ATJ วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี
Agriculture and Technology Journal

ปีที่ 4 ฉบับที่ 3 กันยายน - ธันวาคม 2566
Vol.4 No.3 September - December 2023

ISSN 2730 - 163X
คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์

คำนำ

วารสารวิจัยเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี เป็นวารสารที่จัดทำขึ้นเพื่อตีพิมพ์บทความที่เป็นประโยชน์ต่อวงการวิชาการและบุคคลทั่วไป โดยมีสาขาย่อย 3 สาขา ได้แก่ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เกษตรศาสตร์ และวิศวกรรมศาสตร์ โดยวารสารฉบับนี้ได้เผยแพร่ผลงานที่มีเนื้อหาทางด้านวิชาการ การสร้างองค์ความรู้ การบูรณาการ และข้อมูลอันเป็นประโยชน์จากคณาจารย์ นักศึกษา และผู้เชี่ยวชาญในสาขาวิชาต่าง ๆ เพื่อจะนำไปสู่การยกระดับคุณภาพชีวิต รวมทั้งก่อให้เกิดประโยชน์ทางด้านวิชาการแก่ผู้ที่สนใจทั่วไป โดยมีบทความ 10 เรื่อง ที่มีเนื้อหาหลากหลาย ได้แก่ 1) ความหลากชนิดของพรรณไม้ในพื้นที่ป่าภูห้วยทราย อำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา 2) อีโคไลและรูปแบบการดื้อต่อยาปฏิชีวนะภายใต้กระบวนการผลิตปุ๋ยหมักจากเศษอาหาร 3) การพัฒนาดินปลูกเพื่อการผลิตแตงโมในกระถางแบบแนวตั้งกลางแจ้ง 4) ผลของอัตราภาระทางชลศาสตร์และอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ต่อประสิทธิภาพการกรองน้ำบาดาลจากชุดเครื่องกรองน้ำบาดาล 5) อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับโพรดิวเซอร์แก๊ส 6) ความสามารถในการกระจายและเพิ่มออกซิเจนในน้ำของกังหันน้ำกรณีศึกษาน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการบำบัดแล้วในโรงพยาบาล 7) การออกแบบและพัฒนาผลผลิตการปลูกข้าวด้วยระบบอินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง 8) พืชสมุนไพรที่ใช้ในการรักษาโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง (Non-Communicable diseases; NCDs) โดยหมอยาพื้นบ้าน ในอำเภอเสลภูมิ จังหวัดร้อยเอ็ด 9) ผลของการเสริมผงผักต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบว่าว 10) การนำฟอสฟอรัสกลับคืน ด้วยกระบวนการตกผลึกสตรูไวท์

โดยบทความได้ผ่านการพิจารณา และการกลั่นกรอง จากผู้ทรงคุณวุฒิทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย กองบรรณาธิการขอขอบคุณนักวิจัยทุกท่านที่ได้ส่งบทความเข้ามาขอรับการตีพิมพ์ในวารสาร และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าบทความในวารสารฉบับนี้จะก่อให้เกิดประโยชน์ทางวิชาการของประเทศไทยต่อไป

กองบรรณาธิการ

วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี

วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี

Agriculture and Technology Journal

วัตถุประสงค์ เพื่อเผยแพร่ความรู้และผลงานวิชาการทางด้านการเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี รวมทั้งเป็นสื่อกลางในการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นทางวิชาการเชิงสร้างสรรค์ เพื่อส่งเสริมอาจารย์ นักวิชาการ นักวิจัย นักศึกษา และผู้ที่เกี่ยวข้องให้มีส่วนร่วมในการถ่ายทอดองค์ความรู้เทคโนโลยีหรือนวัตกรรมแก่สังคม

เจ้าของ/สำนักงานวารสาร คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี 145 หมู่ 15 ต.นอกเมือง อ.เมืองสุรินทร์ จ.สุรินทร์ 32000
โทร. 044-153093 โทรสาร. 044-153093
E-mail: atj.rmuti@gmail.com
Website: https://li01.tci-thaijo.org/index.php/atj/index

กำหนดออกวารสาร พิมพ์เผยแพร่ราย 4 เดือน

- ฉบับที่ 1 ประจำเดือน มกราคม – เมษายน
- ฉบับที่ 2 ประจำเดือน พฤษภาคม – สิงหาคม
- ฉบับที่ 3 ประจำเดือน กันยายน – ธันวาคม

พิมพ์ที่ คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ
ปีที่ 4 ฉบับที่ 3

ศาสตราจารย์ ดร.สุรพล แสนสุข	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.ไพรัตน์ ศรแผลง	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนัญญา โพธิ์ประดิษฐ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อำนวย วัฒนกรสิริ	มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรสิงห์ อารยางกูร	มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอื้อมพร จันทร์สองดวง	มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุจินต์ จิระชีวะนันท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัฐบาล ขันธ์โพธิ์น้อย	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิระพันธ์ สีหานาม	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุนิดา เมืองโคตร	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชาดา เลาหศิลป์สมจิตร์	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรสา ประสิทธิ์นอก	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ น.สพ.ดร.สุทธิดล ปิยะเดชสุนทร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สหภัทร ชลาชัย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วุฒิชัย สิทธิวงษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศักดิ์ชาญ เหลืองมณีโรจน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชญา ศรีธรรม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิไลพร อินสุวรรณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นัจภัค สุขสวัสดิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นภาพร ดีสนาม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตลำปาง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วีรชาติ โตแก้ว	มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ธรรมนูญ ปัญญาทิพย์	มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์
อาจารย์ ดร.วรรณวิภา พินธะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
อาจารย์ ดร.นพดล สมผล	มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
อาจารย์ ดร.ณัฐวุฒิ ศรีวิบูลย์	มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์
อาจารย์ ดร.เทียมมะณีย์ รัตนวีระพันธ์	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
อาจารย์ ดร.ชัชวาลย์ แสงฤทธิ์	มหาวิทยาลัยนครพนม
อาจารย์ ดร.ภาณุพงศ์ ผลเจริญ	มหาวิทยาลัยนครพนม

บทบรรณาธิการ

คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

วิทยาเขตสุรินทร์

วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี(Agriculture and Technology Journal) เป็นวารสารทางวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่มีผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer review) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่ความรู้และผลงานวิชาการทางด้านเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี รวมทั้งเป็นสื่อกลางในการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นทางวิชาการเชิงสร้างสรรค์ เพื่อส่งเสริมอาจารย์ นักวิชาการ นักวิจัย นักศึกษา และผู้ที่เกี่ยวข้องให้มีส่วนร่วมในการถ่ายทอดองค์ความรู้ เทคโนโลยี หรือนวัตกรรมแก่สังคม ทำการเผยแพร่ในรูปแบบวารสารอิเล็กทรอนิกส์ฐานข้อมูลระบบออนไลน์ และรูปเล่ม จำนวน 3 ฉบับต่อปี ในทุก ๆ 4 เดือน โดยฉบับที่ 1 ระหว่างเดือนมกราคม-เมษายน ฉบับที่ 2 ระหว่างเดือนพฤษภาคม-สิงหาคม และฉบับที่ 3 ระหว่างเดือน กันยายน-ธันวาคม เปิดรับบทความที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ เกษตรศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ให้เป็นไปตามรูปแบบของวารสาร

คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี ได้เห็นความสำคัญของการพัฒนาและส่งเสริมผลงานวิจัยเพื่อเผยแพร่เชิงบูรณาการให้มีคุณภาพ เกิดประโยชน์อย่างแท้จริง สำหรับฉบับนี้ มีบทความวิจัยด้วยกัน 10 เรื่อง ประกอบด้วยสาขาเกษตรศาสตร์ 2 เรื่อง สาขาวิศวกรรมศาสตร์ 4 เรื่อง สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 4 เรื่อง โดยวารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี (Agriculture and Technology Journal) เป็นวารสารที่มีคุณภาพและมีชื่อในศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (Thai-Journal Citation Index Centre; TCI2)

กองบรรณาธิการขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ให้ข้อเสนอแนะสำหรับในแต่ละบทความวิจัย ขอบคุณผู้เขียนทุกท่านที่ได้ส่งบทความอันเป็นประโยชน์ เผยแพร่สู่สาธารณะเพื่อพัฒนางานวิจัยของชาติต่อไป

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วุฒิชัย สิทธิวงษ์

บรรณาธิการ

วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี | Agriculture and Technology Journal

ปีที่ 4 ฉบับที่ 3 กันยายน – ธันวาคม 2566 | Vol.4 No.3 September – December 2023

สารบัญ

วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี | Agriculture and Technology Journal
ปีที่ 4 ฉบับที่ 3 กันยายน – ธันวาคม 2566 | Vol.4 No.3 September – December 2023

สารบัญ

วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี | Agriculture and Technology Journal

ปีที่ 4 ฉบับที่ 3 กันยายน – ธันวาคม 2566 | Vol.4 No.3 September – December 2023

สารบัญ

วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี | Agriculture and Technology Journal

ปีที่ 4 ฉบับที่ 3 กันยายน - ธันวาคม 2566 | Vol.4 No.3 September – December 2023

Received: April 28, 2023; Revised: August 15, 2023; Accepted: September 18, 2023

ความหลากชนิดของพรรณไม้ในพื้นที่ป่าภูห้วยทราย อำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา

Species diversity of plants in Phu Huay Sai forest, Khon Buri district, Nakhon Ratchasima province

ผุสดี พรหมประสิทธิ์[1*] พัชรดา นามคุณ[2] และอภิสมัย ใช้ฮวดเจริญ[2]

Phutsadee Phromprasit[1*] Patcharada Namkhun[2] and Apisamai Chaihuadcharoen[2]

[1]คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา

[1]Faculty of Science and Technology, Nakhon Ratchasima Rajabhat University, Nakhon Ratchasima Province

[2]คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา

[2]Faculty of Education, Nakhon Ratchasima Rajabhat University, Nakhon Ratchasima Province

[*]Corresponding Author E-mail Address : phutsadee.p@gmail.com

บทคัดย่อ

ศึกษาความหลากชนิดและการใช้ประโยชน์ของพรรณไม้ในพื้นที่ป่าภูห้วยทราย ตำบลบ้านใหม่ อำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา โดยวิธีการสุ่มวางแปลงตัวอย่างแบบสี่เหลี่ยมขนาด 40x40 ตารางเมตร จำนวน 3 แปลง ระหว่างเดือนธันวาคม พ.ศ. 2562 ถึงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2563 และสอบถามการใช้ประโยชน์ของพรรณไม้บริเวณป่าภูห้วยทราย ในหมู่บ้านอังโกน หมู่บ้านหัวบึง และหมู่บ้านทรัพย์อุดม จำนวน 30 ครัวเรือน โดยใช้แบบสัมภาษณ์แบบมีโครงสร้าง ผลการศึกษาพบพืชจำนวน 49 วงศ์ 82 สกุล 118 ชนิด วงศ์ที่พบมากที่สุด คือ วงศ์ถั่ว พบ 17 ชนิด พรรณไม้ต้นที่มีค่าดัชนีความสำคัญมากที่สุด คือ แดง (*Xylia xylocarpa* (Roxb.) Taub.) มีค่าเท่ากับ 56.21 รองลงมา คือ ปอแก่นเทา (*Grewia eriocarpa* Juss.) มีค่าเท่ากับ 30.72 และ สะแบง (*Dipterocarpus intricatus* Dyer) มีค่าเท่ากับ 26.15 ค่าดัชนีความหลากชนิดของไม้ต้นและไม้พื้นล่าง มีค่าเท่ากับ 2.90 และ 3.10 และค่าดัชนีความสม่ำเสมอของไม้ต้นและไม้พื้นล่าง มีค่าเท่ากับ 0.53 และ 0.42 พบพืชต่างถิ่นรุกราน 7 ชนิด ได้แก่ ตีนตุ๊กแก (*Tridax procumbens* L.) มะแว้งนก (*Solanum nigrum* L.) ลูกใต้ใบ (*Phyllanthus amarus* Schumch. & Thonn.) สาบม่วง (*Praxelis clematidea* (Hieron. Ex Kuntze) R.M. King & H.Rob.) สาบเสือ (*Chromoleana odoratum* (L.) R.M. King & H.Rob.) หญ้าขจรจบดอกเล็ก (*Pennisetum polystachyon* (L.) Schult.) และ โทงเทง (*Physalis angulata* L.) สามารถนำพืชไปใช้ประโยชน์ได้ 4 ประเภท ได้แก่ พืชที่ใช้เป็นสมุนไพร จำนวน 17 ชนิด พืชที่ใช้เป็นอาหาร จำนวน 9 ชนิด พืชที่เกี่ยวข้องกับที่อยู่อาศัย จำนวน 8 ชนิด และพืชที่ใช้เป็นเชื้อเพลิง จำนวน 4 ชนิด ซึ่งงานวิจัยนี้สามารถนำไปเป็นข้อมูลการอนุรักษ์ทรัพยากรป่าไม้ในพื้นที่ต่อไป

คำสำคัญ: ความหลากชนิดของพรรณไม้ การใช้ประโยชน์ ป่าภูห้วยทราย ดัชนีความสำคัญ

Abstract

The study of plant diversity and utilization in Phu Huay Sai forest, Ban Mai subdistrict, Khon Buri district, Nakhon Ratchasima province. Conducted between December 2019 and November 2020 using random sampling. A plot of 3 square meters of 40x40 meter^2 was applied. The inhabitants of 30 homes in the village of Angon, Hua Bueng, and Subudom were interviewed using a structured questionnaire. The results show that there were 49 families 82 genera and 118 species. The most commonly represented family was Fabaceae (17 species). The most important of trees was *Xylia xylocarpa* (Roxb.) Taub., *Grewia eriocarpa* Juss. and *Dipterocarpus intricatus* Dyer. The important value indexes were 56.21, 30.72, and 26.15 respectively. The values of the species diversity index (Shannon's index, H) of trees and understory were 2.90 and 3.10. The evenness index (E) of trees and understory were 0.53 and 0.42. Seven invasive plants; *Tridax procumbens* L., *Solanum nigrum* L., *Phyllanthus amarus* Schumch. & Thonn., *Praxelis clematidea* (Hieron. Ex Kuntze) R.M. King & H.Rob., *Chromoleana odoratum* (L.) R.M. King & H.Rob., *Pennisetum polystachyon* (L.) Schult. and *Physalis angulata* L., were found in the forest. The plants were classified into 4 groups according to their usages; herbs (17 species), foods (9 species), constructions (8 species), and fuels (4 species), respectively. This research would be used for information to conserve forests in the future.

Keywords: Plant diversity, Utilization, Phu Huay Sai forest, Importance value index

บทนำ

สังคมป่าไม้ในประเทศไทยมีหลายปัจจัยที่ทำให้สังคมพืชแตกต่างกันทั้งสภาพภูมิประเทศที่แตกต่างกัน เช่น ทางภาคเหนือมีเทือกเขาสูงสลับซับซ้อน ภาคกลางเป็นที่ราบ ทางฝั่งตะวันออกเป็นที่ราบสูงและลาดลงแม่น้ำโขง มีแนวสันเขาต่อเนื่องจากภาคตะวันตกไปสุดทางภาคใต้ นอกจากสภาพภูมิประเทศที่แตกต่างกันแล้วสภาพภูมิอากาศก็มีความแตกต่างกันด้วย เช่น ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ และความชื้นในอากาศ เป็นต้น (สราวุธ, 2562) นอกจากนั้นความหลากหลายของระบบนิเวศป่าจะถูกควบคุมโดยกระบวนการทางธรรมชาติ ซึ่งมีความผันแปรในด้านภูมิศาสตร์และพันธุศาสตร์เป็นตัวกำหนด ป่าไม้แต่ละประเภททั้งป่าผลัดใบและป่าไม่ผลัดใบประกอบด้วยสังคมพืชและสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน การเจริญเติบโตและการดำรงอยู่ของสังคมพืชซึ่งเป็นโครงสร้างส่วนที่มีชีวิต ซึ่งลมฟ้าอากาศ ดิน ภูมิประเทศ และไฟป่า สิ่งเหล่านี้จะเป็นตัวควบคุมทำให้เกิดป่าชนิดต่าง ๆ (นิวัติ, 2556) อีกทั้งการเพิ่มของประชากร การขยายตัวทางเศรษฐกิจ ความเจริญก้าวหน้าทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี การสร้างสิ่งก่อสร้าง รวมถึงความไม่รู้หรือรู้เท่าไม่ถึงการณ์ก็เป็นสาเหตุที่ทำให้ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมถูกทำลาย ซึ่งการเรียนรู้เรื่องป่าและแนวทางการอนุรักษ์ป่า จะทำให้เกิดความรู้ความเข้าใจ เกิดความรักและหวงแหน ตลอดจนสามารถช่วยป้องกันการลดลงและพยายามให้มีพื้นที่ป่าเพิ่มขึ้น เพื่อให้ทรัพยากรป่าไม้คงเหลือเป็นมรดกอันล้ำค่าเคียงคู่ประเทศและลูกหลานไทยในอนาคต (ศศินา, 2550)

การสำรวจทรัพยากรป่าไม้เป็นกระบวนการที่จะนำไปสู่การได้ข้อมูลที่อธิบายถึงลักษณะต่าง ๆ ของป่า ทั้งด้านคุณภาพและด้านปริมาณ รวมถึงรูปแบบการกระจายของพรรณไม้ และเป็นการรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับป่าไม้ เช่น ชนิดของป่าไม้ ความหนาแน่น ขนาดและปริมาณของต้นไม้ อีกทั้งยังรวมถึงข้อมูลเกี่ยวกับสภาพภูมิประเทศ โดยเฉพาะเกี่ยวกับระดับความสูง ความลาดชัน นำไปสู่ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของประชากรป่าไม้ในพื้นที่ อีกทั้งเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการบริหารจัดการทรัพยากรป่าไม้

(ดวงใจ และคณะ, 2558) ป่าไม้ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือคิดเป็นร้อยละ 14.98 จากพื้นที่ครอบคลุม 20 จังหวัด จังหวัดที่มีสัดส่วนพื้นที่ป่าไม้เทียบกับพื้นที่จังหวัดมากที่สุด ได้แก่ มุกดาหาร (ร้อยละ 32.93) รองลงมาคือ เลย (ร้อยละ 32.18) สำหรับจังหวัดนครราชสีมา ร้อยละ 15.41 (กรมป่าไม้, 2564) ซึ่งพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นป่าเต็งรัง ดินเป็นดินทรายหรือลูกรัง พรรณไม้เด่นที่สำคัญ ได้แก่ ไม้เต็ง ไม้พลวง ไม้รัง ไม้เหียง และไม้พะยอม เป็นต้น

ป่าภูห้วยทราย ตำบลบ้านใหม่ อำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา อยู่สูงจากระดับน้ำทะเล 200-300 เมตร ลักษณะพื้นที่เป็นที่ราบต่ำ สลับกับที่ดอน และพื้นที่เป็นลูกคลื่นตื้น เป็นป่าอนุรักษ์โดยชุมชนประกอบด้วยพรรณไม้ที่เป็นแหล่งที่อยู่ของสัตว์หลายชนิดที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของคนในชุมชนท้องถิ่นเพราะเป็นแหล่งอาหาร ยาสมุนไพร และวัตถุดิบที่ใช้ในครัวเรือนตามวิถีชีวิตวัฒนธรรมและสังคมท้องถิ่น นอกจากนี้ยังสามารถสร้างรายได้ให้กับชาวบ้านในพื้นที่ได้จากการเก็บพืชผัก ปัจจุบันเป็นป่าเสื่อมโทรม มีการแผ้วถางป่าเพื่อทำการเกษตร เช่น ปลูกอ้อย และผลไม้หลายชนิด จึงทำให้พื้นที่ป่าถูกบุกรุก เผา ทำลาย และลดลงอย่างต่อเนื่อง และอาจมีผลต่อระบบนิเวศป่าไม้ในบริเวณนี้ในอนาคตได้ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ดังนี้ 1) ศึกษาความหลากชนิดของพรรณไม้ และ 2) ศึกษาการใช้ประโยชน์ของชาวบ้านในพื้นที่ ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากต่อการจัดทำข้อมูลพื้นฐานของพรรณไม้ในป่าภูห้วยทราย อีกทั้งยังสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการอนุรักษ์ความหลากหลายทางชีวภาพในพื้นที่ ตลอดจนการสำรวจพรรณไม้ในบริเวณใกล้เคียง และการศึกษาวิจัยต่อยอดในด้านอื่น ๆ ต่อไป

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

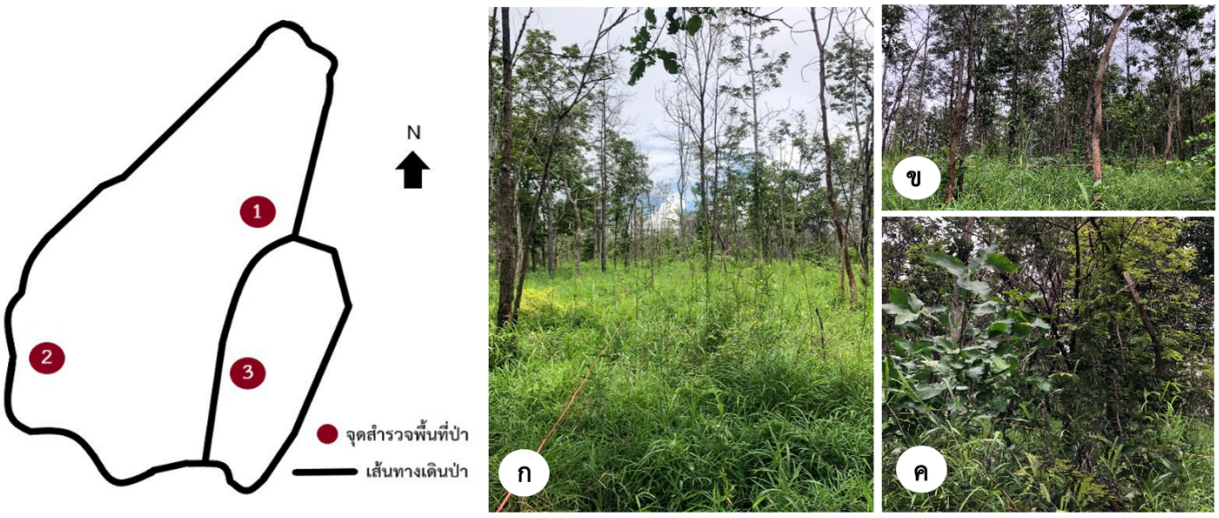
พื้นที่ศึกษาและกลุ่มตัวอย่าง

1. สำรวจความหลากชนิดของพรรณไม้ในพื้นที่

สำรวจพืชในพื้นที่ป่าภูห้วยทราย ตำบลบ้านใหม่ อำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา ตั้งแต่เดือนธันวาคม พ.ศ. 2562 ถึงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2563 สภาพพื้นที่ป่าเป็นป่าธรรมชาติและป่าที่มีประชาชนเข้าไปใช้ประโยชน์ โดยพื้นที่ป่าธรรมชาติประมาณ 502 ไร่ และพื้นที่ป่าที่มีการใช้ประโยชน์ประมาณ 2.19 ไร่ มีชุมชนที่ใช้ประโยชน์ประมาณ 3 หมู่บ้านที่อยู่รอบพื้นที่ป่า การศึกษาครั้งนี้ใช้วิธีการสุ่มวางแปลงในพื้นที่ที่มีลักษณะนิเวศวิทยาต่างกันพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นป่าที่ประชาชนเข้าไปใช้ประโยชน์ได้ โดยแบ่งจุดสำรวจออกเป็น 3 จุด ได้แก่ จุดที่ 1 บริเวณที่อยู่ใกล้พื้นที่ทำเกษตรกรรม จุดที่ 2 บริเวณพื้นที่ป่า และจุดที่ 3 บริเวณทางเข้าป่าใกล้หมู่บ้าน (รูปที่ 1) วางแปลงจำนวน 3 แปลง พื้นที่ 4,800 ตารางเมตร แปลงขนาด 40x40 เมตร โดยแต่ละแปลงแบ่งเป็นแปลงย่อยขนาด 10x10 เมตร จำนวน 16 แปลง เพื่อศึกษาไม้ต้น ภายในแปลงย่อยทุกแปลงวางแปลงขนาด 4x4 เมตร จำนวน 16 แปลง เพื่อศึกษาไม้หนุ่ม และขนาด 1x1 เมตร จำนวน 16 แปลง เพื่อศึกษาไม้พื้นล่าง (กล้าไม้ ไม้เลื้อย ไม้พุ่ม และไม้ล้มลุก) โดยกำหนดให้ไม้ต้น คือ ต้นไม้ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับอกมากกว่า 4.5 เซนติเมตร ไม้หนุ่ม คือ ต้นไม้ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับอกน้อยกว่า 4.5 เซนติเมตร และความสูงไม่ต่ำกว่า 1.3 เมตร และไม้พื้นล่าง คือ ต้นไม้ที่มีความสูงต่ำกว่า 1.3 เมตร (กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, 2554) จากนั้นเก็บตัวอย่างพืช ถ่ายภาพ บันทึกลักษณะและระบุชนิดระบุชื่อวิทยาศาสตร์โดยใช้หนังสือพรรณพฤกษชาติไทย (Flora of Thailand) และประเทศใกล้เคียง คู่มือการจำแนกพรรณไม้ (ก่องกานดา และวรดลต์, 2559) และเอกสารหรือหนังสือต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น พรรณไม้ป่าผลัดใบห้วยขาแข้ง (กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, 2564) และตัวอย่างอ้างอิงเก็บไว้ในพิพิธภัณฑ์พืชมหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา

2. การศึกษาการใช้ประโยชน์จากป่าชุมชน

ประชากรที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ คือ ชาวบ้านในตำบลบ้านใหม่ อำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา สำรวจ 3 หมู่บ้าน คือ หมู่บ้านหัวบึง หมู่บ้านห้วยทราย และหมู่บ้านอังโกน จำนวนหมู่บ้านละ 10 ครัวเรือน รวมทั้งหมด 30 คน ที่มีอายุระหว่าง 31-85 ปี ที่เข้าไปใช้ประโยชน์ในพื้นที่ป่าภูห้วยทราย โดยใช้แบบสัมภาษณ์แบบมีโครงสร้าง



รูปที่ 1 จุดสำรวจในพื้นที่ป่าภูห้วยทราย อำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา: (ก) จุดที่ 1 (ข) จุดที่ 2 (ค) จุดที่ 3

การวิเคราะห์ข้อมูล

ความหลากชนิดของพรรณไม้ในพื้นที่

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลพรรณไม้จากการสำรวจภาคสนาม โดยไม้ต้น และไม้หนุ่ม วิเคราะห์ค่าความหนาแน่น ค่าดัชนีความสำคัญ ค่าดัชนีความหลากชนิดของพรรณไม้ และค่าดัชนีความสม่ำเสมอของพรรณไม้ และไม้พื้นล่างวิเคราะห์ค่าความหนาแน่น ค่าดัชนีความหลากชนิดของพรรณไม้ และค่าดัชนีความสม่ำเสมอของพรรณไม้ พืชที่มีการนำไปใช้ประโยชน์จะวิเคราะห์ค่าดัชนีการใช้ประโยชน์ ดังต่อไปนี้

1. ค่าดัชนีความสำคัญของพรรณไม้ (Importance Value Index; IVI)

การรวมค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ (Relative Density; RD) ค่าความถี่สัมพันธ์ (Relative Frequency; RF) และความเด่นสัมพัทธ์ (Relative Dominance; RDo) (สำนักวิจัยการอนุรักษ์ป่าไม้และพันธุ์พืช, 2554) มีสมการดังนี้

$$IVI = RD + RF + Rdo \tag{1}$$

2. ค่าดัชนีความหลากชนิดของพรรณไม้ (Species Diversity Index; H’)

สามารถคำนวณได้จากค่า Shannon–Weaver’s Index (Shannon and Weaver, 1949) คำนวณได้ดังสมการ

$$H' = \sum_{i=1}^{s}(p_i)(ln\, p_i) \tag{2}$$

S = จำนวนชนิดพรรณไม้ทั้งหมด

p_i = สัดส่วนระหว่างจำนวนต้นไม้ชนิด I ต่อจำนวนต้นไม้ทั้งหมด

3. ค่าดัชนีความสม่ำเสมอ (Evenness Index; E)

(นิวัติ, 2548: อ้างอิงจาก Hill, 1973) คำนวณได้ดังสมการ

$$E = \frac{H'}{lnS} \tag{3}$$

H' = Shannon–Weaver’s Index

S = จำนวนชนิดพรรณไม้ทั้งหมด

การวิเคราะห์การใช้ประโยชน์จากพืชในพื้นที่

ค่าดัชนีการใช้ประโยชน์ โดยใช้ Used Value Index (UV) (Matin, 1995) ดังสมการ

$$UV = Ur/N \quad (4)$$

เมื่อ Ur = การรายงานการใช้ของพืชชนิดนั้น ๆ

N = จำนวนผู้ให้ข้อมูลทั้งหมด

ผลการวิจัย

ความหลากชนิดของพรรณไม้ในพื้นที่

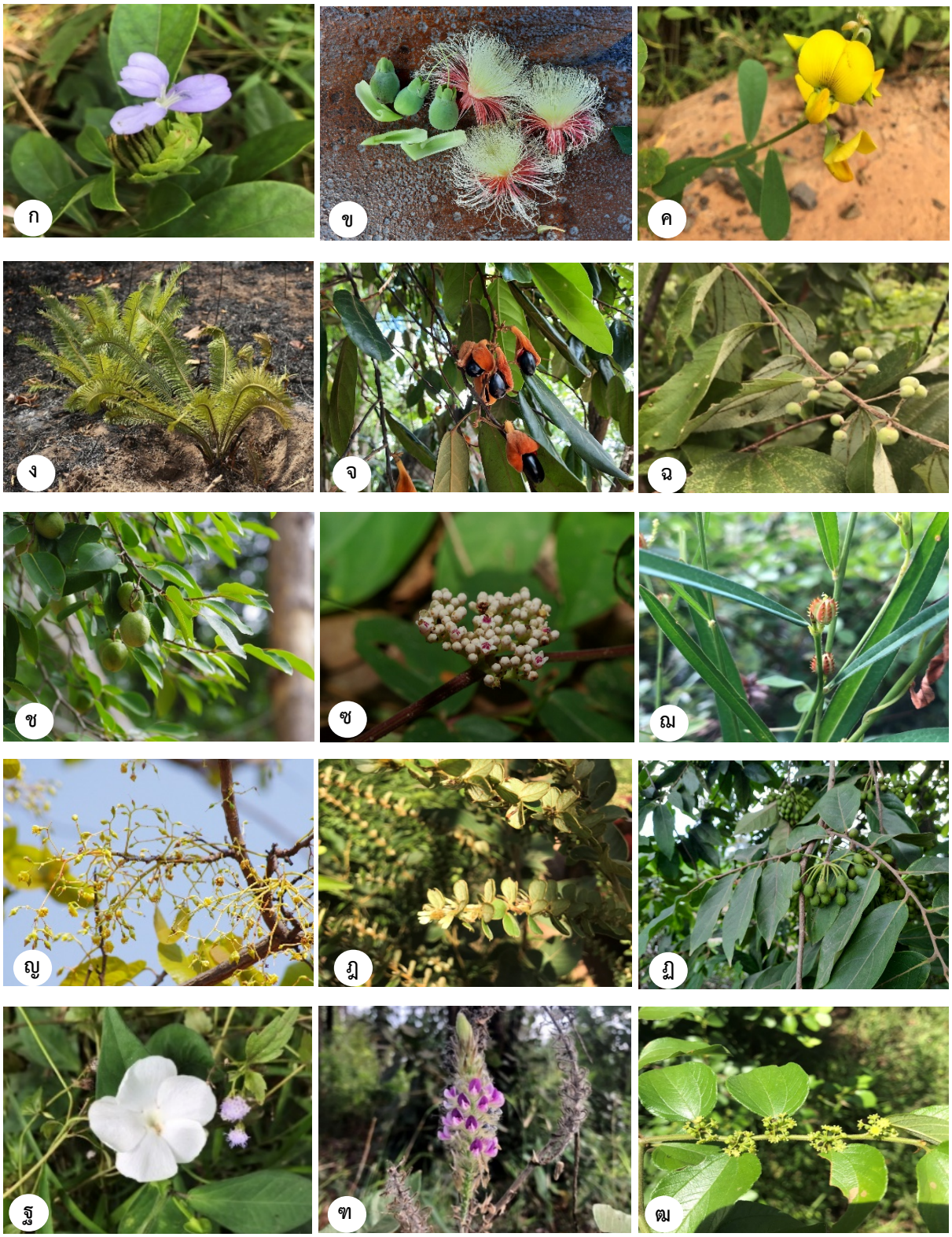
สำรวจความหลากชนิดของพรรณไม้ในพื้นที่ป่าภูห้วยทราย ตำบลบ้านใหม่ อำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา (รูปที่ 2) พบพรรณไม้ทั้งหมด 49 วงศ์ 82 สกุล 118 ชนิด เป็นไม้ต้น 18 วงศ์ 30 สกุล 30 ชนิด และไม้พื้นล่าง 31 วงศ์ 54 สกุล 88 ชนิด

ค่าดัชนีความสำคัญสูงสุดของไม้ต้นครอบครองพื้นที่ป่ามากซึ่งมีความสำคัญต่อระบบนิเวศ ได้แก่ แดง (*Xylia xylocarpa* (Roxb.) Taub.) มีค่าเท่ากับ 56.21 รองลงมา คือ ปอแก่นเทา (*Grewia eriocarpa* Juss.) มีค่าเท่ากับ 30.72 และ สะแบง (*Dipterocarpus intricatus* Dyer) มีค่าเท่ากับ 26.15 ตามลำดับ (ตารางที่ 1) พืชที่มีโอกาสเสี่ยงสูญพันธุ์ได้ ได้แก่ มะม่วงหัวแมงวัน (*Buchanania lanzan* Spreng.) (2.25) สนวน (2.15) และมะดูก (*Siphonodon celastrineus* Griff.) (2.08) เป็นต้น เนื่องจากทั้งสามชนิดนี้มีค่าดัชนีความสำคัญน้อยที่สุด ค่าดัชนีความหลากชนิดของพรรณไม้ต้น เท่ากับ 2.90 และค่าดัชนีความสม่ำเสมอของไม้ต้น เท่ากับ 0.53

ไม้ต้นที่มีความหนาแน่นมากที่สุด ได้แก่ ปอแก่นเทา (24.75 ต้นต่อไร่) รองลงมา ได้แก่ แดง (22.50 ต้นต่อไร่) สะแบง (12.75 ต้นต่อไร่) และ รัง (*Pentacme siamensis* (Miq.) Kurz) (11.25 ต้นต่อไร่) ตามลำดับ พืชที่มีความหนาแน่นน้อยที่สุด ได้แก่ สนวน (*Dalbergia nigrescens* Kurz) มะค่าแต้ (*Sindora siamensis* Teijsm. ex Miq.) ตะขบไทย (*Flacourtia indica* (Burm.f.) Merr.) และมะดูก มีค่าเท่ากับ 0.75 ต้นต่อไร่

ไม้หนุ่มที่มีความหนาแน่นมากที่สุด ได้แก่ มะม่วงป่า (*Mangifera caloneura* Kurz) (6.00 ต้นต่อไร่) และอ้อยช้าง (*Lannea coromandelica* (Houtt.) Merr.) (5.25 ต้นต่อไร่) พืชที่มีความหนาแน่นน้อยที่สุด ได้แก่ พะยอม (*Anthoshorea roxburghii* (G.Don) P.S.Ashton & J.Heck.) สะแบง (*Dipterocarpus intricatus* Dyer) กระพี้ (*Millettia brandisiana* Kurz) ตะคร้อ (*Schleichera oleosa* (Lour.) Merr.) และแดง (*Xylia xylocarpa* (Roxb.) Taub.) มีค่าเท่ากับ 0.75 ต้นต่อไร่

ไม้พื้นล่างมีความหนาแน่นมากที่สุด ได้แก่ หญ้าเพ็ก (*Vietnamosasa pusilla* (A.Chev. & A.Camus) T.Q.Nguyen) (340.5 กอต่อไร่) รองลงมา คือ สาบม่วง (*Praxelis clematidea* (Hieron. Ex Kuntze) R.M. King & H.Rob.) (118.5 ต้นต่อไร่) แดง (34.5 ต้นต่อไร่) หญ้าปากควาย (*Dactyloctenium aegyptium* (L.) Willd.) (30.75 ต้นต่อไร่) ผักปลาบใบแคบ (*Commelina diffusa* Burm.f.) (30.75 ต้นต่อไร่) และข้าวตาก (*Grewia hirsuta* Vahl) (26.25 ต้นต่อไร่) ตามลำดับ พืชที่มีความหนาแน่นน้อยที่สุด ได้แก่ ตำลึงทอง (*Passiflora foetida* L.) เถาวัลย์ยั้ง (*Smilax ovalifolia* Roxb.) หนอนตายหยาก (*Stemona collinsiae* Craib.) และกะตังใบเตี้ย (*Leea indica* (Burm.f.) Merr.) มีค่าเท่ากับ 0.75 ต้นต่อไร่ ค่าดัชนีความหลากชนิดของพรรณไม้พื้นล่าง เท่ากับ 3.10 และค่าดัชนีความสม่ำเสมอของไม้พื้นล่าง เท่ากับ 0.42



รูปที่ 2 พรรณไม้ในพื้นที่ป่าภูห้วยทราย ตำบลบ้านใหม่ อำเภอครบุรี: (ก) สังกรณี (*Barleria strigosa*) (ข) กระโดน (*Careya sphaerica*) (ค) หิ่งหาย (*Crotalaria quinquefolia*) (ง) ปรง (*Cycas siamensis*) (จ) คำรอก (*Ellipanthus tomentosus*) (ฉ) ปอแก่นเทา (*Grewia eriocarpa*) (ช) กระบก (*Irvingia malayana*) (ซ) กะตังใบเตี้ย (*Leea thorelii*) (ฌ) สร้อยนก (*Microstachys chamaelea*) (ญ) รัง (*Pentacme siamensis*) (ฎ) เกล็ดลิ่นน้อย (*Phyllodium elegans*) (ฏ) กระเจียน (*Polyalthia cerasoides*) (ฐ) หูปากกา (*Thunbergia fragrans*) (ฑ) หางหมาจอก (*Uraria crinita*) (ฒ) เล็บเหยี่ยว (*Ziziphus oenopolia*)

ตารางที่ 1 ความหลากชนิดของพรรณไม้ในพื้นที่ป่าภูห้วยทราย ตำบลบ้านใหม่ อำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา

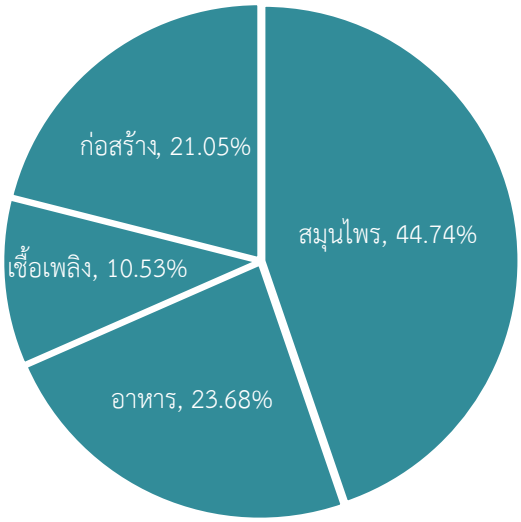
ชื่อวิทยาศาสตร์	ชื่อพื้นเมือง	ชื่อวงศ์	ดัชนีความสำคัญ (IVI)	ความหนาแน่น (ต้นต่อไร่)		
				ไม้ต้น	ไม้หนุ่ม	ไม้พื้นล่าง
Anthoshorea roxburghii (G.Don) P.S.Ashton & J.Heck.	พะยอม	DIPTEROCARPACEAE	1.63	0.00	0.75	0.75
Buchanania lanzan Spreng.	มะม่วงหัวแมงวัน	ANACARDIACEAE	2.25	1.50	0.00	0.00
Canarium sabulatum Guillaumin	มะเหลื่อม	BURSERACEAE	10.94	3.00	0.00	0.00
Careya sphaerica Roxb.	กระโดน	LECYTHIDACEAE	6.55	0.00	3.00	3.00
Croton oblongifolius Roxb.	เปล้า	EUPHORBIACEAE	6.54	0.00	3.00	6.00
Dalbergia nigrescens Kurz	สนวน	FABACEAE	2.15	0.75	0.00	0.00
Dipterocarpus intricatus Dyer	สะแบง	DIPTEROCARPACEAE	26.15	12.75	0.75	15.75
Ellipanthus tomentosus Kurz	คำรอก	CONNARACEAE	3.26	1.50	0.00	0.00
Erythrophleum succirubrum Gagnep.	ซาด	FABACEAE	3.35	1.50	0.00	2.25
Flacourtia indica (Burm.f.) Merr.	ตะขบไทย	SALICACEAE	6.97	0.75	2.25	0.75
Gardenia obtusifolia Roxb. ex Hook.f.	ฝรั่งป่า	RUBIACEAE	3.70	2.25	0.00	0.00
Grewia eriocarpa Juss.	ปอแก่นเทา	MALVACEAE	30.72	24.75	1.50	0.75
Irvingia malayana Oliv. ex A.W. Benn.	กระบก	IRVINGIACEAE	6.80	4.50	1.50	1.50
Lannea coromandelica (Houtt.) Merr.	อ้อยช้าง	ANACARDIACEAE	20.60	9.75	5.25	13.50
Mangifera caloneura Kurz	มะม่วงป่า	ANACARDIACEAE	16.85	10.50	6.00	7.50
Microcos tomentosa Sm.	พลับพลา	MALVACEAE	10.54	9.00	0.00	7.50
Millettia brandisiana Kurz	กระพี้	FABACEAE	3.33	1.50	0.75	3.75
Pentacme siamensis (Miq.) Kurz	รัง	LECYTHIDACEAE	21.31	11.25	0.00	11.25
Phyllanthus emblica L.	มะขามป้อม	PHYLLANTHACEAE	5.01	2.25	3.00	6.75
Polyalthia cerasoides (Roxb.) Bedd.	กระเจียน	ANNONACEAE	6.84	8.25	0.00	0.00
Pterocarpus indicus Willd.	ประดู่	FABACEAE	8.56	4.50	0.00	4.50
Rothmannia wittii (Craib.) Bremek.	ขี้หมู	RUBIACEAE	6.53	0.00	3.00	3.00
Schleichera oleosa (Lour.) Merr.	ตะคร้อ	SAPINDACEAE	1.63	0.00	0.75	0.75
Shorea obtusa Wall. ex Blume	เต็ง	DIPTEROCARPACEAE	12.25	6.75	0.00	7.50
Sindora siamensis Teijsm. ex Miq.	มะค่าแต้	FABACEAE	1.83	0.75	0.00	3.75
Siphonodon celastrineus Griff.	มะดูก	CELASTRACEAE	2.08	0.75	0.00	0.00
Stereospermum neuranthum Kruz	แคทราย	BIGNONIACEAE	7.08	2.25	0.00	3.75
Terminalia chebula Retz.	สมอไทย	COMBRETACEAE	9.43	2.25	0.00	0.00
Wrightia arborea (Dennst.) Mabb.	โมกมัน	APOCYNACEAE	5.81	1.50	0.00	0.00
Xylia xylocarpa (Roxb.) Taub.	แดง	FABACEAE	56.21	22.50	0.75	34.50

การใช้ประโยชน์จากพืชในพื้นที่

พืชที่มีการนำไปใช้ประโยชน์ในพื้นที่ป่าภูห้วยทราย ทั้งหมด 28 ชนิด 26 สกุล 18 วงศ์ คิดเป็น 23.73% ของชนิดพรรณไม้ทั้งหมด มีการนำพืชมาใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ 4 ประเภท คือ พืชสมุนไพร จำนวน 17 ชนิด (ร้อยละ 44.74) เช่น มะหาด (*Artocarpus lacucha* Buch.-Ham.) มะเหลื่อม (*Canarium sabulatum* Guillaumin) ตะขบไทย (*Flacourtia indica* (Burm.f.) Merr.) และซาด (*Erythrophleum succirubrum* Gagnep.) พืชที่ใช้ประกอบอาหาร จำนวน 9 ชนิด (ร้อยละ 23.68) เช่น กระบุก (*Amorphophallus paeoniifolius* (Dennst.) Nicolson.) กระโดน (*Careya sphaerica* Roxb.)

ฝรั่งป่า (*Gardenia obtusifolia* Roxb. ex Hook.f.) และกระบก (*Irvingia malayana* Oliv. ex A.W. Benn.) พืชที่ใช้ก่อสร้าง จำนวน 7 ชนิด (ร้อยละ 21.05) เช่น พะยอม สะแบง รัง และมะค่าแต้ พืชที่ใช้เป็นเชื้อเพลิง จำนวน 4 ชนิด (ร้อยละ 10.53) ได้แก่ รัง เต็ง (*Shorea obtusa* Wall. ex Blume) ประดู่ (*Pterocarpus indicus* Willd) และสนวน (รูปที่ 3 และตารางที่ 2)

พืชที่มีดัชนีการใช้ประโยชน์สูงสุด (UV) ได้แก่ รัง (0.70) รองลงมาคือ เต็ง (0.67) ซึ่งนำไปใช้ประโยชน์ด้านสมุนไพร เชื้อเพลิง และก่อสร้าง พืชที่มีการนำมาใช้ประโยชน์น้อยสุด ได้แก่ กระโดน มะเหลื่อม ซาด โทงเทง (*Physalis angulata* L.) ขี้หมู สนวน ลูกใต้ใบ (*Phyllanthus amarus* Schumch. & Thonn.) และสมอไทย (*Terminalia chebula* Retz.)



รูปที่ 3 การใช้ประโยชน์ของชาวบ้านในพื้นที่ป่าภูห้วยทราย

ตารางที่ 2 ค่าดัชนีการใช้ประโยชน์ของพืชในพื้นที่ป่าภูห้วยทราย

ชื่อวิทยาศาสตร์	ชื่อพื้นเมือง	ประเภทการใช้ประโยชน์				Ur	UV
		สมุนไพร	อาหาร	เชื้อเพลิง	ก่อสร้าง		
Amorphophallus paeoniifolius (Dennst.) Nicolson.	กระบุก	-	✓	-	-	14	0.47
Anthoshorea roxburghii (G.Don) P.S.Ashton & J.Heck.	พะยอม	✓	-	-	✓	3	0.1
Artocarpus lacucha Buch.-Ham.	มะหาด	✓	-	-	-	3	0.1
Canarium sabulatum Guillaumin	มะเหลื่อม	✓	-	-	-	1	0.03
Careya sphaerica Roxb.	กระโดน	-	✓	-	-	1	0.03
Dalbergia nigrescens Kurz	สนวน	-	-	✓	-	1	0.03
Diospyros pilosanthera Blanco	ทะยิง	-	-	-	✓	2	0.07
Dipterocarpus intricatus Dyer.	สะแบง	-	-	-	✓	15	0.5
Erythrophleum succirubrum Gagnep.	ซาด	✓	-	-	-	1	0.03
Flacourtia indica (Burm.f.) Merr.	ตะขบไทย	✓	✓	-	-	4	0.13
Gardenia obtusifolia Roxb. ex Hook.f.	ฝรั่งป่า	-	✓	-	-	4	0.13
Helicteres isora L.	ปอขี้ตุ่น	✓	-	-	-	2	0.07
Irvingia malayana Oliv. ex A.W. Benn.	กระบก	-	✓	-	-	14	0.47

Kaempferia marginata Carey ex Roscoe	เปราะ	✓	✓	-	-	6	0.2
Lannea coromandelica (Houtt.) Merr.	อ้อยช้าง	✓	-	-	-	2	0.07
Mangifera caloneura Kurz	มะม่วงป่า	-	✓	-	-	4	0.13
Pentacme siamensis (Miq.) Kurz	รัง	✓	-	✓	✓	21	0.7
Phyllanthus amarus Schumach. & Thonn.	ลูกใต้ใบ	✓	-	-	-	1	0.03
Phyllanthus emblica L.	มะขามป้อม	✓	-	-	-	9	0.3
Physalis angulata L.	โทงเทง	✓	-	-	-	1	0.03
Pterocarpus indicus Willd	ประดู่	-	-	✓	✓	14	0.47
*Rothmannia wittii (*Craib.) Bremek.	ขี้หมู	-	✓	-	-	1	0.03
Shorea obtusa Wall. ex Blume	เต็ง	✓	-	✓	✓	20	0.67
Sindora siamensis Teijsm. ex Miq.	มะค่าแต้	-	-	-	✓	3	0.1
Smilax ovalifolia Roxb.	ยั้ง	✓	✓	-	-	2	0.07
Stemona collinsae Craib.	หนอนตายหยาก	✓	-	-	-	6	0.2
Terminalia chebula Retz.	สมอไทย	✓	-	-	-	10	0.33
Ziziphus oenopolia (L.) Mill.	เล็บเหยี่ยว	✓	-	-	-	3	0.1

การอภิปรายผล

ความหลากชนิดของพรรณไม้ในพื้นที่

จากการศึกษาความหลากชนิดของพรรณไม้ในพื้นที่ป่าภูห้วยทรายพบพืชจำนวน 49 วงศ์ 82 สกุล 118 ชนิด เมื่อเปรียบเทียบกับความหลากหลายของชนิดพืชในพื้นที่ของป่าในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่ ป่าชุมชนโคกใหญ่ จังหวัดมหาสารคาม ซึ่งพบพืช 44 วงศ์ 107 ชนิด (สมหญิง และคณะ, 2552) ป่าชุมชนโพนทอง จังหวัดมหาสารคาม ซึ่งพบพืช 44 วงศ์ 89 ชนิด (วรชาติ และคณะ, 2556) วนอุทยานภูผาล้อม จังหวัดเลย พบพืช 37 วงศ์ 66 ชนิด (เทียมหทัย และวิไลลักษณ์, 2557) ป่าชุมชนเทศบาลเมืองใหม่ โคกกรวด จังหวัดนครราชสีมา พบพืช 69 วงศ์ 241 ชนิด (เทียมหทัย, 2559) ป่าชุมชนบ้านหินฮาว จังหวัดขอนแก่น พบพืช 61 วงศ์ 202 ชนิด (วรชาติ และนวพรรษ, 2560) ป่าชุมชนภูประดู่เฉลิมพระเกียรติ จังหวัดนครราชสีมา พบพืช 69 วงศ์ 258 ชนิด (เทียมหทัย, 2562) ลำน้ำปะทาว จังหวัดชัยภูมิ พบพืชทั้งหมด 35 วงศ์ 54 ชนิด (วราวุฒิ และคณะ, 2563) ชุมชนบ้านหัวขัว จังหวัดมหาสารคาม พบพืชสมุนไพรจำนวน 23 วงศ์ 38 ชนิด (Numpulsuksant et al., 2021) ในพบว่าการศึกษาครั้งนี้ใกล้เคียงกับป่าโคกใหญ่อาจเนื่องจากเป็นป่าเต็งรังมีสภาพพื้นที่ใกล้เคียงกัน และจำนวนพืชที่แตกต่างกับอีกหลายป่าอาจเนื่องจากขนาดพื้นที่และระบบนิเวศแตกต่างกัน

การศึกษาครั้งนี้วงศ์ที่พบมากที่สุดได้แก่ วงศ์ถั่ว (FABACEAE) พบจำนวน 17 ชนิด รองลงมาคือวงศ์ชบา (MALVACEAE) พบจำนวน 6 ชนิด ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาความหลากหลายของพืชในพื้นที่ใกล้เคียง ได้แก่ ป่าชุมชนบ้านโนนซาด จังหวัดนครราชสีมา รายงานว่าพบพืช จำนวน 57 ชนิด พืชที่พบมากที่สุดคือ วงศ์ถั่ว จำนวน 7 ชนิด (ผุสดี และคณะ, 2562) ป่าชุมชนบ้านบัลลังก์ จังหวัดนครราชสีมา พบพรรณไม้ทั้งสิ้นจำนวน 51 ชนิด วงศ์ที่พบมากที่สุด คือ วงศ์ถั่ว จำนวน 10 ชนิด (เทียมหทัย, 2564) พืชทั้ง 3 ป่านี้ พืชที่พบมากที่สุดคือวงศ์ถั่วเหมือนกันอาจเนื่องจากเป็นป่าเต็งรังที่มีสภาพป่าและรูปแบบของดินใกล้เคียงกัน อีกทั้งพืชวงศ์ถั่วเป็นพืชดอกที่มีจำนวนสมาชิกมาก จึงส่งผลให้มีการกระจายตัวในพื้นที่ป่าสูง

พรรณไม้เด่นในป่าภูห้วยทราย ได้แก่ แดง ปอแก่นเทา สะแบง รัง และอ้อยช้าง ซึ่งมีค่าดัชนีความสำคัญเท่ากับ 56.21, 30.72, 26.15, 21.31 และ 20.60 ตามลำดับ ซึ่งคล้ายคลึงกับการความหลากหลายของพืชในอำเภอครบุรี ได้แก่ วัดป่าเขาคงคา (เทียมหทัย และคณะ, 2563) พบไม้ต้นที่มีค่าดัชนีความสำคัญสูงที่สุด คือ เสี้ยวป่า ติ้วเกลี้ยง และแดง มีค่าเท่ากับ 20.55,

19.53 และ 19.19 ตามลำดับ ป่าชุมชนภูประดู่เฉลิมพระเกียรติ (เทียมหทัย, 2562) ไม้ต้นที่มีค่าดัชนีความสำคัญสูงสุด คือ เต็ง รัง และแดง มีค่าเท่ากับ 65.86, 29.28 และ 22.99 ตามลำดับ และป่าภูห้วยทรายมีค่าดัชนีความหลากชนิดของไม้ต้นและไม้พื้นล่าง มีค่าเท่ากับ 2.90 และ 3.10 และค่าดัชนีความสม่ำเสมอของไม้ต้นและไม้พื้นล่าง มีค่าเท่ากับ 0.53 และ 0.42 ซึ่งอยู่ในระดับปานกลาง เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ป่าชุมชนบ้านท่าทองแดง จังหวัดตาก (นฤมล และคณะ, 2556) มีค่าดัชนีความหลากชนิดของพรรณไม้ในพื้นที่เท่ากับ 3.38 และค่าดัชนีความสม่ำเสมอเท่ากับ 0.85 ซึ่งอยู่ในระดับมาก อาจเนื่องจากความสูงจากระดับน้ำทะเล สภาพภูมิอากาศ ปริมาณน้ำฝนมากกว่าส่งผลให้ป่าอุดมสมบูรณ์และมีจำนวนชนิดมากกว่า อย่างไรก็ตามป่าแห่งนี้ก็เริ่มเสื่อมโทรมเนื่องจากมีการแผ้วถางและลักลอบเผาป่าเพื่อนำของป่ามาขาย เช่น ปรง จึงอาจส่งผลให้ความหลากชนิดของพืชไม่มากนัก อีกทั้งพืชบางชนิดชุมชนนิยมนำมาใช้ประโยชน์ เช่น รัง เต็ง สะแบง และประดู่ เป็นต้น อาจส่งผลความหลากชนิดของพรรณไม้ในป่าลดลง

จากการศึกษาพบพืชต่างถิ่นรุกราน ระบาดมาก ได้แก่ ตีนตุ๊กแก มะแว้งนก ลูกใต้ใบ สาบม่วง สาบเสือ หญ้าขจรจบดอกเล็ก และพืชต่างถิ่นรุกราน ระบาดปานกลาง ได้แก่ โทงเทง (กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, 2556) สอดคล้องกับการศึกษาของวรชาติ และนวพรรษ (2560) ศึกษาความหลากชนิดของพืชมีท่อลำเลียงในป่าชุมชนบ้านหินฮาว อำเภอบ้านฝาง จังหวัดขอนแก่น รายงานพบพืชต่างถิ่น 11 ชนิด ซึ่งพบ 3 ชนิดที่เหมือนกับการศึกษาในครั้งนี้ ได้แก่ สาบม่วง สาบเสือ และหญ้าขจรจบดอกเล็ก อย่างไรก็ตามการที่มีพืชต่างถิ่นรุกรานเข้าสู่ป่าจำนวนมาก ซึ่งมีความสามารถทนต่อสภาพแวดล้อม สามารถปรับตัวได้ดี ทำให้พืชต่างถิ่นรุกรานสามารถแก่งแย่งแข่งขันกับพืชพื้นเมือง ส่งผลให้พืชพื้นเมืองลดจำนวนลงได้ (กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, 2556)

การใช้ประโยชน์ของพรรณไม้ในพื้นที่

การใช้ประโยชน์ของพรรณไม้ในพื้นที่ แบ่งเป็น 4 ประเภท ได้แก่ พืชสมุนไพร พืชอาหาร ใช้ก่อสร้าง และเชื้อเพลิง ซึ่งชาวบ้านในพื้นที่ส่วนใหญ่นิยมนำพืชไปใช้เป็นพืชสมุนไพรมากที่สุด จำนวน 17 ชนิด คิดเป็นร้อยละ 44.74 เมื่อคิดเป็นร้อยละของการใช้ประโยชน์แล้วใกล้เคียงและสอดคล้องกับป่าชุมชนบ้านโคกสี จังหวัดมหาสารคาม (วรชาติ และคณะ, 2564) ซึ่งมีการใช้ประโยชน์ตามภูมิปัญญาท้องถิ่น 5 ประเภท ได้แก่ พืชสมุนไพร (ร้อยละ 47.31) พืชอาหาร (ร้อยละ 24.73) พืชเชื้อเพลิง (ร้อยละ 6.54) พืชสีย้อม (ร้อยละ 2.15) และพืชเกี่ยวกับพิธีกรรมความเชื่อ (ร้อยละ 2.15) เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ป่าชุมชนบ้านท่าทองแดง จังหวัดตาก (นฤมล และคณะ, 2556) พบว่า มีการใช้ประโยชน์เป็นสมุนไพรมากที่สุด จำนวน 94 ชนิด ใช้เป็นไม้ใช้สอย จำนวน 62 ชนิด และเป็นพืชอาหาร จำนวน 57 ชนิด และพื้นที่ป่าโคกใหญ่ อำเภอวาปีปทุม จังหวัดมหาสารคาม (สมหญิง และคณะ, 2552) พบว่า พืชผักป่า 23 ชนิด ผลไม้ป่า 27 ชนิด พืชกินหัว 5 ชนิด สมุนไพร 14 ชนิด อาหารสัตว์ 2 ชนิด ไม้ฟืน 5 ชนิด ซึ่งการศึกษาครั้งนี้พบว่า มีการใช้ประโยชน์จากพืชน้อยอาจเนื่องจากพื้นที่ป่าอยู่ค่อนข้างไกลจากหมู่บ้าน ซึ่งถนนเป็นทางลูกรังเดินทางลำบาก ชาวบ้านส่วนใหญ่ที่ใช้ประโยชน์คือชาวสวนที่มีพื้นที่เกษตรอยู่ใกล้พื้นที่ป่า และในพื้นที่ยังมีการลักลอบเผาป่าบ่อยครั้งทำให้พืชลดน้อยลง พืชหลายชนิดนำมาใช้ประโยชน์เป็นพืชสมุนไพรที่มีความสำคัญ ซึ่งชาวบ้านหลายครัวเรือนได้นำมาใช้ประโยชน์ เช่น มะขามป้อม ซึ่งมีสรรพคุณทางยาชุ่มคอแก้ระคายเคืองคอ รสเปรี้ยวของมะขามป้อมช่วยในการละลายเสมหะและบำรุงเสียงบรรเทาอาการไอ หวัด หรือเจ็บคอจากอาการโควิด 19 รากแห้งมะขามป้อม นำมาต้มดื่มแก้อาการท้องเสียและร้อนใน

จากการสัมภาษณ์ชาวบ้านในชุมชนส่วนใหญ่มีการทำอาชีพเกษตรกร ค้าขาย และรับจ้าง โดยมากอายุ 31 ปี เป็นต้นไป ซึ่งทุกคนเห็นด้วยกับการที่มีการอนุรักษ์ป่าภูห้วยทราย เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่ชาวบ้านมีการใช้ประโยชน์หลาย ๆ ด้าน มีการเก็บเห็ดตามฤดูกาล รวมถึงเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของสัตว์ป่าหลากชนิด ป่านี้แม้เป็นป่าเสื่อมโทรมมีการบุกรกแผ้วถาง เผาป่า เพื่อหาของป่าขาย แต่ชาวบ้าน พระสงฆ์ และผู้นำชุมชนก็ร่วมกันอนุรักษ์ มีการประสานงานระหว่างชุมชนโดยผู้ใหญ่บ้าน เพื่อรักษาผืนป่าใกล้บ้านไว้ให้ลูกหลานได้ใช้ประโยชน์ และศึกษาต่อในอนาคต และสิ่งที่ชุมชนอยากให้เกิดขึ้น ได้แก่ ปลูกป่า

รณรงค์ให้เห็นความสำคัญของป่า รณรงค์ให้ระมัดระวังป้องกันไม่ให้เกิดไฟป่า รวมทั้งมีการจัดค่ายหรือชมรมของนักศึกษาร่วมกับชาวบ้านในพื้นที่เขตป่าอนุรักษ์เพื่อให้เห็นความสำคัญของพื้นที่ป่าแห่งนี้มากขึ้น

บทสรุป

จากการสำรวจความหลากชนิดของพรรณไม้และการใช้ประโยชน์ในพื้นที่ป่าภูห้วยทราย ตำบลบ้านใหม่ อำเภอครบุรี พบพืชจำนวน 50 วงศ์ 82 สกุล 118 ชนิด พืชไม้ต้นที่มีค่าดัชนีความสำคัญมากที่สุด ได้แก่ แดง ปอแก่นเทา สะแบง รัง และอ้อยช้าง ซึ่งมีค่าดัชนีความสำคัญเท่ากับ 56.21, 30.72, 26.15, 21.31 และ 20.60 ตามลำดับ ค่าดัชนีความหลากชนิดของไม้ต้นและไม้พื้นล่าง มีค่าเท่ากับ 2.90 และ 3.10 และค่าดัชนีความสม่ำเสมอของไม้ต้นและไม้พื้นล่าง มีค่าเท่ากับ 0.53 และ 0.42 พบพรรณไม้ที่นำไปใช้ประโยชน์ทั้งหมด 28 ชนิด คิดเป็น 23.73% ของชนิดของพรรณไม้ทั้งหมด โดยพบว่า การใช้ประโยชน์จากพืช สามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภท การใช้ประโยชน์มากที่สุดคือใช้เป็นสมุนไพร 17 ชนิด (44.74%) ใช้เป็นอาหาร 9 ชนิด (23.68%) ใช้เพื่อก่อสร้าง 8 ชนิด (21.05%) และใช้เป็นเชื้อเพลิง 4 ชนิด (10.53%) ตามลำดับ โดยชาวบ้านในชุมชนเห็นด้วยกับการอนุรักษ์พื้นที่ป่าภูห้วยทราย เนื่องจากชาวบ้านต้องการให้มีพื้นที่ป่าเพิ่ม เพื่อเป็นแหล่งใช้ประโยชน์ และเป็นแหล่งอาหารที่สมบูรณ์ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา ที่เอื้อเฟื้อสถานที่วิจัยในการดำเนินการวิจัยให้ลุล่วงเป็นไปอย่างเรียบร้อย ขอบพระคุณนายมะลิ มุ่งพันธุ์กลาง ปราชญ์ชาวบ้าน และชาวบ้านในตำบลบ้านใหม่ อำเภอครบุรี ที่ได้ให้ความช่วยเหลืออำนวยความสะดวกในด้านต่าง ๆ ในการเก็บรวบรวมข้อมูลการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

กรมป่าไม้. (2564). บทสรุปสำหรับผู้บริหาร โครงการจัดทำข้อมูลสภาพพื้นที่ป่าไม้ปี พ.ศ. 2564. สำนักจัดการที่ดิน กรมป่าไม้ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม: กรุงเทพฯ.

กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช. (2554). คู่มือการสำรวจความหลากหลายของพรรณไม้. สำนักวิจัยการอนุรักษ์ป่าไม้และพันธุ์พืช กรมอุทยานแห่งชาติสัตว์ป่า และพันธุ์พืช: กรุงเทพฯ.

กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช. (2556). พืชต่างถิ่นรุกรานในพื้นที่ป่าอนุรักษ์. ส่วนความหลากหลายทางชีวภาพ สำนักวิจัยการอนุรักษ์ป่าไม้และพันธุ์พืช กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช: กรุงเทพฯ.

กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช. (2564). พรรณไม้ป่าผลัดใบห้วยขาแข้ง. สำนักวิจัยการอนุรักษ์ป่าไม้และพันธุ์พืช กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช: กรุงเทพฯ.

ดวงใจ ศุขเฉลิม, สันติ สุขสอาด และยงยุทธ ไตรสุรัตน์. (2558). คู่มือการศึกษาป่าไม้ไทย. กองทุนจัดพิมพ์ตำราป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์: กรุงเทพฯ.

เทียมหทัย ชูพันธ์. (2559). ความหลากหลายของพรรณพืชในป่าชุมชนเพื่อการอนุรักษ์ เทศบาลตำบลเมืองใหม่โคกกรวด อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา. วารสารพฤกษศาสตร์ไทย. 8(2): 213-229.

เทียมหทัย ชูพันธ์. (2562). พรรณพืชในป่าชุมชนภูประดู่เฉลิมพระเกียรติ อำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา. วารสารวิทยาศาสตร์ มข. 47(4): 673-690.

เทียมหทัย ชูพันธ์. (2564). ความหลากหลายของพรรณไม้ในป่าชุมชนบ้านบัลลังก์ อำเภอโนนไทย จังหวัดนครราชสีมา. วารสารวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยี. 1(1): 1-10.

เทียมหทัย ชูพันธ์ และวิไลลักษณ์ ซูมสไตอินน์. (2557). ความหลากหลายของพรรณไม้ในวนอุทยานภูผาล้อม อำเภอนาด้วง จังหวัดเลย. วารสารวิทยาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. 34(4): 336-343.

เทียมหทัย ชูพันธ์, นาริชซ่า วาดี, ศรัญญา กล้าหาญ, สุนิษา ยิ้มละมัย และสุวรรณี อุดมทรัพย์. (2563). ความหลากหลายของพรรณไม้ในวัดป่าเขาคงคา อำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา. PSRU Journal of Science and Technology. 5(3): 74-96.

นฤมล กูลศิริศรีตระกูล, เพ็ญพร วินัยเรืองฤทธิ์, ปาจรีย์ ชูประยูร และสินเดิม ดีโต. (2556). ความหลากของชนิดและการใช้ประโยชน์ของพรรณไม้: ป่าชุมชนบ้านท่าทองแดง ตำบลนาโบสถ์ อำเภอวังเจ้า จังหวัดตาก. ใน ประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5 15-16 กรกฎาคม 2556. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร. กรุงเทพฯ. 98-105.

นิวัติ คชานันท์. (2548). ความหลากชนิดของพรรณพชและการใช้ประโยชน์ของชุมชนท้องถิ่น: กรณีศึกษาป่าชุมชนเขาสน อำเภอท่ายาง จังหวัดเพชรบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นิวัติ เรืองพานิช. (2556). ป่าและการป่าไม้ในประเทศไทย. พิมพ์ครั้งที่ 2. กองทุนจัดพิมพ์ตำราป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์: กรุงเทพฯ.

ผุสดี พรหมประสิทธิ์, ธัญรัตน์ ประมูลศิลป์, สุวิสา จันทร์โท และวรชาติ โตแก้ว. (2562). ความหลากหลายและการใช้ประโยชน์ของพืชในป่าชุมชนบ้านโนนชาด ตำบลท่าลาด อำเภอชุมพวง จังหวัดนครราชสีมา. PSRU Journal of Science and Technology. 4(3): 37-47.

วราวุฒิ มหามิตร, ภารณี นิลกรณ์ และคันธรส สุขกุล. (2563). ความหลากชนิดของพรรณไม้และภูมิปัญญาท้องถิ่นในการใช้ประโยชน์ด้านสมุนไพรในพื้นที่ลำน้ำปะทาว อำเภอเมือง จังหวัดชัยภูมิ. ใน ประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 12 9-10 กรกฎาคม 2563. มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม. นครปฐม. 3642-3648.

