รายงานการวิจัย

การพัฒนาขนมขบเคี้ยวจากข้าวไร่พื้นเมืองนครเสริมโปรตีนผงจิ้งหรีดด้วยเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์สกรูคู่สู่ผลิตภัณฑ์ทางการค้า

(Development of extruded snack from indigenous upland rice of Nakhon fortified cricket protein powder with twin screw extruder to commercial product)

ผศ.ดร.สุภาษิต ชูกลิ่น

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

งบประมาณแผ่นดินประจำปี พ.ศ. 2563

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย งบประมาณเงินรายได้ประจำปี พ.ศ 2563 เป็นงานวิจัยประยุกต์ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ทางอาหารด้วยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหารที่ดีต่อสุขภาพและปลอดภัยต่อผู้บริโภค

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยที่ได้ให้การสนับสนุนทุนในการทำวิจัยนี้ ขอขอบคุณผู้ที่เกี่ยวข้องทุกฝ่ายที่ได้ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ ทั้งความสะดวกในการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือวิเคราะห์ ตลอดจนสถานที่ในการตรวจวิเคราะห์ตัวอย่าง ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการที่ให้การช่วยเหลืออำนวยความสะดวกด้วยดีตลอดมา ขอขอบคุณผู้ร่วมวิจัยที่อุทิศกำลังกายและกำลังใจช่วยวิจัยครั้งนี้ลุล่วงด้วยดี ตลอดจนครอบครัวและผองเพื่อนที่ให้ความห่วงใย เป็นกำลังใจให้เสมอมา ประโยชน์อันใดที่เกิดจากงานวิจัยนี้ย่อมเป็นผลมาจากความกรุณาของท่านและหน่วยงาน ผู้วิจัยจึงใคร่ขอขอบพระคุณมา ณ โอกาส นี้

ผศ.ดร.สุภาษิต ชูกลิ่น

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการพัฒนาเอกซ์ทรูเดตจากข้าวกล้องไร่พื้นเมืองนคร (เม็ดในฝ้าย สังข์หยด และเหนียวดำ) และผงจิ้งหรีดด้วยเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์สกรูคู่ศึกษาปริมาณของผงจิ้งหรีด (0–20% w/w) และปริมาณของข้าวกล้องไร่พื้นเมืองนคร (0-30% w/w) ที่สภาวะคงที่ คือ อุณหภูมิบาเรล 1–6 (40–120°C) อุณหภูมิดาย (140°C) ความเร็วรอบสกรู (450 rpm) และ ความชื้นสารป้อน (12% w/w) พบว่า ข้าวกล้องเม็ดในฝ้ายมีสีม่วงเข้ม ขนาดอนุภาค 250 µm ค่าสี L*, a* และ b* เท่ากับ 48.26, 4.91 และ 0.87 ตามลำดับ มีค่าการต้านอนุมูลอิสระ (6.94 mg vitamin C/g Dry weight (DW)) และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (0.74 mg Gallic acid equivalent (GAE)/g DW) มากกว่าข้าวกล้องสังข์หยด (0.03±0.01 mg GAE/g DW) และข้าวกล้องเหนียวดำ (0.18±0.01 mg GAE/g DW) ส่วนผงจิ้งหรีดมีองค์ประกอบทางเคมีโดยเฉพาะปริมาณโปรตีน (60.40% โดยน้ำหนักเปียก) และไขมัน (16.92% โดยน้ำหนักเปียก) สูง การเพิ่มปริมาณผงจิ้งหรีดและปริมาณของข้าวกล้องไร่พื้นเมืองนครส่งผลต่อเอกซ์ทรูเดตให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้น ค่าการพองตัวลดลง และค่าสีมีค่า L* และ b* ลดลง แต่ a* เพิ่มขึ้น ที่สัดส่วนของผงจิ้งหรีดและข้าวกล้องเม็ดในฝ้าย 5% w/w ได้เอกซ์ทรูเดต (การพองตัวสูงและความแข็งต่ำ) เหมาะสมที่สุด การเพิ่มปริมาณแป้งข้าวกล้องไร่พื้นเมืองนคร (เม็ดในฝ้ายและสังข์หยด) (0-40% w/w) ส่งผลให้เอ็กซ์ทรูเดตมีค่าการพองตัว ค่าสี (L*, a* และ b*) ลดลง แต่ค่าความหนาแน่นรวมและค่าความแข็งเพิ่มขึ้น โดยที่แป้งข้าวกล้องไร่พื้นเมืองนคร 30% (เม็ดในฝ้าย 5%, สังข์หยด 15%) ผงจิ้งหรีด 5% พบว่า เอ็กซ์ทรูเดตมีค่าคะแนนความชอบรวมสูงสุด (7.67) และคุณค่าทางโภชนาการของเอ็กซ์ทรูเดตที่ขนาดบรรจุ 30 g และ 90 g มีค่าพลังงานเท่ากับ 110 Kcal และ 340 Kcal, น้ำตาลเท่ากับ $<$ 1 g และ 2 g, ไขมันเท่ากับ 1.5 g และ 4 g, โซเดียมเท่ากับ 100 mg และ 300 mg ตามลำดับ

คำสำคัญ: ข้าวกล้องไร่พื้นเมือง, เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์, ผงจิ้งหรีด, เอกซ์ทรูเดต

Abstract

In this study, extrudate from indigenous upland brown rice (Mednai Fay, Sung Yod and Black waxy) and cricket powder was developed with twin screw extruder. Effects of cricket powder content (0–20% w/w) and indigenous upland brown rice content (0-30% w/w) were determined. Barrel temperature 1–6 (40–120°C), die temperature (140°C), screw speed (450 rpm) and feed moisture (12% w/w) of extruder conditions were controlled at a constant value in this study. It was found that Mednai Fay flour has dark purple color, particle size 250 µm and color (L*, a* and b*) was 48.26, 4.91 and 0.87, respectively. Antioxidant activity value (6.94 mg vitamin C/g DW) and total phenolic content (0.74 mg GAE/g DW) of Mednai Fay brown rice have more than Sung Yod brown rice (0.03±0.01 mg GAE/g DW) and Black waxy brown rice (0.18±0.01 mg GAE/g DW). Proximate analysis of cricket powder has a high protein and fat at 60.40% by wet weight and 16.92% by wet weight, respectively. Increasing of cricket powder content and indigenous upland brown rice content has affected on properties of extrudate. Results showed that hardness increased but expansion decreased with increasing of cricket powder content and indigenous upland brown rice content. Moreover, color value found that L* and b* decreased but a* value increased. The optimum extrudate (high expansion and low hardness) with use of cricket powder content at 5% w/w and indigenous upland brown rice (Mednai Fay) content was 5% w/w. Increasing the amount of upland brown rice flour in Nakhon (Mednai Fay and Sangyod pellets) (0-40% w/w) resulted in a decrease in expansion ratio, color values (L*, a* and b*). But bulk density and hardness values increased. In which 30% of Nakhon indigenous brown rice flour (Mednai Fay 5%, Sangyod 15%), cricket powder 5% showed that the extrudate had the highest overall liking score (7.67). Moreover, the nutritional value of the extrudate at the package size of 30 g and 90 g has the energy value was 110 Kcal and 340 Kcal, sugar value was $<$ 1 g and 2 g, fat value was 1.5 g and 4 g, sodium value was 100 mg and 300 mg, respectively

Keywords: Cricket powder, extrudate, extruder, indigenous upland brown rice

สารบัญ

เรื่อง **หน้า**

กิตติกรรมประกาศ ..... ก
บทคัดย่อ ..... ข
สารบัญรูป ..... จ
สารบัญตาราง ..... ฉ
บทนำ 1
ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4
วัตถุประสงค์ของการวิจัย 22
วิธีการดำเนินการวิจัย 23
ผลการวิจัยและวิจารณ์ 28
สรุปผลการวิจัย 47
เอกสารอ้างอิง 48
ภาคผนวก 52
ก. วิธีการวิเคราะห์ 52
ข. การเผยแพร่ผลงานวิจัย 58
ค. การยื่นขอสิทธิบัตรหรืออนุสิทธิบัตร 59

สารบาญรูป

รูปที่		หน้า
1	จิ้งหรีด (ก-ข). แมลงสะดิ้ง (ค). จิ้งหรีดทองดำ	13
2	เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่	26
3	เอ็กซ์ทรูเดต	26
4	แป้งข้าวไร่พื้นเมืองนคร	29
5	ผงจิ้งหรีด	31
6	ลักษณะปรากฏเอกซ์ทรูเดตเสริมผงจิ้งหรีด	33
7	ลักษณะปรากฏเอกซ์ทรูเดตเสริมแป้งข้าวกล้องเม็ดในฝ้าย	35
8	ลักษณะปรากฏของเอกซ์ทรูเดตจากแป้งข้าวกล้องไร่พื้นเมือง	37
9	การออกฉลากแบบครั้งที่ 1	40
10	การออกแบบฉลากแบบครั้งที่ 2	41
11	การออกแบบฉลากครั้งที่ 3	42
12	การออกแบบฉลากครั้งที่ 4	43
13	กราฟมาตรฐานกรดแกลลิกด้วยวิธี Folin-ciocalteu method	53
14	กราฟมาตรฐานความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของวิตามินซี ที่ความเข้มข้น 5, 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัม/ลิตร	55

สารบาญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ผลได้เฉลี่ย (กิโลกรัม/ไร่) ของข้าวเมล็ดในฝ้าย เปรียบเทียบกับข้าวดอกพะยอมจากแปลง	7
2	คุณภาพทางเคมีของข้าวเมล็ดในฝ้าย	7
3	คุณค่าทางโภชนาการข้าวเมล็ดในฝ้าย	8
4	องคประกอบทางเคมีของขาวสังขหยดพัทลุง เปรียบเทียบระหวางขาวกลองและขาวขัดขาว	9
5	ปริมาณวิตามินบางชนิดของข่าวมีสีในรูปขาวกลองและขาวขัดขาว	9
6	ปริมาณแรธาตุบางชนิดของข่าวมีสีเปรียบเทียบระหวางข่าวกลอง และขาวขัดขาว	10
7	สูตรของเอกซ์ทรูเดตจากผงจิ้งหรีด	24
8	สูตรของเอกซ์ทรูเดตจากข้าวเม็ดในฝ้าย	25
9	สูตรของเอกซ์ทรูเดตจากข้าวเม็ดในฝ้ายและสังข์หยด	25
10	คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของข้าวไร่พื้นเมืองนคร	30
11	คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของผงจิ้งหรีด	32
12	ผลของปริมาณผงจิ้งหรีดต่อคุณสมบัติทางกายภาพของเอกซ์ทรูเดต	34
13	ผลของปริมาณแป้งข้าวกล้องเม็ดในฝ้ายต่อคุณสมบัติทางกายภาพ ของเอกซ์ทรูเดตเสริมผงจิ้งหรีด	35
14	คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเอกซ์ทรูเดตแป้งข้าวกล้องไร่พื้นเมือง	38
15	คุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของเอกซ์ทรูเดตข้าวไร่พื้นเมือง	39

บทนำ

ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันการดำเนินชีวิตประจำวันมีสภาวะเร่งรีบและแข่งกับเวลาทำให้ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเป็นที่ต้องการของผู้บริโภคเพราะเป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่รับประทานได้ง่ายและสะดวกต่อการพกพา อาหารขบเคี้ยวชนิดแต่ละชนิดมีส่วนผสมต่างกันทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแตกต่างของเนื้อสัมผัสและรสชาติ ส่วนผสมหลักที่ใช้สำหรับเป็นวัตถุดิบเพื่อผลิตอาหารขบเคี้ยว ได้แก่ ธัญชาติ ถั่วต่างๆ ผักและผลไม้ เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีส่วนผสมรองอื่นๆ เช่น สารช่วยยึดเกาะ และสารช่วยเพิ่มกลิ่นรส (กมลวรรณ และคณะ, 2547) ลักษณะของผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวมี 2 ชนิด คือ ชนิดที่มีเนื้อสัมผัสกรอบ (Crunch bars) และชนิดที่มีเนื้อสัมผัสเหนียวนุ่ม (Chewy bars) โดยปริมาณน้ำตาลที่ใช้ในส่วนผสมจะแตกต่างกัน คือ ผลิตภัณฑ์ชนิดเนื้อสัมผัสกรอบ จะมีปริมาณน้ำตาลร้อยละ 15-20 และอาจมีการเติมน้ำผึ้งในส่วนผสมเพื่อเพิ่มรสชาติส่วนผลิตภัณฑ์ชนิดเหนียวนุ่มมีปริมาณน้ำตาลร้อยละ 25-30 (Rice, 1990) ในปัจจุบันผู้บริโภคมีความใส่ใจต่อสุขภาพมากขึ้นทำให้เริ่มมองหาผลิตภัณฑ์อาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการและดีต่อสุขภาพมากขึ้นเน้นการปรุงแต่งโดยใช้วัตถุดิบจากธรรมชาติ ซึ่งสอดคล้องกับความต้องการในอนาคต การผลิตอาหารขบเคี้ยวต้องคำนึงถึงสุขภาพและควบคุมน้ำหนักด้วย การผลิตอาหารขบเคี้ยวโดยกระบวนการเอกซ์ทรูชันเป็นกระบวนการที่ใช้อุณหภูมิสูงในระยะเวลาสั้น ประกอบด้วยการทำงานหลายส่วน ได้แก่ ส่วนที่รับและส่งผ่านวัตถุดิบ ส่วนที่มีการผสม การนวด การให้ความร้อนและการขึ้นรูปโดยการอัดผ่านรูเปิดทำให้เกิดรูปร่าง (กมลวรรณ, 2541) คุณสมบัติของวัตถุดิบมีผลต่อคุณลักษณะเนื้อสัมผัสและสีของอาหารโดยมีปัจจัยที่สำคัญ ได้แก่ ความชื้น ลักษณะทางกายภาพ และองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบโดยเฉพาะชนิดและปริมาณของแป้ง โปรตีน ไขมัน และน้ำตาล ซึ่งแป้งเป็นวัตถุดิบที่ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างรูปร่างของผลิตภัณฑ์ (วิไล, 2545) ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์จะมีการพองตัวโดยที่ไม่ต้องผ่านการทอดโดยน้ำมัน ดังนั้นผลิตภัณฑ์จึงมีไขมันต่ำเหมาะที่จะพัฒนาเป็นขนมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพ (จุฬาลักษณ์, 2550)

จังหวัดนครศรีธรรมราชหรือเมืองคอนเป็นแหล่งปลูกข้าวพื้นเมืองที่มีรสชาติอร่อยเป็นเอกลักษณ์ ที่มีการอนุรักษ์สายพันธุ์ดีสืบทอดกันมาอย่างต่อเนื่องและเป็นข้าวคุณภาพดีมีประโยชน์ต่อสุขภาพของผู้บริโภคโดยเฉพาะข้าวไร่พื้นเมืองมีสีจะมีสารต้านอนุมูลอิสระที่สามารถป้องกันโรคและการเจ็บป่วยต่างๆได้ดี เช่น ข้าวเหนียวดำ ข้าวสังข์หยดไร่และข้าวเมล็ดในฝ้าย ซึ่งปลูกแซมในสวนยางหรือสวนปาล์มของเกษตรกรอย่างไรก็ตามเกษตรกรยังนำผลผลิตจากข้าวไร่มาสีเป็นข้าวสารแล้วบรรจุ

ถุงขายอยู่ซึ่งได้ราคาและยอดขายที่ไม่สูงมากเนื่องจากการบริโภคข้าวสารพื้นเมืองที่ยังไม่นิยมแพร่หลายและเป็นที่ต้องการของผู้บริโภคมากนัก จึงจำเป็นต้องเร่งพัฒนาโดยอาศัยเทคโนโลยีและนวัตกรรมทางการแปรรูปอาหาร นอกจากนี้ได้มีข้อมูลรายงานว่าพืชจากหลายแหล่งมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันรวมทั้งข้าวพื้นเมืองด้วย โดยเมล็ดธัญพืชประเภทข้าวจัดเป็นแหล่งสารกันหืนจากธรรมชาติที่มีความสำคัญ ทั้งนี้เนื่องจากมีสารประกอบโพลีฟีโนลิกเป็นองค์ประกอบในปริมาณสูง สารประกอบโพลีฟีโนลิกเป็นสารสำคัญที่มีส่วนช่วยต้านการเกิดออกซิเดชันของไขมัน อย่างไรก็ตามข้าวก็ยังมีปริมาณโปรตีนที่ไม่สูงดังนั้นการเสริมโปรตีนเข้าไปในข้าวจึงมีความจำเป็นในการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ (Sipat *et al*., 2009) โปรตีนจากพืชส่วนใหญ่เป็นโกลบูลาร์โปรตีน (Globular protein) เช่น ถั่วเหลือง (soy protein) นิยมนำมาใช้ในอาหาร เนื่องจากมีคุณค่าทางอาหารและมีประโยชน์ต่อสุขภาพ โดยถั่วเหลืองจะประกอบด้วยไอโซฟลาโวน (Isoflavone) และโปรตีนซึ่งเป็นสารที่จะช่วยเพิ่มคลอเรสเตอรอลชนิดดี (High density lipoprotein cholesterol, HDL-c) และลดคลอเรสเตอรอลทั้งหมด (CHOL) คลอเรสเตอรอลชนิดเลว (Low density lipoprotein cholesterol, LDL) และไตรกลีเซอไรด์ (TGs) ซึ่งจะลดความเสี่ยงของโรคเส้นเลือดอุดตัน โรคหัวใจและโรคมะเร็งเต้านม (Lobato *et al*., 2011) โปรตีนจากสัตว์ส่วนใหญ่เป็นโปรตีนแบบเส้นใย (Fibrous protein) เช่น เนื้อไก่ มีกรดอะมิโนที่จำเป็นมากกว่าโปรตีนจากพืช แต่เนื้อสัตว์ที่เป็นเนื้อแดง เช่น เนื้อวัว หรือเนื้อหมู ประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัวในปริมาณสูงที่อาจทำให้ระดับของ “แอลดีแอลโคเลสเตอรอล” หรือ “โคเลสเตอรอลตัวที่ไม่ดี” ในเลือดเพิ่มสูงขึ้น เพิ่มความเสี่ยงในการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือดและโรคอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง จึงควรกินเนื้อแดงในปริมาณที่จำกัด และกินเนื้อสัตว์ชนิดอื่นๆ เช่น เนื้อไก่ ปลา และกุ้ง แทน (http://www.healthtoday.net)

แมลงมีโปรตีนสูงระหว่างร้อยละ 28.35 - 70.56 มีปริมาณโปรตีนที่ย่อยได้สูงถึงร้อยละ 77-98 หากมีการเอาไคติน (Chitin) ที่โครงร่างแข็งภายนอกตัว (Exoskeleton) ออก ปริมาณการย่อยโปรตีนนี้จะสูงขึ้นจนเทียบเท่ากับเนื้อสัตว์ สำหรับไขมันในแมลง พบว่า มีปริมาณอยู่ระหว่างร้อยละ 4.46-43.95 มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวรวมอยู่ระหว่าง 30.22-46.10 โดยมีกรดไขมันที่จำเป็น (Essential fatty acid) เช่น Linoleic acid และ Linolenic acid เทียบเท่ากับเนื้อสัตว์ทั่วไป การเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้อาหารขบเคี้ยวโดยการใช้ข้าวกล้องพื้นเมืองนคร และเสริมโปรตีนจึงเป็นการตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค นอกจากนี้วัตถุดิบที่สำคัญในการผลิตอาหารขบเคี้ยว คือ แป้ง การนำข้าวกล้องพื้นเมืองนครมาแปรรูปเป็นแป้งและผลิตเป็นอาหารขบเคี้ยวจึงเป็นการเพิ่มมูลค่าอีกทั้งเป็นการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้อาหารขบเคี้ยวและเป็นทางเลือกใหม่ให้กับผู้บริโภคที่รักสุขภาพรวมทั้งผู้บริโภคที่ต้องการโปรตีนเป็นพิเศษด้วย

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของเอ็กซ์ทรูเดตจากแป้งข้าวไร่พื้นเมืองนครผสมผงโปรตีนจิ้งหรีด ทดสอบคุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ การยอมรับของผู้บริโภคของอาหารขบเคี้ยวเสริมโปรตีนจิ้งหรีด ออกแบบและพัฒนาบรรจุภัณฑ์พร้อมฉลากโภชนาการให้เหมาะสมพร้อมทั้งพัฒนาช่องทางการจำหน่ายผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากเอกซ์ทรูเดตเสริมโปรตีนผงจิ้งหรีด

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.วิวัฒนาการและการกระจายพันธุของขาว

1.1 ตนกำเนิดของพันธุขาว

วิวัฒนาการและการแพรกระจายของขาว นักวิชาการสันนิษฐานวาบรรพบุรุษของขาวมีตนกำเนิดมาจากที่เดียวกัน คือ ขาวปา จากนั้นมนุษยในสมัยโบราณไดนำขาวปาไปปลูก ตอมาจึงเปลี่ยนแปลงจากขาวปาไปเปนขาวปลูก ปจจุบันขาวปามีอยู 21 ชนิด (Species) และขาวปลูก 2 ชนิด คือ ขาวเอเชีย (*Oryza sativa*) และขาวแอฟริกา (*Oryza glaberrima*) มีการผสมขามพันธุกันระหวางขาวปลูกและขาวปา ทำใหเกิดความหลากหลายทางพันธุกรรมของขาว โดยมีพันธุขาวทั่ว โลกประมาณ 120,000 พันธุ โดยมีชื่อเรียกและลักษณะของพันธุตางกัน สำหรับพันธุขาวที่พบในเอเชียคงเกิดจากมนุษยโบราณชาวเอเชียไดนำขาวปามาปลูกใน บริเวณที่อยูอาศัยจนกลายเปนขาวปลูก (*Oryza sativa*) สามารถจำแนกได 3 ชนิดยอย (Sub species) คือ

ขาวจาปอนิกา (Japonica rice) ขาวกลุมนี้ปลูกทั่วไปแถบประเทศเขตกึ่งรอน เขตอบอุน และเขตที่มีอากาศเย็น เชน ญี่ปุน เกาหลี และจีนตอนเหนือ เปนขาวที่มีลักษณะเมล็ดสั้น (นอยกวา 5.50 มิลลิเมตร) และมีปริมาณอะไมโลสต่ำ

ขาวอินดิกา (Indica rice) มีปลูกทั่วไปบริเวณประเทศในเขตรอน เชน ไทย อินเดีย และฟลิปปนส เปนขาวที่มีลักษณะเมล็ดยาว (6.61-7.50 มิลลิเมตร) หรือยาวปานกลาง (5.51-6.60 มิลลิเมตร)

ขาวจาวานิกา (Javanica rice) มีปลูกทั่วไปบริเวณประเทศในเขตเสนศูนยสูตร เชน อินโดนิเซียและพมา เปนขาวที่ผสมระหวางขาวอินดิกาและขาวจาปอนิกา ลักษณะเมล็ดใหญปอม (ความยาวตอความกวางนอยกวา 2.1)

1.2 การสำรวจพันธุขาวในประเทศไทย

ศูนยปฏิบัติการและเก็บเมล็ดพันธุขาวแหงชาติไดรวบรวมพันธุขาวปลูก (*Oryza spp.*) ไวจำนวน 23,903 ตัวอยาง จำแนกเปนขาวพันธุพื้นเมือง 17,093 พันธุ ขาวสายพันธุดี 2,335 พันธุ ขาวสายพันธุตางประเทศ 3,3391 พันธุ ขาวปา (*Oryza* spp.) 1,065 พันธุ และขาวอาฟริกา (*Oryza gluberina*) 19 พันธุ สำหรับพันธุขาวพื้นเมืองไทยทั้งหมดที่เก็บรวบรวมไวจาก 76 จังหวัด ไดจำแนกชื่อในเบื้องตนที่ไมซ้ำกันได 5,928 พันธุ จากความหลากหลายของพันธุขาวพื้นเมืองของประเทศไทยทำใหคาดเดาไดวามีพันธุขาวพื้นเมืองไทยมากกวานี้เพราะยังมีพันธุขาวอีกหลาย ตัวอยางที่ไมไดประเมินลักษณะประจำพันธุหรือจำแนกชื่อพันธุออกมา และมีพันธุขาวพื้นเมืองอีกมากที่ไมไดมีการศึกษามากอนหรือรวบรวมพันธุไว ซึ่งตองศึกษาและคนควาตอไป

2.ขาวมีสีและสมบัติของรงควัตถุใหสี

ข่าวมีสีหรือข่าวที่มีรงควัตถุ (Pigmented rice) หมายถึง ข่าวที่มีรงควัตถุหรือสารใหสี กระจายอยูในสวนของเยื่อหุมเมล็ด ทำใหเมล็ดขาวกลองมีสีตามธรรมชาติที่แตกตางกัน เชน สีแดง สีมวง หรือ สีน้ำตาลแดง รงควัตถุที่ใหสีที่อยูในเยื่อหุมเมล็ด คือ กลุมของแอนโธไซยานิน (Anthocyanin ซึ่งจะสะสมอยูในสวนผิวเมล็ดบริเวณเปลือกเมล็ดจนถึงเยื่อหุมเมล็ดชั้นใน โดยสามารถยับยั้งปฏิกิริยาของอนุมูลอิสระซึ่งเปนสาเหตุหลักของการเกิดโรคหลอดเลือดอุดตัน และมะเร็ง ตัวอยางขาวมีสี เชน พันธุสังขหยด พันธุหอมกระดังงา พันธุข่าวหอมกุหลาบแดง นอกจากนี้ยังรวม ไปถึงขาวเหนียวดำตางๆ เชน ก่ำดอยสะเก็ด ก่ำอมกอย เปนตน

2.1 พันธุ์ข้าวไร่พื้นเมือง

1. ข้าวสังข์หยดไร่

ข้าวสังข์หยดไร่ มีคุณค่าทางอาหารสูงกว่าข้าวพันธุ์อื่นๆ คือ มีกากใยอาหารสูง จึงคุณสมบัติและมีประโยชน์ในการช่วยชะลอความแก่ นอกจากนี้ยังมีโปรตีน ธาตุเหล็ก และฟอสฟอรัสสูงกว่าข้าวพันธุ์อื่นๆ ซึ่งมีประโยชน์ในการบำรุงโลหิต บำรุงร่างกายให้แข็งแรงและป้องกันโรคความจำเสื่อม และยังมีสารแอนติออกซิแดนต์ พวก Oryzanol และมี Gamma Amino Butyric Acid (GABA) ช่วยลดอัตราเสี่ยงของการเป็นมะเร็ง จึงนับได้ว่าข้าวพันธุ์สังข์หยดเป็นข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่มีคุณค่าทางอาหารสูง ข้าวสารสังข์หยดมีลักษณะ เมล็ดเล็ก เรียว ท้ายงอน เยื่อหุ้มเมล็ดจะมีสีแดงถึงแดงเข้ม เมื่อหุงสุกแล้วเมล็ดข้าวจะนุ่ม และจับตัวกันคล้ายข้าวเหนียว วิธีการหุง ให้ซาวข้าวเบาๆ โดยใช้เวลาให้น้อยที่สุดเพียงครั้งเดียว เพื่อไม่ให้สูญเสียคุณค่าของข้าว ข้าวสังข์หยด เป็นข้าวต้นสูง กอตั้ง แตกกอปานกลาง ใบสีเขียว มีขนบนแผ่นใบ เมล็ดข้าวเปลือกสีฟาง ขนาดเมล็ด 9.35 มิลลิเมตร กว้าง 2.13 มิลลิเมตร หนา 1.75 มิลลิเมตร จัดเป็นข้าวเจ้านาสวน ถิ่นกำเนิดอยู่ในจังหวัดพัทลุง องค์ประกอบทางโภชนาการของข้าวสังข์หยด ประกอบด้วย พลังงาน 364.22 แคลอรี ความชื้น 10.71 กรัม โปรตีน 7.30 กรัม ไขมัน 2.43 กรัม คาร์โบไฮเดรท 78.31 กรัม Dictary Fiber 4.81 กรัม เถ้า 1.26 กรัม วิตามิน บี 1 0.32 กรัม และ Niacin 6.46 มิลลิกรัม (สุนันทา สุนทรประเสริฐ, 2549)

2. ข้าวเหนียวดำ

ข้าวเหนียวดำ (*Oryza sativa* L.) สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มย่อย ได้แก่ Indica, Japonica และ Javanica แต่ในประเทศไทยมักนิยมปลูกข้าวเหนียวดำชนิด Indica มากกว่า มีลักษณะเด่นคือ มีสีแดงจนถึงสีม่วงเข้ม เพราะในต้นข้าวมีเม็ดสี (Pigment) ที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์ฟลาโวนอยด์ สำหรับคุณสมบัติของเมล็ดข้าวเหนียวดำเมื่อหุงสุกแล้วจะติดกันเหมือนกาว ข้าวเหนียวเป็นที่นิยมบริโภคอย่างกว้างขวางในประเทศ และเป็นอาหารหลักของประชากรในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคเหนือ นอกจากการบริโภคโดยตรงแล้วยังมีการนำข้าวเหนียวมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตแป้งข้าวเหนียวเพื่ออุตสาหกรรมอาหารและขนมขบเคี้ยว ข้าวเหนียว

มี 2 สี คือ สีขาวและสีดำ (คนเหนือเรียกว่า"ข้าวก่ำ") แต่ข้าวเหนียวดำจะมีสารอาหาร ที่เป็นประโยชน์มากกว่าข้าวเหนียวขาว สารอาหารที่ว่า คือ “โอพีซี" (OPC) มีสรรพคุณช่วยชะลอการแก่ก่อนวัย และความเสื่อมถอยของร่างกาย โดยสารโอพีซีที่พบในข้าวเหนียวดำ เป็นสารชนิดเดียวกับสารสกัดที่ได้จากองุ่นดำองุ่นแดง เปลือกสนการศึกษาคุณค่าทางอาหารของข้าวเหนียวดำโดยธีรพงษ์ บัญญัติโลก (2538) ที่ได้ทำการศึกษาคุณค่าทางอาหารของของข้าวเหนียวดำ พบว่า ประกอบด้วยปริมาณโปรตีน ไขมัน ฟอสฟอรัส โปตัสเซียม และแคลเซียม ทั้งในส่วนของรำข้าว และข้าวกล้อง พบว่า กลุ่มข้าวเหนียวดำมีปริมาณธาตุทั้ง 5 ชนิด ในข้าวกล้องสูงกว่ากลุ่มข้าวขาว สำหรับองค์ประกอบทางโภชนาการ พบว่า ประกอบด้วยพลังงาน 364 กิโลแคลอรี โปรตีน 8.2 กรัม ไขมัน 3.0 กรัม คาร์โบไฮเดรต 76.1 กรัม เส้นใย 4.9 กรัม เถ้า 0.9 กรัม แคลเซียม 26 มิลลิกรัม ฟอสฟอรัส 65 มิลลิกรัม ไนอาซิน 0.6 มิลลิกรัม ลักษณะประจำพันธุ์ เป็นข้าวเหนียว ทรงกอตั้ง ปล้องสีเขียวปนม่วง ใบสีเขียวเข้ม ยาว 68 เซนติเมตร กว้าง 1.4 เซนติเมตร รวงยาว 20 เซนติเมตร จำนวนเมล็ดต่อรวง 100 เมล็ด จำนวนรวงต่อกอ 8 รวงต่อกอ ออกดอกประมาณวันที่ 25 กันยายน ลำต้นค่อนข้างแข็ง ผลผลิตประมาณ 250 กิโลกรัม/ไร่ เปลือกเมล็ดสีม่วงดำ รูปร่างปานกลาง ยาว 7 มิลลิเมตร กว้าง 2.6 มิลลิเมตร หนา 1.8 มิลลิเมตร ข้าวนึ่งสุกนุ่ม มีกลิ่นหอม ลักษณะเด่น เป็นข้าวไม่ไวต่อช่วงแสงจึงปลูกได้ทั้งในฤดูนาปีและนาปรัง โดยใช้ปลูกเป็นพืชร่วมระบบกับพืชอื่นได้ เช่น พริก ข้าวโพด หรือปลูกแซมในสวนยางพารา และมีความสามารถต้านทานต่อโรคไหม้ดี คุณประโยชน์ เปลือกหุ้มเมล็ดมีสีเข้ม จึงมีสารแอนโทไซยานิน ช่วยบำรุงสมอง บำรุงเลือด นิยมนำไปทำขนมต่างๆ เช่น ข้าวเหนียวสังขยา ข้าวหลาม ข้าวต้มมัด ข้าวเหนียวดำเปียก ข้าวเกรียบว่าว

3. ข้าวพันธุ์เมล็ดในฝ้าย

ข้าวเมล็ดในฝ้ายได้มาจากการเก็บรวบรวมพันธุ์ข้าวไร่พื้นเมืองจากเกษตรกรตำบลเขาโร อำเภอทุ่งสง จังหวัดนครศรีธรรมราช นำมาปลูกคัดเลือกสายพันธุ์บริสุทธิ์ (Pure line selection) แบบหมู่ (Mass selection) เป็นข้าวไวต่อแสง อายุการออกดอกจนถึงเก็บเกี่ยวประมาณ 140 – 150 วัน (ปลูกข้าวกลางเดือนพฤษภาคม ออกดอกกลางเดือนกันยายน) เมื่อปลูกโดยวิธีหยอดข้าวแห้งมีลักษณะทรงกอตั้งสูงประมาณ 158 เซนติเมตร ให้ผลผลิตเฉลี่ย 324 กิโลกรัมต่อไร่ (ตารางที่ 1) ลำต้นแข็ง ใบสีเขียวเข้ม มุมปลายใบมีหลายแบบปนกัน มุมปลายใบธงปานกลาง รวงยาว 28.2 เซนติเมตร รวงแน่นปานกลาง คอรวงยาว จำนวนเมล็ดดีต่อรวง 213 เมล็ด เมล็ดร่วงปานกลาง ข้าวเปลือกสีฟางมีความยาว 10.33 มิลลิเมตร กว้าง 2.93 มิลลิเมตร หนา 1.97 มิลลิเมตร

ตารางที่ 1 ผลได้เฉลี่ย (กิโลกรัม/ไร่) ของข้าวเมล็ดในฝ้ายเปรียบเทียบกับข้าวดอกพะยอมจากแปลง

Variety	Yield (kg/rai)				Index	Height	No. of panicle	Flowering
	Plot 1	Plot 2	Plot 3	Avg	(%)	(cm)	per hill	date (50%)
Med Fai 62	280	363	591	411	123	150	11	18 Sept.
Dawk Pa-yawm	218	284	502	335	100	144	10	18 Sept.
CV (%)	33.0	18.4	26.3					

ที่มา: ดลตภรและคณะ (2563)

ข้าวกล้อง รูปร่างเรียว ยาว 7.32 มิลลิเมตร กว้าง 2.41 มิลลิเมตร หนา 1.74 มิลลิเมตร ข้าวสารยาว 7.07 มิลลิเมตร กว้าง 2.35 มิลลิเมตร หนา 1.67 มิลลิเมตร เป็นข้าวอมิโลสปานกลาง (20.9%) ความคงตัวของแป้งสุกอยู่ในระดับปานกลาง (มีค่าการไหลของแป้ง 50 มิลลิเมตร) อุณหภูมิแป้งสุกปานกลาง ปริมาณโปรตีนในข้าวกล้อง 9.44% (ตารางที่ 2) ข้าวเมื่อหุงสุก (ข้าวกล้อง) มีลักษณะนุ่มค่อนข้างร่วน ไม่หอม

ตารางที่ 2 คุณภาพทางเคมีของข้าวเมล็ดในฝ้าย

Quality	Med Fai 62
Chemical quality	
Amylose content (%)	20.9±0.07
Protein in brown rice (%)	9.44±0.13
Gel consistency (mm)	50.0±0.00
Alkali spreading (1.7% KOH)	5.00
Gelatinization	moderate
Elongation ratio	1.52±0.01
Quality of cooked rice	
Cooking (milled rice : water by weight)	1:2.0
Eating quality	
Aroma	1
Glossiness	5.30
Cohesiveness	6.60
Softness	6.60

ที่มา: ดลตภรและคณะ (2563)

คุณค่าทางโภชนาการข้าวเมล็ดในฝ้าย พบว่า มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก Catechin 211.95 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ Tannic acid 64.81 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม Anthocyanin พบสาร Cynidin-3-glucoside, Keracyanin-3-rutinoside, Peonidin-3-glucoside ซึ่งสารทั้ง 3 ชนิด ให้สีม่วงคล้ำและแดงเป็นสารที่มีส่วนประกอบของสารกลุ่มฟีนอลิกและโครงสร้างน้ำตาลจึงทำให้มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ พบว่า มี Cyanidin-3-glucoside หรือ Kuromanin สูงถึง 829.54 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยสารชนิดนี้จะให้สีม่วงเข้มถึงดำในข้าว และมี Peonidin-3-glucoside 62.02 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant Activity) พบว่า ข้าวเม็ดฝ้ายมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ 232.95 มิลลิกรัม TE ต่อ 100 กรัม ปริมาณวิตามิน พบว่า วิตามินบี 1 2 3 และ 6 (0.028 0.013 0.200 และ 0.022 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ) (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 คุณค่าทางโภชนาการข้าวเมล็ดในฝ้าย

Nutrient	Med Fai 62
Vitamin B (mg/100g)	0.263
- vitamin B1	0.028
- vitamin B2	0.013
- vitamin B3 (niacin)	0.200
- vitamin B6	0.022
Calcium (Ca) (mg/100g)	17.00
Iron (Fe) (mg/100g)	1.17
Total antioxidant (mg TE/100g)	232.95
Anthocyanin (mg/kg)	895.66
- kuromanin (cyanidin-3-glucoside)	829.54
- keracyanin-3-rutinoside	4.10
- peonidin (peonidin-3-glucoside)	62.02
Polyphenolic compound (mg/kg)	294.43
- catechin	211.95
- tannic acid	64.81
- rutin	2.90
- isoquercetin	14.77

ที่มา: ดลตภรและคณะ (2563)

3.คุณค่าทางโภชนาการ

คุณคาทางโภชนาการของขาวมีผลมาจากพันธุ สภาวะการปลูก การเก็บเกี่ยว และกระบวนการแปรรูปข่าว นอกจากนี้การขัดสีก็เปนผลทำให้คุณคาทางโภชนาการของข่าวแตกตางกันดวย ดังตัวอยางในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 องคประกอบทางเคมีของขาวสังขหยดพัทลุงเปรียบเทียบระหวางข่าวกลองและขาวขัดขาว

องค์ประกอบทางเคมี (%)	ข้าวกล้อง	ข้าวขัดขาว
โปรตีน	7.41	6.72
ไขมัน	2.18	0.10
เส้นใย	4.55	2.05
เถ้า	1.31	0.34
คาร์โบไฮเดรต	77.88	81.11

ที่มา: สัญญา (2552)

3.1 วิตามิน

วิตามินที่สำคัญที่พบในขาว คือ วิตามินบี 1 วิตามินบี 2 วิตามินบี 3 และวิตามินอี โดยวิตามินเหลานี้พบมากในขาวกลองและขาวที่มีสีแตจะพบนอยในขาวขัดขาวเนื่องจากกระบวนการขัดสีจะทำใหเกิดการสูญเสียวิตามินไปกับรำขาว ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ปริมาณวิตามินบางชนิดของขาวมีสีในรูปขาวกลองและขาวขัดขาว

วิตามิน (หน่วยต่อ 100 กรัม)	ข้าวกล้อง	ข้าวขัดขาว
วิตามินบี 1	2.30	1.20
วิตามินบี 2	0.40	0.14
วิตามินบี 3	21.0	13.00
วิตามินอี	0.60	0.03

ที่มา: สัญญา (2552)

3.2 แรธาตุ

แรธาตุในขาวที่สำคัญ คือ ฟอสฟอรัส แคลเซียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม โซเดียม เหล็ก สังกะสี ทองแดง และซิลิเนียม ซึ่งในขาวกลองมีปริมาณมากกวาขาวขัดขาว ดังในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ปริมาณแรธาตุบางชนิดของขาวมีสีเปรียบเทียบระหวางขาวกลองและขาวขัดขาว

แร่ธาตุ (หน่วยต่อ 100 กรัม)	ข้าวกล้อง	ข้าวขัดขาว
ฟอสฟอรัส	1694.10	1542.50
แคลเซียม	60.20	45.30
โพแทสเซียม	673.70	624.60
แมกนีเซียม	79.40	80.40
โซเดียม	2.11	4.35
เหล็ก	16.46	6.30
สังกะสี	8.96	4.92
ทองแดง	1.49	0.91
ซิลิเนียม	0.15	0.06

ที่มา: สัญญา (2552)

4.ข้าวกล้อง (Brown rice)

ข้าวกล้อง คือ ข้าวที่ผ่านการกะเทาะเปลือกออกแต่ไม่ได้ขัดสีหรือเอารำออกซึ่งยังมีคัพภะหรือจมูกข้าว (Embryo) และเยื้อหุ้มเมล็ดข้าว (รำ) อยู่ทำให้ข้าวกล้องอุดมไปด้วยสารอาหารต่าง ๆ เช่น ใยอาหาร (Fiber) กรดไฟติก (Phytic acid) วิตามินอี วิตามินบี และกรดแกมม่าอะมิโนบิวทิริก (γ-Aminobutyric acid) หรือสารกาบา (GABA) ที่มากกว่าข้าวขาวหรือข้าวขัดสี ซึ่งจะถูกขัดเอาส่วนของจมูกข้าวและรำข้าวออกไป (Juliano, 1972 อ้างอิงโดย น้ำทิพย์, 2548)

1. โครงสร้างของเมล็ดข้าวกล้อง

เมล็ดข้าวเป็นผลชนิดคารีออฟซิส (Caryopsis) เนื่องจากเป็นเมล็ดเดี่ยวติดอยู่กับผนังของรังไข่หรือเยื่อหุ้มผล (Pericarp) ข้าวกล้องเป็นส่วนของเมล็ดข้าวที่เอาเปลือกออก ทำให้เหลือเป็นเมล็ดข้าวที่มีสีแดงจาง ๆ ซึ่งประกอบด้วยเยื่อหุ้มผล มีประมาณร้อยละ 1 ถึง 2 ของเมล็ดข้าว มีลักษณะเป็นเส้นใย (Fibrous) ผนังเซลล์ของเยื่อหุ้มผลประกอบด้วยโปรตีน เซลลูโลส (Cellulose) และเฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) เยื่อหุ้มผลนี้มีสารสีอยู่ทำให้เมล็ดข้าวกล้องมีสีต่าง ๆ เช่น ขาว แดง น้ำตาลเข้ม น้ำตาลเทา และม่วงดำ ข้าวกล้องที่มีสีแดงและม่วงมักมีสารแอนโทไซยานิน (Anthocyanin) อยู่ถัดจากเยื่อหุ้มผลจะเป็นเยื่อหุ้มเมล็ด (Seed coat) ซึ่งประกอบด้วยเนื้อเยื่อสองชั้นเรียงกันเป็นแถว และเป็นที่อยู่ของสารประเภทไขมัน นอกจากนี้ยังมีสารสีอยู่ เช่นเดียวกับเยื่อหุ้มผล ทำให้ข้าวกล้องมีสีแตกต่างกัน (งามชื่น, 2546) ถัดจากเยื่อหุ้มเมล็ด คือ เยื่ออาลูโรน (Aleurone) มีประมาณร้อยละ 4 ถึง 6 ของเมล็ดข้าว เยื่ออาลูโรนเป็นส่วนที่ห่อหุ้มเมล็ดข้าวสาร (Starchy

endosperm) และคัพภะ โดยความหนาของชั้นอาลูโรนจะแตกต่างกันตามสายพันธุ์ของข้าว ผนังเซลล์ของเยื่ออาลูโรนประกอบด้วยโปรตีน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส ส่วนต่อมาเป็นคัพภะหรือจมูกข้าว มีประมาณร้อยละ 2 ถึง 3 ของเมล็ดข้าว เป็นส่วนที่มีโปรตีนและไขมันสูง ส่วนชั้นในสุดของเมล็ดข้าว คือ ส่วนของเมล็ดข้าวสาร ซึ่งเมล็ดข้าวมีแป้งเป็นองค์ประกอบหลักโดยพบสูงสุดประมาณร้อยละ 89 ถึง 94 ของน้ำหนักแห้ง (งามชื่น, 2546; Zhou *et al*., 2004) โดยในเมล็ดข้าวเจ้ามีเม็ดแป้งอัดกันแน่นในส่วนของเอ็นโดสเปิร์ม (Endosperm) ทำให้เนื้อข้าวสารเจ้ามีลักษณะใสกว่าในข้าวสารเหนียว ซึ่งมีเม็ดแป้งอัดกันค่อนข้างหลวม ทั้งนี้ในเมล็ดข้าวเจ้ายังมีส่วนที่ขาวขุ่นซึ่ง เรียกว่า ท่องไข่หรือท้องปลาซิว (White abdomenหรือ Chalkiness) อันเนื่องมาจากการอัดตัวของเม็ดแป้งไม่แน่นพอ ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากลักษณะของสายพันธุ์หรือสภาพแวดล้อมในแปลงปลูกไม่เหมาะสม ลักษณะท้องไข่นี้ถือเป็นลักษะด้อยสำหรับข้าวเจ้า เพราะทำให้น้ำหนักของเมล็ดเบาลงและมีลักษณะเปราะ (บุญหงส์, 2547) โครงสร้างของเมล็ดข้าว แสดงดังรูปที่ 1

