

ผลของพันธุ์มันเทศ สัดส่วนของแป้ง และความชื้นของส่วนผสม ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จรูปจากแป้งมันเทศและแป้งข้าวเจ้า

Effects of Sweet Potato Cultivars, Flour Mixtures and Moisture Content of Flour Mixtures on Physical Properties of Half Products from Sweet Potato Flour and Rice Flour

อารีรัตน์ ภูตระกูล (Areerat Putrakool)* ดร. สิงหนาท พวงจันทร์แดง (Dr. Singhanat Phoungchandang)**
ดร. เกษม นันทชัย (Dr. Kasem Nantachai)** ดร. วิเชียร วรพุดทพร (Dr. Wichain Voraputhaporn)**

บทคัดย่อ

การศึกษานี้เป็นการใช้ประโยชน์จากมันเทศเพื่อทดแทนการนำเข้าแป้งมันฝรั่ง ในงานวิจัยได้นำแป้งมันเทศสีเหลือง แป้งมันเทศสีส้ม และแป้งข้าวเจ้ามาใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จรูป โดยใช้เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว ซึ่งเอ็กซ์ทรูเดอร์ที่ได้นำมาทำให้แห้งเพื่อลดความชื้นและทำให้พองตัวด้วยไมโครเวฟ ทำการวิเคราะห์เพื่อหาสูตรที่ให้สมบัติทางกายภาพที่ดีที่สุด และศึกษาผลของความชื้นของแป้งในการผลิตผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จรูปจากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า สูตรที่ใช้แป้งมันเทศสีส้มร้อยละ 100 เป็นสูตรที่ให้ผลิตภัณฑ์มีอัตราการพองตัว 2.13 เท่า และความหนาแน่น 60 กรัมต่อลิตร จึงใช้แป้งสูตรนี้ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของแป้งกับสมบัติทางกายภาพต่างๆ ของผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จรูป โดยในการศึกษาความสัมพันธ์นี้จะได้สมการกำลังสองที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของแป้งกับสมบัติทางกายภาพต่างๆ ของผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จรูป พบว่าความชื้นของแป้งสัมพันธ์กับอัตราการพองตัวมากที่สุด สามารถแสดงในรูปสมการเป็น $ER=10.994-0.506mc+(6.984 \times 10^{-3})mc^2$

ABSTRACT

In this study, the use of indigenous sweet potato was studied to reduce imported potato flour. Yellow sweet potatoes, orange sweet potatoes, and rice flour were used to produce a half product by single-screw extruder. Then, extrudates were dried to reduce moisture content and puffed with microwave. Extrudates were analyzed for optimum physical formula and studied the effects of flour moisture content on half product. From statistical analysis, the formula of 100 percent orange sweet potato is suitable to obtain bulk density (2.13 times) and expansion ratio (60 g/l) of the product. This formula was used to study the effect of moisture content on physical properties of the product. The quadratic equations were fitted to the experimental data to express the relation between moisture content and physical properties of the half products. The equations, $ER=10.994-0.506mc+(6.984 \times 10^{-3})mc^2$, show the relationship between moisture content and expansion ratio.

คำสำคัญ : ผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จรูป แป้งมันเทศ แป้งข้าวเจ้า

Keywords : Half products, Sweet potato flour, Rice flour

*นักศึกษานิเทศศาสตร์ หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น

**ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทนำ

ปัจจุบันอาหารขบเคี้ยวเข้ามามีบทบาทในการรับประทานอาหารระหว่างมื้อหลักของผู้บริโภคมากขึ้น จากปี พ.ศ. 2531-2538 พบว่ามูลค่าเพิ่มจาก 1,000 ล้านบาท เป็น 5,820 ล้านบาท โดยมีอัตราการเติบโตร้อยละ 25 ต่อปี ซึ่งในปริมาณทั้งหมดนั้นเป็นอาหารขบเคี้ยวที่ผลิตโดยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันถึงร้อยละ 40 (ประชา, 2542) จากการวิจัยตลาดของบริษัท ศูนย์วิจัยไทยพาณิชย์ จำกัด (2543) พบว่าคนกรุงเทพมหานครนิยมอาหารขบเคี้ยวที่ทำมาจากแป้งมันฝรั่งมากที่สุด แต่ประเทศไทยต้องนำเข้าแป้งมันฝรั่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี (Department of Business Economics with Cooperation of the Customs Department, 1999)

