

การใช้แป้งกล้วยหอมทองดิบที่มีสมบัติต้านทานการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ในผลิตภัณฑ์พาสต้า
Application of Resistant Starch from Unripe Banana “Hom Thong”
(*Musa sapientum* L., AAA group) in Pasta

จิรนารถ บุญคง*, ทิพวรรณ บุญมี และพัชรารวรรณ เรือนแก้ว
Jiranart Boonkong*, Tippawan Bunmee and Patcharawan Ruenkeaw

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารจากแป้งกล้วยดิบที่มีสมบัติต้านทานการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ (Resistant starch; RS) โดยแปรผันแป้งกล้วยดิบ 3 ชนิด คือ แป้งกล้วยน้ำว้าดิบ (อายุ 14–16 สัปดาห์หลังแทงปลี) แป้งกล้วยหอมทองดิบ (13–15 สัปดาห์หลังแทงปลี) และแป้งกล้วยไข่ดิบ (6–8 สัปดาห์หลังแทงปลี) จากการศึกษาปริมาณ RS และสมบัติทางเคมีกายภาพพบว่า แป้งกล้วยหอมทองดิบ มีปริมาณ RS สูงกว่าแป้งกล้วยไข่ดิบและแป้งกล้วยน้ำว้าดิบ ปริมาณอะมิโลสมีค่าสูงอยู่ระหว่างร้อยละ 38.33-44.67 แต่ร้อยละการละลายไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ส่วนกำลังการพองตัวมีค่าอยู่ระหว่าง 6.12–7.92 เท่า จากนั้นคัดเลือกแป้งกล้วยหอมทองดิบที่มีปริมาณ RS สูงสุด มาผลิตพาสต้า โดยแปรปริมาณแป้งกล้วยหอมทองดิบทดแทนเซโมลินาบางส่วน ที่ระดับร้อยละ 0 (สูตรควบคุม), 15, 30 และ 45 (โดยน้ำหนักแป้ง) ผลการทดลองพบว่า ผลิตภัณฑ์มีค่าความสว่าง (L^*) และค่าสีเหลือง (b^*) ลดลงตามปริมาณแป้งกล้วยหอมทองดิบที่มากขึ้น ค่า Hue ($^\circ$) อยู่ระหว่าง 73.51–82.92 ซึ่งแสดงสีส้มแดง-สีเหลือง และพาสต้าที่ใช้แป้งกล้วยหอมทองดิบ ร้อยละ 45 มีค่า ΔE สูงสุดเมื่อเทียบกับสูตรควบคุม ค่า Cooking yield อยู่ในช่วงร้อยละ 215.70–225.17 และจากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์พบว่า พาสต้าจากแป้งกล้วยหอมทองดิบทดแทนเซโมลินามีปริมาณเส้นใย และเถ้าเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับสูตรควบคุม พาสต้าจากแป้งกล้วยหอมทองดิบทดแทนเซโมลินาบางส่วนทุกสูตร มีปริมาณกลูโคสที่ได้จากการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ต่ำกว่าสูตรควบคุม โดยพาสต้าจากแป้งกล้วยหอมทองดิบสูตรทดแทนร้อยละ 45 ถูกย่อยสลายได้กลูโคสปริมาณต่ำที่สุด

คำสำคัญ : แป้งต้านทานการย่อยสลายด้วยเอนไซม์, แป้งกล้วยดิบ, กล้วยหอมทอง, พาสต้า

ABSTRACT

The aim of research was conducted to develop food product from unripe banana flour that had the enzymatic resistant starch property. The experiment was varied unripe banana flour on three cultivars, Kluai Namwa (14-16 weeks after stabbing banana blossom), Kluai Hom Thong (13-15 weeks after stabbing banana blossom), Kluai Khai (6-8 weeks after stabbing banana blossom). Resistant starch (RS) content and physicochemical properties of unripe banana flours were analyzed. Results found that RS content of unripe Hom Thong banana flour was higher than that of unripe Namwa and Khai banana flour. The amylose content of these flours were high, between 38.33-44.67%; however, the solubility were not significantly different ($p < 0.05$) and swelling power were low (between 6.12-7.92). Unripe Hom Thong banana flour had the highest RS content; therefore, it was selected to produce pasta. Unripe Hom Thong banana flour was partly used to substitute semolina at 0 (control), 15, 30 and 45% (by flour weight). Color measurement results showed that L^* and b^* value decreased when increasing unripe Hom Thong banana flour. Hue ($^\circ$) was between 73.51-82.92 (orange red-yellow color) and pasta that substituted with Hom Thong banana flour at 45% had the highest ΔE . Cooking yield was between 215.70–225.17%. The chemical composition analysis showed that Hom Thong banana pasta had high fiber and ash content than those of control. All of Hom Thong banana pasta had lower glucose content (mg/ 100 g starch) from enzymatic hydrolysis than control and pasta that substituted with Hom Thong banana flour at 45% was the lowest in the glucose content.

Keywords: resistant starch, unripe banana flour, Kluai Hom Thong, pasta

*jiranart.boon@siam.edu

อาจารย์ประจำ ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม กรุงเทพมหานคร
Lecturer, Department of Food Technology, Faculty of Science, Siam University, Bangkok.

บทนำ

ผู้บริโภคในยุคปัจจุบันให้ความสำคัญต่อการเลือกรับประทานผลิตภัณฑ์อาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาหารเพื่อสุขภาพ (healthy foods) หรืออาหารฟังก์ชัน (functional foods) ซึ่งกำลังได้รับความนิยมจากผู้บริโภคมากยิ่งขึ้น สารสำคัญอีกชนิดหนึ่งในอาหารเพื่อสุขภาพและน่าสนใจ คือ resistant starch (RS) ซึ่งมีคุณสมบัติต่อสุขภาพ เช่นเดียวกับเส้นใยอาหาร มีประโยชน์ต่อระบบขับถ่ายและระบบหมุนเวียนเลือด โดย RS จะไม่ถูกย่อยสลายโดยเอนไซม์ในลำไส้เล็ก แต่จะผ่านมาถึงลำไส้ใหญ่และถูกหมักโดยจุลินทรีย์ได้เป็นกรดไขมันสายสั้นๆ เช่น อะซิเตท โพรพิโอเนต และบิวทิเรต ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อจุลินทรีย์กลุ่มโปรไบโอติก (probiotic microorganism) [1] นอกจากนี้กรดไขมันที่เกิดขึ้นดังกล่าวสามารถถูกดูดซึมภายในลำไส้ใหญ่และขนส่งไปยังตับ กรดไขมันจะไปยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค เพิ่มปริมาณของเหลว และปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างในลำไส้ใหญ่ให้ต่ำลง โดยมีรายงานถึงบทบาทของกรดไขมันบิวทิเรต ซึ่งช่วยปรับสภาพลำไส้ใหญ่ส่วนปลาย (rectum) ให้ดีขึ้น ซึ่งจะยับยั้งการเจริญของเซลล์ที่ถูกถ่ายโอน ซึ่งมียับยั้งการเจริญของเซลล์ที่ถูกลำไส้ใหญ่ [2, 3] ยับยั้งการสะสมไขมัน โดยมีการทดลองให้ผู้ทดสอบบริโภคอาหารที่มีส่วนประกอบของ RS พบว่ามีอัตราการเกิดออกซิเดชันของลิพิด (lipid oxidation) เพิ่มขึ้น ส่งผลต่อการลดการสะสมไขมันในร่างกายได้ [4] นอกจากนี้การบริโภคอาหารที่มีส่วนประกอบของ RS อย่างต่อเนื่อง จะช่วยป้องกัน หรือลดภาวะโรคอ้วน มีบทบาทในการลดคอเลสเตอรอลในเส้นเลือด ลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคไขมันอุดตันในเส้นเลือด โรคหัวใจ และโรคเบาหวานอีกด้วย โดยเฉพาะเป็นแหล่งอาหารแป้งที่เหมาะสมสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวาน เนื่องจากมีสมบัติการย่อยสลายได้ช้าในระบบทางเดินอาหาร คือมีค่าอัตราการย่อยแป้ง และ glycemic index ต่ำ เป็นผลให้ระดับน้ำตาลในเลือดอยู่ในสภาวะที่ควบคุมได้ โดยไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงสูงขึ้นหรือต่ำลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นภาวะที่อันตรายสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวาน [5, 6] สามารถ

