

บทความวิจัย

ผลของวิธีการดัดแปรแป้งด้วยกรดและพรีเจลาตินในเซชันต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งกระจุบ Effect of Acid Modification and Pre-gelatinization Methods on Physicochemical Properties of Water Chestnut Flour

วิจิตรา เหลียวตระกุล^{1*} และวชิรญา เหลียวตระกุล¹
Wijitra Liaotrakoon^{1*} and Vachiraya Liaotrakoon¹

Received: March 9, 2020

Revised: May 12, 2020

Accepted: May 22, 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของวิธีการดัดแปรแป้งด้วยกรด และพรีเจลาตินในเซชันต่อสมบัติทางเคมีกายภาพ ความหนืด และความคงตัวในการแช่เยือกแข็ง และการละลายของแป้งกระจุบ โดยการดัดแปรแป้งกระจุบด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ดัดแปรแป้งกระจุบพรีเจลาตินในเซชันด้วยความร้อนชื้น และเตรียมสตาร์ชไม่ดัดแปรจากกระจุบด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่าวิธีการดัดแปรแป้งกระจุบมีผลต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพ ความหนืด ความคงตัวในการแช่เยือกแข็ง และการละลายของแป้งกระจุบ โดยแป้งกระจุบดัดแปรด้วยกรดมีปริมาณโปรตีน คาร์โบไฮเดรต และอะไมโลสน้อยกว่าแป้งกระจุบพรีเจลาตินในเซชัน แต่แป้งกระจุบพรีเจลาตินในเซชันมีกำลังการพองตัวและการละลายน้ำมากกว่าแป้งกระจุบดัดแปรด้วยกรด และสตาร์ชไม่ดัดแปร ตามลำดับ ($p < 0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่า แป้งกระจุบดัดแปรด้วยกรดมีความหนืดที่จุดสูงสุด ค่าความหนืดลดลง ความหนืดสุดท้าย และค่าการคืนตัวน้อยกว่าแป้งกระจุบพรีเจลาตินในเซชัน และสตาร์ชไม่ดัดแปรตามลำดับ ($p < 0.05$) แป้งกระจุบดัดแปรด้วยกรดไม่พบการแยกตัวของน้ำจากเจลแป้งทั้ง 5 รอบของการแช่เยือกแข็ง และการละลายที่อุณหภูมิ 30, 60 และ 90 องศาเซลเซียส ดังนั้นแป้งกระจุบดัดแปรมีศักยภาพในการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารได้

คำสำคัญ: แป้งดัดแปร กระจุบ ความหนืด กำลังการพองตัว การแยกตัวของน้ำ

ABSTRACT

The objective of this research was to study the effect of modification methods by acid modification and pre-gelatinization on physicochemical, pasting properties and freeze-thaw stability of water chestnut flours. The water chestnut was modified with hydrochloric acid solution, pre-gelatinized with moist-heating, and prepared as native starch using sodium hydroxide solution. It was found that the modification methods had a significant effect on physicochemical, pasting and freeze-thaw stability properties of modified water chestnut flours. The protein, carbohydrate, and amylose contents of acid-modified water chestnut flour was lower than the pre-gelatinized flour, whereas the swelling power and solubility of pre-gelatinized water chestnut flour were higher than the acid-modified flour and native starch, respectively ($p < 0.05$). In addition, the peak viscosity, breakdown, final viscosity, and setback values, of acid-modified water chestnut flour were lower than the pre-gelatinized flour and native starch, respectively ($p < 0.05$). The acid-modified water chestnut flour shown no syneresis in all 5 cycles of freezing and thawing at 30, 60 and 90°C. Therefore, the modified water chestnut flour has the potential to be used in food industry.

Keywords: modified starch, water chestnut, pasting properties, swelling power, syneresis

* Corresponding author e-mail: L_wijitra@hotmail.com

¹สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

¹Department of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Technology and Agro-Industry, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi,

บทนำ

แป้งเป็นโพลิแซคคาไรด์ประกอบด้วยกลูโคสจำนวนหลายพันโมเลกุลมาต่อกัน มีโครงสร้างทั้งแบบสายยาวและกิ่งก้านสาขา โดยมีอะไมโลสและอะไมโลเพคตินเป็นส่วนประกอบหลักในโมเลกุลของแป้ง แป้งพบได้ในพืชอาหารประเภทเมล็ดและหัว สามารถนำมาประยุกต์ใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารได้อย่างกว้างขวาง โดยทำหน้าที่เป็นสารให้ความข้นหนืด (thickening agent) สารช่วยคงตัวของคอลลอยด์ (colloid stabilizer) สารที่ทำให้เกิดลักษณะที่เป็นเจล (gel-forming agent) และสารที่เป็นตัวเชื่อมส่วนผสมในผลิตภัณฑ์ (binder) สมบัติที่แตกต่างกันของแป้งขึ้นกับแหล่งที่มา วิธีการโม และวิธีการดัดแปรสมบัติของแป้ง โดยพืชแต่ละชนิดหรือปลูกในสภาวะแวดล้อมที่ต่างกัน เมื่อนำมาทำแป้ง อาจจะได้แป้งที่มีสมบัติต่างกัน เนื่องจากสภาพอากาศและดินระหว่างการปลูก องค์ประกอบทางเคมี ปริมาณอะไมโลส และโครงสร้างของเม็ดแป้งที่แตกต่างกัน [1-2]

ในปัจจุบันผลิตภัณฑ์อาหารมีความหลากหลายมากขึ้น จึงต้องการแป้งที่เหมาะสมและมีสมบัติเฉพาะที่แตกต่างกัน แป้งที่ผ่านกรรมวิธีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแป้งจะได้เป็นแป้งดัดแปรหรือสตาร์ชดัดแปร อาจทำได้ทั้งวิธีทางเคมี กายภาพ หรือการใช้เอนไซม์ ทำให้มีสมบัติเปลี่ยนไปตามต้องการ เช่น ความหนืด ความคงตัวต่อสภาวะแวดล้อม กำลังการพองตัวและการละลาย เป็นต้น การดัดแปรแป้งด้วยวิธีทางกายภาพ เช่น การใช้ความร้อนทำให้แป้งสุก (pre-gelatinization) เป็นกระบวนการเจลาติไนเซชัน (gelatinization) ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญของสมบัติทางเคมีฟิสิกส์และสมบัติเชิงหน้าที่ของแป้ง [3-4] จากการดัดแปรแป้งข้าวเจ้า แป้งมันสำปะหลัง แป้งพุทธรักษา และแป้งมันมือเสือด้วยการใช้ความร้อนขึ้นที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 16 ชั่วโมง มีผลทำให้แป้งมีความหนืดลดลงและอุณหภูมิเริ่มเกิดความร้อนสูงขึ้น [5] ส่วนการดัดแปรสตาร์ชข้าวสาลีด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง ทำให้กำลังการพองตัว และการละลายน้ำของแป้งเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับสตาร์ชไม่ดัดแปร ซึ่งเหมาะสมสำหรับนำไปเป็นสารให้ความข้นหนืดในผลิตภัณฑ์อาหาร ช่วยลดระยะเวลาในการให้ความร้อนใน

ขั้นตอนการแปรรูป และเหมาะสมสำหรับอาหารที่ไวต่อความร้อนในการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ [2] ส่วนการดัดแปรแป้งด้วยวิธีทางเคมี จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงไฮโดรเจนของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของโพลิเมอร์ของแป้งด้วยปฏิกิริยาเคมี เช่น แป้งที่ดัดแปรด้วยกรด (acid-modified flour/starch) จะต้องควบคุมปฏิกิริยาที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลาติไนเซชัน ทำให้พันธะบางส่วนในเม็ดแป้งถูกทำลาย ส่วนใหญ่แป้งที่ได้มีความหนืดลดลง มีความหนืดของแป้งสุกต่ำ การดัดแปรแป้งพุทธรักษา (*Canna edulis*) ด้วยกรด สามารถลดการคืบตัวของแป้งได้ [6] และพบว่า การย่อยแป้งข้าวฟ่าง (*Sorghum bicolor* L. Moench) ด้วยกรด ให้ความหนืดของแป้งดัดแปรลดลงเมื่อเทียบกับสตาร์ชไม่ดัดแปร [7]