แนวทางในการแก้ปัญหาทางหนึ่งที่เป็นไปได้คือการนำแป้งมันเทศมาใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่สำเร็จรูป เพราะมันเทศมีสมบัติของแป้งเปียกที่คล้ายคลึงกับมันฝรั่ง (กล้านรงค์ และ เกื้อกุล, 2543) รวมทั้งมันเทศยังเหมาะสมกับดินฟ้าอากาศของประเทศไทยสามารถเจริญเติบโตได้ในทุกภาคของประเทศไทย ทนแล้งได้ดี และให้ผลผลิตหัวมันเทศค่อนข้างสูง (รัชฎา, 2532)

Chiang and Johnson (1977) พบว่าการสุกของแป้งในกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันขึ้นกับความชื้นเริ่มต้นและอุณหภูมิในบาริลเท่านั้น ซึ่ง Ascheri et al. (1998) ได้ศึกษาการใช้แป้งมันเทศและแป้งข้าวเจ้าในการผลิตผลิตภัณฑ์ประเภทสูกพองทันทีโดยใช้เอ็กซ์ทรูเดอร์ชนิดสกรูเดี่ยว และแปรอุณหภูมิในบาริลช่วงรับและลำเลียงวัตถุดิบ (feed section) ช่วงบีบอัด (compression section) และช่วงอัตราแรงเฉือนสูง (metering section) ของการทดลอง 3 ชุดดังนี้ 75, 180, 180; 75, 180, 184; และ 75, 180, 220 องศาเซลเซียสตามลำดับ พบว่าสัดส่วนของแป้งและความชื้นเท่านั้นที่มีผลต่อลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์

สำหรับผลิตภัณฑ์ที่สำเร็จรูปนั้นจะมีอุณหภูมิในช่วงสุดท้ายของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ก่อนออกจากหน้าแปลนต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการพองตัว และต้องผ่านความร้อนให้พองตัวอีกครั้ง

ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ การทอด การให้ความร้อนด้วยลมร้อน และการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ

ผู้วิจัยจึงได้สนใจที่จะแปรสัดส่วนของแป้งมันเทศสีเหลือง แป้งมันเทศสีส้ม และแป้งข้าวเจ้า และแปรความชื้นของส่วนผสมเพื่อศึกษาถึงผลที่มีต่อสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่สำเร็จรูปในการใช้เป็นแนวทางให้แก่ผู้สนใจที่จะศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องนี้

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

วัตถุดิบ ได้แก่ แป้งข้าวเจ้าตราเหรียญทองคำ ผลิตโดยบริษัท อุตสาหกรรมแป้งไทย จำกัด และแป้งมันเทศที่ผลิตจากมันเทศ (*Ipomea batatas*) จำนวน 2 พันธุ์ เป็นพันธุ์ที่มีเนื้อสีส้มและพันธุ์ที่มีเนื้อสีเหลือง โดยนำมันเทศมาปอกเปลือกและหั่นให้มี $0.5 \times 0.5 \times 2.5$ ลูกบาศก์ เซนติเมตร แล้วลวกด้วยสารละลายโซเดียมไฮโดรฟอสเฟต ความเข้มข้นร้อยละ 1 ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 2.5 นาที แล้วทำให้มันเทศในเครื่องทำแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 10 ชั่วโมง จากนั้นบดด้วยเครื่อง pin mill และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 70 เมช จะได้แป้งมันเทศสีเหลืองและแป้งมันเทศสีส้ม ตรวจหากิจกรรมของเอนไซม์เพอร์ออกซิเดสในแป้ง และวิเคราะห์ปริมาณความชื้น โปรตีน สตาร์ช เส้นใย อะไมโลส ขนาดอนุภาค แป้งเฉลี่ย และสมบัติแสดงความหนืดของแป้งเปียก

