

Received: July 13, 2021; Revised: August 10, 2021; Accepted: August 23, 2021

ผลของการพรีเจลาติไนซ์ต่อคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของแป้งมันเทศญี่ปุ่นสีม่วง
Effect of pregelatinize on physical and chemical properties of
Japanese purple sweet potato starch

นุชจรี ประพะลา¹ กานต์ธิดา ทองนำ¹ และวิภาวดี พันธุ์หนองหว้า^{1*}Nutcharee Praphala¹, Kanthida Thongnam¹ and Wipavadee Punnongwa^{1*}^{1*}คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตสุรินทร์ สุรินทร์^{*}Corresponding Author E-mail Address: punnongwa05@gmail.com

บทคัดย่อ

การศึกษาผลของการพรีเจลาติไนซ์ที่อุณหภูมิ 75 และ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะด้านกายภาพและทางด้านเคมีของแป้งมันเทศญี่ปุ่นสีม่วง พบว่า แป้ง M1-85 ที่ทำการไม่เปียกและมีการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส มีกำลังการพองตัว และการละลายสูงสุด ($p < 0.05$) คุณสมบัติในการเกิดเจลของแป้งที่ทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Brabender filanograph พบว่า แป้งไม่แห้งที่พรีเจลาติไนซ์ 75 (M-75) และ M1-85 มีค่าความหนืด ค่า Setback (ค่าการคืนตัวของแป้ง) และค่าเบรกดาวนต่ำที่สุด จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการทำแป้งพรีเจลาติไนซ์ที่ M2-75 และ M2-85 ของแป้งมันเทศสีม่วงเหมาะสำหรับนำไปใช้เป็นสารให้ความคงตัวในผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น อาหารแช่เย็นหรืออาหารแช่แข็ง อย่างไรก็ตาม แป้งที่ทำการพรีเจลาติไนซ์ที่ M3-85 (แป้งไม่ผสมที่พรีเจลาติไนซ์ที่ 85 องศาเซลเซียส) เหมาะในการใช้เป็นแป้งสำหรับอาหารเพื่อสุขภาพ เพราะมีสารแอนโทไซยานินสูงสุด มีสารประกอบฟีนอลิก และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging activity และวิธี ABTS radical scavenging สูง

คำสำคัญ: แป้งมันเทศญี่ปุ่น คุณสมบัติการเกิดเจล ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ การพรีเจลาติไนซ์

Abstract

In this study, the pregelatinization (75°C and 85°C) incubated for 5 hour on physical and chemical properties of Japanese purple sweet potato starch were investigated. The swelling consistency and solubility in water of starches showed the highest in M1-85 (wet milled starch with pregelatinized at 85°C) ($p < 0.05$). The gelatinization was analyzed by Brabender filanograph. The pregelatinized starch M2-75 and M2-85 (dry milled, pregelatinized at 75°C and 85°C) showed the lowest viscosity peak, setback viscosity, and breakdown peak. The results indicated that a pregelatinized of M2-75, and M2-85 of sweet potato starch

could provide motion for the utilization of starch as a stabilizer in food products such as chilled food and frozen food. However, the pregelatinized sweet potato starch (M3-85) could be a functional food because of high anthocyanins, high total phenolic compounds, and high antioxidant activities measured by DPPH radical scavenging activity and ABTS radical scavenging activity.

Keywords: Japanese sweet potato starch, Gel property, Antioxidant activity, Pregelatinize

บทนำ

แป้งจัดเป็นสารกลุ่มคาร์โบไฮเดรต ในท้องตลาดทั่วไปมักจะมีสีขาวหรือไม่มีสี ไม่มีกลิ่นและรสชาติ การผลิตแป้งส่วนมากจะผลิตจากธัญพืช เช่น แป้งข้าวเหนียว แป้งข้าวเจ้า และแป้งข้าวโพด เป็นต้น และสามารถผลิตจากผักที่ใช้ส่วนหัวบริโภคได้ เช่น แป้งมันเทศ แป้งมันฝรั่ง และแป้งมันสำปะหลัง เป็นต้น คุณสมบัติที่สำคัญของแป้งในการอุตสาหกรรมอาหาร เช่น เป็นสารให้ความข้นหนืด การใช้เป็นสารให้ความคงตัวในผลิตภัณฑ์อาหารชนิดต่าง ๆ (Jubril et al., 2012) การทำพรีเจลาติไนซ์เป็นขั้นตอนเบื้องต้นและเป็นที่นิยมในการดัดแปรคุณสมบัติของแป้ง (Modified starch) ในอุตสาหกรรม โดยการนำแป้งธรรมชาติ (Native starch) มาผ่านกรรมวิธีการให้ความร้อนเบื้องต้น (Pregelatinize) มีผลต่อการเปลี่ยนแปลง การพองตัว การละลาย ความหนืด ความสามารถคงตัวต่อความร้อนได้ สามารถคงตัวในอาหารแช่เย็น อาหารแช่แข็ง ใช้เป็นสารเพิ่มความคงตัวในอุตสาหกรรมอาหาร การดัดแปรแป้งมีสองวิธี ได้แก่ การดัดแปรแป้งทางเคมี และทางกายภาพ การดัดแปรแป้งด้วยการใช้สารเคมีช่วยในการดัดแปรโมเลกุลแป้งเพื่อเปลี่ยนคุณสมบัติแป้งให้สามารถละลายได้ในน้ำเย็น นิยมใช้กับอาหารสำเร็จรูป เช่น ซอสพริก ซอสมะเขือเทศ น้ำมันหอย มายองเนส ไส้พาย พุดดิ้ง ขนมหวาน และน้ำเกรวี่ เป็นต้น เนื่องจากการดัดแปรแป้งแบบใช้สารเคมี เช่นการดัดแปรแป้งแบบไฮโดรไลซิสด้วยกรดร้อน ในทางการค้าใช้กรดไฮโดรคลอริก ฟอสฟอริก และกรดซัลฟูริก การดัดแปรด้วยวิธีเชื่อมข้าม (Cross-linking) ด้วยสารฟอสฟอรัสออกไซด์คลอไรด์ หรือเมตาฟอสเฟตที่ละลายได้ในน้ำ สารไตรเมตาฟอสเฟต อีพิคลอไฮดริน แป้งดัดแปรด้วยวิธีอะซิทิเลชัน (Acetylation) การดัดแปรด้วยวิธีเดลิเวอไรเซชัน (Derivatization) เป็นต้น ดังนั้น การดัดแปรโมเลกุลแป้งทางกายภาพ เช่น การใช้เอกทรูชัน (Extrusion) การทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (Drum dryer) การใช้ความร้อนชื้นเช่นการนึ่งด้วยไอน้ำร้อน และการดัดแปรแป้งแบบพรีเจลาติไนซ์เป็นการให้ความร้อนบางส่วนแก่แป้ง จึงเป็นวิธีที่ไม่ใช้สารเคมีสามารถลดสารพิษตกค้างในสิ่งแวดล้อม (วรรณข, 2555)

มันเทศ (*Ipomoea batatas* L.) จัดเป็นพืชไร่ เป็นพืชที่ปลูกหลังนาข้าว มันเทศจัดเป็นผักที่รับประทานในส่วนของราก นอกจากนั้นมันเทศเป็นพืชหัวที่มีคุณค่าทางโภชนาการที่อุดมไปด้วยคาร์โบไฮเดรต แคลโรทีนอยด์ ไขมัน วิตามิน เส้นใยอาหาร แร่ธาตุ และสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น แอนโทไซยานิน ที่พบในมันเทศเนื้อสีม่วง (Liao et al., 2019) นอกจากนั้นมันเทศญี่ปุ่นยังมีหลายสายพันธุ์และมีหลากหลายสี เช่น เนื้อสีเหลือง เนื้อสีส้ม มักพบสารแคโรทีนอยด์ โดยเฉพาะสารเบต้าแคโรทีน นอกจากนั้นยังพบสารประกอบฟีนอลิก และสารฟลาโวนอยด์ มีฤทธิ์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีผลชะลอโรคความดันโลหิตสูง โรคเบาหวาน โรคกระดูก และโรคหลอดเลือดหัวใจ เป็นต้น (Jubril et al., 2012)

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาผลของการไม่แป้งแบบเปียก การไม่แห้ง และการไม่ผสม และผลของการดัดแปรแป้งแบบพรีเจลาติไนซ์ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติทางเคมีของแป้งมันเทศญี่ปุ่นสีม่วง รวมทั้งฤทธิ์ในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของแป้งมันเทศญี่ปุ่นสีม่วงเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารต่อไป

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

1. การไม่แบบต่าง ๆ ไม่เปียก ไม่แห้ง และไม่ผสม

1.1 การผลิตแป้งมันเทศญี่ปุ่นสีม่วงแบบไม่เปียก

การผลิตแป้งมันเทศตัดแปลงจากวิธีการไม่แบบเปียก แบบแห้ง และแบบผสม ตามวิธีของ วิจิตรา และวชิรญา (2563) นำมันเทศญี่ปุ่นสีม่วงอย่างละ 3 กิโลกรัม ล้างให้สะอาดปอกเปลือก ผานเป็นแผ่นบาง นำเกลือผสมกับน้ำแช่มันเทศไว้ประมาณ 10 นาที ล้างออกให้สะอาด หั่นหรือปั่นให้สามารถเข้าเครื่องไม่แบบ สำหรับแป้งไม่เปียกในอัตราส่วนเนื้อมันต่อน้ำอัตราส่วน 1:1 ด้วยเครื่องไม่ นำน้ำแป้งที่ได้มากรองด้วยผ้าขาวบางบีบน้ำออกให้หมด การผลิตแป้งมันเทศญี่ปุ่นสีม่วงแบบไม่แห้ง นำมันเทศที่ผานเป็นแผ่นบางเข้าเครื่องอบลมร้อนอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 7 ชั่วโมง การผลิตแป้งมันเทศญี่ปุ่นสีม่วงแบบไม่ผสมแล้วมันเทศญี่ปุ่นสีม่วงแช่น้ำอัตราส่วน 1:1 นาน 4 ชั่วโมง สำหรับแป้งไม่เปียกและไม่ผสมพักให้สะเด็ดน้ำและทำแห้งด้วยเครื่องอบลมร้อนอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 7 ชั่วโมง นำแป้งมันเทศที่ได้มาบดด้วยเครื่องบดละเอียด ร่อนด้วยตะแกรงร่อนขนาด 60 เมช เก็บแป้งมันเทศญี่ปุ่นสีม่วงด้วยถุงออลูมิเนียมฟรอยด์ ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส ก่อนการวิเคราะห์

2. การตัดแปรแป้งมันเทศญี่ปุ่นสีม่วงด้วยวิธีพรีเจลาติไนซ์

การตัดแปรแป้งด้วยวิธีพรีเจลาติไนซ์ (Pregelatinize) ตามวิธีของ วิจิตรา และวชิรญา (2563) โดยเตรียมแป้งที่ผ่านการไม่เปียก การไม่แห้ง และการ ไม่ผสม 200 กรัม ผสมน้ำ 1,500 มิลลิลิตร ทำการพรีเจลาติไนซ์ที่อุณหภูมิ 75 และ 85 องศาเซลเซียส นาน 5 ชั่วโมง ด้วยเครื่อง Water bath ทิ้งไว้ให้เย็นและทำแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง นำแป้งมันเทศที่ได้มาบดด้วยเครื่องบดละเอียด ร่อนด้วยตะแกรงร่อนขนาด 60 เมช เก็บแป้งมันเทศญี่ปุ่นสีม่วงด้วยถุงออลูมิเนียมฟรอยด์อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส ก่อนการวิเคราะห์

3. การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของแป้งมันเทศสีม่วงตัดแปร

3.1 การวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging activity

การหาฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging activity ตัดแปลงจากวิธี Dasgupta and De (2007) ซึ่งผงแป้งตัดแปรมันเทศญี่ปุ่นสีม่วง 5 กรัม สกัดด้วยสารละลายเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 75 จำนวน 20 มิลลิลิตร จำนวน 3 ซ้ำ ปริมาณ 20 มิลลิลิตร กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 เก็บไว้ในตู้เย็น ก่อนการวิเคราะห์ ไว้เพื่อเตรียม ใช้ในการทดลองทำการเจือจางให้มีความเข้มข้น 0.1, 0.05 และ 0.005 กรัม/มิลลิลิตร ปีเปตน้ำแป้ง 0.5 มิลลิลิตร โดยใช้สารละลาย DPPH (ความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมล) จำนวน 3 มิลลิลิตร แล้วเขย่า บ่มในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที วัดด้วย Spectrophotometer (GBC UV-VIS เอส.เอ. ขอนแก่น จำกัด) ที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ใช้สาร Trolox เปรียบเทียบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ คำนวณฤทธิ์ในการยับยั้งเป็นร้อยละ (%) กำหนดให้ค่า A_c = ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างควบคุม และค่า A_b = ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง

$$\text{ร้อยละการยับยั้ง} = \frac{(A_c - A_b) \times 100\%}{A_c} \quad (1)$$

3.2 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS radical scavenging activity

การวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระใช้สาร 2, 2-azino-bis-3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acid (ABTS) ตามวิธีของ Thaipong et al. (2006) ใช้สาร ABTS ความเข้มข้น 4 มิลลิโมลาร์ และสารโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต ความเข้มข้น 70 มิลลิโมลาร์ บ่มในที่มืดเป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง ทำการเตรียมสาร ABTS ผสมด้วยสารละลายฟอสเฟตความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ โดยเติมสารโซเดียมคลอไรด์ NaCl (0.818%) และสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ KCl (0.0015%)

ที่ pH 7.4 (1:2v/v) ก่อนทำการทดลอง เติมตัวอย่างสารสกัดของแป้งมันม่วงจากข้อ 3.1 จำนวน 0.1 มิลลิลิตร เติมสาร ABTS จำนวน 2 มิลลิลิตร จับเวลา 6 นาที วัดด้วย Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร โดยเปรียบเทียบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระกับสาร Trolox

3.3 การวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานิน

การวิเคราะห์ปริมาณสารแอนโทไซยานินทั้งหมดด้วยวิธี pH difference assay ตามวิธีของ AOAC (2005) โดยใช้สารสกัดตัวอย่างจากข้อ 2.1 โดยปริมาตรของสารละลายบัฟเฟอร์ 2 ชนิด คือ โปตัสเซียมคลอไรด์บัฟเฟอร์ (0.025 โมล และ pH 1.0) หรืออะซิเตตบัฟเฟอร์ (0.4 โมล และ pH 4.5) แล้วอ่านค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 และ 700 นาโนเมตร จากสารละลายทั้งสองค่าคำนวณปริมาณของแอนโทไซยานินรวมตามสูตร

$$\text{Total anthocyanin content} = \left[\frac{\text{Acorrection} \times \text{MW} \times \text{DF} \times 1000}{\epsilon \times L} \right] \quad (2)$$

เมื่อ A correction = $(A_{520} - A_{700})_{\text{pH}1.0} - (A_{520} - A_{700})_{\text{pH}4.5}$

A_{520} และ A_{700} = ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 และ 700 นาโนเมตร

MW = น้ำหนักโมเลกุลของแอนโทไซยานิน (เทียบกับ Cyanidin-3-glucoside 449.2 กรัมต่อโมล)

DF = สัดส่วนที่ทำการเจือจาง

L = ความยาวของสารละลายที่แสงผ่าน (cm)

ϵ = สัมประสิทธิ์ molar extinction coefficient มีค่า 26,900 ($\text{M}^{-1} \text{cm}^{-1}$)

3.4 วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (Total phenolic compounds) ดัดแปลงจากวิธีของ Dasgupta et al. (2007)

นำตัวอย่างสารสกัดของแป้งมันม่วงจากข้อ 2.1 จำนวน 0.5 มิลลิลิตร เติมสารละลาย Folin-Ciocalteu reagent ในอัตราส่วน 1:1 จำนวน 1.25 มิลลิลิตร เติมสารละลาย NaCO_3 ความเข้มข้น ร้อยละ 10 จำนวน 3.75 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรโดยน้ำกลั่น ตั้งทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง วัดด้วย Spectrophotometer (GBC UV-VIS เอส.เอ. ขอนแก่น จำกัด) หาค่าดูดกลืนแสง 765 นาโนเมตร โดยใช้กรดแกลลิกความเข้มข้น 0-1 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร เป็นสารมาตรฐาน

4. วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของแป้งมันเทศญี่ปุ่นสีม่วง และแป้งพรีเจลาตินซ์

4.1 การวัดคุณสมบัติทางกายภาพ

การวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง ตามวิธีของ จิรนาถ (2555) เตรียมแป้งดัดแปร 1.5 กรัม ละลายน้ำกลั่นจำนวน 10 มิลลิลิตร และคนให้เข้ากัน วัดค่าความเป็นกรด-ด่างด้วยเครื่อง pH meter ยี่ห้อ CENTURION รุ่น ATX224 วัดค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ด้วยเครื่อง Water activity meter (AOAC, 2005) วิเคราะห์หาปริมาณความชื้น (Moisture) ด้วยเครื่องวัดความชื้น ยี่ห้อ OHAUS ค่าสี ด้วยเครื่อง Chromameter รุ่น CRM-WR-10 ด้วยระบบ Hunter color system โดยค่า L^* หรือความสว่าง (0 = สีดำ, 100 = สีขาว) ค่า a^* (+a = สีแดง, -a = สีเขียว) และค่า b^* (+b = สีเหลือง, -b = สีน้ำเงิน)

4.2 อัตราการพองตัว

อัตราการพองตัวของแป้งถูกต้องตามวิธีของ Wiriyawattana et al. (2018) นำตัวอย่างแป้ง (0.25 กรัม) ผสมกับน้ำ (5 มิลลิลิตร) ถูกกวนที่ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ในอ่างน้ำที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที เย็นและปั่นเหวี่ยงที่ 1,700 กรัม เป็นเวลา 4 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ค่าอัตราการพองตัวถูกคำนวณเป็นกรัมต่อกรัมของแป้ง

$$\text{ร้อยละการพองตัว} = \left[\frac{\text{น้ำหนักตะกอนแป้ง} \times 100\%}{\text{น้ำหนักแห้งของแป้ง}} \right] \quad (3)$$

4.3 การละลาย

การวัดการละลายของแป้งสามารถทำตามวิธีของ Wiriyawattana et al. (2018) ดัชนีการละลายน้ำ (WSI) และดัชนีการดูดซึมน้ำ (WAI) แป้ง (1 กรัม) เติมน้ำกลั่น (30 มิลลิลิตร) ปั่นเหวี่ยง (2000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที) ระบายน้ำทิ้งและปล่อยให้แห้ง WAI คำนวณจากสูตร (4)

$$WAI = \frac{m_m - m}{m} \times 100\% \quad (4)$$

WAI = เปอร์เซ็นต์ของน้ำที่ดูดซึมไว้ต่อ 1 กรัม ของตัวอย่าง (% w/w)

m_m = น้ำหนักตะกอนเปียก (กรัม)

m = น้ำหนักตัวอย่าง 1 กรัม (น้ำหนักแห้ง)

จากนั้นนำวัสดุไปอบแห้งเป็นเวลา 24 ชั่วโมงที่ 105 องศาเซลเซียส และหาระดับความสามารถในการละลายน้ำได้

$$WSI = \frac{m_r}{m} \times 100\% \quad (5)$$

WSI = ร้อยละของการละลายน้ำของแป้ง 1 กรัม (% w/w)

m_r = น้ำหนักของสารละลาย (กรัม)

m = น้ำหนักแป้ง 1 กรัม (น้ำหนักแห้ง)

4.4 ความหนืด

การวัดความหนืดของแป้งดัดแปลงจากวิธีของ Wiriyawattana et al. (2018) วัดคุณสมบัติในการเกิดเจลของแป้งมันม่วงญี่ปุ่นสีม่วงด้วยเครื่อง Barbender filanograph ตัวอย่างแป้งแต่ละชนิด (3.5 กรัม/น้ำหนักแห้ง) ผสมกับ น้ำกลั่น 25 มิลลิลิตร ใช้อุณหภูมิเริ่มต้นที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 95 องศาเซลเซียส ที่ 12 องศาเซลเซียส/นาที คงไว้ที่ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2.5 นาที ลดลงถึง 50 องศาเซลเซียส ที่ 12 องศาเซลเซียส/นาที และคงไว้ที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที บันทึกค่าเฉลี่ยสำหรับความหนืดสูงสุดความหนืดที่ลดลงความหนืดสุดท้าย ค่า Setback อุณหภูมิเริ่มต้น การวางการสลายตัวและความหนืดสุดท้าย

4.5 การศึกษาลักษณะเม็ดแป้ง

ศึกษาลักษณะของเม็ดแป้ง การเอาแป้งไปส่องในกล้องจุลทรรศน์แบบ Confocal face contrast microscope ที่มีความละเอียดและสามารถเห็นโครงสร้างภายในของเม็ดแป้ง ใช้น้ำเชื่อมกลูโคสร้อยละ 60 ย้อมสไลด์

5. วิเคราะห์ทางสถิติ

การจัดการทดลองแบบ Factorial ตามแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (Factorial in CRD) ปัจจัยการทดลองคือ การไม่แบบไม่เปียก การไม่แห้ง การไม่ผสม และอุณหภูมิในการดัดแปรคือ 75 และ 85 องศาเซลเซียส วิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ ANOVA เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบรายคู่ ด้วยวิธีของ Duncan 's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) ทำการทดลอง 3 ซ้ำการวิเคราะห์ในรูปแบบค่าเฉลี่ยและเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($\bar{x} \pm SD, n = 3$)

ผลการวิจัย

1. คุณสมบัติทางด้านกายภาพและด้านเคมีของแป้งมันเทศญี่ปุ่นที่ผ่านกระบวนการไม่แบบต่าง ๆ

1.1 ค่า pH ค่า a_w ความชื้น การพองตัว และการละลาย

คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของแป้งมันเทศญี่ปุ่นสีม่วง ที่ผลิตด้วยวิธีไม่เปียก วิธีการไม่แห้ง และวิธีการไม่ผสม ดังแสดงในตารางที่ 1 พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของแป้งไม่เปียก แป้งไม่แห้ง และแป้งไม่ผสม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) สูงที่สุดคือแป้งไม่ผสมมีค่า 0.5 ± 0.00 และสูตรที่มีค่า a_w ต่ำที่สุดคือแป้งไม่เปียกมีค่า 0.33 ± 0.02 ความชื้นสูงที่สุด คือ ไม่ผสมมีค่า 7.41 ± 0.01 การพองตัวของแป้งไม่เปียกมีค่าสูงที่สุดคือ 4.81 การละลายสูงที่สุดคือแป้งไม่แห้งมีค่า 32.69 ต่ำที่สุดคือแป้งไม่เปียกอยู่ในช่วง 7.95 ± 0.10 เนื่องจากการผลิตแป้งไม่เปียกของแป้งมันเทศสัมผัสกับน้ำโดยตรงทำให้สารที่ละลายน้ำได้ละลายไปกับน้ำก่อนหน้า จึงทำให้แป้งละลายน้ำได้น้อย

ตารางที่ 1 แสดงคุณสมบัติทางด้านกายภาพของแป้งมันเทศญี่ปุ่นสีม่วงที่ผ่านการไม่ด้วยวิธีที่แตกต่างกัน

คุณภาพทางกายภาพ	แป้งมันเทศญี่ปุ่นสีม่วง		
	แป้งไม่เปียก	แป้งไม่แห้ง	แป้งไม่ผสม
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	6.04 ± 0.11^b	6.31 ± 0.06^a	6.38 ± 0.06^a
ค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w)	0.33 ± 0.02^c	0.48 ± 0.01^b	0.54 ± 0.00^a
ความชื้น	5.15 ± 0.02^c	5.92 ± 0.06^b	7.41 ± 0.01^a
การพองตัว (g/g)	4.81 ± 0.21^a	3.74 ± 0.06^b	3.83 ± 0.05^b
การละลาย (%)	7.95 ± 0.10^c	32.70 ± 0.57^a	26.01 ± 0.70^b

หมายเหตุ: ^{a, b, c} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันตามแนวนอน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$) ($\bar{X} \pm SD$, $n = 3$)

1.2 คุณสมบัติด้านความหนืดของแป้งมันเทศญี่ปุ่นสีม่วง

จากตารางที่ 2 พบว่า แป้งที่ผ่านการไม่ทั้งสามวิธีมีอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดประมาณ 72-83 องศาเซลเซียส แป้งที่ผ่านการแป้งไม่เปียกมีความหนืดสูงสุด (Peak viscosity) ความหนืดลดลง (Break down) ความหนืดสุดท้าย (Final viscosity) และค่าการคืนตัวของแป้ง (Set back) สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในขณะที่แป้งไม่แห้งและแป้งไม่ผสมมีค่าการคืนตัวของแป้งต่ำที่สุด

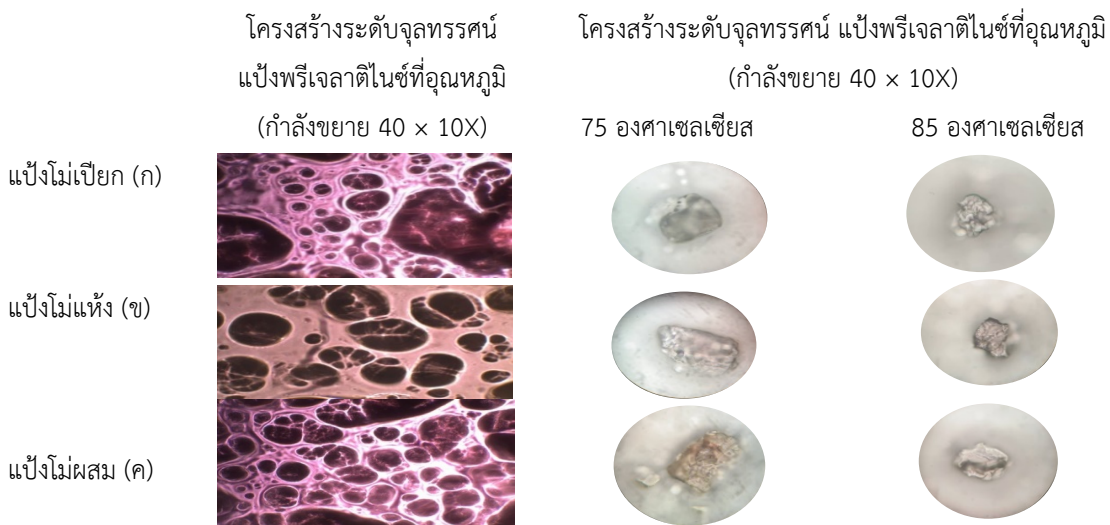
ตารางที่ 2 คุณสมบัติด้านความหนืดของแป้งมันเทศญี่ปุ่นสีม่วง

ความหนืด	แป้งไม่เปียก	แป้งไม่แห้ง	แป้งไม่ผสม
อุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืด (cP)	72.13 ± 2.53^b	83.90 ± 6.40^a	75.67 ± 4.73^c
ค่าความหนืดสูงสุด (cP)	1179.00 ± 387.84^a	133.20 ± 27.71^c	221.40 ± 98.54^c
ความหนืดลดลง (cP)	745.20 ± 47.08^a	133.20 ± 27.71^b	219.67 ± 96.68^c
ความหนืดสุดท้าย (cP)	1072.80 ± 34.30^a	221.40 ± 33.72^b	300.60 ± 115.48^b
การคืนตัวของแป้ง Setback (cP)	280.80 ± 42.18^a	84.60 ± 8.25^b	82.13 ± 19.76^b

หมายเหตุ: ^{a, b, c} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันตามแนวนอน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$) ($\bar{X} \pm SD$, $n = 3$)

1.3 โครงสร้างระดับจุลภาคของเม็ดแป้งมันเทศญี่ปุ่นสีม่วง

ลักษณะของแป้งดังแสดงในรูปที่ 1 แป้งไม่เปียก (1ก) แป้งไม่แห้ง (1ข) และแป้งไม่ผสม (1ค) มีเม็ดแป้งมีการเรียงตัวกันแบบกึ่งผลึก (Semicrystalline) โดยโมเลกุลของอะไมโลส และอะไมโลเพคตินจะจัดเรียงตัวกันทั้งในส่วนผลึก Crystalline region และส่วนอสัณฐาน (Amorphous region) ลักษณะอสัณฐานของแป้งประกอบไปด้วยโมเลกุลของอะไมโลส และสายโซ่ยาวของอะไมโลเพคติน ซึ่งเม็ดแป้งไม่เปียก แป้งไม่แห้ง และแป้งไม่ผสม มีลักษณะโครงสร้างผลึกแบบกลมเรียงตัวกันแบบหลวม ๆ เม็ดแป้งมีลักษณะเป็นวงกลม มีกากบาทอยู่ศูนย์กลาง หรือลักษณะของ Birefringence ของเม็ดแป้งในการไม่แป้งสามแบบ มีลักษณะที่ไม่แตกต่างกัน เนื่องจากการไม่ด้วยวิธีต่าง ๆ ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะของเม็ดแป้งแต่อย่างใด ทำให้ทั้งในส่วนโครงสร้างแบบผลึกและในส่วนอสัณฐานมีโมเลกุลแป้งที่สมบูรณ์ไม่แตกต่างกัน



รูปที่ 1 โครงสร้างระดับจุลทรรศน์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบ Confocal face contrast microscope (ก) แป้งไม่เปียก (ข) แป้งไม่แห้ง (ค) แป้งไม่ผสม (ที่กำลังขยาย 40 × 10X)

2. ผลการพรีเจลาตินไนซ์ต่อลักษณะทางด้านเคมีแป้งมันเทศญี่ปุ่นสีม่วง

2.1 pH ค่า a_w ความชื้น การพองตัว และการละลายของแป้งพรีเจลาตินไนซ์

จากตารางที่ 3 แสดงผลขององค์ประกอบทางเคมีของแป้งพรีเจลาตินไนซ์ของแป้งมันเทศญี่ปุ่นสีม่วง 3 วิธี คือ แป้งไม่เปียก แป้งไม่แห้ง และแป้งไม่ผสมที่อุณหภูมิต่ำ 75 และ 85 องศาเซลเซียส พบว่า แป้งพรีเจลาตินไนซ์มีค่า pH สูงที่สุดคือ แป้งพรีเจลาตินไนซ์แบบไม่แห้ง อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส (M2-85) แป้งไม่แห้ง อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส (M2-75) และแป้งไม่ผสมอุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส (M3-75) มีความแตกต่างกันในทางสถิติ ($p < 0.05$) กับแป้งพรีเจลาตินไนซ์ไม่ผสม อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส (M2-75) ($p > 0.05$) ค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) สูงที่สุดคือแป้งพรีเจลาตินไนซ์ แป้งไม่ผสมอุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส (M3-75) อยู่ในช่วง 0.49 ± 0.01 และสูตรที่มีค่า a_w ต่ำที่สุดคือ แป้งไม่เปียกอุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส (M1-85) อยู่ในช่วง 0.16 ± 0.02 ส่วนค่าความชื้นสูงสุด คือ แป้งดัดแปรไม่แห้งอุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส (M2-75) อยู่ในช่วง 8.87 ± 0.08 และค่าต่ำที่สุด คือ แป้งดัดแปรไม่เปียกอุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส (M3-85) ค่าอยู่ในช่วง 5.04 ± 0.02 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 3 ผลของวิธีการพรีเจลาตินซ์แป้งมันเทศญี่ปุ่นสีม่วงต่อสมบัติทางกายภาพ

แป้งพรีเจลาตินซ์	pH	a_w	ความชื้น	การพองตัว (กรัม/กรัม)	การละลาย (ร้อยละ)
M1-75	5.50±0.03 ^c	0.25±0.02 ^d	5.22±0.02 ^d	3.70±0.05 ^b	81.07±0.00 ^b
M2-75	5.70±0.03 ^{ab}	0.40±0.01 ^c	8.87±0.08 ^a	2.80±0.10 ^d	54.00±0.02 ^e
M3-75	5.70±0.03 ^{ab}	0.50±0.01 ^a	6.73±0.14 ^c	3.00±0.50 ^{cd}	70.00±0.04 ^c
M1-85	5.53±0.04 ^c	0.16±0.02 ^f	5.04±0.02 ^e	4.10±0.15 ^a	90.77±0.03 ^a
M2-85	5.75±0.01 ^a	0.34±0.03 ^c	8.61±0.02 ^b	2.84±0.10 ^d	60.08±0.00 ^d
M3-85	5.68±0.06 ^b	0.42±0.01 ^b	6.68±0.06 ^c	3.02±0.02 ^{cd}	71.91±0.00 ^c

หมายเหตุ: ^{a, b, c} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันตามแนวตั้ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$) ($\bar{X} \pm SD$, $n = 3$); M1-75 คือ แป้งพรีเจลาตินซ์แป้งมันเทศญี่ปุ่นสีม่วงที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส, M2-75 คือ แป้งพรีเจลาตินซ์แป้งมันเทศญี่ปุ่นสีม่วงที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส; M3-75 คือ แป้งพรีเจลาตินซ์แป้งมันเทศญี่ปุ่นสีม่วงผสมที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส, M1-85 คือ แป้งพรีเจลาตินซ์แป้งมันเทศญี่ปุ่นสีม่วงที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส และ M2-85 คือ แป้งพรีเจลาตินซ์แป้งมันเทศญี่ปุ่นสีม่วงที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส, M3-85 คือ แป้งพรีเจลาตินซ์แป้งมันเทศญี่ปุ่นสีม่วงผสมที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส

2.2 อัตราการพองตัวและการละลาย

ตารางที่ 3 จากการทดลองอัตราการพองตัวของแป้งมันเทศญี่ปุ่นสีม่วงดัดแปรเปรียบเทียบ 2 อุณหภูมิ พบว่า แป้งดัดแปร 2 อุณหภูมิ มีอัตราการพองตัวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังตารางที่ 3 โดยแป้งดัดแปรแบบพรีเจลาตินซ์แบบไม่เปียก อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส (M1-85) มีอัตราการพองตัวและการละลายสูงที่สุด มีค่า 4.10±0.15 กรัม/กรัม และ 90.77±0.03 กรัม/กรัม

2.3 ค่าสีของแป้งมันเทศญี่ปุ่นสีม่วง

จากตารางที่ 4 ค่าความสว่าง (L^*) สูงที่สุดคือแป้งมันเทศญี่ปุ่นสีม่วงไม่เปียก และมันเทศญี่ปุ่นสีม่วงที่ผ่านการพรีเจลาตินซ์ที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส (M1-75, M3-75) คือ 61.02±0.53 และ 61.22±0.50 ตามลำดับ ค่าสีแดง (a^*) ค่าสูงที่สุดคือ แป้งพรีเจลาตินซ์ไม่ผสม อุณหภูมิ 75 และ 85 องศาเซลเซียส (M3-75, M3-85) คือ 7.40±0.86 และ 7.92±0.24 ส่วนค่าสีเหลือง (b^*) สูงที่สุดอยู่ที่ แป้งพรีเจลาตินซ์ไม่เปียกอุณหภูมิ 75 และ 85 องศาเซลเซียส (M1-75, M1-85) คือ 7.84±0.34 และ 7.91±0.18 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4 แสดงคุณสมบัติด้านสีของแป้งมันเทศญี่ปุ่นสีม่วงที่ผ่านการดัดแปรด้วยวิธีพรีเจลาตินซ์

แป้งพรีเจลาตินซ์	ค่าความสว่าง (L^*)	ค่าความเป็นสีแดง (a^*)	ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*)
M1-75	61.02±0.53 ^a	4.21±0.15 ^c	7.84±0.34 ^a
M2-75	44.86±2.33 ^c	4.40±0.15 ^c	3.33±0.28 ^b
M3-75	61.22±0.50 ^a	7.40±0.86 ^a	3.41±0.36 ^b
M1-85	56.28±4.13 ^b	5.32±0.36 ^b	7.91±0.18 ^a
M2-85	41.95±0.93 ^c	4.61±0.38 ^{b,c}	1.83±0.22 ^c
M3-85	53.07±2.60 ^b	7.92±0.24 ^a	1.66±0.46 ^c

หมายเหตุ: ^{a, b, c} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันตามแนวนอน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$) ($\bar{X} \pm SD$, $n = 3$)

3. ลักษณะทางด้านกายภาพของแป้งพรีเจลาตินไนซ์ของแป้งมันเทศญี่ปุ่นสีม่วง

3.1 ความหนืดของแป้งมันเทศญี่ปุ่นสีม่วงตัดแปรด้วยวิธีพรีเจลาตินไนซ์

การศึกษาพฤติกรรมความหนืดของแป้งหรือการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้ง จากตารางที่ 5 พบว่า แป้งตัดแปรทั้ง 2 อุณหภูมิ ความหนืดทั้งหมดมีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แป้งที่ผ่านการพรีเจลาตินไนซ์แบบไม่เปียกที่อุณหภูมิ 75 และ 85 องศาเซลเซียส (M1-75, M1-85) มีความหนืดสูงสุด คือ 554.13 ± 11.38 cP และ 648.00 ± 12.85 cP ตามลำดับ ความหนืดลดลง และความหนืดสุดท้ายของแป้งพรีเจลาตินไนซ์แบบไม่เปียกที่อุณหภูมิ 75 และ 85 องศาเซลเซียส (M1-75, M1-85) ค่าสูงที่สุดอยู่ในช่วง 613.80 ± 94.36 cP และ 811.80 ± 11.98 cP ตามลำดับ จากการทดลองชี้ให้เห็นว่าแป้งพรีเจลาตินไนซ์ไม่แห้งที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส (M2-75) มีค่าการคืนตัวของแป้งต่ำที่สุด 23.40 ± 8.25 cP ($p < 0.05$) คือมีการคืนตัวของแป้งต่ำที่สุดทำให้เกิดการรีโทรเกรเดชัน หรือการไหลเยิ้มของน้ำต่ำที่สุด รองลงมาได้แก่ แป้งพรีเจลาตินไนซ์ไม่แห้งอุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส (M2-85) 37.80 ± 9.35 cP ในขณะที่แป้งพรีเจลาตินไนซ์ไม่เปียกที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส (M1-75) มีค่าการคืนตัวของแป้งสูงที่สุด อยู่ในช่วง 219.60 ± 8.25 cP ส่วนอุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืดของแป้งพรีเจลาตินไนซ์ไม่ผสมอุณหภูมิ 75 และ 85 องศาเซลเซียส (M3-75, M3-85) ใช้เวลานานที่สุด คือ 94.87 ± 0.06 cP และ 95.57 ± 0.20 cP ตามลำดับ แป้งมันเทศที่พรีเจลาตินไนซ์ที่อุณหภูมิ 75 และ 85 องศาเซลเซียส ค่าความหนืดของแป้งพรีเจลาตินไนซ์ทั้ง 2 อุณหภูมิ แป้งพรีเจลาตินไนซ์แบบไม่เปียกมี ค่าความหนืดสูงสุด ความหนืดลดลง และความหนืดสุดท้ายสูงที่สุด ($p < 0.05$)

ตารางที่ 5 แสดงการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งมันเทศญี่ปุ่นสีม่วงตัดแปรด้วยวิธีพรีเจลาตินไนซ์

แป้งพรีเจลาตินไนซ์	ความหนืดสูงสุด (cP)	ความหนืดลดลง (cP)	ความหนืดสุดท้าย (cP)	การคืนตัวของแป้ง Setback (cP)	อุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืด (°C)
M1-75	554.13 ± 11.38^a	464.40 ± 16.20^b	694.80 ± 3.12^b	219.60 ± 8.25^a	83.00 ± 0.46^b
M2-75	18.00 ± 8.25^c	16.20 ± 9.35^d	41.40 ± 15.59^d	23.40 ± 8.25^e	50.87 ± 0.21^c
M3-75	84.60 ± 8.25^{bc}	84.60 ± 8.25^{cd}	136.80 ± 11.24^{cd}	52.20 ± 3.12^d	94.87 ± 0.06^a
M1-85	648.00 ± 12.85^a	613.80 ± 94.36^a	811.80 ± 11.98^a	201.80 ± 17.36^b	83.83 ± 5.33^b
M2-85	28.80 ± 15.60^c	28.80 ± 15.60^d	72.00 ± 24.94^{de}	37.80 ± 9.35^{de}	50.77 ± 0.40^c
M3-85	136.80 ± 11.24^b	135.00 ± 14.30^c	203.40 ± 17.36^c	72.00 ± 3.12^c	95.57 ± 0.20^a

หมายเหตุ: ^{a, b, c} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันตามแนวตั้ง มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$) ($\bar{X} \pm SD, n=3$)

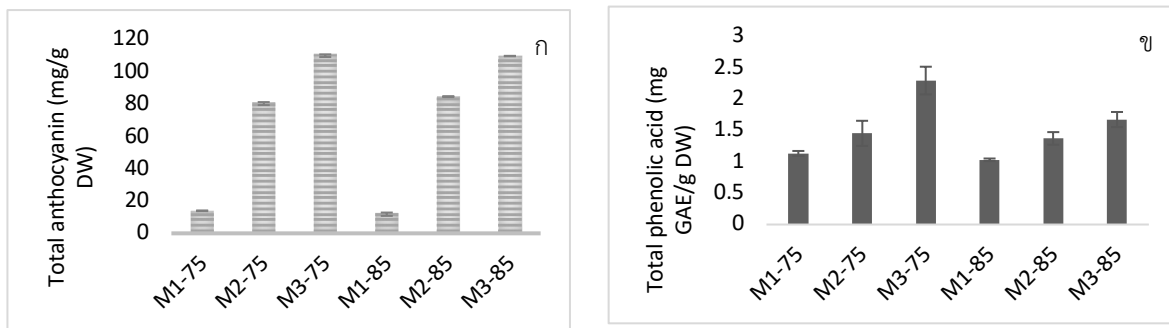
4. องค์ประกอบทางเคมีของแป้งมันเทศญี่ปุ่นสีม่วงที่ตัดแปรด้วยวิธีพรีเจลาตินไนซ์

4.1 ปริมาณสารแอนโทไซยานินทั้งหมด

จากรูปที่ 3ก ผลการวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินของแป้งพรีเจลาตินไนซ์เปรียบเทียบ 2 อุณหภูมิคือ 75 และ 85 องศาเซลเซียส พบว่า แป้งทั้ง 2 อุณหภูมิมีปริมาณสารแอนโทไซยานินแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยแป้งพรีเจลาตินไนซ์แบบไม่ผสมอุณหภูมิ 75 และ 85 องศาเซลเซียส (M3-75, M3-85) มีปริมาณสารแอนโทไซยานินมากที่สุดคือ 110.60 ± 1.52 mg/g DW และ 109.70 ± 0.14 mg/g DW รองลงมาคือแป้งตัดแปรไม่แห้งอุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส (M2-85) 84.75 ± 0.42 mg/g DW และแป้งพรีเจลาตินไนซ์แบบไม่แห้งอุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส (M2-75) 81.08 ± 1.73 mg/g DW ส่วนแป้งที่พบปริมาณแอนโทไซยานินน้อยที่สุด คือ แป้งพรีเจลาตินไนซ์แบบไม่เปียกอุณหภูมิ 75 และ 85 องศาเซลเซียส (M1-75, M185) 14.03 ± 0.30 mg/g DW และ 12.73 ± 1.92 mg/g DW ตามลำดับ

4.2 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก

จากรูปที่ 3 ข จากผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของแป้งมันเทศญี่ปุ่นสีม่วงเปรียบเทียบ 2 อุณหภูมิ คือ 75 และ 85 องศาเซลเซียส พบว่า แป้งทั้ง 2 อุณหภูมิมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยแป้งพรีเจลาติไนซ์แบบไม่ผสมอุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส (M3-75) มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงสุด 2.29 ± 0.22 mg GAE/g DW รองลงมาคือแป้ง พรีเจลาติไนซ์แบบไม่ผสมอุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส (M3-85) มีปริมาณฟีนอลิก 1.67 ± 0.12 mg GAE/g DW แป้งพรีเจลาติไนซ์ไม่แห้งอุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส (M2-75) 1.45 ± 0.20 mg GAE/g DW และแป้งพรีเจลาติไนซ์แบบไม่แห้งอุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส (M2-85) 1.37 ± 0.10 mg GAE/g DW ส่วนแป้งที่มีปริมาณฟีนอลิกน้อยที่สุด คือ แป้งพรีเจลาติไนซ์แบบไม่เปียกอุณหภูมิ 75 และ 85 องศาเซลเซียส (M1-75, M1-85) มีปริมาณฟีนอลิกต่ำที่สุดคือ 1.13 ± 0.04 mg GAE/g DW และ 1.03 ± 0.02 GAE/g DW ตามลำดับ การทดลองแบบใช้อุณหภูมิ 75 และ 85 องศาเซลเซียส เนื่องจากการไม่ผสมทำให้เกิดการเสถียรของสารแอนโทไซยานินสูงกว่าการไม่วิธีอื่น ๆ นอกจากนั้นการทดลองของ Li et al. (2011) พบว่าในมันเทศญี่ปุ่นสีม่วงมีสารฟีนอลิกบางชนิด ได้แก่ กรดคลอโรเจนิก, รูทีน และเคอซีทิน เป็นต้น

