน (Die)}}$$

ข-9 การวิเคราะห์ค่าการดูดซับน้ำของขนมขบเคี้ยว

การวิเคราะห์

1. นำตัวอย่างขนมขบเคี้ยว 2.5 กรัม ที่ผ่านการบดร่อนผ่านตะแกรงขนาด 80 เมช ใส่ลงในหลอดหมุนเหวี่ยงที่มีฝาและทราบน้ำหนักแน่นอนเติมน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันโดยคนด้วยแท่งแก้ว และคนทุกๆ 5 นาที เป็นเวลา 30 นาที

2. ล้างส่วนที่ติดมากับแท่งแก้วลงในหลอดหมุนเหวี่ยงโดยใช้น้ำกลั่น 5 มิลลิลิตร นำไปเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยงที่ 2200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที

3. เทส่วนใสลงในถ้วยอะลูมิเนียมที่ทราบน้ำหนัก นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสจนได้น้ำหนักคงที่ แล้วชั่งน้ำหนักส่วนที่เหลือในหลอดหมุนเหวี่ยง เพื่อคำนวณค่าการดูดซับน้ำดังนี้

การคำนวณ

$$\text{ดัชนีการดูดซับน้ำ} = \frac{(\text{น้ำหนักหลอดหมุนเหวี่ยงพร้อมตะกอน} - \text{น้ำหนักหลอดหมุนเหวี่ยง})}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}}$$

ข-10 การวิเคราะห์ค่าการละลายน้ำของขนมขบเคี้ยว

การวิเคราะห์

1. นำตัวอย่างขนมขบเคี้ยว 2.5 กรัม ที่ผ่านการบดร่อนผ่านตะแกรงขนาด 80 เมซ ใส่ลงในหลอดหมุนเหวี่ยงที่มีฝาและทราบน้ำหนักแน่นอนเติมน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันโดยคนด้วยแท่งแก้ว และคนทุกๆ 5 นาที เป็นเวลา 30 นาที

2. ล้างส่วนที่ติดมากับแท่งแก้วลงในหลอดหมุนเหวี่ยงโดยใช้น้ำกลั่น 5 มิลลิลิตร นำไปเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยงที่ 2200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที

3. เทส่วนใสลงในถ้วยอะลูมิเนียมที่ทราบน้ำหนัก นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสจนได้น้ำหนักคงที่ แล้วชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณดัชนีการละลายน้ำ

การคำนวณ

$$\text{ดัชนีการละลายน้ำ} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างส่วนที่ละลายน้ำ} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}}$$

ข-11 การวิเคราะห์ค่าสีของขนมขบเคี้ยว

วิเคราะห์ค่าสี L* a* และ b* ของขนมขบเคี้ยว ด้วยเครื่องวัดค่าสี (colorimeter) Hunter LAB รุ่น Minican XP Plus โดยทำการทดลองตามขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าสีดังนี้

การวิเคราะห์

1. ก่อนทำการวัดค่าสีทุกครั้ง ต้องทำการปรับมาตรฐานของเครื่อง (calibration) โดยการวางบนแผ่นสำหรับ calibrate สีขาวและสีดำบนหัววัด แล้วกดปุ่ม Measure ซึ่งเครื่องวัดค่าสีจะบันทึกข้อมูลค่าสีขาวและสีดำของแผ่นสำหรับ calibrate ไว้

2. นำตัวอย่างขนมขบเคี้ยวเรียงใส่ภาชนะสำหรับวัดค่าสีทีละชิ้น โดยเรียงให้เต็มภาชนะและเรียงสลับแนวกันในแต่ละชั้น ซ้อนกันจนเต็มภาชนะ เพื่อไม่ให้มีช่องว่างที่แสงผ่านได้

