

สมบัติทางเคมีกายภาพและโครงสร้างโมเลกุลของ  
แป้งกลอย (*Dioscorea hispida* Dennst.) และ  
แป้งมันมือเสือ (*Dioscorea esculenta* (Lour.) Burkill)

สันทณีย์ ปัญจอนนท์<sup>1</sup> วิทวัส จิรนนท์กุล<sup>1</sup> และ ดุษฎี อุตภาพ<sup>2</sup>  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีท่าข้าม บางขุนเทียน กรุงเทพฯ 10150

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาสมบัติและโครงสร้างโมเลกุลของแป้งที่สกัดจากพืชตระกูล *Dioscorea* สองสายพันธุ์ คือ แป้งกลอย (*Dioscorea hispida* Dennst.) และแป้งมันมือเสือ (*Dioscorea esculenta* (Lour.) Burkill) โดยนำแป้งที่สกัดได้มาศึกษาลักษณะของเม็ดแป้ง องค์ประกอบทางเคมี สมบัติทางเคมีกายภาพ ได้แก่ สมบัติด้านความหนืด ความร้อน การพองตัว และการละลาย และทำการแยกอะไมโลเพคตินเพื่อศึกษาโครงสร้างของสายโซ่อะไมโลเพคติน แป้งทั้งสองชนิดมีขนาดและลักษณะของเม็ดแป้งคล้ายคลึงกัน (ขนาด 1-6  $\mu\text{m}$  พื้นผิวเรียบ รูปร่างหลายเหลี่ยม) มีปริมาณอะไมโลสใกล้เคียงกัน คือ 20 และ 19% pasting temperature, peak viscosity, breakdown และ setback เท่ากับ 80.3°C, 157.3, 8.8, 25.3 RVU และ 77.1°C, 248.0, 67.8, 47.5 RVU ตามลำดับ แป้งมันมือเสือมีการพองตัวมากกว่าแป้งกลอย 10-15% และเริ่มมีการปลดปล่อยอะไมโลสที่อุณหภูมิ 70°C ส่วนแป้งกลอยเริ่มปลดปล่อยอะไมโลสที่อุณหภูมิ 80°C เมื่อวิเคราะห์โครงสร้างโมเลกุลอะไมโลเพคตินโดยแบ่งขนาดของสายโซ่ออกเป็นสายสั้น (A+B1) และสายยาว (B2+B3+B4) พบว่าแป้งกลอยและแป้งมันมือเสือนี้อาศัยส่วนโดยน้ำหนักของสายโซ่อะไมโลเพคตินสายสั้นต่อสายยาวเท่ากับ 1.3 : 1 และ 1.9 : 1 และสัดส่วนโดยโมลเท่ากับ 5.7 : 1 และ 8.8 : 1 โดยมีความยาวเฉลี่ยของสายโซ่อะไมโลเพคติน 15.8 และ 13.5 หน่วย ตามลำดับ

คำสำคัญ : แป้งกลอย / แป้งมันมือเสือ / สมบัติทางเคมีกายภาพ / อะไมโลเพคติน

\* Corresponding author : E-mail: santhanee.pun@kmutt.ac.th

<sup>1</sup> นักวิจัย สายวิชาเทคโนโลยีชีวเคมี คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี

<sup>2</sup> รองศาสตราจารย์สายวิชาเทคโนโลยีชีวเคมี คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี

## Physicochemical properties and amylopectin structure of Yam starch (*Dioscorea hispida* Dennst.) and lesseryam starch (*Dioscorea esculenta* (Lour.) Burkill)

Santhanee Puncha-arnon<sup>1\*</sup> Wittawat Jirananthakul<sup>1</sup> and Dudsadee Uttapap<sup>2</sup>  
King Mongkut's University of Technology Thonburi, Takham, Bangkhuntien, Bangkok 10150

### Abstract

Chemical composition, granule morphology, physicochemical properties (paste viscosity, thermal properties, swelling and solubility) and amylopectin structure of starches isolated from yam (*Dioscorea hispida* Dennst.; kloy in Thai) and lesseryam [*Dioscorea esculenta* (Lour.) Burkill; manmuesau in Thai] were investigated. Granules of both starches had similar size (1-6  $\mu\text{m}$ ) and shape (polygonal with smooth surface). Their amylose contents were comparable at 20 and 19%, respectively. Gelatinization temperature, paste viscosity, breakdown and setback of yam starch were 80.3°C, 157.3, 8.8, 25.3 RVU, whereas those of lesseryam starch were 77.1°C, 248.0, 67.8, 47.5 RVU, respectively. Lesseryam displayed 10 to 15% higher swelling power as compared to yam starch. Amylose leaching of lesseryam and yam starches was initially observed at 70°C and 80°C, respectively. Analyses of amylopectin structure revealed that weight based ratios of short chain (A+B1) to long chain (B2+B3+B4) of yam and lesseryam starches were 1.3 : 1 and 1.9 : 1, while molar based ratios were 5.7 : 1 and 8.8 : 1, respectively. Average chain length of amylopectin was 15.8 for yam starch and 13.5 for lesseryam starch.

**Keywords :** Yam Starch / Physicochemical property / Amylopectin / Structure

---

\* Corresponding author : E-mail: santhanee.pun@kmutt.ac.th

<sup>1</sup> Assistant Professor, Division of Biochemical Technology, School of Bioresources and Technology.

<sup>2</sup> Associate Professor, Division of Biochemical Technology, School of Bioresources and Technology.

## 1. บทนำ

พืชหัวเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่สำคัญในภูมิภาคเขตร้อนเนื่องจากให้ผลผลิตแป้งสูง พืชหัวที่นำมาสกัดแป้งเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมเช่น มันฝรั่ง มันเทศ หรือจากรากเช่น มันสำปะหลัง ซึ่งแป้งที่ได้จากพืชหัวส่วนใหญ่มีการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารอย่างแพร่หลาย เช่น ใช้เป็นสารให้ความข้นหนืด (thickening agent) สารให้ความคงตัว (stabilizing agent) สารทำให้เกิดเจล (gelling agent) แต่การนำไปใช้ในอุตสาหกรรมบางประเภทอาจมีข้อจำกัดทางสมบัติทางกายภาพและทางเคมี ดังนั้นจึงมีความพยายามค้นหาแหล่งคาร์โบไฮเดรตจากพืชชนิดอื่น เพื่อให้ได้แป้งที่มีสมบัติแตกต่างออกไปให้ตรงตามวัตถุประสงค์ของการนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมแต่ละประเภท ในปัจจุบันมีความสนใจในแป้งที่สกัดจากแยมมากขึ้น เนื่องจากมีรายงานว่าแป้งแยมสามารถนำไปใช้ทางการแพทย์เพื่อลดอาการโรคเบาหวานบางชนิด (antidiabetic) รวมถึงนำไปใช้ในอาหารเพื่อสุขภาพในหลายประเทศในเขตร้อนได้ [1] นอกจากนี้ยังพบว่าแป้งแยมมีศักยภาพในการเป็นส่วนผสมของเม็ดยา [2, 3] เป็นสารให้ความข้นหนืด และสารทำให้เกิดเจล [4] รวมถึงใช้ผลิตบรรจุภัณฑ์ย่อยสลายได้ (biodegradable plastic) [5, 6]

แยม (*Dioscorea* spp.) เป็นพืชหัวที่สำคัญในภูมิภาคกึ่งร้อนชื้นหรือร้อนชื้น เช่น เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ แอฟริกา ตะวันตก และประเทศในแคริบเบียน [7, 8] เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวในวงศ์ DIOSCOREACEAE ซึ่งพบมากกว่า 600 สายพันธุ์ [9] แยมมีลักษณะเป็นไม้เถาและมีหัวใต้ดินสำหรับสะสมอาหาร ในประเทศไทยมีชื่อเรียกต่างๆ เช่น มันกลอย (ทั่วไป) (*D. hispida*) กลอยข้าวเหนียว กลอยหัวเหนียว (นครราชสีมา) กลอยนก หรือกลอย (ภาคเหนือ) มันมือเสือ (*D. esculenta*) มันเส้า (*D. alata* Linn.) มันขมมัน (*D. bulbifera* Linn.) และมันดง (*D. glabra* Roxb.) ในต่างประเทศจะมีชื่อเรียกแตกต่างกันออกไป เช่น cush-cush yam (*D. trifida*), yellow and white yam (*D. cayenensis-rotundata* complex), bitter yam (*D. dumeforum* หรือ *D. polygonides*), water yam หรือ sweet yam (*D. alata*), lasser yam หรือ Chinese yam

