

ลักษณะเม็ดแป้งและโครงสร้างทางเคมีของแป้งจากมันท้องถิ่น ในกลุ่ม *Dioscorea spp.* Starch Granule and Chemical Structure of Flour from Local Yams in *Dioscorea spp.*

พริดา สูดประเสริฐ¹, กรณัฐ นาคภิบาล², วิจิตร วิโสรัมย์^{1,*}

¹สาขาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ชลบุรี 20110

²สาขาวิชานวัตกรรมเพื่อสุขภาพและความงาม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ชลบุรี 20110

Pirada Sudprasert¹, Koranat Narkpiban², Wijit Wisoram^{1,*}

¹Department of Science and Mathematics, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University
of Technology Tawan-ok, Chonburi 20110

²Department of Innovation for Health and Beauty, Faculty of Science and Technology, Rajamangala
University of Technology Tawan-ok, Chonburi 20110

Received 22 March 2023; Received in revised 26 June 2023; Accepted 6 July 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพของแป้งและเม็ดแป้ง องค์ประกอบและโครงสร้างทางเคมีของแป้งมันท้องถิ่น และเปรียบเทียบความเหมือนหรือความต่างของแป้งจากมันท้องถิ่นในกลุ่ม *Dioscorea spp.* ทั้งหมด 6 ชนิด ที่มีรูปร่าง สี เนื้อสัมผัสของหัวมันแตกต่างกัน ได้แก่ มันจาวมะพร้าว มันข้าว มันตลับ มันมือเสือ มันอ่อน และมันเลือดนก โดยนำหัวมันท้องถิ่นมาสกัดแป้ง จากนั้นนำไปทดสอบค่าสี ลักษณะเม็ดแป้ง องค์ประกอบของธาตุ โครงสร้างผลึกและหมู่ฟังก์ชันด้วย Colorimeter SEM EDX XRD และ FTIR ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่าลักษณะทางกายภาพของแป้งมันท้องถิ่นโดยวิเคราะห์จากค่าดัชนีสีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งผงแป้งมันมือเสือมีค่าความขาวสว่างมากที่สุด ส่วนผงแป้งมันเลือดนก มีสีแดงและสีเหลืองมากที่สุด จากการทดสอบลักษณะเม็ดแป้งและองค์ประกอบของธาตุในแป้งมันท้องถิ่นพบว่า สามารถจัดกลุ่มตามลักษณะเม็ดแป้งเป็น 2 แบบได้แก่ ลักษณะเม็ดแป้งจากมันจาวมะพร้าว มันข้าว มันตลับ และมันเลือดนก ซึ่งมีขนาดใหญ่ รูปทรงรี มีอะตอมคาร์บอนปริมาณใกล้เคียงหรือมากกว่าออกซิเจนเล็กน้อย ส่วนมันมือเสือ และมันอ่อน มีเม็ดแป้งขนาดเล็ก รูปทรงหลายเหลี่ยม มีคาร์บอนปริมาณมากกว่าออกซิเจน จากการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกและหมู่ฟังก์ชัน สามารถยืนยันลักษณะเฉพาะของแป้งจาก

*ผู้รับผิดชอบบทความ: wijit_wi@rmutto.ac.th

doi: 10.14456/tstj.2023.50

มันท้องถิ่นกลุ่ม *Dioscorea spp.* ทั้ง 6 ชนิด ที่มีโครงสร้างผลึกเป็นแบบ B ซึ่งโครงสร้างผลึกประกอบด้วยโมเลกุลน้ำมากกว่าโครงสร้างผลึกแบบอื่น และโครงสร้างทางเคมีของแป้งมีหมู่ฟังก์ชันที่ไม่ต่างกัน จากการศึกษาสามารถนำไปเป็นฐานข้อมูล และการนำไปใช้ประโยชน์เพื่อเพิ่มมูลค่าของมันท้องถิ่น และการอนุรักษ์พืชท้องถิ่นต่อไป

คำสำคัญ: ลักษณะเม็ดแป้ง; โครงสร้างทางเคมีของแป้ง; มันท้องถิ่น

Abstract

The objective of this research was to study the physical characteristics of starch and starch granules, the composition and chemical structure, and to analyze the similarities and variations in flour characteristics among six species of the local yams in *Dioscorea spp.*, which varied in physical appearance, color, the texture. The yam species included Mun-Jao-Ma-Praw, Mun-Khao, Mun-Talab, Mun-Meu-Seu, Mun-On, and Mun-Lued-Nok. The extracted flour was analyzed to determine the color, starch granules, elemental composition, crystal structure, and functional groups by colorimeter, SEM, EDX, XRD, and FTIR, respectively. It was found that the physical characteristic of local yam flour was significantly different from the color index. The flour from Mun-Meu-Seu had the maximum white brightness, while the reddest and yellowest color in Mun-Lued-Nok flour was presented. According to the starch granule examination, it could be classified the starch granule of yams in this family into two types. The starch granule appearance of the flour from Mun-Jao-Ma-Praw, Mun-Khao, Mun-Talab, and Mun-Lued-Nok are enormous and oval in shape with a similar amount of carbon atoms as oxygen, or slightly more, in compared to the starch granules from Mun-Meu-Seu and Mun-On was narrow and polyhedral in physical form which It possessed more carbon atoms than oxygen. The characteristics of the *Dioscorea* family of flour from local yams could be confirmed from the analysis of the crystal structure and functional group, which revealed that all six species in *Dioscorea spp.* have B-type which contains more water molecules than other sorts in the crystal structures. Moreover, the functional groups of the chemical structure of flours in this category were identical. The investigation might serve as a database that can contribute to regional value enhancement and protection of indigenous vegetation.

Keywords: Starch granule; Chemical structure of flour; Local yam *Dioscorea spp.*

1. บทนำ

มันท้อถิ่น (yam) เป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตสำคัญของโลก และเป็นวัตถุดิบที่ส่งเสริมความมั่นคงทางอาหารเพื่อให้เพียงพอต่อการบริโภคของประชากรโลก และเป็นการสร้างรายได้ [1] [2] นอกจากนั้นยังรองรับกับผลผลิตทางการเกษตรที่ลดลงเนื่องจากสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงไป [3] มันในกลุ่ม *Dioscorea spp.* เป็นพืชหัวที่มีประมาณ 600 สายพันธุ์พบได้ในแอฟริกา เอเชีย อเมริกาตอนใต้ หมู่เกาะแปซิฟิกใต้ และแคริบเบียน [4,5] การผลิตมันมากกว่าร้อยละ 90 ของมันมาจากเขตแอฟริกาตะวันตก [1] พัฒนาเป็นพืชเศรษฐกิจช่วยให้เกษตรกรสามารถสร้างรายได้ และเมื่อนำมาแปรรูปเพิ่มมูลค่า ทำให้เกิดรายได้ครัวเรือนในชนบท นอกจากนี้คุณค่าทางอาหารและคุณค่าทางโภชนาการแล้ว มันยังมีคุณค่าทางวัฒนธรรม ศาสนา สังคม และพิธีกรรมของชุมชน [5] ในประเทศไทย มีความหลากหลายของมันท้อถิ่น ซึ่งกระจายอยู่ในทุกภูมิภาคโดยมีชื่อเรียกแตกต่างกันไป แต่การนำมาใช้ประโยชน์ยังอยู่แค่ในระดับครัวเรือน ไม่ได้มีการปลูกเพื่อใช้ในเชิงอุตสาหกรรมดังเช่นการปลูกมันสำปะหลัง เพื่อผลิตแป้งและแปรรูปอื่น ๆ ในปัจจุบัน มันท้อถิ่นเริ่มไม่เป็นที่รู้จัก หายไปจากแหล่งที่เคยมี ขาดความสนใจในการนำมา ใช้ประโยชน์เพื่อเพิ่มมูลค่าเชิงเศรษฐกิจ รวมทั้งการศึกษาข้อมูลพื้นฐานด้านต่าง ๆ และงานด้านวิจัยพื้นฐานของมันท้อถิ่นยังคงมีน้อย [6]

