

ผลของวิธีการทำแห้งต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพปริมาณไซยาไนด์คงเหลือ และคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของฟลาวมันสำปะหลังสายพันธุ์ระยอง 11

Effect of Drying Methods on Physicochemical Properties and Residual Cyanide Content of Cassava Flour from Rayong 11 Variety

กฤติกา ชุนหวีจิตร* และนิสากร ศรีธัญรัตน์
Krittika Chunwijitra* and Nisakorn Srithanyarat

สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะเกษตรและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนครพนม อำเภอเมือง จังหวัดนครพนม 48000

Department of Food Technology, Faculty of Agriculture and Technology, Nakhon Phanom University, Nakhon Phanom 48000

* Corresponding author: Krittika@npu.ac.th

(Received: 1 October 2023; Revised: 7 January 2024; Accepted: 15 January 2024)

Abstract

This research investigated the effects of five different drying methods (namely sun drying for 3 days, solar drying for 3 and 7 days, and hot air oven drying for 3 and 12 hrs) on the residual cyanide content and physicochemical properties of cassava flour from the Rayong 11 variety. The results show that sun drying was a highly effective method, with a cyanide reduction rate of 96.75%. This effectiveness is attributed to the prolonged enzymatic reaction time, allowing the linamarase enzyme to facilitate the hydrolysis of cyanogenic glycoside into cyanohydrin and free cyanide, compared to other drying methods. However, the color parameter, specifically the lightness (L^*), of the five samples of cassava flour dried using different methods ranged from 93.80 ± 0.05 to 97.17 ± 0.12 . The lightness (L^*) decreased, while redness (a^*) and yellowness (b^*) significantly increased with a statistical significance level ($p \leq 0.05$) as the drying duration increased. Cassava flour dried in the solar dryer for 3 days exhibited the highest peak viscosity (219 ± 1.4 RVU), while cassava flour dried in the solar dryer for 7 days exhibited the highest water absorption (2.12 ± 0.04 g/g dry weight). The cassava flour produced by all five methods had moisture content within the standard limit for cassava products, not exceeding 14.0% by dry weight and the water activity was lower than 0.6. The data from the studies indicates that it is possible to produce low-cyanide cassava flour from bitter cassava by sun drying or solar drying, which can be used as a database for future studies.

Keywords: Cassava flour, cyanide, physicochemical

บทคัดย่อ

การศึกษาผลของวิธีการทำแห้งที่แตกต่างกัน 5 วิธี (การตากแดดนาน 3 วัน การตากในโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์นาน 3 และ 7 วัน และการอบด้วยตู้อบลมร้อนนาน 3 และ 12 ชั่วโมง) ที่มีต่อปริมาณไซยาไนด์คงเหลือและคุณภาพทางเคมีกายภาพของฟลาวมันสำปะหลังสายพันธุ์ระยอง 11 พบว่า การทำแห้งด้วยการตากแดด

มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณไซยาไนด์สูงที่สุด คือ ร้อยละ 96.75 ในขณะที่คุณสมบัติด้านสีของฟลาวมันส์สำหรับผลิตภัณฑ์ได้ทั้ง 5 ตัวอย่างมีค่าความสว่างอยู่ที่ 93.80 ± 0.05 ถึง 97.17 ± 0.12 การเพิ่มระยะเวลาการทำแห้งส่งผลทำให้ค่าความสว่างลดลง ค่าความเป็นสีแดงและสีเหลืองเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ฟลาวมันส์สำหรับที่ได้จากการตากในโรงอบพลังงานแสงอาทิตย์นาน 3 วัน มีค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) มากที่สุด (219 ± 1.4 RVU) ในขณะที่ฟลาวมันส์สำหรับที่ได้จากการตากในโรงอบพลังงานแสงอาทิตย์นาน 7 วัน มีค่าการดูดซับน้ำมากที่สุด (2.12 ± 0.04 กรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) ทั้งนี้ฟลาวมันส์สำหรับที่ได้ทั้ง 5 วิธี มีค่าความชื้นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของผลิตภัณฑ์มันส์สำหรับ คือ ไม่เกินร้อยละ 14.0 โดยน้ำหนัก และค่าปริมาณน้ำอิสระของฟลาวมันส์สำหรับที่ได้มีค่าไม่เกิน 0.6 จากข้อมูลการศึกษาข้างชี้ว่า มีความเป็นไปได้ในการผลิตฟลาวมันส์สำหรับไซยาไนด์ต่ำจากมันส์สำหรับชนิดผสมด้วยวิธีการตากแดดหรือตากในโรงอบพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งสามารถใช้เป็นฐานข้อมูลการศึกษาในอนาคตต่อไป

คำสำคัญ: ฟลาวมันส์สำหรับ ไซยาไนด์ เคมีกายภาพ

คำนำ

มันส์สำหรับเป็นพืชที่ทนต่อสภาพภูมิอากาศที่แห้งแล้งและสภาพอากาศที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งปี อีกทั้งเป็นพืชที่อุดมไปด้วยคาร์โบไฮเดรตและเส้นใยอาหาร เป็นแหล่งของอาหารที่ให้พลังงานอันดับที่ 4 รองจากข้าว น้ำตาล และข้าวโพด มันส์สำหรับแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ ชนิดหวาน (sweet cassava) เป็นชนิดที่มีปริมาณไซยาไนด์และปริมาณแป้งต่ำ นิยมนำมาบริโภคโดยตรงแต่มีการปลูกที่น้อย และชนิดขม (bitter cassava) เป็นชนิดที่มีปริมาณแป้งสูงแต่มีไซยาไนด์สูงทำให้มีรสขมและเป็นพิษ ไม่สามารถบริโภคได้โดยตรง นิยมนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมผลิตแป้งมันส์สำหรับ อุตสาหกรรมผลิตเบียร์ และอาหารสัตว์ เป็นต้น มันส์สำหรับชนิดผสมมีผลผลิตปริมาณมากประมาณ 34 ล้านตันต่อปี ทำให้มีราคาขายที่ต่ำระหว่างปี พ.ศ. 2562 - 2566 มีราคาขายเฉลี่ยเพียงกิโลกรัมละ 2.15 ถึง 3.48 บาท (Thailand Tapioca Development Institute Foundation, 2023) ด้วยราคาขายที่ต่ำ อีกทั้งยังเป็นพืชที่ทนต่อสภาพภูมิอากาศและเป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรต จึงเป็นที่น่าสนใจในการนำมันส์