(*D. esculenta*), potato yam (*D. bulbifera*) [7] ส่วนใหญ่ยังไม่มีการปลูกมันพวกนี้อย่างจริงจัง มักจะเก็บหัวจากตามป่าขยายพันธุ์โดยเมล็ดหรือโดยหัวตามเถาส่วนใหญ่ ใช้บริโภคเป็นอาหารโดยการต้มหรือย่างจากรายงานที่ผ่านมามีพบว่าในหัวแยมมีแป้งในปริมาณสูงประมาณ 50-85% มีโปรตีน 3-5% เยื่อใย 2-5% ไขมัน 0.7% เถ้า 2-7% และมีปริมาณอะไมโลส 10-40% [8, 10] แป้งแยมมี pasting temperature สูง 71-83°C ขึ้นกับสายพันธุ์

แม้ว่าที่ผ่านมามีรายงานการวิจัยเกี่ยวกับสมบัติของแป้งแยมอยู่บ้าง [4, 7, 9, 11] แต่แยมที่ศึกษาก็คือเป็นสายพันธุ์ที่พบในต่างประเทศและส่วนใหญ่ศึกษาเฉพาะสมบัติทางเคมีกายภาพเท่านั้น โดยพบว่าแป้งแยมสายพันธุ์ที่ต่างกันจะมีลักษณะและขนาด รวมถึงสมบัติทางเคมีกายภาพที่แตกต่างกันออกไป ในประเทศไทยมีการบริโภคหัวแยม เช่น กลอย มันมือเสือ มาเป็นเวลานานและปัจจุบันก็ยังพบว่ามีการขายอยู่ตามตลาดในต่างจังหวัด โดยหัวแยมเหล่านี้หาได้จากธรรมชาติ ไม่ใช้การเพาะปลูกเพื่อจำหน่าย หัวแยมเหล่านี้สามารถนำมาส่งเสริมการเพาะปลูกในอนาคตได้ ถ้ามีข้อมูลว่าแป้งจากหัวแยมเหล่านี้มีศักยภาพที่จะนำผลผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่มได้ จนถึงปัจจุบันยังไม่พบการศึกษาวิจัยสมบัติของแป้งแยมที่พบในประเทศไทยอย่างครบถ้วน ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะทำการศึกษาสมบัติของแป้งแยมที่พบในประเทศ 2 สายพันธุ์คือ กลอยข้าวเจ้า (*D. hispida*) และมันมือเสือ (*D. esculenta*) โดยจะศึกษาองค์ประกอบทางเคมี (โปรตีน ไขมัน เถ้า ปริมาณอะไมโลส) ลักษณะทางกายภาพ (รูปร่างและขนาดของเม็ดแป้ง) สมบัติทางเคมีกายภาพ (สมบัติของเจล ความหนืด กำลังการพองตัว สมบัติทางความร้อน) และโครงสร้างโมเลกุลของแป้ง รวมถึงความสัมพันธ์ของโครงสร้างโมเลกุลกับสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งที่สกัดจากหัวแยมทั้งสองสายพันธุ์ ซึ่งการวิจัยนี้น่าจะเป็นประโยชน์ในแง่ทางวิชาการช่วยให้ความรู้ความเข้าใจในสมบัติของแป้งแยมดีขึ้น และทำให้สามารถวิเคราะห์ศักยภาพของแป้งจากหัวกลอยและมันมือเสือในการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้

## 2. อุปกรณ์และวิธีดำเนินงาน

### 2.1 วัตถุดิบ

การเตรียมแป้งกลอยและแป้งมันมือเสือใช้หัวกลอยและมันมือเสือที่ปลูกในจังหวัดฉะเชิงเทรา โดยนำมาล้างน้ำให้สะอาด ปลอกเปลือกออก แล้วบดโดยใช้น้ำด้วยเครื่องปั่น จากนั้นนำมากรองผ่านตะแกรงขนาด 63  $\mu\text{m}$  ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนที่อุณหภูมิ 4°C จากนั้นเทน้ำส่วนบนออกและล้างแป้งซ้ำด้วยน้ำหลายๆ ครั้งนำตะกอนแป้งที่ได้มาอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 40°C นำมาบดละเอียดอีกครั้งกรองด้วยตะแกรงขนาด 63  $\mu\text{m}$  ก่อนนำไปวิเคราะห์

### 2.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

1. ความชื้นโดยวิธี Direct Heating Method (AOAC) [12]
2. ปริมาณอะไมโลสโดยวิธีของ Hoover และ Ratnayake [13]
3. ปริมาณโปรตีนโดยวิธีของ AOAC [12]
4. ปริมาณไขมันรวมโดยวิธีของ AOAC [12]
5. ปริมาณฟอสฟอรัสโดยวิธีของ Smith และ Caruso [14]
6. ปริมาณเถ้าโดยวิธีของ AOAC [12]

### 2.3 การศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมี กายภาพ

1. ลักษณะและขนาดของเม็ดแป้งที่อยู่ภายในเซลล์ด้วยกล้องจุลทรรศน์ (light microscopy) (Nikon Eclipse E200, ประเทศญี่ปุ่น) และลักษณะทางสัณฐานวิทยา รวมถึงขนาดของเม็ดแป้งที่สกัดได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscopy; SEM) (JSM-5800, JEOL, ประเทศญี่ปุ่น)
2. การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งโดยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) (RVA-4 SA, Newport Scientific PYT Ltd., NSW, ประเทศออสเตรเลีย) ตามวิธีการของ Pancha-arnon และคณะ [15]
3. สมบัติทางความร้อนของแป้งด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) (DSC 120, Kawasaki Kanagawa, ประเทศญี่ปุ่น) ตามวิธีการของ Kim และคณะ [16]

4. ความสามารถในการละลาย (starch solubility) และการปลดปล่อยอะไมโลส (amylose leaching; AML) วิเคราะห์ตามวิธีของ Chrastil [17] กำลังการพองตัว (swelling power; SP) และ close packing concentration (C\*) วิเคราะห์ตามวิธีของ Vandeputte และคณะ [18] โดยทำการศึกษาที่อุณหภูมิ 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 130°C หลังจากให้ความร้อนแล้วจะทำการปั่นแยกส่วนใสและส่วนตะกอนออกจากกัน

$$SP = \frac{[\text{น้ำหนักตะกอน} \times 100]}{[\text{น้ำหนักแป้งแห้ง}] \times (100\% - \% \text{total carbohydrate ในส่วนใส})}$$

$$C^* = \frac{[\text{น้ำหนักแป้งแห้ง}]}{[\text{น้ำหนักเจลแป้ง}]} \times 100$$

### 2.4 การศึกษาโครงสร้างโมเลกุลของแป้ง

1. แยกองค์ประกอบของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินในแป้ง ตามวิธีของ Klucinec และ Thompson [19]
2. ศึกษาความยาวของสายโซ่อะไมโลเพคตินด้วยวิธี High performance size exclusion chromatography (HPSEC) (Waters, USA) โดยใช้คอลัมน์ Zorbax PSM 60S ต่อกันสองคอลัมน์ (Agilent, ประเทศสหรัฐอเมริกา) และการกระจายตัวของสายโซ่อะไมโลเพคตินด้วยวิธี High performance anion-exchange chromatography-Pulsed Amperometric Detection (HPAEC-PAD) ด้วยเครื่อง Dionex DX 500 (Dionex, Sunnyvale, CA, ประเทศสหรัฐอเมริกา) โดยใช้คอลัมน์ CarboPac PA Guard และ CarboPac PA-100 (250 mm x 4 mm) ตามวิธีของ Vandeputte และคณะ [20]

