สมบัติทางเคมี กายภาพ ของแป้งเท้ายายม่อม และสมบัติทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์
PHYSIO-CHEMICAL PROPERTIES OF TAO YAI MOM FLOUR AND SENSORY PROPERTIES OF PRODUCT

พัชราภรณ์ แสงโยจารย์[1], จันทร์เฉิดฉาย สังเกตุกิจ[1], ภูวิพัฒน์ เกียรติ์สาคเรศ[1], ธนภัทรนมัสไธสง[1], ณิชาภา สารธิยากุล[1] และ จักรินทร์ สนุกแสน[1]

Pacharaporn Sangyojarn, Chancherdchai Sangketkit, Puwipat Kiatsakared, Thanaphat Namasthisong, Nichapa Sarthiyakul and Jakkarin Sanuksan

[1]*มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์*

Rajamangala University of Technology Isan, Surin campus

บทคัดย่อ

จากการศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพของหัวเท้ายายม่อมและแป้งเท้ายายม่อม พบว่า หัวเท้ายายม่อมที่ปอกเปลือกและแป้งเท้ายายม่อมมีความชื้น ไขมัน โปรตีน เยื่อใย เถ้า คาร์โบไฮเดรตที่ร่างกายย่อยได้คาร์โบไฮเดรตทั้งหมดและสตาร์ชทั้งหมด 65.79 , 0.63, 4.23, 6.59, 7.13, 17.34, 22.22 และ 6.83 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และ 12.85, 0.55, 0.81, 2.79, 0.61, 82.39,85.18 และ 80.56 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ แป้งเท้ายายม่อมมีปริมาณอะไมโลส 18.69 เปอร์เซ็นต์ค่าวอเตอร์แอกติวิตี 0.29 ค่าสี N 9/0.5 สีขาว ออกซาเลทที่มีในหัวเท้ายายม่อมและแป้งเท้ายายม่อมส่วนใหญ่อยู่ในรูปของออกซาเลทที่ละลายน้ำได้ ปริมาณออกซาเลททั้งหมดในหัวเท้ายายม่อมที่มีเปลือกมีค่ามากกว่าหัวเท้ายายม่อมที่ปอกเปลือก 3.17 และ 1.70 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักสดตามลำดับ แป้งเท้ายายม่อมมีปริมาณออกซาเลททั้งหมด 0.16 เปอร์เซ็นต์ พฤติกรรมความหนืดของแป้งเท้ายายม่อมมีลักษณะคล้ายกับแป้งมันสำปะหลัง มีค่าความหนืดสูงสุด (peak) เบรกดาวน์ (breakdown) ความหนืดสุดท้ายของช่วงการทำให้เย็น (final viscosity) และเซตแบคก์ (setback) มีค่า 1718.70, 1040.30, 1093.00 และ 409.33 BU และอุณหภูมิเริ่มเกิดเพสท์ คือ 69.83 องศาเซียลเซียส อย่างไรก็ตามแป้งเท้ายายม่อมมีความคงตัวของเจลดีกว่าแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ความหย่อนโค้ง 25.11 และ 55.94 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ จากการทดลองผลิตขนมบัวหิมะจากแป้งเท้ายายม่อมโดยการทดแทนแป้งข้าวเจ้า 30, 40, 50 และ 60 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณแป้งข้าวเจ้า การประเมินทางประสาทสัมผัสโดยใช้ผู้ทดสอบชิมที่ไม่ได้ผ่านการฝึกทั้งหมด 30 คน ใช้วิธีทดสอบแบบ 9 - point hedonic scale พบว่า ขนมบัวหิมะจากแป้งเท้ายายม่อมได้รับการยอมรับในด้านกลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส ลักษณะภายนอก และความชอบโดยรวม ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) กับขนมบัวหิมะที่ใช้เฉพาะแป้งข้าวเจ้าโดยมีความชอบอยู่ระหว่าง 6.50 – 7.56 ซึ่งหมายถึงชอบปานกลางถึงชอบมาก

Abstract

Physio-chemical properties of tubers and flour of Tao Yai Mom (*Tacca leontopetaloides* Ktze) were studied and found that the contents of moisture, fat, protein, fiber, ash, digestible carbohydrate, total carbohydrate and total starch in peeled tubers and flour were 65.79, 0.63, 4.23, 6.59, 7.13, 17.34, 22.22 and 6.83 percentages respectively and 12.85, 0.55, 0.81, 2.79, 0.61, 82.39, 85.18 and 80.56 percentages respectively. The content of amylose in flour was 18.69 percentages, the values of water activity and color were 0.29 and N 9/0.5. Oxalates in tubers and flour were mostly found in the form of water soluble oxalates. Total oxalates in whole tubers were higher than peeled tubers with the values of 3.17 and 1.7 percentages respectively. The flour contained only 0.16 percentages. Pasting rheology of Tao Yai Mom flour was similar to tapioca flour. The values of the peak, breakdown, final viscosity and setback were 1718.7, 1040.3, 1093.0and409.33 BU respectively. The pasting temperature was 69.3 ºC. However, the stability of gel of Tao Yai Mom flourwas better than tapioca flour with percentages of sag

of 25.11 and 55.94 respectively. Food product called “Bua Hima” was developed by replacing rice flour with Tao Yai Mom flour of 30, 40, 50 and 60 percentages. Sensory evaluation using 9 - point hedonic scale test by 30 untrained panelists showed that “Bua Hima” from Tao Yai Mom flour were accepted in oder flavour, texture, appearance and overall preference not significantly different from that made from whole rice flour. The liking scores were 6.50 – 7.56, meaning moderate to most preference.

คำสำคัญ : เท้ายายม่อม แป้ง ออกซาเลท ความหนืด เจล
Keywords: *Tacca leontopetaloides*, flour, oxalate, viscosity, gel

บทนำ

เท้ายายม่อมเดิมจัดในวงศ์เนระพูสีไทย (Taccaceae) แต่ปัจจุบันจัดรวมในวงศ์กลอย (Dioscoreaceae) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Tacca leontopetaloides* (L.) Kuntze เป็นพืชที่มีหัว มีชื่อเรียกอื่นๆ ว่า ไม้เท้าฤาษี (ภาคกลาง) บุกรอ (ตรัง) และสิงโตดำ (กรุงเทพ) พืชชนิดนี้คาดว่ามีถิ่นกำเนิดในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ กระจายพันธุ์ตั้งแต่แอฟริกา เอเชีย โอเชียเนีย จนถึงเกาะในมหาสมุทรแปซิฟิก จนเป็นพืชท้องถิ่นในทวีปแอฟริกา เอเชียใต้ เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ออสเตรเลียเหนือ นิวกินี ซามัว หมู่เกาะไมโครนีเซีย และฟิจิ เท้ายายม่อมเป็นไม้ล้มลุกอายุยืน พืชใบเลี้ยงเดี่ยวที่เป็นพืชล้มลุกหลายปี มีลำต้นใต้ดินสะสมอาหาร (ภาพที่ 1) ในประเทศไทย พบ 2 สายพันธุ์ คือ พันธุ์สีเขียวและพันธุ์สีม่วง พบเท้ายายม่อม ค่อนข้างหนาแน่นในป่าบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกและภาคใต้และพบอยู่อย่างกระจัดกระจายในป่าภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ไม่มีรายงานว่ามีการปลูกเพื่อการค้ามีการเจริญเติบโตเป็น 2 ช่วง คือช่วงเจริญเติบโตทางต้น ประมาณเดือนพฤษภาคม ถึงเดือนตุลาคม และช่วงพักตัวประมาณเดือนพฤศจิกายน เป็นต้นไป เจริญเติบโตได้ดีในสภาพร่มเงาต้นไม้ในป่าโปร่งที่เป็นดินทรายหรือดินร่วนทราย ที่มีระบบระบายน้ำดี และค่อนข้างทนแล้ง ไม่มีลำต้น เหง้าใต้ดินเป็นหัวกลมแบนหรือรีกว้าง เปลือกหัวบาง ผิวเรียบ เมื่ออ่อนสีขาว แก่แล้วเป็นสีเทาหรือสีน้ำตาล เนื้อหัวสีขาว ฉ่ำน้ำเล็กน้อย ดอกสีเหลืองหรือเขียวแกมม่วงเข้ม ผลสีส้มอ่อน มีเมล็ดมาก เนื้อผลห่ามๆ เมล็ดแบน หัวสดรับประทานไม่ได้ มีรสขม แต่สามารถสกัดแป้งมาใช้ประโยชน์ได้ (พัชราภรณ์, 2543)

ก ข ค

ภาพที่ 1 ต้นเท้ายายม่อม (ก) ดอกของพันธุ์สีเขียว (ข) และพันธุ์สีม่วง (ค)

สุมาลี และเสกสรร (2547) พบว่าหัวเท้ายายม่อมมีความชื้น ไขมัน โปรตีน เยื่อใย เถ้า และคาร์โบไฮเดรตที่ร่างกายย่อยได้ 65.56, 0.20, 3.50, 6.30, 9.01 และ 21.73 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แป้งเท้ายายม่อมมีโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต เถ้า เส้นใยและความชื้น 5.1, 0.143, 73.96, 8.8, 0.3 และ 12 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ Flach and Rumawas (1996) พบว่า แป้งเท้ายายม่อมมีปริมาณคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน ไฟเบอร์ เถ้า และเซลลูโลส 89.4 , 5.1, 0.2, 8.8, 3.2 และ 2.1 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ปิติพร (2546) พบว่าแป้งเท้ายายม่อมมีองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ไขมัน เส้นใยหยาบ โปรตีน เถ้า และคาร์โบไฮเดรต 0.03, 0.41, 0.05, 0.15 และ 99.36 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ปิติพร (2546) สุมาลี และเสกสรร (2547) และ Flach and Rumawas (1996) พบว่า แป้งเท้ายายม่อมมีปริมาณอะไมโลส 28, 22 และ 20 -30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ปิติพร (2546) พบว่า อุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลาติไนซ์ของแป้งเท้ายายม่อมเท่ากับ 68 องศาเซียลเซียส เจลแป้งเท้ายายม่อมและเจลแป้งมันสำปะหลังมีลักษณะคล้ายกัน โดยที่เจลแป้งเท้ายายม่อมมีค่าYoung's modulus ที่ช่วงค่าความเครียดน้อยกว่า 0.2 เท่ากับ 3.94 kPa และ มีค่าระดับความสามารถในการคืนตัวสู่สภาพเดิม 67.36 เปอร์เซ็นต์