กระฉับ (*Trapa bispinosa*) เป็นพืชน้ำที่พบได้ทั่วไปในพื้นที่ชุ่มน้ำโดยเฉพาะภาคกลางของประเทศไทย กระฉับมีคุณค่าทางโภชนาการ และมีวิตามินและแร่ธาตุ ได้แก่ วิตามินบีสอง วิตามินเอ ไนอาซิน ฟอสฟอรัส แคลเซียม และเหล็ก ทั้งยังอุดมด้วยสารประกอบฟีนอล และมีความสามารถในการออกฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ [8-10] กระฉับมีปริมาณแป้งสูง จึงเป็นพืชที่มีศักยภาพในการนำมาผลิตเป็นแป้ง แต่จากรายงานของ Liaotrakoon and Liaotrakoon [11] พบว่าแป้งกระฉับมีกำลังการพองตัว และการละลายน้ำค่อนข้างต่ำ และพบการแยกตัวของน้ำจากเจลแป้งกระฉับเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิในการละลายและจำนวนรอบในการแช่เยือกแข็งและการละลายมากขึ้น ซึ่งการศึกษาลักษณะและคุณสมบัติของแป้งกระฉับ มีแนวโน้มนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่างๆ แต่เนื่องจากข้อจำกัดของแป้งกระฉับ จึงจำเป็นต้องปรับสมบัติบางประการด้วยวิธีการดัดแปรแป้งโดยวิธีการย่อยด้วยกรดและพรีเจลาติไนเซชัน เพื่อตอบสนองความต้องการของอุตสาหกรรม ทำให้ได้คุณสมบัติเฉพาะของแป้ง งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของวิธีการดัดแปรแป้งด้วยกรด และพรีเจลาติไนเซชันต่อสมบัติทางเคมีกายภาพ ความหนืด และความคงตัวในการแช่เยือกแข็งและการละลายของแป้งกระฉับ ซึ่งคาดว่าแป้งกระฉับดัดแปรน่าจะมีสมบัติทางเคมีกายภาพที่ดีขึ้นเหมาะสมต่อการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมได้หลากหลาย

* Corresponding author e-mail: L_wijitra@hotmail.com

¹สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

¹Department of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Technology and Agro-Industry, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi,

อีกทั้งยังเพิ่มมูลค่าให้กระจับซึ่งเป็นผลผลิตทางการเกษตรของไทยอีกด้วย

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

1. การเตรียมแป้งกระจับ

กระจับ (*Trapa bispinosa*) เป็นกระจับสองเขาที่โตเต็มที่จากตำบลอบทม อำเภอสามโก้ จังหวัดอ่างทอง เก็บเกี่ยวช่วงเดือนธันวาคม-มกราคม นำกระจับมาเตรียมเป็นแป้งกระจับ โดยนำมาล้างทำความสะอาด ปอกเปลือกนอกออก นำเนื้อในฝักกระจับมาทำให้เป็นชิ้นเล็ก นำมาอบในตู้อบลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนได้ความชื้นร้อยละ 13 ± 1 จากนั้นนำแป้งกระจับที่ได้มาบดด้วยเครื่องบดละเอียด (DXM-2000, Dxfill Machine) [ดัดแปลงจาก 11]

2. การเตรียมสตาร์ชไม่ดัดแปรจากกระจับ

นำแป้งกระจับ มาแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 0.4 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ตั้งทิ้งไว้ที่ 4 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง จากนั้นนำส่วนใสออก และนำตะกอนมาล้างน้ำสะอาด 3 ครั้ง ตั้งทิ้งไว้ที่ 4 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง นำมาปรับด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1 โมลาร์ ให้ได้ pH 7 ตั้งทิ้งไว้ที่ 4 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมงแล้วรินน้ำส่วนใสออกนำไปอบที่ 60 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง จากนั้นนำสตาร์ชไม่ดัดแปรจากกระจับที่ได้มาบดด้วยเครื่องบดละเอียด (DXM-2000, Dxfill Machine) และร่อนโดยใช้ตะแกรง (Retsch, Germany) ขนาด 500 ไมครอน [ดัดแปลงจาก 12, 13]

3. การดัดแปรแป้งกระจับด้วยกรด

กระบวนการดัดแปรแป้งกระจับด้วยกรด โดยนำแป้งกระจับมาแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 2.2 โมลาร์ เขย่าผสมในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (NH 03801, USA) ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง ทำการปรับความเป็นกรด-ด่าง ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 10 โมลาร์ ให้ได้ pH 6.5 จากนั้นนำไปอบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส นาน 8 ชั่วโมง จากนั้นนำแป้งกระจับดัดแปรมาบดด้วย

เครื่องบดละเอียด (DXM-2000, Dxfill Machine) และร่อนโดยใช้ตะแกรง (Retsch, Germany) ขนาดตะแกรง 500 ไมครอน [ดัดแปลงจาก 3, 14]

4. การดัดแปรแป้งกระจับพรีเจลาตินไนซ์

กระบวนการดัดแปรแป้งกระจับพรีเจลาตินไนซ์ด้วยความร้อนชื้น เตรียมโดยปอกเปลือกและล้างกระจับให้สะอาด และหั่นเนื้อในฝักกระจับให้เป็นลูกเต๋าขนาดประมาณ 0.5 เซนติเมตร นำมาต้มในน้ำเดือด อัตราส่วนเนื้อกระจับต่อน้ำเป็น 1:2 โดยน้ำหนัก นาน 15 นาที จากนั้นนำมาแช่ในน้ำอุณหภูมิห้อง นาน 5 นาที สะเด็ดน้ำ และนำมาอบแห้งในตู้อบลมร้อนแบบถาดที่ 60 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง นำมาบดด้วยเครื่องบดละเอียด (DXM-2000, Dxfill Machine) และร่อนโดยใช้ตะแกรง (Retsch, Germany) ขนาดตะแกรง 500 ไมครอน [ดัดแปลงจาก 9, 15]

5. การวิเคราะห์สมบัติทางเคมี

5.1 ปริมาณน้ำอิสระและความเป็นกรด-ด่าง

วิเคราะห์ค่าปริมาณน้ำอิสระ (water activity, a_w) ด้วยเครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ (Aqualab 4TEV) และทำการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของตัวอย่าง โดยใช้เครื่องวัด pH (Docu pH Meter, Sartorius) ทำการสอบเทียบ (Calibration) เครื่องมือก่อนทำการวิเคราะห์ทุกครั้งด้วยสารมาตรฐาน pH 4.00 และ pH 7.00 ทำการทดลองวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ

5.2 องค์ประกอบทางเคมี

วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีตามวิธีมาตรฐาน AOAC [15] ดังนี้ ปริมาณความชื้นด้วยวิธี hot air oven method ปริมาณเถ้าด้วยวิธี dry ashing ปริมาณไขมันด้วยวิธี solvent extraction method ปริมาณโปรตีนด้วยวิธี kjeldahl method ปริมาณเยื่อใยด้วยวิธี solvent extraction method และปริมาณคาร์โบไฮเดรต โดยวิธีคำนวณผลต่างของสารอาหารทั้งหมด

5.3 ปริมาณอะไมโลส

วิเคราะห์ปริมาณอะไมโลสของแป้งตามวิธีของ Juliano [16] โดยเตรียมสารละลายตัวอย่างแป้ง โดยซัง

* Corresponding author e-mail: L_wijitra@hotmail.com

¹สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

¹Department of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Technology and Agro-Industry, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi,

น้ำหนักตัวอย่างแบ่งที่แน่นอน 0.1000 กรัม ใส่ในขวดแก้ววัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ใส่เอทิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 95 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าเพื่อให้แบ่งกระจายออก และใส่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 นอร์มอล 9 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันและตั้งทิ้งไว้ 20 นาที แล้วนำสารละลายตัวอย่างไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV spectrophotometer, Genesys 10SUV-VIS) ที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร จากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่างไปคำนวณหาปริมาณอะไมโลส เป็นร้อยละเทียบกับกราฟมาตรฐานจากสารละลายมาตรฐานอะไมโลสที่ถูกเตรียมด้วยความเข้มข้นร้อยละ 8, 16, 24, 32 และ 40

6. การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

6.1 ค่าสี

วิเคราะห์ค่าสีของตัวอย่างแป้งด้วยเครื่องวัดสี (Color Quest XE, Hunter Lab, USA) จำนวน 3 ซ้ำ แสดงค่าสีที่วัดได้เป็นค่าสี L*, a* และ b* โดยที่ค่าสี L* แสดงค่าความสว่าง มีค่าตั้งแต่ 0 (ดำ) จนถึง 100 (ขาว) ค่าสี a* แสดงค่าความเป็นสีแดงและสีเขียว (ค่า + จะแสดงค่าสีแดง และค่า - จะแสดงค่าสีเขียว) และค่าสี b* แสดงค่าความเป็นสีเหลืองและสีน้ำเงิน (ค่า + จะแสดงค่าสีเหลือง และค่า - จะแสดงค่าสีน้ำเงิน)

6.2 ขนาดของแป้ง

วิเคราะห์ขนาด (particle size) ของแป้งกระจับ โดยใช้เครื่องร่อนแป้ง (sieve shaker) ด้วยตะแกรงขนาด 63, 125, 250 และ 500 ไมครอน (AS200 Control, Haan, Germany)

6.3 กำลังการพองตัว และการละลายน้ำ

วิเคราะห์กำลังการพองตัว (swelling power) และการละลายน้ำ (solubility) ของตัวอย่างแป้งกระจับตามวิธีของ Liaotrakoon et al. [17] โดยการชั่งน้ำหนักแป้ง 0.1 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ใส่หลอดสำหรับปั่นเหวี่ยงขนาด 50 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นปริมาตร 10 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันในหลอดหมุนเหวี่ยงและนำไปแช่ในอ่างน้ำ

ควบคุมอุณหภูมิ (NH 03801, USA) อุณหภูมิ 50 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และนำไปหมุนเหวี่ยงด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง (2-16PK, Gerhardt, Germany) ที่ความเร็ว 3,000 รอบ/นาที นาน 10 นาที จากนั้นคำนวณกำลังการพองตัวจากน้ำหนักตะกอนต่อน้ำหนักตัวอย่าง รายงานผลเป็นกรัมเจล/กรัม ส่วนใสที่ได้จากการหมุนเหวี่ยงนำไปอบในเตาอบลมร้อน (FED115, WTE binder, Germany) อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และคำนวณค่าการละลายน้ำเป็นร้อยละของน้ำหนักตะกอนในส่วนใสหลังการอบแห้งต่อน้ำหนักตัวอย่าง

6.4 สมบัติความหนืด

ศึกษาสมบัติความหนืด (pasting properties) ของแป้ง โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ความหนืด (rapid visco analyzer, RVA, Perten RVA 4500) ซึ่งตัวอย่างแป้ง 3 กรัม ใส่ลงในภาชนะทรงกระบอก เติมน้ำกลั่นลงไปในภาชนะปริมาตร 25 มิลลิลิตร และกวนผสมแป้งโดยใช้ใบพัด (paddle type) ที่ความเร็วรอบ 160 รอบต่อนาที ให้ความร้อนจากอุณหภูมิ 40 จนถึง 92.5 องศาเซลเซียส ด้วยอัตรา 3 องศาเซลเซียส/นาที รักษาอุณหภูมิที่ 92.5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที และลดระดับอุณหภูมิลงเป็น 40 องศาเซลเซียส ด้วยอัตรา 3 องศาเซลเซียส/นาที จะได้กราฟ RVA สำหรับวิเคราะห์สมบัติทางความหนืดของตัวอย่างแป้ง ได้แก่ peak viscosity, trough viscosity, breakdown, final viscosity, setback และ peak time [ดัดแปลงจาก 5, 17]

6.5 ความคงตัวในการแช่เยือกแข็งและการละลาย

วิเคราะห์ความคงตัวในการแช่เยือกแข็งและการละลาย (freeze-thaw stability) โดย เตรียมตัวอย่างแป้งต่อน้ำในอัตราส่วน 1:9 โดยน้ำหนัก นำไปให้ความร้อนจนแป้งเกิดเจลทั้งหมด ทำการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง จากนั้นนำตัวอย่างมาละลายในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (NH 03801, USA) ที่อุณหภูมิ 30, 60 และ 90 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที นำไปหมุนเหวี่ยงด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง (2-

* Corresponding author e-mail: L_wijitra@hotmail.com

¹สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

¹Department of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Technology and Agro-Industry, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi,

16PK, Gerhardt, Germany) ที่ความเร็ว 4,600 รอบ/นาที่ นาน 10 นาที ซึ่งน้ำหนักรวมของน้ำที่แยกชั้นออกมาจากเจลแป้ง และนำไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ทำการแช่เยือกแข็งและละลายซ้ำจำนวน 5 รอบ และทดลอง 3 ซ้ำ คำนวณปริมาณร้อยละการแยกตัวของน้ำจากเจลแป้ง (syneresis) จากร้อยละของน้ำหนักรวมที่แยกออกมาจากเจลแป้งต่อน้ำหนักเจลแป้งเริ่มต้น [17]

7. การวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design) และคำนวณค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน วิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance, ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยใช้ Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ผลของวิธีการตัดแปรงแป้งต่อสมบัติทางเคมีของแป้งกระจับ

วิธีการตัดแปรงแป้งมีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีของแป้งกระจับโดยพบว่า แป้งกระจับตัดแปรงด้วยกรด แป้งกระจับพรีเจลาติไนซ์ และสตาร์ชไม่ตัดแปรงจากกระจับมีค่า a_w ต่ำอยู่ในช่วงระหว่าง 0.46-0.61 และมีปริมาณความชื้นอยู่ระหว่างร้อยละ 6.08-7.50 แป้งกระจับตัดแปรงด้วยกรดมีค่าความเป็นกรด-ด่าง น้อยกว่า แป้งกระจับพรีเจลาติไนซ์ และสตาร์ชไม่ตัดแปรงจากกระจับ ตามลำดับ (ค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ระหว่าง 6.08-7.50) เนื่องจากแป้งกระจับที่ย่อยด้วยกรด อาจมีสภาพความเป็นกรดหลงเหลือจากสารละลายกรดที่ใช้ในการย่อยจึงมีค่าความเป็นกรด-ด่าง ต่ำกว่าแป้งกระจับชนิดอื่นที่ทำการศึกษาในครั้งนี้ นอกจากนี้ยังพบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างของตัวอย่างแป้งที่ได้ แตกต่างจากการปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง ในระหว่างการเตรียมแป้ง เนื่องจากสารละลายที่ใช้ในการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างอาจไม่ได้แพร่เข้าไปภายในเม็ดแป้งอย่าง

สมบูรณ์ ในขณะที่สตาร์ชไม่ตัดแปรงจากกระจับนั้นใช้สารละลายต่างเป็นสารในการสกัดโปรตีนในระหว่างกระบวนการเตรียมสตาร์ช จึงทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่าแป้งชนิดอื่นเล็กน้อย

จาก Table 1 พบว่า แป้งกระจับตัดแปรงด้วยกรดมีปริมาณอะไมโลส (ร้อยละ 5.53) น้อยกว่าแป้งกระจับพรีเจลาติไนซ์ และสตาร์ชไม่ตัดแปรงจากกระจับ (ร้อยละ 20.81 และ 28.56) ตามลำดับ (Table 1) เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณอะไมโลสของแป้งกระจับที่ไม่ได้ตัดแปรง (ร้อยละ 35.20) [11] นั้นพบว่าการตัดแปรงแป้งทำให้แป้งมีปริมาณอะไมโลสลดลง ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Singh et al. [18] ซึ่งการตัดแปรงแป้งด้วยกรด จะทำให้ปริมาณอะไมโลสลดลงอย่างชัดเจน โดยในช่วงแรกของการย่อยด้วยกรด กรดจะเข้าไปทำลายส่วนสัณฐาน (amorphous region) ของอะไมโลส ในเม็ดแป้ง และในช่วงหลังของการย่อย กรดจะทำลายส่วนผลึก (crystalline region) ของอะไมโลส อย่างช้าๆ [19] เมื่อใช้กรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 2 โมลาร์ นานกว่า 30 นาที ในการตัดแปรงแป้งมันสำปะหลัง จะมีผลทำให้ได้โมเลกุลของกลูโคสที่เป็นสายสั้นลงจนไม่สามารถจับกับสารละลายไอโอดีนได้ ต้องวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลสด้วยค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสั้นกว่า 600 นาโนเมตร เมื่อย่อยแป้งมันสำปะหลังด้วยกรดเป็นเวลานาน 210 นาที ส่งผลต่อปริมาณอะไมโลสที่ลดลงอย่างมากจากร้อยละ 22 เป็นร้อยละ 7 โดยประมาณ [20] นอกจากนี้ยังเกิดกระบวนการสลายตัวของโมเลกุลอะไมโลส (amylose degradation) ในระหว่างกระบวนการตัดแปรงด้วยกรด ดัง หรือการใช้ไฟในการทำให้แป้งสุกหรือพรีเจลาติไนซ์ [21] ซึ่งทำให้เกิดผลกระทบต่อผลึกอะไมโลสในแป้งข้าวโพด [22] เมื่อให้อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชัน (gelatinization) ของแป้ง แป้งหรือสตาร์ชจะเกิดเจลาติไนเซชัน แล้วเกิดการไหลออกของโมเลกุลอะไมโลส (amylose leaching) และเกิดการเชื่อมประสานภายในแกรนูลของเม็ดสตาร์ช (starch granule) เข้าด้วยกัน [23]

* Corresponding author e-mail: L_wijitra@hotmail.com

¹สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

¹Department of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Technology and Agro-Industry, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi,

Table 1 Chemical compositions of native starch and modified water chestnut flours (dry basis).

Characteristic	Water chestnut		
	Native starch	Acid-modified flour	Pre-gelatinized flour
a _w	0.61±0.03 ^a	0.46±0.01 ^b	0.59±0.03 ^a
pH	7.50±0.43 ^a	6.08±0.02 ^b	6.23±0.05 ^b
Amylose (%)	28.56±0.67 ^a	5.53±0.42 ^c	20.81±0.77 ^b
Protein (%)	7.46±0.14 ^c	10.90±0.21 ^b	13.51±0.28 ^a
Fat (%)	0.90±0.15 ^a	0.44±0.14 ^c	0.60±0.20 ^b
Ash (%)	2.22±0.00 ^b	11.32±0.04 ^a	2.71±0.09 ^b
Fiber (%)	2.50±0.08 ^b	4.24±0.23 ^a	2.73±0.15 ^b
Carbohydrate (%)	86.93±0.45 ^a	73.10±0.51 ^c	80.44±0.22 ^b

The superscripts with the different letters within the same row are significantly different (p<0.05).

แป้งกระจัดัดแปรด้วยกรดมีปริมาณโปรตีน (ร้อยละ 10.90 น้ำหนักฐานแห้ง) น้อยกว่าแป้งกระจัดัดแปรจากกระจัดัด (ร้อยละ 13.51) และพบว่า สตาร์ชไม่ดัดแปรจากกระจัดัดมีโปรตีนน้อยที่สุด (ร้อยละ 7.46) เนื่องจากกระบวนการดัดแปรที่ใช้สารละลายต่างในการสกัดเอาโปรตีนออกจากแป้งกระจัดัด โดยปกติโปรตีนจะเกาะอยู่บริเวณพื้นผิวของเม็ดแป้ง ทำให้เกิดประจุบนพื้นผิวสตาร์ช ซึ่งมีผลต่อการดูดซึมน้ำ การพองตัว และการเกิดเจลลิตในเซชันของแป้ง อีกทั้งแป้งที่มีปริมาณโปรตีนต่ำ จะส่งผลให้แป้งมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตมากขึ้น [24] การใช้สารละลายต่างในการเตรียมสตาร์ชไม่ดัดแปร ทำให้แป้งมีโปรตีนต่ำ และวิธีนี้ทำให้มีการเพิ่มเอนทัลปี โดยการเพิ่มการเคลื่อนที่ของอนุภาคเข้าไปในแกรนูลของแป้ง [22] ซึ่งโปรตีนจากแป้งเป็นองค์ประกอบหลักที่มีผลต่อการสกัดแป้ง เนื่องจากโปรตีนยึดติดกับพื้นผิวของแป้งและยากต่อการกำจัด [25] แต่การแช่แป้งในสารละลายต่าง ทำให้โครงสร้างของโปรตีนและแป้งอ่อนตัวลง และสามารถถูกแยกด้วยการหมุนเหวี่ยง [26] แป้งกระจัดัดแปรที่มีปริมาณไขมันน้อยมากอยู่ในช่วงร้อยละ 0.44-0.90 (Table 1) ซึ่งไขมันในแป้งโดยปกติมีอยู่ที่พื้นผิวของเม็ดสตาร์ชและกระจายทั่วไปภายในเม็ดสตาร์ช โดยเชื่อมพันธะกับคาร์โบไฮเดรตอย่างหลวมๆ โดยกระจัดัดมีไขมันภายในเม็ดสตาร์ชค่อนข้างน้อยอยู่แล้ว และเมื่อเทียบกับแป้งกระจัดัดก่อน

การดัดแปรนั้นพบว่า ไขมันในแป้งอาจจะส่งผลกระทบต่อสมบัติของแป้งโดยจะลดความสามารถในการพองตัวและการละลายการจับตัวกับน้ำของแป้ง [27] แป้งกระจัดัดแปรด้วยกรดมีปริมาณไขมันมากที่สุด (ร้อยละ 11.32) รองลงมา คือ แป้งกระจัดัดพรีเจลลิตไนซ์ และสตาร์ชไม่ดัดแปรจากกระจัดัด (ร้อยละ 2.22-2.72) ตามลำดับ ทั้งนี้จะเป็นผลมาจากการย่อยด้วยกรด ทำให้แป้งถูกย่อยและพันธะไกลโคซิดิกถูกทำลายลง จะได้เป็นสารอนุพันธ์สายสั้นๆ โมเลกุลของแป้งมีขนาดลดลง และอาจเกิดน้ำตาลโอลิโกแซคคาไรด์ได้ รวมทั้งกระจัดัดมีปริมาณสารประกอบฟีนอลและวิตามินที่ละลายน้ำได้และละลายน้ำไม่ได้ และแร่ธาตุโดยเฉพาะแคลเซียม โพแทสเซียม โซเดียม และสังกะสีในปริมาณมาก [28] แต่แป้งพรีเจลลิตไนซ์มีปริมาณไขมันน้อยกว่า อาจเนื่องจากการให้ความร้อนระหว่างการดัดแปร และสตาร์ชไม่ดัดแปรมีปริมาณไขมันค่อนข้างน้อย เนื่องจากสารบางตัวอาจจะสูญเสียไปจากการเตรียมสตาร์ชโดยการสกัดโปรตีนด้วยสารละลายต่าง และสำหรับปริมาณเยื่อใยของแป้งกระจัดัดแปรอยู่ในช่วงร้อยละ 2.50-4.24 ส่วนปริมาณคาร์โบไฮเดรตของแป้งกระจัดัดแปรด้วยกรดน้อยที่สุด (ร้อยละ 73.10) ตามด้วยแป้งกระจัดัดพรีเจลลิตไนซ์ และสตาร์ชไม่ดัดแปรจากกระจัดัด (ร้อยละ 80.44-86.93)

* Corresponding author e-mail: L_wijitra@hotmail.com

¹สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

¹Department of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Technology and Agro-Industry, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi,

2. ผลของวิธีการดัดแปรแป้งต่อสมบัติทางกายภาพของแป้งกระเจับ

2.1 สี และขนาดของแป้ง

แป้งกระเจับดัดแปรด้วยกรด แป้งกระเจับพรีเจลาติไนซ์ และสตาร์ชไม่ดัดแปรจากกระเจับมีปริมาณผลผลิต ร้อยละ 65.15-68.26 จากน้ำหนักฐานแห้ง (Table 2) และพบว่า กระบวนการดัดแปรแป้งมีผลต่อค่าสีของแป้งกระเจับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยค่า L^* (ค่าความสว่าง) ของ

แป้งกระเจับดัดแปรทั้งสองชนิดมากกว่าสตาร์ชไม่ดัดแปร และมีค่า a^* (ค่าสีเขียว-สีแดง) และ b^* (ค่าสีน้ำเงิน-สีเหลือง) น้อยกว่าสตาร์ชไม่ดัดแปร เนื่องจากการใช้กรดจะทำให้ส่วนอนินทรีย์ของโมเลกุลแป้งหลุดออกมาในระหว่างการย่อยด้วยกรด ทำให้เกิดปฏิกิริยาของพันธะอะไมโลเพคติน เม็ดแป้งจะมีความวาว และใสสว่างมากขึ้น [29] โดยแป้งกระเจับพรีเจลาติไนซ์มีค่า L^* (ค่าความสว่าง) มากที่สุด แต่มีค่าสี a^* (ค่าสีเขียว-สีแดง) และค่าสี b^* (ค่าสีน้ำเงิน-สีเหลือง) น้อยที่สุด

Table 2 Yield and color parameters of native starch and modified water chestnut flours.

Water chestnut	Yield (% , dry basis)	Color parameters		
		L^*	a^*	b^*
Native starch	68.26±0.52 ^a	82.29±0.16 ^c	4.92±0.13 ^a	9.99±0.16 ^a
Acid-modified flour	65.39±0.78 ^b	87.47±0.34 ^b	3.99±0.17 ^b	8.34±0.31 ^b
Pre-gelatinized flour	65.15±0.45 ^b	89.43±1.12 ^a	2.65±0.16 ^c	7.14±0.32 ^c

The superscripts with the different letters within the same column are significantly different ($p < 0.05$).