มันท้อถิ่นมีชื่อเรียกที่แตกต่างกันทั้งในต่างประเทศ เช่น มันสายพันธุ์ *Dioscorea alata* L. มีชื่อเรียกว่า water yam, purple yam, yellow yam [7], greater yam หรือ ten-months yam มันสายพันธุ์ *Dioscorea Esculenta* L. มีชื่อเรียกว่า lesser yam หรือ chinese yam [8] และในประเทศไทยก็มีชื่อเรียกแตกต่างกัน เช่น มันสายพันธุ์ *Dioscorea alata* L. ถ้าต้องการสื่อถึงมันที่มีจุดสีแดงม่วงแทรกอยู่ในเนื้อของมัน จะเรียกว่ามันเลือดนก หรือมันเลือด [6] หรือถ้าจะสื่อถึงมันที่เนื้อมีสีขาว จะเรียกว่ามันเสา มันเลี่ยม มันทุ่ [8]

มันสายพันธุ์ *Dioscorea Esculenta* L. มีชื่อเรียกว่า มันมือเสือ มันอ่อน มันจั่วก มันกะซาก มันกระจาก มุยอา มันเตียก มันอีเพิม มันมั่ง [9] การเรียกชื่อที่หลากหลายทำให้การศึกษาเกี่ยวกับมันท้อถิ่นเกิดความสับสน เนื่องด้วยสาเหตุที่ยังไม่มีการศึกษาที่เปรียบเทียบความเหมือนหรือความต่าง และเก็บข้อมูลแบบแยกประเภทของมันท้อถิ่นอย่างชัดเจน

มันท้อถิ่น สามารถนำไปบริโภคโดยตรง ทำให้สุกหรือสั้ดแบ่งเพื่อนำไปประกอบอาหาร เนื่องจากหัวมันมีสารอาหารหลักคือคาร์โบไฮเดรตประมาณร้อยละ 28 และองค์ประกอบอื่น ๆ ในปริมาณเล็กน้อย เช่น โปรตีน ไขมัน วิตามินและเกลือแร่ชนิดต่าง ๆ [10] ซึ่งคาร์โบไฮเดรตจะสะสมอยู่ในรูปของเม็ดแป้ง (granule) โดยเม็ดแป้งจากพืชชนิดต่าง ๆ จะมีรูปร่างลักษณะ ขนาด และองค์ประกอบภายในที่แตกต่างกันไป เม็ดแป้งโดยทั่วไปมีอะไมโลเพกตินเป็นองค์ประกอบหลัก รองลงมาคือ อะไมโลส ซึ่งเม็ดแป้งมีโครงสร้างแบบกึ่งผลึก (semi-crystalline structure) ส่วนที่เป็นผลึกเกิดจากการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบของสายโซ่เกลียวคู่ (double helices) ของอะไมโลเพกติน ที่จัดเรียงได้ต่างกัน เกิดโครงสร้างผลึกที่ต่างกัน จึงสามารถจำแนกประเภทของแป้งได้เป็นกลุ่มที่มีโครงสร้างผลึกแบบ A มีลักษณะผลึกเป็นโมโนคลินิก (monoclinic) โดยมีโมเลกุลน้ำภายในจำนวน 4 โมเลกุล กลุ่มที่มีโครงสร้างผลึกแบบ B ลักษณะผลึกแบบเฮกซะโกนัล (hexagonal) และมีโมเลกุลน้ำภายในจำนวน 36 โมเลกุล ส่วนแป้งที่มีผลึกทั้งสองลักษณะร่วมกันเรียกว่าแป้งแบบ C [11–13] ซึ่งเมื่อทราบโครงสร้างผลึกของแป้งแล้วจะสามารถวิเคราะห์สมบัติพื้นฐานของแป้งและความเหมาะสมในการนำไปใช้ต่อไปได้

การศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการสั้ดแบ่งจากหัวมันสายพันธุ์ *Dioscorea alata* L. ที่เรียกว่ามันสีม่วง (purple yam) เมื่อนำมาสั้ดแบ่ง ด้วยการนำหัวมันแช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที หั่นบาง ๆ แช่น้ำเกลือ 2 ชั่วโมง ล้างแล้วอบที่อุณหภูมิ

60 องศาเซลเซียส 6-8 ชั่วโมง บดและร่อนผ่านตะแกรง 80 เมช ซึ่งเมื่อผ่านกระบวนการดังกล่าว ยังพบสารแอนโทไซยานินในแป้ง และเมื่อนำแป้งมาผสมเป็นแป้งสำหรับทำเค้ก ยังคงพบสารแอนโทไซยานินอยู่ในแป้งเค้ก [14] นอกจากนี้มีการนำหัวมันสีม่วง *Dioscorea alata* L. มาสกัดแป้งโดยการบด 8 นาที และอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 ชั่วโมง ร่อนผ่านตะแกรง 80 เมช จากนั้นนำแป้งมันที่ได้มาผสมเป็นแป้งสำหรับทำขนมปัง เมื่ออบขนมปังที่อุณหภูมิ 170 และ 180 องศาเซลเซียส พบว่ายังคงมีสารแอนโทไซยานินอยู่ในขนมปัง [15]

การเปรียบเทียบแป้งจากมันสายพันธุ์ *Dioscorea alata* L. โดยใช้แป้งจากมัน 2 ชนิดคือ มันสีม่วง (purple yam) และมันสีเหลือง (yellow yam) และเปรียบเทียบการสกัดแป้ง 2 วิธี ได้แก่ วิธีแรกคือ นำหัวมันมาหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ ทำให้แห้งโดยตรงโดยใช้เตาอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง วิธีที่สองคือ นำชิ้นมันแช่ในน้ำอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที และนึ่งด้วยไอน้ำร้อน 97 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 นาที แล้วอบให้แห้ง พบว่าการสกัดแป้งผ่านการนึ่งด้วยไอน้ำทำให้ได้แป้งมันสีม่วงที่มีปริมาณผลผลิต (yield) ลดลงและมีค่าความสว่าง (L^*) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อวิเคราะห์ลักษณะเม็ดแป้งด้วย SEM พบเม็ดแป้งที่แตกหักบางส่วนในแป้งที่นึ่งด้วยไอน้ำ ในขณะที่แป้งที่ไม่ผ่านการนึ่งมีเม็ดแป้งที่สมบูรณ์มากกว่า [7]

จากการแยกและศึกษาคุณสมบัติของแป้ง 8 ชนิดในสายพันธุ์ *Dioscorea alata* ที่ปลูกในประเทศจาเมกา โดยนำหัวมันมาสกัดแป้งโดยการบด แขน้เกลือกรองผ่านผ้าขาวบาง ปั่นเหวี่ยง 3000g ต่อ 10 นาที และอบให้แห้ง นำแป้งที่ได้มาวิเคราะห์โดย SEM และรูปถ่ายไมโครกราฟแสงโพลาไรซ์ (polarised light micrographs) พบว่าลักษณะเม็ดแป้งมีทั้งเหมือนและแตกต่างกัน วิเคราะห์ปริมาณอะไมโลสและอะไมโลเพกตินพบว่า มีปริมาณแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากการวิเคราะห์ XRD พบว่ามีโครงสร้างผลึกเป็นแบบเดียวกัน

คือ โครงสร้างผลึกแบบ B [16] นอกจากนี้มีการศึกษาโครงสร้างผลึกของแป้งมัน 5 สายพันธุ์พบว่าแป้งจากมัน *D. nipponica* มีโครงสร้างผลึกแบบ A สำหรับแป้งมัน *D. opposita*, *D. alata*, *D. septemloba* และ *D. bulbifera* โครงสร้างผลึกแบบ C [17]

จากการศึกษาผลของการดัดแปรแป้งด้วยวิธีการใช้ความร้อนชื้น (heat-moisture treatment; HMT) โดยควบคุมความชื้นของแป้งที่ร้อยละ 25 และให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง เมื่อวิเคราะห์ด้วย XRD พบว่าแป้งที่มีโครงสร้างผลึกแบบ B ได้แก่ แป้งพุทธรักษาและแป้งมันมือเสือเมื่อผ่านกระบวนการดัดแปรมีโครงสร้างผลึกเปลี่ยนจากแบบ B เป็นแบบ C (A+B) ในขณะที่แป้งแบบ A ได้แก่ แป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง มีโครงสร้างผลึกของแป้งไม่เปลี่ยนแปลง [18]

ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ ศึกษาลักษณะทางกายภาพของแป้งและเม็ดแป้ง องค์ประกอบและโครงสร้างทางเคมีของแป้งมันท้องถิ่น และเปรียบเทียบความเหมือนหรือความต่างของแป้งจากมันท้องถิ่นในกลุ่ม *Dioscorea* spp. โดยทำการสกัดแป้งด้วยการบด ซึ่งเป็นการรักษาสภาพให้ใกล้เคียงกับกระบวนการสกัดแป้งในครัวเรือน เพื่อนำผลการศึกษาไปใช้เป็นฐานข้อมูล (data base) ของมันท้องถิ่น และการนำไปใช้ประโยชน์อย่างเหมาะสม เพิ่มมูลค่าของมันท้องถิ่น รวมถึงการอนุรักษ์มันท้องถิ่นในคงอยู่ในชุมชนและก่อเกิดประโยชน์ในอนาคตต่อไป

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 วัตถุดิบ

มันท้องถิ่นที่ใช้ในงานวิจัยนี้ มี 6 ชนิด ที่เก็บตัวอย่างมาจากพื้นที่ต่าง ๆ ในจังหวัดบุรีรัมย์และปราจีนบุรี ได้แก่ มันจาวมะพร้าวหรือมันพร้าวหรือมันจาวจากจังหวัดบุรีรัมย์ มันข้าวจากจังหวัดปราจีนบุรี มันตลับหรือมันเห็บหรือมันเหน็บจากจังหวัดบุรีรัมย์ มันมือเสือจากจังหวัดบุรีรัมย์ มันอ่อนหรือมันอันจาก

จังหวัดปราจีนบุรี มันเล็ดตกหรือมันเล็ดจากจังหวัดบุรีรัมย์ เนื่องจากมันท้องถิ่นเป็นพืชที่เพาะปลูกและเก็บเกี่ยวตามฤดูกาล โดยจะปลูกในช่วงฤดูฝนคือเดือนพฤษภาคม-มิถุนายน ต้นมันจะเจริญเติบโตและสะสมอาหารได้มากที่สุดในช่วง 8-10 เดือน จึงเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูหนาว แต่ถ้าเก็บเกี่ยวช้าไป ต้นมันจะเหี่ยวแห้งและเข้าสู่ระยะพักตัวเป็นเวลา 2-4 เดือน ก่อนที่จะงอกอีกครั้ง ดังนั้นมันท้องถิ่นที่ใช้เป็นตัวอย่างในงานวิจัยนี้ทั้ง 6 ชนิดเป็นมันที่เก็บเกี่ยวในช่วงที่มันสะสมอาหารมากที่สุดและต้นมันยังไม่เหี่ยวแห้ง คือในช่วงเดือนมกราคม [8,9]

2.2 การสกัดแบ่งจากหัวมันท้องถิ่น

การสกัดแบ่งจากหัวมันท้องถิ่นดัดแปลงมาจากงานวิจัยที่สกัดแบ่งในกลุ่ม *Dioscorea spp.* [7,14-16] แบ่งจากหัวมันท้องถิ่น ทำการสกัดด้วยการบด เพื่อรักษาสภาพให้ใกล้เคียงกับกระบวนการสกัดแบ่งในครัวเรือน ดังนี้ นำหัวมันท้องถิ่นล้างทำความสะอาด ปอกเปลือก แล้วล้างน้ำให้สะอาดอีกครั้ง สับหัวมันให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ นำไปใส่เครื่องปั่น ผสมน้ำสะอาดแล้วปั่นให้ละเอียดจนได้น้ำแบ่งขาวขุ่น นำน้ำแบ่งไปกรองด้วยผ้าขาวบางเพื่อแยกกากใยออกจากน้ำแบ่ง น้ำแบ่งที่ได้จากการกรองนำไปพักให้ตกตะกอน ซ้อนกากที่ลอยด้านบนออกให้หมด นำน้ำแบ่งที่เป็นตะกอนไปปั่นเหวี่ยง ด้วยความเร็ว 4,000 รอบ/นาที เป็นเวลา 15 นาที ครบเวลาปั่นเหวี่ยงจะได้ตะกอนแบ่งอยู่ด้านล่างและส่วนน้ำอยู่ด้านบนของหลอด เทส่วนน้ำดังกล่าวออก คงเหลือตะกอนของแบ่ง เทเอาตะกอนแบ่งที่ติดด้านล่างหลอดใส่ถาดแล้วนำเข้าตู้อบ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ใช้เวลาประมาณ 15-20 นาที หรือได้แบ่งที่มีความชื้นน้อยกว่าร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก นำแบ่งที่แห้งไปบดกับโกร่งจนละเอียด แล้วร่อนด้วยตะแกรกร่อนแบ่ง ความละเอียด 80 เมช บรรจุใส่ถุงซิปล็อก เตรียมนำไปทดสอบลักษณะเม็ดและโครงสร้างทางเคมีของแบ่งต่อไป

2.3 การวิเคราะห์ลักษณะเม็ดแบ่งและโครงสร้างทางเคมีของแบ่งจากหัวมันท้องถิ่น

วิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของแบ่ง โดยนำผงแบ่งที่ได้จากการสกัด ไปวัดค่าสีด้วยเครื่องโคลอริมิเตอร์ (Colorimeter) ทำการวิเคราะห์ค่าสีแบบ CIELAB ซึ่งมีสัญลักษณ์ดัชนีสีได้แก่ L^* a^* b^* สำหรับค่า L^* แสดงความสว่าง (lightness) จากค่า $-L^*$ ถึง $+L^*$ คือค่าสีขาวไปจนถึงค่าสีดำ ค่า $-a^*$ ถึง $+a^*$ คือค่าสีเขียวไปจนถึงค่าสีแดง และ $-b^*$ ถึง $+b^*$ คือค่าสีน้ำเงินไปจนถึงค่าสีเหลือง นอกจากนี้สามารถคำนวณค่าดัชนีความขาว (Whiteness index, WI) เพื่อเปรียบเทียบความขาวของแบ่งจากหัวมันท้องถิ่นแต่ละชนิด โดยใช้สมการดังต่อไปนี้ [19]

$$WI = 100 - [(100 - L^*)^2 + (a^*)^2 + (b^*)^2]^{1/2} \quad (1)$$

วิเคราะห์ลักษณะเม็ดแบ่ง ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Spectroscopy; SEM)

วิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุในแบ่งด้วยสเปกโตรมิเตอร์รังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงาน (Energy Dispersive X-ray Spectrometer; EDS)

วิเคราะห์โครงสร้างผลึกของแบ่งด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน (X-ray diffraction; XRD) ที่มุม 2θ ระหว่าง 5-40 องศา อัตราการเพิ่ม 0.02 องศาต่อ 0.5 วินาที

วิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของแบ่งด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy ; FTIR) ในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง $4000-400 \text{ cm}^{-1}$

2.4 การวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ เปรียบเทียบความเหมือนหรือความต่างจากข้อมูลเชิงปริมาณที่ได้จากการทดสอบแบ่งจากหัวมันท้องถิ่น โดยวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) และเปรียบเทียบความ

แตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ รายงานผลการทดลองเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

3. ผลการวิจัย

3.1 แป้งจากหัวมันท้องถิ่นที่ได้จากการสกัดด้วยการบด

หัวมันทั้ง 6 ชนิด มีรูปร่างภายนอก สีและผิวสัมผัสของเปลือกที่แตกต่างกันโดยสังเกตได้ชัด เมื่อนำมาผ่ากลางเพื่อศึกษาลักษณะของเนื้อที่อยู่ข้างในพบว่า สีและผิวสัมผัสของเนื้อมีความแตกต่างกัน โดยมันจาวมะพร้าว มันข้าว มันตลับ และมันมือเสือ จะมีเนื้อสีขาวกว่า มันอ่อนที่มีสีเทาเหลือง ส่วนมันเลือดนกจะมีจุดสีแดงม่วงแทรกอยู่ในพื้นผิวสีขาว (Figure 1) เมื่อนำหัวมันแต่ละชนิดมาสกัดแป้งด้วยการบด จะได้ผงแป้งที่ใช้ศึกษาลักษณะทางกายภาพของแป้ง ซึ่งเมื่อนำผงแป้ง