3. ทำการวัดสีของตัวอย่างด้วยระบบ CIE ซึ่งวัดค่า L* a* และ b* ซึ่งบอกค่าดังนี้

L* คือ ความสว่าง โดยสีดำมีค่าเท่ากับ 0 และสีขาวมีค่าเท่ากับ 100

a* คือ ค่าความเป็นสีแดงและสีเขียว โดยค่าบวกแสดงความเป็นสีแดง และค่าลบแสดงความเป็นสีเขียว

b* คือ ค่าความเป็นสีเหลืองและสีน้ำเงิน โดยค่าบวกแสดงความเป็นสีเหลือง และค่าลบแสดงความเป็นสีน้ำเงิน

ข-12 การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมขบเคี้ยว

การวัดความแข็ง (hardness)

วัดค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ (hardness) ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว โดยใช้เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Analyzer) ยี่ห้อ Stable Micro Systems รุ่น TA-XT2 ประเทศอังกฤษ ค่าความแข็งที่วัดรายงานในหน่วย g.

<u>เตรียมตัวอย่างขนมขบเคี้ยว</u>

ใช้ขนมขบเคี้ยวรูปแท่งกลม ขนาดยาว 40±3 มิลลิเมตร การวัดจะวางตัวอย่างเหนือแท่นวัดโดยวางตรงจุดที่กำหนดไว้ให้หัววัดเคลื่อนลงมาสัมผัสบริเวณกึ่งกลางหัววัด (Probe) โดยใช้หัววัด P50 (50 mm. Dia. Cylinder Aluminum) วัดตัวอย่างละ 10 ซ้ำ ตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้

Mode	Measureforce in compression
Option	Return to start
Pre-Test speed	1.0 mm/s
Test speed	10.0 mm/s
Post-Test speed	0.5 mm/s
Distance	3 mm
Force	5 g

การวัดค่าความแตกเปราะ (Fractulability) (ดัดแปลงจากสุภาพร เมตตาเจโตวิมุติ และศศิมา ภรณ์ กัลยา, 2557)

วัดค่าความแตกเปราะ (Fractulability) ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว โดยใช้เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Analyzer) ยี่ห้อ Stable Micro Systems รุ่น TA-XT2 ประเทศอังกฤษ ใช้หัววัด HDP/3PB ค่าความแตกเปราะที่วัดได้รายงานในหน่วย mm.

<u>เตรียมตัวอย่างขนมขบเคี้ยว</u>

ใช้ขนมขบเคี้ยวรูปแท่งกลม ขนาดยาว 40±3 มิลลิเมตร การวัดจะวางตัวอย่างบนแท่นกดครั้งละ ชิ้น ใช้หัววัด HDP/3PB โดยต่อเข้ากับแขนสำหรับต่อหัววัดของเครื่อง วัดตัวอย่างละ 10 ซ้ำ ตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้

Option	Measure force in com
Pre-Test speed	1.0 mm/s
Test speed	1.0 mm/s
Post-Test speed	10.0 mm/s
Distance	10 mm
Trigger Type	Auto-5
Data-Acquisiting Rate	200 pps

ข-13 การวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของขนมขบเคี้ยว

ศึกษาโครงสร้างภายใน ลักษณะตัดขวางของขนมขบเคี้ยวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, LEO 1450 VP, LEO, England) โดยฉาบตัวอย่างขนมขบเคี้ยวด้วยโลหะหนัก แล้วนำตัวอย่างที่ได้มาส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราดในช่วงความต่างศักย์ไฟฟ้า 10 โวลต์ที่กำลังขยายต่าง ๆ (Deng & Zhao, 2008)

ภาคผนวก ค
แบบประเมินผลที่ใช้ในการทดสอบทางประสาทสัมผัส

ค-1 แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส ด้านความชอบของผลิตภัณฑ์พาสต้าจากแป้งข้าวเสริมน้ำหมึกผง โดยวิธี 9 – point hedonic scale

ชื่อผู้ทดสอบ..... วันที่.....