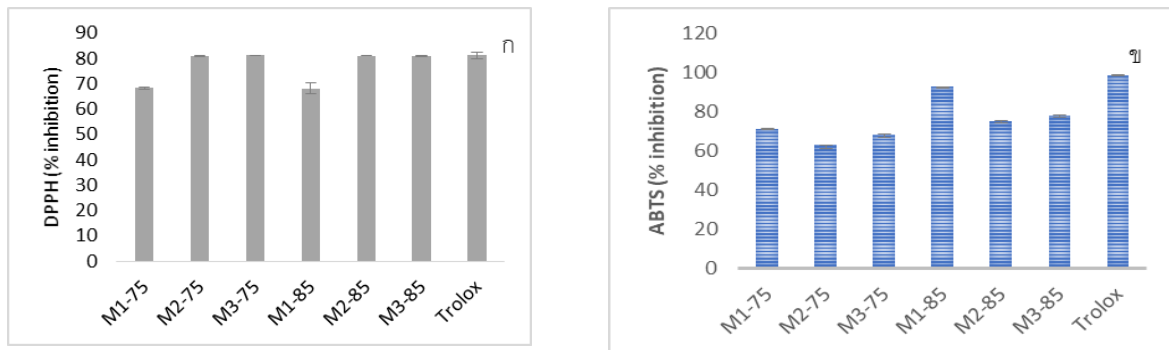


รูปที่ 2 (ก) ปริมาณสารแอนโทไซยานิน และ (ข) สารฟีนอลิกในแป้งมันเทศญี่ปุ่นสีม่วงที่ทำการดัดแปรด้วยวิธีพรีเจลาติไนซ์ ($\bar{x} \pm SD$, $n=3$)

5. ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของแป้งมันเทศญี่ปุ่นสีม่วงที่ดัดแปรด้วยการพรีเจลาติไนซ์

5.1 ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging activity

รูปที่ 3 ก จากผลการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของแป้งมันเทศญี่ปุ่นสีม่วง เปรียบเทียบ 2 อุณหภูมิคือ 75 และ 85 องศาเซลเซียส พบว่า สาร Trolox มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH สูงที่สุด $81.21 \pm 1.41\%$ แป้งพรีเจลาติไนซ์แบบไม่ผสมอุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส (M3-75, M2-75) มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ $81.21 \pm 0.08\%$ และ $81.00 \pm 0.28\%$ แป้งพรีเจลาติไนซ์แบบไม่แห้งอุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส (M2-85) ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ $81.14 \pm 0.02\%$ แป้งพรีเจลาติไนซ์แบบไม่ผสมอุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส (M3-85) ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ $81.07 \pm 0.18\%$ แป้งพรีเจลาติไนซ์แบบไม่แห้งอุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส (M2-75) มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ $81.00 \pm 0.28\%$ และแป้งที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระน้อยที่สุด คือ แป้งพรีเจลาติไนซ์แบบไม่เปียก อุณหภูมิ 75 และ 85 องศาเซลเซียส (M1-75, M1-85) มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ $68.26 \pm 0.60\%$ และ $68.22 \pm 2.07\%$ ตามลำดับ



รูปที่ 3 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในแป้งมันเทศญี่ปุ่นสีม่วงที่ทำการตัดแปรด้วยวิธีพรีเจลาตินไนซ์ (ก) DPPH radical scavenging activity และ (ข) ABTS radical scavenging activity ($\bar{x} \pm SD$, n=3)

5.2 ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS radical scavenging activity

รูปที่ 3ข จากผลการวิเคราะห์หาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของแป้งมันเทศญี่ปุ่นสีม่วง พบว่าสาร Trolox มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS สูงที่สุด $98.60 \pm 0.20\%$ แป้งพรีเจลาตินไนซ์ไม่เปียกอุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส (M1-85) มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด $92.72 \pm 0.41\%$ รองลงมา คือ แป้งพรีเจลาตินไนซ์ไม่ผสมอุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส (M3-85) มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ $78.28 \pm 0.20\%$ แป้งพรีเจลาตินไนซ์ไม่แห้งอุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส (M2-85) มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ $75.05 \pm 0.70\%$ แป้งพรีเจลาตินไนซ์ไม่เปียกอุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส (M1-75) มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ $71.26 \pm 0.27\%$ แป้งพรีเจลาตินไนซ์ไม่ผสมอุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส (M3-75) มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ $68.56 \pm 1.51\%$ และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่พบน้อยที่สุด คือ แป้งพรีเจลาตินไนซ์ไม่แห้งอุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส (M2-75) มีค่าการยับยั้ง $62.90 \pm 1.75\%$ ตามลำดับ

การอภิปรายผล

คุณสมบัติด้านความเหนียวของแป้งมันเทศญี่ปุ่นสีม่วงที่ผ่านกระบวนการโมแบบเปียก การไม่แห้ง และการไม่ผสม ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเม็ดแป้ง ส่งผลต่อความเหนียวของแป้งในแต่ละการโมแบบต่าง ๆ แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด เช่น การไม่แห้งจะมีค่าความเหนียวสูงสุด และความเหนียวสุดท้ายสูงกว่าการไม่แห้งแบบอื่น ๆ เนื่องจากว่าเม็ดแป้งมีการดูดน้ำไว้ในโมเลกุลแป้งบางส่วน ทำให้เกิดการพองตัวและการละลายได้ดีขึ้น สอดคล้องกับผลการทดลองของ ศันสนีย์ และพัชรี (2561) ผลของวิธีการไม่ (ไม่เปียก ไม่ผสม และไม่แห้ง) ต่อองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของแป้งข้าวขาวดอกมะลิ 105 และนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมเค้กปลอดกลูเตน พบว่า ดัชนีการดูดซับน้ำ และดัชนีการละลายน้ำสูงที่สุด โดยแป้งข้าวไม่แห้งและไม่ผสมมีค่าอะไมโลส โปรตีน และสตาร์ช เสียหายไม่มีความแตกต่างกัน แป้งข้าวไม่แห้งมีขนาดอนุภาคใหญ่ที่สุดและมีสีเหลืองมากกว่าแป้งไม่เปียกและไม่ผสม ด้านสมบัติของความเหนียว แป้งข้าวไม่แห้งมีค่าความเหนียวสูงสุดความเหนียวลดลง ค่าการคืนตัวของแป้ง และความเหนียวสุดท้ายสูงที่สุด ในขณะที่แป้งข้าวไม่เปียกมีค่าความเหนียวต่ำที่สุด เนื่องจากแป้งที่ผ่านการไม่ทั้งสามวิธีมีปริมาณโครงสร้างผลึกไม่แตกต่างกัน และงานวิจัยของ วิจิตร และชัชวรา (2563) พบว่า การไม่เปียก ไม่แห้ง และไม่ผสม ต่อคุณสมบัติทางเคมี คุณสมบัติด้านกายภาพ ความเหนียว และการแยกตัวของน้ำของแป้งกระจับ ขณะที่วิธีการไม่แห้งไม่มีผลต่อการละลายน้ำ และกำลังการพองตัว แต่มีผลต่อสมบัติความเหนียวของแป้งกระจับ โดยแป้งกระจับไม่ผสมมีความเหนียวสูงสุด ความเหนียวสุดท้าย ค่าความเหนียวลดลง และค่าการคืนตัวสูงกว่าแป้งกระจับไม่เปียก และไม่แห้ง ตามลำดับ

โครงสร้างระดับจุลภาคของเม็ดแป้งมันเทศญี่ปุ่นสีม่วงที่ผ่านการโม่ทั้งสามวิธี โดยโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน จะจัดเรียงตัวกันทั้งในส่วนผลึก และส่วนอสัณฐาน ซึ่งลักษณะอสัณฐานของแป้งประกอบไปด้วยโมเลกุลของอะไมโลส และสายโซ่ยาวของอะไมโลเพคติน ซึ่งเม็ดแป้งโมเปียก แป้งโมแห้ง และแป้งโมผสม มีลักษณะโครงสร้างผลึกแบบกลมเรียงตัว กันแบบหลวม ๆ เม็ดแป้งมีลักษณะเป็นวงกลม มีกาบาทอยู่ศูนย์กลาง หรือลักษณะของ Birefringence ของเม็ดแป้ง ในการโม่แป้งสามแบบ มีลักษณะที่ไม่แตกต่างกัน เนื่องจากการโม่ด้วยวิธีต่าง ๆ ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะของเม็ด แป้งแต่อย่างใด ทำให้ทั้งในส่วนโครงสร้างแบบผลึกและในส่วนอสัณฐานมีโมเลกุลแป้งที่สมบูรณ์ไม่แตกต่างกันในขณะที่นำไป ทำการพรีเจลาตีไนซ์กลับ พบว่า ส่วนเม็ดแป้งเกิดการแตกออก ทำให้สูญเสียลักษณะ Birefringence ของเม็ดแป้งไป