## 3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

### 3.1 องค์ประกอบทางเคมี

ตารางที่ 1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของแป้งกลอยและแป้งมันมือเสือ พบว่าแป้งกลอยมีโปรตีน ไขมัน และเถ้า 2.39%, 0.11%, 0.18% ตามลำดับ และมีปริมาณฟอสฟอรัส 52.10 ppm ส่วนแป้งมันมือเสือมีโปรตีน ไขมัน เถ้า และฟอสฟอรัส 0.14%, 0.03%, 0.16%, 77.56 ppm ตามลำดับโดยแป้งกลอยพบว่ามีปริมาณโปรตีนที่ค่อนข้างสูง ซึ่งปริมาณโปรตีนที่พบจะมีผลต่อสมบัติด้านความหนืดของเจลแป้ง ส่วนปริมาณไขมัน

และเถาที่พบในแ่งทั้งสองชนิดมีปริมาณต่ำคล้ายกับแ่งจากพืชหัวชนิดอื่น เช่น มันสำปะหลังมันฝรั่ง และพุทธรักษากินได้ ส่วนปริมาณอะไมโลสของแ่งทั้งสองชนิดอยู่ในช่วง 19-20% เมื่อเปรียบเทียบกับองค์ประกอบทางเคมีของแ่งในสายพันธุ์ *Dioscorea* sp. อื่นๆ พบว่ามีความแตกต่างกันขึ้นกับสายพันธุ์ ได้แก่ *D. alata* มีปริมาณโปรตีน 0.16% ไขมัน 0.5% เถา 0.13% และอะไมโลส 28.5% [21] *D. cayensis-rotundata* มีปริมาณโปรตีน 0.22% ไขมัน 0.11% เถา 0.24% และอะไมโลส 28.8% [22] *D. esculenta* ปริมาณโปรตีน 0.01-0.03% ไขมัน 0.1-0.03% เถา 0.17-0.32% และอะไมโลส 19.98-23.97% และ *D. alata* ปริมาณโปรตีน 0.1-0.2% ไขมัน 0.05-0.08% เถา 0.13-0.17% และอะไมโลส 26.98-31.02% [11] จากผลการทดลองพบว่าแ่งกลอยมีปริมาณโปรตีนที่ค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับแ่งมันมือเสือ หรือแ่งในสายพันธุ์ *Dioscorea* spp. ด้วยกันเอง เนื่องจากวิธีการสกัดแ่งจากกลอยและมันมือเสือใช้การล้างด้วยน้ำเปล่าหลายๆ ครั้ง ซึ่งเป็นวิธีการสกัดแ่งจากพืชหัวโดยทั่วไป แต่วิธีการล้างด้วยน้ำเปล่าอาจไม่สามารถล้างโปรตีนที่มีอยู่ในแ่งกลอยได้เนื่องจากในรายงานของ Theerasin และ Baker [23] พบว่า *D. hispida* Dennst มีปริมาณของ phenolic compounds อยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่ง phenolic compound เหล่านี้สามารถเกิดพันธะ crosslink กับโปรตีนที่อยู่ภายในเม็ดแ่ง [24] เกิดเป็นโครงสร้างที่แข็งแรงทำให้ไม่สามารถล้างโปรตีนออกได้ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีนั้นแม้แต่สายพันธุ์เดียวกันแต่เพาะปลูกต่างที่กันก็พบว่ามีความแตกต่างขององค์ประกอบ เช่น *D. hispida* Dennst หรือ

กลอยที่ปลูกที่จังหวัดแพร่ของประเทศไทยมีรายงานว่าปริมาณโปรตีน 0.1% ไขมัน 0.1% เถา <0.05% และอะไมโลส 39.3% [25]

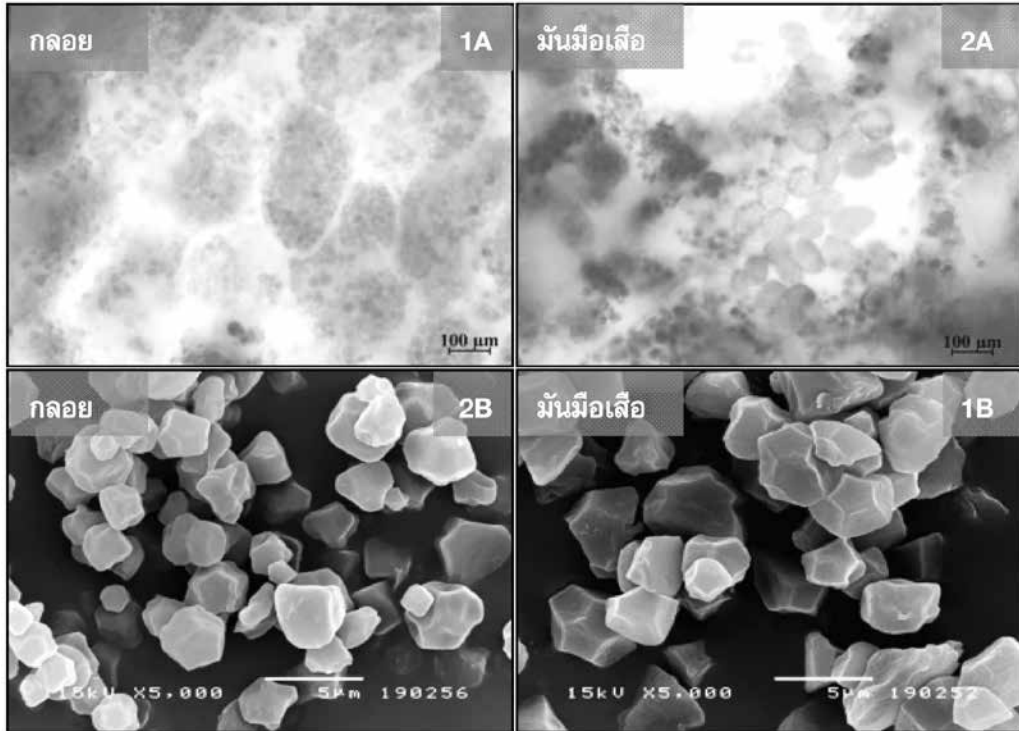
### 3.2 สมบัติทางกายภาพและเคมีกายภาพ

#### 3.2.1 รูปร่างและลักษณะของเม็ดแ่ง

ลักษณะเม็ดแ่งภายในเซลล์เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์แสดงในรูปที่ 1A เม็ดแ่งกลอยและมันมือเสือมีขนาดเล็กมากและเกาะอยู่รวมกันเป็นกลุ่มภายในเซลล์คล้ายพวงอุ้งน เมื่อตรวจสอบรูปร่างลักษณะของเม็ดแ่งที่สกัดจากหัวกลอยและมันมือเสือด้วย scanning electron microscope (SEM) พบว่าเม็ดแ่งกลอยมีขนาดประมาณ 1-3  $\mu\text{m}$  พื้นผิวเรียบรูปร่างเป็นหลายเหลี่ยม (polyhedral) ส่วนแ่งมันมือเสือมีขนาดใหญ่กว่าเล็กน้อยประมาณ 2-6  $\mu\text{m}$  พื้นผิวเรียบเช่นกันรูปร่างหลายเหลี่ยม (pentagonal) (รูปที่ 1B) ซึ่งพืชในตระกูล *Dioscorea* spp. นั้นมีความหลากหลายในเรื่องขนาดและรูปร่างของเม็ดแ่งค่อนข้างมาก ใน African yam สายพันธุ์ *D. rotundata* มีขนาดเม็ดแ่ง 32  $\mu\text{m}$  สายพันธุ์ *D. cayensis* มีขนาดเม็ดแ่ง 35  $\mu\text{m}$  สายพันธุ์ *D. alata* มีขนาดเม็ดแ่ง 31  $\mu\text{m}$  [7] Chinese yam สายพันธุ์ *D. opposite* มีขนาดเม็ดแ่ง 23.4-26.4  $\mu\text{m}$  [26] และ Canadian yam สายพันธุ์ *D. esculenta* มีขนาดเม็ดแ่ง 3-10  $\mu\text{m}$  สายพันธุ์ *D. alata* มีขนาดเม็ดแ่ง 30-45  $\mu\text{m}$  [11] โดยรูปร่างของเม็ดแ่งกลอยและแ่งมันมือเสือมีลักษณะคล้ายเม็ดแ่งข้าวแต่มีขนาดเล็กกว่า และคล้ายกับเม็ดแ่ง Canadian yam สายพันธุ์ *D. Esculenta* ที่ปลูกในแคนาดา