แบ่ง RS โดยใช้เกณฑ์ความสามารถในการถูกย่อยสลายได้ 4 ประเภท โดยประเภทที่ 2 (RS₂) เป็นเม็ดแป้งดิบที่ทนต่อการทำงานของเอนไซม์ (raw or ungelatinized starch) ซึ่งแป้งที่ยังไม่ผ่านกระบวนการทำให้สุก พบในเม็ดแป้งกล้วยดิบ เม็ดแป้งมันฝรั่งดิบ พืชตระกูลถั่ว และแป้งที่มีอะไมโลสสูง [1] จากการศึกษาของ Vatanasuchart และคณะ (2009) [7] ศึกษาปริมาณ RS และการย่อยแป้งในหลอดทดลองของอาหารไทยประเภทแป้ง จากผลการศึกษาพบว่าแหล่งที่มาของ RS ส่วนใหญ่แล้วพบในพืชตระกูลถั่ว ร้อยละ 10.3 - 22.9 และกล้วยดิบ ร้อยละ 52.2 - 61.4 นอกจากนี้ยังมีรายงานวิจัย พบว่าแป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ จะเกิดการย่อยภายหลังการบริโภคแล้ว 5-7 ชั่วโมง ทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดและอินซูลิน (insulin) หลังบริโภคอาหารลดลง สำหรับแป้งที่ผ่านการให้ความร้อนจะเกิดการย่อยทันทีหลังบริโภคทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดและอินซูลินหลังบริโภคอาหารเพิ่มขึ้น [8]

กล้วย เป็น พืชล้มลุกที่เป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรต และแร่ธาตุหลายชนิด อาทิ เช่น ไอโอดีน แมกนีเซียม เหล็ก และ โพแทสเซียมซึ่งเป็นแร่ธาตุที่ช่วยลดความดันเลือด (blood pressure) และช่วยรักษาสมดุลของน้ำในร่างกาย ควบคุมการหดตัวของกล้ามเนื้อ และมีหน้าที่ควบคุมจังหวะการเต้นของหัวใจ ลดความเสี่ยงจากอาการเส้นเลือดตีตันในสมอง นอกจากนี้กล้วยยังมีอุดมไปด้วย แคลโรทีน วิตามินซี วิตามินบี เกือบทุกชนิด และกรดอะมิโนทริปโตเฟน [9] เนื้อกล้วยมีลักษณะอ่อนนุ่ม ย่อยง่ายทั้งกับเด็กเล็กและคนชรา ให้พลังงาน และวิตามินเกลือแร่มากกว่าผลไม้ชนิดอื่นๆ เพราะกล้วยมีน้ำในเนื้อต่ำ กล้วยรับประทานได้ทั้งผลดิบและสุก เป็นอาหารที่มีคุณค่าสูงพอๆ กับมันฝรั่ง แต่มีไขมัน คอเลสเตอรอล และเกลือแร่ต่ำ จึงเหมาะสำหรับใช้เป็นอาหารของคนที่ต้องการลดน้ำหนัก นอกจากนี้ แป้งกล้วยดิบยังมีสมบัติเป็นแป้งที่ต้านทานการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ประเภทที่ 2 (RS₂) ตามที่กล่าวมาข้างต้น จึงมีรายงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้แป้งกล้วยดิบในผลิตภัณฑ์อาหาร อาทิ เช่น การใช้ สตาร์ชจากกล้วยดิบ เพื่อเพิ่มปริมาณ RS ในสปาเก็ตตี้ [10] การใช้ RS จาก

*jiranart.boo@siam.edu

ข้าวโพดที่มีอะมิโลสสูงในการพัฒนาคุณภาพของมัฟฟิน ซึ่งพบว่าการใช้ RS จะช่วยลดจำนวนและขนาดของ เซลล์อากาศในผลิตภัณฑ์ [11] การใช้ RS จากข้าวใน เส้นก๋วยเตี๋ยว เพื่อลดค่า glycemic index ในผลิตภัณฑ์ [12] และ การใช้แป้งกล้วยดิบเพื่อพัฒนาคุณค่าทาง โภชนาการและคุณภาพทางประสาทสัมผัสในเส้น ก๋วยเตี๋ยว [13] เป็นต้น ดังนั้นจึงมีความสนใจที่จะพัฒนา ผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพจากแป้งกล้วยดิบ โดยมี วัตถุประสงค์ของงานวิจัยคือ เพื่อศึกษาปริมาณ RS รวมถึงสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งกล้วยดิบ และ พัฒนารสชาติอาหารจากแป้งกล้วยดิบรวมทั้งศึกษา สมบัติทางเคมีกายภาพบางประการของผลิตภัณฑ์ที่ผลิต ขึ้น

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

1. การเตรียมแป้งกล้วยดิบและศึกษาสมบัติทางเคมี-กายภาพบางประการ

นำกล้วย 3 ชนิดคือ กล้วยน้ำว้าดิบ (อายุ 14 – 16 สัปดาห์หลังแทงปลี) กล้วยหอมทองดิบ (13 – 15 สัปดาห์หลังแทงปลี) แป้งกล้วยไข่ดิบ (6 – 8 สัปดาห์ หลังแทงปลี) จากตลาดสด จ. นครปฐม มาเตรียมเป็น แป้ง โดยนำกล้วยดิบมาล้างทำความสะอาดและปอก เปลือก แخذด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้น ร้อยละ 0.5 นาน 30 นาทีแล้วหั่นบางๆ จากนั้นนำกล้วย ดิบที่หั่นบางๆ ไปอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60°C จนมีความชื้นร้อยละ 13 แล้วนำมาบดให้ละเอียดและ ร้อนผ่านเครื่อง sieve tester ที่ผ่านชั้นตะแกรง 80 mesh คำนวณร้อยละผลผลิต และเก็บรักษาภายใน ภาชนะปิดสนิท