วรชาติ โตแก้ว, ณัฐพล สุกพวงกลาง และผุสดี พรหมประสิทธิ์. (2564). ความหลากหลายและการใช้ประโยชน์ป่าชุมชนบ้านโคกสี อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม. 4(1): 1-12.

วรชาติ โตแก้ว และนวพรรษ ผลดี. (2560). ความหลากชนิดของพืชมีท่อลำเลียงในป่าชุมชนบ้านหินฮาว อำเภอบ้านฝาง จังหวัดขอนแก่น. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. 37(2): 203-217.

วรชาติ โตแก้ว, ปิยะ โมคมุล, กรรณิการ์ ทองดอนเปรียง, ถวิล แสนตรง และวีรนุช วอนเก่าน้อย. (2556). ความหลากชนิดของพรรณพืช เห็ด และการใช้ประโยชน์ป่าชุมชนบ้านโพนทอง จังหวัดมหาสารคาม. วารสารพฤกษศาสตร์ไทย. 5(2): 83-98.

ศศินา ภารา. (2550). ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. เอ็กซเปอร์เน็ท: กรุงเทพฯ.

สมหญิง บู่แก้ว, เพ็ญแข ธรรมเสนานุภาพ และธวัตชัย ธานี. (2552). ความหลากชนิดของพรรณไม้และการใช้ประโยชน์ผลผลิตจากป่าในชุมชนโคกใหญ่ อำเภอวาปีปทุม จังหวัดมหาสารคาม. วารสารสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ. 7(1): 36-50.

สราวุธ สังข์แก้ว. (2562). รุกขวิทยาภาคสนาม. บริษัทภาพพิมพ์ จำกัด: กรุงเทพฯ.

Hill M.O. (1973). Diversity and Evenness: A unifying notation and its consequences. Ecological Society of America. 54: 427-432.

Matin G.J. (1995). Ethnobotany: a methods manual. All Rights Reserved: UK.

Numpulsuksant W., Saensouk S. and Saensouk P. (2021). Diversity and ethnobotanical study of medicinal plants in Ban Hua Kua, Kae Dam District, Thailand. Biodiversitas. 22(10): 4349–4357.

Shannon C.E. and Weaver W. (1949). The Mathematical Theory of Communication. The University of Illinois Press: Urbana, IL.

วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี | Agriculture and Technology Journal

ปีที่ 4 ฉบับที่ 3 กันยายน - ธันวาคม 2566 | Vol.4 No.3 September – December 2023

Received: June 11, 2023; Revised: September 6, 2023; Accepted: September 18, 2023

อีโคไลและรูปแบบการดื้อต่อยาปฏิชีวนะภายใต้กระบวนการผลิตปุ๋ยหมักจากเศษอาหาร

Fate of *Escherichia coli* and their antibiotic resistant pattern in food waste composting process

สิมนัส ตรีเดช[1*] เพียงกมล ยุวนานนท์[1] จุฑารัตน์ ศรีชูเปี่ยม[1] ธวัชชัย ศรีสอาด[1] และวิไล เจียมไชยศรี[2]

Simanata Threedeach[1*], Piangkamon Yuvananont[1], Jutharat Srichoopium[1], Thawatchai Srisaard[1] and Wilai Chiemchaisri[2]

[1]คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสวนดุสิต กรุงเทพฯ

[1]Faculty of Science and Technology, Suan Dusit University, Bangkok

[2]คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ

[2]Faculty of Engineering, Kasetsart University, Bangkok

[*]Corresponding Author E-mail address: simanata_thr@dusit.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแบคทีเรียบ่งชี้ที่ก่อโรคและคุณสมบัติการดื้อยาปฏิชีวนะในกระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากเศษอาหาร อีกทั้งศึกษาปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมที่คาดว่าน่าจะมีอิทธิพลต่อการคงอยู่ของแบคทีเรียก่อโรค และคุณสมบัติการดื้อยาปฏิชีวนะภายใต้กระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ โดยใช้อีโคไลเป็นแบคทีเรียบ่งชี้ ใช้ระยะเวลาทดสอบ 8 สัปดาห์ ภายใต้ถังหมักขนาด 150 ลิตร ที่มีการเติมอากาศ ผลจากการศึกษาพบว่าภาพรวมการดื้อต่อยาปฏิชีวนะของอีโคไลในช่วงเริ่มต้นกระบวนการหมักมีค่า MAR index ของอีโคไลอยู่ที่ 0.312 เมื่อดำเนินการหมักปุ๋ยอินทรีย์ในช่วงแรกที่อุณหภูมิภายในถังปฏิกรณ์เพิ่มขึ้น (37.0-57.0 องศาเซลเซียส) อีโคไลที่สามารถอยู่รอดได้จะมีระดับการดื้อยาเพิ่มสูงขึ้น และค่อยๆ ลดลงตามระยะเวลา โดยในสัปดาห์ที่ 8 ค่า MAR index ของอีโคไลลดลงมาที่ 0.214 ซึ่งอีโคไลส่วนใหญ่ที่เหลือรอดจัดเป็นอีโคไลดื้อยา 1 กลุ่มยา (ร้อยละ 60.0) ในส่วนของน้ำชะจากปุ๋ยหมักช่วงแรกของการหมักพบค่า MAR index (0.405) สูงกว่าในตัวปุ๋ยหมัก และมีค่าลดระดับลงตามระยะเวลาเช่นกัน (สัปดาห์ที่ 7 มีค่า MAR index = 0.150) ดังนั้น ในการนำปุ๋ยหมักจากเศษอาหารไปประยุกต์ใช้ ควรทิ้งช่วงเวลาให้ปุ๋ยหมักเกิดการหมักจนสมบูรณ์หรือมีการพักปุ๋ยหมักทิ้งไว้ เพื่อลดระดับความรุนแรงของการดื้อยาปฏิชีวนะในแบคทีเรียซึ่งอาจปนเปื้อนอยู่ อีกทั้งควรมีระบบจัดการน้ำชะปุ๋ยหมักที่เหมาะสมเพื่อป้องกันการแพร่กระจายของแบคทีเรียกลุ่มดังกล่าวสู่สิ่งแวดล้อม

คำสำคัญ: ปุ๋ยอินทรีย์ กระบวนการหมักปุ๋ยอินทรีย์ เศษอาหาร แบคทีเรียดื้อยาปฏิชีวนะ

Abstract

This study was investigated a potential pathogenic bacteria and antibiotic resistant bacteria (ARB) from the food waste composting. Moreover, study on environment factors may effect to pathogenic bacteria and ARB persistence under food waste composting. *Escherichia coli* as a representative bacterial in this study. Investigated compost for 8 weeks in 150 L reactors in aerobic condition. The results of ARB from materials before composting indicated multiple antibiotic resistant (MAR) index of *E. coli* was 0.312. First phase of composting, temperature inside composts were increased to 37.0-57.0 ^{O}C. *E. coli* survival under high temperature condition had developed to high level of antibiotic resistant and decreased to low level depended on time period. The results of ARB development in 8 weeks of composting was decreased, MAR index of *E. coli* was 0.214. Most of *E. coli* survival classified as ARB which resisted to 1 antibiotic group (60%). Moreover, MAR index of *E. coli* (0.405) from leachate of food waste composting was higher than in compost and decreased depended on ferment time period (7th week, MAR index = 0.150). Therefore, using of food waste compost should be needed more time for completely composting or prolonged compost using to reduced ARB contamination. To reduce the high level of ARB may contaminate in compost, there should be an appropriate leachate management system for protecting the widespread of ARB to the environment.

Keywords: Organic fertilizer, Composting process, Food waste, Antibiotic resistant bacteria

บทนำ

การใช้ทรัพยากรอย่างรู้คุณค่าเป็นเรื่องที่อยู่ในกระแสสังคม และมีความสำคัญต่อการดำเนินชีวิตในปัจจุบัน อันเนื่องมาจากการที่ทุกภาคส่วนต้องร่วมมือกันปรับตัวเพื่อรองรับสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ขยะเศษอาหารจัดเป็นขยะที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากประเภทหนึ่ง ภายใต้การจัดการด้วยการฝังกลบจะก่อเกิดการย่อยสลายได้ก๊าซเรือนกระจกชนิดก๊าซมีเทน ซึ่งการนำขยะจากเศษอาหารมาแปรรูปเป็นปุ๋ยอินทรีย์ถือเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่มีการนำไปประยุกต์ใช้กันอย่างแพร่หลาย และได้รับความนิยมในปัจจุบัน ทั้งระบบที่มีการเติมอากาศและระบบที่ไม่ใช้อากาศ โดยตัวอย่างรูปแบบในการหมักปุ๋ย เช่น ระบบกองบนลาน (Windrow composting) ระบบกองเติมอากาศ (Aerated static pile composting) และการหมักปุ๋ยในระบบปิด (In-vessel composting) เป็นต้น (Palaniveloo et al., 2020) แต่อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันมีการใช้ยาปฏิชีวนะในสัตว์เป็นจำนวนมากไม่ว่าจะเป็นเพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโต หรือป้องกันโรค ซึ่งการใช้ยาปฏิชีวนะอย่างไม่สมเหตุผลจะก่อให้เกิดการพัฒนาแบคทีเรียดื้อต่อยาปฏิชีวนะขึ้น การนำเนื้อหรือผลิตภัณฑ์จากสัตว์ที่ได้มาบริโภค จะก่อให้เกิดการชักนำแบคทีเรียดื้อยาเข้าสู่ห่วงโซ่อาหาร เกิดการแพร่กระจายสู่ผู้บริโภค ส่งผลต่อปัญหาทางด้านสาธารณสุขตามมา เพราะภายใต้สภาวะที่มีการคงอยู่ของยาปฏิชีวนะแบคทีเรียจะก่อให้เกิดการพัฒนาและปรับตัวให้เหมาะสมเพื่อความอยู่รอด การที่แบคทีเรียมีการพัฒนาสายพันธุ์ให้มีความทนทานต่อยาปฏิชีวนะเรียก แบคทีเรียดื้อยาปฏิชีวนะ โดยแบคทีเรียดังกล่าวจะมีหลายกลไกในการต้านยาปฏิชีวนะ ซึ่งถูกควบคุมกลไกด้วยยีนดื้อยาปฏิชีวนะ โดยยีนส่วนใหญ่จะอยู่ที่พลาสมิดของแบคทีเรีย ซึ่งสามารถถ่ายทอดผ่านยีนจากแบคทีเรียที่ดื้อยาไปสู่แบคทีเรียที่ไม่มีคุณสมบัติดังกล่าวได้ หรืออาจเกิดการถ่ายทอดยีนระหว่างแบคทีเรียที่ดื้อต่อยาปฏิชีวนะด้วยกันเอง ก่อให้เกิดแบคทีเรียสายพันธุ์ที่มีคุณสมบัติดื้อต่อยาปฏิชีวนะหลายชนิดมากยิ่งขึ้น โดยถือเป็นกลไกสำคัญที่ทำให้เชื้อแบคทีเรียมีวิวัฒนาการอย่างรวดเร็ว และมีการแพร่กระจายไปสู่กลุ่มแบคทีเรียในสิ่งแวดล้อม (Wellington et al., 2013) กระบวนการเหล่านี้

เกิดขึ้นได้โดยไม่จำเป็นต้องใช้การสืบพันธุ์ แต่ส่วนใหญ่ในสิ่งแวดล้อมจะเกิดผ่านกระบวนการที่เรียกว่าการถ่ายทอดยีนในแนวราบ (Horizontal Gene Transfer, HGT) ซึ่งทำให้เชื้อแบคทีเรียสามารถถ่ายทอดยีนข้ามสายพันธุ์กันได้ (Kelly et al., 2009) โดยถือเป็นกลไกสำคัญที่ทำให้เชื้อแบคทีเรียมีวิวัฒนาการอย่างรวดเร็ว และมีการแพร่กระจายยีนดื้อยาปฏิชีวนะเหล่านี้ไปสู่กลุ่มแบคทีเรียในสิ่งแวดล้อม ปัจจุบันมีรายงานวิจัยพบยาปฏิชีวนะ และยีนดื้อยาปฏิชีวนะปนเปื้อนในขยะเศษอาหารอย่างแพร่หลาย ซึ่งมาจากการสะสมในวัตถุดิบชนิดต่าง ๆ ทั้งผัก ผลไม้ และเนื้อสัตว์ (Chen et al., 2021; Zhao et al., 2022) ตลอดจนพบยีนดื้อยาภายใต้กระบวนการหมักเศษอาหาร โดยปัจจัยเช่น อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรดด่าง และระยะเวลาในการหมัก มีอิทธิพลต่อปริมาณยีนที่พบเช่นกัน (Wang et al., 2019) ดังนั้นการใช้เศษอาหารเป็นวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ควรจะเป็นเรื่องที่ควรระมัดระวังในการดำเนินงาน ซึ่งการสัมผัสกับปุ๋ยลักษณะดังกล่าวโดยตรงมีโอกาสเพิ่มแนวโน้มการแพร่กระจายของแบคทีเรียดื้อยาปฏิชีวนะเข้าสู่ร่างกาย (Furukawa et al., 2018) ซึ่งอาจจะส่งผลให้การรักษาโรคด้วยยาปฏิชีวนะมีประสิทธิภาพลดลงซึ่งจัดเป็นปัญหาที่ทั่วโลกกำลังเผชิญอยู่

ด้วยความตระหนักถึงปัญหาทางด้านสาธารณสุขและสิ่งแวดล้อม อันเนื่องมาจากการก่อเกิดการแพร่กระจายแบคทีเรียดื้อยาปฏิชีวนะโดยมีแหล่งกำเนิดสำคัญมาจากวัสดุที่ใช้เพื่อผลิตปุ๋ยอินทรีย์ ประกอบกับยังมีงานวิจัยที่ทำการศึกษาภายใต้ภูมิอากาศแบบเขตร้อนชื้นอยู่ไม่มากข้อมูลดังกล่าวจึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง ดังนั้นทางคณะผู้วิจัยจึงสนใจที่จะทำการศึกษาถึงรูปแบบการดื้อยาปฏิชีวนะของแบคทีเรียในกระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแบคทีเรียก่อโรคและคุณสมบัติการดื้อยาปฏิชีวนะภายใต้กระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ และศึกษาปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมที่คาดว่าน่าจะมีอิทธิพลต่อการคงอยู่ของแบคทีเรียก่อโรค และคุณสมบัติการดื้อยาปฏิชีวนะภายใต้กระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ อีกทั้งดำเนินการทดลองภายใต้ข้อสมมติฐาน 2 ประการ คือ ประการที่ 1 น่าจะมีการปนเปื้อนของแบคทีเรียก่อโรคและคุณสมบัติการดื้อยาปฏิชีวนะจากวัสดุที่นำมาใช้ผลิตปุ๋ยอินทรีย์ และประการที่ 2 ภายใต้วิธีการมาตรฐานในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ กระบวนการหมักน่าจะช่วยลดปริมาณของแบคทีเรียก่อโรคและคุณสมบัติการดื้อยาปฏิชีวนะลงได้ โดยการศึกษาในครั้งนี้สุ่มตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์เพื่อตรวจแยกหาเชื้ออีโคไล (*Escherichia coli*) ซึ่งเป็นแบคทีเรียแกรมลบ และจัดเป็นกลุ่มแบคทีเรียประจำถิ่นที่ไม่ก่อโรค ขณะเดียวกันสามารถตรวจพบหรือพัฒนาเป็นสายพันธุ์ที่ก่อโรคในระบบทางเดินอาหารได้ เพื่อเป็นแบคทีเรียบ่งชี้ ซึ่งทางคณะผู้วิจัยมีความคาดหวังว่าองค์ความรู้ที่ได้จะมีบทบาทในการเชื่อมโยงถึงปัญหาการกระจายตัวของแบคทีเรียดื้อยาในระบบทางสิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังก่อเกิดแนวทางที่เหมาะสมในการพัฒนากระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ที่ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและมีความปลอดภัยต่อสุขภาพมากยิ่งขึ้น อีกทั้งยังเป็นการดำเนินงานเพื่อส่งเสริมด้านการใช้ทรัพยากรอย่างรู้คุณค่าอีกช่องทางหนึ่ง

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

ขอบเขตในการศึกษา

ขอบเขตในการศึกษา ประกอบด้วย การศึกษาการดื้อยาปฏิชีวนะจากอีโคไลที่คัดแยกจากกระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากเศษอาหาร ที่ทำการหมักภายใต้สภาวะที่มีอากาศ ด้วยระยะเวลา 8 สัปดาห์ โดยมีการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของปุ๋ยร่วมด้วย ซึ่งในการวิจัยแบ่งขั้นตอนการดำเนินงานออกเป็น 3 ส่วนดังนี้ ส่วนที่ 1 การหมักปุ๋ยจากเศษอาหาร ส่วนที่ 2 การศึกษาคุณสมบัติของปุ๋ยหมักเศษอาหาร และส่วนที่ 3 การศึกษาการดื้อยาปฏิชีวนะของแบคทีเรียจากปุ๋ยหมักเศษอาหาร โดยขั้นตอนการดำเนินงานในแต่ละส่วนมีดังนี้

การหมักปุ๋ยจากเศษอาหาร

ดำเนินการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ในถังหมัก (High Density Polyethylene, HDPE) จำนวน 1 ถัง ที่มีขนาดความจุ 150 ลิตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 50 เซนติเมตร สูง 90 เซนติเมตร มีการเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร รอบตัวถังจำนวน

6 ชั้น โดยที่แต่ละชั้นห่างกัน 10-15 เซนติเมตร เพื่อส่งเสริมการระบายอากาศภายในถัง และมีการเจาะช่องขนาดกว้าง 50 เซนติเมตร และยาว 70 เซนติเมตร จำนวน 2 ช่อง ที่ระดับล่างและระดับกลางของถัง สำหรับใช้ในการเก็บตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์เพื่อนำไปทดสอบ นอกจากนี้ด้านล่างของถังมีการต่อท่อสำหรับระบายน้ำเพิ่มเติม และมีการเติมอากาศโดยใช้ปั๊มลมในช่วงแรกของการหมัก ซึ่งจะหยุดเติมอากาศเมื่ออุณหภูมิของปุ๋ยอินทรีย์อยู่ในระดับคงที่วัสดุที่ใช้ในการหมักปุ๋ยอินทรีย์ในที่นี้ใช้ขยะเศษอาหารหมักร่วมกับเศษไม้และใบไม้ที่สับเป็นชิ้นขนาดเล็ก ซึ่งเศษอาหารที่ใช้นำมาจากอาหารเหลือรับประทานในโรงอาหาร โดยจะมีการปรับอัตราส่วนของวัสดุเริ่มต้นให้มีค่าคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) อยู่ในช่วงที่ใกล้เคียง 25 ซึ่งเทียบเท่าการใช้ขยะเศษอาหารผสมกับเศษไม้และใบไม้ ในอัตราส่วน 2 ต่อ 1 โดยใช้เศษอาหารสดจำนวน 64 กิโลกรัม เศษไม้และใบไม้จำนวน 32 กิโลกรัม และใช้ร่วมกับสารเร่งซุปเปอร์ พด.1 ของกรมพัฒนาที่ดิน (10 กรัม ละลายน้ำ 2 ลิตร) (รูปที่ 1)

รูปที่ 1 ถังหมักปุ๋ยอินทรีย์ และวัสดุตั้งต้นในการหมัก (ขยะเศษอาหาร และเศษไม้ และใบไม้)

การศึกษาคุณสมบัติของปุ๋ยหมักเศษอาหาร

การศึกษานี้ทำการหมักปุ๋ยเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ (60 วัน) มีการเก็บตัวอย่างปุ๋ยหมักสัปดาห์ละ 1 ครั้ง โดยการสุ่มเก็บตัวอย่างเป็นจุดจำนวน 3 จุด ตามช่องเก็บตัวอย่างในรูปที่ 1 คือช่วงล่างของถัง ช่วงกึ่งกลาง และช่วงบน จุดละ 1 ตัวอย่าง (ตัวอย่างละ 100 กรัม) แล้วนำตัวอย่างของทุกจุดมาผสมให้เข้ากันเพื่อใช้เป็นตัวแทนในการวิเคราะห์ และมีการตรวจวัดอุณหภูมิภายในถังหมักทุกวัน (80 วัน) ในการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของตัวอย่างปุ๋ยหมักจะมีการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดด่าง อุณหภูมิ ความชื้น การนำไฟฟ้า ความเค็ม ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอน และไนโตรเจน (AOAC, 2000) สำหรับการวิเคราะห์คุณสมบัติปุ๋ยทางชีวภาพจะมีการวิเคราะห์จุลินทรีย์ทั้งหมด โคลิฟอร์มแบคทีเรีย และอีโคไล นอกจากนี้ยังมีการสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำชะจากปุ๋ยหมักเพื่อศึกษาปริมาณจุลินทรีย์ร่วมด้วย โดยในการวิเคราะห์จะใช้การเจือจางตัวอย่างปุ๋ยด้วยสารละลายเพปโทน (Peptone water) ร้อยละ 0.1 ที่มีส่วนผสมของโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ร้อยละ 0.85 ตามอัตราส่วนแบบ tenfold dilution และวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดด้วยเทคนิค Pour-plate และเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อ Plate count agar (Himedia, India) ที่ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (Collins et al., 2004) สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรีย และอีโคไล จะทำการกรองสารละลายปุ๋ยตัวอย่างบนแผ่นกรองแบบมีช่องกริด ขนาดรูพรุน 0.45 ไมครอน เส้นผ่านศูนย์กลาง 47 มิลลิเมตร (Merk Millipore, USA) และนำไปเลี้ยงบนอาหาร Chromocult coliform agar (Merck, USA) ที่ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง โดยโคโลนีที่เป็นอีโคไลจะปรากฏสีน้ำเงิน ส่วนโคโลนีของโคลิฟอร์มชนิดอื่นจะปรากฏสีชมพู (APHA, 2012)

การศึกษาการดื้อยาปฏิชีวนะของแบคทีเรียจากปุ๋ยหมักเศษอาหาร

ดำเนินการวิเคราะห์การดื้อยาปฏิชีวนะของอีโคไลจากตัวอย่างปุ๋ยหมักสัปดาห์ละ 1 ครั้ง โดยแต่ละตัวอย่างทำการคัดแยกอีโคไลจำนวน 20 ไอโซเลต (Isolate) และยังมีการสุ่มวิเคราะห์ในตัวอย่างน้ำชะปุ๋ยหมักเพิ่มเติมในรูปแบบวิธีการเช่นเดียวกัน โดยในการแยกเชื้ออีโคไลจากตัวอย่างปุ๋ย จะทำการคัดแยกโคโลนีเดี่ยวของอีโคไล (สีน้ำเงิน) บนแผ่นกรอง โดยนำแต่ละโคโลนีที่คัดแยกมาบ่มต่อในอาหาร Tryptic soy broth (TSB broth) (Himedia, India) ที่ 35 องศาเซลเซียส จนระดับความขุ่นมีค่าเท่ากับ McFarland Standard เบอร์ 0.5 ($1.5x10^8$ โคโลนี/มิลลิลิตร) จากนั้นทำการสวอป (Swap) เชื้อให้ทั่วอาหาร Mueller Hinton agar (Himedia, India) วางดิสค์ (Disk) ยาปฏิชีวนะบนอาหาร บ่มที่ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16-18 ชั่วโมง อ่านผลการทดสอบโดยการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณที่เชื้อไม่ขึ้น (Clear zone) รอบดิสค์ยาในหน่วยมิลลิเมตร แล้วแปรผลเป็นค่าไวต่อยาปฏิชีวนะ (Susceptible (S)), มีแนวโน้มพัฒนาไปสู่การดื้อต่อยาปฏิชีวนะ (Intermediate (I)) และดื้อต่อยาปฏิชีวนะ (Resistant (R)) ด้วยการเทียบกับค่ามาตรฐานตามวิธีการดำเนินงานของ Clinical and Laboratory Standards Institute, CLSI (2012) จากนั้นทำการประเมินค่าร้อยละของการไวต่อยา (สมการที่ 1) และค่าดัชนีการดื้อยาปฏิชีวนะอย่างน้อย 2 ชนิดยา หรือค่า MAR index (Multiple antibiotic resistant index) (สมการที่ 2) แผ่นยาปฏิชีวนะ (BD BBL™ Sensi-Disc™) ที่ใช้ทดสอบจะครอบคลุมยาทั้งสิ้น 7 กลุ่ม ซึ่งใช้สำหรับแบคทีเรียแกรมลบ รวมถึงอีโคไลที่เป็นแบคทีเรียบ่งชี้ อันประกอบด้วยกลุ่มยา Aminoglycoside (Gentamicin 10 μg (GM)), กลุ่มยา Tetracycline (Tetracycline 30 μg (TC)), กลุ่มยา Fluoroquinolone (Norfloxacin 10 μg (NOR)), Ciprofloxacin 5 μg (CIP)), กลุ่มยา Sulfonamide (Sulfamethoxazole/Trimethoprim 23.75/1.25 μg (SXT)), กลุ่มยา Chloramphenicol (Chloramphenical 30 μg (CP)), กลุ่มยา Fosfomycin (Fosfomycin 200 μg (FOS)) และกลุ่มยา Beta-lactam (Cefuroxime 30 μg (CXM), Cefotaxime 30 μg (CTX), Ceftazidime 30 μg (CAZ), Ampicillin 10 μg (AMP))

$$\%S = \frac{\text{จำนวนตัวอย่างที่แสดงผล susceptible}}{\text{จำนวนตัวอย่างทั้งหมด}} x\ 100 \quad (1)$$

$$\%I = \frac{\text{จำนวนตัวอย่างที่แสดงผล Intermediat}}{\text{จำนวนตัวอย่างทั้งหมด}} x\ 100 \quad (2)$$

$$\%R = \frac{\text{จำนวนตัวอย่างที่แสดง Resistant}}{\text{จำนวนตัวอย่างทั้งหมด}} x\ 100 \quad (3)$$

$$\text{MAR index} = \frac{\text{จำนวนดิสค์ยาปฏิชีวนะที่อีโคไลแสดงผล Resistant}}{\text{จำนวนดิสค์ยาปฏิชีวนะทั้งหมดที่ทดสอบ}} x\ 100 \quad (4)$$

สถิติที่ใช้ในการศึกษา

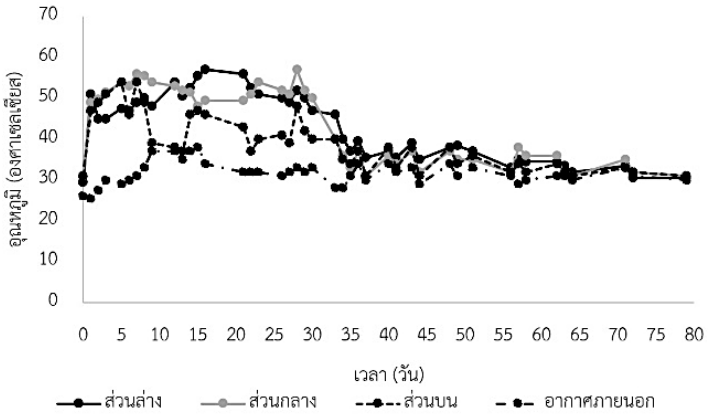
สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลการศึกษาเป็นการใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive statistics) ประกอบด้วย การแจกแจงความถี่ด้วยค่าร้อยละ (Percentage) การวัดค่าแนวโน้มเข้าสู่ศูนย์กลางด้วยค่าเฉลี่ย (Mean) และการวัดการกระจายด้วยค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) และมีการใช้สถิติอ้างอิง (Inference statistics) เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรด้วยการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple linear regression analysis)

ผลการวิจัย และการอภิปรายผล

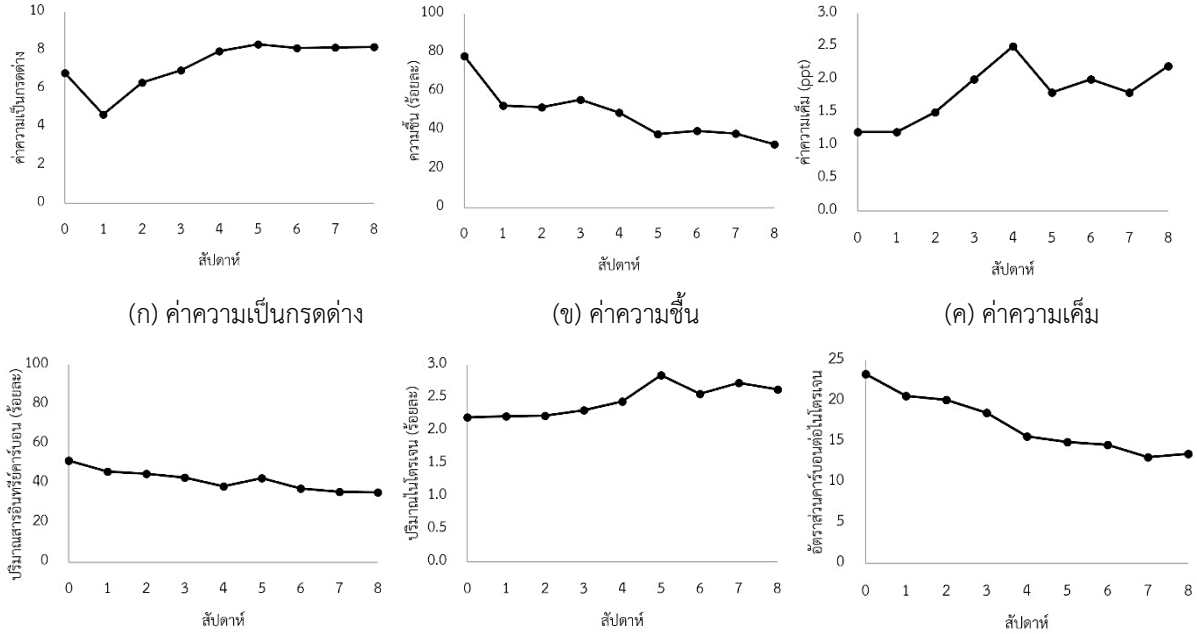
ลักษณะของปุ๋ยหมักเศษอาหาร

ผลจากการศึกษาคุณสมบัติทางด้านกายภาพและเคมีด้านต่าง ๆ ของปุ๋ยอินทรีย์ พบว่า จากการศึกษาอุณหภูมิภายใต้กระบวนการหมักแบบเติมอากาศ ช่วงเริ่มต้นการหมักอุณหภูมิอยู่ที่ 29.5-31.0 องศาเซลเซียส และเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในสัปดาห์ที่ 1-4 โดยอยู่ในช่วง 37.0-57.0 องศาเซลเซียส (ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ 49.2 องศาเซลเซียส, ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 2.00) เนื่องมาจากกิจกรรมการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปย่อยสลายง่ายโดยจุลินทรีย์ ซึ่งกระบวนการจะดำเนินไปจนกระทั่งสารอาหารที่ย่อยสลายง่ายลดปริมาณลง สังเกตได้จากการที่อุณหภูมิของปุ๋ยหมักเริ่มลดลงและมีค่าคงที่ในช่วงถัดไป (รูปที่ 2) ในระหว่างกระบวนการหมักมีการพรมน้ำเล็กน้อยในปุ๋ยหมักสัปดาห์ละครั้ง ค่าความชื้นของปุ๋ยหมักช่วงเริ่มต้นมีค่าความชื้นสูง (ร้อยละ 78.3) อาจเนื่องมาจากเศษอาหารส่วนใหญ่จัดเป็นอาหารเหลือทิ้งจากการรับประทานอาหาร แต่เมื่อระยะเวลาในกระบวนการหมักผ่านไป (สัปดาห์ที่ 5-8) ค่าความชื้นลดลงอยู่ในช่วงร้อยละ 32.5-39.7 (ค่าเฉลี่ยความชื้นร้อยละ 37.0, ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 3.13) ในช่วงสัปดาห์แรกค่าความเป็นกรดด่างของปุ๋ยหมักลดต่ำลงจนมีค่าเป็นกรดเล็กน้อย (pH 4.6) และค่อย ๆ เพิ่มขึ้นสูงขึ้นจนอยู่ในช่วงเป็นกลางถึงด่างเล็กน้อยในสัปดาห์ที่ 3-8 (ระหว่าง 7.0-8.3 ค่าเฉลี่ยความเป็นกรดด่าง 7.9, ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.49) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากขยะเศษอาหาร เช่น ข้าว เนื้อสัตว์สามารถเปลี่ยนรูปได้ในระยะเวลาอันรวดเร็วผ่านกระบวนการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์จากสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ก่อเกิดเป็นกรดอินทรีย์ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นกรดอ่อน ส่วนค่าการนำไฟฟ้าและค่าความเค็มของปุ๋ยหมักเศษอาหารถือว่ามีค่าค่อนข้างสูงกว่าปุ๋ยหมักทั่วไป โดยมีค่าอยู่ในช่วง 2.2-4.3 ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร และ 1.2-2.2 ส่วนต่อพันส่วน (ppt) ตามลำดับ ซึ่งค่าการนำไฟฟ้าจะแสดงถึงปริมาณสารอนินทรีย์ที่พบในปุ๋ย ส่วนค่าความเค็มแสดงถึงปริมาณเกลือในรูปต่าง ๆ โดยค่าดังกล่าวมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลา ในส่วนของปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนนั้น ช่วงสัปดาห์แรกมีค่าอยู่ที่ร้อยละ 45.8 และมีค่าลดตามระยะเวลา (สัปดาห์ที่ 8 มีค่าร้อยละ 35.5) ซึ่งค่าที่ลดลงเนื่องมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชันสารอินทรีย์ในปุ๋ยให้กลายไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำภายใต้กระบวนการย่อยสลายแบบใช้อากาศ อีกทั้งปริมาณไนโตรเจนในระหว่างการหมักจะมีค่าลดลง เนื่องมาจากอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นในถังหมักส่งผลให้เกิดการระเหยของแอมโมเนีย และเมื่ออุณหภูมิลดต่ำลงจะก่อให้เกิดการสะสมซึ่งอาจเกิดขึ้นจากแบคทีเรียที่ทำหน้าที่ตรึงไนโตรเจนซึ่งค่อนข้างมีบทบาทในช่วงท้ายของกระบวนการหมัก เมื่อพิจารณาอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) พบว่ามีค่าลดลงตามระยะเวลาจาก 23.4 ในสัปดาห์เริ่มต้น (สัปดาห์ที่ 0) เหลือ 13.6 ในสัปดาห์ที่ 8 ซึ่งเกิดขึ้นจากการสะสมปริมาณไนโตรเจนและการย่อยสลายสารอินทรีย์ในกระบวนการ (Kebibeche et al., 2019) (รูปที่ 3)

ตัวอย่างปุ๋ยเมื่อครบระยะเวลาการหมักมีคุณสมบัติทางกายภาพที่สังเกตเห็นได้คือ วัสดุหมักถูกย่อยสลายจนมีขนาดเล็กลง ปรากฏเป็นสีน้ำตาลเข้ม มีกลิ่นคล้ายดิน อีกทั้งไม่พบเศษอาหาร เศษไม้ และใบไม้ ที่มีลักษณะเหมือนกับวัสดุตั้งต้นที่ใช้ และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับการกำหนดลักษณะเกณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์เพื่อการควบคุมคุณภาพ พบคุณสมบัติปุ๋ยในการศึกษานี้มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดไม่น้อยกว่าร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนัก ปริมาณอินทรียวัตถุรับรองในรูปสารอินทรีย์คาร์บอนไม่ต่ำกว่าร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนไม่เกิน 20:1 ค่าการนำไฟฟ้าไม่เกิน 10 เดซิซีเมนต่อเมตร และความชื้นไม่เกินร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก (กรมวิชาการเกษตร, 2564)



รูปที่ 2 อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงภายใต้กระบวนการหมักปุ๋ยจากเศษอาหารตลอดระยะเวลาการทดลอง



(ก) ค่าความเป็นกรดด่าง (ข) ค่าความชื้น (ค) ค่าความเค็ม

(ง) สารอินทรีย์คาร์บอน (จ) ไนโตรเจน (ฉ) คาร์บอนต่อไนโตรเจน

รูปที่ 3 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีภายใต้กระบวนการหมักปุ๋ยจากเศษอาหาร

จากการศึกษาปริมาณจุลินทรีย์ประเภทต่างๆที่เปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลาในการหมักนั้น พบว่า มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเริ่มต้นอยู่ 6.08×10^8 CFU/g โดยปริมาณจุลินทรีย์ที่สูงอาจเนื่องมาจากมีการเติมสารเร่งซุปเปอร์ พด. 1 ของกรมพัฒนาที่ดินร่วมด้วยเพื่อเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ต่อกระบวนการย่อยสลาย โดยสารดังกล่าวประกอบด้วยจุลินทรีย์หลากหลายชนิด ตัวอย่างเช่น *Scytalidium thermophilum*, *Chaetomium thermophilum*, *Corynascus verrucosus*, *Scopulariopsis breviacaulis*, *Streptomyces* sp. และ *Bacillus subtilis* และเมื่อครบ 8 สัปดาห์ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดลดลงเหลือ 4.21×10^7 CFU/g สำหรับตัวบ่งชี้แบคทีเรียก่อโรคกลุ่มโคลิฟอร์มแบคทีเรียและอีโคไลที่วิเคราะห์จัดเป็นแบคทีเรียกลุ่มสำคัญที่ก่อให้เกิดโรคในระบบทางเดินอาหาร และนิยมใช้เป็นดัชนีชี้วัดกันอย่างแพร่หลาย มีแนวโน้มปริมาณลดลงตามระยะเวลาเช่นเดียวกัน โดยมีปริมาณเริ่มต้นที่ 9.02×10^6 CFU/g และ 3.70×10^5 CFU/g ตามลำดับ และมีปริมาณลดลงเหลือ 2.33×10^5 CFU/g และ 1.98×10^4 CFU/g ตามลำดับ (ตารางที่ 1) จะเห็นได้ว่า จุลินทรีย์ภายใต้กระบวนการหมักมีการเปลี่ยนแปลงตลอดกระบวนการซึ่งขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิ รวมทั้งสารอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโต ซึ่งเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักปริมาณแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มและอีโคไลลดปริมาณลงร้อยละ 97.4 และ

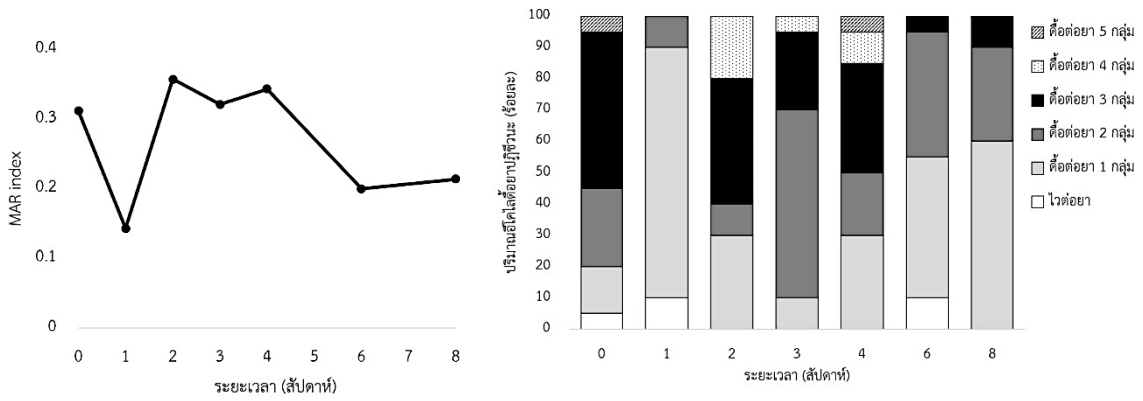
94.6 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า กระบวนการหมักแบบใช้อากาศเพื่อผลิตปุ๋ยสามารถลดปริมาณแบคทีเรียก่อโรคได้ (Gou et al., 2018) ซึ่งช่วงแรกที่อุณหภูมิภายในปุ๋ยอินทรีย์เพิ่มสูงขึ้นจะสังเกตพบว่าปริมาณแบคทีเรียก่อโรคจะลดลงอย่างรวดเร็ว สื่อให้เห็นว่าอุณหภูมิสูงเป็นอีกปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณแบคทีเรียกลุ่มดังกล่าว

ตารางที่ 1 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด โคลิฟอร์มแบคทีเรีย และอีโคไลภายใต้กระบวนการหมักปุ๋ยจากเศษอาหาร

สัปดาห์ที่	ปริมาณจุลินทรีย์ประเภทต่าง ๆ ในปุ๋ยหมักจากเศษอาหาร (CFU/g)		
	จุลินทรีย์ทั้งหมด	โคลิฟอร์มแบคทีเรีย	อีโคไล
0	6.08×10^{8}	9.02×10^{6}	3.70×10^{5}
1	2.31×10^{8}	6.99×10^{5}	8.04×10^{4}
2	4.38×10^{8}	3.65×10^{5}	9.24×10^{4}
3	2.87×10^{8}	4.14×10^{5}	2.90×10^{4}
4	4.20×10^{8}	5.61×10^{4}	1.88×10^{4}
5	1.72×10^{8}	6.29×10^{4}	3.44×10^{4}
6	1.47×10^{8}	4.38×10^{5}	6.88×10^{4}
7	9.88×10^{7}	1.19×10^{5}	1.17×10^{4}
8	4.21×10^{7}	2.33×10^{5}	1.98×10^{4}

แบคทีเรียดื้อยาปฏิชีวนะที่คัดแยกจากปุ๋ยหมักเศษอาหาร

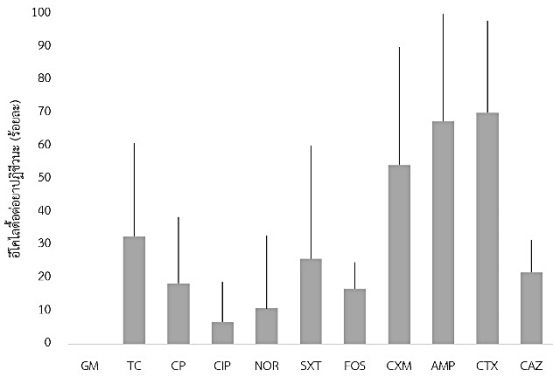
ในการศึกษานี้จะทำการคัดเลือกตัวแทนอีโคไลจากปุ๋ยหมักตัวอย่างละ 20 ไอโซเลต มาทำการทดสอบ รวมเป็น 140 ไอโซเลต ซึ่งในภาพรวมพบว่า อีโคไลส่วนใหญ่พบการดื้อยาปฏิชีวนะร้อยละ 96.4 โดยภาพรวมระดับการดื้อยาของอีโคไล หรือค่า MAR index ช่วงเริ่มต้นการหมักมีค่า 0.312 ระหว่างกระบวนการหมัก ในสัปดาห์ที่ 2-4 MAR index มีค่า 0.321-0.357 และในสัปดาห์ที่ 8 มีค่า 0.214 (รูปที่ 4) แสดงให้เห็นว่ามีการพัฒนาคุณสมบัติการดื้อต่อยาปฏิชีวนะเพิ่มขึ้นในระหว่างกระบวนการหมักปุ๋ย แต่เมื่อกระบวนการแล้วเสร็จระดับการดื้อยาของอีโคไลที่พบจะลดลง เมื่อพิจารณาเพิ่มเติมถึงรูปแบบการดื้อยาปฏิชีวนะของอีโคไลต่อการดื้อยาตั้งแต่ 1-7 กลุ่มยาที่นำมาทำการทดสอบ พบว่าผลการศึกษาเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการศึกษาค่า MAR index กล่าวคือจากภาพรวมผลการศึกษา พบอีโคไลชนิดดื้อต่อยาปฏิชีวนะตั้งแต่ 2-5 กลุ่มยาขึ้นไป มีอัตราส่วนที่ลดลงตามระยะเวลา จากช่วงเริ่มต้นที่พบมากถึงอัตราส่วนร้อยละ 80 และมีค่าลดลงในสัปดาห์ที่ 8 เหลือร้อยละ 40 ในขณะที่พบอีโคไลดื้อต่อยาเพียง 1 กลุ่มยา เพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 60 (รูปที่ 4) ซึ่งสนับสนุนผลการศึกษาจากค่า MAR index ที่ระบุว่าระดับการดื้อยาปฏิชีวนะของแบคทีเรียบ่งชี้ในปุ๋ยเศษอาหารมีระดับลดลงเมื่อผ่านกระบวนการหมัก นอกจากนี้ยังสุ่มทำการทดลองคัดแยกอีโคไลจากน้ำชะปุ๋ยหมักมาศึกษาคุณสมบัติการดื้อยา ซึ่งช่วงแรกของการหมักปุ๋ย (สัปดาห์ที่ 1) พบค่า MAR index (0.405) สูงกว่าในตัวปุ๋ยหมัก และมีค่าลดระดับลงมาใกล้เคียงกันในช่วงหลัง (สัปดาห์ที่ 7, MAR index = 0.150) (ไม่มีการแสดงข้อมูล)



(ก) MAR index (ข) การดื้อต่อยาปฏิชีวนะตามกลุ่มยา

รูปที่ 4 ภาพรวมการดื้อต่อยาปฏิชีวนะของอีโคไลตลอดกระบวนการหมักปุ๋ยเศษอาหาร

นอกจากนี้ยังได้ดำเนินการวิเคราะห์รูปแบบการดื้อยาปฏิชีวนะของอีโคไลที่เหลือรอดในตัวอย่างปุ๋ยตามชนิดของยาทั้ง 7 กลุ่ม รวม 11 ชนิดยา ที่นำมาทดสอบ (รูปที่ 5 และตารางที่ 2) พบว่า มีอีโคไลที่เหลือรอดมีอัตราการดื้อต่อยากลุ่ม Beta-lactams ชนิด Cefuroxime (CXM), Ampicillin (AMP) และ Cefotaxime (CTX) อยู่ในระดับสูงตลอดกระบวนการหมักเมื่อเปรียบเทียบกับการดื้อต่อยากลุ่มอื่นๆ โดยมีค่าเฉลี่ยตลอดระยะเวลา 8 สัปดาห์ (สัปดาห์ที่ 1-8) อยู่ที่ร้อยละ 54.2 (ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 35.7), ร้อยละ 67.5 (ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 34.9), และร้อยละ 70.0 (ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 27.09) ตามลำดับ อีกทั้งพบว่าอีโคไลมีความไวต่อยากลุ่ม Aminoglycoside (Gentamicin, GM) และดื้อต่อยากลุ่ม Fluoroquinolones (Ciprofloxacin, CIP และ Norfloxacin, NOR) ในระดับที่ต่ำมาก โดยมีค่าเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทดสอบ (สัปดาห์ที่ 1-8) อยู่ที่ร้อยละ 6.7 (ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 12.1) และ ร้อยละ 10.8 (ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 22.0) ตามลำดับ ส่วนยาประเภทอื่น ๆ ที่ทดสอบ พบว่ามีระดับการดื้อยาปานกลางเมื่อเปรียบเทียบในภาพรวมทั้งหมด สาเหตุที่พบการดื้อยากลุ่ม Beta-lactams ในระดับสูงเนื่องจากกลไกการออกฤทธิ์เพื่อต้านยาของแบคทีเรียแกรมลบ เช่น อีโคไล ซึ่งจัดเป็นแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์ม เกิดขึ้นโดยการผลิตเอนไซม์ Beta-lactamase มาทำการย่อยสลายวงแหวน Beta-lactams ของยาส่งผลให้ยาหมดฤทธิ์ในการทำลายแบคทีเรีย (Rupp and Fey, 2003; Mesa et al., 2006) เป็นกลไกที่พบได้อย่างแพร่หลายในอีโคไล โดยการถ่ายทอดคุณสมบัติดังกล่าวเกิดผ่านยีนควบคุมการดื้อยาปฏิชีวนะซึ่งยีนดังกล่าวส่วนใหญ่จะอยู่ที่พลาสมิดของแบคทีเรีย ซึ่งสามารถถ่ายทอดผ่านยีนจากแบคทีเรียที่ดื้อยาไปสู่แบคทีเรียที่ไม่มีคุณสมบัติดังกล่าวได้ผ่านกระบวนการที่เรียกว่าการถ่ายทอดยีนในแนวราบ (HGT) ซึ่งทำให้เชื้อแบคทีเรียสามารถถ่ายทอดยีนฯ ข้ามสายพันธุ์กันได้ (Kelly et al., 2009)



รูปที่ 5 ค่าเฉลี่ยการดื้อต่อยาปฏิชีวนะแยกตามชนิดยาของอีโคไลตลอดกระบวนการหมักปุ๋ยเศษอาหาร (สัปดาห์ที่ 1-8)

ตารางที่ 2 อีโคไลที่ดื้อต่อยาปฏิชีวนะแต่ละชนิดภายใต้กระบวนการหมักปุ๋ยเศษอาหาร

ชนิดยาปฏิชีวนะ	อีโคไลจากปุ๋ยหมักเศษอาหารที่ดื้อต่อยาปฏิชีวนะแต่ละชนิด (ร้อยละ)						
	สัปดาห์ที่ 0	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 6	สัปดาห์ที่ 8
Gentamicin (GM)	0	0	0	0	0	0	0
Tetracycline (TC)	5	55	45	0	70	20	5
Chloramphenicol (CP)	50	0	50	10	35	15	0
Ciprofloxacin (CIP)	0	0	10	0	30	0	0
Norfloxacin (NOR)	0	0	10	0	55	0	0
Sulfamethoxazole/Trimethoprim (SXT)	65	0	20	90	0	10	35
Fosfomycin (FOS)	30	10	25	25	5	20	15
Cefuroxime (CXM)	95	10	85	95	20	40	75
Ampicillin (AMP)	95	5	95	95	55	65	90
Cefotaxime (CTX)	85	30	95	95	65	45	90
Ceftazidime (CAZ)	10	15	10	30	25	15	35

นอกจากนี้คณะผู้วิจัยยังได้มีการสุ่มตัวอย่างปุ๋ยหมักจากเศษอาหารที่มีการพักทิ้งไว้ต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ (เทียบเท่า 12 สัปดาห์ นับจากวันที่เริ่มกระบวนการหมัก) มาทำการทดสอบ ซึ่งพบว่าระดับการดื้อยาปฏิชีวนะของอีโคไลในภาพรวมมีค่าลดลง โดยมีค่า MAR index 0.121 (ไม่มีการแสดงข้อมูล) อีกทั้งพบอัตราส่วนอีโคไลที่ไวต่อยาและดื้อต่อยาปฏิชีวนะเพียง 1 กลุ่มยา ร้อยละ 35 และร้อยละ 55 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าระดับความรุนแรงของการดื้อต่อยาลดต่ำลงเมื่อเปรียบเทียบกับปุ๋ยอินทรีย์สัปดาห์ที่ 8 ซึ่งไม่พบอีโคไลที่ไวต่อยา พบเฉพาะอีโคไลดื้อยา 1 กลุ่มยา ร้อยละ 60 เท่านั้น แสดงให้เห็นว่า การทิ้งช่วงเวลาให้ปุ๋ยหมักเกิดการหมักจนสมบูรณ์หรือมีการพักปุ๋ยหมักทิ้งไว้จะช่วยลดระดับความรุนแรงของกลุ่มแบคทีเรียดื้อต่อยาปฏิชีวนะลงได้ ตลอดจนกระบวนการหมักแบบใช้อากาศยังเป็นสภาวะที่ส่งเสริมการลดยีนดื้อยาปฏิชีวนะในปุ๋ยหมัก (Guo et al., 2021; Li et al., 2021, Qiu et al., 2021) อีกทั้งจากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าในปุ๋ยหมักจากขยะเศษอาหาร พบเรื่องของการแพร่กระจายการดื้อต่อยาปฏิชีวนะในแบคทีเรียเช่นเดียวกันกับในวัสดุหมักปุ๋ยประเภทมูลสัตว์ แต่ไม่ได้มีระดับรุนแรงเท่า เนื่องจากในการเลี้ยงสัตว์เศรษฐกิจมีการใช้ยาปฏิชีวนะโดยตรง (Wang et al., 2014) แต่อย่างไรก็ตาม โดยทั่วไปขยะเศษอาหารพบการปนเปื้อนด้วยยาปฏิชีวนะหรือแบคทีเรียดื้อยาปฏิชีวนะ ซึ่งอาจมาจากวัตถุดิบในการประกอบอาหารประเภทต่าง ๆ รวมทั้งสารคัดหลั่งของผู้รับประทานที่อาจปนเปื้อนด้วยแบคทีเรียดื้อยาปฏิชีวนะ (Chen et al., 2021; Zhao et al., 2022) สำหรับรูปแบบการพัฒนาการดื้อต่อยาปฏิชีวนะของอีโคไลในปุ๋ยหมักเศษอาหารเมื่อเปรียบเทียบตามระยะเวลาพบว่า มีความสอดคล้องกับผลจากการประเมินค่า MAR index และการดื้อยาตามกลุ่มยาทั้ง 7 กลุ่ม สังเกตได้จากรูปแบบการดื้อยาที่เปลี่ยนแปลงไปภายในกระบวนการหมัก อาทิ การดื้อยา Tetracycline (TC), Ciprofloxacin (CIP) และ Norfloxacin (NOR) แทบจะไม่พบในอีโคไลตั้งต้น แต่กลับพบระดับการดื้อยาที่เพิ่มขึ้นระหว่างกระบวนการหมัก และสุ่มตรวจพบในระดับต่ำ (TC) และไม่พบ CIP และ NOR เมื่อสิ้นสุดระยะเวลา 8 สัปดาห์ รูปแบบการดื้อยาของ Chloramphenicol (CP) และ Fosfomycin (FOS) พบระดับการดื้อยาลดต่ำลงเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมัก เป็นต้น ในการศึกษานี้ได้ทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยแวดล้อมภายใต้กระบวนการหมักปุ๋ย (ค่าความเป็นกรดด่าง อุณหภูมิ ความชื้น การนำไฟฟ้า ความเค็ม ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอน ไนโตรเจน และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน) กับค่าการดื้อต่อยาปฏิชีวนะแต่ละชนิดในอีโคไล ไม่พบว่าปัจจัยแวดล้อมตัวแปรใดที่จะส่งผลต่อรูปแบบการดื้อยาในระดับสูง (ค่า R^2 เข้าใกล้

1) ซึ่งอีโคไลที่ดื้อต่อยา Ceftazidime (CAZ) และระดับความเค็มของปุ๋ยเป็นคู่ที่มีความสัมพันธ์กันมากที่สุด (R^2 = 0.547) ในการทดสอบนี้ โดยระดับการดื้อยา CAZ ของอีโคไลเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความเค็มในปุ๋ยสูงขึ้น ซึ่งใกล้เคียงกับ Zhang et al. (2019) ที่พบว่าค่าความเค็มเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการแพร่กระจายของยีนดื้อยาปฏิชีวนะของดินบริเวณชายหาด

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบการเปลี่ยนแปลงรูปแบบและระดับการดื้อยาปฏิชีวนะในกระบวนการหมักปุ๋ยเศษอาหาร มีอิทธิพลมาจากการเปลี่ยนแปลงชนิดแบคทีเรียในกระบวนการ และปัจจัยสิ่งแวดล้อม ซึ่งการเปลี่ยนแปลงชนิดของแบคทีเรียมีปัจจัยหลักมาจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ โดยในช่วงเริ่มต้นการหมักเป็นสภาวะที่มีสารอาหารปริมาณมากประกอบกับอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นก่อให้เกิดภาวะการเจริญเติบโตแบบแข่งขันกัน (Microbial competition) และในระยะถัดไปของการหมักเมื่อสารอาหารเริ่มลดลงจะก่อเกิดปฏิสัมพันธ์ในรูปแบบการอยู่อาศัยร่วมกัน (Microbial cooperation) ส่งผลให้แบคทีเรียที่อยู่รอดเกิดการปรับตัวและลดการดำเนินกิจกรรม (Zhao et al., 2022) โดยในช่วงการเจริญเติบโตแบบแข่งขันกันของแบคทีเรียจะส่งเสริมให้เกิดยีนดื้อยาปฏิชีวนะในระบบเพิ่มขึ้น ในขณะที่การมีปฏิสัมพันธ์แบบอยู่อาศัยร่วมของแบคทีเรียและการเกิดกระบวนการหมักปุ๋ยที่สมบูรณ์ วัดจากค่าดัชนีการงอกของเมล็ด (Germination index) มีค่ามากกว่าร้อยละ 92.6 จะส่งผลต่อการลดยีนดังกล่าว (Zhao et al., 2022) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษานี้ที่สามารถลดแบคทีเรียบ่งชี้ชนิดอีโคไลในปุ๋ยหมักลงได้ร้อยละ 94.6 จากการคาดการณ์ผลการศึกษานี้ อีโคไล 1.98×10^4 CFU/g ที่เหลือรอดในสัปดาห์ที่ 8 จัดเป็นอีโคไลดื้อยาทั้งหมด แต่ระดับการดื้อยาต่ำลง โดยที่อีโคไล 1.18×10^4 CFU/g จัดเป็นอีโคไลดื้อต่อยาปฏิชีวนะเพียง 1 กลุ่มยา (ร้อยละ 60) ในขณะที่อีโคไล 7.92×10^3 CFU/g จัดเป็นอีโคไลดื้อต่อยาปฏิชีวนะ 2-3 กลุ่มยา (ร้อยละ 40) นอกจากนี้ยังพบว่า มีปัจจัยทางสภาพแวดล้อมอื่น ๆ ที่มีอิทธิพลต่อการดื้อยาปฏิชีวนะภายใต้กระบวนการหมัก เช่น ความเป็นกรดด่าง ปริมาณคาร์บอน และไนโตรเจน (Li et al., 2021) ซึ่งการควบคุมกระบวนการผลิตปุ๋ยหมักให้อยู่ในสภาวะที่เกิดการหมักอย่างสมบูรณ์ มีคุณภาพตามมาตรฐานกำหนดจะช่วยลดระดับความรุนแรงลงได้ ตลอดจนการเพิ่มระยะเวลาการพักปุ๋ยหมักทิ้งไว้น่าจะมีส่วนช่วยละระดับความรุนแรงของแบคทีเรียดื้อยาปฏิชีวนะได้อีกช่องทางหนึ่ง (Zhao et al., 2022)

บทสรุป

จากข้อสมมติฐานของงานวิจัยนี้สามารถสรุปได้ว่าเศษอาหารที่จัดเป็นวัสดุตั้งต้นในกระบวนการหมักปุ๋ยมีการตรวจพบแบคทีเรียบ่งชี้อีโคไลที่มีคุณสมบัติดื้อต่อยาปฏิชีวนะ โดยมีค่า MAR index = 0.312 และมีอีโคไลตั้งต้น 3.70×10^5 CFU/g ภายใต้กระบวนการหมักปุ๋ยแบบใช้อากาศส่งผลให้เมื่อครบระยะเวลา 8 สัปดาห์ สามารถลดระดับการดื้อต่อยาปฏิชีวนะของอีโคไลได้ (MAR index = 0.214) อีกทั้งยังลดปริมาณอีโคไลลงได้ร้อยละ 94.6 (1.98×10^4 CFU/g) ในระหว่างกระบวนการหมักปุ๋ยเศษอาหารพบรูปแบบการดื้อยาที่เปลี่ยนแปลงไปโดยเพิ่มระดับสูงขึ้นในช่วงแรกของการหมักและค่อย ๆ ลดลงตามระยะเวลาการหมัก พบอีโคไลดื้อต่อยาปฏิชีวนะกลุ่ม Beta-lactams (CXM, AMP, CTX และ CAZ) สูง ในขณะที่ไม่พบการดื้อต่อยากลุ่ม Aminoglycoside (GM) ในส่วนของน้ำชะจากปุ๋ยหมักช่วงแรกของการหมักพบค่า MAR index (0.405) สูงกว่าในตัวปุ๋ยหมัก และมีค่าลดระดับลงตามระยะเวลาเช่นกัน (สัปดาห์ที่ 7 มีค่า MAR index = 0.150)

การผลิตปุ๋ยหมักจากขยะเศษอาหาร ควรที่จะต้องคำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพในการนำไปใช้งาน ยิ่งส่งเสริมให้เกิดการดำเนินงานที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ซึ่งการควบคุมกระบวนการผลิตปุ๋ยหมักให้อยู่ในสภาวะที่เกิดการหมักอย่างสมบูรณ์ มีคุณภาพตามมาตรฐานกำหนด หรือมีการพักปุ๋ยทิ้งไว้ เพื่อลดระดับความรุนแรงของการดื้อยาปฏิชีวนะในแบคทีเรียที่อาจปนเปื้อนอยู่ ตลอดจนควบคุมการปล่อยน้ำชะปุ๋ยหมักทิ้งอย่างเหมาะสมเพื่อป้องกันการแพร่กระจายของแบคทีเรียดื้อยาสู่สิ่งแวดล้อม จะส่งผลให้ก่อเกิดแนวทางที่เหมาะสมในการพัฒนากระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ที่มีความปลอดภัยต่อสุขภาพมากยิ่งขึ้น ข้อเสนอแนะสำหรับการขยายผลการดำเนินงานวิจัยในอนาคต เช่น ควรมีการเพิ่มกลุ่มตัวแทนแบคทีเรียก่อโรคที่ทำการทดสอบ ควรมีการขยายผลการศึกษารูปแบบการดื้อต่อยาปฏิชีวนะของแบคทีเรียตัวแทนโดยเพิ่ม

ระยะเวลาในการศึกษาระหว่างการหมักทั้งในส่วนของปุ๋ยหมัก น้ำชะปุ๋ยหมัก หรือช่วงที่ทำการเก็บรักษาปุ๋ยอินทรีย์ อีกทั้งควรเพิ่มเติมการทดลองนำปุ๋ยอินทรีย์ไปเพาะปลูกเพื่อศึกษาการแพร่กระจายของแบคทีเรียดื้อยาปฏิชีวนะในดินและการสะสมในพืช เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ปีงบประมาณ พ.ศ. 2561

เอกสารอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. (2564). หลักเกณฑ์การพิจารณาปัจจัยการผลิตพืชอินทรีย์ที่ขอขึ้นทะเบียนเพื่อการค้า (ฉบับปรับปรุง ณ วันที่ 7 มกราคม 2564). ค้นเมื่อ 25 กรกฎาคม 2566. https://www.doa.go.th/psco/wp-content/uploads/2020/06/Organic_1.pdf.

AOAC. (2000). Official Methods of Analysis of AOAC International. 17th Edition. Maryland, USA.

APHA, AWWA, WEF. (2012). Standard method for the examination of water and wastewater. 22nd Edition. Washington, DC, USA.

Chen Z., Li Y., Ye C., He X. and Zhang S. (2021). Fate of antibiotics and antibiotic resistance genes during aerobic co-composting of food waste with sewage sludge. Science of the Total Environment. 784: 146950. doi:10.1016/j.scitotenv.2021.146950.

CLSI. (2012). Performance standards for antimicrobial susceptibility testing; twenty-second in formational supplement. Clinical and Laboratory Standards Insititute.

Collins C.H., Lyne P. M., Grange J. M. and Falkinham III J. O. (2004). Microbiological Methods. 8th Edition. Oxford University Press Inc. London.

Furukawa M., Misawa N. and Moore J.E. (2018). Recycling of domestic food waste does food waste composting carry risk from total antimicrobial resistance (AMR). British Food Journal. 120(11): 2710-2715.

Gou M., Hu H.W., Zhang Y.J., Wang J.T., Hayden H., Tang Y.Q. and He J.Z. (2018). Aerobic composting reduces antibiotic resistance genes in cattle manure and the resistome dissemination in agriculture soils. Science of the Total Environment. 612: 1300-1310.

Guo W., Huang C., Xi B., Tang Z., Tan W., Li W., Zhang Y. and Li W. (2021). The maturity period is the main stage of antibiotic resistance genes reduction in aerobic composting process of swine manure in sub-scale farms. Bioresource Technology. 319: 124139. doi:10.1016/j.biortech.2020.124139.

Kebibeche H., Khelil O., Kacem M. and Harche M.K. (2019). Addition of wood sawdust during the co-composting of sewage sludge and wheat straw influences seeds germination. Ecotoxicology and Environmental Safety. 168: 423-430.

Kelly B.G., Vespermann A. and Bolton D.J. (2009). Horizontal gene transfer of virulence determinants in selected bacterial foodborne pathogens. Food and Chemical Toxicology. 47: 969-977.

Li H., Zheng X., Cao H., Tan L., Yang B., Cheng W. and Xu Y. (2021). Reduction of antibiotic resistance genes under different conditions during composting process of aerobic combined with anaerobic. Bioresource Technology. 325: 124710. doi:10.1016/j.biortech.2021.124710.

Mesa R.J., Blanc V., Blanch A.R., Cortés P., Genzález J.J., Lavilla S., Miró E., Muniesa M., Saco M., Tórtola M.T., Mirelis B., Coll P., Llagostera M., Prats G. and Navarro F. (2006). Extended-spectrum β-lactamase-producing *Enterobacteriaceae* in different environments (humans, food, animal farms and sewage). Journal of Antimicrobial Chemotherapy. 58: 211-215.

Palaniveloo K., Amran M.A., Norhashim N.A., Mohamad-Fauzi N., Peng-Hui F., Hui-Wen L., Kai-Lin Y., Jiale L., Chian-Yee M.G., Jing-Yi L., Gunasekaran B. and Razak S.A. (2020). Food Waste Composting and Microbial Community Structure Profiling. Processes. 8: 723. doi:10.3390/pr8060723.

Qiu X., Zhou G., Chen L. and Wang H. (2021). Additive quality influences the reservoir of antibiotic resistance genes during chicken manure composting. Ecotoxicology and Environmental Safety. 220: 112413. doi: 10.1016/j.ecoenv.2021.112413.

Rupp M.E. and Fey P.D. (2003). Extended spectrum β-lactamase (ESBL)-producing Enterobacteriaceae considerations for diagnosis, prevention and drug treatment. Drugs. 63(4): 353-365.

Wang N., Yang X., Jiao S., Zhang J., Ye B. and Gao S. (2014). Sulfonamide-resistant bacteria and their resistance genes in soil fertilized with manures from Jiangsu province, southeastern China. PLOS ONE. 9(11): 1-11.

Wang P., Chen X., Liang X., Cheng M. and Ren L. (2019). Effects of nanoscale zero-valent iron on the performance and the fate of antibiotic resistance genes during thermophilic and mesophilic anaerobic digestion of food waste. Bioresource Technology. 293: 122092. doi:10.1016/j.biortech.2019.122092.

Wellington E.M.H, Boxall A.B.A., Cross P., Feil E.J., Gaze W.H., Hawkey P.M., Johnson-Rollings A.S., Jones D.L., Lee N.M., Otten W., Thomas C.M. and Williams A.P. (2013). The role of the natural environment in the emergence of antibiotic resistance in Gram-negative bacteria. Lancet Infection Disease. 13: 155-165.

Zhang Y.J., Hu H.W., Yan H., Wang J.T., Lam S.K., Chen Q.L., Chen D. and He J.Z. (2019). Salinity as a predominant factor modulating the distribution patterns of antibiotic resistance genes in ocean and river beach soils. Science of The Total Environment. 668: 193-203.

Zhao Y., Chen W., Zhang P., Cai J., Lou Y. and Hu B. (2022). Microbial cooperation promotes humification to reduce antibiotic resistance genes abundance in food waste composting. Bioresource Technology. 362: 127824. doi:10.1016/j.biortech.2022.127824.

วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี | Agriculture and Technology Journal

ปีที่ 4 ฉบับที่ 3 กันยายน - ธันวาคม 2566 | Vol.4 No.3 September – December 2023

Received: April 19, 2023; Revised: September 18, 2023; Accepted: October 1, 2023

การพัฒนาดินปลูกเพื่อการผลิตแตงโมในกระถางแบบแนวตั้งกลางแจ้ง

Development of growing media for Watermelon production in vertical outdoor pots

ชำนาญ ขวัญสกุล[1*]

Chamnan Khwunsakun[1*]

[1]คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย จังหวัดนครศรีธรรมราช

[1]Faculty of agriculture, Rajamangala University of technology Srivijaya, Nakhon Si Thammarat province

[*]Corresponding Author E-mail Address : Ckwunsakun@hotmail.com

บทคัดย่อ

การพัฒนาดินปลูกเพื่อการผลิตแตงโมในกระถางแบบแนวตั้งกลางแจ้งมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาสูตรดินปลูกที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของแตงโมที่ปลูกในกระถางแบบแนวตั้งกลางแจ้ง โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) จำนวน 4 สิ่งทดลอง ๆ ละ 3 ซ้ำ มีสูตรดินปลูก คือ ดินปลูกสูตรที่ 1 ดินปลูกเพื่อการค้า (Control) ดินปลูกสูตรที่ 2 ดินร่วน:ขุยมะพร้าว:กาบมะพร้าวสับ:ขี้ไก่แกลบ อัตราส่วน 1:1:1:1 โดยปริมาตร ดินปลูกสูตรที่ 3 ขุยมะพร้าว:มูลวัว:ทราย:แกลบดิบ อัตราส่วน 1:2:1/2:1/2 โดยปริมาตร และดินปลูกสูตรที่ 4 ดินร่วน:ทราย:ขี้เถ้าแกลบ:มูลวัว อัตราส่วน 1:1:1:1 โดยปริมาตร ผลการศึกษาพบว่า ดินปลูกสูตรที่ 2 ทำให้แตงโมมีการเจริญเติบโตมากที่สุด ทั้งด้านเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้น จำนวนใบ ความกว้างใบ และความยาวใบ รวมทั้งทำให้มีน้ำหนักผล และความหวานเนื้อของแตงโมมากที่สุดด้วย แต่ถ้ามองในด้านต้นทุนและผลตอบแทนการผลิตที่คุ้มทุนของการผลิตแตงโมในลักษณะนี้พบว่า ดินปลูกสูตรที่ 3 มีต้นทุนในการผลิตต่ำและให้กำไรสูงที่สุด ดังนั้นหากจะทำการผลิตแตงโมในกระถางแบบแนวตั้งกลางแจ้งเพื่อการค้า สูตรดินที่เหมาะสมที่สุด คือ ดินปลูกสูตรที่ 3

คำสำคัญ: ดินปลูก แตงโม ปลูกแนวตั้ง การผลิตแตงโมในกระถาง

Abstract

Growing media for watermelon production in vertical outdoor pots were developed based on watermelons growth and yield quality in vertical outdoor pots. The experiment was planned in a completely randomized design (CRD) of four treatments with three repetitions. The growing media have four formulae: treatment 1 was commercial planting soil (control); treatment 2 was loam: coconut coir: coconut husk chips: chicken husk at the rate of 1:1:1:1 by volume; treatment 3 was coconut coir: cow

manure: sand: rice husk at the rate of 1:2:1/2:1/2 by volume; and treatment 4 was loam: sand: rice husk charcoal: cow manure at the rate of 1:1:1:1 by volume. The results showed that the highest growth rate of watermelon was seen in the growing media formula 2 in terms of stem diameter, number of leaves, leaf width and length, and affecting fruit weight and the fruit sweetness. However, regarding the cost and cost-effective return of watermelon production, the growing media formula 3 had the lowest production cost and the highest profit. Therefore, treatment 3 was the most suitable growing media formula for producing watermelons in vertical outdoor pots.

Keywords: Growing media, Watermelon, Outdoor vertical, Container production of watermelon

บทนำ

แตงโม มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Citrullus lanatus* เป็นพืชในวงศ์เดียวกับแคนตาลูปและฟัก มีลักษณะเป็นพืชล้มลุก อายุสั้น เถาจะเลื้อยไปตามพื้นดิน มีขนอ่อนปกคลุม ผลมีทั้งทรงกลมและทรงรี เปลือกแข็ง มีทั้งสีเขียวและสีเหลือง บางพันธุ์มีลวดลายบนเปลือก และมีเมล็ดสีดำแทรกอยู่ในเนื้อ ทั้งนี้ พันธุ์แตงโมที่เกษตรกรไทยนิยมปลูก ได้แก่ พันธุ์จินตหรา พันธุ์ตอร์ปิโด และพันธุ์กินรี (ณัฏฐ์ชยธร, 2563) โดยทั่วไปแตงโมต้องการดินที่มีความชุ่มชื้นพอเหมาะ น้ำไม่ขัง เจริญเติบโตได้ดีในดินร่วนปนทราย มีสภาพความเป็นกรดเป็นด่าง ประมาณ 5.0-7.5 สามารถผลิตได้ทุกฤดูกาล แต่ให้ผลผลิตดีในช่วงฤดูหนาวและฤดูร้อน การผลิตแตงโมในประเทศไทย มีการผลิตกระจายอยู่ในทุกภูมิภาค มีพื้นที่ปลูกแตงโมรวมในปี พ.ศ. 2565 ประมาณ 37,624.35 ไร่ มีการแบ่งการผลิตแตงโมออกเป็น 4 กลุ่ม คือ แตงโมเนื้อ แตงโมเมล็ด แตงโมอ่อน และแตงโมเพื่อผลิตเมล็ดพันธุ์ ซึ่งการผลิตแตงโมเนื้อคนไทยส่วนใหญ่คุ้นเคยกับการบริโภคแตงโมเป็นผลไม้ มีพื้นที่ปลูกมากที่สุด 36,977.35 ไร่ โดยภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีพื้นที่ปลูกมากที่สุด จำนวน 13,576.85 ไร่ สำหรับภาคใต้มีพื้นที่ปลูก 10,253.50 ไร่ จังหวัดที่ปลูกมากที่สุด คือ นครศรีธรรมราช จำนวน 3,051.75 ไร่ รองลงมาคือ สงขลา จำนวน 1,764.50 ไร่ และตรัง จำนวน 1,314 ไร่ ตามลำดับ และมีผลผลิตเฉลี่ยทั้งประเทศ 2,741.24 กิโลกรัมต่อไร่ มีจำนวนครัวเรือนเกษตรกรผู้ปลูกแตงโมเนื้อ จำนวน 9,502 ครัวเรือน (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2565) โดยปกติรูปแบบการผลิตแตงโมจะทำในแปลงเปิดกลางแจ้ง ส่งผลให้การดูแลผลผลิตเพื่อให้มีคุณภาพดีทำได้ค่อนข้างยากต้องเผชิญกับปัญหาโรคและแมลงศัตรูพืชหลายชนิด ทำให้ต้องพึ่งพาสารเคมีสังเคราะห์เพื่อป้องกันผลกระทบจากการใช้สารเคมีทางการเกษตรในปริมาณมากส่งผลให้มีสารพิษตกค้างไปยังผู้บริโภค และที่สำคัญเกษตรกรไม่สามารถผลิตแตงโมในพื้นที่ซ้ำเดิมได้ต้องหมุนเวียนพื้นที่ผลิตอยู่เสมอ (ณัฏฐ์ชยธร, 2563) จากกระแสความต้องการอาหารปลอดภัยและความตระหนักถึงภัยของสารเคมีตกค้างในอาหารของผู้บริโภคที่มีมากขึ้น ทำให้แนวโน้มการบริโภคผลผลิตเกษตรอินทรีย์เพิ่มขึ้นตามไปด้วย อย่างไรก็ตาม ผลผลิตเกษตรอินทรีย์หลายชนิด รวมทั้งแตงโมอินทรีย์นั้นมีจำนวนไม่เพียงพอต่อความต้องการของผู้บริโภค และขาดความต่อเนื่อง นอกจากนั้นพื้นที่การเกษตรของไทยเริ่มน้อยลงเนื่องจากถูกพัฒนาไปเป็นที่อยู่อาศัยและการใช้ประโยชน์อย่างอื่น การผลิตพืชในภาชนะ เช่น เข่ง ถุง หรือกระถาง กำลังเป็นทางเลือกในการผลิตพืชในพื้นที่จำกัด การปลูกพืชในภาชนะหรือกระถางจำเป็นต้องใช้ดินผสม (Soil mixes) ซึ่งมีคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพที่เหมาะสม แต่ดินปลูกต้องมีความอุดมสมบูรณ์ มีธาตุอาหารครบ โปร่ง มีอินทรียวัตถุสูง และการปฏิบัติดูแลรักษาเป็นอย่างดี และรวมถึงวัสดุปลูกที่ใช้ปลูกต้องมี คุณสมบัติที่พืชต้องการครบถ้วน การปลูกพืชในกระถาง รากพืชจะถูกจำกัดขอบเขตอยู่เฉพาะภายในกระถางเท่านั้น วัสดุปลูกที่นำมาใช้จึงควรมีคุณภาพดี มีความหนาแน่นเพียงพอให้ต้นไม้ทรงตัวอยู่ได้ ควรเป็นดินที่โปร่ง ร่วนซุย มีการถ่ายเทอากาศได้สะดวก ระบายน้ำดี อุ้มน้ำได้ดี ปราศจากสารพิษ วัชพืช โรค แมลง และศัตรูพืช หาได้ง่ายในท้องถิ่น ราคาถูก น้ำหนักเบา (108 พรรณไม้ไทย, 2566)

เนื่องจากปัจจุบันองค์ความรู้เกี่ยวกับนวัตกรรมการผลิตแตงโมในกระถางยังมีน้อย ไม่ว่าจะเป็นสูตรดินปลูกที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแตงโม หรือแม้กระทั่งข้อมูลการผลิตแตงโมแบบแนวตั้งในแปลงเปิดกลางแจ้ง ผู้วิจัยจึงคิดว่าการพัฒนารูปแบบการผลิตแตงโมในกระถางแบบแนวตั้งกลางแจ้งร่วมกับการพัฒนาสูตรดินปลูก จะเป็นการเพิ่มศักยภาพการผลิตแตงโมให้สูงขึ้น ตอบสนองต่อความต้องการของตลาดได้อย่างต่อเนื่อง และเป็นการเพิ่มปริมาณผลผลิตต่อพื้นที่ให้มากขึ้น ตลอดจนมีความคุ้มค่าในการลงทุน ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการศึกษาในครั้งนี้เพื่อพัฒนาสูตรดินปลูกที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของแตงโมที่ปลูกในกระถางแบบแนวตั้งกลางแจ้ง

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

1. การพัฒนาสูตรดินปลูก การศึกษาการเจริญเติบโต และการวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนผลผลิตของแตงโม

ทำการศึกษาสูตรดินปลูกจากฐานข้อมูลและวัสดุที่สามารถหาซื้อได้ในท้องถิ่น และทำการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) จำนวน 4 สิ่งทดลอง ๆ ละ 3 ซ้ำ ในแต่ละหน่วยทดลองปลูกแตงโม 6 กระถาง ดินปลูกที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้ คือ ดินปลูกสูตรที่ 1 ดินปลูกเพื่อการค้า (Control) ดินปลูกสูตรที่ 2 ดิน:ขุยมะพร้าว:กาบมะพร้าวสับ:ขี้ไก่แกลบ อัตราส่วน 1:1:1:1 โดยปริมาตร ดินปลูกสูตรที่ 3 ขุยมะพร้าว:มูลวัว:ทราย:แกลบดิบ อัตราส่วน 1:2:1/2:1/2 โดยปริมาตร และดินปลูกสูตรที่ 4 ดิน:ทราย:ขี้เถ้าแกลบ:มูลวัว อัตราส่วน 1:1:1:1 โดยปริมาตร การเตรียมดินปลูก นำวัสดุที่จะใช้ในการเตรียมวัสดุปลูกของแต่ละสิ่งทดลองตามอัตราส่วนต่าง ๆ (โดยปริมาตร) มาผสมให้เข้ากัน หลังจากนั้นนำดินปลูกที่ผ่านการผสมแล้วของแต่ละสิ่งทดลองมาบรรจุลงในกระถางพลาสติก ขนาด 12 นิ้ว เพื่อปลูกแตงโม

การเก็บข้อมูลโดยวัดการเจริญเติบโตของแตงโมที่ปลูกทดสอบในดินปลูกสูตรต่าง ๆ ได้แก่ ความสูงต้น เส้นผ่าศูนย์กลางลำต้น จำนวนใบ ความกว้างของใบ ความยาวของใบ จำนวนผล น้ำหนักผล และความหวานของเนื้อผล วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลตามแผนการทดลองที่กำหนด เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแต่ละสิ่งทดลองด้วยวิธี Duncan’s Multiple Range Test (DMRT) (Kirk, 1995) โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติสำเร็จรูป SPSS และวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต

การวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนการผลิต คิดจากปริมาณที่ใช้และราคาที่ซื้อมาของวัสดุปลูกต่อกระถาง ได้แก่ ดินร่วน (800 บาท/คันรถ) ทราย (1,200 บาท/คันรถ) ขุยมะพร้าว (50 บาท/กระสอบ) กาบมะพร้าวสับ (40 บาท/กระสอบ) แกลบดิบ กระสอบละ 40 บาท แกลบเผา (70 บาท/กระสอบ) ขี้ไก่แกลบ (50 บาท/กระสอบ) ขี้วัวอบแห้ง (80 บาท/กระสอบ) และกระถางพลาสติก ขนาด 12 นิ้ว (15 บาท/ใบ) ดินปลูกเพื่อการค้า (20 บาท/ถุง) แล้วนำมาคิดคำนวณราคาต่อกระถาง

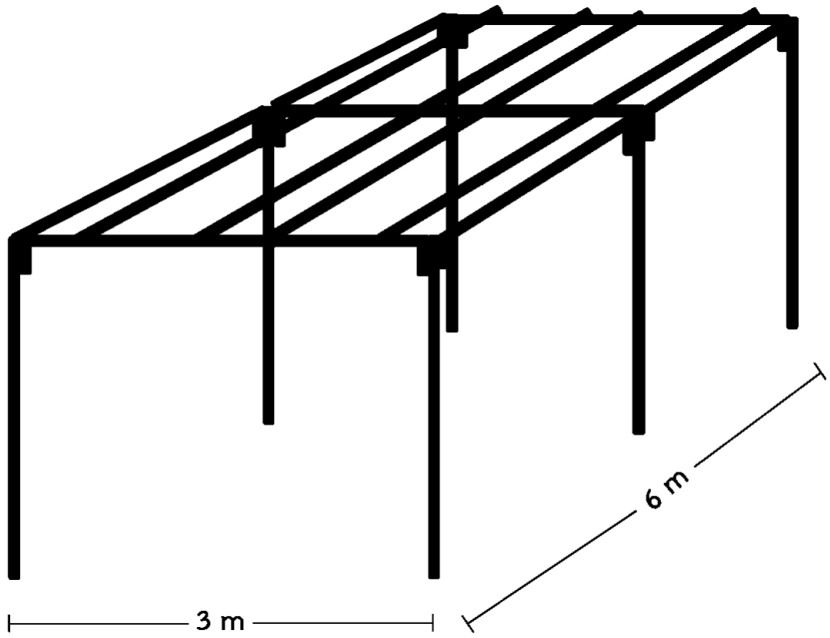
2. การปลูกและดูแลรักษา

1) การเตรียมแปลง ทำการออกแบบโครงสร้างเหล็กเพื่อใช้สำหรับโยงเถาแตงโม โดยมีการออกแบบและจัดสร้างโครงเหล็กแบบถอดได้ โดยใช้ท่อเหล็กกลม ขนาด 1/2 นิ้ว ขนาดความกว้าง 3 เมตร ยาว 6 เมตร สูง 3 เมตร (รูปที่ 1)

2) การเตรียมต้นกล้า ใช้แตงโมพันธุ์เสือพราน 189 ตราตะวันต้นกล้า ซึ่งเป็นพันธุ์ที่มีผลทรงกลมรี เปลือกสีเขียวเข้มลายใหญ่ เนื้อแดง เปลือกบางแต่แข็ง เนื้อดี แข็งแรง ทนทานต่อโรคพืชได้ดี ทนทานต่อการขนส่ง ความหวาน 12-14 บริกซ์ อายุการเก็บเกี่ยว 58-62 วันหลังหยอดเมล็ด ทำการเพาะกล้าในถาดเพาะ โดยบรรจุวัสดุเพาะ (ดิน ขุยมะพร้าว และถ่านแกลบ อัตราส่วน 1:1:1) เพาะเมล็ดในถาดเพาะ หลุมละ 2 เมล็ด หลังจากนั้นรดน้ำให้ชุ่มทุกวัน ๆ ละ 1 ครั้ง

3) จัดวางกระถางปลูกตามแผนการทดลองที่สุ่มได้ โดยวางกระถางเป็นแถวคู่ใช้ระยะห่าง 20x20 เซนติเมตร และระหว่างแถวคู่ ห่างกัน 80 เซนติเมตร

4) ย้ายปลูกต้นกล้าที่มีอายุ 21 วัน ที่มีขนาดต้นสม่ำเสมอลงในกระถางที่บรรจุวัสดุปลูกตามสิ่งทดลอง โดยปลูก 1 ต้น/กระถาง หลังจากนั้นรดน้ำให้ชุ่มทุกกระถาง



รูปที่ 1 โครงสร้างเหล็กเพื่อใช้สำหรับโยงเถาแตงโมแบบถอดประกอบได้

5) การให้น้ำด้วยระบบหยดวันละ 2 ครั้ง (เช้า-เย็น) ตั้งแต่ย้ายปลูกจนถึงอายุ 28 วัน ในแต่ละครั้งให้น้ำ 5 นาที (ปริมาตรน้ำ 100 มิลลิลิตร/ครั้ง/กระถาง) หลังจากนั้นเพิ่มปริมาณน้ำให้เป็นครั้งละ 10 นาที (ปริมาตรน้ำ 200 มิลลิลิตร/ครั้ง/กระถาง) จนกระทั่งเก็บเกี่ยวผลผลิต และหากต้นแตงโมแสดงอาการเหี่ยวหรืออาการได้รับน้ำไม่เพียงพอให้รดน้ำเพิ่มจนดินปลูกเปียกชื้น

6) การให้ปุ๋ย อายุ 7 วัน หลังแตงโมมีใบจริง 2-3 ใบ ใส่ปุ๋ยสูตร 46-0-0 อัตรา 3-5 กรัม/กระถาง อายุ 14 วัน ใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 โดยใส่หลุมละ 5 กรัม/กระถาง อายุ 21 วัน ใส่ปุ๋ยสูตร 20-20-0 โดยใส่อัตรา 5 กรัม/กระถาง อายุ 42 วัน หลังจากแตงโมติดผล ใส่ปุ๋ยสูตร 13-13-21 โดยใส่อัตรา 5 กรัม/กระถาง และอายุ 59 วัน ให้ใส่ปุ๋ยสูตร 0-0-60 โดยใส่อัตรา 5 กรัม/กระถาง แล้วรดน้ำตาม ระยะนี้ควบคุมปริมาณน้ำให้ลดลงช่วงก่อนตัด 7 วัน และควรงดการให้น้ำก่อนตัด 2 วัน

7) การโยงเถา โดยใช้เชือกฝ้ายผูกโยงที่บริเวณของไม้ค้างแต่ละอันให้ตึงตรงกับเถาแตงโม โดยผูกเชือกห้อยลงมายาวจรดดินปลูก ในการเริ่มต้นให้เถาแตงโมเกาะกับเชือกจะต้องช่วยบังคับโดยการผูกเชือกฝ้ายกับเถาแตงโมตรงข้อที่ 1 แล้วพันยอดแตงโมรอบเชือกตามเข็มนาฬิกา แล้วทยอยโยงแขนงที่เกิดจากเถาให้เจริญในแนวตั้งทุกแขนง

8) การไว้ผล หลังแตงโมออกดอกปล่อยให้แมลงผสมตามธรรมชาติ และไว้ผลทุกผลที่ผสมติด

9) การห่อและการโยงลูก ทำการห่อผลด้วยถุงพลาสติก เมื่อผลแตงโมมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ประมาณ 5 เซนติเมตร ให้ใช้เชือกฝ้ายผูกโยงกับไม้ค้าง โดยผูกห้อยลงมาระดับเดียวกับระดับของผลแตงโม แล้วใช้ตาข่ายที่มีตาขนาด 2 นิ้ว ตัดให้มีขนาด 40x60 เซนติเมตร มารองใต้ผลแตงโมแล้วผูกด้วยเชือกฝ้ายเพื่อรองรับน้ำหนักผลแตงโมแต่ละผล

10) การเก็บเกี่ยว เมื่ออายุ 65 วันหลังปลูก และสังเกตจากดัชนีอื่น ๆ ประกอบว่าแตงโมสุก คือ การเหี่ยวของมือจับ จึงทำการเก็บเกี่ยวผลผลิต

ผลการวิจัย และการอภิปรายผล

1. ผลของสูตรดินปลูกต่อการเจริญเติบโตทางลำต้นของแตงโม

จากการพัฒนาสูตรดินปลูกและทดสอบผลที่มีต่อการเจริญเติบโตทางลำต้นของแตงโมในกระถาง จำนวน 4 สูตร คือ ดินปลูกสูตรที่ 1 ดินปลูกเพื่อการค้า ดินปลูกสูตรที่ 2 ดินร่วน:ขุยมะพร้าว:กาบมะพร้าวสับ : ขี้ไก่แกลบ (อัตราส่วน 1:1:1:1) ดินปลูกสูตรที่ 3 ขุยมะพร้าว:มูลวัว:ทราย:แกลบดิบ (อัตราส่วน 1:2:1/2:1/2) และดินปลูกสูตรที่ 4 ดินร่วน:ทราย:ขี้เถ้าแกลบ:มูลวัว (อัตราส่วน 1:1:1:1) พบว่า ดินปลูกสูตรที่ 2 ส่งผลต่อการเจริญเติบโตทางด้านความสูงต้น เส้นผ่าศูนย์กลางลำต้น จำนวนใบ ความกว้างใบ ความยาวใบของแตงโมดีที่สุด โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติกับสิ่งทดลองอื่น ๆ (P>0.01) (ตารางที่ 1) วัสดุปลูกที่ใช้เป็นส่วนผสม คือ ดินร่วน ขุยมะพร้าว กาบมะพร้าวสับ ขี้ไก่แกลบ เมื่อนำมาผสมกันในสัดส่วนที่เหมาะสมทำให้ดินปลูกมีลักษณะร่วน โปร่ง อุ้มน้ำหรือเก็บความชื้นได้ดี สามารถระบายน้ำ และถ่ายเทอากาศได้ดี มีธาตุอาหารที่เหมาะสม ส่งผลให้แตงโมมีการเจริญเติบโตทางด้านลำต้น ให้จำนวนผลผลิต และคุณภาพผลผลิตที่ดีไปด้วย สอดคล้องกับ 108 พรรณไม้ไทย (2566) รายงานว่า เนื่องจากการปลูกพืชในกระถาง รากพืชถูกจำกัดขอบเขตอยู่เฉพาะภายในกระถางเท่านั้น วัสดุปลูกที่นำมาใช้จึงควรมีคุณภาพดี มีความหนาแน่นเพียงพอให้ต้นไม้ทรงตัวอยู่ได้ ควรเป็นดินที่โปร่ง ร่วนซุย มีการถ่ายเทอากาศได้สะดวก ระบายน้ำดี อุ้มน้ำได้ดี ปราศจากสารพิษ วัชพืช โรค แมลง และศัตรูพืช หาได้ง่ายในท้องถิ่น ราคาถูก น้ำหนักเบา ดังรายงานของ กรมพัฒนาที่ดิน (2566) ที่รายงานว่า ดินร่วนเป็นดินที่มีการระบายน้ำได้ดีปานกลาง จัดเป็นเนื้อดินที่มีความเหมาะสมสำหรับการเพาะปลูก เมื่อนำมาผสมกับขุยมะพร้าว และกาบมะพร้าวสับ ซึ่งเป็นอินทรียวัตถุมีคุณสมบัติอุ้มน้ำได้ดี มีความพรุนสูง ช่วยเพิ่มช่องว่างในดิน ทำให้ดินโปร่ง สามารถสลายตัวได้ เหมาะต่อการนำมาใช้เป็นวัสดุปลูก ขุยมะพร้าว (Coir dust) มีคุณสมบัติทางกายภาพ คือ ดูดซับน้ำได้ดีมาก คุณสมบัติการแลกเปลี่ยนประจุมีค่าสูงเมื่อผ่านกระบวนการสลายตัว มีความหนาแน่นรวมเมื่อแห้งต่ำ มีความพรุนสูงสลายตัวได้ตามธรรมชาติ และสอดคล้องกับ อภิชาต (2559) รายงานว่า กาบมะพร้าวสับ ช่วยเพิ่มช่องว่างในดิน ทำให้ดินโปร่ง และเมื่อย่อยสลายก็กลายเป็นปุ๋ยให้ต้นไม้ได้อีกด้วย และสอดคล้องกับ ชมัยพร และคณะ (2563) รายงานว่า การใช้ขุยมะพร้าวผสมกาบมะพร้าว อัตราส่วน 1:1 เป็นวัสดุปลูกมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของพรมญี่ปุ่นมากที่สุด โดยทำให้ความสูงทรงพุ่ม จำนวนไหลต่อต้น ความยาวราก เส้นผ่านศูนย์กลางดอก และจำนวนข้อที่เกิดไหลสูงที่สุด ทั้งนี้มีขี้ไก่แกลบซึ่งเป็นส่วนผสมหลักทำหน้าที่เพิ่มธาตุอาหารให้แก่ต้นแตงโม จัดเป็นปุ๋ยคอกที่มีธาตุอาหารสูงกว่าขี้วัว ซึ่งเป็นส่วนผสมในดินปลูกสูตรที่ 3 และ 4 สอดคล้องกับโสพัส (2559) รายงานว่า มูลไก่มีปริมาณธาตุอาหารหลักมากที่สุด เพราะคุณภาพของอาหารที่เลี้ยงไก่มีโปรตีน ธาตุฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมมากกว่าสัตว์ชนิดอื่น ๆ โดยทั่วไประบบการย่อยของสัตว์สามารถดูดซึมสารอาหารไปได้เพียงบางส่วน ที่เหลือจะออกมากับสิ่งขับถ่าย กล่าวคือ ประมาณร้อยละ 75 ของไนโตรเจน ร้อยละ 80 ของฟอสฟอรัส และร้อยละ 90 ของโพแทสเซียม ในอาหารจะตกค้างอยู่ในมูลที่ขับถ่าย และสิ่งขับถ่ายของสัตว์มีทั้งของแข็งและของเหลว (ปัสสาวะ) โดยประมาณครึ่งหนึ่งของไนโตรเจน ฟอสฟอรัสเกือบทั้งหมด และสองในห้าของโพแทสเซียม พบอยู่ในสิ่งขับถ่ายที่เป็นของแข็ง และ พบว่า ดินสูตรที่ 1 ส่งผลต่อการเจริญเติบโตทางด้านความสูงต้น เส้นผ่าศูนย์กลางลำต้น จำนวนใบ ความกว้างใบ ความยาวใบของแตงโมน้อยที่สุด โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติกับสิ่งทดลองอื่น ๆ (p>0.01) (ตารางที่ 1) จากการสังเกตหลังการให้น้ำ พบว่า น้ำระบายช้ากว่าดินปลูกสูตรอื่น ๆ ดินมีลักษณะเนื้อละเอียด และแน่น ทั้งนี้อาจเกิดจากวัสดุปลูกที่ใช้เป็นส่วนผสม เพราะเมื่อนำมาผสมกันในสัดส่วนที่ไม่เหมาะสมจะทำให้ดินปลูกมีลักษณะ ไม่ร่วนโปร่ง อุ้มน้ำหรือเก็บความชื้นได้ดีเกินไป ไม่สามารถระบายน้ำ และถ่ายเทอากาศได้ ส่งผลให้แตงโมมีการเจริญเติบโตทางด้านลำต้น และคุณภาพผลผลิตที่น้อยไปด้วย

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบการเจริญเติบโตทางลำต้นของแตงโมในดินปลูกสูตรต่างๆ

ดินปลูก	ความสูงต้น (ซม.)	เส้นผ่าศูนย์-กลางต้น (ซม.)	จำนวนใบ (ใบ)	ความกว้างใบ (ซม.)	ความยาวใบ (ซม.)
ดินปลูกเพื่อการค้า	90.78[c]	3.89[c]	29.56[d]	15.61 [c]	15.67[c]
ดินร่วน:ขุยมะพร้าว:กาบมะพร้าวสับ:ขี้ไก่แกลบ (อัตราส่วน 1:1:1:1)	99.89[a1/]	5.56[a]	42.33 [a]	22.41 [a]	18.56[a]
ขุยมะพร้าว:มูลวัว:ทราย:แกลบดิบ (อัตราส่วน 1:2:1/2:1/2)	99.00[ab]	4.89[bc]	40.78 [b]	16.72 [b]	16.27[b]
ดินร่วน:ทราย:ขี้เถ้าแกลบ:มูลวัว (อัตราส่วน 1:1:1:1)	98.11[b]	5.11[b]	38.44[c]	16.38[bc]	16.27[b]
F-test	**	**	**	**	**
C.V.(%)	18.58	16.43	18.46	19.56	11.85

หมายเหตุ : ** = แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (p<0.01)

[1/] = ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT.

2. ผลของสูตรดินปลูกต่อผลผลิตและคุณภาพผลผลิตของแตงโม

ด้านจำนวนผลผลิต พบว่า ดินปลูกสูตรที่ 1 ดินปลูกเพื่อการค้า และดินปลูกสูตรที่ 3 ขุยมะพร้าว:มูลวัว:ทราย:แกลบดิบ (อัตราส่วน 1:2:1/2:1/2) มีจำนวนผลมากที่สุด โดยมีจำนวนเท่ากัน คือ 1.11 และ 1.11 ผล รองลงมา ดินปลูกสูตรที่ 4 ดิน:ทราย:ขี้เถ้าแกลบ:มูลวัว มีจำนวนผล คือ 1.00 ผล และดินปลูกสูตรที่ 2 ดิน:ขุยมะพร้าว:กาบมะพร้าวสับ:ขี้ไก่แกลบ (อัตราส่วน 1:1:1:1) มีจำนวนผลน้อยที่สุด คือ 0.89 ผล ตามลำดับ โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ส่วนด้านน้ำหนักผล พบว่า ดินปลูกสูตรที่ 3 ขุยมะพร้าว:มูลวัว:ทราย:แกลบดิบ และดินปลูกสูตรที่ 2 ดิน:ขุยมะพร้าว:กาบมะพร้าวสับ: ขี้ไก่แกลบ มีน้ำหนักผลมากที่สุด คือ 1.43 และ 1.38 กิโลกรัม ตามลำดับ รองลงมา ดินปลูกสูตรที่ 4 ดิน:ทราย:ขี้เถ้าแกลบ: มูลวัว มีน้ำหนักผล คือ 1.30 กิโลกรัม และดินปลูกสูตรที่ 1 ดินปลูกเพื่อการค้า มีน้ำหนักผลน้อยที่สุด คือ 0.67 กิโลกรัม ตามลำดับ โดยมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ และด้านของความหวานของเนื้อผล พบว่า ดินปลูกสูตรที่ 2 ดิน:ขุยมะพร้าว:กาบมะพร้าวสับ:ขี้ไก่แกลบ และดินปลูกสูตรที่ 4 ดิน:ทราย:ขี้เถ้าแกลบ:มูลวัว มีความหวานมากที่สุด คือ 9.44 องศาบริกซ์ และ 9.27 องศาบริกซ์ รองลงมา ดินปลูกสูตรที่ 3 ขุยมะพร้าว:มูลวัว:ทราย:แกลบดิบ มีความหวาน คือ 9.11 องศาบริกซ์ และดินปลูกสูตรที่ 1 ดินปลูกเพื่อการค้า มีความหวานน้อยที่สุด คือ 8.16 องศาบริกซ์ ตามลำดับ โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 2) จากข้อมูลพบว่า ดินปลูกแต่ละสูตรจะให้คุณภาพผลด้านน้ำหนักและความหวานของเนื้อผลแตงโมที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะดินปลูกสูตรที่ 2 ให้น้ำหนักผลและความหวานมากที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากมีจำนวนใบ ความกว้างใบ และความยาวใบมาก หรือมีพื้นที่ใบมาก จึงทำให้ใบสามารถสังเคราะห์แสงและสร้างอาหารได้มาก ส่งผลให้มีน้ำหนักผล และความหวานมาก สอดคล้องกับ นิวัติ (2535) ที่กล่าวว่า พื้นที่ใบมีความสำคัญต่อการสังเคราะห์แสง คือถ้ามีใบมากหรือมีพื้นที่ผิวมาก ปริมาณการสังเคราะห์แสงของพืชจะมากไปด้วย พื้นที่ใบจึงมีความสำคัญในด้านคุณภาพผลผลิตของแตงโม และจากผลการทดลองพบว่าขนาดของผลแตงโมจะมีขนาดเล็กกว่าลักษณะประจำพันธุ์ ทั้งนี้เพราะกระถางที่ใช้ปลูกมีขนาดเล็กและพื้นที่น้อยกว่าในดินปลูกกลางแจ้ง พื้นที่ของรากมีน้อย ปริมาณธาตุอาหารมีอยู่อย่างจำกัด จึงส่งผลต่อขนาดของผลผลิตแตงโม

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบผลผลิตและคุณภาพผลผลิตของแตงโมในดินปลูกสูตรต่างๆ

ดินปลูก	จำนวนผล (ผล/ต้น)	น้ำหนักผล (กก./ผล)	ความหวานของเนื้อผล (องศาบริกซ์)
ดินปลูกเพื่อการค้า	1.11[a]	0.67[c]	8.16[c]
ดินร่วน:ขุยมะพร้าว:กาบมะพร้าวสับ:ขี้ไก่แกลบ (อัตราส่วน 1:1:1:1)	0.89[c1/]	1.38[ab]	9.44[a]
ขุยมะพร้าว:มูลวัว:ทราย:แกลบดิบ (อัตราส่วน 1:2:1/2:1/2)	1.11[a]	1.43[a]	9.11[b]
ดินร่วน:ทราย:ขี้เถ้าแกลบ:มูลวัว (อัตราส่วน 1:1:1:1)	1.00[b]	1.30[b]	9.27[ab]
F-test	**	*	*
C.V. (%)	54.47	19.61	12.60

หมายเหตุ : * = แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.05$)

** = แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.01$)

1/ = ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT.

3. ผลของสูตรดินปลูกต่อต้นทุนและผลตอบแทนการผลิตแตงโมของดินปลูกสูตรต่าง ๆ

การวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนการผลิต คิดจากราคาที่ซื้อมาจริงของวัสดุปลูกต่อกระถาง โดยตั้งราคาขายผลผลิตแตงโมในตลาดอำเภอทุ่งสง จังหวัดนครศรีธรรมราช ที่ราคากิโลกรัมละ 25 บาท พบว่า ราคาของดินปลูกสูตรที่ 3 ขุยมะพร้าว:มูลวัว:ทราย:แกลบดิบ มีราคาของดินปลูกน้อยที่สุด คือ 17.08 บาท/กระถาง รองลงมา ดินปลูกสูตรที่ 2 ดิน:ขุยมะพร้าว:กาบมะพร้าวสับ:ขี้ไก่แกลบ มีราคาของดินปลูก คือ 19.11 บาท/กระถาง ดินปลูกสูตรที่ 4 ดิน:ทราย:ขี้เถ้าแกลบ:มูลวัว มีราคาของดินปลูก คือ 26.98 บาท/กระถาง และดินปลูกสูตรที่ 1 ดินปลูกเพื่อการค้า มีราคาของดินปลูกมากที่สุด คือ 30.00 บาท/กระถาง ด้านราคาที่ขายได้ พบว่า ดินปลูกสูตรที่ 3 ขุยมะพร้าว:มูลวัว:ทราย:แกลบดิบ มีราคาที่ขายได้มากที่สุด คือ 35.75 บาท/กระถาง รองลงมา ดินปลูกสูตรที่ 2 ดิน:ขุยมะพร้าว:กาบมะพร้าวสับ:ขี้ไก่แกลบ มีราคาที่ขายได้ คือ 34.50 บาท/กระถาง ดินปลูกสูตรที่ 4 ดิน:ทราย:ขี้เถ้าแกลบ:มูลวัว มีราคาที่ขายได้ คือ 32.50 บาท/กระถาง และดินปลูกสูตรที่ 1 ดินปลูกเพื่อการค้า มีราคาที่ขายได้น้อยที่สุด คือ 16.75 บาท/กระถาง ตามลำดับ โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ และด้านกำไรจากการขายผลผลิตต่อกระถาง พบว่า ดินปลูกสูตรที่ 3 ขุยมะพร้าว:มูลวัว:ทราย:แกลบดิบ มีกำไรมากที่สุด คือ 18.67 บาท/กระถาง รองลงมา ดินปลูกสูตรที่ 2 ดิน:ขุยมะพร้าว:กาบมะพร้าวสับ:ขี้ไก่แกลบ มีกำไร คือ 15.39 บาท/กระถาง ดินปลูกสูตรที่ 4 ดิน:ทราย:ขี้เถ้าแกลบ:มูลวัว มีกำไร คือ 5.52 บาท/กระถาง และดินปลูกสูตรที่ 2 ดินผสมเพื่อการค้า มีกำไรน้อยที่สุด (ขาดทุน) คือ -13.25 บาท/กระถาง ตามลำดับ โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ และจากการวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนของการผลิตจากการใช้วัสดุต่างๆ เป็นส่วนผสมของดินปลูกแตงโม พบว่า ดินปลูกสูตรที่ 3 ขุยมะพร้าว:มูลวัว:ทราย:แกลบดิบ (อัตราส่วน 1:2:1/2:1/2) มีต้นทุนในการผลิตต่ำที่สุด แต่ให้กำไรสูงที่สุด เพราะวัสดุที่ใช้ประกอบด้วยขุยมะพร้าว มูลวัว ทราย และแกลบดิบ เมื่อเทียบปริมาณกับราคาต่อหน่วยแล้วมีราคาถูก ส่งผลให้มีต้นทุนการผลิตแตงโมน้อย จึงทำให้ได้กำไรจากการจำหน่ายสูงขึ้นนั่นเอง (ตารางที่ 3) ทั้งนี้ต้นทุนและผลตอบแทนของการผลิตจากการใช้วัสดุต่างๆ ที่ใช้เป็นส่วนผสมของดินปลูกแตงโม รวมถึงราคาจำหน่ายในแต่ละท้องถิ่นอาจจะแตกต่างจากผลการทดลองนี้ และจากรายงานของเทคโนโลยีชาวบ้าน (2565) รายงานว่า การปลูกแตงโมพื้นที่ 1 ไร่ จะปลูกได้ 850-900 ต้นต่อไร่ และจะได้ผลผลิต 5-6 ตัน แต่จากการศึกษาใช้พื้นที่ 3x6 เมตร หรือ 18 ตารางเมตร สามารถผลิตแตงโมได้ 72 ต้น ดังนั้นพื้นที่ 1 ไร่ จึงสามารถปลูก

แตงโมได้ 6,400 ต้น หากคิดจากการใช้ดินปลูกสูตรที่ 3 สามารถปลูกแตงโมได้ประมาณ 35-42 ตันต่อไร่ ซึ่งให้ผลผลิตมากกว่าการปลูกแบบทั่วไปถึง 30 เท่า

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบต้นทุนและผลตอบแทนการผลิตแตงโมของดินปลูกสูตรต่าง ๆ

ดินปลูก	ราคาของดินปลูก (บาท/กระถาง)	ราคาที่ขายได้ (บาท/กระถาง)	กำไร (บาท/กระถาง)
ดินปลูกเพื่อการค้า	30.00[a]	16.75[d]	-13.25[d]
ดินร่วน:ขุยมะพร้าว:กาบมะพร้าวสับ:ขี้ไก่แกลบ (อัตราส่วน 1:1:1:1)	19.11[c1/]	34.50[b]	15.39[b]
ขุยมะพร้าว:มูลวัว:ทราย:แกลบดิบ (อัตราส่วน 1:2:1/2:1/2)	17.08[d]	35.75[a]	18.67[a]
ดินร่วน:ทราย:ขี้เถ้าแกลบ:มูลวัว (อัตราส่วน 1:1:1:1)	26.98[b]	32.50[c]	5.52[c]
F-test	**	**	**
C.V. (%)	24.08	26.80	19.72

หมายเหตุ : ** = แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (p<0.01)

[1/] = ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT

บทสรุป

จากการพัฒนาสูตรดินปลูกและทดสอบผลที่มีต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพผลผลิตแตงโมในการผลิตแตงโมในกระถางแบบแนวตั้งกลางแจ้ง ทำให้พบว่า ดินปลูกสูตรที่ 2 ดินร่วน:ขุยมะพร้าว:กาบมะพร้าวสับ:ขี้ไก่แกลบ (อัตราส่วน 1:1:1:1) ทำให้แตงโมมีการเจริญเติบโตมากที่สุด ทั้งด้านความสูง เส้นผ่าศูนย์กลางลำต้น จำนวนใบ ความกว้างใบ และความยาวใบ รวมทั้งมีน้ำหนักผล และความหวานของเนื้อแตงโมมากที่สุดด้วย แต่ถ้ามองในด้านต้นทุนและผลตอบแทนการผลิตที่คุ้มทุนของการผลิตแตงโมในลักษณะนี้ พบว่า ดินปลูกสูตรที่ 3 ขุยมะพร้าว:มูลวัว:ทราย:แกลบดิบ (อัตราส่วน 1:2:1/2:1/2) มีต้นทุนในการผลิตต่ำแต่ให้กำไรสูงที่สุด ดังนั้นหากจะทำการผลิตแตงโมในกระถางแบบแนวตั้งกลางแจ้งเพื่อการค้า สูตรดินที่เหมาะสมที่สุด คือ ดินปลูกสูตรที่ 3

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาที่ดิน. (2566). ความรู้เรื่องดินสำหรับเยาชน. สำนักสำรวจและวิจัยทรัพยากรดิน กรมพัฒนาที่ดิน. ค้นเมื่อ 19 เมษายน 2566. http://www.oss101.ldd.go.th/web_soils_for_youth/s_type2.htm.

กรมส่งเสริมการเกษตร. (2565). รายงานสถิติทางการเกษตร กลุ่มพืชผัก แตงโมเนื้อ ระดับประเทศ: ระบบสารสนเทศการผลิตทางด้านการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. ค้นเมื่อ 14 มิถุนายน 2566. http://www.nakhonsawan.doae.go.th/2016/images/Pongtorn/year2565/product2564-65.pdf.

ชมัยพร อนุวงศ์, สุริยา ก่อสินวัฒนา และสมลักษณ์ มะโรงชัย. (2563). ผลของวัสดุปลูกและปุ๋ยคอกต่อการเจริญเติบโตของพรมญี่ปุ่น. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. 38(3): 304-314.

นิวัติ เรืองพานิชย์. (2535). วิทยาศาสตร์ทุ่งหญ้า. คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์: กรุงเทพฯ.

ณัฏฐ์ชยธร ภัคจิราศิริกุล. (2563). ระบบการผลิตแตงโมอินทรีย์ภายใต้สภาพโรงเรือนพื้นที่ลุ่ม. วิสาหกิจชุมชนบ้านคลองไทรเพื่อนพึ่ง (ภาฯ). รวมเทคโนโลยีของกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. ค้นเมื่อ 29 พฤษภาคม 2563. http://www.mosttech.most.go.th/viewtech.php?id=414.

เทคโนโลยีชาวบ้าน. (2565). ปลูกแตงโมหลังนา พืชหมุนเวียน ประโยชน์หลายต่อ ให้ผลคุ้มทุน. ค้นเมื่อ 19 เมษายน 2566. https://www.technologychaoban.com/agricultural-technology/article_107938.

โสพัส แซ่ลิ้ม. (2559). ปุ๋ยอินทรีย์และการใช้ประโยชน์ในประเทศไทย. กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน กรมพัฒนาที่ดิน: กรุงเทพฯ.

อภิชาต ศรีสะอาด. (2559). ครบเครื่องเรื่องมะพร้าว. นาคา อินเตอร์มีเดีย: กรุงเทพฯ.

108 พรรณไม้ไทย. (2566). ดินหรือเครื่องปลูก เทคนิคการปลูกไม้กระถาง. ค้นเมื่อ 19 เมษายน 2566. https://www.panmai.com/PotTechnic/Pot_06.shtml

Kirk R.E. (1995). Expermental design: procedures for the behavioral sciences. 3nd Edition. Brooks/Cole Publishing Company: California.

วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี | Agriculture and Technology Journal

ปีที่ 4 ฉบับที่ 3 กันยายน - ธันวาคม 2566 | Vol.4 No.3 September – December 2023

Received: May 2, 2023; Revised: September 6, 2023; Accepted: October 1, 2023

ผลของอัตราภาระทางชลศาสตร์และอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ต่อประสิทธิภาพการกรองน้ำบาดาลจากชุดเครื่องกรองน้ำบาดาล

Effects of hydraulic loading rate and organic loading rate on filter efficiency of groundwater by filter series reactor system

รัฐพล สุขสมบูรณ์[1*] และพุทธพรรณี บุญมาก[2]

Rattapol Suksomboon[1*] and Phuttaphannee Boonmak[2]

[1]คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม

[1]Faculty of Engineering, Rajabhat Maha Sarakham University, Maha Sarakham Province

[2]คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด จังหวัดร้อยเอ็ด

[2]Faculty of Liberal Arts and Science, Rajabhat Roi Et University, Roi Et Province

**Corresponding Author Email Address: Rpol9@hotmail.com*

บทคัดย่อ

การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาชุดเครื่องกรองน้ำบาดาลตัวถังพีวีซี (Filter Series Reactor of Groundwater; FSRG) จากท่อพีวีซี (PVC) มีทิศทางการไหลลงจากบนลงล่าง จำนวน 3 ถังต่อเรียงกัน ซึ่งระบบประกอบด้วยถังที่ 1 ถังปฏิกรณ์แมงกานีส ถังที่ 2 ถังปฏิกรณ์เรซิ่น และถังที่ 3 ถังปฏิกรณ์ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (Diameter; D) 0.10 เมตร ความลึกชั้นกรองที่ 1 เมตรมีอัตราส่วนความกว้าง:ความยาว (<1:4) แต่ละถังมีพื้นที่ (Area; A) 86.55×10^{-4} ตารางเมตร พบว่าที่อัตราไหลเข้า (Q-in) 0.20 ลูกบาศก์เมตร/วันที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ (Hydraulic Retention Time; HRT) เท่ากับ 0.04 วัน แต่เกิดการลดของอัตราภาระทางชลศาสตร์ (Hydraulic Loading Rate; HLR) เท่ากับ 0.17×10^{-2} เมตร/วัน และอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ (Organic Loading Rate; OLR) เท่ากับ 3.46×10^{-2} กิโลกรัม-เหล็ก/ลูกบาศก์เมตร/วัน และ 4.57 กิโลกรัม-ความกระด้าง/ลูกบาศก์เมตร/วันของระบบ FSRG มีประสิทธิภาพสูงสุดในกำจัดค่าเหล็ก (Fe) และความกระด้าง ($CaCO_3$) ถึง 73.33% และ 80.00% ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามระบบ FSRG ควรติดตั้งระบบรีเวอร์สออสโมซิส (Reverse osmosis) ร่วมเพื่อความสะอาดของน้ำมากขึ้น

คำสำคัญ: สมบัติทางกายภาพ น้ำบาดาล เครื่องกรองน้ำ

Abstract

The objective of this study was to develop the Filter Series Reactor of Groundwater (FSRG) from PVC pipes with a downward flow direction from top to bottom. The system consists of reactor 1 manganese reactor. The reactor 2 is a resin reactor tank and the reactor 3 is an activated carbon reactor. FSRG has a diameter of 0.10 meters. Filter layer depth at 1 meters. It has a width ratio:length (<1:4), each tank has an area of 86.55×10^{-4} square meters. It was found that at an inflow rate (Q-in) of 0.20 cubicmeters/day, at hydraulic retention time (HRT) of 0.04 days, hydraulic loading rate (HLR) was 0.17×10^{-2} meters/day and Organic Load Rate (OLR) is 3.46×10^{-2} kg-Fe/m^3-day, 4.57 kg-$CaCO_3$/m^3-day and effective in removing iron (Fe) and hardness ($CaCO_3$) to 73.33% and 80.00%, respectively. However, the FSRG system should hybrid a reverse osmosis system for more clean water.

Keywords: Physical properties, Groundwater, Water filter

บทนำ

น้ำเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศเพราะน้ำเป็นสิ่งสำคัญและจำเป็นต่อการดำรงชีวิต ปัจจุบันประชากรของโลกเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและการพัฒนาด้านเศรษฐกิจและสังคมก็เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้ความต้องการใช้น้ำเพิ่มมากขึ้นซึ่งน้ำที่มีอยู่ในโลกนี้ ส่วนมากจะอยู่ในมหาสมุทรประมาณร้อยละ 97 ส่วนน้ำในแหล่งน้ำผิวดินและแหล่งน้ำใต้ดินที่สามารถนำมาใช้ได้นั้นมีเพียงร้อยละ 0.63 เท่านั้นนอกนั้นเป็นน้ำแข็งอยู่ที่ขั้วโลก (Simons and Wellnitz, 2003) น้ำที่พบในแหล่งน้ำธรรมชาติเป็นน้ำที่ได้จากฝนที่ตกลงสู่พื้นโลกในขณะที่น้ำฝนตกลงผ่านบรรยากาศของโลก ซึ่งละลายเอาก๊าซและสารต่าง ๆ ในบรรยากาศไว้ด้วยรวมทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่เป็นสาเหตุ ทำให้น้ำไม่บริสุทธิ์ก่อให้เกิดปัญหาเมื่อนำน้ำมาใช้ประโยชน์ น้ำบาดาลเป็นแหล่งน้ำสำคัญที่มีการพัฒนาขึ้นมาใช้เพื่ออุปโภค บริโภค เกษตรกรรมปศุสัตว์และอุตสาหกรรมชั้นน้ำบาดาลเป็นชั้นหิน หรือชั้นตะกอนที่มีสมบัติยอมให้น้ำซึมผ่านได้ง่าย เนื่องจากมีช่องว่างระหว่างตะกอนกว้าง หรือมีโพรงหรือรอยแตกต่อเนื่องกัน จึงทำให้เก็บน้ำไว้ได้เป็นปริมาณมากจนกลายเป็นน้ำใต้ดิน (วิชัย, 2552) ซึ่งเป็นแหล่งน้ำธรรมชาติแหล่งหนึ่งที่ให้ปริมาณน้ำได้มาก แต่มักมีปัญหาในเรื่องคุณภาพทางด้านกายภาพ ซึ่งมีแร่ธาตุ ชนิดต่าง ๆ เจือปนอยู่ในระดับเกินมาตรฐาน อีกทั้งมีปริมาณเหล็กและแมงกานีสสูง การที่น้ำบาดาลมีความกระด้าง เหล็ก และแมงกานีสสูงจะทำให้เกิดผลเสียหาย กล่าวคือ น้ำจะมีสีเหลืองหรือสีแดง มีรส และมีกลิ่นซึ่งก่อให้เกิดคราบตามภาชนะ สุขภัณฑ์ และอุปกรณ์ต่าง ๆ แต่อย่างไรก็ตาม หากมีขบวนการการปรับปรุงที่เหมาะสมน้ำบาดาลก็จะเป็นน้ำที่มีคุณภาพที่จะนำไปใช้ในการบริโภคได้ จากรายงานคุณภาพน้ำดื่มต้องมีค่ามาตรฐานของเหล็ก (Fe) ไม่เกิน 0.3 มิลลิกรัม/ลิตร และความกระด้าง ($CaCO_3$) ไม่เกิน 100 มิลลิกรัม/ลิตร จะทำให้น้ำมีคุณภาพและไม่มีผลเชิงลบต่อสุขภาพ น้ำกระด้างคือน้ำที่มีแคลเซียมและแมกนีเซียมปนอยู่ซึ่งธาตุทั้งสองนี้มีผลต่อสุขภาพ คือ แคลเซียมจะมีส่วนช่วยในการหดตัวของกล้ามเนื้อโดยเฉพาะกล้ามเนื้อหัวใจเป็นตัวเร่งการทำงานของเอนไซม์หลายชนิดในร่างกายมนุษย์ ช่วยรักษาสมดุลด่างในร่างกาย และช่วยป้องกันการเกิดโรคกระดูกพรุนส่วนแมกนีเซียมจะมีส่วนช่วยในการคลายตัวของกล้ามเนื้อโดยเฉพาะกล้ามเนื้อหัวใจ ซึ่งต้องทำงานร่วมกับแคลเซียม เป็นตัวเร่งให้กับเอนไซม์ซึ่งมีหน้าที่เผาผลาญ อาหาร แป้ง น้ำตาล และไขมัน เป็นองค์ประกอบของเลซิติน (Lecitin) ป้องกันไม่ให้คลอเลสเตอรอลในเลือดสูงขึ้น รวมถึงป้องกันการเกิดนิ่วเนื่องจากการจับตัวของแคลเซียมออกซาเลต (Calcium oxalate) ในไตและถุงน้ำดี (กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, 2562)

จากปัญหาดังกล่าวจึงได้คิดค้นการปรับปรุงคุณภาพของน้ำบาดาลด้วยชุดเครื่องกรองน้ำบาดาลตัวถังพีวีซี (Filter Series Reactor of Groundwater; FSRG) ระบบตัวถังทำจากวัสดุพีวีซี (PVC) ที่หาได้ง่ายภายในท้องถิ่นและประหยัดค่าใช้จ่าย นำมาใช้ในกระบวนการผลิตน้ำอุปโภคบริโภคใช้ในชุมชน ระบบจะถูกเชื่อมต่อแบบอนุกรม โดยถังปฏิกรณ์ที่ 1 คือถังปฏิกรณ์แมงกานีส (Reactor1 of Manganese; $R1_{Mg}$) ใช้กำจัดเหล็ก (Fe) ที่ทำให้เกิดกลิ่นคาว ถังปฏิกรณ์ที่ 2 คือถังปฏิกรณ์เรซิ่น (Reactor2 of Resins; $R2_{Rs}$) ใช้กำจัดความกระด้าง ($CaCO_3$) ทำให้เกิดรสชาติไม่พึงประสงค์ เกิดตะกรันอุดตันท่อ และถังปฏิกรณ์ที่ 3 คือ ถังปฏิกรณ์ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด (Reactor 3 of Granular Activated Carbon; $R3_{GAC}$) ใช้กำจัดกลิ่นก่อนนำน้ำไปใช้อุปโภคบริโภคซึ่งวิธีการดังกล่าว ทำให้น้ำบาดาลมีความบริสุทธิ์มากขึ้นสามารถลดจำนวนเหล็ก (Fe) และความกระด้าง ($CaCO_3$) ที่อยู่ในน้ำบาดาล

ในงานวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยได้เห็นความสำคัญของการนำน้ำบาดาลมาใช้เพื่ออุปโภคและบริโภคในเขตพื้นที่หมู่ที่ 1 บ้านพระยืน ตำบลพระยืน อำเภอพระยืน จังหวัดขอนแก่น ซึ่งยังประสบปัญหาปริมาณเหล็ก (Fe) และความกระด้าง ($CaCO_3$) ค่อนข้างสูงในน้ำบาดาล โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์คุณภาพ และประสิทธิภาพในการกำจัดค่าเหล็ก (Fe) และความกระด้าง ($CaCO_3$) ที่เวลาในการกักเก็บ (Hydraulic Retention Time; HRT) อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ (Hydraulic Loading Rate; HLR) และอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic Loding Rate; OLD) ของระบบ FSRG เพื่อให้ผ่านข้อกำหนดเกณฑ์คุณภาพของน้ำมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภคได้ (กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2551)

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

ในการทดสอบระบบ FSRG จำนวน 3 ถังต่อเรียงกันทำจากท่อพีวีซี ตัวถังมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (D) 0.10 เมตร ความสูงระดับน้ำล้นที่ (Over flow) 1.25 เมตร มีอัตราส่วนความกว้าง:ความยาว (<1:4) แต่ละถังมีพื้นที่ (Area, A) 0.008655 ตร.ม. (Suksomboon et al., 2019)

1. พื้นฐานของระบบ FSRG

1.1) ถังปฏิกรณ์ที่ 1 คือ ถังปฏิกรณ์แมงกานีส (Reactor 1 of Manganese, $R1_{Mg}$) เป็นถังแรกในการกระจายน้ำบาดาลเข้าโดยมีทิศการไหลจากบนลงล่าง (Drown flow) ภายในถังบรรจุสารกรองแมงกานีสจะทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงค่าเหล็กด้วยการเติมอากาศและการตกตะกอน (Xing et al., 2017)

1.2) ถังปฏิกรณ์ที่ 2 คือ ถังปฏิกรณ์เรซิ่น (Reactor 2 of Resins, $R2_{Rs}$) มีทิศการไหลจากบนลงล่าง (Drown flow) ภายในถังบรรจุสารกรองเรซิ่นจะทำหน้าที่สามารถเปลี่ยนแปลงค่าความกระด้างทั้งหมด (Total hardness as $CaCO_3$) ได้แก่ การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange resins) (Burger et al., 2017)

1.3) ถังปฏิกรณ์ที่ 3 คือ ถังปฏิกรณ์ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด (Reactor 3 of Granular Activated Carbon; $R3_{GAC}$) มีทิศการไหลจากบนลงล่าง (Drown flow) ภายในถังบรรจุสารกรองถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด (GAC) จะทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงค่าเหล็ก และค่าความกระด้างทั้งหมดด้วยการดูดซับ (Suksomboon et al., 2019)

2. การเก็บตัวอย่างและการวัดคุณภาพน้ำ

ใช้น้ำบาดาลในเขตพื้นที่บ้านเลขที่ 489 หมู่ที่ 1 บ้านพระยืน ตำบลพระยืน อำเภอพระยืน จังหวัดขอนแก่นเพื่อใช้ทำการทดลองระบบชุดเครื่องกรองน้ำบาดาลตัวถังพีวีซี (FSRG) ในการทดสอบโดยเปิดปั๊ม (Feeding pump) ปล่อยน้ำบาดาลเข้า (Q-in) 0.20, 0.40, 0.60 และ 0.80 ลูกบาศก์เมตร/วัน เข้าถังปฏิกรณ์ที่ 1 คือถังปฏิกรณ์แมงกานีส ($R1_{Mg}$) ไหลต่อเนื่องถังปฏิกรณ์ที่ 2 คือ ถังปฏิกรณ์เรซิ่น ($R2_{Rs}$) และถังปฏิกรณ์ที่ 3 คือ ถังปฏิกรณ์ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด ($R3_{GAC}$) ดังรูปที่ 1 ทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำที่ผ่านระบบ FSRG ได้แก่ เหล็ก (Fe) และความกระด้าง ($CaCO_3$) ด้วยวิธี Standard method

(APHA et al., 1999) เพื่อหาผลของระยะเวลากักพักชลศาสตร์ (HRT) อัตราภาระทางชลศาสตร์ (HLR) และอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ (OLR) ต่อประสิทธิภาพชองระบบชุดเครื่องกรองน้ำบาดาลตัวถังพีวีซี (FSRG) ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณภาพน้ำ (วิเคราะห์น้ำตัวอย่าง ณ จุดเก็บน้ำตามรูปที่ 1)

Reactor	$R1_{Mg}$	$R2_{RS}$	$R3_{GAC}$	$R1_{Mg}$	$R2_{RS}$	$R3_{GAC}$	$R1_{Mg}$	$R2_{RS}$	$R3_{GAC}$	$R1_{Mg}$	$R2_{RS}$	$R3_{GAC}$
Q-in (m^3/day)		200			400			600			800	
Fe-in (mg/l)	1.5	0.65	0.56	1.5	0.80	0.73	1.5	1.06	1.01	1.5	1.29	1.27
Fe-out (mg/l)	0.65	0.56	0.40	0.80	0.73	0.6	1.06	1.01	0.93	1.29	1.27	1.23
$CaCO_3$-in (mg/l)	198	155.3	55.8	198	171.3	109.16	198	182.1	145.23	198	194.9	187.86
$CaCO_3$-out (mg/l)	155.36	55.86	39.6	171.35	109.1	99	182.17	145.2	139.2	194.95	187.8	186.7

รูปที่ 1 ระบบชุดเครื่องกรองน้ำบาดาลตัวถังพีวีซี (FSRG)

3. การประเมินสมรรถนะของระบบ FSRG

ประสิทธิภาพของ FSRG (%Remove efficiency; %Remove) เป็นค่าที่บอกถึงคุณลักษณะการทำงานของระบบ FSRG ในการกำจัดเหล็ก (Fe) และความกระด้าง ($CaCO_3$) ในน้ำบาดาล และแสดงให้เห็นถึงศักยภาพของระบบ FSRG สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1

$$\%Remove = 100 - \frac{(Fe - out \ \& \ CaCO_3 - out)}{(Fe - in \ \& \ CaCO_3 - in)} x100 \quad (1)$$

โดยที่ %Remove คือ ประสิทธิภาพการกำจัด (%)

Fe-in, Fe-out คือ ความเข้มข้นของเหล็กสารเข้า และออกในหนึ่งเซลล์ ตามลำดับ (มิลลิกรัม/ลิตร)

$CaCO_3$ -in, $CaCO_3$ -out คือ ความเข้มข้นของความกระด้างมวลสารเข้า และออกในหนึ่งเซลล์ ตามลำดับ (มิลลิกรัม/ลิตร)

เวลาในการกักเก็บ (Hydraulic Retention Time; HRT) ระยะเวลาที่น้ำบาดาลไหลเข้าปริมาตรถังปฏิกิริยาหรืออยู่ระบบ FSRG คำนวณได้จากสมการที่ 2

$$HRT = \frac{V}{Q} \quad (2)$$

โดยที่ HRT คือ เวลาในการกักเก็บ (วัน)

Q คือ อัตราการไหลของน้ำบาดาล (ลูกบาศก์เมตร/วัน)

V คือ ปริมาตรสารกรองในถัง (ลูกบาศก์เมตร)

อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ (Hydraulic Loading Rate; HLR) คือ เป็นอัตราน้ำบาดาลไหลเข้าพื้นที่ของแต่ละถังของระบบ FSRG คำนวณได้จากสมการที่ 3

$$HLR = \frac{Q}{A} \quad (3)$$

โดยที่ HLR คือ อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ (เมตร/วัน)

Q คือ อัตราการไหลของน้ำบาดาล (ลูกบาศก์เมตร/วัน)

A คือ พื้นที่ถัง (ตารางเมตร)

อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic Loding Rate; OLD) ปริมาณสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบต่อปริมาตรในหนึ่งหน่วยเวลา ซึ่งโดยทั่วไปนิยมวัดในรูปของอัตราภาระบรรทุกเหล็ก (Fe loading rate) และของอัตราภาระบรรทุกความกระด้างทั้งหมด ($CaCO_3$ Loading rate) ซึ่งคำนวนได้จากสมการที่ 4

$$OLD = \frac{Qx(Fe \ \& \ CaCO_3)}{Vx1000} \quad (4)$$

เมื่อ OLD คือ อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (กิโลกรัมสารอินทรีย์/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

Q คือ อัตราการไหลของน้ำบาดาล (ลูกบาศก์เมตร/วัน)

Fe คือ เหล็กของน้ำบาดาล (มิลลิกรัม/ลิตร)

V คือ ปริมาตรถัง (ลูกบาศก์เมตร)

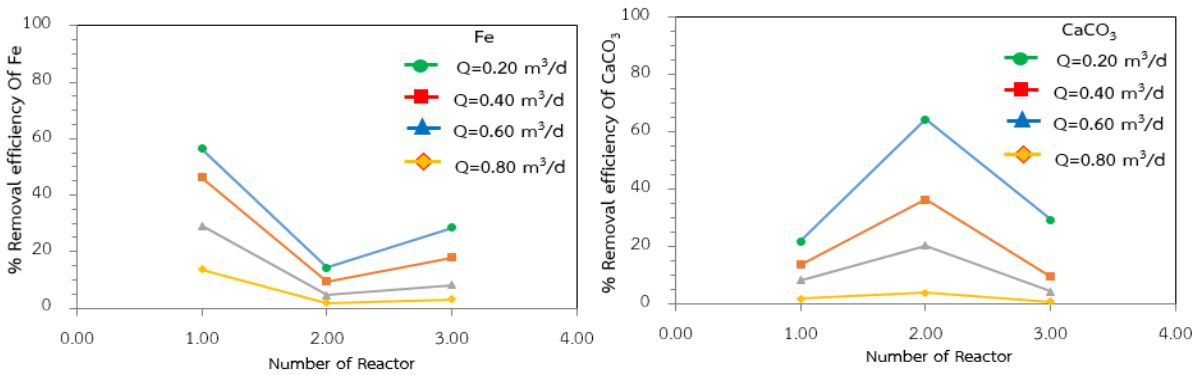
ผลการวิจัย

ในการทดสอบระบบ FSRG จำนวน 3 ถังต่อเรียงกันทำจากท่อพีวีซีตัวถังมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (D) 0.10 เมตร ความสูงของสารกรอง 1.00 เมตร มีอัตราส่วนความกว้าง:ความยาว (<1:4) แต่ละถังมีพื้นที่ (A) $86.55x10^{-2}$ ตารางเมตร (รัฐพล และคณะ, 2564; วุฒิกร และคณะ, 2566; Suksomboon et al., 2019) ลักษณะของน้ำบาดาลในการทดลองใสไม่มีตะกอน ทำการทดสอบที่อัตราไหลเข้าน้ำบาดาลเข้า (Q-in) 4 ระดับคือ 0.20, 0.40, 0.60 และ 0.80 ลูกบาศก์เมตร/วัน และมีเหล็กเข้า (Fe-in) และความกระด้างมวลสารเข้า ($CaCO_3$-in) เท่ากับ 1.5 มิลลิกรัม/ลิตร และ 198 มิลลิกรัม/ลิตร ผ่านชุดถังปฏิกรณ์ที่ 1 คือถังปฏิกรณ์แมงกานีส ($R1_{Mg}$) ไหลต่อเนื่องถังปฏิกรณ์ที่ 2 คือถังปฏิกรณ์เรซิ่น ($R2_{RS}$) และถังปฏิกรณ์ที่ 3 คือถังปฏิกรณ์ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด ($R3_{GAC}$) ดังแสดงในตารางที่ 2 และ ดังรูปที่ 2 พบว่าอัตราไหลเข้า (Q-in) เท่ากับ 0.20 ลูกบาศก์เมตร/วัน มีเหล็กออก (Fe-out) และความกระด้างออก ($CaCO_3$-out) เท่ากับ 0.40 มิลลิกรัม/ลิตร และ 39.6

มิลลิกรัม/ลิตร ของระบบ FSRG โดยถังปฏิกรณ์ที่ 1 ($R1_{Mg}$) มีประสิทธิภาพสูงสุดในกำจัดค่าเหล็ก (Removal of Fe Efficiency) 56.43% และถังปฏิกรณ์ที่ 2 ($R2_{RS}$) มีประสิทธิภาพสูงสุดในกำจัดค่าความกระด้าง (Removal of $CaCO_3$ Efficiency) 64.03% (โรสลีนา และคณะ, 2560) จากการเพิ่มระยะเวลากักพักชลศาสตร์ (HRT) เท่ากับ 0.0432 วัน และลดอัตราภาระทางชลศาสตร์ (HLR) เท่ากับ 0.0017 เมตร/วัน และอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ (OLD) เท่ากับ 0.0346 กิโลกรัม-เหล็ก/ลูกบาศก์เมตร/วัน และ 4.57 กิโลกรัม-ความกระด้าง/ลูกบาศก์เมตร/วัน ของระบบ FSRG เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในกำจัดค่าเหล็กและความกระด้าง (Removal Fe and $CaCO_3$ Efficiency) เท่ากับ 73.33% และ 80.00% ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 3 และ ดังรูปที่ 3 ระบบดังกล่าวสามารถปรับปรุงน้ำบาดาลผ่านข้อกำหนดเกณฑ์คุณภาพของน้ำมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภคได้ (กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2551)

ตารางที่ 2 ค่าเหล็ก (Fe) และความกระด้าง $CaCO_3$) ผ่านถังปฏิกรณ์ที่อัตราการไหลเข้าน้ำบาดาลเข้า (Q-in)

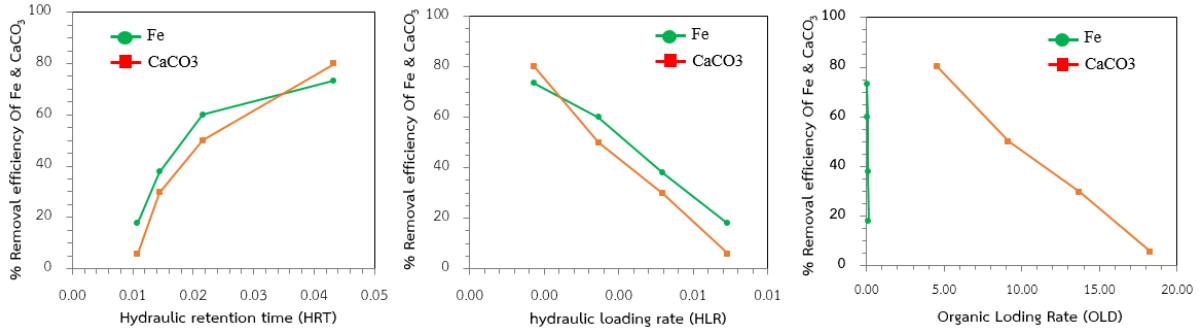
Reactor	$R1_{Mg}$	$R2_{RS}$	$R3_{GAC}$	$R1_{Mg}$	$R2_{RS}$	$R3_{GAC}$	$R1_{Mg}$	$R2_{RS}$	$R3_{GAC}$	$R1_{Mg}$	$R2_{RS}$	$R3_{GAC}$
Q-in (m^3/day)		200			400			600			800	
Fe-in (mg/l)	1.5	0.65	0.56	1.5	0.80	0.73	1.5	1.06	1.01	1.5	1.29	1.27
Fe-out (mg/l)	0.65	0.56	0.40	0.80	0.73	0.6	1.06	1.01	0.93	1.29	1.27	1.23
%Remove of Fe	56.43	14.39	28.50	46.17	9.53	17.86	29.01	4.55	8.09	13.68	1.76	3.03
$CaCO_3$-in (mg/l)	198	155.4	55.86	198	171.4	109.16	198	182.2	145.23	198	194.9	187.86
$CaCO_3$-out (mg/l)	155.4	55.86	39.6	171.4	109.2	99	182.2	145.2	139.2	194.9	187.9	186.7
%Remove of $CaCO_3$	21.53	64.03	29.11	13.45	36.28	9.31	7.99	20.27	4.15	1.53	3.64	0.61



รูปที่ 2 ประสิทธิภาพในกำจัดค่าเหล็ก (Fe) และความกระด้างทั้งหมด ($CaCO_3$) ของถังปฏิกรณ์แมงกานีส ถังปฏิกรณ์เรซิ่น และถังปฏิกรณ์ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด (GAC) ที่อัตราไหลเข้า (Q)

ตารางที่ 3 ค่าเหล็ก (Fe) และความกระด้าง ($CaCO_3$) กับระยะเวลากักพักชลศาสตร์ (HRT) อัตราภาระทางชลศาสตร์ (HLR) และอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ (OLD) ของระบบ FSRG

ระบบ FSRG กำจัด Fe (mg/l)					ระบบ FSRG กำจัด $CaCO_3$ (mg/l)				
Q-in (m^3/day)	0.20	0.40	0.60	0.80	Q-in (m^3/d)	0.20	0.40	0.60	0.80
Fe-in (mg/l)	1.5	1.5	1.5	1.5	$CaCO_3$-in (mg/l)	198	198	198	198
Fe-out (mg/l)	0.40	0.6	0.93	1.23	$CaCO_3$-out (mg/l)	39.6	99	139.2	186.7
%Remove of Fe	73.33	60.00	37.78	17.78	%Remove of $CaCO_3$	80.00	50.00	29.70	5.71
HRT (day)	0.0432	0.021	0.014	0.0108	HRT (day)	0.0432	0.0216	0.0144	0.0108
HLR (m/day)	0.0017	0.003	0.005	0.0069	HLR (m/day)	0.0017	0.0034	0.0051	0.0069
OLD (kg-Fe/m^3/day)	0.0346	0.069	0.103	0.1386	OLD (kg-$CaCO_3$/m^3/day)	4.57	9.15	13.72	18.30



รูปที่ 3 ประสิทธิภาพในกำจัดค่าเหล็ก (Fe) และความกระด้างทั้งหมด ($CaCO_3$) กับระยะเวลากักพักชลศาสตร์ (HRT) อัตราภาระทางชลศาสตร์ (HLR) และอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ (OLD) ของระบบ FSRG

การอภิปรายผล

ในการพัฒนาชุดเครื่องกรองน้ำบาดาลตัวถังพีวีซี (FSRG) ทำจากท่อพีวีซี (PVC) ให้มีประสิทธิภาพสูงสุดสามารถเพิ่มจำนวนมาก 3 ถังต่อเรียงกัน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า (D) 0.10 เมตร ความสูงของสารกรอง 1.00 เมตร มีอัตราส่วนความกว้าง:ความยาว (<1:4) ทำการทดสอบที่อัตราไหลเข้าน้ำบาดาลเข้า (Q-in) 4 ระดับคือ 0.20, 0.40, 0.60 และ 0.80 ลูกบาศก์เมตร/วัน และติดตั้งระบบอัตราไหลหมุนเวียน (QRe) เพื่อเกิดอัตราส่วนหมุนเวียน (QRe/Q-in) (รัฐพล และคณะ, 2564; วุฒิกร และคณะ, 2566; Suksomboon et al., 2019) เมื่อปล่อยเหล็กเข้า (Fe-in) และความกระด้างมวลสารเข้า ($CaCO_3$-in) เท่ากับ 1.5 mg/l และ 198 mg/l ผ่านชุดถังปฏิกรณ์ที่ 1 คือถังปฏิกรณ์แมงกานีส ($R1_{Mg}$) ไหลต่อเนื่องถังปฏิกรณ์ที่ 2 คือถังปฏิกรณ์เรซิ่น ($R2_{RS}$) และถังปฏิกรณ์ที่ 3 คือ ถังปฏิกรณ์ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด ($R3_{GAC}$) อาจจะพบว่า อัตราไหลเข้า (Q-in) เท่ากับ 0.20 ลูกบาศก์เมตร/วัน ปริมาณน่าจะลดน้อยกว่าเหล็กออก (Fe-out) และความกระด้างออก ($CaCO_3$-out) เท่ากับ 0.40 mg/l และ 39.6 mg/l ของระบบ FSRG โดยถังปฏิกรณ์ที่ 1 ($R1_{Mg}$) มีประสิทธิภาพสูงสุดในกำจัดค่าเหล็ก (Removal of Fe efficiency) มากกว่า 56.43% และถังปฏิกรณ์ที่ 2 ($R2_{RS}$) มีประสิทธิภาพสูงสุดในกำจัดค่าความกระด้าง (Removal of $CaCO_3$ efficiency) มากกว่า 64.03% (โรสลีนา และคณะ, 2560) ลดระยะเวลากักพักชลศาสตร์ (HRT) น้อยกว่า 0.0432 วัน และลดอัตราภาระทางชลศาสตร์ (HLR) น้อยกว่า 0.0017 เมตร/วัน และอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ (OLD) น้อยกว่า 0.0346 กิโลกรัม-เหล็ก/ลูกบาศก์เมตร/วัน และ 4.57 กิโลกรัม-ความกระด้าง/ลูกบาศก์เมตร/วัน ของระบบ FSRG เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในกำจัดค่าเหล็กและความกระด้าง (Removal of Fe and $CaCO_3$ efficiency)

มากกว่า 73.33% และ 80.00% ระบบดังกล่าวสามารถเพิ่มประสิทธิภาพสูงสุดเพื่อใช้ผลิตน้ำดื่มได้ เพื่อยกระดับมาตรฐานคุณภาพชีวิตสำหรับชุมชนที่มีปัญหาน้ำบาดาล

บทสรุป

การพัฒนาชุดเครื่องกรองน้ำบาดาลตัวถังพีวีซี (FSRG) ทำจากท่อพีวีซี (PVC) สำหรับชุมชนในเขตพื้นที่หมู่ที่ 1 บ้านพระยืน ตำบลพระยืน อำเภอพระยืน จังหวัดขอนแก่น จำนวน 3 ถังต่อเรียงกันขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (D) 0.10 เมตร ความสูงของสารกรอง 1.00 เมตร มีอัตราส่วนความกว้าง:ความยาว (<1:4) แต่ละถังมีพื้นที่ (A) 86.55×10^{-2} ตารางเมตร ทำการทดสอบที่อัตราไหลเข้าน้ำบาดาลเข้า (Q-in) 4 ระดับ คือ 0.20, 0.40, 0.60 และ 0.80 ลูกบาศก์เมตร/วัน และมีเหล็กเข้า (Fe-in) และความกระด้างมวลสารเข้า ($CaCO_3$-in) เท่ากับ 1.5 มิลลิกรัม/ลิตร และ 198 มิลลิกรัม/ลิตร ผ่านชุดถังปฏิกรณ์ที่ 1 คือ ถังปฏิกรณ์แมงกานีส ($R1_{Mg}$) ไหลต่อเนื่องถังปฏิกรณ์ที่ 2 คือ ถังปฏิกรณ์เรซิ่น ($R2_{RS}$) และถังปฏิกรณ์ที่ 3 คือถังปฏิกรณ์ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด ($R3_{GAC}$) พบว่า อัตราไหลเข้า (Q-in) เท่ากับ 0.20 ลูกบาศก์เมตร/วัน มีเหล็กออก (Fe-out) และความกระด้างออก ($CaCO_3$-out) เท่ากับ 0.40 มิลลิกรัม/ลิตร และ 39.6 มิลลิกรัม/ลิตร ของระบบ FSRG โดยถังปฏิกรณ์ที่ 1 ($R1_{Mg}$) มีประสิทธิภาพสูงสุดในกำจัดค่าเหล็ก (Removal of Fe efficiency) 56.43% และถังปฏิกรณ์ที่ 2 ($R2_{RS}$) มีประสิทธิภาพสูงสุดในกำจัดค่าความกระด้าง (Removal of $CaCO_3$ efficiency) 64.03% จากการเพิ่มระยะเวลากักพักชลศาสตร์ (HRT) เท่ากับ 0.0432 วัน และลดอัตราภาระทางชลศาสตร์ (HLR) เท่ากับ 0.0017 เมตร/วัน และอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ (OLD) เท่ากับ 0.0346 กิโลกรัม-เหล็ก/ลูกบาศก์เมตร/วัน และ 4.57 กิโลกรัม-ความกระด้าง/ลูกบาศก์เมตร/วัน ของระบบ FSRG เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในกำจัดค่าเหล็กและความกระด้าง (Removal of Fe and $CaCO_3$ efficiency) เท่ากับ 73.33% และ 80.00% ตามลำดับ ระบบดังกล่าวสามารถปรับปรุงน้ำบาดาลผ่านข้อกาหนดเกณฑ์คุณภาพ ของน้ำมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภคได้ แต่อย่างไรก็ตามระบบ FSRG ควรติดตั้งระบบรีเวอร์สออสโมซิส (Reverse osmosis) ต่อท้ายเพื่อความสะอาดของน้ำมากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม (กสว.) ประเภท Fundamental Fund ประจำปีงบประมาณ 2566

เอกสารอ้างอิง

กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2551). กำหนดหลักเกณฑ์และมาตรการในทางวิชาการ สำหรับการป้องกันด้านสาธารณสุขและการป้องกันในเรื่องสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 125 ตอนพิเศษ 85 ง.กรุงเทพฯ

กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. (2562). คู่มือมาตรฐานน้ำดื่มประเทศไทย. สำนักคุณภาพและความปลอดภัยอาหาร กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข.

รัฐพล สุขสมบูรณ์, สุธาวัลย์ ตั้งจิตเจริญกิจ และชัยยันต์ จันทร์ศิริ. (2564). นวัตกรรมการร่วมเครื่องปฏิกรณ์กวนชีวภาพแบบฟลูอิไดซ์เบดด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย. 13(3): 623-636.

โรสลีนา จาราแว, ซาลีฮา นามายัม และรุสนี อีแต. (2560). การศึกษาคุณภาพทางกายภาพของน้ำบาดาลที่ผ่านเครื่องกรองน้ำแบบง่าย. วารวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี. 14(1): 1-12.

วุฒิกร สายแก้ว, รัฐพล สุขสมบูรณ์ และละอองดาว ภูสำรอง. (2566). แบบจำลองทางคณิตศาสตร์พลวัตเครื่องปฏิกรณ์ถ่านกัมมันต์เม็ดคงที่การไหลหมุนเวียนสำหรับบำบัดน้ำเสียชุมชน. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 33(3): 1-11.

วิชัย ศรีบุญลือ. (2552). อุทกวิทยา. โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น.

APHA, AWWA and WPCF. (1999). Standard methods for the examination of water and wastewater. 20th edition, American Public Health Association, Washington DC.

Burger M., Krentz C., Merce R. and Gagon G. (2008). Manganese removal and occurrence of manganese oxidizing bacteria in full-scale biofilters. Water Supply Research Technology. 57: 351-359.

Simons, B.B. and Wellnitz, T.R. (2003). สำรวจโลกวิทยาศาสตร์: น้ำของโลก. แปล**จาก** Prentice Hall Science Explorer: Earths Waters. โดย พงชัย หาญยุทธนากร และ เจษฎา เด่นดวงบริพัทธ์. เพียร์ สัน เอ็ดดูเคชั่น อินโดไชน่า: กรุงเทพ.

Suksomboon R., Junsiri C., Tangjitjaroenkit S., Moselhy M. and Padungthon P. (2019). Mathematical models of a fluidized bed bioreactor using granular activated carbon (FBBR-GAC) for wastewater treatment. Engineering and Applied Science Research. 46(3): 183-191.

Xing D., Guangyang L., Fangshu Q., Kai L., Senlin S., Guibai L. and Heng L. (2017). Removal of iron, manganese and ammonia from groundwater using a PAC-MBR system: The anti-pollution ability, microbial population and membrane fouling. Desalination. 403: 97-106.

วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี | Agriculture and Technology Journal

ปีที่ 4 ฉบับที่ 3 กันยายน - ธันวาคม 2566 | Vol.4 No.3 September – December 2023

Received: July 11, 2023; Revised: September 18, 2023; Accepted: October 1, 2023

อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับโพรดิวเซอร์แก๊ส

Fuel consumption of diesel engines combined with producer gas

วุฒิชัย สิทธิวงษ์[1*] ธนกร หอมจำปา[1] พีรพัฒน์ ประชุมฉลาด[1] ธราเทพ แหวนเงิน[1] และณัฐกิตติ์ แก้วทุมลา[1]

Wuttichai Sittiwong[1*], Tanagorn Homchampa[1], Peerapat Prachumcharat[1] Tharathep Waengern[1] and Nattakit Kaewtumla[1]

[1]คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์

[1]Faculty of Agriculture and Technology, Rajamangala University of Technology Isan Surin Campus, Surin Province

**Corresponding Author E-mail Address: sittiwong@gmail.com*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ดีเซลขนาด 1 สูบ 4 จังหวะ ที่ใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับโพรดิวเซอร์แก๊สจากถ่านไม้ และปริมาณควันดำจากแก๊สไอเสียของทั้ง 2 กรณี โพรดิวเซอร์แก๊สผลิตจากเตาแก๊สซิไฟเออร์แบบไหลขึ้นขนาด 60 ลิตร กับชุดระบายความร้อนด้วยน้ำ การทดลองทำการเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่ 700 rpm 800 rpm 900 rpm 1,000 rpm 1,100 และ 1,200 rpm จากผลการทดลองพบว่า เตาโพรดิวเซอร์แก๊สที่ใช้ถ่านไม้เป็นวัตถุดิบในการผลิตแก๊สสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงร่วมได้ดีในทุกความเร็วรอบของเครื่องยนต์ในการทดลอง โดยเฉพาะที่ความเร็วรอบต่ำสามารถประหยัดเชื้อเพลิงดีเซลได้สูงที่สุด ที่ 178 ml/h (ที่ 900 rpm) ซึ่งสามารถลดการใช้น้ำมันดีเซลลงถึง 53% ส่วนของการลดมลพิษเฉพาะส่วนของควันดำ พบว่า การใช้เชื้อเพลิงร่วมสามารถลดควันดำได้ลงมากจาก 45% เป็น 38%

คำสำคัญ: โพรดิวเซอร์แก๊ส ถ่านไม้ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ควันดำ

Abstract

The objectives of this research were to study the fuel consumption of 1-cylinder 4-stroke diesel engines that use diesel fuel in combination with gas producers from wood charcoal and the amount of black smoke from exhaust gas in both cases. The gas producer is made from a 60-litre updraft gasifier with water cooler. Experiments compared fuel consumption at engine speeds of 700 rpm, 800 rpm, 900 rpm, 1,000 rpm, 1,100 and 1,200 rpm. Experimental results show that the gas producers using charcoal as raw materials for gas production can be used as dual fuel well at all engine speeds in experiments. Diesel fuel savings of up to

178 ml/h (at 900 rpm) can reduce diesel consumption by up to 53%. Part of reducing the specific pollution of black smoke, it was found that dual fuel consumption significantly reduced black smoke from 45% to 38%.

Keywords: Producer gas, Chacoal, Fuel consumption, Black smoke

บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยมีความต้องการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลในปริมาณที่สูงขึ้น ข้อมูลจากกรมธุรกิจพลังงาน คาดการณ์ว่าปี 2566 ความต้องการใช้น้ำมันเพิ่มขึ้นจากการฟื้นตัวของภาคท่องเที่ยว สำหรับการใช้น้ำมันกลุ่มดีเซลในเดือนธันวาคม 2565 เฉลี่ยอยู่ที่ 77.91 ล้านลิตร/วัน เพิ่มขึ้นจากช่วงเดียวกันของปีก่อนร้อยละ 1.2 (กรมธุรกิจพลังงาน, 2566) จากปัญหาดังกล่าว พลังงานทางเลือก เช่น พลังงานไบโอดีเซลและพลังงานก๊าซชีวมวล เป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่น่าสนใจ ซึ่งประเทศไทยมีศักยภาพในการผลิตพลังงานไบโอดีเซลและก๊าซชีวมวลสูงผลิตได้จากวัตถุดิบต่าง ๆ โดยเฉพาะผลผลิตทางการเกษตร ซึ่งในภาคเกษตรกรรมเครื่องยนต์ดีเซลเป็นต้นกำลังหลักที่เกษตรกรนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายเนื่องจากกำลังงานที่ได้สูง ดังนั้นหากนำเชื้อเพลิงหรือพลังงงานทางเลือกมาใช้ก็สามารถทำได้โดยไม่ต้องดัดแปลงเครื่องยนต์ โดยเฉพาะพลังงานที่ได้จากผลผลิตทางการเกษตรหรือเหลือจากการเกษตร

จากปัญหาด้านพลังงานที่ต้องพึ่งพาแหล่งพลังงานจากปิโตรเลี่ยมซึ่งมีแนวโน้มที่สูงขึ้น ส่งผลให้ราคาค่าไฟฟ้า น้ำมันเชื้อเพลิงสูงขึ้น กระทบต่อกระบวนการผลิตและการขนส่ง ประเทศไทยที่เกษตรกรยังคงใช้ต้นกำลังจากเครื่องยนต์โดยเฉพาะเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น ประกอบกับผลกระทบอื่น ๆ ทำให้ปัจจัยการผลิตทางการเกษตร เช่น ปุ๋ย มีราคาสูงขึ้นมาก แต่ราคาผลผลิตทางการเกษตรไม่ได้มีราคาสูงขึ้นตาม เหล่านี่คือปัญหาที่มาของงานวิจัยต่าง ๆ เพื่อแก้ปัญหาด้านพลังงาน และในภาคการเกษตร Raw material หรือวัตถุดิบ สามารถนำมาผลิตเชื้อเพลิงทางเลือกหรือเชื้อเพลิงทดแทนได้ โดยเฉพาะการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนให้สูงกว่าการให้ความร้อนในรูปแบบเชื้อเพลิงแข็ง ด้วยการเปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็งนี้ให้ออกมาเป็นก๊าซ ซึ่งจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อนและที่สำคัญยังช่วยลดพิษจากการเผาไหม้ลงได้ (สอนรินทร์, 2560) กระบวนการที่เปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็งให้เป็นเชื้อเพลงก๊าซ เรียกว่า Gasification กระบวนการนี้จะเกิดขึ้นได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งในที่มีออกซิเจนจำกัด เกิดความร้อนบางส่วน และความร้อนนี้จะไปเร่งปฏิกิริยาต่อเนื่อง ให้กลายเป็นก๊าซเชื้อเพลิง ก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้จากกระบวนการ Gasification นี้เรียกว่า Producer gas และสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์สันดาปภายในได้ หรือนำก๊าซที่ได้ไปเผาไหม้โดยตรง ก๊าซที่ได้จากกระบวนการประกอบด้วยก๊าซหลัก 4 ตัว และเป็นเชื้อเพลิงได้ 3 ตัว คือ คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไฮโดรเจน (H) และมีเทน (CH_4) ก๊าซชีวมวล หรือโปรดิวเซอร์แก๊ส (Producer gas) หากนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยการผสมกับอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ดีเซลทางท่อไอดีจะลดการใช้น้ำมันดีเซลได้สูงถึงร้อยละ 86 ปริมาณไอเสียมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน (Uma et.al, 2004)

จิระพงษ์ และคณะ (2557) ทำการศึกษาการผลิตแก๊สชีวมวลจากเศษชีวมวล 3 ชนิด ได้แก่ กะลามะพร้าว ไม้กระถินยักษ์และไม้ยูคาลิปตัส เพื่อศึกษากลไกการผลิตแก๊สชีวมวล อุณหภูมิของเตาผลิตแก๊สชีวมวลและองค์ประกอบของแก๊สชีวมวล ซึ่งระบบการผลิตแก๊สชีวมวลขนาดเล็กประกอบด้วย ชุดเตาผลิตแก๊สชีวมวลแบบไหลลง (Downdraft gasifier) พบว่ากะลามะพร้าวให้ปริมาณแก๊สชีวมวลเข้มข้นกว่าชีวมวลทั้ง 2 ชนิด รองลงมาคือ ไม้กระถินยักษ์และไม้ยูคาลิปตัส ตามลำดับ ในลักษณะเดียวกันกับงานวิจัยของ ปรีชา และคณะ (2558) ได้ศึกษาการใช้แก๊สชีวมวลกับเครื่องยนต์เล็กทางการเกษตร ซึ่งแก๊สชีวมวลที่ใช้ผลิตจากชุดเตาผลิตแก๊สชีวมวลแบบไหลลง (Downdraft gasifier) ความจุ 0.01 m^3 แบบขยายห้องพักแก๊สพร้อมระบบปรับปรุงคุณภาพแก๊สชีวมวล โดยใช้เครื่องยนต์หนึ่งสูบขนาด 9 แรงม้า เป็นเครื่องยนต์ทดสอบในการผลิตแก๊ส

ชีวมวล ทำการจ่ายอากาศเข้าเตาผลิตแก๊สชีวมวลที่ 150 ลิตร/นาที โดยใช้เศษชีวมวล 3 ชนิด ได้แก่ กะลามะพร้าว ไม้กระถินยักษ์ และไม้ยูคาลิปตัส จำนวน 3 kg

ธนกร และคณะ (2017) ทำการศึกษาอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงดีเซลร่วมกับก๊าซชีวมวลของเครื่องยนต์ดีเซลสำหรับสูบน้ำ โดยใช้เครื่องยนต์ดีเซลสูบเดียว ยี่ห้อ Yanmar รุ่น TF 85 LM การทดลองนี้จะใช้น้ำมันดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันพืชใช้แล้วร่วมกับก๊าซชีวมวลเปรียบเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซล โดยใช้เตาชีวมวลชนิดไหลลงในการผลิตก๊าซชีวมวลจากถ่านเศษไม้ โดยใช้ปั๊มน้ำทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 800 1,000 และ 1,200 rpm ซึ่งผลการทดลอง พบว่า การใช้เชื้อเพลิงน้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงโดยเครื่องยนต์ไม่มีภาระและมีภาระสูบน้ำเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงใช้น้ำมันเชื้อเพลิงต่ำสุดในทุกกรณีและอัตราสิ้นเปลืองจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วรอบสูงขึ้น

จากงานวิจัยดังกล่าวข้างต้นเห็นชัดเจนว่าพลังงานแก๊สชีวมวลเป็นพลังงานที่สามารถผลิตได้จากวัสดุทางการเกษตรหรือท้องถิ่นทั่วไปและประเทศไทยเป็นประเทศที่มีความอุดมสมบูรณ์ด้วยชีวมวลชนิดต่าง ๆ ที่มีศักยภาพเพียงพอ ที่จะนำมาผลิตเป็นพลังงานทดแทนได้จึงได้มีนักวิจัยพยายามนำแก๊สชีวมวลมาใช้เป็นแหล่งพลังงานให้กับเครื่องยนต์เล็กแก๊สโซลีนเพื่อเป็นต้นกำลัง แต่แก๊สชีวมวลที่ได้จากเตาผลิตแก๊สนั้นจะมีสิ่งเจือปนออกมาและมีผลต่อการทำงานของเครื่องยนต์และความเสียหายได้ และที่สำคัญของการใช้งานมักจะมีความซับซ้อนในการใช้งานกับเกษตรกร ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีจุดมุ่งหมายที่จะศึกษาการผลิตแก๊สชีวมวลเพื่อใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลทางการเกษตรที่มีอุปกรณ์ไม่ซับซ้อนและใช้งานง่ายโดยไม่ต้องดัดแปลงเครื่องยนต์ เพื่อเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองของเครื่องยนต์ระหว่างใช้น้ำมันดีเซล และน้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวมวลหรือโพรดิวเซอร์แก๊สให้เหมาะสำหรับใช้เพื่อเกษตรกรและสามารถนำพลังงานทางเลือกที่ผลิตได้ในประเทศมาใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อไป นอกจากนี้งานวิจัยนี้ยังทำการวัดค่าควันดำเพื่อทำการยืนยันประสิทธิภาพการเผาไหม้เพิ่มเติมด้วย

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ในการเกษตรที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 700 800 900 1,000 1,100 และ 1,200 rpm การทดลองเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลกับน้ำมันดีเซลร่วมกับโพรดิวเซอร์แก๊สที่ได้จากถ่านไม้ การทดลองจะแบ่งเป็น 2 กรณี คือ

กรณีที่ 1 ใช้น้ำมันดีเซลในการเดินเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบ 700 800 900 1,000 1,100 และ 1,200 rpm โดยไม่มีภาระโหลด ทำการบันทึกค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่ใช้

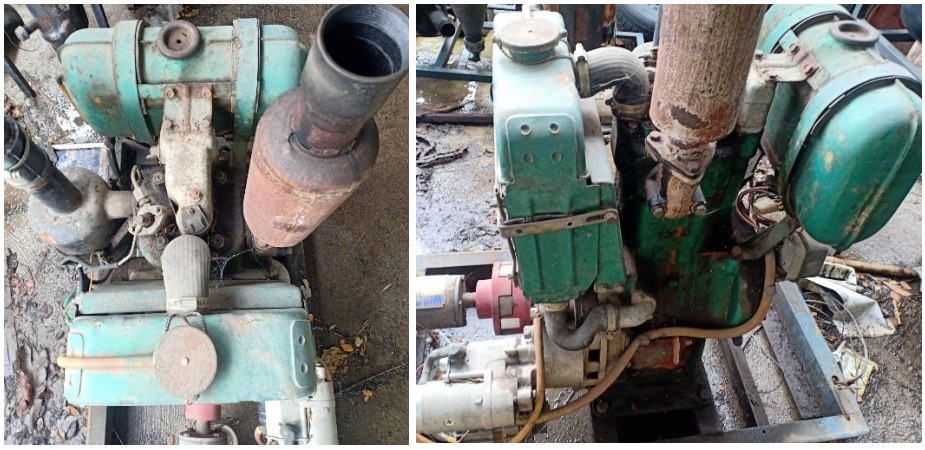
กรณีที่ 2 ใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับแก๊สชีวมวลในการเดินเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบ 700 800 900 1,000 1,100 และ 1,200 rpm โดยไม่มีภาระโหลด ทำการบันทึกค่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้

โดยอุปกรณ์การทดลองสำคัญประกอบด้วย

1. เครื่องยนต์ดีเซล 1 สูบ 4 จังหวะ ที่ใช้ในการทดลองมีข้อมูลรายละเอียดเฉพาะดังตารางที่ 1 และรูปที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลรายละเอียดเฉพาะเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ

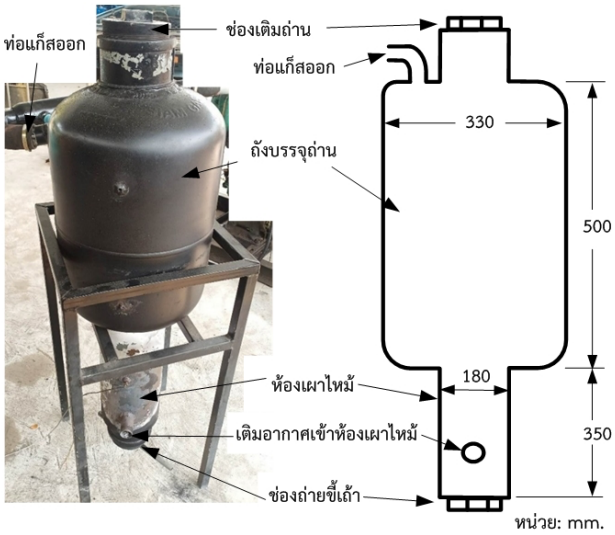
เครื่องยนต์	SPM รุ่น XD195
ชนิดเครื่องยนต์	1 สูบ 4 จังหวะระบายความร้อนด้วยน้ำ
กำลัง (แรงม้า)/ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	12/2,200
เส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกสูบ (มม.)	95
ระยะชักกระบอกสูบ (mm)	110
ปริมาตรเหนือหัวลูกสูบ (ลิตร)	0.78
ระบบฉีดเชื้อเพลิง	ฉีดตรง
ชนิดเชื้อเพลิง	น้ำมันดีเซล



รูปที่ 1 เครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ในการทดลอง

2. เตาผลิตแก๊ส การทดลองนี้ใช้เตากำเนิดแก๊สแบบไหลขึ้น (Updraft gasifier) ดังรูปที่ 2 เพื่อสะดวกต่อการบำรุงรักษาเตาและเครื่องยนต์จึงออกแบบให้เตาทำหน้าที่ผลิตแก๊สจากถ่านไม้แทนการใช้ไม้ดิบเนื่องจากปัญหาของเตาชนิดที่ผลิตโพรดิวเซอร์แก๊สจากไม้ดิบถึงแม้จะมีข้อดีคือไม่ต้องเผาถ่าน หรือเปลี่ยนไม้ดิบเป็นถ่าน แต่การใช้งานกับเครื่องยนต์จะมีของแข็งและสิ่งเจือปนที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้หมด ได้แก่ ถ่านชาร์ (Char) เถ้า (Ash) น้ำมันดิน (Tar) และไอน้ำ เป็นที่ต้องกำจัดออกจากแก๊สให้ได้หมดก่อนเข้าเครื่องยนต์ ดังนั้นเตาผลิตแก๊สจึงมีอุปกรณ์มากมาย เช่น ไซโคลน เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ห้องน้ำดักน้ำมันดิน กรองดักฝุ่นแบบปียก เครื่องจับดักไอน้ำ เป็นต้น ซึ่งแน่นอนว่าจะยุ่งยากต่อการใช้งานจริงของเกษตรกร และต้นทุนของเครื่องที่สูงกว่าเตาผลิตแก๊สแบบไหลขึ้นด้วยถ่านไม้

จากรูปที่ 2 เป็นเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้ในการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือถังบรรจุถ่านไม้ ขนาดความสูง 500 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 330 มิลลิเมตร และห้องเผาไหม้ทรงกระบอก ขนาดความสูง 350 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 180 มิลลิเมตร ปริมาตรรวมประมาณ 60 ลิตร ซึ่งมีขนาดไม่ใหญ่มากเพื่อให้ใช้งานและเคลื่อนย้ายได้ง่าย



รูปที่ 2 เตาผลิตแก๊สแบบไหลขึ้นบนที่ใช้ในการทดลอง

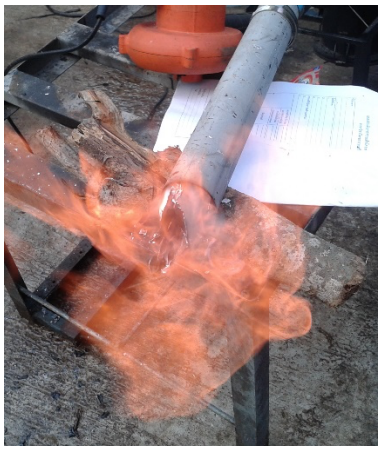
3. ชุดระบายความร้อนแก๊ส ในรูปที่ 3 ทำหน้าที่ลดอุณหภูมิของโพรดิวเซอร์แก๊สที่ผลิตออกจากเตา หากปล่อยให้แก๊สที่มีอุณหภูมิสูงเข้าเครื่องยนต์อาจเป็นสาเหตุของการชิงจุดระเบิดไม่สามารถควบคุมจังหวะการทำงานของเครื่องยนต์ได้ และปริมาณแก๊สจะมีอัตราไหลเชิงมวลต่ำลง ทำให้ได้เชื้อเพลิงไม่เพียงพอต่อการใช้งานหรือที่เรียกว่าส่วนผสมบาง ด้วยหลักการง่าย ๆ สะดวกต่อการใช้งานและการบำรุงรักษาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น (Double-pipe heat exchanger) จึงถูกเลือกมาใช้เป็นชุดระบายความร้อนแก๊สที่ทำท่อด้วยเหล็กสวมกันสองชั้น ชั้นนอกให้เป็นท่อน้ำมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร ท่อชั้นในเป็นท่อแก๊ส มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร แก๊สที่อุณหภูมิสูงจากเตาผลิตจะไหลเข้าท่อแก๊สสวนทางกับน้ำหล่อเย็นที่ท่อน้ำหรือเปลือกนอก เกิดการถ่ายทความร้อนของของไหลทั้งสองที่ไหลสวนกันตลอดความยาว 610 มิลลิเมตร ของเครื่องระบายความร้อน น้ำหล่อเย็นจะถูกปล่อยไหลเวียนแบบอิสระด้วยถังพักน้ำจากภายนอกที่ระบายความร้อนจากพัดลมของเครื่องโดยไม่ใช้ปั๊มน้ำ

เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของของไหลทั้งสองด้วยการเพิ่มระยะเวลาในการถ่ายเทความร้อน ผู้วิจัยทำการบรรจุเศษฝอยโลหะ (Steel wool) เข้าไปในท่อแก๊สเป็นการชะลอความเร็วในการไหลของแก๊สร้อนเพื่อเพิ่มเวลาในการแลกเปลี่ยนความร้อนและเศษฝอยโลหะจะทำหน้าที่เป็นกรองหยาบให้กับเครื่องยนต์ป้องกันฝุ่นเถ้าหยาบถูกดูดเข้าไปในเครื่องยนต์

รูปที่ 3 ชุดระบายความร้อนแก๊ส

อุปกรณ์หลัก ๆ ทั้ง 3 ถูกติดตั้ง ดังรูปที่ 4 โดยหลักการทำงานเริ่มจากถ่านไม้ถูกบรรจุลงไปในเตาโพรดิวเซอร์แก๊ส ขนาด 60 ลิตร คิดเทียบกับถ่านไม้ที่ใช้ทดลองขนาดประมาณ 30-40 มิลลิเมตร โดยเฉลี่ย จำนวน 15 กิโลกรัม เมื่อจุดเตาโดยให้ความร้อนจากช่องเติมอากาศด้านล่างเตา (จากรูปที่ 2) โดยยังไม่ปิดเตาหรือช่องเติมถ่านส่วนบนของเตาจนกว่าถ่านจะติดไฟ ซึ่งหากปกติเครื่องยนต์ติดแล้ว เครื่องยนต์จะดูดอากาศผ่านช่องทางนี้ของเตา ทำให้ถ่านไม้ในเตาติดอย่างต่อเนื่องแต่ในการเริ่มติดเตาหากใช้เครื่องเป่าลมช่วยให้อากาศเข้าเตาจะทำให้เตาติดได้เร็วขึ้น ในเริ่มต้น ถ่านอาจมีความชื้นอยู่บ้าง ควันที่ออกมาอาจจะติดไฟยาก เมื่อความชื้นหมดอุณหภูมิเตาสูงขึ้นให้สังเกตที่ควันที่ออกจากเตาจะเปลี่ยนจากควันสีขาวกลายเป็นเปลวใสขึ้น ทดสอบจุดไฟที่ควันจะเกิดติดไฟและต่อเนื่อง ดังรูปที่ 5

รูปที่ 4 อุปกรณ์ที่ถูกติดตั้งเพื่อการทดลอง



รูปที่ 5 เปลวไฟติดต่อเนื่องจากแก๊ส

เครื่องวัดควันดำระบบกระดาษกรอง ยี่ห้อ Bosch ดังรูปที่ 6 ใช้วัดปริมาณควันดำที่เกิดจากเครื่องยนต์ อ่านค่าโดยอาศัยหลักความเข้มแสง วัดค่าเป็นหน่วยร้อยละ

รูปที่ 6 เครื่องวัดควันดำ

เครื่องวัดความเร็วลม (Anemometer) หรืออากาศที่เข้าเตาแบบใบพัด ยี่ห้อ EXTECH ดังรูปที่ 7 เมื่อเครื่องยนต์ทำงานที่สภาวะคงที่ในแต่ละรอบแล้ววัดอัตราการไหลของอากาศจากความเร็วของอากาศคูณกับพื้นที่หน้าตัดท่อที่ตำแหน่งท่อเติมอากาศเข้าห้องเผาไหม้ในรูปที่ 2

รูปที่ 7 เครื่องวัดความเร็วลม

สำหรับวัตถุดิบที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงเป็นถ่านที่ได้จากการเผาถ่านด้วยเศษไม้ที่สามารถหาได้ในพื้นที่ไม่ระบุชนิดของไม้เป็นไม้แห้งที่หักหรือตายตามธรรมชาติ เพื่อเป็นการไม่ทำลายสิ่งแวดล้อมและให้เกษตรกรสามารถหาได้ เมื่อได้ไม้แล้วทำการตัดเป็นท่อนเพื่อเผาไปถ่านไม้ด้วยเตาเผาถ่านแบบเตา 200 ลิตร ดังรูปที่ 8

รูปที่ 8 วัตถุดิบในการเผาถ่านด้วยเตาเผาถ่าน 200 ลิตร

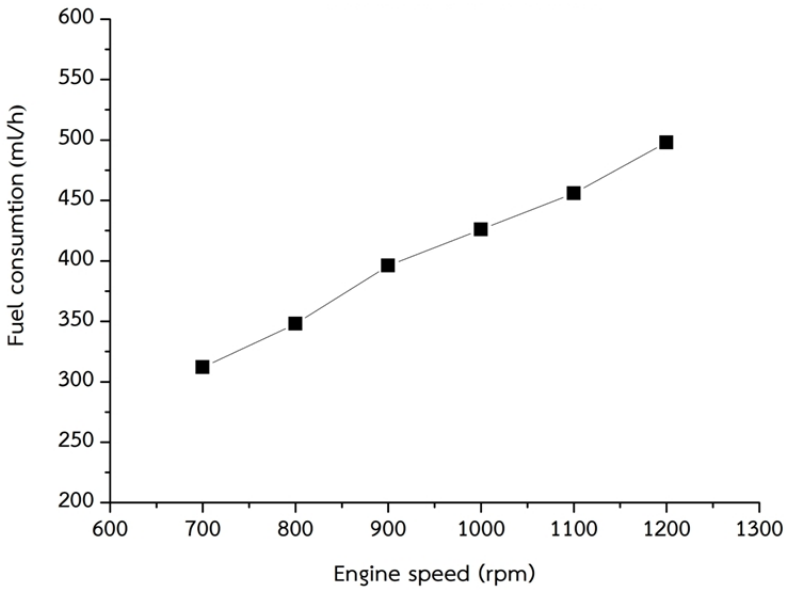
เมื่อเตาผลิตแก๊สได้ต่อเนื่องแก๊สจะถูกดูดผ่านชุดระบายความร้อนให้แก๊สเพื่อให้แก๊สอุณหภูมิลดลงและสะอาด ดังที่ได้กล่าวไว้แล้ว แก๊สที่ออกจากเครื่องระบายความร้อนถูกดูดเข้าไปผสมกันในมิกเซอร์หรือตัวผสมแก๊สกับอากาศด้วยหลักการของคอคอดหรือท่อเวนทูรี (Venturi tube) ที่ชุดผสมอากาศและแก๊สผสมกันไหลผ่านกรองอากาศแบบหยาบและกรองอากาศแบบเปียก ก่อนเข้าเครื่องยนต์ต่อไป ส่วนการควบคุมความเร็วรอบจะควบคุมด้วยปั๊มฉีดเชื้อเพลิงแรงดันสูงและวาล์วควบคุมอากาศที่ท่อไอดีของเครื่องยนต์ โดยการทดลองเพื่อเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบ 700 800 900 1,000 1,100 และ 1,200 rpm และเปรียบเทียบควันดำ

ผลการวิจัย

จากวัตถุประสงค์ของการทดลองของงานวิจัย เพื่อเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ โดยเชื้อเพลิงหลักคือน้ำมันดีเซลและน้ำมันดีเซลร่วมกับโพรดิวเซอร์แก๊ส โดยความเร็วรอบเดินเบาที่ 700 rpm แล้วเพิ่มความเร็วครั้งละ 100 rpm จนถึง 1,200 rpm ทำการทดลองซ้ำ ได้ผลเฉลี่ยดังต่อไปนี้

กรณีที่ 1 ผลการทดลองใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์

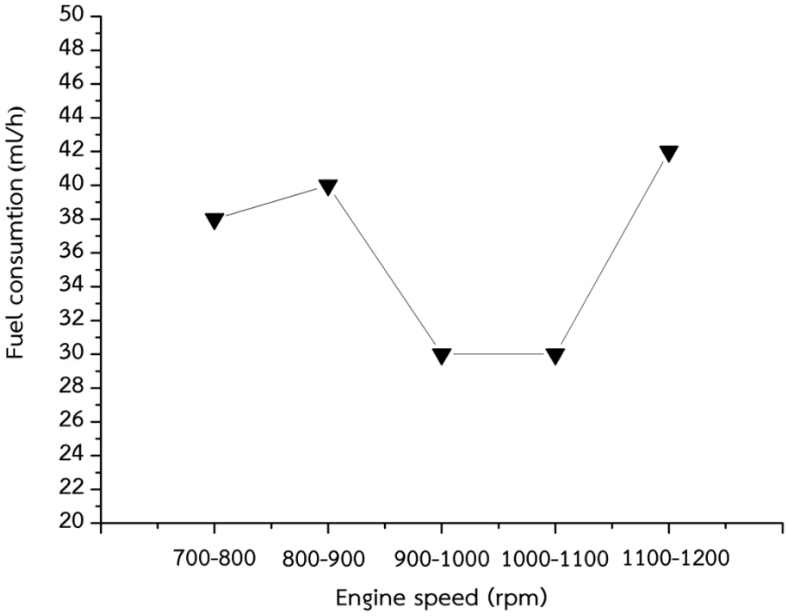
กรณีที่ 1 นี้จะทำการทดลองเพื่อหาอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันดีเซลที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ 700 800 900 1,000 1,100 และ 1,200 rpm โดยเครื่องยนต์ไม่มีภาระในเวลา 1 ชั่วโมง จากการทดลองได้ค่าเฉลี่ยอัตราการสิ้นเปลืองดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันดีเซลที่ความเร็วรอบต่าง ๆ

จากรูปที่ 9 อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันดีเซลในการทดลองโดยเครื่องยนต์ไม่มีภาระจะเห็นได้ว่าที่ความเร็วรอบ 700 rpm ที่เวลาในการทดลอง 1 ชั่วโมง อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเฉลี่ยอยู่ ที่ 310 ml/hr เมื่อเพิ่มความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่รอบสูงขึ้นตามรอบที่กำหนด การสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจะเพิ่มขึ้นตามรอบการทำงานของเครื่องยนต์ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 800 rpm อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเฉลี่ย 348 ml/hr และเมื่อเพิ่มความเร็วรอบสูงสุดที่ความเร็วรอบ 1,200 rpm อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเฉลี่ยที่ 498 ml/hr จะเห็นได้ว่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันยังคงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้น

ที่ความเร็วรอบที่แตกต่างกัน คือที่ความเร็วรอบ 700 800 และ 900 rpm มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบระหว่างความเร็วรอบที่เปลี่ยนไป มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 40 ml/hr และเมื่อความเร็วรอบ 900 1,000 และ 1,100 ความแตกต่างของอัตราการสิ้นเปลืองลดลงกว่าที่ความเร็วรอบ 700 800 และ 900 rpm คือค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 30 ml/hr แต่เมื่อเพิ่มความเร็วรอบจาก 1,100 เป็น 1,2000 rpm ความแตกต่างของอัตราการสิ้นเปลืองเพิ่มขึ้นมากที่สุด คือ 42 ml/hr ดังแสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 10 เปรียบเทียความแตกต่างของอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงดีเซล

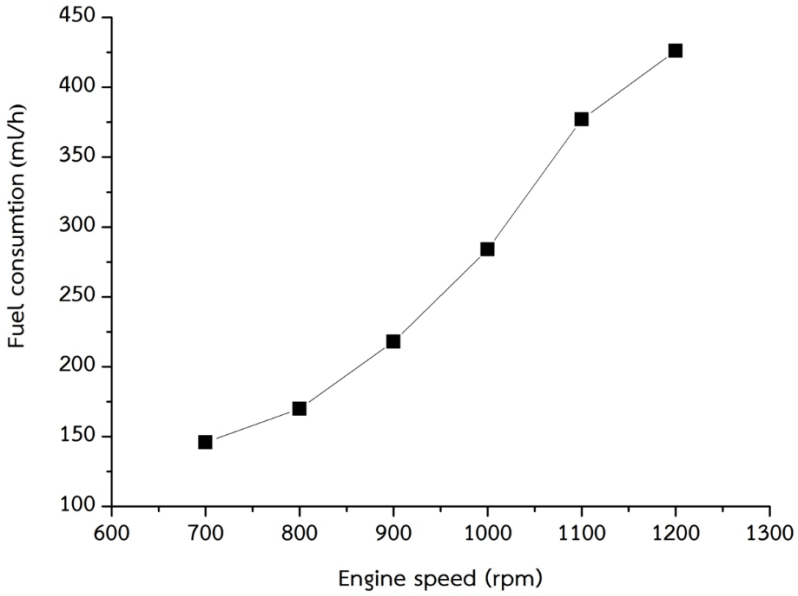
กรณีที่ 2 ผลการทดลองใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์

กรณีนี้ทำการทดลองโดยความเร็วรอบของเครื่องยนต์เช่นเดียวกันกับกรณีที่ 1 คือ 700 800 900 1,000 1,100 และ 1,200 rpm โดยเครื่องยนต์ไม่มีภาระในเวลา 1 ชั่วโมง ก่อนบันทึกข้อมูลทำการเดินเครื่องยนต์ให้เตาทำงานผลิตแก๊สอย่างต่อเนื่องสักระยะหรือทำการจุดเตาและใช้เครื่องเป่าลมช่วยเติมอากาศที่ช่องเติมอากาศของเตา เมื่อมั่นใจว่าเตาผลิตแก๊สได้ต่อเนื่องแล้วเดินเครื่องยนต์อีกสักระยะเพื่อให้แก๊สเข้าแทนที่อากาศในท่อทางเดินแก๊สเข้าเครื่องยนต์ก่อนบันทึกข้อมูลทำการปิดวาล์วแก๊สเข้าเครื่องยนต์ ทำการเดินเครื่องยนต์ให้ทำงานเริ่มต้นที่ความเร็วรอบเดินเบาด้วยน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวและเริ่มเปิดวาล์วแก๊สเข้าเครื่องยนต์จนความเร็วรอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นตามที่ต้องการ เริ่มบันทึกข้อมูลที่ความเร็วรอบต่าง ๆ หากความเร็วรอบสูงกว่าความเร็วรอบที่กำหนดให้ลดความเร็วเครื่องยนต์ด้วยการปริมาณแก๊สลงด้วยการปรับวาล์วแก๊สที่เข้าเครื่องยนต์ลงในขณะที่วาล์วควบคุมน้ำมันเชื้อเพลิงลดลงอยู่ในตำแหน่งเดินเบา ซึ่งระบบฉีดเชื้อเพลิงจะทำหน้าที่เพียงการฉีดนำเพื่อจุดระเบิดเท่านั้นในกรณีที่ 2 จึงได้ผลการทดลองดังรูปที่ 11

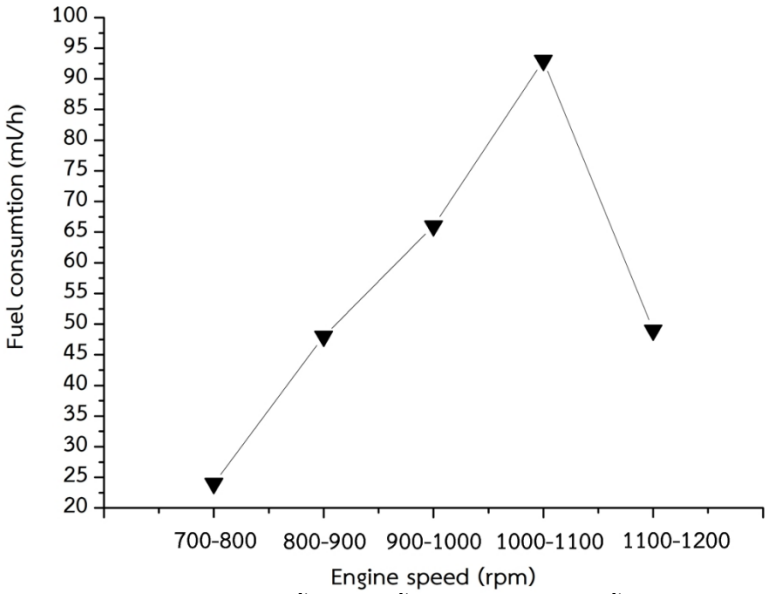
จากรูปที่ 11 อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันดีเซลในการทดลองโดยเครื่องยนต์ไม่มีภาระ จะเห็นได้ว่าที่ความเร็วรอบ 700 rpm ที่เวลาในการทดลอง 1 ชั่วโมง อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเฉลี่ยอยู่ที่ 146 ml/hr เมื่อเพิ่มความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่รอบสูงขึ้นตามรอบที่กำหนด การสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจะเพิ่มขึ้นตามรอบการทำงานของเครื่องยนต์ ความเร็วรอบเครื่องยนต์อยู่ที่ความเร็วรอบ 800 rpm อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเฉลี่ย 170 ml/hr และเมื่อเพิ่มความเร็วรอบสูงสุดอยู่ที่ความเร็วรอบ 1,200 rpm อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเฉลี่ยที่ 426 ml/hr จะเห็นได้ว่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันยังคงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่เมื่อเปรียบทียบกับกรณีที่ 1 ผลการทดลองใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ พบว่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันดีเซลลดลงมาก ซึ่งจะได้กล่าวต่อไป

ในกรณีที่ 2 นี้ พบว่าเมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น เปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่อความเร็วรอบรอบเครื่องยนต์ของสองกรณี พบว่าเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นความแตกต่างของอัตราการสิ้นปลืองกับเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องดังรูปที่ 12 เช่น ที่ความเร็วรอบ 700 ถึง 800 rpm มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบระหว่างความเร็วรอบที่เปลี่ยนไปมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 24 ml/hr และเมื่อความเร็วรอบ 800 ถึง 900 rpm ความแตกต่างของอัตราการสิ้นเปลืองยิ่งเพิ่มกว่าเดิมเป็น 48 ml/hr และยังคงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเป็น 66 ml/hr และ 93 ml/hr ที่ 900 ถึง 1,000 rpm และ 1,000 ถึง 1,100 rpm ตามลำดับ แต่ที่ความเร็วรอบ 1,100 rpm ถึงความเร็วรอบเครื่องยนต์สูงสุดอัตราการ

สิ้นเปลืองกลับลดลงเหลือ 49 ml/hr เชื้อเพลิงแก๊สสามารถช่วยลดการใช้เชื้อเพลิงจากน้ำมันดีเซลลง เบื้องต้นสันนิษฐานว่าที่ความเร็วสูงสุดของการทดลองสามารถดูดอากาศเพิ่มขึ้นมากทำให้การเผาไหม้ในเตาผลิตโพรดิวเซอร์แก๊สได้ต่อเนื่องและมีจำนวนมาก แต่อย่างไรก็ตามอัตราการผลิตอาจไม่เพียงพอต่อความต้องการของเครื่องยนต์จึงเป็นเหตุให้อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันดีเซลไม่ลดลงมากกว่าที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ต่ำ นี่เป็นเพียงข้อสันนิษฐานเบื้องต้น ซึ่งจะต้องพิจารณาวิเคราะห์จากอัตราการสิ้นเปลืองเทียบกับกรณีที่ 1 เฉพาะความเร็วรอบต่าง ๆ อีกครั้งในหัวข้อถัดไป



รูปที่ 11 อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันดีเซลที่ใช้แก๊สชีวมวลร่วม



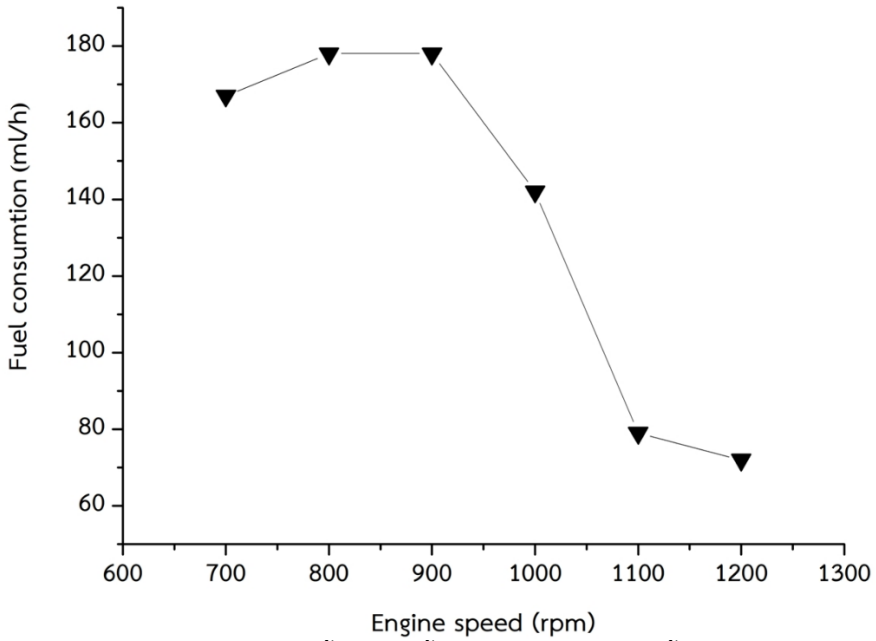
รูปที่ 12 เปรียบเทียบค่าความแตกต่างของอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงดีเซล กรณีใช้เชื้อเพลิงร่วม

เปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงกรณีเครื่องยนต์ใช้น้ำมันดีเซลกับกรณีเครื่องยนต์ใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับโพรดิวเซอร์แก๊ส

จากผลการทดลองของกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 นำมาเปรียบเทียบกัน พบว่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลลดลงเมื่อใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิงร่วม นั่นคือ ที่เครื่องยนต์มีความเร็วรอบ 700 rpm อัตราการลดลงของน้ำมันดีเซลเป็น 167 ml/hr ดังรูปที่ 13 นอกจากนี้ยังมีอัตราการสิ้นเปลืองที่ลดลงตามความเร็วเป็น 178 ml/hr, 178 ml/hr, 142 ml/hr, 79 ml/hr และ 72 ml/hr ตามลำดับความเร็วรอบ จากการเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันดีเซลที่ลดลงอย่างมากเมื่อใช้โพรดิวเซอร์แก๊สร่วม จะเห็นได้ว่า

ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 700 rpm สามารถลดอัตราการใช้น้ำมันดีเซลได้ถึง 53%
ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 800 rpm สามารถลดอัตราการใช้น้ำมันดีเซลได้ถึง 51%
ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 900 rpm สามารถลดอัตราการใช้น้ำมันดีเซลได้ถึง 45%
ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,000 rpm สามารถลดอัตราการใช้น้ำมันดีเซลได้ถึง 33%
ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,100 rpm สามารถลดอัตราการใช้น้ำมันดีเซลได้ถึง 17%
และที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,200 rpm สามารถลดอัตราการใช้น้ำมันดีเซลได้ถึง 14%

จากผลการทดลองที่วิเคราะห์ร้อยละของการลดอัตราการใช้น้ำมันที่ความเร็วรอบสูงโดยเฉพาะที่ 1,100 rpm และ 1,200 rpm ได้น้อยกว่าที่ความเร็วรอบอื่น ๆ มากซึ่งเป็นไปได้ตามข้อสันนิษฐานเบื้องต้นว่าเตาผลิตแก๊สได้เหมาะสมกับความเร็วรอบต่ำหรืออาจจะต้องเพิ่มถังพักแก๊สก่อนเข้าเครื่องยนต์เนื่องจากระยะทางของเตาผลิตแก๊สอยู่ไกลเครื่องยนต์ทำให้แก๊สไหลเข้าเครื่องยนต์ไม่ทัน ซึ่งต้องพิจารณาอัตราการไหลของอากาศเข้าเตาอีกครั้งหนึ่งในประเด็นถัดไป

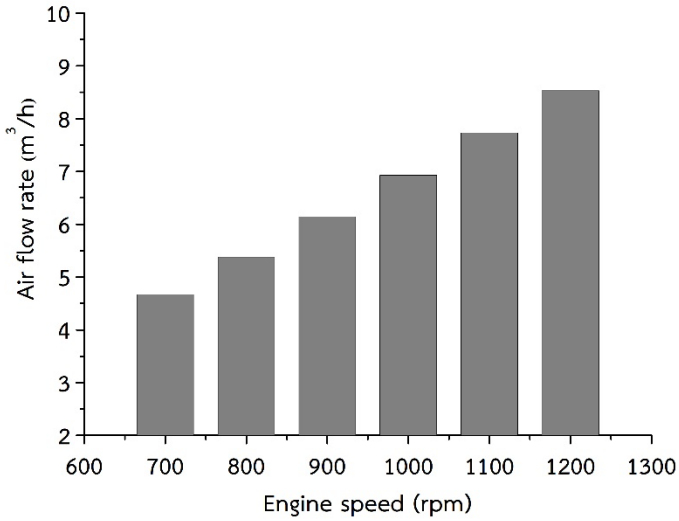


รูปที่ 13 เปรียบเทียบความแตกต่างของอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงระหว่างดีเซลกับเชื้อเพลิงร่วม

อัตราการไหลของอากาศผ่านเตาโพรดิวเซอร์แก๊สที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 700 800 900 1,000 1,100 และ1,200 rpm

จากการทดลองที่ความเร็วรอบต่าง ๆ เมื่อใช้เชื้อเพลิงร่วมในทางปฏิบัติจะทำการปรับอัตราการไหลของอากาศที่ท่อดูดอากาศด้วยวาล์วดังรูปที่ 4 และมีอากาศบางส่วนเข้าสู่เตาของห้องเผาไหม้เพื่อใช้เป็นอากาศในการช่วยให้เตายังคงเผาไหม้ต่อเนื่องและอากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้เตาจึงขึ้นอยู่กับวาล์วท่อดูดอากาศกับแรงดูดจากเครื่องยนต์

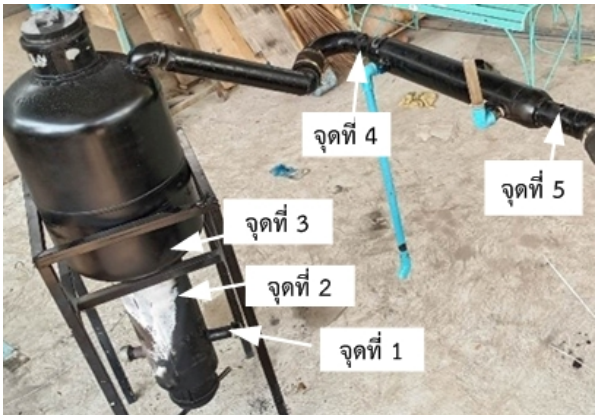
จากผลการทดลองในรูปที่ 14 พบว่าอัตราการไหลของอากาศที่ทางเข้าท่อดูดของเตาที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่ 700 rpm มีค่าต่ำสุดที่ 4.67 m^3/hr และเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องอย่างมีนัยสำคัญจนถึง 8.55 m^3/hr ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,200 rpm และจากผลที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงกรณีเครื่องยนต์ใช้น้ำมันดีเซลกับกรณีเครื่องยนต์ใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับโพรดิวเซอร์แก๊สที่ความเร็วรอบสูงขึ้นอัตราการการชดเชยของเชื้อเพลิงแก๊สแทนน้ำมันดีเซลลดลงซึ่งตามข้อสันนิษฐานเบื้องต้นว่าเตาผลิตแก๊สได้เหมาะสมกับความเร็วรอบต่ำหรืออัตราการไหลของอากาศเข้าเตาไม่เพียงพอนั้น ประเด็นของอัตราการไหลของอากาศไม่เพียงพอนั้นเป็นประเด็นที่ไม่มีผลเนื่องจากอัตราการไหลของอากาศยังคงเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจจะสูงเกินกว่ากว่าปริมาณเชื้อเพลิงที่เข้าห้องเผาไหม้ของเตาในประเด็นนี้จึงต้องพัฒนาและแก้ไขปัญหาต่อไป



รูปที่ 14 อัตราการไหลของอากาศเข้าเตาโพรดิวเซอร์แก๊ส

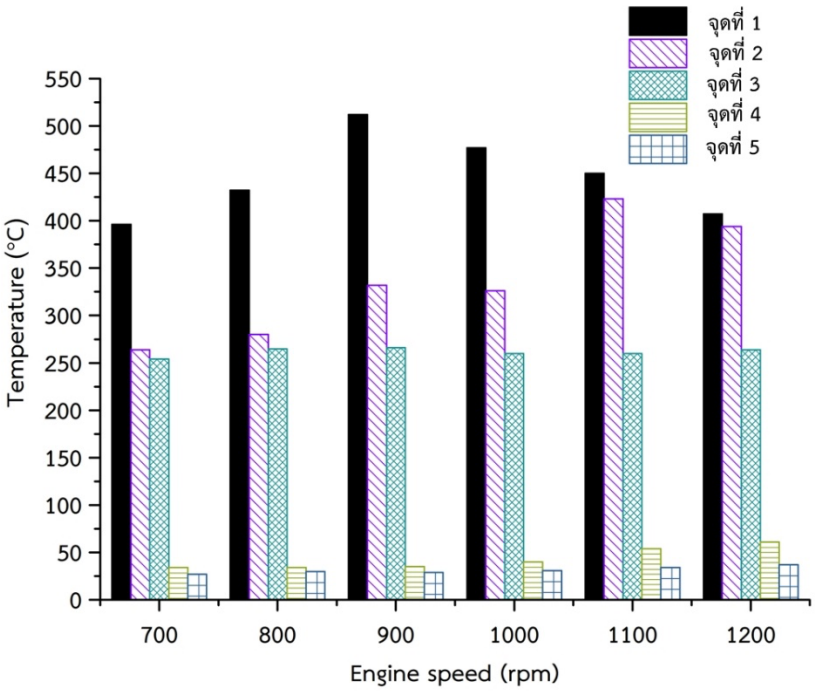
อุณหภูมิเตาและแก๊สที่จุดต่าง ๆ

การทดลองทำการวัดอุณหภูมิหลักของชุดทดลองจำนวน 5 จุด ดังรูปที่ 15 ประกอบด้วย จุดที่ 1 Combustion zone จุดที่ 2 Pyrolysis zone จุดที่ 3 Drying zone จุดที่ 4 เข้าเครื่องหล่อเย็น จุดที่ 5 ออกจากเครื่องหล่อเย็นและอุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ยที่ 33°C



รูปที่ 15 ตำแหน่งวัดอุณหภูมิ

จากผลการทดลองดังรูปที่ 16 พบว่าที่จุดที่ 1 อุณหภูมิเตาสูงที่สุดอยู่ในช่วง 400-500°C อุณหภูมิเตาที่ความเร็วรอบ 700-900 rpm จะสูงพอกับช่วงความเร็ว 1,000-1,200 rpm และไปสูงที่จุดที่ 2 ซึ่งจุดที่ 2 Pyrolysis zone อุณหภูมิอยู่ประมาณ 400°C แต่ที่ความเร็วเครื่องยนต์ 700-900 rpm กลับต่ำเพียงประมาณ 300°C ซึ่งเป็นไปได้ว่าปริมาณอากาศที่เข้าเตามาก (รูปที่ 14) ทำให้ความร้อนที่ Combustion zone ลดลง และอุณหภูมิของแก๊สเข้าเครื่องยนต์ (จุดที่ 5) มีอุณหภูมิต่ำที่ประมาณ 35 °C ซึ่งใกล้เคียงกับอุณหภูมิของอากาศภายนอก



รูปที่ 16 อุณหภูมิของเตาโพรดิวเซอร์แก๊ส

การอภิปรายผล

จากวัตถุประสงค์ของงานวิจัย เพื่อเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองของเครื่องยนต์ระหว่างใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวมวลหรือโพรดิวเซอร์แก๊ส ผลการทดลองเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ดีเซล 1 สูบ 4 จังหวะโดยเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองระหว่างน้ำมันดีเซลกับน้ำมันดีเซลร่วมกับแก๊สโพรดิวเซอร์ พบว่าเตาโพรดิวเซอร์แก๊สที่ใช้ถ่านไม้เป็นวัตถุดิบในการผลิตแก๊สสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงร่วมได้ดีในทุกความเร็วรอบของเครื่องยนต์ในการทดลอง โดยเฉพาะที่ความเร็วรอบต่ำสามารถประหยัดเชื้อเพลิงดีเซลได้สูงที่สุด ที่ 178 ml/hr (ที่ 900 rpm) ซึ่งสามารถลดการใช้น้ำมันดีเซลลงถึง 53% แต่อย่างไรก็ตามการประหยัดเชื้อเพลิงดีเซลจาการใช้เชื้อเพลิงร่วมต่ำสุดก็ยังมีค่าสูง 72 ml/hr (ที่ 1,200 rpm) ลดการใช้น้ำมันดีเซลลงได้ 14% สาเหตุที่สรุปได้เกิดจากขนาดเตาที่ผลิตแก๊สได้ไม่ทันเนื่องจากอากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้เตาสูงมากที่รอบเครื่องยนต์สูงขึ้น

ส่วนของการลดมลพิษเฉพาะส่วนของควันดำ การใช้เชื้อเพลิงร่วมสามารถลดควันดำได้ลงมากจาก 45% เป็น 38% คิดเป็นร้อยละ 84 ที่อัตราเร่งสูงสุดของเครื่องยนต์ซึ่งจากผลและวิธีการวัดควันดำจะวัดที่อัตราเร่งสูงสุดของเครื่องเท่านั้น แต่หากเทียบกับที่ความเร็วรอบต่ำได้ปริมาณควันดำก็จะลดลงมากเมื่อพิจารณาจากการใช้เชื้อเพลิงดีเซลที่ลดลง

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ตลอดจนถึง เครื่องมือต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิจัยให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้

เอกสารอ้างอิง

กรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2566). สถานการณ์การใช้น้ำมันเชื้อเพลิงไตรมาส 1 ของปี 2566 และทิศทางการดำเนินงานในอนาคต. ค้นเมื่อ 1 กรกฎาคม 2566. https://www.doeb.go.th/news_activity/2519.pdf

จิระพงษ์ กวนกระโทก, ไมตรี พลสงคราม, อมรทัศน์ จั่วแจ่มใส และปรีชา ขันติโกมล. (2557). การศึกษาการผลิตแก๊สจากเศษชีวมวลโดยใช้เตาผลิตแก๊สชนิดไหลลงขนาดเล็ก. ใน การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 28. 15-17 ตุลาคม 2557. จังหวัดขอนแก่น. 99-104.

ปรีชา ขันติโกมล, จิระพงษ์ กวนกระโทก, อมรทัศน์ จิ๋วแจ่มใส และไมตรี พลสงคราม. (2558) การใช้แก๊สชีวมวลกับเครื่องยนต์เล็กทางการเกษตรขนาด 9 แรงม้า. วารสาร มทร.อีสาน ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 8(2): 1-11.

ธนกร หอมจำปา, วุฒิชัย สิทธิวงษ์ และสอนรินทร์ เรืองปรัชญากุล. (2560). อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์เพื่อสูบน้ำ. ใน การประชุมวิชาการระดับชาติ ราชมงคลสุรินทร์วิชาการ ครั้งที่ 9 “วิจัยจากองค์ความรู้สู่การพัฒนาอย่างยั่งยืน 2017” 25-26 ธันวาคม 2560. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน. สุรินทร์. B842-B847.