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของแ่งกลอยและแ่งมันมือเสือ

องค์ประกอบทางเคมี	แ่งกลอย	แ่งมันมือเสือ
โปรตีน (%)	2.39±0.01	0.14±0.01
ไขมัน (%)	0.11±0.00	0.03±0.01
เถา (%)	0.18±0.07	0.16±0.04
ฟอสฟอรัส (ppm)	52.10±2.70	77.56±1.26
อะไมโลส (%)	19.74±0.03	18.89±0.09



**รูปที่ 1** ลักษณะเม็ดแป้งกลอย (1) และมันมือเสือ (2) เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 400 เท่า (A) และกล้อง Scanning electron microscopy กำลังขยาย 5000 เท่า (B)

### 3.2.2 สมบัติด้านความหนืด

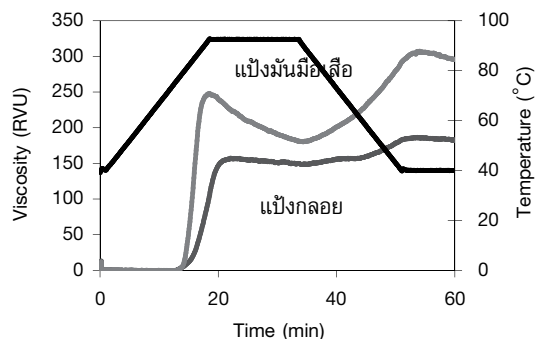
จากการศึกษาพฤติกรรมความหนืดของแป้งทั้ง 2 ชนิด ที่ความเข้มข้น 8% ด้วยเครื่อง RVA ได้กราฟแสดง ความหนืดของแป้งกลอยและแป้งมันมือเสื่อดังรูปที่ 2 พบว่าแป้งกลอยมี peak viscosity, breakdown, setback และ pasting temperature เท่ากับ 157.3, 8.8, 25.3 RVU และ 80.3°C ตามลำดับ ส่วนแป้งมันมือเสือมี peak viscosity, breakdown และ setback สูงกว่าแป้งกลอย คือ 248.0, 67.8, 47.5 RVU ตามลำดับ และมี pasting temperature ต่ำกว่าแป้งกลอย คือ 77.1°C จาก พฤติกรรมความหนืดของแป้งทั้งสองชนิดจะเห็นว่าแป้งมันมือเสือมี pasting temperature ต่ำกว่า มีการพองตัวของเม็ดแป้งมากกว่า และเม็ดแป้งมีการแตกตัวหลังได้รับความร้อนทำให้มีการปลดปล่อยปริมาณอะไมโลสออกมา มากและมีการคืนตัวสูงกว่าแป้งกลอย แม้ว่าแป้งทั้งสองชนิดจะมีปริมาณอะไมโลสที่ใกล้เคียงกัน แต่ต้องค้ระกอบ

อื่นของแป้งเช่น โปรตีนและไขมันก็เป็นส่วนที่มีบทบาท ต่อสมบัติด้านความหนืดของแป้งด้วยเช่นกัน [27] โดย แป้งกลอยซึ่งมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าแป้งมันมือเสือ เมื่อให้ความร้อนโมเลกุลของโปรตีนอาจเกิด interaction กับ สายของอะไมโลสหรืออะไมโลเพคติน ทำให้เม็ดแป้ง พองตัวได้น้อยแป้งจึงมีความหนืดต่ำกว่าและปลดปล่อย อะไมโลสออกมาน้อยทำให้เกิดการรีโทรเกรดของแป้งหลัง การเจลาติไนซ์ต่ำ [28] ซึ่งแป้งจากพืชตระกูล *Dioscorea* spp. นั้นมีความหลากหลายทางสายพันธุ์ค่อนข้างมาก และในแต่ละท้องที่ปลูก แป้งที่สกัดได้ก็มีความแตกต่างกัน ทางสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งด้วยเช่นเดียวกัน [22, 29] Tattiyakul และคณะ [25] พบว่าแป้งกลอยที่ ปลูกทางภาคเหนือของประเทศไทยที่ความเข้มข้น 12% มี peak viscosity, breakdown, setback และ pasting temperature เท่ากับ 361, 76, 92 RVU และ 78.3°C

### 3.2.3 สมบัติด้านความร้อน

สมบัติด้านความร้อนของแป้งได้แก่ อุณหภูมิเริ่มเกิดเจลลาติโนเซชัน ( $T_o$ ) อุณหภูมิเกิดเจลลาติโนเซชันสูงสุด ( $T_p$ ) อุณหภูมิสิ้นสุดการเกิดเจลลาติโนเซชัน ( $T_c$ ) และค่าความร้อนในการเกิดเจลลาติโนเซชัน ( $\Delta H$ ) แสดงในตารางที่ 2 พบว่าแป้งกลอยและแป้งมันมือเสือมีลักษณะ profile ของสมบัติด้านความร้อนคล้ายกัน แต่แป้งกลอยจะมี  $T_o$ ,  $T_p$  และ  $T_c$  สูงกว่าแป้งมันมือเสือประมาณ 0.5-1.4°C และมีค่า  $\Delta H$  ต่ำกว่าแป้งมันมือเสือ 2.2 J/g โดยค่า  $\Delta H$  จะบ่งบอกถึงความแข็งแรงของโครงสร้างภายในเม็ดแป้ง ซึ่งสอดคล้องกับสมบัติด้านความหนืดของแป้งในรูปที่ 1 และ [11] ที่รายงานว่าแป้งสายพันธุ์ *D. esculenta* มี  $T_o$

อยู่ในช่วง 72.3-72.6°C,  $T_p$  75.0-75.7°C,  $T_c$  81.7-85.4°C และ  $\Delta H$  17.3-18.1 J/g



รูปที่ 2 กราฟความหนืดที่ได้จากเครื่อง RVA ของแป้งกลอยและแป้งมันมือเสือ

ตารางที่ 2 สมบัติด้านความร้อนของแป้งกลอยและแป้งมันมือเสือ

	$T_o$ (°C)	$T_p$ (°C)	$T_c$ (°C)	$\Delta H$ (J/g)
แป้งกลอย	72.675±0.007	75.715±0.021	99.965±0.049	19.525±0.318
แป้งมันมือเสือ	71.680±0.014	74.260±0.042	99.500±0.198	21.655±0.035

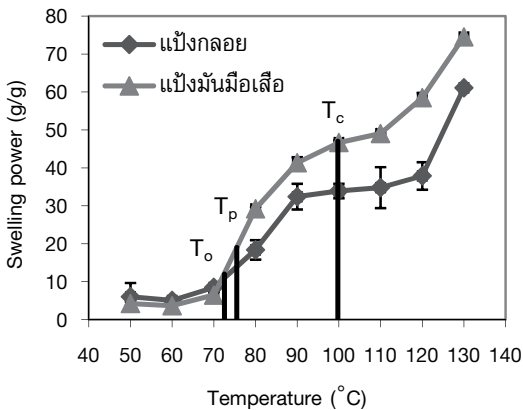
### 3.2.4 กำลังการพองตัวและ close packing concentration ของแป้งที่อุณหภูมิต่างๆ

ค่ากำลังการพองตัว (swelling power) ที่อุณหภูมิต่างๆ แสดงในรูปที่ 3 เม็ดแป้งกลอยมี gelatinization temperature เท่ากับ 72.7°C เมื่อเม็ดแป้งที่ได้รับความร้อนที่อุณหภูมิ 70°C เม็ดแป้งจะเริ่มมีการพองตัวโดยมีกำลังการพองตัวเท่ากับ 8.5 เท่าและที่อุณหภูมิ 100°C เม็ดแป้งมีการพองตัวเพิ่มมากขึ้นเป็น 33.9 เท่า ส่วนแป้งมันมือเสือมี gelatinization temperature เท่ากับ 71.7°C โดยที่อุณหภูมิ 70°C เม็ดแป้งจะเริ่มพองตัวกำลังการพองตัวเท่ากับ 6.5 เท่าต่ำกว่าแป้งกลอยเล็กน้อย หลังจากนั้นเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า  $T_p$  แป้งมันมือเสือจะมีการพองตัวสูงกว่าแป้งกลอย ที่อุณหภูมิ 100°C พบว่าแป้งมันมือเสือมีกำลังการพองตัวสูงกว่า คือ 46.7 เท่าซึ่งอุณหภูมิที่สูงกว่านั้นจะทำให้เม็ดแป้งมันมือเสือมีกำลังการพองตัวเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อย โดยช่วงที่เริ่มมีการพองตัวจนถึงคงที่ จะอยู่ในช่วง  $T_o$ - $T_c$  และเมื่ออุณหภูมิเลย 100°C เม็ดแป้งจะกลายเป็นเจลอย่างสมบูรณ์ ทำให้มีความคลาดเคลื่อน

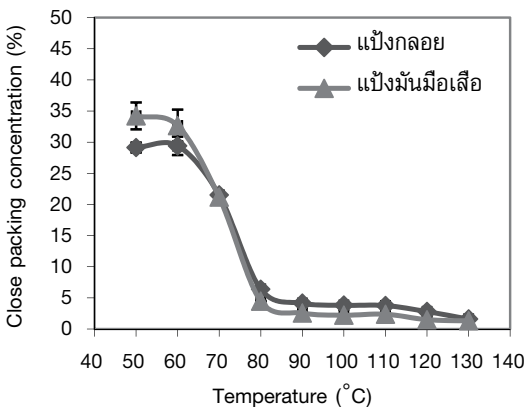
จากการ centrifuge เนื่องจากสารละลายรวมกันเป็นเนื้อเดียวกัน สำหรับค่า close packing concentration;  $C^*$  [30] ซึ่งหมายความว่าความเข้มข้น ณ จุดที่เม็ดแป้งพองตัวเต็มพื้นที่ที่มีอยู่ ถ้าความเข้มข้นแป้งต่ำกว่าค่า  $C^*$  ความหนืดของแป้งจะขึ้นกับปริมาตรของเม็ดแป้งที่พองตัวมากกว่าที่จะขึ้นกับส่วนที่ละลายออกมา แต่ถ้าความเข้มข้นของแป้งสูงมากกว่าค่า  $C^*$  เม็ดแป้งจะไม่สามารถพองตัวได้เต็มที่เนื่องจากปริมาณน้ำที่จำกัด ในกรณีนี้ความหนืดของแป้งจะขึ้นกับความแข็งแรงของเม็ดแป้งที่พองตัว รูปที่ 4 แสดงค่า  $C^*$  ของแป้งที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่าแป้งทั้งสองชนิดมีค่า  $C^*$  ที่ใกล้เคียงกันตลอดช่วงอุณหภูมิที่ทำการวิเคราะห์ โดยในช่วงอุณหภูมิ 50-60°C แป้งกลอยและแป้งมันมือเสือมีค่า  $C^*$  เท่ากับ 27 และ 34% ตามลำดับ ค่า  $C^*$  จะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงอุณหภูมิ 70-80°C ซึ่งเป็นช่วง gelatinization temperature และมีค่าประมาณ 5% ที่อุณหภูมิ 80°C จากนั้นจะมีค่าลดลงอีกเล็กน้อยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้น

**3.2.5 ความสามารถในการละลาย (starch solubility) และการปลดปล่อยอะไมโลส (amylose leaching)**

รูปที่ 5 แสดงค่าความสามารถในการละลายของแป้งทั้งสองชนิดพบว่า แป้งทั้งสองชนิดมีค่าความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น แป้งกลอยมีค่าความสามารถในการละลายเท่ากับ 2.59% ที่อุณหภูมิ 70°C และเพิ่มขึ้นเท่ากับ 14.84% ที่อุณหภูมิ 100°C และชะลอการเพิ่มขึ้นที่ 110°C และเพิ่มขึ้นอีกครั้งที่อุณหภูมิ 120-130°C มีค่าเท่ากับ 29.25% ส่วนแป้งมันมือเสือมีค่าความสามารถในการละลายที่อุณหภูมิ 70°C เท่ากับ 3.17% และสูงสุดที่ 100°C มีค่าเท่ากับ 12.08% และค่าความสามารถในการละลายจะเพิ่มขึ้นอีกครั้งที่อุณหภูมิ 120-130°C เท่ากับ 31.63%

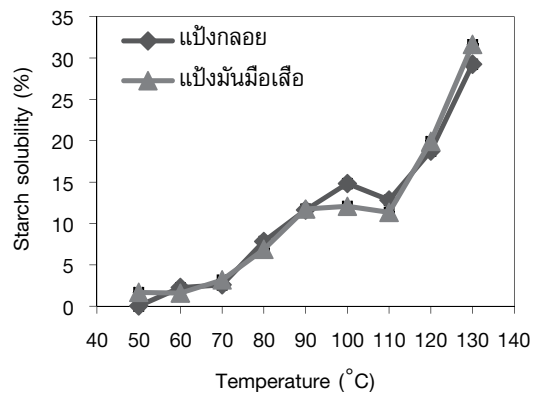


**รูปที่ 3** กำลังการพองตัวของแป้งกลอยและแป้งมันมือเสือที่อุณหภูมิต่างๆ (ค่า  $T_0$ ,  $T_p$ ,  $T_c$  หาจากสมบัติด้านความร้อนโดยใช้เครื่อง DSC)



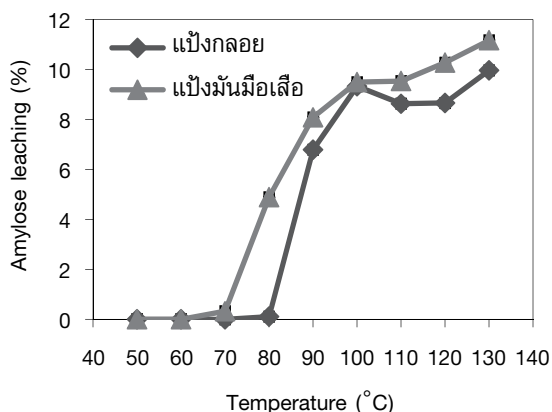
**รูปที่ 4** Close packing concentration ของแป้งที่อุณหภูมิต่างๆ

เมื่อน้ำแป้งได้รับความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ จะมีการเปลี่ยนแปลงเป็น 2 ระยะ โดยในระยะแรกช่วงที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเริ่มเกิดเจลลาตินไนซ์ (70°C) เม็ดแป้งจะมีการดูดซับน้ำเอาไว้และส่วนของอสัณฐาน (โดยเฉพาะอะไมโลส) บางส่วนจะละลายออกมา เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจนถึงช่วง gelatinization temperature (ช่วง  $T_0 - T_c$ ) พันธะไฮโดรเจนที่จับยึดเกลียวคู่ (double helix) ในโมเลกุลอะไมโลเพคตินจะถูกทำลาย ทำให้สายโซ่เคลื่อนไหวได้อย่างอิสระ ส่งผลให้เม็ดแป้งดูดซับน้ำและปลดปล่อยอะไมโลสได้มากขึ้น ในช่วง 100-110°C พบว่าแป้งมีค่าการละลายค่อนข้างคงที่ อาจเนื่องจากโมเลกุลของอะไมโลเพคตินต้องการพลังงานสูงถึงระดับค่าหนึ่งจึงจะทำให้แต่ละโมเลกุลกระจายตัวออกจากกันได้ ซึ่งจะเห็นได้จากกราฟว่าค่าความสามารถในการละลายของทั้งแป้งกลอยและแป้งมันมือเสือจะเพิ่มขึ้นอีกครั้งหนึ่งเมื่ออุณหภูมิสูงเกิน 110°C และค่าการละลายจะแปรตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น ซึ่งค่าการละลายนี้มีความสอดคล้องกับค่าการปลดปล่อยอะไมโลสที่อุณหภูมิต่างๆ (รูปที่ 6) โดยพบว่าแป้งกลอยมีการปลดปล่อยอะไมโลสที่อุณหภูมิ 80°C และเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงอุณหภูมิ 100°C ส่วนแป้งมันมือเสือมีการปลดปล่อยอะไมโลสที่อุณหภูมิ 70°C และเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงอุณหภูมิ 100°C เช่นเดียวกัน โดยที่อุณหภูมิสูงกว่า 110°C แป้งทั้งสองชนิดมีการปลดปล่อยอะไมโลสเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อย ทั้งๆ ที่ค่าการละลายมีค่าสูงขึ้นมาก ดังนั้นผลที่ได้นี้จึงยืนยันได้ว่าอะไมโลเพคตินจะละลายออกมาได้ดีในช่วงอุณหภูมิสูง



**รูปที่ 5** ความสามารถในการละลาย (starch solubility) ของแป้งกลอยและแป้งมันมือเสือ





รูปที่ 6 การปลดปล่อยอะไมโลสของแปะงกลอยและแปะงมันมือเสือ

### 3.3 โครงสร้างโมเลกุลของอะไมโลเพคติน

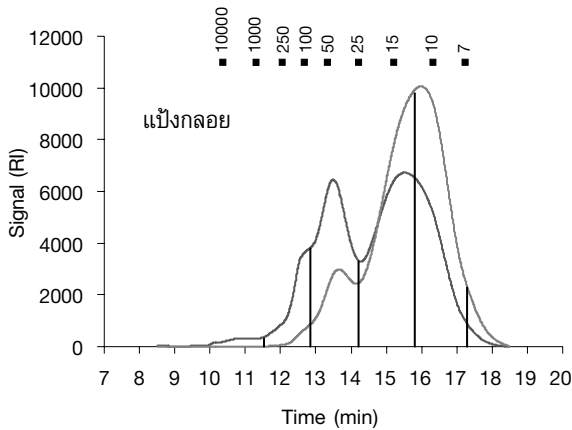
#### 3.3.1 ความยาวของสายโซ่อะไมโลเพคตินที่

#### วิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPSEC

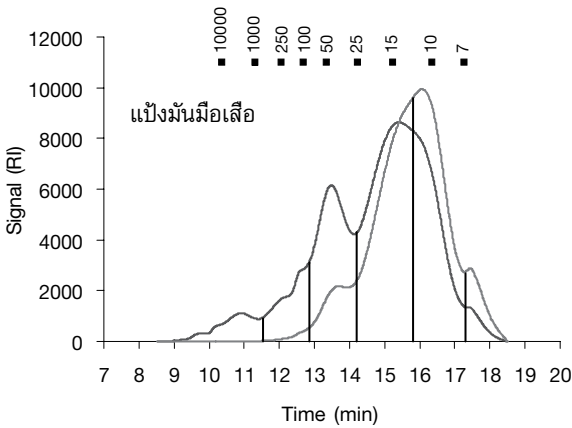
การหาโครงสร้างของอะไมโลเพคตินทำได้โดยการแยกโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินออกจากกัน จากนั้นทำการย่อยพันธะกิ่งของอะไมโลเพคตินด้วยเอ็นไซม์ไอโซอะไมเลสให้ได้โพลีเมอร์สายตรง และทำการวิเคราะห์ความยาวของสายโซ่อะไมโลเพคตินด้วยเครื่อง HPSEC โดยแบ่งตามการกระจายตัวของขนาดสายโซ่อะไมโลเพคตินจากสัดส่วนโดยน้ำหนักออกเป็น 6 กลุ่มตามรายงานของ Vandeputte และคณะ [20] ดังแสดงในรูปที่ 7 และ 8 จากผลการทดลองพบว่าแปะงกลอยมีการกระจายตัวของสัดส่วนโดยน้ำหนักของสายโซ่ขนาดสั้น ( $DP < 25$ ) และสายโซ่ขนาดยาว ( $DP > 25$ ) ใกล้เคียงกัน (รูปที่ 7) แต่เมื่อพิจารณาจากสัดส่วนโดยโมลพบว่าสายโซ่ขนาดสั้นมีสัดส่วนโดยโมลมากกว่าสายโซ่ขนาดยาวมาก ซึ่งชี้ให้เห็นว่าโมเลกุลอะไมโลเพคตินของแปะงกลอยประกอบด้วยสายโซ่ขนาดสั้นมากกว่าสายโซ่ขนาดยาวอย่างชัดเจน นอกจากนี้แปะงกลอยยังแสดงลักษณะการกระจายตัวของขนาดสายโซ่ของอะไมโลเพคตินเป็น 2 กลุ่มอย่างชัดเจน คือที่ความยาวสายโซ่ตั้งแต่ 0-25 และ 26-250 หน่วย โดยมีจุดยอดพีคอยู่ที่ DP เท่ากับ 12 และ 48 ในขณะที่แปะงมันมือเสือมีสัดส่วนโดยน้ำหนักของสายโซ่ขนาดสั้นสูงกว่าสายโซ่ขนาดยาวอยู่เล็กน้อย (รูปที่ 8) แต่เมื่อนำมาคำนวณ

เป็นสัดส่วนโดยโมล พบว่าสายโซ่ขนาดสั้นมีสัดส่วนโดยโมลมากกว่าสายโซ่ขนาดยาวอย่างชัดเจน โดยแสดงลักษณะการกระจายตัวของขนาดสายโซ่ของอะไมโลเพคตินเป็น 3 กลุ่มคือ 0-6, 7-25 และ 26-250 หน่วย โดยมีจุดยอดของพีคอยู่ที่ DP เท่ากับ 7, 11 และ 50 ซึ่งจากรายงานที่ผ่านมาพบว่างานวิจัยที่ทำการศึกษาดังโครงสร้างอะไมโลเพคตินในแปะงตระกูล *Dioscorea* spp. มีค่อนข้างน้อย

ลักษณะโครงสร้างแบบกิ่งของอะไมโลเพคตินประกอบด้วยสายโซ่ย่อย 3 ชนิดคือสาย A (A-chain) เชื่อมต่อกับสายอื่นที่ตำแหน่งเดียว สาย B (B-chain) มีโครงสร้างแบบกิ่งเชื่อมต่อกับสายอื่นๆ 2 สาย หรือมากกว่า ซึ่งสายโซ่แบบ B นี้ยังแบ่งเป็นกลุ่มย่อย B1, B2, B3 และ B4 ซึ่งมีความยาวคร่อมหนึ่ง สอง สามและสี่คลัสเตอร์ (cluster) ตามลำดับและสาย C (C-chain) เป็นสายแกนซึ่งประกอบด้วยหมู่รีดิวซ์ 1 หมู่นอกจากการแบ่งตามลักษณะโครงสร้างแล้ว Hizukuri [31] ได้แบ่งชนิดของสายโซ่อะไมโลเพคตินตามความยาวของสายไว้ด้วย โดยระบุขนาดความยาวของสายโซ่อะไมโลเพคตินของแต่ละกลุ่มเอาไว้ คือ A (CL 12-16), B1 (CL 20-24), B2 (CL 42-48), B3 (CL 69-75) และ B4 (CL 104-140) แบ่งเป็นขนาดสายโซ่เป็นกลุ่มสายโซ่ขนาดสั้นคือ สายโซ่ในกลุ่ม A+B1 กลุ่มสายโซ่ขนาดยาว (B2+B3) และกลุ่มสายโซ่ขนาดยาวมาก (B4) สัดส่วนของสายโซ่อะไมโลเพคตินชนิดต่างๆ (โดยน้ำหนักและโดยโมล) แสดงในตารางที่ 3 เมื่อพิจารณาจากสัดส่วนโดยน้ำหนักพบว่าแปะงกลอยมีสัดส่วนของสายโซ่สั้นใกล้เคียงกับสายโซ่ยาว ในขณะที่แปะงมันมือเสือมีสัดส่วนของสายโซ่สั้นมากกว่าสายโซ่ยาวประมาณ 2 เท่า และเมื่อพิจารณาจากสัดส่วนโดยโมล (จำนวน) พบว่าแปะงทั้งสองชนิดมีจำนวนของสายโซ่สั้นมากกว่าสายโซ่ยาวมาก (5.7 และ 8.8 เท่า ในแปะงกลอยและแปะงมันมือเสือ) โดยความยาวเฉลี่ยของสายโซ่อะไมโลเพคตินในแปะงกลอยและแปะงมันมือเสือเท่ากับ 15.8 และ 13.5 หน่วย ตามลำดับซึ่งแตกต่างจากที่เคยมีรายงานไว้ในแปะงจาก *D. alata* L. (25.5-28.5 หน่วย) และ *D. batatas* D. (18.8-19.3 หน่วย) [10]