สำหรับชนิดผสมมาใช้ประโยชน์ในการเป็นอาหารหลักเพื่อแก้ไขภาวะขาดแคลนอาหารในประเทศยากจน เพื่อให้เกิดความมั่นคงทางอาหารของมนุษย์ อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดของมันส์สำหรับชนิดผสม คือ ปริมาณไซยาไนด์ที่สูง และมีการแปรรูปเฉพาะในระดับอุตสาหกรรมเท่านั้น

ฟลาวมันส์สำหรับ ได้จากการนำมันส์สำหรับมาอบแห้งแล้วปั่นโดยไม่มีการสกัดเยื่อใยอาหารออก มักทำมาจากมันส์สำหรับชนิดหวานเนื่องจากมีปริมาณไซยาไนด์ต่ำ ปัจจุบันมีการพัฒนานำเอามันส์สำหรับชนิดผสม เช่น พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 มาผลิตเป็นฟลาวมันส์สำหรับไซยาไนด์ต่ำในระดับอุตสาหกรรม (Dutchanee, 2022) ซึ่งต้องอาศัยเครื่องจักรเข้ามาช่วยในขั้นตอนกระบวนการผลิต อาทิเช่น เครื่องฟาน เครื่องสับ เครื่องตีบั่น ตู้อบลมร้อน เป็นต้น โดยฟลาวมันส์สำหรับที่ได้ สามารถนำมาใช้ทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ขนมอบและผลิตภัณฑ์อาหารประเภทเส้น สำหรับกลุ่มผู้บริโภคที่แพ้โปรตีนข้าวสาลีหรือกลูเตน แม้ฟลาวมันส์สำหรับที่ผลิตได้จากมันส์สำหรับชนิดผสมจะมีการนำมาใช้เพิ่มมากขึ้น แต่ก็ยังมีข้อจำกัด กล่าวคือ สามารถผลิตได้เฉพาะในระดับ

อุตสาหกรรมเนื่องจากต้องอาศัยเครื่องจักรราคาสูง กลุ่มประชาชนทั่วไปเข้าถึงวิธีการผลิตได้ยาก อีกทั้งยังไม่มีข้อมูลการศึกษาการผลิตฟลาวมันสำปะหลังด้วยวิธีอื่น ๆ มากนัก ดังนั้น จึงได้มีการศึกษาวิธีการผลิตฟลาวมันสำปะหลังอย่างง่าย โดยดัดแปลงวิธีการผลิตจากงานวิจัยของ Chotiniranat (2006) ที่ผลิตฟลาวมันสำปะหลังไชยาไนต์ต่ำจากพันธุ์เกษตรกร 50 ด้วยการใช้อุปกรณ์เครื่องมือที่มีในครัวเรือนตามความพร้อมและความเข้าถึงเครื่องมือของประชาชน พร้อมทั้งเปรียบเทียบวิธีการทำแห้งฟลาวมันสำปะหลัง ได้แก่ การตากแดดแบบธรรมชาติ การตากแห้งในโรงอบพลังงานแสงอาทิตย์ เปรียบเทียบกับการทำแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อน ซึ่งเป็นกระบวนการผลิตในระดับอุตสาหกรรมที่มีผลต่อปริมาณไชยาไนต์คงเหลือและคุณภาพทางเคมีกายภาพของฟลาวมันสำปะหลัง การวิจัยครั้งนี้จึงเลือกใช้มันสำปะหลังสายพันธุ์ระยอง 11 ซึ่งเป็นมันสำปะหลังประเภทที่มีรสขม และปลูกในจังหวัดนครพนมมาใช้ในการทดสอบ

อุปกรณ์และวิธีการ

การเตรียมฟลาวมันสำปะหลัง

นำมันสำปะหลังสายพันธุ์ระยอง 11 บนพื้นที่ปลูกในตำบลโพธิ์ตาก อำเภอเมืองนครพนม จังหวัดนครพนม มาเตรียมตัวอย่างโดยดัดแปลงจากวิธีของ Chotiniranat (2006) คือ นำสำปะหลังมาล้างทำความสะอาด ปอกเปลือก ฝานเป็นแผ่นบางขนาด 1-2 มิลลิเมตร บ่มที่อุณหภูมิห้องนาน 2 ชั่วโมง จากนั้นบีบน้ำออก ซึ่งตัวอย่าง 500 กรัม เพื่อใช้ทำแห้งด้วยวิธีต่าง ๆ ได้แก่ ตากแดดนาน 3 วัน ตากในโรงอบพลังงานแสงอาทิตย์นาน 3 และ 7 วัน และอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 3 และ 12 ชั่วโมง ในการศึกษาครั้งนี้ไม่กำหนดปริมาณค่าความชื้นสุดท้าย เนื่องจากต้องการศึกษาผลของวิธีการทำแห้งและระยะเวลาในการทำแห้งต่อประสิทธิภาพในการลดปริมาณไชยาไนต์ในฟลาวมันสำปะหลังเป็นหลัก จากนั้นนำตัวอย่างไปบดให้เป็นผงละเอียด แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 60 เมช บันทึกข้อมูลร้อยละของผลผลิตฟลาวมันสำปะหลัง และนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีกายภาพต่อไป

$$\text{ร้อยละของผลผลิตฟลาวมันสำปะหลัง (\% Yield)} = \frac{\text{น้ำหนักฟลาวมันสำปะหลัง}}{\text{น้ำหนักวัตถุดิบมันสำปะหลังสด}} \times 100$$

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design) ประกอบไปด้วย 5 ทรีทเมนต์ ได้แก่ การตากแดดนาน 3 วัน การตากในโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์นาน 3 และ 7 วัน และการอบด้วยตู้อบลมร้อนนาน 3 และ 12 ชั่วโมง โดยทำการทดลองทรีทเมนต์ละ 3 ซ้ำ ซ้ำละ 3 ตัวอย่าง นำข้อมูลที่ได้วิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT)

ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ SPSS Version 17

วิเคราะห์คุณภาพด้านสี

วิเคราะห์ค่าสี L^* a^* และ b^* ของฟลาวมันสำปะหลังสด ที่ได้จากการหั่นครึ่งหัวมัน แล้วนำเฉพาะส่วนเนื้อมาทำการวิเคราะห์ และฟลาวมันสำปะหลัง ด้วยเครื่องวัดสี (รุ่น CR-400, Minolta, Japan) โดยวัดค่าสีของแต่ละทรีทเมนต์จำนวน 3 ซ้ำ ซ้ำละ 3 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 3 จุด

วิเคราะห์ค่าการดูดซับน้ำของฟลาวมัน สำปะหลัง

ชั่งตัวอย่างฟลาวมันสำปะหลัง 2 กรัม ใส่ในหลอดเหวี่ยงที่ทราบน้ำหนัก จากนั้นเติมน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 30 นาที แล้วนำไปเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 4000 rpm นาน 25 นาที จากนั้นแยกสารละลายส่วนใสออกและชั่งน้ำส่วนที่เหลือ ทำการชั่งน้ำหนักเพื่อหาปริมาณน้ำที่ตัวอย่างดูดไว้ และคำนวณปริมาณน้ำที่ดูดซับต่อปริมาณตัวอย่างเริ่มต้น ทำการทดสอบทริทเมนต์ละ 3 ซ้ำ ซ้ำละ 3 ตัวอย่าง ตามวิธีของ Elkhailifa *et al.* (2005)

วิเคราะห์ค่าความหนืด

ชั่งตัวอย่างฟลาวมันสำปะหลัง 3 กรัม เติมน้ำกลั่น 25 กรัม ลงในถ้วยอะลูมิเนียม แล้วนำไป

วิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดความหนืด RVA (รุ่น RVA 4500, Perten Instruments, USA) โดยทำการทดสอบทริทเมนต์ละ 3 ซ้ำ ซ้ำละ 3 ตัวอย่าง ตาม Newport Scientific Method (1995)

วิเคราะห์ความชื้น

ชั่งน้ำหนักถ้วยอะลูมิเนียมที่ผ่านการอบแห้งจนมีน้ำหนักคงที่แล้วบันทึกน้ำหนักชั่งตัวอย่างใส่ลงในถ้วยอะลูมิเนียม 2 กรัม บันทึกน้ำหนัก นำตัวอย่างไปอบในตู้อบลมร้อนโดยเปิดฝากล้วยอะลูมิเนียมบางส่วน อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักตัวอย่างคงที่ คำนวณหาปริมาณความชื้น โดยทำการทดสอบทริทเมนต์ละ 3 ซ้ำ ซ้ำละ 3 ตัวอย่าง ตามวิธีของ AOAC (2005)

$$\text{ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ})}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}} \times 100$$

วิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี

วิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี (water activity: a_w) ด้วยเครื่องวัดกิจกรรมน้ำ (รุ่น LabMaster- a_w Neo, Novasina, Switzerland) ทำการทดสอบทริทเมนต์ละ 3 ซ้ำ ซ้ำละ 3 ตัวอย่าง

วิเคราะห์ปริมาณไซยาไนด์

ปริมาณไซยาไนด์วิเคราะห์ตามวิธีของ O' Brien *et al.* (1994) โดยนำตัวอย่างฟลาวมันสำปะหลังมาสกัดด้วยกรดฟอสฟอริก กรองเอาส่วนใส จากนั้นเติม 0.1 โมลาร์ฟอสเฟตบัฟเฟอร์และเอนไซม์ลินามาเลส บ่มไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที จากนั้นเติม 0.2 โมลาร์โซเดียมไฮดรอกไซด์

0.1 โมลาร์ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ และคลอลามีนที่ 0.2 มิลลิลิตร แล้วแช่น้ำเย็นนาน 5 นาที จากนั้นเติมสารละลายไพรีดีน/ไพราโซโลน 0.8 มิลลิลิตร (เตรียมโดยผสม 0.05 กรัม ไพราโซโลน และ 0.25 กรัม 3-methyl-1-phenyl-5-pyrazolone ละลายในไพรีดีน 50 มิลลิลิตร) ทิ้งไว้ 90 นาที ที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร โดยทำการทดสอบทริทเมนต์ละ 3 ซ้ำ ซ้ำละ 3 ตัวอย่าง เทียบกับกราฟมาตรฐานโดยใช้โปแตสเซียมไซยาไนด์ ความเข้มข้น 0-250 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรคำนวณปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมดโดยเทียบกับกราฟมาตรฐานโดยใช้สูตร

ปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง)

$$= \frac{B \times C \times \text{อัตราการเจือจางตัวอย่าง} \times 100}{\text{ความชื้นของกราฟมาตรฐาน} \times A \times (100 - M)}$$

เมื่อ A คือ น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)
B คือ ปริมาณสารที่ใช้สกัด (มิลลิกรัม)
C คือ ค่าการดูดกลืนแสง
M คือ ร้อยละของความชื้น

ผลการวิจัยและวิจารณ์

ผลการวิเคราะห์หัตถ์น้ำมันสำปะหลังสายพันธุ์ระยอง 11 พบว่า หัตถ์น้ำมันสำปะหลังสดมีปริมาณความชื้นเฉลี่ยอยู่ที่ ร้อยละ 65.88 ± 0.71 มีปริมาณไซยาไนด์ 1,297.20 ± 54.09 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง เมื่อทำการวิเคราะห์ค่าสีในระบบ CIE

แสดงผลในรูปแบบของค่า L* a* b* พบว่า หัตถ์น้ำมันสำปะหลังสดมีค่าความสว่าง (L*) อยู่ที่ 93.74 ± 4.08 ค่าความเป็นสีเขียว (-a*) อยู่ที่ -1.09 ± 0.39 และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) อยู่ที่ 13.95 ± 5.04 ดังแสดงใน Table 1

Table 1 Color, moisture content, and cyanide content of fresh cassava root

Sample	Color			Moisture content (%)	Cyanide content (mg/kg dry weight)
	L*	a*	b*		
Fresh cassava root	93.74±4.08	-1.09±0.39	13.95±5.04	65.88±0.71	1,297.20±54.09

Remarks: Mean values are the mean ± SD

เมื่อนำหัตถ์น้ำมันสำปะหลังมาทำแห้งด้วยวิธีที่แตกต่างกัน 5 วิธี ได้แก่ การทำแห้งโดยการตากแดด นาน 3 วัน การตากในโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ นาน 3 และ 7 วัน และการอบด้วยตู้อบลมร้อน นาน 3 และ 12 ชั่วโมง ทำการวิเคราะห์ปริมาณร้อยละของผลผลิตฟลาวมันสำปะหลัง (% Yield) พร้อมทั้งบันทึกระยะเวลาและอุณหภูมิระหว่างการแห้ง พบว่า ฟลาวมันสำปะหลังที่ทำแห้งโดยการอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง ได้ปริมาณร้อยละของผลผลิตฟลาวมันสำปะหลังมากที่สุด คือ ร้อยละ 33.79±0.79 การเพิ่มระยะเวลาในการทำแห้งมีผลทำให้ร้อยละของผลผลิตฟลาวมันสำปะหลังลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อุณหภูมิในการทำแห้งด้วย

วิธีการตากแดดและตากในโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์จะไม่คงที่ขึ้นอยู่กับช่วงเวลาและสภาพอากาศ โดยการตากในโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์จะมีอุณหภูมิสูงที่สุด คือ สูงถึง 60 องศาเซลเซียส (Table 2) ซึ่งทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในมันสำปะหลังส่งผลให้มันสำปะหลังมีสีที่คล้ำขึ้น ดังแสดงใน Figure 1 สอดคล้องกับผลวิเคราะห์คุณภาพด้านสี (Table 3) ของฟลาวมันสำปะหลังที่ได้จากวิธีการทำแห้งโดยการตากในโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ นาน 7 วัน มีค่าความสว่างน้อยที่สุด (93.80±0.05) และค่าความเป็นสีแดงสูงสุด (0.57±0.06) จากนั้นนำฟลาวมันสำปะหลังไปทำการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีกายภาพและปริมาณไซยาไนด์คงเหลือในฟลาวมันสำปะหลัง

Table 2 Drying temperature and percentage yield of cassava flour prepared by different drying methods

Method of drying	Temperature	% Yield
Sun-drying, 3 days	28-40 °C	30.10±0.40 ^b
Solar dryer, 3 days	32-60 °C	31.15±1.25 ^b
Solar dryer, 7 days	32-60 °C	22.94±0.96 ^c
Hot air oven, 3 hr.	50±2 °C	33.79±0.79 ^a
Hot air oven, 12 hr.	50±2 °C	23.38±0.70 ^c

Remarks: Mean values within columns with different superscripts are significantly different ($p \leq 0.05$).

Mean values are the mean $\pm$ SD

คุณภาพด้านกายภาพของฟลาวมันสำปะหลัง

ลักษณะปรากฏของมันสำปะหลังหลังผ่านการทำแห้งและฟลาวมันสำปะหลังที่ผลิตด้วยวิธีต่าง ๆ พบว่า ฟลาวมันสำปะหลังที่ได้จะมีสีขาว

อมเหลือง (Figure 1) สอดคล้องกับผลการทดสอบคุณภาพด้านความเป็นสีเหลืองของผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 6.67 ± 0.09 ถึง 9.67 ± 0.08 (Table 3)



Figure 1 Appearance of dried cassava and cassava flour prepared by different drying methods

ผลการทดสอบคุณภาพด้านสีของตัวอย่างฟลาวมันสำปะหลัง พบว่า ฟลาวมันสำปะหลังที่ผลิตได้จากการตากในโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์นาน 3 วัน และการอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง มีค่าความสว่างสูงที่สุด โดยมีค่าอยู่ที่ 97.17 ± 0.12 และ 96.95 ± 0.06 ตามลำดับ การทำแห้งโดยวิธีการตากในโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ นาน 7 วัน ส่งผลให้ฟลาวมันสำปะหลังที่ผลิตได้มีความสว่างน้อยที่สุด (93.80 ± 0.05) และค่าความเป็นสีแดงสูงสุด (0.57 ± 0.06) สอดคล้องกับลักษณะปรากฏใน Figure 1

ฟลาวมันสำปะหลังที่ได้จากการทำแห้งด้วยวิธีเดียวกัน การเพิ่มระยะเวลาในการทำแห้งจะส่งผลให้ค่าความสว่างลดลง ค่าความเป็นสีแดงและสีเหลืองเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากการทำแห้งทุกวิธีตัวอย่างมันสำปะหลังสัมผัสกับอากาศตลอดเวลาทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (enzymatic browning reaction) ที่เกิดจากสารประกอบฟีนอล เอนไซม์กลุ่มฟีนอเลสที่มีอยู่ในมันสำปะหลังทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศเกิดเป็นสารสีน้ำตาล ทั้งนี้อุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งยังไม่สูงเพียงพอที่จะสามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวได้ (Rattanapanon, 2006)

Table 3 Color of cassava flour prepared by different drying methods

Drying methods	color		
	L*	a*	b*
Sun-drying, 3 days	96.32±0.45 ^b	0.23±0.02 ^b	6.67±0.09 ^d
Solar dryer, 3 days	97.17±0.12 ^a	-0.67±0.03 ^d	7.31±0.12 ^c
Solar dryer, 7 days	93.80±0.05 ^d	0.57±0.06 ^a	7.76±0.15 ^b
Hot air oven, 3 hr.	96.95±0.06 ^a	-0.92±0.01 ^e	9.67±0.08 ^a
Hot air oven, 12 hr.	95.50±0.03 ^c	-0.34±0.03 ^c	7.35±0.08 ^c

Remarks: Mean values within columns with different superscripts are significantly different ($p \leq 0.05$).

Mean values are the mean $\pm$ SD

ค่าความชื้น ค่าปริมาณน้ำอิสระ และค่าการดูดซับน้ำของฟลาวมันสำปะหลัง

ค่าปริมาณความชื้นของฟลาวมันสำปะหลังทั้ง 5 ตัวอย่าง มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 6.43±0.12 ถึง 9.24±0.04 ทั้งนี้ค่าความชื้นของฟลาวมันสำปะหลังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง (Ministry of Commerce, 2002) คือ มีปริมาณความชื้นไม่เกินร้อยละ 14.0 โดยน้ำหนัก และค่าปริมาณน้ำอิสระของฟลาวมันสำปะหลังที่ได้มีค่าไม่เกิน 0.6 ส่งผลให้สามารถหยุดการทำงานของเอนไซม์ ชะลอการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของการเสื่อมเสีย และจุลินทรีย์ก่อโรค (USFDA, 2014) ส่งผลให้สามารถเก็บฟลาวมันสำปะหลังได้นาน

จาก Table 4 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าการดูดซับน้ำของฟลาวมันสำปะหลัง โดยฟลาวมันสำปะหลังที่ได้จากตากในโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์นาน 7 วัน มีค่าการดูดซับน้ำมากที่สุด คือ 2.12±0.04 กรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง รองลงมา คือ

ฟลาวมันสำปะหลังที่ได้จากการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง และ 12 ชั่วโมง ฟลาวมันสำปะหลังที่ได้จากการตากแดดนาน 3 วัน และตากในโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์นาน 7 วัน ซึ่งมีค่าอยู่ที่ 1.77±0.05, 1.71±0.10, 1.51±0.09 และ 1.49±0.04 กรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับรายงานผลการทดลองของ Chotiniranat (2006) ที่ศึกษาการพัฒนากระบวนการผลิตฟลาวมันสำปะหลังไฮยาไลนด์จากสายพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ซึ่งผลิตในระดับอุตสาหกรรมมีค่าการดูดซับน้ำอยู่ที่ 1.39±0.00, 1.24±0.01, 1.18±0.02 และ 1.29±0.04 กรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ที่อายุการเก็บเกี่ยว 6 8 10 และ 12 เดือน ตามลำดับ ทั้งนี้ ฟลาวมันสำปะหลังที่ค่าการดูดซับน้ำมากจะทำให้ค่าการละลายและพองตัวเพิ่มขึ้นส่งผลต่อการเกิดเจลลาติไนซ์ (Sriroth and Piyachomkwan, 2003)

Table 4 Moisture content, water activity, and water absorption of cassava flour prepared by different drying methods

Drying methods	Moisture content (%)	a_w	Water absorption (g/g dry weight)
Sun-drying, 3 days	9.24±0.04 ^a	0.4897±0.0031 ^a	1.51±0.09 ^c
Solar dryer, 3 days	6.43±0.12 ^d	0.3510±0.0098 ^d	1.49±0.04 ^c
Solar dryer, 7 days	6.84±0.08 ^c	0.4583±0.0038 ^b	2.12±0.04 ^a
Hot air oven, 3 hr.	7.46±0.02 ^b	0.4037±0.0091 ^c	1.77±0.05 ^b
Hot air oven, 12 hr.	7.59±0.03 ^b	0.3533±0.0046 ^d	1.71±0.10 ^b

Remarks: Mean values within columns with different superscripts are significantly different ($p \leq 0.05$).

Mean values are the mean $\pm$ SD

ปริมาณไซยาไนด์คงเหลือของฟลาวมันสำปะหลัง

จากการศึกษาพบว่า การทำแห้งในทุกวิธีมีประสิทธิผลลดไซยาไนด์ได้มากกว่าร้อยละ 85 เมื่อเทียบกับไซยาไนด์ในเนื้อมันสำปะหลังสด $1,297.20 \pm 54.09$ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง การลดลงของไซยาไนด์เป็นผลมาจากเอนไซม์ลินามาเรส (linamerase) หรือเบต้า-กลูโคซิเดส (β -glucosidase)

ที่มีอยู่ในมันสำปะหลังเกิดกระบวนการไฮโดรไลซิส (hydrolysis) เปลี่ยนไซยาไนด์ที่อยู่ในรูปของไซยาโนเจนิกไกลโคไซด์ (cyanogenic glycoside) เป็นไซยาโนไฮไดริน (cyanohydrin) และไซยาไนด์อิสระ (Figure 2) ซึ่งสามารถระเหยไปที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ขึ้นไป (Yamane *et al.*, 2010 ; Jaszczak *et al.*, 2017)

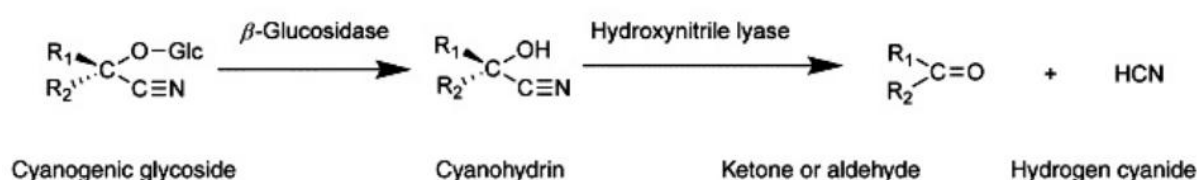


Figure 2 Cyanogenic glycosides and release of cyanide

จาก Table 5 แสดงให้เห็นว่า วิธีในการผลิตฟลาวมันสำปะหลังด้วยการตากแดดนาน 3 วัน ให้ประสิทธิภาพในการลดปริมาณไซยาไนด์สูงสุดคือ ร้อยละ 96.75 (ปริมาณไซยาไนด์ 42.20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง) ทั้งนี้เนื่องจากการตากแดดเป็นวิธีการทำแห้งแบบช้าที่อุณหภูมิ 28-40 องศาเซลเซียส ทำให้อัตราการระเหยของน้ำออกจากตัวอย่างอย่างเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ เอนไซม์ลินามาเรสที่ละลายอยู่ในน้ำจึงยังคงเกิดปฏิกิริยากับไซยาโนเจนิกไกลโคไซด์ได้นานกว่าวิธีการทำแห้งวิธีอื่น

(Lueanglawan and Suksombat, 2007) ในขณะที่การทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ลมร้อนมีการไหลทั่วทั้งตัวอย่างสม่ำเสมอ น้ำในตัวอย่างระเหยได้อย่างรวดเร็วส่งผลให้เอนไซม์ลินามาเรสสูญเสียไปพร้อมกับน้ำการเปลี่ยนไซยาโนเจนิกไกลโคไซด์ให้อยู่ในรูปที่ระเหยได้จึงเกิดได้น้อย และการเพิ่มระยะเวลาในการอบแห้งจาก 3 ชั่วโมง เป็น 12 ชั่วโมง มีผลทำให้ประสิทธิภาพในการลดปริมาณไซยาไนด์เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 84.62 เป็นร้อยละ 86.74 ทั้งนี้การเพิ่มระยะเวลาในการ

อบแห้งแม้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการลดไซยาไนด์ลงได้แต่เพิ่มเพียงร้อยละ 2 ซึ่งต้องให้พลังงานในการอบแห้งเพิ่มเป็น 4 เท่า ส่งผลต่อต้นทุนในการผลิตอีกทั้งปริมาณร้อยละของผลผลิตฟลาวมันสำปะหลังยังลดลงมากถึงร้อยละ 10.41 สำหรับการทำให้แห้งโดยการตากในโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณไซยาไนด์ลงประมาณร้อยละ 86 แต่ทว่าฟลาวมันสำปะหลังที่ได้จากทุกวิธีการผลิตยังคงมีปริมาณไซยาไนด์สูงกว่าค่าความปลอดภัยต่อผู้บริโภคตามที่มาตรฐานโคเด็กซ์ขององค์การอาหารและเกษตรและองค์การอนามัยโลกกำหนดไว้ ไม่เกิน 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง (Codex Alimentarius Commission, 1989) จะเห็นได้ว่าวิธีการทำให้แห้งมีผลต่อการลดลงของปริมาณไซยาไนด์ในฟลาวมันสำปะหลัง ในขณะที่การเพิ่ม

ระยะเวลาในการทำให้แห้งไม่มีผลต่อการลดลงของปริมาณไซยาไนด์ในฟลาวมันสำปะหลังมากนัก โดย การลดลงของปริมาณไซยาไนด์ในฟลาวมันสำปะหลังจะเกิดจากการทำงานของเอนไซม์เอนไซม์ลินามาเรสเป็นหลัก ดังนั้น ควรมีการเพิ่มประสิทธิภาพหรือระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาของเอนไซม์ลินามาเรสด้วยการปรับปรุงในส่วนของการขั้นตอนการผลิต เช่น การลดขนาดมันสำปะหลังให้เล็กลงด้วยวิธีการสับหรือขูดฝอย การเพิ่มเวลาในการบ่มก่อนนำไปทำให้แห้ง หรือหากนำฟลาวมันสำปะหลังไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่อไปควรใช้วิธีการแปรรูปที่มีอุณหภูมิ 165 องศาเซลเซียสขึ้นไป ตามรายงานของ Bourdoux *et al.* (1982) รายงานว่าการให้ความร้อนมันสำปะหลังที่อุณหภูมิ 165 องศาเซลเซียส มีผลทำให้มันสำปะหลังมีปริมาณไซยาไนด์ลงเหลือน้อยกว่า 1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

Table 5 Cyanide contents and percentage reduction of cyanide in cassava flour prepared by different drying methods compared to fresh cassava root

Drying methods	Cyanide contents (mg/kg dry weight)	*Cyanide reduction (%)
Sun-drying, 3 days	42.20±0.86 ^c	96.75
Solar dryer, 3 days	178.78±0.44 ^b	86.28
Solar dryer, 7 days	171.83±0.36 ^b	86.82
Hot air oven, 3 hr.	199.55±0.43 ^a	84.62
Hot air oven, 12 hr.	172.01±0.04 ^b	86.74

Remarks: Means within columns with different superscripts are significantly different ($p \leq 0.05$)

Mean values are the mean $\pm$ SD

* Compare with cyanide content in fresh cassava root 1,297.20±54.09 mg/kg dry weight

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการลดปริมาณไซยาไนด์และปริมาณร้อยละของผลผลิตฟลาวมันสำปะหลังของการผลิตที่แตกต่างกันทั้ง 5 วิธี ผู้วิจัยจึงเลือกฟลาวมันสำปะหลังที่ได้จากวิธีการผลิต 1) การตากแดด นาน 3 วัน 2) การตากในโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ 3 วัน และ 3) การอบด้วยตู้อบลมร้อน นาน 3 ชั่วโมง ไปวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความหนืด ผลการวิเคราะห์พบว่า

วิธีการผลิตฟลาวมันสำปะหลังที่ต่างกันมีผลทำให้ค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ค่าความหนืดต่ำสุด (trough, RVU) และค่าความหนืดเมื่อยุบตัว (breakdown) ของฟลาวมันสำปะหลังมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยค่าความหนืดสูงสุดของฟลาวมันสำปะหลังที่ได้จากการตากในโรงอบพลังงานแสงอาทิตย์นาน 3 วัน มีค่าสูงสุด คือ

219.0±1.4 RVU กล่าวคือ ฟลาวมันสำปะหลังที่ผลิตโดยการตากในโรงอบพลังงานแสงอาทิตย์มีความหนืดสูงสุดในช่วงการให้ความร้อนซึ่งเป็นจุดที่เกิดเจลลาคติในเซชันสมบูรณ์มากกว่า เนื่องจากเมล็ดแป้งมีกำลังพองตัวได้ดีกว่า (Siroth and Piyachomkwan, 2003) เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความหนืดของแป้งมันสำปะหลังทางการค้าจากรายงานการวิจัยของ Ritthirueangdet *et al.* (2003) ที่พบว่า ฟลาวมันสำปะหลังที่ได้จากการผลิตทั้ง 3 วิธี มีค่าความหนืดสูงสุดต่ำกว่าแป้งมันสำปะหลังทางการค้า (310.67 ± 0.0 RVU) ซึ่งเป็นผลมาจากการสกัดเยื่อใยออกจากแป้งมันสำปะหลัง จึงส่งผลให้มีปริมาณแป้งสูงกว่าฟลาวมันสำปะหลัง ดังนั้น แป้งมันสำปะหลังจึงมีปริมาณแป้งที่จะเกิดการพองตัวและให้ความหนืดได้มากกว่า อีกทั้งฟลาวมันสำปะหลังมีเส้นใยอาหารชนิดที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ (insoluble dietary fiber) ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสและลิกนินอยู่ (Chotiniranat, 2006) ซึ่งไม่ละลายในน้ำแต่จะพองตัวในน้ำ และไม่ให้ความหนืด (Dai and Chau, 2017) เมื่อพิจารณาค่าความหนืดสูงสุดของฟลาวมันสำปะหลังที่ได้ทั้ง 3 วิธี ที่มีค่าอยู่ที่ 191.3 ± 0.3 ถึง 219.0 ± 1.4 RVU พบว่าค่าจะใกล้เคียงกับแป้งสาลีทางการค้า (216.21 ± 2.3 RVU) ที่ได้จากรายงานการวิจัยของ Charoenthaikit (2012) ด้วยเหตุนี้จึงมีงานวิจัยที่ใช้ฟลาวมันสำปะหลังไปใช้ทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น คุกกี้ (Rujirapisit and Sangkaeo, 2013) พาสต้า (Weeranuttaranon, 2022) เป็นต้น

ฟลาวมันสำปะหลังที่ตากในโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ 3 วัน มีค่าความหนืดเมื่อยุบตัวสูงสุด ส่งผลให้ ฟลาวมันสำปะหลังที่ผลิตจากวิธีดังกล่าวมีความทนต่ออุณหภูมิมากฟลาวมันสำปะหลังที่ตากแดดและอบด้วยตู้อบลมร้อนนาน 3 ชั่วโมง และอุณหภูมิที่เริ่มเกิดเจลลาคติในเซชัน (pasting temp) ของตัวอย่างที่ผลิตได้จากทั้ง 3 วิธี ไม่แตกต่างกัน โดยมีค่าอยู่ 74.00 ± 0.57 ถึง 74.38 ± 0.11 องศาเซลเซียส

สรุปผลการวิจัย

การนำมันสำปะหลังสายพันธุ์ระยอง 11 ซึ่งเป็นมันสำปะหลังชนิดขนม ที่มีปริมาณไซยาไนด์สูง มาผ่านกระบวนการแปรรูปอย่างง่าย เป็นผลิตภัณฑ์ฟลาวมันสำปะหลังและทำแห้งด้วยวิธีที่แตกต่างกัน 5 วิธี (การตากแดดนาน 3 วัน ตากในโรงอบพลังงานแสงอาทิตย์นาน 3 และ 7 วัน และอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 3 และ 12 ชั่วโมง) สามารถลดปริมาณไซยาไนด์ได้มากถึง ร้อยละ 84.62 ถึง 96.75 โดยปัจจัยหลักในการลดปริมาณไซยาไนด์ คือ ระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของสารประกอบไซยาไนด์ โดยเอนไซม์ลินามาเรส ซึ่งเกิดในกระบวนการบ่มและการทำแห้งแบบช้า ส่งผลให้วิธีการทำแห้งด้วยการตากแดดมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณไซยาไนด์ได้สูงสุด คือ ร้อยละ 96.75 การเพิ่มระยะเวลาในการทำแห้งไม่มีผลต่อประสิทธิภาพในการลดปริมาณไซยาไนด์มากนัก แต่จะทำให้ฟลาวมันสำปะหลังที่ได้มีสีคล้ำ ค่าความสว่างลดลง ค่าการดูดซับน้ำและค่าความหนืดสูงขึ้น ดังนั้น จึงมีความเป็นไปได้ในการผลิตฟลาวมันสำปะหลังจากมันสำปะหลังสายพันธุ์ระยอง 11 ด้วยเครื่องมืออุปกรณ์ในระดับครัวเรือนหรือชุมชน โดยการทำแห้งด้วยการตากแดดหรือตากในโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณไซยาไนด์ได้ดีกว่าการอบด้วยตู้อบลมร้อน ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ในระดับอุตสาหกรรมและต้องลงทุนในส่วน of เครื่องจักร ทั้งนี้ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของการปรับปรุงขั้นตอนการผลิตต่อไป เช่น การลดขนาดมันสำปะหลังให้เล็กลงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์ การเพิ่มระยะเวลาในการบ่มหรือเลือกใช้มันสำปะหลังสายพันธุ์ที่มีปริมาณไซยาไนด์เริ่มต้นที่ต่ำลง เพื่อให้ฟลาวมันสำปะหลังที่ผลิตได้มีปริมาณไซยาไนด์อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานโคเด็กซ์ขององค์การอาหารและเกษตรและองค์การอนามัยโลกกำหนดไว้ คือ ไม่เกิน 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง (Codex Alimentarius Commission, 1989)