อัตราการพองตัวและการละลายแป้งดิบจะมีการละลายในน้ำเพียงเล็กน้อย ที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลาตีไนซ์เนื่องจากมี พันธะไฮโดรเจนซึ่งเกิดจากหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลแป้งที่อยู่ใกล้ ๆ กัน หรือ Water bridges แต่เมื่ออุณหภูมิของสารผสม น้ำแป้งเพิ่มสูงกว่าช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลาตีไนซ์ พันธะไฮโดรเจนถูกทำลายโมเลกุลของน้ำจะเข้ามาจับกับหมู่ไฮดรอกซิลที่ เป็นอิสระ เม็ดแป้งเกิดการพองตัว ทำให้การละลายเพิ่มขึ้น โดยกำลังการพองตัวของแป้งจะแสดงเป็นปริมาตรหรือน้ำหนักของ เม็ดแป้งที่เพิ่มขึ้นมากที่สุดเมื่อเม็ดแป้งพองตัวได้อย่างอิสระ ทำให้แป้งสามารถละลายน้ำได้ (กล้าณรงค์ และเกื้อกุล, 2550) สอดคล้องกับงานวิจัยของ วิจิตร และวชิรญา (2563) พบว่า การละลายน้ำและกำลังการพองตัวของแป้งกระจัดที่ผ่านการโม่ ทั้ง 3 วิธี ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) เนื่องจากแป้งเมื่อละลายในน้ำเย็นจะดูดซึมน้ำไว้ ภายในโมเลกุลแป้ง ทำให้เม็ดแป้งพองตัวเนื่องจากน้ำถูกดูดซึมน้ำไว้ในส่วนของโมเลกุลไฮดรอกซิลของโมเลกุลอะไมโลส และอะไมโลเพคติน เมื่อแป้งได้รับความร้อนสูงขึ้น แป้งจะจับกับน้ำได้มากขึ้นทำให้เกิดการพองตัว และสามารถละลายได้ มาก เมื่อทำการพรีเจลาตีไนซ์ทำให้โมเลกุลแป้ง เมื่อพองตัวจึงมีความสามารถในการต้านการไหลมาก ทำให้มีความหนืดสูง ส่วนค่าการคินตัว หรือค่าการคินตัวของเจลแป้งของแป้งพรีเจลาตีไนซ์ไม่แห้งที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส มีค่าต่ำที่สุด เนื่องจากแป้งพรีเจลาตีไนซ์ไม่แห้งที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส จึงเกิดรีโทรเกรเดชัน หรือการคินตัวได้น้อยกว่า เนื่องจาก โมเลกุลอะไมโลสจะสามารถบีบน้ำออกจากโมเลกุลแป้งเมื่ออุณหภูมิแป้งลดลงต่ำ หรือทำให้มีการไหลเอี่ยมของน้ำออกจาก โมเลกุลแป้ง (การเกิด Syneresis) น้อยลง ดังนั้นแป้งที่ดัดแปรด้วยการ พรีเจลาตีไนซ์แบบไม่แห้งที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส สามารถใช้เป็นสารให้ความคงตัวในอาหารแช่เย็น หรืออาหารแช่แข็งในอุตสาหกรรมอาหารได้ต่อไป (กล้าณรงค์ และเกื้อกุล, 2550; วรรณช, 2555) และการให้ความร้อนขึ้น

มีผลต่อสมบัติด้านความหนืดเนื่องจากกระบวนการการทำพรีเจลาตีไนซ์ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงความหนืดลดลงของ แป้งมันเทศญี่ปุ่นสีม่วง เช่น ความหนืดที่ลดลง สอดคล้องกับผลการทดลองของ Crysztin et al. (2016) ได้ทำการดัดแปร แป้งสาลีด้วยความร้อนขึ้น แช่แป้งในน้ำแล้ววัดความหนืดด้วยเครื่อง Barbender ให้ความร้อนตั้งแต่ 74-94 องศาเซลเซียส และทำการกวนตลอด พบว่าแป้งสาลีที่ดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นมีการเกิดรีโทรเกรเดชันหรือการไหลเอี่ยมของน้ำลดน้อยลง การละลายและการพองตัวสูงขึ้นกว่าแป้งที่ไม่ผ่านการดัดแปรสภาพ Wlodarczyk-Stasiak et al. (2019) ได้ทำการศึกษา เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงทางด้านกายภาพของแป้งข้าวโพดข้าวเหนียวและแป้งมันสำปะหลังหลังจากการดัดแปรด้วยความ ร้อน พบความหนืดของเจลลดลง เนื่องจากเกิดกระบวนการยับยั้งจะชะลอการการคินตัวของ เจลแป้งเมื่อเทียบกับแป้งที่ยัง ไม่ได้ดัดแปร แป้งที่ถูกยับยั้งมีลักษณะโดยดัชนีการละลายน้ำเพิ่มขึ้นร้อยละ 15 นอกจากนั้นแล้ว Majzoubi et al. (2011) ได้ ทำการทดลองแป้งพรีเจลาตีไนซ์แป้งข้าวสาลีด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง พบว่าแป้งที่ผ่านการพรีเจลาตีไนซ์สามารถละลาย ได้ดีในน้ำที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ในขณะที่แป้งไม่ได้ทำการพรีเจลาตีไนซ์มีความหนืดสูงมาก เนื่องจากการทำแป้งด้วย วิธีพรีเจลาตีไนซ์ส่งผลให้มีความสามารถในการดูดน้ำและทำให้เกิดการพองตัว สามารถละลายได้ในน้ำเย็นได้ดีกว่าแป้งที่ไม่ ผ่านการดัดแปร และได้มีการนำแป้งดัดแปรนี้ไปใช้ในการเป็นสารให้ความข้นหนืดในผลิตภัณฑ์อาหารเนื่องจากการดัดแปร ด้วยวิธีพรีเจลาตีไนซ์ทำให้เม็ดแป้งในส่วนผลึกเกิดการแตกออก สูญเสียลักษณะ Birefringence ไปดังแสดงในรูปที่ 2 และ งานวิจัยของ Ulfa et al. (2021) การทำพรีเจลาตีไนซ์แป้งที่อุณหภูมิ 59.53 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15.00 นาที ในแป้งมัน

เทศญี่ปุ่นพบว่าทำให้เกิดการละลายได้ดีขึ้น แป้งมีความคงตัวมากขึ้น การพองตัวและความสามารถในการจับกับน้ำสูงขึ้น เพราะการทำพรีเจลาติไนซ์มีผลต่อการทำให้เม็ดแป้งแตกออก

นอกจากนั้นแล้วสีของแป้งมันเทศสีม่วงคือสารแอนโทไซยานิน งานวิจัยของ Montilla et al. (2010) พบสารอนุพันธ์ของสารแอนโทไซยานิน เช่นสารไซยานิดินทรีคาเฟอิลพาราไฮดรอกซิลเบนโซอิลโซไฟโรไซด์ไฟด์กลูโคไซด์ (Cyanidin 3-caffeoyl-p-hydroxybenzoyl sophoroside-5-glucoside) อนุพันธ์ของสารพีโอนิดินทรีคาเฟอิลโซไฟโรไซด์ไฟด์กลูโคไซด์ (Peonidin 3-caffeoyl sophoroside-5-glucoside) และอนุพันธ์ของสารไซยานิดินทรีชิกฮันเตรคคาเฟอิลพอสโรไซด์ไฟด์กลูโคไซด์ (Cyanidin-3-(600-caffeoylsophoroside)-5-glucoside) และสารพีโอนิดินทรีชิกฮันเตรคคาเฟอิลพอสโรไซด์ไฟด์กลูโคไซด์ Peonidin-3-(600-caffeoylso phoroside)-5-glucoside ตามลำดับ และงานวิจัยของ Li et al. (2011) การให้ความร้อนสูงเป็นการกระตุ้นการสลายตัวของสารอะไมโลสให้กลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวเช่นน้ำตาลกลูโคสทำให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดระหว่างน้ำตาลและกรดอะมิโน ทำให้เกิดสารสีน้ำตาลแบบไฮดรอกซิลเมทิลเพอรูราล (Hydroxylmethyferural, HMF) ในมันเทศสีม่วงไม่เพียงแต่ส่งผลกระทบต่อสีของผลิตภัณฑ์แต่ยังเป็นสาเหตุสำคัญของการสูญเสียสารแอนโทไซยานินได้อีกด้วยทำให้เกิดสีซีดจางในการโม่แบบแห้งที่มีการใช้การอบแห้งเข้าร่วมในการผลิต และการโม่แบบเปียกได้มีการละลายของสารสีแอนโทไซยานินไปกับน้ำที่ใช้ไม่เช่นกัน