นำแป้งกล้วยดิบทั้ง 3 ชนิด มาวิเคราะห์ ปริมาณแป้งที่ต้านทานการย่อยสลาย (Resistant starch; RS) (ตามวิธีของ Goni, Alonso and Calixto, 1997) [14] ปริมาณอะมิโลส (ตามวิธีของ Juliano, 1971) [15] และกำลังการพองตัวและร้อยละการละลาย (ตามวิธีของ Schoch, 1964) [16]

2. การผลิตพาสต้าโดยแปรผันปริมาณแป้งกล้วยดิบทดแทนเซโมลินา

คัดเลือกแป้งกล้วยดิบที่มีปริมาณ แป้งที่ ต้านทานการย่อยสลายสูงสุดมาผลิตพาสต้า (ตามวิธีของ Martinez, 2009) [17] โดยแปรผันปริมาณแป้งกล้วย ดิบทดแทนเซโมลินา ที่ระดับร้อยละ 0, 15, 30 และ 45 (โดยน้ำหนักแป้ง) โดยใช้ส่วนผสมดังนี้ เซโมลินา ไข่ไก่ สด เกลือ และน้ำสะอาด 165, 80, 1 และ 15 กรัม ตามลำดับ โดยเริ่มจากการร่อนเซโมลินาด้วยตะแกรง ร่อนแป้ง ซึ่งน้ำหนักเซโมลินา แป้งกล้วยดิบ เกลือ ไข่ไก่ และน้ำสะอาดตามสูตรส่วนผสม ผสมส่วนผสมแล้วนวด ให้เข้ากัน พักโด (dough) 15 นาที และนวดต่ออีก 15 นาที จากนั้นพักโดต่ออีก 15 นาที แล้วนำแป้งเข้าเครื่อง รีดจนได้แผ่นแป้งที่ได้มีความหนา 0.05 มิลลิเมตรและ ตัดเส้นพาสต้า ให้มีความกว้าง 0.48 มิลลิเมตร ยาว 30 เซนติเมตร นำไปนึ่งให้สุก และนำไปอบแห้งที่ 60°C นาน 5 ชั่วโมง เก็บในถุงพลาสติกปิดสนิท

3. การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของพาสต้าจากแป้งกล้วยดิบทดแทนเซโมลินา

3.1 วัดค่าสี โดยนำเส้นพาสต้าที่ผลิตได้มาวัด ค่าสี ระบบ L* a* และ b* โดยใช้เครื่องวัดสี Hunter Lab รุ่น ColorFlex จากนั้น คำนวณค่า Hue และค่า ΔE โดยใช้สมการที่ (1) และ (2) [18]

$$\text{Hue} = \arctangent (b^*/a^*);$$

$$a^* > 0 \text{ and } b^* > 0 \quad (1)$$

$$\Delta E^* = \sqrt{(L^* - L^*_{ref})^2 + (a^* - a^*_{ref})^2 + (b^* - b^*_{ref})^2} \quad (2)$$

3.2 วิเคราะห์การพองตัว ตามวิธีของ มอก. 475 – 2526 [19] โดยใส่น้ำมันก๊าดลงในกระบอกตวง ขนาด 50 มิลลิลิตร นำพาสต้า 10 กรัม ใส่ในกระบอก ตวงแล้วใส่อากาศออกโดยกระแทกกระบอกตวงเบาๆ อ่านปริมาตรน้ำมันเป็นค่าปริมาตรการพองตัวก่อนต้ม จากนั้นนำพาสต้าไปต้มจนเดือด 20 นาที กรองน้ำออก

*jiranart.boosiam.edu

ทิ้งให้สะเด็ดน้ำ แล้วนำมาวัดปริมาตรการพองตัวหลังต้ม และคำนวณตามสมการที่ (3)

$$\text{Swelling (\%)} = \frac{\text{Volume of pasta before cooking}}{\text{Volume of pasta after cooking}} \times 100 \quad (3)$$

3.3 วิเคราะห์ค่าร้อยละน้ำหนักที่ได้จากการต้ม (Cooking yield) และร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก (Cooking loss) ตามวิธีของ AACC, (2000) [20] โดยชั่งพาสต้า 10 กรัม ต้มในน้ำเดือดปริมาตร 200 มิลลิลิตร นาน 10 นาที จากนั้นตักพาสต้าขึ้นมา รอจนให้สะเด็ดน้ำ ชั่งน้ำหนักพาสต้าหลังต้ม และคำนวณ cooking yield ตามสมการที่ (4) และนำน้ำต้มพาสต้าไประเหยที่อุณหภูมิ 105°C จนแห้งและน้ำหนักคงที่ จากนั้นคำนวณ cooking loss ตามสมการที่ (5)

$$\text{Cooking yield (\%)} = \frac{\text{Weight of pasta after cooking}}{\text{Weight of pasta before cooking}} \times 100 \quad (4)$$

$$\text{Cooking loss (\%)} = \frac{\text{Residue in cooking water}}{\text{Weight of pasta before cooking}} \times 100 \quad (5)$$

3.4 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (AOAC, 2000) [21] และคำนวณปริมาณคาร์โบไฮเดรต

4. การศึกษาปริมาณกลูโคสที่ได้จากการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ (Holm และคณะ, 1985) [22]

ทำการศึกษ ปริมาณกลูโคสที่ได้จากการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ในผลิตภัณฑ์พาสต้าจากแป้งกล้วยดิบทดแทนเซโมลินาที่ระดับการทดแทน 0, 15, 30 และ 45 (โดยน้ำหนัก) โดยนำมาย่อยด้วยเอนไซม์และเก็บตัวอย่างในทุกๆ 30 นาที เริ่มต้นจาก 0 นาที จนครบ 120 นาที และตรวจสอบปริมาณกลูโคสที่ได้จากการย่อย

ซึ่งตัวอย่าง 0.01 กรัม นำไปบ่มด้วยเอนไซม์ α -amylase (จาก *Aspergillus oryzae*, Fluka BioChemika, สวิสเซอร์แลนด์) ความเข้มข้นร้อยละ

0.5 ใน Tris – maleate buffer pH 6.9 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 37°C เก็บตัวอย่างทุกๆ 30 นาที เริ่มจาก 0, 30, 60, 90, 120 นาที นำตัวอย่างที่เก็บทุกๆ 30 นาที มาต้มในน้ำร้อน 100°C นาน 5 นาที นำตัวอย่างบ่มด้วยเอนไซม์ amyloglucosidase (จาก *Aspergillus niger*, Fluka BioChemika, สวิสเซอร์แลนด์) ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ในปริมาตร 2 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 60°C นาน 90 นาที นำไปปั่นเหวี่ยงที่ 5,000 รอบ/นาที 15 นาที ที่อุณหภูมิ 20°C นำส่วนใสไปวัดหาปริมาณ glucose ด้วยวิธี Somogyi-Nelson [23] เทียบกับกราฟมาตรฐานกลูโคส

5. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

การทดสอบทางเคมีและกายภาพวางแผนการทดลองแบบ CRD (Complete Randomized Design) หาค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนโดยวิธี One – way analysis of variance และตรวจสอบความแตกต่างของผลิตภัณฑ์ด้วย DMRT (Duncan's Multiple Range Test)

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. สมบัติทางเคมี-กายภาพบางประการของแป้งกล้วยดิบ

ลักษณะปรากฏของแป้งกล้วยดิบทั้ง 3 ชนิดที่เตรียมได้ จะเป็นผงละเอียด เนื้อเนียนคล้ายแป้ง สีน้ำตาลอ่อน และมีร้อยละผลผลิต เท่ากับ 53.19, 56.25 และ 51.78 ตามลำดับ

แป้งกล้วยหอมทองดิบ มีปริมาณ RS สูงกว่าแป้งกล้วยไข่ดิบและแป้งกล้วยน้ำว้าดิบ โดยมีปริมาณ RS เท่ากับ 58.91, 53.44 และ 50.40% ตามลำดับ (Table 1) ซึ่งสอดคล้องกับ รายงานวิจัยของ Vatanasuchart และคณะ (2009) [7] ที่ได้ศึกษาปริมาณ RS ในถั่ว กล้วย และอาหารที่ประกอบด้วยแป้ง ซึ่งผลการทดลองในกล้วยพบว่า กล้วยน้ำว้าดิบ กล้วยหอมดิบและกล้วยไข่ดิบ มีปริมาณ RS สูง อยู่ระหว่างร้อยละ 52.2 – 57.7 ซึ่งปริมาณ RS ที่วิเคราะห์ได้จากการทดลองจะมีค่าใกล้เคียงกับผลของงานวิจัยดังกล่าว

*jiranart.boosiam@siam.edu

อาจารย์ประจำ ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม กรุงเทพมหานคร
Lecturer, Department of Food Technology, Faculty of Science, Siam University, Bangkok.

Table 1 Resistant starch content and physico-chemical properties of unripe banana flour

Unripe banana flour	RS (%)	Amylose (%)	Swelling power	Solubility (%)
Kluai Namwa	50.40 ± 1.98 ^c	38.33 ± 0.47 ^c	6.12 ± 0.22 ^b	5.73 ± 0.62 ^a
Kluai Hom Thong	58.91 ± 2.85 ^a	44.66 ± 0.47 ^a	7.92 ± 0.45 ^a	5.71 ± 2.08 ^a
Kluai Khai	53.44 ± 1.09 ^b	40.00 ± 0.00 ^b	6.26 ± 0.13 ^b	6.62 ± 1.85 ^a

Remark: different alphabets within the same row indicate significant difference ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลส พบว่า แป้งกล้วยดิบทั้ง 3 ชนิดมีปริมาณอะมิโลสค่อนข้างสูง (ร้อยละ 38.33-44.66) เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งกลุ่มธัญพืชและแป้งจากหัว/ราก นอกจากนี้ปริมาณอะมิโลสที่วิเคราะห์ได้มีค่ามากกว่าปริมาณอะมิโลสที่วิเคราะห์ได้จากการงานวิจัยของ Vatanasuchart และคณะ (2009) [7] ซึ่งรายงานว่าแป้งกล้วยดิบสายพันธุ์ทั่วไป (common cultivars) มีปริมาณอะมิโลส อยู่ระหว่างร้อยละ 25.8-37.1 อย่างไรก็ตามปริมาณอะมิโลสที่วิเคราะห์ได้อาจแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของกล้วย ฤดูกาลเก็บเกี่ยวและเขตพื้นที่การเพาะปลูกที่แตกต่างกัน [24]

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของปริมาณอะมิโลสและ RS (Table 1) พบว่าแป้งที่มีปริมาณอะมิโลสสูงจะมีปริมาณ RS สูงเช่นกัน ซึ่งผลการทดลองข้างต้นสอดคล้องกับงานวิจัยของ Eerlingen และ Delcour (1995) [25] และ Imprapai (2010) [26] ซึ่งรายงานว่าปริมาณอะมิโลสและปริมาณ RS มีความสัมพันธ์เชิงบวก ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ในเชิงแปรผันตรง โดยทั่วไปเม็ดสตาร์ชจะมีโครงสร้างแบบกิ่งผลึก โดยโมเลกุลของอะมิโลสและอะมิโลเพกติน จะจัดเรียงตัวในเม็ดสตาร์ชเป็นโครงสร้างทั้งส่วนที่เป็นผลึกและอสัณฐาน แต่เนื่องจากโครงสร้างของอะมิโลสเป็นโครงสร้างที่เป็นโซ่ตรงของกลูโคส ที่จัดเรียงตัวอย่างแน่นหนา และเป็นส่วนที่ทนทานต่อการย่อยสลาย อีกทั้งแป้งกล้วยดิบทั้ง 3 ชนิด เป็น RS ประเภทที่ 2 เป็นเม็ดแป้งดิบที่ทนต่อการทำงานของเอนไซม์ (raw or ungelatinized starch) ซึ่งแป้งที่ยังไม่ผ่านกระบวนการทำให้สุก พบในเม็ดแป้งกล้วยดิบ เม็ดแป้งมันฝรั่งดิบ พืชตระกูลถั่ว และแป้งที่มีอะมิโลสสูง [1] ดังนั้นจึงทำให้โครงสร้างของ

แป้งดูตื้นและพองตัวได้ต่ำ ส่งผลให้เอนไซม์เข้าทำปฏิกิริยาการย่อยสลายได้ยาก

จากการศึกษากำลังการพองตัวและการละลายของแป้งกล้วยดิบทั้ง 3 ชนิด (อุณหภูมิ 85 °C เป็นเวลา 30 นาที) พบว่าแป้งกล้วยหอมทองดิบมีค่ากำลังการพองตัวสูงสุด เท่ากับ 7.92 ส่วนแป้งกล้วยน้ำว้าดิบและแป้งกล้วยไข่ดิบมีค่ากำลังการพองตัวไม่แตกต่างกัน และจากการศึกษาร้อยละการละลาย พบว่าแป้งกล้วยน้ำว้าดิบ แป้งกล้วยหอมทองดิบ และแป้งกล้วยไข่ดิบ มีค่าร้อยละการละลายไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากผลร้อยละการละลายและกำลังการพองตัวของแป้งกล้วยดิบข้างต้น สามารถจัดกลุ่มแป้งโดยใช้เกณฑ์ค่ากำลังการพองตัว พบว่าแป้งกล้วยจัดอยู่ในกลุ่มแป้งที่มีการพองตัวน้อย (restricted-swelling starches) [27] นอกจากนี้ ร้อยละการละลายและกำลังการพองตัวยังมีความสัมพันธ์กับปริมาณอะมิโลสของแป้งแต่ละชนิดอีกด้วย [28] แป้งกล้วยดิบทั้ง 3 ชนิด มีปริมาณอะมิโลสสูง จึงมีการละลายและกำลังการพองตัวต่ำ

จากผลการศึกษาสมบัติทางเคมี-กายภาพบางประการ พบว่าแป้งกล้วยหอมทองดิบมีค่า RS และปริมาณอะมิโลสสูงกว่าแป้งชนิดอื่น อีกทั้งมีค่ากำลังการพองตัวสูงกว่าแป้งกล้วยดิบชนิดอื่นเล็กน้อย จึงคัดเลือกแป้งกล้วยหอมทองดิบมาผลิตเป็นพาสต้า และศึกษาสมบัติทางเคมี-กายภาพของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตขึ้น