**รูปที่ 7** โครมาโตแกรมของสัดส่วนโดยน้ำหนัก (สีน้ำเงิน) สัดส่วนโดยโมล (สีชมพู) ของสายโซ่ย่อยของอะไมโลเพคตินจากแป้งกลอย



**รูปที่ 8** โครมาโตแกรมของสัดส่วนโดยน้ำหนัก (สีน้ำเงิน) สัดส่วนโดยโมล (สีชมพู) ของสายโซ่ย่อยของอะไมโลเพคตินจากแป้งมันมือเสือ

**3.3.2 การกระจายตัวของสายโซ่อะไมโลเพคตินที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPAEC-PAD**

จากการวิเคราะห์การกระจายตัวของความยาวของสายโซ่อะไมโลเพคตินโดย HPAEC-PAD พบว่า แป้งกลอยมีสายโซ่อะไมโลเพคตินกระจายอยู่ในช่วง DP 6-56 โดยพบ DP 12 มากที่สุดส่วนแป้งมันมือเสือมี DP กระจายอยู่ในช่วง 6-52 โดยพบ DP 13 มากที่สุด นอกจากนั้นยังพบ DP 6 ในปริมาณมากเช่นกัน ซึ่งแป้งมันมือเสือมีสายโซ่ขนาดสั้นมากกว่าแป้งกลอย เมื่อนำมาคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์การกระจายตัวของสายโซ่ในช่วงต่างๆ (ตารางที่ 4) พบว่าสายโซ่ส่วนใหญ่ของอะไมโลเพคตินมีขนาดอยู่ในช่วง DP 13 – 24 รองลงมา คือ DP 6-12 ซึ่งในแป้งมันมือเสือ (*D. esculenta*) มีรายงานว่าการกระจายตัวของสายโซ่อะไมโลเพคตินสูงสุดในช่วง DP 13-24 (56.55-59.64%) รองลงมาคือ DP 6-12 (24.57-25.85%) DP 25-36 (12.61-13.58%) และ DP > 37 (3.17-4.41%) ตามลำดับ [32] ซึ่งผลการศึกษากการกระจายตัวของความยาวกิ่งก้านของสายอะไมโลเพคตินเป็นข้อมูลพื้นฐานของโครงสร้างที่สำคัญที่อาจนำไปใช้ในการอธิบายพฤติกรรมและสมบัติทางหน้าที่อื่นๆ ของแป้ง เช่น สมบัติทางความหนืด สมบัติทางเทอร์โมไดนามิค เป็นต้นโดยมีรายงานว่าสายโซ่อะไมโลเพคตินสายสั้น (DP 6-9) จะทำให้แป้งมี pasting temperature ลดลงและมีการพองตัวมากกว่าสายโซ่ขนาดยาว (DP 12-22) [33] และสายโซ่อะไมโลเพคตินที่สามารถเกิดการคินตัวได้ดีจะอยู่ในช่วง DP 10-20 [34] งานวิจัยนี้พบว่าแป้งมันมือเสือมีสัดส่วนของสายโซ่อะไมโลเพคตินสายสั้นมากกว่าแป้งกลอยทำให้แป้งมันมือเสือมี pasting temperature ต่ำกว่าและมีกำลังการพองตัวมากกว่าแป้งกลอย

**ตารางที่ 3** สัดส่วนของสายโซ่อะไมโลเพคตินชนิดต่างๆ ของแป้งกลอยและแป้งมันมือเสือ

		แป้งกลอย	แป้งมันมือเสือ
%weight	Short chains (A+B1)	55.7±3.5	65.3±3.0
	Long chains (B2+B3)	41.1±2.8	30.2±2.7
	Extra-long chains (B4)	3.2±1.0	4.5±1.0
	(A+B1/B2+B3+B4)	1.3±0.2	1.9±0.3
%mole	Short chains (A+B1)	85.6±1.2	89.8±0.9
	Long chains (B2+B3)	14.9±1.2	10.2±0.9
	Extra-long chains (B4)	≈0.0	≈0.0
	(A+B1/B2+B3+B4)	5.7±0.6	8.8±0.8
Average chain length (CL)		15.8±1.8	13.5±0.6

**ตารางที่ 4** การกระจายตัวของความยาวสายโซ่อะไมโลเพคติน ที่ทำการแยกด้วยโครมาโทกราฟีแบบการแลกเปลี่ยนประจุ (HPAEC-PAD)

Chain length distribution	แป้งกลอย	แป้งมันมือเสือ
DP 6-12	31.1±1.4	32.7±0.4
DP 13-24	60.2±0.4	58.5±0.4
DP 25-36	7.7±0.8	8.1±0.3
DP >37	1.0±0.3	0.7±0.1

#### 4. สรุปผล

แป้งกลอยและแป้งมันมือเสือนี้อาศัยขนาดและรูปร่างของเม็ดแป้งแตกต่างกันเล็กน้อย โดยมีลักษณะใกล้เคียงกับแป้งข้าวแป้งมันมือเสือนี้อาศัย peak viscosity และ retrogradation สูงกว่าแป้งกลอยแต่ pasting temperature ต่ำกว่าแป้งกลอยเล็กน้อยแป้งมันมือเสือมีการพองตัวและปลดปล่อยอะไมโลสออกมามากกว่าแป้งกลอย จากรูปแบบการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งเมื่อให้ความร้อนพบว่าแป้งกลอยมีความหนืดค่อนข้างคงที่ไม่พบ breakdown และคืนตัวต่ำ จึงน่าจะเหมาะในการนำไปใช้เป็นสารให้ความข้นหนืดในอาหาร เม็ดแป้งของทั้งแป้งกลอยและมัน

มือเสือนี้อาศัยขนาดเล็กจึงอาจนำไปใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตแป้งฝุ่นหรือแป้งพัพ ซึ่งปัจจุบันเริ่มหันมาใช้แป้งธรรมชาติแทนทาลคัมมากขึ้น โดยมันมือเสือนี้อาศัยเด่นกว่าแป้งข้าวและแป้งข้าวโพดคือ มีปริมาณโปรตีนต่ำและสามารถสกัดโปรตีนออกได้ง่ายโดยไม่ต้องใช้สารเคมี

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

#### 6. เอกสารอ้างอิง

- Undie, A.S. and Akubue, P.I., 1986, "Pharmacological Evaluation of *Dioscorea dumetorum* Tuber Used in Traditional Antidiabetic Therapy", *Journal of Ethnopharmacology*, Vol. 15, No. 2, pp. 133-144.
- Riley, C.K., Adebayo, S.A., Wheatley, A.O. and Asemota, H.N., 2006, "Fundamental and Derived Properties of Yam (*Dioscorea* spp.) Starch Powders and Implications in Tablet and Capsule Formulation", *Starch/Stärke*, Vol. 58, No. 8, pp. 418-424.