กระบวนการดัดแปรแป้งมีผลต่อขนาดของแป้งกระเจับดังแสดงใน Figure 1 โดยแป้งกระเจับดัดแปรด้วยกรดมีขนาดอนุภาคเล็กที่สุด คือ ขนาดเล็กกว่า 63 ไมครอน เนื่องจากมีกระบวนการดัดแปรโดยใช้กรดเนื่องจากกรดที่ใช้นั้นส่งผลทำให้เกิดการย่อยของโมเลกุลแป้งเกิดขึ้น จึงทำให้ได้ขนาดอนุภาคของเม็ด

แป้งมีขนาดลดลง [18] ส่วนแป้งพรีเจลาติไนซ์มีขนาดอนุภาคใหญ่ที่สุดคือ ขนาดอยู่ในช่วง 250-500 ไมครอน เนื่องจากมีกระบวนการดัดแปรที่ใช้อุณหภูมิสูงจึงทำให้ตัวแป้งนั้นเกิดการพองตัวเกิดขึ้นแป้งที่ได้จึงมีขนาดและโมเลกุลที่ใหญ่ และสตาร์ชไม่ดัดแปรจากกระเจับมีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 63-125 ไมครอน

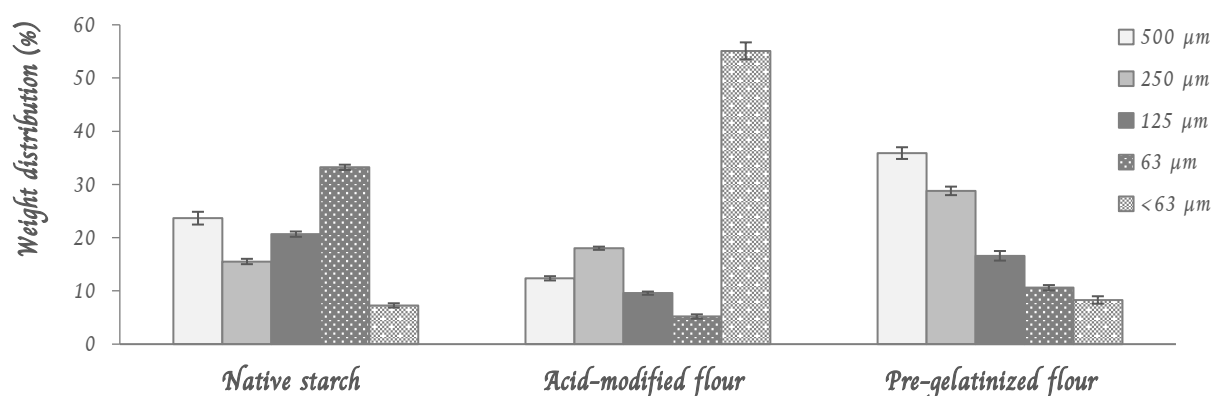


Figure 1 Particle size distribution of native starch and modified water chestnut flours.

* Corresponding author e-mail: L_wijitra@hotmail.com

¹สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

¹Department of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Technology and Agro-Industry, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi,

2.2 กำลังการพองตัวและการละลายน้ำ

กระบวนการดัดแปรแป้งกระจับ มีผลต่อกำลังการพองตัวและการละลายน้ำที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสของแป้งกระจับดังแสดงใน Table 3 พบว่า แป้งกระจับพรีเจลาติไนซ์ มีค่ากำลังการพองตัวและการละลายน้ำสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (11.23 g gel/g และร้อยละ 9.44 ตามลำดับ) เนื่องจากแป้งพรีเจลาติไนซ์เป็นแป้งที่ได้รับความร้อนจากกระบวนการผลิตมาแล้วทำให้แป้งมีค่ากำลังการพองตัวและการละลายน้ำมากกว่าแป้งดัดแปรชนิดอื่น นอกจากนี้ขนาดอนุภาคแป้งยังมีผลต่อการละลายน้ำและกำลังการพองตัว โดยแป้งที่มีขนาดอนุภาคใหญ่จะอมน้ำได้ดีกว่าขนาดอนุภาคเล็กโดยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นการละลายน้ำและการพองตัวของแป้งจะมากขึ้น [24] ซึ่งแป้งพรีเจลาติไนซ์มีขนาดอนุภาคใหญ่ที่สุดเมื่อเทียบกับแป้งดัดแปรด้วยกรด และสตาซ์ไม่ดัดแปร (Figure 1) นอกจากนี้ปัจจัยที่มีผลต่อการพองตัวและการละลาย

ของแป้ง ได้แก่ ชนิดของแป้ง โดยแป้งที่มีปริมาณอะไมโลสสูง จะมีกำลังการพองตัวและการละลายต่ำ เนื่องจากอะไมโลสจะทำให้โครงสร้างร่างแหในเม็ดสตาร์ชแข็งแรงขึ้นจึงพองตัวได้น้อย ความแข็งแรงและลักษณะร่างแหภายในเม็ดสตาร์ช อัตราส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินองค์ประกอบในเม็ดสตาร์ชที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต เช่น กรดไขมันในธรรมชาติของแป้งจะยับยั้งการพองตัวของเม็ดสตาร์ช ปริมาณน้ำและสารประกอบอื่นๆ เป็นต้น เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น สารแขวนลอยในน้ำถูกทำให้ร้อนขึ้นสูงกว่าอุณหภูมิเจลาติไนเซชัน โครงสร้างผลึกของแป้งจะแตกออก และโมเลกุลของน้ำจะเชื่อมโยงกับกลุ่มไฮดรอกซิลของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินผ่านพันธะไฮโดรเจน ทำให้เกิดการบวมของโมเลกุลแป้ง ส่งผลให้น้ำเข้าไปในเม็ดแป้งได้เร็วขึ้น และทำให้การละลายของอะไมโลสเพิ่มขึ้น [14, 30] เมื่อปริมาณอะไมโลสของแป้งเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้กำลังการพองตัวและความสามารถในการละลายน้ำของแป้งลดลง [31]

Table 3 Swelling power and solubility at 50°C of native starch and modified water chestnut flours.

Water chestnut	Swelling power (g gel/g)	Solubility (%)
Native starch	7.48±0.15 ^c	8.34±0.37 ^b
Acid-modified flour	9.19±0.11 ^b	8.93±0.22 ^a
Pre-gelatinized flour	11.23±0.14 ^a	9.44±0.11 ^a

The superscripts with the different letters within the same column are significantly different ($p < 0.05$).

2.3 สมบัติความหนืด

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งด้วย RVA ได้ผลดัง Table 4 ซึ่ง peak viscosity คือ ความหนืดที่จุดสูงสุด trough viscosity คือ ความหนืดที่ต่ำที่สุดระหว่างการทำให้เย็น breakdown คือ ค่าความหนืดลดลงหรือความแตกต่างของความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด final viscosity คือ ความหนืดสุดท้าย setback คือ ค่าการคืนตัวหรือผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดที่จุดสูงสุด และ peak time คือ เวลาที่เกิดจุดสูงสุดของความหนืดเมื่ออุณหภูมิของน้ำแป้งสูงกว่าช่วงอุณหภูมิเจลาติไนเซชัน ซึ่งสมบัติ

ความหนืดนี้เป็นกระบวนการที่แสดงถึงการพองตัว และการดูดซึมน้ำของเม็ดสตาร์ชในขณะที่ได้รับความร้อน การพองตัวของเม็ดสตาร์ชจะเริ่มเกิดเมื่อความร้อนที่ให้กับสารละลายแป้งมีพลังงานพอเพียงที่จะให้เกิดการแตกของพันธะไฮโดรเจน ทำให้สามารถเข้าไปในโมเลกุลของเม็ดสตาร์ชได้ ทำให้เม็ดสตาร์ชดูดน้ำได้มากขึ้นและพองตัวมากขึ้น โมเลกุลของแป้งที่อมน้ำเต็มที่ จะแยกตัวออกจากโครงสร้างของพันธะไฮโดรเจนภายในเม็ดสตาร์ช แล้วกระจายสู่สารละลายรอบๆ ทำให้เม็ดสตาร์ชที่พองตัวแตกได้ง่ายขึ้น [32]

* Corresponding author e-mail: L_wijitra@hotmail.com

¹สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

¹Department of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Technology and Agro-Industry, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi,

Table 4 Pasting properties of native starch and modified water chestnut flours by RVA analysis.

Pasting properties	Water chestnut		
	Native starch	Acid-modified starch	Pre-gelatinized starch
Peak viscosity (cP)	3,373.65±16.16 ^a	21.60±1.15 ^c	524.25±10.14 ^b
Trough viscosity (cP)	2,649.62±25.79 ^a	19.33±0.57 ^c	493.45±11.84 ^b
Breakdown (cP)	724.00±12.48 ^a	2.00±0.00 ^c	30.36±3.78 ^b
Final viscosity (cP)	4,710.00±39.66 ^a	21.28±0.57 ^c	755.00±4.00 ^b
Setback (cP)	2,060.33±22.36 ^a	2.23±0.57 ^c	261.54±8.50 ^b
Peak time (min)	5.07±0.00 ^c	5.44±1.20 ^{ab}	6.95±0.07 ^a

The superscripts with the different letters within the same row are significantly different ($p < 0.05$).

จาก Table 4 แสดงให้เห็นว่า วิธีการดัดแปร มีผลต่อสมบัติความหนืดของแป้งกระเจบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยแป้งดัดแปรด้วยกรด มีค่าความหนืดที่จุดสูงสุดน้อยที่สุด (21.60 cP) ตามด้วยแป้งกระเจบพรีเจลาติไนซ์ และสตาร์ชไม่ดัดแปร (524.25 และ 3,373.65 cP) ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากแป้งกระเจบ พรีเจลาติไนซ์ผ่านการให้ความร้อน จึงทำให้แป้งสุกบางส่วน อันเป็นผลจากการพองตัวเมื่อได้รับความร้อนและปริมาณน้ำที่เหมาะสม แต่เมื่อแป้งผ่านการทำให้แห้งจากการดัดแปร และเมื่อนำมาทำให้เกิดความหนืดอีกครั้ง แป้งอาจจะมีพฤติกรรมที่พองตัวได้จำกัด จึงไม่สามารถพองตัวได้อีก และเกิดจากโมเลกุลของอะไมโลส เชื่อมประสานกับเม็ดแป้งค่อนข้างแข็งแรง และส่งผลให้ความหนืดมีค่าต่ำกว่าสตาร์ชไม่ดัดแปร [33, 34] ส่วนแป้งดัดแปรด้วยกรด จะทำให้แป้งมีขนาดลดลง เนื่องจากเกิดการดีโพลีเมอร์ไลเซชัน (depolymerization) ของแป้งด้วยกรด และการลดลงของโปรตีน อาจทำให้เกิดการยุบตัวของเม็ดแป้งในระหว่างการให้ความร้อน [35] และเมื่อทำให้สุกจนเกิดเจล จึงมีความหนืดต่ำกว่าสตาร์ชไม่ดัดแปร

ค่าความหนืดลดลงให้ผลสอดคล้องกับค่าความหนืดที่จุดสูงสุดของแป้งกระเจบดัดแปร โดยแป้งดัดแปรด้วยกรดมีค่าความหนืดลดลงน้อยที่สุด (2.00 cP) ตามด้วยแป้งกระเจบพรีเจลาติไนซ์ และสตาร์ชไม่ดัดแปร (30.36 และ 724.00 cP) เช่นเดียวกับค่าความหนืดของแป้งมันฝรั่งดัดแปร [31] ซึ่งค่าความหนืดลดลงนี้สะท้อนให้เห็นถึงความเปราะบางของเม็ดแป้งกับความร้อนและ

แรงเฉือนที่ให้กับสารละลายแป้ง หากมีค่าความหนืดลดลงน้อยมากๆ แสดงว่า การดัดแปรนี้ทำให้แป้งทนความร้อนได้มากขึ้น อาจต้องใช้เวลาในการทำให้เกิดเจลอานขึ้น [14] การดัดแปรแป้งด้วยกรด และพรีเจลาติไนซ์สามารถปรับปรุงเสถียรภาพของแป้งเมื่อให้ความร้อนและกวนได้ เนื่องจากเกิดการจัดเรียงตัวรูปแบบของผลึก (re-crystallization) ภายในเม็ดแป้งซึ่งนำไปสู่การเพิ่มเสถียรภาพของเม็ดแป้งที่ทนต่อความร้อนได้มากขึ้น และเกิดโครงสร้างของสารประกอบเชิงซ้อนอะไมโลสและไขมัน (amylose-lipid complex) ที่ลดความสามารถในการบวมตัวของเม็ดแป้ง [35] นอกจากนี้ยังพบว่า แป้งกระเจบดัดแปรด้วยกรดมีค่าความหนืดสุดท้ายและค่าการคืนตัวน้อยที่สุด ตามด้วยแป้งกระเจบพรีเจลาติไนซ์ และสตาร์ชไม่ดัดแปร ตามลำดับ (Table 4) และพบว่า แป้งกระเจบพรีเจลาติไนซ์และสตาร์ชไม่ดัดแปรมีความหนืดสุดท้ายสูงกว่าความหนืดสูงสุดหมายความว่า แป้งจะมีค่าการคืนตัวหรือผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดที่จุดสูงสุดหรือ setback ซึ่งแสดงว่าแป้งชนิดนั้นเกิดการคืนตัวได้ (retrogradation) ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับรายงานของ Singh et al. [18] แนวโน้มการคืนตัวของแป้งสามารถประเมินได้จากความหนืดสุดท้ายและค่าการคืนตัว โดยระหว่างการทำให้เย็น จะเกิดการรวมตัวกันของโมเลกุลอะไมโลสกับแป้งเป็นลักษณะเจล ทำให้เกิดโครงสร้างใหม่จากการเรียงผลึกของแป้งหลังจากทำให้เย็น [36] ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอะไมโลสและอะไมโลเพคตินที่อยู่ภายนอกเม็ดแป้งด้วย หากค่า

* Corresponding author e-mail: L_wijitra@hotmail.com

¹สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

¹Department of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Technology and Agro-Industry, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi,

การคืนตัวสูง แสดงว่าแป้งมีความเป็นเจลได้ดีระหว่างการทำให้เจลแป้งเย็นตัวลง ส่งผลต่อคุณลักษณะของเจลแป้ง และการแยกตัวของน้ำจากเจลแป้งเนื่องจากการคืนตัว [37, 38]

2.4 ความคงตัวในการแช่เยือกแข็งและการละลาย

จากการศึกษาความคงตัวในการแช่เยือกแข็งและการละลายที่อุณหภูมิ 30, 60 และ 90 องศาเซลเซียสของแป้งกระเจี๊ยบตัดแปรรูป แสดงผลเป็นร้อยละการแยกตัวของน้ำจากเจลแป้งพบว่า วิธีการตัดแปรรูปแป้งกระเจี๊ยบมีผลต่อความคงตัวในการแช่เยือกแข็งและการละลาย โดยแป้งกระเจี๊ยบตัดแปรรูปด้วยกรดไม่พบการแยกตัวของน้ำจากเจลแป้งตลอดการแช่เยือกแข็งและการละลายที่อุณหภูมิ 30, 60 และ 90 องศาเซลเซียสตลอดทั้ง 5 รอบ (ร้อยละการแยกตัวของน้ำจากเจลแป้งเท่ากับ 0.00 ในทุกการทดสอบสำหรับแป้งกระเจี๊ยบตัดแปรรูปด้วยกรด) แสดงถึงความคงตัวของเจลแป้งที่สามารถต้านทานการแช่เยือกแข็งและการละลายได้ดี เนื่องจากในกระบวนการตัดแปรรูปนี้ กรดจะย่อยพันธะของแป้ง เป็นโมเลกุลสายสั้นลง และจับตัวกันอย่างแข็งแรง ทำให้เจลแป้งหลังการแช่เยือกแข็งนั้นเกิดความคงตัว [35] ซึ่งสอดคล้องกับค่าการคืนตัวของแป้งกระเจี๊ยบตัดแปรรูปด้วยกรดมีค่าน้อยมากเพียง 2.23 cP (Table 4) แสดงถึงแนวโน้มในการคืนตัวที่น้อยมากของเจลแป้งหลังเย็นตัวลง แป้งตัดแปรรูปด้วยกรดจึงมีความเหมาะสมที่จะนำไปพัฒนาเป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์แช่เยือกแข็ง นอกจากนี้มีรายงานว่า แป้งพุทธรักษาตัดแปรรูปด้วยกรดมีความคงตัวต่อการแช่เยือกแข็งและการละลายเพิ่มขึ้น อาจนำไปประยุกต์เป็นสารให้ความข้นหนืดในผลิตภัณฑ์อาหารได้ [6]

ส่วนแป้งกระเจี๊ยบพรีเจลาตินไนซ์ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งมาละลายที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เมื่อจำนวนรอบมากขึ้น และที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ไม่พบการแยกตัวของน้ำจากเจลแป้งตลอดการแช่เยือกแข็งและการละลายทั้ง 5 รอบ (ร้อยละ 0.00) จึงอาจเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการละลายแป้งชนิดนี้ เพราะเป็นแป้งที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนเพื่อทำให้แป้ง

สุกมาแล้ว แป้งจึงพองตัวและอุ้มน้ำได้ดีที่อุณหภูมินี้ แต่อย่างไรก็ตามยังพบว่า เมื่อนำแป้งกระเจี๊ยบพรีเจลาตินไนซ์มาแช่เยือกแข็งและละลายที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ไม่พบการแยกตัวของน้ำจากเจลแป้งในรอบที่ 1 แต่มีการแยกตัวของน้ำจากเจลแป้งที่เพิ่มขึ้นในรอบที่ 2 และ 3 เป็นร้อยละ 0.92 และ 2.60 ตามลำดับ หลังจากนั้นเจลแป้งมีการแยกตัวของน้ำน้อยลงในรอบที่ 4 และ 5 (ร้อยละ 1.33-1.51) (Figure 2(a)) เนื่องจากมีปริมาณน้ำที่แทรกตัวอยู่ในโครงสร้างร่างแหของตัวแป้งออกมาในช่วง 3 รอบแรก หลังจากนั้นน้ำที่แยกตัวจาก เจลแป้งลดลงตามลำดับ ในระหว่างการทำให้แป้งเป็นเจลนั้น เมื่อเม็ดแป้งได้รับความร้อนจะพองตัว ทำให้อะไมโลสละลายออกมาอยู่ในน้ำที่ล้อมรอบเม็ดแป้ง แป้งจะมีลักษณะเป็นเจล เมื่อเจลแป้งเย็นลง โมเลกุลของอะไมโลสจะเคลื่อนที่เข้ามาเกาะกันเองหรือเกาะกับส่วนที่แตกแขนงของโมเลกุลอะไมโลเพคตินเกิดการเรียงโครงสร้างผลึกใหม่หรือการคืนตัวที่ทำให้แป้งมีลักษณะเป็นเจลทึบ ส่งผลทำให้สูญเสียโมเลกุลน้ำที่เคยจับอยู่กับอะไมโลสและอะไมโลเพคติน บางส่วนเกิดเป็นโครงสร้างสามมิติที่สามารถอุ้มน้ำไว้ได้ มีผลทำให้ความหนืดของเจลแป้งสูงขึ้นอีกครั้ง ถ้าเจลแป้งเกิดการคืนตัวมาก ทำให้น้ำที่เคยจับตัวกับโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินแยกตัวออก หรือเกิดการแยกตัวของน้ำจากเจลแป้งมาก ถือเป็นการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของเจลแป้งระหว่างการแช่เยือกแข็งและการละลาย และมีความสัมพันธ์กับความสามารถของแป้งในการกักเก็บน้ำและแนวโน้มสำหรับการคืนตัวของแป้ง [39, 40]

ในขณะที่สตาร์ชไม่ตัดแปรรูปจากกระเจี๊ยบจะเกิดการแยกตัวของน้ำจากเจลแป้งลดลง เมื่อจำนวนรอบและอุณหภูมิในการละลายเพิ่มขึ้น (Figure 2(b)) พบว่าโดยสตาร์ชไม่ตัดแปรรูปจากกระเจี๊ยบมีการแยกตัวของน้ำจากเจลแป้งมากที่สุดคือร้อยละ 19.77 ในรอบที่ 1 เมื่อละลายที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และลดน้อยลงจนกระทั่งไม่พบการแยกตัวของน้ำจากเจลแป้ง (ร้อยละ 0.00) ในรอบที่ 4 และ 5 เนื่องมาจากลักษณะของเจลเมทริกซ์ที่มีการเกาะตัวกันแน่นกับโมเลกุลของน้ำ การตกผลึกของแป้งอาจเกิดขึ้นในช่วงเวลาเริ่มต้น จากนั้นการแยกตัว

* Corresponding author e-mail: L_wijitra@hotmail.com

¹สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

¹Department of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Technology and Agro-Industry, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi,

ของน้ำจากเจลเมทริกซ์ของแป้งที่ถูกเปลี่ยนสภาพ อาจเกิดจากการชะลอกระบวนการคั่นตัว เนื่องจากเม็ดแป้งมีรูปแบบการสูญเสียน้ำที่ไม่สม่ำเสมอ จากการก่อตัวของนิวเคลียสของแป้งเพื่อเรียงผลึกใหม่ที่เกิดขึ้น [41]

อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองพบว่า แป้งดัดแปรทั้งสองวิธีมีร้อยละการแยกตัวของน้ำจากเจลแป้งน้อยกว่าสตาร์ชที่ไม่ดัดแปรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

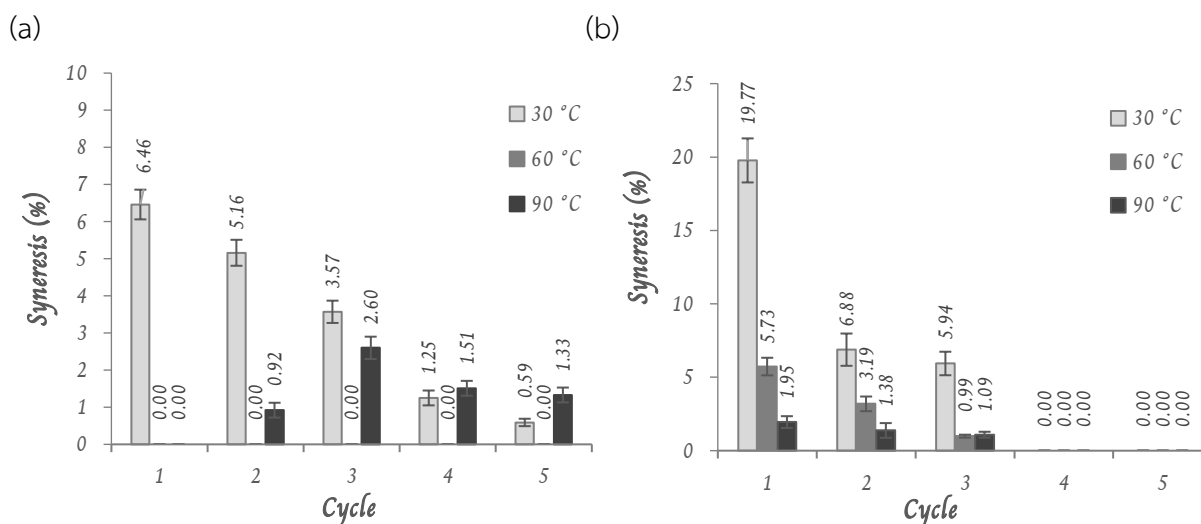


Figure 2 Freeze-thaw stability expressing as percentage of syneresis of (a) pre-gelatinized water chestnut flour, and (b) native water chestnut starch at different thawing temperatures.

สรุปผล

วิธีการดัดแปรแป้งกระฉับมีผลต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพ ความหนืด และความคงตัวในการแช่เยือกแข็งและการละลายของแป้งกระฉับ โดยแป้งกระฉับพรีเจลาติไนซ์มีกำลังการพองตัวและการละลายน้ำสูงกว่าแป้งกระฉับดัดแปรด้วยกรด แต่แป้งกระฉับดัดแปรด้วยกรดมีปริมาณโปรตีน และคาร์โบไฮเดรตน้อยกว่า แป้งกระฉับดัดแปรแบบพรีเจลาติไนซ์ ($p < 0.05$) แป้งกระฉับดัดแปรด้วยกรดมีค่าความหนืดที่จุดสูงสุด ค่าความหนืดลดลง ความหนืดสุดท้าย และค่าการคั่นตัวน้อยกว่าแป้งกระฉับพรีเจลาติไนซ์ และสตาร์ชไม่ดัดแปรจากกระฉับ ตามลำดับ ($p < 0.05$) แป้งกระฉับดัดแปรด้วยกรดไม่พบการแยกตัวของน้ำจากเจลแป้ง ในขณะที่แป้งกระฉับพรีเจลาติไนซ์มีการแยกตัวของน้ำจากเจลแป้งเล็กน้อย (น้อยกว่าร้อยละ 6.46)

จากสมบัติที่แตกต่างกันของแป้งกระฉับดัดแปรสามารถสรุปได้ว่า แป้งกระฉับดัดแปรด้วยกรดที่มีความ

ต้านทานในการแช่เยือกแข็งและการละลายดีที่สุด จึงเหมาะที่จะเป็นทางเลือกแก่ผลิตภัณฑ์อาหารแช่เยือกแข็ง และสตาร์ชไม่ดัดแปรจากกระฉับนั้นมีความหนืดมากที่สุด อาจเหมาะสมแก่การนำไปใช้เป็นสารให้ความข้นหนืดสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความหนืดสูง ส่วนแป้งพรีเจลาติไนซ์นั้นจะมีกำลังการพองตัว ความสามารถในการละลายน้ำ และมีลักษณะเป็นเจลได้ดี จึงมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งสำเร็จรูปที่ต้องการความรวดเร็วในการละลายน้ำ แต่อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาการนำแป้งกระฉับดัดแปรไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ต่างๆ อาจนำไปสู่การพัฒนาเพื่อการใช้วัตถุดิบพืชทางเลือกในประเทศไทย และเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้แก่กระฉับได้

* Corresponding author e-mail: L_wijitra@hotmail.com

¹สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

¹Department of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Technology and Agro-Industry, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi,