แป้งเท้ายายม่อมนิยมนำมาผสมกับแป้งชนิดอื่นๆ เช่น ผสมกับแป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวโพด และแป้งข้าวเจ้า เพื่อให้ได้อาหารที่มีความเข้มเหนียวและเป็นมันวาว เช่น ขนมชั้น ขนมกล้วย ขนมช่อม่วง ขนมวุ้นกรอบ ขนมฟักทอง ขนมถ้วยหน้ากะทิ ลอดช่องกะทิ กะละแม ข้าวเกรียบปากหม้อ ครองแครงกะทิ เต้าส่วน ทับทิมกรอบ บัวลอย ใช้ผสมกับแป้งถั่วเขียวเพื่อทำซ่าหริ่ม หรือนำมาผสมกับแป้งเผือกและแป้งสาลีเพื่อทำขนมเค้ก ขนมพุดดิ้ง และขนมปัง สำหรับอาหารคาวนำมาใช้เป็นส่วนผสมในราดหน้า กระเพาะปลา หอยทอด เป็นต้น เท้ายายม่อม เป็นพืชชนิดหนึ่งที่เสี่ยงต่อการสูญพันธุ์ คณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพ ความสามารถในการย่อยของแป้งเท้ายายม่อม และพัฒนาผลิตภัณฑ์จากแป้งเท้ายายม่อม เพื่อเป็นแนวทางในการนำแป้งเท้ายายม่อมไปใช้ประโยชน์ต่อไป งานวิจัยนี้เป็นงานสนองพระราชดำริในโครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริฯ

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

1. ศึกษาสมบัติทางเคมีของหัวเท้ายายม่อมทั้งมีเปลือกและไม่มีเปลือก วิเคราะห์องค์ประกอบหลักทางเคมี ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า เยื่อใย คาร์โบไฮเดรต และสตาร์ช (AOAC, 2005) วิเคราะห์หาสารประกอบออกซาเลต (Oxalate) ที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำ โดยวิธีการไตเตรทกับสารละลายมาตรฐาน โปแทสเซียมเปอร์แมงกะเนต ($KMnO_4$) ดัดแปลงจากวิธีการของ Abaza *et al.* (1986)

2. ศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของแป้งเท้ายายม่อม

2.1 การเตรียมแป้งเท้ายายม่อม นำหัวเท้ายายม่อมมาล้างทำความสะอาด ปอกเปลือกและหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ ชั่งหัวเท้ายายม่อม 1 กิโลกรัม น้ำ 3 ลิตร ทำการปั่นละเอียดนาน 3 นาที กรองด้วยผ้าขาวบาง 2 รอบ ทิ้งให้แป้งตกตะกอนนาน 3 ชั่วโมง แล้วเปลี่ยนน้ำใหม่ โดยใช้น้ำ 3 ลิตร หมักที่อุณหภูมิห้อง 24 ชั่วโมง รินน้ำออกแล้วเติมน้ำ 3 ลิตร หมักไว้ให้ตกตะกอน 3 ชั่วโมงแล้วเทน้ำทิ้ง แป้งที่ได้นำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง แล้วบดให้ละเอียด ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 80เมซ บรรจุในถุงฟอยด์สภาวะสุญญากาศ

2.2 การตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพของแป้ง เท้ายายม่อม โดยเปรียบเทียบกับแป้งข้าวโพด และแป้งมันสำปะหลัง ดังนี้ วัดค่าสี โดยใช้หนังสือ มันเซลล์ (Munshell book) และค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ (Water activity, Aw) ตรวจสอบเม็ดสตาร์ชโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ (Microcopic examination) วัดความคงตัวของเจลโดยการวัดเปอร์เซ็นต์ความหย่อนโค้งโดยดัดแปลงจากวิธีการของ ศิริลักษณ์ (2522) และพฤติกรรมความหนืดของแป้งโดยใช้เครื่อง Brabender amylograph

2.3 การตรวจสอบคุณภาพของแป้งทางเคมี ดังนี้ วิเคราะห์องค์ประกอบหลักทาง เคมี ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า เยื่อใย คาร์โบไฮเดรต และสตาร์ช (AOAC, 2005) ปริมาณอะไมโลส (Amylose) โดยดัดแปลงจากวิธีการของ Julaino (1971) สารประกอบออกซาเลต (Oxalates) โดยดัดแปลงจากวิธีการของ Abaza *et al.* (1986) ปริมาณสตาร์ชทั้งหมด (Total Starch) โดยดัดแปลงจากวิธีการของ AOAC Official Method 996.11 (2005)

3. พัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารจากแป้งเท้ายายม่อม

คัดเลือกสูตร ในการผลิตขนมบัวหิมะโดยใช้สูตรอ้างอิงจำนวน 3 สูตร วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตขนมบัวหิมะ ได้แก่ แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวเหนียว แป้งตราว่าว นมสด นมข้นหวาน น้ำตาลทราย และ น้ำมันพืช แล้วศึกษาการ ใช้แป้งเท้ายายม่อมทดแทนแป้งข้าวเจ้า ในปริมาณ 0, 30, 40, 50และ 60เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของแป้งข้าวเจ้า ทดสอบคุณภาพทางด้านกลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส ลักษณะภายนอกและความชอบโดยรวม โดยใช้วิธีทดสอบแบบ 9 - point hedonic scale ใช้ผู้ทดสอบชิมที่ไม่ได้ผ่านการฝึก 30 คน มีเกณฑ์การให้คะแนนคือ 1 = ไม่ชอบมากที่สุด , 2 =ไม่ชอบมาก , 3 = ไม่ชอบปานกลาง , 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย , 5 = เฉย, 6 = ชอบเล็กน้อย, 7 = ชอบปานกลาง, 8 = ชอบมาก และ 9 = ชอบมากที่สุด

4. การวิเคราะห์ทางสถิติ โดยวางแผนการทดลองแบบแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) สำหรับสมบัติทางกายภาพและทางเคมี ส่วนการวางแผนทดลองแบแบบบล็อกสุ่ม (Randomized Completely Block Design: RCBD) ใช้สำหรับการทดสอบทางประสาทสัมผัส วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาความแตกต่างทางสถิติ โดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p<0.5$) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Dancan's New Multiple Range Test (DMRT)

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. ผลการศึกษาสมบัติทางเคมีของหัวเท้ายายม่อมและแป้งเท้ายายม่อม

จากการ ศึกษาองค์ประกอบหลักทางเคมี ของหัวเท้าเท้ายายม่อมทั้งมีและไม่มีเปลือกเปรียบเทียบกับแป้งเท้ายายม่อม พบว่า หัวเท้ายายม่อมมีความชื้นสูง หัวมีเปลือกและไม่ มีเปลือกมี ปริมาณความชื้น 68.89 และ 65.79 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ มีปริมาณไขมัน 0.63 เปอร์เซ็นต์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) หัวเท้ายายม่อมรวมทั้งเปลือกมีปริมาณเยื่อใยมากกว่าหัวเท้ายายม่อมที่ปอกเปลือกและแป้ง หัวเท้ายายม่อมที่ปอกเปลือกแล้วมีความชื้น ไขมัน โปรตีน เยื่อใย เถ้า คาร์โบไฮเดรตที่ร่างกายย่อยได้ และคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด 65.79 , 0.63, 4.23, 6.59, 7.13, 17.34 และ 22.22 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนแป้งเท้ายายม่อมมี 12.85, 0.55, 0.81, 2.79, 0.61, 82.39 และ 85.18 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ปริมาณสตาร์ชทั้งหมดของหัวเท้ายายม่อมที่มีและไม่มีเปลือกมีค่า 7.50 และ 6.83 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักสด ตามลำดับ ส่วนแป้งเท้ายายม่อมมีสตาร์ชทั้งหมด 80.56 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 องค์ประกอบหลักทางเคมีของหัวเท้ายายม่อมและแป้งเท้ายายม่อม

องค์ประกอบทางเคมี	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักสด		
	หัวเท้ายายม่อมมีเปลือก	หัวเท้ายายม่อมไม่มีเปลือก	แป้งเท้ายายม่อม
ความชื้น	68.89±0.46[a]	65.79±0.46[b]	12.85±0.16[c]
ไขมัน	0.63±0.05[a]	0.63±0.21[a]	0.55±0.03[b]
โปรตีน	4.69±0.64[a]	4.23±0.37[b]	0.81±0.10[c]
เยื่อใย	6.59±0.49[a]	4.88±0.14[b]	2.79±0.03[c]
เถ้า	7.45±0.76[a]	7.13±0.18[a]	0.61±0.15[b]
คาร์โบไฮเดรตที่ร่างกายย่อยได้	12.95±0.70[c]	17.34±0.22[b]	82.39±0.26[a]
คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด	18.64±0.92[c]	22.22±0.12[b]	85.18±0.27[a]
สตาร์ชทั้งหมด	7.50±0.04[b]	6.83±0.36[c]	80.56±0.29[a]
อะมิโลส	-	-	18.69±1.50

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกันที่มีตัวอักษรต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ก ข

ภาพที่ 2 หัวเท้ายายม่อมมีเปลือก (ก) และที่ปอกเปลือก (ข)

ปริมาณออกซาเลตที่มีในหัวเท้ายายม่อมและแป้งเท้ายายม่อมส่วนใหญ่อยู่ในรูปของออกซาเลตที่ละลายน้ำได้ ปริมาณออกซาเลตทั้งหมดในหัวเท้ายายม่อมที่มีเปลือกมีค่ามากกว่าหัวเท้ายายม่อมที่ปอกเปลือก คือ 3.17 และ 1.70 เปอร์เซ็นต์ (3170 และ 1700 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม) และมีปริมาณออกซาเลตที่ละลายน้ำได้ 2.62 และ 1.45 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักสด ตามลำดับ (2620และ 1450 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม)ปริมาณออกซาเลตลดลงมากเมื่อปอกเปลือกออก และแปรรูปเป็นแป้ง โดยปริมาณออกซาเลตลดลง 46.37 เปอร์เซ็นต์ และ 94.95 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แป้งเท้ายายม่อมมีปริมาณออกซาเลตทั้งหมดประมาณ 0.16 เปอร์เซ็นต์ (160 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม) และอยู่ในรูปออกซาเลตที่ละลายน้ำได้และไม่ละลายน้ำ 0.11 และ 0.05 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (110 และ 50 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม) คิดเป็น 68.75 และ 31.25 เปอร์เซ็นต์ของออกซาเลตทั้งหมด (ตารางที่ 2) ซึ่งหัวเท้ายายม่อมจัดเป็นพืชที่มีปริมาณออกซาเลตสูงมาก อาจเป็นอันตรายถึงชีวิตถ้ารับประทานสด (Fassett, D.W. 1973 ; Hodgkinson, 1977) อย่างไรก็ตามการปอกเปลือกทำให้ปริมาณออกซาเลทลดลง เพราะออกซาเลตมีในเปลือกมาก (Libert and Franceschi, 1987 ; Concon, 1988) การแปรรูปเป็นแป้งทำให้ปริมาณออกซาเลตลดลงมาก ในช่วงการหมักน้ำแป้งและล้างแป้ง ทำให้ออกซาเลตที่ละลายน้ำได้ละลายออกมา และในช่วงการหมักจุลินทรีย์ ได้แก่ ยีสต์สามารถใช้ออกซาเลตเป็นแหล่งของคาร์บอนช่วยในการเจริญเติบโตและสร้างพลังงาน Sangketkit (2010) พบว่า การหมักอุ่นป่าเพื่อผลิตเป็นไวน์อุ่นป่า ทำให้ปริมาณออกซาเลตลดลงมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ไวน์ไม่มีรสเฝื่อน หรือคันระคายคอเหมือนการรับประทานผลอุ่นป่าสดที่มีปริมาณออกซาเลตสูง

ออกซาเลทพบได้ทั่วไปในพืช อาจพบในลักษณะที่เป็นผลึกไม่ละลายน้ำในรูปของแคลเซียม หรือ แมกนีเซียม ออกซาเลท(Calcium or Magnesium oxalate) และในรูปของกรดออกซาลิกโปตัสเซียมแอมโมเนียม หรือ โซเดียม ออกซาเลท(Potassium, Ammonium or Sodium oxalates) ที่ละลายน้ำได้ (Bradburyand Halloway, 1988; Libert and Franceschi, 1987; Concon, 1988) พืชแต่ละชนิดมีปริมาณออกซาเลทแตกต่างกัน พืชที่มีปริมาณออกซาเลทสูง ได้แก่ ใน 100 กรัม ของน้ำหนักสด ผักขม (Spinach) มี ออกซาเลท 320 – 1260 มิลลิกรัม นิวซีแลนด์แยมมี 80 –194 มิลลิกรัม ใบชา (Tea) มี 375 – 1450 มิลลิกรัมชอกโกแลต มี 117 – 124 มิลลิกรัม และเผือก (Taro) มี 60 – 65 มิลลิกรัมเป็นต้น ส่วนพืชที่มีปริมาณออกซาเลทน้อย ได้แก่พวกธัญพืชและผลไม้ต่างๆ เช่น ใน 100 กรัม ของน้ำหนักสด พบออกซาเลทใน กล้วย 0.7 มิลลิกรัม แอปเปิล 1.5 มิลลิกรัมและ ข้าวโพด 9. 1มิลลิกรัม(Libert and Franceschi, 1987 ; Concon, 1988 ; Sangketkit *et al*., 2001) ซึ่งในพืชแต่ละชนิดมีปริมาณออกซาเลทที่ละลายน้ำได้และไม่ละลายน้ำในสัดส่วนที่แตกต่างกันไป เช่น ในแยม (*Dioscorea* spp.) มีออกซาเลทที่ละลายน้ำได้ เพียง 11 –24 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่มันเทศมีถึง 64 เปอร์เซ็นต์ ในมันฝรั่งมี 50 เปอร์เซ็นต์ (Holloway *et al*., 1989 ; Jiru and Urga, 1995)

ตารางที่ 2 ปริมาณออกซาเลตของหัวเท้ายายม่อมและแป้งเท้ายายม่อม

สิ่งที่ทดลอง	ของแข็งทั้งหมด (%)	เปอร์เซ็นต์ออกซาเลตโดยน้ำหนักสด ออกซาเลตทั้งหมด	ออกซาเลตที่ละลายน้ำได้	ออกซาเลตที่ไม่ละลายน้ำ
หัวเท้ายายม่อมมีเปลือก	31.11±0.46[c]	3.17±0.02[a]	2.62±0.01[a]	0.55±0.03[a]
หัวเท้ายายม่อมไม่มีเปลือก	34.21±0.46[b]	1.70±0.01[b]	1.45±0.03[b]	0.25±0.02[b]
แป้งเท้ายายม่อม	87.15±0.16[a]	0.16±0.01[c]	0.11±0.01[c]	0.03±0.02[c]

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีตัวอักษรต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

2. ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของในแป้งเท้ายายม่อม

ค่าวอเตอร์แอกติวิตีของแป้งเท้ายายม่อมมีค่าต่ำสุด คือ 0.29 ส่วนแป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวโพดมีค่า 0.52 และ 0.54 ตามลำดับ แป้งทั้งสามชนิดทีค่าสี N 9/0.5 สีขาว จากการติดตามพฤติกรรมความหนืดของแป้ง ตลอดช่วงการให้ความร้อนและการทำให้เย็นพบว่าคุณสมบัติแป้งเปียก (Pasting properties) แต่ละชนิด พบว่า ค่าความหนืดสูงสุด (Peak) ค่าเบรกดาวน์ (Breakdown) ความหนืดสุดท้ายของช่วงการทำให้เย็น (Final viscosity) ความหนืดที่กลับสูงขึ้นมาอีก (Setback) และอุณหภูมิเริ่มเกิดเพสท์ (Pasting temperature) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แป้งมันสำปะหลังมีค่าความหนืดสูงสุด (Peak) ความหนืดสุดท้ายของช่วงการทำให้เย็น (Final viscosity) และความหนืดที่กลับสูงขึ้นมาอีก (Setback) มากที่สุดคือ 1791.30, 1022.30, 1358.30 และ 581.67 Brabender Unit (BU) ตามลำดับ ส่วนแป้งข้าวโพดมีค่าต่ำที่สุด คือ 985.67, 409.00, 940, และ 358.00 BU ตามลำดับ แป้งเท้ายายม่อมและแป้งมันสำปะหลังมีค่าเบรกดาวน์ (breakdown) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และมีค่ามากกว่าแป้งข้าวโพด คือ 1040.30, 1022.30 และ 409.00BUตามลำดับ แป้งข้าวโพดมีค่าอุณหภูมิเริ่มเกิดเพสท์มากที่สุด คือ 69.83ºC สูงกว่าแป้งมันสำปะหลัง แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) กับแป้งเท้า ยายม่อม 63.83ºC และ 69.83ºC ตามลำดับ (ตารางที่ 3) ค่าความคงตัวของเจล โดยวัดเป็นเปอร์เซ็นต์ความหย่อนโค้ง (Percentage of sag) ของเจลแป้งเท้ายายม่อมเปรียบเทียบกับแป้งข้าวโพดและแป้งมันสำปะหลัง พบว่าเปอร์เซ็นต์ความหย่อนโค้ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แป้งที่มีเปอร์เซ็นต์ความหย่อนโค้งน้อยแสดงถึงการมีความคงตัวของเจลสูง ซึ่งแป้งข้าวโพดมีเจลที่มีความคงตัวดีที่สุด รองลงมาคือแป้งเท้ายายม่อม ส่วนแป้งมันสำปะหลังเจลไม่มีความคงตัว ไม่สามารถคงรูปได้ เปอร์เซ็นต์ความหย่อนโค้ง มีค่า 5.46, 25.11 และ 55.94 ตามลำดับ

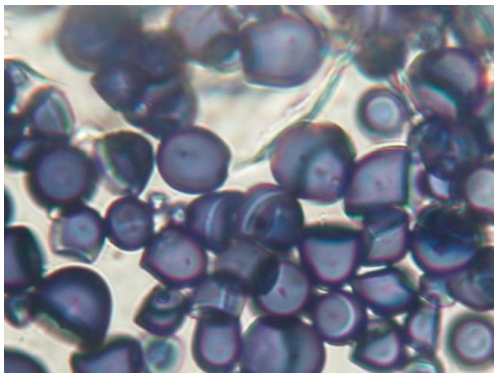
ตารางที่ 3 คุณสมบัติแป้งเปียกของแป้งข้าวโพด แป้งมันสำปะหลัง และแป้งเท้ายายม่อม

สิ่งที่ทดลอง	Peak (BU)	Breakdown (BU)	Final viscosity (BU)	Setback (BU)	Pastingtemperature (°C)
แป้งข้าวโพด	985.67±17.89[c]	409.00±18.68[b]	940.00±13.20[c]	358.00±13.11[c]	69.83±3.58[a]
แป้งมันสำปะหลัง	1791.30±25.42[a]	1022.30±22.94[a]	1358.30±17.24[a]	581.67±14.50[a]	63.83±0.15[b]
แป้งเท้ายายม่อม	1718.70±7.77[b]	1040.30±5.86[a]	1093.00±34.07[b]	409.33±30.27[b]	66.96±0.15[ab]

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีตัวอักษรต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

แป้งข้าวโพดมีความคงตัวของเจลดีที่สุด เพราะมีปริมาณอะไมโลสสูง (38 เปอร์เซ็นต์) ส่วนแป้งมันสำปะหลังมีอะไมโลสต่ำ (ประมาณ 17 – 19 เปอร์เซ็นต์) ดุษฎี และน้องนุช (ม.ป.ป.) กล่าวว่า การคืนตัวของแป้งสุกเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อน้ำแป้งสุกซึ่งร้อนมีอุณหภูมิลดต่ำลงขณะที่อุณหภูมิลดลงโมเลกุลอิสระของอะไมโลสซึ่งอยู่ใกล้กันจะเคลื่อนที่เข้ามาใกล้กันและจับตัวกันด้วยพันธะไฮโดรเจนทำให้เกิดสภาพการจัดเรียงตัวของโมเลกุลขึ้นใหม่แป้งแต่ละชนิดมีอัตราการคืนตัวของน้ำแป้งสุกแตกต่างกัน โดยทั่วไปแป้งจากราก หัวมีอัตราการคืนตัวช้ากว่าแป้งจากธัญพืช ทั้งนี้เป็นเพราะแป้งจากราก/หัวเมื่อได้รับความร้อนจะพองตัวมากและเร็ว และเม็ดแป้งแตกง่ายทำให้โมเลกุลแป้งทั้งหมดกระจายอยู่ทั่วไปในน้ำ แป้งยากที่โมเลกุลอะไมโลสจะมาจัดเรียงตัวกันได้ใหม่ แต่แป้งจากธัญพืชเมื่อได้รับความร้อนจะพองตัวน้อยกว่า เม็ดแป้งแตกน้อยโมเลกุลที่คลายตัวยังอยู่ใกล้ชิดกันจึงเคลื่อนที่จับกันใหม่ได้ง่ายซึ่งอาจจับตัวกันระหว่างเม็ดแป้งที่พองตัวซึ่งอยู่ใกล้กันหรือระหว่างชิ้นส่วนของเม็ดแป้งหรือโมเลกุลอะไมโลสอิสระที่หลุดออกมาทำให้เกิดสภาพเป็น matrix ซึ่งยึดอยู่ด้วยกันด้วยพันธะไฮโดรเจนและสามารถเก็บกักน้ำไว้ได้การมีอะไมโลเพคตินอยู่ด้วยทำให้อัตราการคืนตัวของน้ำแป้งสุกช้าลง เนื่องจากโมเลกุลของอะไมโลเพคตินมีกิ่งก้านสาขาทำให้เกะกะยากที่โมเลกุลจะเคลื่อนที่เข้ามาจับกันใหม่ได้ จึงพบว่าแป้งประเภท waxy มีอัตราการคืนตัวของน้ำแป้งสุกน้อยกว่าแป้งชนิดอื่นขนาดโมเลกุลของอะไมโลสในแป้งแต่ละชนิดมีผลในการเกิดการคืนตัวของน้ำแป้งสุกด้วยโมเลกุลอะไมโลสที่มีขนาดพอเหมาะในการเคลื่อนที่มาจับกัน คือ ในช่วง 100-200 หน่วยกลูโคส ถ้าโมเลกุลใหญ่ เช่น แป้งมันฝรั่งมีอะไมโลสขนาดใหญ่ประมาณ 1,000-6,000 หน่วยกลูโคส จะเคลื่อนที่เข้ามาจับกันได้ยากและถ้าโมเลกุลสั้นเกินไปจะเคลื่อนไหวอยู่ตลอดเวลา (Brownian movement) ทำให้จับกันยากเช่นกัน

เม็ดแป้งของแป้งข้าวโพดแป้งมันสำปะหลัง และแป้งเท้ายายม่อมมีลักษณะ เป็นเม็ดแป้งเดี่ยว กระจาย ไม่จับกันเป็นกลุ่มก้อน เม็ดแป้งของแป้งมันสำปะหลัง และแป้งเท้ายายม่อมมีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน คือ มีลักษณะกลม หรือวงรี (ภาพที่ 3) ส่วนแป้งข้าวโพดเป็นรูปเหลี่ยม และมีไฮลัมตรงกลาง



ภาพที่ 3 ลักษณะเม็ดแป้งของแป้งเท้ายายม่อมดูจากกล้องกล้องจุลทรรศน์

3. ผลการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากแป้งเท้ายายม่อม

สูตรอ้างอิงในการผลิตขนมบัวหิมะที่ได้รับการคัดเลือก ประกอบด้วย แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวเหนียว น้ำตาลทราย น้ำมันพืช และน้ำ 300, 100, 480, 50 และ 560 กรัม ตามลำดับ ขนมบัวหิมะจากแป้งเท้ายายม่อมโดยทดแทนแป้งข้าวเจ้าปริมาณ 30, 40, 50 และ 60 เปอร์เซ็นต์ ได้รับการยอมรับในด้านกลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส ลักษณะภายนอก และความชอบโดยรวม ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) กับขนมบัวหิมะเฉพาะแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียวโดยมีความชอบอยู่ระหว่าง 6.50 – 7.56 ซึ่งหมายถึงชอบปานกลางถึงชอบมาก (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 คะแนนความชอบด้านประสาทสัมผัสของขนมบัวหิมะ

คุณลักษณะ	A	B	C	D	E
กลิ่น^{ns}	6.50 ± 1.43	6.66 ± 1.29	6.70 ± 1.51	6.53 ± 1.71	6.63 ± 1.32
รสชาติ^{ns}	7.06 ± 1.59	7.03 ± 1.27	7.06 ± 1.46	7.20 ± 1.09	7.33 ± 0.99
เนื้อสัมผัส^{ns}	7.03 ± 1.54	6.80 ± 1.68	7.10 ± 1.44	7.06 ± 1.52	7.36 ± 1.09
ลักษณะภายนอก^{ns}	7.46 ± 1.59	7.13 ± 1.50	6.93 ± 1.61	7.30 ± 1.34	7.10 ± 1.72
ความชอบโดยรวม^{ns}	7.46 ± 0.81	7.53 ± 0.93	7.56 ± 0.97	7.36 ± 1.21	7.70 ± 0.83

หมายเหตุ: ns = non significant difference ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=30)

A = ขนมบัวหิมะทดแทนแป้งข้าวเจ้าด้วยแป้งเท้ายายม่อม 0 เปอร์เซ็นต์

B = ขนมบัวหิมะทดแทนแป้งข้าวเจ้าด้วยแป้งเท้ายายม่อม 30 เปอร์เซ็นต์

C = ขนมบัวหิมะทดแทนแป้งข้าวเจ้าด้วยแป้งเท้ายายม่อม 40 เปอร์เซ็นต์

D = ขนมบัวหิมะทดแทนแป้งข้าวเจ้าด้วยแป้งเท้ายายม่อม 50 เปอร์เซ็นต์

E = ขนมบัวหิมะทดแทนแป้งข้าวเจ้าด้วยแป้งเท้ายายม่อม 60 เปอร์เซ็นต์

ภาพที่ 4 แป้งเท้ายายม่อม

ภาพที่ 5 ขนมบัวหิมะ

สรุปผลการทดลอง

แป้งเท้ายายม่อมมีความชื้น ไขมัน โปรตีน เยื่อใย เถ้า คาร์โบไฮเดรตที่ร่างกายย่อยได้ คาร์โบไฮเดรตทั้งหมดและสตาร์ชทั้งหมด 12.85, 0.55, 0.81, 2.79, 0.61, 82.39,85.18 และ 80.56 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ แป้งเท้ายายม่อมมีปริมาณอะไมโลส18.69 เปอร์เซ็นต์ ค่าวอเตอร์แอกติวิตี 0.29 สีขาว (N 9/0.5) หัวเท้ายายม่อมจัดเป็นพืชที่มีปริมาณออกซาเลตสูงมาก (3.17 เปอร์เซ็นต์) ออกซาเลทที่มีในหัวเท้ายายม่อมและแป้งเท้ายายม่อมส่วนใหญ่อยู่ในรูปของออกซาเลทที่ละลายน้ำได้ ปริมาณออกซาเลตลดลง เมื่อปอกเปลือกออก หรือแปรรูปเป็นแป้ง โดยปริมาณออกซาเลตลดลง 46.37 เปอร์เซ็นต์ และ 94.95 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ พฤติกรรมความหนืดของแป้งเท้ายายม่อมมีลักษณะคล้ายกับแป้งมันสำปะหลัง อุณหภูมิเริ่มเกิดเพสท์ คือ 69.83 องศาเซียลเซียส อย่างไรก็ตามแป้งเท้ายายม่อมมีความคงตัวของเจลดีกว่าแป้ง

มันสำปะหลัง ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ความหย่อนโค้ง 25.11 และ 55.94 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ จากประเมินทางประสาทสัมผัสขนมบัวหิมะจากแป้งเท้ายายม่อมโดยการทดแทนแป้งข้าวเจ้าสูงถึง 60 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณแป้งข้าวเจ้า พบว่า ขนมบัวหิมะจากแป้งเท้ายายม่อมได้รับการยอมรับในด้านกลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส ลักษณะภายนอก และความชอบโดยรวม ไม่แตกต่างกันกับสูตรอ้างอิง มีความชอบในระดับชอบมาก

คำขอบคุณ

โครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากโครงการ อนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริฯ ผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

เอกสารอ้างอิง

ดุษฎี อุตภาพ และน้องนุช เจริญกุล. มปป. เทคโนโลยีของคาร์โบไฮเดรต. [ออนไลน์].แหล่งที่มา: http://eu.lib.kmutt.ac.th/elearning/Courseware/BCT611. วันที่สืบค้นข้อมูล 15 สิงหาคม2558.

ปิติพร ฤทธิ์เรืองเดช. 2546. คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของแป้งเท้ายายม่อมและการนำไปใช้ประโยชน์ในขนมชั้น. วิทยานิพนธ์ ระดับปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 305 หน้า.

พัชราภรณ์ แสงโยจารย์. 2543. ผักพื้นบ้านและพืชสมุนไพรโครงการอนุรักษ์ทรัพยากรพันธุ์พืช. สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตสุรินทร์.

สุมาลี สมบูรณ์ และเสกสรร สุขเมือง. 2547. การศึกษากระบวนการสกัดแป้งเท้ายายม่อมและพัฒนาอาหารจากแป้งเท้ายายม่อม. ปริญญานิพนธ์ระดับปริญญาตรี. สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตสุรินทร์.

Abaza, R.H., J.T. Blake and E.J. Fisher. 1968. Oxalate determination: Analytical problems encountered with certain plant species. Journal of Official Analytical Chemists 68 (1) : 108 – 11.

AOAC Official Method of Analysis. 2005.

Bradbury, S. and Vale, A. 2007. Plants. Medicine 35: 649 - 651.

Bradbury, J.H. and W.D. Halloway, 1988. Chemistry of tropical root crops: significance for nutrition and agriculture in the Pacific. Australian Centre for International Agricultural Research, Canberra, Australia.

Concon, J. M. 1988. Food Toxicology - Principle and Concepts. Marcel Dekker, New York. pp 416 – 419

Fassett, D.W. 1973. Oxalates. In Toxicants occurring naturally in foods.National Academic of science, 2nd ed., Washington. pp. 84 – 108.

Franceschi, V.R. and Horner, H.T. 1980. Calcium oxalate crystals in plants. The BotanicalReview, 46 : 361 – 427.

Flanch M. and F. Rumawas. 1996. Plant Resource of South-East-Asia No.9 Plant Yielding Non-Seed Carbohydrates. Backhuys Publishers, Netherland. 157p.

Hesse, A. and Siener, R. 1997. Current aspects of epidemiology and nutrition in urinary stone disease. World Journal of Urology 15: 165 - 171.

Hodgkinson, A. 1977. Oxalic acid in biology and medicine. Academic Press, New York.

Holloway, W. D., Argall, M. E., Jealous, W. T., Lee, J. A., and Bradbury, J. H. (1989).Organic acids and calcium oxalate in tropical root crops. Journal of Agricultural Food Chemistry.37 : 337 – 341

Jiru, K. and Urga, K. 1995. Form and content of oxalate and calcium in some vegetable in Ethiopia. Ethiopian Journal of Health 9 (1) : 13 – 18.

Juliano, B. O., & Goddard, M. Y. 1986. Cause of varietal difference in insulin and glucose response to ingested rice. Plant Foods in Human Nutrition, 36, 35–41.

Miller, D.D. 1998. Food chemistry: A laboratory manual. John Wiley & Sons, Inc.. New York.

Libert B. and Franceschi V.R. Franceschi. 1987. Oxalate in crop plants. Journal of Agricultural Food Chemistry.35 : 926 – 938.

Sangketkit, C., Savage, G.P., Martin, R.J. and Mason, S.L. 2001. Oxalate content of raw and cooked oca (*Oxalis tuberosa*). Journal of Food Composition and Analysis14 : 389 – 397.

Sangketkit, C. 2010. Oxalates in Wild Grape (*Ampelocissus martinii* Planch) and the Effect of Processing on Oxalate Contents. 6th Thailand-Taiwan Academic Cooperation Conference on "Food and Agricultural Innovation: Going Global" 15 November 2010, Kasetsart University, Bangkok, Thailand.