3. Riley, C.K., Adebayo, S.A., Wheatley, A.O. and Asemota, H.N., 2008, "The Interplay between Yam (*Dioscorea* sp.) Starch Botanical Source, Micromeritics and Functionality in Paracetamol Granules for Reconstitution", *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, Vol. 70, No. 1, pp. 326-334.
4. Brunnschweiler, J., Luethi, D., Handschin, S., Farah, Z., Escher, F. and Conde-Petit, B., 2005, "Isolation, Physicochemical Characterization and Application of Yam (*Dioscorea* spp.) Starch as Thickening and Gelling Agent", *Starch/Stärke*, Vol. 57, No. 3-4, pp. 107-117.
5. Mali, S., Grossmann, M.V.E., Garcia, M.A., Martino, M.N. and Zaritzky, N.E., 2006, "Effects of Controlled Storage on Thermal, Mechanical and Barrier Properties of Plasticized Films from Different Starch Sources", *Journal of Food Engineering*, Vol. 75, No. 4, pp. 453-460.
6. Mali, S., Grossmann, M.V.E., Garcia, M.A., Martino, M.N. and Zaritzky, N.E., 2002, "Microstructural Characterization of Yam Starch Films", *Carbohydrate Polymers*, Vol. 50, No. 4, pp. 379-386.
7. Farhat, I.A., Oguntona, T. and Neale, R.J., 1999, "Characterisation of Starches from West African Yams", *Journal of the Science of Food and Agriculture*, Vol. 79, No. 15, pp. 2105-2112.
8. Riley, C.K., Wheatley, A.O., Hassan, I., Ahmad, M.H., Morrison, E.Y.S.A. and Asemota, H.N., 2004, "In vitro Digestibility of Raw Starches Extracted from Five Yam (*Dioscorea* spp.) Species Grown in Jamaica", *Starch/Stärke*, Vol. 56, No. 2, pp. 69-73.
9. Amani, N.G.G., Buléon, A., Kamenan, A. and Colonna, P., 2004, "Variability in Starch Physicochemical and Functional Properties of Yam (*Dioscorea* sp) Cultivated in Ivory Coast", *Journal of the Science of Food and Agriculture*, Vol. 84, No. 15, pp. 2085-2096.
10. Wang, W.-M., Lai, V.M.F., Chang, K.-F., Lu, S. and Ho, H.-H., 2006, "Effect of Amylopectin Structure on the Gelatinization and Pasting Properties of Selected Yam (*Dioscorea* spp.) Starches", *Starch/Stärke*, Vol. 58, No. 11, pp. 572-579.
11. Jayakody, L., Hoover, R., Liu, Q. and Donner, E., 2007, "Studies on Tuber Starches. II. Molecular Structure, Composition and Physicochemical Properties of Yam (*Dioscorea* sp.) Starches Grown in Sri Lanka", *Carbohydrate Polymers*, Vol. 69, No. 1, pp. 148-163.
12. Association of Official Analytical Chemists (AOAC), 1990, *Official Methods of Analysis*, 15th ed., The Association of Official Analytical Chemists, Virginia.
13. Hoover, R. and Ratnayake, W.S., 2001, "Determination of Total Amylose Content of Starch", in Wrolstad, R.E., Acree, T.E., An, H., Decker, E.A., Penner, M., Reid, D.S., Schwartz, S.J., Shoemaker, C.F. and Sporns, P. (eds.) *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, John Wiley & Sons, New York, pp. E2.3.1-E2.3.5.
14. Smith, R.J. and Caruso, J., 1964, "Determination of Phosphorus", in Whistler, R.L. (ed.) *Methods in Carbohydrate Chemistry*: Starch, Academic Press, New York, pp. 42-46.
15. Pancha-arnon, S., Pathipanawat, W., Puttanlek, C., Rungsardthong, V. and Uttapap, D., 2008, "Effects of Relative Granule Size and Gelatinization Temperature on Paste and Gel Properties of Starch Blends", *Food Research International*, Vol. 41, No. 5, pp. 552-561.
16. Kim, Y.S., Wiesenborn, D.P., Orr, P.H. and Grant, L.A., 1995, "Screening Potato Starch for Novel Properties Using Differential Scanning Calorimetry", *Journal of Food Science*, Vol. 60, No. 5, pp. 1060-1065.

17. Chrastil, J., 1987, "Improved Colorimetric Determination of Amylose in Starches or Flours", *Carbohydrate Research*, Vol. 159, No. 1, pp. 154-158.
18. Vandeputte, G.E., Derycke, V., Geeroms, J. and Delcour, J.A., 2003, "Rice Starches. II. Structural Aspects Provide Insight into Swelling and Pasting Properties", *Journal of Cereal Science*, Vol. 38, No. 1, pp. 53-59.
19. Klucinec, J.D. and Thompson, D.B., 1998, "Fractionation of High-Amylose Maize Starches by Differential Alcohol Precipitation and Chromatography of the Fractions", *Cereal Chemistry Journal*, Vol. 75, No. 6, pp. 887-896.
20. Vandeputte, G.E., Vermeulen, R., Geeroms, J. and Delcour, J.A., 2003, "Rice Starches. III. Structural Aspects Provide Insight in Amylopectin Retrogradation properties and Gel Texture", *Journal of Cereal Science*, Vol. 38, No. 1, pp. 61-68.
21. Karam, L.B., Ferrero, C., Martino, M.N., Zaritzky, N.E. and Grossmann, M.V.E., 2006, "Thermal, Microstructural and Textural Characterisation of Gelatinised Corn, Cassava and Yam Starch Blends", *International Journal of Food Science & Technology*, Vol. 41, No. 7, pp. 805-812.
22. Wickramasinghe, H.A.M., Takigawa, S., Matsuura-Endo, C., Yamauchi, H. and Noda, T., 2009, "Comparative Analysis of Starch Properties of Different Root and Tuber Crops of Sri Lanka", *Food Chemistry*, Vol. 112, No. 1, pp. 98-103.
23. Theerasin, S. and Baker, A.T., 2009, "Analysis and Identification of Phenolic Compounds in *Dioscorea hispida* Dennst", *Asian Journal of Food and Agro-Industry*, Vol. 2, No. 4, pp. 547-560.
24. Mu-Forster, C. and Wasserman, B.P., 1998, "Surface Localization of Zein Storage Proteins in Starch Granules from Maize Endosperm: Proteolytic Removal by Thermolysin and *In vitro* Cross-Linking of Granule-Associated Polypeptides", *Plant Physiology*, Vol. 116, No. 4, pp. 1563-1571.
25. Tattiyakul, J., Naksriarporn, T., Pradipasena, P. and Miyawaki, O., 2006, "Effect of Moisture on Hydrothermal Modification of Yam *Dioscorea hispida* Dennst Starch", *Starch/Stärke*, Vol. 58, pp. 170-176.
26. Shujun, W., Jinglin, Y., Wenyuan, G., Jiping, P., Hongyan, L. and Jiugao, Y., 2007, "Granule Structural Changes in Native Chinese Yam (*Dioscorea opposita* Thunb var. Anguo) Starch During Acid Hydrolysis", *Carbohydrate Polymers*, Vol. 69, No. 2, pp. 286-292.
27. Hamaker, B.R. and Griffin, V.K., 1993, "Effect of Disulfide Bond-Containing Protein on Rice Starch Gelatinization and Pasting", *Cereal Chemistry*, Vol. 70, No. 4, pp. 377-380.
28. Likitwattanasade, T. and Hongsprabhas, P., 2010, "Effect of Storage Proteins on Pasting Properties and Microstructure of Thai Rice", *Food Research International*, Vol. 43, pp. 1402-1409.
29. Sahoré, D.A., Amani, N.G. and Kamenan, A., 2007, "Functional Properties of Wild Yam (*Dioscorea* spp.) Starches", *Tropical Science*, Vol. 47, No. 1, pp. 33-37.
30. Steeneken, P.A.M., 1989, "Rheological Properties of Aqueous Suspensions of Swollen Starch Granules", *Carbohydrate Polymers*, Vol. 11, No. 1, pp. 23-42.
31. Hizukuri, S., 1986, "Polymodal Distribution of the Chain Lengths of Amylopectins, and Its Significance", *Carbohydrate Research*, Vol. 147, No. 2, pp. 342-347.
32. Jayakody, L., Hoover, R., Liu, Q. and Donner, E., 2009, "Studies on Tuber Starches III. Impact of Annealing on the Molecular Structure, Composition and Physicochemical Properties of Yam (*Dioscorea* sp.) Starches Grown in Sri Lanka", *Carbohydrate Polymers*, Vol. 76, No. 1, pp. 145-153.

33. Vandeputte, G.E., Derycke, V., Geeroms, J. and Delcour, J.A., 2003, "Rice Starches. II. Structural Aspects Provide Insight into Swelling and Pasting Properties", *Journal of Cereal Science*, Vol. 38, No. 1, pp. 53-59.

34. Vandeputte, G.E., Vermeylen, R., Geeroms, J. and Delcour, J.A., 2003, "Rice Starches. I. Structural Aspects Provide Insight into Crystallinity Characteristics and Gelatinisation Behaviour of Granular Starch", *Journal of Cereal Science*, Vol. 38, No. 1, pp. 43-52.