มาวัดค่าสี L^* , a^* และ b^* พบว่า สีของแป้งจากมันแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยแป้งที่มีความสว่างมากที่สุดไปน้อยที่สุดเรียงลำดับได้ดังนี้ มันมือเสือ มันอ่อน มันตลับ มันจาวมะพร้าว มันข้าว และมันเลือดนก ซึ่งให้ผลไปในทิศทางเดียวกับค่าดัชนีความขาวของแป้งจากการคำนวณด้วย Equation 1 นอกจากนั้นแป้งมันตลับให้ค่าสีที่แสดงว่ามีสีเขียรมากที่สุด ส่วนแป้งมันเลือดนกมีสีแดงและสีเหลืองมากที่สุด เมื่อเทียบกับมันชนิดอื่น (Figure 2, Table 1) เนื่องจากมันเลือดนกหรือมันเลือดนก (*Dioscorea alata* L.) มีคุณสมบัติเฉพาะคือมีสารสีแอนโทไซยานิน (anthocyanin) ที่เมื่อสกัดแป้งจากหัวมันด้วยการบด ยังมีสารแอนโทไซยานินคง อยู่ในแป้ง [14,15] จากผลดังกล่าวไม่แนะนำให้ประยุกต์ใช้ผงแป้งมันเลือดนกโดยตรงในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการสีที่สม่ำเสมอ อาจนำแป้งที่ได้ไปใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมอบ เช่น คุกกี้ โดนัท หรือในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางที่ต้องการให้มีสีสัน

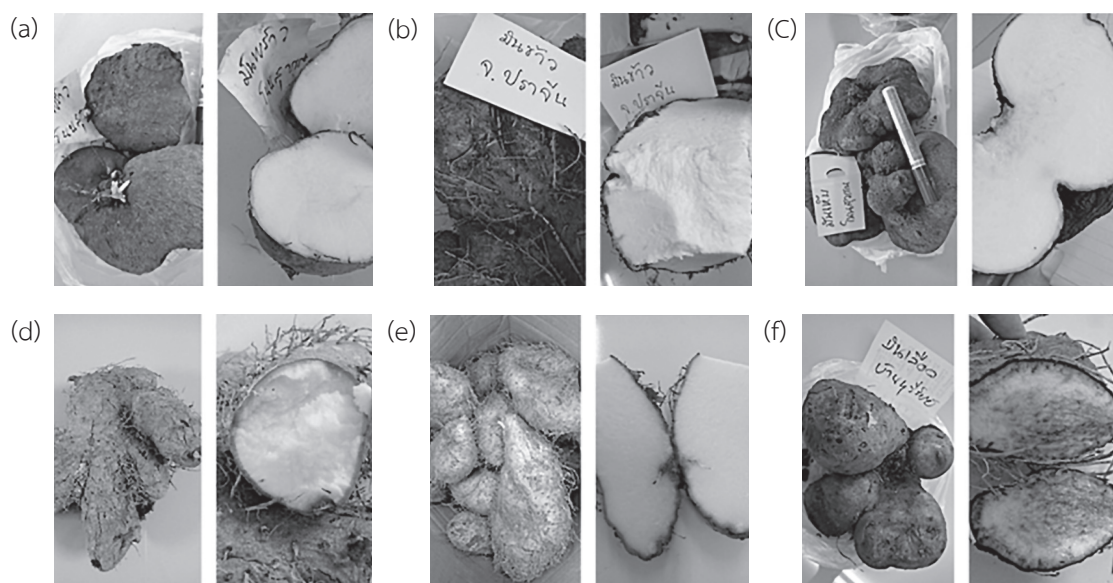


Figure 1 Photographs of out-side shape (left) and in-side texture (right) of local yam; (a) Mun-Jao-Ma-Praw, (b) Mun-Khao, (c) Mun-Talab, (d) Mun-Meu-Seu, (e) Mun-On and (f) Mun-Lued-Nok.

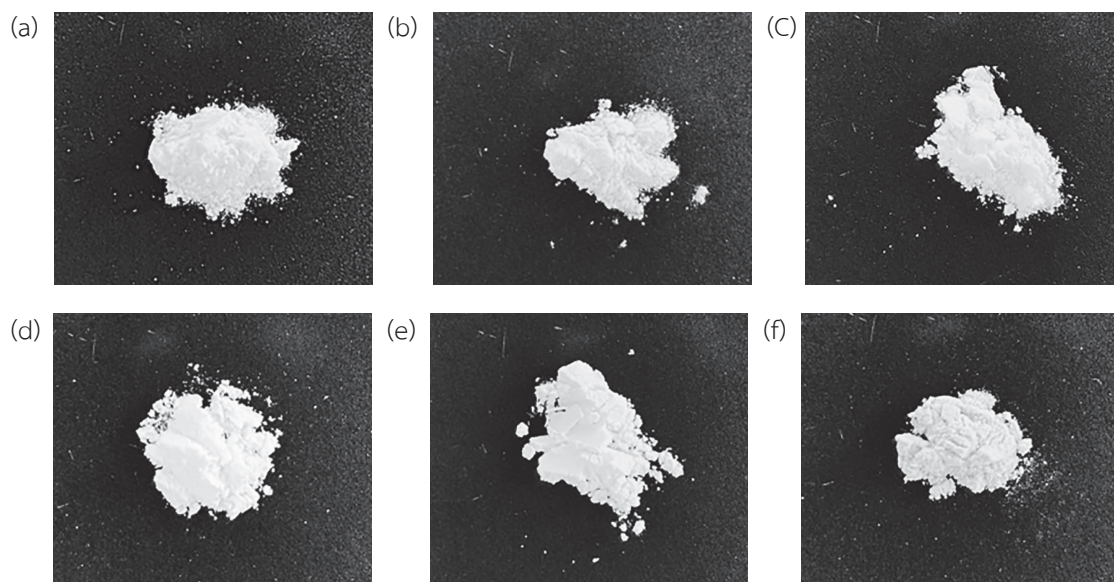


Figure 2 Photographs of flour powder from water extraction of local yam; (a) Mun-Jao-Ma-Praw, (b) Mun-Khao, (c) Mun-Talab, (d) Mun-Meu-Seu, (e) Mun-On and (f) Mun-Lued-Nok.

Table 1 Color index and whiteness index (WI) of flour powder from water extraction of local yam; Mun-Jao-Ma-Praw, Mun-Khao, Mun-Talab, Mun-Meu-Seu, Mun-On and Mun-Lued-Nok.

Flour powder	Color Index			WI
	L*	a*	b*	
Mun-Jao-Ma-Praw	90.63 ± 0.13 ^a	3.44 ± 0.06 ^a	8.93 ± 0.07 ^a	86.61 ± 0.13 ^a
Mun-Khao	85.94 ± 0.08 ^b	4.63 ± 0.02 ^b	9.03 ± 0.03 ^a	82.66 ± 0.07 ^b
Mun-Talab	96.02 ± 0.11 ^c	-0.17 ± 0.03 ^c	4.41 ± 0.13 ^b	94.05 ± 0.02 ^c
Mun-Meu-Seu	98.89 ± 0.36 ^d	0.30 ± 0.05 ^d	2.22 ± 0.20 ^c	97.44 ± 0.02 ^d
Mun-On	97.94 ± 0.02 ^e	0.73 ± 0.06 ^e	2.36 ± 0.08 ^c	96.78 ± 0.06 ^e
Mun-Lued-Nok	77.70 ± 0.23 ^f	6.85 ± 0.03 ^f	12.84 ± 0.13 ^d	73.37 ± 0.25 ^f

^{a,b,c,d,e,f} Values with different superscripts within the same column are significantly different (p<0.05).

3.2 ลักษณะเม็ดแป้งและโครงสร้างทางเคมีของแป้งจากหัวมันท้องถิ่น

จากการตรวจสอบลักษณะเม็ดแป้งหัวมันท้องถิ่นด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Figure 3) พบว่า เม็ดแป้งหัวมันท้องถิ่นทั้ง 6 ชนิด แบ่งได้เป็น 2

แบบคือ แบบที่ 1 เม็ดแป้งขนาดใหญ่ (กำลังขยาย 1,000 เท่า) เม็ดแป้งมีรูปร่างทรงรี และแบบที่ 2 เม็ดแป้งขนาดเล็ก (กำลังขยาย 3,500 เท่า) เม็ดแป้งมีรูปร่างทรงเหลี่ยม โดยเม็ดแป้งแบบที่ 1 ปรากฏในเม็ดแป้งมันจาวมะพร้าว และมันข้าว ซึ่งมีลักษณะรูปร่างเม็ดแป้งใกล้เคียงกัน คือเป็น

ทรงยาวรี ขนาดประมาณ 5–30 ไมครอน ส่วนเม็ดแป้งมันตลับ เป็นรูปร่างทรงรีที่มีความสั้นกว่า ลักษณะคล้ายไข่ และมีพื้นผิวที่เรียบกว่า ขนาดประมาณ 5–20 ไมครอน สำหรับเม็ดแป้งมันเล็ดนก มีขนาดประมาณ 10–40 ไมครอน รูปร่างเป็นทรงรีสั้นที่สุด มีพื้นผิวที่ไม่เรียบ ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของเม็ดแป้งมันเล็ดนกแตกต่างจากเม็ดแป้งมันชนิดอื่น ที่สามารถเกิดขึ้นเนื่องจากอนุภาคสารสีแอนโทไซยานินบนผิวเม็ดแป้ง และยังเพิ่มโอกาสทำให้ลักษณะเม็ดแป้งไม่สมบูรณ์ จากการแตก

ของเม็ดแป้งที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนการสกัดแป้ง [7] เม็ดแป้งแบบที่ 2 ปรากฏในแป้งมันมือเสือ และแป้งมันอ่อน เม็ดแป้งมีลักษณะคล้ายกัน ขนาด 2–10 ไมครอน ซึ่งเล็กกว่าเม็ดแป้งแบบที่ 1 รูปร่างของเม็ดแป้งเป็นรูปทรงหลายเหลี่ยม (polyhedral) จากการที่เม็ดแป้งมันมือเสือและมันอ่อน มีลักษณะคล้ายกันและแตกต่างจากเม็ดแป้งมันชนิดอื่น จึงสามารถยืนยันได้ว่ามันมือเสือและมันอ่อน สามารถจัดอยู่ในสายพันธุ์เดียวกันคือ *Dioscorea Esculenta* L. [9]

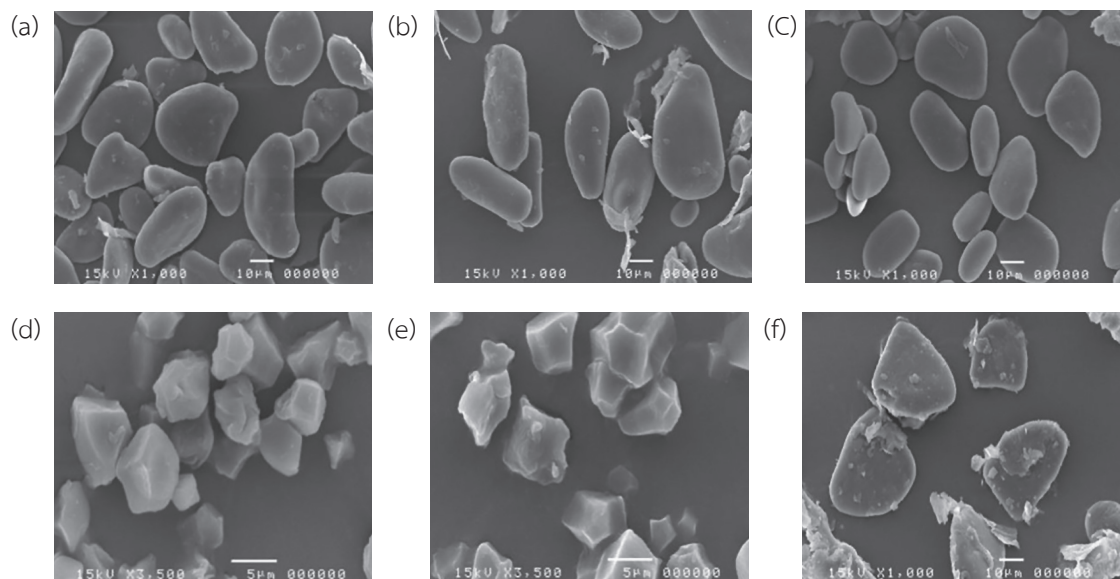


Figure 3 SEM images of flour powder of local yam; (a) Mun-Jao-Ma-Praw, (b) Mun-Khao, (c) Mun-Talab, (d) Mun-Meu-Seu, (e) Mun-On and (f) Mun-Lued-Nok.

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุในแป้งหัวมันท้องถิ่น โดยใช้เครื่องสเปกโตรเมเตอร์รังสีเอ็กซ์แบบกระจายพลังงาน (Figure 4) พบว่าแป้งหัวมันท้องถิ่นมีองค์ประกอบของคาร์บอนและออกซิเจน โดยแป้งมันจาวมะพร้าว มันข้าว มันตลับ และมันเล็ดนก มีคาร์บอนปริมาณใกล้เคียงหรือมากกว่าออกซิเจนเล็กน้อย อยู่ในช่วงร้อยละ 0.20–2.67 โดยน้ำหนัก หรือร้อยละอะตอม 14.48–16.86 สำหรับมันมือเสือ และมันอ่อน มีปริมาณคาร์บอนมากกว่า

ออกซิเจน อยู่ในช่วงร้อยละ 14.70–15.74 โดยน้ำหนัก หรือร้อยละอะตอม 28.34–29.32 จึงสามารถจำแนกชนิดของมันท้องถิ่นเป็น 2 ประเภท สอดคล้องกับลักษณะรูปร่างเม็ดแป้งที่ได้จากการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ดังนั้นองค์ประกอบของแป้งมีความสัมพันธ์กับลักษณะของเม็ดแป้งมันท้องถิ่น โดยปริมาณอะตอมคาร์บอนและออกซิเจนในเม็ดแป้งจะขึ้นอยู่กับปริมาณอะไมโลสและอะไมโลเพกตินที่สร้างขึ้นในเม็ดแป้ง [20]

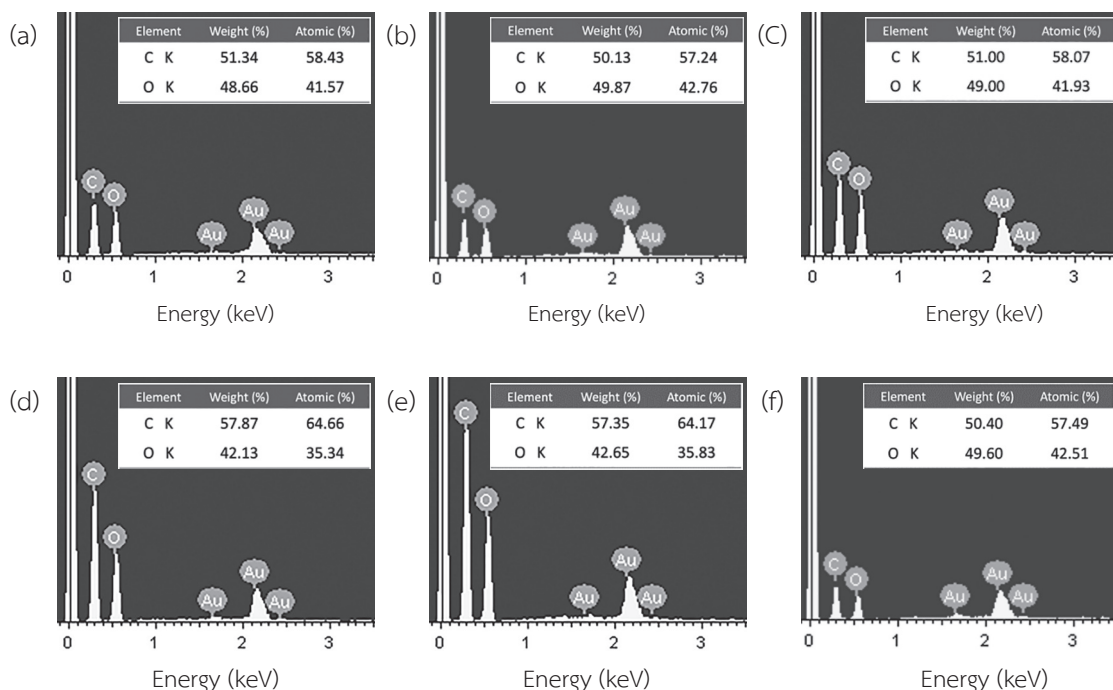


Figure 4 EDS spectra of flour powder of local yam; (a) Mun-Jao-Ma-Praw, (b) Mun-Khao, (c) Mun-Talab, (d) Mun-Meu-Seu, (e) Mun-On and (f) Mun-Lued-Nok.

โครงสร้างผลึกแป้งหัวมันท้องถิ่น จากการตรวจสอบด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน สามารถนำมาวิเคราะห์รูปแบบโครงสร้างผลึกของแป้ง และการจัดเรียงโครงสร้างของโมเลกุลอะไมโลเพกติน จากรูปแบบแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (Figure 5) พบว่า แป้งหัวมันท้องถิ่นทั้ง 6 ชนิด มีลักษณะคล้ายกันคือ ปรากฏพีคหลักชัดเจนที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 17 และพบพีคขนาดเล็กที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 15.22 และ 24 ซึ่งแสดงถึงลักษณะโครงสร้างผลึกแบบ B [11,16,17] แป้งในกลุ่มนี้จะแบ่งเป็นแป้งจากหัวและราก เช่นเดียวกันกับแป้งพุทธรักษา แป้งมันฝรั่ง [14,15] เม็ดแป้งจะมีการสลับชั้นของแผ่นผลึก (crystalline lamella) และแผ่นอะมอร์ฟัส (amorphous lamella) บริเวณผลึกของเม็ดแป้งคือการรวมตัวของอะไมโลเพกตินแบบเกลียวคู่ ซึ่งการจำแนกโครงสร้างผลึกนั้น แบ่งตามลักษณะโครงสร้างของอะไมโลเพกตินได้แก่ โครงสร้างผลึกแบบ A จะมี

หน่วยเซลล์ (unit cell) ที่เป็นสายโซ่ของอะไมโลเพกตินจะเชื่อมด้วยพันธะ α -d-glucose โดยมีสายจบที่ไม่เกิดพันธะเชื่อมต่อกับสายอื่น (reducing end) โครงสร้างผลึกแบบสาย B จะมีการเกิดพันธะเชื่อมต่อกับสายโซ่ของโครงสร้างแบบ A หรือเชื่อมต่อโครงสร้างแบบ B อื่น ๆ ผ่านทางหมู่ไฮดรอกซิล ($-OH$) หนึ่งหมู่หรือมากกว่าที่มีอยู่ในสาย อะไมโลเพกติน ซึ่งโครงสร้างผลึกแบบ B ลักษณะหน่วยเซลล์คือ เฮกซะโกนัล (hexagonal unit cell) ประกอบด้วยน้ำ 36 โมเลกุล แตกต่างจากลักษณะหน่วยเซลล์ของโครงสร้างแบบ A คือ โมโนคลินิก (monoclinic unit cell) ที่ประกอบด้วยน้ำ 8 โมเลกุล [12,21,22] ดังนั้นแป้งหัวมันท้องถิ่นทั้ง 6 ชนิดมีโครงสร้างผลึกแบบ B จะมีน้ำต่อหน่วยเซลล์มากกว่าเมื่อให้ความร้อนแก่แป้งโดยมีน้ำทำให้เกิดความหนืดที่มีการเปลี่ยนแปลงได้มากกว่าแป้งที่มีโครงสร้างผลึกแบบ A เนื่องจากการเคลื่อนที่ของเกลียวคู่

ของอะไมโลเพกตินในผลึก แป้งจากหัวมันท้องถิ่นทั้ง 6 ชนิด จึงเหมาะสำหรับสามารถนำดัดแปรเพื่อให้เกิดประโยชน์ในด้านอาหาร หรือวัสดุจากธรรมชาติต่อไป

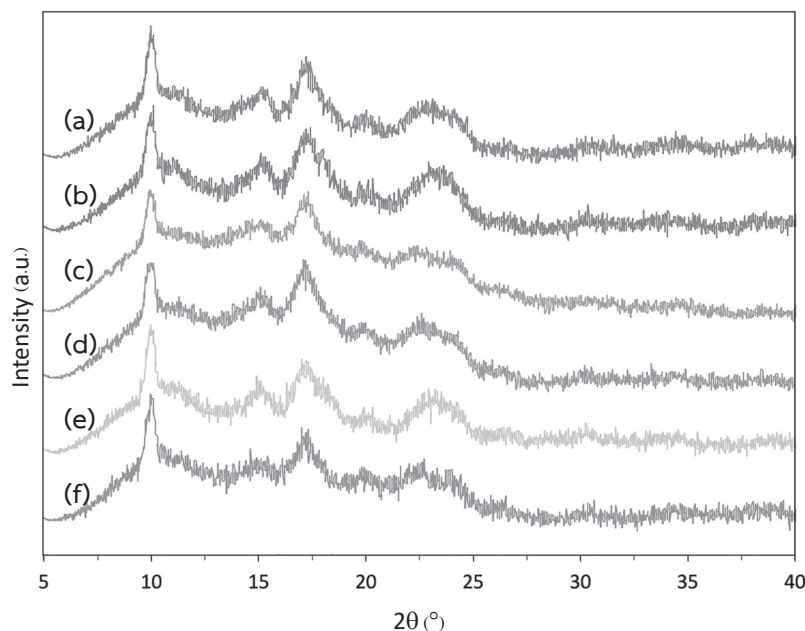


Figure 5 XRD patterns of flour powder of local yam; (a) Mun-Jao-Ma-Praw, (b) Mun-Khao, (c) Mun-Talab, (d) Mun-Meu-Seu, (e) Mun-On and (f) Mun-Lued-Nok.

การศึกษาโครงสร้างทางเคมีโดยวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของแป้งหัวมันท้องถิ่นด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด สเปกโตรสโกปีในช่วงเลขคลื่น $4000-400\text{ cm}^{-1}$ ผล FTIR สเปกตรัมแสดงดัง Figure 6 พบพิกัดการสั่นที่สำคัญในแป้งทั้ง 6 ชนิด ในช่วงเลขคลื่นระหว่าง $3600-3000\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งแสดงถึง O-H stretching vibration ของหมู่ไฮดรอกซิลของเซลลูโลส เนื่องจากการสั่นสะเทือนของพันธะไฮโดรเจนทั้งภายในโมเลกุล (intramolecular hydrogen bond) และระหว่างโมเลกุล (intermolecular hydrogen bond) และพิกัดที่เลขคลื่น 2933 cm^{-1} แสดง C-H stretching vibration พบพิกัดที่เลขคลื่น 1633 cm^{-1} แสดง scissoring O-H bending เนื่องจากโมเลกุลของน้ำ ซึ่งความเข้มของพิกัดบ่งชี้ถึงความเข้มข้นของน้ำ [23] พิกัดที่เลขคลื่น 1344 cm^{-1} แสดง C-O stretching vibration ของหมู่คาร์บอนิล

ในขณะที่พิกัดที่เลขคลื่น 993 และ 723 cm^{-1} เกิดจากการสั่นของแป้งที่ยึดออกตามโครงร่าง นอกจากนั้นพิกัด O-H ระหว่าง $3600-3000\text{ cm}^{-1}$ มีลักษณะกว้างและความเข้มของพิกัดไม่มาก บ่งชี้ถึงโครงสร้างของแป้งแบบ B เนื่องจากมีโมเลกุลของน้ำระหว่างเกลียวคู่มากกว่าแป้งแบบ A โมเลกุลของน้ำในช่องว่างระหว่างเกลียวของโครงสร้างแบบ B มีองค์ความเป็นอิสระ (degree of freedom) และความแตกต่างของโมเลกุลแวดล้อมสูงกว่า ดังนั้น ในโครงสร้างแบบ B โมเลกุลของน้ำจะทำปฏิกิริยากับหมู่ OH ของเกลียวคู่และส่วนที่เหลือจะถูกเชื่อมเข้าด้วยกัน ก่อตัวเป็นเครือข่ายที่ซับซ้อนด้วยเหตุผลดังกล่าวทำให้พันธะไฮโดรเจนในแป้งแบบ B มีระยะห่างระหว่างกลุ่มออกซิเจนที่มีพันธะไฮโดรเจน (O-H...H) มากขึ้นเมื่อเทียบกับแป้งประเภท A ดังนั้นจึงปรากฏพิกัด O-H เป็นแถบกว้างและความเข้มต่ำ [24]

และจากผล FTIR ความเข้มและรูปร่างของแถบ OH บ่งชี้ถึงความเป็นโครงสร้างผลึกแบบ B ที่แตกต่างกันในแป้งแต่ละชนิด ซึ่งเกี่ยวข้องกับสภาพแวดล้อม

ระดับโมเลกุลที่แตกต่างกันของน้ำในเม็ดแป้ง โครงสร้างทางเคมีของอะไมโลส และอะไมโลเพกติน ซึ่งเป็นองค์ประกอบของแป้งจากหัวมันชนิดต่าง ๆ อีกด้วย

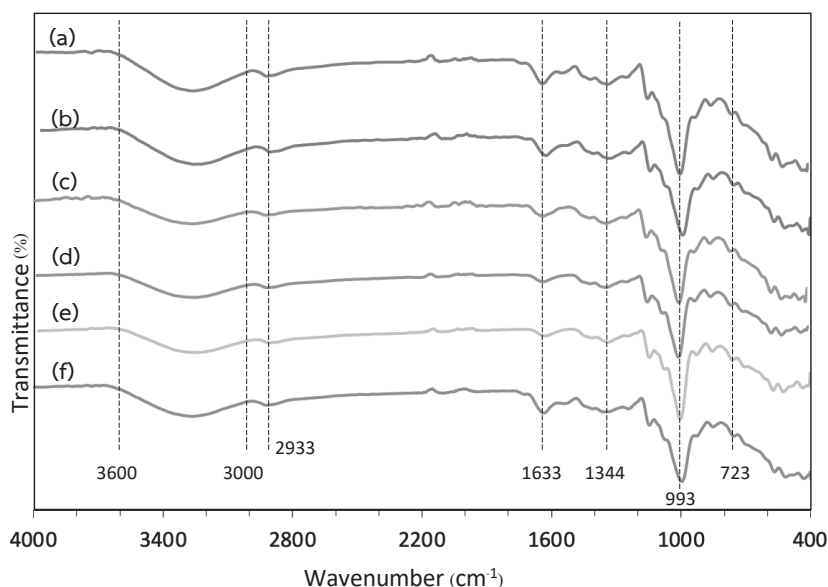


Figure 6 FTIR spectra of flour powder of local yam; (a) Mun-Jao-Ma-Praw, (b) Mun-Khao, (c) Mun-Talab, (d) Mun-Meu-Seu, (e) Mun-On and (f) Mun-Lued-Nok.

จากผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชันและเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี พบว่าแป้งหัวมันท้องถิ่นทั้ง 6 ชนิด มีส่วนประกอบเป็นโมเลกุลอะไมโลสและอะไมโลเพกติน โดยไม่ปรากฏหมู่ฟังก์ชันอื่นนอกเหนือไปจากนี้ และมีโครงสร้างผลึกเป็นแบบ B ซึ่งแป้งที่มีโครงสร้างผลึกแบบ B นั้น แป้งในกลุ่มนี้จะเป็นแป้งจากหัวและราก เช่นเดียวกันกับแป้งพุทธรักษา แป้งมันฝรั่ง [18] สามารถแสดงแบบจำลองโครงสร้างทางเคมีของแป้งหัวมันท้องถิ่น ที่มีหน่วยเซลล์เป็นเฮกซะโกนัล (Figure 7-a) เกิดจากการจัดเรียงตัวเป็นทรงกลมของอะไมโลสและอะไมโลเพกติน (Figure 7-b)

ซึ่งอะไมโลเพกตินจะเรียงตัวแบบเกลียวซูเปอร์เฮลิกซ์ (super-helix) (Figure 7-c1) เป็นบริเวณแสดงความเป็นผลึก และการจัดเรียงตัวเป็นสายโซ่ (Figure 7-c2) แสดงความเป็นอะมอร์ฟัส และการจัดเรียงตัวของอะไมโลสเป็นแบบเกลียวก็แสดงความเป็นอะมอร์ฟัสเช่นกัน เนื่องจากอะไมโลสประกอบด้วยหน่วย D-glucose ที่เชื่อมกันด้วยพันธะ α -1,4- glycosidic (Figure 7-d) และอะไมโลเพกติน ประกอบด้วยหน่วย D-glucose ที่เชื่อมกันด้วยพันธะ α -1,4 และ α -1,6-glycosidic (Figure 7-e) [12,21,22]

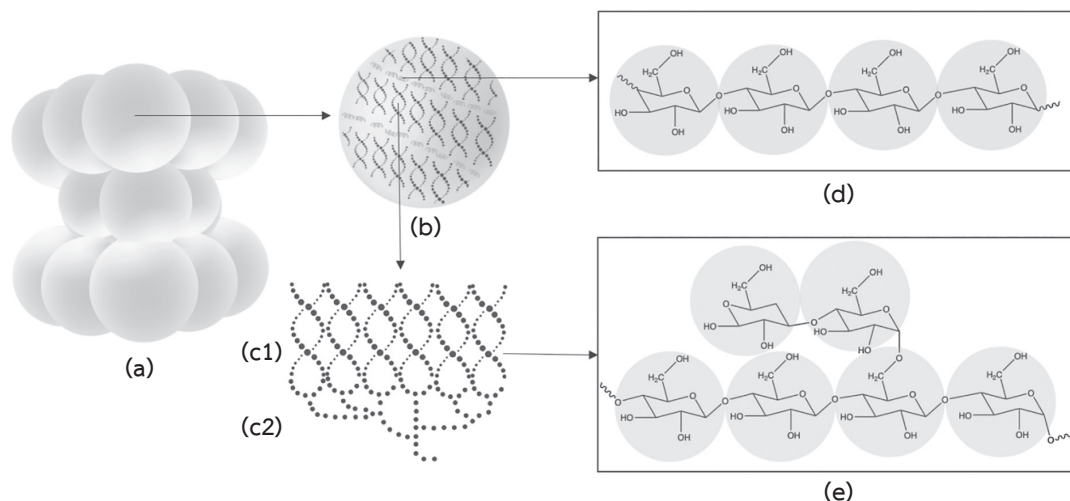


Figure 7 Model of chemical structure of flour powder of local yam (a) hexagonal unit cell (b) packet of amylopectin super-helices and single helix of amylose (c) double helices and lamellae of amylopectin (d) amylose (e) amylopectin.