5.แมลง

5.1 การบริโภคและคุณค่าทางอาหารของแมลง

แมลงเป็นสัตว์ที่พบในโลกตั้งแต่ยุคดึกดำบรรพจนปัจจุบัน การรอดชีวิตอยู่เป็นเวลายาวนานของแมลงเกิดจากความสามารถในการปรับตัวและความสามารถในการแพร่พันธุ์ แมลงจึงเป็นสัตว์ที่มีจำนวนชนิดและปริมาณมากที่สุดในโลก โดยมีประชากรมากถึงร้อยละ 90 ของประชากรสัตว์ทั้งหมดที่พบบนโลก การมีแมลงปรากฏอยู่บนโลกตั้งแต่อดีต ทำให้มนุษย์รู้จักการบริโภคแมลงมานาน การบริโภคแมลงพบได้ในหลายภูมิโภคของโลก เช่น ทวีปเอเชีย แอฟริกา และอเมริกาใต้ การบริโภคแมลงในประเทศไทยมีมานาน นิยมแพร่หลายในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ แต่ในปัจจุบันกำรบริโภคแมลงได้รับความนิยมทั่วประเทศ พบว่า แมลงที่ใช้เป็นอาหารได้ในประเทศไทยมีถึง 8 กลุ่ม คือ ด้วงปีกแข็ง 61 ชนิด ผีเสื้อ 47 ชนิด จิ้งหรีดและตั๊กแตน 22 ชนิด ผึ้ง มด และต่อ 16 ชนิด จักจั่น 11 ชนิด มวน 11 ชนิด แมลงปอ 4 ชนิด และปลวก 2 ชนิด

การบริโภคแมลงในประเทศไทยได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นและมีการผลิตเพื่อการส่งออกในรูปแมลงกระป๋องและแมลงแช่เย็น/แช่แข็งอีกด้วยทำให้ปริมาณแมลงที่ผลิตได้จากธรรมชาติไม่เพียงพอต่อความต้องการของตลาด ปัจจุบันจึงมีการเลี้ยงแมลงเชิงการค้าเกิดขึ้น โดยแมลงที่มีกาเลี้ยง ได้แก่ จิ้งหรีด แมงดำนำ แมงป่อง และหนอนเยื่อไผ สำหรับดักแด้ไหมซึ่งนิยมบริโภคกันมาแต่โบราณ เป็นผลิตผลพลอยได้ของอุตสาหกรรมผลิตผ้าไหม เมื่อมีการเลี้ยงแมลงเชิงการค้ามากขึ้น จึงเกิดการถนอมรักษาแมลงเพื่อให้สามารถเก็บไว้กินได้นานโดยใช้การแช่เย็นและแช่แข็งเป็นหลัก แมลงที่เก็บถนอมด้วยวิธีนี้ จะนำไปทอด นึ่ง หรือคั่วเพื่อบริโภคหรือจำหน่ายต่อไป นอกจากนี้ยังมีการนำแมลงไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์เพิ่มมูลค่าอีกด้วย โดยทำเป็นแมลงกระป๋อง สำหรับผลิตภัณฑ์ชนิดอื่น

ไม่มีการศึกษาแต่อย่างใดทั้งๆ แมลงมีคุณค่าทางอาหารสูง การศึกษาปริมาณโปรตีนในแมลง 28 ชนิด โดยปิยะนุช (2552) พบว่า แมลงมีโปรตีนสูงระหว่างร้อยละ 28.35-70.56 มีปริมาณโปรตีนที่ย่อยได้สูงถึงร้อยละ 77-98 หากมีการเอาไคติน (Chitin) ที่โครงร่างแข็งภายนอกตัว (Exoskeleton) ออก ปริมาณการย่อยโปรตีนนี้จะสูงขึ้นจนเทียบเท่ากับเนื้อสัตว์ สำหรับไขมันในแมลงพบว่ามีปริมาณอยู่ระหว่างร้อยละ 4.46-43.95 มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวรวมอยู่ระหว่าง 30.22-46.10 โดยมีกรดไขมันที่จำเป็น (Essential fatty acid) เช่น Linoleic acid และ Linolenic acid เทียบเท่ากับเนื้อสัตว์ทั่วไป โดยกรดไขมันชนิด oleic acid (18:1 n-9) มีมากที่สุด สำหรับแร่ธาตุพบว่าแมลงมีปริมาณสังกะสีและเหล็กสูงกว่าเนื้อวัว และมีแคลเซียมสูงถึง 920 มิลลิกรัม/น้ำหนักแมลงแห้ง 100 กรัม สังกะสีเป็นแร่ธาตุที่มีความจำเป็นต่อการเจริญพันธุ์ทางเพศ เป็นองค์ประกอบของน้ำย่อย (Enzyme) ช่วยในการรักษาแผล ช่วยในกระบวนการสร้างและสลายของวิตามินเอ ช่วยป้องกันการติดเชื้อ ช่วยในการเจริญเติบโตเป็นปกติ และช่วยรักษาผิวหนัง เหล็กเป็นองค์ประกอบของเม็ดเลือด ป้องกันโรคโลหิตจาง และเป็นองค์ประกอบของน้ำย่อยบางชนิด ส่วนแคลเซียมเป็นองค์ประกอบของกระดูกและฟัน ช่วยให้เลือดแข็งตัว ช่วยการหดตัวของกล้ามเนื้อ และจำเป็นสำหรับการส่งกระแสประสาทคุณค่าทางอาหารนี้อาจแปรผันตามชนิดแมลง อาหารที่แมลงกิน และฤดูกาล จากข้อมูลด้านคุณค่าทางอาหารดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าแมลงเป็นอาหารที่น่าสนใจมากชนิดหนึ่ง นอกจากคุณค่าทางอาหารที่ดีแล้ว ผู้บริโภคส่วนหนึ่งยังติดใจในกลิ่นรสของแมลงอีกด้วย เนื่องเมื่อผัด ทอด หรือย่าง ไคตินที่เป็นโครงร่างแข็งภายนอกจะมีกลิ่นหอมน่ารับประทาน

5.2 การแปรรูปแมลงกินได้

รูปแบบการบริโภคแมลงสามารถแบ่งได้ 2 ลักษณะ คือ การบริโภคตัวแมลงโดยตรงและการนำไปผสมในอาหารแปรรูปชนิดอื่นเพื่อเพิ่มคุณค่าทางอาหารหรือเพื่อเพิ่มรสชาติ การนำไปทอดหรือคั่วได้รับความนิยมมากที่สุด วิธีการแปรรูปทั้งสองแบบทำให้แมลงสุกและมีความปลอดภัยมากขึ้นแต่ให้กลิ่นรสแมลงปรุงสุกต่างกัน การทอดช่วยให้กลิ่นแมลงหอมขึ้น นอกจากนี้ยังให้ความกรอบ และน้ำมันที่เคลือบในปากระหว่างเคี้ยว ทำให้ผู้บริโภคยอมรับแมลงทอดได้ง่ายขึ้น การคั่วใช้แมลงใส่กระทะตั้งไฟให้ร้อนแล้วคนไปจนสุกอาจเติมเครื่องปรุงอื่นเพิ่ม เช่น เกลือ และผงชูรส หรืออาจใส่สมุนไพรเพื่อเพิ่มกลิ่นหอมก็ได้ การคั่วเป็นการปรุงที่ไม่มีการใช้น้ำมัน ดังนั้นแมลงจึงมีไขมันและแคลอรี่ต่ำกว่าการทอด สำหรับการใช้แมลงผสมในอาหารอื่น พบว่าสามารถนำแมลงมาบดผสมลงในผลิตภัณฑ์อาหารอื่นได้โดยแมลงที่มีศักยภาพในการแปรรูป ได้แก่ จิ้งหรีดขนาดเล็ก ที่เรียกว่า แมงสะดิ้ง (House cricket; รูปที่ 1) เนื่องจากเลี้ยงได้ง่ายไม่กัดกัน ใช้เวลาในการเลี้ยงสั้นเพียง 1 เดือนครึ่ง ราคาไม่สูงนักเพียงกิโลกรัมละ 80-100 บาทและมีโครงสร้างอ่อนนิ่มทำให้บดสับแปรรูปได้ง่าย นอกจากนี้เมื่อแมงสะดิ้งระยะมีไข่ เมื่อนำมาผสมในผลิตภัณฑ์แปรรูปยังได้ผลิตภัณฑ์ที่

มีรสอูมามิ (umami) เหมือนการเติมผงชูรสทำให้ผลิตภัณฑ์อร่อยขึ้น สำหรับจิ้งหรีดสายพันธุ์อื่นที่มีการเลี้ยงเพื่อบริโภค เช่น จิ้งหรีดทองดำก็สามารถนำมาแปรรูปได้เช่นกัน ทองดำเป็นจิ้งหรีดขนาดใหญ่กว่าแมงสะดิ้ง (รูปที่ 1) มีโครงสร้างแข็งกว่า เลี้ยงได้ยากกว่าเนื่องจำกัดกัน ราคาแพงประมาณกิโลกรัมละ 100-120 บาท จิ้งหรีดชนิดนี้เหมาะสำหรับนำมาแปรรูปเพื่อการบริโภคตัวแมลงโดยตรง เช่น นำมาทอดกรอบบรรจุกระป๋อง เนื่องจากให้เนื้อสัมผัสกรอบอร่อย แต่อาจไม่เหมาะต่อการนำไปผสมในอาหารแปรรูปชนิดอื่น เนื่องจากบดยากกว่าแมงสะดิ้ง เมื่อนำไปผสมในผลิตภัณฑ์จากแป้ง จะได้ผลิตภัณฑ์เนื้อหยาบ รู้สึกสากในปากเมื่อเคี้ยว และให้สีผลิตภัณฑ์ดำเข้ม ไม่สวยงาม

(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 1 จิ้งหรีด (ก-ข). แมลงสะดิ้ง (ค). จิ้งหรีดทองดำ
ที่มา: สมสมร (ม.ป.ป)

6. การผลิตอาหารขบเคี้ยวโดยกระบวนการเอกซ์ทรูชัน

กระบวนการเอกซ์ทรูชัน (Extrusion) เป็นกระบวนการแปรรูปอาหารโดยใช้อุณหภูมิสูงในระยะสั้น ซึ่งประกอบด้วยการทำงานหลายส่วนรวมกันภายในเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ (Extruder) ได้แก่ ส่วนรับวัตถุดิบ (Feed hopper) ส่วนที่มีการผสม (Mixing) การนวด (Kneading) การเฉือน (Shearing) การทำให้สุก (Cooking) และการขึ้นรูปโดยการอัดผ่านรูเปิด (Die) ทำให้เกิดรูปร่าง (Shaping) (กมลวรรณ, 2541) โดยทำให้วัตถุอาหารชื้น ร้อนแล้วสุก มีลักษณะหนืด หยุ่นเหนียว คล้ายพลาสติกแล้วอัดผ่านรูเปิดพิเศษเป็นรูปร่างออกมา ปัจจัยที่สำคัญในกระบวนการได้แก่ อุณหภูมิ ความดัน เส้นผ่านศูนย์กลางของหน้าแปลน (Die aperture) และอัตราการเฉือน (วิไล, 2545) ซึ่งเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ประกอบด้วยสกรูที่มีเกลียวลาดเอียงหมุนอยู่ภายในเนื้อที่จำกัดของเหล็กทรงกระบอกผนังสองชั้น เรียกว่า บารเรล (Barrel) ในปัจจุบันเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ที่ใช้มีหลากหลายรูปแบบและมีเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์เพียงบางชนิดเท่านั้นที่สามารถผลิตอาหารสุกและทำให้เกิดเนื้อสัมผัสได้ (Cooking texturizing type) โดยทั่วไปเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์อาจจำแนกออกเป็น 2 แบบ คือ

เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว (Single-screw extruder) และเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่ (Twin-screw extruder)

6.1 ประเภทของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์

ได้มีการจำแนกประเภทของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ตามรูปแบบของสกรูออกเป็น 4 ประเภท (Frame, 1993 อ้างอิงโดย นัทธียา, 2552) คือ

1.เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว (Single-screw extruders) เป็นเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ที่ประกอบด้วยสกรู 1 อัน ขับเคลื่อนอยู่ภายในบาร์เรล (barrel) โดยสกรูมีลักษณะเป็นฟันเกลียวหมุนรอบแกนโลหะที่อยู่ภายในบาร์เรลทรงกระบอก ทำหน้าที่ในการลำเลียง ให้ความร้อนแก่ส่วนผสม และทำให้ส่วนผสมนั้นเป็นเนื้อเดียวกัน

2.เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบนวดผสม (Co-kneaders) เป็นเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยวที่ถูกออกแบบมาสาหรับส่วนผสมที่ไวต่ออุณหภูมิ และแรงเฉือน ป้องกันการหมุนของส่วนผสมในบาร์เรล โดยมีการติดตั้งใบนวดในผนังบาร์เรล ทาให้ส่วนผสมได้รับแรงเฉือนต่ำ เคลื่อนที่แบบขึ้นลง เกิดการผสมที่ทั่วถึง และเป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้น

3.เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูสองตัวหมุนในทิศทางตรงข้ามกัน (Counter-rotating twin-screw extruders) เป็นเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ที่ประกอบด้วยสกรู 2 อัน มีความยาวเท่ากัน ขับเคลื่อนในทิศทางตรงข้ามกันอยู่ภายในบาร์เรล ทิศทางการหมุนของสกรูช่วยในการผสมและป้องกันการหมุนของส่วนผสมในบาร์เรลเหมาะในการแปรรูปอาหารที่ไม่ข้นหนืด โดยใช้ความเร็วรอบต่ำ และต้องการเวลาอยู่ภายในบาร์เรลนานๆ

4.เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูสองตัวหมุนในทิศทางเดียวกัน (Co-rotating twin-screw extruders) เป็นเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ที่ประกอบด้วยสกรู 2 อัน มีความยาวเท่ากัน ขับเคลื่อนในทิศทางเดียวกันอยู่ภายในบาร์เรล ทิศทางการหมุนของสกรูทาให้ส่วนผสมเคลื่อนที่ไปข้างหน้าได้ดี มีการผสมอย่างทั่วถึง และสม่าเสมอ นอกจากนั้นยังมีระบบการทาความสะอาดด้วยตัวเอง จัดเป็นเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ที่นิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรมอาหาร สามารถผลิตอาหารได้หลากหลายชนิด

6.2 ขั้นตอนกระบวนการผลิตโดยวิธีเอ็กซ์ทรูชัน

เริ่มจากการชั่งวัตถุดิบตามสูตรส่วนผสม ผสมให้เข้ากันดีในเครื่องผสมเสร็จแล้วนาออกมาจากเครื่องผสมบรรจุลงในถุงพลาสติก หรือภาชนะที่ใช้บรรจุ จากนั้นนาไปป้อนเข้าเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ที่ประกอบส่วนประกอบต่างๆ เข้าด้วยกันแล้ว ป้อนวัตถุดิบผสมเข้าไปตรงส่วนที่รับวัตถุดิบ (feed port) วัตถุดิบจะถูกพาเข้าสู่ช่วงของการผลิต ซึ่งแบ่งได้ 3 ช่วง ดังนี้ (ประชา, 2544 อ้างอิงโดย นัทธียา, 2552)

1.ช่วงการป้อน และการผสม (Feeding and mixing zone) เป็นช่วงที่ส่วนผสมถูกพาให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้าอย่างต่อเนื่องตามร่องเกลียวสกรู และช่องว่างระหว่างสันเกลียวสกรูกับผนัง

บาร์เรลด้านใน ซึ่งในระหว่างนี้ส่วนผสมจะถูกนวด บด และอัดผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันอุณหภูมิในช่วงนี้จะยังไม่สูงมาก

2.ช่วงการนวด (Kneading zone) เป็นช่วงที่ส่วนผสมถูกอัด นวด และเสียดสีมากขึ้น เนื่องจากสกรูส่วนนี้ถูกออกแบบให้เป็นสกรูที่มีร่องเกลียว และความลึกที่แคบ ตื้นกว่าสกรูช่วงแรก ความร้อนที่เกิดจากการเสียดสี และอุณหภูมิที่สูงขึ้นทาให้ส่วนผสมมีความเหนียวหนืด ยืดหยุ่นได้เหมือนโด (dough) ซึ่งจะเคลื่อนที่ไปยังช่วงที่ 3 ต่อไป

3.ช่วงการหุงต้มหรือช่วงที่ทำให้ร้อนจนสุก (Final cooking zone) สกรูส่วนนี้จะออกแบบพิเศษ เช่น ร่องเกลียวต้องตื้น มุมลาดเอียง องศาของเส้นเกลียวจะมีความชันน้อยลงมีรอยตัด หรือบากที่เส้นเกลียว จานวนเส้นเกลียวมีมากขึ้น เพื่อช่วยเพิ่มแรงเฉือนทาให้การผสมดียิ่งขึ้น สกรูที่มีลักษณะพิเศษนี้จักทาให้แป้งเหนียว หนืด นี้เปลี่ยนแปลงสถานะไปเป็นของเหลวที่ไม่มีรูปพรรณสัณฐานเป็นของเหลวไหลได้ที่เรียกว่าเจล (Gel) หรือแป้งสุก เมื่อถูกอัดผ่านพ้นรูเปิดหน้าแปลนออกมา และด้วยความแตกต่างของความดันบรรยากาศที่ภายนอกกับความดันสูงที่เกิดขึ้นภายในเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ จะทาให้น้าที่อยู่ในส่วนผสมอาหารที่หลอมเหลวเป็นเจลระเหยกลายเป็นไอน้าลอยตัวออกไปพร้อมกับดึงเอาส่วนโครงสร้างที่เป็นแป้งเหลวสุกนี้ยืดขยายตัวออก และคงสภาพความพองไว้ที่อุณหภูมิบรรยากาศภายนอกขณะเดียวกันก็ถูกตัดเป็นชิ้น หรือท่อนตามขนาดที่ต้องการด้วยใบมีด จากนั้นนาไปอบแห้งแล้วเคลือบกลิ่นรสตามแต่ละชนิดของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการทำ

6.3 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์โดยเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์

1. ปัจจัยด้านวัตถุดิบ

ก) สตาร์ช (Starch) ในส่วนผสมของวัตถุดิบต้องมีสตาร์ชเป็นองค์ประกอบหลัก และมีปริมาณมากกว่าวัตถุดิบชนิดอื่น เพราะสตาร์ชมีความสำคัญต่อการขยายตัว ลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส และลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ปริมาณสตาร์ชที่น้อยกว่าร้อยละ 60 จะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีการพองตัวน้อย มีเนื้อสัมผัสแข็งและแน่น (Sunderland, 1996 อ้างอิงโดย นัทธียา, 2552)

ข) แอมิโลส (Amylase) และแอมิโลเพคติน (Amylopectin) สำหรับในแป้งข้าวโพดนั้นอัตราส่วนของแอมิโลส และแอมิโลเพคตินมีอิทธิพลต่อคุณภาพเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ โดยแอมิโลเพคตินช่วยในการพองตัวทำให้น้ำหนักเบา แต่ถ้ามีแอมิโลสมากจะทำให้การพองตัวลดลง สาหรับผลิตภัณฑ์ที่ทำจากแป้งข้าวโพดมีการขยายตัวสูงขึ้นเมื่อปริมาณแอมิโลสต่ำลงและความหนาแน่นก็มีแนวโน้มลดลงด้วย ส่วนผลิตภัณฑ์ที่ทำจากแป้งข้าวเหนียว จะมีความเหนียวสูงและการขยายตัวต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ที่ทำจากแป้งข้าวเจ้าที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำ (Pan *et al*., 1991 อ้างอิงโดย นัทธียา, 2552)

ค) ไขมัน (Fat) ปริมาณไขมันในวัตถุดิบมีผลต่อลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่ทำจากแป้งข้าว เมื่อวัตถุดิบมีปริมาณไขมันสูงขึ้น ไขมันจะทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่น และไปลดความหนืดของโด (Dough) ที่อยู่ภายในบาร์เรล ส่งผลให้อัตราการขยายตัวของผลิตภัณฑ์ลดลง ความหนาแน่น และแรงที่ใช้ในการตัดมีค่าสูงขึ้น สาหรับวัตถุดิบที่มีปริมาณไขมันไม่เกินร้อยละ 4 จะมีอัตราการขยายตัวสูงขึ้นเมื่อมีปริมาณไขมันสูงขึ้น เนื่องมาจากไขมันมีส่วนช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนระหว่างกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน

ง) ความชื้น (Moisture) น้ำหรือความชื้นมีผลอย่างมากต่อการสุกของผลิตภัณฑ์ทั้งในระบบที่มีปริมาณน้ำมากเกินพอ และระบบที่มีน้ำน้อยหรือจำกัดในกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน น้ำทำหน้าที่เป็นตัวถ่ายเทความร้อน และเป็นสารหล่อลื่น ช่วยในการควบคุมความดัน และแรงเฉือนภายในเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ สาหรับวัตถุดิบที่มีความชื้นเริ่มต้นสูงจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีอัตราการพองตัวลดลง ส่วนวัตถุดิบที่มีความชื้นต่าจะส่งผลให้แรงเฉือนเนื่องจากการหมุนของสกรูภายในบาร์เรลสูงขึ้นมีผลให้โดภายในบาร์เรลมีความหนืดสูงขึ้นทำให้แรงดันสูง ดังนั้นอัตราการพองตัวของผลิตภัณฑ์จึงสูงขึ้นตามด้วย อย่างไรก็ตามถ้าปริมาณความชื้นของวัตถุดิบต่าเกินไปส่งผลให้สตาร์ชแตกตัวจากแรงเฉือนเนื่องจากการหมุนของสกรูทาให้อัตราการพองตัวของผลิตภัณฑ์มีค่าลดลง (Chinnaswamy and Hanna, 1988 อ้างอิงโดย นัทธียา, 2552)

จ) ขนาดอนุภาค (Particle size) การใช้แป้งข้าวโพดที่มีขนาดอนุภาคแตกต่างกันในกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีอัตราการขยายตัวต่างกัน เมื่อขนาดอนุภาคของแป้งข้าวโพดใหญ่ขึ้นจะทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างอนุภาคต่ออนุภาคลดลง ทำให้มีแรงเสียดทานต่อกันต่าลง อุณหภูมิของโดจึงลดลงส่งผลให้การพองตัวของผลิตภัณฑ์ลดลง โดยโพรงอากาศภายในโครงสร้างจะมีขนาดใหญ่ขึ้นเล็กน้อย ในขณะที่จำนวนของโพรงอากาศลดลง อีกทั้งการผสมใยอาหารที่มีขนาดอนุภาคเล็กลงในแป้งข้าวโพดก็มีผลต่อการขยายตัวของผลิตภัณฑ์ทั้งด้านยาวและแนวรัศมี (Mohamed, 1990 อ้างอิงโดย นัทธียา, 2552)

ฉ) เส้นใยอาหาร (Fiber) เส้นใยอาหารมีผลต่อโครงสร้างและเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ เพราะจะทำหน้าที่เหมือน solid filler ทำให้ลักษณะการพองของโมเลกุลของแป้งพองตัวได้ยากขึ้น

2. ปัจจัยด้านกระบวนการผลิต

ก) อัตราการป้อนวัตถุดิบ (Feed rate) เมื่ออัตราการป้อนวัตถุดิบสูงขึ้น จะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีการขยายตัวในแนวรัศมีมากขึ้น ในขณะที่การป้อนวัตถุดิบในอัตราลดลงโดยที่ความเร็วรอบของสกรูมีค่าคงที่ จะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีการขยายตัวลดลง โดยผลิตภัณฑ์ที่ทำจากแป้งข้าวโพดที่มีแอมิโลสร้อยละ 25 มีอัตราการพองตัวเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราการป้อนวัตถุดิบ อัตราการ