2. ผลของการแปรผันแป้งกล้วยหอมทองดิบทดแทนเซลลูโลสต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์พาสต้า

2.1 ลักษณะปรากฏของพาสต้าจากแป้งกล้วยหอมทองดิบทดแทนเซลลูโลส

ทำการผลิตพาสต้า โดยแปรผันปริมาณแป้งกล้วยหอมทองดิบทดแทนเซลลูโลสที่ระดับร้อยละ 0,

*jiranart.bo@siam.edu

15, 30 และ 45 (โดยน้ำหนักแป้ง) และพิจารณา ลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ แสดงดัง Figure 1A-1D



Figure 1 Appearance of pasta from unripe Hom Thong banana flour (A; 0%, B; 15%, C; 30%, D; 45%,)

2.2 สมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์พาสต้าจากแป้งกล้วยหอมทองดิบทดแทนเซโมลินา

2.2.1 ค่าสีของผลิตภัณฑ์พาสต้า

จากการวัดค่าสีของผลิตภัณฑ์พาสต้า พบว่าค่าความสว่าง (L^*) และค่าสีเหลือง (b^*) จะลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งกล้วยหอมทองดิบมากขึ้น (Table 2) และเมื่อคำนวณค่า Hue Angle ($^{\circ}$) พบว่าพาสต้ามีค่าอยู่ระหว่าง 73.51-82.92 ซึ่งแสดงค่าสีส้มแดง-สีเหลือง และเมื่อพิจารณาค่าความแตกต่างของสี (ΔE) เทียบกับสูตรควบคุม พบว่าพาสต้าที่ใช้แป้งกล้วยหอมทองดิบร้อยละ 15-45 มีค่า ΔE อยู่ระหว่าง 15.32-21.82 โดย

พาสต้าสูตรที่มีระดับการทดแทนร้อยละ 45 มีค่า ΔE สูงสุด อย่างไรก็ตามแป้งกล้วยหอมทองดิบที่นำมาผลิตพาสต้ามีสีค่อนข้างคล้ำ (สีน้ำตาลอ่อน) ในขณะที่เซโมลินามีสีขาวสว่าง ดังนั้นเมื่อมีการใช้แป้งกล้วยหอมทองดิบมากขึ้น สีของผลิตภัณฑ์จะมีค่าความสว่าง และค่าสีเหลืองลดลง นอกจากนี้สีน้ำตาลอ่อนของแป้งกล้วยหอมทองดิบอาจเกิดจากปฏิกิริยาสีน้ำตาลจากการกระทำของเอนไซม์ (enzymatic browning) รวมถึงปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ในกระบวนการเตรียมแป้ง [29]

Table 2 Color of unripe Hom Thong banana pasta

Percent of substitution (%)	Color			Hue ($^{\circ}$)	ΔE
	L^*	a^{*ns}	b^*		
0	46.38 \pm 0.75 ^a	2.61 \pm 0.18	21.02 \pm 1.67 ^a	82.92	-
15	34.92 \pm 5.70 ^b	2.19 \pm 0.28	10.85 \pm 1.37 ^b	78.59	15.32
30	34.98 \pm 2.67 ^b	2.38 \pm 0.07	9.96 \pm 0.58 ^{bc}	76.56	15.88
45	28.83 \pm 1.58 ^b	2.38 \pm 0.18	8.04 \pm 0.57 ^c	73.51	21.82

Remark: Different alphabets within the same column indicate significant difference ($p < 0.05$).

¹The values (Hue and ΔE) are obtained by the calculation of mean values of color (L^* , a^* and b^*) in Table 2.

2.2.2 ร้อยละของผลผลิตที่ได้และร้อยละการสูญเสียน้ำหนักจากการต้มของผลิตภัณฑ์พาสต้า

นำผลิตภัณฑ์พาสต้าจากแป้งกล้วยหอมทองดิบทดแทนเซโมลินา ที่ระดับการทดแทนร้อยละ 0, 15, 30

และ 45 (โดยน้ำหนักแป้ง) มาวิเคราะห์ปริมาณร้อยละของผลผลิตที่ได้และร้อยละการสูญเสียน้ำหนักจากการต้ม ผลการทดลอง แสดงใน Table 3

*jiranart.boosiam.edu

อาจารย์ประจำ ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม กรุงเทพมหานคร
Lecturer, Department of Food Technology, Faculty of Science, Siam University, Bangkok.

Table 3 Cooking yield and cooking loss of unripe Hom Thong banana pasta

Percent of substitution (%)	Cooking yield (%) ^{ns}	Cooking loss (%) ^{ns}	Swelling (%)
0	218.60± 4.75	3.91 ± 0.85	82.81 ± 1.52 ^a
15	215.70± 7.25	2.13 ± 1.14	80.20 ± 1.34 ^{ab}
30	225.17± 1.37	2.00 ± 1.29	80.19 ± 0.52 ^{ab}
45	223.89± 6.21	3.74 ± 0.89	79.92 ± 0.98 ^b

Remark: different alphabets within the same column indicate significant difference ($p \leq 0.05$)

ร้อยละน้ำหนักที่ได้จากการต้ม (cooking yield) ของผลิตภัณฑ์พาสต้าจากแป้งกล้วยหอมทองดิบทดแทนเซโมลินาที่ระดับการทดแทนร้อยละ 0, 15, 30 และ 45 (โดยน้ำหนัก) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 215.70-225.17 (Table 3) ซึ่งพาสต้าสูตรควบคุมและสูตรที่ใช้แป้งกล้วยหอมทองดิบทุกสูตรมีค่า cooking yield อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน (ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์มะกะโรนี; มอก. 475-2526) กำหนดให้มีน้ำหนักตัวอย่างหลังต้ม (ฐานเปียก) ไม่น้อยกว่า 2 เท่าของน้ำหนักตัวอย่าง และผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ นภลัย และคณะ (2553) [30] ที่ศึกษาผลของการเติมใบมะรุยมงในบะหมี่ พบว่ามีค่า cooking yield อยู่ระหว่างร้อยละ 241.54-271.97 และใกล้เคียงกับผลการศึกษา cooking yield ของสปาเก็ตตี้จากแป้งสาลีผสมแป้งกล้วยดิบ โดยมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 248-274.1 [31]

ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักจากการต้ม (cooking loss) อยู่ในช่วงร้อยละ 2.00 – 3.91 โดยพาสต้าที่ระดับการทดแทนด้วยแป้งกล้วยหอมทองดิบร้อยละ 30 จะมี cooking loss ต่ำสุดเท่ากับร้อยละ 2.00 ซึ่ง cooking loss ของผลิตภัณฑ์พาสต้าจากแป้งกล้วยหอมทองดิบทุกสูตร ซึ่งมีค่าต่ำกว่าพาสต้าจากแป้งกล้วยหอมดิบจากงานวิจัยของ Martinez และคณะ [17] ซึ่งรายงานว่ามีค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักจากการต้ม อยู่ในช่วงร้อยละ 4.73-6.17 แสดงให้เห็นว่าพาสต้าพาสต้าสูตรควบคุมและสูตรที่ใช้แป้งกล้วยหอมทองดิบทุกสูตรมีค่า cooking loss ค่อนข้างต่ำ อีกทั้งค่าที่ได้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์