สอนรินทร์ เรืองปรัชญากุล, วุฒิชัย สิทธิวงษ์, ธนกร หอมจำปา และวัฒนา ภารัตนวงศ์. (2560). เชื้อเพลิงร่วมระหว่างน้ำมันดีเซลกับก๊าซชีวมวล. ใน การประชุมวิชาการระดับชาติ ราชมงคลสุรินทร์วิชาการ ครั้งที่ 9 “วิจัยจากองค์ความรู้สู่การพัฒนาอย่างยั่งยืน 2017”. 25-26 ธันวาคม 2560. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน. สุรินทร์. B918-B924.

Uma R., Kandpal T.C. and Kishore V.V.N. (2004). Emission characteristics of an electricity generation system in diesel alone and dual fuel mode. Biomass and Bio energy. 27(2): 195-203.

วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี | Agriculture and Technology Journal

ปีที่ 4 ฉบับที่ 3 กันยายน - ธันวาคม 2566 | Vol.4 No.3 September – December 2023

Received: June 22, 2023; Revised: September 18, 2023; Accepted: October 3, 2023

ความสามารถในการกระจายและเพิ่มออกซิเจนในน้ำของกังหันน้ำกรณีศึกษาน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการบำบัดแล้วในโรงพยาบาล

The ability of distribution and increase to dissolved oxygen of water aerator case study: effluent water in the hospital

ฐิตินันท์ ป้องนาม[1*] คุณาธิป รวิวรรณ[2] และจักรพันธ์ สินโคกสูง[3]

Thitinun Pongnam[1*], Kunatip Raviwan[2] and Jakkapan Sinkoksung[3]

[1]คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น

[1]Faculty of Technical Education, Rajamangala University of Technology Khon Kaen Campus, Khon Kaen Province

[2]คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดขอนแก่น

[2]Faculty of Engineering, NorthEastern University, Khon Kaen Province

[3]แขวงทางหลวงขอนแก่นที่ 1 สำนักงานทางหลวงที่ 7 จังหวัดขอนแก่น

[3]Khon Kaen 1 Highway District, Office of Highways 7, Khon Kaen Province

[*]Corresponding Author E-mail Address : Beeronze@gmail.com

บทคัดย่อ

การศึกษาความสามารถในการกระจายและเพิ่มออกซิเจนในน้ำของกังหันน้ำกรณีศึกษาน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการบำบัดแล้วในโรงพยาบาล เป็นการทดสอบหาความสามารถในการเพิ่มและกระจายค่าความสามารถในการเพิ่มออกซิเจน (DO) ของบ่อทดสอบในโรงพยาบาล โดยทำการทดสอบหาปริมาณค่า DO ในแนวราบห่างออกจากตัวเครื่องทั้งหมด 9 จุด และแนวดิ่งในความลึกทุก ๆ 10 เซนติเมตร จนกระทั่งไม่พบค่า DO ที่ 7, 15 และ 30 วัน เพื่อหาความสามารถในการเพิ่มและกระจายค่า DO ของกังหันเติมอากาศโดยใช้กังหันเติมอากาศแบบอาศัยพลังงานแสงอาทิตย์ ในจุดต่าง ๆ จากการทดสอบพบว่าค่า DO ในน้ำของพื้นที่ทดสอบก่อนที่จะทำการติดตั้งกังหันน้ำนั้นที่ความลึก 0, 30, 40, 50 และ 60 เซนติเมตร มีค่า DO เท่ากับ 6.99, 5.09, 3.57, 0.84 และ 0.09 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ เมื่อทำการติดตั้งกังหันน้ำ พบว่า DO ในจุดที่ 4 มีค่าสูงสุดคือ 9.10 มิลลิกรัม/ลิตร โดยที่ 7, 15 และ 30 วัน จุดที่ 4 สามารถเพิ่มค่า DO ได้เท่ากับ 49%, 65% และ 83% ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบในระดับความลึกเดียวกันประสิทธิภาพในการเพิ่มค่า DO ต่ำสุด คือจุดที่ 3 และ 9 โดยสามารถเพิ่มค่า DO ได้เฉลี่ยเท่ากับ 30%, 37% และ 46% ที่ 7, 15 และ 30 วัน ตามลำดับ เนื่องจากการกระจายของน้ำลดลง ดังนั้นหากมีการทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของกังหันเติมอากาศอาจจะทำให้ลดข้อจำกัดของการกระจายของน้ำได้

คำสำคัญ: พลังงานแสงอาทิตย์ ค่าออกซิเจนที่ละลาย กังหันน้ำเติมอากาศ น้ำทิ้ง การพัฒนาแหล่งน้ำ

Abstract

The ability of distribution and increase to dissolved oxygen (DO) of water aerator in the hospital effluent pond which this experiment was perform to quantify of DO every 10 cm of depth until the DO was not found in the horizontal of 9 checkpoint at 7, 15 and 30 days, for determine the ability of distribution and increase the DO by using the energy-saving aerator. The result showed that the average of DO in wastewater before treatment by using solar energy aerator in 0 (surface), 30, 40, 50 and 60 cm from the surface were 6.99, 5.09, 3.57, 0.84 and 0.09 mg/L, respectively. When using solar energy aerator, result shown that at point number 4 the DO was maximum increase as 9.10 mg/L and the DO was increase 49%, 65% and 83% when installation the aerator 7, 15 and 30 days, respectively. When comparison between the same depth point the result shown that, at point number 3 and 9 were minimum of DO, with an average increase of DO were 30%, 37% and 46% at 7, 15 and 30 days, respectively, as a water distribution was decreased. Therefore, if the energy-saving aerator can movement, it may reduce the limitation of the water distribution.

Keywords: Solar energy, Dissolved oxygen, Aerator, Wastewater, Water resource development

บทนำ

น้ำเป็นทรัพยากรที่สำคัญในการดำรงชีวิตของมนุษย์ สัตว์ และสิ่งแวดล้อม ซึ่งน้ำนับเป็นทรัพยากรธรรมชาติ ที่สำคัญอย่างหนึ่งต่อการพัฒนาเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม เช่น การชลประทาน การประมง การสาธารณูปโภค การอุตสาหกรรมและการคมนาคม จากการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วในการพัฒนาด้านเศรษฐกิจและสังคม การขยายตัวของภาคการเกษตรและอุตสาหกรรม รวมถึงการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ ทำให้มีความต้องการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรน้ำเพิ่มขึ้น โดยมีการประมาณการว่าในปี พ.ศ. 2590 ประชากรโลกจะเพิ่มขึ้นเป็น 9.2 พันล้านคน (อัศน์อุไร, 2554) โดยในปัจจุบันปัญหาสิ่งแวดล้อมนับวันจะทวีความสำคัญขึ้นทุกขณะและจะส่งผลกระทบโดยตรงกับมนุษย์และสิ่งมีชีวิตทั้งหมด โดยมนุษย์เป็นผู้นำทรัพยากรธรรมชาติต่าง ๆ มาใช้ประโยชน์อย่างมากมายและไม่คำนึงถึงผลกระทบที่จะตามมา ผลกระทบที่เกิดขึ้นสามารถแบ่งออกได้เป็นสองส่วนใหญ่ ๆ คือ ผลกระทบที่เกี่ยวกับทรัพยากรธรรมชาติที่จะลดลงหรือหมดไปและผลกระทบอันเกิดจากมลพิษที่เกิดขึ้นจากการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ (สันทัด, 2557) ซึ่งคุณภาพของแม่น้ำลำคลองและแหล่งน้ำตามธรรมชาติอื่น ๆ มีแนวโน้มเสื่อมโทรมลงมีความสกปรกมากขึ้น มีขยะปะปนบางแห่งมีกลิ่นเน่าเหม็นมีสีดำ เหล่านี้ล้วนแต่เป็นผลที่เกิดจากสิ่งสกปรกลงสู่แหล่งน้ำ (จิระพล, 2557) โดยสารอินทรีย์ที่เกิดจากมนุษย์ทั้งสารอินทรีย์จากการขับถ่าย ชำระร่างกายจากแหล่งชุมชน รวมทั้งสารเคมีที่ได้จากกิจกรรมทางการเกษตร และอุตสาหกรรม เช่น สารเคมีกำจัดสัตรูพืชและปุ๋ย โดยน้ำเสียจากชุมชนมีปริมาณความเข้มของสารอินทรีย์ปนเปื้อนสูงที่สุด เมื่อเทียบกับสารอินทรีย์จากแหล่งอื่น ๆ (ทินพันธุ์, 2558) กระบวนการการแก้ปัญหาน้ำเสียที่เกิดขึ้นทั้งในภาคเกษตรกรรมอุตสาหกรรม และครัวเรือน มีทั้งการใช้สารเคมี กระบวนการทางชีวภาพ การเติมน้ำหมักชีวภาพหรืออีเอ็มและการใช้เครื่องเติมอากาศ ซึ่งการใช้เครื่องเติมอากาศเพื่อบำบัดน้ำเสียเป็นวิธีการที่มีราคาถูก อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มออกซิเจนในน้ำส่งผลให้สัตว์น้ำสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ โดยเฉพาะในแหล่งน้ำที่มีปริมาณสารอินทรีย์อยู่มากย่อมมีการใช้ออกซิเจนมากขึ้น การเติมออกซิเจนในน้ำช่วยให้จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้เร็วขึ้นกว่าการปล่อยให้ย่อยสลายตามธรรมชาติ ทำให้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อเติมอากาศสามารถบำบัดน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถลดปริมาณ

ความสกปรกของน้ำเสียในรูปของค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand; BOD) ได้ร้อยละ 80–95 โดยอาศัยหลักการทำงานของจุลินทรีย์ภายใต้สภาวะแอโรบิก (สันทัด, 2563) แต่เครื่องเติมอากาศบางประเภทจำเป็นต้องใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำงานของมอเตอร์ซึ่งทำให้เกิดค่าใช้จ่ายและไม่สามารถนำไปใช้ในพื้นที่ห่างไกลได้ การนำพลังงานทดแทนที่เป็นขุมทรัพย์ของพลังงานอันบริสุทธิ์มาผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อใช้ขับมอเตอร์ จึงเป็นวิธีการที่ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายกระจายไปในทุก ๆ ภาคส่วนโดยเฉพาะการเกษตรและการอุตสาหกรรม ที่สำคัญยังเป็นพลังงานที่เกิดใหม่ได้ไม่มีที่สิ้นสุด พลังงานหมุนเวียนที่มีศักยภาพสูงและพลังงานสะอาดไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม นับเป็นพลังงานหมุนเวียนที่มีศักยภาพต่อประเทศไทยเป็นอย่างมาก (มณฑล และคณะ, 2559) ปัจจุบันมีการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาประยุกต์ใช้ประโยชน์แตกต่างกันออกไปหลายรูปแบบ ภาครัฐเองได้ส่งเสริมและมีมาตรการสนับสนุนให้มีการนำพลังงานนี้มาใช้ประโยชน์ตลอดจนมีการวิจัยและพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์อย่างต่อเนื่อง (ธนิท และคณะ, 2559) จากการศึกษาการใช้ประโยชน์จากพลังงานสะอาดนั้นสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในกิจการหลายประเภทเช่น ครัวเรือน โรงงานอุตสาหกรรม และการเกษตร นอกจากนี้การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ร่วมกับการบำบัดน้ำทิ้งนั้นก็เป็นการประยุกต์ใช้พลังงานสะอาดเพื่อเพิ่มคุณภาพของน้ำทิ้งก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติ โดยกังหันเติมอากาศที่ใช้แผงโซล่าเซลล์ ขนาด 280 วัตต์ 3 แผง และมอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า สามารถเพิ่มปริมาณออกซิเจนที่ระดับความลึกจากผิวน้ำ 0.5 เมตร ได้ 6.21 มิลลิกรัม/ลิตร และที่ระดับความลึกจากผิวน้ำ 1 เมตร สามารถเพิ่มปริมาณออกซิเจนเฉลี่ย 3.07 มิลลิกรัม/ลิตร (นรภัทร และชวิศร, 2559)

การศึกษาครั้งนี้ได้มีการศึกษาความสามารถในการกระจายและเพิ่มออกซิเจนในน้ำของกังหันน้ำพลังงานแสงอาทิตย์แสงอาทิตย์ 12 โวลต์ 170 วัตต์ 8 ก้านใบพัด โดยไม่อาศัยแบตเตอรี่จากศูนย์อาสาบรรเทาภัยอันเกิดจากน้ำ สำนักงานก่อสร้างชลประทานขนาดเล็ก กรมชลประทานที่ 6 ที่ติดตั้งในบ่อทิ้งของโรงพยาบาล มีขนาด กว้าง 8 เมตร ยาว 35 เมตร ลึก 1.50 เมตร เพื่อหาความสามารถในการเพิ่มและกระจายค่า DO (Dissolved oxygen) ของกังหันเติมอากาศในจุดต่าง ๆ ในแนวราบห่างออกจากตัวเครื่องทั้งหมด 9 จุด และแนวดิ่งในความลึกทุก ๆ 10 เซนติเมตร จนกระทั่งไม่พบค่า DO ที่ 7, 15 และ 30 วัน เพื่อหาจุดและตำแหน่งที่พบปริมาณ DO สูงที่สุด โดยทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ Paired sample t-test เพื่อนำมาหาความแตกต่างของค่า DO ของน้ำเสียก่อนและหลังติดตั้งกังหันน้ำ และ Independent samples t-test เพื่อหาความแตกต่างของประสิทธิภาพในการเพิ่มค่า DO ของกังหันเมื่อทำการเพิ่มเวลาและความลึกในจุดที่แตกต่างกัน ซึ่งค่ามาตรฐานของน้ำที่มีคุณภาพดีโดยทั่วไปจะมีค่า DO ประมาณ 5-8 มิลลิกรัม/ลิตร น้ำเสียจะมีค่า DO ต่ำกว่า 3 มิลลิกรัม/ลิตร

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

การศึกษาความสามารถในการเพิ่มปริมาณ DO ของกังหันน้ำพลังงานแสงอาทิตย์มีอุปกรณ์และวิธีการดำเนินการดังนี้

1.อุปกรณ์

กังหันน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 12 โวลต์ 170 วัตต์ 8 ก้านใบพัด (รูปที่ 1) โดยอาศัยแบตเตอรี่ แบบจากศูนย์อาสาบรรเทาภัยอันเกิดจากน้ำ สำนักงานก่อสร้างชลประทานขนาดเล็ก กรมชลประทานที่ 6 ที่ติดตั้งในบ่อทิ้งน้ำที่มีขนาดกว้าง 8 เมตร ยาว 35 เมตร ลึก 1.50 เมตร (รูปที่ 2) และจุดเก็บข้อมูลค่า DO (รูปที่ 3)

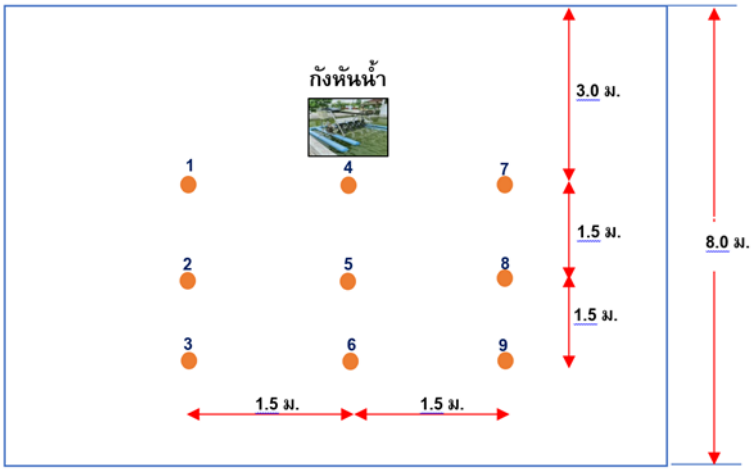
รูปที่ 1 ใบพัดของกังหันน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

รูปที่ 2 กังหันน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบของสำนักงานก่อสร้างชลประทานขนาดเล็ก กรมชลประทานที่ 6

2.วิธีดำเนินการวิจัยและเก็บข้อมูล

2.1 การเก็บข้อมูล

กำหนดจุดเก็บข้อมูลทั้งแนวราบและแนวดิ่ง โดยให้ห่างจากตัวเครื่องกังหันเติมอากาศในแนวราบกระจายออกไปด้านหน้าใบพัดทั้งหมด 9 จุด และแนวดิ่งในความลึกทุก ๆ 10 เซนติเมตรจนกระทั่งไม่พบค่า DO (รูปที่ 3) และทำการดำเนินการเก็บข้อมูลที่ 7, 15 และ 30 วัน โดยทำการทดสอบตรวจวัดค่า DO ทั้งก่อนและหลังบำบัดโดย ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ ในช่วงเวลาระหว่าง 9.00-11.00 น. เนื่องจากอุณหภูมิส่งผลต่อความสามารถในการละลายของออกซิเจนในน้ำโดยปริมาณ DO จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิแม้ว่าตัวอย่างจะมีความเข้มข้นคงที่ของออกซิเจนที่ละลายน้ำก็ตาม เมื่ออุณหภูมิของน้ำลดลงค่า DO จะเพิ่มขึ้น (Jan et al., 2014)



รูปที่ 3 จุดที่ทำการวัดปริมาณค่าออกซิเจน

2.2 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ Paired sample t-test เพื่อนำมาหาความแตกต่างของค่า DO ของน้ำเสียก่อนและหลังติดตั้งกังหันน้ำ

ผลการวิจัย

1. ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

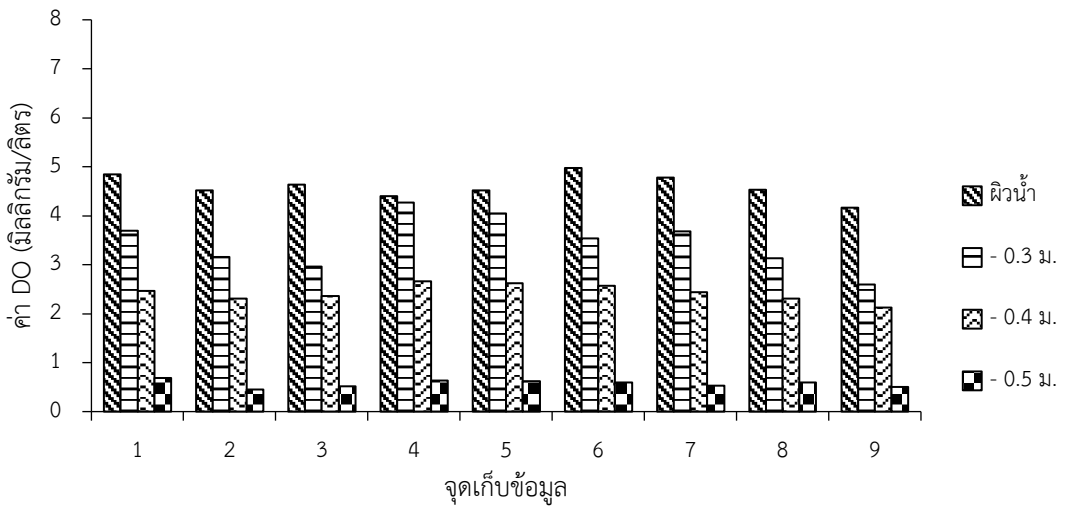
ค่า DO ของน้ำทิ้งก่อนและหลังการติดตั้งเมื่อนำมาวิเคราะห์โดยใช้ Paired sample t-test พบว่า ความแตกต่างของค่า DO ของน้ำทิ้งก่อนและหลังติดตั้งกังหันน้ำในความลึกที่ 0, 0.3, 0.4, 0.5 และ 0.7 เมตร มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เว้นแต่ที่ความลึก 0.6 เมตร ที่ 7 วัน ไม่มีความแตกต่างกันเนื่องจากค่า DO ในบางจุดไม่เปลี่ยนแปลงดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบค่า DO ของน้ำทิ้งในโรงพยาบาลก่อนและหลังติดตั้งกังหันน้ำ

จุดที่เก็บข้อมูล	DO ก่อนติดตั้ง (มก./ล.)	DO หลังการติดตั้ง (มก./ล.)			ค่าสถิติ					
	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย			t			*p*-value		
		7 วัน	15 วัน	30 วัน	7 วัน	15 วัน	30 วัน	7 วัน	15 วัน	30 วัน
ผิวน้ำ (0 ม.)	4.60	6.46	6.99	8.21	9.45	8.08	19.29	0.000013	0.000041	0.000000
ลึก 0.3 ม.	3.32	4.68	5.09	5.99	7.48	6.67	12.69	0.000071	0.000158	0.000001
ลึก 0.4 ม.	2.35	3.29	3.57	5.34	9.48	8.08	25.14	0.000013	0.000040	0.000000
ลึก 0.5 ม.	0.55	0.81	0.84	2.16	7.64	5.45	9.45	0.000061	0.000609	0.000013
ลึก 0.6 ม.	0.04	0.07	0.09	1.23	2.10	2.82	11.17	0.068562	0.022579	0.000004
ลึก 0.7 ม.	0.00	0.00	0.00	0.11	-	-	1.86	-	-	0.011846

2. ผลการทดสอบตรวจวัดค่า DO ก่อนติดเครื่องกังหันพลังงานแสงอาทิตย์

จากการตรวจสอบค่า DO ในบ่อทดสอบก่อนการติดเครื่องกังหันพลังงานแสงอาทิตย์ได้ผลการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 4

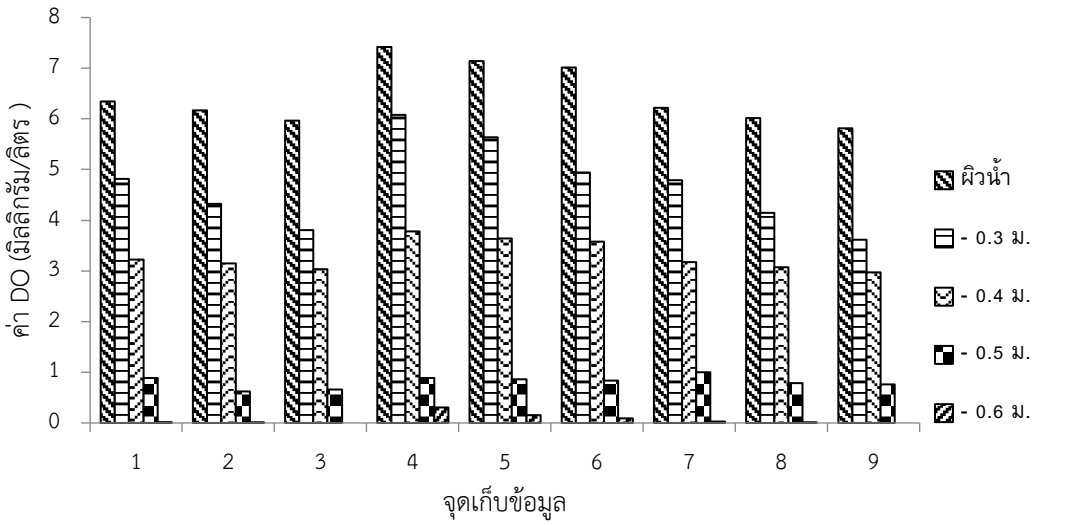


รูปที่ 4 ค่า DO ในบ่อทดสอบก่อนการติดตั้งกังหันพลังงานแสงอาทิตย์

จากรูปที่ 4 การทดสอบหาค่า DO ก่อนทำการติดเครื่อง พบว่า ที่ระดับผิวน้ำมีค่าออกซิเจนอยู่ในช่วง 4.17–4.98 มิลลิกรัม/ลิตร ที่ระดับ 0.30 เมตร มีค่าออกซิเจนอยู่ในช่วง 2.59–3.69 มิลลิกรัม/ลิตร ที่ระดับ 0.40 เมตร มีค่าออกซิเจนอยู่ในช่วง 2.13-2.54 มิลลิกรัม/ลิตร และที่ระดับ 0.50 เมตรมีค่าออกซิเจนอยู่ในช่วง 0.45–0.60 มิลลิกรัม/ลิตร โดยค่า DO จะลดลงเมื่อระดับความลึกเพิ่มมากขึ้นจนถึงระดับที่ไม่สามารถอ่านค่า DO ได้ (ลึกกว่า 0.60 เมตร)

3. ผลการทดสอบตรวจวัดค่า DO หลังติดเครื่องกังหันพลังงานแสงอาทิตย์ 7 วัน

จากการตรวจสอบค่า DO ในบ่อทดสอบหลังการติดเครื่องกังหันพลังงานแสงอาทิตย์ครบ 7 วัน ได้ผลการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 5

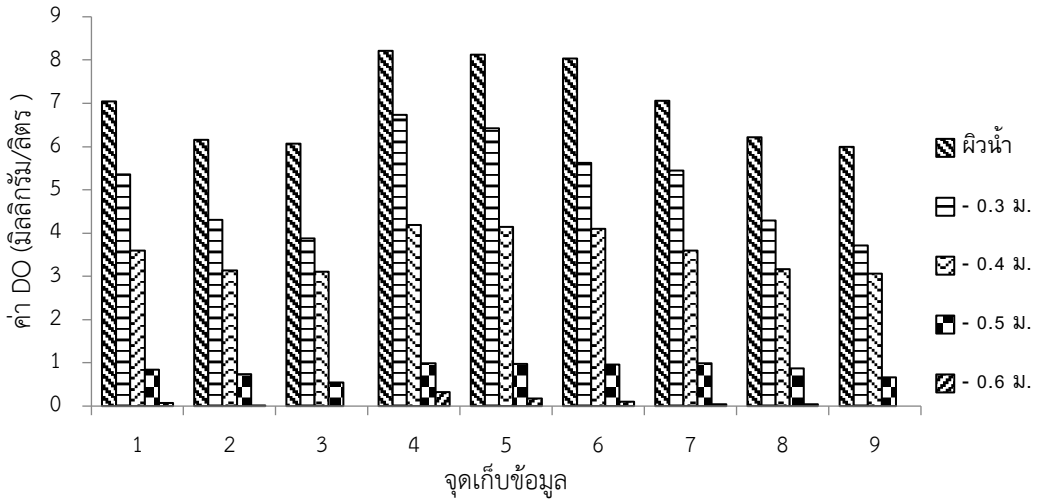


รูปที่ 5 ค่า DO เมื่อครบ 7 วัน

จากรูปที่ 5 การทดสอบหาค่า DO หลังจากการติดเครื่องกังหันน้ำเติมอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ 7 วัน พบว่า ที่ระดับผิวน้ำมีค่าออกซิเจนอยู่ในช่วง 5.82–7.42 มิลลิกรัม/ลิตร ที่ระดับ 0.30 เมตร มีค่าออกซิเจนอยู่ในช่วง 3.61–6.08 มิลลิกรัม/ลิตร ที่ระดับ 0.40 เมตร มีค่าออกซิเจนอยู่ในช่วง 2.97–3.78 มิลลิกรัม/ลิตร ที่ระดับ 0.50 เมตร มีค่าออกซิเจนอยู่ในช่วง 0.62–1.00 มิลลิกรัม/ลิตร และที่ระดับ 0.60 เมตร มีค่าออกซิเจนอยู่ในช่วง 0.00–0.30 มิลลิกรัม/ลิตร โดยที่ค่าออกซิเจนสูงสุดอยู่ที่ 7.42 มิลลิกรัม/ลิตร ในจุดที่ 4 (รูปที่ 3) ที่ระดับผิวน้ำ ซึ่งมีค่าเพิ่มมากขึ้นจากเดิม 49 เปอร์เซ็นต์ โดยค่า DO จะลดลงเมื่อระดับความลึกเพิ่มมากขึ้นจนถึงระดับที่ไม่สามารถอ่านค่า DO ได้ (ลึกกว่า 0.70 เมตร)

4. ผลการทดสอบตรวจวัดค่า DOหลังติดเครื่องกังหันพลังงานแสงอาทิตย์ 15 วัน

จากการตรวจสอบค่า DO ในบ่อทดสอบหลังการติดเครื่องกังหันพลังงานแสงอาทิตย์ครบ 14 วัน ได้ผลการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 6

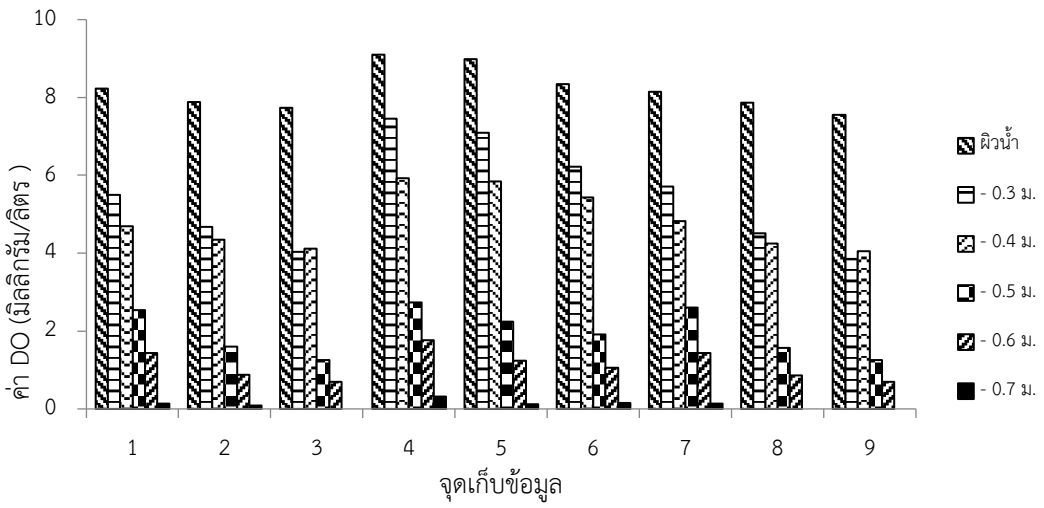


รูปที่ 6 ค่า DO เมื่อครบ 15 วัน

จากรูปที่ 6 การทดสอบหาค่า DO หลังจากการติดเครื่องกังหันน้ำเติมอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ 15 วัน พบว่า ที่ระดับผิวน้ำมีค่าออกซิเจนอยู่ในช่วง 6.00–8.22 มิลลิกรัม/ลิตร ที่ระดับ 0.30 เมตร มีค่าออกซิเจนอยู่ในช่วง 3.72–6.74 มิลลิกรัม/ลิตร ที่ระดับ 0.40 เมตร มีค่าออกซิเจนอยู่ในช่วง 3.06–4.19 มิลลิกรัม/ลิตร ที่ระดับ 0.50 เมตร มีค่าออกซิเจนอยู่ในช่วง 0.55–0.99 มิลลิกรัม/ลิตร และที่ระดับ 0.60 เมตรมีค่าออกซิเจนอยู่ในช่วง 0.00–0.33 มิลลิกรัม/ลิตร โดยที่ค่าออกซิเจนสูงสุดอยู่ที่ 8.22 มิลลิกรัม/ลิตร ในจุดที่ 4 (รูปที่ 3) ที่ระดับผิวน้ำ ซึ่งมีค่าเพิ่มมากขึ้นจากเดิม 65 เปอร์เซ็นต์ โดยค่า DO จะลดลงเมื่อระดับความลึกเพิ่มมากขึ้นจนถึงระดับที่ไม่สามารถอ่านค่า DO ได้ (ลึกกว่า 0.70 เมตร)

5. ผลการทดสอบตรวจวัดค่า DO หลังติดเครื่องกังหันพลังงานแสงอาทิตย์ 30 วัน

จากการตรวจสอบค่า DO ในบ่อทดสอบหลังการติดเครื่องกังหันพลังงานแสงอาทิตย์ครบ 30 วัน ได้ผลการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 7

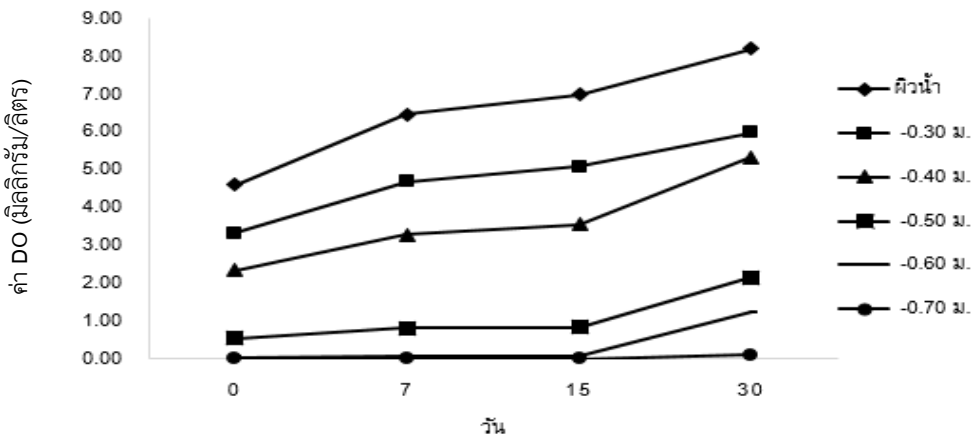


รูปที่ 7 ค่า DO เมื่อครบ 30 วัน

จากรูปที่ 7 การทดสอบหาค่า DO หลังจากการติดเครื่องเครื่องกังหันน้ำเติมอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ 30 วัน พบว่าที่ระดับผิวน้ำมีค่าออกซิเจนอยู่ในช่วง 7.55–9.10 มิลลิกรัม/ลิตร ที่ระดับ 0.30 เมตร มีค่าออกซิเจนอยู่ในช่วง 4.68–7.46 มิลลิกรัม/ลิตร ที่ระดับ 0.40 เมตร มีค่าออกซิเจนอยู่ในช่วง 4.91–5.92 มิลลิกรัม/ลิตร ที่ระดับ 0.50 เมตร มีค่าออกซิเจนอยู่ในช่วง 1.51–2.73 มิลลิกรัม/ลิตร ที่ระดับ 0.60 เมตร มีค่าออกซิเจนอยู่ในช่วง 0.83–1.77 มิลลิกรัม/ลิตร และที่ระดับ 0.70 เมตร มีค่าออกซิเจนอยู่ในช่วง 0.00–0.32 มิลลิกรัม/ลิตร โดยที่ค่าออกซิเจนสูงสุดอยู่ที่ 9.10 มิลลิกรัม/ลิตร ในจุดที่ 4 (รูปที่ 3) ที่ระดับผิวน้ำ ซึ่งมีค่าเพิ่มมากขึ้นจากเดิม 83 เปอร์เซ็นต์ โดยค่า DO จะลดลงเมื่อระดับความลึกเพิ่มมากขึ้นจนถึงระดับที่ไม่สามารถอ่านค่า DO ได้ (ลึกกว่า 0.80 เมตร)

6. ผลการทดสอบตรวจวัดค่า DO สูงสุดในแต่ละวัน

จากการทดสอบหาค่า DO หลังจากการติดเครื่องกังหันน้ำเติมอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ได้ผลสรุปค่า DO สูงสุดในแต่ละวันได้ผลดังแสดงใน รูปที่ 8



รูปที่ 8 ค่า DO สูงสุดในแต่ละวัน

จากรูปที่ 8 การทดสอบหาค่า DO โดยการเก็บตัวอย่างน้ำที่ 0, 7, 15 และ 30 วัน พบว่ามีค่า DO หลังจากได้รับการบำบัดด้วยเครื่องกังหันน้ำพลังงานแสงอาทิตย์มีค่าสูงขึ้นตามเวลาที่ทำการทดสอบ โดยที่ระดับผิวน้ำมีค่าเฉลี่ยสูงสุดและจะลดลงเมื่อระดับความลึกเพิ่มขึ้น

การอภิปรายผล

จากผลการทดสอบกังหันน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบ แบบ 8 ก้านใบพัดสามารถเพิ่มออกซิเจนได้ถึง 83 เปอร์เซ็นต์ ใน 30 วันซึ่งค่าเฉลี่ยของปริมาณ DO ในน้ำทั้ง 9 จุดที่ความลึก 0, 30, 40, 50, 60 และ 70 เซนติเมตร จากผลการศึกษาของ อุทัย และคณะ (2562) พบว่าอุปกรณ์เติมอากาศในน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ทำให้ค่า DO ในบ่อน้ำเสียมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามระยะเวลา รวมทั้งปริมาณพลังงานจากแสงอาทิตย์ต้องมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 30 - 35 องศาเซลเซียส และเมื่อทำการติดตั้งกังหันน้ำครบ 30 วัน ค่า DO ลดลงตามความลึกที่เพิ่มขึ้นคือ 8.21, 5.99, 5.33, 2.16, 1.23 และ 0.11 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ จากงานวิจัยของ ชัยยงค์ และคณะ (2563) ได้ทำการทดสอบเปรียบเทียบใบพัดของกังหันแบบ 6 และ 8 ใบพัด พบว่า กังหันเติมอากาศแบบ 6 ใบพัดสามารถเติมออกซิเจนในน้ำได้ดีกว่าแบบ 8 ก้านใบพัด ทั้งปริมาณการใช้กระแสในการทำงานของมอเตอร์ต่ำกว่า ความเร็วรอบที่สูงกว่า และปริมาณการเติมออกซิเจนในน้ำที่ดีกว่า โดยที่ 6 และ 8 ใบพัดได้ค่า DO เฉลี่ยเท่ากับ 3.33 และ 3.20 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ เนื่องจากแบบ 6 ใบพัดมีแรงเสียดทานระหว่างใบพัดกับผิวน้ำน้อยกว่าทำให้มีความเร็วรอบเฉลี่ยสูง โดยกังหันน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบที่ทำการทดสอบในครั้งนี้เป็นแบบ 8 ใบพัดสามารถเพิ่มค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำให้มีค่า มากกว่า 3 มิลลิกรัม/ลิตร ที่ระดับไม่เกิน 40 เซนติเมตรจากผิวน้ำ (ค่า DO หากน้ำที่มีคุณภาพต่ำเป็นน้ำเสียจะมีค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำต่ำกว่า 3 มิลลิกรัมต่อลิตร) และเมื่อพิจารณาจุดติดตั้งจะเห็นได้ว่ากังหันน้ำสามารถกระจายค่าออกซิเจนได้ดีในทิศทางตรง โดยตำแหน่งที่ดีที่สุดคือ ตำแหน่งที่ติดกับตัวเครื่องส่วนตำแหน่งที่สามารถเพิ่มค่าออกซิเจนได้ต่ำสุดจะเป็นตำแหน่งที่ระยะห่างจากตัวเครื่อง 1.50×3.00 เมตร เมื่อทำการเปรียบเทียบที่ระดับเดียวกันเนื่องจากการกระจายของน้ำลดลง ซึ่งในงานวิจัยของ นรภัทร และชวิศร (2559) ประสิทธิภาพของกังหันพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีกำลังของมอเตอร์ 1 แรงม้า ใช้แผงโซลาเซลล์ 280 วัตต์ 3 แผง ในตำแหน่งด้านหน้าและหลังมีปริมาณออกซิเจนสูงสุดส่วนด้านข้างสวนด้านของกังหันมีปริมาณออกซิเจนต่ำลงมาเนื่องจากไม่มีการกระจายน้ำเช่นกัน ซึ่งจำเป็นต้องมีการเพิ่มงบประมาณในการควรมีการปรับปรุงการเพิ่มเติมอากาศในส่วนด้านข้างของกังหันและได้มีข้อเสนอแนะให้เพิ่มระบบปั๊มน้ำอัดอากาศใต้น้ำโดยใช้พลังงานไฟฟ้าจากโซลาเซลล์หรือออกแบบระบบการเคลื่อนที่ของกังหันรอบบริเวณแหล่งน้ำที่ต้องการเติมอากาศ เพื่อให้สามารถเติมอากาศได้ทั่วถึง

บทสรุป

จากการทดสอบพบว่าความสามารถในการเพิ่มและกระจายค่า DO ของพื้นที่ทดสอบก่อนที่จะทำการติดตั้งกังหันน้ำพบค่า DO เฉลี่ยในบ่อน้ำมีแนวโน้มลดลงตามความลึกที่เพิ่มขึ้นโดยที่ระดับความลึก 60 เซนติเมตร เริ่มตรวจไม่พบค่า DO เมื่อติดเครื่องกังหันเพื่อทำการทดสอบพบว่าประสิทธิภาพของกังหันน้ำสามารถเพิ่มค่า DO ให้มีแนวโน้มที่สูงขึ้นตามจำนวนวันที่ทำการทดสอบเพิ่มขึ้น ซึ่งที่ระดับผิวน้ำในจุดที่ 4 พบค่า DO สูงสุดคือ 9.10 มิลลิกรัม/ลิตร โดยสามารถเพิ่มค่า DO ได้เท่ากับ 49, 65 และ 83 เปอร์เซ็นต์ ใน 7, 15 และ 30 วัน ตามลำดับ และในระดับความลึกเดียวกันประสิทธิภาพในการเพิ่มค่า DO ต่ำสุดคือจุดที่ 3 และ 9 โดยสามารถเพิ่มค่า DO ได้เฉลี่ยเท่ากับ 30, 37 และ 46 เปอร์เซ็นต์ ที่ 7, 15 และ 30 วัน ตามลำดับ โดยในการทดสอบของ กัลยา และคณะ (2565) ได้ใช้ใบกังหันน้ำพลาสติกเส้นผ่านศูนย์กลางโดยรวม 62 เซนติเมตร จำนวน 2 วง โดยแต่ละวงมีจำนวนใบ 6 ใบ ใช้โซล่าเซลล์ขนาด 210 วัตต์ มอเตอร์กระแสตรงแรงดันไฟฟ้า 24 โวลต์ กระแส 9.78 แอมป์

ความเร็วรอบของมอเตอร์ 307 รอบ/นาที ขนาดโดยรวมของกังหันน้ำ กว้าง 210 เซนติเมตร ยาว 158 เซนติเมตร สูง 75 เซนติเมตร เมื่อทำการทดสอบการเพิ่มออกซิเจนในบ่อพบว่า ค่าก่อนและหลังการติดตั้งมีปริมาณออกซิเจนในน้ำเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 1.33 มิลลิกรัม/ลิตร

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำงานวิจัยครั้งนี้ขอขอบคุณศูนย์บรรเทาภัยอันเกิดจากน้ำ โครงการก่อสร้างขนาดเล็ก สำนักงานชลประทานที่ 6 ขอนแก่น ที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์เพื่อทำการทดลอง ขอบคุณคณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และโรงพยาบาลค่ายศรีพัชรินทร์ มทบ.23 ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ และเวลาในการทำงานวิจัย ขอบคุณ คุณสุภัทรดิศ ราชธา และคุณภัทรพล ณ.หนองคาย ที่เอื้อเฟื้อวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ขอบคุณผู้ช่วยเก็บข้อมูลวิจัย คุณนภนต์ ชัยมงคล และคุณวีรชัย พันชัยรัตน์ ผู้จัดการ บริษัทพันชัยรัตน์วิศวกรรม

เอกสารอ้างอิง

กัลยา ธนาสินธ์, อมรรัตน์ คำบุญ, ณัฐดนัย สิงห์คลีวรรณ และสายัณ พุทธลา. (2565). กังหันน้ำเติมออกซิเจนพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับบ่อน้ำ. วารสารวิชาการเทพสตรี I-TECH. 7(2): 95-105.

จิระพล พุ่มสกุล. (2557). ปัญหาน้ำเสียจากบ้านพักอาศัยและสถานประกอบการในเขตเทศบาล ตำบลดอนหัวฬ่อ อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี. รัฐศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการเมืองการปกครอง คณะรัฐศาสตร์และนิติศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.

ชัยยงค์ เสริมผล, จิระเดช สังคะโห และพลวัฒน์ ศรีโยหะ. (2563). การพัฒนากังหันน้ำเติมอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ควบคุมผ่านสัญญาณไร้สาย. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 14(2): 173-189.

ทินพันธุ์ เนตรแพ. (2558) ชลธีวิทยา. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: กรุงเทพฯ.

ธนิท เรืองรุ่งชัยกุล, กิตติ อภิชัยไพบูลย์ และกิตติคุณ ชาติรักษา. (2559). เปรียบเทียบระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์แกนเดียว. ใน การประชุมสัมมนาวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 9 29 พฤศจิกายน–1 ธันวาคม 2559. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา (ดอยสะเก็ด). เชียงใหม่. 11-18.

นรภัทร น้อยหลุบเลา และชวิศร ปูคะภาค. (2559). การพัฒนากังหันเติมอากาศโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. 35(2): 141-149.

มณฑล ฟักเอม, เกียรติชัย บรรลุผลสกุล, กิตติศักดิ์ คงสีไพ และอภิรักษ์ ทัดสอน. (2559). ระบบให้น้ำพืชอัตโนมัติด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ กรณีศึกษาแปลงเพาะพันธุ์ข้าว. วารสารวิจัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม. 1(1): 55-66.

สันทัด ศิริอนันตไพบูลย์. (2557). ระบบบำบัดน้ำเสีย. สำนักพิมพ์ท้อป จำกัด: กรุงเทพฯ.

สันทัด ศิริอนันตไพบูลย์. (2563). น้ำเสียชุมชน. วารสารการอาชีวศึกษาภาคกลาง. 4(1): 1-10.

อุทัย ผ่องรัศมี, เสนีย์ ศิริไชย, จักรกฤษณ์ ขันทอง, ภาสกร ผ่องรัศมี และช่วงชัย ชุปวา. (2562). การออกแบบและสร้างอุปกรณ์เติมอากาศในน้ำชนิดใบพัดแบบหนามทุเรียนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์. วารสารวิทยาศาสตร์แห่งมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี. 17(2): 76-87.

อัศน์อุไร เตชะสวัสดิ์. (2554). บทบาทความรับผิดชอบของปัจเจกชนต่อการบริโภคอย่างยั่งยืน. วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย มนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์. 31(3): 150-161.

Jan S., Petr K. and Adam B. (2014). Effect of temperature on the measurement of dissolved oxygen in the package. Kvasny Prumysl. 60(1): 2-7.

วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี | Agriculture and Technology Journal

ปีที่ 4 ฉบับที่ 3 กันยายน - ธันวาคม 2566 | Vol.4 No.3 September – December 2023

Received: May 20, 2023; Revised: October 1, 2023; Accepted: October 3, 2023

การออกแบบและพัฒนาผลผลิตการปลูกข้าวด้วยระบบอินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง

Designing and developing the productivity of integrated rice planting by using internet of things

ธนพร พยอมใหม่[1*] และไมตรี ธรรมมา[1]

Tanaporn Payommai and Maithree Tumma

[1]*คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จังหวัดนครราชสีมา*

[1]*Faculty of Engineering and Technology, Rajamangala University of Technology Isan, Nakhon Ratchasima Province*

[*]*Corresponding Author E-mail Address : j_payommai@hotmail.com*

บทคัดย่อ

การศึกษาการออกแบบระบบสมาร์ทฟาร์มโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตในทุกสิ่งสำหรับการปลูกข้าวครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบนวัตกรรมการเกษตรอัจฉริยะด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตในทุกสิ่งเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตสำหรับการปลูกข้าว แปลงสาธิตที่ศูนย์วิจัยข้าว อำเภอพิมาย จังหวัดนครราชสีมา ซึ่งใช้แนวความคิดของเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตในทุกสิ่งโดยมีเซ็นเซอร์วัดค่าข้อมูลของการปลูกข้าว โดยกำหนดไว้ 3 ค่า ตามสภาพแวดล้อมและคุณภาพของดิน คือ 1) ความชื้น (Humidity), 2) ค่าทีดีเอส (TDS) และ 3) ค่าพีเอช (pH) ผลการศึกษาพบว่า การออกแบบแผนผังการเชื่อมต่ออุปกรณ์ IoT (Node MCU) กับ Arduino board และระบบเซ็นเซอร์พร้อมกับการพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ IoT สามารถใช้งานร่วมกับอุปกรณ์โมบายโฟนแอปพลิเคชันต่าง ๆ โดยสามารถรองรับการใช้งานได้ทั้งระบบปฏิบัติการ Android และสามารถแสดงข้อมูลตามค่ามาตรฐาน ดังนี้ 1) ค่า Humidity จะอยู่ในช่วง 70-100, 2) ค่า TDS น้อยกว่า 3 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร และ 3) ค่า pH ที่เหมาะสมอยู่ที่ 7-9 ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้คือ สามารถมีการจัดการน้ำที่ดีและลดต้นทุนทางด้านบุคลากร ลดเวลา สามารถทำงานและพัฒนาร่วมกับแอปพลิเคชันได้เป็นอย่างดี ส่งผลให้ข้าวน้ำหนักดีและเกษตรกรมีรายได้เพิ่มมากขึ้นต่อเดือน 12.7%

คำสำคัญ: สมาร์ทฟาร์ม อินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง เซ็นเซอร์

Abstract

The aim of this project was to develop a smart farm system for rice farming utilizing Internet of Things technologies (IoT). In Phimai District, Nakhon Ratchasima Province, this project intends to build new smart agriculture using Internet of Things technology to boost production efficiency for rice growing in demonstration plots. A sensor was used to collect data on the rice planting circumstances at the lime farm utilizing the idea of internet of things technology, and three set values were used in this study: 1) Humidity, 2) TDS value 3) pH level. According to the study's findings, IoT device connectivity can be designed using Arduino boards and sensor systems, and applications for connecting to IoT devices can also be developed includes a variety of mobile applications. The following standard values could be displayed using this with Android operating systems: 1) Humidity are between 70-100. 2) TDS is lower than 3 mS/cm. 3) The optimal pH range is between 7-9. Better water management, lower human expenses, less time spent on tasks, and the capacity to use and advance the application are the end results. Agriculture and good-weight rice have consequently raised monthly revenue by 12.7%.

Keywords: Smart farm, Internet of Thing, Sensor

บทนำ

การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการออกแบบและพัฒนาผลผลิตการปลูกข้าวแบบครบวงจรด้วยระบบอินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง ซึ่งงานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยแบบผสานวิธีระหว่างเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ โดยพื้นที่วิจัย ศูนย์การวิจัยข้าวนครราชสีมา อำเภอพิมาย จังหวัดนครราชสีมาโดยคัดเลือกแบบเจาะจง มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อเพิ่มการผลิตของภาคเกษตรให้เพิ่มขึ้นร้อยละ 20 ซึ่งภาคการเกษตรนับว่ามีความสำคัญต่อเศรษฐกิจและสังคมของประเทศไทยเป็นอย่างมากเพราะมีการจ้างงานสูงถึงกว่าร้อยละ 30 ของกำลังแรงงานทั้งประเทศ โดยเฉพาะการปลูกข้าวเพราะข้าวเป็นอาหารหลักของคนไทยและเป็นพืชเศรษฐกิจอันดับต้นๆ ซึ่งมีความสำคัญแก่ประเทศไทย โดยในปี พ.ศ. 2561 ประเทศไทยมีเนื้อที่การเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าว 64.9 ล้านไร่ มีผลผลิตข้าว 21.4 ล้านตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2562) และในปีพ.ศ. 2561 ประเทศไทยสามารถสงออกข้าวได้ถึง 11.09 ล้านตัน (สมาคมผู้ส่งออกข้าวไทย, 2562) และข้าวเป็นพืชที่ทำรายได้ให้กับประเทศอย่างมากมาตั้งแต่อดีตจนกระทั่งปัจจุบันเพราะเป็นสินค้าส่งออกที่ทำรายได้ให้แก่ประเทศเป็นมูลค่าปีละหลายพันล้านบาทและประชากรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรจำนวนหลายแสนคนทั่วประเทศ ซึ่งการปลูกข้าวถือเป็นรายได้หลักของชาวนาจังหวัดนครราชสีมาและปัญหาหลักของชาวนาในจังหวัดนครราชสีมาที่ประสบคือปัญหาขาดแคลนน้ำและดินเค็ม รวมถึงปัญหาและอุปสรรคในการทำเกษตร ดังนั้นคณะวิจัยจึงมีแนวทางการพัฒนารูปแบบการเกษตรแนวใหม่ที่มีการวางระบบการบริหารจัดการน้ำ การดูแลที่เหมาะสมผ่านเทคโนโลยี เพื่อลดเวลา โดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตในทุกสิ่งและระบบควบคุมมาประยุกต์ใช้งาน โดยนำวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสารสนเทศมาประยุกต์ใช้งานเพื่อให้เกิดความสะดวกและง่ายต่อการจัดการ โดยสามารถประมวลผลได้อย่างรวดเร็วและถูกต้องแม่นยำ (Shashwathi and Suhas, 2012) และการนำเกษตรที่ยั่งยืน สามารถเก็บข้อมูลเพื่อใช้ประโยนช์ต่อไปในอนาค (Rotchanatheeratham and

Choosumrong, 2018) ซึ่งจากการตรวจสอบความเหมาะสมหรือความเป็นไปได้ของแนวทางที่ค้นพบ จากนั้นจึงออกแบบ คิดวิเคราะห์หารูปแบบแนวทางการพัฒนาและยกระดับรูปแบบการเกษตรที่มีความเหมาะสม

การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาและยกระดับผลผลิตการปลูกข้าวแบบครบวงจรด้วยระบบอินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง โดยนำตู้ควบคุมต้นแบบไปใช้ในการปลูกข้าว เพื่อราคาคุ้มค่าต้นทุน ช่วยลดแรงงานในการดูแลรักษาและเพิ่มรายได้ของคนในอำเภอพิมาย จังหวัดนครราชสีมา ที่พบกับปัญหาด้านการทำกินบนพื้นที่ขาดน้ำและขาดความรู้ด้านการเกษตรแนวใหม่ ขาดความรู้ด้านการบริหารจัดการน้ำที่เพียงพอ โดยศึกษาจากหลักการตามแนวคิดทฤษฎีและรูปแบบการพัฒนาศักยภาพทางการเกษตร ผลการสำรวจระบบนิเวศ สภาพแวดล้อม รวมถึงปัญหาและอุปสรรคในการทำเกษตร โดยนำข้อมูลต่างๆ มาเป็นแนวทางการพัฒนารูปแบบการเกษตรแนวใหม่ที่มีการวางระบบการบริหารจัดการน้ำ การใส่ปุ๋ย การดูแลที่เหมาะสมผ่านเทคโนโลยี เพื่อลดเวลา ซึ่งจากการตรวจสอบความเหมาะสมหรือความเป็นไปได้ของแนวทางที่ค้นพบ จากนั้นจึงออกแบบ คิดวิเคราะห์หารูปแบบแนวทางการพัฒนาและยกระดับรูปแบบการเกษตรที่มีความเหมาะสมที่สุด

จากปัจจัยที่เกี่ยวกับการปลูกข้าวดังกล่าวทำให้มีเกษตรกรหรือวิสาหกิจชุมชนที่สนใจการเพิ่มผลผลิตจากการปลูกข้าวด้วยเทคโนโลยีใหม่ แต่ในปัจจุบันยังมีวิสาหกิจชุมชนที่ลงทุนในการปลูกข้าวค่อนข้างน้อยเนื่องจากข้อจำกัดในการบริหารจัดการดูแลอย่างถูกต้อง ดังนั้นเกษตรกรที่สนใจเริ่มต้นการปลูกข้าวด้วยเทคโนโลยีใหม่จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องศึกษาหาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีที่จะนำมาใช้และต้องคำนึงถึงปัจจัยหลายด้านทั้งในเรื่องของปัจจัยการผลิตวิธีการผลิต เงินทุนและการตลาดของการผลิต (เจษฎา และคณะ, 2562). จึงจะส่งผลให้การดำเนินงานประสบความสำเร็จและสามารถปลูกข้าวได้อย่างยั่งยืน การใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง (Internet of Things : IoT) เข้ามามีบทบาทในการทำเกษตรยุคใหม่มากขึ้น ซึ่งมีงานวิจัยหลายงานที่นำ IoT เข้ามาช่วยในการเพิ่มผลผลิต (ธีรยศ และประยูร, 2554) และช่วยลดต้นทุน แรงงาน. การพัฒนาต้นแบบโรงเรือนด้วยการประยุกต์ใช้ IoT เพื่อเพิ่มผลผลิตและสามารถเก็บข้อมูลนำมาวิเคราะห์ผลผลิตได้ (อรพรรณ และคณะ, 2560) ด้วยคุณประโยชน์ที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพ ลดต้นทุน และอำนวยสะดวกสบายให้แก่เกษตรกร ลดปัจจัยเสี่ยง บนพื้นฐานการทำเกษตรที่ยั่งยืนและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (วริศร์, 2560).

ดังนั้นการออกแบบและพัฒนาการปลูกข้าวผ่านโทรศัพท์สมาร์ทโฟนโดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเครือข่ายไร้สายด้วยการประมวลผลกลุ่มเมฆซึ่งเป็นเทคโนโลยีใหม่ที่มีประสิทธิภาพเพื่อป้องกันการความเสียหาย สำหรับการปลูกข้าวและเพื่อเพิ่มผลผลิตโดยการประมวลผลกลุ่มเมฆเป็นบริการที่ครอบคลุมถึงการให้ใช้กำลังประมวลผลโดยการแจ้งค่าความชื้น ค่า pH ค่า T ผ่านระบบอินเทอร์เน็ตและมีหน่วยจัดเก็บข้อมูลเพื่อมาวิเคราะห์เปรียบเทียบผลผลิต ทำให้ทราบว่าข้าวจะมีผลผลิตดีได้อย่างไร จากนั้นทำการถ่ายทอดองค์ความรู้ที่ได้จากศึกษาพัฒนาเครือข่ายไร้สายใช้งานให้แก่ศูนย์วิจัยข้าวนครราชสีมา อำเภอพิมาย จังหวัดนครราชสีมาและกลุ่มเกษตรกรทำนา จังหวัดนครราชสีมา ตลอดจนผู้ที่มีความสนใจหรือชุมชนอื่น ๆ ที่ประกอบอาชีพทำนาต่อไป

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

ในการศึกษาและออกแบบ มีวิธีการดำเนินงานและการเก็บรวบรวมข้อมูลเป็นขั้นตอนจากทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของข้าว

1.1 ดิน

ข้าวขึ้นได้ในดินเกือบทุกชนิดยกเว้นดินทราย ส่วนใหญ่ชอบขึ้นในดินเหนียว และเหนียวปนร่วน มีความเป็นกรดและด่าง (pH) ตั้งแต่ 3-10 ขึ้นได้แม้กระทั่งในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ

1.2 ปริมาณน้ำ

ข้าวมีความต้องการน้ำตั้งแต่ 875-2,000 มิลลิเมตรต่อปี แต่ควรมีการกระจายฝนที่ดีในพื้นที่ที่ไม่ได้รับน้ำชลประทานหรือที่เรียกว่านาน้ำฝน ซึ่งส่วนใหญ่จะปลูกข้าวได้ในนาปีเท่านั้นและการตอบสนองต่อความต้องการน้ำยังขึ้นอยู่กับพันธุ์ และช่วงของการเจริญเติบโต ในช่วงเตรียมดินควรมีน้ำประมาณ 150-200 มิลลิเมตร ช่วงที่เป็นต้นกล้าต้องการน้ำประมาณ 250-400 มิลลิเมตรจนถึงต้นกล้าอายุ 30-40 วัน ส่วนในช่วงปักดำจนกระทั่งเก็บเกี่ยวนั้นควรมีน้ำอยู่ในช่วง 800-1,200 มิลลิเมตร

1.3 แสงอาทิตย์

ปริมาณแสงมีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตโดยที่พืชใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง และช่วงเวลาสั้นยาวของกลางวันกลางคืนยังมีผลต่อการเจริญทางการสืบพันธุ์ของข้าวไวแสง ความเข้มของแสงในฤดูฝนซึ่งมีเมฆหมอกมากนั้นจะน้อยกว่าความเข้มแสงในฤดูร้อน ผลผลิตข้าวส่วนใหญ่จึงน้อยกว่าเมื่อปลูกในฤดูฝน แสงแดดมีความจำเป็นมากในช่วงเริ่มสร้างดอกจนกระทั่ง 10 วันก่อนเมล็ดแก่

1.4 อุณหภูมิ

อุณหภูมิมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของข้าวและการให้ผลผลิต พบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมจะอยู่ในระหว่าง 25-33 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่ต่ำเกินไปหรือสูงเกินไป (ต่ำกว่า 15 องศาเซลเซียส สูงกว่า 35 องศาเซลเซียส) จะมีผลต่อการงอกของเมล็ด การยืดของใบ การแตกกอ การสร้างดอกอ่อน การผสมเกสร เป็นต้น และพบว่า อุณหภูมิที่สูงเกินไปและต่ำเกินไปช่วงที่มีการออกดอกจะทำให้ดอกข้าวเป็นหมัน ซึ่งจะส่งผลทำให้ได้ผลผลิตต่ำกว่าปกติ เป็นต้น

1.5 ความชื้นสัมพัทธ์

อิทธิพลของความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศต่อการเจริญเติบโตของข้าวนั้นมักจะไม่ชัดเจนเพราะจะมีปริมาณความเข้มแสงและอุณหภูมิในเชิงที่กลับกัน คือ เมื่อความเข้มของแสงมากและอุณหภูมิสูงมักทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ อุณหภูมิเย็นในเวลากลางคืนทำให้เกิดน้ำค้างสูง จะมีผลต่อการพัฒนาของเชื้อโรคของข้าวบางชนิด เช่น โรคใบไหม้ ได้เหมาะสมยิ่งขึ้น เป็นต้น

1.6 ความเค็มของน้ำ

เนื่องจากดินส่วนใหญ่ในอำเภอพิมาย จังหวัดนครราชสีมา เป็นดินเค็ม ดังนั้นความเค็มของน้ำมีผลต่อการเจริญเติบโตของข้าว ความเค็มของน้ำ คือค่าปริมาณความเข้มข้นของเกลือแร่ที่ละลายในน้ำโดยเฉพาะโซเดียมคลอไรด์ หน่วยที่ใช้ในการวัดค่าความเค็มมักนิยมใช้หน่วย ppt (Part per thousand) โดยทั่วไปจะสามารถแบ่งระดับความเค็มของน้ำไว้ดังนี้ น้ำจืด 0-0.5 ppt, น้ำกร่อย 0.5-30 ppt และน้ำเค็ม >30 ppt ขึ้นไป

2. เซ็นเซอร์

2.1 เซ็นเซอร์วัดความชื้นในดิน

หลักการทำงานของเซ็นเซอร์ชนิดนี้ คือ มีแท่งตัวนำ 2 ขาปักลงไปในดิน ถ้าดินมีความชื้นสูง (ดินเปียก) ค่าความต้านทานระหว่าง 2 ขา จะต่ำ แต่ถ้าดินแห้ง ค่าความต้านทานระหว่าง 2 ขา จะสูง ก็นำค่าแตกต่างนี้มาประมวลผลหรือควบคุมการทำงานอุปกรณ์ เช่น เปิดวาล์วหรือเปิดปั๊มน้ำเพื่อรดน้ำเนื่องจากเซ็นเซอร์อาศัยหลักการเปลี่ยนค่าความต้านทานตามสภาวะแวดล้อม ดังนั้นหลักการใช้งานจะคล้ายกับ LDR ที่กล่าวมาแล้ว คือใช้แบบอ่านค่า Analog โดยตรง หรือวงจรเปรียบเทียบแรงดันเพื่อเอาเอาต์พุตดิจิทัลแบบโมดูล แต่ใช้สัญญาณ Analog ถ้าดินชื้นมากค่าเอาต์พุตจะมีค่าต่ำ เนื่องจากความชื้นทำให้ค่าความต้านทานเซ็นเซอร์ต่ำลง ถ้าดินแห้งหรือมีความชื้นน้อยค่าเอาต์พุตจะมีค่าสูงเนื่องจากดินแห้งทำให้ค่าความต้านทานเซ็นเซอร์สูง แบบโมดูลใช้สัญญาณดิจิทัล การทำงานของโมดูลจะเป็นแบบ Active low คือถ้าดินชื้นมากสถานะที่ได้จากเอาต์พุตของโมดูลจะมีค่าเป็น Low ถ้าดินแห้งหรือมีความชื้นน้อย สถานะที่ได้จากเอาต์พุตของโมดูลจะมีค่าเป็น High จะทำการเปิดหลอด LED ถ้าต่อขาคำสั่งนี้เข้ากับรีเลย์ก็จะทำการเปิดสวิตช์ควบคุมอุปกรณ์รดน้ำ เช่น วาล์วปั๊ม เป็นต้น

2.2 เซ็นเซอร์วัดค่าพีเอช (pH sensor)

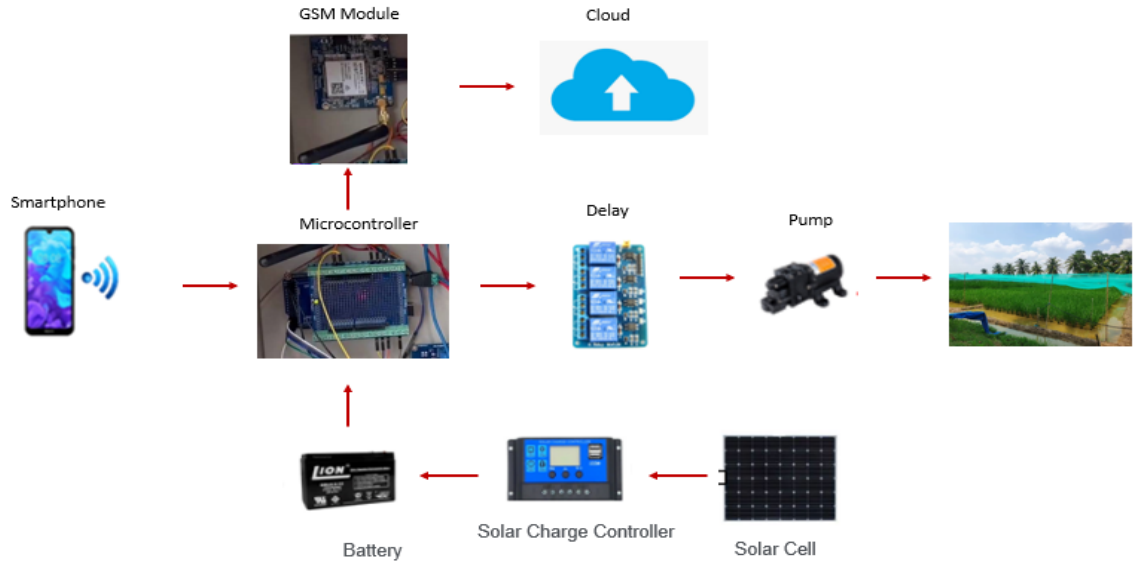
เซ็นเซอร์วัดค่าพีเอชเป็นเครื่องมือใช้วัดกิจกรรมของไฮโดรเจนไอออนในสารละลายที่ใช้น้ำ หรือที่เรียกว่าค่าพีเอช หน่วย pH หนึ่งหน่วยแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนเป็นฟังก์ชันลอการิทึม การวัดค่าพีเอชจะวัดความแตกต่างของศักย์ไฟฟ้า (แรงดันไฟฟ้าปริมาณน้อย ๆ ในหน่วยมิลลิโวลท์; mV) ระหว่างอิเล็กโทรดพีเอชและอิเล็กโทรดอ้างอิงความแตกต่างของศักย์ไฟฟ้าเกี่ยวข้องกับความเป็นกรดหรือด่างของสารละลาย เซ็นเซอร์วัดค่าพีเอชหลักการทำงานโดยวัดความเป็นกรด-ด่างของสารละลายพีเอช คือ ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนในสารละลาย สารละลายที่มี H^+ มากกว่าจะยังคงเป็นกรดในขณะที่สารละลายที่มี OH^- มากกว่าจะยังคงเป็นด่าง ค่าพีเอชของสารละลายมีตั้งแต่ 1-14 สามารถจุ่มแช่น้ำได้ตลอดเวลา

2.3 เซ็นเซอร์วัดค่าทีดีเอส (TDS sensor)

ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (Total Dissolved Solid) หรือเรียกย่อว่า ค่าทีดีเอส (TDS) มีหน่วยการวัดคือ ppm (Part per million) หมายถึง ปริมาณของแข็งที่แขวนลอยหรือละลายอยู่ในน้ำ รวมถึงไอออน, แร่ธาตุต่าง ๆ, เกลือหรือโลหะละลายในปริมาณที่กำหนดของน้ำ ค่าทีดีเอสจะเกี่ยวข้องโดยตรงกับความบริสุทธิ์ของน้ำและคุณภาพของระบบการทำน้ำให้บริสุทธิ์ ดังนั้นเซ็นเซอร์วัดค่าทีดีเอสด้วยการนำไฟฟ้าของน้ำ ตรวจสอบคุณภาพน้ำ ให้สัญญาณแอนาล็อค สามารถใช้ Arduino อ่านค่าได้

3. แผนผังขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงานของตู้ควบคุมโดยเริ่มจากการศึกษาค้นคว้าหาข้อมูลที่เกี่ยวข้องในเรื่องของการใช้งานบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้าง จากนั้นออกแบบโครงสร้างตู้ควบคุม จัดซื้ออุปกรณ์แล้วทำการประกอบโครงสร้าง พร้อมทดสอบการรับค่าของตัวตรวจจับค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH), ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) และความชื้นในดิน โดยการเขียนโปรแกรมควบคุมด้วย โปรแกรม Arduino IDE เขียนโปรแกรมสั่งงานบอร์ดแล้วทดสอบระบบต่าง ๆ บันทึกแผนผังระบบการทำงาน ตู้ควบคุมเริ่มจากการศึกษาค้นคว้าข้อมูลที่เกี่ยวข้องในเรื่องของการใช้งานบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ โปรแกรม Arduino IDE และ ปั๊มน้ำมาติดตั้งที่แปลงนาข้าว จากนั้นทำการเขียนโปรแกรมสั่งงานบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยโปรแกรม Arduino IDE ภาพรวมของงานทั้งหมดได้ดำเนินการออกแบบและสร้าง แสดงตามรูปที่ 1

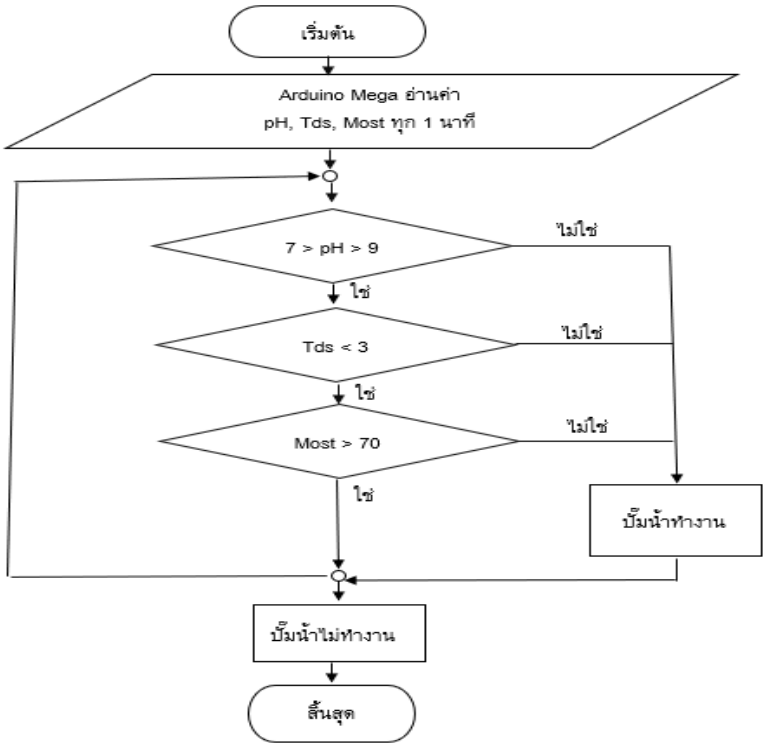


รูปที่ 1 แผนผังระบบควบคุม

จากรูปที่ 1 แผนผังโดยรวมของตู้ควบคุมโดยการทำงานจะเริ่มจากชุดควบคุมหลัก รับค่า pH, TDS และความชื้น มาจากเซ็นเซอร์ที่ติดตั้งไว้และส่งค่าที่รับมาไปแสดงผลที่หน้าจอโทรศัพท์สมาร์ทโฟน จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการประมวลผลเพื่อสั่งปั๊มน้ำทำงาน เพื่อควบคุมค่า pH, TDS และความชื้น ภายในแปลงนาข้าว

3.1 ผังงานแสดงการทำงานไมโครคอนโทรลเลอร์

Flowchart การทำงานของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ เริ่มต้นรับค่าจากเซ็นเซอร์ทั้ง 3 ตัว ได้แก่ค่า pH, TDS และความชื้น ทุก 1 นาที เพื่อแสดงผลออกที่แอปพลิเคชัน โดยที่ค่าที่เหมาะสมกับนาข้าวคือ pH ต้องอยู่ช่วงระหว่าง 7-9 ค่า TDS ค่าความเจือปนของน้ำที่มีสภาพเค็มต้องไม่เกิน 3 mS/cm เพราะจะทำให้ข้าวเกิดความเสียหาย ค่าความชื้นไม่ต่ำกว่า 70% ถ้าไม่เป็นไปตามเงื่อนไขให้ปั๊มน้ำทำงานจนกว่าจะเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนด ถ้าเป็นไปตามเงื่อนไขให้สิ้นสุด ถ้าไม่เป็นไปตามเงื่อนไขให้เริ่มระบบใหม่ ตามผังงานรูปที่ 2



รูปที่ 2 ผังงานแสดงการทำงานไมโครคอนโทรลเลอร์

3.2 การออกแบบการสร้างวงจร

วงจรรวมของตู้ควบคุมสำหรับการปลูกข้าวแบบครบวงจรด้วยระบบอินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง แสดงตามรูปที่ 3

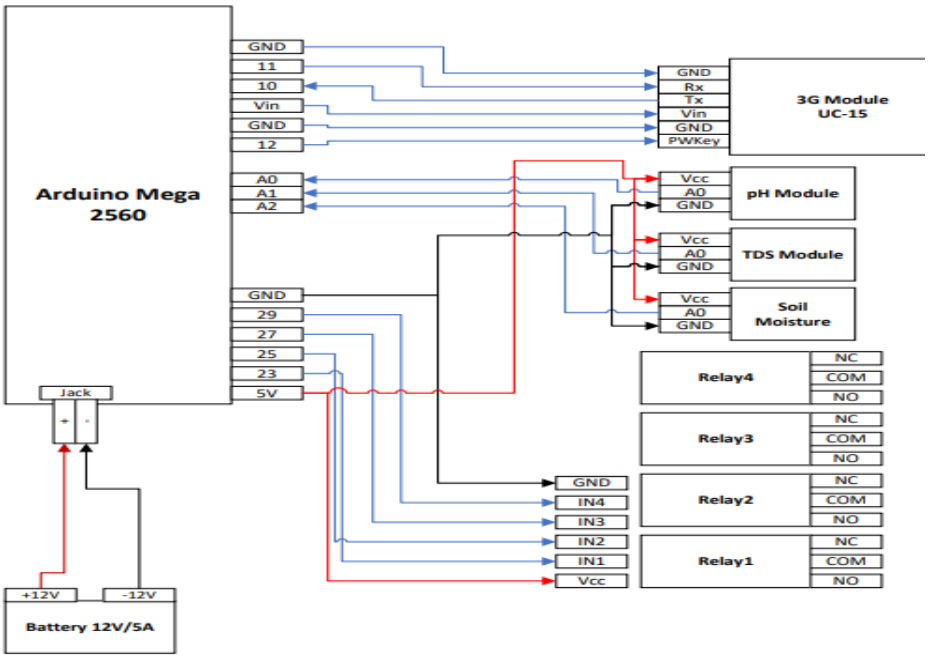
3.2.1 หลักการทำงานของตู้ระบบควบคุมแปลงนาข้าว

3.2.1.1 ระบบจะวัดค่า pH ซึ่งค่าที่เหมาะสมในแปลงนา 7-9 ถ้าระบบวัดได้ไม่อยู่ในช่วงดังกล่าว จะสั่งให้ปั๊มน้ำทำงานเพื่อลดน้ำในนาข้าวช่วยให้ค่า pH ได้อยู่ในระดับที่ต้องการ

3.2.1.2 ระบบจะวัดค่า TDS ซึ่งค่าที่เหมาะสมในแปลงนาต้องไม่เกิน 3 mS/cm ถ้าระบบวัดได้เกิน จะสั่งให้ปั๊มน้ำทำงานเพื่อลดค่าสิ่งเจือปนในนาข้าวช่วยให้ค่า TDS ได้อยู่ในระดับที่ต้องการ

3.2.1.3 ระบบจะวัดค่าความชื้น ซึ่งค่าที่เหมาะสมในแปลงนาต้องไม่ต่ำกว่า 70% ถ้าระบบวัดได้ต่ำกว่าจะสั่งให้ปั๊มน้ำทำงานเพื่อเพิ่มความชื้นในนาข้าวช่วยให้ค่าความชื้นอยู่ในระดับที่ต้องการ

3.2.1.4 ค่าที่วัดได้จะถูกส่งผ่านโปรแกรมไลน์แสดงเป็นข้อมูลสถานะ ค่าต่าง ๆ ของแปลงนา



รูปที่ 3 วงจรรวมของตู้ควบคุม

3.2.2 ขั้นตอนการติดตั้งและออกแบบแอปพลิเคชัน

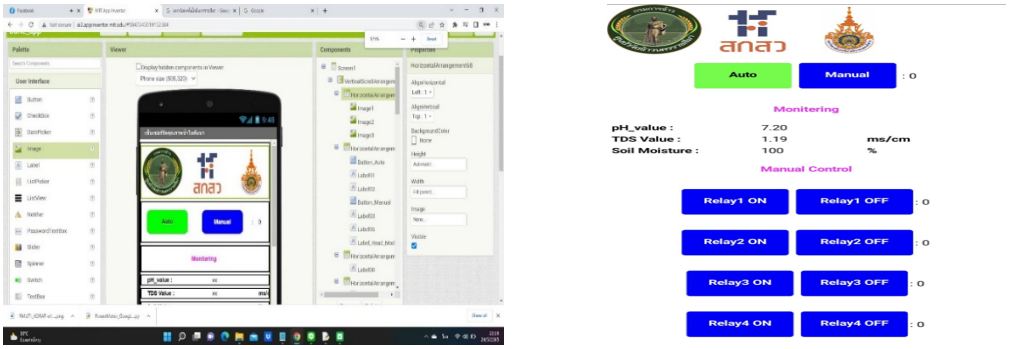
3.2.2.1 ติดตั้งตู้ควบคุมลงนาข้าว ที่ศูนย์วิจัยข้าว อำเภอพิมาย จังหวัดนครราชสีมา

รูปที่ 4 ติดตั้งตู้ควบคุมลงแปลงนาข้าว

3.2.2.2 การแบ่งแปลงนาข้าวสำหรับทดลองเปรียบเทียบแปลงนาทั่วไปกับแปลงนาข้าวที่ควบคุมด้วยตู้ควบคุม

รูปที่ 5 การแบ่งแปลงนาข้าวสาธิตเพื่อใช้ในการวิจัย

3.2.2.3 การออกแบบแอปพลิเคชันด้วยโปรแกรมแอพอินเวอร์เตอร์เพื่อใช้แสดงผ่านโทรศัพท์สมาร์ทโฟน

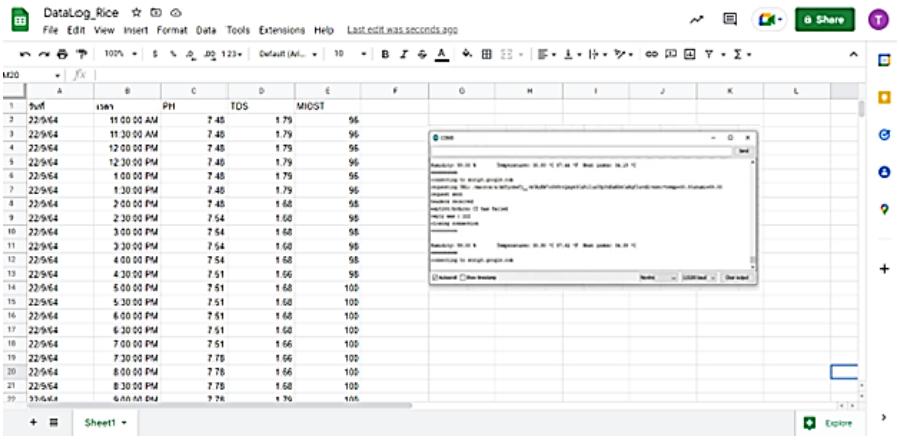


รูปที่ 6 หน้าต่างแอปพลิเคชัน

3.2.2.4 การควบคุมแปลงนาข้าวแบบอัตโนมัติผ่านโทรศัพท์สมาร์ทโฟน และมีการแจ้งเตือนผ่านโปรแกรมไลน์

รูปที่ 7 การแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชัน Line

3.2.2.5 เก็บข้อมูลใน Google sheet ซึ่งเป็นการเก็บข้อมูลบนเครือข่าย



รูปที่ 8 เก็บข้อมูลบนเครือข่ายรูปแบบ Google sheet

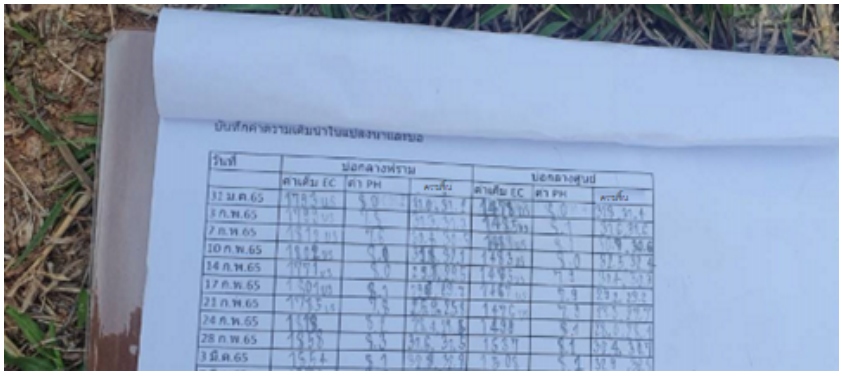
ผลการวิจัย และการอภิปรายผล

การออกแบบและพัฒนาโดยนำความรู้ทางด้านเทคโนโลยี IoT มาใช้งานเพื่อส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์สามารถทำการวิเคราะห์ข้อมูลได้โดยอัตโนมัติ พร้อมทั้งนำค่าที่วัดได้จากจากเซนเซอร์มาแสดงข้อมูลผ่านโทรศัพท์สมาร์ทโฟนโดยทำงานผ่านตู้ควบคุม เพื่อควบคุมปัจจัยค่าที่ต้องการวัดคือ ค่า pH, ค่า TDS และค่าความชื้น ให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของข้าวและสั่งงานตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ ซึ่งการทดสอบและเก็บผลข้อมูลด้านความแม่นยำของเซนเซอร์ การเปรียบเทียบระหว่างแปลงนาที่ปลูกข้าวด้วยตู้ควบคุมอัตโนมัติกับแปลงนาที่ปลูกข้าวแบบทั่วไป พันธุ์ข้าวที่ใช้ปลูกคือ ข้าวหอมมะลิ 105 ซึ่งเป็นที่นิยมของเกษตรกรและมีราคาในการขายที่ดี ซึ่งมีการเก็บผลผลิตมาเทียบกัน 3 แบบ ตามหลักการของศูนย์วิจัยข้าวพิมาย ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพของผลผลิต โดยแบบที่ 1 ความสูงและจำนวนรวง แบบที่ 2 ความกว้าง ความยาว ความหนาของเมล็ดข้าวเปลือก และข้าวสาร แบบที่ 3. ผลผลิต และความชื้น

1. การทดสอบการทำงานของเครื่อง

การทดสอบเปรียบเทียบค่า pH, ค่า TDS และความชื้น ของตู้ควบคุมกับเครื่องวัดคุณภาพน้ำใช้งาน โดยปกติศูนย์วิจัยข้าวจะมีการเก็บข้อมูลโดยมีคนงานนำเครื่องวัดคุณภาพน้ำมาวัดค่า pH, ค่า TDS และความชื้นในแปลงนาทุกวันจันทร์ พุธ ศุกร์ วัด 1 ครั้งต่อวัน โดยเฉลี่ย 3 วันต่อสัปดาห์ ซึ่งการทำนาปลูกข้าวจะมีระยะการเจริญเติบโตอยู่ 5 ระยะ คือ 1) ระยะเตรียมดิน (5 วัน), 2) ระยะต้นกล้า (15-20 วัน), 3) ระยะแตกกอ (30-35 วัน), 4) ระยะตั้งท้อง (50 วัน) และ 5) ระยะสุกแก่ (10 วัน) เฉลี่ยรวมประมาณ 115 วัน การเก็บข้อมูลจะเริ่มเก็บหลังจากระยะเตรียมดิน โดยเก็บครั้งแรกเมื่อเข้าระยะต้นกล้า ดังนั้นข้อมูลที่ศูนย์วิจัยข้าวจะเก็บได้ประมาณ 40 ครั้งต่อการเก็บเกี่ยว เพื่อการเปรียบเทียบความถูกต้องของค่าที่วัดได้โดยเครื่องวัดคุณภาพน้ำที่ใช้งานกับตู้ควบคุม จึงใช้ข้อมูลที่ตู้ควบคุมได้เก็บไว้ใน Google sheet มาเทียบกัน จำนวน 40 ครั้ง และใช้วันเดียวกันกับข้อมูลของศูนย์วิจัยข้าว แสดงดังตารางที่ 4.1 ซึ่งเครื่องวัดคุณภาพน้ำที่ศูนย์วิจัยข้าวใช้วัดข้อมูล แสดงดังรูปที่ 9 และการเก็บข้อมูลของศูนย์วิจัยข้าวจะใช้คนงานจดบันทึกทั้ง 3 ค่า คือ 1) ค่า TDS หน่วย mS/cm, 2) ค่า pH และ 3) ความชื้น แสดงดังรูปที่ 10

รูปที่ 9 เครื่องวัดคุณภาพน้ำที่ใช้วัด



รูปที่ 10 การเก็บข้อมูลของศูนย์วิจัยข้าวจะใช้คนงานจดบันทึก

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบเปรียบเทียบค่า pH, ค่า TDS และความชื้น ระหว่างเครื่องวัดคุณภาพน้ำที่ใช้วัดกับตู้ควบคุม

ครั้งที่	วันที่	เครื่องวัดคุณภาพน้ำที่ใช้			ตู้ควบคุม		
		TDS (mS/cm)	pH	ความชื้น (%RH)	TDS (mS/cm)	pH	ความชื้น (%RH)
1	31 ม.ค. 65	1.79	8.05	97	1.83	8.11	97
2	2 ก.พ. 65	1.79	7.82	97	1.83	7.87	97
3	4 ก.พ. 65	1.79	7.65	97	1.84	7.72	97
4	7 ก.พ. 65	1.80	8.01	98	1.85	8.08	98
5	9 ก.พ. 65	1.79	8.04	98	1.85	8.11	98
6	11 ก.พ. 65	1.81	8.21	97	1.83	8.40	98
7	14 ก.พ. 65	1.80	8.13	97	1.78	8.28	98
8	16 ก.พ. 65	1.78	7.80	97	1.70	7.89	97
9	18 ก.พ. 65	1.81	7.88	97	1.78	7.96	97
10	21 ก.พ. 65	1.81	8.12	98	1.78	7.98	98
11	23 ก.พ. 65	1.82	8.01	98	1.78	8.06	98
12	25 ก.พ. 65	1.78	8.07	98	1.83	8.00	98
13	28 ก.พ. 65	1.69	7.68	98	1.68	7.73	98
14	2 มี.ค. 65	1.68	7.66	98	1.72	7.69	98
15	4 มี.ค. 65	1.68	7.76	99	1.71	7.79	99
16	7 มี.ค. 65	1.61	7.88	99	1.70	7.93	99
17	9 มี.ค. 65	1.61	8.02	99	1.71	8.11	100
18	11 มี.ค. 65	1.61	8.18	99	1.68	8.11	100
19	14 มี.ค. 65	1.60	7.76	99	1.71	7.79	99
20	16 มี.ค. 65	1.45	7.88	100	1.41	7.90	99
21	18 มี.ค. 65	1.21	8.02	100	1.29	8.07	100
22	21 มี.ค. 65	1.31	8.18	100	1.40	8.21	100
23	23 มี.ค. 65	1.29	7.76	100	1.36	7.80	100
24	25 มี.ค. 65	1.56	7.88	100	1.66	7.89	100

25	28 มี.ค. 65	1.20	8.02	100	1.27	8.05	100
26	30 มี.ค. 65	1.28	8.05	100	1.38	8.05	100
27	1 เม.ย. 65	1.67	7.82	100	1.75	7.89	100
28	4 เม.ย. 65	1.56	7.65	100	1.70	7.76	100
29	6 เม.ย. 65	1.78	8.11	100	1.82	8.04	98
30	8 เม.ย. 65	1.69	8.01	100	1.74	8.10	99
31	11 เม.ย. 65	1.80	7.57	100	1.88	7.58	99
32	13 เม.ย. 65	1.86	7.68	100	1.89	7.76	100
33	15 เม.ย. 65	1.64	7.66	100	1.78	7.68	100
34	18 เม.ย. 65	1.53	8.01	100	1.65	8.12	100
35	20 เม.ย. 65	1.29	8.07	100	1.34	7.98	100
36	22 เม.ย. 65	1.47	7.48	100	1.66	7.68	100
37	25 เม.ย. 65	1.20	7.20	100	1.28	7.25	100
38	27 เม.ย. 65	1.49	7.56	100	1.61	7.69	100
39	29 เม.ย. 65	1.58	7.37	100	1.69	7.66	100
40	2 พ.ค. 65	1.66	7.68	100	1.72	7.69	100

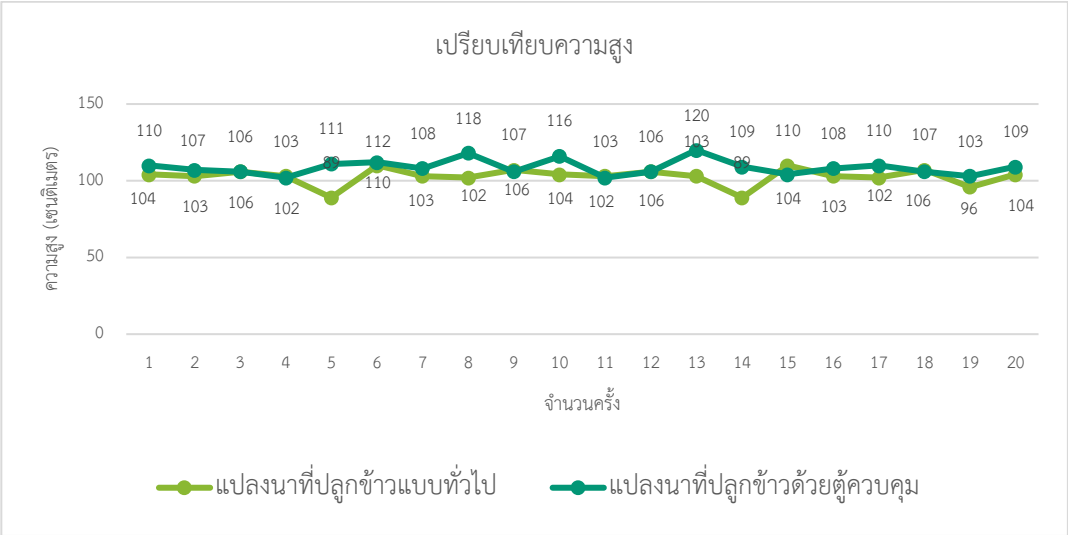
หมายเหตุ: ทดลอง เริ่มวันที่ 25 มกราคม 2565 เก็บเกี่ยววันที่ 9 พฤษภาคม 2565

จากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่า 1) ค่า TDS ที่วัดได้จากเครื่องวัดคุณภาพน้ำที่ใช้วัดมีค่าเฉลี่ย 1.61 mS/cm มีค่า TDS ที่วัดได้จากตู้ควบคุมมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1.64 mS/cm, 2) ค่า pH ที่วัดได้จากเครื่องวัดคุณภาพน้ำที่ใช้วัด มีค่าเฉลี่ย 7.86 มีค่า pH ที่วัดได้จากตู้ควบคุมมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 7.91 และ 3) ค่าความชื้นที่วัดได้จากเครื่องวัดคุณภาพน้ำที่ใช้วัด มีค่าเฉลี่ย 99 %RH มีค่าความชื้นที่วัดได้จากตู้ควบคุมมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 98.98 %RH คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน 0.02 นำข้อมูลที่ได้มาหาเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเพื่อเปรียบเทียบความแม่นยำของเซ็นเซอร์ตู้ควบคุมและเครื่องวัดคุณภาพน้ำ ทั้ง 3 ค่า ผลที่ได้คือ 1) ค่า TDS มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน 1.86, 2) ค่า pH มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน 0.64 และ 3) ค่าความชื้นมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน 0.02

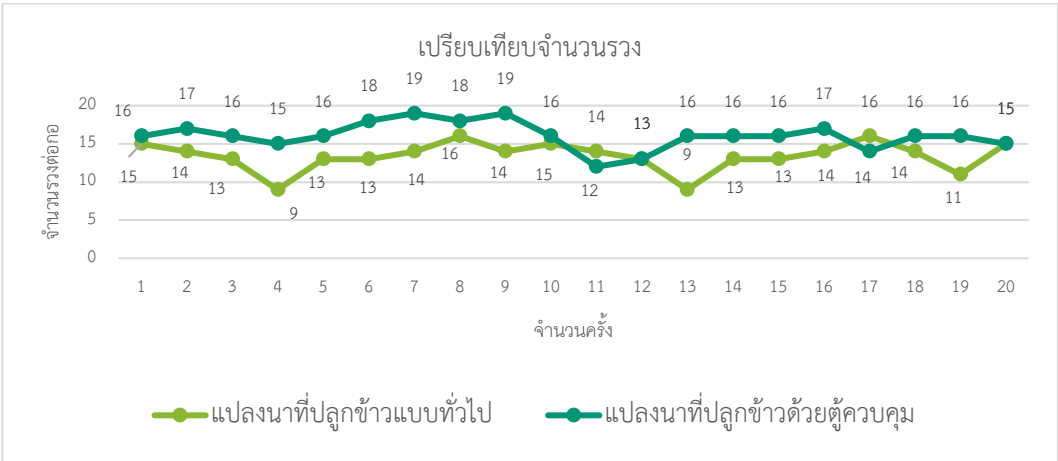
2. การทดสอบเปรียบเทียบความสูงของต้นข้าวและจำนวนรวงต่อกอ

ความสูงของต้นข้าวและจำนวนรวงต่อกอมีผลต่อปริมาณผลผลิตที่ได้ แปลงนาข้าวที่มีความสมบูรณ์ด้วยน้ำ และการให้ปุ๋ยที่ถูกวิธีมีผลการการเจริญเติบโตของข้าว ซึ่งการวัดผลต้องคำนึงถึงความสูงและจำนวนรวง วิธีการวัดความสูงและการนับจำนวนรวงแสดงดังรูปที่ 11 ดังนั้นเพื่อเปรียบเทียบความสูงของต้นข้าวและจำนวนรวงต่อกอระหว่างแปลงนาที่ปลูกข้าวด้วยตู้ควบคุมกับแปลงนาที่ปลูกข้าวแบบทั่วไป นำข้อมูลผลการทดลองที่ได้พล็อตกราฟเพื่อเปรียบเทียบความสูงและจำนวนรวงระหว่างแปลงนาที่ปลูกข้าวด้วยตู้ควบคุมกับแปลงนาที่ปลูกข้าวแบบทั่วไป โดยแสดงกราฟดังรูปที่ 12 และ 13 จากกราฟการวัดผลการทดลองเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของต้นข้าวด้วยความสูง และจำนวนรวงของการแตกกอของต้นข้าวในแปลงนาสาธิตทั้งสองแบบ ในรูปที่ 4.4-4.5 จะเห็นได้ว่าค่าความสูงที่วัดได้จากแปลงนาที่ปลูกข้าวแบบทั่วไปมีค่าเฉลี่ย 102.7 เซนติเมตร และจำนวนรวงเฉลี่ย 13.4 ต่อกอ ส่วนค่าความสูงที่วัดได้จากแปลงนาที่ปลูกข้าวด้วยตู้ควบคุมค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 108.7 เซนติเมตร และจำนวนรวงเฉลี่ย 17.2 ต่อกอ

รูปที่ 11 การเก็บข้อมูลความสูงและจำนวนรวง



รูปที่ 12 กราฟเปรียบเทียบความสูงของต้นข้าว



รูปที่ 13 กราฟเปรียบเทียบจำนวนรวง

3. การทดสอบเปรียบเทียบความกว้าง ความยาว ความหนา ของเมล็ดข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวสาร

คุณภาพของเมล็ดแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ คุณภาพเมล็ดทางกายภาพ หมายถึง ลักษณะรูปร่างและขนาดของเมล็ดที่มองเห็นได้ และคุณภาพเมล็ดทางเคมี หมายถึง องค์ประกอบทางเคมีที่รวมกันเป็นเม็ดแป้งของข้าวที่หุงต้ม เพื่อบริโภค

คุณภาพเมล็ดทางกายภาพเป็นลักษณะที่เกี่ยวกับ ความยาว ความกว้าง และความหนาของเมล็ดข้าวกล้อง นอกจากนี้คุณภาพในการสีเป็นข้าวสารถือว่าเป็นคุณภาพทางกายภาพของเมล็ดด้วย เมล็ดข้าวที่ตลาดต้องการมีมาตรฐาน คือ เมล็ดข้าวเปลือกจะต้องมีความยาว ประมาณ 10.5-11.5 มิลลิเมตร ความกว้างและความหนาประมาณ 2 มิลลิเมตร ส่วนเมล็ดข้าวกล้องจะต้องมีความยาวอยู่ประมาณ 7-8 มิลลิเมตร ความกว้างและความหนาประมาณ 1.5-2 มิลลิเมตร และเมล็ดข้าวสารจะต้องมีความยาวอยู่ประมาณ 6.5-7.5 มิลลิเมตร ความกว้างและความหนาประมาณ 1-2 มิลลิเมตร และมีหน้าตัดของเมล็ดค่อนข้างกลม ถ้าเป็นข้าวเจ้า เมล็ดจะต้องใส ไม่มีท้องไข่ การมีท้องไข่ของเมล็ดข้าวกล้องนั้น ทำให้เมล็ดหักง่าย เมื่อเอาไปสีเป็นข้าวสารซึ่งทำให้ได้เมล็ดข้าวสารที่หักมาก ดังนั้นพันธุ์ข้าวที่รัฐบาลไทยส่งเสริมให้ชาวนาปลูกจะต้องมีคุณภาพเมล็ดได้มาตรฐานเรียกว่าข้าวพันธุ์ดี ดังนั้นการเปรียบเทียบระหว่างแปลงนาที่ปลูกข้าวด้วยตู้ควบคุมกับแปลงนาที่ปลูกข้าวแบบทั่วไปด้วยความกว้าง ความยาว ความหนา ของข้าวเปลือก แสดงดังตารางที่ 2 และการเปรียบเทียบข้าวความกว้าง ความยาว ความหนาของข้าวสาร แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบความกว้าง ความยาว ความหนา ของเมล็ดข้าวเปลือก

ครั้งที่	แปลงนาที่ปลูกข้าวแบบทั่วไป			แปลงนาที่ปลูกข้าวด้วยตู้ควบคุม		
	ความกว้าง (มิลลิเมตร)	ความยาว (มิลลิเมตร)	ความหนา (มิลลิเมตร)	ความกว้าง (มิลลิเมตร)	ความยาว (มิลลิเมตร)	ความหนา (มิลลิเมตร)
1	1.79	9.73	1.74	1.87	10.73	1.84
2	1.95	10.32	1.93	2.05	10.42	1.97
3	2.16	9.72	1.79	2.64	10.73	1.88
4	2.04	10.00	1.85	2.32	10.79	1.93
5	2.19	10.66	1.77	2.51	11.00	1.91
6	1.97	9.84	1.88	1.97	10.42	1.88
7	1.87	10.10	1.93	2.56	10.73	1.93
8	1.93	10.56	1.85	2.21	10.79	1.96
9	2.32	9.88	1.87	2.32	11.00	1.84
10	2.51	10.32	1.74	2.51	10.42	2.02
11	2.05	9.93	1.93	2.05	11.00	1.91
12	1.98	10.52	1.79	1.98	10.79	1.97
13	1.95	10.56	1.85	2.64	11.00	1.93
14	2.16	9.88	1.96	2.32	10.42	1.96
15	2.04	10.32	1.84	2.51	10.73	1.88
16	1.93	9.93	1.88	2.64	10.79	1.93
17	2.05	10.52	1.93	2.05	11.00	1.96
18	2.34	10.83	1.85	2.34	10.42	1.88
19	2.15	10.89	1.91	1.87	10.73	1.84
20	1.89	10.90	1.88	1.93	11.00	2.09
เฉลี่ย	2.06	10.27	1.86	2.26	10.75	2.01

จากตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่า ความกว้าง ความยาว และความหนา ของเมล็ดข้าวเปลือกของแปลงนาที่ปลูกข้าวด้วยตู้ควบคุมมีขนาดสมบูรณ์กว่าข้าวเปลือกจากแปลงนาที่ปลูกข้าวแบบทั่วไป

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบความกว้าง ความยาว ความหนา ของเมล็ดข้าวสาร

ครั้งที่	แปลงนาที่ปลูกข้าวแบบทั่วไป			แปลงนาที่ปลูกข้าวด้วยตู้ควบคุม		
	ความกว้าง (มิลลิเมตร)	ความยาว (มิลลิเมตร)	ความหนา (มิลลิเมตร)	ความกว้าง (มิลลิเมตร)	ความยาว (มิลลิเมตร)	ความหนา (มิลลิเมตร)
1	1.65	6.90	1.21	1.86	7.46	1.57
2	1.87	6.93	1.24	1.69	7.63	1.48
3	1.79	6.42	1.22	1.92	7.99	1.32
4	1.65	6.89	1.35	1.89	7.97	1.22
5	1.87	7.30	1.34	1.88	7.54	1.24
6	1.79	6.94	1.32	1.93	7.93	1.57
7	1.65	7.26	1.22	1.92	7.74	1.48
8	1.87	6.83	1.24	1.89	7.46	1.32
9	1.79	6.97	1.57	1.83	7.63	1.22
10	1.65	6.42	1.32	1.92	7.99	1.57
11	1.79	6.89	1.24	1.89	7.96	1.48
12	1.65	7.30	1.22	1.88	7.64	1.32
13	1.87	6.42	1.32	1.95	7.48	1.22
14	1.65	7.26	1.22	1.92	7.63	1.48
15	1.87	6.94	1.67	1.89	7.99	1.32
16	1.79	6.42	1.24	1.88	7.96	1.52
17	1.99	6.85	1.22	1.92	7.66	1.44
18	1.88	7.41	1.32	1.89	7.46	1.32
19	1.93	6.46	1.22	1.92	7.63	1.27
20	1.71	6.84	1.57	1.89	7.93	1.26
เฉลี่ย	1.79	6.88	1.32	1.89	7.73	1.38

จากตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่า ความกว้าง ความยาว และความหนาของเมล็ดข้าวสารของแปลงนาที่ปลูกข้าวด้วยตู้ควบคุมมีขนาดดีกว่าข้าวสารจากแปลงนาที่ปลูกข้าวแบบทั่วไป เมื่อนำเมล็ดข้าวสารเปรียบเทียบระหว่างแปลงนาทดลองด้วยตู้ควบคุมกับแปลงนาทั่วไป ผลลัพธ์ที่ได้เมล็ดข้าวมีความกว้างดีกว่า 5% ความยาวดีกว่า 12% และความหนาดีกว่า 4.6%

4. การทดสอบเปรียบเทียบผลผลิตและความชื้น

สำหรับการทดลองการปลูกข้าวนั้นเป็นการเปรียบเทียบแปลงนาที่ปลูกข้าวด้วยตู้ควบคุมกับแปลงนาที่ปลูกข้าวแบบทั่วไป โดยการปลูกข้าวบนแปลงสาธิตขนาด 2 งาน และนำผลผลิตที่ได้มาวัดปริมาณกับความชื้น แสดงดังตารางที่ 4 เพื่อมาวิเคราะห์และประเมินหาประสิทธิภาพ

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบผลผลิตและความชื้น

แปลงนาที่ปลูกข้าวแบบทั่วไป		แปลงนาที่ปลูกข้าวด้วยตู้ควบคุม	
ผลผลิต (กิโลกรัม)	ความชื้น (%)	ผลผลิต (กิโลกรัม)	ความชื้น (%)
121.3	13.1	136.7	13.3

ผลลัพธ์ที่วัดได้จากผลผลิตของแปลงนาสาธิตระหว่างแปลงนาที่ปลูกข้าวด้วยตู้ควบคุมกับแปลงนาที่ปลูกข้าวแบบทั่วไป พบว่าผลผลิตที่ได้จากแปลงนาที่ปลูกข้าวด้วยตู้ควบคุมมีปริมาณผลผลิตมากกว่า 15.4 กิโลกรัม โดยทั่วไปสามารถขายกิโลกรัมละ 20 บาท ดังนั้นรายได้ของเกษตรกรจะเพิ่มขึ้น 12.7 %

บทสรุป

การศึกษาระบบที่พัฒนาขึ้นและนำความรู้ทางด้านเทคโนโลยี IoT มาใช้งานเพื่อส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์สามารถทำการวิเคราะห์ข้อมูลได้โดยอัตโนมัติพร้อมทั้งนำค่าที่วัดได้จากเซนเซอร์มาแสดงข้อมูลผ่านโทรศัพท์สมาร์ทโฟน โดยทำงานผ่านตู้ควบคุมอุปกรณ์ เพื่อควบคุมปัจจัยค่าที่ต้องการวัด คือ ค่า pH, ค่า TDS และค่าความชื้น ให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของข้าวและสั่งงานตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัย คือ สามารถมีการจัดการน้ำที่ดี และลดต้นทุนทางด้านบุคลากร ลดเวลา ซึ่งระบบนี้สามารถพัฒนาการเขียนโค้ดได้เอง และต้นทุนราคาไม่สูงเทียบกับระบบเซนเซอร์ที่มีขายทั่วไป ซึ่งระบบเซนเซอร์ที่มีขายทั่วไปราคาแพง รวมทั้งผู้ใช้ไม่สามารถกำหนดค่าการควบคุมการทำงานได้ด้วยตนเอง ระบบนี้สามารถทำงานและพัฒนาร่วมกับระบบแอปพลิเคชันได้เป็นอย่างดี โดยข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจะสามารถพัฒนาต่อยอดให้ข้อมูลถูกจัดเก็บไว้ในฐานข้อมูลของผู้ใช้บน Google sheet เพื่อที่จะสามารถนำข้อมูลมาวิเคราะห์และวางแผนการเพิ่มผลผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการทดสอบเปรียบเทียบค่า pH, ค่า TDS และความชื้น ของตู้ควบคุมกับเครื่องวัดคุณภาพน้ำใช้งาน ผลการทดสอบการวัดค่า pH, ค่า TDS และความชื้น จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพของตู้ควบคุมกับเครื่องวัดคุณภาพน้ำที่ใช้งานจริงนั้นมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกันมาก ผลปรากฏว่าประสิทธิภาพของเซนเซอร์ความชื้นมีค่าใกล้เคียงกันมาก ส่วนค่า pH มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน 0.64% และเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของค่า TDS ที่เกิดขึ้นเท่ากับ 1.86% ส่วนการทดสอบเปรียบเทียบความสูงของต้นข้าวและจำนวนรวงต่อกอเพื่อวัดผลการทดลองเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของต้นข้าว พบว่า ค่าความสูงที่วัดได้จากแปลงนาที่ปลูกข้าวแบบทั่วไปมีค่าเฉลี่ย 102.7 เซนติเมตร และจำนวนรวงเฉลี่ย 13.4 ต่อกอ ส่วนค่าความสูงที่วัดได้จากแปลงนาที่ปลูกข้าวด้วยตู้ควบคุมค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 108.7 เซนติเมตร และจำนวนรวงเฉลี่ย 17.2 ต่อกอ หลังจากการเก็บเกี่ยวจะมีการทดสอบเปรียบเทียบความกว้าง ความยาว ความหนา ของเมล็ดข้าวเปลือก ข้าวกล้องและข้าวสารเพื่อให้ได้มาตรฐาน จากผลผลิตจะเห็นได้ว่าลักษณะได้มาตรฐาน แต่ความกว้าง ความยาว และความหนา ของเมล็ดจากแปลงนาที่ปลูกข้าวด้วยตู้ควบคุมมีขนาดสมบูรณ์กว่าเมล็ดข้าวจากแปลงนาที่ปลูกข้าวแบบทั่วไป และจากการสีข้าวเปลือกที่ได้จากการทดลองจะเปรียบเทียบผลผลิตและความชื้น ผลลัทธ์ที่วัดได้จากผลผลิตของแปลงนาสาธิตระหว่างแปลงนาที่ปลูกข้าวด้วยตู้ควบคุมกับแปลงนาที่ปลูกข้าวแบบทั่วไป พบว่า ผลผลิตที่ได้จากแปลงนาที่ปลูกข้าวด้วยตู้ควบคุมมีปริมาณผลผลิตมากกว่า 15.4 กิโลกรัม โดยทั่วไปสามารถขายกิโลกรัมละ 20 บาท ดังนั้นรายได้ของเกษตรกรจะเพิ่มขึ้น 12.7%

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และงบประมาณแผ่นดินของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ประจำปีงบประมาณ 2564 ขอขอบคุณศูนย์วิจัยข้าวนครราชสีมา และคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ทดลองในการดำเนินการวิจัยให้ลุล่วงเป็นไปอย่างเรียบร้อย

เอกสารอ้างอิง

เจษฎา ขจรฤทธิ์, ปิยนุช ชัยพรแก้ว และหนึ่งฤทัย เอ้งฉ้วน. (2562). การประยุกต์ใช้เทคโนโลยี IoT ในการควบคุมระบบส่องสว่างสาหรับบ้านอัจฉริยะ. วารสารวิทยาการและเทคโนโลยีสารสนเทศ. 7(1): 1-11.

ธีรยศ เวียงทอง และประยูร จวงจันทร์. (2554). ระบบควบคุมอุณหภูมิความชื้นอัตโนมัตินโรงเรือนแบบปิด. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร.

วริศร์ รัตนนิมิตร. (2560). การติดตามและแจ้งเตือนข้อมูลทางเกษตรกรรมผ่านระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่ง. วารสารสหศาสตร์ศรีปทุม ชลบุรี. 3(2): 17-21.

สมาคมผู้ส่งออกข้าวไทย. (2562). รายงานสถานการณ์ส่งออกข้าวแนวโน้มและทิศทางการส่งออกข้าวไทยปี 2562. ค้นเมื่อ 20 เมษายน 2565. http://www.thairiceexporters.or.th/Press%20release/2019/TREA%20Press%20Release

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2562). ข้าวนาปรังเนื้อที่เพาะปลูก เนื้อที่เก็บเกี่ยวผลผลิตและผลผลิตต่อไร ณ ความชื้น15%. ค้นเมื่อ 20 เมษายน 2565. http://www.oae.go.th/assets/portals/1/files/production/secondrice.pdf %20Thai%20Rice%20Situation%20&%20Trend%20Year%202019-30012019.pdf

อรพรรณ แซ่ตั้ง, นิสา พุทธนาวงศ์ และณัฐพล ธนเชวงสกุล. (2560). การออกแบบโรงเรือนสำหรับควบคุมอุณหภูมิและความชื้นโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง. วารสารการอาชีวะและเทคนิคศึกษา. 7(13): 87-97.

Rotchanatheeratham W. and Choosumrong S. (2018). Development of real-time smart weather station and web processing service for monitoring and evaluation of field environmental data based on IoT and FOSS4G. Proceedings of International Conference on GIS-IDEAS 2018, 64-70.

Shashwathi N., Priyam B. and Suhas K. (2012). Smart farming: A step towards techno-savvy agriculture. International Journal of Computer Applications. 57(18): 45-48.

วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี | Agriculture and Technology Journal

ปีที่ 4 ฉบับที่ 3 กันยายน - ธันวาคม 2566 | Vol.4 No.3 September – December 2023

Received: May 20, 2023; Revised: September 6, 2023; Accepted: October 6, 2023

พืชสมุนไพรที่ใช้ในการรักษาโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง (Non-Communicable diseases; NCDs) โดยหมอยาพื้นบ้าน ในอำเภอเสลภูมิ จังหวัดร้อยเอ็ด

Medicinal plants for Non-Communicable diseases (NCDs) by Traditional Healers in Selaphume district, Roi Et Province

เอื้อมพร จันทร์สองดวง[1*] และปวีณา สาลีทอง[2]

Auemporn Junsongduang[1*] and Paweena Saleethong[2]

[1]คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด จังหวัดร้อยเอ็ด

[1]Liberal of Arts and Science Faculty, Roi Et Rajabhat University, Roi Et Province

[2]คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์

[2]Faculty of Agriculture and Technology, Rajamangala University of Technology Isan Surin Campus, Surin Province

[*]Corresponding Author E-mail Address : a.junsongduang@reru.ac.th, a.junsongduang@gmail.com

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาองค์ความรู้ในการใช้พืชสมุนไพรในการรักษาโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง (NCDs) โดยหมอยาพื้นบ้าน ในอำเภอเสลภูมิ จังหวัดร้อยเอ็ด ระหว่างเดือนตุลาคม 2564 ถึงเดือนสิงหาคม 2565 โดยการสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้าง (Semi-structer interviewed) หมอยาพื้นบ้าน ทั้งหมด 4 คน ทำการคัดเลือกแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive sampling) ผลการศึกษาพบพืชสมุนไพร 34 ชนิด 31 สกุล 26 วงศ์ พืชสมุนไพรพบมากที่สุดในวงศ์ Fabaceae จำนวน 4 ชนิด (12%) รองลงมาเป็นพืชวงศ์ Acanthaceae, Moraceae, Rhamnaceae, Rutaceae และ Smilaceae มีจำนวนเท่ากัน 2 ชนิด (6%) วิธีการเตรียมพืชสมุนไพรที่นิยมมากที่สุดคือต้มดื่ม จำนวน 28 ชนิด (82%) รองลงมาคือ กินสด จำนวน 6 ชนิด (17%) ไม้ต้นเป็นลักษณะวิสัยของพืชสมุนไพรที่ถูกนำมาใช้มากที่สุด จำนวน 13 ชนิด (39%) รองลงมาคือ ไม้พุ่ม จำนวน 9 ชนิด (27%) ส่วนของพืชที่นิยมนำมาทำยาสมุนไพรมากที่สุดคือ ลำต้น จำนวน 13 ชนิด (39%) รองลงมาคือ ใบ จำนวน 9 ชนิด (26%) กลุ่มโรคไม่ติดต่อเรื้อรังที่ใช้สมุนไพรในการรักษา มี 6 กลุ่มโรค มีค่าดัชนีความสอดคล้องขององค์ความรู้ (ICF) ที่มากที่สุดคือโรคเบาหวาน ICF เท่ากับ 0.09 พืชที่มีดัชนีรายงานการใช้มากที่สุดเท่ากัน 2 ชนิด (UV=0.75) คือ ยอบ้าน (*Morinda citrifolia* L. Lecomte.) และกะทกรก (*Passiflora foetida* L.) ซึ่งใช้ในการบำรุงหัวใจ รักษาโรคความดันสูง และเบาหวานในทั้ง 2 ชนิด

คำสำคัญ: โรคไม่ติดต่อเรื้อรัง พืชสมุนไพร พฤกษศาสตร์พื้นบ้าน หมอยาพื้นบ้าน จังหวัดร้อยเอ็ด

Abstract

The purpose of this study was to examine the species diversity of medicinal plants used by traditional healers in Selaphume District, Roi Et Province, for Non-Communicable Diseases (NCDs). The study was conducted from October 2021 to August 2022, using semi-structured interviews. Four traditional healers were selected through purposive sampling and the snowball technique. A total of 34 medicinal plant species belonging to 31 genera and 26 families were identified. The family Fabaceae had the highest number of medicinal plant species with 4 (12%), followed by Acanthaceae, Moraceae, Rhamnaceae, Rutaceae and Similaceae, each with 2 species (6%). Decoction was the most common method of preparation, accounting for 28 species (82%), followed by consuming them fresh, with 6 species (17%). Trees were the most common habit for medicinal plants used for NCDs, with 13 species (39%), followed by shrubs, with 9 species (27%). The stem was the most frequently used plant part for preparation, with 13 species (39%), followed by leaves, with 9 species (26%). The highest Informant Consensus Factor (ICF) value was found for Diabetes (ICF=0.09). The most commonly reported medicinal plants used (UV=0.75) were *Morinda citrifolia* L. Lecomte *and Passiflora foetida* L. which were used for Diabetes, High blood pressure, and Heart disease.

Keywords: Ethnobotany, Medicinal plants, NCDs, Traditional healers, Roi Et Province

บทนำ

โรคไม่ติดต่อเรื้อรังหรือโรควิถีชีวิต หรือเรียกชื่อภาษาอังกฤษสั้น ๆ ว่า โรค NCDs (Non-Communicable Diseases) เป็นโรคที่ไม่ได้เกิดขึ้นจากการติดเชื้อโรค และไม่ได้ติดต่อจากคนสู่คน แต่เป็นโรคที่เกิดจากการใช้ชีวิตประจำวันที่ไม่เหมาะสม กลุ่มโรค NCDs นี้ ประกอบด้วย โรคเบาหวาน โรคความดันโลหิตสูง โรคไขมันในเลือดสูง โรคอ้วน ลงพุง โรคหัวใจและหลอดเลือด โรคถุงลมโป่งพอง และโรคมะเร็ง เป็นต้น (สำนักโรคไม่ติดต่อ, 2560) กลุ่มโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง เป็นปัญหาสาธารณสุขสำคัญระดับโลกและระดับประเทศ (กศิมา และอรพิน, 2564) จากการรายงานข้อมูลขององค์การอนามัยโลก ในปี ค.ศ. 2016 พบว่าโรคไม่ติดต่อเรื้อรังเป็นสาเหตุการเสียชีวิตของประชากรโลกมากกว่า 90,000 คน (World Health Organization, 2020) และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเป็น 41 ล้านคน โดยเฉพาะ 4 กลุ่มโรคหลัก คือ โรคหัวใจและหลอดเลือด โรคเบาหวาน โรคมะเร็ง และโรคทางเดินหายใจเรื้อรัง เป็นสาเหตุของการเสียชีวิตของประชากรทั่วโลกถึงปีละ 38 ล้านคน หรือคิดเป็นร้อยละ 68 ของการเสียชีวิต ในประเทศไทยข้อมูลจากองค์การอนามัยโลกระบุว่าตลอดช่วงเวลา 10 ปีที่ผ่านมา กลุ่มโรค NCDs เป็นสาเหตุการตายอันดับหนึ่งของคนไทย โดยมีคนไทยป่วยเป็นโรค NCDs ถึง 14 ล้านคน (ธีระ, 2561) สำหรับประเทศไทยมีข้อมูลที่ชัดเจนว่าโรคไม่ติดต่อเรื้อรังเป็นสาเหตุ หลักของการเสียชีวิตร้อยละ 75 ของการเสียชีวิตทั้งหมด หรือประมาณ 320,000 คนต่อปี โดยในทุก 1 ชั่วโมงจะมีผู้เสียชีวิต 37 ราย ซึ่งส่วนใหญ่เสียชีวิตก่อนอายุ 70 ปี สะท้อนภาพการสูญเสียจากการตายก่อนวัยอันควร ซึ่งเมื่อคิดเป็นมูลค่าทางเศรษฐกิจรวมที่เสียไปแล้ว นับว่าสูงมากถึงร้อยละ 40 ของมูลค่างบประมาณภาครัฐไทยทั้งหมด ทั้งนี้โรค NCDs ที่พบมากที่สุดคือ โรคหลอดเลือดสมอง รองลงมาคือ โรคหัวใจขาดเลือด โรคทางเดินหายใจอุดตัน เบาหวาน และความดันโลหิตสูงตามลำดับ (กระทรวงสาธารณสุข, 2561) การใช้ชีวิตประจำวันในปัจจุบันมีสิ่งอำนวยความสะดวกมากขึ้น ทำให้มีมนุษย์มีการเคลื่อนไหวร่างกายน้อยลง รวมทั้งการรับประทานอาหารในปริมาณที่มากเกินความต้องการของร่างกาย ประกอบกับภาวะความเครียดและการพักผ่อนไม่เพียงพอสะสมเรื้อรังไปนาน ๆ ก็นำไปสู่การเกิดกลุ่มโรค NCDs ขึ้นได้ เมื่อ

ผู้ป่วยเป็นโรคนี้แล้วบางรายอาจจะต้องรับการรักษาอย่างต่อเนื่องตลอดชีวิต ยากที่จะรักษาให้หายขาด ทำให้ต้องรับประทานยาตลอดชีวิตซึ่งทำให้มีค่าใช้จ่ายในการรักษาโรคสูง และยาแผนปัจจุบันที่ใช้มีผลข้างเคียงต่อสุขภาพระยะยาว รวมทั้งบางโรคยังรุนแรงถึงขั้นเสียชีวิตได้ ซึ่งเป็นปัญหาและอุปสรรคที่สำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของประเทศ โดยเฉพาะด้านคุณภาพของทรัพยากรมนุษย์ ทำให้ประชากรเสียชีวิตก่อนวัยอันควร เกิดการสูญเสียศักยภาพในการประกอบอาชีพ และผู้ป่วยมีความทุกข์ทรมานจากการเจ็บป่วยและโรคแทรกซ้อน นอกจากจะเพิ่มภาระแก่คนรอบข้างแล้ว ยังสร้างภาระแก่สังคมโดยรวม (สำนักโรคไม่ติดต่อ, 2560) ปัจจุบันผู้ป่วยบางส่วนที่เป็นโรค NCDs หันมาใช้สมุนไพรในการรักษาโรค ซึ่งภูมิปัญญาท้องถิ่นของหมอยาพื้นบ้านที่มีมาตั้งแต่บรรพบุรุษที่ถูกถ่ายทอดมาจนถึงปัจจุบัน ความสัมพันธ์ระหว่างหมอยาพื้นบ้านกับชุมชนเป็นความผูกพันด้วยความเชื่อและความศรัทธาที่สืบทอดมาจากบรรพบุรุษ หมอยาพื้นบ้านมีอิทธิพลอย่างมากในการบรรเทาอาการป่วยและเสริมสร้างสุขภาพให้แก่ประชาชนในพื้นที่ที่อยู่ห่างไกลจากโรงพยาบาลและสถานพยาบาลของรัฐ นอกจากนี้หมอพื้นยาบ้านยังได้รับการยอมรับในการรักษาจากผู้ป่วยเพราะนอกจากทำการรักษาด้วยการแพทย์พื้นบ้านแล้วยังดูแลทางด้านจิตใจอีกด้วย จากเหตุผลดังกล่าวทำให้หมอพื้นบ้านยังคงมีบทบาทต่อการดูแลสุขภาพของชุมชนในแต่ละท้องถิ่นมาถึงปัจจุบัน

อำเภอเสลภูมิเป็นหนึ่งในยี่สิบอำเภอของจังหวัดร้อยเอ็ดซึ่งตั้งอยู่ในพื้นที่ราบอยู่กึ่งกลางของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พื้นที่ส่วนหนึ่งครอบคลุมพื้นที่ทุ่งกุลาร้องไห้ ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีความแห้งแล้งที่สุดแห่งหนึ่งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ประชากรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรม และมีฐานะยากจน แต่ยังคงรักษาไว้ซึ่งขนบธรรมเนียมประเพณีพื้นบ้านต่าง ๆ ไว้อย่างดีมาจนถึงปัจจุบัน รวมไปถึงภูมิปัญญาในการรักษาโรค ดังจะเห็นได้จากการพบว่ายังคงมีหมอยาพื้นบ้านกระจายตัวอยู่ตามหมู่บ้านต่าง ๆ อย่างไรก็ตามจากการเปลี่ยนแปลงของสังคมอย่างรวดเร็วส่งผลกระทบมาถึงสังคมชนบทอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ การละทิ้งสังคมชนบทไปสู่สังคมเมืองของคนรุ่นใหม่ การที่หมอยาพื้นบ้านส่วนใหญ่เป็นผู้สูงอายุ ความไม่สนใจของคนรุ่นใหม่ต่อภูมิปัญญาท้องถิ่น ก่อให้เกิดความเสี่ยงในการเสื่อมหายไปขององค์ความรู้ได้ในที่สุด ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาองค์ความรู้พื้นบ้านในการใช้พืชสมุนไพรเพื่อรักษากลุ่มโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง (NCDs) ซึ่งส่งผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตของประชากรในภูมิภาคนี้เป็นอย่างมาก ดังนั้นเพื่อป้องกันไม่ให้องค์ความรู้เหล่านี้สูญหายไป ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาและรวบรวมองค์ความรู้เหล่านี้ไว้ ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้จะเป็นรายงานข้อมูลทางวิชาการอันจะเผยแพร่ ให้ชุมชนหรือบุคคลที่สนใจ ตระหนักถึงความสำคัญของพืชสมุนไพรใกล้ตัวมาใช้ในการดูแลสุขภาพตนเองได้ นำไปสู่การลดการใช้ยาแผนปัจจุบันซึ่งส่งผลต่อร่างกายในระยะยาว รวมไปถึงต้องการให้มีการส่งเสริมขยายพันธุ์เพื่ออนุรักษ์พืชสมุนไพรเหล่านี้ให้คงอยู่คู่ชุมชนต่อไป งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ดังนี้ 1) เพื่อศึกษาความหลากหลายทางชีวภาพระดับชนิดของพืชสมุนไพรที่ใช้ในการรักษาโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง (NCDs) โดยหมอยาพื้นบ้าน ในอำเภอเสลภูมิ จังหวัดร้อยเอ็ด 2) เพื่อรวบรวมองค์ความรู้ในการใช้พืชสมุนไพรรักษาโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง (NCDs) โดยหมอยาพื้นบ้านในอำเภอเสลภูมิ ในจังหวัดร้อยเอ็ด

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

การเลือกพื้นที่การศึกษา

เลือกหมอยาพื้นบ้าน (Traditional healers) ในอำเภอเสลภูมิ จังหวัดร้อยเอ็ด เนื่องจากเป็นอำเภอที่ยังคงมีหมอยาพื้นบ้านยังคงอยู่ในชุมชน เลือกหมอยา โดยวิธีเฉพาะเจาะจง (Specific method) และเทคนิคลูกบอล (Ball technique) (บุญธรรม, 2540)

วิธีดำเนินการวิจัย

1. สัมภาษณ์หมอยาพื้นบ้านโดยใช้แบบสอบถามแบบกึ่งโครงสร้าง (Semi-structured interview) สอบถามชนิดพืชที่ใช้ในการรักษาโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง (NCDs) ส่วนของพืชที่ใช้ แหล่งที่มาของสมุนไพร วิธีการเตรียมและใช้ในการรักษาโรค

2. สำรวจพื้นที่ที่มีการเก็บพืชสมุนไพรกับหมอยาพื้นบ้าน พร้อมกับการสอบถามข้อมูลของพืชสมุนไพรเพิ่มเติมในภาคสนาม จดบันทึกข้อมูล ถ่ายภาพพืชสมุนไพรภาคสนาม พร้อมกับเก็บตัวอย่างพืชสมุนไพร เพื่อมาจัดทำพรรณไม้อ้างอิง

3. เก็บตัวอย่างพืชในภาคสนาม นำมาตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยา เพื่อระบุชื่อวิทยาศาสตร์ ใน ระดับวงศ์ ระดับสกุล และระดับชนิด โดยใช้เอกสารทางอนุกรมวิธานที่เกี่ยวข้อง เช่น พรรณพฤกษชาติแห่งประเทศไทย (Flora of Thailand) (Smitinand et al., 2005) เปรียบเทียบกับฐานข้อมูลตัวอย่างพรรณไม้แห้ง และฐานข้อมูลพฤกษศาสตร์พื้นบ้าน องค์การสวนพฤกษศาสตร์ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ฐานข้อมูลสมุนไพร คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ตรวจสอบชื่อพรรณไม้พื้นเมืองและชื่อไทยตามหนังสือรายชื่อพรรณไม้แห่งประเทศไทย เต็ม สมิตินันทน์ (สวนพฤกษศาสตร์ป่าไม้, 2557)

4. จัดทำตัวอย่างพันธุ์ไม้ (Voucher specimens) และเก็บรักษาไว้สำหรับอ้างอิงที่ ห้องปฏิบัติการพฤกษศาสตร์ สาขาวิชาชีววิทยา คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยร้อยเอ็ด

การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณ

วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาชนิดของพืชที่ได้รับความนิยมสูงสุดดังนี้

ดัชนีรายงานการใช้ (Use Value; UV)

UV ใช้เพื่อประมาณการใช้ประโยชน์สูงสุดของพืชแต่ชนิด ค่า UV มีค่าใกล้ศูนย์ แสดงให้เห็นว่าการใช้พืชชนิดนั้น ๆ มีจำกัด ค่า UV คำนวณด้วยสูตรต่อไปนี้ (Phillips et al., 1994)

$$UV = (\sum Ui) / n \quad (1)$$

$\sum Ui$ คือ จำนวนรายงานการใช้พืชสมุนไพรที่กำหนด

n คือ จำนวนผู้ให้ข้อมูลทั้งหมดในการศึกษา

วิเคราะห์หาความสอดคล้องขององค์ความรู้ของหมอยา

ดัชนีที่แสดงความสอดคล้องขององค์ความรู้ (Informant Consensus Factor; ICF)

ICF คือดัชนีวัดความสอดคล้องขององค์ความรู้ของหมอพื้นบ้านในการใช้พืชสมุนไพรในการรักษาโรคใด ๆ ค่า ICF ใกล้ 1.00 บ่งชี้ว่า มีความสอดคล้องกันขององค์ความรู้ในการรักษาโรคระหว่างหมอยาพื้นบ้านที่ทำการสอบถาม

ICF คำนวณด้วยสูตรต่อไปนี้ (Trotter and Logan, 1986)

$$ICF = (N_{ur} - N_t) / (N_{ur} - 1) \quad (2)$$

N_{ur} คือ จำนวนรายงานการใช้พืชสมุนไพรในการรักษาโรคนั้น ๆ

N_t คือ จำนวนชนิดพืชที่ใช้ในการรักษาโรคนั้น ๆ โดยหมอพื้นบ้านที่ทำการศึกษา

ผลการวิจัย

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลสัมภาษณ์หมอยาพื้นบ้าน ในอำเภอเสลภูมิ จังหวัดร้อยเอ็ด โดยผู้ให้ข้อมูลที่เป็นหมอยาพื้นบ้านเป็นเพศชายทั้งหมด จำนวน 4 คน ประกอบอาชีพหลักเป็นเกษตรกรรม และมีอาชีพหมอยาพื้นบ้านเป็นอาชีพรอง รายละเอียดดัง ตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รายละเอียดของหมอยาพื้นบ้านที่ทำการศึกษาในอำเภอเสลภูมิ จังหวัดร้อยเอ็ด

ลำดับที่	อาชีพ	อายุ	การศึกษา	จำนวนชนิดพืชที่ใช้ในการรักษาโรค
1.	เกษตรกรรมและหมอยาพื้นบ้าน (หมอธรรม)	82	ประถมศึกษา	30
2.	เกษตรกรรมและหมอยาพื้นบ้าน (หมอสูตร)	80	ประถมศึกษา	26
3.	เกษตรกรรมและ ปราชญ์ชาวบ้าน (ธรรมเกษตร)	71	ประถมศึกษา	32
4.	เกษตรกรรมและหมอยาพื้นบ้าน	82	ประถมศึกษา	32
	เฉลี่ย	78.75	ประถมศึกษา	30

ค่าความสอดคล้องขององค์ความรู้ (ICF) ในการใช้พืชสมุนไพรในการรักษาโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง

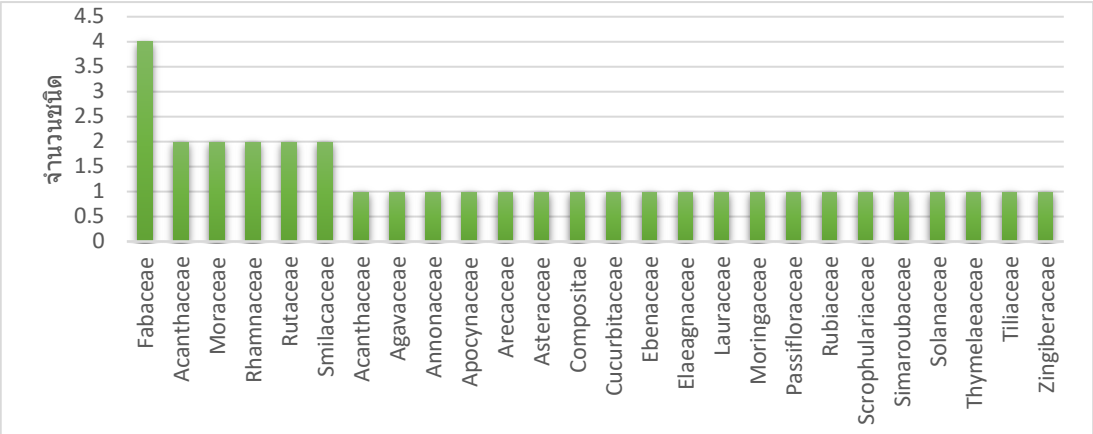
จากการศึกษาการใช้พืชสมุนไพรในการรักษาโรคของหมอยาพื้นบ้าน ในอำเภอเสลภูมิ จังหวัดร้อยเอ็ด จำนวนทั้งหมด 34 ชนิด ได้นำมาใช้ในการรักษาโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง (NCDs) ทั้งหมด 6 โรค/กลุ่มอาการ พบว่า โรคเบาหวานมีค่า ICF สูงที่สุด 0.09 (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ค่าความสอดคล้องขององค์ความรู้ (ICF) ในการใช้พืชสมุนไพรในการรักษาโรคไม่ติดต่อเรื้อรังของหมอยาพื้นบ้าน ในอำเภอเสลภูมิ จังหวัดร้อยเอ็ด

กลุ่มโรค/อาการ	รายงานการใช้ (Nur)	จำนวนชนิดพืชที่ใช้ (Nt)	ICF
เบาหวาน	12	11	0.09
โลหิตจาง/บำรุงโลหิต	6	6	0.00
ความดันสูง	8	8	0.00
มะเร็ง	4	4	0.00
โรคหัวใจ/บำรุงหัวใจ	11	11	0.00
ลดไขมัน/คอเลสเตอรอล	1	1	0.00

ความหลากชนิดของพืชสมุนไพรที่ใช้ในการรักษาโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง (NCDs) ในอำเภอเสลภูมิ จังหวัดร้อยเอ็ด

ความหลากหลายของพืชสมุนไพร พบว่า พืชของหมอยาพื้นบ้าน ในอำเภอเสลภูมิ จังหวัดร้อยเอ็ด มีจำนวนทั้งหมด 34 ชนิด 31 สกุล 26 วงศ์ โดยพบว่าพืชวงศ์ Fabaceae มีจำนวนชนิดพืชสมุนไพรที่นำมาใช้ในการรักษาโรค NCDs มากที่สุด จำนวน 4 ชนิด (12%) รองลงมาเป็น พืชวงศ์ Acanthaceae, Moraceae, Rhamnaceae, Rutaceae และ Smilaceae มีจำนวนเท่ากัน 2 ชนิด (6%) ส่วนพืชอีก 20 วงศ์ที่เหลือมีวงศ์ละ 1 ชนิด (3%) (ตารางที่ 3, รูปที่ 1)



รูปที่ 1 จำนวนชนิดพืชสมุนไพรที่ใช้ในการรักษาโรค NCDs ในแต่ละวงศ์

ค่าดัชนีรายงานการ (UV) ใช้พืชสมุนไพรในในการรักษาโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง

จากการศึกษาการใช้พืชสมุนไพรในการรักษาโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง (NCDs) โดยหมอยาพื้นบ้านในอำเภอเสลภูมิ จังหวัดร้อยเอ็ด จำนวนทั้งหมด 34 ชนิด พบว่า พืชที่มีดัชนีรายงานการใช้พืชสมุนไพรมากที่สุดคือ 0.75 เท่ากัน 2 ชนิด คือ ยอบ้าน (*Morinda citrifolia* L.) และกะทกรก (*Passiflora foetida* L.) ซึ่งใช้ในการบำรุงหัวใจ รักษาโรคความดันสูง และเบาหวานในทั้ง 2 ชนิด (ตารางที่ 3)

ส่วนของพืชสมุนไพรที่ใช้ในการรักษาโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง

ส่วนของพืชที่ใช้ในการรักษาโรคการรักษาโรคไม่ติดต่อเรื้อรังของหมอยาพื้นบ้าน ในหมอยาพื้นบ้านในอำเภอเสลภูมิ จังหวัดร้อยเอ็ด พบมากที่สุด คือลำต้น จำนวน 15 ชนิด (44%) รองลงมาคือ ใบ จำนวน 12 ชนิด (35%) ราก จำนวน 8 ชนิด (25%) แก่น จำนวน 6 ชนิด (17%) เปลือกและผลเท่ากัน จำนวน 4 ชนิด (11%) และใช้ทั้งต้น จำนวน 2 ชนิด (5%) (ตารางที่ 3)

วิธีการใช้พืชสมุนไพรในการรักษาโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง

วิธีการรักษาโรค NCDs ของหมอยาพื้นบ้าน ในอำเภอเสลภูมิ จังหวัดร้อยเอ็ด พบทั้งหมด 9 วิธี พบวิธีการใช้มากที่สุด คือ ต้มดื่ม จำนวน 28 ชนิด (82%) รองลงมา คือ กินสด จำนวน 6 ชนิด (17%) ประกอบอาหาร จำนวน 4 ชนิด (11%) คั้นน้ำกิน คั้นน้ำทา ฝนทา จำนวน 1 ชนิดเท่ากัน (3%) (ตารางที่ 3)

ลักษณะวิสัยของพืชสมุนไพรที่ใช้ในการรักษาโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง

ลักษณะวิสัยของพืชสมุนไพรของหมอยาพื้นบ้านในอำเภอเสลภูมิ จังหวัดร้อยเอ็ด พบมากที่สุด คือ ไม้ต้น จำนวน 13 ชนิด (39%) รองลงมา คือ ไม้พุ่ม จำนวน 9 ชนิด (27%) ไม้ล้มลุก จำนวน 7 ชนิด (21%) และไม้เลื้อย จำนวน 4 ชนิด (12%) (ตารางที่ 3)

การอภิปรายผล

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาภูมิปัญญาในการใช้พืชสมุนไพรของหมอยาพื้นบ้านในการรักษาโรค NCDs ในอำเภอเสลภูมิ จังหวัดร้อยเอ็ด ซึ่งถือว่าชุมชนมีทุนทางด้านทรัพยากรชีวภาพพืชสมุนไพรในท้องถิ่น ข้อมูลการศึกษาครั้งนี้ได้จากการสังเกต การสัมภาษณ์ โดยใช้การสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้าง (Semi-structure interviewed) ผลการศึกษาพบความหลากชนิดของพืชสมุนไพรที่ใช้ในการรักษาโรค NCDs มีจำนวนทั้งหมด 34 ชนิด 31 สกุล 26 วงศ์ โดยพบว่า พืชวงศ์ Fabaceae มีจำนวนชนิดพืชสมุนไพรที่นำมาใช้ในการรักษาโรค NCDs มากที่สุด ซึ่งยังไม่พบรายงานการศึกษาความหลากชนิดของพืชสมุนไพรที่ใช้ในการรักษาโรค NCDs โดยเฉพาะ ดังนั้นในแง่ของความหลากชนิดจึงยังไม่สามารถเปรียบเทียบกับการศึกษาที่ผ่านมาได้ แต่การศึกษาความหลากชนิดของพืชสมุนไพรในการรักษาโรคต่าง ๆ พบว่า สอดคล้องกับในหลายการศึกษาในประเด็นพบว่าพืชในวงศ์ Fabaceae ถูกนำมาใช้ในการเป็นพืชสมุนไพรมากที่สุดการศึกษาของ ศิราภรณ์ และคณะ (2561) ที่ทำการศึกษาที่จังหวัดกาฬสินธุ์ การศึกษาของ Junsongduang et al. (2020) ศึกษาพืชสมุนไพรของหมอยาพื้นบ้านชาติพันธุ์ภูไทในจังหวัดร้อยเอ็ด เอื้อมพร และคณะ (2565) ศึกษาพืชสมุนไพรในชุมชนในจังหวัดยโสธร การศึกษาของ นวพรรษ และวรชาติ (2560) ซึ่งศึกษาภูมิปัญญาการใช้สมุนไพรในการดูแลสุขภาพเบื้องต้นในชุมชนพื้นที่ป่าชุมชนบ้านหินฮาว อำเภอบ้านฝาง จังหวัดขอนแก่น พบว่า วงศ์ที่มีการใช้มากที่สุดคือพืชในวงศ์ Fabaceae มากที่สุดเช่นกัน และพบว่า มีรายงานการใช้ประดู่ป่า (*Pterocarpus macrocarpus* Kurz) ฟักข้าว (*Momordica cochinchinensis* (Lour.) Spreng.) และย่านาง (*Tiliacora triandra* (Colebr.) Diels) ในการลดน้ำตาลในเลือดเช่นเดียวกับการศึกษาครั้งนี้ ในขณะที่การศึกษาของ ศรัญญา (2561) ศึกษาการใช้พืชสมุนไพรของชาวกุย จังหวัดศรีษะเกษ พบว่า มีการใช้ ย่านางแดง (*Lysiphyllum strychnifolia* (Craib) A Schmitz.) ในการรักษาโรค NCDs ในการรักษาโรคความดันสูง ซึ่งต่างจากในการศึกษาครั้งนี้ที่ใช้ย่านางแดงในการบำรุงโลหิตหรือใช้บำรุงหัวใจ จะเห็นได้ว่าความแตกต่างขององค์ความรู้ในการใช้พืชสมุนไพรอาจจะเหมือนหรือแตกต่างกันก็ได้ในแต่ละชุมชน ขึ้นอยู่กับภูมิปัญญาในแต่ละชุมชนที่ถ่ายทอดกันมา เช่น ในการศึกษาของ ปาจรีย์ (2561) ที่ศึกษาองค์ความรู้การใช้ประโยชน์จากความหลากหลายทางชีวภาพของพืชในชุมชน จำนวน 36 ชุมชน ในเขตพื้นที่ของจังหวัดนครพนม มุกดาหาร เชียงราย พะเยา ลำปาง ลำพูน แพร่ อุตรดิตถ์ แม่ฮ่องสอน และตาก ซึ่งพบว่า แต่ละพื้นที่มีจำนวนชนิดพืชที่ใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย รวมไปถึงการใช้เป็นพืชสมุนไพร จะเห็นได้ว่าภูมิปัญญาในการใช้พืชสมุนไพรเกิดจากองค์ความรู้ในชุมชนที่อาจจะได้รับมาจากครอบครัว หรือแลกเปลี่ยนกับชุมชนใกล้เคียง ผสมกับความเชื่อในวัฒนธรรมท้องถิ่นของแต่ละพื้นที่จนเกิดเป็นองค์ความรู้หรือภูมิปัญญาท้องถิ่นของชุมชนที่เป็นเอกลักษณ์เป็นของชุมชน

กลุ่มอาการของโรค NCDs และค่าความสอดคล้องขององค์ความรู้ (ICF) ของหมอยาพื้นบ้าน

การศึกษาครั้งนี้พบ 6 กลุ่มอาการ/โรค NCDs โดยกลุ่มอาการของ NCDs ที่มีการใช้พืชสมุนไพรมากที่สุด คือ เบาหวาน ซึ่งสอดคล้องกับอุบัติการณ์ของโรค ที่มีอัตราการเกิดร้อยละ 9 ของประชากรไทยที่มีอายุ 40 ปีขึ้นไป (อาคม และคณะ, 2561) ซึ่งสหพันธ์เบาหวานนานาชาติได้คาดการณ์อัตราการเกิดโรคว่า ในปี พ.ศ. 2583 ประเทศไทยจะมีผู้ป่วยเบาหวานสูงถึง 5.3 ล้านคน กระทรวงสาธารณสุขจึงระบุให้โรคเบาหวานเป็นหนึ่งในโรคที่กระทรวงให้ความสำคัญในการป้องกันและรักษาตามแผนยุทธศาสตร์ชาติระยะ 20 ปี (ด้านสาธารณสุข) ปี พ.ศ. 2560 (พงศธร, 2563) มัทนา และแดนชัย (2557) ได้สรุปผลจากงานวิจัยการใช้สมุนไพรรักษาโรคเบาหวานไว้ว่าการใช้สมุนไพรเป็นอีกทางเลือกหนึ่งซึ่งสามารถใช้รักษาโรคเบาหวานได้ โดยแนวทางใช้พืชสมุนไพรนั้นควรใช้พืชสมุนไพรพื้นบ้านที่ไม่มีความเป็นพิษโดยมีข้อแนะนำในการใช้ คือ การนำไปปรุงอาหารหรือแปรรูปอย่างง่ายโดยไม่ใช้ตัวทำละลายที่เป็นพิษ เช่น การทำเป็นเครื่องดื่มสมุนไพร การทำเป็นชาสมุนไพร เป็นต้น ควบคู่ไปกับการรักษาโดยแพทย์ปัจจุบันและควรแจ้งให้แพทย์ประจำตัวทราบว่าได้ใช้สมุนไพร เพื่อแพทย์จะได้ทราบถึงสาเหตุหรือปัจจัยอื่น ๆ ในกรณีที่ระดับน้ำตาลในเลือดลดลงมากเกินไปซึ่งจะช่วยให้แพทย์สามารถให้คำแนะนำที่ถูกต้องได้อย่างทันท่วงทีและมีประสิทธิภาพในการรักษาสูงสุด

ส่วนของพืชที่ใช้และลักษณะวิสัย

ส่วนที่ใช้มากที่สุดของพืชสมุนไพร คือ ลำต้น สอดคล้องกับลักษณะวิสัยของพืชสมุนไพรที่เป็นไม้ต้นมากที่สุดเช่นกัน สอดคล้องกับการศึกษาในหมอยาพื้นบ้านกลุ่มชาติพันธุ์ภูไท ในจังหวัดร้อยเอ็ด (Junsongduang et al., 2020) ที่พบว่า มีการใช้ส่วนของลำต้นมากที่สุด อาจจะเป็นเพราะส่วนของลำต้นมีสารทุติยภูมิที่สะสมอยู่มากเมื่อเทียบกับส่วนอื่น ในขณะที่การศึกษาของ สุนทรี และคณะ (2558) ทำการศึกษาในชุมชนบ้านดงบัง พบว่ามีการใช้ส่วนใบ/ยอด มากที่สุด อาจจะเป็นเพราะใบเป็นส่วนที่เก็บได้ง่ายสะดวกในการนำไปเตรียมหรือใช้ในการรักษาคนไข้ และสามารถเก็บเกี่ยวได้หลายครั้ง ตามความต้องการเนื่องจากใบสามารถงอกใหม่ได้ตลอดเวลา ถ้ามีการเว้นระยะการเก็บเกี่ยวที่นานพอ ในขณะไม่พบว่ามีการใช้ส่วนของดอกในการศึกษาครั้งนี้

ค่าดัชนีรายงานการใช้ (UV) และวิธีในการใช้พืชสมุนไพรในการรักษา

พืชที่มีดัชนีรายงานการใช้พืชสมุนไพรมากที่สุด คือ ยอบ้าน (*Morinda citrifolia* L.) และกะทกรก (*Passiflora foetida L.*) ที่ค่า UV เท่ากัน 0.75 ซึ่งพืชทั้ง 2 ชนิดมีรายงานใช้ในการบำรุงหัวใจ ความดันสูง เบาหวาน เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของ สุจิตรา (2560) ทำการศึกษาการใช้พืชสมุนไพรโดยหมอยาพื้นบ้านในจังหวัดกาฬสินธุ์ พบว่า พืชที่มีค่า UV สูงสุดคือ ฝางแดง (*Caesalpinia sappan* L.) และกำแพงเจ็ดชั้น (*Salacia chinensis* L.) ซึ่งแตกต่างกัน อาจจะเป็นเพราะยอบ้านและกะทกรก เป็นพืชที่พบได้ทั่วไปในชุมชน ปลูกและขยายพันธุ์ได้ง่าย ส่วนฝางแดงและกำแพงเจ็ดชั้นเป็นพืชป่า อาจจะเป็นพืชที่หาได้ยากในธรรมชาติ ส่วนวิธีการในการรักษาโรคมากที่สุด คือ การต้มดื่ม สอดคล้องกับหลาย ๆ การศึกษาที่ผ่านมา เช่น การศึกษาของ สุวิมล และคณะ (2560), Panyaphu et al. (2011), Junsongduang et al. (2014), Maneenon et al. (2015), Phumthum et al. (2018) และ Junsongduang et al. (2020) เนื่องจากการต้มดื่มเป็นวิธีที่เตรียมได้ง่ายและสะดวกในการนำมาใช้รักษาคนไข้ วัฒนธรรมการดื่มน้ำร้อนเป็นวัฒนธรรมที่พบมากที่สุดในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เช่น การดื่มชาร้อน การต้มยาสมุนไพรจีน เป็นต้น

บทสรุป

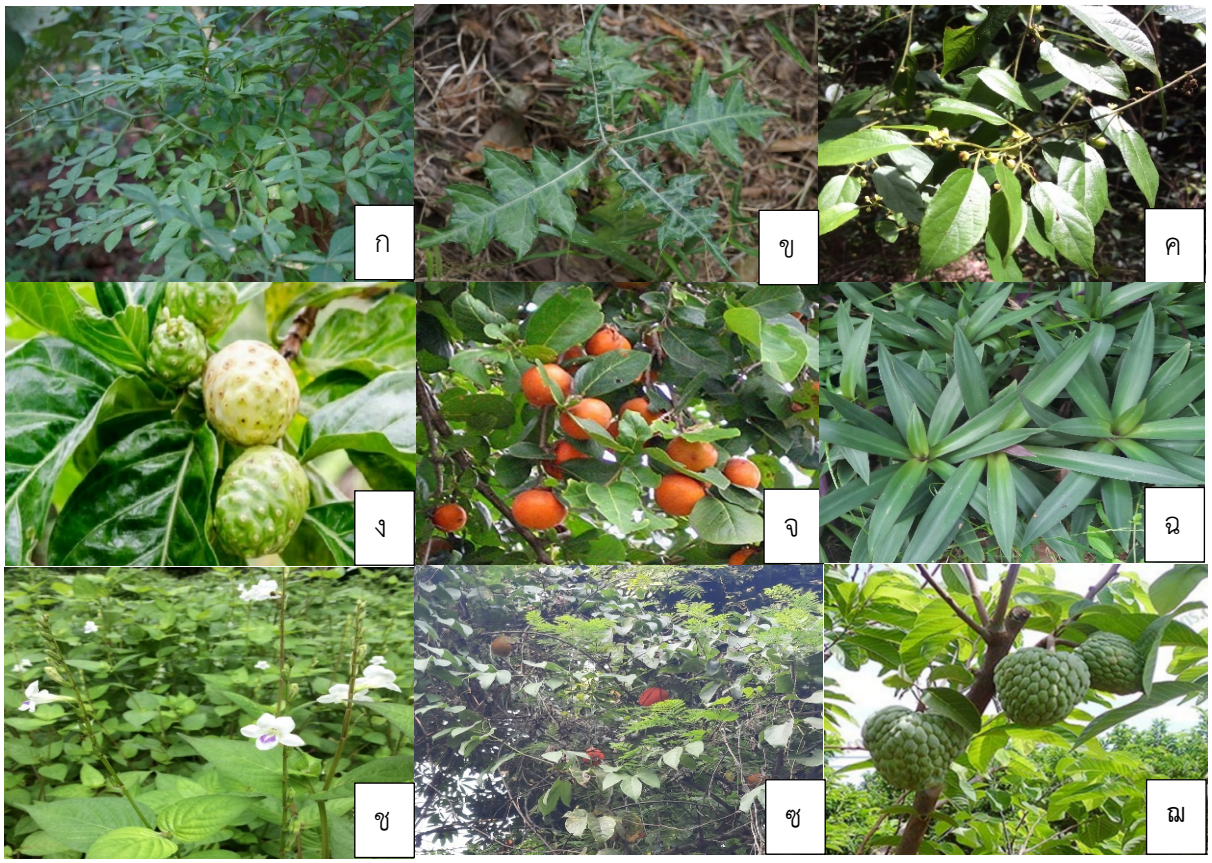
จากผลงานวิจัยครั้งนี้พบว่าหมอยาพื้นบ้านในอำเภอเสลภูมิมีองค์ความรู้พื้นบ้านในการนำพืชในท้องถิ่นมาใช้ในการส่งเสริมสุขภาพและรักษากลุ่มโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง (NCDs) ทั้งหมด 34 ชนิด มีการนำพืชสมุนไพรไปใช้ในการรักษากลุ่มโรค NCDs อย่างหลากหลาย เริ่มตั้งแต่การบำรุงรักษาร่างกาย ไปจนถึงการรักษาโรคต่าง ๆ ซึ่งองค์ความรู้เหล่านี้เป็นองค์ความรู้ที่ทรงคุณค่าสมควรที่จะทำการศึกษารวบรวมไว้เป็นเอกสารข้อมูลและเผยแพร่ให้ความรู้แก่ชุมชนต่อไป อย่างไรก็ตามคณะผู้วิจัยขอเสนอแนะแนวทางเพื่อเป็นการส่งเสริมการใช้สมุนไพรในท้องถิ่นในการดูแลสุขภาพเพื่อเป็นแนวทางในการป้องกันหรือรักษาการเกิดโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง (NCDs) ดังนี้ 1) การวิจัยและพัฒนาพืชสมุนไพรสมควรให้หน่วยงานที่มีองค์ความรู้ร่วมมือวิจัยและพัฒนาพืชสมุนไพรแบบมีส่วนร่วมกับ ชุมชน ปราชญ์ท้องถิ่น หมอพื้นบ้าน 2) ควรมีการส่งเสริมการให้ความรู้การใช้สมุนไพรอย่างถูกต้องทั้งในรูปแบบสมุนไพรดั้งเดิม รูปแบบอาหาร และรูปแบบสมุนไพรแปรรูป เพื่อให้คนรุ่นหลังได้รับทราบข้อมูลเกี่ยวกับคุณประโยชน์ในด้านต่าง ๆ 3) ควรมีการเก็บรักษาและอนุรักษ์ชนิดพืชสมุนไพรที่มีประโยชน์และใช้ในชีวิตประจำวัน อาจจะโดยรณรงค์ให้มีการขยายพันธุ์พืชสมุนไพรปลูกในสวนหลังบ้านของชุมชน เช่น ย่านางแดง อ่อมแซ่บ กะทกรก ผักก้านตรง ซึ่งเป็นพืชที่ใช้ประกอบอาหารในชีวิตประจำวันอยู่แล้ว 4) ควรมีการจัดการองค์ความรู้ภูมิปัญญาท้องถิ่น ด้านการใช้สมุนไพรใช้การถ่ายทอดองค์ความรู้ โดยการสร้างกลุ่มการเรียนรู้หมอพื้นบ้าน ร่วมกับถ่ายทอดให้เยาวชน ผู้สนใจ เพื่อเก็บรวบรวมองค์ความรู้ภูมิปัญญาท้องถิ่นด้านพืชสมุนไพรให้คงอยู่คู่ชุมชนต่อไป

ตารางที่ 3 พืชสมุนไพรที่ใช้ในการรักษาโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง (NCDs) โดยหมอยาพื้นบ้านในอำเภอเสลภูมิ จังหวัดร้อยเอ็ด

ลำดับที่	ชื่อวิทยาศาสตร์ (Scientific name)	ชื่อวงศ์ (Family)	ชื่อสามัญ (Habit)	โรค NCDs	ส่วนที่ใช้	วิธีการ	UV
1	*Acanthus ebracteatus* Vahl.	Acanthaceae	เหงือกปลาหมอ (S)	เบาหวาน	ลำต้น	ต้มดื่ม	0.25
2	*Alstonia scholaris* (L.) R. Br.	Apocynaceae	ตีนเป็ด (T)	เบาหวาน	ผล	ต้มดื่ม, ฝนผสมน้ำดื่ม	0.25
3	*Annona squamosa* L.	Annonaceae	หมากเขียบ (S)	ความดันสูง	ใบ	ต้มดื่ม	0.25
4	*Aquilaria crassna* Pierre ex Lecomte.	Thymelaeaceae	กฤษณา (T)	บำรุงหัวใจ, เบาหวาน	แก่น, ใบ	ต้มดื่ม	0.50
5	*Artemisia vulgaris* L.	Asteraceae	โกฐจุฬา (H)	บำรุงหัวใจ	ลำต้น	ต้มดื่ม	0.25
6	*Asystasia gangetica* (L.) T. Anderson.	Acanthaceae	อ่อมแซบ (H)	ความดันสูง	ใบ, ลำต้น	คั้นกินน้ำสด	0.25
7	*Calamus acanthophyllus* Becc.	Arecaceae	หวายนั่ง (C)	มะเร็ง	ลำต้น	ต้มดื่ม	0.25
8	*Caesalpinia sappan* L.	Fabaceae	ฝาง (T)	ความดันสูง	เปลือก แก่น	ต้มดื่ม	0.25
9	*Clausena excavata* Burm. f.	Rutaceae	เพี้ยฟาน (S)	บำรุงโลหิต	ใบ	กินสด	0.25
10	*Colubrina asiatica* (L.) Brongn.	Rhamnaceae	ผักก้านตรง (S)	ความดันสูง	ใบ, ลำต้น	กินสด ประกอบอาหาร	0.25
11	*Cinnamomum iners* Reinw. ex Blume.	Lauraceae	อบเชย (T)	บำรุงหัวใจ	แก่น เปลือก	กินสด ต้มดื่ม	0.25
12	*Diospyros rhodocalyx* Kurz.	Rhamnaceae	ตะโกนา (T)	บำรุงหัวใจ	แก่น เปลือก	กินสด ต้มดื่ม	0.25
13	*Dracaena cochinchinensis* (Lour.)	Asparagaceae	จันทร์แดง (T)	บำรุงหัวใจ	แก่น	ต้มดื่ม	0.50
14	*Elaeagnus latifolia* L.	Elaeagnaceae	เครือหมากหลอด (S)	บำรุงหัวใจ	ลำต้น	ต้มดื่ม	0.25
15	*Elephantopus scaber* L.	Asteraceae	โด่ไม่รู้ล้ม (H)	บำรุงหัวใจ	ลำต้น	ต้มดื่ม	0.25
16	*Ficus foveolata* Buch. -Ham. ex Sm.	Moraceae	ม้ากระทืบโรง (T)	บำรุงโลหิต	ลำต้น	ต้มดื่ม	0.25
17	*Ficus racemose* L.	Moraceae	หมากเดื่อ (T)	บำรุงโลหิต	ทั้งต้น	ต้มดื่ม	0.25
18	*Glycosmis pentaphylla* (Retz.) DC.	Rutaceae	ชมชื่น (S)	มะเร็ง	ลำต้น	ต้มดื่ม	0.25
19	*Harrisonia perforata* (Blanco) Merr.	Simaroubaceae	หนามคนทา (S)	โลหิตจาง	ราก	ต้มดื่ม	0.25
20	*Kaempferia galanga* L.	Zingiberaceae	แฝกหอม (H)	บำรุงหัวใจ	ลำต้น	ต้มดื่ม	0.25

21	*Lysiphyllum strychnifolia* (Craib) A Schmitz.	Fabaceae	ย่านางแดง (C)	บำรุงหัวใจ, บำรุงโลหิต	ลำต้น, ใบ	ต้มดื่ม	0.50
22	*Garcinia speciosa* Wall.	Clusiaceae	ส้มโมง (T)	เบาหวาน	ใบ	ต้มดื่ม	0.25
23	*Millingtonia hortensis* L.f.	Bignoniaceae	ปีบ (T)	เบาหวาน	แก่น	ต้มดื่ม	0.25
24	*Morinda citrifolia* L.	Rubiaceae	ยอบ้าน (T)	บำรุงหัวใจ, ความดันสูง, เบาหวาน	ใบ	คั่นน้ำทาที่ขา	0.75*
25	*Moringa oleifera* Lam.	Moringaceae	มะรุม (T)	ลดไขมัน คอเลสเตอรอล	ผล	ต้มดื่มหรือประกอบอาหาร	0.25
26	*Momordica cochinchinensis* (Lour.) Spreng.	Cucurbitaceae	ฟักข้าว (C)	เบาหวาน	ผล, ใบ, ราก	ต้มดื่ม	0.25
27	*Passiflora foetida* L.	Passifloraceae	กะทกรก (C)	บำรุงหัวใจ, ความดันสูง, เบาหวาน	ราก, ลำต้น	ต้มดื่ม	0.75*
28	*Pterocarpus macrocarpus* Kurz.	Fabaceae	ประดู่ (T)	เบาหวาน, ความดันสูง	ใบ, เปลือก, แก่น	ต้มดื่ม	0.50
29	*Solanum virginianum* L.	Solanaceae	มะเขือขื่น (H)	เบาหวาน	ใบ, ผล, ราก	ต้มดื่ม	0.50
30	*Smilax corbularia* Kunth.	Smilacaceae	ข้าวเย็นเหนือ (C)	มะเร็ง	ทั้งต้น	ต้มดื่ม	0.25
31	*Smilax glabra* Roxb.	Smilacaceae	ข้าวเย็นใต้ (C)	มะเร็ง	ลำต้น	ต้มดื่ม	0.25
32	*Torenia fournieri Lindl.* ex Fourn.	Commelinaceae	ผักเกร็ดหอย (H)	ความดันสูง	ใบ, ลำต้น	กินสดหรือประกอบอาหาร	0.25
33	*Xylia xylocarpa* (Roxb.) Taub.	Fabaceae	แดง (T)	โลหิตจาง บำรุงหัวใจ	ราก, ลำต้น	ต้มดื่ม	0.50
34	*Ziziphus oenopolia* (L.) Mill.	Rhamnaceae	เล็บแมว (S)	เบาหวาน	ราก, เปลือก	ต้มดื่ม	0.50

หมายเหตุ: * พืชที่มีค่า UV สูงสุด; T= ไม้ต้น, S= ไม้พุ่ม, H= ไม้พุ่ม, C= ไม้เลื้อย



รูปที่ 2 ตัวอย่างพืชสมุนไพรที่ใช้ในการรักษาโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง (NCDs) โดยหมอยาพื้นบ้านในอำเภอเสลภูมิ จังหวัดร้อยเอ็ด

ก. หนามคณฑา (*Harrisonia perforata* (Blanco) Merr.) ข. เหงือกปลาหมอ (*Acanthus ebracteatus* Vahl.)
ค. ผักก้านตรง (*Colubrina asiatica* (L.) Brongn.) ง. ยอบ้าน (*Morinda citrifolia* L.)
จ. ตะโกนา (*Diospyros rhodocalyx* Kurz.) ฉ. เกล็ดหอย (*Torenia fournieri* Lindl. ex Fourn.)
ช. อ่อมแซ่บ (*Asystasia gangetica* (L.) T. Anderson.) ซ. กะทกรก (*Passiflora foetida* L.)
ฌ. น้อยหน่า (*Annona squamosa* L.)

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ดที่สนับสนุนทุนวิจัย งบประมาณแผ่นดิน ปีงบประมาณ พ.ศ. 2565 ขอขอบพระคุณหมอยาพื้นบ้านในอำเภอเสลภูมิทุกท่าน ที่ให้ความร่วมมือในการทำงานวิจัย การเก็บข้อมูลทั้งการสัมภาษณ์ และการพาสำรวจเก็บข้อมูลภาคสนาม และมีไมตรีจิตต่อผู้วิจัยเป็นอย่างดีจนเสร็จสิ้นงานวิจัยจวบจนปัจจุบัน

เอกสารอ้างอิง

กศิมา สง่ารัตนพิมาน และอรพิน ภัทรกรสกุล. (2564). การประเมินผลการพัฒนาระบบการจัดการโรคไม่ติดต่อเรื้อรังเครือข่ายโรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชสระแก้ว. วารสารวิทยาลัยพยาบาลพระจอมเกล้า จังหวัดเพชรบุรี. 5(1): 42-57.

ฐานข้อมูลพืชสมุนไพร คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. (2553). ค้นเมื่อ 20 พฤศจิกายน 2565. http://www.phargarden.com/main.php.

มัทนา เครื่องเงิน และแดนชัย เครื่องเงิน. (2557). การใช้สมุนไพรรักษาโรคเบาหวาน: สักทอง. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 1(1): 1-9.

สวนพฤกษศาสตร์ป่าไม้ สำนักวิชาการป่าไม้. (2557). ชื่อพรรณไม้แห่งประเทศไทย เต็ม สมิตินันทน์ ฉบับแก้ไขเพิ่มเติม พ.ศ. 2541. กรมป่าไม้: กรุงเทพฯ.

นวพรรษ ผลดี และวรชาติ โตแก้ว. (2560). ภูมิปัญญาการใช้สมุนไพรในการดูแลสุขภาพเบื้องต้นในชุมชนพื้นที่ป่าชุมชนบ้านหินฮาว อำเภอบ้านฝาง จังหวัดขอนแก่น. รายงานการวิจัย. สาขาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม.

บุญธรรม กิจปรีดาบริสุทธิ์. (2540). ระเบียบวิธีการวิจัยทางสังคมศาสตร์.พิมพ์ครั้งที่ 7. โรงพิมพ์เจริญผล: กรุงเทพมหานคร.

ปาจรีย์ อินทะชุบ. (2561). วิจัยภูมิปัญญาท้องถิ่นด้านความหลากหลายทางชีวภาพของพืชในชุมชน. รายงานการวิจัย. กรมวิชาการเกษตร. กรุงเทพฯ.

พงศธร พอกเพิ่มดี. (2563). แผนยุทธศาสตร์ชาติระยะ 20 ปี (ด้านสาธารณสุข) พ.ศ. 2561-2580. วารสารวิชาการสาธารณสุข. 29(1): 173-186.

พัฒ สุจำนงค์. (2524). การพัฒนาชนบทแบบผสมผสานสำหรับประเทศไทย. ไทยวัฒนาพานิช: กรุงเทพฯ.

สำนักโรคไม่ติดต่อ กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข. (2556). แนวทางการประเมินโอกาส เสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือด. สำนักงานกิจการโรงพิมพ์องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึก: กรุงเทพฯ.

สำนักโรคไม่ติดต่อ กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข. (2560). แผนยุทธศาสตร์การป้องกันและควบคุมโรคไม่ติดต่อระดับชาติ 5 ปี (พ.ศ. 2560-2564). บริษัท อิโมชั่น อาร์ต จำกัด: กรุงเทพฯ.

ธีระ วรธนารัตน์. (2561). รู้เท่าทัน-ปรับพฤติกรรม-เสริมสร้างสุขภาวะ ป้องกันกลุ่มโรคไม่ติดต่อ NCDs. ค้นเมื่อ 10 ธันวาคม 2565. https://www.thairath.co.th/content/1374821.

สุวิมล ทองแกมแก้ว, พิทักษ์ อยู่มี และอนุสรา สีหนาท. (2560). โครงการการสำรวจพืชสมุนไพรและการใช้ประโยชน์ ในพื้นที่ตำบลบ้านกร่าง อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก. รายงานการวิจัย. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

สุนทรี จีนธรรม, ปัณณ์รภัส ถกลภักดี และจีรภัทร์ อัฐฐิศลิป์เวท. (2558). การศึกษาความหลากหลายของพรรณพืชสมุนไพรและภูมิปัญญาท้องถิ่นโดยใช้กระบวนการ มีส่วนร่วมของชุมชนบ้านดงบัง ตำบลดงขี้เหล็ก อำเภอเมือง จังหวัดปราจีนบุรี. วารสารวิจัยสหวิทยาการไทย. 10(3): 1-8.

ศรัญญา ก่อพันธ์, ธวัชชัย ธานี และสมบัติ อัปมระกา. (2018). ความหลากชนิดและการใช้ประโยชน์ของพืชสมุนไพรของกลุ่มชาติพันธุ์กูยในพื้นที่ป่าชุมชนโคกคูขาด-บ้านคูสี่แจ อำเภอไพรบึง จังหวัดศรีสะเกษ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. 3(3): 247-262.

อาคม บุญเลิศ, อมร เปรมกมล และปัตพงษ์ เกษสมบูรณ์. (2561). ความชุกและปัจจัยที่สัมพันธ์กับกลุ่มอาการอีสานรวมมิตรในผู้ป่วยเบาหวานและความดันโลหิตสูงในชุมชนของเขตสุขภาพที่ 7. ศรีนครินทร์เวชสาร. 33(2): 122-128.

เอื้อมพร จันทร์สองดวง, ณัฐพล ดีประวี, ธรรณธร ผิวทอง และประภาสิริ ชื่นตา. (2565). พืชสมุนไพรของชุมชนไทลาวบ้านทรายมูล และชุมชนภูไทบ้านนากอก ในจังหวัดยโสธร. วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 3(1): 1-25.

Junsongduang A., Kasemwan W., Lumjoomjung S., Sabprachai W., Tanming W. and Balslev H. (2020). Ethnomedicinal knowledge of traditional healers in Roi Et. Thailand. Plants. 9(9): 1177.

Junsongduang A., Balslev H., Inta A., Jampeethong A. and Wangpakapattanawong P. (2014). Karen and Lawa medicinal plant use: Uniformity or ethnic divergence?. Journal of Ethnopharmacol. 151: 517–527.

Maneenoon K., Khuniad C., Teanuan Y., Saedan N., Prom-In S., Rukleng N., Kongpool W., Pinsook P. and Wongwiwat W. (2015). Ethnomedicinal plants used by traditional healers in Phatthalung Province, Peninsular Thailand. Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine. 11(43): 1-20.

Panyaphu K., On T.V., Sirisa-arda P., Srisa-ngac P., ChansaKaowa S. and Nathakarnkitkul S. (2011). Medicinal plants of the Mien (Yao) in northern Thailand and their potential value in the primary healthcare of postpartum women. Journal of Ethnopharmacol. 135: 226–237.

Phumthum M., Srithi K., Inta A., Junsongduang A., Tangjitman K., Pongamornkul W., Trisonthi C. and Balslev H. (2018). Ethnomedicinal plant diversity in Thailand. Journal of Ethnopharmacol. 214: 90–98.

Phillips O., Gentry A.H., Reynel C., Wilkin P. and Galvez-Durand B.C. (1994). Quantitative ethnobotany and amazonian conservation. Conservation Biology. 8(1): 225-248.

Smitinand T., Santisuk T. and Larsen K. (2005). Flora of Thailand. In Smitinand T., Santisuk T. and Larsen K., Editors. Diamond Printing: Bangkok.

Trotter R.T. and Logan M.H. (1986). Informant consensus: a new approach for identifying potentially effective medicinal plants. Bedfore Hills: New York.

World Health Organization. (2020). Noncommunicable diseases: Progress monitor 2020. Accessed 12 Jan. 2023. https://www.who.int/publications/i/item/ncd-progress-monitor-2020

วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี | Agriculture and Technology Journal

ปีที่ 4 ฉบับที่ 3 กันยายน - ธันวาคม 2566 | Vol.4 No.3 September – December 2023

Received: July 4, 2023; Revised: October 1, 2023; Accepted: October 12, 2023

ผลของการเสริมผงผักต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบว่าว

Effect of adding vegetable powders on Khao Kriap Wow (puffed sticky rice) quality

ณัฏวลิณคล เศรษฐปราโมทย์[1] พัชรี คำมา[1] ไพรัตน์ ขวัญพนาลี[1] สุภัตรา สิริสถิรสุนทร[1] และนิตยา ภูงาม[2*]

Natwalinkhol Sethapramote[1], Patcharee Khamma[1], Pairat Kwanpanalee[1], Supatra Sirisathirasoonthorn[1] and Nittaya Phungam[2*]

[1]คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก จังหวัดตาก

[1]Faculty of Science and Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Lanna Tak, Tak Province

[2]คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วข. สุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์

[2]Faculty of Agriculture and Technology, Rajamangala University of Technology Isan, Surin Campus, Surin Province

[*]Corresponding Author E-mail Address : nittaya.ph@rmuti.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาชนิดของผักที่เหมาะสมในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบว่าว ได้แก่ ผักคะน้า ผักกาดฮ่องเต้ และผักกาดกวางตุ้ง ผลการศึกษา พบว่า ข้าวเกรียบว่าวเสริมผักกาดกวางตุ้งได้รับคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี เนื้อสัมผัส กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวม เท่ากับ 7.30, 7.06, 7.60 และ 7.63 ตามลำดับ การวิเคราะห์ค่าสี (L*, a* และ b*) ของข้าวเกรียบว่าวที่เสริมผงผักทั้ง 3 ชนิด พบว่า การเสริมผงผักส่งผลให้ข้าวเกรียบว่าวมีค่า L* อยู่ในช่วง 40.98-42.26 ค่า a* อยู่ในช่วง (-11.43)–(-13.40) และค่า b* มีค่าอยู่ระหว่าง 34.22-35.08 ข้าวเกรียบว่าวเสริมผงผักมีปริมาณน้ำอิสระ (a_w) อยู่ในช่วง 0.33-0.34 และมีความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 8.02-8.15 จาการศึกษาอัตราส่วนของผงผักในผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบว่าวที่แตกต่างกัน 4 ระดับ คือ ร้อยละ 0, 4, 6 และ 8 เพื่อหาปริมาณที่เหมาะสมในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบว่าว พบว่า การเติมผงผักกาดกวางตุ้งที่ปริมาณสูงขึ้นส่งผลให้ค่าสี L*, a*, b* และความชื้น มีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้การเพิ่มผงผักในปริมาณมากขึ้นจะส่งผลให้อัตราการขยายตัวของข้าวเกรียบว่าวเพิ่มขึ้น เมื่อทดสอบค่าความแข็งของข้าวเกรียบว่าว พบว่า ข้าวเกรียบว่าวที่เสริมผงผักกาดกวางตุ้งที่ ร้อยละ 6 มีค่าความแข็งสูงที่สุด เท่ากับ 1.71 นิวตัน และคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวมมากที่สุด โดยมีคะแนนเท่ากับ 7.30, 7.13 และ 7.06 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของข้าวเกรียบว่าวเสริมผงผักผัก ร้อยละ 6 พบว่า ปริมาณเถ้า โปรตีน และเยื่อใย เท่ากับ ร้อยละ 0.61, 7.18 และ 0.51 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าข้าวเกรียบว่าวสูตรพื้นฐาน ($p \leq 0.05$)

คำสำคัญ: ข้าวเกรียบว่าว ผงผัก องค์ประกอบทางเคมี

Abstract

The purpose of this research was to study the types of vegetables suitable for developing the Khao Kriap Wow (Puffed Sticky Rice) product, including kale, chinese cabbage, and chinese pakchoi. The results found that the sensory scores of Khao Kriap Wow supplemented with mock pakchoi in terms of color, texture, odor, and overall preference were 7.30, 7.06, 7.60, and 7.63, respectively. The investigation of color values (L*, a* and b* values) of Khao Kriap Wow supplemented with all three types of vegetable powder revealed that the addition of vegetable powder resulted in decreased L* values ranging from 40.98 to 42.26. The a* values ranged from (-11.43) to (-13.40), whereas the b* values ranged from 34.22 to 35.08. Khao Kriap Wow supplemented with vegetable powder had a free water content in the range of 0.33-0.34 and moisture content in the range of 8.02-8.15%. After that, the ratio of vegetable powder in the Khao Kriap Wow product was studied at 4 different levels, which were 0, 4, 6 and 8% respectively. The results showed that adding a higher amount of chinese pakchoi powder significantly reduced L*, a*, b* and moisture content ($p \leq 0.05$). Additionally, adding a higher amount of vegetable powder results in an increase in the expansion rate of the Khao Kriap Wow product. When investigated the hardness of Khao Kriap Wow, the Khao Kriap Wow supplemented with 6% chinese pakchoi powder provided the highest in hardness value which was 1.71 N. It also received the highest sensory scores for color, flavor, and overall liking, with scores of 7.30, 7.13, and 7.06, respectively. Finally, the chemical composition of the Khao Kriap Wow supplemented with 6% vegetable powder were analyzed. It was found that the amounts of ash, protein and fiber were equal to 0.61, 7.18 and 0.51%, respectively, which were higher than those in the basic formula ($p \leq 0.05$).

Keywords: Khao Kriap Wow (puffed sticky rice), Vegetable powders, Chemical

บทนำ

ในสภาวะสังคมที่เร่งรีบในปัจจุบัน มีแนวโน้วที่จะบริโภคอาหารว่างหรือขนมขบเคี้ยวทดแทนอาหารมื้อหลัก โดยข้าวเกรียบว่าวถือเป็นผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวพื้นบ้านชนิดหนึ่งที่มีมานาน ถือว่าเป็นภูมิปัญญาอาหารพื้นบ้านโดยเป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำกันในระดับครัวเรือน ได้จากการนำข้าวเหนียวมาแช่น้ำแล้วนึ่งให้สุกหรือเพื่อความสะดวกและประหยัดเวลาอาจใช้เป็นแป้งข้าวเหนียวแทนได้ จากนั้นนำไปตำให้ละเอียดเติมน้ำตาล และส่วนผสมอื่น ๆ ผสมให้เข้ากันแล้วทำให้เป็นแผ่นบาง นำไปทำแห้งโดยก่อนบริโภคต้องนำไปให้ความร้อนด้วยการอบหรือปิ้งด้วยเตาถ่านได้ข้าวเกรียบที่มีลักษณะกลม บาง มีสีขาว และมีขนาดใหญ่ ซึ่งเทคนิคต่าง ๆ เหล่านี้ได้รับการถ่ายทอดมาจากบรรพบุรุษ (สุพิชา, 2558) แต่อย่างไรก็ตามข้าวเกรียบว่าวเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่าทางโภชนการน้อย เนื่องจากมีแป้งข้าวเหนียวและน้ำตาลเป็นส่วนผสมหลักทำให้มีผู้วิจัยหลายท่านได้ศึกษาการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของข้าวเกรียบว่าวโดยการเสริมกล้วยหอมทอง (สุธรรมา และคณะ, 2564) จากงานวิจัย พบว่า การเสริมปริมาณกล้วยหอมปริมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนักแป้งข้าวมีคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ระหว่างชอบปานกลางถึงชอบมาก นอกจากนี้ยังมีการเพิ่มปริมาณโปรตีนให้กับข้าวเกรียบว่าวด้วยการเสริมผงปลาทูน่าอบแห้ง พบว่า ข้าวเกรียบว่าวเสริมผงปลาทูน่าอบแห้งในระดับ ร้อยละ 2 มีคุณภาพ

ด้านเคมีกายภาพ และทางด้านประสาทสัมผัสสูงที่สุด (ปพนพัชร์ และคณะ, 2564) แต่ยังไม่มีผู้ศึกษาการเสริมผงผักในผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบว่าว คณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะนำผักที่ตกเกรดหรือล้นตลาดมาเพิ่มมูลค่าและเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ ได้แก่ ใยอาหาร วิตามิน และแร่ธาตุประกอบด้วย แคลเซียม แมกนีเซียม และเหล็ก เป็นต้น ให้แก่ข้าวเกรียบว่าว โดยผักคะน้าจัดเป็นพืชใบเขียวที่ใบมีสีเขียวจัด ซึ่งเป็นผักที่บริโภคได้ทั้งใบไปจนถึงก้านมีวิตามินเอ และวิตามินซี ส่วนผักกาดฮ่องเต้เป็นผักที่มีวิตามินเอ และวิตามินซี เช่นเดียวกับผักคะน้า และมีแร่ธาตุ ได้แก่ แคลเซียม และฟอสฟอรัส (สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง, 2557) โดยแร่ธาตุ ได้แก่ เหล็ก สังกะสี แมกนีเซียม และแคลเซียม ที่มีในผักกวางตุ้งช่วยป้องกันโรคกระดูกพรุน และทำให้กระดูกแข็งแรง ซึ่งผักคะน้า ผักกาดฮ่องเต้ และผักกาดกวางตุ้งเป็นผักที่มีผลผลิตทางการเกษตรปริมาณมาก เนื่องจากผู้บริโภคนิยมรับประทานเป็นผักที่มีอยู่ในเมนูอาหารหลากหลายเมนูเกษตรกรทำการเพาะปลูกในปริมาณมาก เพราะเป็นพืชผักที่ปลูกง่ายข้อจำกัดในการปลูกน้อยจึงทำให้เป็นพืชที่หาได้ง่ายจึงทำให้ผลผลิตล้นตลาดและมีปัญหาด้านราคาตกต่ำตามมา

ดังนั้นคณะวิจัยจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคัดเลือกชนิดและปริมาณผักที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบว่าว เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบว่าวเสริมผักที่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค และเป็นทางเลือกให้กับคนที่รักสุขภาพต่อไป

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

1. วัสดุ อุปกรณ์

แป้งข้าวเหนียว (ตรา ช้างสามเศียร) น้ำตาลปี๊บ (ตรา ดอกกุหลาบแดงคู่) น้ำมันพืช (ตรา มรกต) ผักคะน้า ผักกาดฮ่องเต้ และผักกาดกวางตุ้ง ได้มาจากตลาด จังหวัดตาก

2. วิธีการทดลอง

1) การศึกษาชนิดของผงผักที่เหมาะสมในการผลิตข้าวเกรียบว่าว

1.1 ขั้นตอนการเตรียมผงผัก

นำผักคะน้า ผักกาดฮ่องเต้ และผักกาดกวางตุ้ง จำนวน 10 กิโลกรัม นำมาล้างให้สะอาดพักให้สะเด็ดน้ำ นำผักไปลวกที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที จัดเรียงผักโดยไม่ซ้อนทับกันในถาดแล้วนำผักทั้ง 3 ชนิด มาอบด้วยตู้อบลมร้อน (ยี่ห้อ Memmert รุ่น UN 45 ประเทศเยอรมัน) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง 30 นาที นำผักอบแห้งปั่นด้วยเครื่องปั่นผง (ยี่ห้อ Thaigrinder รุ่น G-200 ประเทศไทย) และร่อนด้วยตะแกรงความถี่ 60 เมช เก็บผงผักในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ ขนาดบรรจุ 500 กรัม เก็บที่อุณหภูมิห้อง (ดัดแปลงจาก วิจิตรา และวชิรญา, 2563) ก่อนนำผงผักที่ได้จะนำไปผลิตข้าวเกรียบต่อไป

1.2 การศึกษาชนิดของผงผักที่เหมาะสมในการผลิตข้าวเกรียบว่าว

นำผงผักทั้ง 3 ชนิด คือ ผักคะน้า ผักกาดฮ่องเต้ และผักกาดกวางตุ้ง จากข้อ 1.1 มาผลิตข้าวเกรียบว่าว โดยดัดแปลงกรรมวิธีของ สุธรรมา และคณะ (2564) โดยนำแป้งข้าวเหนียว และผงผัก มาผสมกับน้ำเดือดจัด อัตราส่วน 2:1 มีอัตราส่วนผสมในแต่ละสูตร ดังตารางที่ 1 โดยปริมาณผงผักในสูตร คือ ร้อยละ 5 ของแป้งข้าวเหนียวนำไปตีในเครื่องผสม (Kitchen aid) (ยี่ห้อ Heavy duty รุ่น 5KPM50EWH ประเทศสหรัฐอเมริกา) ผสมด้วยความเร็วรอบอัตรา 2450 รอบ/นาที ให้เข้ากัน 10 นาที นำไปนึ่งไอน้ำร้อน อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที นำออกมาผสมในเครื่องผสมตีความเร็วรอบอัตรา 2450 รอบ/นาที ให้เนียน เป็นเวลา 20 นาที คลึงเป็นแผ่นขนาด 1.5 เซนติเมตร นำเข้าอบด้วยตู้อบลมร้อน (ยี่ห้อ Memmert รุ่น UN 45 ประเทศเยอรมัน) เป็นเวลา 6 ชั่วโมง 30 นาที แล้วนำไปทอดหม้อทอดไร้น้ำมัน

(ยี่ห้อ OTTO รุ่น CO-725 ประเทศไทย) อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เวลา 4 นาที พลิกแผ่นข้าวเกรียบว่าวทั้ง 2 ด้านให้สุกเท่ากัน จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ไปวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีกายภาพ ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบว่าวเสริมผักชนิดที่แตกต่างกัน

ส่วนผสม (กรัม)	สูตรพื้นฐาน	ชนิดของผงผัก		
		ผักคะน้า	ผักกาดฮ่องเต้	ผักกาดกวางตุ้ง
แป้งข้าวเหนียว	450	450	450	450
ผงผัก	0	22.5	22.5	22.5
น้ำเปล่า	300	300	300	300
น้ำตาลปี๊บ	100	100	100	100
น้ำมันพืช	40	40	40	40

1.2.1 การวิเคราะห์คุณภาพเคมี กายภาพ และทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบว่าวที่ผสมผงผัก 3 ชนิด ได้แก่ ผักคะน้า ผักกาดฮ่องเต้ และผักกวางตุ้ง

1.2.1.1 วิเคราะห์ปริมาณความชื้น นำผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบว่าว มาป่นให้ละเอียดแล้วจึงนำไปวัดค่าด้วยเครื่องวัด Moisture balance (ยี่ห้อ OHAUS รุ่น MB25 ประเทศสหรัฐอเมริกา) ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ ดัดแปลงจาก สุธรรมา และธงชัย (2564)

1.2.1.2 วิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ นำผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบว่าว มาป่นให้ละเอียดแล้วจึงนำไปวัดค่าด้วยเครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ (Water activity) (ยี่ห้อ Aqua Lab รุ่น 4TE ประเทศสหรัฐอเมริกา) ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ ดัดแปลงจาก สุธรรมา และธงชัย (2564)

1.2.1.3 วิเคราะห์ทางองค์ประกอบหลักอาหาร นำผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบว่าวมาวิเคราะห์ปริมาณเถ้า ปริมาณความชื้น ปริมาณไขมันโดยวิธี Soxhlet extraction method ปริมาณโปรตีน โดยวิธี Kjeldahl method และปริมาณเยื่อใยรวม และปริมาณคาร์โบไฮเดรต (AOAC, 2000)

1.2.1.4 การวัดอัตราการขยายตัว (เท่า) โดยวัดปริมาตรของแผ่นเกรียบว่าวหลังการอบด้วยวิธีการแทนที่ด้วยเมล็ดงา (Seed displacement method) อัตราการขยายตัวเท่ากับปริมาตรข้าวเกรียบว่าวหลังการอบหารด้วยปริมาตรก่อนการอบ ดัดแปลงจาก สุธรรมา และธงชัย (2564)

1.2.1.5 วิเคราะห์ค่าสี นำผลิตภัณฑ์ขนมข้าวเกรียบว่าว มาป่นให้ละเอียดแล้วจึงนำไปวัดค่าด้วยเครื่องวัดสี Colorimeter (UltraScan VIS, Hunter Lab) ค่าที่วัดได้แก่ ค่าสี L* (ค่าความสว่างมีค่า 0 ถึง 100 โดย 0 หมายถึงความสว่างสีดำ และ 100 ความสว่างสีขาว) a* (เครื่องหมาย + หมายถึงสีแดง และ เครื่องหมาย – หมายถึงสีเขียว) และ b* (เครื่องหมาย + หมายถึงสีเหลือง และ เครื่องหมาย – หมายถึงสีน้ำเงิน) ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ ดัดแปลงจาก สุธรรมา และธงชัย (2564)

1.2.1.6 วิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสนำผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบว่าว มาวิเคราะห์เนื้อสัมผัสโดยใช้เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture analyzer) (TA.XT.plus; Stable micro systems Ltd.) ใช้หัวทดสอบขนาด P36 โดยทดสอบแรงกดสูงสุด (Maximum force; N) แสดงค่าความแข็ง (Hardness; N) ของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบว่าว ทำการทดลองจำนวน 10 ซ้ำ

1.2.1.7 การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบว่าว ด้วยวิธีการทดสอบแบบ 9-Point hedonic scale test การให้คะแนนผลิตภัณฑ์ คือ 1 = ไม่ชอบมากที่สุด 5 = เฉย ๆ และ 9 = ชอบมากที่สุด พิจารณาทางด้านลักษณะที่ปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม

โดยใช้ผู้ทดสอบชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 30 คน โดยแบบทดสอบได้รับการรับรองจริยธรรมการวิจัย จากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เลขที่ RMUTL-IRB 064/2023

2) การศึกษาปริมาณผงผักที่เหมาะสมต่อผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบว่าว

จากการคัดเลือกชนิดของผงผักที่เหมาะสมที่สุดจากข้อ 1 มาทำการศึกษาปริมาณผงผักที่เหมาะสมต่อผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบว่าว โดยทำการศึกษาปริมาณของผงผัก 4 ระดับ คือ ร้อยละ 0, 4, 6 และ 8 ของน้ำหนักแป้งข้าวเหนียว โดยมีอัตราส่วน แสดงในตารางที่ 2 มาผลิตเป็นข้าวเกรียบว่าวตามวิธีข้อ 1.2 จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ไปวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี-กายภาพ คือ (ค่าสี อัตราการขยายตัว เนื้อสัมผัส (ความแข็ง) ปริมาณน้ำอิสระ และปริมาณความชื้น) และการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-Point hedonic scale test

ตารางที่ 2 อัตราส่วนผสมผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบว่าวในปริมาณผงผักที่ผ่านการคัดเลือกจากหัวข้อที่ 1.2 แตกต่างกัน

ส่วนผสม (กรัม)	ปริมาณผงผัก (ร้อยละ)			
	0	4	6	8
แป้งข้าวเหนียว	450	450	450	450
ผงผัก	0	18	27	36
น้ำเปล่า	300	300	300	300
น้ำตาลปี๊บ	100	100	100	100
น้ำมันพืช	40	40	40	40

3) การวิเคราะห์คุณภาพเคมี-กายภาพ และทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบว่าว

3.1 วิเคราะห์ปริมาณความชื้น

นำตัวอย่างผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบว่าว มาทดสอบหาค่าความชื้นด้วยเครื่องวัดความชื้น (รุ่น MB120; ยี่ห้อ OHAUS; ประเทศสหรัฐอเมริกา) เตรียมตัวอย่างบดให้ละเอียดชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 3 กรัม ใส่ภาชนะใส่ตัวอย่างแล้วนำไปใส่เครื่องอินฟาเรดเพื่อวัดค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ผงโรยข้าวทำการวัด 3 ซ้ำ บันทึกผลเพื่อหา

3.2 วิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ นำตัวอย่างผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบว่าว มาทดสอบหาค่าปริมาณน้ำอิสระด้วยเครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ (รุ่น 4TE; ยี่ห้อ Aqua Lab; ประเทศสหรัฐอเมริกา) เตรียมตัวอย่างบดให้ละเอียดใส่ภาชนะใส่ตัวอย่างแล้วนำไปใส่ไปใส่เครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระบันทึกค่าที่ได้โดยทำการวัด 3 ซ้ำ

3.3 วิเคราะห์ทางองค์ประกอบหลักอาหาร นำผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบว่าวมาป่นให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่นแห้ง (ยี่ห้อ Thaigrinder รุ่น G-200 ประเทศจีน) เก็บในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ มาวิเคราะห์ปริมาณเถ้า ปริมาณความชื้น ปริมาณไขมันโดยวิธี Soxhlet extraction method ปริมาณโปรตีน โดยวิธี Kjeldahl method และปริมาณเยื่อใยรวม และปริมาณคาร์โบไฮเดรต (AOAC, 2000)

3.4 การวัดอัตราการขยายตัว (เท่า) โดยวัดปริมาตรของแผ่นเกรียบว่าวหลังการอบด้วยวิธีการแทนที่ด้วยเมล็ดงา (Seed displacement method) อัตราการขยายตัวเท่ากับปริมาตรข้าวเกรียบว่าวหลังการอบหารด้วยปริมาตรก่อนการอบ (จริยา และนุชเนตร, 2560)

3.5 วิเคราะห์ค่าสี นำผลิตภัณฑ์ขนมข้าวเกรียบว่าว มาป่นให้ละเอียดแล้วจึงนำไปวัดค่าด้วยเครื่องวัดสี Colorimeter (รุ่น Ultra Scan VIS; ยี่ห้อ Hunter Lab; ประเทศสหรัฐอเมริกา) ค่าที่วัดได้แก่ ค่าสี L* (ค่าความสว่างมีค่า 0 ถึง 100

โดย 0 หมายถึง ความสว่างสีดำ และ 100 ความสว่างสีขาว) a* (เครื่องหมาย + หมายถึงสีแดง และ เครื่องหมาย – หมายถึงสีเขียว) และ b* (เครื่องหมาย + หมายถึงสีเหลือง และ เครื่องหมาย – หมายถึงสีน้ำเงิน) ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ

3.6 วิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสนำผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบว่าว มาวิเคราะห์เนื้อสัมผัสโดยใช้เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture analyzer) (TA.XT.plus, Stable micro systems Ltd.) ใช้หัวทดสอบขนาด P36 โดยทดสอบแรงกดสูงสุด (Maximum force; N) แสดงค่าความแข็ง (Hardness; N) ของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบว่าว ทำการทดลองจำนวน 10 ซ้ำ

3.7 การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบว่าวด้วยวิธีการทดสอบแบบ 9-Point hedonic scale test การให้คะแนนผลิตภัณฑ์คือ 1 = ไม่ชอบมากที่สุด 5 = เฉย ๆ และ 9 = ชอบมากที่สุด พิจารณาทางด้านลักษณะที่ปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยใช้ผู้ทดสอบชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 30 คน โดยแบบทดสอบได้รับการรับรองจริยธรรมการวิจัย จากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เลขที่ RMUTL-IRB 064/2023

4) การศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคและองค์ประกอบหลักอาหารของผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบว่าวที่ผ่านการคัดเลือก ในข้อที่ 2 มาทดสอบกับกลุ่มผู้บริโภคโดยทำการเก็บแบบสอบถามแบบ Central location test (CLT) ซึ่งแบบสอบถามแบ่งเป็นสามส่วนคือ ส่วนข้อมูลทั่วไป ส่วนพฤติกรรมการยอมรับของผู้บริโภค และส่วนการทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบว่าวเสริมผงผัก กลุ่มผู้บริโภคเป้าหมายจำนวน 200 คน โดยใช้วิธีการทดสอบแบบให้คะแนน ตามวิธี 5–Point hedonic scale test (5 = ชอบมากที่สุด และ 1 = ไม่ชอบมากที่สุด) โดยแบบทดสอบได้รับการรับรองจริยธรรมการวิจัย จากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เลขที่ RMUTL-IRB 064/2023

5) การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้มาแสดงในรูปแบบค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพทำการวางแผนการทดลองแบบ CRD (Completely Randomized Design) การประเมินการยอมรับของผู้บริโภค วางแผนการทดลองแบบ RCBD (Randomized Completely Block Design) วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (Analysis of variance) และการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี วางแผนการทดลองแบบ t-test และเปรียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 สิ่งทดลองจะทำการทดลอง 3 ซ้ำ

ผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาชนิดของผงผักที่เหมาะสมในการผลิตข้าวเกรียบว่าว

จากผลการศึกษาการเตรียมผงผัก ผักคะน้า ผักกาดฮ่องเต้ และผักกาดกวางตุ้ง โดยการอบที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง 30 นาที พบว่า คุณภาพค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) ค่าสีเหลือง (b*) ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) โดยผงผักทั้ง 3 ชนิด ส่งผลให้ข้าวเกรียบว่าวมีค่าความสว่างต่ำอยู่ในช่วง 40.98-42.26 ค่า a* มีแนวโน้มเป็นสีเขียว มีค่าอยู่ในช่วง (-11.43)-(-13.40) และค่า b* มีแนวโน้มเป็นสีเหลืองในระดับที่สูง มีค่าอยู่ระหว่าง 34.22-35.08 จากการวิเคราะห์ค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ของข้าวเกรียบว่าวเสริมผงผักทั้ง 3 ชนิด ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) มีค่าต่ำอยู่ในช่วง 0.33-0.34 สอดคล้องกับค่าความชื้นของข้าวเกรียบว่าวเสริมผงผักทั้ง 3 ชนิด มีปริมาณต่ำ อยู่ในช่วง ร้อยละ 8.02-8.15 (p>0.05) ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าสี ค่า a_w และความชื้น ของผงผักกาดฮ่องเต้ ผักคะน้า และผักกาดกวางตุ้ง

คุณภาพทางเคมีกายภาพ	ชนิดของผงผัก		
	ผักกาดฮ่องเต้	ผักคะน้า	ผักกาดกวางตุ้ง
ค่าความสว่าง (L*)^{ns}	42.26±2.87	40.98±3.11	41.60±2.14
ค่าความเป็นสีเขียว (-a*)^{ns}	-12.22±0.58	-11.43±0.87	-13.40±2.59
ค่าความเป็นสีเหลือง (b*)^{ns}	34.92±0.74	34.22±6.49	35.08±2.57
a_w ^{ns}	0.33±0.13	0.34±0.13	0.33±0.10
ความชื้น^{ns} (ร้อยละ)	8.02±0.72	8.05±1.08	8.15±0.20

หมายเหตุ: ^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยข้อมูลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05); ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

เมื่อนำผงผักทั้งสามชนิดมาทำการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบว่าวโดยใช้ปริมาณผงผัก ร้อยละ 5 ของแป้งข้าวเหนียว พบว่า คุณภาพทางเคมี-กายภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบว่าวเสริมผงผักทั้งสามชนิดมีความแตกต่างจากผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบว่าวสูตรพื้นฐานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05) ยกเว้นค่าความแข็งที่ไม่มีความแตกต่างกัน (p>0.05) ในขณะที่ชนิดของผงผักที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อคุณภาพทางเคมีกายภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบว่าว (p>0.05) ดังตารางที่ 4 จึงเห็นได้ว่าการเติมผงผักในผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบว่าวส่งผลคุณภาพเคมีกายภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบว่าว แต่ในขณะที่เมื่อเติมผงผักต่างชนิดกันไม่ส่งผลต่อคุณภาพเคมีกายภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบว่าวของผักที่ต่างกัน

ตารางที่ 4 คุณภาพทางเคมี-กายภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบว่าวของชนิดผงผักที่แตกต่างกัน

คุณภาพทางเคมี-กายภาพ	ชนิดของผงผัก			
	พื้นฐาน	ผักคะน้า	ผักกาดฮ่องเต้	ผักกาดกวางตุ้ง
ค่าความสว่าง (L*)	67.29±0.22^{a}	57.31±2.82^{b}	59.07±1.42^{b}	57.26±2.57^{b}
ค่าสีความเป็นสีแดง (a*)	4.37±1.25^{a}	1.67±0.41^{b}	0.50±0.36^{b}	1.52±0.76^{b}
ค่าสีความเป็นสีเหลือง (b*)	20.52±1.26^{b}	35.75±2.45^{a}	33.21±0.92^{a}	35.76±2.47^{a}
ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	6.82±0.10^{a}	4.30±0.08^{b}	4.56±0.31^{b}	4.69±0.45^{b}
อัตราการขยายตัว (ร้อยละ)	0.91±0.01^{a}	0.80±0.06^{b}	0.87±0.01^{b}	0.88±0.02^{b}
ความแข็ง (N)^{ns}	1.67±0.11	1.46±0.11	1.58±0.11	1.46±0.11

หมายเหตุ: ^{a,b} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยข้อมูลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05); ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

จากการทดสอบคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบว่าวของชนิดผงผักที่แตกต่างกัน พบว่า ข้าวเกรียบว่าวผสมผงผักกาดกวางตุ้งมีคะแนนประสาทสัมผัสด้าน ลักษณะปรากฏ กลิ่นรส สูงที่สุด เท่ากับ 7.30 และ 7.63 ตามลำดับ เมื่อเปรียบกับข้าวเกรียบว่าวผสมผงผักชนิดอื่น ๆ (p≤0.05) นอกจากนี้ข้าวเกรียบว่าวผสมผงผักกาดกวางตุ้งมีคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด เท่ากับ 7.76 แสดงดังตารางที่ 5 จึงเป็นผงผักที่เหมาะสมที่สุดในการนำไปผลิตเป็นข้าวเกรียบว่าว

ตารางที่ 5 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบว่าวของชนิดผงผักที่แตกต่างกัน

คุณลักษณะ	ชนิดของผงผัก			
	พื้นฐาน	ผักกาดฮ่องเต้	ผักกาดกวางตุ้ง	ผักคะน้า
ลักษณะปรากฏ	6.53±1.25[c]	6.56±1.10[c]	7.30±1.26[a]	6.80±1.42[b]
สี	6.66±1.34[b]	6.80±1.32[a]	7.06±1.20[a]	6.90±1.06[a]
เนื้อสัมผัส	6.93±1.57[c]	7.00±1.41[b]	7.60±1.30[a]	7.53±1.65[a]
กลิ่นรส	5.03±2.00[c]	6.56±1.65[b]	7.63±1.10[a]	6.50±1.27[b]
ความชอบโดยรวม	6.20±1.39[b]	6.50±1.47[b]	7.76±1.00[a]	7.53±0.78[a]

หมายเหตุ: [a, b] หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$); ค่าเฉลี่ย± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

2. ผลการศึกษาปริมาณของผงผักที่เหมาะสมต่อผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบว่าว

ผลจากการศึกษาชนิดของผงผักที่เหมาะสมในการผลิตข้าวเกรียบว่าว ในงานวิจัยเลือกผักกาดกวางตุ้งมาศึกษาปริมาณของผงผักที่เหมาะสมต่อผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบว่าว (ร้อยละ 0, 4, 6 และ 8) พบว่า การเติมผงผักกาดกวางตุ้งเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าสีของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบว่าวมีแนวโน้มลดลง ซึ่งมีค่าความสว่าง (L*) เท่ากับ 47.80, 41.17, 40.31 และ 37.28 ตามลำดับ ค่าความเป็นสีแดง (a*) เท่ากับ 5.87, 0.24, 0.16 และ 0.14 ตามลำดับ และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) เท่ากับ 28.53, 27.47, 24.47 และ 17.75 ตามลำดับ ($p \leq 0.05$) สอดคล้องกับค่าความชื้นของข้าวเกรียบว่าวที่เติมผงผักกาดกวางตุ้งเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความชื้นมีแนวโน้มลดลง เท่ากับ ร้อยละ 6.81, 4.92, 4.55 และ 4.29 ตามลำดับ ($p \leq 0.05$) และการเพิ่มผงผักมากขึ้นจะส่งผลให้อัตราการขยายตัวของข้าวเกรียบว่าวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 0.86, 0.87, 0.87 และ 0.91 จากการวิเคราะห์ค่าความแข็งของข้าวเกรียบว่าวเสริมผงผักกาดกวางตุ้งปริมาณ ร้อยละ 6 ส่งผลให้มีค่าความแข็งสูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 1.71 N มีค่าใกล้เคียงกับสูตรควบคุม (ร้อยละ 0) มีค่าเท่ากับ 1.79 N ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 6 คุณภาพทางเคมี-กายภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบว่าวเสริมผงผักที่ปริมาณแตกต่างกัน

คุณภาพทางเคมีกายภาพ	ปริมาณผงผัก (ร้อยละ)			
	0	4	6	8
ค่าความสว่าง (L*)	47.80±2.64[a]	41.17±1.95[b]	40.31±1.54[c]	37.28±0.87[d]
ค่าสีความเป็นสีแดง (a*)	5.87±1.32[a]	0.24±0.13[b]	0.16±0.16[c]	0.14±0.04[d]
ค่าความเป็นสีเหลือง (b*)	28.53±0.34[a]	27.47±0.69[b]	24.47±0.69[c]	17.75±0.69[d]
ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	6.81±0.10[a]	4.92±0.06[b]	4.55±0.30[c]	4.29±0.07[d]
อัตราการขยายตัว (ร้อยละ)	0.86±0.01[b]	0.87±0.02[b]	0.87±0.02[b]	0.91±0.05[a]
ความแข็ง (N)	1.79±0.10[a]	1.32±0.10[b]	1.71±0.10[a]	1.40±0.10[b]

หมายเหตุ: [a, b, c, d] หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$); ค่าเฉลี่ย± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

การเสริมผงผักกวางตุ้งในผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบว่าวที่ปริมาณแตกต่างกัน พบว่า ไม่มีผลต่อคุณลักษณะทางด้านประสาทสัมผัส ด้านลักษณะปรากฏ และด้านสี ($p > 0.05$) พบว่า ข้าวเกรียบว่าวเสริมผงผักที่ระดับ ร้อยละ 4 และ 6 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) มีค่าเท่ากับ 7.03 และ 7.00 ทั้งนี้สูตรที่เสริมผงผัก ร้อยละ 6 มีคุณลักษณะด้านกลิ่น และรสชาติสูงที่สุด เท่ากับ 7.13 เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรอื่น ๆ ($p \leq 0.05$) และจากการทดสอบ