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกองทุนวิจัยและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยนครพนม ที่สนับสนุนเงินทุนการวิจัย และคณะเกษตรและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัย นครพนม ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการ ศึกษาวิจัยครั้งนี้จนเสร็จสมบูรณ์

เอกสารอ้างอิง

AOAC. 2005. Official Methods of Analysis. 18th Edition. AOAC International, Maryland.

Bourdoux, P., P. Seghers, M. Mafuta, M. Vandrpas-Rivera, F. Delange and A.M. Ermans. 1982. Cassava products: HCN content and detoxification process. pp. 51-58. *In*: F. Delange, F.B. Iteke and A.M. Ermans AM, (eds.). Nutritional factors involved in the goitrogenic action of cassava. IDRC, Ottawa.

Charoenthaikit, P. 2012. Development of Bread from Wheat Flour Mixed with Glutinous Rice Flour. Available: http://thesis.swu.ac.th/swufac/Agri_Tec/Panthipa_J_R415610.pdf (March 23, 2022). [in Thai]

Chotiniranat, S. 2006. Development of Low Cyanide Cassava Flour Production Process from Kasetsart 50 and its Utilization in Food Products. Doctor of Philosophy Thesis in Agro-Industrial Product Development, Faculty of Agro-Industry, Kasetsart University. [in Thai]

Codex Alimentarius Commission. 1989. Codex Regional Standard: Part C. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FOA). Rome, Italy.

Dai, J.F. and C.F. Chau. 2017. Classification and regulatory perspectives of dietary fiber. *Journal of Food and Drug Analysis*. 25(1): 37-42. Available: <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2016.09.006>.

Dutchanee, S. 2022. Cassava Flour. Available: <https://waa.inter.nstda.or.th/stks/pub/nac/2022/exhibition/BCG49-document06.pdf> (March 28, 2022).

Elkhalifa, A.E.O., B. Schiffer and R. Bernhardt. 2005. Effect of fermentation on the functional properties of sorghum flour. *Food Chemistry*. 92(1): 1-5. Available: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.05.058>.

Jaszczak, E., Ż. Polkowska, S. Narkowicz and J. Namieśnik. 2017. Cyanides in the Environment- Analysis-Problems. *Environmental Science and Pollution Research*. 24: 15929–15948. Available: <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9081-7>.

Lueanglawan, P. and W. Suksombat. 2007. Cassava Pulp and its Utilization in Dairy Cow Feed. Available: http://sutir.sut.ac.th:8080/jspui/bitstream/123456789/2092/1/BIB1294_F.pdf (March 23, 2022). [in Thai]

Ministry of Commerce. 2002. Notification on the designation of cassava products as standard products and standards for cassava products. *Royal Gazette*. 19(Special Issue 21D) pp. 1-2. [in Thai]

- Newport Scientific. 1995. Operation manual for the series 4 Rapid Visco Analyzer. Newport Scientific Pty, Ltd., Australia.
- O' Brien, G.M. and D.M. Jones. 1994. Processing approaches to optimising raw materials and end product quality in the production of cassava flours. pp. 183-192. *In*: M. Bokanga, A.J.A. Essers, N. Poulter, Rosling H. and O. Tewe (eds.). International Workshop on Cassava Safety. Acta Horticulturae, Ibadan.
- Rattanapanon, N. 2006. Food Chemistry. Odeon Store, Bangkok. [in Thai]
- Ritthirueangdet, P., T. Suwansichon, V. Harutaitanasan and K. Sriroth. 2003. Viscosity Behavior and Mechanical Properties of Arrowroot Starch (*Tacca leontopetaloides* Ktze.). The 41st Kasetsart University Annual Conference, 3-7 February. Kasetsart University, Bangkok. pp. 53-60. [in Thai]
- Sriroth, K. and K. Piyachomkwan. 2003. Starch Technology. Department of Biotechnology, Faculty of Agro-Industry, Kasetsart University, Bangkok. [in Thai]
- Thailand Tapioca Development Institute Foundation. 2023. Domestic Root Price. Available: <https://tapiocathai.org/Graph/domestice%20root%20price.pdf> (November 23, 2023). [in Thai]
- Weeranuttaranon, J. 2022. Texture Properties of Pasta Using Cassava Flour as a Substitute for Wheat Flour. *Journal of Science and Technology*. 30(2): 14-22. [in Thai]
- Yamane, H., K. Konno, M. Sabelis, J. Takabayashi, T. Sassa. and H. Oikawa. 2010. Chemical defence and toxins of plants. pp. 339-385. *In*: L. Mander and H.W. Lui. (eds.). Comprehensive natural products II chemistry and biology. Elsevier, Amsterdam.