สารฟีนอลิก และสารฟลาโวนอยด์ในแป้งมันเทศสีม่วงยังมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระที่ดี สอดคล้องกับงานวิจัยของ Wicaksono et al. (2016) พบว่ามันเทศสีม่วงญี่ปุ่นมีปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด 5186.51 ppm และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging activity มีค่าความเข้มข้นครึ่งหนึ่งที่ยับยั้ง IC_{50} 61.91 ppm ตามลำดับ Curayag et al. (2019) ได้ทำการศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของแป้งมันเทศสีม่วง พบว่ามีฤทธิ์การยับยั้งด้วยวิธี DPPH radical scavenging activity ร้อยละ 85.37 ผลของการวิเคราะห์ Antioxidant activity ด้วยสองวิธี ในระบบ DPPH ซึ่งใช้เมทานอลเป็นตัวทำละลาย ในขณะที่ ABTS ใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย ให้ผลการทดลองที่แตกต่างกันเล็กน้อย เนื่องจากสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญในแป้งมันเทศญี่ปุ่นสีม่วงพรีเจลาติไนซ์ดังกล่าวสามารถละลายมากับตัวทำละลายคือเมทานอลหรือน้ำแตกต่างกัน เช่น สารฟีนอลิก สารแอนโทไซยานิน และสารฟลาโวนอยด์ ตลอดจนสารฟลูเคมิซินอื่น ๆ ที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ มีสภาพความเป็นขั้วที่แตกต่างกัน กลไกการต้านอนุมูลอิสระของสารฟีนอลิก สารแอนโทไซยานิน สารฟลาโวนอยด์ในแป้งมันเทศญี่ปุ่นสีม่วงคือสามารถให้ไฮโดรเจนอะตอมต่อสารที่เป็นอนุมูลอิสระ และถ่ายโอนอิเล็กตรอนให้กับสารที่อิเล็กตรอนวงนอกไม่ครบแปดและยังเกิดเรโซแนนซ์ของสารฟีนอกซิลทำให้เกิดการเสถียรของสารอนุมูลอิสระไว้ในโมเลกุลไว้ไม่ให้ทำอันตรายต่อสารอื่นจึงสามารถยับยั้งอนุมูลอิสระได้ (Shahidi and Ambigaipalan, 2015).

บทสรุป

จากการทดลองชี้ให้เห็นว่า แป้งมันเทศญี่ปุ่นสีม่วงที่ผ่านการตัดแปรแบบพรีเจลาติไนซ์ทำให้คุณสมบัติของแป้งดีขึ้นกว่าแป้งมันเทศในสภาพธรรมชาติเหมาะกับการไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารแช่เย็น อาหารแช่แข็ง เนื่องจากมีคุณสมบัติมีค่าเบรกดาวน ค่าการคืนตัวต่ำ และเกิดริโทรเกรเดชันต่ำ เมื่อถูกทำให้เย็นจะทำให้มีน้ำที่ถูกบีบออกจากโมเลกุลแป้งต่ำ สัมพันธ์กับปริมาณอะไมโลสที่มีปริมาณเพียงเล็กน้อย นอกจากนั้นแล้วแป้งมันเทศสีม่วงยังพบสารต้านอนุมูลอิสระสูง เช่น สารฟีนอลิก สารแอนโทไซยานิน และมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging activity วิธี ABTS radical scavenging activity สูง จึงเหมาะนำมาใช้เป็นอาหารฟังก์ชันต่อไป หรือใช้เป็นสารเพิ่มความคงตัวสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาอุตสาหกรรมเกษตร สถานที่ทำการทดลอง คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน รวมถึงคุณนันทิยา สายยศ เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการ ในการอำนวยความสะดวก มา ณ โอกาสนี้ด้วย

เอกสารอ้างอิง

- กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. (2550). เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 2 สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์: กรุงเทพฯ.
- จิรนารถ บุญคง. (2555). การศึกษาสมบัติทางเคมี-กายภาพของสตาร์ชฟอสเฟตจากเมล็ดขนุน. วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม. 7(1): 40-50.
- วิจิตรา เหลียวตระกูล และวชิรญา เหลียวตระกูล. (2563). ผลของวิธีการตัดแปรแป้งด้วยกรดและพีเจลาตีโนเซชันต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งกระฉับ. วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม. 15(2): 251-264.
- วรรณช ศรีเจษฎารักษ์. (2555). เทคโนโลยีคาร์โบไฮเดรต. รายงานการวิจัย. ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น.
- คันสนีย์ อุดมระติ และพัชรี ตั้งตระกูล. (2561). ผลของวิธีการไม่ต่อสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของแป้งข้าวขาวดอกมะลิ 105 และการนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ปลอดกลูเตน. วารสารมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน. 27(2): 312-325.
- AOAC. (2005). Official methods of analysis of association of AOAC. 17th. Association of official analytical chemists. USA.
- Cornick K.M., Panozzo J.F., and Hong S.H. (1991). A swelling power test for selecting potential noodle quality wheats. Journal of Agricultural Research. 42(3): 317-323.
- Curayag Q.A.L., Dizon E.I. and Hurtada W.A. (2019). Antioxidant activity, chemical and nutritional properties of raw and processed purple-fleshed sweet potato (*Ipomoea batatas* Lam.) cogent. Food and Agriculture. 5: 1662-1670.
- Dasgupta N., and De B. (2007). Antioxidant activity of some leaf vegetable of India: A comparative study. Food Chemistry. 101(2): 471-474.
- Gryszkin A., Zieba T., Kapelko-Zeberska M. and Atraszkiewicz A. (2016). Hydrothermal modification of wheat starch part 1 effect of particle size on the viscosity of formed pastes. Journal of Cereal Science. 68: 46-52.
- Jubril I., Muazu J. and Mohammed G.T. (2012). Effects of phosphate modified and pregelatinized sweet potato starches on disintegrant property of paracetamol tablet formulations. Journal of Applied Pharmaceutical Science. 2(2): 32-36.
- Li C., Chun-Quan L., Da-Jing, L. and Jiang-feng S. (2011). Effect of processing on taste quality and health-relevant functionality of sweet potato tips. Agricultural Sciences in China. 10(3): 456-462.

- Liao L., Liu H., Gan Z. and Wu W. (2019). Structural properties of sweet potato starch and its vermicelli quality as affected by heat-moisture treatment. *International Journal of Food Properties*. 22(1): 1122-1133.
- Majzoobi M., Radi M., Farahnaky A., Jamalian J., Tongdang T., and Mesbahi G.H. (2011). Physicochemical properties of pre-gelatinized wheat starch produced by a twin drum drier. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 13: 193-202.
- Montilla C.V., Hillebrand S., Butschbach D., Baldermann S., Watannbe N. and Winterhalter P. (2010). Preparative isolation of anthocyanins from Japanese purple sweet potato. (*Ipomoea batatas* L.) varieties by high-speed unnter current chromatography. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 58: 9899-9904.
- Włodarczyk-Stasiak M., Mazurek A., Jamroz J., Pikus S., and Kowalski R. (2019). Physicochemical properties and structure of hydrothermally modified Starches. *Food Hydrocolloids*. 95(43): 88–97.
- Shahidi F. and Ambigaipalan P. (2015). Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects: A review. *Journal of Functional Foods*. 18: 820–897.
- Tang Y. and Xu W.C. (2006). Profiles of phenolics, carotenoids and antioxidative capacities of thermal processed white yellow orange and purple sweet potatoes grown in Guilin China. *Food Science and Human Wellness*. 4(2): 123-132.
- Thaipong K., Boonprakob U., Crosby K., Cisneros-Zevallos L. and Hawkins D. (2006). Comparison of DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. *Journal of Food Composition and Analysis*. 19(7): 669-675.
- Ulfa G.M., Putri W.D.R., Fibrianto K. and Widjanarko S.B. (2021). Optimization studies on pre-gelatinized sweet potato starch influenced by temperature and time. *Food Research*. 5(2): 25–30.
- Wicaksono L.A., Yunianta Y. and Widyaningsih T.D. (2016). Anthocyanin extraction from purple sweet potato cultivar antin-3 (*Ipomoea batatas* L.) using macerataion, microwave assisted extraction, ultrasonic assisted extraction and their application as anti-hyperglycemic agents in Alloxan-induced Wistar Rat. *International Journal of Pharm Tech Research*. 9(3): 181-192.
- Wiriyawattana P., Suwonsichon S., Suwonsichon T. (2018). Effects of drum drying on physical and antioxidant properties of riceberry flour. *Agriculture and Natural Resources*. 52(5): 445-450.
- Włodarczyk S.M., Mazureka A. and Jamroza J. (2019). Physicochemical properties and structure of hydrothermally modified starches. *Food Science and Biotechnology*. 95: 88–97.
- Xu J., Su X., Lim S., Griffin J., Carey E., Katz B., Tomich J., Smith J.S. and Wang W. (2015). Characterisation and stability of anthocyanins in purple-fleshed sweet potato P40. *Food Chemistry*. 186: 90-96.
- Yadav B.S., Guleria P. and Yadav R.B. (2013). Hydrothermal modification of Indian water chestnut starch: Influence of heat-moisture treatment and annealing on the physiochemical, gelatinization and pasting characteristics. *LWT-Food Science and Technology*. 53: 211-217.
- Ye F., Li J. and Zhao G. (2020). Physicochemical properties of different-sized fractions of sweet potato starch and their contributions to the quality of sweet potato starch. *Food Hydrocolloids*. 108: 1060-1069.