ป้อนวัตถุดิบที่เหมาะสมคือ 60 กรัมต่อนาที แต่อย่างไรก็ตามอัตราการพองตัวจะลดลงเมื่ออัตราการป้อนวัตถุดิบมากเกินกว่า 60 กรัมต่อนาที (Pan *et al*., 1991 อ้างอิงโดย นัทธียา, 2552)

ข) ความเร็วรอบสกรู (Screw speed) ความเร็วรอบสกรูส่งผลต่อลักษณะของผลิตภัณฑ์ต่างกัน โดยการเพิ่มความเร็วรอบจาก 80 เป็น 150 รอบต่อนาที ส่งผลให้อัตราการขยายตัวเพิ่มขึ้นแต่เมื่อเพิ่มความเร็วรอบขึ้นไปอีกจะทำให้การขยายตัวลดลง และขนาดโพรงอากาศจะเล็กลงด้วย เนื่องจากที่ความเร็วรอบสกรูสูงๆ ทำให้โดมีเวลาอยู่ภายในบาร์เรลสั้นลง การเกิดเจลาติไนซ์เซชัน (Gelatinization) ของสตาร์ชต่ำลงเนื่องมาจากการสุกที่ไม่สมบูรณ์และทำให้เกิดการทำลายเม็ดแป้งมากขึ้นด้วย (Chinnaswamy and Hanna, 1988 อ้างอิงโดย นัทธียา, 2552)

ค) อุณหภูมิของบาร์เรล (Barrel temperature) อุณหภูมิที่ตั้งไว้ตลอดความยาวของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ ถ้าอุณหภูมิทางออกของเครื่องมากกว่า 100°C จะได้ผลิตภัณฑ์ที่พองตัวทันที เนื่องจากเกิดการระเหยของน้ำ และการเปลี่ยนแปลงความดันอย่างรวดเร็ว ส่วนผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะไม่พองทันทีหลังออกจากเครื่อง เกิดเนื่องจากการลดอุณหภูมิช่วงใกล้ทางออกลงต่ำกว่า 100°C (Pan *et al*., 1991 อ้างอิงโดย นัทธียา, 2552)

7.งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสารต้านออกซิเดชันในข้าว

Zhou *et al*. (2004) ศึกษาการกระจายตัวของกรดฟีนอลิกในข้าว พบว่า ข้าวกล้อง (Brown rice) มี erulic acid (255-362 mg/kg grain) และ *p*-coumaric acid (70-152 mg/kg grain) ในระดับสูง ส่วนข้าวสาร (Milled rice) มี ferulic acid (61-84 mg/kg grain) ในระดับต่ำ โดยสารประกอบฟีนอลิกในข้าวจะเป็น bound phenolic acid ซึ่งจะพบในข้าวกล้องและข้าวสารร้อยละ 80-90 และร้อยละ 53-74 ตามลำดับ การเก็บข้าวที่อุณหภูมิ 37°C ทำให้ฟีนอลิกทั้งหมดและ bound phenolic acid ลดลงมากกว่าการเก็บที่อุณหภูมิ 4°C ทั้งในข้าวกล้องและข้าวสาร

Sompong *et al*. (2011) ศึกษาคุณสมบัติเคมี-กายภาพและการต้านอนุมูลอิสระของข้าวแดง 9 สายพันธุ์และข้าวดำ 3 สายพันธุ์ ในประเทศไทย จีน และศรีลังกา พบว่า ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดมีความแตกต่างกันในแต่ละสายพันธุ์ แต่ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างสีของข้าวโดยข้าวไทยสายพันธุ์บางแก้ว (Bhang Gawk, BG) มีปริมาณฟีนอลิกสูงสุดเท่ากับ 691 mg FA/100 g dry matter โดยที่ข้าวแดงจะมีความหลากหลายของฟีนอลิกในรูป free form (Ferulic acid, protocatechuic acid และ vanillic acid) ส่วนข้าวดำจะพบ protocatechuic acid เป็นองค์ประกอบหลักตามด้วย vanillic acid และ ferulic acid ฟีนอลิกในรูป bound form จะพบ ferulic acid เป็นองค์ประกอบในข้าวทั้งสองสี คุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระไม่มีความแตกต่างกันระหว่างข้าวทั้งสองสี ค่าความจุของการต้านอนุมูลอิสระของข้าวแต่ละสายพันธุ์ซึ่งมีค่า ferric reducing antioxidant power (FRAP) อยู่ในช่วง 0.90 – 8.10 mmol Fe(II)/100 g dry matter

และความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระด้วยอนุมูล DPPH เท่ากับร้อยละของอนุมูล DPPH ที่เหลืออยู่ในช่วงร้อยละ 13.00 – 76.40

8.งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอาหารขบเคี้ยว

Rice (1990) กล่าวถึงผลิตภัณฑ์ธัญชาติชนิดแท่งว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่จัดเป็นอาหารขบเคี้ยวชนิดหนึ่งที่มีลักษณะเป็นอาหารหวานซึ่งสามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน โดยผลิตภัณฑ์ลักษณะนี้มีหลายชนิด เช่น กรานูลาร์หรือมูสลี่บาร์ (Granular/muesli bars) ช๊อคโกแลตบาร์ (Chocolate bars) มินิเบรกบาร์ (Minibreak bars) เป็นต้น ลักษณะของผลิตภัณฑ์มี 2 ชนิด คือ ชนิดที่มีลักษณะกรอบแห้ง (Crunch bars) และชนิดเหนียวนุ่ม (Chewy bars) โดยปริมาณน้ำตาลที่ใช้ในส่วนผสมจะแตกต่างกัน คือ ผลิตภัณฑ์ชนิดกรอบแห้งจะมีปริมาณ น้ำตาลในรูปซูโครสทั้งหมดร้อยละ 15-20 และอาจมีการเติมน้ำผึ้งลงในส่วนผสมเพื่อเพิ่มรสชาติ ส่วนผลิตภัณฑ์ชนิดเหนียวนุ่มมีปริมาณน้ำตาลร้อยละ 25-30 ทั้งนี้อาจมีการเติมหางนมเพื่อเพิ่มรสชาติและคุณค่าทางโภชนาการด้วย

Lobato *et al*. (2011) ศึกษาอาหารขบเคี้ยวชนิดแท่งที่เสริมโปรตีนจากถั่วเหลืองและปริมาณไอโซฟลาโวนสำหรับการใช้ควบคุมโรคไขมันในเลือดสูง พบว่า อาหารขบเคี้ยวชนิดแท่งเสริมโปรตีนจะมีปริมาณเส้นใย โปรตีน และไอโซฟลาโวนเท่ากับ 39.88 g, 34.25 g 100.39 g และพลังงาน 245.47 kcal ต่อ 100 g ผลิตภัณฑ์ และในช่วงอายุการเก็บรักษา 6 เดือน พบว่า ค่าความแข็ง ปริมาณอิสระและค่าสีของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นกับระยะเวลาการเก็บที่เพิ่มขึ้น

Banach *et al*. (2014) ศึกษาเนื้อสัมผัสและการเปลี่ยนเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาของการจำลองสารอาหารโปรตีนสูงแบบแท่ง (กลีเซอรอล ไขปาล์มสเตียริน น้ำตาลไซรัป น้ำตาลฟรุคโตสจากข้าวโพด) ด้วยการเสริมกับโปรตีนนมดัดแปลงเข้มข้นโดยทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 22°C, 32°C และ 42°C เป็นเวลา 42 วัน แล้วทำการวัดค่าเนื้อสัมผัส water activity และค่าสีมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยที่อุณหภูมิ 22°C และเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิ 32°C และ 42°C

ปาริสุทธิ์ และคณะ (2550) พัฒนาอาหารขบเคี้ยวชนิดแท่งจากข้าวกล้องและสมุนไพร พบว่า ปริมาณสมุนไพรที่เหมาะสม คือ อบเชยร้อยละ 0.5 สาหร่ายสไปรูลิน่าร้อยละ 1 สัดส่วนฟรุคโทสไซรัป กลูโคสไซรัป และซูโครสที่เหมาะสมในการผลิตอาหารขบเคี้ยวชนิดแท่งจากข้าวกล้องและสมุนไพร คือ 4:2:1 และจากการศึกษาอายุการเก็บรักษาของอาหารขบเคี้ยวชนิดแท่งจากข้าวกล้องและสมุนไพรบรรจุผลิตภัณฑ์ในซองอลูมิเนียมฟอยด์ ที่อุณหภูมิ 30°C สามารถเก็บได้นาน 9 สัปดาห์

ปนิดา และคณะ (2561) ศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างข้าวกล้องงอกหอมมะลิข้าวกล้องหอมมะลิแดงและข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีผลต่อปริมาณสารออกฤทธิ์ในผลติภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวรูปแท่งรสต้มยำ พบว่า ปริมาณข้าวกล้องงอกหอมมะลิที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณกาบาเพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$)

อัตราส่วนข้าวที่เหมาะสม คือ ข้าวกล้องงอกหอมมะลิร้อยละ 25.40 ข้าวกล้องหอมมะลิ แดงร้อยละ 2.42 และ ข้าวไรซ์เบอรี่ร้อยละ 2.42 โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณสารสำคัญสูง ได้แก่ กาบา (2.18 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม) สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (1.43 มิลลิกรัมแกลลิกต่อกรัมตัวอย่าง) และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH (ร้อยละ 70.40) ได้ คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส รสชาติและความชอบโดยรวมอยู่ในช่วง 5.20-5.84 คะแนน จาก 7 คะแนน ซึ่งอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงปานกลาง

9.การพัฒนาอาหารขบเคี้ยวด้วยเครื่องอัดแรงดันสูง

วัชรีและสุนันทา (ม.ป.ป.) ศึกษาผลิตภัณฑ์ข้าวพองอัดแท่งโดยใช้เครื่องอัดแรงดันสูง (Extruder) พบว่า เมื่อมีการเติม สาร $CaCO_3$, น้ำตาล และเกล็ดข้าวโพด ในอัตรา 1, 5 และ 24 g ต่อแป้งข้าวกล้อง 100 g และ มีการลดขนาดวัตถุดิบ ให้มีความละเอียด 80 -100 mesh จะสามารถทำข้าวพองได้จากข้าวทุกประเภท ทำการเคลือบตัวข้าวพองก่อนทำการอัดเป็นแท่ง เพื่อช่วยป้องกันไม่ให้ตัวข้าวพองมีการยุบตัวในขณะอัดแท่ง ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์เนื้อแน่น ไม่กรอบ และเหนียว จากนั้นพัฒนาเป็นข้าวพองอัดแท่งโดยการเติมธัญพืชต่างๆ คือ ข้าวโพดอบแห้ง 10 g ถั่วเขียวทอด 40 g ข้าวตอก 10 g งาขาว และงาดำ 20 g ต่อข้าวพองปรุงรส 100 g แล้วมาผสมกับสารให้กลิ่นรส และช่วยในการยึดเกาะ คือ เดกซ์ตริน 20 g นมผง 60 g และน้ำอุ่น 50 ml ต่อข้าวพอง 100 g ทำการอัดแท่ง นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ อบที่อุณหภูมิ 80°C นาน 30 นาที ก่อนการบรรจุ ได้ผลิตภัณฑ์ข้าวพองอัดแท่ง

สุธาสินี และคณะ (2561) ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิบาร์เรลและความชื้นของตัวอย่างป้อนต่อคุณภาพทางเคมี กายภาพ และประสาทสัมผัสของเอกซ์ทรูเดตโปรตีนสูงจากแป้งข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 พบว่า เมื่อใช้อุณหภูมิบาร์เรล 160 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ความหนาแน่นและความแข็งของเอกซ์ทรูเดตลดลง อัตราการพองตัว สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (ด้วยวิธี Diphenyl-picryhydrazyl radical scavenging assay, DPPH และ Ferric ion reducing antioxidant power assay, FRAP) เพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส การเพิ่มความชื้นของตัวอย่างป้อนส่งผลให้ความหนาแน่นและความแข็งของเอกซ์ทรูเดตเพิ่มขึ้น แต่อัตราการพองตัว สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (DPPH และ FRAP) ลดลง อย่างไรก็ตามอุณหภูมิบาร์เรลและความชื้นของตัวอย่างป้อนที่ทำการศึกษาไม่ส่งผลต่อปริมาณโปรตีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยยังคงมีปริมาณโปรตีนสูงอยู่ในช่วงร้อยละ 11.51 – 11.57 ผลการประเมินทางประสาท สัมผัสด้วยวิธี 9 - point hedonic scale พบว่า เอกซ์ทรูเดตโปรตีนสูงที่ได้รับค่าคะแนนความชอบสูงที่สุดในทุก คุณลักษณะมาจากสภาวะการผลิตที่อุณหภูมิบาร์เรล 160 องศาเซลเซียสและความชื้นของตัวอย่างป้อน ร้อยละ 18 และที่สภาวะนี้มีค่าเฉลี่ยคะแนนความชอบโดยรวมของเอกซ์ทรูเดตโปรตีนสูงเท่ากับ 8.04 (ระดับชอบมาก)

Charunuch *et al*. (2003) ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของเอ็กซ์ทรูเดตอาหารว่างจากข้าวกล้องของไทย (ปทุมธานี 1 และสุพรรณบุรี 1) พบว่า ปัจจัยหลัก (ความชื้นของการป้อนหรืออัตราเร็วสกรู) ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อคุณสมบัติทางกายภาพของเอ็กซ์ทรูเดตโดยความชื้นการป้อนที่ลดลงหรือการเพิ่มความเร็วสกรูจำทำให้เพิ่มอัตราการพองตัวและค่าดัชนีการละลายน้ำแต่จะลดค่าความหนาแน่นลงซึ่งผลที่เกิดขึ้นมีลักษณะสอดคล้องกันกับข้าวทั้งสองสายพันธ์ เอ็กซ์ทรูเดตอาหารว่างจากข้าวกล้องที่ดำเนินการด้วยความชื้นการป้อนร้อยละ 13 และอัตราเร็วสกรู 350 rpm จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นที่ยอมรับในทางคุณค่าโภชนาการ

Stojceska *et al*. (2009) ศึกษาอิทธิพลของการเอ็กซ์ทรูเดอร์ด้วยอัตราการป้อนน้ำที่แตกต่างกันต่อคุณภาพของอาหารว่างพร้อมบริโภคจากผลพลอยได้ของอาหาร (เมล็ดข้าวที่ผ่านการหมักเบียร์และกะหล่ำปลีแดง) พบว่า การเพิ่มอัตราการป้อนน้ำที่ร้อยละ 15 จะเพิ่มปริมาณของเส้นใยในเอ็กซ์ทรูเดต และการเอ็กซ์ทรูเดอร์จะเพิ่มปริมาณของการต้านอนุมูลอิสระและฟีนอลิกทั้งหมดในตัวอย่างจากข้าวสาลีผสมกะหล่ำปลีแดงและข้าวโพดผสมกะหล่ำปลีแดง รวมทั้งอัตราการป้อนน้ำจะส่งผลต่อปริมาณเส้นใยทั้งหมด อัตราการพองตัว ความหนาแน่น ความแข็ง ดัชนีการละลายน้ำ ค่าสีของเอ็กซ์ทรูเดต

Dehghan-Shoar *et al*. (2010) ศึกษาคุณลักษณะทางเคมี-กายภาพของเอ็กซ์ทรูเดตอาหารว่างที่อุดมไปด้วยไลโคปีนมะเขือเทศ พบว่า ไลโคปีนจะยังคงมีอยู่ปริมาณสูงในผลิตภัณฑ์ที่เติมผงผิวมะเขือเทศ การเพิ่มอุณหภูมิของกระบวนการ (140, 160 และ 180°C) จะช่วยปรับปรุงคุณลักษณะทางเคมี-กายภาพของอาหารว่างแต่ไม่ส่งผลต่อปริมาณไลโคปีนที่คงเหลืออยู่

Chanlat *et al*. (2011) ศึกษาการเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่ของข้าวกล้องงอกต่อคุณสมบัติทางเคมี-กายภาพและสาร GABA ของเอ็กซ์ทรูเดตอาหารว่าง พบว่า การเพิ่มความชื้นการป้อนจะเพิ่มความหนาแน่น ความแข็ง ดัชนีการดูดซับน้ำของเอ็กซ์ทรูเดตแต่จะลดอัตราการพองตัว ความกรอบและดัชนีการละลายน้ำของเอ็กซ์ทรูเดต การเพิ่มอัตราเร็วสกรู (243-434 rpm) จะเพิ่มอัตราการพองตัว ความกรอบ ดัชนีการดูดซับน้ำ และดัชนีการละลายน้ำของเอ็กซ์ทรูเดตแต่จะลดความหนาแน่นและความแข็งของเอ็กซ์ทรูเดต การเพิ่มความชื้นการป้อนและอัตราเร็วสกรูไม่ส่งผลต่อปริมาณ GABA อย่างมีนัยสำคัญ

Potter *et al*. (2013) ศึกษาการใช้ผลไม้ผงในเอ็กซ์ทรูเดตอาหารว่างสำหรับเด็กลดความอ้วน พบว่า ผลไม้ผง (แอปเปิ้ล กล้วย สตอร์เบอร์รีและส้ม) จะมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการพองตัวและความหนาแน่นของเอ็กซ์ทรูเดต ทั้งเส้นใยที่ละลายได้และไม่ละลายจะเพิ่มขึ้นหลังจากกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันแต่จะส่งผลที่ลดลงต่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีคุณค่าทางโภชนาการเพิ่มขึ้น

Na Sakhon Nakhon *et al*. (2018) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของปริมาณฟักทองและความชื้นสารป้อนเพื่อผลิตขนมขบเคี้ยวสุขภาพจากฟักทองและข้าวกล้องงอก พบว่า ฟลาวซ์ฟักทองจะเพิ่มความหนาแน่น ความแข็ง ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระแต่ลดอัตราการพองตัวของเอกซ์ทรูเดต การลดลงของความชื้นสารป้อนจะเพิ่มค่าปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของขนมขบเคี้ยว สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตของเอกซ์ทรูเดตด้วยระเบียบวิธีพื้นผิวตอบสนอง คือ ปริมาณฟลาวซ์ฟักทองเท่ากับร้อยละ 10 -13 และความชื้นสารป้อนร้อยละ 13 – 14 ภายใต้สภาวะ คือ อุณหภูมิ 140°C (โซน 6) และความเร็วสกรู 350 rpm ได้เอกซ์ทรูเดตที่มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 20 – 28 mg GAE/100 g ตัวอย่าง ลักษณะปรากฏและความแข็งมีคแนนมากกว่า 6.5 (9 – point hedonic scale) ดังนั้นผลจากการศึกษานี้สนับสนุนการใช้ฟลาวซ์ฟักทองและข้าวกล้องงอกเพื่อพัฒนาอาหารขบเคี้ยวสุขภาพ

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.เพื่อศึกษาคุณภาพของผงจิ้งหรีดและข้าวไร่พื้นเมืองนคร

2.เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของผงจิ้งหรีดต่อคุณภาพของเอกซ์ทรูเดต

3.เพื่อศึกษาคุณภาพของขนมขบเคี้ยวจากเอกซ์ทรูเดตเสริมโปรตีนผงจิ้งหรีด

4.เพื่อออกแบบและพัฒนาบรรจุภัณฑ์พร้อมฉลากโภชนาการให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากเอกซ์ทรูเดตเสริมโปรตีนผงจิ้งหรีด

5.เพื่อจัดหาช่องทางการจำหน่ายผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากเอกซ์ทรูเดตเสริมโปรตีนผงจิ้งหรีด

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.ทราบคุณค่าทางโภชนาการของข้าวไร่พื้นเมืองนครและผงจิ้งหรีด

2.ได้ผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวจากข้าวไร่พื้นเมืองนครผลเสริมผงโปรตีนจิ้งหรีดซึ่งมีคุณค่าทางโภชนาการ

3.นักวิจัยสามารถนำเสนอและเผยแพร่ผลงานทางวิชาการในระดับชาติ/นานาชาติทำให้มีผลงานทางวิชาการสูงขึ้น

4.เพิ่มมูลค่าให้เกษตรกรผู้ปลูกข้าวไร่พื้นเมืองนครและเลี้ยงจิ้งหรีดมีรายได้เพิ่มขึ้นและทำให้ยกระดับคุณภาพชีวิตดีขึ้น

5.ผู้บริโภคผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวได้บริโภคอาหารที่มีคุณค่าโภชนาการ

6.สามารถนำองคความรูที่ไดไปประยุกตใชในการผลิตเชิงพาณิชยได

วิธีการดำเนินการวิจัย

1.การเตรียมวัตถุดิบ

1.1. ข้าวไร่พื้นเมืองนคร

นำข้าวเปลือกพื้นเมืองนคร (ข้าวสังข์หยดไร่ ข้าวเมล็ดในฝ้ายและข้าวเหนียวดำ) ไปกระเทาะเปลือกด้วยเครื่องกระเทาะเปลือก บดด้วยเครื่องบดละเอียด คัดขนาดด้วยตะแกรงร่อน (mesh no.60) แล้วเก็บในถุงอะลูมิเนียมฟอยด์ปิดสนิทที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ก่อนนำไปวิเคราะห์คุณภาพ

สกัดตัวอย่างข้าว (ตัวอย่าง 2 กรัม) ด้วยสารละลายเมทานอลที่อุณหภูมิห้องภายใต้การกวนผสมให้เข้ากันเป็นเวลา 30 วินาที นำไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 2500 x g เป็นเวลา 10 นาที แยกส่วนใสออก จากนั้นนำส่วนผสมที่เหลือไปสกัดซ้ำ 2 ครั้ง ตามวิธีข้างต้น จนได้สารสกัดสุดท้าย 50 มิลลิลิตรในเมทานอล (Brand-Williams *et al*., 1995) สารละลายที่ได้นำไปวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (Singleton *et al*., 1999)

1.2. จิ้งหรีด

นำจิ้งหรีดมาแช่ในน้ำเย็น ตักออกด้วยกระชอนใส่ลงในน้ำสะอาด ล้างด้วยน้ำ 3 ครั้ง นำไปลวกในน้ำต้มเดือด อบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (80°C, 48 hr) บดด้วยเครื่องปั่น เก็บในถุงอะลูมิเนียมฟอยด์ปิดสนิทที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ก่อนนำไปวิเคราะห์คุณภาพ

2.วิเคราะห์คุณภาพของข้าวไร่พื้นเมืองนครและผงจิ้งหรีด

2.1 คุณภาพทางกายภาพ

1. วัดค่าสี โดยใช้เครื่อง Hunter Lab ได้แก่ ค่าสี L* (ค่าความสว่างมีค่า 0 ถึง 100 โดย 0 หมายถึง วัตถุที่มีความสว่างสีดำ 100 หมายถึง วัตถุที่มีความสว่างสีขาว) a* (+ หมายถึง วัตถุมีสีแดง, – หมายถึง วัตถุมีสีเขียว) และ b* (+ หมายถึง วัตถุมีสีเหลือง, – หมายถึง วัตถุมีสีน้ำเงิน) จำนวน 3 ซ้ำ

2. ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (aw) โดยใช้เครื่องวัดค่า aw จำนวน 3 ซ้ำ

2.2 องค์ประกอบทางเคมี ความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมัน ใยอาหาร ตามวิธีของ A.O.A.C (2000) จำนวน 3 ซ้ำ

2.3 กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ดังนี้

ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ (2,2 diphenyl-1-picryhydrazyl scavenging activity, DPPH) ตามวิธีของ Brand-Williams *et al*. (1995) ปิเปตสารสกัดของตัวอย่าง 3 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง เติม 0.2 มิลลิโมล DPPH 2 มิลลิลิตร กวนผสมให้เข้ากันและ

ตั้งทิ้งให้เกิดปฏิกิริยาในที่มืด ที่อุณหภูมิห้อง 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร วัดค่าโดยใช้เครื่อง UV-Visible spectrophotometer จำนวน 3 ซ้ำ สูตรคำนวณ ดังนี้

$$\frac{[\text{ค่าการดูดกลืนแสงของ DPPH ควบคุม} - \text{ค่าการดูดกลืนแสงตัวอย่าง}]}{\text{ค่าดูดกลืนแสงของ DPPH ควบคุม}} \times 100$$

3. ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของผงจิ้งหรีดและข้าวไร่พื้นเมืองนครต่อคุณภาพของเอกซ์ทรูเดต

นำข้าวไร่พื้นเมืองนคร (ข้อ 1.1) และผงจิ้งหรีด (ข้อ 1.2) บดผสมกับแป้งข้าวเจ้า เกล็ดข้าวโพด น้ำมันพืช น้ำตาล และ $CaCO_3$ ในเครื่องเครื่องผสมจากนั้นนำส่วนผสมไปแปรรูปดังแสดงในตารางที่ 7 - 9 โดยเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่ดังแสดงในรูปที่ 2 ใช้หน้าแปลนรูปวงกลม 1 รู (4 mm) อัตราการป้อนส่วนผสม 10 rpm ความชื้นของวัตถุดิบผสมร้อยละ 12 ความเร็วรอบสกรู 450 rpm อุณหภูมิบาร์เรล 40, 50, 70, 130, 120, 120, 140°C ตามลำดับ

ตารางที่ 7 สูตรของเอกซ์ทรูเดตจากผงจิ้งหรีด

ส่วนผสม	ปริมาณ (ร้อยละ)			
ผงจิ้งหรีด	0	5	10	20
แป้งข้าวเจ้า	40	35	30	20
ข้าวไร่พื้นเมืองนคร	5	5	5	5
เกล็ดข้าวโพด	46	46	46	46
น้ำมันพืช	3	3	3	3
น้ำตาลทราย	5	5	5	5
แคลเซียมคาร์บอเนต	1	1	1	1

ตารางที่ 8 สูตรของเอกซ์ทรูเดตจากข้าวเม็ดในฝ้าย

ส่วนผสม	ปริมาณ (ร้อยละ)						
ผงจิ้งหรีด	5	5	5	5	5	5	5
แป้งข้าวเจ้า	40	35	30	25	20	15	10
ข้าวเม็ดในฝ้าย	0	5	10	15	20	25	30
เกล็ดข้าวโพด	46	46	46	46	46	46	46
น้ำมันพืช	3	3	3	3	3	3	3
น้ำตาลทราย	5	5	5	5	5	5	5
แคลเซียมคาร์บอเนต	1	1	1	1	1	1	1

ตารางที่ 9 สูตรของเอกซ์ทรูเดตจากข้าวเม็ดในฝ้ายและสังข์หยด

ส่วนผสม (ร้อยละ)	สูตรควบคุม	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3	สูตรที่ 4	สูตรที่ 5
แป้งข้าวสังข์หยด	0	3.75	7.5	15	30	20
แป้งข้าวเม็ดในฝ้าย	0	1.25	2.5	5	10	20
แป้งข้าวเจ้า	40	35	30	20	0	0
เกล็ดข้าวโพด	46	46	46	46	46	46
น้ำมันพืช	3	3	3	3	3	3
น้ำ	5	5	5	5	5	5
น้ำตาลทราย	5	5	5	5	5	5
แคลเซียมคาร์บอเนต	1	1	1	1	1	1

รูปที่ 2 เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่

รูปที่ 3 เอ็กซ์ทรูเดต

เอ็กซ์ทรูเดตที่ได้ (รูปที่ 3) จะถูกนำไปอบด้วยตู้อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที เอ็กซ์ทรูเดตที่แห้งแล้วจะถูกบรรจุในถุงพอลีเอทีลีนและเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมี ดังนี้

1. คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ค่าความแข็ง โดยเครื่อง Texture analyzer ค่าสี (L*, a* และ b*) โดยเครื่อง Spectrophotometer และค่า Water activity (a_w) ความหนาแน่น (Bulk density) โดยการใช้กระบอกตวง เทตัวอย่างลงไปประมาณ 2/3 ของกระบอกตวง จากนั้นเคาะ 15 ครั้ง เติมตัวอย่างที่เหลือให้ล้นกระบอกตวง แล้วทำการเคาะอีก 5 ครั้ง ปาดตัวอย่างที่เกินขอบกระบอกตวง ชั่งน้ำหนักแล้วนำค่าไปหารด้วยปริมาตรกระบอกตวงจะได้ค่าความหนาแน่น ค่าปริมาตรที่ได้จะมีหน่วยเป็น กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร ดัดแปลงมาจากวิธีการของ Chanlat *et al*.

(2011) อัตราการพองตัว วัดโดยใช้เวอร์เนียร์จากตัวอย่างเอกซ์ทรูเดตจำนวน 10 ตัวอย่าง คำนวณได้ดังนี้

$$Expansionratio = \frac{(Diameter\ of\ extrudate)}{(Diameter\ of\ die)}$$

2. คุณภาพทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น ตามวิธีการของ AOAC (2000) ปริมาณฟีโนลิกทั้งหมด (Singleton *et al*., 1999) และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ (Brand-Williams *et al*., 1995)

3. คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสโดยวิธีการให้คะแนนความชอบ (9 - point hedonic scale)

4.ศึกษาคุณภาพทางกายภาพ ทางเคมีและทางประสาทสัมผัสของขนมขบเคี้ยวจากเอกซ์ทรูเดตเสริมโปรตีนผงจิ้งหรีด

นำอาหารขบเคี้ยวที่พัฒนาได้จากข้อ 2 มาวิเคราะห์คุณภาพต่าง ๆ ดังนี้

4.1 คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ค่าความแข็ง และ a_w

4.2 คุณภาพทางเคมี องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ และข้อมูลโภชนาการ (Nutrition fact) ตามวิธีการของ AOAC (2000)

4.3 คุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยวิธีการให้คะแนนความชอบ (9 - point hedonic scale) โดยผู้ทดสอบที่ไม่ได้ผ่านการฝึกฝน จำนวน 50 คน

5.ออกแบบและพัฒนาบรรจุภัณฑ์พร้อมฉลากโภชนาการให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากเอกซ์ทรูเดตเสริมโปรตีนผงจิ้งหรีด

6.ช่องทางการจำหน่ายผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากเอกซ์ทรูเดตเสริมโปรตีนผงจิ้งหรีด

7.การวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของทรีตเมนท์ด้วยวิธี Duncan's new multiple ranger test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรม SPSS 17.0 for Windows ทำการทดลองทั้งหมดจำนวน 2 ชุดการทดลอง (replication) แต่ละชุดการทดลองวิเคราะห์ผลอย่างน้อย 3 ซ้ำ

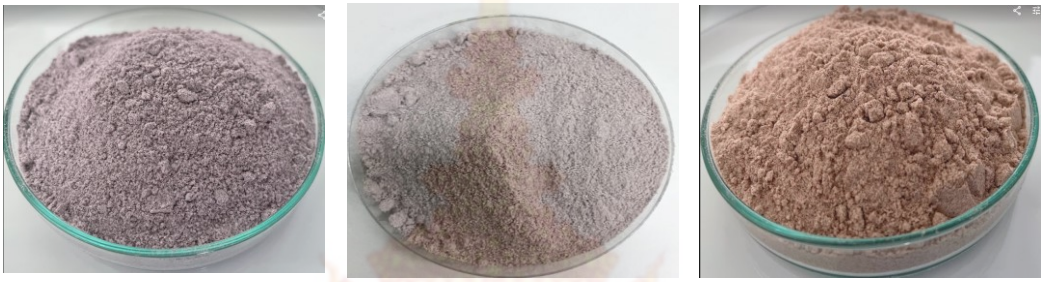
ผลการวิจัยและวิจารณ์

1.ศึกษาคุณภาพของผงจิ้งหรีดและข้าวไร่พื้นเมืองนคร

1.1 คุณภาพทางกายภาพและทางเคมีข้าวไร่พื้นเมืองนคร

การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและทางเคมีของแป้งข้าวกล้องเม็ดในฝ้ายแสดงดังตารางที่ 10 พบว่า แป้งข้าวกล้องเม็ดในฝ้ายมีลักษณะสีม่วงเข้ม (รูปที่ 4(a)) ขนาดอนุภาค 250 µm มีค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) และความเป็นสีเหลือง (b*) เท่ากับ 48.26, 4.91 และ 0.87 ตามลำดับสอดคล้องกับการศึกษาของสุพิศา (2547) การศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพและเคมีและความคงตัวของข้าวที่มีรงควัตถุมีค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) และความเป็นสีเหลือง (b*) เท่ากับ 61.8, 3.16 และ 0.65 ตามลำดับ ส่วนผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของแป้งข้าวกล้องเม็ดในฝ้ายแสดงดังตารางที่ 10 พบว่า องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวกล้องเม็ดในฝ้ายประกอบด้วยค่าโปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้าและคาร์โบไฮเดรตเท่ากับร้อยละ 7.25, 2.55, 0.77, 1.73 และ 77.95 ตามลำดับ สำหรับค่าการต้านอนุมูลอิสระและปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของแป้งข้าวกล้องเม็ดในฝ้ายเท่ากับ 6.94 mg vitamin C/g DW และ 0.74 mg GAE/g DW ตามลำดับ สอดคล้องกับสุพิศา (2547) ประกอบด้วยค่าโปรตีน ไขมัน เถ้าและคาร์โบไฮเดรตเท่ากับร้อยละ 6.68, 2.86, 1.16 และ 89.30 ตามลำดับ การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและทางเคมีของข้าวกล้องเหนียวดำแสดงดังตารางที่ 10 พบว่า ข้าวกล้องเหนียวดำมีลักษณะสีเข้ม (รูปที่ 4(b)) ขนาดอนุภาค 250 µm มีค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) และความเป็นสีเหลือง (b*) เท่ากับ 59.2, 5.53 และ 5.86 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวเหนียวดำ จากงานวิจัยของ สัญชัย (2552) พบว่า ค่า L* a* และ b* ของข้าวกล้องเหนียวดำมีค่าเท่ากับ 41.20, 4.18 และ 3.84 ตามลำดับ ส่วนผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของข้าวกล้องเหนียวดำแสดงดังตารางที่ 10 พบว่า องค์ประกอบทางเคมีที่ของข้าวกล้องเหนียวดำประกอบด้วยค่าโปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้าและคาร์โบไฮเดรตเท่ากับร้อยละ 8.03, 1.21, 0.79, 0.69 และ 79.60 ตามลำดับ สำหรับค่าการต้านอนุมูลอิสระและปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของข้าวกล้องเหนียวดำเท่ากับ 1.86 mg vitamin C/g DW และ 0.18 mg GAE/g DW ตามลำดับ สอดคล้องกับ สัญชัย (2552) การศึกษาคุณภาพของข้าวพื้นเมืองมีสีภาคใต้ของประเทศไทยประกอบด้วยค่าโปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้าและคาร์โบไฮเดรตเท่ากับร้อยละ 8.44, 1.93, 0.26, 1.52 และ 78.95 ตามลำดับ การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและทางเคมีของข้าวกล้องสังข์หยดแสดงดังตารางที่ 10 พบว่า ข้าวกล้องสังข์หยดมีลักษณะสีของข้าวที่เข้ม (รูปที่ 4(c)) ขนาดอนุภาค 250 µm มีค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) เท่ากับ 79.81, 3.69 และ 14.17 ตามลำดับ ส่วนผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดแสดงดังตารางที่ 10 พบว่า องค์ประกอบทางเคมีของข้าวกล้องสังข์หยดประกอบด้วยค่าโปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้า และ

คาร์โบไฮเดรตเท่ากับร้อยละ 8.81, 1.87, 4.45, 1.08 และ 73.72 ตามลำดับ สอดคล้องกับ สุธาสินี และคณะ (2561) การศึกษาคุณภาพของวัตถุดิบประกอบด้วยค่าโปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้าและคาร์โบไฮเดรตเท่ากับร้อยละ 7.09, 2.78, 2.39, 1.25 และ 75.40 ตามลำดับ สำหรับค่าการต้านอนุมูลอิสระและปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของข้าวกล้องสังข์หยดเท่ากับ 0.53 mg vitamin C/g DW และ 0.03 mg GAE/g DW ตามลำดับ ดังนั้นข้าวกล้องเม็ดในฝ้ายจึงถูกเลือกนำไปศึกษาต่อเนื่องจากมีค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระและปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุดเปรียบเทียบกับอีก 2 สายพันธุ์



(a) ข้าวกล้องเม็ดในฝ้าย (b) ข้าวกล้องเหนียวดำ (c) ข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุง

รูปที่ 4 แป้งข้าวไร่พื้นเมืองนคร

ตารางที่ 10 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของข้าวไร่พื้นเมืองนคร

Properties	Brown rice		
	Mednai Fay	Black waxy	Sungyod
Physical			
- Color value			
L*	48.26±0.01	59.27±0.18	79.81±0.19
a*	4.91±0.02	5.53±0.02	3.69±0.09
b*	0.87±0.01	5.86±0.02	14.17±0.07
- Particle size (μm)	250	250	250
Chemical			
- Moisture (%)	10.52±0.15	10.47±0.42	10.70±0.45
-Protein (%)	7.25±0.09	8.03±0.18	8.81±0.06
- Fat (%)	2.55±0.08	1.21±0.04	1.87±0.34
- Crude fiber (%)	0.77±0.90	0.79±0.75	4.45±0.13
- Ash (%)	1.73±0.02	0.69±0.05	1.08±0.06
- Carbohydrate (%)	77.95±0.05	79.60±0.02	73.72±0.03
- Water activity (a_w)	0.52±0.01	0.82±0.01	0.44±0.01
- Antioxidant by DPPH (mg vitamin C/g DW)	6.94±0.11	1.86±0.29	0.53±0.04
- Total phenolic (mg GAE/g DW)	0.74±0.009	0.18±0.01	0.03±0.01

1.2 คุณภาพทางกายภาพและทางเคมีของผงจิ้งหรีด

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของผงจิ้งหรีดแสดงดังตารางที่ 11 พบว่า ผงจิ้งหรีดมีลักษณะสีน้ำตาลเข้ม (รูปที่ 5) ขนาดอนุภาค 1 mm มีค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) และที่ความเป็นสีเหลือง (b*) เท่ากับ 32.13 6.40 และ 14.85 ตามลำดับ สอดคล้องกับการศึกษาของ Bassett (2018) ศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงหน้าที่ คุณค่าทางอาหารและประสาทสัมผัสของผงจิ้งหรีดอบแห้งแบบพ่นฝอยและตู้อบมีค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) และความเป็นสีเหลือง (b*) เท่ากับ 34.68 10.58 และ 19.72 ตามลำดับ ส่วนผลการวิเคราะห์

คุณภาพทางเคมีของผงจิ้งหรีดแสดงดังตารางที่ 11 พบว่า ผงจิ้งหรีดมีปริมาณโปรตีนและไขมันสูงโดยมีค่าร้อยละ 60.40 และ 16.92 ตามลำดับ สอดคล้องกับการศึกษาของ Bassett (2018) มีปริมาณโปรตีนและไขมันร้อยละ 65.87 และ 17.70 ตามลำดับดังนั้นผงจิ้งหรีดจึงเป็นแหล่งสารอาหารที่สำคัญโดยเฉพาะโปรตีนและไขมันจึงเหมาะที่จะนำไปใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพ

รูปที่ 5 ผงจิ้งหรีด

ตารางที่ 11 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของผงจิ้งหรีด

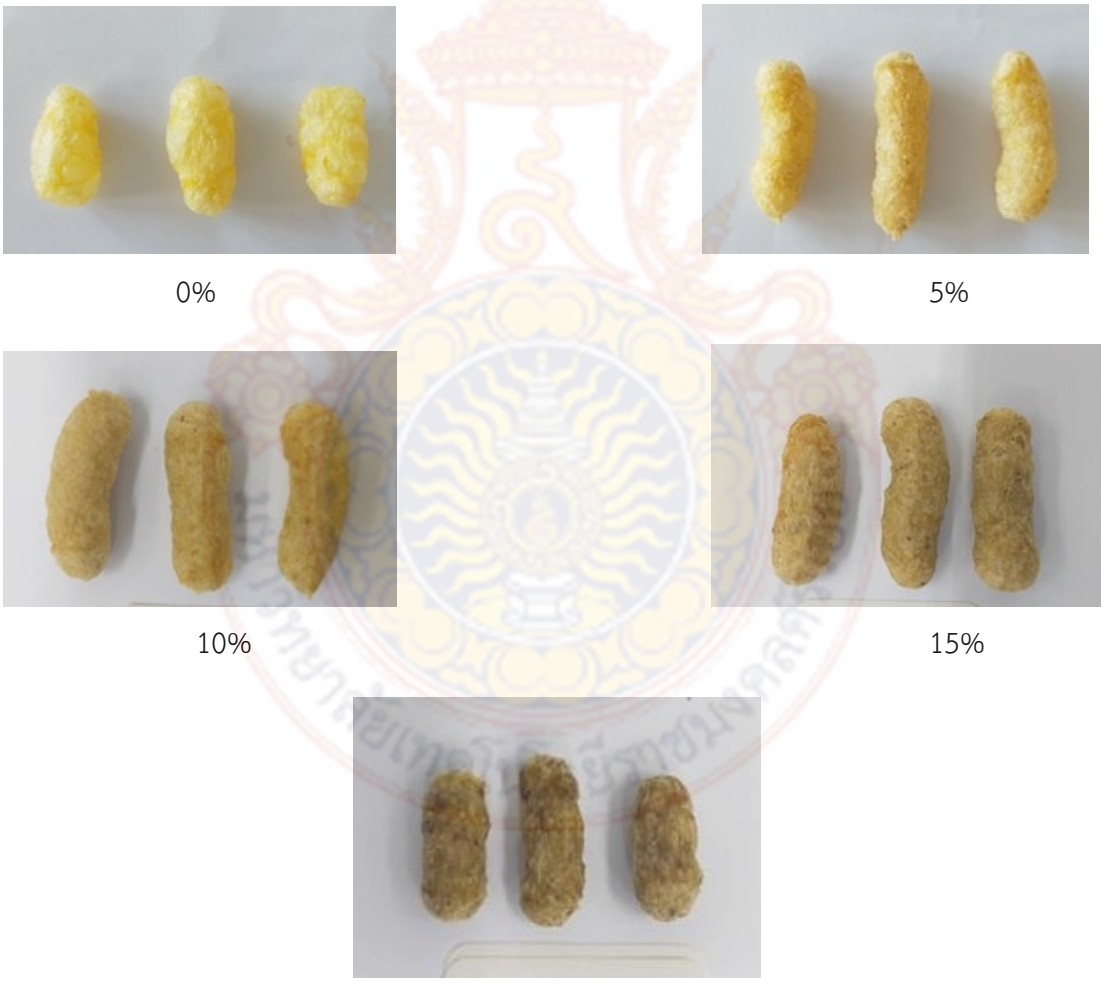
Properties	Analyzed values
Physical	
- Color value	
L*	32.13 ± 0.42
a*	6.40 ± 0.14
b*	14.85 ± 0.30
- Particle size (mm)	1.00
Chemical	
- Moisture (%)	12.64 ± 0.01
- Protein (%)	60.40 ± 0.25
- Fat (%)	16.92 ± 4.07
- Crude fiber (%)	12.93 ± 0.57
- Ash (%)	3.81 ± 0.05
- Carbohydrate (%)	6.23 ± 0.69
- Water activity (a_w)	0.48 ± 0.01

2.เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของผงจิ้งหรีดต่อคุณภาพของเอกซ์ทรูเดต

การศึกษาปริมาณผงจิ้งหรีดต่อคุณภาพของเอกซ์ทรูเดต แสดงดังตารางที่ 12 พบว่า การเพิ่มปริมาณผงจิ้งหรีดจากร้อยละ 0-20 ลักษณะปรากฏของเอกซ์ทรูเดตที่ผลิตได้มีสีเข้มขึ้นตามปริมาณผงจิ้งหรีด (รูปที่ 6) อธิบายได้ว่าเกิดจากลักษณะของผงจิ้งหรีดที่มีสีน้ำตาลเข้ม เมื่อพิจารณาค่าความสว่าง (L*) ลดลงจาก 70.84 เป็น 54.18 ค่าความเป็นสีแดง (a*) เพิ่มขึ้นจาก 6.89 เป็น 9.04 และความเป็นสีเหลือง (b*) ลดลงจาก 37.64 เป็น 25.72 ตามปริมาณจิ้งหรีดที่เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับ Alam *et al.* (2019) ศึกษาผลของกระบวนการเอกซ์ทรูชันต่อคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงหน้าที่ของผลิตภัณฑ์เอกซ์ทรูเดตเสริมแมลง พบว่า ค่าความสว่าง (L*) ลดลงจาก 59.10 เป็น 29.7 ค่าความเป็นสีแดง (a*) เพิ่มขึ้นจาก 1.90 เป็น 4.60 และความเป็นสีเหลือง (b*) ลดลงจาก 26.20 เป็น 4.30 ตามปริมาณแมลงที่เพิ่มขึ้น ส่วนค่าการพองตัวมีค่าลดลงจาก 5.13 เป็น 2.61 แต่ค่าความแข็งมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.15 เป็น 3.41 กิโลนิวตัน เมื่อปริมาณผงจิ้งหรีดเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0 เป็น 20 สอดคล้องกับ Azzollini *et al.* (2018) ศึกษาผลของสูตรและสภาวะกระบวนการต่อโครงสร้างจุลภาค เนื้อสัมผัสและการย่อยของขนมขบเคี้ยวเสริมแมลง พบว่า ค่าความแข็งของขนมขบเคี้ยวจะมี

ค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.12 เป็น 0.49 กิโลนิวตัน เมื่อปริมาณแมลงเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0 เป็น 20 เนื่องจากความเป็นรูพรุนในตัวอย่างลดลงต่ำกว่าร้อยละ 50 จากปริมาณโปรตีนที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 2 เมื่อปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการพองตัวลดลง และมีความหนาแน่นสูง เนื่องจากแป้งเกิดการรวมตัวกับโปรตีนเมื่อให้ความร้อนจะทำให้โมเลกุลของโปรตีนเกิดอันตรกิริยากับสายอะไมโลส ส่งผลให้แป้งมีอัตราการดูดซับน้ำลดลง การเกิดเจลาติไนซ์ของสตาร์ชต่ำ จึงทำให้เม็ดแป้งมีอัตราการพองตัวลดลง นอกจากนี้ปริมาณไขมันที่อยู่ในผงโปรตีนส่งผลกระทบต่อลักษณะและคุณสมบัติของแป้งโดยไขมันจะลดการจับตัวกับน้ำของแป้งทำให้ความสามารถในการพองตัวของเม็ดแป้งลดลงเช่นกัน (สุธาสินีและคณะ, 2561)

ดังนั้นปริมาณผงจิ้งหรีด 5%w/w ถูกเลือกนำไปศึกษาต่อเนื่องจากมีค่าการพองตัวสูงสุดและค่าความแข็งที่ไม่แตกต่างกับชุดควบคุม



รูปที่ 6 ลักษณะปรากฏเอกซ์ทรูเดตเสริมผงจิ้งหรีด

ตารางที่ 12 ผลของปริมาณผงจิ้งหรีดต่อคุณสมบัติทางกายภาพของเอกซ์ทรูเดต

Cricket powder content (%)	Hardness (KN)	Expansion ratio	Color value		
			L*	a*	b*
0	0.15^{c} ± 0.04	5.13^{a} ± 0.13	70.84^{a} ± 0.11	6.89^{d} ± 0.06	37.64^{a} ± 0.53
5	0.16^{c} ± 0.02	4.14^{b} ± 0.02	68.56^{b} ± 0.16	7.67^{c} ± 0.04	29.91^{b} ± 0.05
10	0.88^{b} ± 0.01	3.70^{c} ± 0.02	62.60^{c} ± 0.14	8.42^{b} ± 0.08	29.02^{c} ± 0.08
15	1.06^{b} ± 0.01	2.73^{d} ± 0.05	59.96^{d} ± 0.13	8.42^{b} ± 0.08	28.21^{d} ± 0.04
20	3.41^{a} ± 0.27	2.61^{d} ± 0.06	54.18^{e} ± 0.32	9.04^{a} ± 0.01	25.72^{e} ± 0.15

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่กำกับค่าเฉลี่ยที่เหมือนกันในแนวตั้งเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันในทางด้านสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P > 0.05$)

3.เพื่อศึกษาคุณภาพของขนมขบเคี้ยวจากเอกซ์ทรูเดตเสริมโปรตีนผงจิ้งหรีด

3.1 ผลของปริมาณแป้งข้าวกล้องไร่พื้นเมือง (เม็ดในฝ้าย)

การศึกษาปริมาณแป้งข้าวกล้องเม็ดในฝ้ายต่อคุณภาพของเอกซ์ทรูเดต แสดงดังตารางที่ 13 พบว่า การเพิ่มปริมาณแป้งข้าวกล้องเม็ดในฝ้ายจากร้อยละ 0 – 30 ที่ปริมาณผงจิ้งหรีด 5% w/w ส่งผลต่อลักษณะปรากฏของเอกซ์ทรูเดตที่ผลิตได้มีสีเข้มขึ้นตามปริมาณแป้งข้าวกล้องเม็ดในฝ้ายที่เพิ่มขึ้น (รูปที่ 7) อธิบายได้ว่าเกิดจากลักษณะของแป้งข้าวกล้องเม็ดในฝ้ายที่มีสีคล้ำ เมื่อพิจารณาค่าความสว่าง (L*) ลดลงจาก 68.55 เป็น 37.73 ค่าความเป็นสีแดง (a*) เพิ่มขึ้นจาก 6.89 เป็น 10.95 และความเป็นสีเหลือง (b*) ลดลงจาก 29.91 เป็น 11.25 ตามปริมาณแป้งข้าวกล้องเม็ดในฝ้ายที่เพิ่มขึ้น ส่วนค่าการพองตัวมีค่าลดลงจาก 4.14 เป็น 3.09 แต่ค่าความแข็งมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.16 เป็น 0.91 กิโลนิวตัน เมื่อปริมาณแป้งข้าวกล้องเม็ดในฝ้ายเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0 เป็น 30

ดังนั้นที่ปริมาณของข้าวกล้องเม็ดในฝ้าย 5% w/w มีค่าการพองตัวสูงสุดโดยไม่แตกต่างกับชุดควบคุมและค่าความแข็งต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณข้าวกล้องที่สัดส่วนอื่นๆ

0 5 % 10 % 15% 20 % 25% 30 %

รูปที่ 7 ลักษณะปรากฏเอกซ์ทรูเดตเสริมแป้งข้าวกล้องเม็ดในฝ้าย

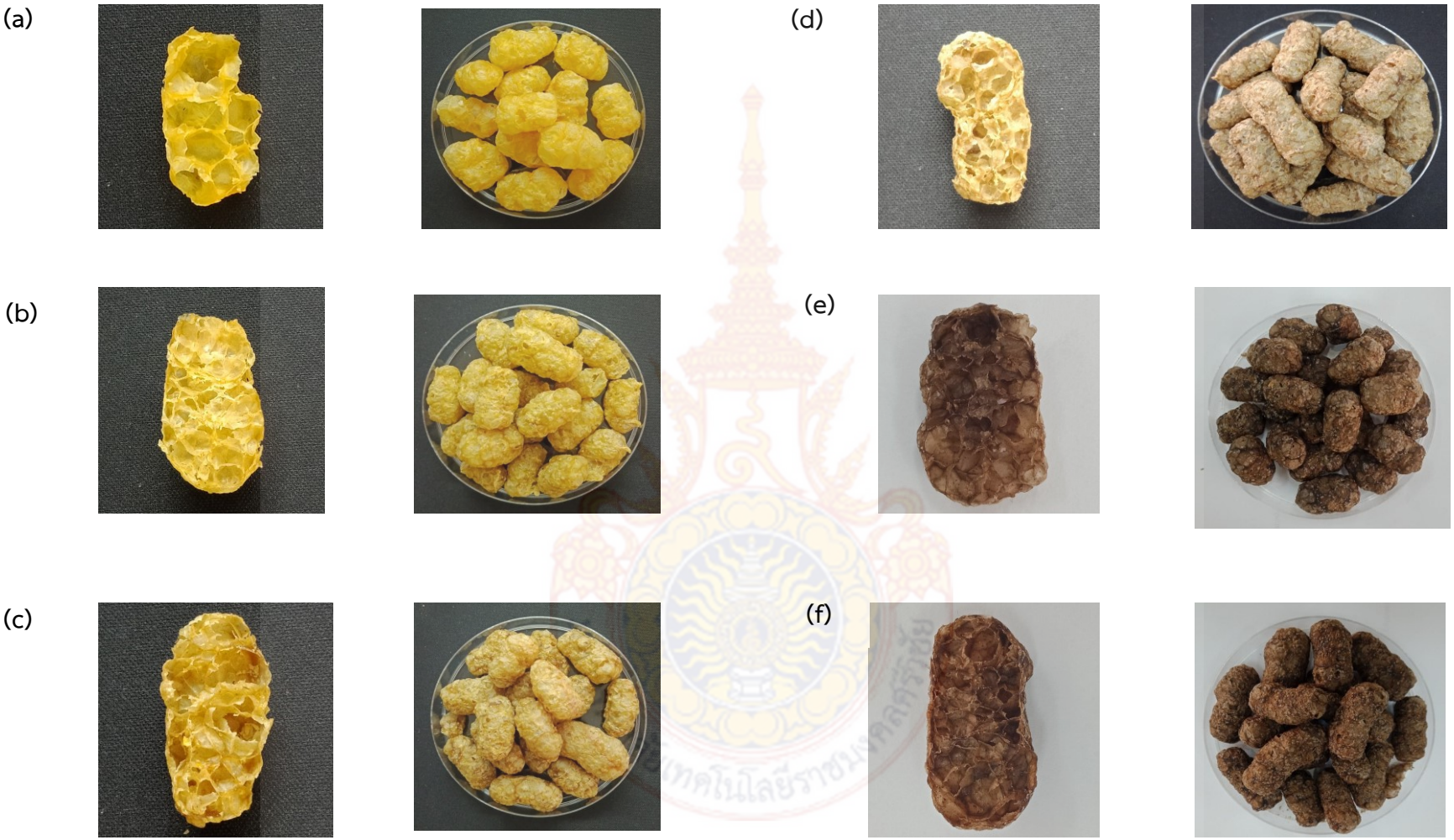
ตารางที่ 13 ผลของปริมาณแป้งข้าวกล้องเม็ดในฝ้ายต่อคุณสมบัติทางกายภาพของเอกซ์ทรูเดตเสริมผงจิ้งหรีด

Brown rice flour content (%)	Hardness (KN)	Expansion ratio	Color value		
			L*	a*	b*
0	$0.16^{e} \pm 0.02$	$4.14^{a} \pm 0.02$	$68.55^{a} \pm 0.16$	$6.89^{a} \pm 0.06$	$29.91^{a} \pm 0.05$
5	$0.35^{d} \pm 0.03$	$4.03^{a} \pm 0.08$	$52.22^{b} \pm 0.42$	$7.90^{b} \pm 0.04$	$20.73^{b} \pm 0.32$
10	$0.56^{c} \pm 0.03$	$3.63^{b} \pm 0.14$	$45.71^{c} \pm 0.35$	$8.31^{c} \pm 0.04$	$16.35^{c} \pm 0.05$
15	$0.74^{b} \pm 0.03$	$3.49^{bc} \pm 0.01$	$43.80^{d} \pm 0.41$	$8.69^{d} \pm 0.18$	$15.57^{de} \pm 0.68$
20	$0.75^{b} \pm 0.00$	$3.42^{c} \pm 0.03$	$40.11^{e} \pm 0.55$	$9.16^{e} \pm 0.08$	$14.83^{e} \pm 0.81$
25	$0.86^{a} \pm 0.005$	$3.35^{c} \pm 0.01$	$38.58^{f} \pm 0.56$	$10.17^{f} \pm 0.04$	$13.01^{f} \pm 0.98$
30	$0.91^{a} \pm 0.01$	$3.09^{d} \pm 0.14$	$37.73^{g} \pm 0.48$	$10.95^{g} \pm 0.02$	$11.25^{g} \pm 0.13$

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่กำกับค่าเฉลี่ยที่เหมือนกันในแนวตั้งเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันในทางด้านสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P > 0.05$)

3.2 ผลของปริมาณข้าวกล้องไร่พื้นเมือง (เม็ดในฝ้ายและสังข์หยด)

การศึกษาปริมาณแป้งข้าวกล้องไร่พื้นเมืองนคร (0-40% w/w) (เม็ดในฝ้ายและสังข์หยด) ปริมาณผงจิ้งหรีด 5% w/w ต่อคุณภาพของเอกซ์ทรูเดต แสดงดังรูปที่ 8 และตารางที่ 14-15 พบว่า ลักษณะโครงสร้างภายในที่เป็นรูพรุนของเอ็กซ์ทรูเดตแต่ละสูตรจะแตกต่างกัน (รูปที่ 9(a-f)) ส่วนลักษณะภายนอกสีของเอกซ์ทรูเดตจะมีการเปลี่ยนแปลงจากสีเหลืองทองเป็นน้ำตาลเข้มมากขึ้นตามปริมาณของแป้งข้าวกล้องทั้ง 2 สายพันธุ์ที่เพิ่มขึ้น คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเอกซ์ทรูเดตแป้งข้าวกล้องทั้ง 2 สายพันธุ์ พบว่า ค่าความชื้นอยู่ระหว่าง 6.59-7.82% ค่าการพองตัวมีค่าลดลง เนื่องมาจากแป้งข้าวกล้องมีปริมาณใยอาหารและไขมันค่อนข้างสูง ซึ่งใยอาหารจะขัดขวางการพองตัวของเม็ดแป้งทำให้ผลิตภัณฑ์พองตัวได้น้อยและไม่สม่ำเสมอ และสำหรับองค์ประกอบของไขมันอาจจะลดการพองตัวของเม็ดแป้งได้โดยไปขัดขวางการดูดซึมน้ำของแป้ง (สิงหนาท และคณะ, 2550 อ้างอิงโดยสมหวังและคณะ, 2562) ความหนาแน่นรวมมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งโดยปกติแล้วค่าความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์พองกรอบจะมี ความสัมพันธ์กับอัตราการพองตัวของผลิตภัณฑ์ โดยผลิตภัณฑ์ที่มีอัตราการพองตัวต่ำจะมีความหนาแน่นสูง และค่าความแข็งเพิ่มขึ้น ส่วนค่าสี (L*, a* และ b*) มีค่าลดลง (ตารางที่ 14) โดยที่แป้งข้าวกล้องไร่พื้นเมืองนคร 30% (เม็ดในฝ้าย 5%, สังข์หยด 15%) เอ็กซ์ทรูเดตมีค่าคะแนนความชอบสูงสุด (7.67) ดังตารางที่ 15



รูปที่ 8 ลักษณะปรากฏของเอกซ์ทรูเดตจากแป้งข้าวกล้องไร่พื้นเมือง

ตารางที่ 14 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเอกซ์ทรูเดตแป้งข้าวกล้องไร่พื้นเมือง

สูตร	คุณสมบัติทางกายภาพ						คุณสมบัติทางเคมี
	อัตราการพองตัว	ค่าสี			ความแข็ง (N)	ความหนาแน่นรวม (g/mL)x10^{-2}	ความชื้น (%)
		L*	a*	b*			
ควบคุม	3.91^{a}±0.15	57.91^{a}±1.42	7.77^{a}±0.30	35.81^{a}±0.42	5.51^{c}±1.90	3.85^{c}±0.0009	7.49^{a}±0.17
1	3.67^{b}±0.04	53.19^{b}±1.40	4.30^{c}±0.12	21.65^{b}±0.55	7.17^{b}±2.22	4.56^{b}±0.0016	7.82^{a}±0.07
2	3.45^{c}±0.18	46.90^{c}±0.02	5.37^{b}±0.02	21.65^{cb}±0.55	7.25^{b}±2.32	5.38^{a}±0.0041	6.74^{b}±0.21
3	3.40^{c}±0.11	43.80^{d}±0.67	5.30^{b}±0.11	17.79^{c}±0.34	7.61^{b}±1.69	5.59^{a}±0.0028	7.09^{b}±0.02
4	3.22^{d}±0.20	37.85^{e}±1.27	5.31^{b}±0.08	17.44^{c}±0.04	8.29^{a}±1.78	5.70^{a}±0.0014	6.59^{c}±0.03
5	3.00^{e}±0.17	35.30^{e}±0.30	5.93^{b}±0.04	12.15^{d}±0.27	8.42^{a}±4.50	5.83^{a}±0.0038	6.73^{c}±0.15

ตารางที่ 15 คุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของเอกซ์ทรูเดตข้าวไร่พื้นเมือง

	Sensory properties				
Formula	Color	Odor	Flavor	Texture	Over all liking
Control	7.53[b]	7.40[a]	7.50[ab]	7.93[a]	7.70[b]
1	7.20[ab]	7.37[a]	7.53[ab]	7.70[a]	7.23[a]
2	7.20[ab]	7.43[a]	7.20[a]	7.60[a]	7.23[a]
3	7.30[ab]	7.43[a]	7.73[a]	7.80[a]	7.67[b]
4	6.93[a]	7.30[a]	7.43[ab]	7.93[a]	7.30[ab]
5	6.90[a]	7.30[a]	7.40[ab]	7.67[a]	7.23[a]

5.ออกแบบและพัฒนาบรรจุภัณฑ์พร้อมฉลากโภชนาการให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากเอกซ์ทรูเดตเสริมโปรตีนผงจิ้งหรีด

5.1 การออกแบบฉลากสำหรับผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากเอกซ์ทรูเดตเสริมโปรตีนผงจิ้งหรีด

ผลการออกแบบฉลากสำหรับผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากเอกซ์ทรูเดตเสริมโปรตีนผงจิ้งหรีดแสดงดังรูปที่ 9-12 เพื่อติดบนบรรจุภัณฑ์ถุงพลาสติกหรือกระปุกพลาสติก

(a)

(b)

รูปที่ 9 การออกฉลากแบบครั้งที่ 1

(a) แบบฉลากที่ออกแบบ

(b) แบบฉลากที่นำมาใช้

(a)

(b)

รูปที่ 10 การออกแบบฉลากแบบครั้งที่ 2

(a) แบบฉลากต่างๆ

(b) แบบฉลากที่นำมาใช้

(a)

(b)

รูปที่ 11 การออกแบบฉลากครั้งที่ 3

(a) แบบฉลากต่างๆ

(b) แบบฉลากที่นำมาใช้

รูปที่ 12 การออกแบบฉลากครั้งที่ 4

5.2 การวิเคราะห์ฉลากโภชนาการผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากเอกซ์ทรูเดตเสริมโปรตีนผงจิ้งหรีด

นำผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากเอกซ์ทรูเดตเสริมโปรตีนผงจิ้งหรีดที่เหมาะสม (ข้อ 3) ปริมาณบรรจุ 30 กรัม และ 90 กรัม วิเคราะห์ฉลากโภชนาการ (บริษัท ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด) แสดงผลการวิเคราะห์ ดังนี้

5.2.1 ขนาดบรรจุ 30 กรัม

รายการทดสอบ	ต่อ 100 กรัม	ต่อหนึ่งหน่วยบริโภค	%RDI	วิธีทดสอบอ้างอิง
พลังงานทั้งหมด(กิโลแคลอรี)	379.71	110	-	Journal of AOAC INTERNATIONAL;1993.p.106
พลังงานจากไขมัน(กิโลแคลอรี) *	44.91	15	-	Journal of AOAC INTERNATIONAL;1993.p.106
ไขมันทั้งหมด (ก.) *	4.99	1.5	2	AOAC (2019) 948.15
โคเลสเตอรอล (มก.)	14.71	น้อยกว่า 5	1	In-house method TE-CH-143 based on AOAC (2019) 976.26
โปรตีน (ก.) %N x 6.25*	8.74	3	-	In-house method TE-CH-012 based on AOAC (2019) 981.10
คาร์โบไฮเดรต (ก.)	74.96	22	7	Journal of AOAC INTERNATIONAL;1993.p.8
น้ำตาล (ก.)	3.19	น้อยกว่า 1	-	AOAC (2019) 925.35 (B)
โซเดียม (มก.)	328.087	100	5	In-house method TE-CH-134 based on AOAC (2019) 984.27
เถ้า (ก.) *	1.26	-	-	AOAC (2019) 923.03
ความชื้น (ก.)	10.05	-	-	In-house method TE-CH-180 based on AOAC (2019) 950.46 (B)

หมายเหตุ: * : รายการทดสอบนอกขอบข่ายการรับรองของสำนักมาตรฐานห้องปฏิบัติการ กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์

ฉลากโภชนาการไทย (ย่อ)

ข้อมูลโภชนาการ

หนึ่งหน่วยบริโภค :1 ถุง (30 กรัม)

จำนวนหน่วยบริโภคต่อถุง : 1

คุณค่าทางโภชนาการต่อหนึ่งหน่วยบริโภค

พลังงานทั้งหมด 110 กิโลแคลอรี

	ร้อยละของปริมาณที่แนะนำต่อวัน *
ไขมันทั้งหมด 1.5 ก.	2%
โคเลสเตอรอล น้อยกว่า 5 มก.	1%
โปรตีน 3 ก.	
คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด 22 ก.	7%
น้ำตาล น้อยกว่า 1 ก.	
โซเดียม 100 มก.	5%

* ร้อยละของปริมาณสารอาหารที่แนะนำให้บริโภคต่อวันสำหรับคนไทยอายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป (**Thai RDI**) โดยคิดจากความต้องการพลังงานวันละ 2,000 กิโลแคลอรี

คุณค่าทางโภชนาการต่อ 1 ถุง

พลังงาน	น้ำตาล	ไขมัน	โซเดียม
110 กิโลแคลอรี	น้อยกว่า 1 กรัม	1.5 กรัม	100 มิลลิกรัม
*6%	*1%	*2%	*5%

*** คิดเป็นร้อยละของปริมาณสูงสุดที่บริโภคได้ต่อวัน**

5.2.2 ขนาดบรรจุ 90 กรัม

รายการทดสอบ	ต่อ 100 กรัม	ต่อหนึ่งหน่วยบริโภค	%RDI	วิธีทดสอบอ้างอิง
พลังงานทั้งหมด(กิโลแคลอรี)	379.71	170	-	Journal of AOAC INTERNATIONAL;1993.p.106
พลังงานจากไขมัน(กิโลแคลอรี) *	44.91	20	-	Journal of AOAC INTERNATIONAL;1993.p.106
ไขมันทั้งหมด (ก.) *	4.99	2	3	AOAC (2019) 948.15
โคเลสเตอรอล (มก.)	14.71	5	2	In-house method TE-CH-143 based on AOAC (2019) 976.26
โปรตีน (ก.) %N x 6.25*	8.74	4	-	In-house method TE-CH-012 based on AOAC (2019) 981.10
คาร์โบไฮเดรต (ก.)	74.96	34	11	Journal of AOAC INTERNATIONAL;1993.p.8
น้ำตาล (ก.)	3.19	1	-	AOAC (2019) 925.35 (B)
โซเดียม (มก.)	328.087	150	8	In-house method TE-CH-134 based on AOAC (2019) 984.27
เถ้า (ก.) *	1.26	-	-	AOAC (2019) 923.03
ความชื้น (ก.)	10.05	-	-	In-house method TE-CH-180 based on AOAC (2019) 950.46 (B)

หมายเหตุ: * : รายการทดสอบนอกขอบข่ายการรับรองของสำนักมาตรฐานห้องปฏิบัติการ กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์

ฉลากโภชนาการไทย (ย่อ)

ข้อมูลโภชนาการ	
หนึ่งหน่วยบริโภค :1/2 ถุง (45 กรัม)	
จำนวนหน่วยบริโภคต่อถุง : 2	
คุณค่าทางโภชนาการต่อหนึ่งหน่วยบริโภค	
พลังงานทั้งหมด 170 กิโลแคลอรี	
	ร้อยละของปริมาณที่แนะนำต่อวัน *
ไขมันทั้งหมด 2 ก.	3%
โคเลสเตอรอล 5 มก.	2%
โปรตีน 4 ก.	
คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด 34 ก.	11%
น้ำตาล 1 ก.	
โซเดียม 150 มก.	8%
* ร้อยละของปริมาณสารอาหารที่แนะนำให้บริโภคต่อวันสำหรับคนไทยอายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป (**Thai RDI**) โดยคิดจากความต้องการพลังงานวันละ 2,000 กิโลแคลอรี	

คุณค่าทางโภชนาการต่อ 1 ถุง
ควรแบ่งกิน 2 ครั้ง

พลังงาน	น้ำตาล	ไขมัน	โซเดียม
340 กิโลแคลอรี	2 กรัม	4 กรัม	300 มิลลิกรัม
*17%	*3%	*6%	*15%

* คิดเป็นร้อยละของปริมาณสูงสุดที่บริโภคได้ต่อวัน

6.ช่องทางการจำหน่ายผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากเอกซ์ทรูเดตเสริมโปรตีนผงจิ้งหรีด

ดำเนินการวางจำหน่ายสินค้าในงานนิทรรศการ ร้านค้าจำหน่ายทั่วไป และในส่วนของออนไลน์ ได้ประชาสัมพันธ์ในไลน์และแฟชบุ๊ค