มะกะโรนี (มอก. 475-2526) ซึ่งกำหนดให้มีสารละลายน้ำเมื่อต้มไม่เกินร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก [19]

การแปรปริมาณแป้งกล้วยหอมทองดิบทดแทนเซโมลินามีผลต่อค่าการพองตัวของผลิตภัณฑ์ เมื่อมีการแปรปริมาณแป้งกล้วยหอมทองดิบเพิ่มขึ้น ค่าการพองตัวของพาสต้าจะลดลง ซึ่งสูตรควบคุมมีค่าการพองตัวมากที่สุดเท่ากับร้อยละ 82.10 โดยระดับการทดแทนร้อยละ 15, 30 และ 45 มีค่าการพองตัวเท่ากับ 80.20, 80.19 และ 79.92 ตามลำดับ จะเห็นว่าพาสต้าที่ใช้แป้งกล้วยหอมทองดิบมีค่าการพองตัวลดลง เนื่องจากแป้งกล้วยหอมทองดิบที่ใช้เป็นวัตถุดิบแทนเซโมลินามีค่ากำลังการพองตัวต่ำ และจากการจัดกลุ่มแบ่งโดยใช้เกณฑ์ค่ากำลังการพองตัว พบว่าแป้งกล้วยจัดอยู่ในกลุ่มแป้งที่มี การ พอง ตัว น้อย (restricted-swelling starches) [27] จึงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีค่ากำลังการพองตัวต่ำเช่นเดียวกัน นอกจากนี้ ปัจจัยที่มีผลต่อการพองตัวนอกจากชนิดของแป้งแล้ว ยังขึ้นอยู่กับ ความ แข็งแรงและลักษณะร่างแหของการเกิดเจลของแป้งภายในเม็ดแป้ง สิ่งเจือปนภายในเม็ดแป้ง ปริมาณน้ำในสารละลายเป็นต้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งความแข็งแรงและลักษณะร่างแหภายในเม็ดแป้ง ซึ่งเกิดจากหลายปัจจัยในระดับโมเลกุลได้แก่ ส่วนประกอบและการกระจายภายในร่างแห และอัตราส่วนระหว่างอะมิโลสและอะมิโลเพกติน นอกจากนี้ไขมันที่รวมอยู่ในเม็ดแป้งจะมีผลกระทบต่อคุณสมบัติของแป้ง โดยจะรวมตัวกับอะมิโลสทำให้เกิดเป็น amylose-lipid complex เกิดเป็นโครงร่างผลึกอย่างอ่อน ซึ่งจะเสริมความแข็งแรงให้กับเม็ดแป้ง ทำให้เม็ดแป้งพองตัวได้ช้า [32]

*jiranart.boo@siam.edu

2.2.3 องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์พาสต้า

ปริมาณความชื้น โปรตีน และไขมัน ของผลิตภัณฑ์พาสต้ามีค่าลดลงตามปริมาณการใช้แป้งกล้วยหอมทองดิบทดแทนเซโมลินามากขึ้น (Table 4) ทั้งนี้เนื่องจากแป้งกล้วยหอมทองดิบมีปริมาณความชื้น โปรตีนและไขมันต่ำกว่าเซโมลินา [33] (แป้งกล้วยดิบความชื้นร้อยละ 7.75 โปรตีนร้อยละ 4.43 ไขมันร้อยละ 0.34 ส่วนเซโมลินามีปริมาณความชื้นร้อยละ 9.56

โปรตีนร้อยละ 11.57 และไขมันร้อยละ 0.87 ตามลำดับ)

ผลิตภัณฑ์พาสต้าที่มีการใช้แป้งกล้วยหอมทองดิบทดแทนเซโมลินา มีปริมาณเส้นใยและเถ้า เพิ่มขึ้นโดยสูตรที่มีการทดแทนร้อยละ 45 มีปริมาณสูงสุดเนื่องจากแป้งกล้วยหอมทองดิบมีปริมาณเถ้าสูงกว่าเซโมลินา นอกจากนี้ กล้วยหอมทองอุดมไปด้วยแร่ธาตุจำพวกแคลเซียม ฟอสฟอรัส ธาตุเหล็ก [33] ดังนั้นเมื่อมีการเพิ่มปริมาณแป้งกล้วยหอมทองดิบในผลิตภัณฑ์จะส่งผลให้มีปริมาณเถ้าเพิ่มขึ้น

Table 4 Chemical composition of pasta from Hom Thong unripe banana

Percent of substitution (%)	Chemical composition (%)					
	Moisture	Protein	Fat	Crude Fiber	Ash	Carbohydrate
0	8.80 ± 0.43 ^a	15.17 ± 0.23 ^a	3.05 ± 0.03 ^a	1.64 ± 0.93 ^c	1.38 ± 0.03 ^c	69.96
15	7.94 ± 0.17 ^b	13.81 ± 0.53 ^b	1.77 ± 0.10 ^b	2.90 ± 0.55 ^{bc}	1.40 ± 0.02 ^c	72.18
30	6.90 ± 0.24 ^c	13.09 ± 0.16 ^b	1.05 ± 0.03 ^c	3.32 ± 0.03 ^{ab}	1.85 ± 0.04 ^b	73.79
45	5.70 ± 0.26 ^d	11.30 ± 0.36 ^c	0.78 ± 0.01 ^d	4.78 ± 0.69 ^a	2.15 ± 0.03 ^a	75.29

Remark: different alphabets within the same column indicate significant difference ($p \leq 0.05$)

2.3 การศึกษาปริมาณกลูโคสที่ได้จากการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ของผลิตภัณฑ์พาสต้าจากแป้งกล้วยหอมทองดิบทดแทนเซโมลินา

ทำการศึกษาปริมาณกลูโคสที่ได้จากการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ผลิตภัณฑ์พาสต้าจากแป้งกล้วยหอมทองดิบทดแทนเซโมลินาที่ระดับการทดแทนร้อยละ 0, 15, 30 และ 45 (โดยน้ำหนัก) โดยนำมาย่อยด้วยเอนไซม์และเก็บตัวอย่างในทุกๆ 30 นาที เริ่มจาก 0-120 นาที

ปริมาณกลูโคสที่ได้จากการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ในผลิตภัณฑ์พาสต้าจากแป้งกล้วยหอมดิบทดแทนเซโมลินา ที่ระดับการทดแทน 0, 15, 30 และ 45 (โดยน้ำหนัก) พบว่าปริมาณกลูโคสที่เกิดจากการย่อยสลายผลิตภัณฑ์พาสต้า มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการย่อยมากขึ้น (Figure 2) โดยปริมาณกลูโคสที่เกิดจากการย่อยสลายของผลิตภัณฑ์พาสต้าจากแป้งกล้วยหอมดิบที่ระดับการทดแทนร้อยละ 0 มีค่าสูงสุด

แสดงว่ามีอัตราการย่อยสลายด้วยเอนไซม์มากที่สุดในขณะที่ผลิตภัณฑ์พาสต้าจากแป้งกล้วยหอมทองดิบทดแทนเซโมลินา ที่ระดับการทดแทนมากขึ้น มีอัตราการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ลดลง (ปริมาณกลูโคสที่ได้จากการย่อยสลายด้วยเอนไซม์มีค่าลดลง) เนื่องจากแป้งกล้วยหอมทองดิบมีปริมาณแป้งที่ต้านทานการย่อยสลายด้วยเอนไซม์สูง ดังนั้นเมื่อมีการใช้แป้งกล้วยหอมทองดิบทดแทนเซโมลินามากขึ้น จะยิ่งเพิ่มปริมาณแป้งที่ต้านทานการย่อยสลายด้วยเอนไซม์มากขึ้นด้วย

ผลการทดลอง มีความสอดคล้องกับรายงานวิจัยของ Martinez และคณะ [17] ได้ศึกษาการใช้แป้งกล้วยหอมดิบในผลิตภัณฑ์พาสต้า เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งที่ต้านทานการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ ซึ่งพบว่าผลิตภัณฑ์พาสต้าจากแป้งกล้วยหอมทองดิบทดแทนเซโมลินา มีอัตราการย่อยสลายลดลง เมื่อมีการเพิ่มปริมาณแป้งกล้วยหอมทองดิบมากขึ้น

*jiranart.boosiam.edu

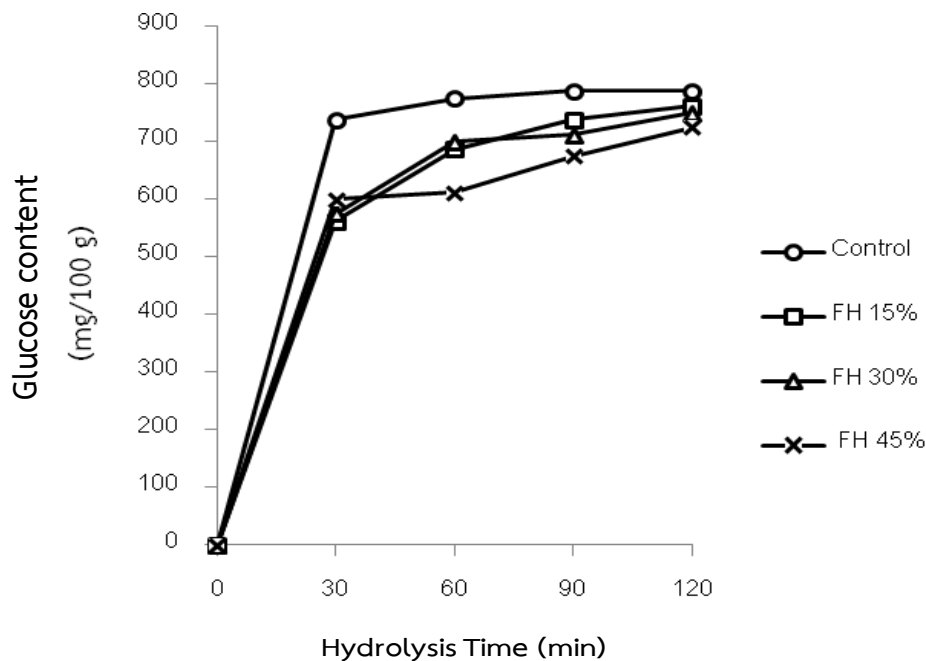


Figure 2 Glucose content of unripe Hom Thong banana pasta from enzymatic hydrolysis

สรุปผล

การผลิตแป้งกล้วยน้ำว้าดิบ แป้งกล้วยหอมทองดิบ และแป้งกล้วยไข่ดิบและศึกษาปริมาณแป้งที่ต้านทานการย่อยสลาย (RS) ในแป้งกล้วยดิบ 3 ชนิด พบว่าแป้งกล้วยหอมทองดิบมีค่า RS สูงสุด แป้งกล้วยดิบทั้ง 3 ชนิดมีปริมาณอะมิโลสสูง ซึ่งค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 38.33 – 44.60 แป้งกล้วยดิบทั้ง 3 ชนิดมีปริมาณร้อยละการละลายและกำลังการพองตัวต่ำ ซึ่งจัดกลุ่มแป้งกล้วยตามเกณฑ์ค่ากำลังการพองตัว อยู่ในกลุ่มการละลายและกำลังการพองตัวต่ำ จากการคัดเลือกแป้งกล้วยหอมทองดิบมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์พาสต้า โดยการแปรผันแป้งกล้วยหอมทองดิบทดแทนเซลูโลส (ร้อยละ 0, 15, 30 และ 45 โดยน้ำหนักแป้ง) พบว่าการเพิ่มปริมาณแป้งกล้วยหอมทองดิบมากขึ้น พาสต้ามีสีเหลืองลดลง ซึ่งสอดคล้องกับค่า L^* และค่า b^* ของผลิตภัณฑ์ที่มีค่าลดลง โดยผลิตภัณฑ์มีสีส้มแดง-สีเหลือง ร้อยละน้ำหนักที่ได้จากการต้ม (Cooking yield) ของผลิตภัณฑ์พาสต้าจากแป้งกล้วยหอมทองดิบอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์มะกะโรนี (มอก. 475 - 2526) แต่มีค่าการพองตัวต่ำ เมื่อใช้ปริมาณแป้งกล้วย

หอมทองดิบเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์มีปริมาณเส้นใย เถ้า และคาร์โบไฮเดรตเพิ่มขึ้น ในขณะที่มีปริมาณโปรตีน ไขมัน และความชื้นลดลง เมื่อเทียบกับสูตรควบคุม (ทดแทนร้อยละ 0) และผลิตภัณฑ์พาสต้าจากแป้งกล้วยหอมทองดิบทดแทนแป้งเซลูโลสทุกสูตร มีปริมาณกลูโคสที่ได้จากการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ต่ำกว่าสูตรควบคุม (ทดแทนร้อยละ 0) ซึ่งแสดงว่ามีอัตราการย่อยสลายต่ำกว่า โดยพาสต้าจากแป้งกล้วยหอมทองดิบสูตรทดแทนร้อยละ 45 มีอัตราการย่อยสลายต่ำสุด ดังนั้นจากการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ สามารถพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพซึ่งจะช่วยให้ผู้บริโภคมีทางเลือกในการรับประทานอาหารที่มีค่า RS สูง ซึ่งอาจจะช่วยให้ค่า glycemic index ของผลิตภัณฑ์อาหารนั้นลดลงกว่าสูตรควบคุมที่ไม่ใช่ RS

เอกสารอ้างอิง

- [1] Sajilata, M.G., Singhal, R.S., and Kullarni, P.R. (2006). Resistant starch: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 5 (1): 1-17.

*jiranart.boo@siam.edu

- [2] Alexander, R.J. (1995). Resistant starch-new ingredient for the food industry. *Cereal Foods World*. 40(6): 455-458.
- [3] Ferguson, L.R., Tasman-Jones, C., Englyst, H., and Harris, P.J. (2000). Comparative effects of three resistant starch preparations on transit time and short-chain fatty acid production in rats. *Nutrition and Cancer*. 36: 230-237.
- [4] Higgins, J.A., Danna, H.R., Donahoo, W.T., Brown, I.L., Bell, M.L., and Bessesen, D.H. (2004). Resistant starch consumption promotes lipid oxidation. *Nutrition & Metabolism*. 1: 1-8.
- [5] กุหลาบ สิทธิสวนจิ. (2553). แป้งทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์: แป้งเพื่อสุขภาพ. *ก้าวทันโลกวิทยาศาสตร์*. ปีที่ 10 (2): 70 -77.
- [6] จิรนารถ บุญคง. (2553). Resistant Starch แป้งที่มีบทบาทต่อสุขภาพ. *วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม*. ปีที่ 6 (1): 1-8.
- [7] Vatanasuchart, N., Miyomwit, B. and Wongkrojang, K. (2009). Resistant starch contents and the in vitro starch digestibility of Thai foods. *Starchy Foods*. 178-186.
- [8] Raben, A., Tagliabue, A., Christensen, N.J., Madsen, J., Holst, J.J. and Astrup, A. (1994). Resistant starch: The effect on postprandial glycemia, hormonal response and satiety. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 60: 544 - 551.
- [9] สรจักร ศิริบริรักษ์. (2544). *เภสัชโภชนา 4*. สำนักพิมพ์ โรงพิมพ์กรุงเทพ. หน้า 323-325.
- [10] Hernandez-Nava, R.G., Berrios, J.D.J., Pan, J., Osorio-Diaz, P. and Bello-Perez, L.A. (2009). Development and characterization of spaghetti with high resistant starch content supplemented with banana starch. *Food Science and Technology International*. 15(1): 73-78.
- [11] Baixauli, R., Sanz, T., Salvador, A. and Fiszman, S.M. (2008). Muffins with resistant starch: Baking performance in relation to the rheological properties of the batter. *Journal of Cereal Science*. 47: 502-509.
- [12] Srikaeo, K. and Sangkhiaw, J. (2014). Effect of amylase and resistant starch on glycemic index of rice noodles. *LWT-Food Science and Technology*. 59: 1129-1135.
- [13] Choo, C.L., Abdul Aziz, N.A.A. (2010). Effects of banana flour and β -glucan on the nutritional and sensory evaluation of noodles. *Food Chemistry*. 119: 34-40.
- [14] Goni, I., Alonso, A.G. and Calixto, F.S. (1997). A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index. *Nutrition Research*. 17(3): 427-437.
- [15] Juilano, B.O. (1971). A simplified assay milled-rice amylose. *Cereal Science*. 16: 334-338.
- [16] Schoch, T.J. (1964). Swelling power and solubility of granular starches. In R.L. Whistler, R.J. Smith and J.N. BeMiller (eds.), *Method in Carbohydrates Chemistry*. New York: Academic Press. 106-108.
- [17] Martinez, M.O., Ayerdi, S.S., Acevedo, E.A., Goni, I. and Bello-Perez, L.A. (2009). Unripe banana flour as an ingredient to increase the undigestible carbohydrates of pasta. *Arch. Food Chemistry*. 113: 121-126.
- [18] CIE Publication No. 15.2. (1986). *Colorimetry 2nd ed.*, Central Bureau of CIE, Vienna, available from USNC-CIE Publication Office, c/o TLA Lighting Consultants, Inc.

- [19] กระทรวงอุตสาหกรรม. (2526). มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มะกะโรนี มอก.475-2526. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ
- [20] AACC. (2000). Method 08-01, 46-30, 55-40, 66-50, 76-13, and 76-31, 10th ed, In Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists. The Association, St Paul, MN.
- [21] AOAC. (2000). Official Methods of Analysis of Association of Official Analytical Chemists Inc. 17th ed., Virginia.
- [22] Holm, J., Bjorck, I., Asp, N.G., Sjoberg, L.B. and Lundquist, I. (1985). Starch availability in vitro and in vivo after flaking, steam-cooking and popping of wheat. *Journal of Cereal Science*. 3: 193-200.
- [23] Somogyi, M. (1952). A new reagent for the determination of sugars. *Journal of Biological Chemistry*. 160: 61-68.
- [24] สิริลักษณ์ ภัคศิรีพันธ์ และจันทนี อูริยะพงศ์ สวรรค์. (2553). ผลของฤดูการเก็บเกี่ยว และพันธุ์ต่อปริมาณแป้งทนย่อยและคุณสมบัติด้านเพสท์ของแป้งเผือก และสตาร์ช. *วารสาร วิทย์. กษ.* 41(3/1) (พิเศษ): 261-264.
- [25] Eerlingen, R.C. and Delcour, J.A. (1995). Formation, analysis, structure and properties of type III enzyme resistant starch. *Journal of Cereal Science*. 22: 129-138.
- [26] Imprapai, K. Kerdchoechuen, O. and Laohakunjit, N. (2010). Investigation physical and mechanical properties of °C edible film from cassava starch and rice starch. *Agricultural Sci. J.* 41(3/1): 609-612.
- [27] Nimsung, P., Thongngam, M. and Naivikul, O. (2004). Some properties of raw banana flour and starch from Thai banana cultivars. *Proceeding The 3rd National Conference on Starch Technology*. BioThailand. Bangkok, Thailand.
- [28] Arvanitoyannis, C.G., Biliaderis, H. and Kawasaki, N. (1999). Biodegradable films made from low density polyethylene (LDPE), rice starch, and potato starch for food packaging applications. *Carbohydrate polymers*. 36(2): 89-104.
- [29] Whister, R.L. (1998). Banana starch production. US Patent 5797985.
- [30] นภลัย ประสิทธิ์เชษฐ์กิจ กุลยา ลีมรุ่งเรืองรัตน์ และ อโนชา สุขสมบูรณ์. (2553). ผลของการเติมไบโอมะรุผง ต่อคุณภาพหลังการต้มและลักษณะเนื้อสัมผัสของบะหมี่แห้ง. การประชุมวิชาการบัณฑิตศึกษาศิลปากร ระดับชาติ ครั้งที่ 1. วันที่ 10-11 พฤษภาคม 2554 ณ ศูนย์มานุษยวิทยาสิรินธร และหอศิลปมหาวิทยาลัยศิลปากร วังท่าพระ กรุงเทพฯ. หน้า 1477-1481.
- [31] Perla Osorio-Díaz, José J. Islas-Hernández, Edith Agama-Acevedo, Sandra L. Rodríguez-Ambríz, María E. Sánchez-Pardo, Luis A. Bello-Pérez. (2014). Chemical, starch digestibility and sensory characteristics of durum wheat/unripe whole banana flour blends for spaghetti formulation. *Food and Nutrition Science*. 5: 264-270.
- [32] กล้านรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยจอมขวัญ. (2546). เทคโนโลยีแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร. หน้า 12-15. 41-42.
- [33] กองโภชนาการ กรมอนามัย. (2530). ตารางแสดงคุณค่าทางอาหารไทยในส่วนที่กินได้ 100 กรัม. กรุงเทพฯ: 312.