คุณลักษณะด้านความชอบโดยรวม พบว่า ข้าวเกรียบว่าวเสริมผงผัก ร้อยละ 6 มีคะแนนการยอมรับสูงที่สุด เท่ากับ 7.06 แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) กับสูตรเสริมผงผัก ร้อยละ 0 (ควบคุม) และ 4 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 5.93 และ 6.46 ตามลำดับ (ตารางที่ 7)

ตารางที่ 7 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบว่าวเสริมผงผักกาดกวางตุ้งที่ปริมาณแตกต่างกัน

คุณลักษณะ	ปริมาณผงผัก (ร้อยละ)			
	0	4	6	8
ลักษณะปรากฏ^{ns}	6.70±1.39	6.16±1.59	6.26±1.46	6.53±1.65
สี ^{ns}	6.86±1.40	6.93±1.36	7.30±1.00	6.50±1.71
เนื้อสัมผัส	7.50±1.07^{a}	7.03±1.84^{b}	7.00±1.91^{b}	6.46±1.94^{c}
กลิ่นรส	5.93±1.74^{bc}	6.46±2.06^{b}	7.13±1.30^{a}	5.50±1.88^{c}
ความชอบโดยรวม	6.86±1.69^{a}	6.93±1.92^{a}	7.06±0.70^{a}	6.13±1.67^{b}

หมายเหตุ: $^{a, b, c}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)
^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยข้อมูลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

3) การศึกษาองค์ประกอบทางเคมี และการยอมรับของผู้บริโภคของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบว่าวเสริมผงผักกวางตุ้ง

จากการศึกษาองค์ประกอบหลักทางอาหาร พบว่า ข้าวเกรียบว่าวเสริมผงผักกวางตุ้ง ร้อยละ 6 มีปริมาณเถ้า ปริมาณโปรตีน และปริมาณเส้นใยสูงกว่าข้าวเกรียบว่าวสูตรพื้นฐาน ซึ่งมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 0.61, 7.18 และ 0.51 ตามลำดับ แต่มีปริมาณไขมัน คาร์โบไฮเดรต และความชื้นลดลง เท่ากับ ร้อยละ 5.63, 83.90 และ 2.68 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรพื้นฐาน ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวเกรียบว่าวเสริมผงผักกาดกวางตุ้ง

องค์ประกอบหลักทางอาหาร (ร้อยละ)	ชนิดของข้าวเกรียบ	
	ข้าวเกรียบว่าวสูตรพื้นฐาน	ข้าวเกรียบว่าวเสริมผงผักกาดกวางตุ้ง ร้อยละ 6
ปริมาณเถ้า	0.26±0.01^{b}	0.61±0.01^{a}
ปริมาณโปรตีน	5.80±0.04^{b}	7.18±0.01^{a}
ปริมาณเส้นใย	0.22±0.01^{b}	0.51±0.03^{a}
ปริมาณไขมัน	6.95±0.04^{a}	5.63±0.01^{b}
ปริมาณความชื้น^{ns}	2.98±0.03	2.68±0.01
คาร์โบไฮเดรต^{ns}	84.01±0.03	83.90±0.00

หมายเหตุ: $^{a, b}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)
^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยข้อมูลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05); ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

เมื่อนำผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบว่าวเสริมผงผักกวางตุ้งมาทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค โดยใช้ผู้ตอบแบบสอบถามจำนวน 200 คน ด้วยวิธีการทดสอบแบบให้คะแนน ตามวิธี 5–Point hedonic scale test พบว่า คะแนนการยอมรับของผู้บริโภคของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้าน ลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส (ผัก) รสชาติ เนื้อสัมผัส (ความกรอบ) และ ความชอบโดยรวม เท่ากับ 4.27, 4.59, 4.50, 4.57, 4.57 และ 4.57 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าการยอมรับอยู่ในระดับชอบมาก

ตารางที่ 9 ในการทดสอบผู้บริโภคส่วนใหญ่เป็นเพศชายคิดเป็น ร้อยละ 53.0 และมีอายุส่วนใหญ่ 20-30 ปี ร้อยละ 44.0 รองลงมาคือ อายุ 31-40 ปี ร้อยละ 29.0 และมีอาชีพนักศึกษา ร้อยละ 39.0 รองลงมาคือ ประกอบอาชีพธุรกิจส่วนตัว ร้อยละ 27.0 ซึ่งส่งผลต่อการยอมรับผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบว่าวเสริมผงผัก และให้การยอมรับและซื้อต่อผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบว่าวเสริมผงผัก ร้อยละ 100

ตารางที่ 9 คะแนนการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบว่าวเสริมผงผักกวางตุ้ง

คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส	คะแนนเฉลี่ยความชอบ
ลักษณะปรากฏ	4.27±0.58
สี	4.59±0.53
กลิ่นรส (ผัก)	4.50±0.56
รสชาติ	4.57±0.49
เนื้อสัมผัส (ความกรอบ)	4.57±0.49
ความชอบโดยรวม	4.57±0.49

การอภิปรายผล

จากการศึกษาลักษณะทางกายภาพด้านสี ค่าความชื้น และ ค่า a_w ของผงผัก 3 ชนิด ได้แก่ ผักคะน้า ผักกาดฮ่องเต้ และผักกาดกวางตุ้ง แสดงให้เห็นว่าไม่มีความแตกต่างกัน (p>0.05) เนื่องจากผงผักทั้ง 3 ชนิด มีลักษณะสีเขียวจากธรรมชาติที่คล้ายคลึงกันผ่านกระบวนการเตรียมที่เหมือนกัน ได้แก่ การนำผักลวกในน้ำที่มีการเติมสารละลายโซเดียมคลอไรด์ อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที เพื่อยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่เป็นสาเหตุในการเปลี่ยนแปลงสีของผัก (นิธิยา, 2557) ในการยับยั้งการเปลี่ยนสีของผักก่อนนำไปอบควรมีการแช่กรดซิตริกก่อนเพื่อยับยั้งการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (Polyphenol oxidase) (กฤติกา และสุนทรี, 2560) ดังนั้นการลวกน้ำร้อนที่มีโซเดียมคลอไรด์และแช่ในสารละลายกรดอะซิตริกจึงส่งผลให้ค่าสี L*, a* และ b* ของผงผักทั้ง 3 ชนิด ไม่มีความแตกต่างกัน นอกจากนี้การนำผักไปทำแห้งด้วยการควบคุมสภาวะอุณหภูมิเท่ากันมีผลให้ค่าความชื้น และค่า a_w มีแนวโน้มใกล้เคียงกัน จากการนำผงผัก 3 ชนิด ได้แก่ ผักคะน้า ผักกาดฮ่องเต้ และผักกาดกวางตุ้งมาผลิตข้าวเกรียบว่าว พบว่า ข้าวเกรียบว่าวมีค่า L*, a* และ b* ลดลง สอดคล้องกับค่า L*, a* และ b* ในตารางที่ 3 เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม เนื่องจากการเติมผงผักที่มีลักษณะเป็นสีเขียวที่เกิดจากองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ที่เป็นรงควัตถุตามธรรมชาติของพืช (สุรีรัตน์, 2546)

เมื่อนำมาผสมในแป้งที่มีสีขาวจึงทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะปรากฏเป็นสีเขียวตามวัตถุดิบที่เสริมเข้าไปจึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่า L*, a* และ b* ลดลง และเมื่อนำผงผักเสริมเข้าไปในผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบว่าว พบว่า มีแนวโน้มอัตราการขยายตัวลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรพื้นฐาน เนื่องจากผงผักที่เสริมเข้าไปกับแป้งมีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำต่ำ แม้ว่าแป้งที่เติมเข้าไปจะมีสมบัติในการอุ้มน้ำสูงแต่ภายในส่วนผสมมีสัดส่วนของผงผักเสริมเข้าไปจึงมีการพองตัว หรือการขยายตัวที่ต่ำ ข้าวเกรียบว่าวสูตรพื้นฐานมีอัตราขยายตัวที่สูงเพราะแป้งข้าวเหนียวมีเม็ดสตาร์ชที่มีสมบัติการอุ้มน้ำเมื่อโดนความร้อนมีผลให้ทำลายพันธะไฮโดรเจนในโครงสร้างของอะไมโลเพคตินจนเกิดการคลายตัวลงและจะจับตัวกับโมเลกุลของน้ำในส่วนผสมหรือเกิดการอุ้มน้ำเข้าไปภายในเม็ดสตาร์ชทำให้พองตัวขึ้นเรื่อย ๆ และเกิดความหนืดเรียกว่า การเกิดเจลาติไนเซชัน (Gelatinization) ถ้าให้ความร้อนเพิ่มขึ้นต่อไปทำให้เม็ดสตาร์ชถูกทำลายส่งผลให้โมเลกุลของอะไมโลเพคตินและอะไมโลสแตกตัวออกจากเม็ดสตาร์ชแขวนลอยในส่วนผสม เมื่อทิ้งไว้ให้เย็นเกิดการคืนตัว (Retrogradation) ทำให้มีลักษณะเป็นเจลเกิดขึ้น (อรอนงค์, 2550) เมื่อนำไปย่างหรืออบจึงมีอัตราการขยายตัวสูงกว่าการเติมผงผักเข้าไปจะไปมีผลต่อ

การขยายตัวและการพองตัวของข้าวเกรียบ (Nurul et al., 2010; Neiva et al., 2011) องค์ประกอบที่ขัดขวางการพองตัวและขยายตัว จากการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค พบว่า ข้าวเกรียบว่าวที่เติมผักกาดกวางตุ้งได้รับคะแนนด้านสีและความชอบโดยรวมสูงที่สุด เนื่องจากผักกาดกวางตุ้งมีกลิ่นที่เหม็นเขียวน้อยที่สุดเมื่อเปรียบกับสูตรเสริมผักชนิดอื่น ๆ เมื่อนำไปลวกจะช่วยลดกลิ่นเหม็นเขียวได้มากขึ้น และมีลักษณะปรากฏเป็นสีเขียวธรรมชาติจึงส่งผลให้ผู้บริโภคยอมรับมากที่สุด

จากผลการเสริมผงผักกาดกวางตุ้งในผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบว่าวที่แตกต่างกัน ได้แก่ ร้อยละ 0, 4, 6 และ 8 พบว่า ค่า L*, a* และ b* มีค่าลดลง เนื่องจากการเติมผงผักที่มีลักษณะเป็นสีเขียวเมื่อนำมาผสมในแป้งที่มีสีขาวจึงทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีเขียวตามวัตถุดิบที่เสริมเข้าไปทำให้เมื่อนำผลิตภัณฑ์ไปวิเคราะห์ค่าความสว่างจึงมีค่าลดลงตามปริมาณผงผักที่มีปริมาณสูงขึ้นและมีผลให้ค่าความเป็นสีแดง และสีเหลืองลดลง นอกจากนี้ยังพบว่า การเสริมผงผักกวางตุ้งในส่วนผสมของแป้งข้าวเหนียวของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบว่าวมีผลให้ค่า a_w และค่าความชื้น เพราะผงผักที่เสริมเข้าไปมีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำต่ำ เมื่อนำไปผสมในอัตราส่วนที่สูงขึ้นและอัตราส่วนของแป้งข้าวเหนียวที่มีปริมาณลดลง โดยปกติแป้งข้าวเหนียวมีคุณสมบัติอุ้มน้ำได้ดีเนื่องจากแป้งข้าวเหนียวมีองค์ประกอบของอะไมโลเพคตินเป็นส่วนมาก ซึ่งโมเลกุลของอะไมโลเพคตินตัวนี้เมื่อยึดโยงจับกันตามลักษณะโครงสร้างการแตกแขนง แล้วโครงสร้างของแป้งที่มีโมเลกุลสามารถมารถจับกับน้ำและอุ้มน้ำได้ดีข้าวเหนียวจึงพองตัวได้ดีเมื่อเจอความร้อนและสามารถจับตัวกันเป็นก้อน (จันทร์เพ็ญ, 2550) แต่มีอัตราส่วนของแป้งลดลงแล้วมีผงผักเข้ามาแทนที่สัดส่วนของแป้งจึงทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำไว้ภายในโครงสร้างภายของผลิตภัณฑ์มีค่าลดลงเนื่องจากผงผักเป็นวัตถุดิบที่ผ่านการลวกและอบส่งผลให้โครงสร้างเนื้อเยื่อของผักเกิดการเสียสภาพไปและเมื่อผ่านกระบวนการทำแห้งโครงสร้างเนื้อเยื่อของผักมีการจัดเรียงตัวกันใหม่ความเป็นรูพรุนมีปริมาณน้อยลงจึงส่งผลให้ความสามารถในการอุ้มน้ำลดลง ดังนั้นเมื่อนำมาผสมในผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบว่าวและนำไปผ่านกระบวนการแปรรูปจึงส่งผลให้ค่าความชื้นและค่า a_w มีค่าลดลงตามไปด้วย

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ไขมัน โปรตีน เส้นใย เถ้า และคาร์โบไฮเดรต ของข้าวเกรียบว่าวเสริมผงผักกาดกวางตุ้ง เปรียบเทียบกับข้าวเกรียบว่าวสูตรพื้นฐาน พบว่า ข้าวเกรียบว่าวเสริมผงผักกาดกวางตุ้งมีปริมาณโปรตีน เส้นใยอาหาร และเถ้า สูงกว่าสูตรพื้นฐาน เนื่องจากผงผักกาดกวางตุ้งมีปริมาณ.โปรตีน เส้นใย และเถ้าเริ่มต้นเท่ากับร้อยละ 1.5, 1.1 และ 1.6 ตามลำดับ (สำนักโภชนาการ, 2561) สอดคล้องกับผลการศึกษาของ เสาวนีย์ และอบเชย (2560) กล่าวไว้ว่า ข้าวเกรียบงาสูตรทดแทนปลายข้าวสินเหล็ก ร้อยละ 75 มีปริมาณโปรตีน และใยอาหารมีค่ามากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวเกรียบสูตรพื้นฐาน เมื่อนำมาผสมกับแป้งข้าวเหนียวและส่วนผสมอื่น ๆ จึงส่งผลให้ข้าวเกรียบว่าวเสริมผงผักกาดกวางตุ้งมีองค์ประกอบทางเคมีสูงขึ้นกว่าข้าวเกรียบสูตรพื้นฐาน

บทสรุป

จากการศึกษาผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบว่าวเสริมผงผัก จำนวน 3 ชนิด ได้แก่ ผักคะน้า ผักกาดฮ่องเต้ และผักกาดกวางตุ้ง พบว่า ผงผักกาดกวางตุ้งเหมาะสมที่สุดในการนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบว่าว เนื่องจากได้คะแนนทางด้านประสาทสัมผัสทุกด้านสูงที่สุด เมื่อนำผงผักกาดกวางตุ้งเสริมในข้าวเกรียบว่าวที่ปริมาณต่างกัน ได้แก่ ร้อยละ 0 (ควบคุม), 4, 6 และ 8 แสดงให้เห็นว่า ผงผักกาดกวางตุ้ง ร้อยละ 6 เหมาะสมในการผลิตข้าวเกรียบว่าวมากที่สุด เพราะมีคะแนนความชอบด้านสี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวมสูงกว่าสูตรอื่น ๆ และเมื่อนำข้าวเกรียบว่าวเสริมผงผักกาดกวางตุ้ง ร้อยละ 6 มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี พบว่า มีปริมาณเถ้า โปรตีน และเส้นใยสูงกว่าข้าวเกรียบว่าวสูตรพื้นฐาน เมื่อนำไปทดสอบกับผู้บริโภคจำนวน 200 คน พบว่า ให้การยอมรับและซื้อต่อผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบว่าวเสริมผงผัก ร้อยละ 100 จึงอาจสรุปได้ว่า ผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบว่าวเสริมผงผักเป็นผลิตภัณฑ์ขบเคี้ยวที่มีคุณค่าทางโภชนาการและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคอีกหนึ่งผลิตภัณฑ์

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำการวิจัยครั้งนี้ขอขอบคุณนักศึกษา อาจารย์ และเจ้าหน้าที่สาขาอุตสาหกรรมเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก ที่ให้ความช่วยเหลือ เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์เครื่องมือในการทำวิจัย และสาขาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ ที่สนับสนุนการวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์ทำให้การทำวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

กฤติกา โพธิ์เย็น และสุนทรี สุวรรณสิชณน์. (2560). ผลของการลวกและการใช้กรดต่อคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของแก่นตะวันผง. รายงานการวิจัย. ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.

จริยา สุขจันทรา และนุชเนตร ตาเย๊ะ. (2560). การพัฒนาข้าวเกรียบปลาจากซูริมิเสริมฟักทอง. รายงานการวิจัย. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา ยะลา.

จันทร์เพ็ญ ไชยนุ้ย. (2550). ผลของคุณสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ของแป้งผสม (แป้งมันสำปะหลังและแป้งสาคู) ต่อคุณภาพของข้าวเกรียบ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร และโภชนาการ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

นิธิยา รัตนาปนนท์. (2557). เคมีอาหาร. โอเดียนสโตร์: กรุงเทพฯ.

ปพนพัชร์ ภัทรฐิติวัสส์ และพรพาชื่น ชูเชิด. (2564). การผลิตข้าวเหนียวอบพองกรอบเสริมปลาทูน่าอบแห้ง. วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์. 20(2): 173–182.

วิจิตรา เหลียวตระกูล และวชิรญา เหลียวตระกูล. (2563). ผลการเตรียมขั้นต้นและอุณหภูมิการทำแห้งต่อคุณภาพทางกายภาพ เคมีและปริมาณจุลินทรีย์ของผักพื้นบ้านอบแห้ง. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ววท.). 29(1): 135-145.

สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง องค์การมหาชน. (2557). ประโยชน์ของผักกวางตุ้ง หวานอร่อย วิตามินเยอะ สรรพคุณเพียบ. ค้นเมื่อ 20 ตุลาคม 2566. https://food.trueid.net/detail/DbKqQW1ZnJ3r.

เสาวนีย์ ลาดน้อย และอบเชย วงศ์ทอง. (2560). การพัฒนากระบวนการผลิตและคุณภาพข้าวเกรียบงาจากปลายข้าวสินเหล็ก. วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 12(2): 19-27.

สุพิชา วัฒนปรีชานนท์. (2558). การทำข้าวเกรียบว่าวให้พองโดยใช้เครื่องไมโครเวฟร่วมกับอินฟราเรดแบบต่อเนื่อง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุรีรัตน์ แซ่ลิ้ม. (2546). การวิเคราะห์เปรียบเทียบปริมาณคลอโรฟิลล์ในผักบุ้งจีนที่รดด้วยสารต่างชนิด โดยวิธี ยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรี. รายงานการวิจัย. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม นครปฐม.

สุธรรมา สุทธิโสภณ และธงชัย ศรีเมือง. (2564). การผลิตข้าวเกรียบว่าวกล้วยหอมทอง. รายงานการวิจัย. สาขาเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม กรุงเทพฯ.

สำนักโภชนาการ. (2561). ตารางแสดงคุณค่าทางโภชนการของอาหารไทย. ค้นเมื่อ 20 ตุลาคม 2566. https://nutrition2.anamai.moph.go.th/th/thai-food-composition-table.

อรอนงค์ นัยวิกุล. (2550). ข้าว. รายงานการวิจัย. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.

AOAC (2000). Official Methods of Analysis. The Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, MD, USA.

Neiva C.R.P., Machado T.M., Tomita R.Y., Furlan E.F., Lemos Neto M.J. and Bastos D.H.M. (2011). Fish crackers development from minced fish and starch: an innovative approach to a traditional product. Cienc Tecnol Aliment Campinas. 31(4): 973-979.

Nurul H., Ang L.L., Chung X.Y. and Herpandi. (2010). Chemical composition, colour and linearexpansion properties of malaysian commercial fish cracker (keropok). Asian Journal of Food and Agro-Industry. 3(05): 473-482.

วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี | Agriculture and Technology Journal

ปีที่ 4 ฉบับที่ 3 กันยายน - ธันวาคม 2566 | Vol.4 No.3 September – December 2023

Received: June 13, 2023; Revised: October 12, 2023; Accepted: October 17, 2023

การนำฟอสฟอรัสกลับคืน ด้วยกระบวนการตกผลึกสตรูไวท์

Phosphorus recovery using a struvite crystallization process

อรุณี เมืองซ้าย[1] อทิตยา สังข์สว่าง[1] วาศนศักดิ์ ลิ้มควรสุวรรณ[1] และเยาวเรศ ส่วนบุญ[1*]

Arunee MueangSai[1], Aditaya Sangsawang[1], Vassanasak Limkhuansuwan[1] and Yaowaret Sunboon[1*]

[1]คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสวนดุสิต กรุงเทพฯ

[1]Faculty of Science and Technology, Suan Dusit University, Bangkok

**Corresponding Author E-mail Address : yaowaret_sua@dusit.ac.th*

บทคัดย่อ

สตรูไวท์ในน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมเป็นส่วนหนึ่งของสาเหตุปัญหาอุดตันในเส้นท่อของระบบบำบัดน้ำเสีย ทำให้เพิ่มค่าใช้จ่ายและเสียเวลาในการแก้ปัญหา แต่องค์ประกอบสตรูไวท์มีสารฟอสฟอรัสซึ่งใช้เป็นปุ๋ยและเป็นประโยชน์ทางการเกษตรได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการตกผลึกสตรูไวท์ในน้ำเสียของโรงงานผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง ด้วยการตกผลึกทางเคมี โดยทำการศึกษาสมบัติของน้ำเสีย และหาสภาวะที่เหมาะสมในการตกผลึกสตรูไวท์ ได้แก่ ค่าพีเอช (pH) และอัตราส่วนเชิงโมลแมกนีเซียมต่อฟอสฟอรัส (Mg:P) ผลการทดลองพบว่า น้ำเสียมีค่าพีเอชเฉลี่ยที่ 4.32±0.058 มีค่าแมกนีเซียม (Mg) เฉลี่ยที่ 4,192.5±3,101.37 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าแอมโมเนีย (NH_3) เฉลี่ยที่ 347.2±20.191 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าฟอสฟอรัส (P) เฉลี่ยที่ 267.33±5.934 มิลลิกรัมต่อลิตร การทดสอบน้ำเสียแบบกรองและแบบไม่กรองพบว่า ตะกอนน้ำเสียแบบกรองมีส่วนประกอบของสตรูไวท์ และตะกอนสารอินทรีย์อื่น ๆ เจือปนน้อยกว่า ดังนั้นจึงนำน้ำเสียแบบกรองมาศึกษาการตกผลึกสตรูไวท์ พบว่า ค่าพีเอชที่ 9.5 10 และ 11 เกิดตะกอนสตรูไวท์ค่อนข้างมาก โดยค่าพีเอชที่เหมาะสมในน้ำเสียแบบกรองอยู่ที่พีเอช 10 นำกลับฟอสฟอรัสได้มากกว่า 98% อัตราส่วนแมกนีเซียมต่อฟอสฟอรัส (Mg:P) พบว่าที่พีเอช 9.5 อัตราส่วนเพิ่มขึ้นการตกผลึกสตรูไวท์เพิ่มขึ้นด้วย พบว่า อัตราส่วน 1:1 เพิ่มขึ้นเป็น 5:1 ผลึกสตรูไวท์เพิ่มขึ้นจาก 124.10 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็น 213.80 มิลลิกรัมต่อลิตร สภาวะที่เหมาะสมที่สุด คือ อัตราส่วน 5:1 ที่พีเอช 9.5 มีการเพิ่มขึ้นของตะกอนสตรูไวท์และนำกลับฟอสฟอรัสได้มากกว่า 97% ซึ่งสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในทางการเกษตรอีกด้วย

คำสำคัญ: การเกษตร อุตสาหกรรมเอทานอล ฟอสฟอรัส สตรูไวท์

Abstract

Struvite in wastewater of industrial process is part of the cause of blocking in the pipes line of the wastewater treatment system, the cost increases and wastes more time to solve the problem. On the other hand, considering the composition of struvite, it contains phosphorus, which can be used as a fertilizer and valuable in agriculture. Therefore, this research was to study the optimum conditions of the chemical crystallization process of struvite in the wastewater from a cassava ethanol production plant. The properties of wastewater and optimum conditions for the crystallization of struvite, including the pH and the molar ratio of magnesium to phosphorus (Mg:P), were identified. The properties of wastewater showed that the average value of pH was 4.32. While Mg, NH_3, and P were 4,192.5, 347.2, and 267.33 milligrams per liter (mg/L), respectively. The filtered and unfiltered wastewater tests found that filtered wastewater sludge contained struvite and was less contaminated with other organic matter. Therefore, it was used to crystallize struvite. The result found that pH at 9.5, 10, and 11 performed quite a lot of crystallization of struvite. However, the optimum pH was at pH 10 since it can reclaim more than 98% phosphorus. Testing the ratio between magnesium and phosphorus (Mg:P) found that at pH 9.5, the proportion of struvite crystallization was also increased. At the proportion 1:1 to 5:1, struvite crystals grew from 124.10 mg/L to 213.80 mg/L. The optimum condition found in this study was the ratio of 5:1 at pH 9.5, which increased the crystallization of struvite, and the phosphorus reversal was more than 97%, helping to bring back phosphorus from wastewater to use in agriculture.

Keywords: Agriculture, Ethanol Industry, Phosphorus, Struvite

บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตสารประกอบฟอสเฟตประมาณร้อยละ 80 ของโลกถูกนำไปใช้เป็นปุ๋ยสำหรับภาคการเกษตร และร้อยละ 5 ถูกนำไปใช้เป็นองค์ประกอบในอาหารสัตว์ ซึ่งคิดเป็นประมาณ 140 ล้านตันต่อปี ในการสกัดฟอสฟอรัสจากหินฟอสเฟต (Phosphate rock) จึงเกิดการใช้ฟอสฟอรัสในปริมาณที่สูงในแต่ละปี และมีแนวโน้มที่จะใช้เพิ่มมากขึ้นเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของประชากร และความต้องการทรัพยากรอาหารที่เพิ่มมากขึ้น (ธาดา, 2531) ทำให้แหล่งแร่ฟอสฟอรัสในธรรมชาติที่มีอยู่อย่างจำกัดมีปริมาณน้อยลง และมีรายงานว่าหินฟอสเฟตกำลังจะหมดไปในอนาคต ทำให้มีนักวิจัยหลายท่านพยายามนำฟอสฟอรัสคืน เพื่อลดปัญหาการขาดแคลนฟอสฟอรัสในอนาคต (Li et al., 2019)

การนำฟอสฟอรัสกลับคืนจากน้ำทิ้ง ทั้งภาคเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมด้วยกระบวนการตกผลึกทางเคมี (Chemical precipitation) เป็นแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจ ตะกอนที่ได้จากกระบวนการนี้เรียกว่า สตรูไวท์ (Struvite) หรือ ผลึกแมกนีเซียมแอมโมเนียฟอสเฟต (MAP) เกิดจากการตกตะกอนทางเคมีของสารละลายที่มีความเข้มข้นของแอมโมเนียและฟอสฟอรัสในปริมาณที่สูง มีลักษณะเป็นผงสีขาวหรือสีเหลืองอ่อน ๆ หรืออมน้ำตาล ซึ่งเกิดได้ดีในสภาวะที่เป็นด่าง โดยที่ผลึกสตรูไวท์ดังกล่าวสามารถนำมาทำเป็นปุ๋ยละลายช้าซึ่งไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อพืช (นิธิวัฒน์, 2531) ผลึกแมกนีเซียมแอมโมเนียฟอสเฟต

หรือ MAP สูตรเคมีคือ $MgNH_4Po_4.6H_2O$ ในอัตราส่วนเชิงโมลที่เท่ากันโดยมีแมกนีเซียมเป็นตัวประสานให้เกิดของแข็ง ซึ่งผลึกสตรูไวท์จะเกิดขึ้นในสภาวะที่เป็นด่าง สมการการเกิดปฏิกิริยาแสดงดังนี้ (Kataki et al., 2016)

$$Mg^{2+} + NH_4^{+} + H_nPO_4^{n-3} + 6H_2O \longrightarrow MgNH_4PO_4.6H_2O + H^{+} \quad (1)$$

จากที่ได้กล่าวมานั้นมีนักวิจัยพยายามนำกลับสตรูไวท์มาใช้ประโยชน์ใหม่ โดยในปี พ.ศ. 2559 พิชญาได้ทำการศึกษาการตกตะกอนสตรูไวท์จากน้ำเสียฟาร์มสุกรร่วมกับน้ำทะเลพบว่า พีเอชและค่าสัดส่วนของแมกนีเซียมต่อฟอสฟอรัส มีผลต่อการเกิดผลึกสตรูไวท์ (พิชญา, 2559) นอกจากนั้นยังพบว่า ในปี พ.ศ.2560 รอบรู้ได้ศึกษาการผลิตปุ๋ยสตรูไวท์จากน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากโรงงานเกษตรอุตสาหกรรมและฟาร์มสุกรพบว่า การปรับอัตราส่วนแมกนีเซียมต่อฟอสฟอรัสที่อัตราส่วน 1:2 สามารถลดปริมาณฟอสเฟตในน้ำเสียได้สูงถึงร้อยละ 90 (รอบรู้, 2560) แต่อย่างไรก็ตามพบว่า น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเอทานอลนั้นเกิดปัญหาตะกอนสตรูไวท์ในระบบบำบัดน้ำเสียเช่นเดียวกัน นอกจากนี้ยังมีการศึกษาค่อนข้างน้อยในการดึงตะกอนสตรูไวท์ในน้ำเสียจากโรงงานดังกล่าวมาใช้ประโยชน์

ดังนั้นการศึกษานี้ ทีมผู้วิจัยมีวัตถุประสงค์ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการตกผลึกสตรูไวท์ เพื่อดึงธาตุอาหารฟอสฟอรัส (P) ในน้ำเสียโรงงานผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังกลับมาใช้ประโยชน์ โดยทำการศึกษาผลของพีเอชต่อการตกตะกอนของสตรูไวท์ และอัตราส่วนแมกนีเซียมต่อฟอสฟอรัสต่อการเกิดตะกอนสตรูไวท์ มากไปกว่านั้นยังเป็นการลดปริมาณมลพิษในน้ำเสียที่จะปล่อยทิ้งสู่สิ่งแวดล้อม และทำให้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมลดน้อยลงอีกทางหนึ่งด้วย

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

การวิเคราะห์สมบัติของน้ำเสีย

ทำการวิเคราะห์สมบัติของน้ำเสียที่เก็บมาจากโรงงานผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง ถูกเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสและทำการวิเคราะห์ภายใน 24 ชั่วโมง ก่อนทำการวิเคราะห์นำน้ำเสียตั้งทิ้งไว้ให้มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง การวิเคราะห์สมบัติของน้ำเสียประกอบไปด้วยค่าต่าง ๆ ได้แก่ พีเอช (pH) ซีโอดี (COD) บีโอดี (BOD) ปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) ของแข็งแขวนลอย (SS) ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) ของแข็งระเหยได้ทั้งหมด (TVS) ของแข็งละลายน้ำระเหยได้ทั้งหมด (TDVS) ฟอสฟอรัส (P) ไนโตรเจน (TKN) แอมโมเนีย (NH_3) แมกนีเซียม (Mg) โพแทสเซียม (K) โดยการวิเคราะห์และทดสอบคุณภาพน้ำใช้หลักตามมาตรฐาน Standard Methods for Examination of Water and Wastewater ของ American Public Health Association (APHA, 2005)

การศึกษาพีเอชที่เหมาะสม

โดยนำน้ำตัวอย่าง 350 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์จำนวน 6 บีกเกอร์ และทำการปรับค่าพีเอชให้เท่ากับ 7 8 9 9.5 10 และ 11 ตามลำดับ โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ทั้งนี้ทำการควบคุมสภาวะอื่น ๆ ในการทดลองให้คงที่ และนำน้ำตัวอย่างไปทดสอบสภาวะที่เกิดตะกอนสตรูไวท์โดยใช้เครื่องจาร์เทสต์ (Jartest รุ่น SW1) กวนผสม โดยกวนเร็วที่ 120 รอบต่อนาทีเป็นระยะเวลา 1 นาที และกวนช้าที่ 30 รอบต่อนาทีเป็นระยะเวลา 20 นาที หลังจากนั้นตั้งทิ้งให้เกิดการตะกอนเป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำตะกอนมากรองด้วยกระดาษกรอง Whatman GF/C ด้วยเครื่องกรองแบบสุญญากาศ และนำกระดาษกรองที่ได้ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส และทำการชั่งน้ำหนักตะกอน จากนั้นเลือกน้ำเสียพีเอชที่ให้ตะกอนมากมาทดสอบซ้ำอีกครั้งโดยนำตัวอย่างน้ำเสียที่ปรับพีเอชที่ 9 10 11 และได้เพิ่มการปรับที่พีเอช 9.5 เพื่อหาแนวทางให้ได้ค่าที่เหมาะสมและลดการใช้สารเคมีและความเป็นด่างน้อยลง วิเคราะห์สมบัติของน้ำเสียหลังการศึกษาสภาวะที่

เหมาะสมต่อการเกิดตะกอนสตรูไวท์ โดยนำตัวอย่างน้ำที่ปรับพีเอชเป็น 9 9.5 10 11 มาทำการวิเคราะห์สมบัติของน้ำเสียหลังตกตะกอน โดยหาปริมาณบีโอดีและฟอสฟอรัสที่เหลือในน้ำต่อไป

การศึกษาอัตราส่วนเชิงโมลระหว่าง Mg:P

ศึกษาอัตราส่วนเชิงโมล Mg:P ที่เหมาะสมต่อการเกิดตะกอนสตรูไวท์ โดยนำน้ำตัวอย่าง 350 มิลลิลิตร แบ่งใส่บีกเกอร์จำนวน 6 บีกเกอร์ จากนั้นปรับอัตราส่วนเชิงโมล Mg:P เท่ากับ 1:1 3:1 5:1 และ 7:1 ด้วยการคำนวณโมลของฟอสฟอรัสที่อยู่ในน้ำเสียด้วยสูตร

$$mol = \frac{g}{MW} = \frac{N}{6.02\,x10^{23}} = \frac{V}{22.4} \qquad (2)$$

mol = จำนวนโมล

g = มวลของสาร (กรัม)

MW = มวลโมเลกุล หรือมวลอะตอม

N = จำนวนอนุภาคของสาร

V = ปริมาณแก๊ส (dm^3) ที่ STP

หลังจากนั้นเติมแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ $Mg(OH)_2$ ในสัดส่วนที่เท่ากับโมลของฟอสฟอรัสในน้ำเสียซึ่งเท่ากับอัตราส่วน 1:1 และเติมเพิ่มเป็น 3 5 และ 7 เท่าเพื่อให้ได้อัตราส่วนเท่ากับ 3:1 5:1 7:1 ตามลำดับ ปรับค่าพีเอชที่ทำให้เกิดตะกอนที่ดีที่สุด โดยเลือกพีเอชที่ 9.5 และ 10 โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ในการปรับ ทั้งนี้ทำการควบคุมสภาวะอื่น ๆ ในการทดลองให้คงที่ และนำน้ำที่ปรับอัตราส่วนแล้วไปทดสอบสภาวะที่เกิดตะกอนสตรูไวท์ โดยใช้เครื่องจาร์เทสต์กวนผสม โดยกวนเร็วที่ 120 รอบต่อนาทีเป็นระยะเวลา 1 นาที และกวนช้าที่ 30 รอบต่อนาทีเป็นระยะเวลา 20 นาที หลังจากนั้นตั้งทิ้งให้เกิดการตะกอนเป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นกรองน้ำตัวอย่างด้วยกระดาษกรองใยแก้ว GF/C ขนาด 110 มิลลิเมตร นำตะกอนที่ได้ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการชั่งน้ำหนักตะกอน และวิเคราะห์สมบัติของน้ำเสียหลังการศึกษาอัตราส่วน Mg:P ที่เหมาะสมต่อการเกิดตะกอนสตรูไวท์ โดยนำตัวอย่างน้ำที่ปรับอัตราส่วน Mg:P เท่ากับ 1:1 3:1 5:1 และ 7:1 ที่พีเอช 9.5 และ 10 มาทำการวิเคราะห์สมบัติน้ำหลังตกตะกอน โดยหาปริมาณของฟอสฟอรัสที่เหลือในน้ำ เพื่อดูประสิทธิภาพในการนำกลับคืนของฟอสฟอรัส โดยการคำนวณ

$$\text{Phosphorus recovery (\%)} = \frac{(P_{\text{น้ำตั้งต้น}} - P_{\text{น้ำหลังตกตะกอน}})}{P_{\text{น้ำตั้งต้น}}} \times 100 \qquad (3)$$

ผลการวิจัย และการอภิปรายผล

สมบัติของน้ำเสียจากโรงงานผลิตเอทานอล

ผลการศึกษาสมบัติของน้ำเสียจากโรงงานผลิตเอทานอลที่ใช้มันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบแสดงดังตารางที่ 1 พบว่าน้ำเสียดังกล่าวมีค่าความสกปรกค่อนข้างสูง ค่าของของแข็งแขวนลอยละลายน้ำค่อนข้างสูง และค่าความเป็นกรดสูง ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณขององค์ประกอบแมกนีเซียม แอมโมเนีย และฟอสฟอรัสในน้ำเสียที่มีอัตราส่วนของ $Mg:NH_3:P$ เป็น 15:1.5:1 ซึ่งค่าดังกล่าวอาจทำให้มีการเกิดตะกอนสตรูไวท์ในระบบบำบัดน้ำเสียได้หากน้ำเสียมีค่าพีเอชเพิ่มมากขึ้น (Hallas et al., 2019) ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าน้ำเสียมีศักยภาพในการตกผลึกของสตรูไวท์ในขั้นตอนต่อไป (ฝ่ายสุขาภิบาลโรงงาน, 2560)

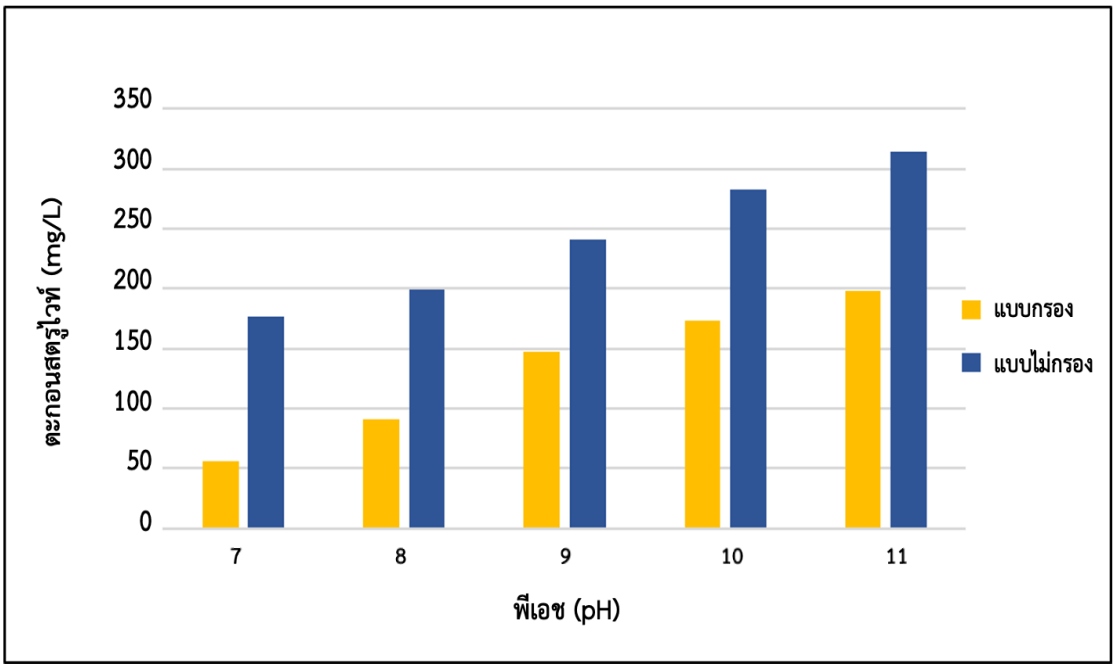
ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์น้ำเสียของโรงงานผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง

Parameters	Min – Max (mg/L)	Average±SD (mg/L)	Standard Value (mg/L)
บีโอดี	13,800 – 15,900	14,800±1,053.565	20
ซีโอดี	28,160 – 29,440	28,587±739.008	120
ของแข็งทั้งหมด (TS)	14,285 – 14,940	14,520±364.588	-
ของแข็งแขวนลอย (SS)	945 – 964	952.33±10.214	50
ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS)	11,255 – 11,792	11,485±276.656	3,000
ของแข็งทั้งหมดระเหยได้ (TVS)	6,488 – 8,290	7,306±912.396	-
ของแข็งละลายน้ำระเหยได้ทั้งหมด (TDVS)	5,835 – 7,236	6,342±776.299	-
ไนโตรเจนทั้งหมด (TKN)	652.4 – 691.6	678.53±22.632	100
แมกนีเซียม (Mg)	1,999.5 – 6,385.5	4,192.5±3,101.37	-
แอมโมเนีย (NH_3)	330.4 – 369.6	347.2±20.191	-
ฟอสฟอรัส (P)	261.8 – 273.6	267.33±5.934	2
โพแทสเซียม (K)	1,710.30 – 1,830	1,764.10±64.049	-

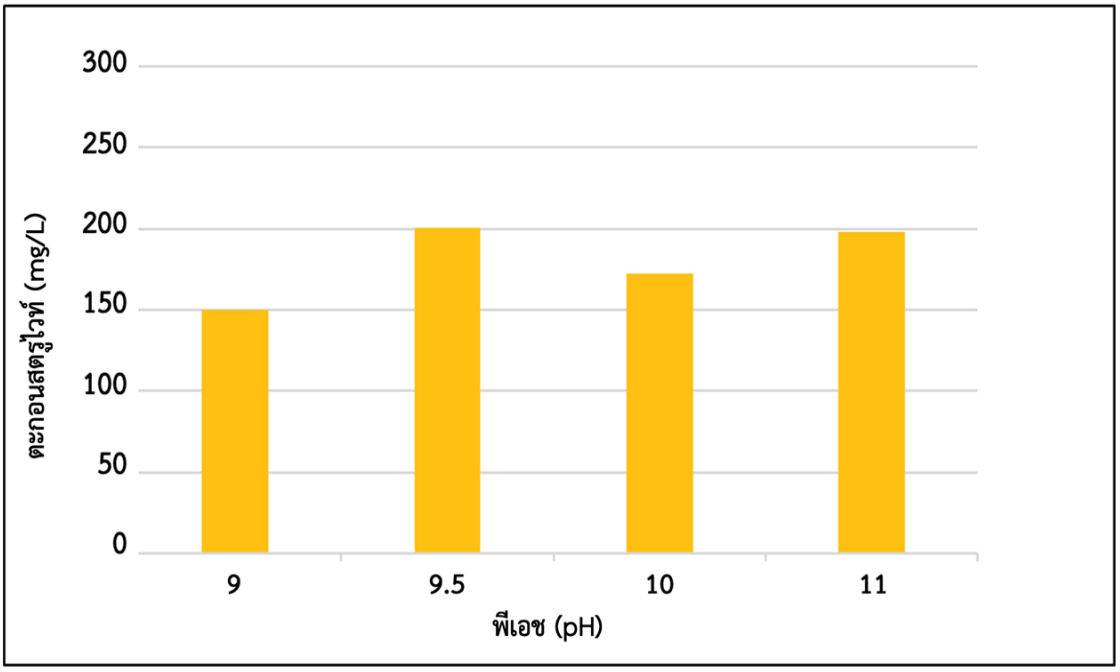
หมายเหตุ: ค่าพีเอช มีค่าอยู่ระหว่าง 4.32 – 4.33 และมีค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 4.32±0.058 มีค่ามาตรฐานน้ำทิ้งอยู่ระหว่าง 5.5 – 9

ผลของพีเอช

จากรูปที่ 1 จะเห็นว่าเมื่อค่าพีเอชสูงขึ้น การตกผลึกสตรูไวท์ก็เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน โดยการปรับพีเอชที่ 7 8 9 10 และ 11 ในน้ำเสียแบบกรองมีปริมาณตะกอนเกิดขึ้นค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 55.61 91.49 147.36 172.77 และ 198.17 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และแบบไม่กรองมีปริมาณตะกอนเกิดขึ้นค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 176.69 198.79 240.70 283.00 และ 314.46 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ เนื่องจากการตกผลึกสตรูไวท์เกิดจากการที่องค์ประกอบของสตรูไวท์ ได้แก่ ไอออนของแมกนีเซียม แอมโมเนีย และฟอสฟอรัส เกิดการรวมตัวกัน โดยประจุของแมกนีเซียมไปจับตัวกับแอมโมเนียและฟอสฟอรัสให้ตกผลึกลงมา ส่วนมากจะอยู่ในรูปของตะกอนสตรูไวท์ ($MgNH_4Po_4.6H_2O$) และสามารถเกิดได้ดีในสภาวะที่ค่าพีเอชเป็นด่าง จะเห็นได้ว่าน้ำเสียแบบไม่กรองนั้นมีการตกตะกอนมากกว่าน้ำเสียแบบกรอง เนื่องจากตะกอนของน้ำเสียแบบไม่กรองนั้นมีตะกอนปะปนมาด้วย จึงทำให้ตะกอนมีค่ามากกว่าน้ำเสียแบบกรอง ซึ่งตะกอนที่ได้อาจจะไม่ใช่ตะกอนสตรูไวท์โดยตรง ส่วนน้ำเสียแบบกรองที่ได้ทำการกรองตะกอนออกก่อนพบว่า ในน้ำเสียแบบกรองนั้นมีองค์ประกอบของสตรูไวท์ที่ละลายน้ำอยู่ จึงทำให้น้ำเสียแบบกรองมีผลึกสตรูไวท์ที่ไม่ปนตะกอนน้ำเสียทำให้มีค่าน้อยกว่า แสดงดังรูปที่ 1 ดังนั้นในความเข้มข้นของตะกอนที่เกิดขึ้นที่พีเอช 9 10 และ 11 ของน้ำเสียที่ผ่านการกรองมาศึกษาในขั้นตอนต่อไปด้วยการทดสอบแปรผันค่าพีเอช 9 9.5 10 และ 11



รูปที่ 1 ผลของพีเอชต่อปริมาณตะกอนสตรูไวท์ ในน้ำเสียแบบกรองและไม่แบบกรอง



รูปที่ 2 ตะกอนของน้ำเสียแบบกรอง ที่พีเอช 9 9.5 10 และ 11

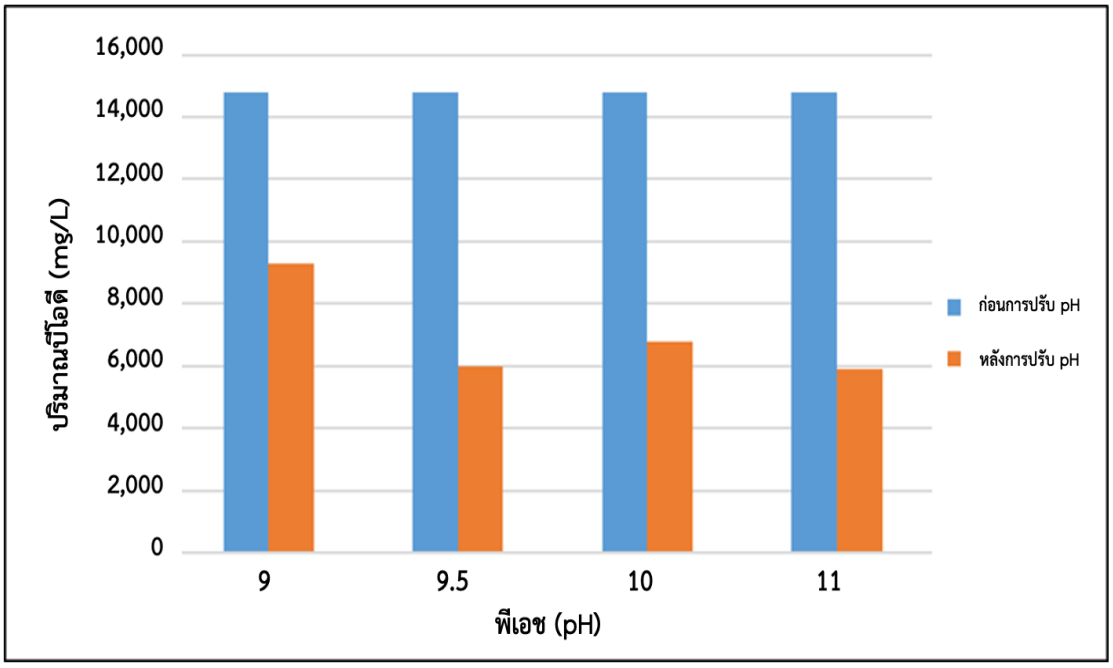
จากรูปที่ 2 พีเอช 9 9.5 10 และ 11 มีปริมาณตะกอนค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 150.26 200.36 172.77 และ 198.17 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ซึ่งเห็นได้ว่ามีค่าไม่แตกต่างกัน ดังนั้นที่พีเอช 11 ที่มีการใช้ด่างมากจึงไม่มีความจำเป็นต่อการตกตะกอนสตรูไวท์ ประกอบงานวิจัยของ Taddeo และคณะได้ศึกษาการตกตะกอนสตรูไวท์จากมูลสุกรพบว่า ที่พีเอชระหว่าง 7 - 9.5 ทำให้ตกตะกอนสตรูไวท์ได้ถึงร้อยละ 95 (Taddeo et al., 2016) ดังนั้นจึงทำการเลือกพีเอช (pH) ที่เหมาะสมในการทดสอบขั้นต่อไปอยู่ที่พีเอช 9.5 และ 10

ประสิทธิภาพการนำกลับฟอสฟอรัส (P)

ผลการศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพการนำกลับฟอสฟอรัสที่พีเอช 9 9.5 10 และ 11 มีเปอร์เซ็นต์การนำกลับอยู่ที่ 93.30% 94.95% 98.28% และ 98.90% ตามลำดับ ที่พีเอช 10 กับ 11 มีประสิทธิภาพการนำกลับใกล้เคียงกัน จะเห็นได้ว่าพีเอช 10 เหมาะสมในการตกผลึกสตรูไวท์ และเป็นการลดการใช้สารเคมีอีกด้วย ซึ่งที่พีเอช 9.5 ก็มีประสิทธิภาพการนำกลับที่เหมาะสมเช่นเดียวกัน อาจจะสามารถนำกลับฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นได้อีก การที่ฟอสฟอรัสมีปริมาณลดลงเกิดจากการที่ฟอสฟอรัสไปรวมตัวกับแมกนีเซียม แอมโมเนีย เกิดการเปลี่ยนรูปเป็นตะกอนส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของผลึกสตรูไวท์ (Desmidt et al., 2013; Li et al., 2019) เนื่องจากการศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาการนำกลับของฟอสฟอรัสในน้ำเสีย เพื่อนำไปทำเป็นปุ๋ยละลายช้า ซึ่งปริมาณฟอสฟอรัสตั้งต้นมีถึง 267.33 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังจากการปรับพีเอชพบว่าพีเอช 9.5 และ 10 มีค่าการนำกลับฟอสฟอรัส (P) ที่เหมาะสมที่สุด

ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปของ BOD

ปริมาณบีโอดีที่เหลืออยู่ในน้ำหลังการปรับพีเอช จากการทดลองพบว่า ค่าบีโอดีที่อยู่ในน้ำเสียมีค่าลดลง ดังรูปที่ 3

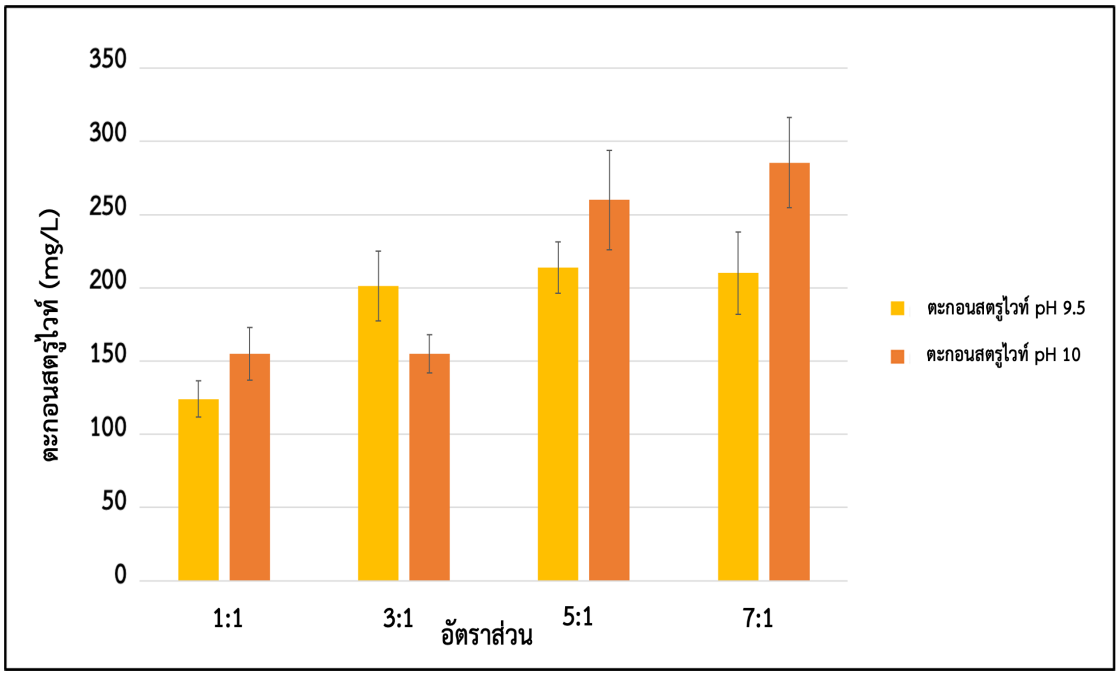


รูปที่ 3 ปริมาณบีโอดีก่อนและหลังการปรับพีเอช

ปริมาณบีโอดี หลังการปรับพีเอชที่เหมาะสมในการตกผลึกสตรูไวท์ โดยปริมาณบีโอดีตั้งต้นมีค่าเฉลี่ย 14,800±1,053.565 มิลลิกรัมต่อลิตรที่ค่าพีเอชที่ 9 9.5 10 และ 11 มีปริมาณบีโอดีลดลงเฉลี่ยอยู่ที่ 9,300 6,000 6,800 และ 5,900 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์อยู่ที่ 37.16% 59.46% 54.05% และ 60.14% ตามลำดับ ซึ่งมีแนวโน้มการลดลงใกล้เคียงกัน เนื่องจากในการตกผลึกสตรูไวท์ มีการเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งมีผลทำให้น้ำเสียมีสภาพพีเอชเป็นด่าง นอกจากมีความเหมาะสมต่อการตกผลึกสตรูไวท์แล้ว ยังมีผลทำให้สารอินทรีย์ที่ละลายในน้ำเกิดการตกตะกอนร่วมกันกับผลึกสตรูไวท์โดยอาศัยกลไกการตกตะกอนผลึกทางเคมี และกรองตะกอนผลึกที่ได้ถูกแยกออกจากน้ำจึงทำให้ปริมาณบีโอดีในน้ำลดลง

การศึกษาอัตราส่วนเชิงโมล Mg:P ที่เหมาะสม

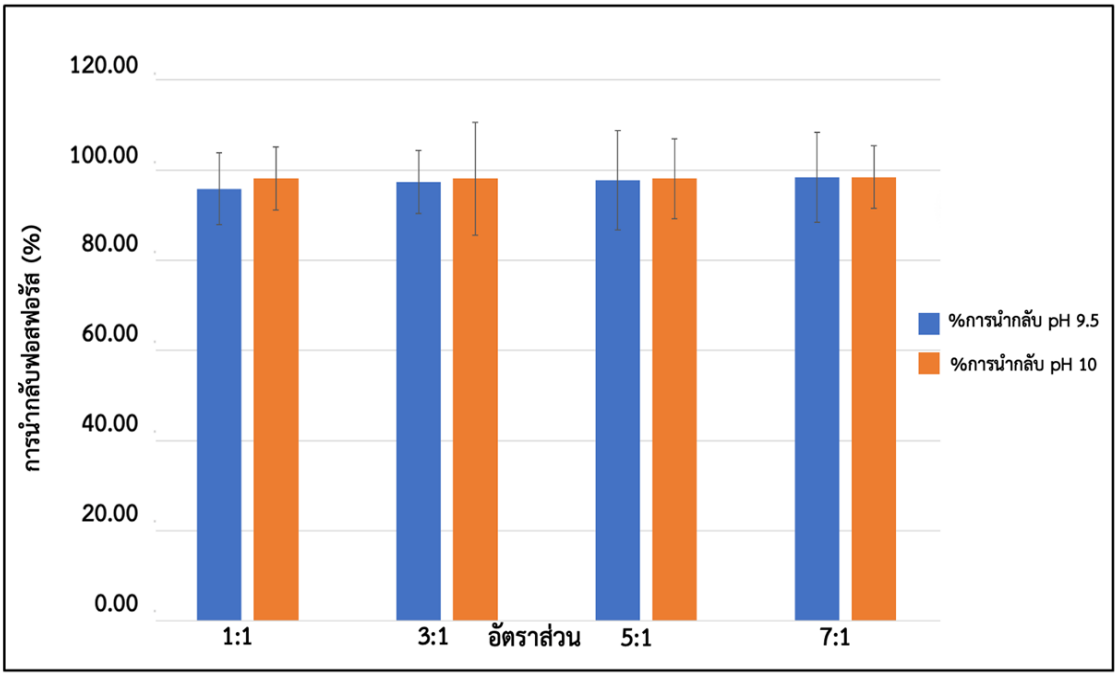
จากการทดลองพบว่า ผลของอัตราส่วนเชิงโมลระหว่าง Mg:P ต่อการตกผลึกสตรูไวท์ในการนำกลับฟอสฟอรัสจากน้ำเสียที่พีเอช 9.5 และ 10 มีการตกตะกอนเพิ่มขึ้น แสดงดังรูปที่ 4 ตะกอนสตรูไวท์ของอัตราส่วนเชิงโมลระหว่าง Mg:P ที่อัตราส่วน 1:1 3:1 5:1 และ 7:1 ที่พีเอช 9.5 และ 10 เห็นได้ว่าสตรูไวท์มีปริมาณเพิ่มขึ้น เมื่อพีเอชและอัตราส่วนเชิงโมลระหว่าง Mg:P เพิ่มสูงขึ้น พบว่าที่พีเอช 9.5 อัตราส่วนที่ 3:1 5:1 และ 7:1 มีปริมาณตะกอนสตรูไวท์ใกล้เคียงกัน และพีเอช 10 อัตราส่วนที่ 5:1 และ 7:1 มีปริมาณการเกิดตะกอนสตรูไวท์มากขึ้นใกล้เคียงกันเช่นเดียวกัน ดังนั้นอัตราส่วน 5:1 และ 7:1 มีค่าตะกอนที่สูงทั้งสองพีเอช ซึ่งแนวโน้มดังกล่าวมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Li et al., 2019)



รูปที่ 4 ตะกอนสตรูไวท์ของอัตราส่วนเชิงโมลระหว่าง Mg:P ที่อัตราส่วน 1:1 3:1 5:1 และ 7:1 ที่พีเอช 9.5 และ 10

ประสิทธิภาพการนำกลับฟอสฟอรัส (P)

ประสิทธิภาพการนำกลับฟอสฟอรัส หลังจากการปรับอัตราส่วนเชิงโมล จากการทดลองพบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสที่เหลืออยู่ในน้ำเสียมีค่าลดลง ส่งผลให้ประสิทธิภาพการนำกลับฟอสฟอรัสเพิ่มสูงขึ้นตามการปรับอัตราส่วน แสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 เปอร์เซ็นต์การนำกลับฟอสฟอรัสหลังการปรับอัตราส่วนเชิงโมลที่พีเอช 9.5 และ 10

เห็นได้ว่าประสิทธิภาพการนำกลับของฟอสฟอรัสหลังจาการปรับอัตราส่วนเชิงโมล โดยที่อัตราส่วนตั้งแต่ 1:1 ก็สามารถนำกลับฟอสฟอรัสได้มากกว่า 95% เนื่องจากแมกนีเซียมที่เพิ่มเข้าไปจะทำให้แมกนีเซียมไปจับตัวกับฟอสฟอรัสและแอมโมเนีย จึงเกิดการเปลี่ยนรูปเป็นผลึกสตรูไวท์ โดยที่พีเอช 9.5 ที่อัตราส่วน 1:1 3:1 5:1 และ 7:1 มีค่าการนำกลับฟอสฟอรัสอยู่ที่ 95.89% 97.38% 97.76% และ 98.43% ตามลำดับ และมีปริมาณการนำกลับฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นที่พีเอช 10 ที่อัตราส่วน 1:1 3:1 5:1 และ 7:1 มีค่าการนำกลับฟอสฟอรัสอยู่ที่ 98.13% 98.13% 98.13% และ 98.48% ตามลำดับ ปริมาณการนำกลับฟอสฟอรัสมีประสิทธิภาพในการนำกลับไม่แตกต่างกัน ดังนั้นการนำกลับฟอสฟอรัสที่เหมาะสมอยู่ที่อัตราส่วนเชิงโมลระหว่าง Mg:P ที่อัตราส่วน 5:1 ที่พีเอช 9.5 จะเกิดการตกผลึกสตรูไวท์ที่เพียงพอต่อการนำกลับฟอสฟอรัสที่พีเอช 10 นั้นไม่จำเป็นต้องเพิ่มอัตราส่วนก็สามารถนำกลับฟอสฟอรัสได้ จากการทราบการนำกลับของฟอสฟอรัสหลังการปรับอัตราส่วนเชิงโมลระหว่าง Mg:P ที่เหมาะสมในการตกผลึกสตรูไวท์นั้น เห็นได้ว่าการเพิ่มอัตราส่วนของแมกนีเซียมเพื่อลดปริมาณโซเดียมไอดรอกไซด์ซึ่งมีความเป็นด่างสูงทำให้การนำกลับฟอสฟอรัสมีมากขึ้น อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดอยู่ที่ 5:1 ที่พีเอช 9.5 เนื่องจากการนำกลับฟอสฟอรัสได้ดี

บทสรุป

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการตกผลึกสตรูไวท์เพื่อดึงธาตุอาหารฟอสฟอรัสในน้ำเสียโรงงานผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังกลับมาใช้ประโยชน์ ได้แก่ ค่าพีเอช และอัตราส่วนของแมกนีเซียมต่อฟอสฟอรัส (Mg:P) เพื่อใช้เป็นแนวทางนำไปใช้เป็นปุ๋ยละลายช้าสามารถลดธาตุอาหารในน้ำเสียได้และยังเป็นการลดสาเหตุการเกิดปัญหายูโทรฟิเคชันในแหล่งน้ำตามธรรมชาติได้อีกด้วย และลดการก่อให้เกิดปัญหาการอุดตันในท่อของระบบบำบัดน้ำเสียที่ต้องเสียงบประมาณจำนวนมากในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว การศึกษาครั้งนี้พบว่า การตกผลึกสตรูไวท์น้ำเสียแบบกรองพีเอช 10 มีการตกผลึกของสตรูไวท์ที่เหมาะสมและสามารถนำกลับฟอสฟอรัสได้มากกว่า 98% จึงเป็นพีเอชที่เหมาะสมที่สุด สำหรับอัตราส่วนของแมกนีเซียมต่อฟอสฟอรัส (Mg:P) พบว่า อัตราส่วน 5:1 ที่พีเอช 9.5 เหมาะสมที่สุด เนื่องจากมีการตกผลึกสตรูไวท์ที่เหมาะสม และสามารถนำกลับฟอสฟอรัสได้มากกว่า 97% จากข้อมูลดังกล่าวงานวิจัยนี้สามารถสรุปงานวิจัยได้ 2 แบบ ในการหาสภาวะที่เหมาะสม

ในการตกผลึกสตรูไวท์ โดยแบบที่ 1 ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ในการปรับค่าพีเอชให้เท่ากับ 10 ทำการตกผลึกสตรูไวท์และไม่จำเป็นต้องทำการเพิ่มอัตราส่วนเชิงโมลระหว่างแมกนีเซียมต่อฟอสฟอรัส (Mg:P) ก็เหมาะสมในการตกผลึกสตรูไวท์ ส่วนแบบที่ 2 เพิ่มอัตราส่วนเชิงโมลระหว่างแมกนีเซียมต่อฟอสฟอรัส (Mg:P) เท่ากับ 5:1 ที่พีเอช 9.5 ทำการปรับอัตราส่วนเชิงโมลโดยใช้แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ และปรับพีเอชด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่า ใช้อัตราส่วนเท่านี้ก็สามารถนำกลับฟอสฟอรัสได้มากกว่า 97% ยังช่วยลดการใช้สารเคมีและไม่ทำให้น้ำเสียมีค่าความเป็นด่างมากเกินไปด้วย แต่อย่างไรก็ตาม การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการตกผลึก สตรูไวท์ในครั้งนี้เป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำเสียโรงงานผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังเท่านั้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโรงงานผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง จังหวัดราชบุรี ที่อนุเคราะห์น้ำเสียที่ใช้ในการทดสอบครั้งนี้และห้องปฏิบัติการศูนย์สิ่งแวดล้อม ศูนย์วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสวนดุสิต ในการอนุเคราะห์อุปกรณ์และสถานที่ในการทดลองให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

ธาดา ฉัตรธานี. (2531). การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลังโดยกระบวนการไร้ออกซิเจนอิสระแบบสองขั้นตอน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นิธิวัฒน์ จำรูญรัตน์. (2531). การกำจัดแอมโมเนียและฟอสฟอรัสพร้อมกันโดยกระบวนการตกตะกอนทางเคมี. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสุขาภิบาล บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ฝ่ายสุขาภิบาลโรงงาน กองอนามัยสิ่งแวดล้อม สำนักอนามัยกรุงเทพมหานคร. (2560). น้ำเสียและการบำบัดน้ำเสีย. ค้นเมื่อ 18 กรกฎาคม 2563. https://web.ku.ac.th/schoolnet/snet6/envi3/water/solu.htm.

พิชญา วงศ์ผุดผาด. (2559). การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อขนาดของผลึกสตรูไวท์ซึ่งนำกลับจากน้ำเสียฟาร์มสุกรร่วมกับน้ำทะเล. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

รอบรู้ รังสิเวค. (2560). การผลิตปุ๋ยสตรูไวท์จากน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากโรงงานเกษตรอุตสาหกรรมและฟาร์มสุกร. รายงานการวิจัย. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา. ชลบุรี.

APHA (American Public Health Association), AWWA (American Water Works Association), and WEF (Water Environment Federation). (2005). Standard methods for the examination of water and wastewater. 21th ed. Method.

Desmidt E., Ghyselbrecht K., Monballiu A., Rabaey K., Verstraete W. and Meesschaert B.D. (2013). Factors influencing urease driven struvite precipitation. Separation and Purification Technology. 110. 150-157.

Hallas J., Mackowiak C., Wilkie A. and Harris W. (2019). Struvite phosphorus recovery from aerobically digested municipal wastewater. Sustainability. 376. 1-12.

Kataki S., West H., Clarke M. and Baruah, D.C. (2016). Phosphorus recovery as struvite from farm, municipal and industrial waste: Feedstock suitability, methods and pre-treatments. Waste Management. 49. 437-454.

Li B., Huang H.M., Boiarkina I., Yu W., Huang Y.F., Wang G.Q. and Young B.R. (2019). Phosphorus recovery through struvite crystallization: Recent developments in the understanding of operational factors. Journal of environmental management. 248. 1-10.

Taddeo R., Kolppo K. and Lepistö R. (2016). Sustainable nutrients recovery and recycling by optimizing the chemical addition sequence for struvite precipitation from raw swine slurries. Journal of Environmental Management. 180. 52-58.

ATJ Agriculture and Technology Journal

Vol.4 No.3 September - December 2023

ISSN 2730 - 163X

Faculty of Agriculture and Technology
Rajamangala University of Technology Isan