6.1 ออกบูธร่วมกับเกษตรกรผู้เลี้ยงจิ้งหรีด

6.2 ออกบูธในงานนิทรรศการของมหาวิทยาลัย

สรุปผลการทดลอง

แป้งข้าวกล้องเม็ดในฝ้ายมีลักษณะสีม่วงเข้ม ขนาดอนุภาค 250 μm มีค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) และความเป็นสีเหลือง (b*) เท่ากับ 48.26, 4.91 และ 0.87 ตามลำดับ ส่วนคุณลักษณะทางเคมีแป้งข้าวกล้องเม็ดในฝ้ายประกอบด้วยค่าโปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้าและคาร์โบไฮเดรตเท่ากับ 7.25%, 2.55%, 0.77%, 1.73% และ 77.95% ตามลำดับ ค่าการต้านอนุมูลอิสระและปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของแป้งข้าวกล้องเม็ดในฝ้ายเท่ากับ 6.94 mg vitamin C/g DW และ 0.74 mg GAE/g DW ตามลำดับ แป้งข้าวกล้องเหนียวดำมีลักษณะสีเข้ม ขนาดอนุภาค 250 μm มีค่าสี L*, a* และ b* เท่ากับ 59.2, 5.53 และ 5.86 ตามลำดับ ส่วนคุณลักษณะทางเคมีแป้งข้าวกล้องเหนียวดำประกอบด้วยค่าโปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้าและคาร์โบไฮเดรตเท่ากับ 8.03%, 1.21%, 0.79%, 0.69% และ 79.60% ตามลำดับ ค่าการต้านอนุมูลอิสระและปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของข้าวกล้องเหนียวดำเท่ากับ 1.86 mg vitamin C/g DW และ 0.18 mg GAE/g DW ตามลำดับ แป้งข้าวกล้องสังข์หยดมีลักษณะสีของข้าวที่เข้ม ขนาดอนุภาค 250 μm มีค่าสี L*, a* และ b* เท่ากับ 79.81, 3.69 และ 14.17 ตามลำดับ คุณลักษณะทางเคมีแป้งข้าวกล้องสังข์หยดประกอบด้วยค่าโปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้า และคาร์โบไฮเดรตเท่ากับ 8.81%, 1.87%, 4.45%, 1.08% และ 73.72% ตามลำดับ สำหรับค่าการต้านอนุมูลอิสระและปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของข้าวกล้องสังข์หยดเท่ากับ 0.53 mg vitamin C/g DW และ 0.03 mg GAE/g DW ตามลำดับ ผงจิ้งหรีดมีลักษณะสีน้ำตาลเข้ม ขนาดอนุภาค 1 mm มีค่าสี L*, a* และ b* เท่ากับ 32.13 6.40 และ 14.85 ตามลำดับ ผงจิ้งหรีดมีปริมาณโปรตีนและไขมันสูงโดยมีค่า 60.40% และ 16.92% ตามลำดับ การเพิ่มปริมาณผงจิ้งหรีดและปริมาณของข้าวกล้องไร่พื้นเมืองนครส่งผลต่อเอกซ์ทรูเดตให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้น ค่าการพองตัวลดลง และค่าสีมีค่า L* และ b* ลดลง แต่ a* เพิ่มขึ้น สัดส่วนของผงจิ้งหรีดและข้าวกล้องเม็ดในฝ้าย 5% w/w ได้เอกซ์ทรูเดต (การพองตัวสูงและความแข็งต่ำ) เหมาะสมที่สุด การเพิ่มปริมาณแป้งข้าวกล้องไร่พื้นเมืองนคร (เม็ดในฝ้ายและสังข์หยด) (0-40% w/w) ส่งผลให้เอ็กซ์ทรูเดตมีค่าการพองตัว ค่าสี (L*, a* และ b*) ลดลง แต่ค่าความหนาแน่นรวมและค่าความแข็งเพิ่มขึ้น โดยที่แป้งข้าวกล้องไร่พื้นเมืองนคร 30% (เม็ดในฝ้าย 5%, สังข์หยด 15%) ผงจิ้งหรีด 5% พบว่าเอ็กซ์ทรูเดตมีค่าคะแนนความชอบรวมสูงสุด (7.67) และคุณค่าทางโภชนาการของเอ็กซ์ทรูเดตที่ขนาดบรรจุ 30 g และ 90 g มีค่าพลังงานเท่ากับ 110 Kcal และ 340 Kcal, น้ำตาลเท่ากับ $<$ 1 g และ 2 g, ไขมันเท่ากับ 1.5 g และ 4 g, โซเดียมเท่ากับ 100 mg และ 300 mg ตามลำดับ

เอกสารอ้างอิง

กมลวรรณ แจ้งชัด. 2541. การแปรรูปโดยวิธีเอกซ์ทรูชัน. วารสารอุตสาหกรรมเกษตร 9(2): 4-8.

กมลวรรณ แจ้งชัด, อนุวัตร แจ้งชัด และประชา บุญญสิริกูล. 2547. การพัฒนาอาหารขบเคี้ยวจากข้าวผสมผลไม้โดยวิธีเอกซ์ทรูชัน, น.61-72. *ใน* การใช้ประโยชน์จากข้าวในการสร้างมูลค่าเพิ่มเพื่อการส่งออก. กองโครงการและประสานงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

งามชื่น คงเสรี. 2546. ข้าวและผลิตภัณฑ์ข้าว. กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ.

จุฬาลักษณ์ จารุนุช. 2550. ขนมขบเคี้ยวจากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์. วารสารอาหาร 37(3): 211-222.

ธีรพงษ์ บัญญัติโลก. 2538. ผลผลิต องค์ประกอบผลผลิตและปริมาณแร่ธาตุในข้าวบางพันธุ์. ปัญหาพิเศษวิทยาศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ดลตภร โพธิศิริ, รอยบุญ จำรัสกาญจน์, เสรี พลายด้วง, สมบูรณ์ สุวรรณโณ, อวยชัย บุญญานุพงศ์, ชนสิริน กลิ่นมณี, โอรักษ์ ทองเด็จ, เพชรี เซ่งซิ้ม, เอกราช แก้วนางโอ, พีรพล รัตนะ, สุนันทา วงศ์ปิยชน, กัญญา เชื้อพันธุ์, วัชรี สุขวิวัฒน์, อังศุธรย วสุสัณห์. 2563. ข้าวเจ้าพันธุ์เม็ดฝ้าย 62. วารสารวิชาการข้าว 11: 44-57.

นัทธียา ภวภูตานนท์. 2552. การผลิตขนมขบเคี้ยวพองกรอบเสริมบัวบกโดยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

น้ำทิพย์ กุหลาบ. 2548. การพัฒนาข้าวกล้องหอมมะลิชนิดแท่งผสมเนยถั่วลิสง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ปิยะนุช บ่อพิมาย. 2552. คุณค่าทางอาหารของแมลงกินได้. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

ปนิดา บรรจงสินศิริ เนาวพันธ์ ดลรุ้ง กฤตลักษณ์ ปะสะกวี และ จิราวัฒน์ เสถียรคมสรไกร. 2561. ผลของอัตราส่วนระหว่างข้าวกล้องงอกหอมมะลิ ข้าวกล้องหอมมะลิแดงและข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีผลต่อปริมาณสารออกฤทธิ์ในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวรูปแท่งรสต้มยำ. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 49(2)(พิเศษ) : 249 – 252.

ปาริสุทธิ์ สงทิพย์. 2550. การพัฒนาอาหารขบเคี้ยวชนิดแท่งจากข้าวกล้องและสมุนไพร. วิทยานิพนธ์ปริญญา โท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

บุญหงส์ จงคิด. 2547. ข้าวและเทคโนโลยีการผลิต. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

วัชรี สุขวิวัฒน์และสุนันทา วงศ์ปิยชน. มปป. ผลิตภัณฑ์ข้าวพองอัดแท่ง. แหล่งที่มา: http://anchan.lib.ku.ac.th/agnet/bitstream/001/2153/3/RIC020152c.pdf

วิไล รังสาดทอง. 2545. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 2. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ.

สมสมร แก้วบริสุทธิ์. มปป. การแปรรูปแมลงเพื่อเพิ่มมูลค่า. แหล่งที่มา: https://home.kku.ac.th/orip2/orip_main/attach/knowledge_1407232647_bug%20transformation.pdf.

สมหวัง เล็กจริง, ปารมี หนูนิ่ม, สุจินดา บุตตะจีน และปัทมา จันทวงศ์. 2562. ผลของการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวกล้องสังข์หยดต่อคุณภาพทางเคมีกายภาพและประสาทสัมผัสในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว. แก่นเกษตร 47: 679-684.

สุธาสินี ศรีวิไล ปาริสุทธิ์ เฉลิมชัยวัฒน์ น้องนุช ศิริวงศ์ และพราวตา จันทโร. 2561. อิทธิพลของอุณหภูมิบาร์เรลและความชื้นของตัวอย่างป้อนต่อคุณภาพทางเคมี กายภาพ และประสาทสัมผัสของเอกซ์ทรูเดตโปรตีนสูงจากแป้งข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105. วารสารพระจอมเกล้า 36(3) : 158 – 167.

สุนันทา สุนทรประเสริฐ. 2549. (ออนไลน์): สืบค้นจาก http://pirun.kps.ku.ac.th/~b5320104316/dt%208.dwt. [2 ตุลาคม 2559]

สุพิศา สมโต. 2547. คุณลักษณะทางกายภาพและเคมี และความคงตัวของข้าวไทยที่มีรงควัตถุ. สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยศิลปากร.

สัญชัย ยอดมณี. 2552. คุณภาพของข้าวพื้นเมืองมีสีภาคใต้ของประเทศไทย. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สัญญา ยอดมณี. 2552. คุณภาพของข้าวพื้นเมืองมีสีภาคใต้ของประเทศไทย. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

Alam, M.R., Scampicchio, M., Angeli, S. and Ferrentino, G. 2019. Effect of hot melt extrusion on physical and functional properties of insect based extruded products. Journal of Food Engineering 1-36.

Azzollini, D., Derossi, A., Fogliano, V., Lakemond, C.M.M. and Severini, C. 2018. Effects

of formulation and process conditions on microstructure, texture and digestibility of extruded insect-riched snacks. Innovative Food Science and Emerging Technologies 45: 344-353.

AOAC. 2000. Offificial Methods of AOAC International. 17th ed. The Association of Official Analytical Chemists, Inc. USA.

Banach, J.C., S. Clark and B.P. Lamsal. 2014. Texture and other changes during storage in model high-protein nutrition bars formulated with modified milk protein concentrate. LWT – Food Science and Technology 56: 77-86.

Basstt, F.S. 2018. Comparison of functional, nutritional, and sensory properties of spray-dried and oven-dried cricket (*Acheta domesticus*) powder. Thesis in master of science, department of Nutrition, Dietetics, and Food Science, Brigham Young University.

Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E. and Berset, C. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. LWT-Food Science and Technology, 28(1): 25—30.

Chanlat, N., S. Songsermpong, C. Charunuch, and O. Naivikul. 2011. Twin-screw extrusion of pre-germinated br0wn rice: physicochemical properties and γ-aminobutyric acid content (GABA) of extruded snacks. International Journal of Food Engineering 7(4): 1-15.

Charunuch, C., P. Boonyasirikool and C. Tiengpook, 2003. Physical properties of direct expansion extruded snack in utilization from Thai brown rice. Kasetsart Journal (Natural Science) 37: 368-378.

Dehghan-Shoar, Z., A.K. Hardacre and C.S. Brennan. 2010. The physic-chemical charecteristics of extruded snacks enriched with tomato lycopene. Food Chemistry 123: 1117-1122.

http://www.healthtoday.net

Lobato, L.P., A.E. Camargo, M.M. Lazaretti, D.S. Barbosa, C.M. Carreira, J.M.G. Mandarino, and M.V.E. Grossmann. 2011. Snack bars with high soy protein and isoflavone content for use in diets to control dyslipiddaemia. International Journal of Food Science and Nutrition 1-10.

Na Sakon Nakhon, P.P. Jangchud, K. Jangchud, A. Charunuch. Optimization of pumpkin and feed moisture content to produce healthy pumpkin-germinated brown rice extruded snacks. Agriculture and Natural Resources, 52 : 550 – 556.

Potter, R., V. Stojceska and A. Plunkett. 2013. The use of fruit powders in extruded snacks suitable for children's diets. LWT-Food Science and Technology 51: 537-544.

Rice, R. 1990. Health food snacks. In R.G. Booth, ed. Snack Food. Van Nostrand Reinhold, New York.

Sipat, C., L. Jangchud, A. Jangchud, P. Wuttijumnong and R. Winger. 2009. Effect of extrusion conditions on physical and chemical properties of high protein glutinous rice-based snack. LWT-Food Science and Technolofy 42: 781-787.

Singleton V.L., Orthofer R., Lamuela-Raventos R.M. 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. Methods Enzymol. 299: 152-179.

Sompong, R., S. Siebenhandl-Ehn, G. Linsberger-Marin and E. Berghofer. 2011. Physicochemical and antioxidative properties of red and black rice varieties from Thailand, China and Sri Lanka. Food Chemistry 124: 132-140.

Stolceska, V., P. Ainsworth, A. Plunkett, and S. Ibanoglu. 2009. The effect of extrusion cooking using different water feed rates on the quality of ready-to-eat snacks made from food by-products. Food Chemistry 114: 226-232.

Tangkanakul, P., Trakoontivakorn, G., Auttaviboonkul, P. and Niyomvit, B. 2006. Antioxidant activity of northern and northeastern Thai foods containing indigenous vegetables. Kasetsart Journal-Natural Science 40: 47-58.

Yingngam, B., Monschein, M. and Brantner, A. 2014. Ultrasound-assisted extraction of phenolic compounds from Cratoxylum formosum ssp. Formosum leaves using central composite design and evaluation of its protective ability against H_2O_2-induced cell death. Asian Pacific Journal of Tropical Medicine 7: 497–505.

Zhou, Z., K. Robards, S. Helliwell and C. Blanchard. 2004. The distribution of phenolic acids in rice. Food Chemistry 87: 401-406.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์

1.การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด

วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกด้วยวิธี Folin-Ciocalteu (ดัดแปลงจาก Yingngam *et al*, 2014)

อุปกรณ์และสารเคมี

1. อุปกรณ์เครื่องแก้ว
2. เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (spectrophotometer) รุ่น Libra S12
3. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
4. เอทานอลบริสุทธิ์ (absolute ethanol) 99.9%
5. กรดแกลลิก (gallic acid monohydrate) จากบริษัท Sigma-Aldrich
6. โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3)
7. สารโฟลิน (Folin-Ciocalteau reagent)

การเตรียมสารเคมี

1. สารโฟลินความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยปริมาตร (10% v/v Folin-Ciocalteau reagent) นำสารละลายโฟลินมาเจือจางด้วยน้ำกลั่นให้มีความเข้มข้นเป็นร้อยละ 10 โดยปริมาตร เช่นใช้สารละลายโฟลิน 10 มิลลิลิตรผสมกับน้ำกลั่น 90 มิลลิลิตร เป็นต้น
2. สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้นร้อยละ 7.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (7.5% w/v) ชั่ง Na_2CO_3 anhydrous มา 75 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร
3. เตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก

เตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกเข้มข้น 1000 มิลลิกรัม/ลิตร โดยชั่งกรดแกลลิก 0.025 กรัม ละลายในเอทานอลบริสุทธิ์และปรับปริมาตรให้เป็น 25 มิลลิลิตรในขวดปรับปริมาตร จากนั้นนำสารละลายมาตรฐาน กรดแกลลิกเข้มข้น 1000 มิลลิกรัม/ลิตร มาเจือจางด้วยเอทานอลบริสุทธิ์ให้มีความเข้มข้นเป็น 0, 50, 100 และ 150 มิลลิกรัม/ลิตร

วิธีการทดลอง

Sample 0.2 ml

↓

Distilled water 2.5 ml

↓

10% Folin-Ciocalteau reagent 0.2 ml

↓

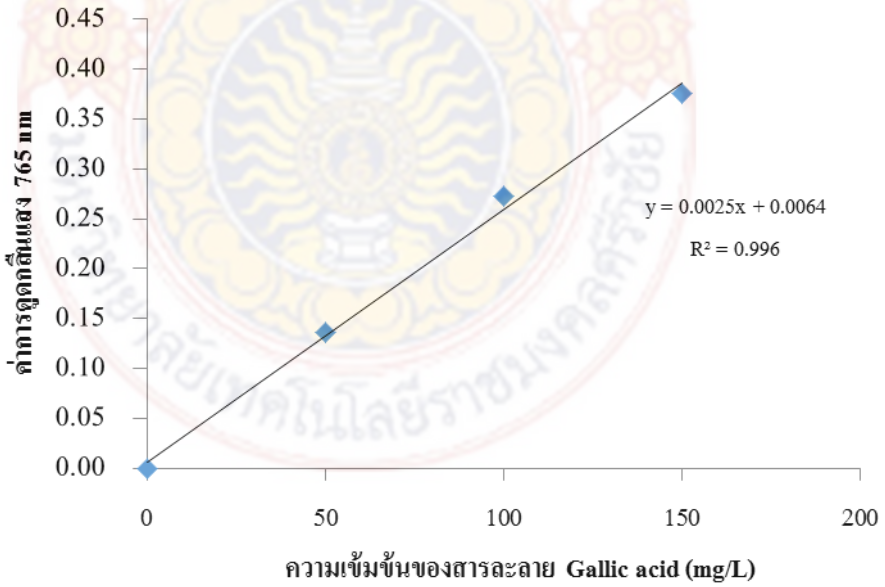
7.5% Na_2CO_3 2 ml

↓

Keep in the dark 90 min

↓

Measurement of absorbance with spectrophotometer at OD 765 nm



รูปที่ 13 กราฟมาตรฐานกรดแกลลิกด้วยวิธี Folin-ciocalteu method

การคำนวณ ปริมาณสารฟีนอลิกในตัวอย่างสารสกัด

$$\text{mg GAE/g DW} = \left(\frac{OD765 - 0.0064}{slope}\right)\frac{dilution \times volume}{1000 \times W}$$

W คือ น้ำหนักของตัวอย่าง (g)

Slope คือ ความชันที่ได้จากกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก ในที่นี้คือ 0.0025

Volume คือ ปริมาตรของสารสกัด (ml)

Dilution คือ ค่าการเจือจางตัวอย่างก่อนนำมาวิเคราะห์

2.การวิเคราะห์หากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (ดัดแปลงจาก Sompong *et al*. 2011 และ Tangkanakul *et al*., 2006)

1. วิเคราะห์หากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของกรดแอสคอร์บิกมาตรฐานด้วยวิธี DPPH

1.1 อุปกรณ์และสารเคมี

1) สารละลายเอทานอล 99.9%

2) L-Ascorbic acid

3) เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (Libra S12)

4) DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) 0.1 mM (Sigma-Aldrich) (ชั่ง DPPH 0.0039 กรัม ละลายในเอทานอล 100 มิลลิลิตร)

5) อุปกรณ์เครื่องแก้ว

1.2 วิธีวิเคราะห์

1) ชั่งแอสคอร์บิก 0.025 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรเป็น 25 มิลลิลิตรในขวดปรับปริมาตร จะได้ความเข้มข้นเป็น 1,000 mg/l จากนั้นนำมาเจือจางเป็น 10 เท่า จะได้ความเข้มข้นเป็น 100 mg/l จากนั้นจึงนำมาเจือจางเป็น 10, 20, 30, 40 และ 50 mg/l นำตัวอย่างแต่ละความเข้มข้นมา 0.3 มิลลิลิตร

2) ปิเปต DPPH 0.1 mM ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร

3) นำมาเขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 40 นาที ในที่มืด

4) นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร

5) นำค่าวัดการดูดกลืนแสงไปคำนวณตามสูตรร้อยละกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ

สูตรร้อยละกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ

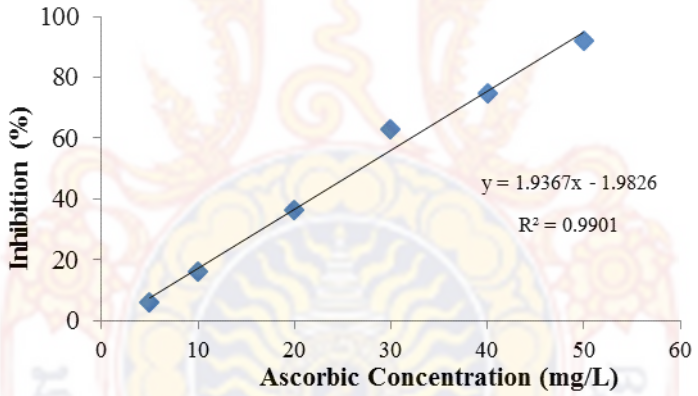
$$Scavenging\ \ ability(\%) = \left[\frac{A_0 - A_1}{A_0}\right] x100$$

หมายเหตุ :

A_o = ethanol 0.3 ml + DPPH 1.5 ml

A_1 = sample 0.3 ml + DPPH 1.5 ml

6) นำข้อมูลที่ได้ไปสร้างกราฟมาตรฐานความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ดังรูปที่ 8



รูปที่ 14 กราฟมาตรฐานความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของวิตามินซีที่ความเข้มข้น 5, 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัม/ลิตร

2. วิเคราะห์หากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของตัวอย่างผักพื้นบ้านภาคใต้ด้วยวิธี DPPH

2.1 อุปกรณ์และสารเคมี

1) สารละลายเอทานอล 99.9%

2) ตัวอย่างสารสกัดจากผักพื้นบ้าน

3) เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (Libra S12)

4) DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) 0.1 mM

5) อุปกรณ์เครื่องแก้ว

2.2 วิธีวิเคราะห์

1) ปิเปตตัวอย่างสารละลายผักพื้นบ้านภาใต้ ปริมาตร 0.3 มิลลิลิตร

2) ปิเปต DPPH 0.1 mM ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร

3) นำมาเขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 40 นาที ในที่มืด

4) นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร

5) นำค่าวัดการดูดกลืนแสงไปคำนวณตามสูตรร้อยกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ

สูตรร้อยละกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ

$$Scavenging\ \ ability(\%) = \left[\frac{A_0 - (A_1 - A_2)}{A_0} \right] x100$$

หมายเหตุ :

A_o = ethanol 0.3 ml + DPPH 1.5 ml

A_1 = sample 0.3 ml + DPPH 1.5 ml

A_2 = ethanol 1.5 ml + sample 0.3 ml

หากตัวอย่างไม่มีสีก็อาจไม่ต้องทำ A_2

การคำนวณ

ค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH เมื่อเทียบในรูปของกรดแอสคอบิก

$$\text{mg vitamin C/g DW} = \left(\frac{\%Inhibition + 1.9826}{slope} \right) \frac{dilution \times volume}{1000 \times W}$$

W	คือ น้ำหนักของตัวอย่างผักผง (g)
Slope	คือ ความชันที่ได้จากกราฟมาตรฐานกรดแอสคอบิก ในที่นี้ คือ 1.9367
Volume	คือ ปริมาตรของสารสกัดทั้งหมด (mL)
Dilution	คือ ค่าการเจือจางตัวอย่างก่อนนำมาวิเคราะห์

ภาคผนวก ข การเผยแพร่ผลงานวิจัย

Chooklin, S., Muadsri, T., Chairerk, A., Choosuwan, A., Nhootong, T., Thongin, N. 2021. Development of extrudate from indigenous upland brown rice in Nakhon fortified with cricket protein powder by twin screw extruder. The 59th Kasetsart University Annual Conference, 10-12 March 2021, Kasetsart University, Bangkok.

