

การวิเคราะห์ปริมาณไซยาไนด์ในมันสำปะหลังแผ่นด้วยเทคนิคสเปกโตรสโกปีโดยใช้ปฏิกิริยาการเกิด
สารประกอบสีม่วงไดแอนอนไอออนของโอไนโตรฟีนิลไฮดรอกซีลามีน
Determination of Cyanide Content in Cassava Chip with Spectroscopy Using Reaction to form a
Purple Color Compound of Dianion of *o*-Nitrophenyl Hydroxylamine

นงนุช สังข์ช้อย¹, ชนากานต์ นาคเวช², สวามินี ไชยสวัสดิ์², กนกพร ไตรวิทยากร³, รุ่งทิพา วงศกรทรัพย์²
Sungayuth, N.¹, Nakkawet, C.², Chaisawet, S.², Triwitayakorn, K.³, Wongsagonsup, R.²

Abstract

As recommended by the World Health Organization as safe limit for consumers, the maximal residue cyanide content in cassava chips is 10 ppm. Therefore, this research aimed to determine cyanide content in cassava chips after using different pretreatment methods and conditions with a spectrophotometer using reaction to form a purple color of dianion of *o*-nitrophenyl hydroxylamine. Bitter cassava chips were subjected to blanching treatment at 70°C for 0, 15, 20 and 25 min, microwave treatment at 450 W for 0, 4, 7 and 10 min, and ultrasonic treatment at 600 W for 0, 10, 15 and 20 min. The optimum conditions for cyanide content reduction in each treatment were blanching for 25 min, microwave for 7 min and ultrasonic for 20 min, which can reduce the cyanide content up to 93.99, 95.36 and 92.86%, respectively, and the amount of cyanide decreases range to 4-6 mg/kg.

Keywords: Cyanide, Bitter cassava, Treatment methods, *o*-nitrophenyl hydroxylamine, purple color compound

บทคัดย่อ

ปริมาณไซยาไนด์ในมันสำปะหลังแผ่นตามที่ World Health Organization กำหนดนั้น ต้องมีปริมาณคงเหลือสูงสุดไม่เกิน 10 พีพีเอ็ม ในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ปริมาณไซยาไนด์ในมันสำปะหลังแผ่นหลังผ่านกระบวนการที่แตกต่างกัน โดยวิเคราะห์ด้วยปฏิกิริยาเคมีที่เกิดสารประกอบสีม่วงของโอไนโตรฟีนิลไฮดรอกซีลามีนและวัดค่าด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ โดยการนำมันสำปะหลังชนิดขมแผ่นบางผ่านกระบวนการที่รีดเม้นต์ ได้แก่ การลวกที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 0 15 20 และ 25 นาที ไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 450 W เป็นเวลา 0 4 7 และ 10 นาที และการที่รีดเม้นต์ด้วยการอัลตราโซนิคที่กำลังไฟฟ้า 600 W เป็นเวลา 0 10 15 และ 20 นาที พบว่าสภาวะที่เหมาะสม คือ การลวกเป็นเวลา 25 นาที ไมโครเวฟ 7 นาที และ อัลตราโซนิค 20 นาที ซึ่งสามารถลดปริมาณไซยาไนด์ได้ถึงร้อยละ 93.99 95.36 และ 92.86 ตามลำดับ และปริมาณไซยาไนด์อยู่ในช่วง 4-6 mg/kg

คำสำคัญ: ไซยาไนด์ มันสำปะหลังชนิดขม วิธีการที่รีดเม้นต์ โอไนโตรฟีนิลไฮดรอกซีลามีน สารประกอบสีม่วง

คำนำ

มันสำปะหลัง (*Manihot esculenta* Crantz) เป็นไม้พุ่มที่อยู่ในวงศ์ spurge (Euphorbiaceae) (Shigaki, 2016) ปลูกง่ายให้ผลผลิตดีในสภาพแวดล้อมที่ดี แม้ในสภาวะดินที่ไม่ดี มีความแห้งแล้งสูงมันสำปะหลังยังสามารถเจริญเติบโตได้ จึงทำให้มันสำปะหลังเป็นพืชที่สำคัญเป็นอันดับ 5 ของโลก รองจากข้าวสาลี ข้าวโพด ข้าว และมันฝรั่ง ซึ่งทุกส่วนของมันสำปะหลังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทั้งหมด (Junior และคณะ, 2019)

ไซยาไนด์ (cyanide) เป็นสารพิษที่มีฤทธิ์รุนแรง เมื่อได้รับไซยาไนด์ในปริมาณสูงทำให้เกิดปัญหาสุขภาพและความปลอดภัยของผู้บริโภค ซึ่งอาจทำให้เกิดอาการคลื่นไส้ อาเจียน ท้องร่วง เวียนศีรษะ ร่างกายอ่อนแรง และก่อให้เกิดโรคทางระบบประสาท เกิดความผิดปกติของต่อมไทรอยด์ และอัมพาตแบบไม่สามารหายได้ นอกจากนี้ในบางกรณีอาจส่งผลถึงแก่ชีวิตได้

¹ หลักสูตรวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล วิทยาเขตกาญจนบุรี 199 ต.ลุ่มสุ่ม อ.ไทรโยค จ.กาญจนบุรี 71150

² Division of Science and Liberal Arts, Mahidol University, Kanchanaburi Campus 199 Lumsum Saiyok Kanchanaburi 71150

³ หลักสูตรเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยมหิดล วิทยาเขตกาญจนบุรี 199 ต.ลุ่มสุ่ม อ.ไทรโยค จ.กาญจนบุรี 71150

² Food Technology, Mahidol University, Kanchanaburi Campus 199 Lumsum Saiyok Kanchanaburi 71150

³ สถาบันชีววิทยาศาสตร์โมเลกุล มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา 25/25 พุทธมณฑลสาย 4 ศาลายา, นครปฐม ,73170

³ Institute of Molecular Biosciences, Mahidol University 25/25 Phutthamonthon sai4 Salaya, Nakhon Pathom, 73170

เนื่องจากไซยาไนด์จะมีการยับยั้งการหายใจของเซลล์ (Zhang และคณะ, 2019) ดังนั้น Nigerian Industrial Standards (NIS) และ Codex Alimentarius Commission (CAC) จึงกำหนดให้มีปริมาณของไซยาไนด์ ที่พบในผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังสูงสุดได้ไม่เกิน 10 mg/kg ถึงแม้ว่าไซยาไนด์จะมีความเป็นพิษสูงแต่ด้วยคุณสมบัติที่สามารถละลายน้ำได้และจุดเดือดต่ำอุณหภูมิอยู่ที่ 26 °C (Bikhit et al, 2017) จึงทำให้สามารถลดปริมาณของไซยาไนด์ได้โดยการแช่หรือทำการหมักมันสำปะหลังด้วยน้ำ และการนำไปผ่านการให้ความร้อนด้วยวิธีการต่างๆ เช่น การทอด การต้มด้วยน้ำร้อน การนำไปอบด้วยตู้อบลมร้อน หรือการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ คลื่นอัลตราโซนิก เป็นต้น ซึ่งในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมาได้มีการใช้วิธีการต่างๆ เพื่อลดปริมาณของไซยาไนด์ในพืชสำคัญทางเศรษฐกิจบางชนิด เช่น มันสำปะหลัง เมล็ดแฟลกซ์และอัลมอนต์ ในปัจจุบันยังไม่มีกรรมวิธีที่แตกต่างกันมาทดลองปริมาณของไซยาไนด์ในผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังชนิดแผ่นบาง ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาเพื่อประเมินความเป็นไปได้ในการใช้วิธีการทรีตเมนต์ที่แตกต่างกันทั้ง 3 วิธี ได้แก่ การลวก การให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ และการใช้คลื่นอัลตราโซนิก รวมถึงการทอดหลังผ่านวิธีการทรีตเมนต์แบบต่างๆ เพื่อลดปริมาณไซยาไนด์ในมันสำปะหลังชนิดแผ่นบางให้มีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค

อุปกรณ์และวิธีการ

มันสำปะหลังสด (ชนิดขม) ใช้สายพันธุ์เกษตรศาสตร์ 72 ที่เพาะปลูกในเดือน พ.ค. 2563 โดยเก็บตัวอย่างมันสำปะหลังในเดือน ก.พ. 2564 (อายุ 9-10 เดือน) ซึ่งอยู่ในพื้นที่หมู่ 2 ตำบลสิงห์ อำเภอไทรโยค จังหวัดกาญจนบุรี นำหัวมันสำปะหลังสดมาทำการล้างด้วยน้ำสะอาด ซับด้วยกระดาษทิชชูและวางทิ้งไว้ให้แห้ง จากนั้นนำ หัวมันสำปะหลังบรรจุในถุงก่อนนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C เมื่อต้องการนำมาทดลอง นำหัวมันสำปะหลังออกจากตู้เย็นแล้วทำการลอกเปลือกมันสำปะหลังและสไลด์เป็นแผ่นบางขนาด 1.5 มิลลิเมตรด้วยเครื่องสไลด์ เพื่อให้ได้ขนาดที่สม่ำเสมอ ก่อนนำไปผ่านกระบวนการทรีตเมนต์ที่แตกต่างกัน

วิธีการทรีตเมนต์ มีการออกแบบการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design : RCBD) เนื่องจากหัวมันสำปะหลังแต่ละหัวให้ค่าปริมาณไซยาไนด์เริ่มต้นไม่เท่ากัน จึงต้องทำบล็อกเพื่อผลการทดลองที่สมบูรณ์

โดยมีวิธีการทรีตเมนต์ 3 วิธี ได้แก่ การลวก ไมโครเวฟ และอัลตราโซนิก โดยใช้ตัวอย่างมันสำปะหลังที่สไลด์เป็นแผ่นบางจำนวน 50 กรัม มาผ่านวิธีการที่ 1 การลวกที่อุณหภูมิ 70 °C ที่เวลา 0 15 20 25 นาที วิธีการที่ 2 ไมโครเวฟ ที่กำลัง 450 w ที่เวลา 0 4 7 และ 10 นาที และวิธีการที่ 3 อัลตราโซนิก ที่กำลังไฟฟ้า 450 w เป็นเวลา 0 4 7 และ 10 นาที จากนั้นทำการล้างแผ่นมันสำปะหลังด้วยน้ำกลั่น เพื่อทำความสะอาดเมื่อก่อน แล้วนำไปวิเคราะห์ปริมาณไซยาไนด์และวัดค่าสีทันที สำหรับตัวอย่างที่เหลือจากการนำไปวิเคราะห์ปริมาณไซยาไนด์ทำการ จัดเก็บในถุงซิปล็อคและเก็บที่อุณหภูมิ -20 °C เพื่อใช้สำหรับการทอดมันสำปะหลังแผ่นบางต่อไป

การสร้างกราฟมาตรฐาน (standard curve) ทำการเตรียมเป็นสารละลายโพแทสเซียมไซยาไนด์มาตรฐาน (KCN) 1 mg CN/kg (จาก stock standard solution 10 mg CN/kg) ที่มีปริมาณไซยาไนด์ 0.0005 0.0010 0.0015 และ 0.0020 มิลลิกรัมไซยาไนด์ ตามลำดับ

การสกัดและการวิเคราะห์ปริมาณไซยาไนด์ โดยทำการชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 50 mg (น้ำหนักเปียก) สำหรับตัวอย่างมันสำปะหลังสดและชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 100 mg (น้ำหนักเปียก) สำหรับตัวอย่างที่ผ่านการทรีตเมนต์ก่อนทอด เนื่องจากตัวอย่างมันสำปะหลังสดมีปริมาณไซยาไนด์สูง จึงต้องใช้ปริมาณตัวอย่างน้อยแต่ตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการทรีตเมนต์ก่อนทอด ปริมาณไซยาไนด์ลดลงจึงต้องเพิ่มน้ำหนักตัวอย่าง เพื่อให้อยู่ในช่วงของกราฟมาตรฐาน จากนั้นนำตัวอย่างที่ซั่งใส่ลงในขวดพลาสติกขนาด 20 ml เติมนอนโซลีนามาลาส (4 U) ปริมาณ 0.05 g และ phosphate buffer (0.1M, pH 6) ปริมาตร 0.5 ml ทำการปิดฝาให้สนิท นำแผ่นกระดาษที่ผ่านการเตรียมตามขั้นตอนทำการกราฟมาตรฐาน จากนั้นใส่ลงในขวดปิดฝาแล้วตั้งทิ้งไว้ 10 นาที เมื่อครบเวลานำแผ่นกระดาษ จากขวดพลาสติกไปที่หลอด centrifuge ขนาด 15 มิลลิเมตร ที่มีสาร Sodium Tetraborate buffer pH 9 ปริมาตร 1 ml ทำการผสมโดยการเขย่าด้วยเครื่องเขย่า เป็นเวลา 20 นาที ดูดส่วนใสที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ที่ 540 nm ด้วยเครื่อง microplate reader แล้วจึงนำไปเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานปริมาณไซยาไนด์ (standard curve) โดยมีสมการ ดังนี้ $y = 264x - 0.0885$ และค่า R^2 เท่ากับ 0.9982 โดย y คือ ค่าการดูดกลืนแสง และ x คือ มิลลิกรัมของไซยาไนด์

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการศึกษาการสูญเสียไซยาไนด์หลังการลวกมันสำปะหลังชนิดขมแผ่นบางที่อุณหภูมิ 70 °C ภายใต้เวลาที่แตกต่างกัน ดังแสดงใน **Table 1** พบว่า ปริมาณไซยาไนด์ลดลงเมื่อเวลาที่ใช้ในการลวกเพิ่มขึ้น การลดลงของปริมาณไซยาไนด์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยที่เวลา 25 นาทีปริมาณไซยาไนด์ลดลงมากที่สุดจาก 80.66 mg/kg (ในหัวมันสำปะหลังสด) เป็น 4.85 mg/kg คิดเป็นการลดลงของปริมาณไซยาไนด์เท่ากับร้อยละ 93.99 การลดลงของปริมาณไซยาไนด์เป็นผลมาจากกิจกรรมของเอนไซม์ linamarase ถูกกระตุ้นด้วยอุณหภูมิในช่วงอุณหภูมิ 70 °C ซึ่งช่วยเพิ่มความสามารถในการเปลี่ยน linamarin เป็น

โซยานินด์ (Yu และคณะ, 2005; Jaswal และคณะ, 2018) และเวลาการลวกที่เพิ่มมากขึ้นช่วยส่งเสริมให้โซยานินด์ที่เกิดขึ้นละลายน้ำและถูกระเหยมากขึ้น เนื่องจากโซยานินด์มีคุณสมบัติสามารถละลายน้ำได้ และจุดเดือดต่ำ (25.7–26.5°C) (Khare และคณะ, 1994) รวมถึงการลวกมีการก่อตัวของไอน้ำ โดยไอน้ำที่เกิดขึ้นอาจทำให้อัตราการระเหยของโซยานินด์เพิ่มขึ้นและสามารถกำจัดโซยานินด์ได้ในระดับหนึ่ง (Yang, 2004; Ishiwu และคณะ, 2015) ดังนั้นการกระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์ linamarase ให้เพิ่มขึ้นและการเร่งการระเหยของน้ำ จะส่งผลให้ปริมาณโซยานินด์ลดลงได้ด้วยวิธีการแปรรูปด้วยการลวก

จากการศึกษาการสูญเสียโซยานินด์หลังการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 450 W ของมันสำปะหลังชนิดขมแผ่นบางภายใต้เวลาที่แตกต่างกัน พบว่า ปริมาณโซยานินด์ลดลงเมื่อเวลาที่ใช้ในการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟเพิ่มขึ้นที่กำลังวัตต์เท่ากันและพบว่า ที่เวลา 7 และ 10 นาที การลดลงของปริมาณโซยานินด์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ที่เวลา 4, 7 และ 10 นาทีปริมาณโซยานินด์ลดลงจาก 101.87 mg/kg (ในหัวมันสำปะหลังสด) เป็น 5.83, 4.73 และ 5.18 mg/kg ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละการลดลงของปริมาณโซยานินด์เท่ากับ 94.28, 95.36 และ 94.92 ตามลำดับ การให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟสามารถลดปริมาณโซยานินด์ได้เนื่องจากโมเลกุลน้ำของมันสำปะหลังและโมเลกุลน้ำเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน โดยเมื่อโมเลกุลของน้ำอยู่ในสนามไฟฟ้า จะเกิดการจัดเรียงตัวของโมเลกุลให้ทิศทางการเดียวกับสนามไฟฟ้า แต่เนื่องจากสนามไฟฟ้ามีการสลับขั้ว โมเลกุลน้ำจึงเกิดการหมุนและสั่นสะเทือน ทำให้เกิดพลังงานจลน์และเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนในที่สุด ซึ่งในระหว่างการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจึงเป็นการเพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์ linamarase ในการเปลี่ยน linamarin ให้เป็นโซยานินด์ และโซยานินด์ที่เกิดขึ้นจะถูกกำจัดไปพร้อมกับน้ำที่มีการระเหย (Yu และคณะ, 2005; Jaswal และคณะ, 2018) ปริมาณโซยานินด์ในมันสำปะหลังชนิดขมแผ่นบางลดลงอย่างมากเมื่อเพิ่มเวลาในการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ แต่เมื่ออุณหภูมิถึงจุดหนึ่งจะทำให้การทำงานของเอนไซม์ลดลง ส่งผลต่อการลดลงของปริมาณโซยานินด์ที่ไม่เพิ่มขึ้น (Feng และคณะ, 2003; Yang, 2004)

จากการศึกษาการลดลงของปริมาณโซยานินด์หลังการอัลตราโซนิกที่กำลังไฟฟ้า 600 W ความถี่ 45 Hz ของมันสำปะหลังชนิดขมแผ่นบางภายใต้เวลาที่แตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่า ปริมาณโซยานินด์ลดลงเมื่อเวลาที่ใช้ในการอัลตราโซนิกเพิ่มขึ้นที่กำลังไฟฟ้าเท่ากัน การลดลงของปริมาณโซยานินด์เกิดขึ้นเนื่องจากคลื่นอัลตราโซนิกเป็นคลื่นเสียงพลังงานสูง ซึ่งจะทำให้การเปลี่ยนของเหลวคือน้ำให้เป็นฟองอากาศเรียกว่า ปรากฏการณ์ cavitation โดยกลไกที่เกิดขึ้นเป็นการเปลี่ยนแปลงความดัน เมื่อความดันลดลงจะทำให้เกิดจุดเดือดลดลง ส่งผลให้น้ำที่มีสถานะเป็นของเหลวกลายเป็นฟองอากาศ (cavitation bubbles) ลอยขึ้นจากกันบีกเกอร์ หลังจากนั้นเมื่อความดันสูงฟองอากาศจะแตกออก (bubbles burst) เกิดเป็นความร้อนเรียกว่า hot spots เมื่อเกิดความร้อนมากขึ้นอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจึงเป็นการกระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์ linamarase ในการเปลี่ยน linamarin ให้เป็นโซยานินด์ (Yu และคณะ, 2005; Jaswal และคณะ, 2018) อีกทั้งพลังงานจากคลื่นอัลตราโซนิกมีพลังงานสูงสามารถทำลายผนังเซลล์ ส่งผลให้เอนไซม์ linamarase ที่อยู่ในผนังเซลล์หลุดออกมาและย่อย linamarin ภายในเซลล์ของมันสำปะหลังได้มากขึ้น (Servant, 2000; ชูชาติ, 2544) ดังนั้นการเพิ่มระยะเวลาทำให้การแพร่กระจายของคลื่น อัลตราโซนิกเกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพสามารถเกิดปรากฏการณ์ cavitation เพิ่มขึ้น มีการแตกออกฟองอากาศมากขึ้น ทำให้อุณหภูมิในพื้นที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้การลดลงของโซยานินด์เพิ่มขึ้น (Ashokkumar และคณะ, 2007)

สรุปผล

มันสำปะหลังชนิดขม เป็นมันสำปะหลังที่มีปริมาณโซยานินด์สูง ซึ่งมีความเป็นพิษต่อผู้บริโภค เมื่อนำมาผลิตมันสำปะหลังชนิดแผ่นบาง ปริมาณโซยานินด์จึงเป็นปัจจัยที่สำคัญแสดงถึงความปลอดภัยต่อผู้บริโภค และบ่งบอกได้ว่าปลอดภัยต่อการนำมาบริโภคหรือไม่ พบว่าปฏิกิริยาเคมีที่เกิดสารประกอบสีม่วงของไอโซโทรพินิลไฮดรอกซิลามีน มีความไว ความแม่นยำ ความรวดเร็ว และการนำไปใช้วิเคราะห์กับตัวอย่างมันสำปะหลังแผ่นร่วมกับเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

การนำมันสำปะหลังชนิดขมแผ่นบางมาผ่านกระบวนการเพื่อลดปริมาณโซยานินด์ ให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยสำหรับผู้บริโภค โดย Nigerian Industrial Standards (NIS) และ Codex Alimentarius Commission (CAC) ได้กำหนดให้มีปริมาณของโซยานินด์ ที่พบในผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังสูงสุดได้ไม่เกิน 10 mg/kg ดังนั้นในการลดปริมาณโซยานินด์ในมันสำปะหลังชนิดขมแผ่นบาง ด้วยการนำไปผ่านวิธีการที่ 3 วิธี ได้แก่ การลวก การให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ และการใช้เครื่องอัลตราโซนิก ก่อนทำการทอด พบว่า การลวก 25 นาที การให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ 7 นาที และการใช้เครื่องอัลตราโซนิก 20 นาทีเป็นสภาวะที่เหมาะสม สามารถลดปริมาณโซยานินด์จากเดิมอยู่ในช่วง 80.66–101.87 mg/kg ลดลงเหลือ 4.85, 4.73 และ 6.05 mg/kg ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละของการลดลงของปริมาณโซยานินด์ 93.99, 95.36 และ 92.86 ตามลำดับ

เอกสารอ้างอิง

กลุ่มสารสนเทศการเกษตร. 2563. เอกสารโครงการพัฒนาฐานข้อมูลด้านการเกษตรและสหกรณ์จังหวัด เรื่อง “มันสำปะหลังจังหวัดพะเยา ปี 2563.

ฉินฉินจาร์ หาญเศรษฐสุช. 2551. เอกสารวิชาการ. คุณสมบัติและประโยชน์ของหัวและแป้งมันสำปะหลัง.

ชูชาติ อารีจิตรานุสรณ์. 2544. เครื่องมือวิทยาศาสตร์ (SCIENTIFIC INSTRUMENTS) (พิมพ์ครั้งที่ 3). ขอนแก่น: โรงพิมพ์คลังนาวิทยา.

สถาบันวิจัย และพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2558. งานวิจัย และพัฒนาพันธุ์มันสำปะหลัง. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สถาบันวิจัย และพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2558. มันสำปะหลังพันธุ์ เกษตรศาสตร์ 72. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) กระทรวงศึกษาธิการ. 2562. คลื่นไมโครเวฟ และหลักการทำงานของไมโครเวฟ. สืบค้นจาก: <https://www.scimath.org/article-physics/item/10459-2019> [10 มีนาคม 2564].
- สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. 2562. กรอบงานวิจัยด้านเกษตรและอุตสาหกรรมชีวภาพ. การผลิตฟลามันสำหรับใส่หลังโซยาไนต์ต่ำจากพันธุ์เกษตรศาสตร์50.
- สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. มปป. เลือกรุ่นสำหรับใส่หลังโซยาไนต์อะไรให้เหมาะกับดิน.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2562. มันสำหรับใส่หลังโรงงาน: เนื้อที่เพาะปลูก เนื้อที่เก็บเกี่ยว ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ ปี 2562. สืบค้นจาก: [http://www.oae.go.th/assets/portals/1/fileups/prcaidata/files/casava62\(1\).pdf](http://www.oae.go.th/assets/portals/1/fileups/prcaidata/files/casava62(1).pdf) [20 ก.พ. 2564].
- อรุณวิงศ์ราชน. 2549. เอกสารประกอบการบรรยายวิชาการของกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศและระบบบัญชีธุรกิจมันสำปะหลัง เรื่องวงจรมันสำปะหลังและการดำเนินธุรกิจมันสำปะหลังผ่านระบบสหกรณ์. สำนักงานตรวจบัญชีสหกรณ์ที่ 4 กรมตรวจบัญชีสหกรณ์.
- Ashokkumar, M., Lee, J., Kentish, S. & Grieser, F. , 2007, Bubbles in An Acoustic Field: An Overview. *Ultrasonics Sonochemistry*, 14; 470-475.
- Bekhit, A. E.-D. A., Shavandi, A., Jodjaja, T., Bircha, J., The, S., Ahmed, I. A. M., Juhaimi F. Y. A., Saeedi, P., & Bekhit, A. A. 2018. Flaxseed: Composition, Detoxification, Utilization, and Opportunities. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 13, 129-152.
- Feng, D., Shen, Y., & Chavez, R. E. , 2003, Effectiveness of Different Processing Methods in Reducing Hydrogen Cyanide Content of Flaxseed. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83; 836-841.
- Ishiwu, C. N., Obiegbuna, J. E. & Igwe, E. C. , 2015, Effect of Process Variables on Some Physical Properties and Hydrogen Cyanide Content of Dried Cassava Slices (“abacha”). *Journal of Food Processing & Technology*, 6(8); 1-5.
- Jaswal, V., Palanivelu, J. & Ramalingam, C. , 2018, Effects of The Gut Microbiota on Amygdalin and Its Use As an Anti-Cancer Therapy: Substantial Review on The Key Components Involved in Altering Dose Efficacy and Toxicity. *Biochemistry Biophysics Reports*, 14; 125-132.
- Junior, E. N. M., Chisté, R. C., & Pena, R. d. S. 2019. Oven Drying and Hot Water Cooking Processes Decrease HCN Contents of Cassava Leaves. *Food Research International*, 119, 517-523.
- Khare, B. N., Sagan, C., Thompson, W. R., Arakawa, E.T., Meisse, C. & Tuminello, P. S. , 1994, Optical Properties of Poly-HCN and Their Astronomical Applications. *Canadian Journal of Chemistry-Revue Canadienne De Chimie*, 72; 678-694.
- Nambisan, B., & Sundaresan, S. 1985. Effect of Processing on The Cyanoglucoside Content of Cassava. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 36, 1197-1203.
- Servant, G., Caltagirone, J. P., Gerard, A., Laborde, J. L., Hita, A. , 2000, Numerical Simulation of Cavitation Bubble Dynamics Induced by Ultrasound Waves in a High Frequency Reactor. *Ultrasonics Sonochemistry*, 7; 217-227.
- Shigaki, T. 2016. Cassava: The Nature and Uses. *Encyclopedia of Food and Health*, 687-693
- Yu, X., Trapp, S., Zhou, P. & Hu, H., 2005, The Effect of Temperature on The Rate of Cyanide Metabolism of Two Woody Plants. *Chemosphere*, 59(8); 1099-1104
- Zhang, L., Zhao, M., Chen, J., Wang, M., & Yu, X. 2019. Reduction of Cyanide Content of Bitter Almond and Its Oil Using Different Treatments. *International Journal of Food Science and Technology*, 54, 3083–3090

Table 1 Effect of blanching, microwave and ultrasonic treatments with different treatment times on the reduction of cyanide content in bitter cassava chips.

วิธีการหัตถ์เมนต์	เวลา (นาท)	ปริมาณไซยาไนต์ (mg/kg in db)	ร้อยละการลดลงของไซยาไนต์
การลวก	0	80.66 ± 0.00 ^a	-
	15	15.99 ± 0.79 ^b	80.18 ± 0.98 ^c
	20	13.27 ± 0.64 ^c	83.54 ± 0.77 ^b
	25	4.85 ± 0.42 ^d	93.99 ± 0.51 ^a
ไมโครเวฟ	0	101.87 ± 2.99 ^a	-
	4	5.83 ± 0.56 ^b	94.28 ± 0.54 ^b
	7	4.73 ± 0.21 ^b	95.36 ± 0.20 ^a
	10	5.18 ± 0.35 ^b	94.92 ± 0.34 ^a
อัลตราโซนิค	0	84.74 ± 2.79 ^a	-
	10	12.55 ± 0.88 ^b	85.19 ± 1.03 ^c
	15	9.95 ± 0.37 ^c	88.26 ± 0.43 ^b
	20	6.05 ± 0.24 ^d	92.86 ± 0.29 ^a

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันของแต่ละหัตถ์เมนต์ภายในคอลัมน์เดียวกัน หมายถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)