บทความวิจัย

ผลของปริมาณผงโปรตีนไก่และสายพันธุ์ข้าวต่อคุณภาพเอกซ์ทรูเดตจากแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงและแป้งข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105

สุธาสินี ศรีวิไล[1] ปาริสุทธิ์ เฉลิมชัยวัฒน์[2*] น้องนุช ศิริวงศ์[2] และ ณัฐิรา อ่อนน้อม[3]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการตรวจสอบผลของปริมาณผงโปรตีนไก่และสายพันธุ์ข้าวต่อคุณภาพและการยอมรับของเอกซ์ทรูเดต จัดสิ่งทดลองแบบ 4x2 Factorial in CRD ศึกษาปริมาณผงโปรตีนไก่ 4 ระดับ (ร้อยละ 0, 5, 7.50 และ 10 น้ำหนัก/น้ำหนัก) และแป้งข้าวกล้อง 2 สายพันธุ์ (สังข์หยดพัทลุง และขาวดอกมะลิ 105) เอกซ์ทรูเดตถูกผลิตด้วยเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ชนิดสกรูคู่ ภายใต้สภาวะของอุณหภูมิบาร์เรล 140 องศาเซลเซียส ความชื้นของตัวอย่างป้อนร้อยละ 16 และความเร็วรอบของสกรู 350 รอบต่อนาที พบว่าระดับผงโปรตีนไก่ที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้เอกซ์ทรูเดตมีปริมาณโปรตีน ความหนาแน่น และความแข็งเพิ่มขึ้น ในขณะที่สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และอัตราการพองตัวลดลง เมื่อเปรียบเทียบระหว่างข้าว 2 สายพันธุ์ พบว่าเอกซ์ทรูเดตจากแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงให้ค่าการพองตัว สารประกอบฟีนอลิก และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าเอกซ์ทรูเดตจากแป้งข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 เอกซ์ทรูเดตจากข้าวทั้ง 2 สายพันธุ์ ที่ผลิตได้เป็นเอกซ์ทรูเดตโปรตีนสูง (สูงกว่าร้อยละ 10 ของ Thai RDI) ตามเกณฑ์ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 182) ผลการประเมินทางประสาทสัมผัสพบว่า เอกซ์ทรูเดตจากแป้งข้าวทั้ง 2 สายพันธุ์ที่ผสมผงโปรตีนไก่ ร้อยละ 5 มีค่าคะแนนความชอบโดยรวมสูงสุด

คำสำคัญ: ผงโปรตีนไก่ แป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุง แป้งข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 เอกซ์ทรูเดต

---

[1] สาขาวิชาเกษตรเขตร้อน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

[2] สาขาวิชาอาหารและโภชนาการ ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

[3] สถาบันโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล

[*] ผู้นิพนธ์ประสานงาน, e-mail: fagrpsch@ku.ac.th

Effect of Chicken Protein Powder Content and Rice Varieties on Quality of Extrudates made from Sungyod Phatthalung and Khao Dawk Mali 105 Brown Rice Flour

Sutasinee Sriwilai[1], Parisut Chalermchaiwat[2*], Nongnuch Siriwong[2] and Nattira On-nom[3]

ABSTRACT

This research investigated the effects of chicken protein powder content and rice varieties on the quality and acceptance of extrudates. A 4x2 factorial arrangement in CRD with 4 chicken protein powder content (0%, 5%, 7.50% and 10% w/w) and 2 rice varieties of brown rice flour (Sung Yod Phatthalung and Khao Dawk Mali 105) were used. The extrudates were produced by twin screw extruder under condition of 140°C barrel temperature, 16% feed moisture and 350 rpm screw speed. The result showed that an increase in chicken protein powder content also enhanced the protein content, bulk density and hardness of extrudates while the total phenolic compound, antioxidant activity and expansion ratio decreased. The comparison of 2 rice varieties found that extrudates obtained from Sung Yod Phatthalung brown rice flour had higher expansion ratio, total phenolic compound and antioxidant activity than that of Khao Dawk Mali 105 brown rice flour. Extrudates from both rice varieties had high protein content (>10% of Thai RDI) followed by The Ministry of Public Health (Vol.182). The result of sensory evaluation revealed that extrudates from both rice varieties with 5% chicken protein powder had the highest overall liking scores.

Keywords: Chicken protein powder, Sung Yod Phatthalung brown rice flour, Khaw Dawk Mali 105 brown rice flour, Extrudates

[1] Tropical Agriculture Program, Faculty of Agriculture, Kasetsart University

[2] Food and Nutrition Program, Department of Home Economics, Faculty of Agriculture, Kasetsart University

[3] Institue of Nutrition, Mahidol University

*Corresponding author, email: fagrpsch@ku.ac.th

บทนำ

ปัจจุบันผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพที่จำหน่ายในท้องตลาดส่วนมากนิยมทำมาจากธัญพืชเต็มเมล็ดซึ่งจะมีปริมาณโปรตีนที่ต่ำ [1] ในปี ค.ศ. 2015 ผู้บริโภคมีความต้องการผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวที่มีคุณค่าทางโภชนาการ เช่น โปรตีนสูงและใยอาหารสูงเพิ่มขึ้น ดังนั้นการปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการของอาหารขบเคี้ยวให้มีโปรตีนสูง จะสามารถตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคได้ [2] การผลิตเอกซ์ทรูเดตในอุตสาหกรรมอาหารขบเคี้ยวส่วนมากจะใช้แป้งข้าวสาลีเป็นวัตถุดิบหลัก ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่นำเข้าจากต่างประเทศ ในประเทศไทยข้าวกล้องเป็นวัตถุดิบที่น่าสนใจสำหรับการผลิตเอกซ์ทรูเดตเนื่องจากเป็นวัตถุดิบที่หาง่ายในประเทศ ให้การพองตัวที่ดี มีรสจืด และเป็นการเพิ่มมูลค่าให้ผลิตผลทางการเกษตร [3] ข้าวกล้องเป็นข้าวที่กะเทาะเอาเปลือกออก โดยที่ยังมีจมูกข้าว และเยื่อหุ้มเมล็ดข้าวอยู่ เป็นแหล่งของสารอาหารมีปริมาณใยอาหารค่อนข้างสูง ช่วยในเรื่องของการขับถ่าย และลดปริมาณคอเลสเตอรอลในเลือด งานวิจัยนี้เลือกใช้ข้าวกล้อง 2 สายพันธุ์ คือ พันธุ์สังข์หยดพัทลุง เป็นข้าวพันธุ์พื้นเมืองนิยมปลูกในพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทยโดยเฉพาะในจังหวัดพัทลุง มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีขาวปนสีแดงจางๆ จนถึงแดงเข้มในเมล็ดเดียวกัน มีปริมาณอะไมโลสต่ำ คือ มีร้อยละ 14.25 [4] เมื่อข้าวหุงสุกจะมีความนุ่มมากและยังคงนุ่มเมื่อเย็นตัวลง มีคุณค่าทางโภชนาการโดยเฉพาะโปรตีน ไขมัน ใยอาหาร สูงกว่าข้าวที่ถูกขัดสีแล้ว นอกจากนี้ยังอุดมไปด้วยสารต้านอนุมูลอิสระ [5] และข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เป็นข้าวเจ้าที่มีชื่อเสียงของประเทศไทย นอกจากนี้ยังเป็นที่นิยมบริโภคอย่างมากสำหรับคนไทยและชาวต่างชาติ สำหรับตลาดในต่างประเทศนั้น มีปริมาณการส่งออกมากถึง 148,544 ตัน ข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 อุดมด้วยสารอาหารที่สำคัญ ได้แก่ วิตามินบี แคลเซียม ฟอสฟอรัส เหล็ก สังกะสีใยอาหาร และโปรตีน [6] อย่างไรก็ตามข้าวกล้องก็ยังมีปริมาณโปรตีนที่ไม่สูง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการเสริมผงโปรตีนเข้าไปในการผลิตเอกซ์ทรูเดต ซึ่งผงโปรตีนที่นำมาใช้คือผลพลอยได้จากการผลิตซุปไก่ เป็นแหล่งโปรตีนที่ได้จากเนื้อสัตว์ และเป็นโปรตีนที่มีคุณภาพดี มีกรดอะมิโนครบถ้วนประกอบด้วยกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายมากกว่าโปรตีนที่ได้จากพืช โปรตีนที่ได้จากสัตว์เป็นโปรตีนประเภทเส้นใยเป็นส่วนของกล้ามเนื้อของสัตว์ มีหน้าที่เพิ่มความแข็งแรงให้กับกล้ามเนื้อเสริมสร้างการเจริญเติบโตและช่วยซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ ผงโปรตีนไก่นี้จึงเป็นโปรตีนที่มีคุณภาพสูงและยังเป็นการใช้ประโยชน์จากของเหลือใช้ในอุตสาหกรรมอาหารที่ช่วยส่งเสริมคุณค่าทางโภชนาการได้อีกทางด้วย จะเห็นได้ว่ามีการศึกษาการใช้เลือดปลาทูน่าผงเพื่อเสริมโปรตีนและเหล็กในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเหนียวพันธุ์ลืมผัว [7] ซึ่งเป็นการใช้แหล่งโปรตีนที่เหลือใช้ในอุตสาหกรรมอาหารมาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวเช่นเดียวกัน

ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของปริมาณผงโปรตีนไก่ ในการผลิตเอกซ์ทรูเดตจากแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงและแป้งข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 ต่อคุณภาพทางกายภาพ ทางเคมีและประสาทสัมผัส สำหรับเป็นส่วนประกอบในการผลิตอาหารขบเคี้ยวชนิดแท่งเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้เป็นอาหารขบเคี้ยวชนิดแท่งโปรตีนสูงต่อไป

อุปกรณ์และวิธีทดลอง

1. การศึกษาคุณภาพของวัตถุดิบ

การเตรียมแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงและแป้งข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105

นำข้าวเปลือกพันธุ์สังข์หยดพัทลุงและข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 จาก ตำบลชัยบุรี อำเภอเมือง จังหวัดพัทลุง มากะเทาะเปลือกออกด้วยเครื่องกะเทาะเปลือกจากนั้นนำข้าวกล้องที่ได้บดให้ละเอียดด้วยเครื่องบด Pin mill แล้วนำมาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 60 เมช ได้เป็นแป้งข้าวขนาดอนุภาค 250 ไมครอน บรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยด์แบบสุญญากาศเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นำไปวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี (L*, a* และ b*) ในระบบ CIE ด้วยเครื่อง Spectrophotometer (Hunter-Lab รุ่น Ultra scan Vis U.S.A.) วัดค่าซ้ำ 10 ครั้ง ค่า ปริมาณน้ำอิสระ Water activity (a_w) ด้วยเครื่อง a_w (Aqualab U.S.A.) วัดค่าซ้ำ 10 ครั้ง คุณภาพทางเคมี ได้แก่ องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ (Proximate Analysis) ได้แก่ ความชื้น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน ใยอาหาร และเถ้า ตามวิธีการของ AOAC [8] จำนวน 3 ซ้ำ และใช้ในการผลิตเอกซ์ทรูเดตต่อไป

การเตรียมผงโปรตีนไก่

ผงโปรตีนไก่ที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นผลพลอยได้จากการผลิตซุปไก่ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัทศูนย์วิทยาศาสตร์เบทาโกร จำกัด โดยนำตะกอนที่คงเหลือจากการผลิตซุปไก่ไปทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (Drum dried) บดแล้วนำมาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 60 เมช ได้เป็นผงโปรตีนไก่ขนาดอนุภาค 250 ไมครอน แล้วบรรจุในถุงอลูมิเนียมฟลอยด์แบบสุญญากาศเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นำไปวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี (L*, a* และ b*) ในระบบ CIE ด้วยเครื่อง Spectrophotometer (Hunter-Lab รุ่น Ultra scan Vis U.S.A.) วัดค่าซ้ำ 10 ครั้ง ค่าปริมาณน้ำอิสระ Water activity (a_w) ด้วยเครื่อง a_w (Aqualab U.S.A.) วัดค่าซ้ำ 10 ครั้ง คุณภาพทางเคมี ได้แก่ องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ (Proximate Analysis) ได้แก่ ความชื้น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน ใยอาหาร และเถ้า ตามวิธีการของ AOAC [8] จำนวน 3 ซ้ำ และใช้ในการผลิตเอกซ์ทรูเดตต่อไป

2. การศึกษาปริมาณผงโปรตีนไก่และสายพันธุ์ข้าวเพื่อการผลิตเอกซ์ทรูเดตโปรตีนสูง

จัดสิ่งทดลองแบบ 4x2 Factorial in CRD โดยมี 2 ปัจจัยที่ศึกษา ได้แก่ ปริมาณผงโปรตีนไก่ 4 ระดับ โดยทดแทนในส่วนของแป้งที่ ร้อยละ 0, 5, 7.5 และ 10 (น้ำหนัก/น้ำหนัก) และแป้งข้าว 2 สายพันธุ์ คือ แป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงและแป้งข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 นำไปแปรรูปเป็นเอกซ์ทรูเดตด้วยเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ชนิดสกรูคู่ที่อุณหภูมิบาร์เรล 140 องศาเซลเซียส ความชื้นของตัวอย่างป้อนร้อยละ 16 และความเร็วรอบของสกรู 350 รอบต่อนาที เอกซ์ทรูเดตที่ได้จะถูกนำไปอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที ได้เอกซ์ทรูเดตทั้งสิ้น 8 สิ่งทดลอง ดังนี้

T1 = แป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุง ปริมาณผงโปรตีนไก่ร้อยละ 0
T2 = แป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุง ปริมาณผงโปรตีนไก่ร้อยละ 5
T3 = แป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุง ปริมาณผงโปรตีนไก่ร้อยละ 7.5
T4 = แป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุง ปริมาณผงโปรตีนไก่ร้อยละ 10
T5 = แป้งข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 ปริมาณผงโปรตีนไก่ร้อยละ 0
T6 = แป้งข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 ปริมาณผงโปรตีนไก่ร้อยละ 5
T7 = แป้งข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 ปริมาณผงโปรตีนร้อยละ 7.5
T8 = แป้งข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 ปริมาณผงโปรตีนไก่ร้อยละ 10

จากนั้นนำเอกซ์ทรูเดตที่ได้ไปบรรจุในถุงพอลีเอทีลีนและเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องนำไปวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพได้แก่ ค่าสี (L*, a* และ b*) (ตามวิธีการข้อ 1) ค่าความหนาแน่น (Bulk density) โดยการใช้กระบอกตวง เทตัวอย่างลงไปประมาณ 2/3 ของกระบอกตวง จากนั้นเคาะ 15 ครั้ง เติมตัวอย่างที่เหลือให้ล้นกระบอกตวง แล้วทำการเคาะอีก 5 ครั้ง ปาดตัวอย่างที่เกินขอบกระบอกตวง ชั่งน้ำหนักแล้วนำค่าไปหารด้วยปริมาตรกระบอกตวงจะได้ค่าความหนาแน่น ค่าปริมาตรที่ได้จะมีหน่วยเป็น กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร ดัดแปลงตามวิธีการของ Chanlat และคณะ [9] วัดค่าซ้ำ 10 ครั้ง อัตราการพองตัว (Expansion ratio) โดยการคำนวณได้จาก อัตราส่วนการพองตัว = เส้นผ่านศูนย์กลางเอกซ์ทรูเดต /เส้นผ่านศูนย์กลางหน้ารูเปิด (Die) รายงานหน่วยเป็นเท่า ดัดแปลงตามวิธีการของ Ding และคณะ [10] วัดค่าซ้ำ 10 ครั้ง ค่าเนื้อสัมผัส โดยวัดค่าความแข็ง (Hardness) ด้วยเครื่อง Texture analyzer (Stable Micro Systems TA.XT plus U.S.A.) ใช้หัววัด P50 สภาวะที่ใช้ทดสอบ คือ ความเร็วก่อนทดสอบ (Pre-test speed) 5 มิลลิเมตรต่อวินาที ความเร็วขณะทดสอบ (Test speed) 5 มิลลิเมตรต่อวินาที ความเร็วหลังทดสอบ (Post-test speed) 10 มิลลิเมตรต่อวินาที โดยกดหัววัดลงบนตัวอย่างเป็นระยะทางร้อยละ 50 ของความสูงตัวอย่าง รายงานหน่วยเป็นนิวตัน (N) ดัดแปลงตามวิธีการของ Chalermchaiwat และคณะ [11] วัดค่าซ้ำ 10 ครั้ง คุณภาพทางเคมี ได้แก่ ปริมาณโปรตีนของเอกซ์ทรูเดต โดยการคำนวณได้จาก ร้อยละโปรตีน = ร้อยละไนโตรเจน x Kjeldahl factor (6.25) ตามวิธีการของ AOAC [8] วัดค่าซ้ำ 3 ครั้ง ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด วัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร สารมาตรฐาน คือ Gallic acid รายงานผลเป็นหน่วย GAE/100g sample ดัดแปลงตามวิธีการของ Chalermchaiwat และคณะ [11] วัดค่าซ้ำ 3 ครั้ง ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี 2,2 Diphenyl-1-picryhydrazyl radical scavenging assay (DPPH) วัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร สารมาตรฐาน คือ Trolox รายงานผลเป็นหน่วย mg TE/100g sample และวิธี Ferric ion reducing antioxidant power assay (FRAP) วัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตร สารมาตรฐาน คือ $FeSO_4$ รายงานผลเป็นหน่วย mg/ $FeSO_4$/100g sample ดัดแปลงตามวิธีการของ Chalermchaiwat และคณะ [11] วัดค่าซ้ำ 3 ครั้ง และประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ (9 - point hedonic scale) กับผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 50 คน ในคุณลักษณะด้าน สี กลิ่น ความกรอบ รสตกค้างในปาก และความชอบโดยรวม

3. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design, CRD) สำหรับการทดสอบคุณภาพทางกายภาพและเคมีของวัตถุดิบ จัดสิ่งทดลองแบบ 4x2 Factorial in CRD สำหรับการทดสอบเอกซ์ทรูเดตที่ได้จากการศึกษาปริมาณผงโปรตีนไก่และสายพันธุ์ข้าวทั้งทางกายภาพและเคมี และวางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized complete block design, RCBD) สำหรับการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ หาค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และวิเคราะห์หาความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$)

ผลการทดลอง

1. ผลการศึกษาคุณภาพของวัตถุดิบ

ผลการวิเคราะห์คุณภาพวัตถุดิบหลักทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ ผงโปรตีนไก่ แป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุง และแป้งข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 แสดงดังตารางที่ 1 พบว่า ค่า Water activity (a_w) มีค่าระหว่าง 0.42 – 0.54 ค่าสี พบว่า แป้งข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 มีค่าความสว่าง (L*) สูงที่สุด 75.67 รองลงมา คือ ผงโปรตีนไก่ เท่ากับ 71.37 และแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุง 64.63 ตามลำดับ ค่าความเป็นสีแดง (a*) พบว่า แป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงมีค่า a* สูงที่สุดเท่ากับ 7.30 ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) พบว่า ผงโปรตีนไก่มีค่าความเป็นสีเหลืองสูงสุด (32.48) จากการตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี พบว่า คุณภาพทางเคมีของวัตถุดิบทั้ง 3 ชนิด มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ผงโปรตีนไก่มีปริมาณไขมันสูงที่สุด คือร้อยละ 14.01 ซึ่งสูงกว่าแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงและแป้งข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 ประมาณ 4 เท่า ในขณะที่แป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงมีปริมาณใยอาหารสูงที่สุด คือ ร้อยละ 4.94 ซึ่งสูงกว่าผงโปรตีนไก่ประมาณ 21 เท่า และสูงกว่าแป้งข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 ประมาณ 2 เท่า ผงโปรตีนไก่มีปริมาณเถ้าสูงสุด คือร้อยละ 2.62 ผงโปรตีนไก่มีปริมาณโปรตีนสูงสุด คือร้อยละ 69.78 ซึ่งสูงกว่าแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุง ประมาณ 8 เท่า และสูงกว่าแป้งข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 ประมาณ 10 เท่า ในแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุง และแป้งข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 8.48 และ 7.09 ตามลำดับ ปริมาณคาร์โบไฮเดรตมีปริมาณสูงสุดในแป้งข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 คือร้อยละ 75.40 รองลงมาคือแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุง และผงโปรตีนไก่ คือร้อยละ 72.47 และ 3.05 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 คุณภาพทางกายภาพและทางเคมีของวัตถุดิบ

คุณภาพ	ผงโปรตีนไก่	แป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุง	แป้งข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105
คุณภาพทางกายภาพ			
ค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w)	0.42±0.00^{c}	0.54±0.00^{a}	0.48±0.01^{b}
ค่าสี			
- L*	71.37±0.12^{b}	64.63±0.30^{c}	75.67±0.05^{a}
- a*	6.38±0.12^{b}	7.30±0.05^{a}	1.75±0.15^{c}
- b*	32.48±0.30^{a}	12.77±0.20^{c}	17.61±0.17^{b}
คุณภาพทางเคมี			
ความชื้น	10.31±0.23^{b}	9.90±0.18^{c}	11.09±0.05^{a}
ไขมัน	14.01±0.58^{a}	2.53±0.32^{c}	2.78±0.07^{b}
ใยอาหาร	0.23±0.01^{c}	4.94±0.07^{a}	2.39±0.15^{b}
เถ้า	2.62±0.02^{a}	1.68±0.09^{b}	1.25±0.15^{c}
โปรตีน	69.78±0.20^{a}	8.48±0.06^{b}	7.09±0.07^{c}
คาร์โบไฮเดรต	3.05±0.33^{c}	72.47±0.19^{b}	75.40±0.16^{a}

หมายเหตุ: $^{a-c}$ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนเดียวกันหมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

2. ผลของปริมาณผงโปรตีนไก่ต่อคุณภาพของเอกซ์ทรูเดตจากแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงและแป้งข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105

ผลการศึกษาปริมาณผงโปรตีนไก่และสายพันธุ์ข้าวต่อคุณภาพทางกายภาพของเอกซ์ทรูเดต แสดงดังตารางที่ 2 ได้แก่ ค่าความหนาแน่น อัตราการพองตัว ค่าความแข็งและค่าสี พบว่าการเพิ่มปริมาณผงโปรตีนไก่จากร้อยละ 0 เป็นร้อยละ 5, 7.5 และ 10 ตามลำดับนั้น ทำให้ค่าความหนาแน่นของเอกซ์ทรูเดตจากแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงเพิ่มขึ้นจาก 0.21 เป็น 0.25, 0.31 และ 0.45 กรัม/ลบ.ซม. ตามลำดับ เช่นเดียวกับเอกซ์ทรูเดตจากแป้งข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 เพิ่มขึ้นจาก 0.25 เป็น 0.27, 0.34 และ 0.57 กรัม/ลบ.ซม. ตามลำดับ แต่การเพิ่มปริมาณผงโปรตีนไก่ทำให้อัตราการพองตัวของเอกซ์ทรูเดตลดลง โดยเอกซ์ทรูเดตจากจากแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงลดลงจาก 2.64 เป็น 2.40, 2.02 และ 1.52 เท่า ตามลำดับ และเอกซ์ทรูเดตจากแป้งข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 ลดลงจาก 2.48 เป็น 2.26, 1.77 และ 1.36 เท่า ตามลำดับ ลักษณะการพองตัวของเอกซ์ทรูเดตจากแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงมีการพองตัวมากกว่าเอกซ์ทรูเดตจากแป้งข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 เล็กน้อย แสดงดังภาพ 1 ค่าความแข็งเอกซ์ทรูเดตจากแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้นจาก 12.21 เป็น 14.22, 15.67 และ 18.57 นิวตัน ตามลำดับ เช่นเดียวกับค่าความแข็งของเอกซ์ทรูเดตจากแป้งข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 13.48 เป็น 14.87, 16.36 และ19.20 นิวตัน ตามลำดับ แต่ค่าความสว่าง (L*) เอกซ์ทรูเดตจากแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงมีค่าความสว่างลดลงจาก 56.70 เป็น 56.02, 54.83 และ 53.06 ตามลำดับ และเอกซ์ทรูเดตจากแป้งข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 มีค่าความสว่างลดลงจาก 79.09 เป็น 78.47, 77.81 และ 77.72 ตามลำดับ ค่าความเป็นสีแดง (a*) และค่าความเป็นสีเหลืองของเอกซ์ทรูเดตจากแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงและเอกซ์ทรูเดตจากแป้งข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 ไม่มีความแตกต่างอย่าง

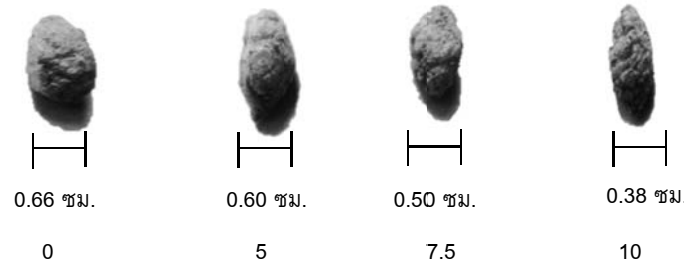
มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) นอกจากนี้ยังพบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างผงโปรตีนไก่และสายพันธุ์ข้าวมีผลต่อคุณภาพในด้านความแข็งและค่าสี แต่ไม่พบอิทธิพลร่วมระหว่างผงโปรตีนไก่และสายพันธุ์ข้าวต่อคุณภาพด้าน ความหนาแน่นและอัตราการพองตัว

ตารางที่ 2 คุณภาพทางกายภาพของเอกซ์ทรูดเดตจากแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงและแป้งข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 ที่มีปริมาณผงโปรตีนไก่แตกต่างกัน

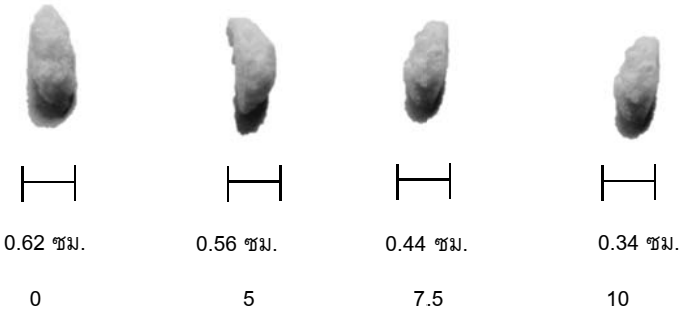
สิ่งทดลอง	ความหนาแน่น (กรัม/ลบ.ซม.)	อัตราการพองตัว (เท่า)	ความแข็ง (นิวตัน)	ค่าสี		
				L*	a*	b*
T1	0.21±0.01^{f}	2.64±0.08^{a}	12.21±0.47^{h}	56.70±0.40^{c}	8.56±0.59^{a}	12.49±0.30^{b}
T2	0.25±0.01^{ef}	2.40±0.09^{b}	14.22±0.10^{f}	56.02±0.90^{c}	8.73±0.12^{a}	12.50±0.23^{b}
T3	0.31±0.01^{cd}	2.02±0.11^{d}	15.67±0.12^{d}	54.83±0.60^{d}	8.85±0.17^{a}	12.74±0.37^{b}
T4	0.45±0.01^{b}	1.52±0.08^{f}	18.57±0.10^{b}	53.06±0.56^{e}	8.72±0.11^{a}	13.10±0.11^{b}
T5	0.25±0.01^{ef}	2.48±0.10^{b}	13.48±0.58^{g}	79.09±0.17^{a}	4.45±0.12^{b}	24.30±0.63^{a}
T6	0.27±0.01^{de}	2.26±0.14^{c}	14.87±0.32^{e}	78.47±0.61^{ab}	4.40±0.13^{b}	24.33±0.40^{a}
T7	0.34±0.01^{c}	1.77±0.05^{e}	16.36±0.60^{c}	77.81±0.45^{b}	4.42±0.15^{b}	24.32±0.41^{a}
T8	0.57±0.01^{a}	1.36±0.08^{g}	19.20±0.19^{a}	77.72±0.22^{b}	4.32±0.12^{b}	24.33±0.42^{a}
P-value						
ผงโปรตีนไก่	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
สายพันธุ์ข้าว	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ผงโปรตีนไก่*สายพันธุ์ข้าว	0.39	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00

หมายเหตุ: $^{a-h}$ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกันหมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

a) แป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุง



b) แป้งข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105



รูปที่ 1 เอกซ์ทรูเดตจากแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุง (a) และแป้งข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 (b) ที่มีปริมาณผงโปรตีนไก่แตกต่างกัน

จากผลการศึกษาปริมาณผงโปรตีนไก่ในการผลิตเอกซ์ทรูเดต แสดงผลดังตารางที่ 3 พบว่า การเพิ่มปริมาณของผงโปรตีนไก่ในแป้งข้าวกล้องทั้ง 2 สายพันธุ์ ปริมาณร้อยละ 5, 7.5 และ 10 ส่งผลให้มีปริมาณโปรตีนในเอกซ์ทรูเดตจากแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงเพิ่มขึ้นเท่ากับร้อยละ 3.78, 5.39 และ 7.04 ตามลำดับ และปริมาณโปรตีนในเอกซ์ทรูเดตจากแป้งข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 เพิ่มขึ้นร้อยละ 3.70, 5.26 และ 6.86 ตามลำดับ ในขณะที่สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี DPPH และวิธี FRAP ลดลงเมื่อปริมาณผงโปรตีนไก่เพิ่มขึ้น โดยมีค่าลดลงประมาณ 2, 1.5 และ 2 เท่า ตามลำดับ ทั้งในเอกซ์ทรูเดตจากแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงและเอกซ์ทรูเดตจากแป้งข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 เมื่อเปรียบเทียบกับเอกซ์ทรูเดตที่ไม่ได้เติมผงโปรตีนไก่ ทั้งนี้ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงจะสูงกว่าแป้งข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 ประมาณ 1 เท่า ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า กระบวนการเอกซ์ทรูชันส่งผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (ด้วยวิธี DPPH และวิธี FRAP) โดยมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งข้าวกล้องก่อนเข้าสู่กระบวนการเอกซ์ทรูชัน และยังพบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างผงโปรตีนไก่และสายพันธุ์ข้าวมีผลต่อปริมาณโปรตีน สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (ด้วยวิธี DPPH และวิธี FRAP)

ตารางที่ 3 ปริมาณโปรตีน สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของเอกซ์ทรูเดตจากแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงและแป้งข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 ที่มีปริมาณผงโปรตีนไก่แตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	โปรตีน (กรัม/100กรัม)	สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/100g sample)	ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ	
			DPPH (mg TE/100g sample)	FRAP (mg/ $FeSO_4$/100g sample)
SY	8.31±0.32^{Y}	121.48±1.07 ^{Y}	86.33±0.16^{Y}	1105.53±0.66^{Y}
T1	8.24±0.10^{d}	54.59±0.89^{a}	64.36±0.56^{a}	534.90±0.93^{a}
T2	12.02±0.09^{c}	50.75±0.60^{b}	60.29±0.37^{b}	502.34±1.19^{a}
T3	13.63±0.01^{b}	49.33±0.70^{b}	59.44±0.18^{c}	485.29±1.40^{b}
T4	15.28±0.08^{a}	46.19±0.73^{c}	56.24±0.66^{d}	463.90±0.74^{c}
KDML 105	7.62±0.97^{Y}	106.08±1.16^{Y}	74.77±0.44^{Y}	900.67±0.85^{Y}
T5	7.51±0.01^{d}	45.40±0.50^{c}	56.46±0.66^{d}	479.23±1.60^{b}
T6	11.21±0.02^{c}	44.30±0.22^{cd}	55.36±0.78^{d}	463.15±1.11^{c}
T7	12.77±0.04^{b}	43.53±0.42^{d}	54.07±0.54^{e}	441.96±0.89^{d}
T8	14.38±0.05^{a}	43.20±0.33^{d}	53.34±0.31^{e}	423.15±0.87^{d}
P-value				
ผงโปรตีนไก่	0.00	0.00	0.00	0.00
สายพันธุ์ข้าว	0.00	0.00	0.00	0.00
ผงโปรตีนไก่*สายพันธุ์ข้าว	0.00	0.00	0.00	0.00

หมายเหตุ: $^{a-e}$ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกันหมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

^{Y} หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) ของแป้งข้าวก่อนเข้าสู่กระบวนการเอกซ์ทรูชัน

SY หมายถึง แป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงก่อนเข้าสู่กระบวนการเอกซ์ทรูชัน

KDML 105 หมายถึง แป้งข้าวกล้องขาวดอกมะลิ105 ก่อนเข้าสู่กระบวนการเอกซ์ทรูชัน

ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสในด้าน สี กลิ่น ความกรอบ รสตกค้างในปากและความชอบโดยรวมของเอกซ์ทรูเดต แสดงผลดังตารางที่ 4 พบว่า ความชอบด้านสี กลิ่น ความกรอบ รสตกค้างในปากและความชอบโดยรวมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) โดยการเพิ่มขึ้นของปริมาณผงโปรตีนไก่ ในเอกซ์ทรูเดตจากแป้งข้าวกล้องทั้ง 2 สายพันธุ์ ส่งผลให้คะแนนความชอบในทุกคุณลักษณะลดลง ซึ่งปริมาณผงโปรตีนไก่ร้อยละ 5 ในเอกซ์ทรูเดตจากแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุง มีคะแนนความชอบด้านสี กลิ่น ความกรอบ รสตกค้างในปากและความชอบโดยรวมสูงสุด โดยมีคะแนนเท่ากับ 7.67, 7.06, 7.26, 7.18 และ 7.92 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในระดับความชอบปานกลาง เช่นเดียวกันกับเอกซ์ทรูเดตแป้งข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 ซึ่งปริมาณผงโปรตีนไก่ร้อยละ 5 มีคะแนนเท่ากับ 7.34, 6.92, 7.06, 7.00 และ 7.52 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในระดับความชอบปานกลาง

ตารางที่ 4 คะแนนเฉลี่ยคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของเอกซ์ทรูเดตจากแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงและแป้งข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 ที่มีปริมาณผงโปรตีนไก่แตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส				
	สี	กลิ่น	ความกรอบ	รสตกค้างในปาก	ความชอบโดยรวม
T1	7.92±0.66^{a}	8.26±0.52^{a}	8.26±0.44^{a}	8.27±0.43^{a}	8.18±0.48^{a}
T2	7.67±0.62^{a}	7.06±0.23^{b}	7.26±0.45^{b}	7.18±0.38^{b}	7.92±0.44^{b}
T3	6.26±0.82^{b}	5.78±0.71^{c}	6.14±0.61^{c}	6.04±0.80^{c}	5.98±0.68^{c}
T4	5.76±0.77^{c}	5.56±0.70^{c}	5.76±0.74^{d}	5.64±0.86^{d}	5.68±0.71^{d}
T5	7.77±0.56^{a}	8.10±0.58^{a}	8.00±0.57^{a}	8.06±0.46^{a}	7.90±0.65^{a}
T6	7.34±0.63^{b}	6.92±0.44^{b}	7.06±0.47^{b}	7.00±0.45^{b}	7.52±0.79^{b}
T7	5.96±0.75^{c}	5.40±0.64^{c}	6.04±0.70^{c}	5.90±0.71^{c}	5.88±0.75^{c}
T8	5.44±0.58^{d}	4.94±0.74^{d}	5.44±0.92^{d}	5.42±0.83^{d}	5.54±0.90^{d}

หมายเหตุ: $^{a-d}$ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกันหมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการศึกษาคุณภาพของวัตถุดิบ พบว่า ค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) มีค่าต่ำกว่า 0.60 นั้นแสดงให้เห็นว่าวัตถุดิบทั้ง 3 ชนิดเป็นอาหารประเภทของแห้ง การที่มีค่า a_w ต่ำกว่า 0.60 นั้น เป็นช่วงที่ปลอดภัยจากการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ [12] โดยความชื้นของข้าวกล้องทั้ง 2 สายพันธุ์ มีปริมาณอยู่ในช่วงเกณฑ์ที่เหมาะสมของธัญชาติ คือ มีความชื้นร้อยละ 8 - 14 [13] ค่าสี แป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงมีค่าความเป็นสีแดง (a*) สูงที่สุด เนื่องจากข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงมีสีเยื่อหุ้มเมล็ดสีขาวปนสีแดงจางๆ จนถึงสีแดงเข้ม [14] จึงส่งผลให้มีค่าความเป็นสีแดง (a*) สูงที่สุด ในขณะที่ผงโปรตีนไก่มีค่าความเป็นสีเหลืองสูงสุด เนื่องจากลักษณะปรากฏของผงโปรตีนไก่มีสีเหลืองทองจึงส่งผลให้ค่า b* มีค่าสูงที่สุด ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของวัตถุดิบ พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) ปริมาณไขมันในผงโปรตีนไก่ที่ได้จากซุปไก่ซึ่งผ่านกระบวนการทำแห้งแบบลูกกลิ้งมีปริมาณไขมันสูงกว่าแป้งข้าวกล้องทั้ง 2 สายพันธุ์ เนื่องจากปริมาณไขมันในอาหารประเภทโปรตีนจะมีไขมันมากกว่าอาหารประเภทธัญชาติ [12] ผงโปรตีนไก่เป็นโปรตีนจากเนื้อสัตว์ที่มีปริมาณโปรตีนสูงประเภทไขมันต่ำเช่นเดียวกับเนื้อปลา เหมาะที่จะนำมาใช้เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ ไขมันในแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงมีค่าร้อยละ 2.53 ซึ่งสอดคล้องกับการหาปริมาณไขมันของ Banchuen และคณะ [14] ที่พบว่ามีปริมาณไขมันในข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงร้อยละ 2.24 ใยอาหารมีปริมาณสูงสุดในแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงเนื่องจากข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงเป็นข้าวที่มีใยอาหารสูงกว่าข้าวชนิดอื่น [5] เถ้ามีปริมาณสูงสุดในผงโปรตีนไก่เนื่องจากเนื้อสัตว์เป็นแหล่งของแร่ธาตุที่สำคัญและมีปริมาณแร่ธาตุต่างๆ มากกว่าแร่ธาตุในเมล็ดธัญชาติ ซึ่งปริมาณแร่ธาตุทั้งหมดในอาหารบ่งชี้ด้วยปริมาณเถ้าในอาหารนั้นๆ ถ้าอาหารใดมีเถ้าในปริมาณสูงแสดงว่ามีแร่ธาตุต่างๆ เป็นองค์ประกอบอยู่มาก [12] โปรตีนมีปริมาณสูงสุดในผงโปรตีนไก่ เนื่องจากอาหารที่ได้จากพืชและสัตว์จะมีปริมาณโปรตีนเป็นส่วนประกอบอยู่ในปริมาณที่แตกต่างกันเนื้อสัตว์เป็นอาหารที่มีปริมาณโปรตีนสูงและเป็นแหล่งโปรตีนที่มีคุณภาพดีเนื่องจากมีกรดอะมิโนที่จำเป็น เป็นองค์ประกอบมากกว่า

โปรตีนจากแหล่งอื่น [12] จึงส่งผลให้ปริมาณโปรตีนในผงโปรตีนไก่มีปริมาณสูงที่สุดคือร้อยละ 69.78 แสดงให้เห็นว่าผงโปรตีนไก่ที่เป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมอาหารนี้มีศักยภาพเป็นแหล่งสำคัญของโปรตีน ในแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 8.48 สอดคล้องกับงานวิจัยของ อุไรวรรณ และคณะ [5] ที่รายงานว่ามีปริมาณโปรตีนในข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงร้อยละ 8.88 แป้งข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 7.09 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานปริมาณโปรตีนในข้าวไม่ขัดสีจะอยู่ในช่วงร้อยละ 6.70 – 7.50 [15]

จากผลการศึกษาปริมาณผงโปรตีนไก่ในการผลิตเอกซ์ทรูเดตจากแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงและแป้งข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 พบว่า การเพิ่มปริมาณผงโปรตีนไก่ทำให้ความหนาแน่นและความแข็งเพิ่มขึ้น แต่อัตราการพองตัวลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับเอกซ์ทรูเดตที่ไม่ใส่ผงโปรตีนไก่ ในข้าวกล้องทั้ง 2 สายพันธุ์ ซึ่งค่าความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ประเภทกรอบพองจะมีความสัมพันธ์กับการพองตัวของผลิตภัณฑ์ โดยผลิตภัณฑ์ที่มีการพองตัวต่ำจะมีความหนาแน่นสูง [15] เมื่อปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการพองตัวลดลง และมีความหนาแน่นสูง [16] เนื่องจากแป้งเกิดการรวมตัวกับโปรตีนเมื่อให้ความร้อนจะทำให้โมเลกุลของโปรตีนเกิดอันตรกิริยากับสายอะไมโลส ส่งผลให้แป้งมีอัตราการดูดซับน้ำลดลง การเกิดเจลาติไนซ์ของสตาร์ชต่ำ จึงทำให้เม็ดแป้งมีอัตราการพองตัวลดลง [17] นอกจากนี้ปริมาณไขมันที่อยู่ในผงโปรตีนส่งผลกระทบต่อลักษณะและคุณสมบัติของแป้งโดยไขมันจะลดการจับตัวกับน้ำของแป้งทำให้ความสามารถในการพองตัวของเม็ดแป้งลดลงเช่นกัน [18] ดังนั้นการเพิ่มความเข้มข้นของผงโปรตีนไก่ตั้งแต่ ร้อยละ 5 ขึ้นไป ส่งผลให้เอกซ์ทรูเดตมีการพองตัวลดลง [19] สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sumargo และคณะ [2] ที่ศึกษาการผลิตเอกซ์ทรูเดตจากแป้งข้าวกล้องและถั่วปินโต พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณถั่วปินโตมากขึ้นจากร้อยละ 0, 15, 30 และ 45 ทำให้ค่าความหนาแน่นและความแข็งเพิ่มขึ้นแต่อัตราการพองตัวลดลง และสอดคล้องกับงานวิจัยของ De Mesa และคณะ [20] ที่พบว่าอัตราการพองตัวของเอกซ์ทรูเดตลดลงเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของโปรตีนถั่วเหลืองจากร้อยละ 0 เป็น 15 เนื่องจากโปรตีนถั่วเหลืองจะไปทำให้แป้งพองตัวลดลงส่งผลให้เอกซ์ทรูเดตมีความแข็งและหนาแน่นมากขึ้นเมื่อปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้น การเพิ่มปริมาณผงโปรตีนไก่ส่งผลให้ค่าความสว่าง (L*) ลดลง เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดซึ่งเป็นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล ที่เกิดจากน้ำตาลรีดิวส์กับกรดอะมิโนโปรตีนโดยมีความร้อนในภาวะที่มีน้ำเป็นตัวเร่งจึงทำให้เอกซ์ทรูเดตมีสีที่เข้มขึ้นเมื่อมีปริมาณโปรตีนสูงขึ้น [12]

จากผลการศึกษาปริมาณผงโปรตีนไก่ในการผลิตเอกซ์ทรูเดตจากแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงและแป้งข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 พบว่า การเพิ่มปริมาณของผงโปรตีนไก่ในแป้งข้าวกล้องทั้ง 2 สายพันธุ์ ทำให้ปริมาณโปรตีนในเอกซ์ทรูเดตเพิ่มขึ้น ปริมาณโปรตีนในแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงสูงกว่าแป้งข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 เล็กน้อยเนื่องจากปริมาณโปรตีนในแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงเริ่มต้นมีสูงกว่าเล็กน้อย สอดคล้องกับงานวิจัยของ สุธีราและคณะ [7] ที่ศึกษาเรื่องการใช้เลือดปลาทูน่าผงเพื่อเสริมโปรตีนและเหล็กในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว พบว่า การเติมเลือดปลาทูน่าผงเพิ่มในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวในปริมาณร้อยละ 5, 10 และ 15 มีผลให้สามารถเพิ่มปริมาณโปรตีนในผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น คิดเป็นร้อยละ 3, 6 และ 8 ตามลำดับ การเพิ่มปริมาณของผงโปรตีนไก่ในแป้งข้าวกล้องทั้ง 2 สายพันธุ์ ส่งผลให้สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี DPPH และวิธี FRAP ลดลง โดยสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดลดลงประมาณ 1 เท่า เมื่อเปรียบเทียบแป้งข้าวกล้องทั้ง 2 สายพันธุ์ ก่อนเติมผงโปรตีนไก่ ซึ่งสารประกอบฟีนอลิกส่วนมากจะพบในธัญพืชไม่ขัดสี ดังนั้นเมื่อลดปริมาณแป้งข้าวกล้องลงจึงส่งผลให้สารประกอบ ฟีนอลิกทั้งหมดลดลงเช่นกัน สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในแป้งข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงจะสูงกว่าแป้งข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 ประมาณ 1.20 เท่า เนื่องจากข้าวสายพันธุ์ที่มีสีจะมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงกว่าข้าวสายพันธุ์สีขาว [21] เนื่องจากรงควัตถุสีแดงที่อยู่บริเวณเยื่อหุ้มเมล็ดของข้าวคือสารแอนโทไซยานินมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระซึ่งมีเฉพาะในข้าวที่มีสีเข้มและไม่พบในข้าวขัดขาว ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสสระ ด้วยวิธี DPPH ลดลง 1 เท่า และวิธี FRAP ลดลง 1 เท่า เมื่อ

เปรียบเทียบกับแป้งข้าวกล้องก่อนเติมผงโปรตีนไก่ทั้ง 2 สายพันธุ์ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า กระบวนการเอกซ์ทรูชันส่งผลให้สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี DPPH และวิธี FRAP ลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งข้าวกล้องก่อนเข้าสู่กระบวนการเอกซ์ทรูชัน เนื่องจากสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสลายตัวหรือเปลี่ยนโครงสร้างที่อุณหภูมิสูงกว่า 80 องศาเซลเซียส [22]

ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสในเอกซ์ทรูเดตที่มีปริมาณผงโปรตีนไก่ระดับแตกต่างกัน พบว่า คุณภาพด้านสี กลิ่น ความกรอบ รสตกค้างในปากและความชอบโดยรวมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยการเพิ่มขึ้นของปริมาณผงโปรตีนไก่ ในแป้งข้าวกล้องทั้ง 2 สายพันธุ์ ส่งผลให้ คะแนนความชอบในทุกคุณลักษณะลดลง ความชอบด้านสี พบว่าเมื่อปริมาณผงโปรตีนไก่เพิ่มขึ้นส่งผลให้เอกซ์ทรูเดตมีสีที่เข้มขึ้น เนื่องจากสีของผงโปรตีนไก่รวมกับสีของข้าวกล้องทำให้มีสีที่เข้ม สอดคล้องกับคุณภาพทางกายภาพ ค่าความสว่าง (L*) พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณผงโปรตีนทำให้ค่าความสว่างลดลงจึงส่งผลให้คะแนนความชอบด้านสีลดลง ความชอบด้านกลิ่นพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณผงโปรตีนไก่ทำให้เอกซ์ทรูเดตมีกลิ่นคาวของผงโปรตีนไก่ที่ชัดเจนขึ้น ส่งผลให้คะแนนความชอบด้านกลิ่นลดลง ความชอบด้านความกรอบ พบว่าเมื่อปริมาณผงโปรตีนไก่สูงขึ้นทำให้คะแนนความชอบด้านความกรอบลดลง ซึ่งมีผลสอดคล้องกับคุณภาพทางกายภาพของเอกซ์ทรูเดต เมื่อเพิ่มปริมาณผงโปรตีนไก่ทำให้ความหนาแน่นและความแข็งเพิ่มขึ้นและอัตราการพองตัวลดลง ความชอบด้านรสตกค้างในปาก พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณผงโปรตีนไก่ส่งผลให้คะแนนความชอบลดลงเนื่องจากปริมาณผงโปรตีนไก่ที่เพิ่มขึ้นทำให้เอกซ์ทรูเดตมีรสขม เนื่องจากในโปรตีนจะมีกรดอะมิโนที่ให้รสขม ได้แก่ อาร์จีนีน ฮิสทีดีน ไอโซลิวซีน ลิวซีน และ ฟีนิลอะลานีน ซึ่งเป็นกรดอะมิโนจำเป็น ที่มีอยู่ในโปรตีนจากเนื้อสัตว์ ดังนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณผงโปรตีนไก่จึงทำให้เอกซ์ทรูเดตมีรสขม แนวทางการแก้ปัญหารสขมในเอกซ์ทรูเดตสามารถทำได้หลายวิธี เช่น ทำได้โดยการเคลือบเอกซ์ทรูเดตให้มีรสชาติต่างๆ ที่เหมาะสมกับการเป็นอาหารขบเคี้ยว เช่น ชอคโกแลตหรือผงปรุงรสและสำหรับการใช้เอกซ์ทรูเดตเพื่อเป็นส่วนผสมหลักในการผลิตอาหารขบเคี้ยวชนิดแท่งสามารถแก้ปัญหารสขมได้โดยการเติมวัตถุดิบรองเช่น น้ำเชื่อมหรือผลไม้อบแห้งเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีรสชาติที่ดีขึ้น เป็นต้น ด้านความชอบโดยรวม พบว่าปริมาณผงโปรตีนไก่ร้อยละ 5 ในแป้งข้าวกล้องทั้ง 2 สายพันธุ์ มีคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุดซึ่งมีคะแนนความชอบอยู่ในระดับความชอบปานกลาง เอกซ์ทรูเดตจากแป้งข้าวกล้องทั้ง 2 สายพันธุ์ ที่มีการเติมผงโปรตีนไก่ ร้อยละ 5 นี้ ยังคงให้ปริมาณโปรตีนในเอกซ์ทรูเดต สูงกว่าร้อยละ 10 ของ Thai RDI (Thai Recommended Daily Intakes) ตรงตามเกณฑ์ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 182) [23] ที่มีการกล่าวอ้างว่าผลิตภัณฑ์โปรตีนสูงจะต้องมีปริมาณโปรตีนมากกว่าร้อยละ 10 ดังนั้นจึงเลือกเอกซ์ทรูเดตที่มีการเติมผงโปรตีนไก่ร้อยละ 5 นำมาเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตอาหารขบเคี้ยวชนิดแท่งต่อไป งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าสามารถนำผลพลอยได้จากการผลิตซุปไก่มาเพิ่มมูลค่าและเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการในผลิตภัณฑ์ให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคได้

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ บริษัทศูนย์วิทยาศาสตร์เบทาโกร จำกัด สำหรับทุนสนับสนุนงานวิจัยในโครงการพัฒนาวิชาการ “การพัฒนาขนมขบเคี้ยวชนิดแท่งโปรตีนสูง”

เอกสารอ้างอิง

1. Anton, A. A., Fulcher, R. G., and Arntfield, S. D. 2009. Physical and Nutritional Impact of Fortification of Corn Starch-based Extruded Snacks with Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Flour: Effects of Bean Addition and Extrusion Cooking. *Food Chemistry*. 113: 989-996.
2. Sumargo, F., Gulati, P., Weier, S. A., Clarke, J., and Rose, D. 2016. Effects of Processing Moisture on the Physical Properties and in Vitrio Digestibility of Starch and Protein in Extruded Brown Rice and Pinto Composite Flours. *Food Chemistry*. 15: 726-733.
3. Chaiyakul, S., Jangchud, K., Jangchud, A., Wuttijumnong, P., and Winger, R. 2009. Effect of Extrusion Conditions on Physical and Chemical Properties of High Protein Glutinous Rice-based Snack. *LWT–Food Science and Technology.* 42(3): 781–787.
4. Keawpeng, I., Charunuch, C., Roudaut, G., and Meenune, M. 2014. The Optimization of Extrusion Condition of Phatthalung Sungyod Rice Extrudate: A Preliminary Study. *International Food Research Journal.* 21(6): 2399-2404.
5. Wattanakul, U., Saei, S., and Khaobath, W. 2013. Effect of Temperature on Roast of Sungyod Phatthalung Popped Rice to Nutritional Values. *RMUTP Research Journal Special Issue The 5th Rajamangala University of Technology National Conference.* 338-343. (in Thai)
6. Nakhonreab, M. 2012. Health Benets of Germinated Brown Rice and Germinated Parboiled Rice. *The Science Journal of Phetchaburi Rajabhat University.* 9(1): 69-79. (in Thai)
7. Maepakdee, S., Rattanasuwan P., Krasaechon, N., and Yuenyongputtakal, W. 2014. Enrichment of Protein and Iron in Snack Products Using Tuna Blood Powder. *The Journal of King Mongkut’s University of Technology North Bangkok*. 24(1): 168-177. (in Thai)
8. AOAC. 2000. Official Methods of Analysis, 17th Edition. Association of official analytical chemists Internation. Gaitherburg, Maryland, U.S.A.

9. Chanlat, N., Songsermpong, S., Charunuch, C., and Naivikul, O. 2011. Twin-Screw Extrusion of Pre-Germinated Brown Rice: Physicochemical Properties and γ-aminobutyric Acid Content (GABA) of Extruded Snacks. *International Journal of Food Engineering.* 7(4): 1-15.
10. Ding, Q. B., Ainsworth, P., Plunkett, A., Tucker, G., and Marson, H. 2006. The Effect of Extrusion Conditions on the Functional and Physical Properties of Wheat-based Expanded Snacks. *Journal of Food Engineering.* 73: 142-148.
11. Chalermchaiwat, P., Jangchud, K., Jangchud, A., Charunuch, C., and Prinyawiwatkul, W. 2015. Antioxidant activity, Free Gamma-Aminobutyric Acid Content, Selected Physical Properties and Consumer Acceptance of Germinated Brown Rice Extrudates as Affected by Extrusion Process. *LWT-Food Science and Technology.* 64: 490-496.
12. Rattanapanone, N. 2008. Food Chemistry. 3rd Edition. O.S. Printing House Publisher, Bangkok. p. 333 (in Thai)
13. Dehghan-Shoar, Z. D., Hardacre, A. K., and Brennan, C. S. 2010. The Physio-Chemical Characteristics of Extruded Snacks Enriched with Tomato Lycopene. *Food Chemistry*. 123: 1117-1122.
14. Banchuen, J., Thammarutwasik, P., Ooraikul, B., Wuttijumnong, P., and Sirivongpaisal, P. 2009. Effect of Germinating Processes on Bioactive Component of Sangyod Muang Phatthalung Rice. *Thai Journal of Agricultural Science*. 42(4): 191-199.
15. Naivikul, O. 2011. Rice: Science and Technology. 3rd Edition Kasetsart University Publisher, Bangkok. p. 35. (in Thai)
16. Allen, K. E., Carpenter, C. E., and Walsh, M. K. 2007. Influence of Protein Level and Starch Type on an Extrusion-Expanded Whey Product. *International Journal of Food Science and Technology*. 42: 953–960.
17. Supat, C., Jangchud, K., Jangchud, A., Wuttijumnong, P., and Winger, R. 2009. Effect of Extrusion Conditions on Physical and Chemical Properties of High Protein Glutinous Rice-Based Snack. *LWT-Food Science and Technology*. 42: 781-787.
18. Sriroth, K., and Piyajomkhwan, K. 2007. Flour Technology. 4th Edition Kasetsart University Publisher, Bangkok. p. 28. (in Thai)

19. Likitwattanasade, T., and Hongsprabhas, P. 2010. Effect of Storage Proteins on Pasting Properties and Microstructure of Thai Rice. *Food Research International.* 43: 1402-1409.
20. De Mesa, N. J. E., Alavi, S., Singh, N., Shi, Y. C., Dogan, H., and Sang, Y. 2009. Soy Protein-Fortified Expanded Extrudates: Baseline Study Using Normal Corn Starch. *Journal of Food Engineering.* 90: 262-270.
21. Mungngam, A. 2012. Antioxidant in Cereals. 1st Edition Mahasarakham University Publisher, Mahasarakham. p. 72. (in Thai)
22. Xu, E., Pan, X., Wu, Z., Long, J., Li, J., Xu, X., Jin, Z., and Jia, A. 2016. Response Surface Methodology Parameter and Antioxidant Capacity of Rice Flour Modified by Enzymatic Extrusion. *Food Chemistry*. 212: 146-154
23. According to Notification of Ministry of Public Health (No. 182). 1998. Available from URL: http://www.inmu.mahidol.ac.th/inmucal/app/4/Notification.pdf. 16 March 2016. (in Thai)

ได้รับบทความวันที่ 21 มิถุนายน 2560
ยอมรับตีพิมพ์วันที่ 9 ตุลาคม 2560

.