Thai Science and Technology Journal Vol. 34 No. 2 March-April 2026 ISSN 3027-6365 (Online)

Thai Science and Technology Journal
วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
Journal Homepage : http://li01.tci-thaijo.org/index.php/tstj

การพัฒนาน้ำหมักชีวภาพจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเพื่อเพิ่มผลผลิตของมันสำปะหลัง
Developing Fermented Bio Extracts from Agricultural Waste to Increase Cassava Production

สากล ทองประภา[1*], ศุภรัชชัย วรรัตน์[1], สุรศักดิ์ จันทร์ฉาย[2], ณัฏฐ์ นาคกร[3]

[1]*วิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ กรุงเทพมหานคร 10210*

[2]*บริษัท เอ-เวสท์ พร็อพเพอร์ตี้ จำกัด ชลบุรี 20130*

[3]*การประปาส่วนภูมิภาคสาขาพัทยา (ชั้นพิเศษ) ชลบุรี 20150*

Sakol Thongprapa[1*], Suparatchai Vorarat[1], Surasak Janchai[2], Nat Nakkorn[3]

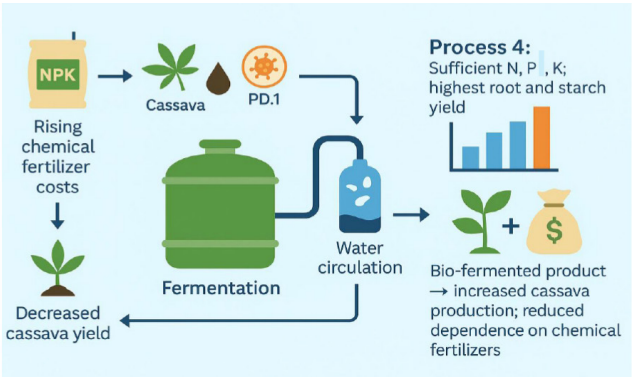
[1]*College of Innovative Technology and Engineering, Dhurakij Pundit University, Bangkok 10210*

[2]*A-West Property Co., Ltd, Chonburi 20130*

[3]*Provincial Waterworks Authority, Branch Office Pattaya (Special Level), Chonburi 20150*

Received 4 May 2024; Received in revised 12 September 2025; Accepted 22 September 2025

GRAPHICAL ABSTRACT



ABSTRACT

Since the price of chemical fertilizers has increased significantly due to conflicts among major fertilizer producers and exporters (Russia and Ukraine), the cost of crop production in Thailand has risen, resulting in lower yields. Organic fertilizers offer an alternative approach for supplying nutrients to the soil and enhancing crop productivity. Accordingly, this research aims to develop a process for transforming agricultural waste materials into biologically fermented products that meet the fertilizer standards specified by the Department of Agriculture. These fermented products were applied to experimental cassava plants, and crop yields were assessed. Cassava leaves and water from a circulating pump were used as raw materials for fermentation. The experiment was conducted using an A x B factorial design in a completely randomized design (CRD), with two replicates (n = 2). Key parameters (temperature, pH, and dissolved oxygen) were monitored daily during the 30-day fermentation process, and the resulting products were analyzed for nitrogen (N), phosphorus (P), and potassium (K) contents. The results showed that Process 4 produced a fermented product containing all essential macronutrients at levels meeting the required criteria. Furthermore, when bio-fermented products were applied to Cassava plant experimental plots, Process 4 yielded the best results in terms of fresh tuber weight and starch content. In summary, the findings indicate that the process developed in this study for producing bio-fermented products can enhance agricultural productivity and can serve as a guideline for sustainable agricultural practices, offering economic, social, environmental, and ecological benefits.

Science34-N2.indd 39 23/4/2569 BE 14:43

คำสำคัญ

กระบวนการหมัก; ใบมันสำปะหลัง; หมุนเวียนน้ำ; น้ำหมักชีวภาพ; พืชไร่

Keywords

Fermentation process; Cassava leaves; Water circulation; Bio-fermented liquid; Field crops

บทคัดย่อ

เนื่องจากราคาปุ๋ยเคมีสูงขึ้นจากปัญหาความขัดแย้งของผู้ผลิตและส่งออกปุ๋ยรายใหญ่ (รัสเซียและยูเครน) ส่งผลให้ต้นทุนการปลูกพืชในประเทศไทยสูงขึ้นและผลผลิตลดลง ปุ๋ยอินทรีย์เป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับการเติมสารอาหารให้ดินและเพิ่มผลผลิตพืช ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งหวังที่จะพัฒนากระบวนการแปรรูปของเหลือจากการเกษตรเป็นน้ำหมักชีวภาพที่มีธาตุอาหารตามเกณฑ์ของกรมวิชาการเกษตร ผลิตภัณฑ์น้ำหมักเหล่านี้จะนำไปใช้กับการทดลองปลูกมันสำปะหลังเพื่อประเมินผลผลิต ในการหมักใช้ใบมันสำปะหลังและปั๊มที่หมุนเวียนน้ำ โดยการทดลองใช้แฟคทอเรียล A x B แบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) ทำซ้ำ 2 ครั้ง (n = 2) วัดค่าพารามิเตอร์ (Temp, pH, DO) ทุกวันครบ 30 วัน และนำไปวิเคราะห์หาธาตุ N, P, และ K ผลแสดงให้เห็นว่าวิธีการหมักที่ 4 ส่งผลได้น้ำหมักที่มีธาตุอาหารหลักของพืชตามเกณฑ์ นอกจากนี้ เมื่อนำน้ำหมักชีวภาพไปใช้กับแปลงทดลองปลูกมันสำปะหลัง แปลงที่ใช้น้ำหมักจากกระบวนการที่ 4 ให้ผลผลิตดีที่สุดในแง่ของน้ำหนักหัวมันสด (kg) และปริมาณแป้ง (%) สรุปผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่ากระบวนการที่พัฒนาขึ้นในการศึกษานี้ เพื่อทำการผลิตผลิตภัณฑ์น้ำหมักชีวภาพ สามารถเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรและสามารถใช้เป็นแนวทางในการพัฒนากระบวนการผลิตทางการเกษตรที่ยั่งยืนที่เกิดประโยชน์ต่อสังคม เศรษฐกิจ สิ่งแวดล้อม และระบบนิเวศวิทยา

***ผู้รับผิดชอบบทความ:** 627191120002@dpu.ac.th **DOI:**

Science34-N2.indd 40 23/4/2569 BE 14:43

1. บทนำ

ราคาปุ๋ยเคมีที่พุ่งสูงขึ้นในปัจจุบัน ส่วนหนึ่งเป็นผลสืบเนื่องมาจากความขัดแย้งระหว่างรัสเซีย-ยูเครน รวมถึงการปรับขึ้นของราคาน้ำมันดิบและก๊าซธรรมชาติที่เป็นวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยเคมีอย่างต่อเนื่องเช่นกัน และรัสเซียได้จำกัดการส่งออกไปยังภูมิภาคต่างๆ ของโลก ส่วนราคาปุ๋ยภายในประเทศของไทยภาครัฐอนุญาตให้ปรับเพิ่มราคาขายตามต้นทุนที่แท้จริง ประเทศไทยอาชีพการทำเกษตรยังต้องพึ่งปุ๋ยในปริมาณที่มากการเพิ่มผลผลิตพืชที่ปลูก แต่ผลผลิตที่ได้จากการเก็บเกี่ยวเป็นไปในทิศทางที่ลดลงทุกปี เช่น ข้าวนาปี และมันสำปะหลัง ดังนั้นในระยะกลางถึงระยะยาว ภาคการเกษตรควรมุ่งเน้นไปที่กระบวนการใช้ปุ๋ยเคมีอย่างมีประสิทธิภาพ มีการวิเคราะห์ดินควบคู่กันไปอย่างต่อเนื่องและส่งเสริมการใช้ปุ๋ยอินทรีย์มากขึ้น เพื่อลดต้นทุนการผลิตสินค้าทางการเกษตรได้เกิดความอย่างยั่งยืน [1] ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกพืชอย่างจำกัด ทำให้มีการปลูกพืชชนิดใดชนิดหนึ่งซ้ำในพื้นที่เดียวกัน ไม่มีการพักดินเพื่อฟื้นฟูคุณภาพของดินและทำให้ดินมีคุณภาพที่เสื่อมลง ทำให้เกษตรกรมีความจำเป็นต้องใช้ปุ๋ยเคมีในการปลูกในปริมาณเพิ่มมากขึ้น อย่างเช่น มันสำปะหลังในพื้นที่ 1 ไร่ จะต้องใช้ธาตุอาหารจากปุ๋ยที่มีปริมาณธาตุไนโตรเจน (N) 13.9 กิโลกรัม ฟอสฟอรัส (P) 6.0 กิโลกรัม และโพแทสเซียม (K) 18.7 กิโลกรัม เพื่อให้ดินแปลงที่จะปลูกมีธาตุอาหารเพียงพอและต้นมันสำปะหลังสามารถนำธาตุอาหารที่จำเป็นไปใช้สำหรับการเจริญเติบโตได้ดี และทำให้ส่งผลต่อผลผลิตมันสำปะหลัง [2] เพื่อตอบสนองความต้องการผลผลิตจากการปลูกพืชที่หลากหลายของภาคเกษตรกรรมภายในประเทศ ทำให้ประเทศไทยมีความจำเป็นที่ต้องนำเข้าปุ๋ยเคมีมาใช้เพิ่มขึ้นทุกปี เฉลี่ยปีละกว่า 5 ล้านตัน ซึ่งมีมูลค่ามากกว่า 1,800 ล้านดอลลาร์สหรัฐ ฯ และมีแนวโน้มการนำเข้าที่จะเพิ่มขึ้นอีกในปีถัดไปเฉลี่ย 1-2% ต่อปี [3] การใช้ปุ๋ยเคมีมีความสำคัญในการเร่งผลผลิตทางการเกษตรได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ผลจากการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างต่อเนื่องในปริมาณที่มากเกินไปทำให้เกิดอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของผู้คน รวมทั้งเกิดการปนเปื้อนมากขึ้นในแหล่งน้ำใต้ดิน ปุ๋ยชีวภาพซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่ใช้จุลินทรีย์จึงเป็นอีกทางเลือกที่จะเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้กับดิน และเป็นปัจจัยที่นำมาใช้ในการปลูกพืชที่ไม่เป็นอันตรายและจะช่วยส่งเสริมคุณภาพของดินและคุณภาพของผลผลิตพืช [4] ดังนั้นการทำน้ำหมักชีวภาพจากของเหลือใช้ทางการเกษตรเพื่อนำกลับมาใช้ปลูกพืช จำเป็นจะต้องมีการออกแบบกระบวนการการย่อยสลายที่ดีภายใต้สภาวะที่เหมาะสม เพื่อลดต้นทุนการผลิตและผลกระทบที่อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขอนามัยของผู้คนและชุมชน [5] ซึ่งกระบวนการทำปุ๋ยหมักเป็นทางเลือกที่มีคุณค่าแทนการสังเคราะห์ทางเคมีทั่วไป โดยในช่วงทศวรรษแรกของศตวรรษที่ 20 เป็นการหมักเพื่อผลิตกรดซิตริกทางอุตสาหกรรมที่ประสบความสำเร็จโดย P Fizer ในปี 1923 ถือเป็นความสำเร็จในช่วงแรกๆ ของกระบวนการหมักที่เกิดจากแรงกดดันจากราคาน้ำมันดิบที่เพิ่มสูงขึ้น พร้อมกับความต้องการที่จะเปลี่ยนไปใช้กระบวนการที่ยั่งยืนให้มากขึ้น เพื่อปรับตัวให้เข้ากับสถานการณ์ที่เป็นแรงผลักดันทำให้ผู้ผลิตหลายแห่งนำเทคโนโลยีชีวภาพการหมักมาใช้มากขึ้น [6] การหมักเป็นปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่มีชีวิต เป็นกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพของสารอินทรีย์โดยใช้จุลินทรีย์หลายชนิดภายใต้สภาวะที่มีสารอาหาร ความชื้น อุณหภูมิ และปัจจัยอื่นๆ จุลินทรีย์สามารถสร้างผลิตภัณฑ์แล้วปล่อยออกสู่สภาพแวดล้อม ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของจุลินทรีย์และสภาวะสิ่งแวดล้อมและสามารถสร้างผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกันได้ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ (ส่วนใหญ่ผลิตได้) กรดอินทรีย์ มีเทน และก๊าซอื่นๆ [7] กระบวนการหมักปุ๋ยแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic composting) เป็นการหมักที่ใช้จุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการอากาศ 2 กลุ่มคือ จุลินทรีย์สร้างกรด (Acid forming anaerobic composting) และจุลินทรีย์สร้างมีเทน (Methanogenic anaerobic bacteria) เพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนและได้ผลผลิต เช่น ก๊าซมีเทน แอมโมเนีย ไฮโดรเจนซัลไฟด์ และพลังงานความร้อน [8] แสดงได้ดังสมการที่ (1)

Science34-N2.indd 41 23/4/2569 BE 14:43

$$\text{Organic matter} + O_2 + \text{Nutrients} \xrightarrow{\text{Anaerobic Bacteria}} \text{New Cells} + \text{Resistant Organic} + CH_4 + CO_2 + NH_3 + H_2S + \text{Heat} \quad (1)$$

ส่วนการหมักปุ๋ยแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic composting) ใช้จุลินทรีย์ชนิดที่ต้องการอากาศในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (Organic matter) เช่น คาร์โบไฮเดรต ไขมัน เซลลูโลส และกรดอะมิโน ในสภาวะที่มีออกซิเจนและได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นสารคงตัว หรือฮิวมัส น้ำ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซอื่นๆ เช่น แอมโมเนีย ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และพลังงานความร้อน [8] แสดงได้ดังสมการที่ (2)

$$\text{Organic matter} + O_2 + \text{Nutrients} \xrightarrow{\text{Aerobic Bacteria}} \text{New Cells} + \text{Resistant Organic} + H_2O + CH_4 + NH_3 + SO_2 + \text{Heat} \quad (2)$$

การพัฒนาศักยภาพการหมักแบบใช้อากาศในกระบวนการทางชีวภาพยังคงพัฒนาอย่างต่อเนื่อง กระบวนการหมักแบบใช้อากาศเป็นรากฐานสำคัญ เพื่อขับเคลื่อนนวัตกรรมและประสิทธิภาพในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ สารเคมี และอื่นๆ ที่มีคุณค่า การหมักแบบใช้อากาศถูกนำมาใช้ในการผลิตปุ๋ยชีวภาพและยาฆ่าแมลงชีวภาพ เพื่อส่งเสริมการทำเกษตรกรรมอย่างยั่งยืนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น [9] การพัฒนาเทคโนโลยีชีวภาพส่งผลกระทบโดยตรงต่อภาคอุตสาหกรรมและที่ได้รับผลกระทบเป็นกลุ่มแรก ได้แก่ เกษตรกรรม สารเคมี การแปรรูปอาหาร และการผลิตยา รวมถึงผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ เช่น ยาชีวภาพ สารเคมีชีวภาพ ผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร และเชื้อเพลิง โดยการพัฒนากระบวนการใหม่ๆ ทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพนี้ มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่สารามาถนำไปปฏิบัติได้อย่างมีประสิทธิภาพ [10] การปลูกมันสำปะหลังก่อให้เกิดเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและขยะอินทรีย์ ได้แก่ ใบ ลำต้น และเหง้า เศษวัสดุเหล่านี้คิดเป็นร้อยละ 24 ของผลผลิตมันสำปะหลัง ซึ่งประเทศไทยในแต่ละปีมีผลผลิตใบมันสำปะหลังถึง 1.65 เมตริกตัน ลำต้น 3.63 เมตริกตัน และเหง้า 2.64 เมตริกตัน ปัจจุบันเศษวัสดุเหล่านี้มักถูกทิ้งในแปลงหรือเผาทำลาย อย่างไรก็ตาม องค์ประกอบของเศษวัสดุเหล่านี้บ่งชี้ถึงการใช้ประโยชน์ที่เป็นไปได้ เช่น อาหารสัตว์ ปุ๋ยหมัก และการผลิตถ่าน โดยใบมันสำปะหลังมีโปรตีน 24-50% คาร์บอน 50-52% และมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 2.2-4.4 ทำให้เหมาะแก่การนำมาเลี้ยงสัตว์ ส่วนลำต้นมีองค์ประกอบของลิกโนเซลลูโลส มีเซลลูโลส (32%) และลิกนิน (27%) สูง และมีเฮมิเซลลูโลส (14%) ต่ำ เหง้ามีคาร์บอนสูง (54%) และมีสารอาหารที่จำเป็นต่ำ เช่น ไนโตรเจน (1.5%) ฟอสฟอรัส (0.5%) และโพแทสเซียม (1%) โดยทั่วไปแล้วเศษซากพืชทางการเกษตรจะช่วยป้องกันการกร่อนของดินและรักษาความชื้นในดินเมื่อทิ้งไว้ในพื้นที่ปลูกและใบสามารถใช้เป็นอาหารสัตว์ได้ ในขณะที่ลำต้นและเหง้าสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลเพื่อการปรุงอาหาร การผลิตไบโอชาร์ และวัสดุก่อสร้าง เช่น ไม้อัดและปาร์เก้ การทำปุ๋ยหมักของเหลือจากมันสำปะหลังร่วมกับการใช้เชื้อจุลินทรีย์ กากน้ำตาล และปุ๋ยคอกสามารถนำมาใช้เป็นปุ๋ยสำหรับปลูกมันสำปะหลังได้เช่นกัน เหง้าและลำต้นยังสามารถทำเป็นถ่านที่ให้ค่าความร้อนสูงและเหมาะสำหรับการนำมาปรุงอาหาร รวมถึงการกักเก็บคาร์บอนและทำหน้าที่เป็นตัวปรับปรุงดินที่มีคุณค่าและเป็นตัวกลางในการกักเก็บคาร์บอนไว้ในดิน [11] โดยการปลูกมันสำปะหลังส่วนใหญ่จะนำผลผลิตจากส่วนหัวมาใช้ประโยชน์ ส่วนที่เหลือทั้งใบและลำต้นที่มีธาตุอาหาร N, P, Ca, Mg, และ S สะสมอยู่ส่วนใหญ่

Science34-N2.indd 42 23/4/2569 BE 14:43

ไม่ได้ถูกนำกลับมาใช้ นอกจากจะนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงหรือการเผาทำลาย ซึ่งการนำเอาใบและลำต้นของมันสำปะหลังออกจากแปลงหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตเป็นการนำธาตุอาหารในแปลงปลูกออกไปเป็นจำนวนมาก ควรทิ้งไว้ในแปลงให้ธาตุอาหารที่อยู่ในใบกับลำต้นของมันสำปะหลังกลับคืนสู่ดินพื้นที่ปลูก [12] เพราะใบมันสำปะหลังมีธาตุอาหารสะสมอยู่หลายชนิด ทั้งธาตุหลักและธาตุรอง โดยเฉพาะอย่างยิ่งโพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม โซเดียม แมงกานีส สังกะสี ทองแดง และเหล็ก ปริมาณของธาตุอาหารที่มีสะสมไว้ที่ส่วนของใบอาจแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ระยะการเจริญเติบโต พันธุ์ และสภาพการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง [13] ใบของมันสำปะหลังยังสามารถนำมาทำเป็นปุ๋ยหมัก เพื่อเพิ่มคุณภาพของดินให้ดินมีอัตราการสร้างคาร์บอนและไนโตรเจนสูงขึ้นและปรับปรุงดินในแปลงปลูกให้มีความอุดมสมบูรณ์ [14] ใบมันสำปะหลังยังมีองค์ประกอบของโปรตีนและคุณค่าทางโภชนาการ จะใช้เป็นปุ๋ยพืชสดให้กับดินพื้นที่แปลงปลูก ซึ่งใบมันสำปะหลังที่มีลักษณะสดและลำต้นอ่อนสามารถนำมาเป็นอาหารเลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้องได้ โดยแปรรูปให้แห้งก่อน เพื่อให้กรดไฮโดรไซยานิกที่เป็นสารพิษให้น้อยลงก่อนนำมาใช้ [15] นอกจากนี้ใบมันสำปะหลังยังสามารถนำมารับประทานเป็นผัก และใช้เพื่อวัตถุประสงค์ในเชิงทางการแพทย์ โดยใบมันสำปะหลังมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ต้านการอักเสบ และปรับภูมิคุ้มกัน ซึ่งอาจมีส่วนช่วยในการป้องกันและ/หรือลดการเกิดโรคติดต่อจากการติดเชื้อเรื้อรังหลายชนิด [16] ออกซิน เป็นฮอโมนส์ที่สังเคราะห์ขึ้นในส่วนต่างๆ ของพืช เช่น ใบอ่อน และเนื้อเยื่อตรงปลายยอด และเป็นฮอโมนส์ที่มีบทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช [17] การนำออกซินไปใช้ในการปลูกมันสำปะหลังจะช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโต เร่งสร้างรากและการลงหัวและเพิ่มผลผลิตและคุณภาพของมันสำปะหลัง [18] ในปัจจุบันมีการพัฒนาการทำการเกษตรแบบอินทรีย์ที่มีความยั่งยืนและลดมลพิษทางด้านสิ่งแวดล้อม โดยการนำใบมันสำปะหลังมาผ่านกระบวนการย่อยสลายและแปรรูปเป็น ปุ๋ยอินทรีย์ที่สามารถนำมาใช้แทนปุ๋ยสังเคราะห์เพื่อลดผลกระทบที่จะเกิดกับสิ่งแวดล้อมทางธรรมชาติ รวมถึงเป็นแนวทางการนำกระบวนการปลูกพืชด้วยเทคนิคที่เรียบง่ายและยั่งยืนที่ได้จากธรรมชาติมาใช้และทำให้ดินเกิดความอุดมสมบูรณ์ “ด้วยการใช้ปุ๋ยที่ทำจากใบมันสำปะหลัง” [19] การทำปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพแบบเติมอากาศ เป็นกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสารละลายของเหลวด้วยการเติมอากาศเพื่อเพิ่มการทำงานของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ เป็นวิธีในการทำน้ำหมักชีวภาพที่อุดมด้วยสารอาหารและสารปรับปรุงดิน รวมถึงเป็นวิธีที่ยั่งยืนในการนำกลับขยะอินทรีย์มาใช้ให้เกิดประโยชน์ในการปรับปรุงสุขภาพของดิน [20] น้ำหมักชีวภาพจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่เติมจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์เพื่อเพิ่มปริมาณสารอาหารและสุขภาพของดินเป็นกระบวนการที่คัดเลือกจุลินทรีย์ที่เหมาะสม เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อที่เหมาะกับจุลินทรีย์ น้ำหมักชีวภาพที่ได้สามารถนำไปใช้กับพืชผลด้วยการฉีดพ่นหรือให้ปุ๋ยแบบน้ำหยด ซึ่งเป็นทางเลือกที่ยั่งยืนแทนการใช้ปุ๋ยเคมี [21] โดยน้ำหมักชีวภาพเป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่เป็นของเหลวที่ประกอบด้วยจุลินทรีย์ที่มีชีวิต ซึ่งช่วยเพิ่มคุณสมบัติของดินและสามารถเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตของพืชเป็นสองเท่าในบางกรณีเมื่อเทียบกับการใช้ปุ๋ยเคมี เพื่อพัฒนาการผลิตน้ำหมักชีวภาพที่มีประสิทธิภาพจำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมหลายประการ รวมทั้งการนำไปทดลองใช้กับแปลงทดลองปลูกพืช [22]

จากข้อมูลข้างต้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนากระบวนการหมักที่ใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร (ใบมันสำปะหลัง) ร่วมกับการเติมอากาศ (ปั๊มน้ำหมุนเวียนน้ำ) เพื่อเพิ่มการย่อยสลายของวัสดุหมักให้เร็วขึ้นและจุลินทรีย์ที่ต้องอากาศที่ใช้ในการหมักสามารถนำไปใช้ได้ดีขึ้นและส่งผลให้เกิดการปลดปล่อยธาตุอาหารได้น้ำหมักชีวภาพที่มีธาตุอาหารหลักของพืชตามเกณฑ์มาตรฐาน [23] ไม่ส่งกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์รบกวน และ

Science34-N2.indd 43 23/4/2569 BE 14:43

สามารถนำน้ำหมักชีวภาพไปเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อเป็นแนวทางการทำการเกษตรกรรมแบบยั่งยืน พึ่งพาตนเอง และการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม

2. อุปกรณ์และวิธีการ

ในขั้นตอนนี้เป็นการสร้างกระบวนการทดลองเพื่อให้ได้กระบวนการหมักที่ดีมีประสิทธิภาพ ไม่มีกลิ่นเน่าเสีย และได้ธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับพืชและสามารถนำไปใช้ในการเพาะปลูกพืช ซึ่งในกระบวนการหมักแบบเก่าส่วนใหญ่จะมีปัญหาส่งกลิ่นเหม็นรบกวนและการย่อยสลายของวัสดุที่นำมาหมักที่ใช้เวลานาน โดยเฉพาะการหมักพืชหรือของเหลือใช้จากพืช เป็นการทดลองแบบแฟคทอเรียลที่ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design; CRD) ใช้ปัจจัยในกระบวนการหมัก 2 ปัจจัย แต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ ทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง โดยใช้ปัจจัยแรก คือ ใบมันสำปะหลังสด (A) ใช้ 400 กิโลกรัม/ถัง (a_1) และใบที่บ่มก่อน 400 กิโลกรัม/ถัง (a_2) กับใช้ปัจจัยที่สอง คือ ปั้มหมุนเวียนน้ำผสมกับอากาศลงถังหมัก (B) เป็นเวลา 2 ชั่วโมง/วัน (b_1) และ 4 ชั่วโมง/วัน (b_2) แสดงดัง Table 1 โดยตั้งเวลาให้ปั้มทำงานและหยุดการทำงานตามเวลาที่กำหนดไว้

2.1 อุปกรณ์ที่ใช้และการทำงานของกระบวนการหมัก

ปั้มน้ำหมุนเวียนผสมอากาศ (M1) ใช้แรงขับด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า โดยมีหลักการทำงาน คือ 1) มอเตอร์ไฟฟ้าจะทำให้ใบพัดปั๊มน้ำหมุน ระบบสูบน้ำทำงานจะดูดน้ำที่ส่วนล่างของถัง (T1) ผ่านท่อ (P1) โดยเปิดวาล์ว (V1) 2) ปรับวาล์ว (V2) บริเวณจุดเชื่อมต่อกับท่อทางดูดของปั้มน้ำ เพื่อปรับปริมาณของอากาศที่ผ่านเข้ามาผสมกับน้ำจากท่อ (P2) 3) เปิดวาล์ว (V3) จ่ายออกซิเจนผสมกับน้ำที่ปั้มผ่านท่อ (P3) โดยจะจ่ายอากาศออกที่แผงจ่ายอากาศ (A1) ลงถัง เมื่อน้ำไหลจากแรงดูดของปั้มผ่านตรงจุดที่เชื่อมต่อ น้ำที่มีความเร็วสูงและเกิดสุญญากาศจะดูดอากาศจากภายนอกผสมกับน้ำ จ่ายออกทางด้านท่อส่งของปั้มน้ำลงในถังหมัก ปั้มน้ำจะทำงานหมุนเวียนน้ำผสม

Table 1 Treatment combinations.

B (Circulating water pump times)	A (Cassava leaves)	
	A1 (400 (kg) Fresh	A2 (400 (kg) Curing
b1 (2 h/day)	a1b1	a2b1
b2 (4 h/day)	a1b2	a2b2

Figure 1 Fermentation process images of biofertilizer liquid productions at: (A) = bioreactor tanks structure, (B) = factor B, curing cassava leaves (C) = factor A, fresh cassava leaves (D) = reaction in the reactor tank (E) = biofertilizer liquid harvests

Science34-N2.indd 44 23/4/2569 BE 14:43

กับอากาศจนกว่าจะหยุดการทำงาน และปรับอากาศให้อยู่ ที่ระดับ 3 มล./ลิตร ขึ้นไปในช่วงที่ปั๊มทำงาน ส่วนท่อ (P4) และวาล์ว (V4) ติดตั้งไว้เพื่อใช้สำหรับระบายน้ำหมักชีวภาพและกรองตะกอนออกจากถัง

2.2 กระบวนการหมักน้ำหมักชีวภาพ

ใช้ใบมันสำปะหลังเป็นวัสดุหมัก วัสดุหมักที่มีเป็นชิ้นใหญ่และที่มีโครงสร้างที่สลับซับซ้อนจะถูกใบพัดของปั๊มน้ำตี ปั่นให้ละเอียดไปพร้อมกับอากาศที่เข้ามาทางท่อเติมอาหารจากการเกิดสูญญากาศแรงดูดของปั๊มน้ำช่วยให้วัสดุที่ใช้หมักย่อยสลายได้เร็วขึ้นและจุลินทรีย์ที่ใช้อากาศสามารถนำไปใช้ การทดลองในกระบวนการหมักจะแบ่งเป็นสี่รูปแบบการทดลอง (4 ถังหมักไม่รวมควบคุม) ได้แก่

รูปแบบการทดลองที่ 1) ใช้ใบมันสำปะหลังสด 400 กิโลกรัม กากน้ำตาล 100 ลิตร น้ำ 200 ลิตร [24] ธาตุอาหารเสริมอินทรียวัตถุ 4 กิโลกรัม และเติมจุลินทรีย์ พด.1 ซึ่งเป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่ประกอบด้วยเชื้อรา และแอคติโนมัยซีสที่มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรได้เร็วขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งพวกไขมันและวัสดุที่มีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบที่ยากต่อการย่อยสลาย [25] เดินปั๊มน้ำหมุนเวียนผสมอากาศ 2 ชั่วโมง/วัน

รูปแบบการทดลองที่ 2) ใช้ใบมันสำปะหลังสด 400 กิโลกรัม กากน้ำตาล 100 ลิตร น้ำ 200 ลิตร ธาตุอาหารเสริมอินทรียวัตถุ 4 กิโลกรัม และเติมจุลินทรีย์ พด.1 เดินปั๊มน้ำหมุนเวียนผสมอากาศ 4 ชั่วโมง/วัน

รูปแบบการทดลองที่ 3) ใช้ใบมันสำปะหลังที่บ่มก่อน 400 กิโลกรัม กากน้ำตาล 100 ลิตร น้ำ 200 ลิตร ธาตุอาหารเสริมอินทรียวัตถุ 4 กิโลกรัม และเติมจุลินทรีย์ พด.1 เดินปั๊มน้ำหมุนเวียนผสมอากาศ 2 ชั่วโมง/วัน

รูปแบบการทดลองที่ 4) ใบมันสำปะหลังบ่มก่อน 400 กิโลกรัม กากน้ำตาล 100 ลิตร น้ำ 200 ลิตร ธาตุอาหารเสริมอินทรียวัตถุ 4 กิโลกรัม และเติมจุลินทรีย์ พด.1 เดินปั๊มน้ำหมุนเวียนผสมอากาศ 4 ชั่วโมง/วัน

โดยทุกกระบวนการเติมธาตุอาหารเสริมจากอินทรียวัตถุ ถังละ 4 กิโลกรัม (ปริมาณกากน้ำตาลและธาตุอาหารเสริมชั่งน้ำหนักและเติมในอัตราเฉลี่ย 30 วัน) ในช่วงเริ่มกระบวนการหมัก เดินปั๊มน้ำทั้ง 4 ชุดและปั๊มน้ำเฉพาะกลางวัน ส่วนกลางคืนจะหยุดปั๊มน้ำ ซึ่งเป็นผลดีต่อราบางชนิดที่ต้องการเจริญเติบโตในช่วงเวลากลางคืนที่บริเวณผิวน้ำที่นิ่งและไม่มีการกระเพื่อมบนผิวน้ำ ใช้เวลาในการทดลอง 30 วัน จดบันทึกค่าวัดต่างๆ ทุกวันจนสิ้นสุดการหมัก หลังจากหยุดระบบทั้งหมดแล้วทิ้งไว้ให้กระบวนการหมักตกตะกอนอีก 30 วัน จากนั้น

Figure 2 Fermented material added to the fermentation tank at: (a) fresh cassava leaves 400 kg, (b) 400 kg of cured cassava leaves, (c) concentrated molasses 100 kg (with 200 L water) (d) minerals from organic materials 4 kg, (e) actinomycetes 100 g (PD.1).

Science34-N2.indd 45 23/4/2569 BE 14:43

นำน้ำหมักมาแยกตะกอนออกด้วยการกรอง โดยใช้ถุงกรองขนาด 50 ไมครอน แล้วนำไปบรรจุใส่ขวดเพื่อส่งตัวอย่าง (a_1b_1, a_1b_2, a_2b_1 และ a_2b_2) ทั้งหมดไปตรวจวิเคราะห์ โดยใช้เทคนิคการตรวจวิเคราะห์ธาตุอาหารพืชในน้ำหมักชีวภาพ เพื่อทำการวิเคราะห์ธาตุอาหารหลัก-รอง อย่างเช่น ไนโตรเจน จะใช้วิธีย่อย-กลั่น แล้วนำไปไทเทรตกับกรดเพื่อหาปริมาณไนโตรเจน (Kjeldahl method) และธาตุฟอสฟอรัสจะทำการย่อยด้วยกรด แล้วนำไปทำให้เกิดสีและนำไปวัดด้วยเครื่อง UV-visible spectrophotometer ส่วนธาตุ แคลเซียม แม็กนีเซียม และโพแทสเซียม รวมถึงธาตุประจุบวกอื่นๆ สามารถย่อยด้วยกรด แล้วนำไปทำการวัดด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophoto meter และการตรวจสอบดูความเป็นกรด-ด่าง และค่าการนำไฟฟ้า จะใช้วิธีการวัดตรงด้วยเครื่องวัดค่ากรด-ด่าง และค่าความนำไฟฟ้า [26]

2.3 การทดลองใช้น้ำหมักชีวภาพในแปลงปลูกมันสำปะหลัง

เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของน้ำหมักชีวภาพในขั้นตอนนี้ ก่อนทำการทดลองในแปลงปลูกได้ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของดินก่อน [27] ทำการทดลองปลูกมันสำปะหลังมีแผนแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (Randomized complete block design; RCBD) ซึ่งการทดลองมีกรรมวิธีที่แตกต่างกันและจัดกรรมวิธีแต่ละกรรมวิธีใส่บล็อกด้วยวิธีการสุ่ม ดังแสดงใน Table 2

ใช้วิธีการปลูกมันสำปะหลังทั้งหมด 6 วิธี คือ ไม่ใส่ปุ๋ยใด (T1) ใส่ปุ๋ยเคมี (T2) ใส่น้ำหมักชีวภาพ Bio-1 (T3) ใส่น้ำหมักชีวภาพ Bio-2 (T4) ใส่น้ำหมักชีวภาพ Bio-3 (T5) และใส่น้ำหมักชีวภาพ Bio-4 (T6) รวมแปลงปลูกซ้ำมีทั้งหมด 18 แปลงทดลอง

2.4 การปลูกและการดูแลรักษา

ปลูกมันสำปะหลังในเดือนตุลาคม 2565 ในพื้นที่จังหวัดชัยภูมิ ที่มีลักษณะดินทรายปนร่วน ใช้ท่อนพันธุ์มันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 (มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์) ปลูกมันสำปะหลังในแปลงทดลอง ใช้ระยะห่างระหว่างต้น 100 x 100 เซนติเมตร และระยะห่างร่อง 100 x 100 เซนติเมตร โดยแต่ละแปลงทดลองมีจำนวน 8 ร่อง ในแต่ละร่องปลูกท่อนพันธุ์บนสันร่องและปลักตั้งตรง ลึก 15 เซนติเมตร ซึ่งแต่ละร่องปลูกต้นมันสำปะหลังรวม 7 ต้น ซึ่งแปลงทดลองที่ใช้แต่ละวิธีปลูกมีมันสำปะหลังรวม 56 ต้น [28] (Table 3) กำจัดวัชพืชโดยการใช้จอบดายหญ้า 3 ครั้ง ใช้น้ำหมักชีวภาพฉีดพ่น

Table 2 Experiment plot with randomized complete block design (RCBD), and different treatments.

Block 1 (replicate plot #1) Treatments	Block 2 (replicate plot #2)	Block 3 (replicate plot #3)
F = apply bio-4 (T6)	D = apply bio-2 (T4)	B = apply fertilizer (T2)
A = no fertilizing (T1)	E = apply bio-3 (T5)	D = apply bio-2 (T4)
D = apply bio-2 (T4)	B = apply fertilizer (T2)	E = apply bio-3 (T5)
C = apply bio-1 (T3)	F = apply bio-4 (T6)	C = apply bio-1 (T3)
E = apply bio-3 (T5)	C = apply bio-1 (T3)	A = no fertilizing (T1)
B = apply fertilizer (T2)	A = no fertilizing (T1)	F = apply bio-4 (T6)

Science34-N2.indd 46 23/4/2569 BE 14:43

ทางดิน 3 ครั้ง โดยครั้งแรกฉีดพ่นเมื่อต้นมันสำปะหลังอายุได้ 2 เดือน ครั้งที่สองอายุครบ 3 เดือน และครั้งสุดท้ายเมื่ออายุครบ 4 เดือน โดยแปลงทดลอง T3 และ T4 ใช้อัตราส่วนผสมที่เพิ่มขึ้น โดยใช้น้ำหมักแปลงทดลองละ 4 ลิตร รวมฉีดสามครั้งเป็นแปลงละ 12 ลิตร โดยการฉีดพ่นในแต่ละแปลงใหญ่ที่ใช้น้ำหมักสูตรที่ 1 และ 2 (Bio-1, Bio-2) รวมสามครั้งเท่ากับใช้ในปริมาณแปลงละ 345 ลิตรต่อไร่ (115 ลิตร/ไร่/ครั้ง) ส่วนแปลง T5 ใช้น้ำหมักสูตรที่ 3 (Bio-3) แปลงละ 2.6 ลิตร ฉีดสามครั้งตามระยะเวลาอายุของต้นมันสำปะหลัง รวมใช้น้ำหมัก 7.8 ลิตร และใช้น้ำหมักสูตรที่สามฉีดพ่นแปลงใหญ่อัตรา 225 ลิตรต่อไร่ (75 ลิตร/ไร่/ครั้ง) และแปลงทดลอง T6 ใช้น้ำหมักสูตรที่ 4 (Bio-4) แปลงทดลองละ 2.00 ลิตร รวมใช้ฉีดสามครั้งเท่ากับ 6 ลิตร โดยใช้น้ำหมักฉีดสามครั้งในแปลงใหญ่อัตรา 174 ลิตรต่อไร่ (58 ลิตร/ไร่/ครั้ง) ในแปลงที่ใช้ปุ๋ยเคมีใส่ 3 ครั้งเช่นกัน คือ แปลงละ 1,165 กรัม เมื่อต้นมันสำปะหลังอายุได้ 2 เดือน 1,166 กรัม ครั้งที่สองอายุครบ 3 เดือน และครั้งที่สามอายุครบ 4 เดือน 1,167 กรัม รวมใส่ปุ๋ยเคมี 3.4 กิโลกรัม และใช้ใส่แปลงใหญ่สามครั้งในอัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่ (33.3 กิโลกรัม/ไร่/ครั้ง) และในส่วนแปลงควบคุม (Control) จะไม่มีการใส่ปุ๋ยใด ซึ่งใช้ระยะเวลาตั้งแต่ปลูกถึงเก็บเกี่ยวผลผลิต 12 เดือน

2.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บข้อมูลการทดลองกระบวนการหมัก จะเก็บข้อมูลจากการควบคุมปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ที่จะเข้ามามีผลกระทบต่อผลลัพธ์ของการทดลอง คือ การควบคุมปริมาณน้ำกากน้ำตาล และอาหารเสริมที่เติมด้วยการชั่งน้ำหนัก และการควบคุมสภาพแวดล้อมในถังหมักให้เท่าๆ กัน เก็บรวบรวมข้อมูลค่าวัดพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นในถังหมักทุกๆ วัน จนครบตามระยะเวลาที่กำหนดไว้ โดยการเก็บรวบรวมข้อมูลของกระบวนการหมักมีรายการต่อไปนี้

1) อาหาร (kg) เก็บข้อมูลปริมาณอาหารเสริมที่ใช้เติมในถังหมักของทุกกระบวนการหมักในแต่ละวัน

2) อุณหภูมิ (°C) เก็บข้อมูลอุณหภูมิจากการจดบันทึกที่เกิดขึ้นของแต่ละถังหมักในกระบวนการหมัก

3) ค่ากรด-ด่าง เก็บรวบรวมค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่เกิดขึ้นในน้ำหมักชีวภาพในแต่ละวัน เพื่อนำไปหาค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างของน้ำหมักชีวภาพจากแต่ละกระบวนการ

4) ค่า DO (ml/l) เก็บรวบรวมข้อมูลระดับของออกซิเจนที่จ่ายลงในถังหมักจากแรงสูญญากาศของปั๊มน้ำที่ใช้ในกระบวนการหมัก

5) เก็บรวบรวมข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์น้ำหมักชีวภาพจากแต่ละกระบวนการ เพื่อนำไปเป็น

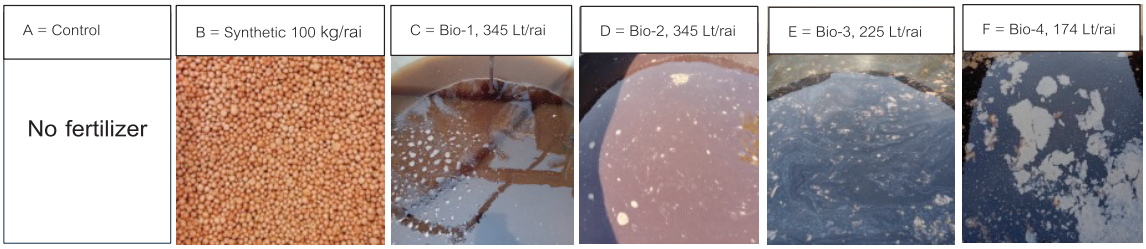


Figure 3 The amount of synthetic fertilizer and organic biofertilizer used for growing cassava in each plot at: (A) no apply any fertilizers, (B) apply synthetic fertilizer at a rate of 100 kg per rai, (C) apply organic biofertilizer formula Bio-1 in the amount of 345 liters per rai, (D) apply organic biofertilizer formula Bio-2 in the amount of 345 liters per rai, (E) apply organic bio- fertilizer formula Bio-3 in the amount of 225 liters per rai, (F) apply organic bio- fertilizer formula Bio-4 in the amount of 174 liters per rai.

Science34-N2.indd 47 23/4/2569 BE 14:43

ข้อมูลในการวิเคราะห์ถึงปัจจัยส่งผลต่อปริมาณธาตุอาหารพืชที่ได้จากแต่ละกระบวนการ

การเก็บข้อมูลการปลูก ผลผลิต และคุณภาพของมันสำปะหลัง รวบรวมข้อมูลจากแปลงทดลองปลูกมันสำปะหลัง เก็บข้อมูลผลผลิตมันสำปะหลัง จากการใช้ปุ๋ยแต่ละประเภทในแต่ละแปลงทดลอง นำผลผลิตมานับจำนวนหัวและชั่งน้ำหนักของแต่ละแปลง รวมทั้งวัดค่าเปอร์เซ็นต์แป้ง ตามขั้นตอนดังนี้

1) นับจำนวนหัวจากต้นที่เก็บมาจากแปลงทดลองปลูกกรรมวิธีละ 30 ต้น ตัดหัวออกจากเหง้าที่ถอนมาเอาเฉพาะหัวสดไม่รวมที่เป็นราก และนับจำนวนหัวมันสำปะหลังจากกรรมวิธีการปลูกที่แตกต่างกัน (ใช้ปุ๋ยต่างกัน)

2) ผลผลิตน้ำหนักหัวมันสำปะหลังสด เพื่อนำมาชั่งน้ำหนัก และหาค่าเฉลี่ยรวมของทุกต้นที่ปลูกในแปลงทดลอง โดยเก็บเกี่ยวเมื่ออายุครบ 12 เดือนหลังจากปลูกในปลายเดือนตุลาคม พ.ศ. 2566 เก็บหัวมันสำปะหลังจากต้นที่ปลูกด้านในสุดของแปลงและแสงแดดส่องเข้าถึงได้น้อย รวมกรรมวิธีละ 30 ต้น เก็บจากต้นที่ปลูกบริเวณตรงกลางแปลงปลูกเพื่อไม่ให้เกิดความโอนเอียงในการทดลอง และได้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักของผลผลิตหัวมันสำปะหลังที่มีความเที่ยงตรง และแม่นยำที่จะนำไปเป็นข้อมูลในการหาปริมาณผลผลิตรวมในแต่ละแปลงทดลองและผลผลิตต่อไร่

3) วัดปริมาณแป้งในหัวมันสำปะหลังสด ใช้เครื่องวัดเปอร์เซ็นต์แป้ง GE-002 (KB) แบบคานเลื่อน ที่มีถังบรรจุน้ำจุ่มตะแกรงชั่งขนาด 40 ลิตร และมีมาตรวัดแป้งสูงสุดได้ 34% โดยเก็บเกี่ยวหัวมันสำปะหลังจากแปลงทดลองมาสับและชั่งน้ำหนักในตะแกรงเครื่องวัดให้ได้ 5 กิโลกรัม แล้วจุ่มลงในถังน้ำของเครื่องวัดเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) ของหัวมันสำปะหลังสดกับปริมาณแป้งในหัวมันสำปะหลังที่เป็นอัตราส่วนระหว่างความหนาแน่น (Density) ของหัวมันสำปะหลังต่อความหนาแน่นของน้ำ เพื่อนำข้อมูลเปอร์เซ็นต์แป้งที่ได้มาเปรียบหาค่าเฉลี่ยของความแตกต่างระหว่างผลลัพธ์ในแต่ละแปลงทดลองที่ใช้กรรมวิธีในการปลูกที่ต่างกัน

4) ผลผลิตหัวสดต่อไร่ จากแปลงทดลองทุกแปลงนำมาชั่งน้ำหนักเพื่อหาค่าเฉลี่ย จากแต่กรรมวิธีการปลูกจำนวน 30 ต้น เพื่อนำค่าเฉลี่ยต่อต้นไปคำนวนหาปริมาณผลผลิตรวมของพื้นที่ 1 ไร่ ที่ปลูกมันสำปะหลัง 1,600 ต้น (ผลผลิตต่อไร่ = จำนวนต้น/ไร่ x น.น ผลผลิตเฉลี่ย/ต้น)

2.6 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลการทดลอง โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อทำการวิเคราะห์ผลจากการออกแบบการทดลอง ว่าปัจจัยที่ใช้ในการทดลองปัจจัยใดเป็นปัจจัยส่งผลต่อผลวิเคราะห์ที่ได้ (DOE analysis) โดยทั้ง 2 ปัจจัยที่จะนำมาวิเคราะห์หาผลลัพธ์ คือ ใบหัวมันสำปะหลังสดและใบมันสำปะหลังที่บ่ม (Quality) กับระยะเวลาการปั้มน้ำหมุนเวียนผสมอากาศในถังหมัก 2 และ 4 ชั่วโมง/วัน (Quantity) ว่าปัจจัยใดที่ใช้ในกระบวนการมีอิทธิพลส่งผลต่อธาตุอาหารหลักทำจำเป็นสำหรับพืชที่ได้จากผลวิเคราะห์ ส่วนข้อมูลการปลูกและเก็บเกี่ยวจากแปลงทดลองปลูกมันสำปะหลังนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) เพื่อหาค่าเฉลี่ยตามวิธีของ Tukey's, family error range test โดยนำข้อมูลผลผลิตและคุณภาพมาวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบว่าการนำน้ำหมักชีวภาพที่ได้จากกระบวนการหมักไปใช้ มีประสิทธิภาพและแตกต่างกันในระดับใดกับการใช้ปุ๋ยเคมีและการไม่ใส่ปุ๋ย โดยกำหนดความความเชื่อมั่นไว้ที่ 95%

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์

หลังจากเริ่มกระบวนการหมักน้ำชีวภาพ โดยใส่วัตถุดิบที่เตรียมไว้สำหรับแต่ละกระบวนการหมัก คือ ใบมันสำปะหลังทั้ง สด และบ่มก่อน เติมน้ำและหัวเชื้อจุลินทรีย์ (พ.ด.1) เพื่อเร่งกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพ ในส่วนผสมอย่างอื่นอย่างกากน้ำตาล อาหารเสริมอินทรียวัตถุเฉลี่ยเติม 30 วัน ตามระยะเวลาการ

Science34-N2.indd 48 23/4/2569 BE 14:43

หมัก จากข้อมูลที่เก็บรวบรวมของกระบวนการหมัก พบว่าปริมาณการเติมอาหารแหล่งคาร์บอนและอาหารเสริมเฉลี่ยต่อวัน คือ กากน้ำตาล 3.33 กิโลกรัม และอาหารเสริม 133 กรัมต่อวัน รวมระยะเวลา 30 วัน ส่วนค่าพารามิเตอร์ของอุณหภูมิ (°C) เฉลี่ยของแต่ละกระบวนการหมัก คือ ถังหมักควบคุม (C) 32.8°C ถังหมักที่ 2 (Bio-1) 30.0°C ถังหมักที่ 3 (Bio-2) 29.2°C ถังหมักที่ 4 (Bio-3) 29.1°C และถังหมักที่ 5 (Bio-4) 28.4°C และค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) กระบวนการควบคุม 4.2 (C) กระบวนการที่ 1 (Bio-1) 5.3 กระบวนการที่ 2 (Bio-2) 5.9 กระบวนการที่ 3 (Bio-3) 6.4 และถังหมักกระบวนการที่ 4 (Bio-4) 6.9 โดยรวมกระบวนการที่ 3 มีความกรดเล็กน้อย และกระบวนการที่ 4 มีค่า pH ที่เป็นกลาง ส่วนการปั้มน้ำหมุนเวียน (Circulate) ให้เกิดอากาศในน้ำหมักจากการเปิดปั้มน้ำหมุนเวียน (Circulating pump) ที่ออกแบบให้ทำงานอย่างต่อเนื่องตามระยะเวลาที่กำหนด (2, 4 hrs.) ให้เกิดการผสมของอากาศที่เข้ามาในท่อเติมอาหารจากแรงสูญญากาศของปั้มน้ำเข้ามาผสมกับน้ำและธาตุอาหารที่เติมรวมถึงอินทรียวัตถุที่ใส่ลงในถังหมัก และทำให้เกิดการผสมกันและย่อยสลายวัสดุหมักที่เร็วขึ้น ซึ่งพบว่าระดับค่าออกซิเจน (DO) กระบวนการควบคุม (Fresh leaves, no circulate) เฉลี่ย 0.7 mg/l น้ำหมักกระบวนการหมักที่ 1 เฉลี่ย 3.5 mg/l น้ำ (Fresh leaves, circulating 2 hrs.) น้ำหมักกระบวนการที่ 2 เฉลี่ย 4.1 mg/l (Fresh leaves, circulating 4 hrs.) น้ำหมักกระบวนการที่ 3 เฉลี่ย 4.3 mg/l (Curig leaves, circulating 2 hrs.) และน้ำหมักกระบวนการที่ 4 เฉลี่ย 4.4 mg/l (Curig leaves, circulating 4 hrs.)

3.1 ผลวิเคราะห์ธาตุอาหารพืช (N, P, K) ที่เกิดจากปัจจัยที่ใช้ในกระบวนการหมัก

ผลจากกระบวนการหมักน้ำหมักชีวภาพทั้ง 4 รูปแบบการทดลอง พบว่าใบมันสำปะหลังสดและใบมันบ่มนำมาหมัก กับการปั้มน้ำหมุนเวียนผสมอากาศเป็นเวลา 2 และ 4 ชั่วโมง/วัน (AB, P = 0.049) เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณธาตุฟอสฟอรัสที่ได้จากกระบวนการและใบมันสำปะหลังทั้งสดและบ่ม (A, P = 0.013) มีผลต่อปริมาณธาตุโพแทสเซียมที่ได้ โดยทั้งสองปัจจัย (A, B) ไม่มีผลต่อปริมาณธาตุไนโตรเจนที่ได้ในน้ำหมักชีวภาพจากกระบวนการหมัก

ผลการวิเคราะห์น้ำหมักชีวภาพมีความสัมพันธ์กับปัจจัยต่างๆ ที่ใช้ในกระบวนการหมัก โดยเฉพาะอย่างยิ่งวัตถุดิบที่ใช้ (ใบมันสำปะหลัง) ส่วนสารตั้งต้นคือออกซิเจนจากการปั้มน้ำหมุนเวียนในกระบวนการหมัก จำเป็นต้องเพิ่มระยะเวลาในการจ่ายอากาศเพิ่มขึ้นให้

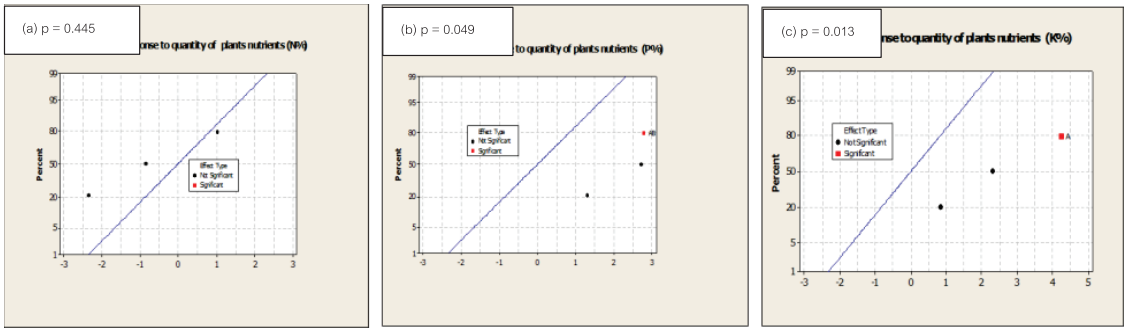


Figure 4 Normal plot of the standardized effect images (p-value) of A, B, and A*B factors affecting the quantity of plant nutrients at (a) A, B, A*B = not response is N% and p > 0.05, (b) A*B = response is P% and p < 0.05, and (c) A = response is K% and p < 0.05. (Alpha = 0.05)

Science34-N2.indd 49 23/4/2569 BE 14:43

เหมาะสม รวมถึงปัจจัยที่ควบคุมได้อย่างอื่น เช่น จุลินทรีย์ อาหารเสริม อุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง (pH) และระยะเวลาในการหมัก ที่อาจมีผลต่อปริมาณและชนิดของสารอินทรีย์ที่เกิดขึ้นในน้ำหมักชีวภาพ เช่น เอนไซม์ ฮอโมนส์พืช และธาตุอาหารต่างๆ โดยผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำหมักชีวภาพเพื่อหาปริมาณธาตุอาหารหลักที่จำเป็นสำหรับพืชที่ได้จากการหมักใบมันสำปะหลังจากทั้ง 4 กระบวนการหมักน้ำหมักชีวภาพจากผลวิเคราะห์จะเห็นว่าวิธีการหมัก Bio-4 ที่ได้ผลลัพท์มีปริมาณธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับพืชรวมกันมากสุด คือ 2.23% ดังแสดงตาม Table 3 การใช้ใบมันสำปะหลังที่บ่มกับระยะเวลาการเติมอากาศ 4 ชั่วโมงต่อวัน อาจมีผลทำให้เกิดการย่อยสลายอินทรียวัตถุหรือวัสดุหมักให้เป็นธาตุอาหารที่มีอนุภาคขนาดเล็กลงได้เร็วขึ้น และจุลินทรีย์ที่เติมลงในถังปฏิกรณ์ชีวภาพการหมักก็สามารถนำไปใช้ได้ดีขึ้น และสามารถปลดปล่อยธาตุอาหารพืชออกมาในน้ำหมักชีวภาพ ส่วนระยะเวลาการปั้มหมุนเวียนน้ำหมักผสมอากาศลงในถัง เพื่อการกระจายตัวของฟองอากาศและธาตุอาหารเสริมและแหล่งอาหารอื่นๆ ของจุลินทรีย์ให้เกิดในพื้นที่ทุกส่วนของถังหมัก ส่วนรูปแบบการหมักที่ 3 ถึงแม้ว่าจะใช้ปัจจัยแรกในการหมักเหมือนกันกับรูปแบบการหมักที่ 4 แต่การปั้มน้ำหมุนเวียนกับอากาศน้อยเกินไปจนทำให้การกระจายตัวของฟองอากาศและสารอาหารจุลินทรีย์มีไม่เพียงพอ ทำให้จุลินทรีย์ที่ต้องการอากาศไม่สามารถใช้สารอาหารและอากาศสำหรับการเจริญเติบโตเพื่อขยายจำนวนประชากรได้อย่างเพียงพอและทำให้มีการปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาในน้ำหมักชีวภาพที่น้อยลง รวมถึงสารอาหารที่ปลดปล่อยออกมาในน้ำหมักชีวภาพจากการย่อยสลายของวัสดุที่ใช้หมักที่มีน้อยเกินไป และกระบวนการที่ 2 และกระบวนการที่ 1 ที่ใช้ใบมันสำปะหลังที่สดในการหมัก ได้ปริมาณธาตุอาหารพืชรวมกันทั้ง 3 ธาตุ ในปริมาณน้อย ซึ่งอาจเป็นผลมาจากวัสดุหมักที่สดและเกิดการย่อยสลายช้าเพื่อปลดปล่อยธาตุอาหารออกมา รวมถึงการกระจายตัวของสารอาหารและอากาศมีไม่เพียงพอสำหรับจุลินทรีย์ในถังหมัก จุลินทรีย์ที่ใช้อากาศจึงไม่สามรถเจริญเติบโตและขยายจำนวนได้เพียงพอที่จะปลดปล่อยธาตุอาหารพืชออกมา เมื่อพิจารณาจากปริมาณธาตุอาหารในน้ำหมักชีวภาพที่ได้จากกระบวนการหมักที่ออกแบบ แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า ในน้ำหมักชีวภาพจากแทบทุกกระบวนการหมักมีธาตุไนโตรเจนอยู่น้อยมาก ซึ่งอาจเป็นผลมาจากหลายปัจจัย เช่น การระเหยออกสู่สภาพแวดล้อมภายนอก ระยะเวลาการหมักที่น้อยเกินไป ใบมันที่นำมาหมักแก่เกินไป ซึ่งอาจใช้ส่วนยอด ลำต้นอ่อน และใบอ่อนในการหมักให้มากขึ้น เพื่อเพิ่มธาตุอาหารพืชโดยเฉพาะ

Table 3 Total plant nutrients obtained from the processes and standards of the Department of Agriculture.

Characteristics	Bio-1 (%)	Bio-2 (%)	Bio-3 (%)	Bio-4 (%)	DOA. (%)
Nitrogen (%)	0.25	0.25	0.25	0.20	0.50
Phosphorus (%)	0.02	0.04	0.25	0.83	0.50
Potassium (%)	0.45	0.60	0.80	1.20	0.50
Total N, P, K (%)	0.72	0.89	1.30	2.23	1.50

Note: Analysis results of biological fermentation samples from the Land Development Department (64FW33 -64FW42).

Science34-N2.indd 50 23/4/2569 BE 14:43

อย่างยิ่ง ธาตุไนโตรเจน รวมทั้งธาตุอาหารรองของพืชที่ตกค้างอยู่มากในใบและลำต้นของมันสำปะหลัง

3.2 ผลการวิเคราะห์ดินจากแปลงทดลอง

ผลการวิเคราะห์ดินในแปลงปลูกก่อนที่จะปลูกมันสำปะหลัง แสดงดัง Table 4 ปรากฏว่าดินทุกแปลงส่วนใหญ่มีความเป็นกรดจัดมีค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่าง (pH) 4.98 โดยค่ากรด-ด่าง ของดินที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 6.6-7.3 (กรมพัฒนาที่ดิน) และมีปริมาณธาตุอาหารของพืชอยู่ในระดับต่ำถึงต่ำมาก อย่างเช่น โพแทสเซียม (K_2O) โดยเฉพาะดินจากแปลงที่ 6 และค่าเฉลี่ยธาตุโพแทสเซียมจากทุกแปลงคือร้อยละ 18.83 โดยค่ากลางของธาตุโพแทสเซียมที่เหมาะสมในดินแปลงปลูกคือ ร้อยละ 61-90 ส่วนปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (OM) จากผลวิเคราะห์ ดินทุกแปลงก็อยู่ในระดับที่ต่ำมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 1.2 ที่เหมาะสำหรับการเพาะปลูกควรอยู่ที่ร้อยละ 1.5-2.5 (กรมพัฒนาที่ดิน อ้างถึง OM, Walkley and Black) มีเพียงฟอสฟอรัสเท่านั้น (P_2O_5) ที่มีอยู่ในปริมาณสูงโดยเฉพาะดินจากแปลงทดลองที่ 1 มีสูงถึง 31% และค่ากลางฟอสฟอรัสที่เหมาะสมในแปลงปลูกคือร้อยละ 11-15 (กรมพัฒนาที่ดิน อ้างถึง Available P, Bray II)

3.3 ปริมาณธาตุอาหารพืช (N, P, K) ในปุ๋ยที่ใช้ปลูกมันสำปะหลัง

ปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีปลูกมันสำปะหลัง ใช้ปุ๋ยเคมีทั้งหมด 100 กิโลกรัม แบ่งใช้ 3 ครั้งๆ ละประมาณ 33 กิโลกรัม โดยใส่ครั้งแรกใช้เมื่อปลูกได้ 60 วัน ครั้งที่สองหลังปลูก 90 วัน และครั้งสุดท้ายหลังปลูกได้ 120 วัน ส่วนการใช้น้ำหมักชีวภาพฉีดพ่นทางดิน แบ่งฉีด 3 ครั้ง (Bio-1=345/3, Bio-2=345/3, Bio-3=225/3, Bio-4=174/3)ตามอายุของต้นมันสำปะหลังหลังปลูกเช่นกันกับปุ๋ยเคมี จากปริมาณการใช้ทั้งปุ๋ยเคมีและปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ แสดงให้เห็นว่า ปริมาณธาตุอาหารที่ใช้ในการปลูกมันสำปะหลังมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างค่าเฉลี่ยของธาตุอาหาร (N, P, K) ในปุ๋ยเคมีที่ใช้กับน้ำหมักชีวภาพจากกระบวนการหมักใบมันสำปะหลัง และธาตุอาหารในน้ำหมักแต่ละสูตรที่ใช้ในการปลูกมันสำปะหลังไม่มีความแตกต่างกัน ดังแสดงใน Table 5

Table 4 Soil analysis of planting plots before planting cassava.

Analysis \ Plots	Plot 1	Plot 2	Plot 3	Plot 4	Plot 5	Plot 6	Average	Level
pH	4.6	5.1	5.1	5	5.3	4.8	4.98	high
Organic matter (%)	1.1	1.5	1.2	1.1	1	0.8	1.12	low
Phosphorus (%)	31	24	13	12	11	22	18.83	high
Potassium (%)	24	28	23	33	47	21	29.33	low

Note: Analysis of soil samples from experimental plots before planting cassava from the Land Development-Department (CT64052-CT64057).

Science34-N2.indd 51 23/4/2569 BE 14:43

Table 5 Quantity of plant nutrients in fertilizers used for growing cassava

Treatments	Nitrogen (N), kg	Phosphorus (P), kg	Potassium (K), kg	Total N, P, K kg	Average N, P, K kg
Control (0-0-0)	0	0	0	0	0
Fertilizer (15-15-15)	15.0	15.0	15.0	45	$15.00^{a} \pm 0.00$
Bio-1 (0.20-0.02-0.45)	0.86	0.07	1.55	2.48	$0.827^{b} \pm 0.74$
Bio-2 (0.25-0.04-0.60)	0.86	0.13	2.07	3.06	$1.020^{b} \pm 0.98$
Bio-3 (0.25-0.25-0.80)	0.56	0.56	1.80	2.92	$0.973^{b} \pm 0.71$
Bio-4 (0.20-0.83-1.20)	0.35	1.50	2.08	3.93	$1.310^{b} \pm 0.88$

Note: The amount of nutrients in fertilizer is calculated from the weight of fertilizer (kg).

3.4 ผลการนำน้ำหมักชีวภาพไปใช้เพื่อทดสอบประสิทธิภาพ

จากการทดลองใช้น้ำหมักชีวภาพทั้ง 4 สูตร กับแปลงทดลองปลูกมันสำปะหลังเพื่อทดสอบประสิทธิภาพผลผลิตและองค์ประกอบของผลผลิต ทดสอบ 3 ด้าน คือ จำนวนหัวสดต่อต้น น้ำหนักหัวสดต่อต้น และเปอร์เซ็นต์แป้งผลผลิตหัวมันสำปะหลังสด พบว่า แปลงที่ใช้น้ำหมักชีวภาพ Bio-4 มีจำนวนหัวเฉลี่ยต่อต้นมากที่สุด คือ 8.66 หัว รองลงมาคือแปลงที่ใช้ Bio-1 จำนวน 8.30 แปลงที่ใช้ Bio-3 จำนวน 6.73 แปลง Bio-2 จำนวน 4.86 แปลง ที่ใช้ปุ๋ยเคมี 4.40 และน้อยสุดคือแปลงควบคุม 3.26 หัวต่อต้น ดังแสดงใน Table 6 ซึ่งการใช้ปุ๋ยชีวภาพใบมันสำปะหลังหมักมีผลทำให้ค่าเฉลี่ยผลผลิตจำนวนหัวสดต่อต้นมีความแตกต่างกับกรรมวิธีที่ใช้ปุ๋ยไนโตรเจนและที่ไม่ใช้ปุ๋ยใดๆ โดยพิจารณาเห็นว่าแปลงที่ใช้ปุ๋ยไนโตรเจนแม้ว่าจะมีธาตุอาหารที่มากพอแต่การใส่ปุ๋ยเคมีมันสำปะหลังในช่วงต้นเดือน ธันวาคม มกราคม และกุมภาพันธ์ ซึ่งเป็นฤดูที่แห้งแล้งและมีความชื้นที่ไม่เหมาะสม อาจส่งผลเสียทำให้ต้นมันสำปะหลังได้รับธาตุอาหารไม่สมดุล รวมถึงธาตุไนโตรเจนจากปุ๋ยเคมีที่ใช้เกิดการระเหยไปในอากาศแทนที่จะถูกดูดซึมลงในดินและรากของมันสำปะหลังสามารถดูดซึมเอาไปใช้ ทำให้เกิดผลเสียต่อระบบรากและรากขาดความสมบูรณ์และลงหัวได้น้อยลง ส่วนแปลงที่ฉีดน้ำหมักชีวภาพ แม้ว่าจะมีธาตุอาหารพืชน้อยก็ตาม แต่ก็มีข้อดีต่อการทำปฏิกิริยาร่วมกันระหว่างระบบรากของมันสำปะหลัง จุลินทรีย์ความชื้นในดิน ธาตุอาหาร ธาตุอาหารเสริมอินทรียวัตถุและฮอโมนส์พืชจากการหมักใบมันสำปะหลัง ทำให้น้ำหมักชีวภาพเป็นปัจจัยส่งผลทำให้ผลผลิตจำนวนหัวสดมันสำปะหลังเพิ่มขึ้น และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.000$)

น้ำหนักหัวสดต่อต้นเฉลี่ย การใช้น้ำหมักชีวภาพสูตร Bio-4 ปลูกมันสำปะหลัง มีผลทำให้ปริมาณผลผลิตน้ำหนักหัวสดเฉลี่ยต่อต้นมากที่สุด 8.24 กิโลกรัม รองลงมาแปลงที่ใช้สูตร Bio-3 ได้ผลผลิต 7.92 กิโลกรัม/ต้น และแปลงที่ใช้สูตร Bio-2 ได้ผลผลิต 5.88 กิโลกรัม/ต้น และแปลงที่ใช้น้ำหมักสูตร Bio-1 ได้ผลผลิตน้ำหนักหัวสดเฉลี่ยต่อต้น 4.75 กิโลกรัม ส่วนแปลงที่ใช้ปุ๋ยเคมีได้ผลผลิตน้ำหนัก 2.07 กิโลกรัม/ต้น และแปลงควบคุมน้ำหนักเฉลี่ยเพียง 1.03 กิโลกรัมต่อต้น โดยพิจารณาแสดงให้เห็นว่าการใช้น้ำหมักชีวภาพจากใบมันสำปะหลังสามารถส่งเสริมผลผลิตน้ำหนักหัวสดมันสำปะหลังได้ ซึ่ง

Science34-N2.indd 52 23/4/2569 BE 14:43

Table 6 Quantity of root per plant.

Treatments\Blocks	Block 1 (root)	Block 2 (root)	Block 3 (root)	Total (root)	Average (root)
T1 Control (0-0-0)	3.3	3.4	3.1	98	$3.26^{c} \pm 1.38$
T2 Fertilizer (15-15-15)	5.1	3.7	4.4	132	$4.40^{c} \pm 1.07$
T3 Bio-1 (0.20-0.02-0.45)	8.4	8.5	8.0	249	$8.30^{ab} \pm 2.02$
T4 Bio-2 (0.25-0.04-0.60)	5.5	4.6	4.5	146	$4.86^{c} \pm 1.57$
T5 Bio-3 (0.25-0.25-0.80)	7.3	6.5	6.4	202	$6.73^{b} \pm 1.33$
T6 Bio-4 (0.20-0.83-1.20)	10.1	7.8	8.1	260	$8.66^{a} \pm 2.27$

อาจเป็นผลมาจากการใช้ปุ๋ยชีวภาพที่ผลิตจากใบและยอดอ่อนของมันสำปะหลังที่มีส่วนประกอบของฮอโมนส์พืชที่ช่วยส่งเสริมการเกิดรากและขยายเซลล์เนื้อเยื่อของหัวได้ดีในช่วงที่ลงหัว รวมถึงมีจุลินทรีย์ที่ทนต่อสภาวะความแห้งแล้งและทำหน้าที่ในการย่อยสลายอินทรียวัตถุในดินให้เป็นสารอาหารที่มันสำปะหลังสามารถดูดซึมทางรากไปใช้งานได้ อีกอย่างในน้ำหมักชีวภาพมีธาตุอาหารเสริมจากอินทรียวัตถุที่เติมลงไปในกระบวนการหมักที่ปุ๋ยเคมีไม่มี ซึ่งช่วยเพิ่มธาตุอาหารเสริมในดินและส่งเสริมการเจริญเติบโตของทั้งจุลินทรีย์และมันสำปะหลัง โดยแปลงควบคุมมีความแตกต่างของน้ำหนักหัวเฉลี่ยต่อต้นกับแปลง T5 และ T6 ประมาณ 7-8 เท่า และแปลง T5 และ T6 มีความแตกต่างของน้ำหนักหัวเฉลี่ยกับแปลงที่ใช้ปุ๋ยเคมี (T2) ประมาณ 3-4 เท่า อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.000$) ดังแสดงตาม Table 7

ผลการวัดคุณภาพแป้ง (Starch content) แต่ละแปลงทดลอง ปริมาณแป้งจากแปลงควบคุม (T1) มีปริมาณน้อยที่สุดเฉลี่ยร้อยละ 19.7 แปลงที่ใช้ปุ๋ยเคมี (T2 fertilizer) เปอร์เซ็นต์แป้งเฉลี่ยร้อยละ 21 ส่วนแปลง T3 และ T4 มีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์แป้งไกล้เคียงกันคือร้อยละ 24.2 และร้อยละ 25.1 พิจารณาโดยรวมปริมาณเปอร์เซ็นต์แป้งจากแปลง T5 ที่ใช้น้ำหมักชีวภาพ Bio-3 และแปลง T6 ที่ใช้น้ำหมักชีวภาพ Bio-4 มีผลต่อเปอร์เซ็นต์แป้งในระดับสูงและมีค่าเฉลี่ยแตกต่างจากแปลงควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.000$) แสดงตาม Table 8

การตอบสนองของผลผลิตมันสำปะหลังต่อการใช้น้ำหมักชีวภาพที่มีธาตุอาหารในอัตราต่างๆ ผลผลิตหัวสด การใช้น้ำหมักและอัตราธาตุอาหารที่แตกต่างกันให้ผลผลิตหัวสดเฉลี่ยแตกต่างกันของการปลูกมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ที่ให้ผลผลิตหัวสดมากที่สุดคือ แปลงที่ใส่น้ำหมักสูตรที่ 4 (Bio-4) ที่มีธาตุอาหารพืชรวมกัน 2.23% ให้ผลผลิตหัวสดสูงสุด 13,195 กิโลกรัม/ไร่ ใกล้เคียงกับแปลงที่ใส่น้ำหมักสูตรที่ 3 (Bio-3) ที่มีธาตุอาหารพืช 1.30% ซึ่งให้ผลผลิตหัวสด 12,682 กิโลกรัม/ไร่ แปลงที่ใส่น้ำหมักสูตรที่ 2 (Bio-2) ที่มีธาตุอาหารพืช 0.89% ให้ผลผลิตหัวสด 9,408 กิโลกรัม/ไร่ และแปลงใส่น้ำหมักสูตรที่ 1 (Bio-1) ให้ผลผลิตหัวสด 7,605 กิโลกรัม/ไร่ แปลงใส่ปุ๋ยเคมีให้ผลผลิตหัวสด 3,552 กิโลกรัม/ไร่ และแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยให้ผลผลิตหัวสดต่ำสุด 1,658 กิโลกรัม/ไร่ โดยพบว่าผลผลิตหัวสดมันสำปะหลังจากแปลงที่ใส่น้ำหมักชีวภาพมีปฏิสัมพันธ์ที่แตกต่างกับแปลงใส่ปุ๋ยเคมีและแปลงควบคุมที่ปริมาณธาตุอาหารพืชที่ต่างกันและมีผลต่อการ

Science34-N2.indd 53 23/4/2569 BE 14:43

Table 7 Average cassava root yield per plant in each experiment plot (kg).

Treatments\Blocks	Block 1 (kg)	Block 2 (kg)	Block 3 (kg)	Total (kg)	Average (kg)
T1 Control (0-0-0)	0.95	0.93	1.23	40	$1.03^{c} \pm 0.42$
T2 Fertilizer (15-15-15)	2.81	1.88	1.53	62	$2.07^{c} \pm 0.99$
T3 Bio-1 (.25-.02-.45)	5.21	4.29	4.76	142	$4.75^{b} \pm 0.99$
T4 Bio-2 (.25-.04-.60)	6.01	5.73	5.90	176	$5.88^{b} \pm 1.06$
T5 Bio-3 (.25-.25-.80)	8.69	7.80	7.29	237	$7.92^{a} \pm 1.20$
T6 Bio-4 (.20-.83-1.2)	9.16	7.80	7.78	247	$8.24^{a} \pm 1.48$

Table 8 Quality of cassava starch (%).

Treatments\Block	Block 1 (%)	Block 2 (%)	Block 3 (%)	Average (%)
T1 Control (0-0-0)	21.0	19.0	19.0	$19.7^{c} \pm 1.15$
T2 Fertilizer (15-15-15)	22.0	20.0	21.0	$21.0^{c} \pm 1.00$
T3 Bio-1 (0.25-0.02-0.45)	24.2	24.3	24.2	$24.2^{b} \pm 0.05$
T4 Bio-2 (0.25-0.04-0.60)	24.8	25.4	25.3	$25.1^{b} \pm 0.32$
T5 Bio-3 (0.25-0.25-0.80)	27.8	27.9	27.6	$27.7^{a} \pm 0.15$
T6 Bio-4 (0.20-0.83-1.20)	29.0	29.5	30.0	$29.5^{a} \pm 0.52$

Science34-N2.indd 54 23/4/2569 BE 14:43

ให้ผลผลิตหัวสดที่สูงกว่า ส่วนในด้านคุณภาพเปอร์เซ็นต์แป้งในหัวมันสำปะหลังที่ได้จากผลการวัดเปอร์เซ็นต์แป้งหัวมันสำปะหลังจากแปลงทดลอง โดยเฉลี่ยพบว่าการปลูกมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 แปลงใส่น้ำหมักสูตรที่ 4 และสูตรที่ 3 ให้เปอร์เซ็นต์แป้งสูงสุดและใกล้เคียงกัน 29.5% และ 27.7% และแปลงใส่น้ำหมักสูตรที่ 2 และ 1 ให้เปอร์เซ็นต์แป้งปานกลาง 25.1% และ 24.2% ส่วนแปลงใส่ปุ๋ยไนโตรเจนและแปลงไม่ใส่ปุ๋ยได้เปอร์เซ็นต์แป้งต่ำสุด 21% และ 19.7% การใส่ปุ๋ยที่อัตราต่างๆ กันกับการปลูกมันสำปะหลัง ทำให้เปอร์เซ็นต์แป้งแตกต่างกันโดยมีค่าอยู่ระหว่าง 19.7-29.5% และแสดงให้เห็นว่ามีปฏิสัมพันธ์ระหว่างกรรมวิธีการปลูกใช้ปุ๋ยที่ต่างกันและการใส่ธาตุอาหารในอัตราต่างๆ ที่มีต่อการให้เปอร์เซ็นต์แป้งมันสำปะหลัง ดังแสดงใน Table 9 and Table 10

การปลูกมันสำปะหลังที่ใช้กรรมวิธี 6 กรรมวิธีในแต่ละแปลง โดยใส่ปุ๋ยและการฉีดน้ำหมัก 3 ครั้ง เริ่มให้ปุ๋ยเมื่อมันสำปะหลังอายุได้ 60 วันหลังปลูก ใช้อัตราปุ๋ยเคมีที่มีธาตุอาหารหลักรวมกัน 45 กิโลกรัม/ไร่ และใช้น้ำหมักชีวภาพที่มีธาตุ N, P, K รวมกันในอัตรา 2.48-3.93 กิโลกรัม/ไร่ โดยแปลงที่ใช้น้ำหมักได้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสด 7.6-13.1 ตัน/ไร่ และได้คุณภาพแป้ง 24.2-29.5% และแปลงที่ใช้น้ำหมักจากกระบวนการหมักที่มีธาตุอาหารหลักของพืชรวมกันสูงสุด (Bio-4) ได้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดมากที่สุด โดยเพิ่มขึ้น 271% เมื่อเทียบกับแปลงที่ใช้ปุ๋ยเคมีอัตรา 45 กิโลกรัม/ไร่ (T2) และเทียบกับแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยใดเพิ่มขึ้น 695% รวมถึงการใช้น้ำหมักที่ธาตุอาหารพืชในอัตรา 3.93 กิโลกรัม/ไร่ มีผลทำให้ผลผลิตมีคุณภาพของแป้งเพิ่มขึ้น 49.74-40.47% เมื่อเทียบกับแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยและแปลงใช้ปุ๋ยเคมีตามลำดับ

จากผลทดลองและค่าธาตุอาหารหลักของพืชที่ได้จากผลวิเคราะห์ของห้องปฏิบัติการ น้ำหมักชีวภาพมีปริมาณธาตุอาหารหลักของพืชรวมในปริมาณที่สามารถนำไปใช้ในการเพาะปลูกได้ โดยรูปแบบการทดลองที่ 4 (Bio-4) มีปริมาณธาตุอาหารพืชรวมร้อยละ 2.23 สอดคล้องกับมาตรฐานที่กรมวิชาการเกษตรกำหนดไว้ที่ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมรวมกันไม่น้อยกว่าร้อยละ 1.50 ส่วนรูปแบบการทดลองที่ 3 (Bio-3) มีธาตุอาหารพืชร้อยละ 1.30 รูปแบบการทดลองที่ 2 (Bio-2) มีธาตุอาหารพืชร้อยละ 0.89 และรูปแบบการทดลองที่ 1 (Bio-1) มีธาตุอาหารพืชเพียงร้อยละ 0.72 แม้ว่ารูปแบบการทดลองที่ 1, 2, และ 3 จะมีธาตุอาหารไม่เท่ากับเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่พบในปริมาณน้อยในน้ำหมักชีวภาพ ควรมีการควบคุมกระบวนการหมักให้ดีขึ้น รวมถึงใช้จุลินทรีย์ที่มีศักยะภาพในการตรึงไนโตรเจนเติมลงในกระบวนการหมักร่วมกับแอคติโนมัยซิสใน พ.ด.1 ส่วนธาตุฟอสฟอรัสพืชมีความต้องการในปริมาณที่ไม่มากจนเกินไป แต่ก็มีความจำเป็นในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของราก, ช่วยดูดซึมโพแทสเซียมและควบคุมผลกระทบจากการได้รับไนโตรเจนไม่ให้มากเกินไปจนเป็นพิษต่อพืช ซึ่งดินของแปลงปลูกมันสำปะหลังก็มีธาตุฟอสฟอรัสที่เพียงพออยู่แล้ว และเมื่อทดลองนำน้ำหมักชีวภาพที่มีธาตุอาหารไม่ถึงเกณฑ์ทั้ง 3 สูตร มาใช้ปลูกมันสำปะหลังโดยผสมในปริมาณอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้นให้มีธาตุอาหารที่ไกล้เคียงกับ Bio-4 พบว่ามีผลทำให้ผลผลิตของมันสำปะหลังเพิ่มขึ้น และมีความเป็นไปได้ว่าสามารถนำไปผสมกับปุ๋ยเคมีในอัตราส่วนของปุ๋ยเคมีที่ลดลง เพื่อลดต้นทุนในการทำการเกษตร อีกอย่างหนึ่งของการนำน้ำหมักชีวภาพไปใช้ที่เป็นข้อได้เปรียบที่ปุ๋ยเคมีไม่มี คือมีจุลินทรีย์ที่ทนต่อสภาพแวดล้อมที่แห้งแล้งและมีความสามารถในการย่อยสลายอินทรียวัตถุที่เป็นแร่ธาตุในดินสูง เพราะในดินส่วนใหญ่มีการทับถมของซากพืชและซากสัตว์ที่ต้องใช้เวลานานในการย่อยสลายให้เป็นธาตุอาหารของพืช ปริมาณจุลินทรีย์ที่เพียงพอในดินและน้ำหมักชีวภาพจะช่วยทำให้เกิดการย่อยสลายแร่ธาตุในดิน ก่อนที่ต้นมันสำปะหลังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เนื่องจากส่วนประกอบของแร่ธาตุในดินส่วนใหญ่จะเป็นธาตุฟอสฟอรัสที่ยากต่อการย่อยสลายและตกตะกอนตาม

Science34-N2.indd 55 23/4/2569 BE 14:43

Table 9 Rate of N, P, and K at which average root yields, quality was obtained from various fertilizer applies.

Treatments	N, P, K's formulas, 3 times applied (kg, L/rai)	N, P, K rate applied (kg /rai)	Fresh root yield (kg/rai)	Starch content (%)
Control	0-0-0	0	1,658	19.7
Fertilizer	15-15-15 (100 kg)	45	3,552	21.0
Bio-1	0.25-0.02-0.45 (345 L)	2.48	7,605	24.2
Bio-2	0.25-0.04-0.60 (345 L)	3.06	9,408	25.1
Bio-3	0.25-0.25-0.80 (225 L)	2.92	12,682	27.7
Bio-4	0.20-0.83-1.20 (174 L)	3.93	13,194	29.5

Note: Total nutrients 1% means there is 1 gram of N, P, and K in 100 grams or 100 milliliters of fermented liquid (Department of Agriculture)

Table 10 Fertilizer application rate and increased root yield (%), and quality of cassava.

N, P, K rate applied (kg /rai)	Biofertilizer vs Control root yield increase (%)	Biofertilizer vs Chemical fertilizer root yield increase (%)	Biofertilizer vs Control starch increase (%)	Biofertilizer vs Chemical fertilizer starch increase (%)
Control = 0	-	-	-	-
Fertilizer = 45	-	-	-	-
Bio-1 = 2.48	358.68	114.10	24.84	15.23
Bio-2 = 3.06	467.43	164.86	27.41	19.52
Bio-3 = 2.92	664.89	257.03	40.60	31.90
Bio-4 = 3.93	695.77	271.45	49.74	40.47

Science34-N2.indd 56 23/4/2569 BE 14:43

ธรรมชาติ รวมถึงแร่ธาตุเสริมในน้ำหมักชีวภาพก็มีผลส่งเสริมจุลินทรีย์และการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังและเพิ่มผลผลิต

ประสิทธิภาพของน้ำหมักชีวภาพ เมื่อนำไปใช้เพื่อทดสอบกับการปลูกมันสำปะหลัง พิจารณาเห็นได้ว่าแปลงปลูกมันสำปะหลังที่ใช้น้ำหมักจากกระบวนการหมักมีความแตกต่างทั้งผลผลิตและคุณภาพของหัวมันสำปะหลังสดกับแปลงที่ใช้ปุ๋ยเคมีและแปลงควบคุม ผลการวิจัยพบว่าน้ำหมักชีวภาพที่ได้กระบวนการในงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้เป็นวัสดุในปลูกมันสำปะหลังได้ โดยสามารถใช้น้ำหมักชีวภาพสูตรที่มีธาตุโพเซียมในอัตราส่วนต่อไร่ที่มากขึ้น ในการปลูกมันสำปะหลังช่วงต้นฤดูฝน (เดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม) เพื่อให้มีปริมาณธาตุโพแทสเซียมในดินที่มันสำปะหลังจะนำไปบำรุงการเติบโตของหัวได้อย่างเพียงพอ ไปจนถึงการเก็บเกี่ยวผลผลิตในช่วงเริ่มต้นฤดูฝนหรือฤดูฝนของปีถัดไป และการปลูกในช่วงปลายฤดูฝนหรือในฤดูแล้ง (เดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์) ควรใช้อัตราส่วนน้ำหมักชีวภาพต่อไร่ที่น้อยลงและควรผสมน้ำให้มากขึ้นเพื่อให้ลำต้นและใบของมันสำปะหลังที่ปลูกเจริญเติบโตได้ดีขึ้น ในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคมที่ส่วนใหญ่ฝนจะแล้ง ส่วนการปลูกในช่วงเดือนมิถุนายนถึงเดือนตุลาคม (ฤดูฝน) ไม่ควรใช้น้ำหมักชีวภาพ เพราะน้ำหมักที่ฉีดพ่นจะถูกชะล้างไปกับน้ำฝนเป็นเสียส่วนมากและทำให้ดินในแปลงสูญเสียธาตุอาหารไปกับการชะล้างของน้ำฝน เป็นผลทำให้ผลผลิตมันสำปะหลังตอนเก็บเกี่ยวไม่ได้อย่างที่คาดการณ์ไว้ โดยการใช้น้ำหมักชีวภาพสำหรับการเพาะปลูกทางการเกษตรจะต้องมีความเข้าใจวิธีการการนำไปใช้ ทั้งการใช้น้ำหมักชีวภาพเพียงอย่างเดียว หรือ ใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมีทางการเกษตรที่จะทำให้ผลผลิตพืชเพิ่มขึ้น และนำมาใช้เป็นแนวทางในการพัฒนากระบวนการนำของเหลือจากพืช นำกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดกับการปลูกพืช

4. สรุป

การศึกษาการทดลองวิธีการหมักและผลของน้ำหมักชีวภาพ ทั้ง 4 กระบวนการ ผลแสดงให้เห็นว่ากระบวนการหมักที่ใช้ใบมันสำปะหลังบ่มก่อนนำไปหมักกับการปั้มน้ำหมุนเวียนผสมอากาศ 4 ชั่วโมงต่อวัน ส่งผลให้น้ำหมักชีวภาพมีปริมาณธาตุอาหารหลักของพืชรวมร้อยละ 2.23 และสูงกว่าเกณฑ์มาตฐานที่กรมวิชาการเกษตรกำหนด ส่วนธาตุอาหารที่มีปริมาณที่น้อย ควรมีการควบคุมเพิ่มเติม ทั้งปัจจัยที่เป็น วัสดุที่นำมาหมัก ระยะเวลาการเติมอากาศ ธาตุอาหารเสริม และจุลินทรีย์ที่ใช้ในกระบวนการหมัก ในการทดสอบประสิทธิภาพน้ำหมักชีวภาพต่อการผลิตของมันสำปะหลัง ในสภาพแปลงทดลอง พบว่าการใช้ปุ๋ยชีวภาพใบมันสำปะหลังช่วยเพิ่มผลผลิต และองค์ประกอบของหัวมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ในทุกระดับธาตุอาหารในน้ำหมักชีวภาพ ในแปลงทดลองดินทรายปนร่วน ในด้านผลผลิตน้ำหนักหัวสด เปอร์เซ็นต์แป้ง โดยค่าเฉลี่ยของแปลงที่ใช้น้ำหมักชีวภาพสูตรที่ 4 ให้ผลผลิตต่อไร่สูงสุด เทียบกับแปลงควบคุมและแปลงที่ใช้ปุ๋ยไนโตรเจน พบว่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 7.95, 1.49, 3.71 และ 1.40 ตามลำดับ สรุปผลโดยรวมการใช้ปุ๋ยชีวภาพใบมันสำปะหลังจากกระบวนการหมักช่วยเพิ่มผลผลิตมันสำปะหลัง เป็นแนวทางที่ยั่งยืนในการทำการเกษตร ด้วยการนำทรัพยากรกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ช่วยรักษาความสมดุลให้กับธรรมชาติแทนการเผาทำลาย และเป็นแนวทางในการนำธาตุอาหารที่สะสมอยู่ในของเหลือทางการเกษตรมาผ่านกระบวนการหมักที่เหมาะสมและใช้เชื้อจุลินทรีย์ที่มาจากธรรมชาติและมีอยู่ในธรรมชาติ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของน้ำหมักชีวภาพ

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนุนโดย สถานีวิจัยและพัฒนาการเกษตรกรมวิชาการเกษตร สำนักพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง และท่านอาจารย์ที่ปรึกษาทุกท่านที่ให้ความรู้ ชี้แนะ และแนะนำแนวทางในการทำงานวิจัยครั้งนี้

Science34-N2.indd 57 23/4/2569 BE 14:43

6. References

[1] OAE 2022, "Agricultural Production Data," Office of Agricultural Economics 2024, Available Source: https://oae.go.th/home/article/475, September 5, 2022. (in Thai)

[2] Lovely, L., Mirasol, P., Ocampo, A., Valdez, A., Cordora, D. F. and Oberthür, T., 2018, Cassava response to fertilizer application, J. Bett Crops. 102 (2): 11-13.

[3] Tunpaiboon, N., "Business Trend / Industrial for the Chemical Fertilizer Industry in 2023-2025," Article Krungsri Research, 2023, Available Source: https://www.krungsri.com/th/research/industry/industry outlook/chemicals/chemical-fertilizers/io/io-chemical-fertilizers-2023-2025, December 12, 2023. (in Thai)

[4] Suhag, M., 2016, Potential of biofertilizers to replace chemical fertilizers, Int. Adv. Res. J Sci. Eng. Techno. 3 (5): 163-167.

[5] Chojnacka, K., Moustakas, K. and Witek-Krowiak, A., 2019, Bio-based fertilizers: A practical approach towards circular economy, J. Bioresour Technol. 295: 1-11.

[6] Glittenberg, D., Matyjaszewski, K. and Moller, M., 2012, 10.07 - Starch-based biopolymers in paper, corrugating, and other industrial applications, Polym. Sci. A Comp. Ref. 10: 165-193.

[7] Dionisi, D., 2022, Theory and Design of Fermentation Processes. 1st Ed., CRC Press is an Imprint of Taylor and Francis Group., Boca Raton, FL, 276 p.

[8] CMU 2022, "Theories and Summaries from Relevant Documents Fertilizer Theory," Chiang Mai University, Available Source: https://archive.lib.cmu.ac.th/full/T/2558/enenv50558tmk_ch2.pdf, August 20, 2022. (in Thai)

[9] LEC Partners 2024, Aerobic Fermentation Processing, Available Source: https://lee-enterprises.com/aerobic-fermentation-processing/, June 30, 2024.

[10] Soderberg, A. C., 2014, Chapter 6-Fermentation Design. Fermentation and Biochemical Engineering Handbook. pp. 85-108.

[11] ACC 2022, "Article - the Harnessing Cassava Residues for Sustainability," Asean Cassava Center, Available Source: https://sustainablecassava.org/information-hub/articles/CassavaWasteHandbook2/, June 12, 2022.

[12] Howeler, R. (2017). Effect of Cassava Production on Soil Fertility and the Long-Term Fertilizer Requirements to Maintain High Yields. In: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), The Cassava Handbook: A Reference Manual Based on the Asian Regional Cassava Training Course. CIAT, Cali, Colombia. pp. 411-428.

[13] Alamu, E.O., Dixon, A., Eyinla, T.E. and Maziya-Dixon, B., 2022, Characterization of macro and micro-minerals in cassava leaves from genotypes planted in three different agroecological locations in Nigeria, Heliyon. 8(11): e11618.

Science34-N2.indd 58 23/4/2569 BE 14:43

[14] Hawlader, N.H., Md. Fakir, S.A., Ahmad, M., Nesa, H., Md. Rahman, M., Hasan, I., Md. Islam, M., Md. Islam, S. and Md. Majumder, S.I., 2020, Cassava leaf compost influences growth, yield and nutrient uptake of rice, Annu. Res. Rev. Biol. 35(9): 23-33.

[15] Ravindran, V., 1991, Preparation of Cassava Leaf Products and Their Use as Animal Feeds. In FAO Animal Production and Health Paper, No. 95, pp. 111-125, Food and Agriculture Organization, Rome.

[16] Boukhers, I., Boudard. F., Morel, S., Servent, A., Portet, K., Guzman, C., Vitou, M., Kongolo, J., Michel, A. and Poucheret, P., 2022, Nutrition, healthcare benefits and phytochemical properties of cassava (manihot esculenta) leaves sourced from three countries (reunion, guinea, and costa Rica), Food Sci. J. 11(14): 1-15.

[17] Sosnowski, J., Truba, M. and Vasileva, V., 2023, The impact of auxin and cytokinin on the growth and development of selected crops, J. Agric. Rev. 13 (3): 1-15.

[18] Fauzan, N.D., Yusnita, Y., Asmara, S., Karyanto, A. and Widyastuti, R. A. D., 2025, Improving cassava growth and yield through auxin paste treatment on cuttings: A clonal comparison, Indones. J. Agric. 53(1): 122-130.

[19] Kurve, A., Kawale, D., Deshmukh, S., Gedam, M. and Sarve, S., 2024, Cassava leaves as a fertilizer: A sustainable technique, Int. J. Recent Adv. Multidiscip. Top. 5(2): 21-22.

[20] Ryan, P., Aerated Liquid Compost Generator, Available Source: https://rainsurfer.ie/blogs/aerated liquid-fertiliser/aerated-liquid-compost-generator, December 24, 2024.

[21] Sarin, P. and Riddech, N., 2018, Effects of agricultural residues as carriers for bio-fertilizer production to promote tomato growth in saline soil, CMU. Sci. J. 45(4): 1699-1712.

[22] A. Allouzi, M.M., A. Allouzi, S.M., Keng, Z.X., Supramaniam, C.V., Singh, A. and Chong. S., 2021, Liquid biofertilizers as a sustainable solution for agriculture, Heliyon. 8(12): 1-13.

[23] DOA 2022, "Subject: Organic Fertilizer Criteria" Department of Agriculture 2014, Archives 2014 to Present, Available Source: https://www.doa.go.th/ard/wp-content/uploads/2019/11/FEDOA11.pdf, September 21, 2022. (in Thai)

[24] LDD 2022, "Biotechnology Products," Land Development Department, Available Source: https://www.ldd.go.th/menu_5wonder/, August 24, 2022. (in Thai)

[25] Bhatti, A.A., Haq, S. and Bhat, R.A., 2017, Actinomycetes benefaction role in soil and plant Health, J. Microb. Pathog. 111: 458-467

[26] DOA 2022, "Organic Fertilizer Analysis Method Guide," Department of Agriculture (ISBN 978-974-436-679-5) Archives 2008 to Present, Available Source: http://lib.doa.go.th/multim/

Science34-N2.indd 59 23/4/2569 BE 14:43

e-book/EB00061.pdf, September 12, 2022. (in Thai)

[27] LDD 2022, "How to Collect Soil Samples for Analysis," Land Development Department, Available Source: http://iddindee.ldd.go.th/web/SoilData/3/pdf/, September 15, 2022. (in Thai)

[28] OAE 2022, "How to Plant Cassava," Office of Agricultural Economic, Available Source: https://www.doa.go.th/fc/ubonratchathani/wp-content/uploads/2022/07/, September 30, 2022. (in Thai)

Science34-N2.indd 60 23/4/2569 BE 14:43