ผลิตภัณฑ์ : พาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผง

คำชี้แจง : ท่านจะได้รับผลิตภัณฑ์พาสต้า กรุณาชิมตัวอย่าง แล้วให้คะแนนความชอบในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมที่ใกล้เคียงกับความรู้สึกของท่านมากที่สุด โดย

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

ค่าคุณภาพ	คะแนนความชอบ				
	.....	.....	.....	.....	.....
ลักษณะปรากฏ					
สี					
กลิ่น					
กลิ่นรส					
เนื้อสัมผัส					
ความชอบโดยรวม					

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

ขอขอบคุณในความร่วมมือ

ค-2 แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส ด้านความชอบของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเสริมน้ำหมึกผง โดยวิธี 9 – point hedonic scale

ชื่อผู้ทดสอบ..... วันที่.....

ผลิตภัณฑ์ : ขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผง

คำชี้แจง : ท่านจะได้รับผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว กรุณาชิมตัวอย่าง แล้วให้คะแนนความชอบในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมที่ใกล้เคียงกับความรู้สึกของท่านมากที่สุด โดย

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

ค่าคุณภาพ	คะแนนความชอบ				
	.....	.....	.....	.....	.....
ลักษณะปรากฏ					
สี					
กลิ่น					
กลิ่นรส					
เนื้อสัมผัส					
ความชอบโดยรวม					

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

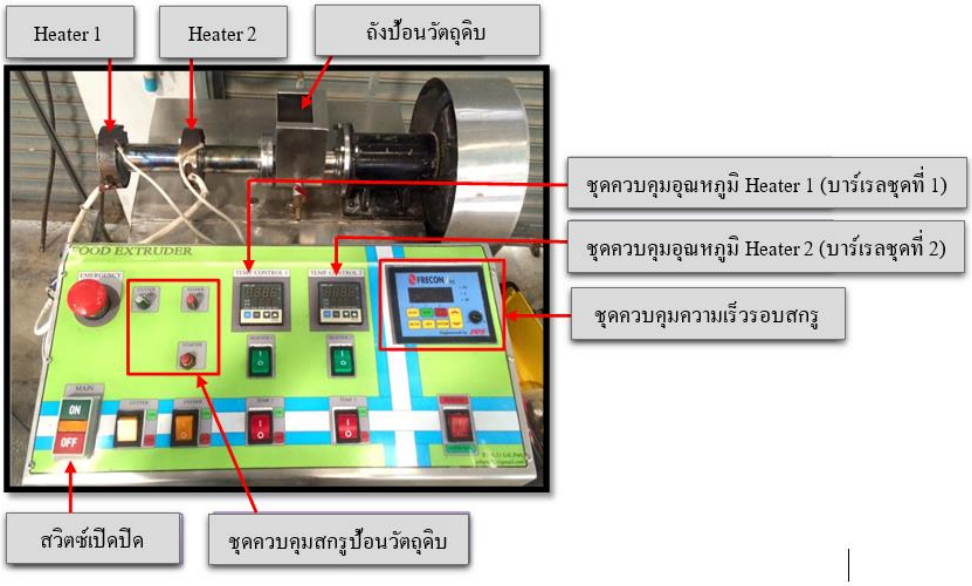
ขอขอบคุณในความร่วมมือ

ภาคผนวก ง
ภาพประกอบการวิจัย

(ก)

(ข)

ถุงน้ำหมึกของหมึกกล้วย (ก) ที่ได้จากการรวบรวมจากตลาดหนองมน จังหวัดชลบุรี มารีดเอาน้ำหมึก (ข) และนำไปทำเป็นน้ำหมึกผง



ลักษณะและส่วนประกอบเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ (Extruder) ระดับปฏิบัติการแบบสกรูเดี่ยว ที่ใช้ในกระบวนการเอกซ์ทรูชันเพื่อผลิตพาสต้าและขนมขบเคี้ยวในงานวิจัย

เผยแพร่และถ่ายทอดองค์ความรู้ให้กับผู้ประกอบการที่สนใจ
ในพิธีการลงนามบันทึกข้อตกลงความร่วมมือ ด้านการจัดการความรู้และสนับสนุนให้เกิดการพัฒนา
ความรู้สู่ท้องถิ่นและชุมชน ระหว่าง หอการค้าจังหวัดชลบุรี กับ มหาวิทยาลัยบูรพา
ในวันอังคารที่ 18 กรกฎาคม พ.ศ. 2560 ณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา