การตรวจสอบคุณค่าทางโภชนาการของแป้งจากลูกจันและการประเมินคุณสมบัติการเป็นแป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์

DETERMINATION OF NUTRITIONAL VALUE FROM GOLD APPLE (*Diospyros decandra* Lour.) FLOUR AND EVALUATION OF RESISTANT STARCH

กาญจนา ธนนพคุณ สุธาสินี ทองมี พิสิษฐ์ พูลประเสริฐ เรืองวุฒิ ชุติมา และ กีรติ ตันเรือน*

Kanjana Thananoppakun, Sutasinee Thongmee, Pisit Poolprasert,

Ruangwut Chutima, and Keerati Tanruean*

สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

Biology Program, Faculty of Science and Technology, Pibulsongkram Rajabhat University

*corresponding author e-mail: keerati.t@psru.ac.th

(Received: 20 October 2022; Revised: 7 December 2022; Accepted: 9 December 2022)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตแป้งจากลูกจันและศึกษาคุณค่าทางโภชนาการ โดยเตรียมแป้งจากผลลูกจันดิบด้วยวิธีการโม่ที่แตกต่างกัน 3 วิธี ได้แก่ โม่แห้ง โม่เปียก และโม่ผสม ผลการศึกษา พบว่า การโม่แห้งได้ค่าร้อยละผลผลิตสูงที่สุด เท่ากับ 13.04 ($P<0.05$) รองลงมา คือ การโม่ผสมและการโม่เปียกที่มีค่าร้อยละผลผลิต เท่ากับ 10.80 และ 3.24 ตามลำดับ เมื่อนำแป้งลูกจันจากการโม่แห้งมาวิเคราะห์หาปริมาณของสารประกอบหลักในอาหาร พบปริมาณคาร์โบไฮเดรต ความชื้น โปรตีน เถ้า และไขมัน เท่ากับ 80.43 7.44 6.19 3.52 และ 0.42 กรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ และมีปริมาณเยื่อใย 7.94 กรัมต่อ 100 กรัม อีกทั้งยังพบปริมาณสตาร์ชที่ทนต่อการย่อย 30.37 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง นอกจากนี้ยังพบว่า แป้งจากลูกจันให้พลังงานทั้งหมด 334.26 กิโลแคลอรี ปริมาณแคลเซียม 40.71 มิลลิกรัม โซเดียม 6.72 มิลลิกรัม เหล็ก 1.44 มิลลิกรัม และวิตามินเอ 6.34 ไมโครกรัม ต่อ 100 กรัม ผลการศึกษานี้เป็นแนวทางในการพัฒนาและเพิ่มมูลค่าของแป้งลูกจันที่จะใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ ต่อไป

คำสำคัญ: แป้ง สตาร์ช ลูกจัน คุณค่าทางโภชนาการ

Abstract

The objectives of this study were to produce the gold apple (*Diospyros decandra* Lour.) flour and to determine the nutritional values. The flour production from gold apple raw fruits were prepared using three different methods including dry, wet and semi–dry millings. The result showed that dry milling process exhibited the highest production yield of 13.04% ($P<0.05$), followed by semi–dry and wet milling processes of 10.80 and 3.24%, respectively. In the proximate analysis of dry milled flour, the contents of carbohydrate, moisture, protein, ash and lipid were 80.43, 7.44, 6.19, 3.52, and 0.42 g/100 g, respectively. Herein, the crude fiber was found of 7.94 g/100 g. The resistant starch content was also found to be 30.37% dry weight. Additionally, the energy 334.26 Kcal/100 g, calcium (40.71 mg/100 g), sodium 6.72 mg/100 g), iron (1.44 mg/100 g) and vitamin A (6.34 µg/100 g) were also detected. The results from this study are likely to be applied for further development and high value–adding gold apple flour in various industries.

Keywords: Flour, Starch, Gold Apple, Nutritional value

บทนำ

การดูแลสุขภาพเป็นสิ่งที่มนุษย์ให้ความสำคัญเป็นอย่างมากในปัจจุบัน เนื่องจากวิถีชีวิตที่เร่งรีบ การพักผ่อนไม่เพียงพอ ความเครียด สภาพแวดล้อม มลพิษและการรับประทานอาหารที่ไม่มีประโยชน์ ปัจจัยเหล่านี้ได้ส่งผลต่อระบบการทำงานของร่างกาย ทำให้ระบบการทำงานของร่างกายขาดสมดุลและนำไปสู่ภาวะเสี่ยงในการเกิดโรคต่างๆ อาทิ ระบบทางเดินอาหารต่างๆ การปนเปื้อนเชื้อโรคในทางเดินอาหาร โรคเบาหวาน รวมถึงโรคที่มีอัตราการเสียชีวิตสูงอย่างโรคมะเร็ง นอกจากนี้ปัญหาการสะสมของคลอเรสเตอรอลที่มากขึ้นนำไปสู่ภาวะความดันโลหิตสูงและโรคหัวใจ ดังนั้นการเลือกรับประทานอาหารจึงเป็นแนวทางที่ดีในการลดความเสี่ยงในการเกิดโรคต่างๆ อาหารฟังก์ชัน (Functional food) เป็นอาหารที่มีผลต่อการทำหน้าที่ต่างๆ ของร่างกาย ส่งผลดีต่อสุขภาพและลดความเสี่ยงในการเกิดโรค สารอาหารหลายชนิดจัดเป็นอาหารฟังก์ชันที่พบมากเป็นกลุ่มพรีไบโอติก (Prebiotics) ซึ่งเป็นสารที่รักษาสมดุลของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ (Beneficial microorganism) ที่อยู่ในระบบทางเดินอาหารโดยเฉพาะลำไส้ใหญ่ หรือกลุ่มโพรไบโอติก (Probiotic)

พรีไบโอติกเป็นสารที่ไม่ถูกย่อยด้วยกรดในกระเพาะอาหารและเอนไซม์ในลำไส้เล็กจึงสามารถไปถึงลำไส้ใหญ่ได้ ซึ่งนอกจากพรีไบโอติกจะสามารถส่งเสริมการเจริญของจุลินทรีย์โพรไบโอติกแล้ว การทำงานของพรีไบโอติกและโพรไบโอติกสามารถส่งเสริมการทำงานของลำไส้

บรรเทาอาการท้องผูก ป้องกันการเกิดท้องเสียท้องเดิน เพิ่มการดูดซึมแคลเซียม ลดความเสี่ยงต่อโรคมะเร็งลำไส้ ช่วยเผาผลาญไขมัน ควบคุมน้ำหนักสำหรับคนอ้วน ลดระดับคลอเรสเตอรอลในเลือด และส่งเสริมระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย (ประกานต์ และจารุณี, 2555; Qiang, YongLie & QianBing, 2009) พรีไบโอติกหลายชนิดได้รับการยอมรับว่ามีประโยชน์ต่อสุขภาพ อาทิ ฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ อินนูลิน ไอโซมอล โตโอลิโกแซคคาไรด์ โพลิเด็กซ์โตรส แล็กทูโลส และสตาร์ชที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ (Resistant starch) (Siró et al., 2008)

สตาร์ชเป็นส่วนของแป้งที่ผ่านการสกัดโปรตีนและไขมันออก จัดเป็นคาร์โบไฮเดรตประเภทพอลิแซกคาไรด์ ซึ่งเป็นแหล่งของพลังงานหลักที่ถูกเก็บสะสมอยู่ในเมล็ดธัญพืชประมาณร้อยละ 90 (เกวลี, 2557; สุนันทา, 2552) ซึ่งสตาร์ชเป็นวัตถุดิบจากธรรมชาติที่หาได้ง่าย มีความปลอดภัย เป็นพอลิเมอร์ที่สลายตัวได้โดยการใช้เอนไซม์ได้ง่าย ใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหาร และมีความสำคัญต่อโภชนาการของมนุษย์ (Singh, Kaur & McCarthy, 2007) ซึ่งในแง่ของโภชนาการต่อมนุษย์ สตาร์ชเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญเมื่อเข้าสู่ร่างกายโดยถูกย่อยเป็นน้ำตาลในลำไส้เล็กและถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือด หากน้ำตาลในเลือดมีมากเกินความต้องการก็จะก่อให้เกิดโรคอ้วนและมีผลต่อผู้ป่วยโรคเบาหวาน สำหรับสตาร์ชที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ คือ แป้งและผลิตภัณฑ์ของแป้งที่ไม่สามารถถูกย่อยสลายได้ด้วยเอนไซม์ และถูกดูดซึมภายในลำไส้เล็กของมนุษย์ เมื่อรับประทานเข้าไป จึงสามารถลดการอยากอาหารหรือป้องกันกระเพาะว่าง ทำให้รู้สึกอิ่ม และมีลักษณะทางกายภาพที่เหมาะสมต่อการแปรรูป จึงไม่มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัส สตาร์ชที่ทนต่อการย่อยจึงถูกนำไปใช้เป็นส่วนประกอบในอาหารต่างๆ ได้ ทั้งนี้สามารถแบ่งประเภทของสตาร์ชที่ทนต่อการย่อยตามลักษณะและแหล่งที่มา ซึ่งสตาร์ชที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์แบบที่ 2 (RS type 2) เป็นสตาร์ชที่มีสมบัติทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ที่เกิดจากการมีโครงสร้างเป็นผลึก (Crystalline) และเป็นสตาร์ชที่พบในพืชหลายชนิด เช่น มันฝรั่ง และกล้วยดิบ เป็นต้น ในจังหวัดพิษณุโลกมีพืชวงศ์มะพลับ (Ebenaceae) ที่เป็นพืชท้องถิ่น คือ จันหรืออินจัน (*Diospyros decandra* Lour.) ผลของจันมีกลิ่นหอมมีทั้งลักษณะผลกลมแป้น มีรอยบุ๋มตรงกลางผลไม่มีเมล็ดหรือเป็นเมล็ดลีบ รสฝาดอมหวาน และลักษณะผลกลมหนา และไม่มีรอยบุ๋ม มีเมล็ด 2–3 เมล็ดข้างใน มีรสฝาดอมหวาน ลักษณะเด่นของต้นอินจัน คือ มีผลที่มีกลิ่นหอมสามารถรับประทานได้ทั้งผลสุกและผลดิบ แม้ว่าจะพบการกระจายตัวของต้นจันอยู่หลายอำเภอในพิษณุโลก อาทิ อำเภอเมือง วัดโบสถ์ บางระกำ และเนินมะปราง เป็นต้น แต่กลับมีแนวโน้มเป็นไม้หายากในพื้นที่และพบการใช้ประโยชน์ลดลง (เยาวพา และกาญจนา, 2562) ถึงแม้ว่าต้นจันไม่ได้เป็นที่รู้จักอย่างแพร่หลาย แต่มีการศึกษาถึงฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาของส่วนต่างๆ ของต้นจัน โดยมีรายงานว่า เปลือกมีสรรพคุณเป็นยาขับพยาธิ มีฤทธิ์ในการยับยั้งแบคทีเรียกลุ่มไมโครแบคทีเรียม ยับยั้งเชื้อรา และมีฤทธิ์ยับยั้งโรคมาลาเรีย ฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ HIV–1 integrase (Bunluepuech & Tewtraku, 2009)

นอกจากนี้มีรายงานว่าลูกจันมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์สูง (กีรติ, 2562)

อย่างไรก็ตามยังไม่มีการศึกษาและรายงานถึงการผลิตแป้งจากผลลูกจันรวมถึงคุณสมบัติการเป็นสตาร์ชทนย่อยด้วยเอนไซม์ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะผลิตสตาร์ชจากผลลูกจัน และศึกษาสมบัติการเป็นสตาร์ชที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์แบบที่ 2 เพื่อเป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์เป็นอาหารฟังก์ชัน อันเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับผลลูกจัน และเป็นข้อมูลในการอนุรักษ์และใช้ประโยชน์จากต้นจันต้นไม้มีค่าของจังหวัดพิษณุโลกต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ตัวอย่างลูกจันดิบ

เก็บผลลูกจันดิบในเขตพื้นที่ หมู่ที่ 10 ตำบลวัดโบสถ์ อำเภอวัดโบสถ์ จังหวัดพิษณุโลก ที่มีค่าสีในช่วงสีสว่าง (L*) 68.79–73.75 สีเหลือง (b*) 40.04–49.87 สีเขียว (–a*) –4.00–0.4 และมีปริมาณน้ำตาลประมาณ 32%Brix จากน้ำหนัก 100 กรัม

2. การเตรียมแป้งจากลูกจัน

นำผลลูกจันดิบมาล้างทำความสะอาด หั่นเป็นชิ้นบางๆ อบที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน จากนั้นเตรียมแป้งของลูกจัน โดยนำลูกจันที่ผ่านการอบมาบดให้ละเอียด ร่อนแป้งผ่านตะแกรง ขนาด 100 เมช นำส่วนที่ไม่ผ่านตะแกรงมาบดและร่อนซ้ำ นำแป้งที่ได้อบที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ให้มีความชื้นต่ำ 6–8% แล้วบรรจุแป้งใส่ถุงซิป เก็บไว้ในโถดูดความชื้นเพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

3. การเตรียมสตาร์ชจากลูกจัน

นำแป้งลูกจันมาละลายน้ำ Deionized ในอัตราส่วนแป้งต่อน้ำ (1 : 6) ปรับค่า pH ของสารละลายแป้งด้วย Sodium Hydroxide (NaOH) ความเข้มข้น 0.1 M ให้อยู่ในช่วง 8.0–8.5 นำไปไว้ที่อุณหภูมิ 6–8 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้ 1 คืน แล้วนำไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที นำหลอดหมุนเหวี่ยงไปเทน้ำส่วนใสทิ้งและขูดชั้นตะกอนสีน้ำตาลออก แล้วทำการชะล้างด้วยน้ำ Deionized ในอัตราส่วน 1 : 3 จนส่วนของน้ำไม่ให้ผลการทดสอบเป็นบวก เมื่อทดสอบด้วยปฏิกิริยาไบยูเร็ตด้วย Copper (II) Sulphate นำส่วนของตะกอนไปอบในตู้อบลมร้อน (Hot air oven) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 – 5 วัน จนมีความชื้นประมาณ 6–7 เปอร์เซ็นต์ เมื่อแป้งแห้งให้นำมาบดแล้วนำไปร่อนผ่านตะแกรงขนาด 80 เมช จากนั้นเมื่อได้แป้งที่ปราศจากโปรตีนและไขมัน (Starch) แล้วบรรจุแป้งใส่ถุงซิปแล้วเก็บไว้ในโถดูดความชื้นเพื่อใช้ในการทดลองต่อไป (Li et al., 2013)

4. การวิเคราะห์ปริมาณกลุ่มสาร (Proximate analysis)

นำแป้งและสตาร์ชลูกจันมาวิเคราะห์ส่วนประกอบ ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณโปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน เส้นใย เถ้า โดยอ้างอิงจาก AOAC (2000) ดังนี้

4.1 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

ปริมาณความชื้นหาจากการชั่งตัวอย่างแป้งและสตาร์ชลูกจันน้ำหนักแน่นอนประมาณ 3 กรัม ใส่ในถ้วยเผาที่ทราบน้ำหนักแน่นอน แล้วนำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 100–105 องศาเซลเซียส จนมีน้ำหนักคงที่ วางให้เย็นในโถดูดความชื้น (Desiccator) แล้วชั่งน้ำหนักที่อุณหภูมิห้อง คำนวณปริมาณความชื้น ดังสมการที่ 1

ปริมาณความชื้น (%) = [(น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ – น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ)/น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ] x 100 (1)

4.2 การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า

ปริมาณเถ้าวิเคราะห์หาจากการชั่งตัวอย่างแป้งและสตาร์ชลูกจันให้ได้น้ำหนักแน่นอนประมาณ 3 กรัม แล้วใส่ในถ้วยเผา ซึ่งผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส (3 ชั่วโมง) และนำมาชั่งให้ทราบน้ำหนักแน่นอน นำไปเผาในเตาเผาอุณหภูมิสูงที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส 8 ชั่วโมง วางให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักทันทีที่เย็นถึงอุณหภูมิห้อง คำนวณปริมาณเถ้า ดังสมการที่ 2

ปริมาณเถ้า (%) = [(น้ำหนักของตัวอย่างก่อนเผา – น้ำหนักของตัวอย่างหลังเผา)/น้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา] x 100 (2)

4.3 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน

การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนได้จากการหาปริมาณไนโตรเจน โดยชั่งตัวอย่างแป้งและสตาร์ชลูกจันให้ทราบน้ำหนักแน่นอนประมาณ 0.5 กรัม เติมสารเร่งปฏิกิริยาผสมระหว่าง $CuSO_4$ กับ K_2SO_4 ($CuSO_4$ 0.2 กับ K_2SO_4 2.0) 2.2 กรัม ใส่ลงในหลอดย่อยไนโตรเจน เติมสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น (96.1%) 20 มิลลิลิตร ย่อยด้วยความร้อนบนเตาย่อยจนได้สารละลายใส ตั้งให้เย็นแล้ว ปรับปริมาตรสารละลายเป็น 50 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น แบ่งสารละลายที่ได้ 10 มิลลิลิตร เพื่อให้ทำปฏิกิริยากับ 45% NaOH (น้ำหนัก : ปริมาตร) ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ในชุดกลั่น แก๊สแอมโมเนียที่เกิดขึ้นจะถูกดักจับไว้โดย 0.2 M HCl ปริมาตร 10 มิลลิลิตร กลั่นจนได้ปริมาณสารละลายในขวดจับแอมโมเนียมอิออน ประมาณ 40–50 มิลลิลิตร ไทเทรทด้วย 0.1 M NaOH โดยใช้เมธิลเรดเป็นอินดิเคเตอร์ คำนวณไนโตรเจน ดังสมการที่ 3

ปริมาณไนโตรเจน (%) = [((A – (A – B)) × 5 × 14.007)/F] x 100 (3)

เมื่อ A คือ ปริมาณของ HCl (โมล)

B คือ ปริมาณของ NaOH (โมล)

F คือ น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้ (กรัม)

4.4 การวิเคราะห์ปริมาณไขมันรวม

ปริมาณไขมันรวมวิเคราะห์ได้จากการชั่งตัวอย่างแป้งและสตาร์ชลูกจันให้ทราบน้ำหนักแน่นอนประมาณ 1 กรัม ใส่หลอดทดลอง เติมสารละลายคลอโรฟอร์ม : เมทานอล (2 : 1) ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ปิดปากหลอดด้วยอลูมิเนียมฟอยด์ ปิดทับด้านนอกด้วยพาราฟิล์ม ผสมให้เข้ากันโดยเครื่องอุลตราโซนิเคเตอร์เป็นเวลา 10 นาที แล้วเก็บในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 0–4 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง กรองสารละลายที่ได้จากการสกัด และล้างลูกจันที่เหลือด้วยสารละลาย คลอโรฟอร์ม : เมทานอล : น้ำ (84 : 16 : 1) เก็บสารละลายที่ได้รวมกัน วัดปริมาตรแล้วเติม 0.9% NaCl ปริมาตร 0.2 เท่า ของสารละลายที่เก็บได้ ผสมให้เข้ากันโดยการเขย่าแรงๆ แล้วเก็บในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 0–4 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง นำมาดูดชั้นของสารละลายคลอโรฟอร์มที่มีไขมันละลายอยู่ใส่ในขวดรูปชมพู่ ระเหยให้แห้งด้วยเครื่องระเหยความดันต่ำ ละลายไขมันกลับใส่ขวดขนาดเล็ก (Vial) ที่ทราบน้ำหนักแน่นอนแล้วด้วยสารละลายคลอโรฟอร์ม : เมทานอล (2 : 1) ระเหยตัวอย่างไขมันที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของแก๊สไนโตรเจนจนแห้ง ระเหยตัวทำละลายที่อาจตกค้างอยู่ด้วยเครื่องดูดสุญญากาศ 30 นาที แลวชั่งน้ำหนักทันที บันทึกน้ำหนักไขมันที่ได้ และคำนวณปริมาณไขมัน ดังสมการที่ 4

ปริมาณไขมัน (%) = (น้ำหนักไขมันที่สกัดได้/น้ำหนักตัวอย่างลูกจัน)x100 (4)

4.5 การวิเคราะห์ปริมาณสารเยื่อใย (Crude fiber)

ปริมาณสารเยื่อใยวิเคราะห์โดยชั่งตัวอย่างแป้งและสตาร์ชลูกจันให้ทราบน้ำหนักแน่นอนประมาณ 2 กรัม ใส่บีกเกอร์สำหรับย่อยสารเยื่อใยขนาด 600 มิลลิลิตร เติม 1.25% H_2SO_4 (น้ำหนัก : ปริมาตร) ปริมาตร 200 มิลลิลิตร ต้มบนเตาย่อยสารเยื่อใยจนเดือดเป็นเวลา 30 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นแล้วนำไปหมุนเหวี่ยงที่แรงเหวี่ยง 7500 g 30 นาที เก็บลูกจันแล้วล้างด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 200 มิลลิลิตร หมุนเหวี่ยงแยกลูกจันอีกครั้งด้วยความเร็ว 7500 g 30 นาที ถ่ายลูกจันลงบีกเกอร์สำหรับย่อยสารเยื่อใยเติม 1.25% NaOH (น้ำหนัก : ปริมาตร) ปริมาตร 200 มิลลิลิตร ต้มบนเตาย่อยสารเยื่อใยจนเดือด 30 นาที ตั้งให้เย็นแล้วนำมาปั่นแยกลูกจันที่ความเร็ว 7500 g 30 นาที ล้างลูกจันด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 200 มิลลิลิตร ปั่นแยกเพื่อเก็บลูกจันอีกครั้งที่ ความเร็ว 7500 g 30 นาที ถ่ายลูกจันที่ได้ลงในถ้วยเผาที่สะอาดและทราบ น้ำหนักแน่นอน นำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 8 ชั่วโมง ตั้งให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักทันทีที่อุณหภูมิลดลงถึงอุณหภูมิห้อง นำลูกจันที่ผ่านการอบแห้งไปเผาในเตาเผาอุณหภูมิ

สูง ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส 30 นาที ตั้งให้เย็นในโถดูดความชื้นชั่งน้ำหนักทันทีที่เย็นลงถึงอุณหภูมิห้อง คำนวณปริมาณสารเยื่อใย ดังสมการที่ 5

ปริมาณสารเยื่อใย (%) = [(น้ำหนักหลังอบ–น้ำหนักหลังเผา)/น้ำหนักตัวอย่าง] x 100 (5)

4.6 การหาปริมาณคาร์โบไฮเดรต

ปริมาณคาร์โบไฮเดรตคำนวณได้เมื่อทราบว่า % ความชื้น % โปรตีน % ไขมัน % เถ้า โดยนำค่าดังกล่าวนี้มาคำนวณ ดังสมการที่ 6

เปอร์เซ็นต์คาร์โบไฮเดรต = 100–(% ความชื้น + % โปรตีน + % ไขมัน + % เถ้า + % เส้นใย) (6)

5. ปริมาณสตาร์ชที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์

ศึกษาปริมาณสตาร์ชที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ด้วยวิธีของ McCleary & Monaghan (2002) โดยชั่งตัวอย่างแป้งและสตาร์ชอย่างละ 0.1 กรัม ในหลอดที่มีฝาปิด จากนั้นเติมสารละลายเอนไซม์ α–amylase 4 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน นำไปวางในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส 16 ชั่วโมง จากนั้นเติมเอทานอล 4 มิลลิลิตร แล้วนำตัวอย่างที่ได้ไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 3,000 รอบต่อนาที 10 นาที เทส่วนใสทิ้ง นำตะกอนที่ได้มาละลายด้วยเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 50 ปริมาตร 8 มิลลิลิตร แล้วนำตัวอย่างที่ได้ไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 3,000 รอบต่อนาที 10 นาที (ทำซ้ำ 2 ครั้ง) นำตะกอนที่ได้มาเติมสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 2 โมลาร์ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปกวน 20 นาที ในอ่างน้ำแข็ง เมื่อครบเวลาเติมสารละลายโซเดียมอะซิเตทบัฟเฟอร์ 1.2 โมลาร์ พีเอช 3.8 ปริมาตร 8 มิลลิลิตร และเติมเอนไซม์ Amyloglucosidase 0.1 มิลลิลิตร โดยทันที ผสมให้เข้ากันแล้วนำไปวางในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส 30 นาที จากนั้นนำตัวอย่างที่ได้มาปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น ผสมให้เข้ากันแล้วนำไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 3000 รอบต่อนาที 10 นาที นำตัวอย่างที่ได้ 0.1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดแก้ว เติมสารละลาย Glucose oxidase/Peroxidase reagent (GOPOD) 3 มิลลิลิตร แล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส 20 นาที แล้วจึงนำตัวอย่างที่ได้มาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร ด้วย Reagent blank คำนวณปริมาณสตาร์ชที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ (RS) ดังสมการที่ 7

ปริมาณสตาร์ชที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ (RS %) = $\Delta E \times (F/W) \times 90$ (7)

เมื่อ ΔE = ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างที่ความยาวคลื่น 510 nm

F = 100 (µg of D–glucose) / ค่าการดูดกลืนแสงของ 100 µg D–glucose ที่ความยาวคลื่น 510 nm

W = น้ำหนักแห้งของตัวอย่างสตาร์ช (กรัม)

6. การวางแผนการทดลองและการวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design; CRD) และวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล Analysis of Variance; ANOVA ด้วยโปรแกรม SPSS Statistics 23 (IBM, 2015) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple' Range Test; DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P<0.05$)

ผลการวิจัย

1. ผลการเตรียมแป้งจากลูกจัน

จากกระบวนการเตรียมแป้งลูกจันจากผลลูกจันดิบด้วยวิธีการโม่ที่แตกต่างกัน 3 วิธี ได้แก่ โม่แห้ง โม่เปียก และโม่ผสม พบว่า การโม่แห้งได้ค่าร้อยละผลผลิตสูงที่สุด เท่ากับ 13.04 ($P<0.05$) รองลงมา คือ การโม่ผสมและการโม่เปียกที่มีค่าร้อยละผลผลิตเท่ากับ 10.80 และ 3.24 ตามลำดับ โดยลักษณะของแป้งลูกจันทั้ง 3 วิธีเป็นผงละเอียดสีน้ำตาลส้ม โดยแป้งลูกจันวิธีโม่แห้ง มีค่าสี L* 71.65 a* 8.19 และ b* 19.01 ขณะที่แป้งลูกจันวิธีโม่เปียก มีค่าสี L* 66.49 a* 12.87 และ b* 18.98 ส่วนแป้งลูกจันวิธีโม่ผสม มีค่าสี L* 75.56 a* 8.62 และ b* 17.85 ดังภาพที่ 1

(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 1 ลักษณะของแป้งลูกจันจากวิธี ก) โม่แห้ง ข) โม่เปียก และ ค) โม่ผสม

