แบคทีเรียและธาตุอาหารในน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกมะพร้าวน้ำหอม

Bacteria and Nutrients in Fermented Bio-extracts from Aromatic Coconut Husk

ธัญชนก ทองเสมอ[1] นารีรัตน์ สุขขี[1] สร้อยดาว วินิจนันทรัตน์[1*] บัณฑิต ติรชุลี[2] ภาวิณี พัฒนจันทร์[2] และ วาศนศักดิ์ ลิ้มควรสุวรรณ[3]

Thunchanok Thongsamer[1] Nareerat Sukkhee[1] Soydoa Vinitnantharat[1*] Bundit Tirachulee[2] Pavinee Patanachan[2] and Vassanasak Limkuansuwan[3]

Received: *March 14, 2025;* ***Revised:*** *May 14, 2025;* ***Accepted:*** *May 14, 2025*

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์สมบัติของน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกมะพร้าวน้ำหอมสดเหลือทิ้ง ที่ใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ในกระบวนการหมักต่างกัน ได้แก่ สารเร่งซุปเปอร์ พด.2 และ พด.7 เป็นระยะเวลา 30 วัน นำน้ำหมักมาวิเคราะห์กลุ่มประชากรแบคทีเรีย และศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรดด่าง การนำไฟฟ้า แทนนิน องค์ประกอบธาตุอาหาร ผลการศึกษาพบว่า น้ำหมักที่ใช้ พด.2 มีแบคทีเรีย Lactobacillales ร้อยละ 80 ขณะที่น้ำหมักที่ใช้ พด.7 มีแบคทีเรีย Bacillales มากถึงร้อยละ 53 และ Lactobacillales ร้อยละ 24 น้ำหมักจากเปลือกมะพร้าวน้ำหอมมีปริมาณธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองในระดับที่ใกล้เคียงกับสูตรอาหารพืชไร้ดินยกเว้นปริมาณไนโตรเจน นอกจากนี้ยังตรวจพบสารแทนนินในน้ำหมักทั้งสองชนิด ดังนั้นน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกมะพร้าวอาจจะนำไปใช้ในการเกษตรเพื่อปรับปรุงดิน รวมทั้งมีสารต้านจุลชีพ และจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์

คำสำคัญ : มะพร้าวน้ำหอม; น้ำหมักชีวภาพ; จุลินทรีย์; ธาตุอาหารพืช

[1] *คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี*
[2] *สถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี*
[3] *คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสวนดุสิต*
[1] *School of Energy, Environment and Materials, King Mongkut's University of Technology Thonburi*
[2] *Pilot Plant Development and Training Center Institute, King Mongkut's University of Technology Thonburi*
[3] *Faculty of Science, Suan Dusit University*
[*] *Corresponding Author, Tel. 08 1443 6054, E - mail: soydoa.vin@mail.kmutt.ac.th*

Abstract

This study aimed to analyze the characteristics of bio-extracts from discarded fresh aromatic coconut husk using different microbial seeds, super PD.2 and PD.7 for 30 days. The bio-extracts were analyzed for microbial community and the variation of pH, electrical conductivity, tannin, and nutrient composition. The results showed that the bio-extract using PD.2 predominantly contained Lactobacillales of 80 %, while the bio-extract using PD.7 contained Bacillales of 53 % and Lactobacillales of 24 %. The bio-extract contained macro and micronutrients at levels comparable to soilless plant nutrient formulas, except for nitrogen content. Moreover, tannin was detected in both bio-extracts. Therefore, the bio-extracts from coconut husks may be used in agriculture to improve soil quality. In addition, it contains anti-microbial and beneficial microorganisms.

Keywords: Aromatic Coconut; Bio-Extract; Microorganisms; Plant Nutrients

บทนำ

น้ำหมักชีวภาพมีการนำมาใช้ในภาคการเกษตร เพื่อปรับปรุงบำรุงดิน ควบคุมศัตรูพืช รวมถึงการใช้เป็นแหล่งธาตุอาหารสำหรับการปลูกพืชไร้ดิน เปลือกมะพร้าวน้ำหอมเป็นของเหลือทิ้งจากการตัดแต่งลูกมะพร้าว โดยเฉพาะจากโรงงานผู้ผลิตมะพร้าวน้ำหอมเพื่อบริโภคในจังหวัดราชบุรี ซึ่งเป็นแหล่งเพาะปลูกมะพร้าวน้ำหอมอันดับหนึ่งของประเทศ ส่งผลให้มีปริมาณเปลือกมะพร้าวน้ำหอมเหลือทิ้งมีอยู่ปริมาณมาก ทำให้เกิดปัญหาในการจัดการ เช่น การฝังกลบ กองทิ้งเกิดปัญหากลิ่น และน้ำเสีย ฉะนั้นการนำเปลือกมะพร้าวเหลือทิ้งไปใช้ประโยชน์เป็นน้ำหมักชีวภาพ จึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการจัดการ อีกทั้งเป็นเทคโนโลยีที่ทำได้ง่าย ช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมจากการกองทิ้งเปลือกมะพร้าวหรือฝังกลบในพื้นที่ได้อีกทางหนึ่ง การวิจัยก่อนหน้าพบว่า น้ำหมักชีวภาพ ที่หมักด้วยเศษชิ้นส่วนของปลานิล และหมักจากเศษผักผลไม้ โดยใช้หัวเชื้อจากสับปะรด รวมทั้งมีการเติมเชื้อ *Lactobacillus plantarum* และ *L. caseii* น้ำหมักชีวภาพที่ได้ ประกอบด้วย กรดอะมิโน โปรตีน และฮอร์โมนพืช โดยวัตถุดิบและหัวเชื้อในการหมักมีผลต่อองค์ประกอบของน้ำหมัก (Aroonrungsikul et al., 2004) สำหรับองค์ประกอบของเปลือกมะพร้าวมีปริมาณเซลลูโลส และลิกนินสูง โดยมีปริมาณร้อยละ 39.31 และ 29.79 (Vaithanomsat et al., 2011) และในเส้นใยมะพร้าวน้ำหอมเท่ากับร้อยละ 49.59 และ 31.83 (Rattanaporn, 2019) และธาตุอาหาร เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม สูงถึง 5.03 1.32 และ 13.23 กรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ (Saradhuldhat et al., 2014) การศึกษาน้ำชะจากเปลือกมะพร้าวพบแทนนิน 1,077 มิลลิกรัม/ลิตร (Sukkhee et al., 2024) นอกจากนี้การใช้น้ำสกัดจากปุ๋ยหมักขุยมะพร้าว ฉีดพ่นในการปลูกข้าว ช่วยลดการระบาดของโรคใบไหม้ และโรคใบจุดสีน้ำตาลได้ (Kusuwanwichid et al., 2017) การศึกษาน้ำหมักจากเปลือกมะพร้าวอ่อนหมักร่วมกับน้ำตาลและจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ พบว่ามีแทนนินและกรดอินทรีย์ที่ช่วยป้องกันโรคพืชและส่งเสริมการเจริญของผักบุ้งได้ (Refilda, Yasmine and Zilfa, 2019) ซึ่งในระหว่างการหมักเกิดการเปลี่ยนแปลงของจุลินทรีย์ได้ โดยมีจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ และจุลินทรีย์ก่อโรค การหมักที่นานเกินไปทำให้จุลินทรีย์ก่อโรคกลับมีจำนวนมากขึ้นและสารที่เป็นประโยชน์ลดลงได้ โดยระยะเวลาหมักที่เหมาะสมควรอยู่ที่ 30 วัน (Zhu et al., 2024) หัวเชื้อจุลินทรีย์ของกรมพัฒนาที่ดินที่ใช้ทำน้ำหมักชีวภาพ ได้แก่ สารเร่งซุปเปอร์ พด.2 (พด.2) เพื่อผลิตเป็นปุ๋ยอินทรีย์น้ำ และสารเร่งซุปเปอร์ พด.7 (พด.7) เพื่อผลิตสารป้องกันแมลงศัตรูพืช ซึ่งเกษตรกรสามารถนำมาใช้ทำน้ำหมักชีวภาพได้ โดยมีขั้นตอนการทำไม่ยุ่งยาก ประกอบกับเปลือกมะพร้าวน้ำหอมที่มีอยู่เป็นจำนวนมาก สามารถผลิตในปริมาณมากได้อย่างต่อเนื่องและมีความสม่ำเสมอของคุณภาพน้ำหมัก ซึ่งอาจนำกลับมาใช้ในแปลงสวนการเกษตรได้อีก หรือผลิตเพื่อจำหน่าย ซึ่งเป็นการสร้างมูลค่าให้กับของเสียและสร้างรายได้ให้กับเกษตรกรได้อีกทางหนึ่ง ทั้งนี้การศึกษาการนำเปลือกมะพร้าวน้ำหอมสดมาใช้ทำน้ำหมักมีอยู่น้อย และไม่ได้ทำการศึกษาหาปริมาณธาตุอาหารหลัก

และแบคทีเรียในน้ำหมัก ดังนั้นการทราบองค์ประกอบของธาตุอาหารพืช และแบคทีเรียในน้ำหมักจะช่วยให้มีการปรับการใช้น้ำหมักชีวภาพได้อย่างเหมาะสม และลดความเสี่ยงจากการนำไปใช้ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแบคทีเรียในน้ำหมัก และการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมี ธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรองของน้ำหมัก เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการนำไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตรต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การทำน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกมะพร้าวน้ำหอม

เปลือกมะพร้าวน้ำหอมที่ใช้ในการศึกษาวิจัยนี้ เป็นเปลือกมะพร้าวน้ำหอมสดจากสวนของโรงงานอุตสาหกรรมในจังหวัดราชบุรี เป็นมะพร้าวน้ำหอมพันธุ์ก้นจีบอายุ 190 - 200 วัน นำมาหั่นเอาเปลือกมะพร้าวออกให้มีขนาด 3 - 5 เซนติเมตร แล้วนำมาหมักภายหลังจากการหั่นเปลือกออกประมาณ 1 วัน ตามวิธีของกรมพัฒนาที่ดิน (Land Development Department, 2025) โดยใช้ พด.2 และ พด.7 ในถังพลาสติกขนาด 60 ลิตร ดังตารางที่ 1 เติมน้ำประปาในปริมาตรพอดีท่วมกับปริมาณส่วนผสมที่ใช้ในการหมัก จากนั้นกวนให้เข้ากันแล้วจึงปิดฝา โดยแง้มฝาไว้เล็กน้อย เพื่อระบายก๊าซที่เกิดขึ้นจากกระบวนการหมัก เริ่มหมักในช่วงเดือนมกราคม-กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2565 โดยขั้นตอนการดำเนินการวิจัยดังรูปที่ 1

รูปที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

ตารางที่ 1 การทำน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกมะพร้าวน้ำหอมสด

	เปลือกมะพร้าวสด (กก)	รำข้าว (กรัม)	น้ำตาลทราย (กก)	น้ำประปา (ลิตร)	สารเร่งซุปเปอร์ พด. 2 (กรัม)	สารเร่งซุปเปอร์ พด. 7 (กรัม)
น้ำหมัก พด.2	28	-	3.5	32	17.5	-
น้ำหมัก พด.7	21	70	7	30	-	17.5

2. การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำหมัก

เก็บตัวอย่างน้ำหมักที่ระยะเวลา 7 14 21 27 และ 30 วันของการหมัก นำมากรองผ่านกระดาษกรอง GF/C นำของเหลวที่กรองได้มาตรวจวัดค่าความเป็นกรดด่าง และการนำไฟฟ้าด้วยเครื่อง WTW, pH3210 ตรวจวัดไอออนบวก ได้แก่ แอมโมเนียม โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม ด้วยเครื่องไอออนโครมาโทรกราฟฟี 761 Compact IC, Metrohm, column Metrosep C4-100/4.0 ที่อัตราการไหล 0.9 มิลลิลิตร/นาที ตรวจวัดไอออนลบ ได้แก่ ไนเตรต ฟอสเฟต และซัลเฟต ด้วยเครื่องไอออนโครมาโทรกราฟฟี 761 Compact IC, Metrohm, column Metrosep A Supp5-150/4.0 ที่อัตราการไหล 0.7 มิลลิลิตร/นาที และตรวจวัดปริมาณแทนนินด้วยวิธีเปรียบเทียบสี โดยการนำของเหลวที่กรองได้ เติมน้ำยาสร้างสี Folin-Ciocalteu และนำไปวัดความยาวคลื่นที่ 760 นาโนเมตร (Sirisangsawang and Phetyim, 2023)

การศึกษากลุ่มประชากรจุลินทรีย์ใช้เทคนิคเมตาจีโนมิกส์ (Metagenomics) ด้วยการนำน้ำหมักที่ระยะเวลาการหมัก 30 วัน ปริมาตร 100 มิลลิลิตร มากรองผ่านกระดาษกรองเมมเบรนขนาด 0.47 ไมครอน จากนั้นสกัดสารพันธุกรรมดีเอ็นเอ (DNA) โดยใช้ชุดสกัด Dneasy Power Water Kit (Qiagen) วิเคราะห์ลำดับพันธุกรรม 16S rRNA โดยใช้เทคโนโลยี Oxford Nanopore โดยใช้ 16S Barcoding Kit (SQK-RAB204) ใช้ Flow cell รุ่น R9.4.1 และโปรแกรม MinKNOW Version 21.11.7 แปลงผลให้เป็นลำดับเบส (Basecalling) ด้วยโปรแกรม Guppy version 6.4.6 และวิเคราะห์ผลอนุกรมวิธาน (Taxonomy) โดยใช้ EPI2ME Platform ตามวิธีของ Oxford Nanopore (ONT, 2022) และหาร้อยละความชุกชุมสัมพัทธ์ (% Relative Abundance) ซึ่งเป็นสัดส่วนจุลินทรีย์ที่สนใจกับจุลินทรีย์ทั้งหมด

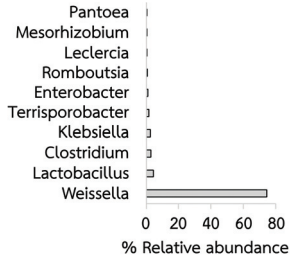
ผลการทดลองและวิจารณ์

1. จุลินทรีย์ในน้ำหมักชีวภาพ

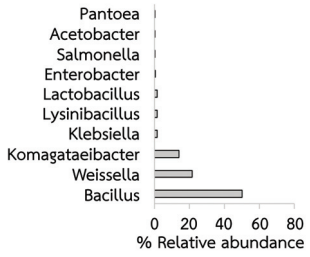
จุลินทรีย์ที่มีอยู่ใน พด.2 ของกรมพัฒนาที่ดินที่ระบุไว้ (Land Development Department, 2025) ได้แก่ ยีสต์ผลิตแอลกอฮอล์และกรดอินทรีย์ (*Pichia* sp.) แบคทีเรียผลิตกรดแลกติก (*Lactobacillus* sp.) แบคทีเรียย่อยสลายโปรตีนและไขมัน (*Bacillus* sp.) และแบคทีเรียละลายอนินทรีย์ฟอสฟอรัส (*Burkholderia* sp.) และจุลินทรีย์ใน พด.7 ได้แก่ ยีสต์ (*Saccharomyces* sp.) แบคทีเรียผลิตกรดแลกติก และแบคทีเรียผลิตกรดอะซิติก (*Gluconobacter* sp.) จุลินทรีย์ดังกล่าวเป็นจุลินทรีย์เริ่มต้น จึงทำให้เกิดการย่อยสลายโมเลกุลใหญ่ ๆ ได้ ทำให้เปลี่ยนรูปจากสารอินทรีย์เป็นสารอนินทรีย์ (Mineralization) เพิ่มธาตุอาหารพืช และแปรสภาพจากสารอินทรีย์ที่ไม่เป็นประโยชน์ให้อยู่ในรูปที่ละลายได้และเป็นประโยชน์ต่อพืช นับเป็นจุลินทรีย์หลักในกระบวนการหมัก ซึ่งนอกจากแบคทีเรียผลิตกรดแลกติก และยีสต์ แล้วยังมีเชื้อราที่สามารถย่อยโมเลกุลใหญ่ ๆ ด้วยกระบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) เช่น การย่อยสลายโปรตีน (Proteolysis) โดยจุลินทรีย์ขับเอนไซม์โปรติเอส ออกมานอกเซลล์ (Christensen et al., 2022) ในสภาวะที่เป็นเบสและกลางกลุ่ม *Bacillus* sp. เป็นกลุ่มหลักที่ผลิตเอนไซม์โปรติเอส ส่วนในสภาวะกรดจุลินทรีย์ที่เป็นกลุ่มหลักเป็นเชื้อรา (Song et al., 2023) ผลวิเคราะห์แบคทีเรียในระดับอันดับ (Order) ที่ตรวจพบในน้ำหมักในวันที่ 30 ของการหมัก ดังรูปที่ 2 พบว่าร้อยละความชุกชุมสัมพัทธ์ (Relative Abundance) ในน้ำหมักที่ใช้ พด.2 แตกต่างจาก พด.7 โดยจุลินทรีย์ในน้ำหมัก พด.2 ส่วนใหญ่พบ Lactobacillales ถึงร้อยละ 80 ส่วนในน้ำหมัก พด.7 ส่วนใหญ่พบ Bacillales ร้อยละ 53 รองมาคือ Lactobacillales ร้อยละ 24 โดย *Weissella confusa* เป็นจุลินทรีย์ที่พบมากที่สุดโดยมีค่าร้อยละของความชุกชุมสัมพัทธ์เท่ากับ 52.28 และ 15.92 ในน้ำหมัก พด.2 และ พด.7 แบคทีเรียในระดับ Genus ที่ตรวจพบในน้ำหมัก พด.2 และ พด.7 ดังรูปที่ 3 แบคทีเรียผลิตกรดแลกติก ยังสามารถผลิตเอ็กโซพอลิแซ็กคาไรด์ (Exopolysaccharides) ทำให้ดินจับกันเป็นก้อน จึงช่วยปรับสภาพดิน และทำให้จุลินทรีย์เกาะติดได้ดี (Simionescu and Petrovici, 2024) เนื่องจากเอ็กโซพอลิแซ็กคาไรด์เป็นพอลิเมอร์ชีวภาพ (Biopolymer) มีลักษณะเป็นสารเมือกมีความหนืดมีพื้นผิวประจุเป็นลบ จึงสามารถเก็บกักธาตุอาหารพืช รวมทั้งลดความเป็นพิษจากโลหะหนักได้ (Costa et al., 2018) แบคทีเรียบางชนิดสามารถใช้ชีวิตทั้งหมดหรือบางส่วนอยู่ในเนื้อเยื่อพืช โดยให้ประโยชน์แก่พืชอาศัย เรียกว่า แบคทีเรียเอนโดไฟต์ (Endophytic bacteria) แบคทีเรียผลิตกรดแลกติกที่สามารถตรวจพบในเนื้อเยื่อพืชได้ ได้แก่ Weissela, Enterococcus, Lactococcus, Lactobacillus, Leuconostoc และ Streptococcus (Yu et al., 2020)

(ก) น้ำหมัก พด.2 (ข) น้ำหมัก พด.7

รูปที่ 2 แบคทีเรีย 3 กลุ่มแรก ในระดับ Order ที่ตรวจพบในน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกมะพร้าวน้ำหอมสด โดยใช้จุลินทรีย์ พด.2 และ พด.7 ณ วันที่ 30



(ก) น้ำหมัก พด.2



(ข) น้ำหมัก พด.7

รูปที่ 3 แบคทีเรีย 10 กลุ่มแรก ในระดับ Family ที่ตรวจพบในน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกมะพร้าวน้ำหอมสด โดยใช้จุลินทรีย์ พด.2 และ พด.7 ณ วันที่ 30

Bacillus sp. สามารถสร้างเอนไซม์โปรติเอส ย่อยสลายโปรตีนได้ (Song et al., 2023) และมีสารออกฤทธิ์ที่สามารถยับยั้งเชื้อรา *Rigidoporus microporus* ที่ก่อให้เกิดโรครากขาวในยางพารา (Sungtong et al., 2021) และย่อยสลายลิกนิน *Bacillus subtilis* ผลิตไลโปเปปไทด์ เป็นสารลดแรงตึงผิวที่สามารถยับยั้งเชื้อรา *Fusarium oxysporum* สาเหตุโรคเน่าของหัวมันฝรั่งได้ โดยการยับยั้งเกิดจากกลไกการทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ของเชื้อราทำให้โปรตีนในเซลล์ของเชื้อราเปลี่ยนแปลง ส่งผลให้พืชมีความต้านทานต่อโรค และช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช (Hussain et al., 2023) *Bacillus subtilis* ยังสามารถย่อยสลายเซลลูโลส (Li et al., 2023) และลิกนิน ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของเปลือกมะพร้าวได้ แต่ประสิทธิภาพในการย่อยสลายลิกนินต่ำกว่าเชื้อรา (Grgas et al., 2023) น้ำหมัก พด.2 และ พด.7 ตรวจพบแบคทีเรียที่สร้างเอนไซม์ โปรติเอสย่อยสลายโปรตีน เซลลูเลส (Cellulase) ย่อยสลายเซลลูโลส ลิกนินเพอร์ออกซิเดส (Lignin Peroxidase) ย่อยสลายลิกนิน แทนเนส (Tannase) ย่อยสลายแทนนิน สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) และสารต่าง ๆ โดยมีค่าร้อยละความชุกชุมสัมพัทธ์ (Relative Abundance) ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แบคทีเรียที่ตรวจพบในน้ำหมัก และค่าร้อยละความชุกชุมสัมพัทธ์

แบคทีเรีย	บทบาท	ร้อยละความชุกชุมสัมพัทธ์	
		พด.2	พด.7
Bacillus sp.	จุลินทรีย์ผลิตเอนไซม์โปรติเอส (Hussain et al., 2023) และย่อยสลายลิกนิน (Grgas et al., 2023)	0.03620	0.50040
Bacillus subtilis	ผลิตเอนไซม์โปรติเอส (Hussain et al., 2023) เซลลูเลส (Li et al., 2023) และลิกนินเพอร์ออกซิเดส (Grgas et al., 2023)	0	0.00145
Bacillus licheniformis	จุลินทรีย์ผลิตเอนไซม์โปรติเอส (Hussain et al., 2023)	0	0.00010
Bacillus nakamurai		0	0.00151
Bacillus tropicus		0	0.07931
Oricola cellulosilytica	สร้างเอนไซม์เซลลูเลส (Hameed et al., 2015)	0.00009	0
Bacillus polymyxa	สร้างเอนไซม์แทนเนส (Muhammad et al., 2017)	0	0.00019
Lactobacillus acidophilus	สร้างเอนไซม์แทนเนส (Aguilar-Zarate et al., 2014)	0.00018	0
Lactobacillus plantarum	สร้างเอนไซม์แทนเนส (Tomás-Cortázar et al., 2018)	0.00036	0

ตารางที่ 2 แบคทีเรียที่ตรวจพบในน้ำหมัก และค่าร้อยละความชุกชุมสัมพัทธ์ (ต่อ)

แบคทีเรีย	บทบาท	ร้อยละความชุกชุมสัมพัทธ์	
		พด.2	พด.7
Klebsiella pneumoniae	สร้างเอนไซม์เซลลูเลส (Muhammad et al., 2017) แทนเนส (Aguilar-Zarate et al., 2014) ผลิตสารควบคุมชีวภาพ 2-3-butanediol ลดการเหี่ยวเฉาของมะเขือเทศ (Kim et al., 2022) ส่งเสริมการเจริญของพืช ผ่านกระบวนการการตรึงไนโตรเจน ละลายฟอสเฟต ผลิตแอมโมเนีย และไซเดอโรฟอร์ (Liu et al., 2018)	0.02579	0.01664
Cyanobacteria sp.	ตรึงไนโตรเจน สร้างเอ็กโซพอลิแซ็กคาไรด์ (Ji et al., 2014)	0.00153	0.00019
Lactobacillus helveticus	ส่งเสริมการเจริญของจุลินทรีย์ สร้างสารต้านอนุมูลอิสระ กระตุ้นระบบภูมิคุ้มกัน ต้านจุลชีพ (Tomás-Cortázar et al., 2018)	0.00009	0.00002
Weissella confusa	สร้างเอ็กโซพอลิแซ็กคาไรด์ และสารต้านอนุมูลอิสระ (Liu et al., 2018)	0.52285	0.15924
Bacillus megaterium	สร้างเอนไซม์แทนเนส (Aguilar-Zarate et al., 2014) และเซลลูเลส (Li et al., 2023) ย่อยสลายฟอสเฟต (Rodríguez and Fraga, 1999)	0	0.00017

Klebsiella pneumoniae เป็นจุลินทรีย์ที่ช่วยการเจริญเติบโตของพืช จึงมีบทบาทสำคัญในด้านต่าง ๆ ได้แก่ กระบวนการตรึงไนโตรเจน การผลิตแอมโมเนีย และการละลายฟอสเฟต และผลิตสารไซเดอโรฟอร์ (Siderophore) (Liu et al., 2018) ซึ่งเป็นสารที่ช่วยนำธาตุเหล็กเข้าสู่เซลล์จุลินทรีย์ภายใต้ภาวะที่ขาดแคลนหรือมีปริมาณเหล็กจำกัด โดยธาตุเหล็กเป็นแร่ธาตุที่มีความสำคัญสำหรับการเจริญของจุลินทรีย์ และยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ก่อโรค เพิ่มความต้านทานให้กับพืช (Ji et al., 2014) จุลินทรีย์บ่งชี้ที่ตรวจพบในน้ำหมักที่เป็นเชื้อก่อโรคทางเดินอาหารหรืออาหารเป็นพิษในน้ำหมัก พด.2 และ พด.7 ดังตารางที่ 3 พบว่า น้ำหมัก พด.2 ตรวจพบเชื้อน้อยกว่าน้ำหมัก พด.7 และตรวจไม่พบ *Escherichia coli*, *Salmonella* Typhi และ *Serratia marcescens* ในน้ำหมักทั้ง พด.2 และ พด.7 อย่างไรก็ตามการตรวจวัดดีเอ็นเอ สามารถตรวจวัดได้ทั้งแบคทีเรียที่มีชีวิต และไม่มีชีวิต

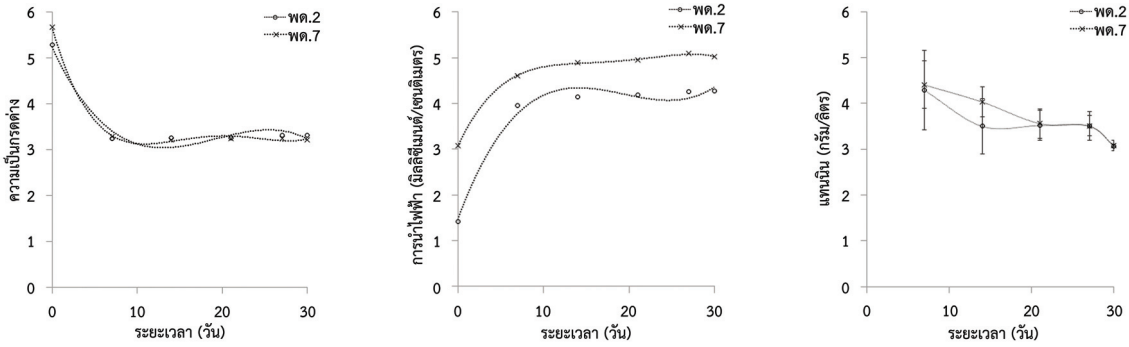
ตารางที่ 3 ร้อยละความชุกชุมสัมพัทธ์ของแบคทีเรียบ่งชี้ที่ก่อโรคและตรวจพบในน้ำหมัก

แบคทีเรียบ่งชี้	ร้อยละความชุกชุมสัมพัทธ์	
	พด.2	พด.7
Salmonella Typhi	0	0
Salmonella bongori	0.00027	0.00035
Salmonella enterica	0.00389	0.00347
Staphylococcus aureus	0	0.00010
Clostridium perfingens	0	0.00002
Citrobacter freundii	0	0.00002
Escherichia coli	0	0
Serratia marcescens	0	0

2. การเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมีของน้ำหมัก

จากผลการศึกษาพบว่า การหมักทำให้เกิดสภาพเป็นกรดเนื่องจากการย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ ทำให้เกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และกรดอินทรีย์ต่าง ๆ ค่าความเป็นกรดด่างจึงลดลง และเริ่มมีค่าคงที่ที่ 7 วัน ดังรูปที่ 4(ก) โดยที่ระยะเวลาหมัก 30 วัน น้ำหมัก พด.2 และพด.7 มีค่าความเป็นกรดด่างเท่ากับ 3.31 และ 3.29 ทำให้เกิดการละลายของแร่ธาตุต่าง ๆ และทำให้ค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้น (รูปที่ 4(ข)) โดยค่าการนำไฟฟ้าของน้ำหมัก พด.2 มีค่าสูงกว่าน้ำหมัก พด.7 เล็กน้อย

ปริมาณแทนนินในน้ำหมักมีค่าสูงในวันที่ 7 ของการหมัก และมีแนวโน้มลดลง ดังรูปที่ 4(ค) แสดงให้เห็นว่าเกิดการย่อยสลายของแทนนินที่ปล่อยออกจากเปลือกมะพร้าวน้ำหอมได้ เนื่องจากแทนนินเป็นสารประกอบโพลีฟีนอล (Polyphenolic Compound) ซึ่งสามารถเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนร่วมกับโปรตีน และโมเลกุลขนาดใหญ่ เช่น เซลลูโลสได้ แทนนินจึงย่อยสลายได้ยากต้องอาศัยเอนไซม์แทนเนส ผลิตโดยจุลินทรีย์ ซึ่งสามารถย่อยไฮโดรไลซ์แทนนิน (Hydrolysable Tannin) คอนเดนซ์แทนนิน และกรดแกลลิก (Gallic Acid) ไปเป็นโมเลกุลที่มีขนาดเล็กลง เช่น ฟีนอล (Phenol) และน้ำตาลกลูโคส (Glucose) (Yang et al., 2023) นอกจากนี้เชื้อราและยีสต์สามารถผลิตเอนไซม์แทนเนสได้ กลุ่มราเส้นใย (Filamentous Fungi) ได้แก่ กลุ่ม *Penicillium* sp. และ *Aspergillus* sp. สามารถใช้แกลโลแทนนิน (Gallotannin) และกรดแกลลิก เป็นแหล่งคาร์บอนได้ (Saxena et al., 1995) ซึ่งจากการตรวจวัดดีเอ็นเอพบว่ามีแบคทีเรียที่ย่อยสลายแทนนินได้ (ตารางที่ 2) สอดคล้องกับการลดลงของปริมาณแทนนินตามระยะเวลาหมัก อย่างไรก็ตาม ปริมาณแทนนินในน้ำหมักอาจขึ้นกับความชื้นของวัสดุหมักได้ โดยการศึกษาการอบแห้งดอกโสน พบว่าดอกโสนอบแห้งมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดคงเหลือร้อยละ 17 - 24 เมื่อเทียบกับดอกโสนสด (Lioatrakoon et al., 2018) นอกจากนี้แทนนินเป็นสารที่ช่วยยับยั้งจุลินทรีย์ก่อโรค มีบทบาทในการต้านโรคพืช แต่หากมีปริมาณมากทำให้เกิดการตกตะกอนของโปรตีน (Adamczyk et al., 2008) ส่งผลต่อการหมุนเวียนของไนโตรเจน การเจริญของจุลินทรีย์ และอาจส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช และมีรายงานว่าที่ปริมาณแทนนิน 300 - 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร มีผลต่อการงอกของเมล็ดกัญชาได้ (Jantassana and Maniin, 2024)



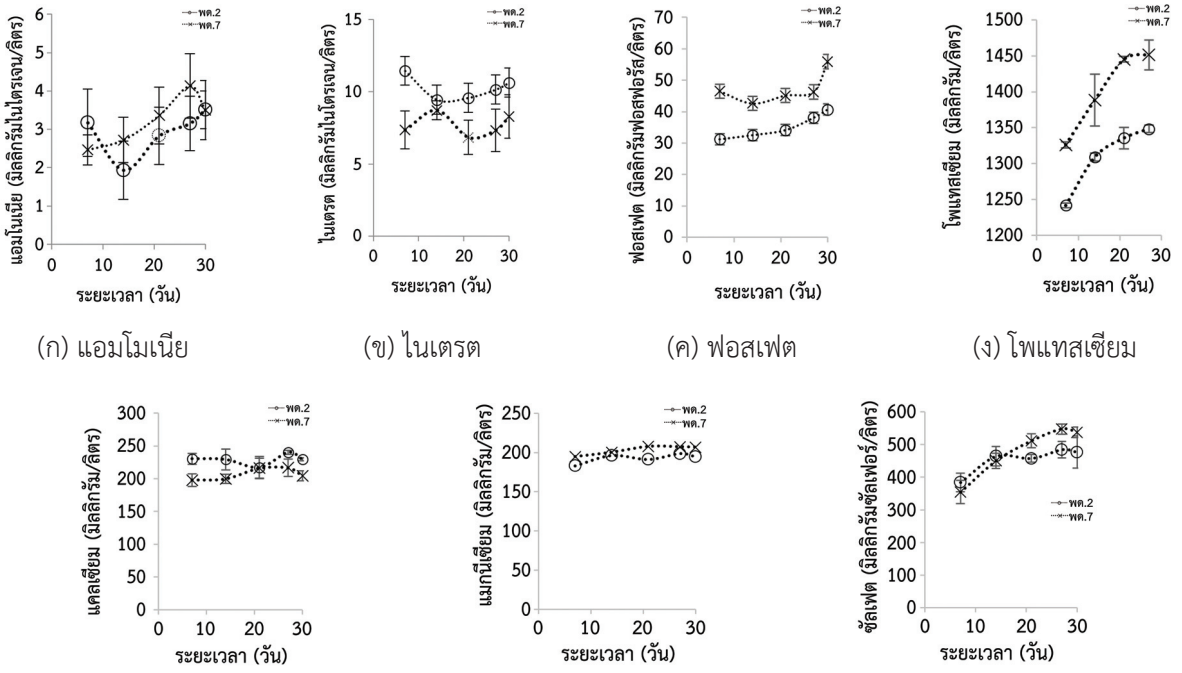
(ก) ความเป็นกรดด่าง (ข) การนำไฟฟ้า (ค) ปริมาณแทนนิน

รูปที่ 4 การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของตัวอย่างน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกมะพร้าวน้ำหอมสด โดยใช้จุลินทรีย์ พด.2 และ พด.7 ที่ระยะเวลาต่าง ๆ

ธาตุอาหารหลักพืช ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ธาตุอาหารรอง ได้แก่ แคลเซียม แมกนีเซียม และซัลเฟอร์ โดยรูปของไนโตรเจนที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ได้แก่ แอมโมเนียม และไนเตรต เนื่องจากการหมักทำในถังพลาสติก 60 ลิตร และไม่ได้เติมอากาศ ทำให้เกิดสภาวะไร้ออกซิเจนขึ้นได้ ดังนั้นกระบวนการย่อยสลายอินทรีย์ไนโตรเจนไปเป็นแอมโมเนีย จึงเกิดจากกระบวนการไฮโดรไลซิสของโปรตีนโดยเอนไซม์ และกระบวนการสร้างกรด (Acidogenesis) เกิดกรดไขมัน (Fatty Acid) และแอมโมเนีย (Ramsay and Pullammanappallil, 2001)

ปริมาณแอมโมเนียในน้ำหมักต่ำ และเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในระหว่างการหมัก (รูปที่ 5(ก)) ส่วนปริมาณไนเตรตมีมากกว่าแอมโมเนีย และไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงมากนักในระหว่างการหมัก (รูปที่ 5(ข)) การเกิดกรดอินทรีย์ทำให้ค่าความ

เป็นกรดด่างของน้ำหมักต่ำ เกิดการละลายของธาตุต่าง ๆ รวมทั้งธาตุอาหารหลักของพืช เช่น ฟอสเฟต และโพแทสเซียม ทำให้มีปริมาณเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมักดังรูปที่ 5(ค) และ 5(ง) การใช้ พด.7 ทำให้น้ำหมักมีปริมาณฟอสเฟตและโพแทสเซียมสูงกว่าการใช้ พด.2 เนื่องจากความเป็นกรดของน้ำหมัก พด.7 มากกว่า พด.2 และในน้ำหมัก พด.7 พบแบคทีเรีย 2 สปีชีส์ที่ละลายฟอสเฟต และย่อยสลายเซลลูโลสได้ ได้แก่ *Klebsiella pneumoniae* และ *Bacillus megaterium*



(ก) แอมโมเนีย (ข) ไนเตรต (ค) ฟอสเฟต (ง) โพแทสเซียม

(จ) แคลเซียม (ฉ) แมกนีเซียม (ช) ซัลเฟต

รูปที่ 5 การเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหารในน้ำหมักที่ระยะเวลาต่าง ๆ

ปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียม ไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงมากนักในระหว่างการหมัก (รูปที่ 5(จ) และ (ฉ)) ส่วนซัลเฟตมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามระยะเวลา โดยน้ำหมัก พด.7 มีปริมาณแมกนีเซียมและซัลเฟตสูงกว่าน้ำหมัก พด.2 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหารของน้ำหมักจากเปลือกมะพร้าวน้ำหอม พบว่าน้ำหมัก พด.7 มีค่าสูงกว่างานวิจัยอื่น ๆ และสูตรอาหารสำหรับพืชไร้ดิน ยกเว้นไนโตรเจนที่มีค่าต่ำกว่า ส่วนน้ำหมัก พด.2 มีปริมาณฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมมีค่าใกล้เคียงกับน้ำหมักจากกรกสุกร ดังตารางที่ 4 ค่าไนโตรเจนของงานวิจัยนี้เป็นผลรวมของแอมโมเนียและไนเตรต จึงมีค่าต่ำ ส่วนงานวิจัยอื่น ๆ เป็นค่าไนโตรเจนทั้งหมด และน้ำหมักชีวภาพที่มีส่วนผสมของสัตว์มีปริมาณไนโตรเจนสูงกว่าน้ำหมักที่ได้จากพืช โพแทสเซียมของน้ำหมักเปลือกมะพร้าวมีปริมาณสูงที่สุดเมื่อเทียบกับธาตุอาหารอื่น ๆ เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกมะพร้าวน้ำหอม ทั้งนี้มะพร้าวน้ำหอม 1 ทะลาย มีธาตุโพแทสเซียมมากที่สุด และสัดส่วนปริมาณธาตุอาหารส่วนใหญ่สะสมอยู่ในส่วนของเปลือกมะพร้าวมากกว่าร้อยละ 50 (Saradhuldhat et al., 2014)

ตารางที่ 4 ปริมาณธาตุอาหารของน้ำหมักชีวภาพต่าง ๆ และสูตรอาหารสำหรับพืชไร้ดิน

ประเภท	ไนโตรเจน* (ร้อยละ)	ฟอสฟอรัส (ร้อยละ)	โพแทสเซียม (ร้อยละ)	แคลเซียม (ร้อยละ)	แมกนีเซียม (ร้อยละ)	ซัลเฟอร์ (ร้อยละ)	อ้างอิง
น้ำหมักเปลือกมะพร้าว พด.2	0.001	0.004	0.135	0.023	0.019	0.047	งานวิจัยนี้
น้ำหมักเปลือกมะพร้าว พด.7	0.001	0.006	0.144	0.020	0.021	0.057	

ตารางที่ 4 ปริมาณธาตุอาหารของน้ำหมักชีวภาพต่าง ๆ และสูตรอาหารสำหรับพืชไร้ดิน (ต่อ)

ประเภท	ไนโตรเจน* (ร้อยละ)	ฟอสฟอรัส (ร้อยละ)	โพแทสเซียม (ร้อยละ)	แคลเซียม (ร้อยละ)	แมกนีเซียม (ร้อยละ)	ซัลเฟอร์ (ร้อยละ)	อ้างอิง
น้ำหมักผลไม้	0.11	0.002	0.112				(Ruengdechawiwat et al., 2022)
น้ำหมักนมสด	0.23	0.002	0.093				
น้ำหมักหน่อกล้วย	0.04	0.0004	0.107				
น้ำหมักรกสุกร	0.42	0.004	0.103				(Wattana et al., 2022)
สารละลาย Hoagland & Arnon	0.020	0.003	0.023	0.016	0.0034	0.0064	(Ali Al Meselmani, 2023)
สารละลาย Hewitt	0.016	0.004	0.015	0.016	0.0036	0.0048	

หมายเหตุ * ค่าไนโตรเจนเป็นผลรวมของแอมโมเนีย และไนเตรต ยกเว้นน้ำหมักผลไม้ น้ำหมักนมสด น้ำหมักหน่อกล้วย น้ำหมักรกสุกร เป็นค่าไนโตรเจนทั้งหมด

สรุปผลการวิจัย

การใช้หัวเชื้อตั้งต้น พด.2 และ พด.7 มีผลทำให้จุลินทรีย์ในน้ำหมักมีความแตกต่างกัน โดยที่จุลินทรีย์ในน้ำหมัก พด.2 ส่วนใหญ่พบ Lactobacillales ถึงร้อยละ 80 ส่วนในน้ำหมัก พด.7 ส่วนใหญ่พบ Bacillales ร้อยละ 53 ทั้งนี้เกิดการผลิตกรดอินทรีย์ในน้ำหมัก ทำให้ค่าความเป็นกรดด่างต่ำ ส่งผลต่อธาตุอาหารต่าง ๆ และแทนนินที่ปล่อยออกมา น้ำหมักจากเปลือกมะพร้าวน้ำหอมมีปริมาณโพแทสเซียมสูงที่สุด รวมทั้งมีจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในการย่อยสลาย และเป็นประโยชน์ต่อพืช มีแนวโน้มช่วยปรับโครงสร้างดินได้ น้ำหมักมีสารแทนนิน ซึ่งเป็นสารที่ช่วยยับยั้งจุลินทรีย์ก่อโรค แต่มีปริมาณไนโตรเจนที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ต่ำ จึงไม่ใช่แหล่งให้ไนโตรเจนกับพืชโดยตรง ต้องใช้ร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจน และอาจปรับให้มีองค์ประกอบทางเคมีให้เหมาะสมเพื่อนำมาใช้สำหรับการใช้ปลูกพืชไร้ดิน

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ แหล่งทุนจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม ทุนสนับสนุนด้านวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ผ่านแผนงานวิจัยเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืนและครอบคลุมทั่วถึงบนฐานการพัฒนาเชิงพื้นที่ และสร้างผลกระทบต่อชุมชน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี รหัส FD(14)6700297

References

Adamczyk, B., Kitunen, V. and Smolander, A. (2008). Protein Precipitation by Tannins in Soil Organic Horizon and Vegetation in Relation to Tree Species. *Biology and Fertility of Soils*, 45, 55-64. https://doi.org/10.1007/s00374-008-0308-0

Aguilar-Zarate, P., Cruz-Hemandez, M.A., Montanez, J.C., Belmares-Cerda, R.E. and Aguilar, C.N. (2014). Bacterial Tannases: Production, Properties and Applications Tanasas Bacterianas: Produccion, Propiedades Y Aplicaciones. *Revista Mexicana de Ingenieria Quimica*, 13(1), 63-74. https://www.redalyc.org/pdf/620/62031166005.pdf

Ali Al Meselmani M. (2023). Nutrient Solution for Hydroponics. In Metin Turan, Sanem Argin, Ertan Yildirim and Adem Güneş (Eds), *Recent Research and Advances in Soilless Culture*. (pp. 1-21).

Aroonrungsikul, C., Rattanakritakul, C., Korpraditskul R. and Romphopak T. (2004). *Bio-Fermented Juice Quality and Components*. Proceedings of the 42nd Kasetsart University Annual Conference (pp. 481-488). Bangkok, Thailand (in Thai)

Christensen, L.F., García-Béjar, B., Bang-Berthelsen, C.H. and Hansen, E.B. (2022). Extracellular Microbial Proteases with Specificity for Plant Proteins in Food Fermentation. *International Journal of Food Microbiology*, 381, 109889. https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2022.109889

Costa, O.Y.A., Raaijmakers, J.M. and Kuramae, E.E. (2018). Microbial Extracellular Polymeric Substances: Ecological Function and Impact on Soil Aggregation. *Fronteir in Microbiolology*, 9, 1636. https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01636

Grgas, D., Rukavina, M., Bešlo, D., Štefanac, T., Crnek, V., Šikić, T., Habuda-Stanić, M. and Landeka Dragičević, T. (2023). The Bacterial Degradation of Lignin-A Review. *Water*, 15(7), 1272. https://doi.org/10.3390/w15071272

Hameed, A., Shahina, M., Lai, W.A., Lin, S.Y., Young, L.S., Liu, Y.C., Hsu, Y.H. and Young, C.C. (2015). *Oricola cellulosilytica* gen. nov., sp. nov., A Cellulose-degrading Bacterium of the Family *Phyllobacteriaceae* Isolated from Surface Seashore Water, and Emended Descriptions of *Mesorhizobium loti* and *Phyllobacterium myrsinacearum*. *Antonie Van Leeuwenhoek*, 107(3), 759-771. https://doi.org/10.1007/s10482-014-0370-6

Hussain, T., Khan, A.A. and Mohamed, H.I. (2023). Metabolites Composition of *Bacillus subtilis Hussain T-AMU* Determined by LC-MS and Their Effect on Fusarium Dry Rot of Potato Seed Tuber. *Phyton-International Journal of Experimental Botany*, 92(3), 783-799. https://doi.org/10.32604/phyton.2022.026045

Jantassana, C. and Maniin, P. (2024). Effect of Tannin Concentrate on Seed Germination of Cannabis RSU 01. *Journal of Science and Technology*, 13(2), 1-9. (in Thai) http://ph03.tci-thaijo.org/index.php/JSTKU/article/view/3202/2470 (in Thai)

Ji, S.H., Gururani, M.A. and Chun, S.-C. (2014). Isolation and Characterization of Plant Growth Promoting Endophytic Diazotrophic Bacteria from Korean Rice Cultivars. *Microbiological Research*, 169(1), 83-98. https://doi.org/10.1016/j.micres.2013.06.003

Kim, B., Park, A.R., Song, C.W., Song, H. and Kim, J.-C. (2022). Biological Control Efficacy and Action Mechanism of *Klebsiella pneumoniae* JCK-2201 Producing Meso-2,3- Butanediol Against Tomato Bacterial Wilt. *Frontier in Microbiology*, 13, 914589. https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.914589

Kusuwanwichid, S., Laptrakoon, T., Tripetchkul, S. and Akeprathumchai, S. (2017). Utilization of Compost Tea from Coir Pith Compost in Parachute Rice Transplantation. In The 55th Kasetsart University Annual Conference. (pp. 919-926). Bangkok, Kasetsart University (in Thai)

Land Development Department. (2025, 10 January). *Wonder PD*. https://www.ldd.go.th/menu_5wonder/ (in Thai)

Li, H., Zhang, M., Zhang, Y., Xu, X., Zhao, Y., Jiang, X., Zhang, R. and Gui, Z. (2023). Characterization of Cellulose-Degrading Bacteria Isolated from Silkworm Excrement and Optimization of Its Cellulase Production. *Polymers*, 15(20), 4142. https://doi.org/10.3390/polym15204142

Liaotrakoon, W., Jirasatitanusorn, T., Aemnin, N. and Liaotrakoon, V. (2018). Effect of Drying Temperatures on Drying Rate, Physical and Antioxidative Properties of *Sesbania javanica* Mig. Flowers. *RMUTI JOURNAL Science and Technology*, 11(3), 57-69. https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/rmutijo/article/view/167535/120747 (in Thai)

Liu, D., Chen, L., Zhu, X., Wang, Y., Xuan, Y., Liu X., Chen, L. and Duan, Y. (2018). *Klebsiella pneumoniae* SnebYK Mediates Resistance Against *Heterodera glycines* and Promotes Soybean Growth. *Frontier in Microbiology*, 9, 1134. https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01134

Muhammad, A., Fang, Y., Hou, Y. and Shi, Z. (2017). The Gut Entomotype of Red Palm Weevil *Rhynchophorus ferrugineus* Olivier (Coleoptera: Dryophthoridae) and Their Effect on Host Nutrition Metabolism. *Frontiers in Microbiology*, 8, 1-15. https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02291

ONT. (2022, 3 May). *16S Barcoding Kit*. https://nanoporetech.com

Ramsay, I.R. and Pullammanappallil, P.C. (2001). Protein Degradation During Anaerobic Wastewater Treatment: Derivation of Stoichiometry. *Biodegradation*, 12, 247-257. https://doi.org/10.1023/A:1013116728817

Rattanaporn, K. (2019). *Improvement of the Green Coconut Fiber Properties by Cellulase Enzyme for Yarn Production* [Master's Thesis]. Rajamangala University of Technology Thanyaburi. http://www.repository.rmutt.ac.th/xmlui/handle/123456789/3848 (in Thai)

Refilda, Yasmine, S. and Zilfa. (2019). Characterization and Utilization of Young Coconut Waste (*Cocos nucifera* L) for Manufacturing Fermented Plant Extracts having Potential as Natural Fertilizer and Pesticide. *Research of Journal Chemistry and Environment*, 23(2), 23-30. http://repo.unand.ac.id/28383/1/BP-RFD-01.pdf

Rodríguez, H. and Fraga, R. (1999). Phosphate Solubilizing Bacteria and Their Role in Plant Growth Promotion. *Biotechnology Advances*, 17(4-5), 319-339. https://doi.org/10.1016/S0734-9750(99)00014-2

Ruengdechawiwat, S., Sanawong, P. and Thuanrod, O. (2022). Fermented Bioextracts Natural Products to Enhance Growth and Yield of RD41 Rice (*Oryza sativa* L.). *Science and Technology Nakhon Sawan Rajabhat University Journal*, 14(19), 1-11. https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/JSTNSRU/article/view/244120/166904 (in Thai)

Saradhuldhat, P., Choorueng, M., Abdullakasim, S. and Phavaphutanon, L. (2014). Macro-Nutrient Content in Aromatic Coconut Produce. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 42, 192-197. https://ag2.kku.ac.th/kaj/PDF.cfm?filename=F_037.pdf&id=1565&keeptrack=8 (in Thai)

Saxena, R.K., Sharmila, P. and Singh, V.P. (1995). *Microbial Degradation of Tannins*. *Progress in Industrial Microbiology*, 32, 259-270. https://doi.org/10.1016/S0079-6352(06)80038-X

Simionescu, N. and Petrovici, A.-R. (2024). Enhancing the Antioxidant Potential of *Weissella confusa* PP29 Probiotic Media through Incorporation of *Hibiscus sabdariffa* L. Anthocyanin Extract. *Antioxidants*, 13(2), 165. https://doi.org/10.3390/antiox13020165

Sirisangsawang, R. and Phetyim, N. (2023). Optimization of Tannin Extraction from Coconut Coir through Response Surface Methodology. *Heliyon*, 9(2), e13377. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13377

Song, P., Zhang, X., Wang, S., Xu, W., Wang, F., Fu, R. and Wei, F. (2023). Microbial Proteases and Their Applications. *Frontier in Microbiology*, 14, 1236368. https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1236368

Sukkhee, N., Vinitnantharat, S., Pratinthong, N., Intarapong, P., Singtosri, S. and Manakij, A. (2024). Organic Plant Pot from Discarded Aromatic Coconut and Flooring Materials from Pig House. *Science and Technology Nakhon Sawan Rajabhat University Journal*, 16(24), 42-55. https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/JSTNSRU/article/view/253448/171305 (in Thai)

Sungtong, S., Pengnoo, A. and Boonyapipat, P. (2021). Efficacy of *Bacillus* spp. in Controlling Soilborne Pathogen *Rigidoporus microporus* under Control Conditions. *Songklanakarin Journal of Plant Science*, 8(1), 34-43. https://www.sjplantscience.com/index.php/ojs/article/view/48/23 (in Thai)

Tomás-Cortázar, J., Plaza-Vinuesa, L., de las Rivas, B., Lavin, J.L., Barriales, D., Abecia, L., Mancheno, J.M., Aransay, A.M., Munoz, R., Anguita, J. and Rodriguez, H. (2018). Identification of a Highly Active Tannase Enzyme from the Oral Pathogen *Fusobacterium nucleatum* subsp. *Polymorphum*. *Microbial Cell Factories*, 17(33), https://doi.org/10.1186/s12934-018-0880-4

Vaithanomsat, P., Apiwatanapiwat, W., Chumchuent, N., Kongtud, W. and Sundhrarajun, S. (2011). The Potential of Coconut Husk Utilization for Bioethanol Production. *Kasetsart Journal - Natural Science*, 45(1), 159-164.

Wattana, K., Pankrun, R. and Sriplai, A. (2022). The Effect of Various Fermented Bio-extract on Yield of Thai Striped Eggplant (*Solanum melongena* L.) Variety Nang Pha Ya, *Agriculture and Technology Journal*, 3(2), 76-85. https://li01.tci-thaijo.org/index.php/atj/article/view/255339/177895 (in Thai)

Yang, F., Chen, C., Ni, D., Yang, Y., Tian, J., Li, Y., Chen, S., Ye, X. and Wang, L. (2023). Effects of Fermentation on Bioactivity and the Composition of Polyphenols Contained in Polyphenol-Rich Foods: A Review. *Foods*, 12(17), 3315. https://doi.org/10.3390/foods12173315

Yu, A.O., Leveau, J.H.J. and Marco, M.L. (2020). Abundance, Diversity and Plant-Specific Adaptations of Plant-associated Lactic Acid Bacteria. *Environmental Microbiology Reports*, 12(1), 16-29. https://doi.org/10.1111/1758-2229.12794

Zhu, M., Xu, D., Liao, C., Zhang, T., Zhou, B., Wang, K., Li, P., Cheng, Z. and Chen, C. (2024). Microbial Dynamics and Pathogen Control During Fermentation of Distiller Grains: Effects of Fermentation Time on Feed Safety. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(21), 11463. https://doi.org/10.3390/ijms252111463