สุภาษิต ชูกลิ่น. 2021. ผลของแป้งข้าวกล้องไร่นครและผงจิ้งหรีดต่อคุณภาพเอ็กซ์ทรูเดตขนมขบเคี้ยว. วารสารมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย (อยู่ในกระบวนการ)

ภาคผนวก ค การยื่นขอสิทธิบัตรหรืออนุสิทธิบัตร

รายละเอียดการประดิษฐ์

ชื่อที่แสดงถึงการประดิษฐ์

สูตรและกรรมวิธีการผลิตอาหารขบเคี้ยวข้าวกล้องไร่นครเสริมโปรตีนผงจิ้งหรีดด้วยเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์

สาขาวิทยาการที่เกี่ยวข้องกับการประดิษฐ์

เทคโนโลยีการแปรรูปอาหารในส่วนที่เกี่ยวข้องกับ สูตรและกรรมวิธีการผลิตอาหารขบเคี้ยวข้าวกล้องไร่นครเสริมโปรตีนผงจิ้งหรีดด้วยเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์

ภูมิหลังของศิลปะหรือวิทยาการที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันการดำเนินชีวิตประจำวันมีสภาวะเร่งรีบและแข่งกับเวลาทำให้ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเป็นที่ต้องการของผู้บริโภคเพราะเป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่รับประทานได้ง่ายและสะดวกต่อการพกพา อาหารขบเคี้ยวชนิดแต่ละชนิดมีส่วนผสมต่างกันทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแตกต่างของเนื้อสัมผัสและรสชาติ ส่วนผสมหลักที่ใช้สำหรับเป็นวัตถุดิบเพื่อผลิตอาหารขบเคี้ยว ได้แก่ ธัญชาติ ถั่วต่างๆ ผัก และผลไม้ เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีส่วนผสมรองอื่นๆ เช่น สารช่วยยึดเกาะ และสารช่วยเพิ่มกลิ่นรส ลักษณะของผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวมี 2 ชนิด คือ ชนิดที่มีเนื้อสัมผัสกรอบ (Crunch bars) และชนิดที่มีเนื้อสัมผัสเหนียวนุ่ม (Chewy bars) โดยปริมาณน้ำตาลที่ใช้ในส่วนผสมจะแตกต่างกัน คือ ผลิตภัณฑ์ชนิดเนื้อสัมผัสกรอบ จะมีปริมาณน้ำตาลร้อยละ 15-20 และอาจมีการเติมน้ำผึ้งในส่วนผสมเพื่อเพิ่มรสชาติส่วนผลิตภัณฑ์ชนิดเหนียวนุ่มมีปริมาณน้ำตาลร้อยละ 25-30 ในปัจจุบันผู้บริโภคมีความใส่ใจต่อสุขภาพมากขึ้นทำให้เริ่มมองหาผลิตภัณฑ์อาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการและดีต่อสุขภาพมากขึ้นเน้นการปรุงแต่งโดยใช้วัตถุดิบจากธรรมชาติซึ่งสอดคล้องกับความต้องการในอนาคต การผลิตอาหารขบเคี้ยวต้องคำนึงถึงสุขภาพและควบคุมน้ำหนักด้วย การผลิตอาหารขบเคี้ยวโดยกระบวนการเอกซ์ทรูชันเป็นกระบวนการที่ใช้อุณหภูมิสูงในระยะเวลาสั้น ประกอบด้วยการทำงานหลายส่วน ได้แก่ ส่วนที่รับและส่งผ่านวัตถุดิบ ส่วนที่มีการผสม การนวด การให้ความร้อนและการขึ้นรูปโดยการอัดผ่านรูเปิดทำให้เกิดรูปร่าง คุณสมบัติของวัตถุดิบมีผลต่อคุณลักษณะเนื้อสัมผัสและสีของอาหารโดยมีปัจจัยที่สำคัญ ได้แก่ ความชื้น ลักษณะทางกายภาพ และองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบโดยเฉพาะชนิดและปริมาณของแป้ง โปรตีน ไขมัน และน้ำตาล ซึ่งแป้งเป็นวัตถุดิบที่ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างรูปร่างของผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์จะมีการพองตัวโดยที่ไม่

ต้องผ่านการทอดโดยน้ำมัน ดังนั้นผลิตภัณฑ์จึงมีไขมันต่ำเหมาะที่จะพัฒนาเป็นขนมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพ ข้าวพื้นเมืองมีรสชาติอร่อยเป็นเอกลักษณ์ และเป็นข้าวคุณภาพดีมีประโยชน์ต่อสุขภาพของผู้บริโภคโดยเฉพาะข้าวไร่พื้นเมืองมีสีจะมีสารต้านอนุมูลอิสระที่สามารถป้องกันโรคและการเจ็บป่วยต่างๆ ได้ดี เช่น ข้าวเหนียวดำ ข้าวสังข์หยดไร่และข้าวเมล็ดในฝ้าย ซึ่งปลูกแซมในสวนยางหรือสวนปาล์มของเกษตรกรอย่างไรก็ตามเกษตรกรยังนำผลผลิตจากข้าวไร่มาสีเป็นข้าวสารแล้วบรรจุถุงขายอยู่ซึ่งได้ราคาและยอดขายที่ไม่สูงมากเนื่องจากการบริโภคข้าวสารพื้นเมืองที่ยังไม่นิยมแพร่หลายและเป็นที่ต้องการของผู้บริโภคมากนัก จึงจำเป็นต้องเร่งพัฒนาโดยอาศัยเทคโนโลยีและนวัตกรรมทางการแปรรูปอาหาร นอกจากนี้ได้มีข้อมูลรายงานว่าพืชจากหลายแหล่งมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันรวมทั้งข้าวพื้นเมืองด้วย โดยเมล็ดธัญพืชประเภทข้าวจัดเป็นแหล่งสารกันหืนจากธรรมชาติที่มีความสำคัญ ทั้งนี้เนื่องจากมีสารประกอบโพลีฟีโนลิกเป็นองค์ประกอบในปริมาณสูง สารประกอบโพลีฟีโนลิกเป็นสารสำคัญที่มีส่วนช่วยต้านการเกิดออกซิเดชันของไขมัน อย่างไรก็ตามข้าวก็ยังมีปริมาณโปรตีนที่ไม่สูง ดังนั้นการเสริมโปรตีนเข้าไปในข้าวจึงมีความจำเป็นในการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ โปรตีนจากพืชส่วนใหญ่เป็นโกลบูลาร์โปรตีน (Globular protein) เช่น ถั่วเหลือง (soy protein) นิยมนำมาใช้ในอาหาร เนื่องจากมีคุณค่าทางอาหารและมีประโยชน์ต่อสุขภาพ โดยถั่วเหลืองจะประกอบด้วยไอโซฟลาโวน (Isoflavone) และโปรตีนซึ่งเป็นสารที่จะช่วยเพิ่มคลอเรสเตอรอลชนิดดี (High density lipoprotein cholesterol, HDL-c) และลดคลอเรสเตอรอลทั้งหมด (CHOL) คลอเรสเตอรอลชนิดเลว (Low density lipoprotein cholesterol, LDL) และไตรกลีเซอไรด์ (TGs) ซึ่งจะลดความเสี่ยงของโรคเส้นเลือดอุดตัน โรคหัวใจและโรคมะเร็งเต้านม โปรตีนจากสัตว์ส่วนใหญ่เป็นโปรตีนแบบเส้นใย (Fibrous protein) เช่น เนื้อไก่ มีกรดอะมิโนที่จำเป็นมากกว่าโปรตีนจากพืช แต่เนื้อสัตว์ที่เป็นเนื้อแดง เช่น เนื้อวัว หรือเนื้อหมู ประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัวในปริมาณสูงที่อาจทำให้ระดับของ “แอลดีแอลโคเลสเตอรอล” หรือ “โคเลสเตอรอลตัวที่ไม่ดี” ในเลือดเพิ่มสูงขึ้น เพิ่มความเสี่ยงในการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือดและโรคอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง จึงควรกินเนื้อแดงในปริมาณที่จำกัด และกินเนื้อสัตว์ชนิดอื่นๆ เช่น เนื้อไก่ ปลา และกุ้ง แทน แมลงมีโปรตีนสูงระหว่างร้อยละ 28.35 - 70.56 มีปริมาณโปรตีนที่ย่อยได้สูงถึงร้อยละ 77- 98 หากมีการเอาไคติน (Chitin) ที่โครงร่างแข็งภายนอกตัว (Exoskeleton) ออก ปริมาณการย่อยโปรตีนนี้จะสูงขึ้นจนเทียบเท่ากับเนื้อสัตว์ สำหรับไขมันในแมลงพบว่า มีปริมาณอยู่ระหว่างร้อยละ 4.46-43.95 มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวรวมอยู่ระหว่าง 30.22-46.10 โดยมีกรดไขมันที่จำเป็น (Essential fatty acid) เช่น Lenoleic acid และ Lenolenic acid

เทียบเท่ากับเนื้อสัตว์ทั่วไป การเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้อาหารขบเคี้ยวโดยการใช้ข้าวกล้องพื้นเมืองนคร และเสริมโปรตีนจึงเป็นการตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค นอกจากนี้วัตถุดิบที่สำคัญในการผลิตอาหารขบเคี้ยว คือ แป้ง การนำข้าวกล้องพื้นเมืองนครมาแปรรูปเป็นแป้งและผลิตเป็นอาหารขบเคี้ยวจึงเป็นการเพิ่มมูลค่าอีกทั้งเป็นการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้อาหารขบเคี้ยวและเป็นทางเลือกใหม่ให้กับผู้บริโภคที่รักสุขภาพรวมทั้งผู้บริโภคที่ต้องการโปรตีนเป็นพิเศษด้วย

จากการสืบค้นสิทธิบัตรอนุสิทธิบัตรทั้งฐานข้อมูลประเทศไทยและต่างประเทศพบสิทธิบัตรอนุสิทธิบัตรที่มีความใกล้เคียงกับสิ่งประดิษฐ์นี้ คือ

สิทธิบัตร ประเทศไทย เลขที่อนุสิทธิบัตร 7469 ได้ให้รายละเอียดเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวข้าวโพดสีม่วงโดยใช้เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ (extruder) มีส่วนประกอบดังนี้ ข้าวโพดสีม่วงบด ข้าวโพดบดหยาบ แป้งมันฝรั่ง แป้งถั่วเหลืองไขมันเต็ม น้ำตาลทราย น้ำมันพืชและแคลเซียมคาร์บอเนต โดยกระบวนการผลิตเริ่มจาก ผสมวัตถุดิบต่างๆ ด้วยเครื่องผสม แล้วนำเข้าเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ ได้ผลิตภัณฑ์เอกซ์ทรูเดต นำไปอบแห้งในตู้อบลมร้อนหรือนำมาเคลือบเพิ่มเติมเพื่อปรุงแต่งกลิ่นรสได้เป็นผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวชนิดสุกพองที่มีส่วนประกอบของข้าวโพดสีม่วง มีคุณประโยชน์ในด้านโภชนาการ มีโปรตีน เส้นใยอาหารและสารต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ แอนโทไซยานินและสารฟีนอลิก

สิทธิบัตร ประเทศไทย เลขที่อนุสิทธิบัตร 8070 ได้ให้รายละเอียดเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวจากธัญพืชและผลไม้ที่เสริมสารพรีไบโอติก เป็นผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ ซึ่งมีประโยชน์ต่อร่างกายในแง่ของการรักษาสมดุลของระบบย่อยอาหารและระบบขับถ่าย ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวประกอบด้วยข้าวพอง ข้าวโอ๊ต ลูกเดือยอบแห้ง งา ผลไม้ สารให้ความหวาน และสารพรีไบโอติก ซึ่งสารพรีไบโอติกที่นำมาเสริมในผลิตภัณฑ์นี้เป็นสารพรีไบโอติกที่สกัดได้จากธรรมชาติ

สิทธิบัตร ประเทศไทย เลขที่อนุสิทธิบัตร 10383 ได้ให้รายละเอียดเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวจากถั่วเขียวโดยใช้เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ตามการประดิษฐ์นี้ประกอบด้วย ผงถั่วเขียวผ่าซีกเราะเปลือก แป้งข้าวเจ้า ข้าวโพดบดหยาบ แป้งถั่วเหลืองไขมันเต็ม แป้งมันสำปะหลังดัดแปร ผงสาหร่ายเกลียวทอง วิตามิน เกลือแร่ มีกระบวนการผลิตเริ่มจากขั้นนำส่วนผสมเทเข้าเครื่องผสม ผสมให้เข้ากัน ป้อนเข้าเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์สกรูคู่ โดยของผสมจะถูกอัดผ่านรูหน้าแปลนของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ ได้ผลิตภัณฑ์เอกซ์ทรูเดต อบในตู้อบลมร้อน ได้ผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวจากถั่วเขียวโดยใช้เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ มีคุณประโยชน์ต่อร่างกาย คุณค่าโภชนาการสูง คือ มีโปรตีนสูง สามารถบริโภคได้ทุก

เพศทุกวัย เป็นผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวชนิดใหม่ ที่ผลิตจากถั่วเขียวผง มีคุณค่าทางโภชนาการจากโปรตีนของถั่วเขียวและผงสาหร่ายเกลียวทอง ซึ่งแตกต่างจากขนมขบเคี้ยวในท้องตลาดที่ประกอบด้วยแป้งเป็นส่วนใหญ่ นอกจากนั้นยังมีเนื้อสัมผัสและรสชาติกรอบมันเป็นที่ถูกใจผู้บริโภค สามารถเก็บไว้ได้นาน

สิทธิบัตร ประเทศไทย เลขที่คำขอ 1601004346 ได้ให้รายละเอียดเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวเสริมสุขภาพจากถั่วเหลืองที่หมักด้วยกล้าเชื้อ Bacillus subtilis SB-MYP-1 เป็นส่วนผสมหลักเสริมสุขภาพในสัดส่วน 30 เปอร์เซ็นต์โดย น้ำหนัก ร่วมกับส่วนผสมอื่น ๆ ได้แก่ แป้งถั่วเหลือง 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก งาขาว 1 เปอร์เซ็นต์โดย น้ำหนัก งาดำ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เกลือป่น 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก น้ำตาลทราย 17-20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก และน้ำสะอาด 37.5-40.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก กวนผสมให้เข้ากัน แล้วให้ความร้อนด้วยเครื่อง ทำแห้งแบบลูกกลิ้ง จะได้ผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวเสริมสุขภาพที่มีลักษณะตามต้องการ

ลักษณะและความมุ่งหมายของการประดิษฐ์

ลักษณะของสูตรและกรรมวิธีการผลิตอาหารขบเคี้ยวข้าวกล้องไร่นครเสริมโปรตีนผงจิ้งหรีดด้วยเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ ประกอบด้วย แป้งข้าวกล้องเม็ดในฝ้าย แป้งข้าวกล้องสังข์หยด แป้งข้าวเจ้า เกล็ดข้าวโพด น้ำมันพืช น้ำ แคลเซียมคาร์บอเนต และผงจิ้งหรีด ผสมตามสูตรที่ได้คิดค้นขึ้นจากนั้นผ่านกระบวนการผลิตตามขั้นตอนต่าง ๆ จนได้เป็นผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวข้าวกล้องเม็ดในฝ้ายเสริมโปรตีนผงจิ้งหรีด

ความมุ่งหมายของการประดิษฐ์นี้ คือ เพื่อผลิตอาหารขบเคี้ยวข้าวกล้องเม็ดในฝ้ายเสริมโปรตีนผงจิ้งหรีดที่มีความกรอบและอุดมไปด้วยสารอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการต่อร่างกายผู้บริโภค โดยใช้หลักการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร พัฒนาสูตรและวิธีการผลิต เพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลผลิต และเป็นทางเลือกให้กับผู้บริโภค หรือผู้ประกอบการในการผลิตอีกช่องทางหนึ่ง

การเปิดเผยการประดิษฐ์โดยสมบูรณ์

สูตรและกรรมวิธีการผลิตอาหารขบเคี้ยวข้าวกล้องไร่นครเสริมโปรตีนผงจิ้งหรีดด้วยเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ มีส่วนประกอบดังนี้

แป้งข้าวผสม	ร้อยละ	40	โดยน้ำหนัก
ผงจิ้งหรีด	ร้อยละ	10	โดยน้ำหนัก
เกล็ดข้าวโพด	ร้อยละ	41	โดยน้ำหนัก
น้ำมันพืช	ร้อยละ	3	โดยน้ำหนัก
น้ำตาลทราย	ร้อยละ	5	โดยน้ำหนัก
แคลเซียมคาร์บอเนต	ร้อยละ	1	โดยน้ำหนัก

สูตรและกรรมวิธีการผลิตอาหารขบเคี้ยวข้าวกล้องไร่นครเสริมโปรตีนผงจิ้งหรีดด้วยเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์มีกรรมวิธีประกอบด้วยดังนี้

• นำแป้งข้าวผสม ที่มีส่วนผสมของแป้งข้าวกล้องเม็ดในฝ้าย แป้งข้าวกล้องสังข์หยด และแป้งข้าวเจ้า โดยใช้อัตราส่วนเท่ากับ 5 - 10 : 15 - 20 : 20 - 30 ตามลำดับ มาผสมเข้าด้วยกันด้วยเครื่องปั่นผสม เป็นระยะเวลา 5 นาที

• จากนั้นนำแป้งข้าวผสมที่ได้จากขั้นตอนแรกมาผสมกับ ผงจิ้งหรีด เกล็ดข้าวโพด น้ำตาลทราย และแคลเซียมคาร์บอเนต อัตราส่วนตามสูตร มาผสมเข้าด้วยกันด้วยเครื่องปั่นผสม เป็นระยะเวลา 15 นาที

• เมื่อผสมเสร็จให้นำส่วนผสมที่ได้มาเข้าเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ โดยผสมด้วยความเร็วหมุน 450 รอบต่อนาที อุณหภูมิบาเรล 40, 100, 120, 130, 130, 130 และดาย 145 องศาเซลเซียส ได้ผลิตภัณฑ์เอกซ์ทรูเดต

• จากนั้นนำผลิตภัณฑ์เอกซ์ทรูเดตไปอบแห้งในตู้อบลมร้อน ด้วยอุณหภูมิ 80 องศาเซลซียล เป็นระยะเวลา 60 นาที

• จะได้เป็นผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวข้าวกล้องไร่นครเสริมโปรตีนผงจิ้งหรีด

• สามารถนำผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวข้าวกล้องไร่นครเสริมโปรตีนผงจิ้งหรีดมาเคลือบด้วยผงปรุงรสเพิ่มเติมเพื่อปรุงแต่งกลิ่นและรสชาติได้ตามชอบ

วิธีการในการประดิษฐ์ที่ดีที่สุด

เหมือนกับที่ได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อการเปิดเผยการประดิษฐ์โดยสมบูรณ์

บทสรุปการประดิษฐ์

สูตรและกรรมวิธีการผลิตอาหารขบเคี้ยวข้าวกล้องไร่นครเสริมโปรตีนผงจิ้งหรีดด้วยเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ ประกอบด้วย แป้งข้าวกล้องเม็ดในฝ้าย แป้งข้าวกล้องสังข์หยด แป้งข้าวเจ้า เกล็ดข้าวโพด น้ำมันพืช น้ำ แคลเซียมคาร์บอเนต และผงจิ้งหรีด ผสมตามสูตรที่ได้คิดค้นขึ้นจากนั้นผ่านกระบวนการผลิตตามขั้นตอนต่าง ๆ จนได้เป็นผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวข้าวกล้องเม็ดในฝ้ายเสริมโปรตีนผงจิ้งหรีด เพื่อผลิตอาหารขบเคี้ยวข้าวกล้องเม็ดในฝ้ายเสริมโปรตีนผงจิ้งหรีดที่มีความกรอบและอุดมไปด้วยสารอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการต่อร่างกายผู้บริโภค โดยใช้หลักการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร พัฒนาสูตรและวิธีการผลิต เพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลผลิต และเป็นทางเลือกให้กับผู้บริโภค หรือผู้ประกอบการในการผลิตอีกช่องทางหนึ่ง

ข้อถือสิทธิ

1.สูตรและกรรมวิธีการผลิตอาหารขบเคี้ยวข้าวกล้องไร่นครเสริมโปรตีนผงจิ้งหรีดด้วยเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ ที่ซึ่งมีส่วนประกอบดังนี้

แป้งข้าวผสม	ร้อยละ	40	โดยน้ำหนัก
ผงจิ้งหรีด	ร้อยละ	10	โดยน้ำหนัก
เกล็ดข้าวโพด	ร้อยละ	41	โดยน้ำหนัก
น้ำมันพืช	ร้อยละ	3	โดยน้ำหนัก
น้ำตาลทราย	ร้อยละ	5	โดยน้ำหนัก
แคลเซียมคาร์บอเนต	ร้อยละ	1	โดยน้ำหนัก

2.สูตรและกรรมวิธีการผลิตอาหารขบเคี้ยวข้าวกล้องไร่นครเสริมโปรตีนผงจิ้งหรีดด้วยเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ ตามข้อถือสิทธิที่ 1 ที่ซึ่งมีกรรมวิธีประกอบด้วยดังนี้

• นำแป้งข้าวผสม ที่มีส่วนผสมของแป้งข้าวกล้องเม็ดในฝ้าย แป้งข้าวกล้องสังข์หยด และแป้งข้าวเจ้า โดยใช้อัตราส่วนเท่ากับ 5 - 10 : 15 - 20 : 20 - 30 ตามลำดับ มาผสมเข้าด้วยกันด้วยเครื่องปั่นผสม เป็นระยะเวลา 5 นาที

• จากนั้นนำแป้งข้าวผสมที่ได้จากขั้นตอนแรกมาผสมกับ ผงจิ้งหรีด เกล็ดข้าวโพด น้ำตาลทราย และแคลเซียมคาร์บอเนต อัตราส่วนตามสูตร มาผสมเข้าด้วยกันด้วยเครื่องปั่นผสม เป็นระยะเวลา 15 นาที

• เมื่อผสมเสร็จให้นำส่วนผสมที่ได้มาเข้าเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ โดยผสมด้วยความเร็วหมุน 450 รอบต่อนาที อุณหภูมิบาเรล 40, 100, 120, 130, 130, 130 และดาย 145 องศาเซลเซียส ได้ผลิตภัณฑ์เอกซ์ทรูเดต

• จากนั้นนำผลิตภัณฑ์เอกซ์ทรูเดตไปอบแห้งในตู้อบลมร้อน ด้วยอุณหภูมิ 80 องศาเซลซียล เป็นระยะเวลา 60 นาที

• จะได้เป็นผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวข้าวกล้องไร่นครเสริมโปรตีนผงจิ้งหรีด

• สามารถนำผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวข้าวกล้องไร่นครเสริมโปรตีนผงจิ้งหรีดมาเคลือบด้วยผงปรุงรสเพิ่มเติมเพื่อปรุงแต่งกลิ่นและรสชาตได้ตามชอบ