จากการศึกษาสัดส่วนของแป้งและความชื้นของส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่สำเร็จรูป โดยวางแผนการทดลองเป็นการแปรตัวแปรแบบขึ้นต่อกัน (Mixture Design) และแบบไม่ขึ้นต่อกัน (Nonmixture Design) ตามลำดับ การศึกษาสัดส่วนของแป้งของส่วนผสมที่เหมาะสม การวางแผนการทดลองแบบ Mixture Design โดยนำแป้งที่สัดส่วนต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 1 มาปรับความชื้นประมาณร้อยละ 31 และเก็บที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 คืน จึงนำมาเข้าเครื่อง เอ็กซ์ทรูเดอร์ที่อุณหภูมิในบาริลช่วงรับและลำเลียงวัตถุดิบ (feed section) ช่วงบีบอัด (compression section) และช่วงอัตราแรงเฉือนสูง (metering section) เป็น 85 100 และ 100 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ความเร็วรอบของสกรู 130 รอบต่อนาที อัตราการป้อนวัตถุดิบ 20 กรัมต่อนาที จาก

นั้นลดความชื้นด้วยเครื่องทำแห้งแบบชั้น ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จนมีความชื้นประมาณ ร้อยละ 12 และเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง 1 คืน เพื่อให้ความชื้นมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอช่วยป้องกันไม่ให้น้ำที่ผิวของผลิตภัณฑ์ระเหยเร็วกว่าภายในผลิตภัณฑ์ (casehardening) แล้วจึงทำให้พองตัวด้วยไมโครเวฟ ที่กำลังไฟ (power) 650 วัตต์เป็นเวลา 2 นาที จะได้เป็นผลิตภัณฑ์สุดท้าย โดยแต่ละการทดลองจะทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ สี (L a และ b) อัตราการพองตัว ความหนาแน่น ดัชนีการดูดน้ำ ดัชนีการละลายน้ำ และความแข็ง ผลที่ได้จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพจะนำมาวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยนำคำตอบสนองที่ได้จากการวัดสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้าย มาสร้างความสัมพันธ์กับสัดส่วนแป้งที่เลือกศึกษา ดังสมการที่ 1 แล้วจึงสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Modde 5.0

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 \quad (1)$$

โดย Y = ค่าสมบัติทางกายภาพต่างๆ ได้แก่ ความหนาแน่น อัตราการพองตัวและความแข็ง เป็นต้น

x_1 = สัดส่วนของแป้งมันเทศสีเหลือง

x_2 = สัดส่วนของแป้งมันเทศสีส้ม

x_3 = สัดส่วนของแป้งข้าวเจ้า

β = ค่าสัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงเส้น

จากนั้นทำการเลือกสัดส่วนแป้งที่ให้สมบัติทางกายภาพที่ดี มาแปรความชื้นที่ร้อยละ 22 26.5 31 35.5 และ 40 (Boehmer et al., 1992; Suknark et al., 1999) ทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ โดยวางแผนการทดลองแบบ Nonmixture Design แล้ววัดสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้าย และสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ด้วยการวิเคราะห์การถดถอย (regression) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS 10.0 ดังสมการที่ 2

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_1^2 \quad (2)$$

โดย Y = ค่าสมบัติทางกายภาพต่างๆ ได้แก่ ความหนาแน่น อัตราการพองตัวและความแข็ง เป็นต้น

x_1 = ค่าความชื้นเริ่มต้นของแป้ง

β_0 = ค่าคงที่

β_1 = ค่าสัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงเส้น

β_2 = ค่าสัมประสิทธิ์ความถดถอยของสมการกำลังสอง (quadratic)

ผลการวิจัย และการวิเคราะห์ผล

1. การวิเคราะห์แป้งมันเทศสีเหลือง แป้งมันเทศสีส้ม และแป้งข้าวเจ้า

ผลการตรวจหาเอนไซม์เพอร์ออกซิเดสในแป้งพบว่าไม่มีการทำงานของเอนไซม์เพอร์ออกซิเดสในแป้งแสดงว่า กระบวนการลวกสามารถทำลายเอนไซม์เพอร์ออกซิเดสได้หมด

แป้งมันเทศสีเหลือง แป้งมันเทศสีส้ม และแป้งข้าวเจ้ามีค่าเฉลี่ยของอนุภาคแตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 2 นั่นคือแป้งมันเทศสีเหลืองมีขนาดเล็กกว่า แป้งมันเทศสีส้ม และแป้งข้าวเจ้า จากประชา (2537) พบว่า วัตถุดิบที่มีขนาดเล็กระหว่าง 50 - 60 เมช จะให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารขบเคี้ยวที่กรอบนุ่ม และมีเซลล์โครงสร้างเล็กละเอียด แสดงว่าแป้งมันเทศสีเหลืองน่าจะมีลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่กรอบนุ่มและมีเซลล์โครงสร้างเล็กละเอียดมากกว่า แป้งมันเทศสีส้มและแป้งข้าวเจ้าตามลำดับ

สำหรับองค์ประกอบทางเคมีของแป้งที่วิเคราะห์ได้ ดังแสดงในตารางที่ 3 พบว่า องค์ประกอบทางเคมีของแป้งมันเทศที่ใช้ในการทดลอง มีค่าใกล้เคียงกับผลการทดลองของ สุภารัตน์ และคณะ (2530) และ เวชยันต์ (2532) ส่วนแป้งข้าวเจ้าที่ใช้ในการทดลองมีค่าใกล้เคียงกับผลการทดลองของ ศิริชัย (2538); ศุภลักษณ์ (2538) และรัชฎา (2532)

ส่วนการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งเปียกของแป้งมันเทศสีเหลือง แป้งมันเทศสีส้ม แป้งข้าวเจ้า และแป้งผสมในระหว่างทำให้ความร้อนและลดอุณหภูมิ (heating-cooling cycle) ที่ความเข้มข้นของน้ำแป้งร้อยละ 14 โดยใช้ Rapid Visco Analyzer ซึ่งสัดส่วนแป้งมันเทศสีเหลือง แป้งมันเทศสีส้ม แป้งข้าวเจ้า ของส่วนผสม

ต่างๆ ที่ทำการทดลอง แสดงผลการทดลองได้ดังภาพที่ 1 แม้ว่าการกวนในเครื่อง Rapid Visco Analyzer จะแตกต่างจากเครื่องเอ็กซ์ทูเดอร์ โดยเครื่องเอ็กซ์ทูเดอร์ จะเกิดแรงเฉือนและแรงบิดจากการหมุนของสกรูที่รุนแรง มากกว่าในเครื่อง Rapid Visco Analyzer แต่ผลของกราฟแสดงความหนืดของแป้งเปียกสามารถใช้พยากรณ์ การเปลี่ยนแปลงของแป้งในเครื่องเอ็กซ์ทูเดอร์ได้ โดย สัดส่วนแป้งข้าวเจ้าจะให้ความหนืด (peak) สูงสุดมากกว่าสัดส่วนแป้งมันเทศสีเหลืองและแป้งมันเทศสีส้ม ตามลำดับ และเมื่อให้ความร้อนเพิ่มขึ้นจะทำให้แป้งมีความหนืดเพิ่มมากขึ้น แสดงว่าแรงที่ใช้ในการผสมหรือแรงบิดสกรู (torque) ในบารเรลเพิ่มขึ้น ดังนั้นผลิตภัณฑ์จากแป้งข้าวเจ้าจะแข็งมากกว่าผลิตภัณฑ์จากแป้งมันเทศสีเหลืองและแป้งมันเทศสีส้มตามลำดับ โดยแป้งข้าวเจ้ามีความหนืดสุดท้ายและความหนืดต่ำสุดที่แตกต่างกันมาก (setback) จึงจะทำให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายของแป้งข้าวเจ้ามีลักษณะแข็งกว่าแป้งมันเทศสีเหลืองและแป้งมันเทศสีส้ม

กราฟแสดงความหนืดของแป้งข้าวเจ้า แป้งเปียกมันเทศสีเหลืองและแป้งเปียกมันเทศสีส้ม ในระหว่างการให้ความร้อน จะให้กราฟความหนืดเพิ่มขึ้นแล้วลดลง แต่กราฟความหนืดไม่สูงชัน โดยจัดเป็นกราฟแบบบีคือมีเม็ดแป้งหรือสตาร์ชที่มีการพองตัวปานกลาง (moderate-swelling starches) เมื่อให้ความร้อนแก่แป้งหรือสตาร์ช เม็ดแป้งหรือสตาร์ชไม่พองตัวมากถึงขั้นแตกออกได้ ทำให้กราฟของความหนืดสูงชันน้อยกว่าแบบเอ ผลของการทดลองที่ได้มีแนวโน้มเดียวกันกับผลของการทดลองของ เวชยันต์ (2532); ศรีชัย (2538)

2. ผลการศึกษาสัดส่วนของวัตถุดิบและสภาวะการผลิตที่เหมาะสมที่สุด ในการผลิตผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป

2.1 ผลการศึกษาสัดส่วนของวัตถุดิบที่เหมาะสมที่สุด ในการผลิตผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป

จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Modde 5.0 พบว่ามีเพียงอัตราการผลิตและความหนาแน่นเท่านั้น ที่มีค่า R square และ Q square สูง จึงนำไปวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการผลิตกับ

สัดส่วนแป้ง และความหนาแน่นกับสัดส่วนแป้ง ซึ่งสามารถแสดงในรูปของสมการการถดถอยเชิงเส้นตรง ดังสมการที่ 3 และ 4 ตามลำดับ

$$y_1 = 1.89 - 0.07S + 0.01R + 0.06M \quad (3)$$

$$y_2 = 54.0 + 0.03S - 0.01R - 0.02M \quad (4)$$

โดย

y_1 = อัตราการพองตัว, เท่า

y_2 = ความหนาแน่น, กรัมต่อลิตร

S = สัดส่วนของแป้งมันเทศสีเหลือง, ไม่มีหน่วย

R = สัดส่วนของแป้งข้าวเจ้า, ไม่มีหน่วย

M = สัดส่วนของแป้งมันเทศสีส้ม, ไม่มีหน่วย

ทั้งนี้อัตราการพองตัวและความหนาแน่นยังเป็นตัวบ่งชี้ที่บอกถึงคุณภาพอาหารขบเคี้ยวที่มีสมบัติทางกายภาพที่ดีด้วย โดยสมบัติของอาหารขบเคี้ยวประเภทนี้ควรมีลักษณะพองตัวดี และมีเนื้อสัมผัสนุ่มและเบา (ประชา, 2537)

2.2 ผลการศึกษาสัดส่วนของสภาวะการผลิตที่เหมาะสมที่สุด ในการผลิตผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของส่วนผสมร้อยละ 22 26.5 31 35.5 และ 40 และลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้าย สามารถแสดงในรูปของสมการกำลังสอง ดังสมการที่ 5-12

$$L = 41.704 - 1.485mc + (2.192 \times 10^{-2})mc^2$$

$$a = 21.597 - (2.316 \times 10^{-2})mc + (1.764 \times 10^{-4})mc^2$$

$$b = 40.575 - 1.680mc + (2.571 \times 10^{-2})mc^2$$

$$E = 10.994 - 0.506mc + (6.984 \times 10^{-3})mc^2$$

$$B = 19.719 + 1.712mc - (2.116 \times 10^{-2})mc^2$$

$$A = 45.29 - 2.240mc + (4.068 \times 10^{-2})mc^2$$

$$S = 28.269 - 1.643mc + (2.748 \times 10^{-2})mc^2$$

$$H = 16.986 - 0.894mc + 1.333mc^2$$

โดย mc = ค่าความชื้น, ร้อยละ

L = ค่าความสว่าง, ไม่มีหน่วย

a = ค่าความแดง, ไม่มีหน่วย

b = ค่าความเหลือง, ไม่มีหน่วย

E = ค่าอัตราการพองตัว, เท่า

B = ค่าความหนาแน่น, กรัมต่อลิตร

- A = ค่าดัชนีการดูดน้ำ, ไม่มีหน่วย
S = ค่าดัชนีการละลายน้ำ, ร้อยละ
H = ค่าความแข็ง, กิโลกรัม

เมื่อทำการทดสอบเพื่อประมาณความคาดเคลื่อน (Standard Error of Estimation หรือ SEE) พบว่าทุกปัจจัยมีค่า SEE ต่ำกว่าร้อยละ 2 แสดงว่าค่าสมบัติทางกายภาพดังกล่าวที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากสมการมีความแตกต่างกันน้อยมาก โดยความชื้นของส่วนผสมสามารถประมาณสมบัติทางกายภาพในด้านอัตราการพองตัวได้ดีที่สุด

สรุป

ผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากแป้งมันเทศสีเหลือง แป้งมันเทศสีส้ม และแป้งข้าวเจ้า เมื่อแปรสัดส่วนของแป้ง โดยให้สัดส่วนของแป้งมันเทศสีส้มเพิ่มขึ้นจะทำให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีการพองตัวมากขึ้น แต่มีความหนาแน่นลดลง ซึ่งเมื่อนำสัดส่วนแป้งที่สัดส่วนแป้งมันเทศสีส้มร้อยละ 100 มาแปรความชื้นเริ่มต้นที่ร้อยละ 22 26.5 31 35.5 และ 40 พบว่าความชื้นของส่วนผสมสามารถประมาณสมบัติทางกายภาพในด้านอัตราการพองตัวได้ดีที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำการวิจัยขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่นที่ได้ให้ทุนอุดหนุนและส่งเสริมการทำวิทยานิพนธ์

เอกสารอ้างอิง

- กล้าณรงค์ ศรีรอด, เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. 2543. เทคโนโลยีของแป้ง. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
บริษัทศูนย์วิจัย ไทยพาณิชย์ จำกัด. 2543. ขนมขบเคี้ยว. วิจัยตลาด (2): 1-26.

ประชา บุญญสิริกุล. 2537. การผลิตอาหารขบเคี้ยวที่มีข้าวโพดเป็นส่วนประกอบหลักด้วยกระบวนการอัดพอง. อาหาร 24(2): 79-87.

_____. 2542. การพัฒนาขนมกรอบมีคุณค่าโภชนาการด้วยปลาผงแคลเซียมสูงโดยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน. อาหาร 29(2): 79-93.

รัชฎา ตั้งวงศ์ไชย. 2532. การศึกษาการใช้แป้งมันเทศเป็นสารให้ความหนืดในผลิตภัณฑ์ทอด SWEET POTATO CREAM โดยผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนสูง [ปัญหาพิเศษทางด้านเทคโนโลยี]. ขอนแก่น: ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น

เวชยันต์ ธนบดีภัทร. 2532. ผลของตัวแปรในการผลิตและสมบัติทางกายภาพเคมีของแป้งจากมันเทศที่ปลูกในประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร. บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศิริชัย จงจินตรักษา. 2538. การแปรสภาพแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียวโดยวิธี acid hydrolysis cross linking และวิธีร่วม [ปัญหาพิเศษทางด้านเทคโนโลยี]. ขอนแก่น: ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ศุภลักษณ์ เทพสมรส. 2538. กระบวนการผลิต และคุณลักษณะของโยเกิร์ตที่มีส่วนผสมของน้ำมันและมันเทศ [ปัญหาพิเศษทางด้านเทคโนโลยี]. ขอนแก่น: ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

สุภารัตน์ เรืองมณีไพฑูรย์, สมจิต นิยมไทย, มณฑนา ร่วมรักษ์, สมยศ จรรยาวิลาส. 2530. การใช้มันเทศทำผลิตภัณฑ์อาหารสำเร็จรูปและกึ่งสำเร็จรูป. รายงานค้นคว้าวิจัยประจำปี 2526-2530. กรุงเทพมหานคร: สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- Ascheri JLR, Bernal-Gomez ME, Carvalho CWP, Modesta RCD. 1998. Production of snacks from mixtures of rice and sweet potato flours by thermoplastic extrusion. II. Chemical characterization, expansion index and apparent density [Abstract]. *Alimentaria* (293): 79-86.
- Boehmer EW, Bennet WL, Guanella TJ, Levine L. 1992. Microwave expandable half product and process for its manufacture. Patent Number 5,165,950. The Commissioner of Patents and for its manufacture. **United States Patents, USA.**
- Chiang BY, Johnson JA. 1976. Gelatinization of starch in extruded products. *Cereal Chem* 54(3): 436-443.
- Department of Business Economics with Cooperation of the Customs Department. **Imports of Thailand Classified by Commodity** [Serial online]. [cited 1999 Jun 21]. Available from: URL: <http://tes97.moc.go.th/prog/eng/Pexcom.exe/detail>.
- Suknark K, Phillips RD, Huang YW. 1999. Tapioca-Fish and Tapioca-Peanut Snacks by Twin-Screw Extrusion and Deep-Fat Frying. *J. Food Science* 64(2): 303-308.

ตารางที่ 1 แสดงลำดับการทดลองและสัดส่วนของแป้งที่ใช้ในการทดลอง

การทดลองที่	ลำดับการทดลอง	แป้งมันเทศสีเหลือง	แป้งมันเทศสีส้ม	แป้งข้าวเจ้า
1	2	0	0	1
2	7	0	1	0
3	5	1	0	0
4	3	1/2	1/2	0
5	11	1/2	0	1/2
6	1	0	1/2	1/2
7	10	2/3	1/6	1/6
8	9	1/6	1/6	2/3
9	12	1/6	2/3	1/6
10	4	1/3	1/3	1/3
11	13	1/3	1/3	1/3
12	6	1/3	1/3	1/3
13	3	1/3	1/3	1/3

ตารางที่ 2 แสดงขนาดอนุภาคเฉลี่ยของแป้งมันเทศสีเหลือง แป้งมันเทศสีส้ม และแป้งข้าวเจ้า

ชนิดของแป้ง	ขนาดอนุภาคเฉลี่ย (ไมโครเมตร)	ร้อยละที่ค้างบนตะแกรง				
		212 (70 เมช)	150 (100 เมช)	106 (140 เมช)	75 (200 เมช)	63 (230 เมช)
แป้งมันเทศสีเหลือง	21.20 ± 0.005^c	-	16	14	14	56
แป้งมันเทศสีส้ม	22.20 ± 0.003^b	-	17	21	16	46
แป้งข้าวเจ้า	26.10 ± 0.006^a	-	36.46	27.08	19.79	16.67

หมายเหตุ a,b,c ตัวอักษรที่เหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

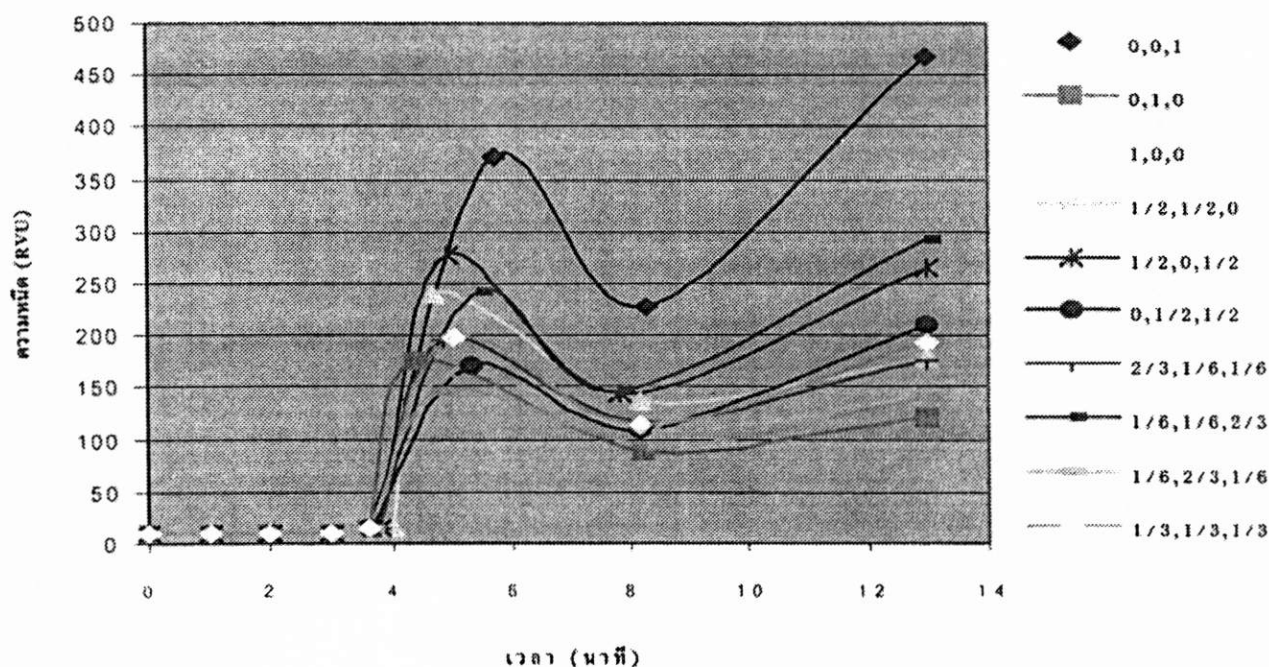
ตารางที่ 3 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของแป้งมันเทศสีเหลือง แป้งมันเทศสีส้ม และแป้งข้าวเจ้า

ชนิดของแป้ง	องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละ)				
	ความชื้น	โปรตีน	เส้นใย	สตาร์ช	อะไมโลส*
แป้งมันเทศสีเหลือง	10.02 ± 0.01^b	3.74 ± 0.02^b	3.27 ± 0.02^b	11.02 ± 0.01^a	26.59 ± 0.01^b
แป้งมันเทศสีส้ม	8.83 ± 0.02^c	3.55 ± 0.18^b	3.97 ± 0.01^a	13.41 ± 0.00^c	24.50 ± 0.02^c
แป้งข้าวเจ้า	12.47 ± 0.01^a	7.12 ± 0.01^a	1.44 ± 0.01^c	10.01 ± 0.01^b	18.50 ± 0.01^a

หมายเหตุ a,b,c ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวดังเดียวกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

* ร้อยละของปริมาณสตาร์ช

PASTING PROPERTIES



ภาพที่ 1 กราฟแสดงความหนืดของแป้งเปียก จากสัดส่วนแป้งมันเทศสีเหลือง แป้งมันเทศสีส้ม และแป้งข้าวเจ้า ที่ระดับต่างๆ