2. ผลการวิเคราะห์ปริมาณกลุ่มสารที่เป็นส่วนประกอบของแป้งลูกจัน

จากการวิเคราะห์กลุ่มสารที่เป็นส่วนประกอบ ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณโปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน เส้นใย และเถ้า พบว่า องค์ประกอบส่วนใหญ่ของแป้งลูกจันเป็นสาร

กลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่พบได้มากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาเป็นเยื่อใย ความชื้น โปรตีน และเถ้า ส่วนไขมันเป็นกลุ่มสารที่พบได้น้อยที่สุดเพียง 0.42 ถึง 0.62 เปอร์เซ็นต์ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณกลุ่มสารของแป้งลูกจัน

ปริมาณกลุ่มสาร (ร้อยละ)/ กรรมวิธีเตรียมแป้งลูกจัน	กรรมวิธีโม่แห้ง (±SD.)	กรรมวิธีโม่เปียก (±SD.)	กรรมวิธีโม่ผสม (±SD.)
โปรตีน	6.19 ±0.17	6.08±0.07	6.49±0.10
ไขมัน	0.42±0.03	0.50±0.01	0.62±0.02
เถ้า	3.52 ±0.08	2.53±0.14	3.27±0.04
ความชื้น	7.44 ±0.14	7.17±0.17	7.99±0.12
คาร์โบไฮเดรต	80.43±0.02	83.74±0.07	82.62±0.05
เยื่อใย	7.94 ±0.27	8.19±1.02	8.30±1.03

3. ผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของแป้งลูกจัน

เมื่อนำแป้งลูกจันจากกรรมวิธีโม่แห้งที่ให้ค่าร้อยละผลผลิตสูงที่สุดมาวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ พบว่า แป้งลูกจันให้ค่าพลังงานทั้งหมด (ต่อ 100 กรัม) 334.26 กิโลแคลอรี ปริมาณคาร์โบไฮเดรต 76.65 กรัม ปริมาณน้ำตาล 21.18 กรัม ปริมาณโปรตีน 6.42 กรัม ปริมาณแคลเซียม 40.71 มิลลิกรัม โซเดียม 6.72 มิลลิกรัม เหล็ก 1.44 มิลลิกรัม วิตามินเอ 6.34 ไมโครกรัม ขณะที่ไม่พบคอเลสเตอรอล ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณค่าทางโภชนาการของแป้งลูกจัน

รายการทดสอบ	ปริมาณ (ต่อ 100 กรัม)	ปริมาณ (ต่อ 1 หน่วยบริโภค)**
พลังงานทั้งหมด (กิโลแคลอรี)	334.26	10
พลังงานจากไขมัน (กิโลแคลอรี)	1.98	0
ไขมันทั้งหมด (ก.)	0.22	0
ไขมันอิ่มตัว (ก.)	0.07	0
คอเลสเตอรอล (มก.)	ไม่พบ	0
โปรตีน (ก.) (%n x 6.25)	6.42	0
คาร์โบไฮเดรต (ก.)	76.65	2
ใยอาหาร (ก.)	37.28	1
น้ำตาล (ก.)	21.18	< 1
โซเดียม (มก.)	6.72	0
วิตามินเอ (มคก.)	6.345	(0.19)
เบต้า-แคโรทีน (มคก.)*	38.07	(0.14)

ตารางที่ 2 (ต่อ)

รายการทดสอบ	ปริมาณ (ต่อ 100 กรัม)	ปริมาณ (ต่อ 1 หน่วยบริโภค)**
วิตามินบี 1 (มก.)	0	(0.00)
วิตามินบี 2 (มก.)	<0.025	(0.00)
แคลเซียม (มก.)	40.71	(1.22)
เหล็ก (มก.)	1.44	(0.04)

หมายเหตุ ปริมาณต่อหนึ่งหน่วยบริโภค 1 ช้อนชา (3 กรัม)

4. ผลการเตรียมสตาร์ชจากลูกจัน

เมื่อนำแป้งจากลูกจันมาผ่านการกำจัดโปรตีนและไขมัน พบว่า มีลักษณะของสตาร์ชลูกจันเป็นสีแดงส้มโดยสตาร์ชลูกจันวิธีโม่แห้ง มีค่าสี L* 50.03 a* 12.71 และ b* 12.66 ขณะที่สตาร์ชลูกจันวิธีโม่เปียก มีค่าสี L* 47.70 a* 13.48 และ b* 18.98 ส่วนสตาร์ชลูกจันวิธีโม่ผสมมีค่าสี L* 48.57 a* 13.78 และ b* 12.61 ดังภาพที่ 2

(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 2 ลักษณะของสตาร์ชลูกจันจากวิธี ก) โม่แห้ง ข) โม่เปียก และ ค) โม่ผสม

5. ผลการวิเคราะห์ปริมาณสตาร์ชที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์

จากการตรวจสอบปริมาณสตาร์ชที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ของแป้งลูกจันและสตาร์ชจากลูกจันที่เตรียมด้วยกรรมวิธีต่างๆ พบว่า แป้งลูกจันและสตาร์ชจากลูกจันมีปริมาณสตาร์ชที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ ดังตารางที่ 3 จากตารางพบว่าปริมาณสตาร์ชที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ของแป้งลูกจันอยู่ในช่วง 30.37 ถึง 57.47 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง โดยแป้งลูกจันจากกรรมวิธีโม่เปียกมีปริมาณสตาร์ชที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์สูงที่สุด ส่วนปริมาณสตาร์ชที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ของสตาร์ชลูกจันอยู่ในช่วง 33.49 ถึง 57.23 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง โดยแป้งลูกจันจากกรรมวิธีโม่เปียกมีปริมาณสตาร์ชที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์สูงที่สุด

ตารางที่ 3 ปริมาณสตาร์ชที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ของแป้งลูกจันและสตาร์ชลูกจัน

ตัวอย่างแป้งลูกจันและสตาร์ชลูกจัน	กรรมวิธี	ปริมาณสตาร์ชที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ (% น้ำหนักแห้ง±SD.)
แป้งลูกจัน	โม่แห้ง	30.37±0.68[d]
	โม่เปียก	57.47±3.14[a]
	โม่ผสม	33.49±2.27[d]
สตาร์ชจากลูกจัน	โม่แห้ง	41.61±0.72[c]
	โม่เปียก	57.23±3.07[a]
	โม่ผสม	50.68±1.98[b]

อภิปรายผล

การเตรียมแป้งจากลูกจันด้วยกรรมวิธีโม่แห้ง กรรมวิธีโม่เปียกและกรรมวิธีโม่ผสม ได้แป้งที่มีลักษณะเป็นผงสีน้ำตาลส้มแต่มีร้อยละผลผลิตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยการผลิตแป้งลูกจันด้วยกรรมวิธีโม่แห้งมีค่าร้อยละผลผลิตสูงที่สุด เท่ากับ 13.04 เปอร์เซ็นต์ และกรรมวิธีโม่เปียกที่มีค่าร้อยละผลผลิตน้อยกว่ากรรมวิธีโม่แห้งถึง 4 เท่า ทั้งนี้อาจเกิดการสูญเสียของแป้งในระหว่างกระบวนการกรองแป้งหลังการโม่ ผลที่ได้สอดคล้องกับการศึกษาของ มาศอุบล (2551) ที่เตรียมแป้งข้าวฟ่างด้วยวิธีการโม่เปียกและโม่แห้งแล้วพบว่าปริมาณแป้งที่ได้จากการโม่เปียกต่ำกว่าแป้งที่ได้จากการโม่แห้งเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวฟ่างสายพันธุ์เดียวกัน และจากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของแป้งที่ได้จากลูกจันด้วยกรรมวิธีต่างๆ พบว่า แป้งลูกจันมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลักมีปริมาณสูงกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ โดยแป้งลูกจันที่ผ่านกระบวนการโม่เปียกมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงที่สุด (83.74 เปอร์เซ็นต์) ขณะที่แป้งลูกจันจากทั้ง 3 กรรมวิธี พบปริมาณไขมันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (0.42–0.62 เปอร์เซ็นต์) นอกจากนี้แป้งจากลูกจันพบปริมาณโปรตีน 6.08–6.49 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณเยื่อใย 7.94–8.30 เปอร์เซ็นต์ โดยแป้งจากกรรมวิธีโม่ผสมมีปริมาณโปรตีนและเยื่อใยสูงที่สุด จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าการเตรียมแป้งด้วยกรรมวิธีที่แตกต่างกันทำให้สัดส่วนองค์ประกอบทางเคมีมีความแตกต่างกันสอดคล้องกับงานวิจัยของ วิจิตรา และวชิรญา (2563) ที่ได้รายงานถึงปริมาณคาร์โบไฮเดรต ไขมัน และเถ้าที่แตกต่างกันของแป้งกระจับที่ผ่านการเตรียมแป้งด้วยกรรมวิธีที่แตกต่างกัน อีกทั้งกรรมวิธีการเตรียมแป้งที่แตกต่างกันยังเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อสมบัติทางความหนืดและสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้ง (Asmeda, Noorlaila & Norziah, 2015; Prasad, Singh & Anil, 2012) นอกจากนี้กระบวนการที่ใช้ในกรรมวิธีการโม่แป้งทั้งโม่แห้ง โม่เปียกและการโม่ผสม ยังส่งผลต่อลักษณะและปริมาณของแป้งที่ได้ โดยการโม่แห้งเป็นการนำวัตถุดิบ

มาอบให้แห้ง บดเป็นผงแป้งและร่อนผ่านตะแกรง แป้งที่ได้จากการโม่แห้งมีปริมาณสูง แต่แป้งมีลักษณะหยาบต้องผ่านการบดซ้ำหลายครั้งจึงจะสามารถร่อนผ่านตะแกรงได้หมด ส่วนการโม่เปียกเป็นการนำวัตถุดิบมาทำความสะอาด แช่น้ำและนำวัตถุดิบมาโม่พร้อมกับน้ำ จากนั้นกรองแยกแป้งจากน้ำและนำส่วนแป้งเข้าเครื่องอบจนแห้ง นำมาบดและร่อนผ่านตะแกรง ปริมาณแป้งที่ได้เกิดจากการสูญเสียในขั้นตอนการกรองและแยกแป้งแต่แป้งมีความสม่ำเสมอ สำหรับกรรมวิธีการโม่ผสมเป็นการผสมระหว่างการโม่เปียกกับการโม่แห้งโดยนำวัตถุดิบหลังจากแช่น้ำก่อนนำมาอบให้แห้ง จึงนำมาบดให้ละเอียดและร่อนผ่านเครื่องร่อนแป้ง แป้งที่ได้ค่อนข้างสม่ำเสมอ และลดปริมาณการสูญเสียแป้งในระหว่างกระบวนการแยกแป้งได้ (ศันสนีย์, พัชรี และงามจิตร, 2562)

เมื่อนำแป้งลูกจันที่เตรียมได้จากแต่ละกรรมวิธีมาเตรียมเป็นสตาร์ชลูกจัน โดยการนำแป้งลูกจันมาผ่านกระบวนการกำจัดโปรตีนและไขมันออกได้สตาร์ชลูกจันสีแดงส้ม ซึ่งสตาร์ชเป็นแป้งและผลิตภัณฑ์ของแป้งที่ไม่สามารถถูกย่อยสลายได้ด้วยเอนไซม์และดูดซึมภายในลำไส้เล็กของมนุษย์ เป็นที่นิยมใช้เป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพ ที่ผ่านมามีงานวิจัยที่รายงานว่าแป้งทนการย่อยมีประโยชน์หลายๆ ชนิดกับระบบการทำงานต่างๆ ของร่างกายมนุษย์ อาทิ ลดภาวะดื้ออินซูลิน ลดระดับน้ำตาลในกระแสเลือด ลดความอยากอาหาร ลดอาการท้องผูกและโรคมะเร็งลำไส้ใหญ่ รวมถึงส่งเสริมการลดปริมาณคอเลสเตอรอลในเส้นเลือด ลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคไขมันอุดตันในเส้นเลือด เป็นต้น (Nugent, 2005) เมื่อนำแป้งและสตาร์ชจากลูกจันมาทดสอบหาปริมาณสตาร์ชที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ พบว่า แป้งและสตาร์ชจากลูกจันมีปริมาณสตาร์ชที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์แตกต่างกันในแต่ละกรรมวิธี โดยแป้งลูกจันมีปริมาณสตาร์ชที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ระหว่าง 30.37–57.47 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง ขณะที่สตาร์ชลูกจันมีปริมาณสตาร์ชที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ระหว่าง 41.61–57.23 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง โดยแป้งและสตาร์ชจากลูกจันที่เตรียมจากกรรมวิธีโม่เปียกมีปริมาณสตาร์ชที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์สูงสุด แต่ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างแป้งและสตาร์ชทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการกำจัดโปรตีนและไขมันออกไปตั้งแต่กระบวนการเตรียมแป้ง ส่วนสตาร์ชจากลูกจันที่เตรียมจากกรรมวิธีโม่แห้งพบว่า ปริมาณสตาร์ชที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์เพิ่มขึ้น 37.01 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับปริมาณสตาร์ชที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ของแป้งลูกจันจากกรรมวิธีโม่แห้ง ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากกระบวนการเตรียมสตาร์ชมีการกำจัดโปรตีนและไขมันออกไปในกระบวนการเตรียมสตาร์ชเช่นเดียวกับปริมาณสตาร์ชที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์จากกรรมวิธีโม่ผสมมีปริมาณสตาร์ชที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ที่เพิ่มขึ้น 51.22 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับปริมาณสตาร์ชที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ของแป้งลูกจันจากกรรมวิธีโม่ผสม ซึ่งจะเห็นได้ว่าการเตรียมแป้งและสตาร์ชแต่ละกรรมวิธีส่งผลต่อปริมาณสตาร์ชที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์สอดคล้องกับผลการศึกษาของ

ศศิธร และคณะ (2564) ที่รายงานถึงการเพิ่มปริมาณสตาร์ชที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ในข้าวด้วยการหุงด้วยวิธีที่ต่างกัน

ปริมาณสตาร์ชที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ที่พบในแป้งและสตาร์ชของลูกจันมีค่าเทียบเท่ากับปริมาณสตาร์ชที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์จากแป้งและสตาร์ชชนิดอื่นที่เคยมีการรายงานก่อนหน้านี้ อาทิ จิรนาถ, ทิพวรรณ และพัชราวรรณ (2558) ศึกษาปริมาณแป้งต้านทานการย่อยในแป้งกล้วยดิบ 3 ชนิด ได้แก่ แป้งกล้วยหอมทองดิบ แป้งกล้วยไข่ดิบ และแป้งกล้วยน้ำว้าดิบ พบว่า แป้งกล้วยหอมทองดิบมีปริมาณแป้งต้านทานการย่อยสูงกว่าแป้งกล้วยไข่ดิบและแป้งกล้วยน้ำว้าดิบโดยมีปริมาณสตาร์ชที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์เท่ากับ 58.91 53.44 และ 50.40 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ Vatanasuchart, Niyomwit & Wongkrajang, (2009) ที่ได้รายงานปริมาสตาร์ชที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ของถั่วเขียว (22.9 กรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง) ถั่วดำ (18.3 กรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง) ถั่วแดง (10.3 กรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง) กล้วยน้ำว้า (25.8 กรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง) กล้วยหอม (37.1 กรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง) กล้วยไข่ (24.7 กรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง) กล้วยเล็บมือนาง (31.2 กรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง) และกล้วยหักมุก (27.3 กรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง) นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการผลิตสตาร์ชที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์จากพืชอีกหลายชนิด อาทิ ปาริฉัตร (2556) ได้ศึกษาการผลิตสตาร์ชที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์จากสตาร์ชข้าว สตาร์ชเมล็ดขนุนและสตาร์ช ถั่วเขียว และการตรวจสอบคุณสมบัติพรีไบโอติก และพบว่า สตาร์ชจากเมล็ดขนุนมีปริมาณสตาร์ชที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์สูงกว่าสตาร์ชถั่วเขียวและสตาร์ชข้าว ซึ่งสตาร์ชทั้ง 3 ชนิด สามารถส่งเสริมการเจริญเชื้อกลุ่ม *Lactobacillus* และ *Bifidobacteria* อีกทั้งผลจากการหมักสตาร์ชทั้ง 3 ชนิด สามารถผลิตเฉพาะกรดแลคติกและกรดไขมันสายสั้นโดยเฉพาะกรดอะซิติกได้ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประโยชน์ในแง่ของการเป็นพรีไบโอติก นอกจากนี้ รัชนีพร, อนุชิตา และทัตดาว (2559) ได้ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของสตาร์ชถั่วพุ่มและการประยุกต์ใช้ในการผลิตวุ้นเส้นเพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับสตาร์ชจากถั่วพุ่ม และเป็นการหาแหล่งของสตาร์ชในการผลิตวุ้นเส้นเพื่อทดแทนสตาร์ชจากถั่วเขียวซึ่งมีราคาแพง ผลที่ได้พบว่า สตาร์ชถั่วพุ่มและถั่วเขียวมีปริมาณแป้งทนต่อการย่อยสูง และคุณภาพทางประสาทสัมผัสระหว่างวุ้นเส้นที่ได้จากสตาร์ชถั่วพุ่มและถั่วเขียวไม่แตกต่างกัน จึงสามารถใช้สตาร์ชถั่วพุ่มทดแทนสตาร์ชถั่วเขียวได้สูงถึง 75 เปอร์เซ็นต์ สตาร์ชที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ยังมีคุณสมบัติเทียบเท่ากับใยอาหาร (Dietary fiber) เนื่องจากมีอัตราการถูกย่อยต่ำทำให้ระดับการย่อยและการเผาผลาญกลูโคสได้ช้าลง ซึ่งส่งผลดีต่อลำไส้ใหญ่ ป้องกันการเกิดมะเร็งในลำไส้ใหญ่ นอกจากนี้สตาร์ชที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ไม่สามารถย่อยได้ในลำไส้เล็กและจะถูกส่งผ่านไปยังลำไส้ใหญ่ จึงเป็นอาหารสำหรับจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายกลุ่มโพรไบโอติก ดังนั้นสตาร์ชที่ทนต่อการย่อยจึงทำหน้าที่เป็นพรีไบโอติกสำคัญจากคุณสมบัติของแป้งทนย่อยที่มี

ลักษณะทางกายภาพที่เหมาะสมต่อการแปรรูปโดยเป็นสตาร์ชที่ไม่มีรสชาติ ไม่มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัส ไม่ทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารเปลี่ยนแปลง ซึ่งเป็นข้อดีในการนำไปใช้เป็นส่วนประกอบในอาหารต่างๆ

สรุปผลการวิจัย

การเตรียมแป้งลูกจันด้วยกรรมวิธีโม่แห้ง โม่เปียก และโม่ผสม ได้ผงแป้งลูกจันที่มีสีน้ำตาลส้ม และมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลักมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ โดยการเตรียมแป้งลูกจันด้วยกรรมวิธีโม่แห้งได้ร้อยละผลผลิตสูงที่สุด เมื่อวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของแป้งลูกจันจากกรรมวิธีโม่แห้งที่ให้ค่าพลังงานทั้งหมด 334.26 กิโลแคลอรีต่อ 100 กรัม ปริมาณน้ำตาล 21.18 กรัมต่อ 100 กรัม และปริมาณโปรตีน 6.42 กรัมต่อ 100 กรัม พบแคลเซียม โซเดียม เหล็ก และวิตามินเอ แต่ไม่พบคอเลสเตอรอล เมื่อนำแป้งลูกจันแต่ละกรรมวิธีมาเตรียมสตาร์ชลูกจันได้สตาร์ชลูกจันที่มีสีแดงส้ม จากการตรวจสอบคุณสมบัติการเป็นแป้งทนย่อยของแป้งลูกจันและสตาร์ชลูกจันที่เตรียมด้วยกรรมวิธีต่างๆ พบว่า แป้งลูกจันและสตาร์ชจากลูกจันจากกรรมวิธีโม่เปียกมีปริมาณสตาร์ชที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์สูงที่สุด (57 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง) ส่วนปริมาณสตาร์ชที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ของสตาร์ชลูกจันจากกรรมวิธีโม่แห้งและโม่ผสมมีค่าเพิ่มขึ้น 37.01 และ 51.22 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับแป้งลูกจันที่เตรียมจากกรรมวิธีโม่แห้งและโม่ผสม ตามลำดับ ดังนั้นลูกจันจึงเป็นพืชที่มีศักยภาพในการใช้เตรียมแป้งและสตาร์ชทนย่อยเพื่อใช้ประโยชน์ทั้งทางอาหารและทางเภสัชกรรม โดยควรมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงรูปแบบการนำไปใช้ รวมถึงการศึกษาฤทธิ์ทางชีวภาพ อาทิ ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ฤทธิ์ต้านความดัน ฤทธิ์ต้านเบาหวาน เพื่อเป็นข้อมูลด้านคุณค่าทางโภชนาการของลูกจันเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์และใช้ประโยชน์พืชในท้องถิ่นสู่การพัฒนาคุณภาพชีวิตของคนในชุมชนอย่างยั่งยืน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนพัฒนางานวิจัยเพื่อสร้างความมั่นคงทางเศรษฐกิจ กองทุนพัฒนาการวิจัยและบริหารจัดการงานวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2564 ที่สนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้ ขอกราบขอบพระคุณหลักสูตรสาขาวิชาชีววิทยา และศูนย์วิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ที่สนับสนุนเครื่องมือ อุปกรณ์และสถานที่สำหรับดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

กีรติ ตันเรือน. (2562). **การประเมินองค์ประกอบทางเคมีและฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสกัดจากลูกจันภายใต้โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริฯ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม พ.ศ. 2562** (รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์). พิษณุโลก: มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม.

เกวลี พร้อมพิพัฒนพร. (2557). **ผลของการดัดแปรพื้นผิวเม็ดสตาร์ชมันสำปะหลังต่อการเกิดเดกซ์ทรินต้านทานการย่อย** (รายงานการวิจัยฉบับเต็ม). นครราชสีมา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

จิรนาถ บุญคง, ทิพวรรณ บุญมี, และพัชราวรรณ เรือนแก้ว. (2558). การใช้แป้งกล้วยหอมทองดิบที่มีสมบัติต้านทานการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ในผลิตภัณฑ์พาสต้า. **วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม, 10**(1), 21–27.

ประกานต์ ฤดีกุลธำรง, และจารุณี ควรพิบูลย์. (2555). พรีไบโอติก: อาหารส่งเสริมสุขภาพ. **ธรรมศาสตร์เวชสาร, 17**(2), 362–369.

ปาริฉัตร พฤกษ์วิวัฒนากุล. (2556). **การผลิตสตาร์ชที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์จากสตาร์ชชนิดต่างๆ และการตรวจสอบคุณสมบัติพรีไบโอติก**. สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

มาศอุบล ทองงาม. (2551). **อิทธิพลของสภาวะต่างๆ ในกระบวนการผลิตต่อสมบัติของแป้งและสตาร์ชข้าวฟ่าง.** (รายงานวิจัย). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เยาวพา กลิ่นกุหลาบ, และกาญจนา ธนนพคุณ. (2562). การสำรวจและศึกษาสัณฐานวิทยาของต้นจัน (*Diospyros decandra* Lour.) ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก. ใน **การประชุมวิชาการระดับชาติพิบูลสงครามวิจัย ครั้งที่ 4**. (น.134–141). พิษณุโลก: มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม.

รัชนีพร โพธินาม, อนุชิตา มุ่งงาม, และทัตดาว ภาษีผล. (2559). องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของสตาร์ชจากถั่วเขียวและถั่วพุ่มและการประยุกต์ใช้ในการผลิตวุ้นเส้น. **แก่นเกษตร, 44**, 1073–1079.

วิจิตรา เหลียวตระกูล, และวชิรญา เหลียวตระกูล. (2563). ผลของวิธีการโม่ต่อสมบัติทางเคมีกายภาพความหนืดและการแยกตัวของน้ำของแป้งกระจับ (*Trapa bispinosa*). **ว.วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 9**(2), 251–264.

ศศิธร แท่นทอง, อัคกะบัทคาน ปาทาน, นัทรักษ์ รอดเกตุ, วิลาสินี ดีปัญญา และรุจิรา คุ้มทรัพย์. (2564). ผลของกรรมวิธีการหุงต่อปริมาณแป้งต้านทานการย่อยในข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่ปลูกในจังหวัดเพชรบูรณ์. **PSRU Journal of Science and Technology, 6**(3), 135–146.

ศันสนีย์ อุดมระติ, พัชรี ตั้งตระกูล, และงามจิตร โล่วิทูร. (2562). ผลของวิธีการโม่ต่อสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของแป้งข้าวขาวดอกมะลิ 105 และการนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ปลอดกลูเตน. **ว.วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 27**(2), 311–325.

สุนันทา ทองทา. (2552). **คุณสมบัติแป้งข้าวที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์จากข้าวพันธุ์ต่างๆ เพื่อใช้ในอาหารเพื่อสุขภาพ** (รายงานการวิจัยฉบับเต็ม). นครราชสีมา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

AOAC. (2000). **Offcial Methods of Analysis.** (16th ED). Association of Official Analytical Chemist.

Asmeda, R., Noorlaila, A., & Norziah, M.H. (2015). Effects of different grinding methods on chemical and functional properties of MR211rice flour, Int. **J. Food Eng., 1**, 111–114.

Bunluepuech, K., & Tewtrakul, S. (2009). Anti–HIV–1 integrase activity of Thai medicinal plants. Songklanakarin. **Journal of Science and Technology, 31**, 289–292.

IBM, Corp. (2015). **IBM SPSS Statistics for Windows, Version 23.0.** Armonk, NY: IBM Corp.

Li, H., Jiao, A., Wei, B., Wang, Y., Wu, C., Jin, Z., & Tian, Y. (2013). Porous starch extracted from Chinese rice wine vinasse: Characterization and adsorption properties. **International Journal of Biological Macromolecules, 61**, 156–159.

McCleary, B.V., & Monaghan, D.A. (2002). Measurement of resistant starch. **J. AOAC. international**, **85**, 665–675.

Nugent, A.P. (2005). Health properties of resistant starch. **Nutrition Bulletin, 30**, 27–54.

Prasad, K., Singh, Y., & Anil, A. (2012). Effects of grinding methods on the characteristics of Pusa 1121rice flour. **J. Trop. Agric. FoodSci, 40**, 193–201.

Qiang, X., YongLie, C., & QianBing, W. (2009). Health benefit application of functional oligosaccharides. **Carbohydr. Polym, 77**, 435–441.

Singh, J., Kaur, L., & McCarthy, O.J. (2007). Factors influencing the physico–chemical morphological, thermal and rheological properties of some chemically modified starches for food applications–A review. **Food Hydrocolloids, 21**, 1–22.

Siró, I., Kápolna, E., Kápolna, B., & Lugasi, A. (2008). Functional food. Product development, marketing and consumer acceptance – A review. **J. Appetite, 51**, 456–467.

Vatanasuchart, N., Niyomwit, B., & Wongkrajang, K. (2009). Resistant starch contents and the in vitro starch digestibility of Thai starchy foods. **Kasetsart J. (Nat. Sci.), 43**, 178–186.