4. สรุป

การศึกษาลักษณะทางกายภาพของแป้งและเม็ดแป้ง องค์ประกอบและโครงสร้างทางเคมีของแป้งมันท้องถิ่น และเปรียบเทียบความเหมือนหรือความต่างของแป้งจากมันท้องถิ่นในกลุ่ม *Dioscorea spp.* ทั้ง 6 ชนิด ที่มีรูปร่างภายนอก สี เนื้อสัมผัสของหัวมันแตกต่างกัน ได้แก่ มันจาวมะพร้าว มันข้าว มันตลับ มันมือเสือ มันอ่อน และมันเล็ดนก พบว่าเมื่อสกัดแป้งจากหัวมันด้วยการบด ลักษณะทางกายภาพของแป้งมันท้องถิ่นโดยวิเคราะห์จากค่าดัชนีสีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งแป้งมันมือเสือนี้อาจมีความสว่างขาวมากที่สุด ส่วนแป้งมันเล็ดนกจะมีสีแดงและสีเหลืองมากที่สุด จากการตรวจสอบลักษณะเม็ดแป้งด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและสเปกโตรมิเตอร์รังสีเอ็กซ์แบบกระจายพลังงานพบว่าสามารถเปรียบเทียบความเหมือนและความต่างของเม็ดแป้ง โดยจัดกลุ่มตามลักษณะเม็ดแป้งได้เป็น 2 แบบ ได้แก่ มันจาวมะพร้าว มันข้าว มันตลับ และมันเล็ดนก มีเม็ดแป้งขนาดใหญ่ รูปทรงรี มีอะตอมคาร์บอนปริมาณ

ใกล้เคียงหรือมากกว่าออกซิเจนเล็กน้อย ส่วนมันมือเสือและมันอ่อน มีเม็ดแป้งขนาดเล็ก รูปทรงหลายเหลี่ยม มีปริมาณคาร์บอนมากกว่าออกซิเจน ซึ่งมันมือเสือและมันอ่อน เป็นมันสายพันธุ์เดียวกันคือ *Dioscorea Esculenta L.* จากการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเทคนิค XRD ในแป้งทั้ง 6 ชนิด สามารถยืนยันลักษณะเฉพาะของแป้งสกุล *Dioscorea spp.* คือโครงสร้างผลึกของแป้งทุกชนิดเป็นแบบ B จากการวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค FTIR พบว่าโครงสร้างทางเคมีของแป้งมีหมู่ฟังก์ชันที่เหมือนกัน แต่มีความแตกต่างกันในระดับโมเลกุลของน้ำในเม็ดแป้ง โครงสร้างทางเคมีของอะไมโลส และอะไมโลเพกติน ซึ่งเป็นองค์ประกอบของแป้งจากหัวมันชนิดต่าง ๆ จากลักษณะเม็ดแป้งและโครงสร้างทางเคมีของแป้งจากมันท้องถิ่นทั้ง 6 ชนิด สามารถนำไปเป็นฐานข้อมูลเพื่อไปใช้ประโยชน์อย่างเหมาะสม และเพื่อเพิ่มมูลค่าของมันท้องถิ่น รวมถึงการอนุรักษ์ มันท้องถิ่นให้คงอยู่ในชุมชนและก่อเกิดประโยชน์ในอนาคตต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ที่สนับสนุนเงินทุนวิจัย ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ เครื่องมือ และอุปกรณ์ ในการทำวิจัย

6. References

- [1] FAOSTAT. Statistical database of the Food and Agriculture Organization of the United Nations 2022. Available Source: <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>, January 14, 2023.
- [2] Morse, S., 2022, The role of plant health in the sustainable production of seed yams in Nigeria: A challenging nexus between plant health, human food security, and culture, *Plant Pathol.* 71: 43–54.
- [3] Owusu, D.E., Danquah F.O., Frimpong, F., Dankwa, K.O., Weebadde, C.K., Ennin, S.A., Asante, M.O.O., Brempong, M.B., Dwamena, H.A., Addo-Danso, A., et al., 2022, Sustainable Intensification and Climate-Smart Yam Production for Improved Food Security in West Africa, A Review. *Frontiers in Agronomy*.4:858114.
- [4] Robert, A., Alieu, S., 2010, Crops that feed the World 1. Yams Yams for income and food security, *Food Secur.*, 2: 305–315.
- [5] Obidiegwu, J.E., Akpabio, E.M., 2017, The geography of yam cultivation in southern Nigeria: Exploring its social meanings and cultural functions, *Journal of Ethnic Foods.* 4: 28–35.
- [6] Rugchati, O., Thanacharoenchanaphas, K., 2010, Comparison in some characteristics of yam tubers starch (*Dioscorea. spp.*) from Thailand, *International Journal of Environmental and Rural Development.* 1(2): 102-106. (in Thai)
- [7] Harijono, T.E., Saputri, D.S., Kusnadi, J., 2013, Effect of blanching on properties of water yam (*Dioscorea alata*) flour, *Advance Journal of Food Science and Technology.* 5: 1342–1350.
- [8] Westphal, E., Arora R.K., 1989, Prosea Project.: Plant resources of South-East Asia., Pudoc, Wageningen, The Netherlands, 238 p.
- [9] Department of Agriculture, Thailand. Mun-Meu-Seu 2565. Available Source: <https://www.doa.go.th/pvp/wp-content/uploads/2022/07/%E0%B8%A1%E0%B8%B1%E0%B8%99%E0%B8%A1%E0%B8%B7%E0%B8%AD%E0%B9%80%E0%B8%AA%E0%B8%B7%E0%B8%AD.pdf>, February 9, 2023. (in Thai)
- [10] Chandrasekara, A., Josheph, K.T., 2016, Roots and tuber crops as functional foods: A review on phytochemical constituents and their potential health benefits, *Int J Food Sci.* 3: 3631647.
- [11] Pozo, C., Rodríguez-Llamazares, S., Bouza, R., Barral L., Castaño, J., Müller, N., Restrepo, 2018, I., Study of the structural order of native starch granules using combined FTIR and XRD

- analysis. Journal of Polymer Research. 25: 1-8.
- [13] Oyeyinka, S.A., Toyin, O.A., Kayode, R.M., Olagunju, O.F., Adeoye, O.S., Monday, K.R., Folake, O.O., Karim, R., Kolade, J.J., 2017, A Review on the functionality and potential applications of bitter yam starch, Annals. Food Science and Technology. 18(3): 364-375.
- [14] Larief R., Dirpan A., Theresia, 2018, Purple Yam Flour (*Dioscorea alata* L.) Processing Effect on Anthocyanin and Antioxidant Capacity in Traditional Cake “bolu Cukke” Making. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Institute of Physics Publishing. 207: 102043.
- [15] Tamaroh, S., Sudrajat, A., 2021, Antioxidative Characteristics and Sensory Acceptability of Bread Substituted with Purple Yam (*Dioscorea alata* L.). Int J Food Sci. 2021: 5586316.
- [16] Riley, C.K., Wheatley, A.O., Asemota, 2006, Isolation and Characterization of Starches from eight *Dioscorea alata* cultivars grown in Jamaica. Afr J Biotechnol. 5: 1528-1536.
- [17] Jiang, Q., Gao, W., Li, X., Xia, Y., Wang, H., Wu, S., Huang, L., Liu, C.-X., Xiao, P.-G., 2012, Characterizations of starches isolated from five different *Dioscorea* L., Food Hydrocoll. 29: 35-41.
- [18] Chatpapamon C., Santhanee P., Uttapap D., 2016, Effect of Heatmoisture Treatment on Properties and Structure of A-and B-crystalline Type Starches, KMUTT Research and Development, 23(2): 257-270. (in Thai)
- [19] Ghanbarzadeh, B., Almasi, H., Entezami, A.A., 2010, Physical properties of edible modified starch/carboxymethyl cellulose films, Innovative Food Science and Emerging Technologies. 11: 697-702.
- [20] Alcázar-Alay, S.C., Meireles, M.A.A., 2015, Physicochemical properties, modifications and applications of starches from different botanical sources. Food Science and Technology (Brazil). 35: 215-236.
- [21] Amaraweera, S.M., Gunathilake, C., Gunawardene, O.H.P., Fernando, N.M.L., Wanninayaka, D.B., Dassanayake, R.S., Rajapaksha, S.M., Manamperi, A., Fernando, C.A.N., Kulatunga, A.K., et al., 2021, Development of starch-based materials using current modification techniques and their applications: A review, Molecules. 26: 6880.
- [22] Jayakody, L., Hoover, R., Liu, Q., Donner, E., 2009, Studies on tuber starches III. Impact of annealing on the molecular structure, composition and physico-chemical properties of yam (*Dioscorea* sp.) starches grown in Sri Lanka, Carbohydr Polym. 76: 145-153.

- [23] Lawal, O.S., Lechner, M.D., Kulicke, W.M., 2008, Single and multi-step carboxymethylation of water yam (*Dioscorea alata*) starch: Synthesis and characterization, Int J Biol Macromol. 42: 429–435.
- [24] Ogunjobi, J.K., Balogun, O.M. 2021, Isolation, modification and characterisation of cellulose from wild *Dioscorea bulbifera*, Sci Rep. 11: 1025.