เอกสารอ้างอิง

- [1] Ashogbon, A.O. and Akintayo, E.T. (2014). Recent trend in the physical and chemical modification of starches from different botanical sources: A review. *Starch/Stärke*. 66: 41-57.
- [2] 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 driver. *Journal of Agriculture Science and Technology*. 13(2): 193-202.
- [3] Wijesinghe, J.A.A.C., Wicramasinghe, I. and Saranandha, K.H. (2016). Effect of different modification methods on gelatinization properties and amylose content of kithul (*Caryota urens*) flour. *Pakistan Journal of Nutrition*. 15: 312-318.
- [4] Wijesinghe, J.A.A.C., Wicramasinghe, I. and Saranandha, K.H. (2015). Effect of modification methods on gelatinization properties and colour attributes of kithul (*Caryota urens*) flour. *International Journal of Science and Research*. 4(10): 2189-2192.
- [5] Chatpapamon, C., Pucha-arnon, S. and Uttapap, D. (2016). Effect of heat-moisture treatment on properties and structure of A- and B-crystalline type starches. *KMUTT Research and Development Journal*. 39(2): 257-268.
- [6] Saartrat, S., Uttapap, D., Puttanlek, C. and Rungsardthong, V. (2015). Edible canna (*Canna edulis*) starch modified by acetylation. *KMUTT Research and Development Journal*. 28(1): 87-102.
- [7] Tobias, J.R., Castro, I.J.L., Peñarubia, O.R., Adona, C.E. and Castante, R.B. (2008). Physicochemical and functional properties determination of flour, unmodified starch and acid-modified starch of Philippine-grown sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). *International Food Research Journal*. 25(6): 2640-2649.
- [8] Niyomwit, B. (2007). Water chestnut: the local plant food. *Food Journal*. 37(4): 315-317.
- [9] Prafulla, A., Amita, D., Shirishkumar, A. and Bhaskar, V.H. (2014). *Trapa bispinosa* Roxb.: A review on nutritional and pharmacological aspects. *Advances in Pharmacological Sciences*. 959830: 1-13.
- [10] Liaotrakoon, V. and Liaotrakoon, W. (2017). Total polyphenol content and antioxidant activity of water chestnut. *Proceeding of the 8th RSPG Researchers Club Conference, Thai Resources: Enormous Potential to be Seen*, pp 251-264. November 29-December 1, 2016. Saraburi. Thailand.
- [11] Liaotrakoon, W. and Liaotrakoon, V. (2020). Effect of milling methods on physicochemical, pasting properties and syneresis of water chestnut (*Trapa bispinosa*) flour. *Thai Journal of Science and Technology*. 9(2): 251-264.
- [12] Adebawal, K.O. and Lawal, O.S. (2002). Effect of annealing and heat moisture conditioning on the physicochemical characteristics of bambara groundnut (*Voandzeia subterranean*) starch. *Nahrung/ Food*. 46: 311-316.
- [13] Sirivongpaisal, P. (2008). Structure and functional properties of starch and flour from bambara groundnut. *Songklanakarini*

* Corresponding author e-mail: L_wijitra@hotmail.com

¹สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

¹Department of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Technology and Agro-Industry, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi,

- Journal Science and Technology. 30(Suppl.1): 51-56.
- [14] Lutfi, Z., Nawab, A., Alam, F. and Hasnain, A. (2017). Morphological, physicochemical, and pasting properties of modified water chestnut (*Trapa bispinosa*) starch. International Journal of Food Properties. 20(5): 1016-1028.
- [15] AOAC. (2000). Official methods of analysis. Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, MD.
- [16] Juliano, B.O. (1971). A simplified assay for milled-rice amylose. Cereal Science Today. 16: 334-340.
- [17] Liaotrakoon, W., Liaotrakoon, V., Wongsangtham, W. and Rodsiri, S. (2014). Influence of dry- and wet-milling processes on physicochemical properties, syneresis, pasting profile and microbial count of job's tear flour. International Food Research Journal. 21: 1745-1749.
- [18] Singh, G.D, Bawa, A.S., Riar C.S. and Saxena, D.C. (2009). Influence of heat-moisture treatment and acid modifications on physicochemical, rheological, thermal and morphological characteristics of Indian water chestnut (*Trapa natans*) starch and its application in biodegradable films. Starch/Stärke. 61(9): 503-513.
- [19] Thirathumthavorn, D. and Charoenrein, S. (2005). Thermal and pasting properties of acid-treated rice starches. Starch/Stärke. 57: 217-222.
- [20] Wuttisela, K., Shobsngob, S., Triampo, W. and Triampo, D. (2008). Amylose/amylopectin simple determination in acid hydrolyzed tapioca starch. Journal of the Chilean Chemical Society. 53(3): 1565-1567.
- [21] Correia, P.R. and Beirao-da-Costa, M.L. (2010). Chestnut and acorn starch properties affected by isolation methods. Starch/Stärke. 62(8): 421-428.
- [22] Palacios-Fonseca, A.J., Castro-Rosas, J., Gómez-Aldapa, C.A., TovarBenítez, T., Millán-Malo, B. M., del Real, A. et al. (2013). Effect of the alkaline and acid treatments on the physicochemical properties of corn starch. CyTA-Journal of Food. 11(1): 67-74.
- [23] Poonnakasem, N. (2013). Effect of hydrocolloids on the bread staling. Journal of Food Technology, Siam University. 8(1): 12-20.
- [24] Rujirapisit, P. (2006). Chemical composition and physico-chemical properties of Chinese water chestnut (*Eleocharis dulcis Trin.*) flour and starch. Research reports. University of The Thai Chamber of Commerce. [Online] Available from https://scholar.utcc.ac.th/handle/66269_76254/647. [Accessed February 15, 2020]
- [25] Baldwin, P.M. (2001). Starch granule-associated proteins and polypeptides: A review. Starch/Stärke. 53: 475-503.
- [26] Lee, H.C., Htoon, A.K. and Paterson, J.L. (2007). Alkaline extraction of starch from Australian lentil cultivars Matilda and Digger optimized for starch yield and starch and protein quality. Food Chemistry. 102: 551-559.
- [27] Galliard, T. and Bowler, P. (1987). Morphology and composition of starch: Starch properties and potential. (1st ed.). John Wiley and Sons, New York.

* Corresponding author e-mail: L_wijitra@hotmail.com

¹สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

¹Department of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Technology and Agro-Industry, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi,

- [28] Adkar, P., Dongare, A., Ambavade, S. and Bhaskar, V.H. (2014). *Trapa bispinosa* Roxb.: A review on nutritional and pharmacological aspects. *Advances in Pharmacological Sciences*. 959830.
- [29] Sandhu, K.S., Singh, N. and Lim, S.T. (2007). A comparison of native and acid thinned normal and waxy corn starches: physicochemical, thermal, morphological and pasting properties. *LWT-Food Science and Technology*. 40(9): 1527-1536.
- [30] Collado, L.S. and Corke, H. (2003). Starch properties and functionalities: Characterization of cereals and flours, properties, analysis and applications. (1st ed.). Marcel Dekker, New York.
- [31] Na Nakorn, K., Tongdang, T. and Sirivongpaisal, P. (2019). Crystallinity and rheological properties of pregelatinized rice starches differing in amylose content. *Starch/Stärke*. 61: 101-108.
- [32] Srirot, K. and Piyachomkwan, K. (2003). *Technology of starch*. (3rd ed.). Kasetsart University, Bangkok.
- [33] Marta, H. and Tensiska, T. (2017). Functional and amylographic properties of physically-modified sweet potato starch. *KnE Life Sciences*. 2(6): 689-700.
- [34] Gunaratne, A. and Hoover, R. (2002). Effect of heat-moisture treatment on the structure and physicochemical properties of tuber and root starches. *Carbohydrate Polymer*. 49: 425-437.
- [35] Sriburi, P. and Hill, S.E. (2000). Extrusion of cassava starch with either variations in ascorbic acid concentration or pH. *International Journal of Food Science and Technology*. 35: 141-154.
- [36] Beta, T. and Corke, H. (2001). Noodle quality as related to sorghum starch properties. *Cereal Chemistry*. 78: 417-420.
- [37] Hagenimana, A., Ding, X. and Fang, T. (2006). Evaluation of rice flour modified by extrusion cooking. *Journal of Cereal Science*. 43(1): 38-46.
- [38] Collado, L., Mabesa, L., Oates, C. and Corke, H. (2001). Bihon-type noodles from heat-moisture-treated sweet potato starch. *Journal of Food Science*. 66: 604-609.
- [39] Whistler, R.L. (1954). *Starch retrogradation: Starch and it's derivatives*. (1st ed.). John Wiley and son, New York.
- [40] Ratithammatorn, T. (2016). Effects of heating and cooling on structural change and digestion of starch. *Burapha Science Journal*. 21(2): 246-259.
- [41] Senanayake, S., Gunaratne, A., Ranaweera, K.K. and Bamunuarachchi, A. (2014). Effect of hydroxypropylation on functional properties of different cultivars of sweet potato starch in Sri Lanka. *International Journal of Food Science*. 148982.

* Corresponding author e-mail: L_wijitra@hotmail.com

¹สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

¹Department of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Technology and Agro-Industry, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi,