

สมบัติทางเคมีกายภาพและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของแป้งมันม่วงญี่ปุ่น
ที่ผ่านการดัดแปรด้วยกรดและความร้อน

Physicochemical Properties and Antioxidant Activity of Japanese Purple Sweet Potato
Starch Modified by Acid and Heat Treatments

ปนิดา เรืองสุขสุด และ วิภาวดี พันธุ์หนองหว้า*

Panida Rueangsuksud and Wipawadee Punnongwa*

สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์
Department of Agricultural industry, Faculty of Agricultural and Technology, University of Rajamangala University
of Technology, Isan Surin Campus

*E-mail: punnongwa05@gmail.com

Received: Jan 29, 2022

Revised: Apr 17, 2022

Accepted: Apr 25, 2022

บทคัดย่อ

แป้งที่ผลิตจากมันเทศนิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร การดัดแปรมันเทศที่จะนำมาใช้ทำแป้งสามารถทำให้สมบัติบางประการของแป้งดีขึ้น ซึ่งสามารถทำได้โดยการดัดแปรทางเคมี และการดัดแปรทางกายภาพ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการดัดแปรมันม่วงญี่ปุ่นในกระบวนการผลิตแป้งมันม่วงญี่ปุ่นต่อสมบัติทางเคมีและทางกายภาพ รวมทั้งฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของแป้งมันม่วงญี่ปุ่น ในการศึกษาเตรียมแป้งมันม่วงญี่ปุ่น 4 สูตร คือ S1, S2, S3 และ S4 โดย สูตร S1 เป็นสูตรควบคุมที่ไม่มีการดัดแปร สูตร S2 เป็นแป้งที่เตรียมจากมันม่วงญี่ปุ่นที่มีการดัดแปรด้วยกรดซิตริก และการให้ความร้อนโดยการลวก ส่วนสูตร S3 และ S4 เป็นแป้งที่เตรียมจากมันม่วงญี่ปุ่นที่มีการดัดแปรด้วยกรดซิตริก และการให้ความร้อนโดยการนึ่ง เป็นเวลา 30 และ 40 นาที ตามลำดับ จากนั้นนำแป้งมันม่วงญี่ปุ่นทุกสูตรไปวิเคราะห์สมบัติทางเคมี สมบัติทางกายภาพ และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ผลการทดลองที่ได้พบว่า แป้งมันม่วงญี่ปุ่นสูตร S4 มีปริมาณฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และแอนโทไซยานินมากที่สุด ซึ่งส่งผลให้มีสีม่วงที่เข้มที่สุด และมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด นอกจากนี้จากการวิเคราะห์ความหนืดพบว่าถึงแม้ค่าความหนืดสูงสุดของแป้งมันม่วงญี่ปุ่นทั้ง 4 สูตรไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่แป้งมันม่วงญี่ปุ่นสูตร S4 มีค่า breakdown และค่า setback ที่ต่ำที่สุด ซึ่งบ่งชี้ว่ามีความเสถียรมากที่สุด ผลที่ได้จากการวิจัยนี้เป็นข้อมูลเบื้องต้นที่มีประโยชน์ต่อกระบวนการผลิตแป้งมันม่วงญี่ปุ่นเพื่อให้ได้แป้งมันม่วงญี่ปุ่นที่มีสมบัติตามที่ต้องการ

คำสำคัญ: มันม่วงญี่ปุ่น การดัดแปร สมบัติทางเคมีกายภาพ ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

Abstract

Starch produced from sweet potatoes is commonly used in food industries. Modifications of sweet potatoes can improve some properties of starch which can be done by chemical modifications or physical modifications. The objective of this research was to investigate effects of modifications of Japanese purple sweet potato in starch production process on physicochemical properties and antioxidant activity of the starch. In this study, 4 formulae of starch were prepared including S1, S2, S3 and S4. The formula S1 was non-modified control. The formula S2 was starch prepared from Japanese purple sweet potato modified with citric acid and hydrothermal treatment. The formulae S3 and S4 were starches prepared from Japanese purple sweet potato modified with citric acid and heat-moisture treatment for 30 and 40 min, respectively. Chemical properties, physical properties and antioxidant activity of all starch formulae were analyzed. It was found that the Japanese purple sweet potato starch formula S4 contained the highest amounts of phenolic compounds, flavonoids and anthocyanin, thus having the strongest

purple color and highest antioxidant activity. Furthermore, from viscosity analysis, although the maximum viscosity values of all 4 starch formulae were not significantly different, the Japanese purple sweet potato starch formula S4 had lowest breakdown and setback values indicating the highest stability. The results from this research are the basic information useful for the Japanese purple sweet potato starch production process in order to obtain the desired properties of Japanese purple sweet potato starch.

Keywords: Japanese purple sweet potato, Modification, Physicochemical properties, Antioxidant activity

1. บทนำ

การผลิตแป้งใช้ในอุตสาหกรรม นิยมผลิตจากธัญพืช เช่น แป้งข้าวเหนียว แป้งข้าวเจ้า แป้งสาลี นอกจากนั้นแล้วยังมีการผลิตแป้งจากพืชไร่บางชนิด ที่รับประทานหิวราก เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่ง แป้งมันเทศ แป้งมักถูกนำมาใช้เป็นสารให้ความข้นหนืด สารเพิ่มความคงตัวในผลิตภัณฑ์อาหารต่าง ๆ เช่น ซอส ไล้พาย พุดดิ้ง (pudding) มายองเนส (mayonnaise) ขนมหวาน เป็นต้น [1] การดัดแปรแป้ง (starch modification) ช่วยทำให้สมบัติของแป้งบางประการดีขึ้น เช่น เปลี่ยนแปลงคุณสมบัติการพองตัว การละลาย ความหนืด ความคงตัวต่อการแช่เย็น ความคงตัวต่อการแช่แข็ง แป้งดัดแปร (modified starch) ในอุตสาหกรรมจึงเป็นที่นิยมมากขึ้นเนื่องจากสามารถดัดแปรโครงสร้างตามที่ต้องการได้ โดยการนำแป้งธรรมชาติ (native starch) มาผ่านกรรมวิธีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง ทำให้มีสมบัติเปลี่ยนไปตามที่ต้องการ [2] ในอุตสาหกรรมอาหารสามารถทำการดัดแปรแป้งได้สองวิธีได้แก่ การดัดแปรแป้งทางเคมีและทางกายภาพ ในอุตสาหกรรมนิยมใช้สารเคมีในการดัดแปรโมเลกุลแป้งเพื่อเปลี่ยนคุณสมบัติแป้งให้สามารถละลายได้ในน้ำเย็น ความหนืดลดลง และมีความสามารถคงตัวต่อความร้อน เป็นต้น การดัดแปรแป้งทางเคมีทำได้หลายวิธี เช่น การดัดแปรด้วยกรด การดัดแปรด้วยสารที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ กับแป้ง เช่น oxidation, esterification และ acetylation เป็นต้น การดัดแปรแป้งทางกายภาพมีหลายรูปแบบ เช่น การให้ความร้อน การให้รังสี การอบ และการอัด เป็นต้น การให้ความร้อนก็มีหลายวิธี เช่น การให้ความร้อนโดยการลวกหรือต้มในน้ำ (hydrothermal treatment) หรือการให้ความร้อนร่วมกับการให้ความชื้น (heat-moisture treatment) โดยการนึ่ง การดัดแปรแป้งดังกล่าวส่งผลต่อลักษณะของเม็ดแป้ง การเกิดเจล (gelatinization) การเกิด retrogradation การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเม็ดแป้ง แต่ไม่ทำให้เม็ดแป้งถูกทำลาย [3]

มันเทศ (*Ipomoea batatas* L.) จัดเป็นพืชไร่ เป็นพืชที่ปลูกหลังนาข้าว หากจัดจำแนกตามส่วนที่รับประทานได้

ของผัก มันเทศจัดเป็นผักที่รับประทานในส่วนของราก ส่วนมันเทศญี่ปุ่นมีชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Dioscorea japonica* อยู่ในตระกูล Dioscoreaceae นอกจากนั้นมันเทศเป็นพืชหัวที่มีคุณค่าทางโภชนาการที่อุดมไปด้วยคาร์โบไฮเดรต วิตามิน เส้นใยอาหาร แร่ธาตุ แคโรทีนอยด์ (carotenoids) และสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น แอนโทไซยานิน (anthocyanin) ซึ่งมักพบในมันเทศเนื้อสีม่วง จึงมีการใช้ประโยชน์จากมันเทศอย่างกว้างขวาง ทั้งการบริโภค และการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารชนิดต่าง ๆ [4] มันเทศที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือมันเทศญี่ปุ่นสีม่วงสายพันธุ์ Japanese purple sweet lord ซึ่งเป็นมันที่ให้รสชาติอร่อยทานได้ง่าย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการดัดแปรมันเทศญี่ปุ่นสีม่วง หรือมันม่วงญี่ปุ่นในกระบวนการผลิตแป้งมันม่วงญี่ปุ่นต่อสมบัติทางกายภาพและทางเคมี รวมทั้งสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระของแป้งมันม่วงญี่ปุ่น ผลที่ได้จากการวิจัยนี้เป็นข้อมูลเบื้องต้นที่มีประโยชน์ต่อกระบวนการผลิตแป้งมันม่วงญี่ปุ่นเพื่อให้ได้แป้งมันม่วงญี่ปุ่นที่มีสมบัติตามที่ต้องการ

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1. การเตรียมตัวอย่างแป้งมันม่วงญี่ปุ่น

การวิจัยนี้ใช้มันม่วงญี่ปุ่นสายพันธุ์ Japanese purple Sweet lord จากกลุ่มเกษตรกรผู้ร่วมโครงการวิจัยตลาดน้ำราชมงคลสุรินทร์ อำเภอเมือง จังหวัดสุรินทร์ นำมาเตรียมเป็นแป้งมันม่วงญี่ปุ่น 4 สูตร (Table 1) [5] ดังนี้

สูตรที่ 1 ตัวอย่างควบคุม (สูตร S1) เตรียมโดยนำมันม่วงญี่ปุ่นมาทำความสะอาด ปอกเปลือก ผ่านแผ่นบาง แล้วแช่น้ำเกลือเพื่อขจัดยางมันเทศ (อัตราส่วนเกลือร้อยละ 1) แช่นาน 10 นาที ล้างน้ำสะอาด จากนั้นผึ่งให้สะเด็ดน้ำ อบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ด้วยเครื่องอบลมร้อน ร้อนด้วยตะแกรงขนาด 80 เมช (mesh) ก่อนนำไปเก็บในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ (aluminum foil) ที่ -20 องศาเซลเซียส สำหรับการวิเคราะห์ขั้นต่อไป

สูตรที่ 2 (สูตร S2) เป็นสูตรที่มีการดัดแปรมันม่วง ญี่ปุ่นด้วยกรดซิตริก (citric acid) และลวก (hydrothermal treatment) ซึ่งเตรียมโดยนำทำมันเทศมาทำความสะอาด ปอกเปลือก ผานแผ่นบาง แล้วแช่น้ำเกลือเพื่อขจัดยางมันเทศ (อัตราส่วนเกลือร้อยละ 1) แช่นาน 10 นาที ล้างน้ำสะอาด จากนั้นผึ่งให้สะเด็ด และแช่กรดซิตริก ความเข้มข้นร้อยละ 1 ทำการลวก 2 นาที จากนั้นอบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส นาน 8 ชั่วโมง ร้อนด้วยตระแกรงขนาด 80 เมช (mesh) ก่อนนำไป เก็บในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ (aluminum foil) ที่ -20 องศาเซลเซียส สำหรับการวิเคราะห์ขั้นต่อไป

สูตรที่ 3 (สูตร S3) เป็นสูตรที่มีการดัดแปรมันม่วง ญี่ปุ่นด้วยกรดซิตริก และการให้ความร้อนชื้น (heat-moisture treatment) เป็นเวลา 30 นาที ซึ่งเตรียมโดยนำทำ มันเทศมาทำความสะอาด ปอกเปลือก ผานแผ่นบาง แล้วแช่ น้ำเกลือเพื่อขจัดยางมันเทศ (อัตราส่วนเกลือร้อยละ 1) แช่นาน 10 นาที ล้างน้ำสะอาด จากนั้นผึ่งให้สะเด็ด และแช่กรดซิตริก ความเข้มข้นร้อยละ 1 ทำการให้ความร้อนชื้นโดยการนึ่งเป็น เวลา 30 นาที จากนั้นอบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส นาน 8 ชั่วโมง ร้อนด้วยตระแกรงขนาด 80 เมช (mesh) ก่อนนำไป เก็บในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ (aluminum foil) ที่ -20 องศาเซลเซียส สำหรับการวิเคราะห์ขั้นต่อไป

สูตรที่ 4 (สูตร S4) เป็นสูตรที่มีการดัดแปรมันม่วง ญี่ปุ่นด้วยกรดซิตริก และการให้ความร้อนชื้น (heat-moisture treatment) เป็นเวลา 40 นาที ซึ่งเตรียม เช่นเดียวกับสูตร S3 เพียงแต่ใช้เวลาหนึ่งนาน 40 นาที ร้อนด้วย ตะแกรงขนาด 80 เมช (mesh) ก่อนนำไปเก็บในถุง อะลูมิเนียมฟอยล์ (aluminum foil) ที่ -20 องศาเซลเซียส สำหรับการวิเคราะห์ขั้นต่อไป

Table 1 Treatments of different modified Japanese purple sweet potato starch formulae

Starch	Treatment
S1	No modification
S2	Citric acid + hydrothermal treatment
S3	Citric acid + heat-moisture treatment 30 min
S4	Citric acid + heat-moisture treatment 40 min

2.2. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งมันม่วงญี่ปุ่น

2.2.1. การวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลส (amylose)

การวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลส [6] ทำโดยปิเปต สายละลายเอทานอล เข้มข้นร้อยละ 95 จำนวน 1 มิลลิลิตร และ NaOH จำนวน 9 มิลลิลิตร ใส่ใน volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วชั่งแป้ง 0.1 กรัม ใส่ลงใน volumetric flask นำไปต้มบน water bath ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที ทิ้งไว้ให้เย็น ปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร ด้วย น้ำกลั่น พอแป้งเย็นตัวแล้วทำการปิเปตมา 5 มิลลิลิตร ใส่ใน ขวดปรับปริมาตร 100 มิลลิลิตร จากนั้นปิเปตกรดอะซิติก (acetic acid) เข้มข้น 1 M จำนวน 1 มิลลิลิตร และสารละลาย ไอโอดีน 2 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน แล้วตั้งทิ้งไว้ 20 นาที นำไปหาค่าดูดกลืนแสง ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร

2.2.2. การวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานิน (anthocyanin)

การเตรียมสารสกัดของผงแป้งมันทำโดยนำผงแป้งมัน ม่วงญี่ปุ่น มา 1 กรัม ผสมกับเอทานอลร้อยละ 75 จำนวน 20 มิลลิลิตร จากนั้นนำมาปั่นด้วยเครื่อง homogenizer นาน 10 นาที กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 แช่ไว้ในตู้เย็น สารสกัดนี้ จะใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณสารประกอบ ฟีนอลิก ปริมาณฟลาโวนอยด์ และการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

การวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานิน ใช้วิธี pH difference assay [7] ทำโดยนำสารสกัดของผงแป้งปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร มาผสมกับสารละลายบัฟเฟอร์ที่มี pH 1 (0.025 M potassium chloride buffer) ปริมาตร 2 มิลลิลิตร และ สารละลายบัฟเฟอร์ที่มี pH 4.5 (0.4 M sodium acetate buffer) ปริมาตร 2 มิลลิลิตร วัดการดูดกลืนแสงที่ความยาว คลื่น 520 และ 700 นาโนเมตรของสารผสมทั้งสองชนิด นำค่า การดูดกลืนแสงที่ได้มาคำนวณปริมาณแอนโทไซยานิน ดังนี้

$$\text{Total anthocyanin} = (A_{\text{correction}} \times \text{MW} \times \text{DF} \times 1000) / (\epsilon \times L)$$

เมื่อ $A_{\text{correction}} = (A_{520} - A_{700})_{\text{pH 1}} - (A_{520} - A_{700})_{\text{pH 4.5}}$

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

MW แทน น้ำหนักโมเลกุลของแอนโทไซยานิน

DF แทน สัดส่วนที่ทำการเจือจาง

L แทน ความยาวของสารละลายที่แสงผ่าน (cm)

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

2.2.3. การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (phenolic compounds)

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก [8] ทำโดยนำสารสกัดของผงแป้งปริมาณ 0.5 มิลลิลิตร มาเติมด้วยสารละลาย Folin-Ciocalteu reagent : น้ำกลั่น (1:10) ปริมาตร 1.25 มิลลิลิตร ที่ทำให้เกิดปฏิกิริยา 30 นาที แล้วเติมสารละลาย NaCO_3 ความเข้มข้นร้อยละ 10 ปริมาตร 3.75 มิลลิลิตร ปรับปริมาตร โดยน้ำกลั่นในขวดวัดปริมาตร 25 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง วัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Spectrophotometer โดยใช้กรดแกลลิก (gallic acid) ความเข้มข้น 0-1 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร เป็นสารมาตรฐาน

2.2.4. การวิเคราะห์ปริมาณฟลาโวนอยด์ (Total Flavonoids)

การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลทั้งหมด [9] โดยนำสารสกัดของผงแป้งปริมาณ 0.5 มิลลิลิตร เติมสารละลาย NaNO_3 ร้อยละ 5 ปริมาตร 0.15 มิลลิลิตร หลังจาก 6 นาที เติมสารละลาย $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ปริมาตร 0.3 มิลลิลิตร เขย่า 5 นาที จากนั้นเติมสารละลาย NaOH เข้มข้น 1 มิลลิโมลลาร์ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน วัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ใช้สารรูทีน (Rutin) ความเข้มข้น 0-1 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร เป็นสารมาตรฐาน

2.3. การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของแป้งมันม่วงญี่ปุ่น

การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของแป้งมันม่วงญี่ปุ่น ทำโดยนำแป้งมันเทศญี่ปุ่นสีม่วงจำนวน 1.5 กรัม ใส่ลงในน้ำกลั่นปริมาตร 10 มิลลิลิตร และคนให้เข้ากัน วัดค่าความเป็นกรด-ด่างด้วยเครื่อง pH meter ยี่ห้อ CENTURION รุ่น ATX224 วัดค่าปริมาณน้ำอิสระ (water activity; a_w) ด้วยเครื่อง water activity meter ยี่ห้อ AQUA LAB 4TE (Meter Group, Pullman, WA, USA) วิเคราะห์หาปริมาณความชื้น (Moisture) ด้วยเครื่องวัดความชื้น ยี่ห้อ OHAUS (Union Science, Co, Ltd, Thailand) ค่าสี ด้วยเครื่อง Chromameter ด้วยระบบ Hunter color system (รุ่น Hunter Lab บริษัท Color global, Co, Ltd, Thailand) โดยค่า L^* หรือความสว่าง (L^- = ค่าความมืด, L^+ = ค่าความสว่าง) ค่า a^* ($+a$ = สีแดง, $-a$ = สีเขียว) ค่า b^* ($+b$ = สีเหลือง, $-b$ = สีนํ้าเงิน) [10] การวิเคราะห์ด้านความหนืดของแป้งด้วยเครื่อง Brabender

viscograph (รุ่น Micro Visco amylo graph บริษัท GmbH & Co. KG, Germany)

อัตราการพองตัวของแป้ง [10] วิเคราะห์โดย นำตัวอย่างแป้งจำนวน 0.25 กรัม ผสมกับน้ำกลั่น ปริมาตร 5 มิลลิลิตร นำไปกวนในอ่างควบคุมความร้อนที่ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที และเพิ่มอุณหภูมิในอ่างควบคุมความร้อนที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ที่ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำมาปั่นเหวี่ยงที่ 1,700 xg เป็นเวลา 4 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส คำนวณอัตราการพองตัวในหน่วยกรัมต่อกรัมของแป้ง ดังนี้

ร้อยละการพองตัว = (น้ำหนักตะกอนแป้ง/น้ำหนักแห้งของแป้ง) \times 100

2.4. การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของแป้งมันม่วงญี่ปุ่น

2.4.1. การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging activity

การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging activity [8], [9] ทำโดยนำสารสกัดของผงแป้งปริมาณ 0.5 มิลลิลิตร มาผสมกับสารละลาย DPPH (2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) ที่มีความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลลาร์ ปริมาตร 3 มิลลิลิตร แล้วเขย่า บ่มในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที วัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ใช้ trolox เข้มข้น 1 mM เป็นสารมาตรฐาน

2.4.2. การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS radical scavenging activity

การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS radical scavenging activity [8], [9] ทำโดยเตรียมสารละลาย ABTS (2,2'-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) diammonium salt) ซึ่งประกอบด้วย 7 mM ABTS และ 2.45 mM potassium persulfate จากนั้นเก็บในที่มืด 16 ชั่วโมง ก่อนใช้ เจือจางสารละลาย ABTS ด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ (0.2 M sodium phosphate-buffered saline pH 7.4) ให้ได้ค่าการดูดกลืนแสง 0.70 ที่ความยาวคลื่น 734 nm จากนั้น ผสม สารสกัดของผงแป้งปริมาณ 0.1 มิลลิลิตร กับสารละลาย ABTS เจือจาง ปริมาตร 2 มิลลิลิตร เขย่า 30 วินาที เก็บในที่มืด 5 นาที วัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ใช้ trolox เข้มข้น 1 mM เป็นสารมาตรฐาน

2.5. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ Factorial in Completely Randomize Design (Factorial in CRD) วิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ ANOVA เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบรายคู่ ด้วยวิธีของ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$)

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

3.1. องค์ประกอบทางเคมีของแป้งมันม่วงญี่ปุ่น

ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของแป้งมันม่วงญี่ปุ่น (Figure 1A) พบว่า แป้งทั้ง 4 สูตร มีปริมาณสารฟีนอลิกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยแป้งสูตร S4 มีปริมาณฟีนอลิกสูงที่สุด เท่ากับ 10.61 ± 0.90 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/กรัม น้ำหนักแห้ง รองลงมาคือสูตร S3 มีปริมาณฟีนอลิกเท่ากับ 7.15 ± 0.68 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/กรัม น้ำหนักแห้ง และสูตรควบคุม S1 ซึ่งมีปริมาณฟีนอลิกเท่ากับ 4.13 ± 0.33 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/กรัม น้ำหนักแห้ง ส่วนสูตรที่มีปริมาณฟีนอลิกน้อยที่สุด คือ สูตร S2 มีปริมาณฟีนอลิกเท่ากับ 2.41 ± 1.46 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/กรัม น้ำหนักแห้ง

ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ของแป้งมันม่วงญี่ปุ่น (Figure 1B) พบว่า สูตร S3 และสูตร S4 มีปริมาณสารฟลาโวนอยด์สูงใกล้เคียงกัน คือ 0.32 ± 0.04 และ 0.31 ± 0.05 มิลลิกรัมรูทีน/กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ รองลงมาได้แก่สูตร S2 ซึ่งมีปริมาณสารฟลาโวนอยด์เท่ากับ 0.16 ± 0.07 มิลลิกรัมรูทีน/กรัม น้ำหนักแห้ง และส่วนสูตร S1 มีปริมาณสารฟลาโวนอยด์น้อยที่สุด เท่ากับ 0.03 ± 0.01 มิลลิกรัมรูทีน/กรัม น้ำหนักแห้ง

ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารแอนโทไซยานินทั้งหมดของแป้งมันม่วงญี่ปุ่น (Figure 1C) พบว่า แป้งทั้ง 4 สูตร มีปริมาณสารแอนโทไซยานินแตกต่างกัน ($p < 0.05$) โดยแป้งสูตร S4 มีปริมาณสารแอนโทไซยานินสูงที่สุด เท่ากับ 266 ± 19.34 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง รองลงมาคือสูตร S3 ซึ่งมีปริมาณสารแอนโทไซยานินเท่ากับ 162.19 ± 24.10 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง และสูตร S2 ซึ่งมีปริมาณสารแอนโทไซยานินเท่ากับ 85.09 ± 22.49 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง ส่วนสูตรที่มีปริมาณสารแอนโทไซยานินน้อยที่สุด คือ สูตร

ควบคุม S1 ซึ่งมีปริมาณสารแอนโทไซยานินเท่ากับ 61.67 ± 23.30 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง

ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับรายงานวิจัยที่ผ่านมา ซึ่งพบว่าในมันม่วงญี่ปุ่นมีสารแอนโทไซยานิน และอนุพันธ์ของสารอนุพันธ์ของแอนโทไซยานินหลายชนิด เช่น cyanidin 3-caffeoyl-p-hydroxybenzoylsophoroside-5-glucoside, peonidin 3-caffeoyl sophoroside-5-glucoside, cyanidin-3-(600-caffeoylsophoroside)-5-glucoside และ peonidin-3-(600-caffeoylsophoroside)-5-glucoside [11] นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าสารแอนโทไซยานินในมันเทศหวานสีม่วงสายพันธุ์ P40 มีความเสถียรต่อการดัดแปรด้วยความร้อนจากการอบ การนึ่งด้วยความดันสูง การใช้ไมโครเวฟ และการทอด [12] ส่วนการที่แป้งมันม่วงญี่ปุ่นสูตรที่มีการให้ความร้อนขึ้นด้วยการนึ่งมีปริมาณแอนโทไซยานินสูง อาจเนื่องมาจากความร้อนไปกระตุ้นให้เซลล์ของมันเทศปลดปล่อยสารแอนโทไซยานินออกจากผนังเซลล์ได้ดีขึ้น [13] นอกจากนี้ยังมีรายงานพบว่าการให้ความร้อนโดยการต้ม และนึ่งทำให้แป้งมันเทศสีม่วงมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และสารฟลาโวนอยด์สูงขึ้น [14] เช่นเดียวกับที่พบในการศึกษานี้ ซึ่งพบว่า การให้ความร้อนขึ้นด้วยการนึ่งทำให้แป้งมันม่วงญี่ปุ่นมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และสารฟลาโวนอยด์สูงขึ้น

ผลการวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลสของแป้งมันม่วงญี่ปุ่น (Figure 1D) พบว่า แป้งสูตร S2 มีปริมาณอะไมโลสสูงที่สุด เท่ากับ 0.32 ± 0.02 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง รองลงมาคือสูตร S3 ซึ่งมีปริมาณอะไมโลสเท่ากับ 0.26 ± 0.05 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง ส่วนสูตร S4 และสูตรควบคุม S1 มีปริมาณอะไมโลสต่ำ โดยมีค่าเท่ากับ 0.12 ± 0.01 และ 0.10 ± 0.03 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ โดยปกติอะไมโลสเมื่อได้รับความร้อนจะสลายตัวกลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว แต่มีรายงานพบว่ากรดซิตริกสามารถช่วยทำให้แป้งเสถียรต่อความร้อนได้ดียิ่งขึ้น [15] จึงเป็นไปได้ว่าการที่แป้งสูตร S2 มีปริมาณอะไมโลสสูง อาจเนื่องมาจากการดัดแปรด้วยกรดซิตริก ส่วนแป้งสูตร S3 และ S4 ซึ่งมีการดัดแปรด้วยกรดซิตริกเช่นกัน แต่กลับพบว่าปริมาณอะไมโลสที่ต่ำ ทั้งนี้เป็นไปได้ว่าการให้ความร้อนที่สูงเป็นเวลานานสามารถสลายแป้งที่ดัดแปรด้วยกรดซิตริกได้

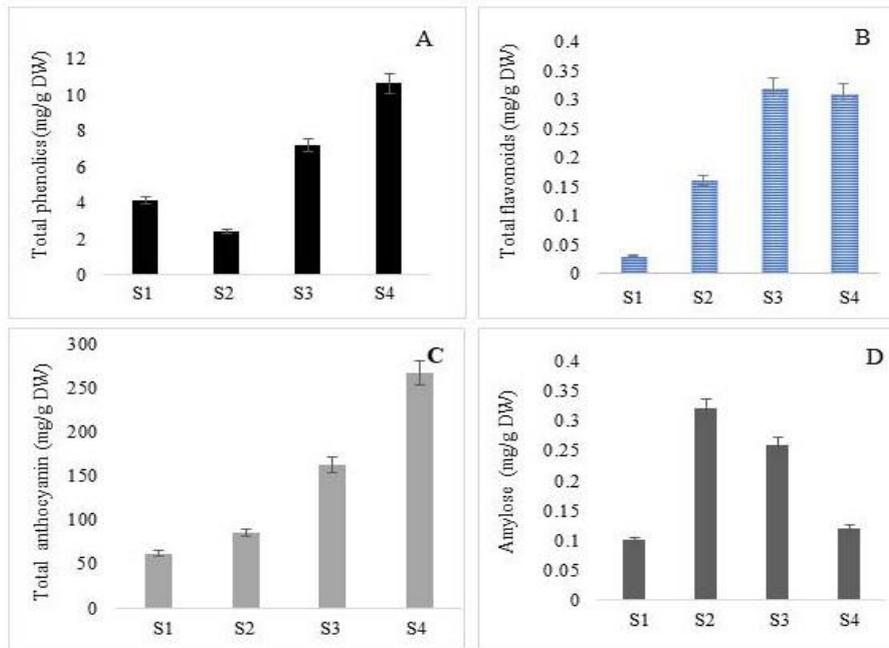


Figure 1 Chemical compositions of different modified Japanese purple sweet potato starch formulae
 A = Total phenolic content, B = Total flavonoids content, C = Total anthocyanin content,
 D = amylose content

3.2. สมบัติทางกายภาพของแป้งมันเทศญี่ปุ่นสีม่วง

จากการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของแป้งมันม่วงญี่ปุ่น (Table 2) พบว่า แป้งมันม่วงญี่ปุ่นทั้ง 4 สูตร มีปริมาณความชื้น (moisture) ไม่แตกต่างกัน แต่มีค่า a_w ต่างกัน โดยสูตร S4 มีค่า a_w สูงที่สุด การวิเคราะห์อัตราการพองตัวของแป้งมันม่วงญี่ปุ่น พบว่า แป้งทั้ง 4 สูตร มีอัตราการพองตัวไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) การพองตัวของแป้งเกิดขึ้นได้เมื่อละลายแป้งในน้ำ แป้งจะดูดซึมน้ำไว้ภายในโมเลกุลแป้ง ทำให้เม็ดแป้งพองตัว และหากให้ความร้อน แป้งจะจับกับน้ำได้มากขึ้น และแป้งพองตัวได้มากขึ้น ซึ่งส่งผลให้สามารถละลายน้ำได้มากขึ้น [4] การวิเคราะห์สีของแป้งมันม่วงญี่ปุ่น พบว่า แป้งสูตรควบคุม S1 มีสีน้ำตาล ซึ่งน่าจะเกิดจากความร้อนในขั้นตอนการเตรียมแป้ง (การอบมันม่วงญี่ปุ่นให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส) แป้งสูตรควบคุม S1 มีสีที่ชืดกว่าแป้งสูตรอื่น ๆ โดยสีของแป้งมันม่วงญี่ปุ่นมีสีม่วงเข้มขึ้นเรื่อย ๆ จากแป้งสูตร S2, S3 และ S4 (Figure 2) โดยแป้งสูตร S2 มีสีม่วงปนเทา แป้งสูตร S3 มีสีม่วงปนแดง และแป้งสูตร S4 มีสีม่วงที่สุด ดังแสดงด้วยค่า $L^* a^* b^*$ (Table 3) สีของแป้งที่พบในการทดลองนี้สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานิน (Figure 1) ทั้งนี้เนื่องจากความร้อนไปกระตุ้นให้เซลล์ของมันม่วงญี่ปุ่นปลดปล่อยสารแอนโทไซยานินออกจากผนัง

เซลล์ได้ดีขึ้น และยังช่วยให้ค่าสีเด่นชัดขึ้น และมีความเสถียรมากยิ่งขึ้น [13]

ในการวัดความหนืดของแป้งด้วยเครื่อง Brabender viscosograph ทำโดยนำน้ำแป้งมาให้ความร้อนเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส ในระหว่างที่ความร้อนเพิ่มขึ้น ความหนืดของแป้งก็จะมากขึ้น เนื่องจากแป้งจะพองตัวและเข้ามาอยู่ใกล้กัน เมื่อเม็ดแป้งพองเต็มที แป้งจะมีความหนืดสูงสุด (maximum viscosity; MV) จากนั้นเม็ดแป้งจะแตก และความหนืดจะลดลง ค่าความหนืดที่ลดลงนี้เรียกว่าค่า breakdown (BD) ค่านี้น้อย แสดงว่าเม็ดแป้งมีความเสถียรมาก แตกยาก จึงทำให้ความหนืดไม่ลดลงมากเมื่อถึงจุดสูงสุด หลังจากนั้นเครื่องจะลดอุณหภูมิจาก 95 องศาเซลเซียส มาที่ 50 องศาเซลเซียส ระหว่างนี้ชิ้นส่วนเล็ก ๆ ที่แตกออกจากเม็ดแป้งจะรวมตัวกันทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น ปรากฏการณ์นี้ เรียกว่า retrogradation ค่าความหนืดที่เพิ่มขึ้นเนื่องจาก retrogradation เรียกว่า ค่า setback (SB) ค่านี้อาจสูง แสดงว่ามีการเกิด retrogradation มาก ซึ่งเป็นสมบัติที่ไม่พึงประสงค์ของแป้ง

จากการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งมันม่วงญี่ปุ่นทั้ง 4 สูตร ด้วยเครื่อง Brabender viscosograph (Table 4) พบว่า ค่าความหนืดสูงสุด (MV) ของแป้งมันม่วงญี่ปุ่นทั้ง 4 สูตรมีค่าไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่

พบว่าอัตราการฟองตัวของแป้งมันม่วงญี่ปุ่นทั้ง 4 สูตรไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากค่าความหนืดสูงสุดเกิดขึ้นเนื่องจากเม็ดแป้งที่ฟองตัวขึ้นเรื่อย ๆ ตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น เมื่อเม็ดแป้งฟองตัวเต็มที่จะเข้าใกล้กันจนทำให้มีความหนืดสูงสุด ส่วน

แป้งสูตร S4 มีค่า BD และ SB น้อยที่สุด แสดงให้เห็นว่าการตัดแปรแป้งมันม่วงญี่ปุ่นด้วยกรดซิตริกร่วมกับการนึ่งเป็นเวลา 40 นาที สามารถเพิ่มความเสถียรให้กับแป้ง และลดการเกิด retrogradation ได้



Figure 2 Color of different modified Japanese purple sweet potato starch formulae

Table 2 Physical properties of different modified Japanese purple sweet potato starch formulae

Starch	Moisture ^{ns}	a _w	Swelling ^{ns} (g/g)
S1	3.07±0.07	0.47±0.1 ^c	4.60±4.16
S2	3.10±0.13	0.47±0.02 ^c	5.46±0.30
S3	3.06±0.05	0.50±0.00 ^{ab}	7.42±1.16
S4	3.09±0.07	0.51±0.00 ^a	8.20±0.85

Note: mean ± SD (from 3 replicates)

^{a-c} = different letters (within the same column) indicate significant differences (p < 0.05)

^{ns} = not significant (p ≥ 0.05)

Table 3 Color of different modified Japanese purple sweet potato starch formulae

Starch	color		
	L*	a*	b*
S1	67.03±0.01 ^b	5.45±0.01 ^c	7.93±0.05 ^a
S2	70.93±0.05 ^a	5.42±0.01 ^c	7.27±0.02 ^b
S3	66.05±0.02 ^c	7.16±0.02 ^b	4.66±0.02 ^c
S4	63.68±0.01 ^d	9.48±0.01 ^a	2.82±0.01 ^d

Note: mean ± SD (from 3 replicates)

^{a-d} = different letters (within the same column) indicate significant differences (p < 0.05)

Table 4 Viscosity analysis of different modified Japanese purple sweet potato starch formulae

Starch	MV ^{ns} (cP)	BD (cP)	SB (cP)
S1	359.46±6.28	35.57 ± 2.82 ^a	99.00 ± 3.11 ^a
S2	311.4± 7.80	34.13 ± 1.92 ^a	97.37 ± 1.59 ^a
S3	514.08±4.67	35.00 ± 2.03 ^a	99.43 ± 2.82 ^a
S4	385.92± 8.48	28.00 ± 1.73 ^b	27.17 ± 1.65 ^b

Note: mean ± SD (from 3 replicates)

^{a,b} = different letters (within the same column) indicate significant differences (p < 0.05)

^{ns} = not significant (p > 0.05)

cP = centipoise, MV = maximum viscosity, BD = breakdown, SD = setback

3.3.ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของแป้งมันม่วงญี่ปุ่น

ในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของแป้งมันม่วงญี่ปุ่นทั้ง 4 สูตร 2 วิธี คือ วิธี DPPH radical scavenging activity และวิธี ABTS radical scavenging activity โดยใช้ trolox เป็นสารมาตรฐาน พบว่าผลการทดลองของทั้ง 2 วิธีเป็นไปในทางเดียวกัน คือ แป้งสูตร S4 มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่สูงที่สุด รองลงมาคือแป้งสูตร S3 (Figure 3) ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับผลการศึกษาปริมาณสารฟีนอลิก และแอนโทไซยานินของแป้งมันม่วงญี่ปุ่นทั้ง 4 สูตร ซึ่งเป็นการยืนยันว่าสารดังกล่าวมีผลต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับรายงานวิจัยที่พบความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างปริมาณสารฟีนอลิก และแอนโทไซยานินกับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของมันเทศ [16] และมันม่วงญี่ปุ่น [17]

4. บทสรุป

การดัดแปรมันม่วงญี่ปุ่นด้วยการใช้กรดซิตริก และความร้อนทำให้แป้งมันม่วงญี่ปุ่นที่ได้มีสมบัติทางเคมี สมบัติทางกายภาพ และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระแตกต่างไปจากแป้งมันม่วงญี่ปุ่นสูตรควบคุมที่ไม่มีการดัดแปร โดยผลการทดลองพบว่าแป้งมันม่วงญี่ปุ่นสูตร S4 ที่ผลิตโดยมีการดัดแปรด้วยกรดซิตริก และนึ่งเป็นเวลา 40 นาที มีปริมาณฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และแอนโทไซยานินมากที่สุด มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด และจากผลการวิเคราะห์ความหนืดพบว่าแป้งมันม่วงญี่ปุ่นสูตร S4 มีค่า breakdown และค่า setback ต่ำที่สุด ซึ่งบ่งชี้ว่ามีความเสถียรมากที่สุด และไม่ทำให้เกิด retrogradation ผลที่ได้จากการวิจัยนี้เป็นข้อมูลเบื้องต้นที่มีประโยชน์ต่อกระบวนการผลิตแป้งมันม่วงญี่ปุ่นเพื่อให้ได้แป้งมันม่วงญี่ปุ่นที่มีสมบัติตามที่ต้องการ

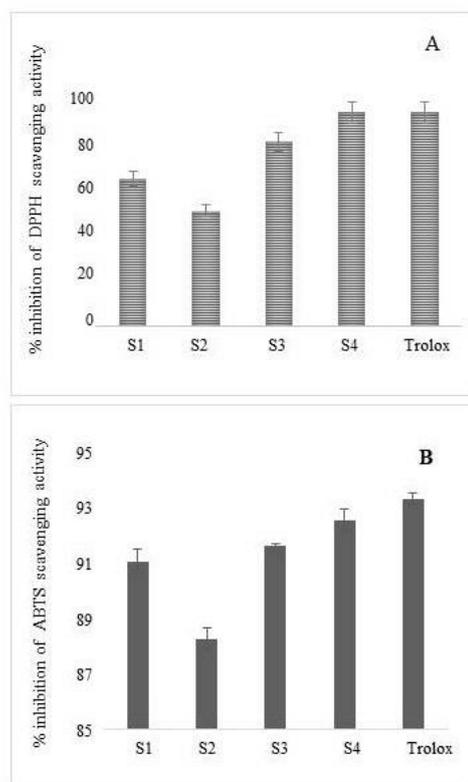


Figure 3 Antioxidant activity of different modified Japanese purple sweet potato starch formulae studied by DPPH radical scavenging activity (A) and ABTS radical scavenging activity (B)

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถานที่ทำการทดลอง สาขาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตสุรินทร์ และคุณนันทิยา สายยศ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการที่ให้ความช่วยเหลือและดูแลในการปฏิบัติงาน

6. References

- [1] 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.
- [2] 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 physicochemical, gelatinization and pasting characteristics. **LWT-Food Science and Technology**. 53: 211-217.
- [3] Liao, L. and et al. 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.
- [4] 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: 106023.
- [5] Włodarczyk, S.M., Mazureka, A. and Jamroza, J. 2019. Physicochemical properties and structure of hydrothermally modified Starches. **Journal of Food Science and Biotechnology**. 95: 88-97.
- [6] Julino, B.O. and et al. 1981. International cooperative testing on the amylose content of milled rice. **Starch**. 33(5): 157-162.
- [7] AOAC. 2000. **Official Method of Analysis of AOAC International**. 17th edition, the Association Official Analytical Chemists. Gaithersburg, MD: AOAC International.
- [8] Thaipong, K. and et al. 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.
- [9] Wanyo, P., Meeso, N. and Siriamompun, S. 2014. Effects of different treatments on the antioxidant properties and phenolic compounds of rice bran and rice husk. **Food Chemistry**. 63 (157): 457-463.
- [10] Wiriyawattana, P., Suwonsichon, S. and Suwonsichon, T. 2018. Effects of drum drying on physical and antioxidant properties of riceberry flour. **Agriculture and Natural Resources**. 52(5): 445-450.
- [11] Wicaksono, L.A., Yuniarta, Y. and Widyaningsih, T.D. 2016. Anthocyanin extraction from purple sweet potato cultivar antin-3 (*Ipomoea batatas* L.) using maceration, microwave assisted extraction, ultrasonic assisted extraction and their application as anti-hyperglycemic agents in alloxan-induced wistar rat. **International Journal of PharmTech Research**. 9(3): 181-192.
- [12] Xu, J. and et al. 2015. Characterisation and stability of anthocyanins in purple-fleshed sweet potato P40. **Food Chemistry**. 186: 90-96.
- [13] Montilla, C.V. and et al. 2010. Preparative isolation of anthocyanins from Japanese purple sweet potato. (*Ipomoea batatas* L.) varieties by high-speed countercurrent chromatography. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 58: 9899-9904.
- [14] Li, C. and et al. 2011. Effect of processing on taste quality and health-relevant functionality of sweet potato tips. **Agricultural Sciences in China**. 10(3): 456-462.
- [15] Miskeen, S. and et al. 2021. Frabrication of citric acid-modified starch nanoparticles to improve their thermal stability and hydrophobicity. **Carbohydrate Polymers**. 253: 117242.
- [16] 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 & Agriculture**. 5: 1662930.
- [17] Praphala, N., Thongngam, K., and Punnongwa, W. 2021. Effect of pregelatinize on physical properties of Japanese puple sweet potato starch. **Agriculture and Technology Journal**. 2(2): 95-109. (in Thai)