



วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

Udon Thani Rajabhat University Journal of Science and Technology

ปีที่ 9 ฉบับที่ 3 (2564) | Vol.9 Issue.3 (2021) | ISSN 2287-0083

บทความวิจัย

- เครื่องล้างทำความสะอาดหัวข่าแบบกึ่งอัตโนมัติ
สหัสวรรษ ภูจิระ และ รักพงษ์ ชันชวธิ 1
- เครื่องตรวจจับสัญญาณภาพและเสียงโทรศัพท์ที่ผิดปกติผ่านระบบแจ้งเตือนบนแอปพลิเคชันไลน์
นิติคม อริยพิมพ์ 17
- คุณสมบัติการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชของแบคทีเรียที่คัดแยกจากกากตะกอน
ในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ
วรารณ สุทธิสา, กนกวรรณ กรมแสง และ สุพัตรา ชูรกิจ 33
- อิทธิพลของชนและปากใบต่อความสามารถในการดักจับฝุ่น PM10 ของใบไม้พุ่ม
และใบไม้รอเลื้อยบางชนิด
มัทนภรณ์ ใหม่คามิ และ เพ็ญศิริ ไพจิตร 51
- เปรียบเทียบผลการเบียนของแตนเบียน *ANISOPTEROMALUS CALANDRAE* (HOWARD)
และ *THEOCOLAX ELEGANS* (WESTWOOD) ต่อด้วงถั่วเขียว
ณัฐพงศ์ เมธินธรังสรรค์ 67
- เพศดินไฮโดรเจลจากผักตบชวาสำหรับการดูดซับตะกั่วและแคดเมียม
เอราวัฒน์ เป้าทอง และ พิสิษฐ์ เจริญสุดใจ 79
- EFFECTS OF ONE-YEAR FOLLOW-UP OF A GROUP-BASED TYPE 2 DIABETES
MOTVATIONAL INTERVIEWING INTERVENTION AND HEALTH EDUCATION PROGRAM
ON BLOOD CHEMISTRY AMONG TYPE 2 DIABETES PATIENTS
Thanyawat Homsombat 95



วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ปีที่ 9 ฉบับที่ 3 (2564)

UDON THANI RAJABHAT UNIVERSITY
JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
Vol.9 Issue.3 (2021)

ISSN 2287-0083

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

ปีที่ 9 ฉบับที่ 3 (2564)

วัตถุประสงค์

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี (UDON THANI RAJABHAT UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY; ISSN 2287-0083) ชื่อย่อภาษาอังกฤษ “UDRU Sci. & Tech. J.” มีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่บทความวิจัยและบทความวิชาการของคณาจารย์ นักวิจัย นักวิชาการและนักศึกษาทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีวารสารรับการตีพิมพ์เผยแพร่บทความ ในกลุ่มวิทยาศาสตร์ สาขาเคมี ฟิสิกส์ ชีววิทยา และคณิตศาสตร์ กลุ่มวิทยาศาสตร์ประยุกต์ สาขาวิทยาศาสตร์สุขภาพ วิทยาศาสตร์การกีฬา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม วัสดุศาสตร์และเทคโนโลยีชีวภาพ กลุ่มเกษตรศาสตร์ สาขาพืชศาสตร์ เศรษฐศาสตร์เกษตร ประมง และสัตวศาสตร์ และกลุ่มวิศวกรรมศาสตร์ สาขาเครื่องกล, พลังงาน อิเล็กทรอนิกส์ ไฟฟ้า และคอมพิวเตอร์ โดยมีกำหนดเผยแพร่ ปีละ 3 ฉบับ ฉบับที่ 1 (มกราคม – เมษายน) ฉบับที่ 2 (พฤษภาคม – สิงหาคม) และฉบับที่ 3 (กันยายน – ธันวาคม) ของทุกปี

เจ้าของ

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์จรูญ ถาวรจักร์	อธิการบดี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาตชาย ม่วงปฐุม	รองอธิการบดี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คณิศรา ธัญสุนทรสกุล	รองอธิการบดี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤตภูมิ ชมพูวิเศษ	รองอธิการบดี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มณีนุชา สุราษ	รองอธิการบดี
ดร.วิบูล เป็นสุข	รองอธิการบดี
รองศาสตราจารย์ ดร.สุนทร สุทธิปาก	คณบดีคณะเทคโนโลยี
ดร.อภิรักษ์ ลอยแก้ว	คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

ปีที่ 9 ฉบับที่ 3 (2564)

บรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ ดร.น.สพ.ฤทธิชัย พิลาไชย

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ ดร.นิรารวรรณ กุณัน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยวดี ยาบุษดี

กองบรรณาธิการผู้ทรงคุณวุฒิ

ศาสตราจารย์ ดร.อลงกลด แทนอมทอง

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ศาสตราจารย์ ดร.สมชาย ปิ่นล่อ

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

รองศาสตราจารย์ ดร.ฉลอง วชิราภากร

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

รองศาสตราจารย์ ดร.ลัดดา มีสุข

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

รองศาสตราจารย์ ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
พระนครเหนือ

รองศาสตราจารย์ ดร.สิงห์ทอง พัฒนเศรษฐฐานนท์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

รองศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต กฤตาคม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

รองศาสตราจารย์ ดร.โฆษิต ศรีภูธร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

รองศาสตราจารย์ ดร.วัลลภ เหมวงษ์

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

รองศาสตราจารย์ ดร.สุนทร สุทธิปาก

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

รองศาสตราจารย์ ดร.ทรงกฏ อุดรา

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

รองศาสตราจารย์ ดร.กริช สมกันธา

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

รองศาสตราจารย์ ดร.กฤษณพงศ์ สมสุข

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัชภาคย์ จิตต์อารี

มหาวิทยาลัยมหิดล

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิสิต คำหล้า

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิวัตร อังควิสิษฐพันธ์

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อำไพศักดิ์ ทิบุญมา

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

ปีที่ 9 ฉบับที่ 3 (2564)

กองบรรณาธิการผู้ทรงคุณวุฒิ (ต่อ)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กาญจนา วงษ์สวัสดิ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เมทินี วสุนธราวัฒน์	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภูเบศร์ พิพิธหิรัญการ	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรรถศาสตร์ วิเศียรศาสตร์	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วราจิต พยอม	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพ็ญ ผาใต้	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.น.สพ.ยศวริศ เสมามิ่ง	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

คณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer Review)

รองศาสตราจารย์ ดร.กริช สมกันธา	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรัตน์ บัวเลิศ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุกัญญา เจริญวัฒน์	มหาวิทยาลัยบูรพา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คณิต วิจิตพันธุ์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรเมษฐ์ จันทร์เพ็ง	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิสิษฐ์ พูลประเสริฐ	มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บรรจงศักดิ์ ฝึกสมบุญ	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย บุตรนันท์	มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เมทินี วสุนธราวัฒน์	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภูเบศร์ พิพิธหิรัญการ	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยวดี ยาบุษดี	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรรณภา ภาจำปา	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สไผ่ มัญญา	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิวรรณ แสงภักดี	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนิศา นวนิล	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ปีที่ 9 ฉบับที่ 3 (2564)

คณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer Review)

ดร.หวนใจ หล้าพรม

ดร.กฤษณะ ช่องศรี

ดร.วินัย มีแสง

นายกฤตชัย บุญควินนท์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

มหาวิทยาลัยราชภัฏราชชนครินทร์

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

คณะกรรมการดำเนินงาน

ดร.เอกราช ดีนาง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยวดี ยาบุษดี

ดร.ชาลี เกตุแก้ว

ดร.วิวรรธน์ แก่นสา

ดร.รุ่งฤดี ศรีสำออง

นายกวีพงษ์ หงส์ทอง

นางสาวศิวพร ภูทองทอง

นางกาญจนา มูลอาจ

นางสาวณิชา พันธุ์ควนิชัย

ดร.ปณมนัสพงศ์ ปุณประเสริฐ

นางสาวศศิตา พงสาวลี

นายธราดล ปราบภัย

นางพิมลพรรณ ศรีภูธร

นางสาวนัชชา คำบุญมา

นางสาวชฎารัตน์ วงษ์มีพันธุ์

นายอภิเดช อภิพัฒน์ภาคกุล

นายรุ่งโรจน์ มีแก้ว

ประธานกรรมการ

รองประธานกรรมการ

กรรมการ

กรรมการ

กรรมการ

กรรมการ

กรรมการ

กรรมการ

กรรมการ

กรรมการ

กรรมการ

กรรมการ

กรรมการ

กรรมการ

กรรมการ

กรรมการและเลขานุการ

กรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

ปีที่ 9 ฉบับที่ 3 (2564)

คณะกรรมการตรวจสอบภาษาต่างประเทศ

ดร.สุภัทรา วันเพ็ญ

พิสูจน์อักษร

นางสาวศิวพร ภูทอง

ออกแบบปก

นายสุริยา ชัยดำรงณ์

นางสาวศศิตา พงศาวิ

กำหนดการเผยแพร่

3 ฉบับต่อปี ฉบับที่ 1 (มกราคม – เมษายน)

ฉบับที่ 2 (พฤษภาคม – สิงหาคม)

ฉบับที่ 3 (กันยายน – ธันวาคม)

สถานที่ติดต่อ

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

64 ถ.ทหาร ต.หมากแข้ง อ.เมือง จ.อุดรธานี 41000

โทรศัพท์: 042-211040 ต่อ 1702 โทรสาร: 042-241586

เว็บไซต์: <http://rdi.udru.ac.th>

เว็บไซต์วารสาร: www.tci-thaijo.org/index.php/scudru

อีเมล: udrujournal@udru.ac.th

“ข้อความที่ปรากฏในบทความแต่ละเรื่องในวารสารวิชาการเล่มนี้
ไม่ใช่ความคิดเห็นและความรับผิดชอบของคณะผู้จัดทำ บรรณาธิการ
กองบรรณาธิการ และมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ซึ่งความรับผิดชอบด้านเนื้อหาและการตรวจร่างบทความ
แต่ละเรื่องเป็นของผู้เขียนแต่ละท่าน”

บทบรรณาธิการ

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี เป็นวารสารที่ได้รับการประเมินคุณภาพอยู่ใน กลุ่มที่ 2 จากศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (TCI) มีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่บทความวิจัยและบทความวิชาการของคณาจารย์ นักวิจัย นักวิชาการและนักศึกษาทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยกำหนดเผยแพร่ ปีละ 3 ฉบับ (มกราคม-เมษายน, พฤษภาคม-สิงหาคม และ กันยายน-ธันวาคม) ตามลำดับ ในวารสารฉบับนี้ เป็นฉบับที่ 3 ปีที่ 9 ประจำปี พ.ศ. 2564 มีบทความวิจัยรวมจำนวน 8 บทความ ซึ่งมีเนื้อหาครอบคลุมทั้งด้านวิทยาศาสตร์ วิทยาศาสตร์ประยุกต์ วิทยาศาสตร์สุขภาพ วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม เกษตรศาสตร์ และวิศวกรรมศาสตร์

กองบรรณาธิการวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ขอขอบคุณผู้เขียนบทความวิจัยที่ได้ร่วมส่งบทความตีพิมพ์ในวารสารฉบับนี้ และขอขอบคุณ คณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิที่ได้ตรวจบทความในวารสาร กองบรรณาธิการหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวารสารฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้อ่านทุกท่าน และขอเชิญชวนผู้ที่สนใจ ทั้งคณาจารย์ นักวิจัย นักวิชาการและนักศึกษาทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ส่งบทความตีพิมพ์ผ่านระบบจัดการวารสารออนไลน์ได้ตลอดทั้งปี ที่เว็บไซต์วารสาร www.tci-thaijo.org/index.php/scudru

ฤทธิชัย พิล้าไชย

บรรณาธิการ

สารบัญ

	หน้า
เครื่องล้างทำความสะอาดหัวข่าแบบกึ่งอัตโนมัติ <i>สหัสวรรษ ภูจิระ และ รักพงษ์ ชันธวิธี</i>	1
เครื่องตรวจจับสัญญาณภาพและเสียงโทรศัพท์ที่ผิดปกติผ่านระบบแจ้งเตือนบนแอปพลิเคชันไลน์ <i>นิติคม อริยพิมพ์</i>	17
คุณสมบัติการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชของแบคทีเรียที่คัดแยกจากกากตะกอนในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ <i>วราภรณ์ สุทธิสา, กนกวรรณ กรมแสง และ สุพัตรา ชูรกิจ</i>	33
อิทธิพลของชนและปากใบต่อความสามารถในการดักจับฝุ่น PM ₁₀ ของใบไม้พุ่มและใบไม้ร่อเลื้อยบางชนิด <i>มัทนภรณ์ ใหม่คามิ และ เพ็ญศิริ ไพจิตร</i>	51
เปรียบเทียบผลการเบียนของแตนเบียน <i>ANISOPTEROMALUS CALANDRAE</i> (HOWARD) และ <i>THEOCOLAX ELEGANS</i> (WESTWOOD) ต่อด้วงถั่วเขียว <i>ณัฐพงศ์ เมธินธรังสรรค์</i>	67
เพศตินไฮโดรเจลจากผักตบชวาสำหรับการดูดซับตะกั่วและแคดเมียม <i>เอราวัณ เป้าทอง และ พิสิษฐ์ เจริญสุดใจ</i>	79
EFFECTS OF ONE-YEAR FOLLOW-UP OF A GROUP-BASED TYPE 2 DIABETES MOTIVATIONAL INTERVIEWING INTERVENTION AND HEALTH EDUCATIONAL PROGRAM ON THE BLOOD CHEMICAL LEVEL AMONG TYPE 2 DIABETES PATIENTS <i>Thanyawat Homsombat</i>	95
ผลของปุ๋ยคอกต่อการเจริญเติบโตและปริมาณสารสารฟลาโวนอยด์ในกระชายดำ <i>ปภากร สุทธิภาศิลป์ และ เทิดศักดิ์ โทณลักษณ์</i>	113

เครื่องล้างทำความสะอาดหัวข้าวแบบกึ่งอัตโนมัติ SEMI-AUTOMATIC GALANGAL CLENING MACHINE

สหัสวรรษ ภูจิระ^{1,*} และ รักพงษ์ ชันธวิธ²
Sahassawas Poojeera^{1,*} and Rakpong Khanthawithi²

¹สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์

²สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล

¹Department of Mechanical Engineering, Faculty of Agriculture and Technology, Rajamangala
University of Technology Isan Surin Campus

²Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Vongchavalitkul University

Received: 16 January 2021

Accepted: 28 Novemberh 2021

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบเครื่องล้างทำความสะอาดหัวข้าว เพื่อลดปัญหาที่เกิดจากการล้างในปัจจุบันที่ยังใช้แรงงานคนในการล้างรวมไปถึงระยะเวลาในการล้างที่นานเกินไป และยังช่วยในการประหยัดน้ำ การศึกษาใช้มอเตอร์ขนาด 1/4 แรงม้า รอบการหมุน 1450 รอบต่อนาที เป็นต้นกำลัง ใช้ปั้มน้ำขนาด 0.5 แรงม้า เพื่อใช้ในการหมุนเวียนน้ำในการล้างทำความสะอาด ใช้ Flat Fan Spray Nozzle ที่องศาสเปรย์ 60 องศา ช่วยในการฉีดล้างเศษดินที่ติดมากับหัวข้าว และตะแกรงล้างจะช่วยในการร่อนดินที่ติดมากับหัวข้าว จากการทดสอบพบว่าค่าที่เหมาะสมกับเครื่องล้างหัวข้าวนี้ คือ หัวข้าวที่น้ำหนัก 5 กิโลกรัม สะอาดที่สุดใช้เวลา 120 วินาที ผลต่างก่อนล้างและหลังล้างเท่ากับ 0.9 กิโลกรัม หรือ 18% จากนั้นนำไปทดสอบเพื่อเปรียบเทียบกับ การล้างด้วยคน พบว่าการล้างหัวข้าวที่น้ำหนัก 300 กิโลกรัม เครื่องล้างหัวข้าวใช้เวลาน้อยกว่าการใช้คน เท่ากับ 90.8 นาที เครื่องล้างหัวข้าวมีปริมาณน้ำที่ใช้ต่ำกว่าใช้คนล้าง เท่ากับ 3.02 บาท จำนวนแรงงานในการ

* ผู้ประสานงาน: สหัสวรรษ ภูจิระ

อีเมล: Sahassawas.po@rmuti.ac.th

ล้างหัวข่าด้วยเครื่องต่ำกว่าใช้คนล้าง เท่ากับ 1 คน แต่เครื่องล้างหัวข่ามีการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงกว่าใช้คนล้าง เท่ากับ 8.83 บาท จากผลการทดสอบต้องใช้ระยะเวลาคืนทุน 6 เดือน

คำสำคัญ: หัวข่า, การล้างหัวข่า, การทดสอบ

Abstract

The purpose of this research was to test the galangal cleaning machine for reducing the problems caused by current cleaning method that requires human labor to wash and long cleaning duration, and for water saving. The research used a 1/4 hp motor with a rotational speed of 1450 rpm to generate the power. The 0.5 hp water pump was used to circulate water for cleaning, while the Flat Fan Spray Nozzle at 60-degree spray was used for spraying the soil fragments attached to the galangal, and the washing sieve will help to sift the soil attached to the galangal heads. The research reveals that the optimum value of this galangal cleaning machine for the cleanest was 5 Kgs of galangal at 120 seconds. The difference before and after cleaning was at 0.9 Kg or at 18%. On comparing the cleaning machine and human cleaning, it was found that cleaning 300 kilograms of galangal by using the cleaning machine took 90.8 minute shorter time than using human labor. The galangal cleaning machine had lower water consumption than cleaning by human labor at 3.02 Baht. The number of workers in cleaning galangal with the cleaning machine was fewer than using human labor at 1 person, but the cleaning machine consumed higher electricity than using human labor at 8.83 Baht. According to the results of the research, a payback period was 6months.

Keywords: Galangal, Cleaning Galangal, Experiment

บทนำ

ปัจจุบันเกษตรกรในหลายพื้นที่ของประเทศไทยมีอาชีพปลูกหัวข่าเป็นอาชีพเพื่อหารายได้ในการดำรงชีวิต เพราะหัวข่าเป็นพืชเศรษฐกิจชนิดหนึ่งที่ทำรายได้แก่ประเทศ (Yang & Eilerman, 1999; Oonmetta-areea et al., 2006; บงกช นพพลม 2545; Sripor & Nakanyapatthara, 2014) ราคาข่าเหลืองที่ขายกันทั่วไป ราคาเหมาหน้าไร่ต้นละ 40,000 บาท ราคาหน้าตลาดต้นละ 60,000 บาท 1 ไร่จะให้ผลผลิตประมาณ 3.5-4 ตัน สำหรับตลาดของข่าเหลืองนั้นก็มีตลาดรองรับค่อนข้างกว้าง เนื่องจากเป็นที่นิยมของผู้บริโภค โดยเฉพาะในเขตภาคอีสานและภาคใต้ ราคาข่า แบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ข่าอ่อน เป็นข่าที่เก็บผลผลิตในช่วงเดือนที่ 6 เมื่อนำไปขายจะได้ราคาดีมากถึงกิโลกรัมละ 30-35 บาท ส่วนอย่างที่สอง คือ ข่าแก่ เป็นข่าที่อยู่ในช่วงการเจริญเติบโตในเดือนที่ 8 ซึ่งหลงเหลือจากเก็บผลผลิตไม่ทันของคณงาน ซึ่งขายได้ราคากิโลกรัม 10-15 บาท ทั้งนี้ เมื่อเปรียบเทียบข่าแก่กับข่าอ่อนแล้วอัตราส่วนในแปลงที่ขุดได้แต่ละวันจะมีข่าอ่อนถึง 80-90 เปอร์เซ็นต์ จะมีข่าแก่เพียง 10-20 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น โดยในรูปที่ 1 การเก็บหัวข่าต่อไร่จะได้ปริมาณหัวข่าเฉลี่ยประมาณ 3-4 ตัน ทำให้เกษตรกรประสบปัญหาในการล้างทำความสะอาดหัวข่าดังกล่าว ซึ่งจะมีสิ่งปนเปื้อนติดอยู่เป็นจำนวนมาก ไม่ว่าจะเป็นเศษดิน หิน และทราย จึงจำเป็นต้องล้างทำความสะอาดก่อนนำไปผ่านกระบวนการผลิตและจำหน่ายต่อไป



รูปที่ 1 ไร่ข่า



รูปที่ 2 หัวข่าจากการเก็บเกี่ยว

หัวข่าจากการเก็บเกี่ยว (จากรูปที่ 2) มีวิธีการขุดที่ถูกต้องวิธี ซึ่งทำดังนี้ เลือกขุดข่าเพียง 3 มุม จากทั้งหมด 4 มุม ยกตัวอย่างเช่น ปลูกข่า 1 กอ จะมีต้นข่าขึ้นประมาณ 10 ต้น เป็นสี่เหลี่ยม เมื่อข่าโตจนเก็บผลผลิตได้ประมาณ 6-8 เดือน ให้เลือกขุดออกไป 3 มุม เหลือไว้

หนึ่งมุม สำหรับเหลือให้ข้าแพร่พันธุ์ขยายต่อไปได้ แต่เมื่อเก็บผลผลิตในครั้งต่อไป ควรสับเปลี่ยนมุมที่ขุดออก เพราะจะทำให้ข้าที่งอกใหม่แต่ละครั้งเจริญเติบโตดี มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น (ไกรเลิศ ทวีกุล และ วีระ ภาคอุทัย, 2561) หลังจากที่ได้ถอดหัวข้าจากดินขึ้นมา จำเป็นต้องมีการล้างทำความสะอาดหัวข้าก่อนที่จะนำไปใช้งานหรือส่งขายตามท้องตลาด เนื่องจากหัวข้าเป็นพืชที่เกิดในพื้นที่ดิน จึงมีดินติดบริเวณหัวจำนวนมาก (จากรูปที่ 3) โดยหัวข้าที่ยังไม่ได้ล้างทำความสะอาดนั้นจะสังเกตได้ง่ายว่ามีดินและสิ่งสกปรกติดตามหัวและรากชัดเจน ส่งผลให้ยังไม่สามารถนำไปใช้ได้ทันทีที่ต้องผ่านกระบวนการทำความสะอาดก่อน ในการล้างทำความสะอาดนั้นแบบดั้งเดิมจะใช้สายยางฉีดเพื่อล้างดินที่เกาะอยู่ที่บริเวณหัวข้าให้ออก

ในขั้นตอนการล้างทำความสะอาดนั้นมีความยากลำบากเกิดขึ้นเพราะปริมาณการเก็บผลผลิตในแต่ละครั้งมีจำนวนมาก ทำให้การล้างทำความสะอาดหัวข้านั้นต้องอาศัยแรงงานจากคนในการล้างทำความสะอาดก่อนนำไปจำหน่าย โดยในรูปที่ 4 การล้างทำความสะอาดหัวข้าด้วยแรงงานคนนั้นทำให้วัตถุดิบมีคุณภาพไม่สม่ำเสมอและไม่ได้มาตรฐาน ประกอบกับประสิทธิภาพในการล้างของเกษตรกรเกิดความล่าช้าจำนวนคนงานที่มีไม่เพียงพอ เมื่อล้างหัวข้าในปริมาณมาก ๆ ทำให้เกิดการเมื่อยล้า สิ้นเปลืองกำลังคน สิ้นเปลืองระยะเวลา สิ้นเปลืองทุนทรัพย์ ในโครงการนี้จึงได้ทำการศึกษาและออกแบบเครื่องล้างทำความสะอาดหัวข้าขึ้น การทำงานของเครื่องล้างทำความสะอาดหัวข้าจะอาศัยพลังงานไฟฟ้าและมอเตอร์เป็นต้นกำลัง โดยการทำงานของเครื่องจะมีขั้นตอนการทำงานคือการล้างทำความสะอาดหัวข้าด้วยตะแกรงที่หมุนและใช้น้ำแรงดันสูงเพื่อแยกสิ่งสกปรก



รูปที่ 3 หัวข้าก่อนล้างทำความสะอาด



รูปที่ 4 การล้างหัวข้าแบบดั้งเดิม

การสร้างเครื่องล้างทำความสะอาดหัวข่าเป็นการช่วยเหลือเกษตรกรและผู้สนใจในการลดต้นทุนในการล้างทำความสะอาดแต่ละครั้ง ทำให้เวลาที่ใช้ในการล้างทำความสะอาดหัวข่าลดลงและลดทุนทรัพย์ทำให้ประหยัดต้นทุนในการจ้างแรงงานคนล้างทำความสะอาดหัวข่า และทำให้เกษตรกรมีความสะดวกสบายมากยิ่งขึ้นในการประกอบอาชีพ จากปัญหาดังกล่าวที่ได้กล่าวมาก่อนหน้านี้ ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้จึงได้ศึกษาและออกแบบเครื่องล้างทำความสะอาดหัวข่าแบบกึ่งอัตโนมัติขึ้นเพื่อช่วยเกษตรกรและผู้สนใจต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย



รูปที่ 5 แผนผังการทดสอบ

การทดสอบเครื่องล้างหัวข่าแบบกึ่งอัตโนมัติ อธิบายได้จากแผนผังการทดสอบ รูปที่ 5 เมื่อได้วัตถุดิบในการทดสอบคือหัวข่ามาจากการเก็บเกี่ยว ขั้นตอนต่อไปเป็นการตัดต้นและนำหัวข่าไปชั่งน้ำหนักก่อนล้าง จากนั้นนำเข้าเครื่องล้าง เมื่อล้างเสร็จนำไปชั่งน้ำหนักอีกครั้ง

เพื่อหาผลต่างของน้ำหนักที่หายไป แล้วทำการวิเคราะห์จากผลการทดสอบเพื่อหาค่าเหมาะสมของเครื่องล้างหัวข่า เมื่อได้ค่าเหมาะสมจะนำค่าที่เหมาะสมนั้นไปทดสอบเพื่อเปรียบเทียบกับเครื่องล้างด้วยแรงงานคน ในตัวแปรต่างๆ เช่น เวลา ปริมาณน้ำ ปริมาณไฟฟ้า ค่าจ้างแรงงาน เป็นต้น จากนั้นทำการวิเคราะห์ค่าใช้จ่าย เพื่อนำไปหาระยะเวลาคืนทุนของเครื่องล้างหัวข่า สุดท้ายนำผลจากการทดสอบต่างๆที่ได้ไปสรุปผลต่อไป

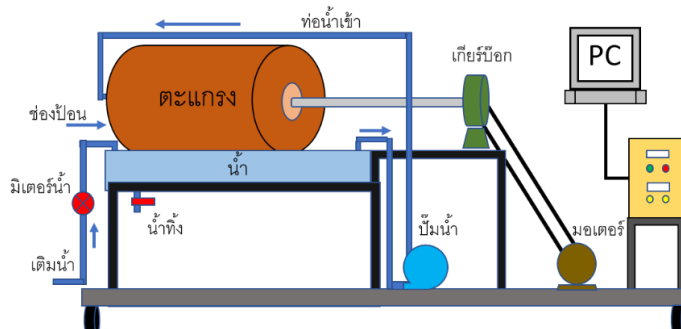
1. อุปกรณ์การทดลอง

ตารางที่ 1 อุปกรณ์และวัตถุดิบที่ใช้ในการทดสอบ

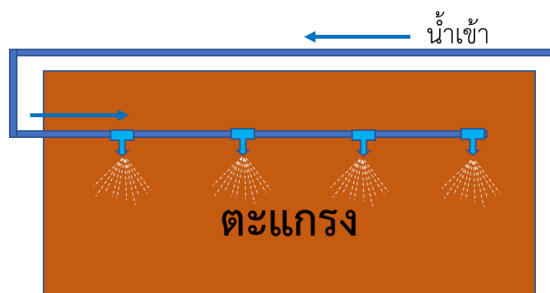
อุปกรณ์และวัตถุดิบ	รายละเอียด / ความแม่นยำ	ยี่ห้อ
อุปกรณ์		
หัวสเปรย์ (ทรงพัดแบบม่านน้ำ)	- มีมุมให้เลือกตั้งแต่ 15 ถึง 110 องศา - ขนาดเกลียว: 1/4"	World spray
เครื่องวัดการไหลของน้ำแบบดิจิตอล	- ความแม่นยำในการวัด: 0.5% - การไหล: 9L/Min-100L/Min	Douyaki 24
ปั๊มหอยโข่ง (0.5 แรงม้า)	- อัตราการสูบน้ำ 20 ลิตร/นาที ที่ระยะส่ง 14 เมตร - ใบพัดน้ำผลิตจากทองเหลือง	WIZZ
มอเตอร์	- มอเตอร์ส่งกำลังไฟฟ้า 1/4 HP 220V	pioneer
ตู้คอนโทรล	- ตู้คอนโทรล, ตู้ควบคุมมอเตอร์, ปั๊มน้ำ 0.5- 5 HP - มอเตอร์ทำงานจากโปรแกรม Timer Auto-ON-OFF ตั้งโปรแกรมเวลา เปิด-ปิด	-
เกียร์ทดรอบ	- สำหรับมอเตอร์ขนาด 1/4 แรงม้า - อัตราทดรอบเลือกใช้ ตั้งแต่ 1:10 - 1:60	CPG (ได้หัวน)
เครื่องวัดความเร็วรอบ	- ความแม่นยำ: $\pm (0.05\% + 1 \text{ หลัก})$ - วัดรอบแบบสัมผัส: 0.5~19,999 RPM	DIGICON
เครื่องบันทึก	- รับสัญญาณแบบ Universal 2 ช่อง - มี Relay สำหรับควบคุม 2 ช่อง	APAR
เครื่องชั่งตั้งพื้น	- พิกัด 150 กิโลกรัม - หน่วยชั่ง kg / lb.	Keli
วัตถุดิบ		
หัวข่า	- หัวข่าชุดจากดิน 300 กิโลกรัม	

2. หลักการทำงานของเครื่อง

การทำงานของเครื่องล้างหัวข่าแบบกึ่งอัตโนมัติ ดังรูปที่ 6 ขั้นตอนที่ผู้ใช้งานเครื่องต้องเป็นคนทำเองคือต้องป้อนหัวข่าเข้าที่ช่องป้อนของตะแกรงและนำออกจากช่องป้อน หลังจากล้างเสร็จสิ้นกระบวนการ นอกจากการป้อนและนำหัวข่าออกนั้น ขั้นตอนต่าง ๆ หลังจากนั้นจะเป็นแบบอัตโนมัติซึ่งจะกล่าวต่อไปดังนี้ เมื่อผู้ใช้งานป้อนหัวข่าแล้ว จากนั้นเปิดสวิตซ์การทำงานของเครื่อง การเปิดเครื่องจะเป็นการสั่งให้ระบบต่าง ๆ ของเครื่องเริ่มทำงาน เช่น ระบบไฟฟ้าขับเคลื่อนมอเตอร์ ระบบไฟฟ้าขับปั้มน้ำ และระบบหัวฉีดเปรี๊ยน้ำ เป็นต้น โดยมอเตอร์จะทำหน้าที่หมุนเพลลาของตะแกรงที่บรรจุหัวข่าไว้ ให้หมุนอย่างต่อเนื่อง ซึ่งในขณะที่ตะแกรงหมุนนั้นหัวสเปรี๊ยกก็จะทำการฉีดน้ำใส่หัวข่าที่กำลังเคลื่อนที่ตามการหมุนของตะแกรง ระบบน้ำจะถูกขับจากปั้มน้ำไปตามท่อเข้าแล้วเข้าหัวสเปรี๊ยก จากนั้นจะฉีดออกเพื่อล้างหัวข่า น้ำจากการล้างจะถูกเก็บไว้ที่ด้านใต้ของตะแกรง เพื่อนำน้ำวนกลับมาใช้ใหม่ได้ ระบบไฟฟ้าทั้งหมดจะถูกบันทึกค่าด้วยตู้ควบคุมและส่งข้อมูลเข้าสู่คอมพิวเตอร์



รูปที่ 6 เครื่องล้างทำความสะอาดหัวข่า



รูปที่ 7 ตะแกรงของเครื่องล้างทำความสะอาดหัวข่า

3. ขั้นตอนการทดลอง

เครื่องล้างทำความสะอาดหัวข่าที่ใช้ในการทดสอบในครั้งนี้ (ดังรูปที่ 6) ใช้มอเตอร์ ขนาด 1/4 แรงม้า เป็นต้นกำลัง โดยมีความเร็วรอบการหมุน 1450 รอบต่อนาที ต่อกับ เกียร์บ็อกซ์อัตราทด 1:60 รอบต่อนาที เกียร์บ็อกซ์ต่อเฟลาเข้ากับตะแกรงทรงกระบอกกลวง (รูปที่ 6) ความยาว 100 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 50 เซนติเมตร ระยะห่างของตะแกรง 2 เซนติเมตร (ดังรูปที่ 7) ซึ่งใช้ปั้มน้ำขนาด 0.5 แรงม้า อัตราการไหล 40 ลิตรต่อนาที แรงดันน้ำ 4 บาร์ เพื่อใช้ในการหมุนเวียนน้ำในการล้างทำความสะอาด โดยน้ำจะผ่านกรองที่มีตาข่ายเป็นตัวดักเศษฝุ่นขนาดเล็ก และการล้างทำความสะอาดจะใช้ Flat Fan Spray Nozzle ที่องศาสเปรย์ 60 องศา อัตราการไหล 3.9 ลิตรต่อนาที แรงดันน้ำ 3 บาร์ ซึ่งแบ่ง การทดสอบออกเป็น 3 การทดสอบดังนี้

3.1 วิธีการทดสอบการล้างหัวข่าแบบดั้งเดิม ทางผู้วิจัยให้เกษตรกรจำนวน 5 คนทำการล้างหัวข่า (เกษตรกรอายุแตกต่างกัน) โดยการฉีดล้างทำความสะอาดหัวข่าด้วย หัวฉีดแบบ Spray Nozzle ที่ต่อเข้ากับสายยาง ซึ่งใช้ปั้มน้ำ ขนาด 1/4 แรงม้า เป็นตัวช่วย เพิ่มแรงดันน้ำให้สูงขึ้นจากรูปที่ 4 เพื่อใช้ฉีดดินและสิ่งสกปรกออกจากหัวข่า มีขั้นตอนดังนี้

1) เตรียมเครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดสอบดังนี้ อุปกรณ์วัดพลังงานไฟฟ้าเพื่อ วัดการใช้งานของปั้มน้ำ อุปกรณ์วัดปริมาณน้ำเพื่อวัดปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างหัวข่า และ นาฬิกาจับเวลาเพื่อจับเวลาตลอดการทดสอบ

2) เตรียมวัตถุดิบในการทดสอบ ชั่งน้ำหนักหัวข่าเพื่อแบ่งหัวข่าเป็น 300 กิโลกรัม

3) ให้เกษตรกรจำนวน 5 คน ล้างหัวข่าน้ำหนัก 300 กิโลกรัมต่อคน ด้วยการ ฉีดน้ำล้างด้วยหัวฉีด Spray Nozzle

4) เริ่มจับเวลา เปิดอุปกรณ์วัดพลังงานไฟฟ้า และอุปกรณ์วัดปริมาณน้ำ เมื่อเริ่มล้างหัวข่าหัวแรกในทันที

5) บันทึกผลจากอุปกรณ์วัดพลังงานไฟฟ้าและอุปกรณ์วัดปริมาณน้ำ ทุก 50, 100, 150, 200, 250 และ 300 กิโลกรัม ตามลำดับ

6) เมื่อเกษตรกรล้างหัวข่าครบจำนวน 300 กิโลกรัม นำหัวข่าทั้งหมดไปชั่ง น้ำหนัก และบันทึกผล

7) วิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบ

3.2 วิธีการทดสอบเพื่อหาจุดที่เครื่องล้างหัวขามีประสิทธิภาพสูงสุด ในการทดสอบจะแบ่งกรณีศึกษาออกเป็น 5 กรณี ดังนี้ 1, 3, 5, 7 และ 10 กิโลกรัม (ทดสอบ 3 ครั้ง ต่อ 1 กรณี) มีขั้นตอนดังนี้

- 1) นำหัวข่าซึ่งน้ำหนัก จำนวน 1 กิโลกรัม, 3 กิโลกรัม, 5 กิโลกรัม, 7 กิโลกรัม และ 10 กิโลกรัม
- 2) นำหัวข่าใส่ในตะแกรงล้างของเครื่องล้างทำความสะอาดหัวข่า
- 3) เปิดเครื่องล้างทำความสะอาดหัวข่า โดยอาศัยแรงดันน้ำจากหัวฉีด
- 4) เวลาที่ใช้ในการทดสอบมีทั้งหมด 5 กรณี ดังนี้ เวลา 30 วินาที, 60 วินาที, 90 วินาที, 120 วินาที และ 150 วินาที
- 5) นำหัวข่าออกจากตะแกรงล้างของเครื่องล้างทำความสะอาดหัวข่า หลังจากล้างหัวข่าครบตามระยะเวลาที่กำหนด
- 6) ชั่งน้ำหนักหัวข่าหลังจากล้างเสร็จในแต่ละรอบ
- 7) บันทึกผล
- 8) วิเคราะห์ข้อมูลจากผลการทดสอบ เพื่อหาประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องล้างหัวข่า (น้ำหนักก่อนการล้าง-น้ำหนักหลังการล้าง เนื่องจากหากนำดินหรือสิ่งสกปรกออกได้เยอะ หัวข่าก็จะมีประสิทธิภาพและพร้อมใช้งานมากขึ้น)

3.3 วิธีการทดสอบเครื่องล้างหัวข่า ซึ่งวัดจากตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้ เวลา, ปริมาณน้ำ, ปริมาณไฟฟ้า, แรงงานคน เป็นต้น และจะนำข้อมูลจากการทดสอบไปเปรียบเทียบกับการใช้แรงงานคนล้างมีขั้นตอนดังนี้

- 1) นำหัวข่าซึ่งน้ำหนักตามผลที่ได้จากการทดสอบจากหัวข้อที่ (2.1) การหาประสิทธิภาพสูงสุดของเครื่องล้างหัวข่า (หัวข่าจำนวน 5 กิโลกรัมเป็นจำนวนที่เครื่องทำงานได้ประสิทธิภาพสูงสุด และเวลาที่เครื่องล้างหัวข่ามีประสิทธิภาพสูงสุด เท่ากับ 120 วินาที)
- 2) นำหัวข่าใส่ในตะแกรงล้างของเครื่องล้างทำความสะอาดหัวข่า
- 3) เปิดเครื่องล้างทำความสะอาดหัวข่า โดยอาศัยแรงดันน้ำจากหัวฉีด (ทดสอบ 3 ครั้ง ต่อ 1 กรณี)
- 4) นำหัวข่าออกจากตะแกรงล้างของเครื่องล้างทำความสะอาดหัวข่า หลังจากล้างหัวข่าครบระยะเวลาตามที่กำหนด
- 5) ชั่งน้ำหนักหัวข่าหลังจากล้างเสร็จในแต่ละรอบ

6) บันทึกผล

7) ทดสอบต่อเนื่องจนล้างหัวฆ่าครบ 300 กิโลกรัม

8) วิเคราะห์และสรุปผล

3.4 การคำนวณหาระยะเวลาคืนทุน

การคำนวณหาระยะเวลาคืนทุน ต้องคำนึงถึงต้นทุนและค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ตลอดระยะเวลาการใช้งาน เช่น เวลาในการดำเนินงาน ค่าใช้จ่ายน้ำประปา ค่าพลังงานไฟฟ้า ค่าแรงงาน และราคาในการลงทุนสร้างเครื่องล้างหัวฆ่า ซึ่งสามารถคำนวณและวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนได้จากสมการ (1) ดังนี้

ระยะเวลาคืนทุน = ราคาในการลงทุนสร้างเครื่องล้างหัวฆ่า (บาท) / ค่าใช้จ่ายรวมในการใช้งานเครื่อง 1 วัน (บาท)

ดังนั้น

ระยะเวลาคืนทุน = ราคาในการลงทุนสร้างเครื่องล้างหัวฆ่า (บาท) / (ส่วนต่างค่าน้ำประปาที่ใช้ + ส่วนต่างค่าไฟฟ้าที่ใช้ + ส่วนต่างค่าแรงงาน) (1)

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

เครื่องล้างทำความสะอาดหัวฆ่าที่ใช้ในการทดสอบในครั้งนี้ ใช้มอเตอร์ขนาด 1/4 แรงม้า รอบการหมุน 1450 รอบต่อนาที โดยใช้ปั๊มน้ำขนาด 0.5 แรงม้า เพื่อใช้ในการหมุนเวียนน้ำในการล้างทำความสะอาด และการล้างทำความสะอาดจะใช้ Flat Fan Spray Nozzle ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 เครื่องล้างทำความสะอาดหัวฆ่าที่ใช้ในการทดสอบ

หัวข่าที่ผ่านการล้างทำความสะอาดด้วยวิธีการล้างแบบใหม่นี้ (เป็นการล้างหัวข่าด้วยเครื่องล้างหัวข่าแบบกึ่งอัตโนมัติ โดยใช้คนเฉพาะเวลาป้อนหัวข่าเข้าและนำหัวข่าออกที่ตะแกรง จากนั้นเครื่องจะทำงานเองทั้งหมดจนเสร็จสิ้นกระบวนการ) หัวข่าที่ผ่านการล้างด้วยเครื่องจะมีความสวยงาม และหัวข่าไม่ขี้มาก (รูปที่ 9) จะสังเกตได้โดยหัวข่านั้นจะไม่มีดินหรือสิ่งสกปรกติดบริเวณหัวข่า เป็นหัวข่าที่พร้อมจะส่งขายได้



รูปที่ 9 หัวข่าหลังล้างทำความสะอาด

1. ผลการทดสอบน้ำหนักหัวข่าก่อนและหลังล้าง

การล้างหัวข่าที่ดีต้องล้างจนไม่มีดินติดที่บริเวณหัวข่าหรือล้างจนน้ำหนักของหัวข่าคงที่ นั่นจึงแสดงว่าหัวข่าที่ล้างมีความเป็นไปได้ที่จะสะอาดแล้ว

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบล้างหัวข่าด้วยการชั่งน้ำหนักก่อนล้างและหลังล้าง

ก่อนล้าง	หลังล้าง					ผลต่าง
วินาทีที่ 0 (กิโลกรัม)	วินาทีที่ 30 (กิโลกรัม)	วินาทีที่ 60 (กิโลกรัม)	วินาทีที่ 90 (กิโลกรัม)	วินาทีที่ 120 (กิโลกรัม)	วินาทีที่ 150 (กิโลกรัม)	เมื่อน้ำหนัก คงที่ (%)
1	0.9	0.9	0.9	0.85	0.85	15.0
3	2.8	2.8	2.7	2.6	2.6	13.0
5	4.4	4.4	4.3	4.1	4.1	18.0
7	6.8	6.7	6.6	6.5	6.5	7.14
10	9.6	9.5	9.5	9.4	9.4	6.0

การทดสอบล้างหัวข่า จากตารางที่ 2 ทั้ง 5 กรณี คือ 1, 3, 5, 7 และ 10 กิโลกรัม พบว่าเครื่องล้างหัวข่ามีประสิทธิภาพการทำงานสูงสุดในทุกกรณีอยู่ที่ 120 วินาที เนื่องจากในวินาทีที่ 150 น้ำหนักมีค่าคงที่ แต่ในกรณีที่บรรจุหัวข่า 5 กิโลกรัม มีเปอร์เซ็นต์ผลต่างของน้ำหนักก่อนล้างด้วยน้ำหนักหลังล้างมากที่สุด เท่ากับ 0.9 กิโลกรัม หรือ 18% ดังนั้นการทดสอบในหัวข้อต่อไปที่จะทำการศึกษา เช่น ทดสอบเวลาที่ใช้ในการล้างหัวข่าระหว่างใช้เครื่องและใช้คน ทดสอบปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างหัวข่าของการใช้เครื่องและการใช้คน ทดสอบจำนวนแรงงานในการล้างหัวข่าของการใช้เครื่องและการใช้คน จึงเลือกกรณีที่เครื่องสามารถทำงานได้ประสิทธิภาพสูงสุด คือ การบรรจุหัวข่าที่ละ 5 กิโลกรัมเป็นกรณีศึกษาต่อไป

2. ผลการทดสอบเวลาในการล้างหัวข่า

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบเวลาในการล้างทำความสะอาดหัวข่าระหว่างการใช้เครื่องกับใช้คน

น้ำหนักหัวข่า (กิโลกรัม)	ใช้เครื่องล้าง (นาท)	ใช้คนล้าง (นาท)	ผลต่าง (นาท)
25	53.7	63.6	9.9
50	88.3	111.1	22.8
75	122.2	159.9	37.7
100	161.9	204.5	42.6
200	327.3	394.1	66.8
300	498.7	589.5	90.8

เวลาในการล้างหัวข่าเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญในเชิงพาณิชย์ เนื่องจากหากใช้เวลาในการล้างนานก็จะส่งผลให้ได้หัวข่าที่สะอาดที่พร้อมจะส่งขายหรือส่งโรงงานน้อยลงในวันนั้น ๆ จากตารางที่ 3 การเปรียบเทียบเวลาในการล้างหัวข่าระหว่างใช้เครื่องและใช้คน พบว่าที่ 300 กิโลกรัมเครื่องล้างหัวข่าใช้เวลาน้อยกว่าใช้คนล้าง มีผลต่างของเวลาเท่ากับ 90.8 นาที ซึ่งจากน้ำหนักหัวข่า 25 กิโลกรัมถึงน้ำหนักหัวข่า 300 กิโลกรัม เวลาที่เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามจำนวนน้ำหนักของหัวข่าที่ล้าง ดังนั้นยิ่งล้างในจำนวนที่มากขึ้นผลต่างของเวลา ยิ่งเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

3. ผลการทดสอบปริมาณน้ำในการล้างหัวข่า

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบปริมาณน้ำในการล้างทำความสะอาดหัวชำระระหว่างการใช้เครื่องกับใช้คน

น้ำหนักหัวชำระ (กิโลกรัม)	ใช้เครื่องล้าง (ลิตร)	ใช้คนล้าง (ลิตร)	ผลต่าง (ลิตร)	ผลต่างค่าใช้จ่าย (บาท)
25	43.7	67.6	23.9	0.24
50	78.3	139.8	61.5	0.63
75	112.2	199.1	86.9	0.89
100	151.9	258.4	106.5	1.09
200	309.1	502.3	193.2	1.97
300	447.3	743.1	295.8	3.02

หมายเหตุ: อัตราค่าน้ำประปาขั้นต่ำของที่อยู่อาศัย หน่วยละ 10.20 บาท (ลบ.ม./1หน่วย)

การล้างทำความสะอาดหัวชำระต้องใช้น้ำเป็นสิ่งชะล้างดินที่ติดมากับหัวชำระด้วยหัวฉีดแรงดันสูง ในการล้างทั้งแบบใช้เครื่องล้างและแบบใช้คนล้าง ในตารางที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างซึ่งใช้เครื่องและใช้คน พบว่าการทดสอบล้างหัวชำระที่ 300 กิโลกรัม การใช้เครื่องล้างมีปริมาณการใช้น้ำต่ำกว่าการใช้คนล้าง ผลต่างเท่ากับ 295.8 ลิตร หรือ 3.02 บาทต่อหัวชำระ 300 กิโลกรัม เนื่องจากในการล้างแบบใช้คนนั้นผู้ล้างจะฉีดน้ำแล้วปล่อยน้ำทิ้งไป แต่หากใช้เครื่องล้างจะมีการวนน้ำกลับมาใช้ใหม่ได้อีกหลายรอบ

4. ผลการทดสอบปริมาณการใช้ไฟฟ้าในการล้างหัวชำระ

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบปริมาณไฟฟ้าในการล้างทำความสะอาดหัวชำระระหว่างการใช้เครื่องกับใช้คน

น้ำหนักหัวชำระ (กิโลกรัม)	ใช้เครื่องล้าง (บาท)	ใช้คนล้าง (บาท)	ผลต่าง (บาท)
25	2.33	1.38	0.95
50	3.82	2.41	1.42
75	5.29	3.46	1.83
100	7.01	4.43	2.58
200	14.18	8.53	5.64
300	21.60	12.77	8.83

หมายเหตุ: อัตราค่าไฟฟ้าขั้นต่ำของที่อยู่อาศัย 3.2484 บาท (กิโลวัตต์ชั่วโมง/1หน่วย)

การล้างหัวข่าในการทดสอบทั้งสองแบบจำเป็นต้องใช้ไฟฟ้าในการให้พลังงานแก่ปั๊มและมอเตอร์ไฟฟ้า เพื่อให้สามารถทำงานได้ จากตารางที่ 5 การเปรียบเทียบปริมาณการใช้ไฟฟ้าในการล้างหัวข่าระหว่างการใช้เครื่องกับการใช้คน พบว่าการล้างหัวข่าที่ 300 กิโลกรัม การล้างด้วยเครื่องมีการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงกว่าการล้างหัวข่าด้วยคน ผลต่างของพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 8.83 บาทต่อหัวข่า 300 กิโลกรัม จากผลการทดสอบเครื่องล้างหัวข่ามีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงกว่าเนื่องจากมีเครื่องใช้ไฟฟ้าที่รวมกำลังวัตต์แล้วสูงกว่าการใช้คนล้าง

5. ผลการทดสอบจำนวนแรงงานในการล้างหัวข่า

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบจำนวนแรงงานในการล้างทำความสะอาดหัวข่าระหว่างการใช้เครื่องกับใช้คน

หัวข่า (กิโลกรัม)	ใช้เครื่อง (คน)	ใช้คน (คน)	ผลต่าง (คน)	ผลต่างค่าใช้จ่าย (บาท)
100	1	1	0	0
200	1	2	1	313
300	1	2	1	313

หมายเหตุ: แรงงาน 1 คน ทำงาน 8 ชั่วโมง, ค่าแรงขั้นต่ำ ระดับที่ 10: 313 บาทต่อวัน

การล้างหัวข่าแบบดั้งเดิมคือการให้แรงงานฉีดน้ำใส่หัวข่าจนสะอาดแล้วก็เปลี่ยนหัวข่าไปเรื่อย ๆ ซึ่งมีการสิ้นเปลืองน้ำ เวลา และแรงงานคน จากตารางที่ 6 เปรียบเทียบจำนวนแรงงานในการล้างหัวข่าระหว่างการใช้เครื่องกับการใช้คน พบว่าที่การล้างหัวข่า 300 กิโลกรัม การใช้เครื่องล้างหัวข่านั้นมีการใช้แรงงานน้อยกว่าการใช้แรงงานคนล้างเท่ากับ 1 คน หรือคิดเป็นค่าแรงขั้นต่ำเท่ากับ 313 ต่อวัน

6. ระยะเวลาคืนทุน

เครื่องล้างหัวข่า ใน 1 วันสามารถล้างหัวข่าได้ประมาณ 300 กิโลกรัม (เวลามาตรฐานการทำงาน 8 ชั่วโมงต่อวัน) จากการคำนวณการใช้งานเครื่องล้างหัวข่าพบว่าในส่วนของค่าใช้จ่ายน้ำประปา ค่าไฟฟ้า ค่าแรงงานคน และราคาในการลงทุนสร้างเครื่องล้างหัวข่า (53,000) บาท สามารถคำนวณและวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนจากสมการที่ (1) ได้ดังนี้

$$\begin{aligned}\text{ค่าใช้จ่ายรวมในการใช้งานเครื่อง 1 วัน} &= (\text{ผลต่างค่าน้ำประปา 3.02 บาทต่อวัน}) \\ &+ (\text{ค่าไฟฟ้า (-8.83) บาทต่อวัน}) \\ &+ (\text{ค่าแรงคนงาน 313 บาทต่อวัน})\end{aligned}$$

$$\text{ค่าใช้จ่ายรวมในการใช้งานเครื่อง 1 วัน} = 307.19 \text{ บาทต่อวัน}$$

$$\begin{aligned}\text{ระยะเวลาคืนทุน} &= \text{ราคาในการลงทุนสร้างเครื่องล้างหัวข่า (บาท)} / \text{ค่าใช้จ่ายรวมใน} \\ &\text{การใช้งานเครื่อง 1 วัน (โดยผลจากการคำนวณระยะเวลาคืนทุน} \\ &\text{แสดงดังตารางที่ 7)}\end{aligned}$$

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน

ระยะเวลา (เดือน)						
0	1	2	3	4	5	6
307.19	9,215.70	18,431.40	27,647.10	36,862.80	46,078.50	55,294.20

การทดสอบเครื่องล้างหัวข่าในขั้นตอนสุดท้ายเมื่อได้ผลและข้อมูลจากการทดสอบได้นำมาวิเคราะห์เพื่อคำนวณหาระยะเวลาคืนทุน โดยในการคำนวณได้ใช้สมการที่ (1) ข้อมูลค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานเครื่องล้างหัวข่าทั้งหมด ดังแสดงในตารางที่ 7 แสดงข้อมูลผลการวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน โดยใช้ข้อมูลจากผลต่างค่าใช้จ่ายรายวันมาใช้เป็นปัจจัยในการวิเคราะห์ ซึ่งใช้ระยะเวลาในการคืนทุนเท่ากับ 6 เดือน

สรุปและอภิปรายผล

การทดสอบเครื่องล้างทำความสะอาดหัวข่า เพื่อเป็นทางเลือกของเกษตรกรในการลดระยะเวลา และประหยัดน้ำที่ใช้ในการล้างทำความสะอาดหัวข่า พบว่าเครื่องล้างทำความสะอาดหัวข่ามีประสิทธิภาพสูงสุดของการป้อนหัวข่าที่น้ำหนัก 5 กิโลกรัม ใช้เวลาในการล้าง 120 วินาที ผลต่างก่อนล้างและหลังล้างเท่ากับ 0.9 กิโลกรัม หรือ 18% และประสิทธิภาพต่ำสุดที่น้ำหนัก 10 กิโลกรัม ใช้เวลาในการล้าง 120 วินาที จากนั้นนำไปทดสอบเพื่อเปรียบเทียบกับกรล้างด้วยคน พบว่าการล้างหัวข่าที่น้ำหนัก 300 กิโลกรัม เครื่องล้างหัวข่าใช้เวลาน้อยกว่าการใช้คน เท่ากับ 90.8 นาที เครื่องล้างหัวข่ามีปริมาณน้ำที่ใช้ต่ำกว่าใช้คนล้าง เท่ากับ 3.02 บาท จำนวนแรงงานในการล้างหัวข่าด้วยเครื่องต่ำกว่าใช้คนล้าง เท่ากับ 1 คน

แต่เครื่องล้างหัวขามีการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงกว่าใช้คนล้าง เท่ากับ 8.83 บาท จากผลการทดสอบต้องใช้ระยะเวลาคื่นทุน 6 เดือน ดังนั้นเครื่องล้างทำความสะอาดหัวข่าที่มีประสิทธิภาพขนาดนี้ สามารถใช้แทนการล้างในปัจจุบันที่ยังใช้แรงงานคนในการล้าง รวมไปถึงช่วยลดระยะเวลาในการล้างลง และยังช่วยในการประหยัดน้ำอีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะจารย์และบุคลากร สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล จังหวัดนครราชสีมา ขอขอบคุณ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์

เอกสารอ้างอิง

- บงกช นพพล. (2545). การใช้สมุนไพรในการผลิตสัตว์: ข่า. *วารสารสัตวแพทยศาสตร์ มช.*, 12(2), 28 – 34.
- ไกรเลิศ ทวีกุล และวีระ ภาควิทย. (2561). องค์ความรู้ บทเรียน และประสบการณ์ ชุดที่ 4 *พืชเศรษฐกิจในครัวเรือน*. สืบค้นเมื่อวันที่ 14 ธันวาคม 2564. จาก <https://risned.kku.ac.th/>
- Oonmetta-areea, J., Tomoko, S., Piyawan, G., Griangsak, E. (2006), Antimicrobial properties and action of galangal (*Alpinia galanga* Linn.) on *Staphylococcus aureus*, *Food Science and Technology*, 39, 1214-1220.
- Sriporn, W., & Nakanyapatthara, J. (2014). *Effect of Alpinia galangal essential oil on bacteria spoilage*. In: Proceedings of The 26th Annual Meeting of the Thai society for biotechnology and international conference. 382-287.
- Yang, X., & Eilerman, R. G. (1999). Pungent principle of *Alpinia galanga* (L.) Swartz and its applications. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47, 1657-1662.

เครื่องตรวจจับสัญญาณภาพและเสียงโทรทัศน์ที่ผิดปกติ
ผ่านระบบแจ้งเตือนบนแอปพลิเคชันไลน์
DETECTOR FOR SENSING FAULTY TV VIDEO AND AUDIO SIGNAL VIA
NOTIFICATION SYSTEM ON LINE APPLICATION

นิติคม อริยพิมพ์*

Nitikom Ariyapim

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Northeastern University

Received: 28 March 2021

Accepted: 28 November 2021

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอเครื่องตรวจจับสัญญาณภาพและเสียงโทรทัศน์ที่ผิดปกติผ่านระบบแจ้งเตือนบนแอปพลิเคชันไลน์ที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยอาศัยหลักการตรวจเช็คสัญญาณเชิงทิศทางแนวดิ่งซึ่งถูกส่งมาพร้อมกับสัญญาณภาพ ถ้าหากสัญญาณภาพขาดหาย เครื่องตรวจจับก็จะไม่สามารถตรวจพบสัญญาณเชิงทิศทางแนวดิ่งได้ และในทำนองเดียวกัน หากไม่มีสัญญาณเสียงส่งมา เสียงจะเงียบและระดับสัญญาณจะอยู่ที่ศูนย์โวลต์ ในทั้งสองกรณี ไม่ว่าจะเป็นการขาดหายของสัญญาณภาพหรือสัญญาณเสียง รวมทั้งขณะที่เครื่องส่งโทรทัศน์ขัดข้องไม่สามารถออกอากาศได้ ลำโพงบัสเซอร์ที่มีวงจรกำเนิดความถี่อยู่ภายในตัวจะสามารถสร้างเสียงเตือนได้ทันที นอกจากนี้เมื่อมีการขาดหายของสัญญาณภาพหรือสัญญาณเสียง ไฟแจ้งเตือนแสดงสถานะการทำงานของเครื่องตรวจจับจะสว่างขึ้น เวลาหนึ่งของลำโพงบัสเซอร์และหลอดไฟแสดงสถานะการทำงานจะสามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยการปรับโวลุ่ม VR1 หรือ VR2 ตามลำดับ เมื่อเครื่องตรวจจับสัญญาณภาพและเสียงโทรทัศน์ที่ผิดปกติผ่านระบบแจ้งเตือนบนแอปพลิเคชันไลน์ มีการเชื่อมต่อกับสัญญาณอินเทอร์เน็ตแบบไร้สายและบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ NodeMCU ESP8266 ได้รับการ

* ผู้ประสานงาน: นิติคม อริยพิมพ์

อีเมล: nitikom.ari@neu.ac.th

เชื่อมต่อสำเร็จ ไฟแสดงสถานะจะสว่างขึ้น จากการทดสอบการทำงานพบว่า เครื่องตรวจจับสัญญาณภาพและเสียงโทรทัศน์ที่ผิดปกติผ่านระบบแจ้งเตือนบนแอปพลิเคชันไลน์ สามารถทำงานได้เป็นอย่างดีตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้

คำสำคัญ: สัญญาณภาพโทรทัศน์ที่ผิดปกติ, สัญญาณเสียงโทรทัศน์ที่ผิดปกติ, แอปพลิเคชันไลน์, ไมโครคอนโทรลเลอร์

Abstract

This paper presents the detector for sensing faulty TV video and audio signals via notification system of Line application based on the microcontroller. The principle of this detector was to detect the vertical sync signal which was sent along with the video signal. If the video signal was lost, the detector would not be able to detect a vertical sync signal. Likewise, if there was no audio signal, the sound would be silent and the signal level would be at zero volts. In either case, whether it was the loss of video or audio signal, as well as when the TV transmitter failed to broadcast, the buzzer with built-in frequency generator would generate an alarm immediately. In addition, when there was a loss of video or audio signal, the indicator lamp of the detector would light up. The delay time of buzzers and indicator lamps could be changed by adjusting the VR1 or VR2 respectively. When the detector for sensing faulty TV video signal and audio signal via notification system of Line application was connected to the wireless internet signal and the NodeMCU ESP8266 microcontroller board was connected successfully, the indicator lamp would light up. From the experiment, it was found that the detector for sensing faulty TV video signal and audio signal via notification system of Line application could work very well according to the objective of this research.

Keywords: Faulty TV Video signal, Faulty TV audio signal, LINE application, Microcontroller

บทนำ

การถ่ายทอดเสียงและภาพพร้อมกันจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง โดยเครื่องที่เปลี่ยนสัญญาณภาพและเสียงเป็นคลื่นโทรทัศน์ เรียกว่า เครื่องส่งโทรทัศน์ (TV Transmission) และเครื่องที่เปลี่ยนคลื่นโทรทัศน์เป็นสัญญาณภาพและเสียง เรียกว่าเครื่องรับโทรทัศน์ (TV Receiver) การแพร่ภาพ (Television Broadcasting) เป็นการส่งกระจายภาพและเสียงออกไปในรูปสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อให้เครื่องรับสามารถรับภาพและเสียงได้อย่างต่อเนื่อง เช่น การแพร่ภาพโทรทัศน์ ซึ่งจากเดิมที่เป็นการแพร่ภาพแบบไม่จำกัดผู้รับ และก็ได้พัฒนาเป็นแบบแพร่ภาพเฉพาะทาง เช่น การแพร่ภาพโทรทัศน์ผ่านดาวเทียม (Satellite), การแพร่ภาพโทรทัศน์ผ่านสายสัญญาณ อาจรวมถึงการแพร่ภาพไปเฉพาะผู้รับที่เป็นสมาชิกหรือเคเบิลทีวี (Cable TV) การที่จะรับและส่งข้อมูลข่าวสารนี้ได้หลายวิธี แต่การที่จะรับและส่งข้อมูลได้ดีคือการที่ผู้รับสามารถรับข้อมูลได้ทั้งภาพและเสียง การแพร่ภาพโทรทัศน์เป็นการส่งข้อมูลอีกวิธีหนึ่งที่สามารถให้ผู้รับได้ทั้งข้อมูลทางภาพและทางเสียงเหมือนกับแหล่งที่มา ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ การแพร่ภาพโทรทัศน์แบบอนาล็อก และการแพร่ภาพโทรทัศน์แบบดิจิทัล ซึ่งการแพร่ภาพในแต่ละประเภทสามารถรับและส่งข้อมูลได้หลายแบบ เช่น การส่งสัญญาณผ่านสายเคเบิล การส่งสัญญาณผ่านดาวเทียม และการส่งสัญญาณภาคพื้นดิน ซึ่งอาจจะมาจากการถ่ายทอดสดหรือจากการบันทึกเทปไว้ (บุญชาติ เนติศักดิ์, 2556)

ปกติในการปฏิบัติหน้าที่ของพนักงานควบคุมสัญญาณภาพและเสียงตามสถานีเครือข่ายโทรทัศน์นั้น พนักงานประจำห้องควบคุมสัญญาณภาพและเสียงจะต้องอยู่ประจำห้องตลอดเวลา และใช้ชั่วโมงที่ยาวนานในการเฝ้าดูหน้าจอโทรทัศน์ เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการปฏิบัติหน้าที่ของพนักงานควบคุมสัญญาณภาพและเสียงโทรทัศน์ในระหว่างออกอากาศ เครื่องตรวจจับสัญญาณภาพและเสียงโทรทัศน์ที่ผิดปกติผ่านระบบแจ้งเตือนบนแอปพลิเคชันไลน์ จะทำหน้าที่แจ้งเตือนข้อความฉุกเฉินมายังไลน์ของผู้สังเกตการณ์เมื่อมีการขาดหายของสัญญาณภาพหรือสัญญาณเสียง รวมทั้งขณะที่เครื่องส่งโทรทัศน์ขัดข้องไม่สามารถออกอากาศได้ สำหรับหลักการของเครื่องในการตรวจจับสัญญาณภาพ คือ อาศัยหลักการตรวจเช็คของสัญญาณซิงค์ทางแนวตั้ง (Vertical Sync Signal) ซึ่งสัญญาณนี้จะส่งมาพร้อมกับสัญญาณภาพ (Gangadharappa et al., 2012) ถ้าหากสัญญาณภาพหายก็ไม่สามารถซิงค์ทางแนวตั้งได้ ส่วนการตรวจสอบสัญญาณเสียง (Kawaguchi & Takashi, 2017) จะใช้วิธีการตรวจสอบสัญญาณเสียง (Audio Signal) ถ้าหากไม่มีสัญญาณเสียงส่งมา

เสียงจะเจียบระดับสัญญาณจะอยู่ที่ศูนย์โวลต์ (Cheung & Eric, 2010) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องตรวจจับสัญญาณภาพและเสียงโทรศัพท์ที่ผิดปกติผ่านระบบแจ้งเตือนบนแอปพลิเคชันไลน์ ซึ่งเครื่องที่สร้างขึ้นนี้ จะสามารถแจ้งเตือนข้อความมายังเจ้าหน้าที่ทางแอปพลิเคชันไลน์ เมื่อมีการขาดหายของสัญญาณภาพหรือสัญญาณเสียง รวมทั้งขณะที่เครื่องส่งโทรศัพท์ชนขัดข้องไม่สามารถออกอากาศได้ ทำให้เจ้าหน้าที่สามารถแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ที่กล่าวมาด้วยความรวดเร็ว ทำให้การออกอากาศเป็นไปด้วยความเรียบร้อย และประชาชนสามารถรับชมโทรศัพท์สนทนาการต่างๆ ได้อย่างต่อเนื่องอีกด้วย

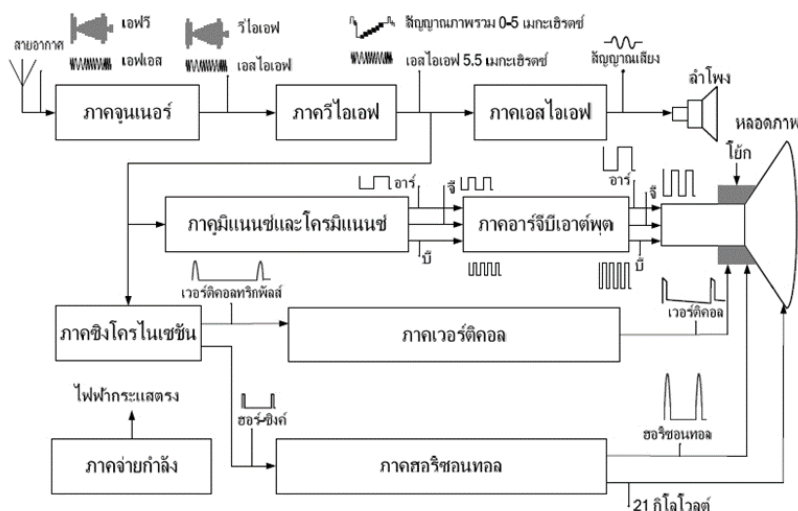
วิธีดำเนินการวิจัย

ในการดำเนินการการวิจัยนั้น ผู้วิจัยจะทำการศึกษาทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องในการรับสัญญาณโทรศัพท์ ออกแบบและสร้างวงจรตรวจจับสัญญาณภาพและเสียงโทรศัพท์ที่ผิดปกติโดยสามารถแจ้งเตือนการทำงานที่ผิดปกติบนแอปพลิเคชันไลน์ได้ ทำการทดสอบเครื่องตรวจจับสัญญาณภาพและเสียงโทรศัพท์ วิเคราะห์ผลการทดสอบและอภิปรายผลนำไปสรุปผลการวิจัย โดยวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ เพื่อให้สามารถนำเครื่องตรวจจับสัญญาณภาพและเสียงโทรศัพท์ที่ผิดปกติผ่านระบบแจ้งเตือนบนแอปพลิเคชันไลน์ไปใช้งานได้จริงที่สถานีโทรศัพท์ไทยทีวีสีช่อง 3 ขอนแก่น

บล็อกไดอะแกรมในการรับสัญญาณโทรศัพท์สี่ แสดงในรูปที่ 1 มีส่วนประกอบดังนี้

1. สายอากาศ (Antenna) ทำหน้าที่รับพลังงานสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของสัญญาณโทรศัพท์ที่แพร่กระจายจากสายอากาศของเครื่องส่งเปลี่ยนเป็นสัญญาณโทรศัพท์ทางไฟฟ้าป้อนให้แก่จูนเนอร์
2. ภาคจูนเนอร์ (Tuner Section) ทำหน้าที่คัดเลือกสัญญาณโทรศัพท์เพียงช่องเดียวที่ต้องการและเปลี่ยนความถี่ของสัญญาณที่รับเข้ามาและป้อนให้แก่ภาควีไอเอฟต่อไป
3. ภาควีไอเอฟ (VIF Section) หรือภาควีทีไอไอเอฟ ทำหน้าที่กรองสัญญาณผ่านได้เฉพาะสัญญาณวีไอเอฟ 38.9 เมกะเฮิร์ตซ์ และเอสไอเอฟ 33.4 เมกะเฮิร์ตซ์
4. ภาคซาวด์ไอเอฟหรือภาคเอสไอเอฟ(SIF Section) ทำหน้าที่กรองสัญญาณเอสไอเอฟ และทำการตีמודูเลตแบบเอฟเอ็มได้สัญญาณเสียงและขยายกำลังเพิ่มขึ้น ป้อนให้ลำโพงออกเป็นเสียง

8. ภาคจ่ายกำลัง (Power Supply Section) ทำหน้าที่ผลิตไฟฟ้ากระแสเลี้ยงวงจร โดยมีแรงดันคงที่และกระแสไฟฟ้าเรียบ

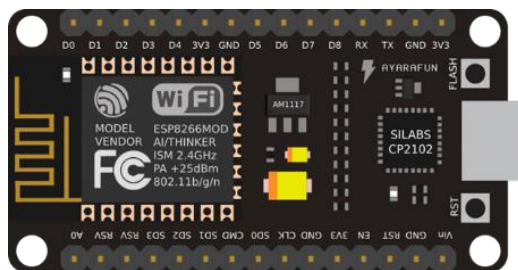


รูปที่ 1 บล็อกไดอะแกรมของโทรทัศน์สี (บุญชัด เนติศักดิ์, 2556)

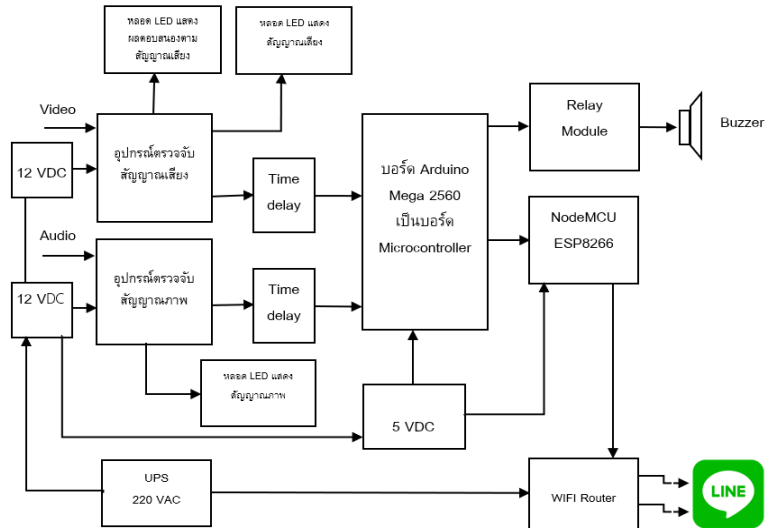
ปีที่ 9 ฉบับที่ 3 (2564) ISSN 2287-0083 | Vol.9 Issue.3 (2021) ISSN 2287-0083

[illegible]

ในปัจจุบันบอร์ด NodeMCU/ESP8266 ดังรูปที่ 3 ได้รับความนิยมอย่างมาก เพราะเป็น Open source ใช้งานง่าย อีกทั้งยังสามารถเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตแบบไร้สายผ่าน โมดูล WiFi เหมาะเป็นอย่างยิ่งที่จะนำมาใช้ Internet of Thing (IoT) โดยจะเชื่อมต่อบอร์ด NodeMCU/ESP8266 กับหน้าเว็บ HTML ผ่าน NETPIE ซึ่งเป็น IoT Cloud Platform (นิติคม อริยพิมพ์ และคณะ, 2562)

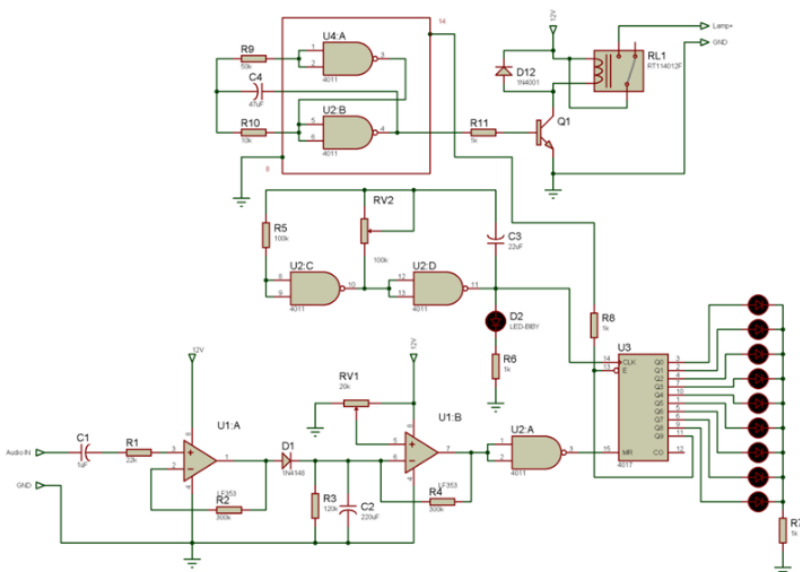


ปีที่ 9 ฉบับที่ 3 (2564) ISSN 2287-0083 | Vol.9 Issue.3 (2021) ISSN 2287-0083



รูปที่ 4 แผนภาพการทำงานของเครื่องตรวจจับสัญญาณภาพและเสียงโทรทัศน์

1. การออกแบบระบบตรวจจับสัญญาณเสียงโทรทัศน์

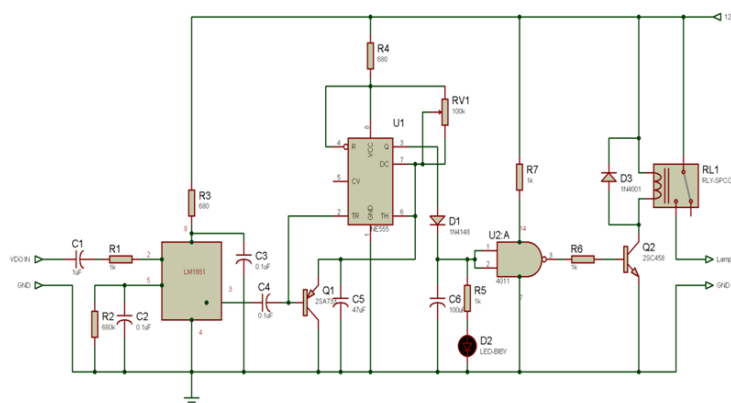


รูปที่ 5 วงจรตรวจจับสัญญาณเสียงโทรทัศน์

ในรูปที่ 5 จะแสดงการออกแบบวงจรตรวจจับสัญญาณเสียงโทรศัพท์ เมื่อสัญญาณเสียงจะถูกขยายโดย Audio Amp เอาต์พุตจะถูก Detect โดย D1 ได้เป็นแรงดันช่วงบวก หลังจากนั้นจะถูกส่งเข้าวงจรเปรียบเทียบแรงดันเพื่อส่งสัญญาณลอจิก 0 หรือ 1 ไปที่ขา รีเซตนับ วงจรนับจะเริ่มนับเมื่อสัญญาณเสียงอยู่ที่ระดับ 0 โวลต์ (เสียงเงียบ) ความเร็วของสัญญาณนาฬิกาที่ป้อนเข้าวงจรนับจาก 0-10 จะส่งสัญญาณไปที่ชุด Alarm

ขณะไม่มีสัญญาณเสียงไม่มีสัญญาณออกที่ IC1 ทำให้แรงดันที่ขา 6 IC1 ต่ำกว่าที่ขา 5 ทำให้แรงดันออกเป็นลอจิก 0 และถูกกลับออกให้เป็นลอจิก 1 ส่งไปที่ขา RST ของ IC3 จะเริ่มนับความเร็วของการนับจะอยู่ที่ความถี่ของสัญญาณนาฬิกา ที่ขา 14 ของ IC3 การนับจะสิ้นสุดลงเมื่อนับถึง 10 แรงดันที่ Q10 หรือขา 11 จะส่งผล R8 เป็นแรงดัน VDD และ IC4 จะเริ่มทำงานเป็นวงจร Astable สัญญาณออกจาก IC4 จะมาควบคุม TR1 ซึ่งจะ On-Off เป็นช่วง ๆ ดังนั้นจะมีกระแสไหลผ่านรีเลย์ RL1 เป็นสวิตช์ต่อให้หลอดไฟและส่งไปที่ Mega 2560, Relay module, Buzzer และ NodeMCU ESP8266 แจ้งเตือนบนแอปพลิเคชันไลน์ทำงานด้วย

2. การออกแบบระบบตรวจจับสัญญาณภาพโทรทัศน์

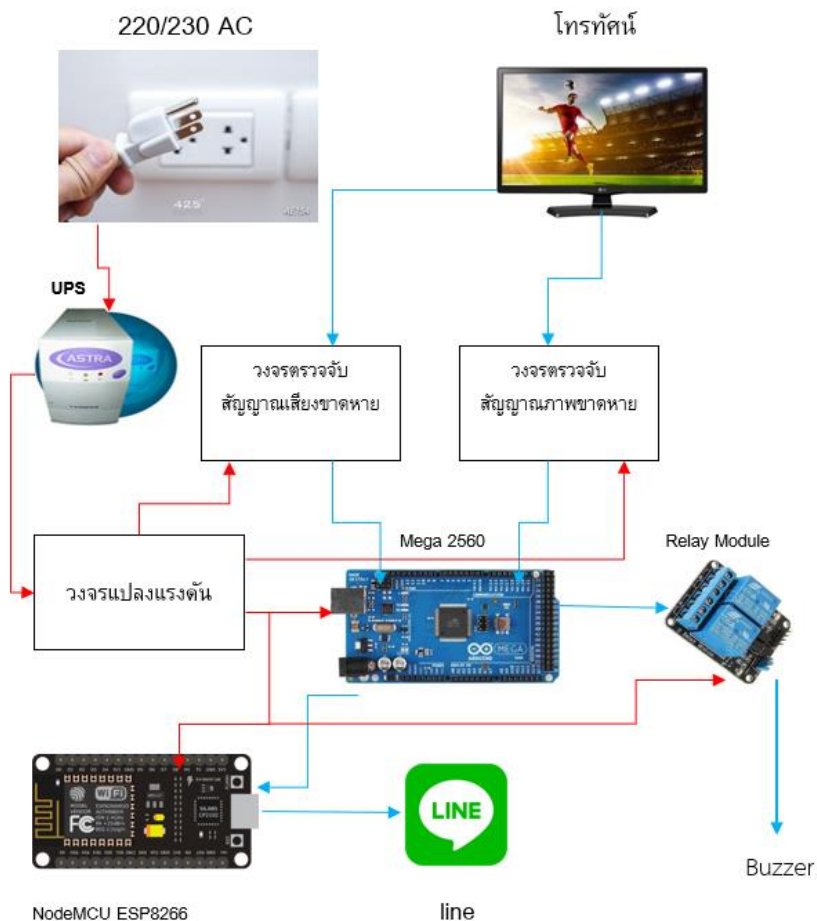


รูปที่ 6 วงจรตรวจจับสัญญาณภาพโทรทัศน์

หลักการทำงานของวงจรตรวจจับสัญญาณภาพโพทรีทัศน์ ในรูปที่ 6 เมื่อสัญญาณภาพถูกส่งมาที่วงจรแยกซิงค์ สัญญาณที่ได้มีความถี่ 50 Hz จะถูกตรวจสอบสัญญาณพัลส์ว่าขณะนี้ยังมีสัญญาณพัลส์หรือไม่ ถ้ามีการขาดหายของสัญญาณพัลส์ความถี่ 50 Hz ก็ที่จะส่งสัญญาณไป Output

ขณะที่ไม่มีสัญญาณภาพที่ Input IC1 จะไม่มีสัญญาณภาพ Output ที่ขา 3 ก็จะไม่ให้พัลส์ 50 Hz ออกมา วงจรเช็คสัญญาณพัลส์จะเริ่มทำงาน ทำให้ไม่มี Output ออกมาจากขา 3 ของ IC2 ฉะนั้น Output ที่ขา 3 ของ IC3 จะเป็น 0 โวลต์ ทราานซิสเตอร์ Q2 จะเริ่มทำงานมีกระแสไหลผ่านขดลวดรีเลย์ RL1 ทำให้คอนแทกรีเลย์ทำงานต่อวงจรมีกระแสไหลผ่านทำให้สัญญาณส่งไปที่ Mega 2560 ,Relay module, Buzzer และNodeMCU ESP8266 แจ้งเตือนบนแอปพลิเคชันไลน์ทำงานด้วย

3. รูปแบบการทำงานของเครื่องตรวจจับสัญญาณภาพและเสียงโทรทัศน์ที่ผิดปกติผ่านระบบแจ้งเตือนบนแอปพลิเคชันไลน์ ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 รูปแบบการทำงานของเครื่องตรวจจับสัญญาณภาพและเสียงโทรทัศน์ที่ผิดปกติผ่านระบบแจ้งเตือนบนแอปพลิเคชันไลน์

4. โครงสร้างของเครื่องตรวจจับสัญญาณภาพและเสียงโทรทัศน์ จะแสดงในรูปแบบที่ 8 ซึ่งมีส่วนประกอบต่าง ๆ และหน้าที่การทำงาน ดังต่อไปนี้

หมายเลข 1 buzzer การทำงานจะมีเสียงดังขึ้นเมื่อไม่มีสัญญาณภาพหรือสัญญาณเสียงโทรทัศน์ตามการปรับปุ่มการหน่วงเวลาที่กำหนด

หมายเลข 2 lamp สัญญาณภาพ เป็นหลอดไฟแสดงสถานะการทำงานของสัญญาณภาพ เมื่อมีการขาดหายของสัญญาณภาพ หลอดไฟจะสว่างขึ้น

หมายเลข 3 lamp สัญญาณเสียง เป็นหลอดไฟแสดงสถานะการทำงานของสัญญาณเสียง เมื่อมีการขาดหายของสัญญาณเสียง หลอดไฟจะสว่างขึ้น

หมายเลข 4 Time delay สัญญาณเสียง เป็นปุ่มปรับการหน่วงเวลาของสัญญาณเสียง ให้ buzzer และ lamp ทำงานแจ้งเตือนได้เร็วหรือช้าตามความเหมาะสม เช่นในบางช่วงของละครรายการโทรทัศน์ อาจไม่มีคนเสียงพูดชั่วขณะ สามารถปรับการหน่วงเวลาให้แจ้งเตือนตามความเหมาะสมได้

หมายเลข 5 Time delay สัญญาณภาพ เป็นปุ่มปรับการหน่วงเวลาของสัญญาณภาพ ให้ buzzer และ lamp ทำงานแจ้งเตือนได้เร็วหรือช้าตามความเหมาะสม เช่นในบางช่วงของการเปลี่ยนรายการโทรทัศน์ อาจไม่มีภาพชั่วขณะ สามารถปรับการหน่วงเวลาให้แจ้งเตือนตามความเหมาะสมได้

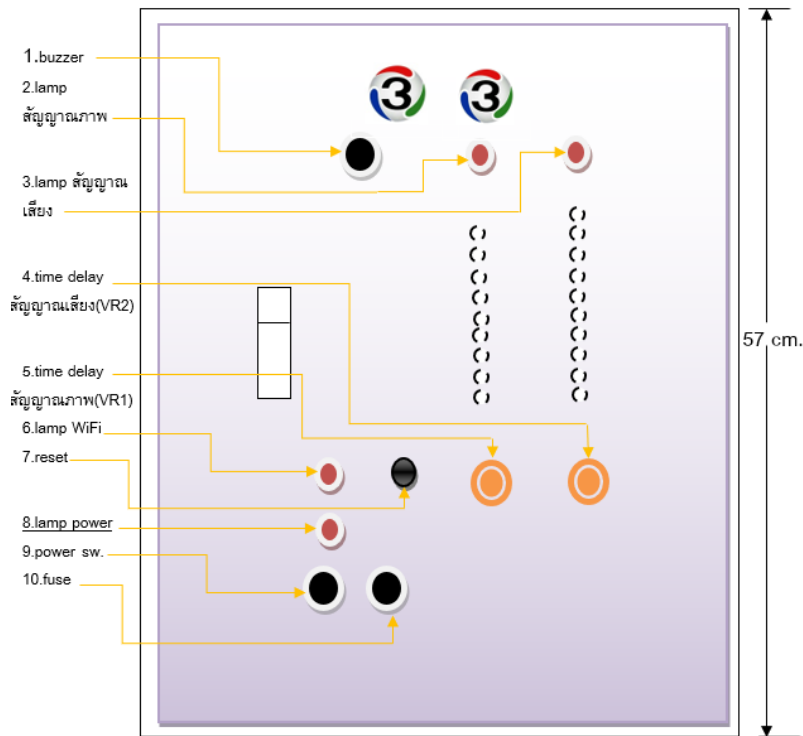
หมายเลข 6 lamp WiFi เป็นหลอดไฟแสดงสถานะการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตแบบไร้สายโดยเมื่อเชื่อมต่อบอร์ด NodeMCU และ ESP8266 ได้แล้ว หลอดไฟจะสว่างขึ้น

หมายเลข 7 Reset เป็นปุ่มกดเพื่อรีเซ็ตระบบเครื่องตรวจจับสัญญาณภาพและเสียงโทรทัศน์

หมายเลข 8 lamp power เป็นหลอดไฟแสดงสถานะการทำงานของเครื่องตรวจจับสัญญาณภาพและเสียงโทรทัศน์ เมื่อมีกระแสไฟฟ้ามาปกติ หลอดไฟจะสว่างขึ้น

หมายเลข 9 Power sw. เป็นสวิตช์เปิดหรือปิดการทำงานของเครื่องตรวจจับสัญญาณภาพและเสียงโทรทัศน์

หมายเลข 10 Fuse เป็นอุปกรณ์ป้องกันวงจรไฟฟ้าจากการที่มีกระแสไหลผ่านวงจรมากเกินไป หรือเกิดไฟฟ้าลัดวงจร



รูปที่ 8 โครงสร้างเครื่องตรวจจับสัญญาณภาพและเสียงโทรศัพท์

ผลการทดสอบและอภิปรายผล

การทดสอบการทำงานของเครื่องตรวจจับสัญญาณภาพและเสียงโทรศัพท์ ได้ทำการทดสอบที่สถานีโทรศัพท์ไทยทีวีสีช่อง 3 จังหวัดขอนแก่น ดังรูปที่ 9 ซึ่งเครื่องตรวจจับสัญญาณภาพและเสียงโทรศัพท์นี้ สามารถทดสอบการทำงานได้กับโทรศัพท์ทุกรุ่น ทุกยี่ห้อ ที่มีช่องสัญญาณ Audio out/Video out และเครื่องตรวจจับนี้ต้องอยู่ในสถานที่ที่มีสัญญาณ WIFI เพื่อสามารถแจ้งเตือนการทำงานที่ผิดปกติบนแอปพลิเคชันไลน์ได้

ในการทดสอบการทำงานของเครื่องตรวจจับสัญญาณภาพและเสียงโทรศัพท์ จะมี การทดสอบมีดังต่อไปนี้

- 1) การทดสอบตรวจจับสัญญาณเสียงโทรศัพท์ที่ทำงานปกติ
- 2) การทดสอบตรวจจับสัญญาณเสียงโทรศัพท์ที่ทำงานผิดปกติ (ไม่มีเสียง)
- 3) การทดสอบตรวจจับสัญญาณภาพโทรศัพท์ที่ทำงานปกติ
- 4) การทดสอบตรวจจับสัญญาณภาพโทรศัพท์ที่ทำงานผิดปกติ (ไม่มีภาพ)



รูปที่ 9 การทดสอบเครื่องตรวจจับสัญญาณภาพและเสียงโทรทัศน์ที่สถานีโทรทัศน์
ไทยทีวีสีช่อง 3 จังหวัดขอนแก่น

ผลการทดสอบการทำงานของเครื่องตรวจจับสัญญาณภาพและเสียงโทรทัศน์ มีดังต่อไปนี้

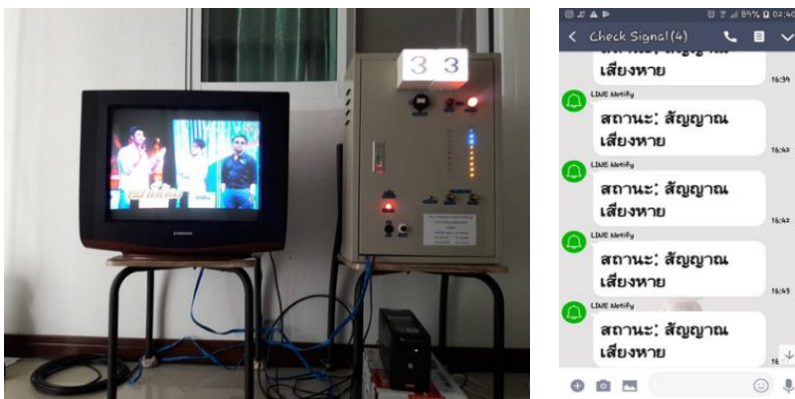
1. การทดสอบตรวจจับสัญญาณเสียงโทรทัศน์

เมื่อมีสัญญาณเสียงโทรทัศน์มาปกติ จะทำให้ Lamp และ Buzzer ไม่ทำงาน จะไม่มีการแจ้งเตือนบนแอปพลิเคชันไลน์ ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 การทดสอบเมื่อมีสัญญาณเสียงโทรทัศน์ปกติ

เมื่อทำการทดสอบโดยไม่มีสัญญาณเสียงโทรทัศน์ ได้ทำการทดสอบจำนวน 10 ครั้ง จากผลการทดสอบพบว่า Lamp สัญญาณเสียงและ Buzzer จะทำงาน และสามารถแจ้งเตือนบนแอปพลิเคชันไลน์ได้ ทำงานถูกต้องทั้ง 10 ครั้ง แสดงในรูปที่ 11



รูปที่ 11 การทดสอบเมื่อไม่มีสัญญาณเสียงโทรทัศน์จะแจ้งเตือนบนแอปพลิเคชันไลน์

2. การทดสอบตรวจจับสัญญาณภาพโทรทัศน์

เมื่อมีสัญญาณภาพโทรทัศน์มาปกติ จะทำให้ Lamp และ Buzzer ไม่ทำงาน ดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 การทดลองเมื่อมีสัญญาณภาพโทรทัศน์ปกติ

เมื่อทำการทดสอบโดยไม่มีสัญญาณภาพโทรทัศน์ ได้ทำการทดสอบจำนวน 10 ครั้ง จากผลการทดสอบพบว่า Lamp สัญญาณภาพและ Buzzer จะทำงาน และสามารถแจ้งเตือนบนแอปพลิเคชันไลน์ได้ ทำงานถูกต้องทั้ง 10 ครั้ง แสดงในรูปที่ 13



รูปที่ 13 การทดสอบเมื่อไม่มีสัญญาณภาพจะแจ้งเตือนบนแอปพลิเคชันไลน์

สรุปผลการวิจัย

จากการทดสอบเครื่องตรวจจับสัญญาณภาพและเสียงโทรทัศน์ที่ผิดปกติผ่านระบบแจ้งเตือนบนแอปพลิเคชันไลน์ จะสามารถแจ้งเตือนข้อความมาทางแอปพลิเคชันไลน์ได้หากมีการขาดหายของสัญญาณภาพหรือสัญญาณเสียง กล่าวคือเมื่อมีการขาดหายของสัญญาณภาพหรือเสียงจะมีหลอดไฟแจ้งเตือนแสดงสถานะการทำงานของเครื่องตรวจจับสัญญาณภาพหรือเสียงโทรทัศน์ที่ผิดปกติจะสว่างขึ้นและ buzzer จะส่งเสียงแจ้งเตือนด้วย โดยสัญญาณภาพและเสียงจะสามารถปรับตัวหน่วงเวลาให้ buzzer และ lamp สามารถทำงานเร็วหรือช้าได้โดยการปรับวอลุ่ม VR1 หรือ VR2 ตามลำดับ เมื่อเครื่องตรวจจับสัญญาณภาพและเสียงโทรทัศน์ที่ผิดปกติผ่านระบบแจ้งเตือนบนแอปพลิเคชันไลน์ มีการเชื่อมต่อกับสัญญาณอินเทอร์เน็ตแบบไร้สายและบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ NodeMCU ESP8266 ได้รับการเชื่อมต่อสำเร็จแล้วไฟแสดงสถานะจะสว่างขึ้น จากการทดสอบการทำงานพบว่าเครื่องตรวจจับสัญญาณภาพและเสียงโทรทัศน์ที่ผิดปกติผ่านระบบแจ้งเตือนบนแอปพลิเคชันไลน์ที่สถานีโทรทัศน์ไทยทีวีสีช่อง 3 จังหวัดขอนแก่นนั้น สามารถทำงานได้เป็นอย่างดีตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ สามารถแก้ไขปัญหาที่กล่าวมาในบทนำด้วยความรวดเร็ว ทำให้การออกอากาศเป็นไปด้วยความเรียบร้อย และประชาชนสามารถรับชมโทรทัศน์รายการต่าง ๆ ได้อย่างต่อเนื่องอีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถานีโอทไทยทีวีสีช่อง 3 จังหวัดขอนแก่นและมหาวิทยาลัย
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ที่ให้คำปรึกษาและดำเนินงานวิจัยนี้ ให้สำเร็จไปตามวัตถุประสงค์

เอกสารอ้างอิง

บุญชัด เนติศักดิ์. (2556). *ทฤษฎีและปฏิบัติเครื่องรับโทรทัศน์*. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น.

นิติคม อริยพิมพ์, ชัยพร อัดโตดตร และ วินัย คำทวิ. (2562). *การออกแบบและสร้างระบบ IoT สำหรับบ้านจำลองที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ (The Design and Construction of the IoT System for Modeling House Controlled by Microcontroller)*. ใน: การประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัยระดับชาติและระดับนานาชาติ ครั้งที่ 7(CASNIC2019), 16 พ.ย. 2562, วิทยาลัยบัณฑิตเอเซีย, ขอนแก่น, หน้า 1535-1545.

Cheung, F. C., & Eric, W. M. Y. (2010). *An abnormal sound detection and classification system for surveillance applications*. In: Proceedings of 18th European signal processing conference 2010, 23-27 August 2010, Aalborg, Denmark.

Gangadharappa, M., Pooja, G., & Rajiv, K. (2012). Anomaly detection in surveillance video using color modelling. *International journal of computer applications*, 45(14), 1-6.

Kawaguchi, Y., & Takashi, E. (2017). *How can we detect anomalies from subsampled audio signals?*. In: Proceedings of IEEE international workshop on machine learning for signal processing, 25-28 September 2017. TOKYO, JAPAN.

**คุณสมบัติการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชของแบคทีเรียที่คัดแยก
จากกากตะกอนในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ**
**PLANT GROWTH PROMOTING PROPERTIES OF BACTERIAL ISOLATES
FROM SLUDGE OF BIOGAS PRODUCTION PROCESS**

วราภรณ์ สุทธิสา*, กนกวรรณ กรมแสง และ สุพัตรา ชูริกิจ
Waraporn Sutthisa*, Kanokwan Kromsang and Supatra Thurakit

ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
Department of Biology, Faculty of Science, Mahasarakham University

Received: 21 April 2021

Accepted: 28 Novemberh 2021

บทคัดย่อ

งานศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อคัดแยกหาเชื้อแบคทีเรียจากกากตะกอนก๊าซชีวภาพ และทดสอบคุณสมบัติในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช โดยแยกเชื้อแบคทีเรียได้ทั้งหมด 77 ไอโซเลต เป็นแบคทีเรียแกรมบวก 56 ไอโซเลต แบคทีเรียแกรมลบ 21 ไอโซเลต การทดสอบคุณสมบัติการเป็นแบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช ประกอบด้วย การทดสอบการตรึงไนโตรเจน การสร้างสารไซโตโครฟอร์ การละลายฟอสเฟต และการสร้างกรดอินโดล-3-แอซิดิก จากผลการทดลองพบว่าความสามารถในการตรึงไนโตรเจน บนอาหาร nitrogen free solid malate Medium (NFM) มีแบคทีเรียทั้งหมด 52 ไอโซเลต ที่สามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศได้ โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่เจริญบนอาหาร NFM ได้และสามารถเปลี่ยนสี bromothymol blue 27 ไอโซเลต และกลุ่มที่เจริญบนอาหาร NFM ได้ แต่ไม่สามารถเปลี่ยนสี bromothymol blue 25 ไอโซเลต การทดสอบการสร้างสารประกอบไซโตโครฟอร์ บนอาหาร Chrom Azurol S (CAS) พบแบคทีเรียที่สามารถสร้างสารประกอบไซโตโครฟอร์ได้ทั้งหมด 70 ไอโซเลต การทดสอบความสามารถละลายฟอสเฟต บนอาหาร GYA double-layered agar medium พบว่ามี 24 ไอโซเลต ที่เจริญและสร้าง

* ผู้ประสานงาน: วราภรณ์ สุทธิสา
อีเมล: waraporn.s@msu.ac.th

บริเวณใสสีน้ำเงินรอบๆ โคโลนีได้ และการทดสอบความสามารถในการผลิตกรดอินโดล-3-แอซิดิก พบว่ามี 67 ไอโซเลต ที่สามารถผลิตกรดอินโดล-3-แอซิดิกได้

คำสำคัญ: แบคทีเรีย, คุณสมบัติการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช, กากตะกอน

Abstract

The objective of this research was to isolate bacteria from biogas sludge and investigate the plant growth promoting qualifications. The sample were 77 bacterium's isolates, consisting of 56 isolates of gram-positive and 21 isolates of gram-negative. The qualifications testing of plant growth-promoting consisted of nitrogen fixation, siderophore production, phosphate solubilization, and indole-3-acetic acid production. The research results show that 52 isolates could be able to fix nitrogen on nitrogen-free solid malate medium (NFM) and were divided into 2 groups. The first group included 27 isolates which grown on NFM and changed the color of bromothymol blue. The second group contained 25 isolates which could be able to grow on NFM but not be able to change the color of bromothymol blue. On Chrom Azurol S (CAS) medium, bacteria were found in capable of forming a total of 70 isolates of siderophores. Phosphate solubility tests on GYA double-layered agar medium revealed that 24 isolates were able to grow and form clear blue regions around colonies, and the capability in producing Indole-3-acetic acid test found that there were 67 isolates were capable in producing Indole-3-acetic acid.

Keywords: Bacteria, Plant growth promoting properties, Sludge

บทนำ

ตะกอน (sludge) จากกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ เป็นกากตะกอนอินทรีย์ที่ได้จากกระบวนการหมักเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ (biogas) ซึ่งเป็นพลังงานสะอาดที่เกิดจากการนำของเสีย เช่น มูลสัตว์ น้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ หรือจากโรงงานอุตสาหกรรม ขยะ และของเหลือใช้ทางการเกษตร มาผ่านกระบวนการหมักเพื่อให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้ออกซิเจน (anaerobic digestion) โดยแบคทีเรียที่ไม่ต้องการออกซิเจนในการเจริญ (anaerobic bacteria) ก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นแก๊สมีเทน (CH_4) ประมาณ 50-70 เปอร์เซ็นต์ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ประมาณ 30-40 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่เหลือเป็นแก๊สชนิดอื่น ๆ เช่น ไฮโดรเจน (H_2) ออกซิเจน (O_2) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ไนโตรเจน (N) และไอน้ำ (ณิชา บุรณสิงห์, 2563) ซึ่งก๊าซชีวภาพจะถูกนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนของหม้อต้มไอน้ำทดแทนเชื้อเพลิงปิโตรเลียม เช่น น้ำมันเตาแก๊ส หุงต้มในครัวเรือน และใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าสำหรับกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม และหลังจากกระบวนการหมักเสร็จสิ้น ทำให้เกิดกากตะกอนที่ได้จากกระบวนการหมักในการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยกากตะกอนมีลักษณะเป็นกากผงหรือเศษเล็ก สามารถนำมาใช้เป็นปุ๋ยทางการเกษตรได้ เนื่องจากกากตะกอนที่ผ่านกระบวนการนี้เป็นสารอินทรีย์ที่อุดมไปด้วยสารอาหารที่จำเป็นที่พืชต้องการ (ศูนย์บริการข้อมูลโครงการศึกษาวิจัยต้นแบบวิสาหกิจชุมชนพลังงานสีเขียวจากพืชพลังงาน, 2556) Hendroko et al. (2012) ศึกษาชนิดและจำนวนแบคทีเรียในบ่อหมักก๊าซชีวภาพโดยใช้วัตถุติดเป็นของเสียจากน้ำมันสุญต์ดาเปรียบเทียบกับมูลโค สามารถแยกแบคทีเรียแกรมลบได้ทั้งหมด 12 ไอโซเลต จัดอยู่ใน 3 แฟมิลี ได้แก่ Halobacteriaceae, Azotobacteraceae และ Pseudomonadaceae โดยบ่อหมักของเสียจากน้ำมันสุญต์ดาพบประชากรของ Pseudomonadaceae สูงสุด ในขณะที่บ่อหมักที่มีมูลโคเป็นวัตถุดิบพบ Azotobacteraceae สูงสุด ในกากตะกอนจากก๊าซชีวภาพอาจพบจุลินทรีย์ที่มีคุณสมบัติส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช (plant growth promoting bacteria, PGPB) (ศูนย์บริการข้อมูลโครงการศึกษาวิจัยต้นแบบวิสาหกิจชุมชนพลังงานสีเขียวจากพืชพลังงาน, 2556) โดยเชื้อจุลินทรีย์มีรูปแบบการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชหลายแบบ บางชนิดช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชทางอ้อม ด้วยการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ต่าง ๆ ที่ทำอันตรายกับพืช แต่บางชนิดก็สร้างสารประกอบออกมาส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชโดยตรง ได้แก่ การสร้างสารประกอบไฮเดรโอฟอร์ (siderophore)

การสร้างกรดอินโดล-3-แอซิดิก (Indole-3-acetic acid; IAA) นอกจากนั้นยังมีความสามารถในการตรึงไนโตรเจนจากอากาศ (nitrogen fixing bacteria, NFB) และความสามารถละลายฟอสเฟต (phosphate solubilizing bacteria, PSB) เป็นต้น (วรารักษ์ สุทธิสา และ บุชยา วาปี, 2562; Bharucha et al., 2013) Gupta et al. (2014) ได้ทำการแยกเชื้อแบคทีเรียจากบริเวณรากพืชและทดสอบความสามารถในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช ประกอบด้วย การตรึงไนโตรเจน การละลายฟอสเฟต การผลิตกรดอินโดลอะซิติก สามารถแยกแบคทีเรียจากบริเวณรอบรากต้น *Chlorophytum borivilianum* ได้ทั้งหมด 30 ไอโซเลต มีเพียง 10 ไอโซเลต ที่สามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชได้ โดยสามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศ ละลายฟอสเฟต และผลิตกรดอินโดลอะซิติกได้ นอกจากนั้น Kesaulya et al. (2015) ได้ทำการแยกเชื้อแบคทีเรียจากบริเวณรากมันฝรั่ง จำนวน 70 ไอโซเลต พบว่ามี 36 ไอโซเลต ที่สามารถผลิตกรดอินโดลอะซิติก (IAA) ผลิตไซโตไคน์ และสามารถละลายฟอสเฟตได้ โดยพบว่าไอโซเลต HB8 สามารถผลิต IAA ได้สูงสุดถึง 5.816 มิลลิกรัมต่อลิตร ไอโซเลต HB18 สร้างสารไซโตไคน์ได้สูงสุด 4.214 มิลลิกรัมต่อลิตร และไอโซเลต HB3 สามารถละลายฟอสเฟตได้สูงสุดเท่ากับ 14.237 มิลลิกรัมต่อลิตร และพบว่าทั้ง 36 ไอโซเลต มีศักยภาพในการเป็นปุ๋ยชีวภาพ (biofertilizer) และสามารถป้องกันพืชจากการเข้าทำลายของเชื้อโรคในดินได้ Zhang et al. (2017) ได้ทำการแยกเชื้อแบคทีเรียจำนวน 13 ไอโซเลต จากก้อนเห็ดเหลือทิ้ง ซึ่งประกอบด้วยเปลือกเมล็ดฝ้าย ชั่งข้าวโพด กากก๊าซชีวภาพ และขี้เลื่อย และทดสอบคุณสมบัติในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช พบว่ามี 8 ไอโซเลต ที่สามารถผลิต IAA (61.5 เปอร์เซ็นต์) และอีก 6 ไอโซเลต สามารถสร้างสารไซโตไคน์ (46.2 เปอร์เซ็นต์) และมี 3 ไอโซเลต ที่สามารถละลายฟอสเฟตได้ดีที่สุดคือ M01, M04 และ M11 ซึ่งทั้ง 3 ไอโซเลต ส่งผลให้น้ำหนักแห้งของรากและยอดมะเขือเทศสูงขึ้นด้วย จากการทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่าก้อนเห็ดเหลือทิ้งที่มีกากก๊าซชีวภาพเป็นองค์ประกอบมีศักยภาพเป็นแหล่งของเชื้อแบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชได้ งานวิจัยนี้จึงทำการคัดแยกและศึกษาคุณสมบัติการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชเบื้องต้นจากแบคทีเรียที่คัดแยกได้จากกากตะกอนก๊าซชีวภาพ เพื่อนำไปพัฒนาการใช้ประโยชน์ทางการเกษตรต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การคัดแยกเชื้อแบคทีเรียจากกากตะกอนก๊าซชีวภาพ

นำตัวอย่างกากตะกอนจากระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสุกร ทั้งหมด 3 ตัวอย่าง ที่ได้รับจากองค์การบริหารส่วนตำบลคำแคน อำเภอมัญจาคีรี จังหวัดขอนแก่น มาผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง ทำการศึกษาและบันทึกข้อมูลลักษณะทางกายภาพของกากตะกอน จากนั้นทำการแบ่งตัวอย่างกากตะกอนมาตัวอย่างละ 1 กิโลกรัม แล้วแบ่งออกเป็น 3 กอง สุ่มเก็บตัวอย่างจากแต่ละกองรวม 10 กรัมต่อตัวอย่าง นำแต่ละตัวอย่างใส่ลงในน้ำกลั่นปลอดเชื้อปริมาตร 90 มิลลิลิตร เขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที ทำการเจือจางด้วยน้ำกลั่นปลอดเชื้อที่ 10^{-3} , 10^{-4} และ 10^{-5} ตามลำดับ จากนั้นจุดตัวอย่างที่ทำการเจือจางแล้วปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ลงบนอาหารอาหาร nutrient agar (NA) ค่าการเจือจางละ 3 ซ้ำ ทำการเกลี่ยให้ทั่วแล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง สังเกตการเจริญของเชื้อ และทำการแยกให้ได้เชื้อบริสุทธิ์ เก็บรักษาเชื้อใน 10 เปอร์เซ็นต์ กลีเซอรอล จนกว่าจะนำไปทดสอบต่อไป

2. ศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแบคทีเรีย

นำเชื้อแบคทีเรียที่แยกได้ทั้งหมดมาถ่ายลงบนจานอาหาร NA บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง ตรวจสอบลักษณะโคโลนี ประกอบด้วย ขนาด สี ผิวหน้า ขอบ ความนูน และทดสอบการติดสีแกรม (Gram stain) รูปร่างของเซลล์ ภายใต้อกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า

3. การทดสอบคุณสมบัติการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชของเชื้อแบคทีเรียที่แยกได้

3.1 การทดสอบความสามารถในการตรึงไนโตรเจนจากอากาศ (Nitrogen fixing bacteria, NFB)

การทดสอบแบคทีเรียที่มีความสามารถในการตรึงไนโตรเจนจากอากาศ โดยการนำเชื้อแบคทีเรียแต่ละไอโซเลตมาเลี้ยงบนอาหาร nitrogen free solid malate media (NFM) ประกอบด้วย Malic acid 5 กรัม K_2HPO_4 0.6 กรัม KH_2PO_4 1.8 กรัม $MgSO_4 \cdot 4H_2O$ 0.2 กรัม $NaCl$ 0.1 กรัม $CaCl_2 \cdot 2H_2O$ 0.2 กรัม Bromothymol blue (BTB) 2 มิลลิลิตร vitamins 0.5 มิลลิลิตร microelements 1 มิลลิลิตร น้ำกลั่น 1 ลิตร (Vishan et al., 2017) โดยการขีดเชื้อที่เจริญบนอาหาร NA อายุ 24 ชั่วโมง ลงบนจานอาหาร NFM

ห่างจากขอบประมาณ 1.5 เซนติเมตร และขีดเชื้อให้มีความยาว 2 เซนติเมตร โดยขีด 4 ไอโซเลตต่อจาน แล้วบ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน จากนั้นตรวจสอบแบคทีเรีย NFB ที่สามารถเจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อได้ โดยแบคทีเรียที่มีความสามารถในการตรึงไนโตรเจนได้จะเปลี่ยนสีอาหารที่มี bromothymol blue ให้เป็นสีน้ำเงิน โดยให้ระดับผลเป็น – คือไม่เจริญหรือไม่เปลี่ยนสีอาหาร, + คือเจริญน้อยหรือการเปลี่ยนสีอาหารรอบโคโลนีน้อย, ++ คือเจริญปานกลางหรือการเปลี่ยนสีอาหารรอบโคโลนีปานกลาง และ +++ คือเจริญมากหรือการเปลี่ยนสีอาหารรอบโคโลนีมากเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุม ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ต่อไอโซเลต (Sutthisa & Khamjandee, 2019)

3.2 การทดสอบการสร้างสารประกอบไซเดอโรฟอร์ (Siderophore)

นำเชื้อแบคทีเรียที่เจริญบนอาหาร NA อายุ 24 ชั่วโมง มาขีดลงบนอาหาร Chrome Azurol S (CAS) agar ให้ยาวประมาณ 2 เซนติเมตร โดยขีด 6 ไอโซเลตต่อจาน จากนั้นนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน ทำการตรวจผลโดยแบคทีเรียที่สร้างสารประกอบไซเดอโรฟอร์จะพบโซนใสสีแดงส้ม-เหลือง ที่บริเวณรอบๆ รอยขีด และให้ระดับผลการเจริญเป็น – คือไม่เจริญ, + คือเจริญน้อย, ++ คือเจริญปานกลาง และ +++ คือเจริญมาก เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุม ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ต่อไอโซเลต (Sutthisa & Khamjandee, 2019)

3.3 การทดสอบแบคทีเรียที่สามารถละลายฟอสเฟต (Phosphate solubilizing bacteria, PSB)

การทดสอบแบคทีเรียที่สามารถละลายฟอสเฟต โดยการแตะเชื้อแบคทีเรียที่เจริญบนอาหาร NA อายุ 24 ชั่วโมง แทะ (stab) ลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ GYA double-layered agar medium ที่เติม tricalcium phosphate เป็นแหล่งอินทรีย์ฟอสเฟต โดยแตะเชื้อ 4 ไอโซเลตต่อจาน บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3-7 วัน จากนั้นตรวจสอบแบคทีเรีย PSB โดยสังเกตการสร้างวงใสสีฟ้ารอบโคโลนีบนอาหารเลี้ยงเชื้อ และให้ระดับผลการเจริญเป็น – คือไม่เจริญ, + คือเจริญน้อย, ++ คือเจริญปานกลาง และ +++ คือเจริญมาก เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุม ทำการทดลองไอโซเลตละ 3 ซ้ำ

3.4 การทดสอบการสร้างกรดอินโดล-3-แอซิดิก (Indole-3-acetic acid, IAA)

นำแบคทีเรียแต่ละไอโซเลตมาทดสอบความสามารถในการสร้างกรดอินโดลอะซิดิก (Ahmad et al., 2005) โดยเลี้ยงเชื้อแบคทีเรียในอาหาร nutrient broth (NB) ที่เติม

ทริปโตแฟน 50 มิลลิกรัมต่อลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง นำไปปั่นเหวี่ยงที่ 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที ดูดส่วนใส 2 มิลลิลิตร หยดกรดออร์โธฟอสฟอริก 2 หยด เติม Salkowski reagent 4 มิลลิลิตร ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของสีว่าเกิดสีชมพูหรือไม่ หากเกิดสีชมพูหมายความว่ามีการสร้างกรดอินโดลอะซีติก ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ต่อไอโซเลต จากนั้นนำไอโซเลตที่ให้ผลบวกไปเลี้ยงในอาหารเหลวที่ประกอบด้วย Peptone 10 กรัมต่อลิตร L-tryptophan 1 กรัมต่อลิตร NaCl 5 กรัมต่อลิตร yeast extract 6 กรัมต่อลิตร และปรับ pH เป็น 7.6 ด้วย KOH วัดการสร้าง IAA ตาม Salkowski Colorimetric Technique (Glickmann & Dessaux, 1995) โดยปั่นเซลล์แล้วนำส่วนใสปริมาณ 1.5 มิลลิลิตร เติมกรดออร์โธฟอสฟอริก ปริมาตร 100 ไมโครลิตร และ Salkowski's Reagent ปริมาตร 3 มิลลิลิตร บ่มในที่มืด 1 ชั่วโมง แล้วนำสารละลายไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 535 นาโนเมตร ด้วย Spectrophotometer คำนวณปริมาณ IAA ที่แบคทีเรียสร้างเทียบกับกราฟมาตรฐานของกรดอินโดล-3-อะซีติก (Hendroko et al., 2012)

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. การคัดแยกเชื้อแบคทีเรียจากกากตะกอนก๊าซชีวภาพ

การสังเกตลักษณะกากตะกอนก๊าซชีวภาพ พบว่ากากตะกอนก๊าซชีวภาพจากมูลสุกร ตัวอย่างที่ 1 มีลักษณะร่วนแห้ง ค่อนข้างละเอียดเหมือนดิน มีสีน้ำตาลดำ ไม่มีกลิ่น ตัวอย่างที่ 2 มีลักษณะร่วนแห้ง มีสีน้ำตาลเข้ม ไม่มีกลิ่น และตัวอย่างที่ 3 มีลักษณะค่อนข้างหยาบ จับกันเป็นก้อนเล็กๆ มีสีน้ำตาล ไม่มีกลิ่น การแยกเชื้อแบคทีเรียจากกากตะกอนก๊าซชีวภาพ สามารถแยกเชื้อแบคทีเรียทั้งหมด จากตัวอย่างที่ 1 ได้ 2.7×10^5 colony forming unit (cfu) ต่อกากตะกอนปุ๋ย 1 กรัม ตัวอย่างที่ 2 ได้ 3.8×10^6 cfu ต่อกากตะกอนปุ๋ย 1 กรัม และตัวอย่างที่ 3 ได้ 1.45×10^7 cfu ต่อกากตะกอนปุ๋ย 1 กรัม จากนั้นจึงคัดเลือกเก็บโคโลนีแบคทีเรียที่มีลักษณะแตกต่างกันมาทำการทดสอบต่อทั้งสิ้น 77 ไอโซเลต จากกระบวนการหมักปุ๋ยพบว่าแบคทีเรียจะมีมากที่สุดในช่วงอุณหภูมิกลางๆ (mesophilic phase) แต่จะลดลงในช่วงอุณหภูมิสูง (thermophilic phase) และลดลงต่อไปในขั้นตอนการระบายความร้อนและเมื่อหมักปุ๋ยเสร็จสิ้น โดยจะมีประชากรแบคทีเรียอยู่ระหว่าง 10^5 ถึง 10^9 cfu ต่อปุ๋ย 1 กรัม (Chandna et al., 2013)

2. ศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแบคทีเรีย

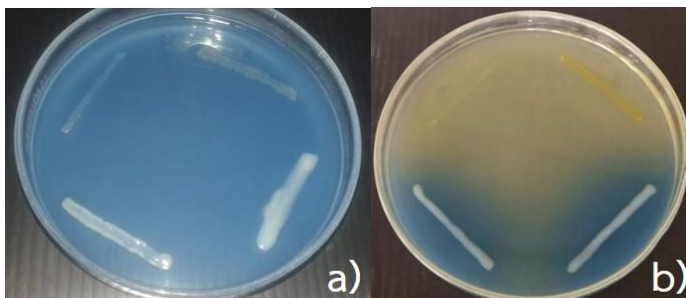
การศึกษาลักษณะของเชื้อแบคทีเรียที่แยกได้ทั้ง 77 ไอโซเลต พบว่าโคลินีสีขาว สีครีม สีเหลือง และสีส้ม ขนาดและรูปร่างแตกต่างกัน เมื่อนำไปทดสอบการติดสีแกรมพบว่า เป็นแบคทีเรียแกรมบวกจำนวน 56 ไอโซเลต แบ่งออกเป็นแบคทีเรียแกรมบวกรูปร่างท่อน และสร้างเอนโดสปอร์ 36 ไอโซเลต แบคทีเรียแกรมบวกรูปร่างท่อนและไม่สร้างเอนโดสปอร์ 12 ไอโซเลต และแบคทีเรียแกรมบวกรูปร่างกลม 8 ไอโซเลต เป็นแบคทีเรียแกรมลบจำนวน 21 ไอโซเลต แบ่งออกเป็นแบคทีเรียแกรมลบรูปร่างท่อนจำนวน 13 ไอโซเลต และแบคทีเรียแกรมลบรูปร่างกลมจำนวน 8 ไอโซเลต สอดคล้องกับงานวิจัยของ Vishan et al. (2017) ซึ่งทำการแยกและระบุชนิดของแบคทีเรียจากถังหมักปุ๋ยแบบถังหมุน ซึ่งสามารถแยก แบคทีเรียได้ 12 ไอโซเลต การระบุชนิดโดยการหาลำดับยีน 16S rDNA พบว่าส่วนใหญ่เป็น *Bacillus* และ *Enterobacter*

3. การทดสอบคุณสมบัติการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช

3.1 การทดสอบแบคทีเรียที่มีความสามารถในการตรึงไนโตรเจนจากอากาศ (Nitrogen fixing bacteria, NFB)

จากการทดสอบความสามารถในการตรึงไนโตรเจนบนอาหาร NFM พบว่ามี แบคทีเรียทั้งหมด 52 ไอโซเลต ที่สามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศได้ เนื่องจากสามารถเจริญ บนอาหาร NFM ที่ไม่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ โดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ เจริญบนอาหาร NFM ได้แต่ไม่เปลี่ยนสี bromothymol blue จำนวน 27 ไอโซเลต และ กลุ่มที่เจริญบนอาหาร NFM และสามารถเปลี่ยนสี bromothymol blue ให้เป็นสีน้ำเงินได้ 25 ไอโซเลต (รูปที่ 1, ตารางที่ 1) ส่วนอีก 25 ไอโซเลต ไม่สามารถเจริญบนอาหาร NFM ได้ ซึ่งแบคทีเรียที่สามารถเปลี่ยนสีอาหารได้นั้นเนื่องจากสามารถตรึงก๊าซไนโตรเจนจากชั้น บรรยากาศและเปลี่ยนให้อยู่ในรูปสารประกอบไนโตรเจน ได้แก่ แอมโมเนียม (NH_4^+) ไนเตรต (NO_2^-) และ ไนไตรท์ (NO_3^-) (Kanimozhi & Panneerselvam, 2010) สารเหล่านี้มีความ เป็นเบสเมื่อมีปริมาณมากพอจึงเปลี่ยนสีอินดิเคเตอร์คือ bromothymol blue เป็นสีน้ำเงินได้ Hafeez et al. (2006) ศึกษาการปลูกเชื้อแบคทีเรีย 17 ไอโซเลต ให้กับข้าวสาลี ข้าวโพด และข้าว ซึ่งเชื้อทั้งหมดเป็นแบคทีเรียแกรมลบเจริญเร็ว และสามารถใช้แหล่งคาร์บอนได้ กว้าง สามารถผลิต IAA ได้ระหว่าง 0.8–42.1 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร สามารถตรึงไนโตรเจน ได้ระหว่าง 20.3–556.8 nmole C_2H_2 reduced/h/vial นอกจากนั้นยังพบว่าไอโซเลต 8N-4

สามารถผลิต IAA ได้สูงสุด (42.1 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) ผลิตไซเดอโรฟอรได้ 0.3 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และเป็นไอโซเลตเดียวที่สามารถละลายฟอสเฟตได้ (188.7 $\mu\text{gP/ml}$)

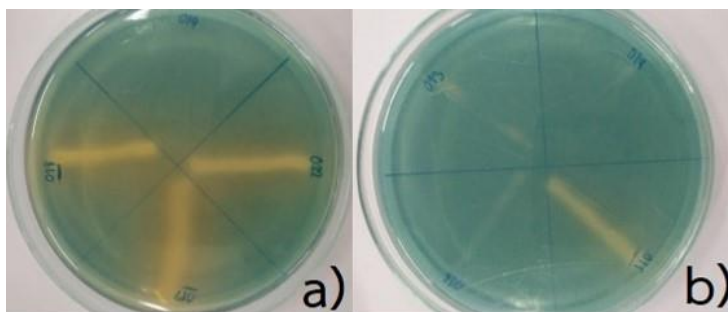


รูปที่ 1 การทดสอบการตรึงไนโตรเจนของเชื้อแบคทีเรียบนอาหาร nitrogen free solid malate medium (NFM) a) ผลบวก (เจริญและเปลี่ยนเป็นสีฟ้า), b) ผลบวก (เจริญแต่ไม่เปลี่ยนสีอาหาร และเจริญและเปลี่ยนเป็นสีฟ้า)

3.2 การทดสอบการสร้างสารประกอบไซเดอโรฟอร (Siderophore)

จากการทดสอบการสร้างสารประกอบไซเดอโรฟอรบนอาหาร CAS Agar มีแบคทีเรียที่สามารถผลิตสารไซเดอโรฟอร ทั้งหมด 63 ไอโซเลต ซึ่งพบวาร์อบๆ โคลนนี้มีโซนใสสีเหลือง (รูปที่ 2, ตารางที่ 1) เนื่องจากไซเดอโรฟอรเป็นสารที่สร้างขึ้นเมื่อในสถานะของธาตุเหล็กต่ำซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ไซเดอโรฟอรที่ผลิตขึ้นบนจาน CAS Agar จะมีการเปลี่ยนสีของ Chrom Azurol จากสีฟ้าเป็นสีแดงส้ม-เหลือง (Bakthavatchalu & Shivakumar, 2016) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sutthisa & Khamjandee (2019) ได้ทำการทดสอบการสร้างสารประกอบไซเดอโรฟอรบนอาหาร CAS agar ของแบคทีเรียที่แยกได้จากดินบริเวณรอบรากต้นกระดุมทองเลื้อยทั้งหมด 47 ไอโซเลต พบว่ามีแบคทีเรีย 21 ไอโซเลต ที่สามารถสร้างสารไซเดอโรฟอรได้ โดยพบวาร์อบๆ โคลนนี้มีบริเวณใส สีเหลือง ส้ม หรือสีน้ำตาล และ Pahari & Mishra (2017) ศึกษาการแยกแบคทีเรียที่ผลิตไซเดอโรฟอรทั้งหมด 4 ไอโซเลต จากดินบริเวณรอบรากพืช พบว่า BGBA-1 สามารถสร้างสารไซเดอโรฟอรได้สูงสุด โดยแต่ละไอโซเลตมีกิจกรรมส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชที่แตกต่างกัน เช่น การผลิตกรดอินโดลอะซิติก (IAA) การผลิตแอมโมเนีย การละลายฟอสเฟต การตรึงไนโตรเจน

และการผลิตไฮโดรเจนไซยาไนด์ (HCN) จากการศึกษาลักษณะทางชีวเคมีและเอนไซม์พบว่า แบคทีเรียนี้คือ *Bacillus* sp.



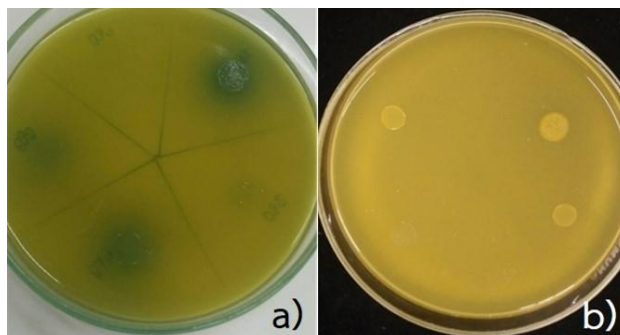
รูปที่ 2 การทดสอบการสร้างสารไซเดอโรฟอร์บนอาหาร Chrome Azurol S (CAS) agar

a) ผลบวก (เจริญและสร้างโซนใสสีเหลืองรอบโคโลนี),

b) ผลลบ (เจริญแต่ไม่พบโซนใสสีเหลือง)

3.3 การทดสอบแบคทีเรียที่สามารถละลายฟอสเฟต (Phosphate solubilizing bacteria, PSB)

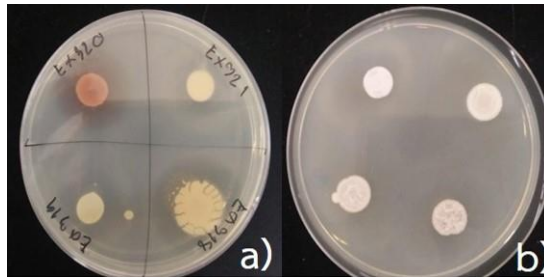
การทดสอบความสามารถละลายฟอสเฟต บนอาหาร GYA double-layered agar medium พบว่ามีแบคทีเรียทั้งหมด 24 ไอโซเลต ที่สามารถเจริญและสร้างบริเวณใสสีฟ้ารอบๆ โคโลนีได้ และอีก 53 ไอโซเลต ที่ไม่สามารถเจริญบนอาหาร GYA double-layered agar ได้ (รูปที่ 3, ตารางที่ 1) เนื่องจากจุลินทรีย์โดยส่วนใหญ่ใช้ไตรแคลเซียมฟอสเฟต (tricalcium phosphate; TCP) นอกจากนี้ยังมีการใช้เหล็กฟอสเฟต (iron phosphate) อะลูมิเนียมฟอสเฟต (aluminum phosphate) และแคลเซียมฟอสเฟต (calcium phosphate) แต่จะละลายน้ำได้ยากกว่าไตรแคลเซียมฟอสเฟต (Bharucha et al., 2013) Hameeda et al. (2008) พบแบคทีเรียที่มีความสามารถในการละลายฟอสเฟต และคุณสมบัติการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชอื่นๆ ช่วยเพิ่มชีวมวลของพืช (20–40 เปอร์เซ็นต์) การปลูกเชื้อ *Serratia marcescens* EB 67 และ *Pseudomonas* sp. CDB 35 ให้กับพืชในสภาวะเรือนทดลองส่งผลให้ชีวมวลพืช (น้ำหนักแห้ง) เพิ่มขึ้น 99 เปอร์เซ็นต์ โดย *S. marcescens* EB 67 และ 94 เปอร์เซ็นต์ โดย *Pseudomonas* sp. CDB 35



รูปที่ 3 การทดสอบความสามารถในการละลายฟอสเฟตบนอาหาร GYA double-layered agar medium ที่เติม tricalcium phosphate a) ผลบวก (สร้างโซนสีฟ้าบนอาหาร), b) ผลลบ (ไม่สร้างโซนสีฟ้าบนอาหาร)

3.4 การทดสอบการสร้างฮอโมนกรดอินโดล-3-แอซิดิก (Indole-3-acetic acid, IAA)

การทดสอบการสร้างฮอโมนกรดอินโดล-3-แอซิดิก (IAA) พบว่ามีแบคทีเรียทั้งหมด 61 ไอโซเลต ที่มีความสามารถในการผลิตกรดอินโดล-3-แอซิดิก โดยไอโซเลตที่ผลิตมากที่สุดคือ ไอโซเลต BWPD3_KK28 ผลิตได้ 54.95 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และมีแบคทีเรียจำนวน 16 ไอโซเลต ที่ไม่สามารถผลิตกรดอินโดล-3-แอซิดิกได้ (รูปที่ 4, ตารางที่ 1) ซึ่งการผลิต IAA โดยจุลินทรีย์มีผลในเชิงบวกต่อการพัฒนาและการยึดตัวของระบบรากซึ่งช่วยในการดูดซึมน้ำและสารอาหารที่จำเป็น อาจนำไปสู่การเจริญเติบโตของรากที่เพิ่มขึ้นและเพิ่มความแข็งแรงของพืชเมื่อเทียบกับการควบคุม (Rana et al., 2011) *Kocuria turfanensis* strain 2M4 เป็นแบคทีเรียที่แยกได้จากบริเวณรอบรากพืชทนเค็มในประเทศอินเดีย สามารถผลิตกรดอินโดล-3-แอซิดิก (IAA) โดยสามารถผลิต IAA ได้ 38 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่เติมทริปโตเฟน 600 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร สามารถละลายฟอสเฟตได้ 12 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร สร้างไซเดอโรฟอร์ได้ 53 เพอร์เซ็นต์ siderophore units ในอาหาร iron-free minimal MM9 medium และ สร้างแอมโมเนียได้ 1.8 ไมโครโมลต่อมิลลิลิตร ในอาหาร peptone water broth (Goswami et al., 2014)



รูปที่ 4 การทดสอบการสร้าง indole-3-acetic acid ของแบคทีเรียบนอาหาร solid medium a) ผลบวก (สร้างโซนใสสีชมพู-สีเหลือง), b) ผลลบ (ไม่พบโซนสีชมพู)

ตารางที่ 1 การทดสอบคุณสมบัติการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชของแบคทีเรียที่แยกได้จากกากตะกอนก๊าซชีวภาพ

Isolate	Nitrogen fixation		Siderophore		Phosphate solubilization		Indole-3-acetic acid	
	Growth	Color change	Growth	Color change	Growth	Color change	Quality	Quantity (µg/ml)
BWPD2_KK1	-	-	++	+	+	+	-	20.90
BWPD2_KK2	-	-	++	+	-	-	+	ND
BWPD1_KK3	++	++	++	+	-	-	-	-
BWPD1_KK4	+++	+	++	+++	+	+	+	25.12
BWPD2_KK5	-	-	-	-	+	+	+	27.18
BWPD2_KK6	++	+	++	+	-	-	+	10.90
BWPD1_KK 7	+	++	+++	+++	-	-	+	ND
BWPD1_KK 8	-	-	++	++	+	+	+	ND
BWPD1_KK 9	+	++	++	+	-	-	+	25.78
BWPD1_KK 10	-	-	-	-	-	-	+	25.20
BWPD1_KK 11	+	-	++	+	-	-	+	31.56
BWPD1_KK 12	+++	+++	++	++	+	+	+	49.41
BWPD1_KK 13	+	-	++	+	-	-	+	29.91
BWPD1_KK 14	+	-	++	+	-	-	+	29.66
BWPD1_KK 15	+	+	++	+++	-	-	+	32.31
BWPD1_KK 16	-	-	++	-	-	-	-	9.17
BWPD1_KK 17	++	+++	+++	+++	+	+	-	35.12
BWPD1_KK 18	++	+++	++	+++	-	-	+	ND
BWPD1_KK 19	-	-	++	-	-	-	-	25.53
BWPD1_KK 20	-	-	++	-	+	+	+	36.69
BWPD1_KK 21	-	-	+	-	-	-	-	16.44

ตารางที่ 1 การทดสอบคุณสมบัติการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชของแบคทีเรียที่แยกได้
จากกากตะกอนก๊าซชีวภาพ (ต่อ)

Isolate	Nitrogen fixation		Siderophore		Phosphate solubilization		Indole-3-acetic acid	
	Growth	Color change	Growth	Color change	Growth	Color change	Quality	Quantity (µg/ml)
BWPD2_KK 22	+++	+++	++	++	+	+	+	14.12
BWPD1_KK 23	+++	+++	+++	++	+	+	+	22.97
BWPD1_KK 24	-	-	++	+	+	+	-	0
BWPD1_KK 25	+	-	+++	+++	-	-	+	26.03
BWPD2_KK 26	-	-	++	+	-	-	+	23.55
BWPD1_KK 27	-	-	++	+	-	-	+	24.79
BWPD1_KK 28	+	-	++	+	-	-	+	15.78
BWPD1_KK 29	-	-	++	+++	+	+	+	33.22
BWPD1_KK 30	++	++	+++	+++	-	-	+	16.36
BWPD1_KK 31	-	-	++	+	-	-	+	ND
BWPD1_KK 32	+++	+++	++	+++	+	+	-	0
BWPD1_KK 33	-	-	++	+	-	-	+	19.00
BWPD1_KK 34	+	-	++	+	-	-	+	ND
BWPD1_KK 35	+	-	-	-	-	-	-	0
BWPD1_KK 36	-	-	-	-	-	-	-	0
BWPD2_KK 37	-	-	++	++	+	+	+	26.93
BWPD1_KK 38	++	++	+++	+++	+	+	+	22.31
BWPD2_KK 39	-	-	++	++	+	+	+	13.38
BWPD2_KK 40	+++	+++	++	+++	+++	+	+	ND
BWPD2_KK 41	-	-	-	-	+	+	+	15.28
BWPD2_KK 42	+	-	++	+	+	+	+	ND
BWPD2_KK 43	++	+	++	+	+	+	+	11.65
BWPD2_KK 44	-	-	++	+	-	-	+	20.32
BWPD1_KK 45	+++	+++	++	+++	-	-	-	0
BWPD1_KK 46	++	+	++	++	-	-	+	13.55
BWPD2_KK 101	-	-	+++	+++	+++	+	+	24.79
BWPD2_KK 102	++	+	++	+	+	+	+	ND
BWPD1_KK 200	++	+	++	+	-	-	+	14.29
BWPD3_KK 1	-	-	+	+	-	-	+	24.95
BWPD3_KK 2		-	-	-	-	-	+	8.84
BWPD3_KK 3	++	-	++	+	-	-	+	12.64
BWPD3_KK 4	++	-	+	+	-	-	+	28.17
BWPD3_KK 5	++	-	+	+	+	+	+	9.66
BWPD3_KK 6	++	++	++	+++	-	-	+	11.56
BWPD3_KK 7	-	-	+	++	-	-	-	13.96

ตารางที่ 1 การทดสอบคุณสมบัติการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชของแบคทีเรียที่แยกได้จากกากตะกอนก๊าซชีวภาพ (ต่อ)

Isolate	Nitrogen fixation		Siderophore		Phosphate solubilization		Indole-3-acetic acid	
	Growth	Color change	Growth	Color change	Growth	Color change	Quality	Quantity (µg/ml)
BWPD3_KK 8	+++	-	++	+++	+	+	+	10.90
BWPD3_KK 9	++	++	+	++	-	-	-	19.66
BWPD3_KK 9	++	++	+	++	-	-	-	19.66
BWPD3_KK 11	-	-	+	+	-	-	+	19.83
BWPD3_KK 12	+	-	-	-	-	-	+	5.20
BWPD3_KK 13	++	-	++	+	-	-	-	0
BWPD3_KK 14	+	++	++	+++	-	-	+	12.55
BWPD3_KK 15	++	++	++	++	-	-	+	25.94
BWPD3_KK 16	++	+	+	++	-	-	+	9.41
BWPD3_KK 17	+	-	++	++	-	-	-	13.63
BWPD3_KK 18	++	-	++	++	-	-	+	12.97
BWPD3_KK 19	++	-	+	++	-	-	+	25.36
BWPD3_KK 20	+++	+	++	+++	-	-	+	14.95
BWPD3_KK 21	+	-	+	++	-	-	+	29.83
BWPD3_KK 22	+	-	++	+++	-	-	+	24.21
BWPD3_KK 23	+	-	++	++	+	+	+	12.22
BWPD3_KK 24	++	+	++	-	-	-	+	13.05
BWPD3_KK 25	+	-	++	++	-	-	+	13.46
BWPD3_KK 26	++	-	+	-	-	-	+	19.00
BWPD3_KK 27	+	-	++	-	-	-	+	10.07
BWPD3_KK 28	++	-	++	+	-	-	+	54.95

หมายเหตุ	-	คือไม่เจริญ/ไม่เปลี่ยนสีอาหาร,
	+	คือเจริญน้อย/บริเวณใสหรือการเปลี่ยนสีอาหารรอบโคโลนีน้อย
	++	คือเจริญปานกลาง/บริเวณใสหรือการเปลี่ยนสีอาหารรอบโคโลนีปานกลาง
	+++	คือเจริญมาก/บริเวณใสหรือการเปลี่ยนสีอาหารรอบโคโลนีมากเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุม
	ND	คือไม่ได้ทดสอบ

สรุปผลการวิจัย

การคัดแยกเชื้อแบคทีเรียจากกากตะกอนจากกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ สามารถแยกเชื้อแบคทีเรียได้ทั้งหมด 77 ไอโซเลต เมื่อทดสอบคุณสมบัติในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช พบว่า มี 52 ไอโซเลต ที่สามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศได้ 70 ไอโซเลต สามารถ

สร้างสารไซโตโครฟอรได้ 24 ไอโซเลต สามารถละลายฟอสเฟตได้ และ 67 ไอโซเลต สามารถสร้างกรดอินโดล-3-แอซิดิกได้ จากการวิจัยในครั้งนี้พบว่า มี 6 ไอโซเลต ได้แก่ BWPD1_KK4, BWPD1_KK12, BWPD2_KK22, BWPD1_KK23, BWPD1_KK38 และ BWPD2_KK43 มีคุณสมบัติในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชครบทุกด้านที่ทำการทดสอบ แต่จำเป็นต้องมีการศึกษาต่อยอดเพื่อระบุชนิด และคัดเลือกไอโซเลตที่มีประสิทธิภาพสูงสุดมาปรับใช้ในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช หรืออาจนำเชื้อที่มีคุณสมบัติโดดเด่นด้านต่างๆ มาใช้ร่วมกันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่สนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- ณิชา บุณสิงห์. (2563). *ก๊าซชีวภาพผลผลิตจากมูลสัตว์สู่พลังงานทดแทน*. สืบค้นเมื่อวันที่ 29 กันยายน 2563 จาก https://www.parliament.go.th/ewtadmin/ewt/parliament_parcy/ewt_dl_link.php?nid=66535&filename=thai_national_assembly
- วราภรณ์ สุทธิสา และ บุษบา วาปี. (2562). การคัดแยกแบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของข้าวจากดินบริเวณรอบรากต้นบานไม่รู้โรยป่า (*Gomphrena celosioides* Mart.). *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี*, 21(3), 87-94.
- ศูนย์บริการข้อมูลโครงการศึกษาวิจัยต้นแบบวิสาหกิจชุมชนพลังงานสีเขียวจากพืชพลังงาน. (2556). *คู่มือการลงทุนโรงไฟฟ้าก๊าซชีวภาพจากพืชพลังงาน*. กรุงเทพฯ: หจก. มิตรภาพการพิมพ์.
- Ahmad, F., Ahmad, I., & Khan, M.S. (2005). Indole acetic acid production by the indigenous isolates of azotobacter and fluorescent pseudomonas in the presence and absence of tryptophan, *Turkish Journal of Biology*, 29, 29-34.

- Bakthavatchalu, S., & Shivakumar S. (2016). Siderophore production by *Pseudomonas aeruginosa* FP6, a biocontrol strain for *Rhizoctonia solani* and *Colletotrichum gloeosporioides* causing diseases in chilli. *Agriculture and Natural Resources*, 50(4), 250-256.
- Bharucha, A. E., Pemberton, J. H., & Locke, J. R. (2013) American gastroenterological association technical review on constipation. *Gastroenterology*, 114(1), 218-238.
- Chandna, P., Nain, L., Singh, S., & Kuhad, R. C. (2013). Assessment of bacterial diversity during composting of agricultural byproducts. *BMC Microbiology*, 13, 1-14.
- Glickmann, E., & Dessaux, Y. (1995). A critical examination of the specificity of the Salkowski reagent for indolic compounds Produced by phytopathogenic bacteria. *Applied and Environmental Microbiology*, 61(2), 93–796.
- Goswami, D., Pithwa, S., Dhandhukia, P., & Thakke, J. N. (2014). Delineating *Kocuria turfanensis* 2M4 as a credible PGPR: a novel IAA producing bacteria isolated from saline desert. *Journal of Plant Interactions*, 9(1), 566–576.
- Gupta, S., Meena, M. K., & Datta, S. (2014). Isolation, characterization of plant growth promoting bacteria from the plant *Chlorophytum borivilianum* and *in-vitro* screening for activity of nitrogen fixation, phosphate solubilization and IAA production. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 3(7), 1082-1090.
- Hafeez, F. Y., Yasmin, S., Ariani, D., Rahman, M., Zafar, Y., & Malik, K. A. (2006). Plant growth-promoting bacteria as biofertilizer. *Agronomy for Sustainable Development*, 26, 143–150.
- Hameeda, B., Harini, G., Rupela, O. P., Wani, S. P., & Reddy, G. (2008). Growth promotion of maize by phosphate solubilizing bacteria isolated from composts and macrofauna, *Microbiology Research*, 163, 234—242.

- Hendroko, R., Wahyudi, A., Situmorang, E. C., Toruan, N., Liwang, T., & Wahono, S. K. (2012). Bacteria biodiversity in cow dung, capsule husk and seed cake of *Jatropha curcas* Linn anaerobic digesters. *International Biology Conference (IBOC)*, Surabaya.
- Kanimozhi, K., & Panneerselvam, A. (2010). Studies on isolation and nitrogen fixation ability of *Azospirillum* spp. isolated from Thanjavur district. *Pelagia Research Library*, 1(3), 138-145.
- Kesaulya, H., Baharuddin, Zakaria, B., & Syaifu, A. S. (2015). Isolation and physiological characterization of PGPR from potato plant rhizosphere in medium land of Buru island. *Procedia Food Science*, 3, 190–199.
- Pahari, A., & Mishra, B. B. (2017). Characterization of siderophore producing rhizobacteria and its effect on growth performance of different vegetables. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(5), 1398-1405.
- Rana, A., Saharan, B., Joshi, M., Prasanna, R., Kumar. K., & Nain, L. (2011). Identification of multi-trait PGPR isolates and evaluating their potential as inoculants for wheat. *Annals of Microbiology*, 61, 893-900.
- Sutthisa, S., & Khamjandee, S. (2019). Isolation and selection of plant growth promoting rhizobacteria from *Wedelia trilobata* (L.) A.S. Hitchcock rhizosphere. *RMUTP Research Journal Science & Technology*, 13(2), 9-92.
- Vishan, I., Sivaprakasam, S., & Kalamdhad, A. (2017). Isolation and identification of bacteria from rotary drum compost of water hyacinth. *International Journal Recycling Organic Waste in Agriculture*, 6, 245–253.
- Zhang, J., Wang, P., Fang, L., Zhang, Q. A., Yan, C., & Chen, J. (2017). Isolation and characterization of phosphate-solubilizing bacteria from mushroom residues and their effect on tomato plant growth promotion. *Polish Journal of Microbiology*, 66(1), 57–65.

อิทธิพลของขนและปากใบต่อความสามารถในการดักจับฝุ่น PM_{10} ของใบไม้พุ่ม และใบไม้ร่อเลื้อยบางชนิด

THE INFLUENCE OF TRICHOME AND STOMATA ON PM_{10} CAPTURE CAPABILITY OF SOME TYPE OF SHRUB AND SCANDENT LEAVES

มัทนภรณ์ ไหมคำม^{1,*} และ เพ็ญศิริ ไพจิตร²
Mattanaporn Maikami^{1,*} and Pensiri Paijit²

¹คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

²สำนักส่งเสริมการเรียนรู้และบริการวิชาการ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

¹Faculty of Science and Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage

²Office of Learning Support and Academic Services, Valaya Alongkorn Rajabhat University
under the Royal Patronage

Received: 19 August 2021

Accepted: 28 November 2021

บทคัดย่อ

ฝุ่นละออง (Particulate matter: PM) เป็นปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพ มีรายงานว่าใบพืชมีประสิทธิภาพในการดักจับฝุ่นโดยเฉพาะอย่างยิ่งใบไม้ที่มีผิวใบไม่เรียบ จึงได้นำพืชที่มีขน 4 ชนิด โดยเป็นไม้พุ่ม 2 ชนิด (ชาฮกเกี้ยนและราชวดี) ไม้ร่อเลื้อย 2 ชนิด (สร้อยอินทนิล และพวงคราม) มาศึกษารูปร่างใบ ขนาดใบ ขนใบ และปากใบ และประสิทธิภาพของการดักจับฝุ่นแบ่งอนุภาคขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM_{10}) จากการศึกษาพบว่าสร้อยอินทนิลมีอนุภาคแบ่งที่เหลือยู่บนแผ่นใบมากที่สุด เนื่องจากสร้อยอินทนิลมีความกว้างใบและความยาวปากใบมากที่สุด ส่วนพวงครามมีพื้นที่ใบมากที่สุด แต่มีประสิทธิภาพการดักจับอนุภาคแบ่งน้อยกว่าสร้อยอินทนิลเกิดจากความหนาแน่นเซลล์ขนด้านท้องใบน้อย แม้ว่าราชวดีมีความหนาแน่นของเซลล์ขนมากที่สุด แต่ความยาวเซลล์ขนและปากใบสั้น จึงทำให้อนุภาคแบ่งที่เหลือยู่บนแผ่นใบค่อนข้างน้อย ชาฮกเกี้ยนมีประสิทธิภาพของการดักจับฝุ่นที่มีอนุภาคขนาดเล็กน้อยที่สุดเพราะใบมีขนาดเล็กและเซลล์ขนมีความหนาแน่นน้อย เมื่อพิจารณา

* ผู้ประสานงาน: มัทนภรณ์ ไหมคำม

อีเมล: mattanaporn@vru.ac.th

ค่าสัมพัทธ์ความกว้างใบและความยาวปากใบมีความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญมากกว่าพื้นที่ใบและความยาวเซลล์ขนทั้งสองด้านของใบต่อประสิทธิภาพของการดักจับฝุ่น PM_{10} ซึ่งแสดงให้เห็นว่ารูปร่างใบ ความยาวปากใบ ความยาวขน ความหนาแน่นของขน และความหนาแน่นปากใบมีผลต่อประสิทธิภาพการดักจับอนุภาคฝุ่น

คำสำคัญ: ขน, ปากใบ, การดักจับฝุ่น, ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน

Abstract

Particulate matter (PM) has been a problem that has affected and hazard to human health. Previous studies reported that plant leaves were capable of dust capture, especially leaves with uneven surfaces. Therefore, four species of plants with hairy leaves, consisting of 2 shrubs (Fukien Tea and Sandpaper vine) and 2 scandents (Butterfly bush and Blue trumpet), were investigated leaf shape, leaf size, trichome, stomata and the efficiency of dust powder capture particles smaller than 10 microns (PM_{10}). The research revealed that the Butterfly bush had dust powder particles remaining on the leaf the most according to the widest leaf and longest stomata. The Blue trumpet had the most leaf area. But the efficiency of powder capture particles was less than Butterfly bush due to the lower trichome cell density on the ventral side. However, the Sandpaper vine had the highest trichome cell density but the trichome cells and stomata were short. Therefore, the remaining dust powder particles on the leaf blade were quite a few. Fukien tea was the least effective in capturing dust because of its small leaf size and less dense trichome cells. Considering the correlation of leaf width and stomata length, there was a significantly greater positive correlation than leaf area and both surfaces of leaf trichome on PM_{10} dust capture efficiency which showed that leaf shape, stomata length, trichome length, trichome density and the density of the stomata affected the dust particulate capture efficiency.

Keywords: trichome, stomata, particulate matter capture capability, PM_{10}

บทนำ

มลพิษทางอากาศส่งผลกระทบต่อร่างกายทำให้เกิดปัญหาทางสุขภาพ เช่น ระคายเคืองตา และเยื่อทางเดินหายใจ โรคภูมิแพ้ หอบหืด และมะเร็งปอด สาเหตุของโรคดังกล่าวอาจเนื่องมาจากฝุ่นละอองที่มีอยู่ในอากาศ (นิพนธ์ ตั้งคณานุรักษ์ และ คณิดา ตั้งคณานุรักษ์, 2552) โดยฝุ่นละออง (particulate matter: PM) เป็นอนุภาคของแข็งหรือของเหลวมีขนาดตั้งแต่ 0.002 ไมครอน ไปจนถึงฝุ่นที่ขนาดใหญ่กว่า 500 ไมครอน ฝุ่นที่มองเห็นด้วยตาเปล่ามีขนาดตั้งแต่ 50 ไมครอนขึ้นไป (เกษม จันทรแก้ว, 2541) ช่วงต้นปี 2562 ประเทศไทยเกิดปรากฏการณ์ฝุ่นละอองเกินค่ามาตรฐาน จนส่งผลให้มีผู้ป่วยระบบทางเดินหายใจมีจำนวนสูงขึ้นกว่าปกติ (กลุ่มเฝ้าระวังฝุ่น จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2562) ซึ่งมักจะเป็นฝุ่นขนาดเล็ก (PM_{10} -ฝุ่นขนาด 2.5-10 ไมครอน และ $PM_{2.5}$ -ฝุ่นขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน) (กรมควบคุมมลพิษ, 2561) องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมประเทศสหรัฐอเมริกาได้ศึกษาวิจัยฝุ่นขนาด PM_{10} เป็นฝุ่นหยาบ (course particle) มีอันตรายต่อสุขภาพเนื่องจากเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดโรคหอบหืด กล้ามเนื้อหัวใจตาย และโรคมะเร็งปอด (กรมอนามัย และ กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข, 2561) โดยภาครัฐได้มีมาตรการต่าง ๆ เพื่อช่วยลดปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็ก เช่น ลดการเผาในที่โล่ง ส่งเสริมการเดินทางที่ไม่ใช้เครื่องยนต์ ตรวจจับควันดำอย่างเข้มงวด และฉีดพ่นน้ำ นอกจากนั้นการสร้างพื้นที่สีเขียวโดยการปลูกต้นไม้เพื่อเป็นแหล่งดูดซับฝุ่นละอองในอากาศจะสามารถช่วยลดปัญหาฝุ่นละอองขนาดเล็กได้เป็นอย่างดีอีกทางหนึ่ง

ต้นไม้สามารถช่วยดักจับฝุ่นละอองผ่านทางใบ หรือลำต้น โดยจะเข้าไปสะสมอยู่ในเนื้อเยื่อพืชได้ทางปากใบ และช่องอากาศบริเวณกิ่งหรือลำต้น โดย Esposito et al. (2020) กล่าวว่าใบไม่มีประสิทธิภาพสูงในการจับและดูดซับฝุ่นละออง เนื่องจากเนื้อเยื่อชั้นผิวของพืชมีสารคิวตินหรือมีขน (trichome) ปกคลุมที่ลำต้นและผิวใบ รวมไปถึงผิวใบพืชที่เป็นคลื่นก็มีความสามารถในการดักจับฝุ่นไว้ได้เช่นกัน เมื่อต้นไม้ได้รับน้ำฝนเหล่านี้จะถูกชะล้างออกแล้วไหลลงสู่พื้นดินต่อไป (ราชันย์ ภูมา และคณะ, 2563; Nowak et al., 2006) และสอดคล้องกับ Leonard et al. (2016) ที่กล่าวว่าใบพืชกว้างและผิวใบขรุขระสามารถดักจับฝุ่นได้ดีมีประสิทธิภาพมากกว่าผิวใบเรียบ เช่น พาลิณี สุนากร และคณะ (2559) รายงานว่าสร้อยอินทนิลที่มีผิวใบสากและมีขนปกคลุมจึงมีแรงเสียดทานมากทำให้การดักจับฝุ่นละอองได้ดีกว่าตำลึงที่มีใบด้าน และจันทร์กระจ่างฟ้าที่มีผิวใบมัน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Sæbø et al. (2012) ที่พบว่าไม้ต้น 22 ชนิด และไม้พุ่ม 25 ชนิดที่ใช้ในการทดลองสามารถ

ดักจับฝุ่นละอองขนาด PM_{10} $PM_{2.5}$ และ $PM_{0.2}$ ได้แตกต่างกัน โดยใบที่มีขนที่ปกคลุมและลักษณะผิวไม่เรียบเป็นลักษณะสำคัญที่ส่งเสริมการดักจับฝุ่น นอกจากนี้ปากใบ (stomata) ซึ่งเป็นช่องเปิดขนาดเล็กบริเวณชั้นเนื้อเยื่อผิวก็เป็นส่วนสำคัญในการดักจับฝุ่นได้อีกด้วย การปลูกต้นไม้จำนวนมากสามารถช่วยกรองฝุ่นในอากาศได้ แม้ว่าจะมีการศึกษาประสิทธิภาพของพืชในการดักจับฝุ่นละอองบ้างแล้ว แต่การศึกษาเนื้อเยื่อชั้นผิวที่เป็นส่วนสำคัญในการดักจับฝุ่นยังมีน้อย ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษารูปร่างและขนาดแผ่นใบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งลักษณะขนและปากใบของไม้พุ่มและไม้เลื้อยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการดักจับฝุ่นที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 10 ไมครอน

วิธีดำเนินการวิจัย

นำพืช 4 ชนิดที่ใบมีขนมาศึกษาประสิทธิภาพการดักจับฝุ่นละออง โดยแบ่งเป็นไม้พุ่ม 2 ชนิด คือ ชาฮกเกี้ยน (*Ehretia microphylla* Lamk.) และราชาวดี (*Buddleja paniculata* Wall.) ไม้เลื้อย 2 ชนิด คือ สร้อยอินทนิล (*Thunbergia grandiflora* Roxb.) และ พวงคราม (*Petrea volubilis* L.) โดยเลือกใบที่โตเต็มที่ มีสภาพสมบูรณ์ และทุกใบมีขนาดใกล้เคียงกัน ในพืชชนิดเดียวกัน ทำความสะอาดอย่างระมัดระวังเพื่อชำระฝุ่นและสิ่งสกปรกต่าง ๆ ออกจากผิวใบ

1. การศึกษาลักษณะใบ นำใบพืชทั้ง 4 ชนิด ชนิดละ 10 ใบ มาศึกษารูปร่างใบ ปลายใบ โคนใบ และขอบใบ วัดความกว้าง ความยาว และความหนาของใบ โดยใช้เวอร์เนีย คาลิเปอร์แบบดิจิทัล และนำใบพืชแต่ละชนิดมาวางบนกระดาษกราฟมาตรฐาน แล้วคัดลอกขนาดและรูปร่างใบ จากนั้นนับช่องกระดาษกราฟเพื่อวิเคราะห์หาพื้นที่ใบพืช (วงศ์จันทร์ วงษ์แก้ว, 2535)

2. การศึกษาเนื้อเยื่อผิว ศึกษาลักษณะขนาด และความหนาแน่นของขนใบทั้งหลังใบ (adaxial surface) และท้องใบ (abaxial surface) ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ Carl Zeiss รุ่น Stemi 305 ทำการทดลองใบพืชชนิดละ 10 ใบ ใบละ 10 ค่าสังเกต

การศึกษาขนาดและความหนาแน่นของปากใบจะศึกษาโดยวิธีการลอกเนื้อเยื่อผิวด้านหลังใบ โดยการใช้ใบมีดโกนขูดผิวด้านบนออกให้มากที่สุด จากนั้นแช่ใบที่ลอกผิวแล้วในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ความเข้มข้น 5% จนกว่าชิ้นตัวอย่างจะใส จากนั้นย้ายชิ้นส่วนใบไปแช่ในสารละลายคลอโรกซ์ (clorox®) ความเข้มข้น 5% เป็นเวลา

5-10 นาที แล้วล้างสารละลายออกจากชิ้นตัวอย่างด้วยน้ำกลั่นให้สะอาด (ดัดแปลงจาก จิตาภา พรหมสิงห์ และคณะ, 2559) นำชิ้นส่วนไปไปศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง Carl Zeiss รุ่น LAB A1 ที่เชื่อมต่อกับกล้องบันทึกภาพ CANON EOS1100D บันทึกขนาด และความหนาแน่นของปากใบ

3. ประสิทธิภาพการดักจับฝุ่นของใบพืช นำใบพืชทั้ง 4 ชนิดมาทดสอบประสิทธิภาพการดักจับฝุ่น โดยนำใบพืช 1 ใบซึ่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งดิจิทัลทศนิยม 4 ตำแหน่ง แล้วมาใส่ในกล่องขนาด $9 \times 9 \times 7$ ซม. และนำแบ่งข้าวเจ้าที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค 3-5 ไมครอน (วรวิเศษ นิลนนท์ และคณะ, 2560) ปริมาณ 200 มิลลิกรัม ปิดฝากล่องให้มิดชิดแล้วเขย่ากล่อง 3 ครั้ง จากนั้นหยาและคว่ำใบ 3 รอบ เพื่อให้แบ่งส่วนเกินหลุดออก นำใบไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งดิจิทัลทศนิยม 4 ตำแหน่งอีกครั้ง เพื่อหาปริมาณแบ่งที่เหลืออยู่ โดยทำการทดลองในพืชชนิดละ 10 ใบ

4. การวิเคราะห์ข้อมูล วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design: CRD) และวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (ANOVA) เพื่อทดสอบความแปรปรวนและแสดงผลการทดลองด้วยค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (S.E.) เมื่อพบความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ใช้การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของลักษณะแผ่นใบ ลักษณะผิวใบ และประสิทธิภาพการดักจับอนุภาคขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน เพื่อเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson's Correlation Coefficient, r) ของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรข้างต้น สามารถคำนวณได้จากสมการ (Steel & Torrie, 1960) เพื่อหาลักษณะของใบที่มีประสิทธิภาพในการดักจับฝุ่น

$$r = \frac{\sum(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum(X_i - \bar{X})^2 \sum(Y_i - \bar{Y})^2}}$$

r = ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างลักษณะ X และ Y

$\bar{X}$ = ค่าเฉลี่ยของลักษณะ X

$\bar{Y}$ = ค่าเฉลี่ยของลักษณะ Y

X_i = ค่าสังเกตที่ i ของตัวแปรลักษณะ X (เมื่อ $i = 1, 2, \dots, n$)

Y_i = ค่าสังเกตที่ i ของตัวแปรลักษณะ Y (เมื่อ $i = 1, 2, \dots, n$)

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

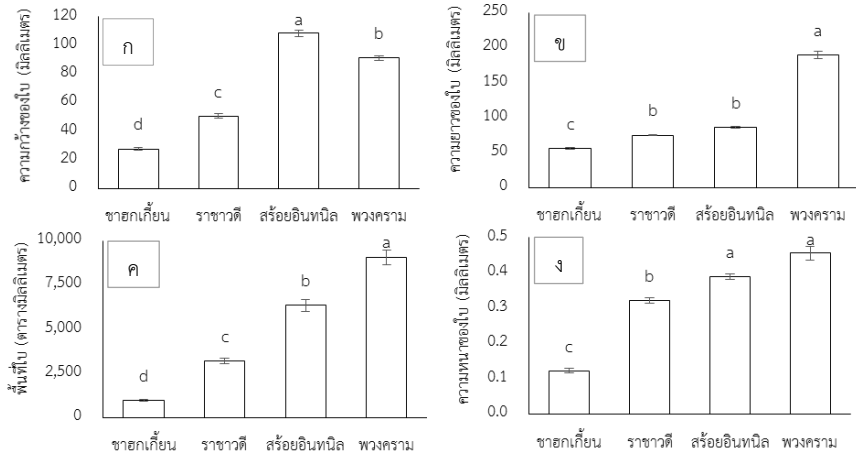
1. ลักษณะใบ

เมื่อนำใบพืชทั้ง 4 ชนิดมาศึกษาลักษณะใบ (รูปที่ 1) พบว่า ชาฮกเกี้ยน ใบเป็นรูปไข่กลับ ปลายใบหยัก โคนใบรูปลิ้น ขอบใบเรียบ ราชาวดี ใบเป็นรูปไข่ ปลายและโคนใบมน ขอบใบจักมน ส่วนสร้อยอินทนิลนั้นมีใบเป็นรูปหัวใจ ปลายใบแหลม โคนใบรูปหัวใจ ขอบใบหยักเป็นคลื่น และพวงครามมีใบเป็นรูปรี ปลายและโคนใบแหลม ขอบใบเรียบ ซึ่งรูปร่างใบพืชทั้ง 4 ชนิดสอดคล้องกับการศึกษาของ ปิยรัชฎ์ ปริญาพงษ์ เจริญทรัพย์ (2558) ราชันย์ ภูมา (2559) และวรรณ แสนชมภู (2559)

ความกว้าง ความยาว พื้นที่ และความหนาของใบชาฮกเกี้ยน ราชาวดี สร้อยอินทนิล และพวงคราม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (รูปที่ 2) โดยสร้อยอินทนิลและพวงครามมีความกว้างและความยาวมากที่สุด ตามลำดับ (รูปที่ 1, 2ก และ 2ข) เมื่อคิดเป็นพื้นที่ใบ (รูปที่ 2ค) แล้วพบว่าพวงครามมีพื้นที่มากกว่าสร้อยอินทนิล เนื่องจากพวงครามมีความยาวของใบมากกว่าสร้อยอินทนิล 2.19 เท่า ในขณะที่ชาฮกเกี้ยนมีความกว้าง ความยาว และพื้นที่ใบน้อยที่สุด ส่วนความหนาของใบ (รูปที่ 2ง) สร้อยอินทนิลและพวงครามไม่แตกต่างกัน แต่หนากว่าราชาวดี และชาฮกเกี้ยนตามลำดับ



รูปที่ 1 ลักษณะหลังใบและท้องใบของชาฮกเกี้ยน ราชาวดี สร้อยอินทนิล และพวงคราม



รูปที่ 2 (ก) ความกว้าง (ข) ความยาว (ค) พื้นที่ใบ และ (ง) ความหนา ของชาฮกเกี้ยน
ราชาวดี สร้อยอินทนิล และพวงคราม

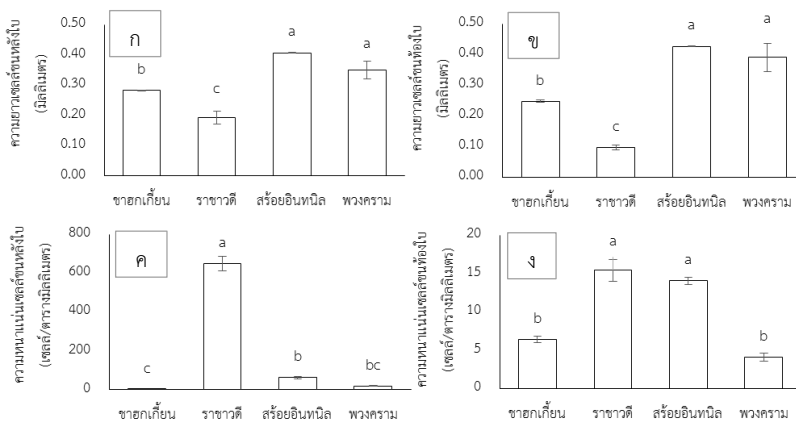
ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (S.E.) ตัวอักษรขนาดเล็ก
ที่แตกต่างกัน คือความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

2. เนื้อเยื่อผิว

รูปแบบความยาวของเซลล์ขนใบของพืชทั้ง 4 ชนิดที่บริเวณท้องใบและหลังใบมีรูปแบบไม่แตกต่างกัน (รูปที่ 3ก และ ข) โดยพบว่าสร้อยอินทนิลและพวงครามมีความยาวขนไม่ต่างกัน แต่ยาวมากกว่าชาฮกเกี้ยนและราชาวดี โดยราชาวดีมีความยาวขนน้อยที่สุด ส่วนความหนาแน่นเซลล์ขนพบว่าจำนวนเซลล์ขนบริเวณหลังใบมีความหนาแน่นมากกว่าท้องใบ (รูปที่ 3ค 3ง และรูปที่ 4) เซลล์ขนบริเวณท้องใบ (รูปที่ 3ค) ของราชาวดี (รูปที่ 4ง) และสร้อยอินทนิล (รูปที่ 4ฉ) มีความหนาแน่นมากกว่าชาฮกเกี้ยน (รูปที่ 4ข) และพวงคราม (รูปที่ 4ช) อย่างมีนัยสำคัญ ส่วนเซลล์ขนบริเวณหลังใบ (รูปที่ 3ง) ของราชาวดี (รูปที่ 4ค) มีความหนาแน่นมากกว่าสร้อยอินทนิล (รูปที่ 4จ) พวงคราม (รูปที่ 4ช) และชาฮกเกี้ยน (รูปที่ 4ก) ตามลำดับ

ความยาวของปากใบของพืชทั้ง 4 ชนิด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (รูปที่ 5ก และ 6) โดยสร้อยอินทนิลมีความยาวของปากใบมากที่สุดและความยาวมากกว่าพวงคราม ชาฮกเกี้ยน และราชาวดี ตามลำดับ ส่วนความหนาแน่นของปากใบไม่มีความแตกต่างกัน (รูปที่ 5ข) โดยความยาวและความหนาแน่นของปากใบของพืชทั้ง 4 ชนิดอยู่

ในช่วงของพืชทั่วไปที่มีความยาว 10-80 ไมโครเมตร และความหนาแน่น 5-1,000 ปากใบ/ตร.มม. (Kwak et al., 2020) แต่เมื่อพิจารณาจำนวนปากใบทั้งใบมีความแตกต่างกัน โดยพวงครามมีจำนวนปากใบมากที่สุด ส่วนชาฮกเกี้ยนมีจำนวนปากใบน้อยที่สุด (ไม่แสดงข้อมูล) ในขณะที่สร้อยอินทนิล และราชวดีมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ



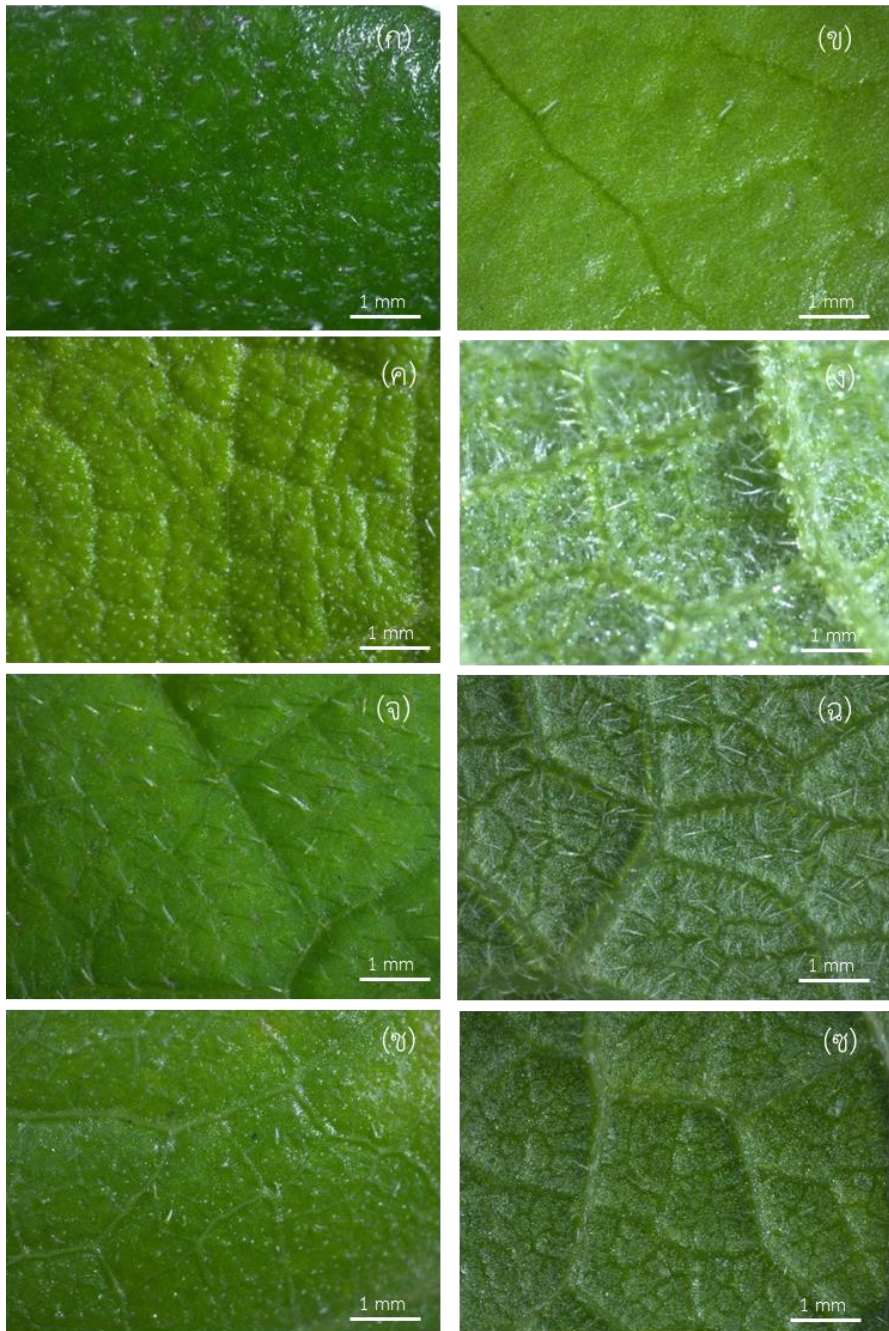
รูปที่ 3 (ก และ ข) ความยาวเซลล์ชั้น (ค และ ง) ความหนาแน่น บริเวณหลังใบและท้องใบของชาฮกเกี้ยน ราชวดี สร้อยอินทนิล และพวงคราม ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (S.E.) ตัวอักษรขนาดเล็กที่แตกต่างกัน คือความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

3. ประสิทธิภาพการดักจับฝุ่นของใบพืช

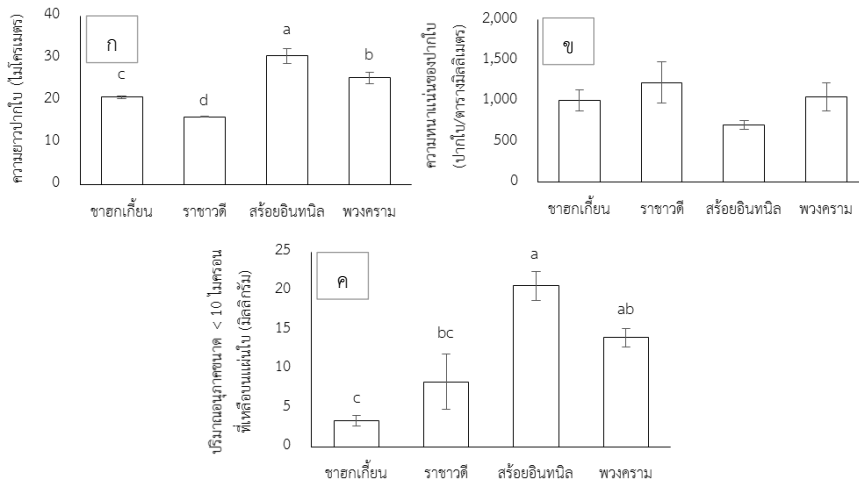
การศึกษาประสิทธิภาพการดักจับฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนของพืช 4 ชนิดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (รูปที่ 5ง) โดยสร้อยอินทนิลมีประสิทธิภาพในการดักจับฝุ่นมากที่สุด แต่มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติกับพวงคราม ในขณะที่พวงครามและราชวดีมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนชาฮกเกี้ยนมีประสิทธิภาพน้อยที่สุด

4. ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะใบและประสิทธิภาพการดักจับอนุภาคขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน

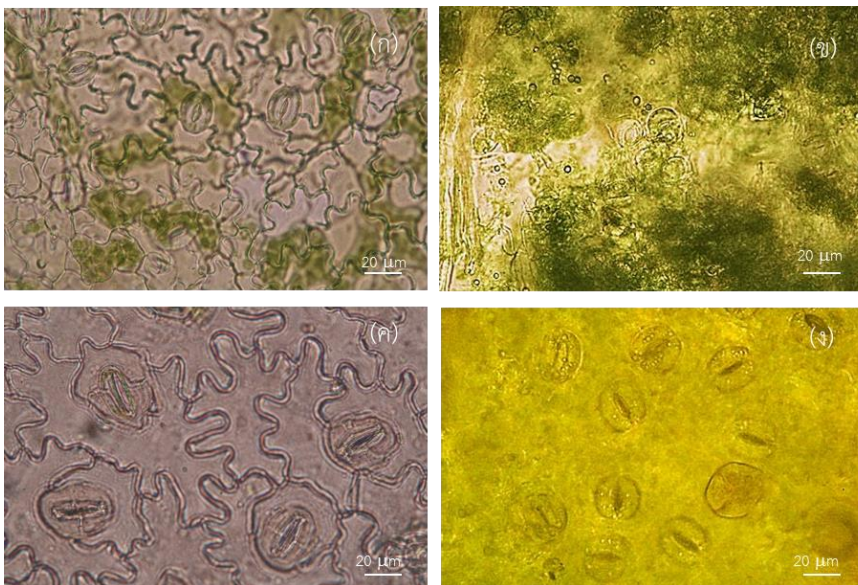
จากผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างของใบ ความยาวของใบ ความยาวขนใบ ความหนาแน่นขนใบ ขนาดปากใบ ความหนาแน่นปากใบ และประสิทธิภาพ



รูปที่ 4 ลักษณะผิวใบและเซลล์ขนบริเวณหลังใบและท้องใบ ของชาฮกเกี้ยน (ก และ ข)
ราชาวดี (ค และ ง) สร้อยอินทนิล (จ และ ฉ) และพวงคราม (ช และ ซ)



รูปที่ 5 ความยาวปากใบ (ก) ความหนาแน่นปากใบ (ข) และประสิทธิภาพการดักจับฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (ค) ของชาฮกเกี้ยน ราชวดี สร้อยอินทนิล และ พวงคราม ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (S.E.) ตัวอักษรขนาดเล็กที่แตกต่างกัน คือความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)



รูปที่ 6 ปากใบของชาฮกเกี้ยน (ก) ราชวดี (ข) สร้อยอินทนิล (ค) และพวงคราม (ง)

การดักจับอนุภาคขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน โดยหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, r) แสดงข้อมูลดังตารางที่ 1 พบว่าประสิทธิภาพการดักจับฝุ่นมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับทุกลักษณะของแผ่นใบและเนื้อเยื่อผิวใบยกเว้นความหนาแน่นขนหลังใบและความหนาแน่นของปากใบ โดยประสิทธิภาพการดักจับฝุ่นมีความสัมพันธ์เชิงบวกมากที่สุดกับความกว้างใบ สอดคล้องกับ Liang et al. (2016) และ Esposito et al. (2019) ที่รายงานว่าใบที่กว้างสามารถดักจับอนุภาคฝุ่นได้มากกว่าใบพืชที่แคบเมื่อพิจารณาต่อพื้นที่ใบ แต่ประสิทธิภาพการดักจับอนุภาคของพืชทั้งต้นต้องพิจารณาหลายลักษณะร่วมกัน เช่น ความยาวก้านใบ ลักษณะวิสัย ทรงพุ่ม เคลื่อนไหว (Leonard et al., 2016) นอกจากนี้พบว่าความยาวปากใบมีความสัมพันธ์กับการดักจับฝุ่นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งเช่นเดียวกับ Liang et al. (2016) ที่รายงานว่าปากใบเป็นบริเวณสำคัญที่อนุภาคฝุ่นจะสะสมที่ผิวใบ (Kwak et al., 2020) จากการทดลองยังพบว่าพื้นที่ใบมีความสัมพันธ์กับการดักจับฝุ่นน้อยกว่าความกว้างใบและความยาวปากใบ เนื่องจากการสะสมอนุภาคฝุ่นของใบพืชไม่ได้ขึ้นกับพื้นที่ใบเพียงอย่างเดียว รูปร่างใบที่แตกต่างกันก็ส่งผลให้ประสิทธิภาพการดักจับฝุ่นต่างกันด้วย ดังที่ Leonard et al. (2016) พบว่าใบรูปหอก (lanceolate) ซึ่งเป็นรูปร่างใบที่ส่วนกว้างที่สุดอยู่ต่ำกว่ากลางใบจะมีการสะสมฝุ่นได้มากกว่าใบรูปไข่กลับ (obovate) และรูปรี (elliptic) ซึ่งเป็นรูปร่างใบที่ส่วนแคบที่สุดอยู่ต่ำกว่ากลางใบ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองที่พบว่าสร้อยอินทนิลที่มีรูปร่างใบรูปหัวใจ (heart) ซึ่งเป็นรูปร่างใบที่ส่วนส่วนกว้างที่สุดอยู่ต่ำกว่ากลางใบจะมีการสะสมฝุ่นได้มากกว่าพวงคราม ราชวดี และชาฮกเกี้ยน ที่มีรูปร่างใบรูปรี (elliptic) รูปไข่ (ovate) และรูปไข่กลับ (obovate) ตามลำดับ ส่วนความยาวขนบริเวณท้องใบและหลังใบก็มีความความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพการดักจับฝุ่นอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากขนใบเป็นส่วนที่เพิ่มพื้นที่ผิวในการดักจับฝุ่นและยังทำให้ฝุ่นหลุดออกได้ยากเมื่อใบไม้เคลื่อนไหว (Sæbø et al., 2012; Leonard et al., 2016) นอกจากนี้จากการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ยังพบว่าความยาวปากใบมีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพการดักจับฝุ่นมากกว่าความยาวของใบอาจเนื่องจากบริเวณมีการคายน้ำออกมาทำให้เกิดความชื้นซึ่งเอื้อต่อการดักจับฝุ่นละออง (Liang et al., 2016) โดย Song et al. (2015) พบฝุ่นละอองหนาแน่นบริเวณปากใบ

ตารางที่ 1 ค่าสหสัมพันธ์ประสิทธิภาพการดักจับอนุภาคขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ลักษณะแผ่นใบและลักษณะเนื้อเยื่อผิวใบ ของชาฮกเกี้ยน ราชวดี สร้อยอินทนิล และพวงคราม

	การดักจับอนุภาค ฝุ่น<10 μm	ความกว้างใบ	ความยาวใบ	พื้นที่ใบ	ความยาว ขนท้องใบ	ความยาว ขนหลังใบ	ความหนาแน่น ขนท้องใบ	ความหนาแน่น ขนหลังใบ	ความยาวปากใบ	ความหนาแน่น ปากใบ
การดักจับอนุภาคฝุ่น<10 μm	1.00									
ความกว้างใบ	0.886**	1.00								
ความยาวใบ	0.379	0.564	1.00							
พื้นที่ใบ	0.686*	0.837**	0.809**	1.00						
ความยาวขนท้องใบ	0.611*	0.742**	0.521	0.632*	1.00					
ความยาวขนหลังใบ	0.603*	0.693**	0.355	0.611*	0.937**	1.00				
ความหนาแน่นขนท้องใบ	0.213	0.131	-0.529	-0.170	-0.309	-0.184	1.00			
ความหนาแน่นขนหลังใบ	-0.162	-0.254	-0.284	-0.273	-0.790	-0.751**	0.655*	1.00		
ความยาวปากใบ	0.757**	0.753**	0.307	0.579*	0.873**	0.866**	-0.091	-0.669*	1.00	
ความหนาแน่นปากใบ	-0.561	-0.442	0.023	0.190	-0.403	-0.315	0.003	0.354	-0.588*	1.00

หมายเหตุ: *,** มีสหสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

สรุปผลการวิจัย

รูปร่าง ขนาด และเนื้อเยื่อผิวใบของพืช 4 ชนิดมีประสิทธิภาพของการดักจับฝุ่นที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 10 ไมครอนแตกต่างกัน โดยสร้อยอินทนิลมีอนุภาคแบ่งที่เหลือน้อยบนแผ่นใบมากที่สุด ซึ่งสร้อยอินทนิลมีความกว้างใบและความยาวปากใบมากกว่าชาฮกเกี้ยน ราชวดี และพวงคราม แม้ว่าพวงครามจะมีพื้นที่ใบมากที่สุด แต่ประสิทธิภาพการดักจับอนุภาคแบ่งน้อยกว่าสร้อยอินทนิล เนื่องจากความหนาแน่นเซลล์ขนด้านท้องใบน้อย ส่วนราชวดีมีอนุภาคแบ่งที่เหลือน้อยบนแผ่นใบค่อนข้างน้อยแม้ว่ามีความหนาแน่นของเซลล์ขนบนแผ่นใบมากที่สุด อาจเนื่องจากความยาวเซลล์ขนและความยาวปากใบของราชวดีน้อยที่สุด ส่วนชาฮกเกี้ยนมีประสิทธิภาพของการดักจับฝุ่นน้อยที่สุด อาจเนื่องจากใบมีขนาดเล็ก และมีความหนาแน่นเซลล์ขนน้อย เมื่อพิจารณาค่าสหสัมพันธ์ความกว้างใบและความยาวปากใบมีความสัมพันธ์เชิงบวกที่สุดต่อประสิทธิภาพของการดักจับฝุ่นที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 10 ไมครอน

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี โดยได้รับความอนุเคราะห์จากคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และศูนย์ประสานงานโครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืช สำนักส่งเสริมการเรียนรู้ และบริการวิชาการ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และเครื่องมือวิทยาศาสตร์ ในการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. (2561). *โครงการศึกษาแหล่งกำเนิดและแนวทางการจัดการฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล*. กรุงเทพฯ: กองจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- กรมอนามัย และกรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข. (2558). *แนวทางการเฝ้าระวังพื้นที่เสี่ยงจากมลพิษทางอากาศ กรณีฝุ่นละอองขนาดเล็ก*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย
- กลุ่มเฝ้าระวังฝุ่น จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2562). *เรียนรู้ อยู่กับฝุ่น PM2.5*. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เกษม จันทร์แก้ว. (2541). *เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม*. กรุงเทพฯ: โครงการสหวิทยาการบัณฑิตศึกษา สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- จิตาภา พรหมสิงห์, อนิษฐา ศรีนวล และ วิโรจน์ เกษรบัว. (2559). กายวิภาคศาสตร์เนื้อเยื่อชั้นผิวใบของพืชวงศ์มะขามป้อม (Phyllanthaceae) บางชนิดในประเทศไทย. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี*, 18(3), 87-87.
- ปิยรัชฎ์ ปริญญาพงษ์ เจริญทรัพย์. (2558). พวงคราม. *จุลสาร สวนพฤกษศาสตร์โรงเรียน*, 20(2): 6
- พาสินี สุนากร, งามอาจ ภาพภาณี และ พัชรียา บุญก้อแก้ว. (2559). การศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการจับฝุ่นละอองของพรรณไม้เลื้อย. *สิ่งแวดล้อมสรรค์สร้างวิจัย*, 15(2), 175-186.
- นิพนธ์ ตั้งคณานุรักษ์ และ คณิตา ตั้งคณานุรักษ์. (2552). *เคมีบรรยากาศ*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ราชันย์ ภูมา. (2559). *สารานุกรมพืชในประเทศไทย (ฉบับย่อ) เฉลิมพระเกียรติสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี ทรงเจริญพระชนมายุ 60 พรรษา. กรุงเทพฯ: สำนักงานหอพรรณไม้ สำนักวิจัยการอนุรักษ์ป่าไม้และพันธุ์พืช กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.*

ราชันย์ ภูมา, ปิยชาติ ไตรสารศรี, จิรพรรณ โสภี, นัยนา เทศนา, มานพ ผู้พัฒน์ และ โสมนัสสา ธนิกกุล. (2563). *ต้นไม้ลดฝุ่น PM2.5. กรุงเทพฯ: สำนักวิจัยการอนุรักษ์ป่าไม้และพันธุ์พืช กรมอุทยานแห่งชาติสัตว์ป่า และพันธุ์พืช กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.*

วงศ์จันทร์ วงษ์แก้ว. (2535). *หลักสรีรวิทยาของพืช. กรุงเทพฯ: ฟีนีฟลิซิง.*

วรมน แสนชมภู. (2559). *รูปแบบและวัสดุที่ใช้ในงานก่อสร้างรั้วบ้านพักอาศัย : กรณีศึกษาเขตจตุจักร. (วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย).*

วิเศษนัม นิลนนท์, กุลพร พุทธิ และ จิรพร สวัสดิการ. (2560). *การพัฒนาการผลิตแบ่งฟลาวัวร์และสตาร์ชจากเมล็ดทุเรียน และ การประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร. คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏราโพพรรณี*

Esposito, F., Memoli, V., Panico, S. C., Di Natale, G., Trifuoggi, M., Giarra, A., & Maisto, G. (2020). Leaf traits of *Quercus ilex* L. affect particulate matter accumulation. *Urban Forestry & Urban Greening*, 54, 126780.

Kwak, M. J., Lee, J. K., Park, S., Kim, H., Lim, Y. J., Lee, K. A., Son, J., Oh, C. Y., Kim, I., & Woo, S. Y. (2020). Surface-based analysis of leaf microstructures for adsorbing and retaining capability of airborne particulate matter in ten woody species. *Forests*, 11(9), 1-20.

Leonard, R. J., McArthur, C., & Hochuli, D. F. (2016). Particulate matter deposition on roadside plants and the importance of leaf trait combinations. *Urban Forestry & Urban Greening*, 20, 249-253.

Liang, D., Ma, C., Wang, Y. Q., Wang, Y. J., & Chen-Xi, Z. (2016). Quantifying PM_{2.5} capture capability of greening trees based on leaf factors analyzing. *Environmental science and pollution research*, 23(21), 21176-21186.

- Nowak, D. J., Crane, D. E., & Stevens, J. C. (2006). Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. *Urban forestry & urban greening*, 4(3-4), 115-123.
- Sæbø, A., Popek, R., Nawrot, B., Hanslin, H. M., Gawronska, H., & Gawronski, S. W. (2012). Plant species differences in particulate matter accumulation on leaf surfaces. *Science of the Total Environment*, 427, 347-354.
- Song, Y., Maher, B. A., Li, F., Wang, X., Sun, X., & Zhang, H. (2015). Particulate matter deposited on leaf of five evergreen species in Beijing, China: Source identification and size distribution. *Atmospheric environment*, 105, 53-60.
- Steel, R. G., & Torrie, J. H. (1986). *Principles and procedures of statistics: a biometrical approach*. New York: McGraw-Hill.

เปรียบเทียบผลการเบียนของแตนเบียน *ANISOPTEROMALUS CALANDRAE*
(HOWARD) และ *THEOCOLAX ELEGANS* (WESTWOOD) ต่อด้วงถั่วเขียว
COMPARISON THE EFFECTS OF PARASITISM OF *ANISOPTEROMALUS*
CALANDRAE (HOWARD) AND *THEOCOLAX ELEGANS* (WESTWOOD)
TO BEAN WEEVIL

ณัฐพงศ์ เมธิ์นธรังสรรค์*
Nathapong matintarangson *

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
Faculty of Science and Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University
under the Royal Patronage

Received: 23 August 2021

Accepted: 28 Novemberh 2021

บทคัดย่อ

ปัญหาในการเก็บเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวคือการติดต่อนและการเข้าทำลายของแมลงศัตรูถั่วเขียว โดยเฉพาะอย่างยิ่งด้วงถั่วเขียวเป็นหนึ่งในแมลงศัตรูหลักของถั่วเขียวในประเทศไทย วัตถุประสงค์ของการศึกษารั้งนี้เพื่อเปรียบเทียบผลการเบียนของแตนเบียน *Anisopteromalus calandrae* (Howard) และ *Theocolax elegans* (Westwood) ต่อด้วงถั่วเขียว วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) นำแตนเบียน *A. calandrae* และ *T. elegans* ระหว่างเพศผู้ต่อเพศเมียจำนวน 5 คู่ ใส่ลงไปในขวดแก้วขนาดเล็กซึ่งบรรจุเมล็ดถั่วเขียวที่มีระยะหน่อนวัย 4 ของด้วงถั่วเขียว ขวดละ 100 เมล็ด จำนวน 5 ข้ำ ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำแตนเบียนออก นำไปเลี้ยงที่อุณหภูมิ 25-27 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 75-80 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดลองพบว่าแตนเบียน *A. calandrae* มีการเบียนหน่อนด้วงถั่วเขียววัย 4 สูงกว่าแตนเบียน *T. elegans* โดยที่แตนเบียน *A. calandrae* มีเปอร์เซ็นต์การเบียนและจำนวนแตนเบียนที่ฟักออกมาเฉลี่ยเท่ากับ 78.73 เปอร์เซ็นต์ และ 54.80 ± 3.96 ตัว

* ผู้ประสานงาน: ณัฐพงศ์ เมธิ์นธรังสรรค์
อีเมล: Nathapong@vru.ac.th

ตามลำดับ ในขณะที่แตนเบียน *T. elegans* เท่ากับ 57.19 เปอร์เซ็นต์ และ 33.40 ± 3.61 ตัวตามลำดับ อัตราส่วนเพศผู้เพศเมียของแตนเบียน *A. calandreae* มีค่าเท่ากับ 1:1.73 ในขณะที่แตนเบียน *T. elegans* มีค่าเท่ากับ 1:1.38

คำสำคัญ: การเบียน, *Anisopteromalus calandreae*, *Theocolax elegans*, ตัวงักเขียว

Abstract

The mung bean storage problems were infestation and destruction by mung bean insect pests. Especially, the bean weevil, *Callosobruchus maculatus* (F.), was one of the major pests of mung bean in Thailand. The objective of this research was to compare the effect of parasitism of *Anisopteromalus calandreae* (Howard) and *Theocolax elegans* (Westwood) to the bean weevil. The experiments were arranged in a completely randomized design (CRD). The sex ratio of *A. calandreae* and *T. elegans* between male and female 5 pairs were leaved into glass vials containing 100 seeds of mung bean with the 4th larval instar of bean weevil in the seeds. The treatments were replicated five times. After leaving for 24 hrs the *A. calandreae* and *T. elegans* were removed from the glass vials and was kept at temperature (25-27°C) with Relative Humidity (RH) at (75-80%). The research found that the *A. calandreae* had the parasitism higher than the *T. elegans* at the 4th larval instar of bean weevil. The percentage of parasitism and number of progenies of *A. calandreae* was 78.73% and 54.80 ± 3.96 adults respectively, whereas the *T. elegans* was 57.19% and 33.40 ± 3.61 adults, respectively. The sex ratio of male and female of the *A. calandreae* was 1:1.73 whereas the *T. elegans* was 1:1.38.

Keywords: Parasitism, *Anisopteromalus calandreae*, *Theocolax elegans*, Bean weevil

บทนำ

ถั่วเขียว (mung bean) เป็นพืชตระกูลถั่วที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย เป็นพืชทนแล้งสามารถปลูกได้ทั่วไป ประโยชน์ของการปลูกถั่วเขียวช่วยบำรุงรักษาความอุดมสมบูรณ์ของดิน นอกจากนี้บริเวณรากมักจะพบปมของเชื้อแบคทีเรียไรโซเบียม (*Rizobium* spp.) ทำหน้าที่ช่วยตรึงไนโตรเจนในชั้นบรรยากาศได้ (ช่อลัดดา เทียงพุก, 2559) เมล็ดถั่วเขียวมีคุณค่าทางอาหารสูงซึ่งประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรต 62-65% โปรตีน 25-28% ไขมัน 1-2% จึงนิยมนำมาบริโภคเป็นอาหารของมนุษย์และสัตว์ และยังเป็นวัตถุดิบในการผลิตวันเส้นในโรงงานอุตสาหกรรมอีกด้วย (สำนักงานคณะกรรมการพิเศษเพื่อประสานงาน โครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ, 2553) ปัญหาในระหว่างการเก็บรักษาเมล็ดถั่วเขียวคือการเข้าทำลายของด้วงถั่วเขียว (bean weevil) ซึ่งมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Callosobruchus maculatus* (F.) จัดอยู่ในวงศ์ Bruchidae อันดับ Coleoptera ตัวเต็มวัยมีสีน้ำตาล ปีกสั้นคลุมไม่มีด ส่วนปลายท้องมีแถบหรือจุดสีน้ำตาลเข้มบนปีกทั้งสองข้าง ปลายปีกมีสีดำ ตัวเต็มวัยเพศเมียวางไข่ที่ผิวเมล็ดถั่วประมาณ 40-100 ฟอง ไข่จะฟักเป็นตัวหนอน 3-6 วัน หนอนจะเจาะเมล็ดถั่วอาศัยกัดกินและเจริญเติบโตภายในเป็นเวลา 13-20 วัน ระยะหนอนมีการลอกคราบ 4 ครั้ง แล้วเข้าดักแด้ 3-7 วัน เมื่อดักแด้เข้าสู่ระยะตัวเต็มวัยจะเจาะเมล็ดออกมาสู่ภายนอกเพื่อผสมพันธุ์และวางไข่ต่อไป สร้างความเสียหายให้กับเมล็ดถั่วเขียวทั้งคุณภาพและปริมาณ (สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร, 2551)

การป้องกันกำจัดส่วนใหญ่เกษตรกรนิยมใช้สารเคมี (Chemical insecticide) เนื่องจากสะดวก หาซื้อได้ง่ายและสามารถกำจัดได้ทุกระยะการเจริญเติบโต แต่อย่างไรก็ตามผลกระทบที่ตามมามีหลายด้าน เช่น ปัญหาทางด้านสุขภาพของผู้ใช้ ลดความหลากหลายในระบบนิเวศ ตกค้างในผลผลิตเกษตรและในสิ่งแวดล้อม และที่สำคัญแมลงศัตรูพืชสร้างความต้านทานต่อสารเคมี (Dey et al., 2013; Brühl & Zaller, 2019; Kole et al., 2019) การควบคุมแมลงศัตรูพืชโดยชีววิธี (biological control) เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่ใช้ศัตรูธรรมชาติ ได้แก่ แมลงห้ำ (insect predators) แมลงเบียน (insect parasite) และจุลินทรีย์ต่าง ๆ (microorganisms) ที่มีอยู่แล้วในธรรมชาติมาช่วยป้องกันและกำจัดแมลงศัตรูพืช (Tsegaye et al., 2018) แตนเบียน *Anisopteromalus calandrae* (Howard) กับ แตนเบียน *Theocolax elegans* (Westwood) เป็นแมลงศัตรูธรรมชาติที่มีบทบาทและความสำคัญ

ในการควบคุมแมลงศัตรูเมล็ดพันธุ์พืช โดย *A. calandreae* มีความยาวลำตัวประมาณ 3 มิลลิเมตร ส่วนหัว ออกมีสีดำ ส่วนท้องสีน้ำตาลอ่อน ตาเดี่ยวอยู่ระหว่างตารวม หนวดสั้น 4-5 ปล้อง ในขณะที่ *T. elegans* มีความยาวลำตัวประมาณ 2 มิลลิเมตร มีสีน้ำตาลแดง มีแถบพาดสีดำ ปีกคู่หน้ามีขนแข็งสีดำ และมีแถบสีน้ำตาลตรงกลางปีก แตนเบียนทั้งสองชนิดนี้เป็นแตนเบียนภายนอก (ectoparasitoids) ตัวหนอนของแมลง เพศเมียจะมีอวัยวะวางไข่ (ovipositor) อยู่ปลายสุดส่วนท้องโดยจะวางไข่และเจริญเติบโตภายนอกตัวหนอนแมลงและดักแด้ สามารถลดความหนาแน่นของประชากรแมลงศัตรูเมล็ดพันธุ์ให้อยู่ต่ำกว่าระดับที่จะทำให้เกิดความเสียหายต่อผลผลิตและไม่เป็นอันตรายต่อสภาพแวดล้อม (สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร, 2551)

จากความสำคัญดังกล่าวจึงนำมาสู่งานวิจัยที่ศึกษาเปรียบเทียบผลการเบียนของแตนเบียน *A. calandreae* และ *T. elegans* ต่อด้วงถั่วเขียว นอกจากนี้ยังศึกษาจำนวนลูกหลาน (progeny) ที่ฟักออกมาและอัตราส่วนเพศที่ได้จากด้วงถั่วเขียว เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานนำไปสู่การประเมินศักยภาพของแตนเบียนและนำแตนเบียนมาเลี้ยงขยายเพิ่มปริมาณในการควบคุมแมลงศัตรูเมล็ดพันธุ์ต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

การเลี้ยงและขยายพันธุ์ด้วงถั่วเขียว

เก็บตัวอย่างด้วงถั่วเขียว (รูปที่ 1) จากโรงงานเก็บเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียว อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี มาเลี้ยงขยายพันธุ์เพื่อเพิ่มจำนวนด้วงถั่วเขียวในห้องปฏิบัติการชีววิทยาที่อุณหภูมิ 25-27 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 75-80 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้ถั่วเขียวจากเกษตรกรที่ปราศจากการรมสารฆ่าแมลงมาเลี้ยงเป็นอาหารสำหรับด้วงถั่วเขียว บรรจุเมล็ดถั่วเขียวปริมาณ 300 กรัม ลงในขวดแก้วที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 เซนติเมตร สูง 16 เซนติเมตร ขนาดปริมาตร 803.84 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใส่ตัวเต็มวัยของด้วงถั่วเขียวทั้งเพศผู้และเพศเมียลงในขวดแก้วจำนวน 50 คู่ ปิดด้วยผ้าขาวบางรัดด้วยหนังยาง ทิ้งไว้ประมาณ 7 วัน หลังจากนั้นนำตัวเต็มวัยของด้วงถั่วเขียวออกให้หมด ปิดด้วยผ้าขาวบางรัดด้วยหนังยางและนำไปวางไว้บนชั้นเลี้ยงแมลง เมล็ดถั่วเขียวจะถูกตัวเต็มวัยของด้วงถั่วเขียววางไข่ฟักเป็นตัวหนอนกัดกินอยู่ในเมล็ด จากนั้นจะเข้าดักแด้และพัฒนาเจริญเติบโตเป็นตัวเต็มวัยรุ่นที่ 1 (F_1) จะได้ตัวเต็มวัยที่มีอายุใกล้เคียงกันเพื่อใช้ในการทดลองต่อไป



รูปที่ 1 ลักษณะโดยทั่วไปของดักแด้ยีส

การเตรียมดักแด้ยีสและแตนเบียน *A. calandrar* และ *T. elegans* เพื่อใช้ในการทดลอง

คัดเลือกเมล็ดดักแด้ยีสที่มีระยะหนอนวัย 4 ของดักแด้ยีสอยู่ภายในเมล็ดมาใช้ในการทดลอง โดยสังเกตช่วงเวลาการเจริญเติบโตในเมล็ดดักแด้ยีสเป็นเวลาประมาณ 18-20 วัน (หลังจากปล่อยตัวเต็มวัยของดักแด้ยีส) ตัวอย่างละ 100 เมล็ด ใส่ในขวดแก้วขนาดเล็กที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร สูง 8 เซนติเมตร ปิดด้วยผ้าขาวบางรัดด้วยหนังยาง แต่ละชุดการทดลอง (Treatment) ทำทั้งหมด 5 ซ้ำ ข้อสังเกตลักษณะของเมล็ดดักแด้ยีสที่มีระยะหนอนวัย 4 ของดักแด้ยีส เมล็ดดักแด้ยีสจะรอยเจาะเป็นรูและแตกพ่นเล็กน้อย พร้อมทั้งจะนำไปทดลองให้แตนเบียนวางไข่ ในขณะที่แตนเบียน *A. calandrar* และ *T. elegans* สํารวจและเก็บตัวอย่างจากโรงเก็บเมล็ดพันธุ์ของเกษตรกร อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี นำมาเลี้ยงและขยายพันธุ์เพิ่มจำนวนในห้องปฏิบัติการ โดยใช้หนอนดักแด้ยีสข้าวโพด (*Sitophilus zeamais* Motschulsky) เป็นแมลงอาศัย

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเบียนของ *A. calandrar* และ *T. elegans* ต่อดักแด้ยีส

นำแตนเบียน *A. calandrar* และ *T. elegans* จำนวน 5 คู่ แยกความแตกต่างภายใต้กล้องสเตอริโอ แตนเบียน *A. calandrar* บริเวณส่วนอกมีสีดำ (รูปที่ 2ก) ในขณะที่แตนเบียน *T. elegans* มีสีน้ำตาลแดงและมีแถบพาดสีดำ (รูปที่ 2ข) ใส่ลงในขวดแก้วขนาดเล็กซึ่งบรรจุเมล็ดดักแด้ยีสที่มีระยะหนอนวัย 4 ของดักแด้ยีส ขวดละ 100 เมล็ด จำนวน 5 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete randomized design;

CRD) ปิดฝาขวดด้วยผ้าขาวบางรัดด้วยหนังยาง ปล่อยให้แตนเบียนทั้งสองชนิดเบียนเมื่อดักตัว
 เชี่ยวที่มีหนอนของตัวงัวเขียววัย 4 โดยเพศเมียจะใช้อวัยวะวางไข่ที่แทงเข้าเข้าไปในตัว
 หนอน (รูปที่ 3) ทั้งไว้ประมาณ 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำแตนเบียน *A. calandrae* และ *T. elegans*
 ออกจากขวดแก้ว นำขวดแก้วที่ถูกแตนเบียน *A. calandrae* และ *T. elegans*
 เบียนแล้วนำไปวางไว้บนชั้นเลี้ยงแมลงภายใต้อุณหภูมิห้องปฏิบัติการที่อุณหภูมิ 25-27 องศา
 เซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 75-80 เปอร์เซ็นต์ เพื่อศึกษาการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การเบียน
 (parasitism) จำนวนแตนเบียนที่ฟักออกมา (progeny) และอัตราส่วนเพศ (sex ratio) ของ
 แตนเบียนที่ฟักออกมา การคำนวณเปอร์เซ็นต์การเบียน โดยใช้วิธีการของ Mahal et al.
 (2005) จากสมการดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์การเบียน (\% parasitism)} = \frac{\text{จำนวนแตนเบียนที่ฟัก} \times 100}{\text{จำนวนตัวงัวเขียวที่ฟัก} + \text{จำนวนแตนเบียนที่ฟัก}}$$

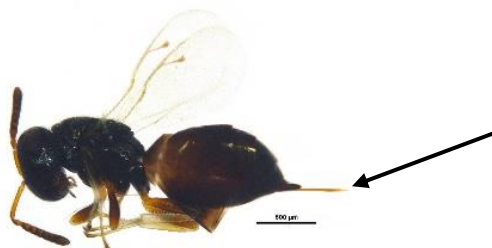


(ก)



(ข)

รูปที่ 2 ลักษณะโดยทั่วไปของแตนเบียน (ก) *A. calandrae* (ข) *T. elegans*



รูปที่ 3 ลักษณะอวัยวะวางไข่ (ovipositor) ของแตนเบียน *A. calandrae*

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการเปรียบเทียบการเบียนและจำนวนตัวเต็มวัยของ *A. calandreae* และ *T. elegans*

จากผลการเปรียบเทียบการเบียนและจำนวนตัวเต็มวัยของแตนเบียน *A. calandreae* และ *T. elegans* ที่ฟักออกมาจากด้วงถั่วเขียววัย 4 พบว่าแตนเบียน *A. calandreae* มีเปอร์เซ็นต์การเบียนหนอนด้วงถั่วเขียววัย 4 สูงกว่าแตนเบียน *T. elegans* โดยที่แตนเบียน *A. calandreae* มีเปอร์เซ็นต์การเบียนหนอนด้วงถั่วเขียววัย 4 สูงสุดเท่ากับ 78.73 เปอร์เซ็นต์ และแตนเบียน *T. elegans* มีเปอร์เซ็นต์การเบียนหนอนด้วงถั่วเขียววัย 4 เท่ากับ 57.19 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่จำนวนแตนเบียนที่ฟักออกมาจากหนอนด้วงถั่วเขียววัย 4 พบว่าแตนเบียน *A. calandreae* มีจำนวนแตนเบียนเฉลี่ยสูงกว่าแตนเบียน *T. elegans* โดยจำนวนแตนเบียน *A. calandreae* มีจำนวนมากที่สุดเฉลี่ย 54.80 ± 3.96 ตัว ในขณะที่จำนวนแตนเบียน *T. elegans* มีค่าเท่ากับ 33.40 ± 3.61 ตัว (ตารางที่ 1) จากผลการวิจัยจะเห็นได้ว่าแตนเบียนทั้งสองชนิดมีประสิทธิภาพสามารถเบียนด้วงถั่วเขียวได้ ซึ่งเป็นการควบคุมแมลงศัตรูเมล็ดพันธุ์โดยชีววิธีเป็นการใช้สิ่งมีชีวิตควบคุมกันเอง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ngamo et al. (2007) ที่ได้ใช้แตนเบียน *A. calandreae* ควบคุมด้วงถั่วเขียวในโรงเก็บเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียว โดยสามารถลดจำนวนประชากรด้วงถั่วเขียวลงได้ 42.34 เปอร์เซ็นต์ และงานวิจัยของ Bodlah et al. (2016) ยังอธิบายว่าแตนเบียน *A. calandreae* มีพฤติกรรมชอบเบียนตัวหนอนของเมล็ดพันธุ์พืชตระกูลถั่ว เช่น ถั่วเขียว ถั่วเหลือง ถั่วดำ และถั่วแดง ได้อีกด้วย ทั้งนี้ Moosavi et al. (2021) ยังรายงานว่ากลไกในการค้นหาอาหารของแตนเบียน *A. calandreae* จะอยู่ที่บริเวณปลายหนวดซึ่งจะมีขนแบบ trichoid sensilla ในการรับกลิ่นหรือสารเคมี (chemoreceptor) โดยสามารถค้นหากลิ่นของตัวหนอนแมลงอาศัยถึงแม้ว่าตัวหนอนจะอาศัยอยู่ในเมล็ดพันธุ์ก็ตาม ในขณะที่แตนเบียน *T. elegans* มักจะชอบเบียนตัวหนอนในเมล็ดพันธุ์ที่ลักษณะภายนอกไม่แข็งแรงเกินไป ถ้าเมล็ดพันธุ์ที่มีลักษณะแข็งแรงจะส่งผลต่อการตีเมแทงและวางไข่ของแตนเบียน (Sitthichaiyakul et al., 2018)

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การเบียนและจำนวนแตนเบียนที่ฟักออกมาจากหนอน
ด้วงถั่วเขียววัย 4

แตนเบียน	การเบียน (%)	จำนวนแตนเบียนเฉลี่ย (ตัว $\pm$ SD)
<i>A. calandreae</i>	78.73	54.80 $\pm$ 3.96
<i>T. elegans</i>	57.19	33.40 $\pm$ 3.61

ผลการศึกษาเพศและอัตราส่วนเพศของแตนเบียน *A. calandreae* และ *T. elegans*

จากผลการศึกษาเพศและอัตราส่วนเพศของแตนเบียน *A. calandreae* และ *T. elegans* ที่ฟักออกมาจากด้วงถั่วเขียววัย 4 พบว่าเพศผู้และเพศเมียของแตนเบียน *A. calandreae* มีจำนวนเฉลี่ยสูงกว่าแตนเบียน *T. elegans* โดยที่แตนเบียน *A. calandreae* มีจำนวนเพศผู้และเพศเมียเฉลี่ย 18.60 และ 32.20 ตัว ตามลำดับ ในขณะที่แตนเบียน *T. elegans* มีจำนวนเพศผู้และเพศเมียเฉลี่ย 13.60 และ 18.80 ตัว ตามลำดับ อัตราส่วนเพศผู้ต่อเพศเมียของแตนเบียน *A. calandreae* เท่ากับ 1:1.73 ในขณะที่อัตราส่วนเพศผู้ต่อเพศเมียของแตนเบียน *T. elegans* เท่ากับ 1:1.38 (ตารางที่ 2) จากผลการวิจัยการการเบียนของแตนเบียน *A. calandreae* จะมีจำนวนเพศผู้และเพศเมียจำนวนมากกว่าแตนเบียน *T. elegans* และมีอัตราส่วนระหว่างเพศผู้กับเพศเมียสูงกว่าอีกด้วย ซึ่งอาจจะเกิดจากพฤติกรรมความชอบ การค้นหาถิ่นอาหาร และขนาดพื้นที่อาหารมีขนาดใหญ่จึงส่งผลต่อการเบียนของแตนเบียน (Ji et al., 2004) นอกจากนี้อายุของแมลงอาศัย (Host age) ยังส่งผลต่ออัตราส่วนเพศ จากงานวิจัยของ Dlamini & Amornsak (2014) พบว่าตัวหนอนที่เป็นแมลงอาศัยของแตนเบียน เมื่อมีอายุมากขึ้นจะมีอัตราส่วนของเพศผู้กับเพศเมียสูงขึ้นและจะให้เพศเมียสูงกว่าเพศผู้ อาจเป็นเพราะลำตัวหนอนอาศัยมีขนาดใหญ่มีพื้นที่ผิวมาก ซึ่งมีความเหมาะสมในการเจริญเติบโตของตัวอ่อนและพัฒนารังไข่ของระบบสืบพันธุ์ของแตนเบียนเพศเมีย เพื่อการขยายพันธุ์และดำรงเผ่าพันธุ์ต่อไป

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบจำนวนเพศผู้ เพศเมียและอัตราส่วนระหว่างเพศจากหนอนดั่ง
ถั่วเขียววัย 4

แตนเบียน	เพศผู้ (ตัว)	เพศเมีย (ตัว)	อัตราส่วนเพศผู้ : เพศเมีย (sex ratio)
<i>A. calandreae</i>	18.60	32.20	1:1.73
<i>T. elegans</i>	13.60	18.80	1:1.38

สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลองแตนเบียน *A. calandreae* มีประสิทธิภาพการเบียนหนอนดั่งถั่วเขียววัย 4 และให้จำนวนตัวเต็มวัยและอัตราส่วนระหว่างเพศผู้กับเพศเมียสูงกว่าแตนเบียน *T. elegans* อาจเป็นเพราะพฤติกรรมความชอบโฮสต์ที่มีขนาดลำตัวใหญ่มีพื้นที่ผิวมากซึ่งเหมาะต่อการวางไข่และเจริญเติบโตภายนอกตัวโฮสต์ นอกจากนี้แตนเบียน *A. calandreae* มีประสิทธิภาพในการค้นหาโฮสต์อาศัยได้ดีกว่าแตนเบียน *T. elegans* การควบคุมโดยชีววิธีเป็นการควบคุมแมลงศัตรูพืชโดยใช้สิ่งมีชีวิตคอยควบคุมกันเองซึ่งเป็นวิถีทางตามธรรมชาติ โดยที่เกษตรกรสามารถเพาะเลี้ยงและขยายพันธุ์เพื่อเพิ่มจำนวนให้มีปริมาณมาก ๆ และมีอัตราส่วนเพศเมียสูง เพื่อนำไปปล่อยให้แก่แตนเบียนควบคุมประชากรของแมลงศัตรูพืช ซึ่งมีความปลอดภัยไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ สัตว์ และสิ่งแวดล้อม

เอกสารอ้างอิง

- ช่อลัดดา เทียงพุท. (2559). ถั่วเขียว: พืชทนแล้ง คุณค่าทางอาหารสูง. *อาหาร*, 46(4), 37-42.
- สำนักงานคณะกรรมการพิเศษเพื่อประสานงาน โครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ. (2553). *คู่มือ การผลิตวันเส้นจากถั่วเขียว*. กรุงเทพฯ: หจก. อรุณการพิมพ์.
- สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร. (2551). *แมลงที่พบในผลิตผลเกษตรและการป้องกันกำจัด*. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.

- Bodlah, I., Bodlah, M. A., Naeem, M., Khaliq, S., & Aihetasham, A. (2016). First record of *anisopteromalus calandrae* (Howard, 1881) (Hymenoptera: Chalcidoidea: Pteromalidae) as a potential bio-control agent of stored grain beans from Rawalpindi and Islamabad. *Asian Journal of Agriculture and Biology*, 4(3), 73–76.
- Brühl, C. A., & Zaller, J. G. (2019). Biodiversity decline as a consequence of an inappropriate environmental risk assessment of pesticides. *Frontiers in Environmental Science*, 7, Doi: 10.3389/fenvs.2019.00177.
- Dey, K. R., Choudhury, P., & Dutta, B. K. (2013). Impact of pesticide use on the health of farmers: A study in Barak valley, Assam (India). *Journal of Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, 5(10), 269–277.
- Dlamini, B. E., & Amornsak, W. (2014). Effect of host age on progeny production of *Theocolax elegans* (Westwood) (Hymenoptera: Pteromalidae) reared on *Sitophilus zeamais* (Motschulsky) (Coleoptera: Curculionidae). *Kasetsart Journal Natural Science*, 48, 587–597.
- Ji, J., Choi, W., & Ryoo, M. (2004). Fitness and sex allocation of *Anisopteromalus calandrae* (Hymenoptera: Pteromalidae): relative fitness of large females and males in a multi-patch system. *Annals of the Entomological Society of America*, 97(4), 825–830.
- Kole, R. K., Roy, K., Panja, B. N., Sankarganesh, E., Mandal, T., & Worede, R. E. (2019). Use of pesticides in agriculture and emergence of resistant pests. *Indian Journal of Animal Health*, 58(2) Special Issue, 53–70.
- Mahal, N., Islam, W., Parween, S., & Mondal, K. A. M. S. H. (2005). Effect of *Anisopteromalus calandrae* (Hymenoptera: Pteromalidae) in controlling residual populations of *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrichidae) in wheat stores. *International Journal of Tropical Insect Science*, 25(4), 245–250.

- Moosavi, M., Zandi-Sohani, N., & Rajabpour, A. (2021). Olfactory responses of the parasitoid wasp, *Anisopteromalus calandrae* (Hymenoptera: Pteromalidae) to odors from hosts and stored grain. *Journal of Plant Protection Research*, 61(2), 189–194.
- Ngamo, T. S. L., Kouninki, H., Ladang, Y. D., Ngassoum, M. B., Mapongmestsem, P. M., & Hance T. (2007). Potential of *Anisopteromalus calandrae* (Hymenoptera: Pteromalidae) as biocontrol agent of *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Bruchidae). *African Journal of Agricultural Research*, 2(4), 168–172.
- Sitthichaiyakul, S., Kengkanpanich, R., Noochanapai, P., & Amornsak, W. (2018). Host-age preference of *Theocolax elegans* (Westwood) (Hymenoptera: Pteromalidae), a larval parasitoid of the lesser grain borer, *Rhyzopertha dominica* (Fabricius) (Coleoptera: Bostrichidae) and the cowpea weevil, *Callosobruchus maculatus* (Fabricius) (Coleoptera: Chrysomelidae). In: Proceedings of the 12th International Working Conference on Stored Product Protection (IWCSPP). October 7–11, Berlin, Germany.
- Tsegaye, Z., Assefa, F., Tefera, G., Alemu, T., Gizaw, B., & Abatenh, E. (2018). Concept, principle and application of biological control and their role in sustainable plant diseases management strategies. *International Journal of Research Studies in Biosciences (IJRSB)*, 6(4), 18–34.

เพคตินไฮโดรเจลจากผักตบชวาสำหรับการดูดซับตะกั่วและแคดเมียม
PECTIN HYDROGEL FROM WATER HYACINTH (*EICHHORNIA CRASSIPES*)
FOR LEAD AND CADMIUM ADSORPTION

เอราวัณ เบ้าทอง* และ พิสิษฐ์ เจริญสุดใจ
Erawan Baothong* and Pisit Chareonsudjai

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
Environmental Science, Faculty of Science, Khon Kaen University

Received: 23 August 2021

Accepted: 28 November 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาการดูดซับตะกั่วและแคดเมียมโดยใช้เพคตินไฮโดรเจลที่สกัดจากผักตบชวาที่มีร้อยละหมู่เอสเทอร์เท่ากับ 94.13 ในสารละลายที่มี pH 1.00 – 6.00 ศึกษาเวลาในการดูดซับ 0 – 1,440 นาที ที่อุณหภูมิ 25 °C ความเข้มข้นของตะกั่วและแคดเมียมในน้ำเท่ากับ 100 mg/L ใช้สมการแลงเมียร์และฟรุนดริชในการอธิบายสมดุลการดูดซับ ผลการวิจัย พบว่า ค่าความสามารถในการดูดซับตะกั่วและแคดเมียมของเพคตินไฮโดรเจลจะมีประสิทธิภาพ สูงสุดที่ pH เท่ากับ 4.00 มีค่าความสามารถในการดูดซับ (qe) ตะกั่วและแคดเมียมเท่ากับ 66.98 mg/g และ 58.96 mg/g ตามลำดับ ปัจจัยด้านเวลา พบว่าเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการปลดปล่อยตะกั่วและแคดเมียมจากเพคตินไฮโดรเจลคือ 60 นาทีที่มีค่าความสามารถในการปลดปล่อยตะกั่วและแคดเมียมมากที่สุดเท่ากับร้อยละ 67.80 และ 70.44 ตามลำดับ ในด้านของไอโซเทอร์มการดูดซับตะกั่วและแคดเมียมของเพคตินไฮโดรเจลสอดคล้องกับสมการแลงเมียร์มากกว่าสมการฟรุนดริช โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) ของไอโซเทอร์มสมการแลงเมียร์ของตะกั่วและแคดเมียมเท่ากับ 0.97 และ 0.99 ตามลำดับ

คำสำคัญ: ตะกั่ว, แคดเมียม, เพคตินไฮโดรเจล, ผักตบชวา

* ผู้ประสานงาน: นายเอราวัณ เบ้าทอง
อีเมล: zempujin@gmail.com

Abstract

The objective of this research was to investigate the lead and cadmium adsorption by using pectin hydrogel extracted from water hyacinth with ester group percentage of 94.13 in solution with pH ranging from 1.0 – 6.0, including adsorption time ranging from 0 – 1,440 minutes at 25 °C. and the initial concentration of lead and cadmium in water was at 100 mg/L. The Langmuir and Freundlich sorption models were used to describe the adsorption isotherms and sorption constant. The research found that lead and cadmium adsorption capacity of pectin hydrogels was the most effective at the pH of 4.0. The equilibrium concentration (QE) of lead and cadmium was at 66.98 mg/g and 58.96 mg/g, respectively. According to the Time Factor, It was found that the optimum time for lead and cadmium release from pectin hydrogels was 60 minutes, and the lead and cadmium liberation values were 67.80% and 70.44 percent, respectively. In terms of isotherms, the lead and cadmium adsorption of pectin hydrogels were more consistent with the Langmuir equation than the Fridrich equation. The correlation coefficient (R²) of the isotherm, Langmuir equation of lead and cadmium was at 0.97 and 0.99, respectively.

Keywords: Lead, Cadmium, Pectin hydrogel, Water hyacinth

บทนำ

ผักตบชวา (*Eichhornia crassipes*.) เป็นพืชในตระกูล PONTEDERIACEAE ผักตบชวา เป็นพืชน้ำที่สามารถมีชีวิตอยู่ในน้ำได้ตลอดทั้งปี แพร่พันธุ์ในแหล่งน้ำอย่างรวดเร็ว (Carlini et al., 2018) ส่งผลทำให้ปิดกั้นทางน้ำไหล ลดการละลายของออกซิเจนลงสู่แหล่งน้ำ นอกจากนี้บางส่วนของผักตบชวาสามารถจมลงในน้ำและเน่าเปื่อยกลายเป็นขยะอินทรีย์ ก่อให้เกิดเป็นปัญหาหามลพิษในน้ำได้อีกด้วย ปัจจุบันวิธีการจัดการผักตบชวาที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือการทำปุ๋ยหมักและงานหัตถกรรม (Weiping et al., 2018) แต่ในพื้นที่ส่วนใหญ่ มักใช้วิธีตัดขึ้นและทิ้งไว้ที่ริมตลิ่ง ซึ่งยังไม่มีประสิทธิภาพ รูปเพียงพองและสิ้นเปลืองงบประมาณ

เนื่องจากผักตบชวามีมากและเพิ่มขึ้นรวดเร็วและยังไม่มีวิธีการในการสร้างสินค้ามูลค่าสูงเพื่อสร้างความน่าสนใจในลงทุนทางธุรกิจ ดังนั้นการหาวิธีการกำจัดผักตบชวาและผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าทางอุตสาหกรรมจึงเป็นสิ่งสำคัญ เพื่อสร้างแรงจูงใจให้มีความต้องการนำผักตบชวาไปใช้เป็นวัตถุดิบซึ่งจะเป็นการกำจัดโดยทางอ้อม

เพคตินเป็นโพลีแซคคาไรด์ที่มีโมเลกุลที่มีน้ำหนักสูงเกิดตามธรรมชาติ (Levigne et al., 2002; เอรารวิน เบ้าทอง, 2561) มีการศึกษาพบสารเพคตินในผักตบชวา (Naohara & Ishii, 1989) ซึ่งเพคตินสามารถใช้ได้กับหลายอุตสาหกรรม อาทิ อาหารและยา (Shukla et al., 2014) เพคตินมีความสามารถที่ดีสำหรับการดูดซับโลหะหนัก โดยการดูดซับจะเกิดขึ้นที่บริเวณของหมู่คาร์บอกซิลิกในสายโซ่พอลิเมอร์ คุณสมบัติการดูดซับได้รับผลกระทบจากปัจจัยภายนอกและมีความสัมพันธ์กับโครงสร้างโมเลกุลของเพคติน ดังนั้นถ้ามีการศึกษาให้เพิ่มขึ้นจะสามารถใช้เพคตินในการดูดซับโลหะหนักที่มีความเฉพาะเจาะจงกับโลหะหนักที่ต้องการได้ (Wang et al., 2019) โดยได้มีศึกษาการนำเพคตินมาขึ้นรูปเป็นไฮโดรเจลซึ่งมีความสามารถในการดูดซับสารละลายที่มีโลหะหนักปนเปื้อนอยู่ได้ อีกทั้งยังมีความทนทานต่อการสูญเสียเพคตินไปในการละลายน้ำ (Kaushik et al., 2020) ทำให้ในปัจจุบันมีความสนใจศึกษาการผลิตเพคตินเป็นไฮโดรเจลเพิ่มขึ้น (Wang et al., 2019; Bhattacharyya et al., 2020; Thakur et al., 2019)

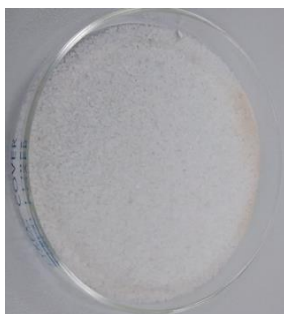
ดังนั้นการศึกษาค้นคว้าจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตเพคตินไฮโดรเจลที่สกัดจากผักตบชวา สำหรับใช้ในการดูดซับโลหะหนักได้แก่ ตะกั่วและแคดเมียม เพื่อเป็นทางเลือกในการใช้ประโยชน์จากผักตบชวา ส่งผลให้การจัดการผักตบชวาดีขึ้นทางอ้อม ลดการใช้งบประมาณจากรัฐในการกำจัดผักตบชวา และมีปริมาณผักตบชวาอันจะก่อให้เกิดผลเสียต่อแหล่งน้ำตามธรรมชาติลดลง

วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการเตรียมเพคตินไฮโดรเจลที่สกัดจากผักตบชวา

สกัดเพคตินจากผักตบชวาหนัก 1,000 กรัม โดยใช้ใช้กรดไฮโดรคลอริก (ยี่ห้อ ACI lab scan AR grade lot no. 21 05 0194) ปรับสถานะของสารละลายให้มีค่า pH เท่ากับ 2.5 ใช้เวลาสกัด 30 นาที ที่อุณหภูมิ 110 °C คั้นสารละลายและกรองผ่านผ้าขาวบาง และตกตะกอนด้วย 95% เอทานอล (ยี่ห้อ ACI lab scan AR grade lot no. 21 06 0489)

ที่แช่เย็น จากนั้นละลายเพคตินในน้ำปราศจากไอออนที่อุ่น ($60\text{ }^{\circ}\text{C}$) ในอัตราส่วน 3:100 w/v (ใช้น้ำหนักเพคติน 3.00 กรัมต่อน้ำ 100 มิลลิลิตร) แล้วตกตะกอนเพคตินไฮโดรเจลในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 2.0 M จากนั้นทำการเติม 1.0 M CaCl_2 ปริมาตร 10 มิลลิลิตรผสมกับ H_3BO_3 ที่มีความเข้มข้น 2.0 M ปริมาตร 10 มิลลิลิตร นำสารเก็บไว้ที่ตู้เย็นอุณหภูมิ $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ นาน 4 ชั่วโมง จะได้เพคตินไฮโดรเจล ดัง รูปที่ 1



รูปที่ 1 ลักษณะทางกาย รูปของเม็ดเพคตินไฮโดรเจล

ขั้นตอนการศึกษาความสามารถในการดูดซับโลหะหนักในน้ำของเพคตินไฮโดรเจล และการนำกลับมาใช้ใหม่

บรรจุเพคตินไฮโดรเจลที่ผ่านการแช่น้ำปราศจากไอออน น้ำหนัก 1.00 กรัม ลงในสารละลายโลหะหนักผสมตะกั่วและแคดเมียมที่มีความเข้มข้นอย่างละ 100 mg/L ปริมาตรรวม 100.0 มิลลิลิตร (Jakobik-Kolon et al., 2014) ปรับค่า pH ให้มีค่าเท่ากับ 1.00, 2.00, 3.00, 4.00, 5.00 และ 6.00 ด้วยกรดไนตริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์ หมุนปั่นสารละลายด้วย magnetic stirrer ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 0, 15, 60, 120, 240, 480 และ 1,440 นาที ที่อุณหภูมิ $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ นำสารละลายไปวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วและแคดเมียมด้วยเครื่อง Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometer (ICP-OES) (ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น Avio 560 Max) วิเคราะห์หาความสามารถในการดูดซับโลหะหนัก ดังสมการ (1) และ (2) คำนวณดังนี้ (Lessa et al., 2020)

$$qt = \left(\frac{C_0 - C_e}{m} \right) V \quad (1)$$

$$\text{removal (\%)} = \left(\frac{C_0 - C_e}{C_0} \right) \times 100 \quad (2)$$

- เมื่อ qt คือ ปริมาณโลหะหนักที่ถูกดูดซับโดยไฮโดรเจล
 C_0 คือ ความเข้มข้นของโลหะหนักเริ่มต้น (ppm)
 C_e คือ ความเข้มข้นของโลหะหนักในสารละลาย ณ เวลาใด (ppm)
 m คือ น้ำหนักของไฮโดรเจล (กรัม)
 V คือ ปริมาณของสารละลายที่ใช้ (ลิตร)

จากนั้นนำเพคตินไฮโดรเจลที่ผ่านขั้นตอนการดูดซับสารละลายโลหะหนักผสมตะกั่วและแคดเมียม มาเติมกรดไนตริกความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร หมนปั่นสารละลายด้วย Magnetic stirrer ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 25 °C นำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วและแคดเมียม ด้วยเครื่อง Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometer (ICP-OES) และ ใช้สมการที่ (3) ในการคำนวณหาความสามารถในการปลดปล่อยโลหะหนัก ดังนี้ (Lessa et al., 2020)

$$\text{Desorption (\%)} = \frac{Q_{des}}{Q_{ads}} \times 100 \quad (3)$$

- เมื่อ Q_{des} คือ ปริมาณของไอออนของโลหะที่ถูกปลดปล่อย (mg/g)
 Q_{ads} คือ ปริมาณของไอออนของโลหะที่ถูกดูดซับ (mg/g)

ใช้สมการ Langmuir isotherm และ Freundlich isotherm เพื่อใช้ในการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับตะกั่วและแคดเมียมของเพคตินไฮโดรเจลดังในสมการที่ (4) และ (5) ตามลำดับ ดังนี้ (Lessa et al., 2020)

$$\frac{1}{q} = \left(\frac{1}{Kq_m C} \right) + \left(\frac{1}{q_m} \right) \quad (4)$$

- เมื่อ q คือ ปริมาณตัวถูกดูดซับบนพื้นที่ผิวตัวดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับ (ความสามารถการดูดซับ)(มิลลิกรัม/กรัม)
 q_m คือ ความสามารถสูงสุดในการดูดซับ (มิลลิกรัม/กรัม)
 K คือ ค่าคงที่การดูดซับ
 C คือ ความเข้มข้นที่จุดสมดุลของโลหะหนักในสารละลาย (มิลลิกรัม/ลิตร)

$$\log q = \log K + \frac{1}{n} \log C \quad (5)$$

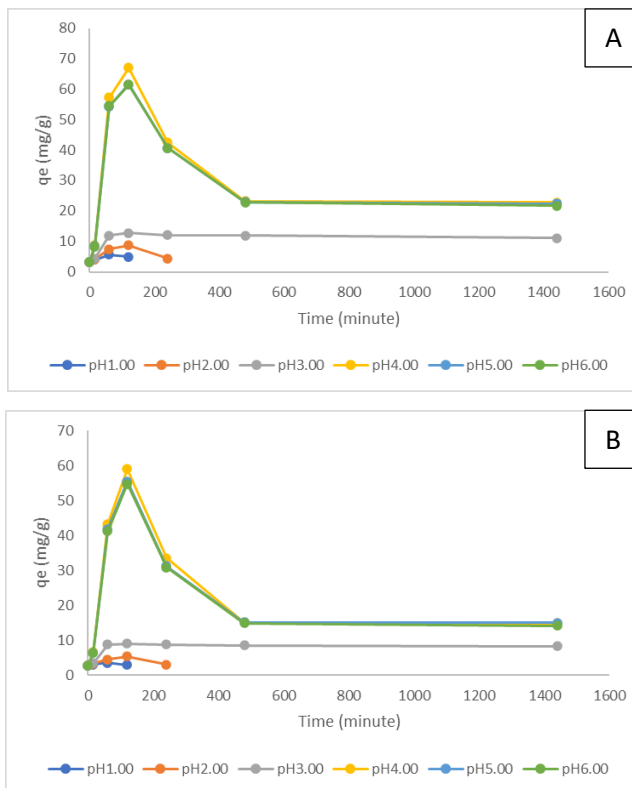
เมื่อ K คือ ความสามารถในการดูดซับสัมพัทธ์ (mmol/g)

n คือ ค่าคงที่ของฟรุนดริช

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

การศึกษาความสามารถในการดูดซับโลหะหนักในน้ำของเพคตินไฮโดรเจล

เวลาในการสกัดและค่า pH ของสารละลายเป็นปัจจัยที่มีสำคัญอย่างยิ่งในการศึกษาความสามารถของการดูดซับโลหะหนัก รูปแบบของการดูดซับสารละลายโลหะหนักผสมระหว่างตะกั่ว (Pb) และ แคดเมียม (Cd) ใช้วิธีออกแบบให้สารละลายมีค่า pH เท่ากับ 1.00, 2.00, 3.00, 4.00, 5.00 และ 6.00 ตามลำดับ พบผลการศึกษาดัง รูปที่ 2



รูปที่ 2 อิทธิพลค่า pH ของสารละลายโลหะผสมตะกั่ว (A) และแคดเมียม (B)

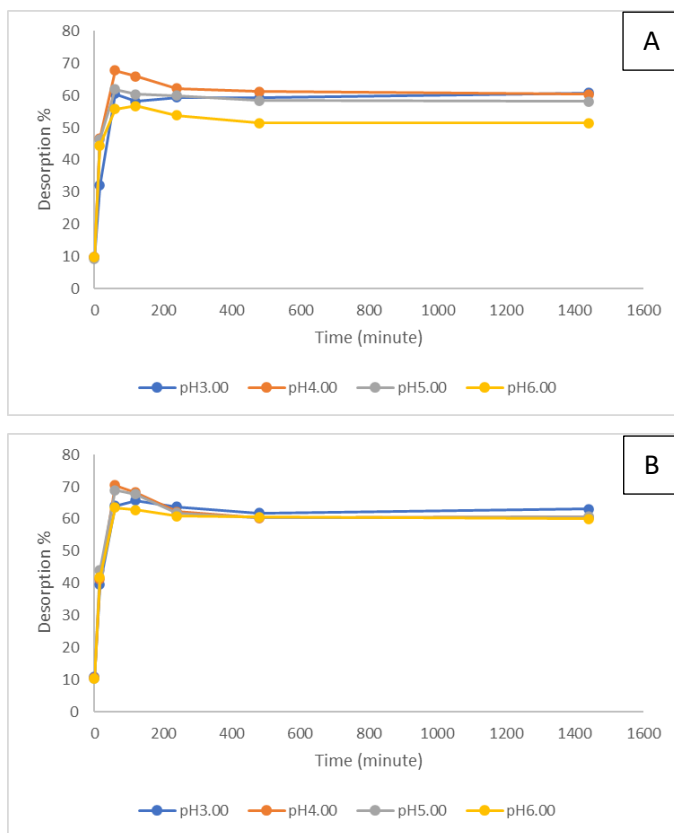
ต่อความสามารถในการดูดซับของเพคตินไฮโดรเจล

จาก รูปที่ 2 พบว่าเพคตินไฮโดรเจลในสารละลายที่มีค่า pH เท่ากับ 1.00 และ 2.00 ละลายหมดก่อน ทำให้ไม่มีความเหมาะสมในการใช้เตรียมเป็นสารละลายเพื่อดูดซับโลหะหนัก เพคตินไฮโดรเจลเริ่มมีประสิทธิ รูปในการใช้เป็นสารดูดซับ เมื่อสารละลายมีค่า pH ตั้งแต่ 3.00 เป็นต้นไป สำหรับเวลาที่เหมาะสมในการใช้เพคตินไฮโดรเจลดูดซับสารละลายตะกั่วและแคดเมียม จาก รูปที่ 2 คือ ที่เวลา 120 นาที และเริ่มลดลงตามลำดับ โดยความสามารถในการดูดซับตะกั่วและแคดเมียมที่เวลา 1,440 นาที เท่ากับ 22.76 และ 14.89 mg/g ตามลำดับ สำหรับความสามารถในการดูดซับตะกั่วและแคดเมียมของเพคตินไฮโดรเจลจะมีประสิทธิ รูปสูงสุดที่ pH เท่ากับ 4.00 มีค่าความสามารถในการดูดซับ (qe) ตะกั่วและแคดเมียมเท่ากับ 66.98 mg/g และ 58.96 mg/g ตามลำดับ จากผลการศึกษานี้ พบว่า เพคตินไฮโดรเจลมีความสามารถดูดซับตะกั่วได้ดีกว่าแคดเมียม

การศึกษาความสามารถในการปลดปล่อยโลหะหนัก

ประสิทธิ รูปในการปลดปล่อยตะกั่วและแคดเมียมจากเพคตินไฮโดรเจล โดยนำ เพคตินไฮโดรเจลที่ผ่านขั้นตอนการดูดซับสารละลายตะกั่วและแคดเมียม มาเติมกรดไนตริก ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร หมุนปั่นสารละลายด้วย Magnetic stirrer ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 25 °C เพคตินไฮโดรเจลก่อนและหลังอบดังใน รูปที่ 3

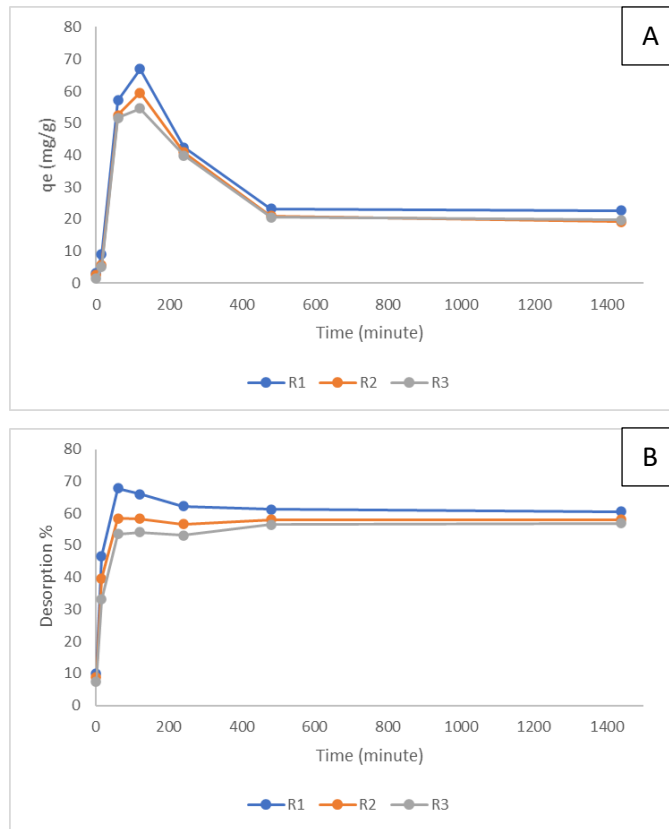
จาก รูปที่ 3 พบว่า เวลาที่เหมาะสมที่สุดในการปลดปล่อยตะกั่วและแคดเมียมจากเพคตินไฮโดรเจลคือ 60 นาที และเริ่มลดลงเล็กน้อยหลังจากนั้น โดยมีค่าความสามารถในการปลดปล่อยตะกั่วและแคดเมียมมากที่สุดเท่ากับร้อยละ 67.80 และ 70.44 ตามลำดับ ค่าความสามารถในการปลดปล่อยตะกั่วและแคดเมียมของเพคตินไฮโดรเจลมีประสิทธิ รูปสูงสุดที่ pH เท่ากับ 4.00 มีค่าความสามารถในการปลดปล่อยตะกั่วและแคดเมียมเท่ากับ 67.80 mg/g และ 70.44 mg/g ตามลำดับ จากผลการศึกษานี้ พบว่าเพคตินไฮโดรเจลมีความสามารถปลดปล่อยแคดเมียมได้ดีกว่าตะกั่ว



รูปที่ 3 ความสามารถในการปลดปล่อยตะกั่ว (A) และแคดเมียม (B) ณ เวลาต่างๆ

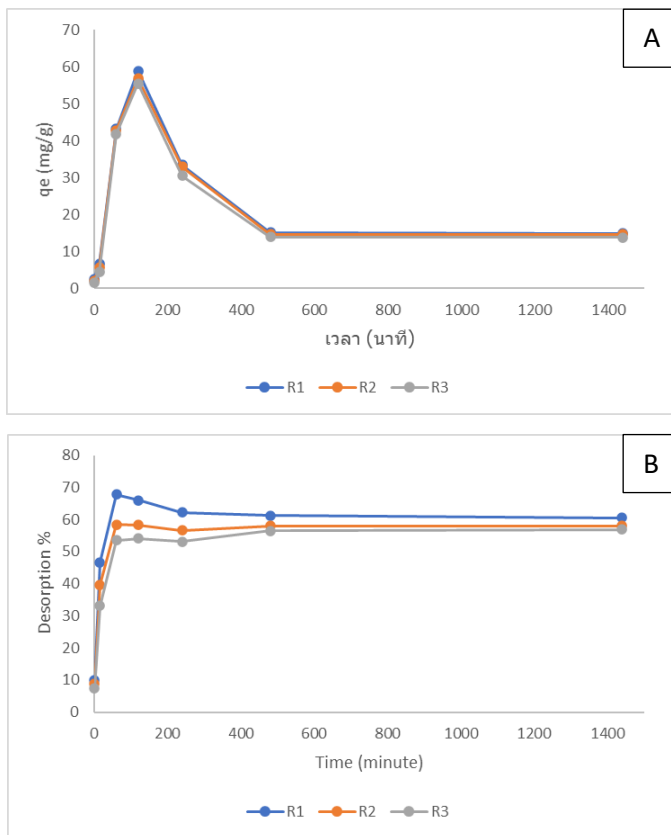
การศึกษาการนำกลับมาใช้ใหม่ของเพคตินไฮโดรเจล

เมื่อศึกษาการนำกลับมาใช้ใหม่ของเพคตินไฮโดรเจล โดยเลือกใช้สารละลายที่มีค่า pH เท่ากับ 4.00 พบผลการศึกษาดัง รูปที่ 4 พบว่าในการศึกษาการนำเพคตินไฮโดรเจลกลับมาใช้ในการดูดซับและปลดปล่อยตะกั่ว จำนวน 3 รอบ ประสิทธิภาพในการดูดซับและปลดปล่อยตะกั่วมีประสิทธิภาพ รูปที่ดีที่สุดในรอบแรกและลดลงในแต่ละรอบ โดยประสิทธิภาพ รูปที่ดีที่สุดในการดูดซับตะกั่วคือ 120 นาที มีอัตราในการดูดซับตะกั่วลดลงร้อยละ 18.51 สำหรับประสิทธิภาพ รูปความสามารถในการปลดปล่อยตะกั่วในการนำเพคตินไฮโดรเจลกลับมาใช้ใหม่ ที่ดีที่สุดคือ 60 นาที มีอัตราในการปลดปล่อยตะกั่วลดลงร้อยละ 18.04



รูปที่ 4 ประสิทธิภาพ รูปการนำเพคตินไฮโดรเจลกลับมาใช้ใหม่ จำนวน 3 รอบ
ของความสามารถในการดูดซับตะกั่ว (A) และความสามารถในการปลดปล่อยตะกั่ว (B)

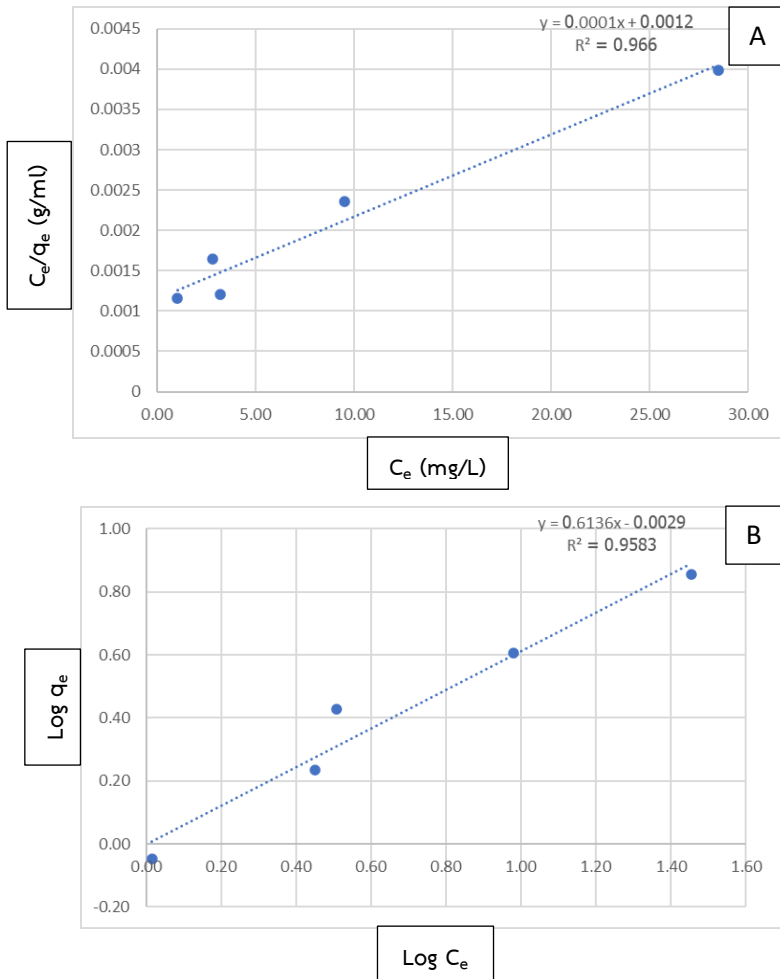
สำหรับการศึกษาการนำเพคตินไฮโดรเจลกลับมาใช้ในการดูดซับและปลดปล่อยแคดเมียม พบว่าประสิทธิภาพ รูปในการดูดซับและปลดปล่อยแคดเมียมมีประสิทธิภาพ รูปที่ดีที่สุดในรอบแรกและลดลงในแต่ละรอบ โดยประสิทธิภาพ รูปที่ดีที่สุดในการดูดซับแคดเมียมคือ 120 นาที มีอัตราในการดูดซับแคดเมียมลดลงร้อยละ 5.89 สำหรับประสิทธิภาพ รูปความสามารถในการปลดปล่อยแคดเมียมในการนำเพคตินไฮโดรเจลกลับมาใช้ใหม่ ที่ดีที่สุดคือ 60 นาที มีอัตราในการปลดปล่อยแคดเมียมลดลงร้อยละ 4.55 ดัง รูปที่ 5



รูปที่ 5 ประสิทธิภาพ รูปการนำเพคตินไฮโดรเจลกลับมาใช้ใหม่ จำนวน 3 รอบ
ของความสามารถในการดูดซับแคดเมียม (A) และความสามารถในการปลดปล่อยแคดเมียม (B)

จลนพลศาสตร์การดูดซับ

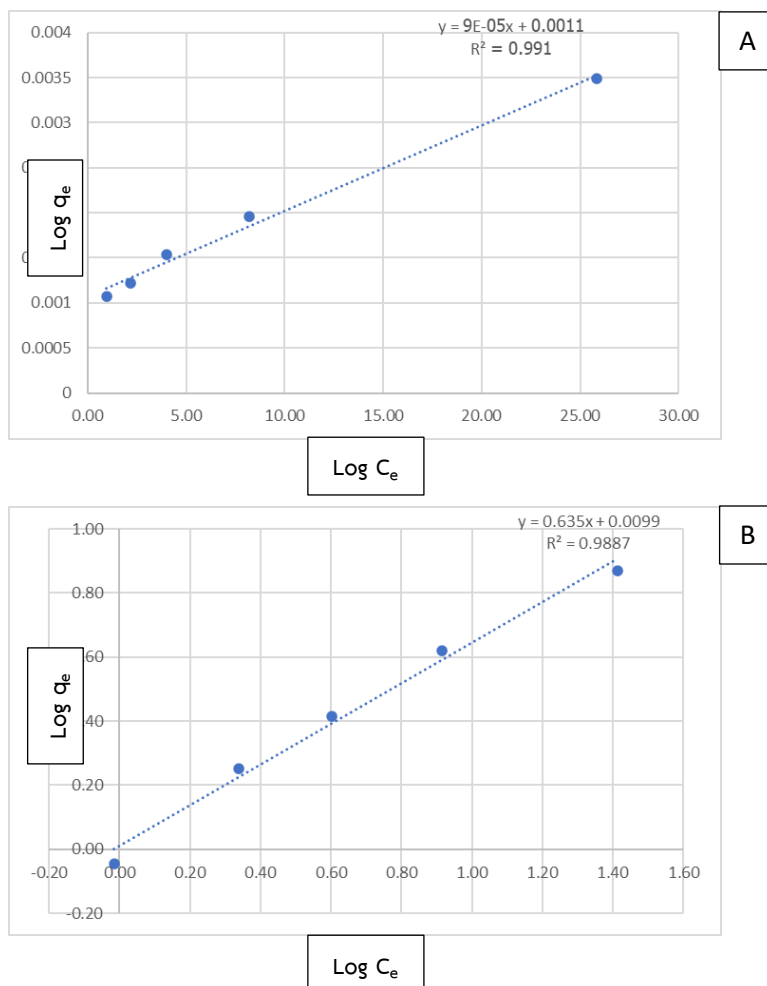
จลนพลศาสตร์การดูดซับของเพคตินไฮโดรเจลที่ใช้ดูดซับสารละลายโลหะหนักผสม ตะกั่วและแคดเมียมที่มีความเข้มข้นอย่างละ 10, 20, 30, 50 และ 100 ppm ปริมาตรรวม 100.0 มิลลิลิตร ปรับค่าความเป็นกรดเบสของสารละลายให้มีค่าเท่ากับ 4.0 ด้วยกรดไนตริก หมุนปั่นสารละลายด้วย Magnetic stirrer ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 120 นาที ความเข้มข้นเท่ากับ ที่อุณหภูมิ 22 °C พบผลดัง รูปที่ 6 และ 7 ดังนี้



รูปที่ 6 ไอโซเทอรั่มการดูดซับตะกั่ว (Pb) ของเพคตินไฮโดรเจลแบบเชิงเส้น

(A) สมการแลงเมียร์ (B) สมการฟรุนดริช

จาก รูปที่ 6 พบว่าไอโซเทอรั่มการดูดซับตะกั่วของเพคตินไฮโดรเจลสอดคล้องกับสมการแลงเมียร์มากกว่าสมการฟรุนดริช เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) ของไอโซเทอรั่มสมการแลงเมียร์เท่ากับ 0.97 และสมการฟรุนดริชเท่ากับ 0.96 ตามลำดับ หมายความว่าบนพื้นผิวของเพคตินไฮโดรเจลมีการดูดซับเป็นแบบเดียวกันหมด (Homogeneous adsorption surface) มีกลไกการดูดซับเหมือนกันเป็นแบบชั้นเดียว



รูปที่ 7 ไอโซเทอร์มการดูดซับแคดเมียม (Cd) ของเพคตินไฮโดรเจลแบบเชิงเส้น

(A) สมการแลงเมียร์ (B) สมการฟรุนดริช

จาก รูปที่ 7 พบว่าไอโซเทอร์มการดูดซับแคดเมียมของเพคตินไฮโดรเจลสอดคล้องกับสมการแลงเมียร์มากกว่าสมการฟรุนดริช เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) ของไอโซเทอร์มสมการแลงเมียร์เท่ากับ 0.99 และสมการฟรุนดริชเท่ากับ 0.99 ตามลำดับ หมายความว่าบนพื้นผิวของเพคตินไฮโดรเจลมีการดูดซับเป็นแบบเดียวกันหมด (Homogeneous adsorption surface) มีกลไกการดูดซับเหมือนกันเป็นแบบชั้นเดียว

เมื่อพิจารณาถึงพารามิเตอร์แบบจำลองไอโซเทอร์มทั้งสองแบบ สามารถสรุปได้ดัง
ในตารางที่ 1 ดังนี้

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์แบบจำลองไอโซเทอร์มสมการแลงเมียร์และสมการฟรุนดริชในการ
ดูดซับตะกั่วและแคดเมียมของเพคตินไฮโดรเจล

ธาตุ	สมการแลงเมียร์			สมการฟรุนดริช		
	q_m	K_L	R^2	n	K_F	R^2
ตะกั่ว (Pb)	833.33	0.08	0.97	1.63	0.99	0.96
แคดเมียม (Cd)	909.09	0.08	0.99	1.57	1.02	0.99
Wang et al., 2021	120.19	0.01	0.99	1.76	-	0.96
Lessa et al., 2020	192.30	0.00	0.99	1.54	0.45	0.96

จากตารางที่ 1 พบว่ารูปแบบการดูดซับโลหะทั้งสองธาตุได้แก่ตะกั่วและแคดเมียม
นั้นเป็นไปในทางเดียวกันคือรูปแบบสมการแลงเมียร์ ซึ่งสอดคล้องกับในงานวิจัยของ Wang
et al. (2021) และ Lessa et al. (2020) ที่ได้ศึกษาและกล่าวว่า การดูดซับโลหะหนักของ
เพคตินไฮโดรเจลส่วนใหญ่มักเป็นการดูดซับบนพื้นผิวของไฮโดรเจลแบบชั้นเดียว โดยที่เมื่อ
ตะกั่วและแคดเมียมถูกดูดซับไว้แล้วจะไม่มีการเคลื่อนที่หรือเปลี่ยนตำแหน่งกันกับโมเลกุลตัว
อื่นบนพื้นผิวเพคตินไฮโดรเจล เมื่อความเข้มข้นของ Pb และ Cd ในสารละลายเพิ่มขึ้น

สรุปผลการวิจัย

การใช้ประโยชน์จากผักตบชวาโดยนำมาสกัดสารเพคตินเพื่อใช้เป็นสารไฮโดรเจลดูด
ซับโลหะหนักในน้ำ มีค่าความสามารถในการดูดซับตะกั่วและแคดเมียมของเพคตินไฮโดรเจล
สูงสุดที่ pH เท่ากับ 4.0 มีค่าความสามารถในการดูดซับ (q_e) ตะกั่วและแคดเมียมเท่ากับ
66.98 mg/g และ 58.96 mg/g ตามลำดับ และลดลงเล็กน้อยเมื่อสารละลายมีค่า pH
ปัจจัยด้านเวลา พบว่า เวลาที่เหมาะสมที่สุดในการปลดปล่อยตะกั่วและแคดเมียมจากเพคติน
ไฮโดรเจลคือ 60 นาที โดยมีค่าความสามารถในการปลดปล่อยตะกั่วและแคดเมียมมากที่สุด
เท่ากับร้อยละ 67.80 และ 70.44 ตามลำดับ และเริ่มลดลงเล็กน้อยหลังจากนั้น ในด้านของ
ไอโซเทอร์มการดูดซับตะกั่วและแคดเมียมของเพคตินไฮโดรเจลสอดคล้องกับสมการแลงเมียร์

มากกว่าสมการฟรุนดริช จากผลการวิจัยดังกล่าวจึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการใช้ประโยชน์จากผักตบชวาที่เป็นวัชพืชในแหล่งน้ำให้เกิดประโยชน์ต่อสิ่งแวดล้อมได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณทุนจากคณะกรรมการการอุดมศึกษา ประจำปี 2553 ที่ได้มอบให้เป็นทุนสำหรับทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- เอรวิณ เบ้าทอง. (2561). แนวทางการใช้ประโยชน์เปลือกทุเรียนผสมเปลือกมะพร้าวในการสกัดเพกทิน. *วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้*, 9(2), 200-210.
- Bhattacharyya, A., O'Bryan, C., Ni, Y., Morley, C. D., Taylor, C. R., & Angelini, T. E. (2020). Hydrogel compression and polymer osmotic pressure. *Biotribology*, 22, Doi.org/10.1016/j.biotri.2020.100125.
- Carlini, M., Castellucci, S., & Mennuni, A. (2018). Water hyacinth biomass: chemical and thermal pre-run for energetic utilization in anaerobic digestion process. *Energy Procedia*, 148, 431-438.
- Jakobik-Kolon, A., Milewski, A. K., Mitko, K., & Lis, A. (2014). Preparation of pectin-based biosorbent for cadmium and lead ions removal. *Separation Science and Technology*, 49, 1679-1688.
- Kaushik, P., Priyadarshini, E., Rawat, K., Rajamani, P., & Bohidar, H. B. (2020). pH responsive doxorubicin loaded zein nanoparticle crosslinked pectin hydrogel as effective site-specific anticancer substrates. *International Journal of Biological Macromolecules*, 152, 1027-1037.
- Lessa, E. F., Medina, A. L., Ribeiro, A. S., & Fajardo, A. R. (2020). Removal of multi-metals from water using reusable pectin/cellulose microfibers composite beads. *Arabian Journal of Chemistry*, 13(1), 709-720.

- Levigne, S. M. C., Ralet, J., & Thibault, F. (2002). Characterisation of pectins extracted from fresh sugar beet under different conditions using an experimental design. *Carbohydrate Polymers*, 49, 145-153.
- Naohara J., & T. Ishii. (1989). Contents of Pectic Substances in Water Hyacinth. *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi*, 36(7), 583-589.
- Shukla, R. N., Bala, K. L., Kumar A. A., Mishra, A., & Yadav, K. C. (2014). Extraction of pectin from citrus fruit peel and its utilization in preparation of jelly. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 3(5), 1925-1932.
- Thakur, S., Chaudhary, J., Kumar, V., & Thakur, V. K. (2019). Progress in pectin based hydrogels for water purification: Trends and challenges. *Journal of Environmental Management*, 238, 210-223.
- Wang, R., Li, Y., Shuai, X., Liang, R., Chen, J., & Liu, C. (2021). Pectin/Activated Carbon-Based Porous Microsphere for Pb^{2+} Adsorption: Characterization and Adsorption Behaviour. *Polymers*, 13, Doi.org/10.3390/polym13152453.
- Wang, R., Liang, R., Dai, T., Chen, J., Shuai, X., & Liu, C. (2019). Pectin-based adsorbents for heavy metal ions: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 91, 319-329.
- Weiping, S., Qingping, S., Meisheng, X., Zhengshun, W., & Zhitong, Y. (2018). The Resource Utilization of Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes* [Mart.] Solms) and Its Challenges. *Resources*, 7(3), 1-9.

ผลของการสร้างแรงจูงใจจากการสัมภาษณ์และโปรแกรมสุขศึกษาในระยะเวลา 1 ปี
ที่มีต่อสารเคมีในเลือดของผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2
EFFECTS OF ONE-YEAR FOLLOW-UP OF A GROUP-BASED TYPE 2 DIABETES
MOTIVATIONAL INTERVIEWING INTERVENTION AND HEALTH EDUCATIONAL
PROGRAM ON THE BLOOD CHEMICAL LEVEL AMONG TYPE 2
DIABETES PATIENTS

ธัญญาวัดณ์ หอมสมบัติ*

Thanyawat Homsombat

คณะวิทยาศาสตร์การกีฬาและสุขภาพ มหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติ
Faculty of Sport Science and health, Thailand National Sports University

Received: 23 March 2021

Accepted: 28 Novemberh 2021

บทคัดย่อ

การให้โปรแกรมสุขศึกษาและการสัมภาษณ์เพื่อสร้างแรงจูงใจของผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 ต่อระดับสารเคมีในเลือด เป็นการวิจัยกึ่งทดลองระยะเวลา 1 ปี เพื่อติดตามการให้โปรแกรมสุขศึกษาและการสัมภาษณ์เพื่อสร้างแรงจูงใจของผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 ต่อระดับสารเคมีในเลือด กลุ่มตัวอย่างคือผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 จำนวน 70 คน ที่โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลหนองนาคำ อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี ผู้ป่วยมารับยาทุกๆ 2 เดือน โรงพยาบาลจะเจาะเลือดเพื่อตรวจหาค่าสารเคมีในเลือด จากนั้นจะได้รับโปรแกรมการให้สุขศึกษา และการสัมภาษณ์เพื่อสร้างแรงจูงใจ โดยค่าความเที่ยงตรง (Index of item objective congruence: IOC) ของโปรแกรมการให้สุขศึกษาเท่ากับ 0.78 และค่าความเที่ยงตรงของโปรแกรมการให้สุขศึกษาเท่ากับ 0.82 สถิติเชิงพรรณนา คือ ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) และ สถิติเชิงอนุมาน คือ paired t-test เพื่อเปรียบเทียบระดับสารเคมีในเลือดก่อนและหลังการทดลอง ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05

* ผู้ประสานงาน: ธัญญาวัดณ์ หอมสมบัติ

อีเมล: cmu_kku@hotmail.com

ผลการศึกษาพบว่ากลุ่มตัวอย่าง 70 คน เพศหญิง 62 คน (ร้อยละ 88.57) อายุเฉลี่ย 60 ปี (S.D. = 6.70) ดัชนีมวลกายส่วนใหญ่อยู่ในช่วงน้ำหนักเกิน 34 คน (ร้อยละ 48.57, เฉลี่ย = 25.03 (S.D. = 4.10) มีรอบเอวเกินค่ามาตรฐาน 12 คน (ร้อยละ 19.05) มีประวัติเป็นโรคเบาหวานและได้รับยา 1-12 ปี (เฉลี่ย 6.40 ปี) โดยมากที่สุดคือ น้อยกว่า 3 ปี ร้อยละ 40.00 รองลงมาคือ 10-12 ปี ร้อยละ 25.71 จากผลการศึกษาค่าเฉลี่ยของระดับน้ำตาลสะสมในเลือด (HbA1c) ก่อนและหลังการทดลองไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.71$) เมื่อเปรียบเทียบระดับน้ำตาลในเลือดหลังอดอาหารอย่างน้อย 8 ชั่วโมง (FBS) ระหว่างก่อนการทดลองกับหลังการทดลองครั้งที่ 2 และหลังการทดลองครั้งที่ 5 และระหว่างหลังการทดลองครั้งที่ 2 กับหลังการทดลองครั้งที่ 5 ผลการศึกษาพบว่า แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($F=2.49, p=0.03$; $F=4.22, p=0.04$; $F=4.21, p=0.04$; $F=4.21, p=0.04$ ตามลำดับ) ในขณะที่ก่อนการทดลอง ระดับของไขมันในเลือดทุกชนิด พบว่าไม่แตกต่างจากค่าเฉลี่ยของไขมันในเลือดหลังการทดลอง (1 ปี) ($p=0.67, p=0.43, p=0.81, p=0.55$ ตามลำดับ)

คำสำคัญ: ระดับน้ำตาลในเลือด, โคเลสเตอรอล, โปรแกรมสุขศึกษา, การสัมภาษณ์เพื่อสร้างแรงจูงใจ

Abstract

The health educational program and motivational interviewing intervention towards the blood chemical level was a one-year quasi-experimental research aiming at following up on health educational programs and interviews to motivate the patients with type 2 diabetes on blood chemical level. The sample group comprised 70 type-2 diabetes mellitus (DM) patients in Nongnakhom Sub-district Health Promoting Hospital, Muang District, Udon Thani Province. The patients came to Health Promoting Hospital every two months to receive the medication and the nurse would draw the patients' blood to test for blood chemical level both pre-intervention and post-intervention and there would be a face-to-face interview to educate the health educational program and motivate for changing behavior. The Index of Item Objective Congruence: IOC of the health educational program was 0.78. The validity of the health

educational program was 0.82. The descriptive statistic used were mean ($\bar{X}$), and standard deviation (S.D.). The inferential statistic used was paired t-tests for comparing the blood chemical levels both pre-intervention and post-intervention with the statistical significance at 0.05 level.

The research revealed that, among 70 DM patients, most of them were 62 female (88.57%), age average at 60 years old (S.D.=6.70), 34 DM patients had BMI in overweight level (48.57%, $\bar{X}$ = 25.03, S.D.=4.10), 12 female patients had over waist circumference (19.05%). Participants had DM record of diabetes and have been on medication for 1-12 years ($\bar{X}$ = 6.4 years), of those, most of them had DM underlying and took medication for less than 3 years (40.00%) followed by 10-12 years (25.71%). It was found that HbA1c level (pre-test) was not significantly different from HbA1c level (post-test) ($p=0.71$). For Fasting Blood Sugar (FBS) test, it was found that the FBS test comparison results between pre-test and 5th post-test, pre-test and 2nd post-test, and 2nd post-test and 5th post-test were significantly different ($F=2.49$, $p=0.03$; $F=4.21$, $p=0.04$; $F=4.21$, $p=0.04$, respectively). The results of Lipid Profile level comparison between pre-intervention and post-intervention reveal that all variables were not significantly different ($p=0.67$, $p=0.43$, $p=0.81$, and $p=55$ respectively).

Keywords: Fasting blood sugar, Total Cholesterol, Health Education Program, Motivational Interviewing Intervention

Introduction

High prevalence of Type 1 and 2 Diabetes Mellitus (DM) are increasing their worldwide (Roberto and Crisafulli, 2017). Especially type 2 DM has concerned medical problem due to obesity and metabolic syndrome, which has grown by highest proportions. One of these is increasing incidence of cardiovascular disease, especially patients who had these two pathologies, which has been significantly higher in DM patients when compared to normal

subjects. (Noble, 2015). Type 2 DM is a chronic metabolic disease influenced by chronic hyperglycaemia due to insulin resistance action at the skeletal muscles and the adipose cells and to be depleted in insulin secretion of β cells (Padilla et al., 2015).

According to the American Diabetes Association reported that type 2 diabetes mellitus (TD2) is cause of death in world wide (Centers for Disease Control and Prevention, 2016) especially traditional diet behavior but lack of exercise leading to type 2 diabetes mellitus. In addition, they suggested that type 2 diabetes mellitus patients who received diet control program can decrease fasting blood sugar, blood pressure and lipid profile (Bantle et al., 2008). Most problems that prevent diabetic patients are changing diet local food culture behavior each a day and lack of motivation to change diet behavior (Miller, 2011).

There are several risk factors for the progression of Type 2 DM (T2DM) including family history, obesity, chronic physical inactivity, race or ethnicity, history of impaired fasting glucose, impaired glucose tolerance, HbA1c 5.7% to 6.4% (38.8 mmol/mol to 46.4 mmol/mol), hypertension, abnormal high-density lipoprotein cholesterol and/or elevated triglyceride levels. Lipid profile test is an appropriate method to plan for reduce complications as follow especially capillaries damage (Koro et al., 2004). Grundy et al. (2018) reported that the normal values of lipid profile consisted of total cholesterol < 200 mg/dL (< 5.1 mmol/L), triglycerides < 130 mg/dL (< 1.4 mmol/L), high-density lipoprotein cholesterol: (HDL-c) < 40 mg/dL (< 1.0 mmol/L) and low-density lipoprotein cholesterol: (LDL-c) < 130 mg/dL (< 3.4 mmol/L). Stratton et al. (2000) suggested that patients who were cholesterol > 170-199 mg/dL (4.3-5.1 mmol/mol), triglycerides 90-129 mg/dL (1.0-1.5 mmol/L), high-density lipoprotein cholesterol: (HDL-c) 40-45 mg/dL, 1.0-1.2 mmol/L) and low-density lipoprotein cholesterol: (LDL-c) 110-129 mg/dL, 2.8-3.3 mmol/L) significant associated with capillaries damage.

Motivational Interviewing (MI) is a collaborative, person-centred approach to working with people in order to elicit and strengthen their motivation and commitment to change. It has been found to be more effective than traditional advice-giving in the treatment of a range of behavioral problems and diseases, including diabetes (Resnicow et al., 2015). According to Miller & Akohoue (2017) who studied the effect of two-year follow-up of a group-based type 2 diabetes for health education therapy and motivational interviewing intervention in 12 American DM patients. They found that, total cholesterol in post-intervention (8.8%) had decreased significantly compared with total cholesterol in pre-intervention (10.25%), and the behavior of eating high fat foods had decreased but the behavior of fruit and vegetable intake had increased. On the other hand, Whittemore et al. (2004) found that total cholesterol had not significantly different when compared between food intake group and exercise behavior modification group

In Thailand, department of control disease, Ministry of public health (2018) reported that the number of non-communicable disease patients especially diabetes had been increasing every year from 2012-2014. In 2012-2014, DM cases were 674,826, 698,720 and 670,664, respectively. In Udon Thani province, in 2012-2014, DM cases were 16,708, 17,853, 18,140, respectively. (Ministry of public health, 2018). The statistics of total population of Nongnakham sub-district, muang district, Udon Thani province (2017), total 475 DM patients (311 type 2 diabetes mellitus patients (HbA1c 7.00-10.00 %) who take medication at Nongnakham primary care unit) (Nongnakham Primary Care Unit, 2018). The processing of treatments of DM patients at Nongnakham primary care unit consists of medication, draw blood sampling by a nurse to test blood chemistry, health education and motivational interviewing (MI) to help DM patients understand better about their sickness and its preventive measures. The real problem of the villagers is poverty that increases their risk factors. Most of the

people are poor that every day they had a traditional Northeast Thailand diet which is very spicy and high in sugar and salts, the risk factors of type 2 diabetes mellitus. Therefore, the means to decrease high risk of type 2 diabetes mellitus (DM) is the evaluation of health education program and motivational interviewing intervention. Therefore, the 1 year quasi-experimental study aimed to investigate the effect of one-year follow-up of a group-based type 2 diabetes health education program and motivational interviewing intervention on blood chemistry among type 2 diabetes mellitus (DM) patients for 1 year.

Materials and Method

1. Subjects

The quasi-experimental study had 1 year (1 october 2017-30 september 2018) quasi-experimental study. Subjects were 70 patients with type 2 diabetes mellitus by purposive random sampling at the Nongnakham primary care unit, Muang district, Udon Thani province. For the Inclusion criteria; ages 35-70 years old who were underlying 2 diabetes mellitus (HbA1c 7.10-10.00%) and take medication less than 1 year. All of them had drawn blood sampling by a nurse to test blood chemistry 2 times (pretest and post-test) 1 years ago.

2. Intervention

The intervention group received health education program and the contents was designed unit base on MI theory as follow. First, all participants visited Nongnakham primary care had blood sampling by a nurse to test blood chemistry (pretest-posttest) followed by a face to face health education program and the standardized health education program. The results revealed that the score of item-objective congruence index (IOC) was 0.78 in overall items of health education program and 0.82 in in overall items of motivational interviewing intervention, consist of:

2.1 Seven domains of motivation which were as followed my activities of daily living has caused problems for other people, I take medication continuously, some people think that I can't be DM, Being that I having to lie to other people just to take medication to make me unhappy, Some people try to avoid me when I am taking medication, Taking medication makes work lost, My family feel disappointed because of my take medication, and I lose trust and respect from my family because of take medication).

2.2 Ten domains of problems and obstacles which were as followed I like myself more when I take medicine for DM, Taking medication helps me to deal with problems, Taking medication makes me fun and can get along with other people, Taking medication makes me a fun person, Taking medication allows me to fully express, Taking medication gives me strength and keeps my life going, I feel more confident when I take medicine, If I am not take medication makes me feel bored and lifeless, my family like me more when I take medication and Not take medication makes me feel bad).

2.3 Eleven domains of motivational interviewing which were as followed I want to seriously change my take medication, If I don't change about medication soon, I will get worse, I have started to change about my medication, I am not just thinking about changing my medication habits, but I am preparing to do something, I have started to change my medication, I am seriously trying to reduce medication, I need help to return to take medication, I know that I have a problem with medication, There are times when I suspect that I use too much of medication, I try a lot to change my medication habits and I have changed something about take medication.) (Toobert et al., 2000).

After each diabetic patient receives MI- the points are collected and interpreted as follows: item 1, 3, 14 and 19 (4-20-points) are recognition item 16 (1-5-points) ambivalence, and item 4, 8, 9, 13, 15 and 16 (6-30-points) are taking-steps. Second, all patients received motivational interviewing (MI). This

is a collaborative, person-centred approach to working with people in order to elicit and strengthen their motivation and commitment to change. It has found to be more effective than traditional advice-giving in the treatment of a range of behavioral problems and diseases, including diabetes (Miller and Rollnick, 2002). According to expertise, they found that motivational interviewing has been more effectiveness to decreased total cholesterol and triglycerides than general health education (Whittemore et al., 2004). Finally, all patients received the standard checklist of follow-up motivational interviewing (Lane et al., 2005), consisting of 11 domains of behavior change (likert scale 0-4, 0 = never, 1 = rarely, 2 = sometime, 3 = often, 4 = always). Interpretation of the score as recognition (20. Points is always, 17 - 19.is often, ≥ 16 - is-sometime), ambivalence: (5 points is always, 4. is often, ≥ 3 .is sometime), taking steps: (28 - 30-points is always, 25-27 is often, ≥ 24 is sometime)

3. Statistical analysis

Statistical analysis used STATA 13 and Texus USA 2007. S-wilk test was used to test the normal distribution of values. Descriptive statistics were frequency, percentage, mean and standard deviation (S.D.) to express demographic and body composition. Inferential statistic was paired t-test used to compare blood chemistry (pre-test and post-test) at 95% confidence interval. We used $p < 0.05$ as the cut-off point of statistical significance (Miller, 2002).

Results

1. Demographic and body composition (base line)

Most participants were female ($n = 63$, 90.00%), age between 35-75 years old ($\bar{X} = 60$, S.D. = 6.70), some of them were overweight ($n = 32$, 45.71%, $\bar{X} = 25.02$, S.D. = 4.20), all males had standard waist circumference but 12 females had over standard waist circumference (19.05%). All participants had average underlying type 2 diabetes mellitus 6.40 years (0.7-14 year). (Table 1)

2. HbA1c level

The use of an ANOVA assumes that all the populations are normal distributed, all the populations variances are equal and all the samples were taken independently of each other and are randomly collected from their population (Munro, 2005). The results of HbA1c level found that HbA1c level (pre-test) was not significantly different from HbA1c level (post-test) ($p=0.71$). The results of fasting blood sugar (FBS) found that FBS (pre-test) was significantly different from FBS (post-test) ($F=2.49$, $p=0.03$). (Table 2).

2.1 Comparison between fasting blood sugar (FBS) (pre-test) and FBS (2nd time intervention)

The results of fasting blood sugar (FBS) found that FBS (pre-test) was significantly different from FBS (2nd time intervention) ($F=4.22$, $p=0.04$). (Table 3)

Table 1 Demographic and body composition (pre-test)

Variable	n (%)	Variable	n (%)
Sex		Waist circumference (male)	
Male	7 (10.00)	Standard	7 (100)
Female	63 (90.00)	Over standard (>90 cm)	0 (0)
Body mass index (BMI)		Waist circumference (female)	
Under weight (≤ 19.99)	7 (10.00)	Standard	51 (80.95)
Healthy weight (20-24.99)	31 (44.29)	Over standard (>80 cm)	12 (19.05)
Over weight (≥ 25)	32 (45.71)		
$\bar{X}=25.02$ (4.20) Min-max (17.31-38.05)		$\bar{X}=75.05$ (5.66) Min-max (56-95)	
Age (year)		DM underlying	
30-39		≤ 3 years	28 (40.00)
40-49	4-6 years	4-6 years	14 (20.00)
50-59	7-9 years	7-9 years	3 (4.29)
60-69	10-12 years	10-12 years	18 (25.71)
≥ 70	≥ 13 years	≥ 13 years	7 (10.00)
$\bar{X}=60$ (6.70) Min-max (35-75)		$\bar{X}=6.40$ (4.39) Min-max (0.7-14.00)	

Table 2 HbA1c level and Fasting blood sugar (FBS) (Within group)

Source	SS	df	MS	F	p
HbA1c level				0.14	0.71
Time	0.11	1	0.11		
Error	54.24	69	0.79		
Fasting blood sugar (FBS)				2.49	0.03
	121377.39	5	24275.48		
	3360441.44	345	9740.41		

Table 3 Comparison between fasting blood sugar (FBS) (pre-test) and FBS (2nd time intervention)

Source	SS	df	MS	F	p
Fasting blood sugar (Within group)				4.22	0.04
Time	4050.64	1	4050.64		
Error	66153.44	69	958.75		

2.2 Comparison between fasting blood sugar (FBS) (pre-test) and FBS (5st time intervention)

The results of fasting blood sugar (FBS) found that FBS (pre-test) was significantly different from FBS (5st time intervention) ($F=4.21$, $p=0.04$). (Table 4)

Table 4 Comparison between fasting blood sugar (FBS) (pre-test) and FBS (5st time intervention)

Source	SS	df	MS	F	p
Fasting blood sugar (Within group)				4.21	0.04
Time	3235.21	1	3235.21		
Error	52985.29	69	767.90		

2.3 Comparison between fasting blood sugar (FBS) (2nd time intervention) and FBS (5st time intervention)

The results of fasting blood sugar (FBS) found that FBS (2nd time intervention) was significantly different from FBS (5st time intervention) ($F=4.21$, $p=0.04$). (Table 5).

Table 5 Comparison between fasting blood sugar (FBS) (2nd time intervention) and FBS (5st time intervention)

Source	SS	df	MS	F	p
Fasting blood sugar (Within group)				4.21	0.04
Time	1351.61	1	1351.61		
Error	109021.89	69	1580.03		

3. Total cholesterol and triglycerides

At pre-test and post-test as total cholesterol mean were 190.21 and 187.16, respectively, triglycerides mean were 167.80 and 160.93, respectively. The results of total cholesterol and triglycerides found that both variables (pre-test) were not significantly different post-test ($p=0.67$ and $p=0.55$, respectively). (Table 6).

Table 6 Total cholesterol and triglycerides at pre-test and post test (n=70)

	Paired Differences					t	df	p-value
	Mean different	Std. Deviation	Std. Error Mean	95%				
				Confidence Interval of the				
				Difference				
			Lower	Upper				
Total cholesterol	3.06	60.36	7.21	-11.33	17.45	0.42	69	0.67
Triglycerides	6.88	95.53	11.48	-15.90	29.66	0.60	69	0.55

3.1. High-density lipoprotein cholesterol: HDL-C) and Low-density lipoprotein cholesterol (LDL-C)

At pre-test and post-test as HDL-c mean were 43.96 and 45.47, respectively, LDL-C mean were 112.08 and 110.56, respectively. The results of HDL-C and LDL-C found that both variables (pre-test) were not significantly different post-test ($p=0.43$ and $p=0.81$, respectively). (Table 7)

Table 7 HDL-C and LDL-C at pre-test and post test (n=70)

	Paired Differences					t	df	p-value
	Mean different	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence				
				Interval of the				
				Difference				
			Lower	Upper				
HDL-C	-1.51	16.09	1.92	-5.35	2.32	-0.79	69	0.43
LDL-C	1.53	52.10	6.23	-10.89	13.95	0.25	69	0.81

Discussion and conclusion

From the results of the study, it was found that the average blood glucose level (HbA1c) before the experiment (8.42%, SD=1.28) was not significantly different from HbA1c level (post-test) ($p=0.71$), may be because all the samples studied were diabetic patients with HbA1c values not exceeding 10% and they can control the sugar level manually, while more than 10 % of HbA1c diabetic patients are sent to receive treatment in a medical facility with a doctor later. American Diabetes Association (ADA) (2016) has reported that Hemoglobin A1c (HbA1c) has been a standard test of long-term average blood glucose control for patients with type 2 diabetes (T2D) for more than a decade, and blood levels above accepted thresholds are used to diagnose both pre-diabetes (between 5.7 and 6.4%) and diabetes (above 6.4%). While it is uniformly accepted that higher HbA1c levels are associated with greater risk

of complications from diabetes, as well as the incidence of other diseases, the targets for reducing this biomarker in people with existing diabetes remain open to debate. In particular, aggressive pharmaceutical therapy increases both side effects and costs, which need to be considered when assessing the net benefits accrued from meeting specific HbA1c targets. The American Association of Clinical Endocrinologists and American College of Endocrinology (AAACE/ACE) (2015) confirmed that the panel recommends that HbA1c be universally adopted as the primary method of assessment of glycemic control. On the basis of data from multiple interventional trials, the target for attainment of glycemic control should be HbA1c values $\leq 6.5\%$. This level is three standard deviations above the mean HbA1c value in nondiabetic populations. In addition, the results FBS (pre-test) were significantly different from FBS (post-test), FBS (pre-test) was significantly different from FBS (2nd time intervention), FBS (pre-test) was significantly different from FBS (5st time intervention) and FBS (2nd time intervention) was significantly different from FBS (5st time intervention).

Diabetes is a chronic disease that is difficult to control. Therefore, the treatment team must have an algorithm to adjust the care depending on FBS and HcA1c. This study provides a health education program and followed up for blood sugar levels every 2 months, therefore, diabetes patients can control blood sugar levels by themselves. They must re-check a validated marker of short-term glycemic control, especially fructosamine and 1,5 anhydroglucitol (1,5 AG). Fructosamine is measure of glycated serum proteins depicts relatively short-term changes (1-2 weeks) in glycemic status. Hence they may be utilised in certain situations like gestational diabetes or in those where HBA1c is unreliable (Lindsey et al, 2004). 1,5 anhydroglucitol (1,5 AG) is a validated marker of short-term glycemic control. It is a metabolically inert polyol that competes with glucose for reabsorption in the kidneys. Otherwise stable levels of 1, 5-AG are rapidly depleted as blood glucose levels exceed the renal

threshold for glucosuria. 1,5-AG more accurately predicts rapid changes in glycemia than hemoglobin A1C (A1C) or fructosamine (Dungan, 2008).

The present results of total cholesterol, triglycerides, HDL-C and LDL-C (pre-test) found that were not significantly different from total cholesterol, triglycerides, HDL-C and LDL-C (post-test) ($p = 0.67$, $p = 0.43$, $p = 0.81$, $p = 0.55$, respectively). Dyslipidemia is a chronic disease that is quite difficult to control. Therefore, the medical team must have a plan for treatment over a long time period and may change the treatment plan from time to time because the cholesterol level can rise or fall within a day or 2-3 days, depending on the health care behavior of patients. In this study is a health education program every 2 months for 1 year, therefore may make patients with high blood cholesterol unable to control cholesterol levels, particularly in those who do not strictly control health care behavior. While, Boren et al. (2009) supported that health education program for long period may be not can reduce total cholesterol. Therefore the cooperation between diabetic patients and medical team are benefit. According to Hemmati et al. (2017) found that the best practice of health education program is face to face health education program, nevertheless it difficult way for many diabetic patients. So the most time-saving way is to give out brochures or booklets, including video teaching or listening the radio. But these methods have not yet been confirmed studies that can change the behavior of diabetic patients.

This research does not change any variables. This may be because MI is not suitable for changes in blood chemistry levels because of the reduction in lipid levels may take longer period, including many other treatment methods. Present study is the routine to research of nurse practice among DM patients who were take medication at Nongnakham primary care unit, Muang district, Udon Thani. For further study should be study in a large group to get results

that can actually apply to real change behavior DM patients for reduce blood lipid level.

References

- American Association of Clinical Endocrinologists and American College of Endocrinology. (2015). Clinical practice guidelines for developing a diabetes mellitus
- Bantle, J. P., Wylie-Rosett, J., Albright, A. L., Apovian, C. M., Clark, N. G., Franz, M. J., Hoogwerf, B. J., Lichtenstein, A. H., Mayer-Davis, E., Mooradian, A. D., & Wheeler M. L. (2008). Nutrition recommendations and interventions for diabetes: a position statement of the American Diabetes Association. *Diabetes Care*, 31(1), S61–S78.
- Boren, S. A., Fitzner, K. A. Panhalkar, P. S., & Specker, J. E. (2009). Costs and benefits associated with diabetes education: a review of the literature. *The Diabete Educator*, 35(1), 72–96.
- Dungan, K. M. (2008). 1, 5-anhydroglucitol (GlycoMark) as a marker of short-term glycemic control and glycemic excursions. *Expert Rev. Mol. Diagn*, 8(9), 9–19.
- Grundy, S. M., Stone, N. J., Bailey, A. L., Beam, C., Birtcher, K. K., Blumenthal, R. S., Braun, L. T., de Ferranti, S., Faiella-Tommasino, J., Forman, D. E., Goldberg, R., Heidenreich, P. A., Hlatky, M. A., Jones, D. W., Lloyd-Jones, D., Lopez-Pajares, N., Ndumele, C. E., Orringer, C. E., Peralta, C. A., Saseen, J. J., Smith Jr, S. C., Sperling, L., Virani, S. S., & Yeboah, J. (2018). Guideline on the Management of Blood Cholesterol: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Clinical Practice Guidelines. *Circulation*, 139(25), 1-11.

- Hemmati, M. M., Razmara, S., & Niazkhani, Z. (2017). Effects of Face-to-Face and Telephone-Based Family-Oriented Education on Self-Care Behavior and Patient Outcomes in Type 2 Diabetes: A Randomized Controlled Trial. *Journal of Diabetes Research*, 11, 1-10.
- Koro, C. E., Bowlin, S. J., Bourgeois, N., & Fedder, D. O. (2004). Glycemic Control From 1988 to 2000 Among U.S. Adults Diagnosed With Type 2 Diabetes A preliminary report. *Diabetes Care* 27(1): 17-20.
- Lane, C., Huws-Thomas, M., Hood, K., Rollnick, S., Edwards, K., & Robling, M. (2005). Measuring adaptations of motivational interviewing: The development and validation of the behavior change counseling index (BECCI). *Patient Educ. Couns*, 56(3), 166-173.
- Lindsey, C. C., Carter, A. W., Mangum, S., Dorothy Greene, D., Richardson, A., Brown, S. J., Essary, J. L., & McCandless, B. (2004). A prospective, randomized, multicentered controlled trial to compare the annual glycemic and quality outcomes of patients with diabetes mellitus monitored with weekly fructosamine testing versus usual care. *Diabetes Technol Ther*, 6(7), 370-7.
- Miller, W. R., & Rollnick, S. (2002). *Motivational interviewing: Preparing people for change*. New York: Guilford Press. p. 271.
- Miller, S. T. (2011). Diabetes and psychological profile of younger rural African American women with type 2 diabetes. *J. Health Care Poor Underserved*, 22(4), 1239-1252.
- Miller S. T. & Akohoue S. A. (2017). Two-year follow-up study of a group-based diabetes medical nutrition therapy and motivational interviewing intervention among African American women. *Patient Relat Outcome Meas*. 15(8): 57-61.

- Ministry of Public Health. (2018). *Thailand Noncommunicable Disease and Injury Behavior Risk Surveillance Survey*. Retrieved September 23, 2018, from <http://ghdx.healthdata.org/record/thailand-noncommunicable-disease-and-injury-behavior-risk-surveillance-survey-2018>
- Munro, B. H. (2005). *Statistical methods for health care research (5th ed.)*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
- Nongnakham primary care unit. *Statistics of patients*. (2018). Nongnakham primary care unit, Muang district, Udon Thani province. Department of control disease, Ministry of public health. Retrieved September 23, 2018, from <http://www.thaincd.com/2016/mission/documents.php?tid=32&gid=1020&searchText=&pn=2>.
- Noble, J. A. (2015). Immunogenetics of type 1 diabetes: *A comprehensive review J. Autoimmun*, 64(7), 101-12.
- Padilla, J., Olver, T. D., Thyfault, J. P., & Fadel, P. J. (2015). Role of habitual physical activity in modulating vascular actions of insulin. *Exp. Physiol*, 100(12), 759-771.
- Kenneth Resnicow, K., McMaster, F., Bocian, A., Harris, D., Zhou, Y., Snetselaar, L., Schwartz, R., Myers, E., Gotlieb, J., Foster, J., Hollinger, D., Smith, K., Woolford, S., Mueller, D., & Wasserman, R. C. (2015). Motivational interviewing and dietary counseling for obesity in primary care: An RCT. *Pediatrics*, 135(4), 649-657.
- Roberto, S., & Crisafulli, A. (2017). Consequences of Type 1 and 2 Diabetes Mellitus on the Cardiovascular Regulation During Exercise: A Brief Review. *Current Diabetes Reviews*, 13(6), 560-565.
- Stratton. I. M., Adler, A. I., Neil, H. A., Matthews, D. R., Manley, S. E., Cull, C. A., Hadden, D., Turner, R. C. and Holman R. (2017). Association of glycaemia with macrovascular and microvascular complications of type 2 diabetes (UKPDS 35): prospective observational study. *BMJ*. 12(321): 405-12.

- Toobertm, D. J., Hampson, S. E., & Glasgow, R. E. (2000). The summary of diabetes self-care activities measure: results from 7 studies and a revised scale. *Diabetes Care*, 23(7), 943–950.
- Whittemore, R., Melkus, G. D., Sullivan, A., & Grey, M. (2004). A nurse-coaching intervention for women with type 2 diabetes. *Diabetes Educ*, 30(3), 795-804.

ผลของปุ๋ยคอกต่อการเจริญเติบโตและปริมาณสารฟลาโวนอยด์ในกระชายดำ
EFFECTS OF MANURE ON THE GROWTH AND FLAVONOIDS CONTENT OF
KAWMPFERIA PARVIFLORA WALLICH. EX BAKER.

ปภากร สุทธิภาศิริ^{1,*} และ เทิดศักดิ์ โทณลักษณ²
Paphakorn Suthiphasilp^{1,*} and Therdsak Thonnalak²

¹คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

²คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

¹Faculty of Agricultural Technology, Chiangmai Rajabhat University

²Faculty of Agricultural, Production, Maejo University

Received: 20 April 2021

Accepted: 28 November 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาชนิดและอัตราของปุ๋ยคอกที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต ปริมาณผลผลิต และปริมาณสารฟลาโวนอยด์ของกระชายดำ วางแผนการทดลองแบบ Factorial in Randomized Complete Design ประกอบด้วย 2 ปัจจัย ปัจจัยที่ 1 คือ ชนิดของปุ๋ยคอก จำนวน 4 ชนิด ได้แก่ ไม่ใส่ปุ๋ยคอก ปุ๋ยมูลโค มูลไก่ มูลสุกรและปัจจัยที่ 2 คือ ปริมาณของปุ๋ยคอกที่ใส่ จำนวน 2 อัตรา ได้แก่ จำนวน 500 และ 800 กิโลกรัมต่อไร่ ผลการทดลองพบว่าชนิดและปริมาณของปุ๋ยคอกมีผลต่อการเจริญเติบโตทางด้านความกว้างใบ ขนาดของลำต้นเทียม จำนวนหน่อสะสม น้ำหนักเหง้าสดและน้ำหนักเหง้าแห้งของกระชายดำ ส่วนปริมาณสารฟลาโวนอยด์ในเหง้ากระชายดำ พบว่าการไม่ใส่ปุ๋ยมีปริมาณสารฟลาโวนอยด์สูงสุดเท่ากับ 3.04 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักแห้ง

คำสำคัญ: กระชายดำ, ปุ๋ยคอก, สารฟลาโวนอยด์

* ผู้ประสานงาน: ปภากร สุทธิภาศิริ*

อีเมล: Ractchaneeporn_sut@cmru.ac.th

Abstract

This experiment was aimed to investigate the growth and flavonoid contents of Krachai-Dam (*Kaempferia parviflora* Wallich. ex Baker) with types and rate of animal manures. This experiment was conducted with Factorial in Randomized Complete Design with two factors, those were types and application rates of animal manure. Animal manure treatment had 4 types, those are without manure, cattle manure, chicken manure and swine manure. Rate of manures 2 levels treatment had, those are 500 kg/rai and 800 kg/rai. The result of this experiment shows that chicken manure dosage increase the development of leaves length, pseudostem size, shoot, plant's fresh weight and plant's dry weight. The amount of flavonoids in the shoot, It was found that without manure, treatments show the highest amount of flavonoids substance was 3.04 mg/g dry weight

Keywords: *Kaempferia parviflora*, Manures, Flavonoid

บทนำ

ปุ๋ยอินทรีย์เป็นปุ๋ยชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญในการทำเกษตร ซึ่งเป็นวัสดุที่เกิดจากการสะสมของมูลสัตว์เลี้ยงชนิดต่างๆ ที่มีการย่อยสลายแล้วบางส่วนในคอกสัตว์ที่อยู่ในรูปของเหลวและของแข็ง ส่วนใหญ่เป็นมูลสัตว์เลี้ยง เช่น มูลวัว มูลไก่ มูลเป็ด เป็นต้น มูลสัตว์เหล่านี้ประกอบด้วยอุจจาระและปัสสาวะของสัตว์ ซึ่งเป็นส่วนของซากพืชและซากสัตว์ที่ผ่านกระบวนการย่อยสลายจากระบบย่อยของสัตว์ ส่วนปัสสาวะจะมีส่วนประกอบของเกลือและสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ ซึ่งธาตุอาหารพืชจากปุ๋ยคอกส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของสัตว์และอาหารที่สัตว์กินเข้าไป (มุกดา สุขสวัสดิ์, 2560)

กระชายดำ มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Kaempferia parviflora* Wallich. ex Baker จัดเป็นพืชวงศ์ขิงข่า (Zingiberaceae) มีถิ่นกำเนิดในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (ศูนย์ข้อมูลสมุนไพร, 2554) และเป็นพืชสมุนไพรที่มีสารประกอบกลุ่มฟลาโวนอยด์ (flavonoids) เป็นสารสำคัญหลักที่มีสรรพคุณต่างๆ เช่น ด้านการเกิดแผลในกระเพาะอาหาร และเพิ่มการ

ไหลเวียนเลือดไปเลี้ยงอวัยวะสืบพันธุ์ กระชายดำเป็นพืชที่มีลำต้นอยู่ใต้ดินชนิด rhizome หรือที่เรียกกันทั่วไปว่าหัวหรือเหง้า หัวหรือเหง้ากระชายดำประกอบด้วยสารสำคัญต่างๆ ได้แก่ น้ำมันหอมระเหย แอนโทไซยานิน (anthocyanins) สารประกอบฟีนอลิก (phenolic compounds) และสารฟลาโวนอยด์ (flavonoids) กลุ่ม ฟลาโวน (flavones) เป็นต้น ส่วนใหญ่แล้ว พันธุ์ที่มีเนื้อในเหง้าสีเข้มจะมีปริมาณสาร ฟีนอลิกและสารฟลาโวนอยด์สูงกว่า พันธุ์ที่มีเนื้อในเหง้าอ่อน ส่วนพันธุ์ที่มีเนื้อในเหง้าสีอ่อนจะมีปริมาณน้ำมันหอมระเหยสูงกว่า พันธุ์ที่มีเนื้อสีเข้ม (อรัญญา ศรีบุศราคม, 2558) ซึ่งการปลูกกระชายดำเพื่อให้เหง้ากระชายดำ มีปริมาณสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ในปริมาณมากและมีคุณภาพได้มาตรฐานจะเป็นประโยชน์ต่อ เกษตรกรและประชาชนทั่วไป ซึ่งเกษตรกรผู้ปลูกและผู้จำหน่ายกระชายดำได้ใช้สีเนื้อในเหง้า กระชายเป็นเกณฑ์ในการคัดเกรด (pojangaroon & Kaewrak, 2003) เนื่องจากในปัจจุบัน มีการนำสารกลุ่มฟลาโวนอยด์จากกระชายดำมาใช้ประโยชน์ในการรักษาโรคต่างๆ ซึ่งผลผลิต ที่มีคุณภาพได้มาตรฐาน จากวัตถุดิบสมุนไพรที่มีคุณภาพ และมาตรฐานเป็นหัวใจสำคัญใน การทำให้ผลิตภัณฑ์สมุนไพรมีคุณภาพดีและมีคุณสมบัติคงที่ การปนเปื้อนสารพิษจากสารเคมี การเกษตรโดยในกลุ่มวัตถุดิบสมุนไพร อาทิ สารหนู โลหะหนัก อย่างไรก็ตาม แนวโน้มความ ต้องการวัตถุดิบที่ได้มาตรฐานมีมากขึ้น เนื่องจากกฎระเบียบการค้า การใช้วัตถุดิบสมุนไพรที่ดี จะส่งผลโดยตรงต่อการพัฒนาคุณภาพผลิตภัณฑ์และความเชื่อมั่นของผู้บริโภค แต่ยังมี เกษตรกรจำนวนมากที่ต้องปรับปรุงการผลิตวัตถุดิบสมุนไพรให้มีคุณภาพกล่าวคือ มีสารสำคัญ ออกฤทธิ์ปริมาณมาก ไม่มีการปนเปื้อนของจุลินทรีย์เชื้อรา โลหะหนัก และสิ่งเจือปนอื่นเกิน มาตรฐาน เพื่อนำไปสู่การผลิตสมุนไพรอินทรีย์ (กระทรวงสาธารณสุข, 2559) ดังนั้นจึงเป็น แนวทางการศึกษาวิจัยเพื่อให้มีการบวนการผลิตกระชายดำให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพและ ปลอดภัยเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคสำหรับการแข่งขันในตลาดโลกต่อไป โดยศึกษาชนิดและ อัตราของปุ๋ยคอกที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และปริมาณสาร ฟลาโวนอยด์ของ กระชายดำ

วิธีดำเนินการวิจัย

ดินที่ใช้เป็นแปลงวิจัยเพื่อประสิทธิภาพของปุ๋ยคอกต่อการเจริญเติบโตและปริมาณ สารสารฟลาโวนอยด์ในกระชายดำ เป็นชุดดินแม่ริม (Mr) เป็นดินร่วนปนทราย สีนํ้าตาล ปฏิกริยาดินเป็นกรด (pH 5.5) ดินล่างเป็นดินร่วนปนดินเหนียว มีกรวดและหินปะปนอยู่

อย่างหนาแน่น ตั้งแต่ 50 ซม.จากผิวดิน โดยวางแผนการทดลองแบบ 4 X 2 factorial experiment in Randomized Complete Design ประกอบด้วย ปัจจัยที่ 1 ปุ๋ยคอก 4 ชนิด ได้แก่ ไม้ใส่ปุ๋ย มูลโค มูลไก่ และ มูลสุกร และปริมาณของปุ๋ยคอก จำนวน 2 อัตรา ได้แก่ 500 และ 800 กิโลกรัมต่อไร่ โดยแต่ละสิ่งทดลองมี 3 บล็อกๆละ 10 ต้น ปลูกลงในแปลงปลูกขนาด 1 x 2.5 เมตร ระยะปลูก 30 x 30 เซนติเมตร ฝังหัวพันธุ์กระชายดำในดินปลูกลึกประมาณ 10 เซนติเมตร บันทึกการเจริญเติบโต และผลผลิตของกระชายดำ โดยทำการวัดขนาดลำต้น ความกว้างใบ จำนวนหน่อตอกอ น้ำหนักเหง้าสด น้ำหนักเหง้าแห้ง โดยทำการเก็บเกี่ยวผลผลิตเมื่อปลูกได้ 32 สัปดาห์ นำเหง้าไปวิเคราะห์ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ โดยเตรียมตัวอย่างอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสจำนวน 72 ชั่วโมง นำตัวอย่างมาบดให้ละเอียด นำไปวิเคราะห์หาปริมาณสารฟลาโวนอยด์ด้วยเทคนิคสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ด้วยเครื่อง UV-Visible spectrophotometer (Shimadzu 1700, Japan) ที่ช่วงความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร นำผลที่ได้มาคำนวณหาความเข้มข้นปริมาณฟลาโวนอยด์เทียบกับกราฟมาตรฐาน เควอร์ซีติน (Quercetin) และวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยคอกที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ วิเคราะห์ไนโตรเจนทั้งหมด โดยวิธี Kjeldahl ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ใช้วิธีสกัดลิโอนาร์ไคต์ด้วยน้ำยา Bray-II และวิเคราะห์ปริมาณด้วยเครื่อง Spectrophotometer ความยาวคลื่นที่ 420 nm. โพแทสเซียมทั้งหมด แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ โดยย่อยตัวอย่างด้วยกรด HNO_3 : HClO_4 และวิเคราะห์ปริมาณด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer (Shimadzu รุ่น AA-6200) ทำการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (Analysis of Variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1.สภาพพื้นที่และปริมาณธาตุอาหารของปุ๋ยคอก

ส่วนปริมาณธาตุอาหารของปุ๋ยคอกที่ใช้ในการทดลองได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหาร ได้แก่ ทั้งหมดไนโตรเจน ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียมทั้งหมด แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยคอกชนิดต่างๆ

ชนิดของปุ๋ยคอก	ธาตุอาหาร				
	N (mg/kg)	P ₂ O ₅ (mg/kg)	Total K (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)
มูลโค	1.72	0.30	0.64	1.26	0.76
มูลไก่	2.28	1.25	1.78	3.05	0.78
มูลสุกร	0.61	3.20	0.37	12.53	1.00

2. อิทธิพลของชนิดปุ๋ยคอกและปริมาณการใส่ปุ๋ยต่อการเจริญเติบโตและปริมาณสารฟลาโวนอยด์

2.1 ความกว้างใบ

ผลของการใส่ปุ๋ยคอกต่อการเจริญเติบโตด้านความกว้างใบในสัปดาห์ที่ 6 จนถึงสัปดาห์ที่ 20 หลังปลูกพบว่า การใส่มูลสุกรอัตรา 800 กิโลกรัมต่อไร่ ให้จำนวนความกว้างใบสูงสุดแตกต่างการไม่ใส่ปุ๋ยคอกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P < 0.05$) (ตารางที่ 2 และ 3)

ตารางที่ 2 อิทธิพลของชนิดปุ๋ยคอกและปริมาณการใส่ปุ๋ยต่อความกว้างใบของต้นกระชายดำ (เซนติเมตร)

กรรมวิธี	อายุหลังปลูก (สัปดาห์)							
	6	8	10	12	14	16	18	20
1	7.57 ^e	8.81 ^d	8.99 ^e	8.64 ^d	10.00 ^c	10.82 ^e	11.34 ^b	11.35 ^d
2	8.08 ^d	9.06 ^{cd}	10.15 ^{ab}	10.35 ^a	10.50 ^b	11.21 ^{bc}	11.60 ^a	11.65 ^{ab}
3	8.23 ^d	9.52 ^b	9.67 ^d	9.87 ^{bc}	10.63 ^{ab}	11.33 ^b	11.59 ^a	11.62 ^{abc}
4	8.37 ^d	9.73 ^{ab}	9.77 ^{cd}	9.89 ^{bc}	10.59 ^{ab}	11.25 ^b	11.61 ^a	11.63 ^{abc}
5	9.47 ^c	9.11 ^{cd}	9.76 ^{cd}	9.78 ^c	10.51 ^b	11.06 ^{cd}	11.44 ^{ab}	11.45 ^{bcd}
6	10.37 ^b	9.83 ^a	10.39 ^a	10.50 ^a	10.57 ^b	10.91 ^{de}	11.35 ^b	11.43 ^{cd}
7	11.61 ^a	9.59 ^{ab}	10.01 ^{bc}	10.05 ^b	10.77 ^a	11.16 ^a	11.49 ^{ab}	11.75 ^a
p-value	0.0321	0.0399	0.0464	0.0471	0.0451	0.0417	0.0740	0.0900
F-est _{0.05}	*	*	*	*	*	*	*	*
C.V.(%)	12.38	19.33	16.34	16.53	19.37	15.19	19.31	17.39

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ จากการทดสอบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT

1 = ไม่ใส่ปุ๋ยคอก, 2 = ใส่ปุ๋ยมูลโค 500 kg, 3 = ใส่ปุ๋ยมูลไก่ 500 kg, 4 = ใส่ปุ๋ยมูลสุกร 500 kg, 5 = ใส่ปุ๋ยมูลโค 800 kg, 6 = ใส่ปุ๋ยมูลไก่ 800 kg, 7 = ใส่ปุ๋ยมูลสุกร 800 kg

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยของความกว้างใบของต้นกระชายดำเมื่ออายุ 20 สัปดาห์

ชนิดปุ๋ย	0 kg	500 kg	800 kg	เฉลี่ย
ไม่ใส่ปุ๋ย	11.35 ^d			11.35 ^C
มูลโค		11.65 ^{ab}	11.45 ^{bcd}	11.55 ^{AB}
มูลไก่		11.62 ^{abc}	11.43 ^{cd}	11.52 ^B
มูลสุกร		11.63 ^{abc}	11.75 ^a	11.69 ^B
เฉลี่ย		11.56 ^A	11.49 ^A	

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยในแถวและคอลัมน์ที่มีอักษรพิมพ์ใหญ่ต่างกัน และค่าปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างชนิดของปุ๋ยคอกและอัตราการใส่ที่ อักษรพิมพ์เล็กต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 เมื่อเปรียบเทียบกับวิธี DMRT

2.2 ขนาดลำต้นเทียม

ผลของการใส่ปุ๋ยคอกต่อขนาดลำต้นเทียมในสัปดาห์ที่ 6 จนถึงสัปดาห์ที่ 20 หลังปลูกนั้น การใส่ปุ๋ยคอกตามกรรมวิธีในอัตรา 500 และ 800 กิโลกรัมต่อไร่ และไม่ใส่ปุ๋ยคอกไม่มีความแตกต่างทางสถิติยกเว้นการใส่มูลโค 800 กิโลกรัมต่อไร่ให้ขนาดลำต้นน้อยที่สุด (ตารางที่ 4 และ 5)

ตารางที่ 4 อิทธิพลของชนิดปุ๋ยคอกและอัตราการใส่ปุ๋ยขนาดลำต้นเทียมของต้นกระชายดำ (เซนติเมตร)

กรรมวิธี	อายุหลังปลูก (สัปดาห์)							
	6	8	10	12	14	16	18	20
1	3.77 ^e	5.87 ^e	7.08 ^{cd}	7.05 ^d	7.17 ^c	7.37 ^b	7.72 ^{ab}	7.77 ^a
2	3.98 ^d	6.14 ^d	7.22 ^{bc}	7.27 ^{cd}	7.41 ^b	7.48 ^b	7.58 ^b	7.88 ^a
3	4.01 ^d	6.54 ^a	7.32 ^{ab}	7.65 ^a	7.59 ^a	7.68 ^a	7.71 ^{ab}	7.76 ^a
4	4.23 ^c	6.32 ^{bc}	7.48 ^a	7.59 ^{ab}	7.63 ^a	7.72 ^a	7.75 ^a	7.86 ^a
5	6.03 ^{ab}	6.23 ^{cd}	6.97 ^d	7.12 ^d	7.17 ^c	7.18 ^c	7.26 ^c	7.36 ^b
6	6.09 ^a	6.12 ^d	7.12 ^{cd}	7.20 ^{cd}	7.55 ^a	7.75 ^a	7.82 ^a	7.72 ^a
7	5.93 ^b	6.38 ^b	7.24 ^{bc}	7.38 ^{bc}	7.65 ^a	7.74 ^a	7.74 ^a	7.76 ^a
p-value	0.0230 [*]	0.0359 [*]	0.0414 [*]	0.0025 [*]	0.0406 [*]	0.0442 [*]	0.0367 [*]	0.0267 [*]
C.V. (%)	19.02	11.13	10.90	15.76	20.15	20.38	12.03	12.55

หมายเหตุ: * คือค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับ 0.05 จากการทดสอบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT

ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ยของขนาดลำต้นเทียมของต้นกระชายดำเมื่ออายุ 20 สัปดาห์ (เซนติเมตร)

ชนิดปุ๋ย	0 kg	500 kg	800 kg	เฉลี่ย
ไม่ใส่ปุ๋ย	7.77 ^a			7.77 ^{AB}
มูลโค		7.88 ^a	7.36 ^b	7.62 ^B
มูลไก่		7.76 ^a	7.72 ^a	7.74 ^{AB}
มูลสุกร		7.86 ^a	7.76 ^a	7.81 ^A
เฉลี่ย		7.82^A	7.65^B	

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยในแถวและคอลัมน์ที่มีอักษรพิมพ์ใหญ่ต่างกัน และค่าปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างชนิดของปุ๋ยคอกและอัตราการใส่ที่ อักษรพิมพ์เล็กต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 เมื่อเปรียบเทียบกับวิธี DMRT

2.3 จำนวนหน่อสะสม

หลังจากปลูกกระชายดำโดยใช้เหง้าและให้ปุ๋ยคอกอัตราต่างๆ ตามกรรมวิธี เมื่ออายุ 20 สัปดาห์หลังปลูก ต้นกระชายดำมีจำนวนหน่อสะสมแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยต้นกระชายที่ได้รับปุ๋ยคอกจะมีจำนวนหน่อสะสมมากกว่าต้นกระชายดำที่ไม่ได้ใส่ปุ๋ยคอก ซึ่งในสัปดาห์ที่ 6 พบว่าการใส่ปุ๋ยมูลสุกรอัตรา 800 กิโลกรัมต่อไร่ ให้จำนวนหน่อสะสมแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกรรมวิธีที่ไม่ได้ใส่ปุ๋ยและกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยมูลไก่ มูลโค และมูลสุกรอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ และจำนวนหน่อสะสมจะเพิ่มขึ้นตามอายุของกระชายดำจนถึงสัปดาห์ที่ 20 พบว่าจำนวนหน่อสะสมของกระชายในกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยมูลสุกร อัตรา 800 กิโลกรัมต่อไร่ ให้จำนวนหน่อสะสมมากที่สุดและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกรรมวิธีที่ไม่ได้ใส่ปุ๋ย กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยมูลไก่ มูลโคและมูลสุกรอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ และกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยมูลไก่ และมูลโคอัตรา 800 กิโลกรัมต่อไร่ (ตารางที่ 6 และ 7)

ตารางที่ 6 อิทธิพลของชนิดปุ๋ยคอกและอัตราการใส่ปุ๋ยต่อจำนวนหน่อสะสมของต้นกระชายดำ(หน่อ)

กรรมวิธี	อายุหลังปลูก (สัปดาห์)							
	6	8	10	12	14	16	18	20
1	0.37 ^{cd}	2.17 ^c	2.70 ^d	6.27 ^c	7.88 ^d	11.73 ^c	13.57 ^{de}	16.07 ^e
2	0.25 ^e	1.90 ^d	2.93 ^c	5.93 ^d	7.97 ^d	11.40 ^d	13.60 ^d	16.05 ^e
3	0.31 ^{de}	2.23 ^{bc}	2.89 ^c	6.01 ^d	7.93 ^d	11.23 ^e	13.47 ^e	16.87 ^c
4	0.43 ^{bc}	2.39 ^b	3.01 ^{bc}	6.17 ^c	8.01 ^{cd}	11.51 ^d	13.79 ^{ab}	17.13 ^b
5	0.41 ^{bc}	2.38 ^b	2.99 ^{bc}	6.29 ^c	8.16 ^{bc}	11.72 ^c	13.64 ^{cd}	16.62 ^c
6	0.48 ^{ab}	2.77 ^a	3.13 ^b	6.71 ^b	8.23 ^b	11.91 ^b	13.73 ^{bc}	17.03 ^b
7	0.53 ^a	2.93 ^a	3.33 ^a	6.90 ^a	8.51 ^a	12.10 ^a	13.87 ^a	17.27 ^a
p-value	0.0241 [*]	0.0424 [*]	0.0109 [*]	0.0000 [*]	0.0152 [*]	0.0132 [*]	0.0000 [*]	0.0000 [*]
C.V. (%)	16.45	12.89	11.73	11.68	12.87	10.07	19.12	11.58

หมายเหตุ: * คือค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับ 0.05 จากการทดสอบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT

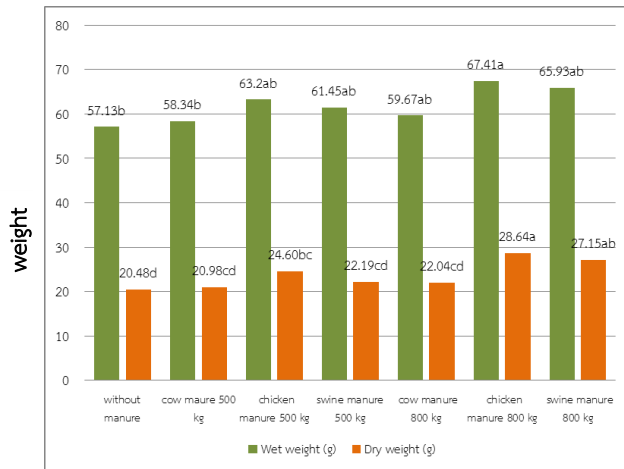
ตารางที่ 7 ค่าเฉลี่ยของจำนวนหน่อสะสมของต้นกระชายดำเมื่ออายุ 20 สัปดาห์ (เซนติเมตร)

ชนิดปุ๋ย	0 kg	500 kg	800 kg	เฉลี่ย
ไม่ใส่ปุ๋ย	16.07 ^e			16.07 ^D
มูลโค		16.05 ^e	16.62 ^c	16.32 ^C
มูลไก่		16.87 ^c	17.03 ^b	16.95 ^B
มูลสุกร		17.13 ^b	17.27 ^a	17.20 ^A
เฉลี่ย		16.53^B	16.74^A	

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยในแถวและคอลัมน์ที่มีอักษรพิมพ์ใหญ่ต่างกัน และค่าปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างชนิดของปุ๋ยคอกและอัตราการใช้ที่ อักษรพิมพ์เล็กต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT

2.4 น้ำหนักเหง้าสดและน้ำหนักเหง้าแห้ง

เมื่อระยะเวลาปลูกกระชายดำครบ 32 สัปดาห์ ทำการเก็บเกี่ยวผลผลิตเหง้ากระชายดำที่ใส่มูลไก่อัตรา 800 กิโลกรัมต่อไร่ ให้ผลผลิตน้ำหนักสดสูงที่สุด 67.41 กรัมและน้ำหนักแห้งสูงที่สุดที่ 28.64 กรัม ซึ่งแตกต่างกับต้นกระชายดำที่ไม่ได้ใส่ปุ๋ยคอกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (รูป1)



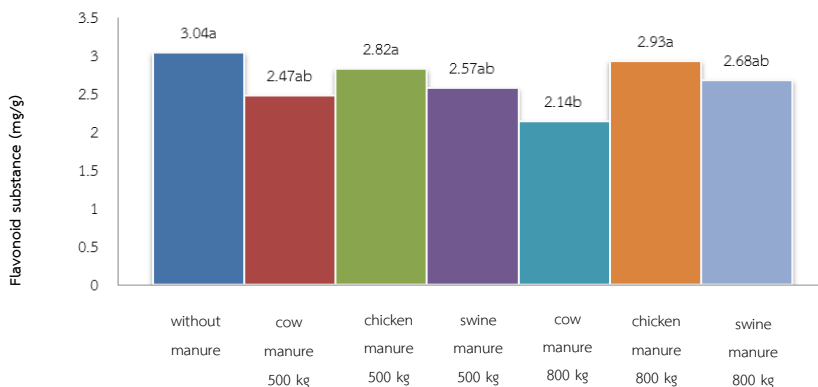
หมายเหตุ: อักษรพิมพ์เล็กต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

เมื่อเปรียบเทียบกับวิธี DMRT

รูป 1 น้ำหนักเหง้าสดและน้ำหนักเหง้าแห้ง

2.4 ปริมาณสารฟลาโวนอยด์

การวิเคราะห์สารฟลาโวนอยด์ในเหง้ากระชายดำ พบว่าเหง้ากระชายดำที่ไม่ได้ใส่ปุ๋ยคอกและใส่มูลไก่ อัตรา 500 และ 800 กิโลกรัมต่อไร่ ให้ปริมาณสารฟลาโวนอยด์สูงที่สุด 3.04, 2.82 และ 2.93 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ แตกต่างกับต้นกระชายดำที่ใส่มูลโคอัตรา 800 กิโลกรัมต่อไร่ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (รูป 2)



หมายเหตุ: อักษรพิมพ์เล็กต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

เมื่อเปรียบเทียบกับวิธี DMRT

รูป 2 ปริมาณสารฟลาโวนอยด์

การอภิปรายผล

การใส่ปุ๋ยมูลสุกร อัตรา 800 กิโลกรัมต่อไร่ มีศักยภาพในการให้การเจริญเติบโต ด้านความกว้างใบ ขนาดลำต้นเทียมและจำนวนหน่อสะสมมากที่สุด ส่วนการใส่ปุ๋ยมูลไก่ อัตรา 800 กิโลกรัมต่อไร่ ให้น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งมากที่สุด เนื่องจากมูลไก่มีปริมาณ ไนโตรเจนทั้งหมดสูงถึง 2.28 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากกว่าปุ๋ยมูลวัว และมูลสุกร ซึ่งธาตุไนโตรเจนที่มีปริมาณมากในมูลไก่สามารถกระตุ้นการเติบโตของมวลชีวภาพของพืชได้ (Plaster, 2003) ส่วน (Riyana et al., 2018) พบว่าการใช้มูลไก่ในอัตรา 0.31 ตัน/ไร่ สามารถพัฒนาการเจริญเติบโตด้านความยาวของใบ เส้นผ่านศูนย์กลางของหัว น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของพืชได้ดีที่สุด โดยปริมาณธาตุอาหารในดินอาจเพียงพอที่จะตอบสนองความต้องการในการเจริญเติบโตของพืชได้โดยเฉพาะแหล่งที่มาไนโตรเจนและมีอิทธิพลในเชิงบวกต่อผลผลิตของพืช (Fageria & Baligar, 2005) ซึ่งปริมาณและคุณภาพของปุ๋ยคอกอินทรีย์ยังมีผลอย่างมากต่อความสมดุลของไนโตรเจนในดินด้วย (Hati et al., 2008) ทำนองเดียวกับ (Hazra, 2007) ที่กล่าวถึงอิทธิพลของไนโตรเจนส่งผลต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพของผลผลิต ส่วนปริมาณสารฟลาโวนอยด์ที่สกัดได้จากเหง้าของกระชายดำ เมื่อพบว่าไม่ใส่ปุ๋ยมีปริมาณสารฟลาโวนอยด์สูงสุด ทั้งนี้การสร้างสารสำคัญในพืชมักสร้างในปริมาณสูงเมื่อพืชได้รับความเครียด ซึ่งการได้รับแร่ธาตุอาหารที่พอเพียงจึงไม่เป็นการก่อให้เกิดความเครียดแก่พืช ซึ่งความเครียดในความหมายที่เกี่ยวข้องกับพืช เป็นสภาวะความเครียดที่เกิดจากปัจจัยภายนอก ได้แก่ สภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต ส่งผลให้พืชมีการเจริญเติบโตที่ผิดปกติไปจากเดิม โดยสภาวะแวดล้อมนั้นประกอบด้วยสิ่งที่ไม่มีชีวิต (abiotic) เช่น น้ำ อุณหภูมิ และสิ่งมีชีวิต (biotic) เช่น แมลงศัตรูพืช โดยทุกปัจจัยที่ก่อให้เกิดความเครียดในพืช ท้ายที่สุดจะชักนำให้เกิดอนุมูลอิสระในพืชเกิดเป็น oxidative stress (ตุลาพร แก้วแก่น และ วัฒนาพัฒนากุล, 2549) ทำนองเดียวกับ (บุหรัน พันธุ์สวรรค์, 2556) ที่กล่าวว่าปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างสารในพืชคือระยะเวลา อายุ ชนิดเซลล์ ปริมาณ ความเข้มข้นของสิ่งเร้า และ สารทุติภูมิในพืชจะถูกสร้างขึ้นเมื่อพืชเกิดความเครียด ซึ่งความเครียดสามารถเกิดขึ้นได้จากปัจจัยสิ่งมีชีวิตและสิ่งไม่มีชีวิต ส่วนการใช้มูลวัวอัตรา 800 กิโลกรัมต่อไร่ทำให้ปริมาณสาร ฟลาโวนอยด์ลด ซึ่ง (ตันหยง เอมอยู่ และ วินัย แสงแก้ว, 2564) ได้ศึกษาการสกัดสารฟลาโวนอยด์จากส่วนใบและหัวของต้นว่านพญาอากาศโดยใส่ปุ๋ยมูลวัวและไม่ใส่ปุ๋ย สิ่งทดลองที่ไม่ใส่ปุ๋ยมีปริมาณสารมากที่สุดคือ 15.25 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ในขณะที่อัตราปุ๋ย 200, 400

และ 600 กรัมต่อต้นมีปริมาณ 9.82, 6.86 และ 7.01 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงอัตราปุ๋ยมูลวัวที่ให้ในปริมาณที่เพิ่มขึ้นต่อต้นไม่ส่งผลต่อการเพิ่มปริมาณสารฟลาโวนอยด์ในส่วนของใบ เนื่องจากพืชอยู่ในสภาพที่ได้รับผลปุ๋ยน้อยส่งผลให้พืชเข้าสู่สภาวะเครียดจะไปชักนำให้เกิดการสร้างสารฟีนอลิกในกลุ่มนโพลีฟีนอล (polyphenol)

สรุปผลการวิจัย

การศึกษานิตและอัตราการใส่ปุ๋ยคอกส่งผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของกระชายดำพบว่าชนิดและอัตราของปุ๋ยคอกมีผลต่อการเจริญเติบโตทั้งความกว้างใบ ขนาดลำต้นเทียม และจำนวนหน่อสะสมของกระชายดำ ส่วนการวิเคราะห์ปริมาณสาร ฟลาโวนอยด์พบว่ากรรมวิธีที่ไม่ได้ใส่ปุ๋ยจะมีปริมาณสารฟลาโวนอยด์สูงสุดมีค่าเท่ากับ 3.04 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง รองลงมาคือกรรมวิธีใส่ปุ๋ยมูลไก่อัตรา 800 และ 500 กิโลกรัมต่อไร่ มีค่าเท่ากับ 2.93 และ 2.82 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ และคณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ที่สนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- กระทรวงสาธารณสุข. (2559). แผนแม่บทแห่งชาติว่าด้วยการพัฒนาสมุนไพรไทย ฉบับที่ 1 พ.ศ. 2560-2564. บจก.ทีเอส อินเทอร์เน็ต.
- มุกดา สุขสวัสดิ์.(2560). *ปุ๋ยอินทรีย์*. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์บ้านและสวน.
- ตุลาพร แก้วแก่น และ วัฒนา พัฒนากุล. (2549). ผลของสภาวะขาดน้ำจากความแล้งและความเครียดเกลือต่อลักษณะทางสรีรวิทยาบางประการและเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรตในข้าวระยะต้นกล้า. *วารสารวิจัย มช.*, 11(4), 260-268.
- ตันหยง เอมอยู่ และ วินัย แสงแก้ว. (2564). ผลของอัตราปุ๋ยมูลวัวที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและปริมาณสารฟลาโวนอยด์ของต้นว่านพญาอากาศ (Leea macrophylla Roxb. ex Hornem.) *วารสารผลิตกรรมการเกษตร*, 2(2). 75-83.

- บุหรัน พันธุ์สุวรรณ. (2556). อนุมูลอิสระสารต้านอนุมูลอิสระ และการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*. 21(3): 275-286.
- ศูนย์ข้อมูลสมุนไพร. (2554). *ว่านกระชายดำ*. โรงพยาบาลเจ้าพระยาอภัยภูเบศร, ปราจีนบุรี.
- อรัญญา ศรีบุศราคม. (2558). กระชายดำกับสมรรถภาพทางเพศชาย. *จุลสารข้อมูลสมุนไพร*, 32(4), 2-5.
- Fageria, N. K., & Baligar, V. C. (2005). Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. *Adv. Agron*, 88, 97–185.
- Hati, K. M., Swarup, A., Mishra, B., Manna, M. C., Waniari, R. H., Mandal, K.G., & Misra, A. K. (2008). Impact of long-term application of fertilizer, manure and lime under intensive cropping on physical properties and organic carbon content of an Alfisol. *Geoderma*, 148, 173–179.
- Hazra, C. R. (2007). Organic manures for sustainable agriculture. *J. Agric*, 12(1), 1–10.
- Plaster E.J. (2003). *Soil science and management*. Inc. 4th ed United States. Delmar Learning.
- Plaster, E. J. (2003). *Soil science and management*. 4th ed. United States: Delmar Learning.
- Pojanagaroon, S., & Kaewrak, C. (2003). *Varietal selection of collected Krachai-Dam rhizomes by using the preference of Keachai-Dam product distributors and sellers*. 402-406. In: Proceedings of the International Conference on Biodiversity and Bioaction Compounds. 17–19 July 2003, Pattaya.
- Riyana, D., Widiyastuti, Y., Widodo, H., Purwanto, E., & Samanhudi. (2018). Effect of manure and plants spacing on yield and flavonoid content of *Elephantopus scaber* L. *Earth and Environmental Science*, 142, Doi :10.1088/1755-1315/142/1/012038.

คำแนะนำสำหรับผู้เขียน

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี (UDON THANI RAJABHAT UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY; ISSN 2287-0083) ชื่อย่อภาษาอังกฤษ “UDRU Sci. & Tech. J.” มีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่บทความวิจัยและบทความวิชาการของคณาจารย์ นักวิจัย นักวิชาการและนักศึกษาทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วารสารรับการตีพิมพ์เผยแพร่บทความในกลุ่มวิทยาศาสตร์ สาขาเคมี ฟิสิกส์ ชีววิทยา และคณิตศาสตร์ กลุ่มวิทยาศาสตร์ประยุกต์ สาขาวิทยาศาสตร์สุขภาพ วิทยาศาสตร์การกีฬา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม วัสดุศาสตร์ และเทคโนโลยีชีวภาพ กลุ่มเกษตรศาสตร์ สาขาพืชศาสตร์ เศรษฐศาสตร์เกษตร ประมง และสัตวศาสตร์ และกลุ่มวิศวกรรมศาสตร์ สาขาเครื่องกล พลังงาน อิเล็กทรอนิกส์ ไฟฟ้า และคอมพิวเตอร์ โดยมีกำหนดจัดพิมพ์ออกเผยแพร่ ปีละ 2 ฉบับ ฉบับที่ 1 (มกราคม – มิถุนายน) ฉบับที่ 2 (กรกฎาคม – ธันวาคม) ของทุกปี

บทความที่ส่งมาเพื่อการพิจารณาต้องเป็นบทความที่ไม่เคยตีพิมพ์เผยแพร่มาก่อน ไม่อยู่ระหว่างการเสนอขอตีพิมพ์ในวารสารอื่น เนื้อหาของบทความได้จากการสังเคราะห์ความคิดขึ้นโดยผู้เขียนเอง ไม่ได้คัดลอก หรือดัดทอนมาจากผลงานของผู้อื่นโดยไม่ได้รับอนุญาต หรือปราศจากการอ้างอิงที่เหมาะสม หากบทความวิจัยที่เกี่ยวข้องกับมนุษย์หรือสัตว์ทดลอง ควรผ่านความเห็นชอบจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์และคณะกรรมการจรรยาบรรณการใช้สัตว์เพื่อการวิจัยก่อน ทุกบทความที่ได้ตีพิมพ์ในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ได้ผ่านการตรวจสอบจากผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer Review) ในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องกับบทความโดยตรงจำนวน 2 ท่าน โดยที่กองบรรณาธิการฯ กำหนดระเบียบการส่งต้นฉบับให้ผู้เขียนยึดเป็นแนวทาง โดยผู้เขียนจะต้องจัดรูปแบบต้นฉบับตามหลักเกณฑ์ที่กำหนด เพื่อให้วารสารมีคุณภาพตามมาตรฐานทางวิชาการที่นำไปใช้อ้างอิงได้

หลักเกณฑ์การเสนอบทความ

1. องค์ประกอบของบทความ

1.1 บทความวิชาการและบทความปริทัศน์ ประกอบด้วย ชื่อเรื่อง/ บทคัดย่อ (ถ้ามี)/ บทนำ/ เนื้อเรื่อง/ สรุป/ และเอกสารอ้างอิง

1.2 บทความวิจัย ประกอบด้วย ชื่อเรื่อง/ บทคัดย่อและ ABSTRACT/ คำสำคัญ และKEYWORDS/ บทนำ/ วิธีดำเนินการวิจัย/ ผลการวิจัยและอภิปรายผล/ สรุปผลการวิจัย/ กิตติกรรมประกาศ และเอกสารอ้างอิง

2. การเตรียมต้นฉบับ มีรายละเอียดดังนี้

2.1 ต้นฉบับ เป็นต้นฉบับภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษ ความยาวไม่เกิน 15 หน้า พิมพ์หน้าคู่ โดยใช้ตัวอักษรแบบ TH Sarabun New จัดเป็น 1 คอลัมน์

2.1.1 ขนาดกระดาษ กำหนดเป็น B5 (ISO) ซึ่งมีขนาดความกว้าง 17.6 เซนติเมตร และความสูง 25 เซนติเมตร

2.1.2 การเว้นระยะขอบกระดาษ กำหนดดังนี้

ระยะขอบบน 3 เซนติเมตร ระยะขอบล่าง 2 เซนติเมตร

ระยะภายใน 3 เซนติเมตร ระยะภายนอก 2 เซนติเมตร

2.2 ชื่อเรื่อง ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ขนาด 16 พอยต์ ชนิดตัวหนา ตำแหน่งกึ่งกลางหน้ากระดาษ ความยาวไม่เกิน 3 บรรทัด โดยชื่อเรื่องภาษาอังกฤษใช้อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ทั้งหมด

2.3 ชื่อผู้เขียนและผู้เขียนร่วม ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ขนาด 14 พอยต์ ชนิดตัวธรรมดา ตำแหน่งกึ่งกลางหน้ากระดาษได้ชื่อเรื่อง

2.4 หน่วยงานหรือสังกัด ของผู้เขียนและผู้เขียนร่วม ใช้เชิงอรรถในบรรทัดต่อมา ขนาด 12 พอยต์ ชนิดตัวธรรมดา ตำแหน่งกึ่งกลางหน้ากระดาษ

2.5 ชื่อผู้ประสานงาน ใช้เชิงอรรถส่วนท้ายของหน้ากระดาษ ขนาด 12 พอยต์ ชนิดตัวธรรมดา ตำแหน่งชิดขอบกระดาษด้านซ้าย โดยระบุชื่อและอีเมลของผู้ประสานงาน

2.6 บทคัดย่อ หัวข้อภาษาไทยใช้คำว่า “บทคัดย่อ” หัวข้อภาษาอังกฤษใช้คำว่า “Abstract” ขนาด 15 พอยต์ ชนิดตัวหนา ชิดขอบกระดาษด้านซ้าย

2.7 คำสำคัญ หัวข้อภาษาไทยใช้คำว่า “คำสำคัญ” หัวข้อภาษาอังกฤษใช้คำว่า “Keywords” ขนาด 15 พอยต์ ชนิดตัวหนา ตำแหน่งชิดซ้ายหน้ากระดาษ โดยมีคำสำคัญไม่เกิน 4 คำ คั่นแต่ละคำด้วยเครื่องหมายจุลภาค (,) ตัวอักษรขนาด 15 พอยต์ ชนิดตัวธรรมดา เรียงคำตามลำดับความสำคัญ

2.8 หัวข้อเรื่อง หัวข้อใหญ่ ขนาด 15 พอยต์ ชนิดตัวหนา ตำแหน่งชิดขอบกระดาษ ด้านซ้าย หัวข้อย่อย ขนาด 15 พอยต์ ชนิดตัวธรรมดา ระบุหมายเลขหน้าหัวข้อย่อย จัดการเยื้องย่อหน้าตามความเหมาะสม

2.9 เนื้อหา ขนาด 15 พอยต์ ชนิดตัวธรรมดา จัดกั้นหน้ากั้นหลัง ตลอดทั้งบทความ

2.10 รูปประกอบ ต้องมีความชัดเจน โดยมีชื่อรูปแสดงที่ได้รูป เช่น รูปที่ 1 หรือ Fig. 1 หากมีการอ้างอิงให้ระบุ ที่มา:

2.11 ตาราง จัดพิมพ์แทรกในเนื้อเรื่อง เว้นระยะห่าง 1 บรรทัด โดยมีชื่อตารางที่เหนือตาราง เช่น ตารางที่ 1 หรือ Table 1

2.12 เอกสารอ้างอิง หัวข้อภาษาไทยใช้คำว่า “เอกสารอ้างอิง” หัวข้อภาษาอังกฤษใช้คำว่า “References” ขนาด 15 พอยต์ ชนิดตัวหนา ตำแหน่งชิดขอบกระดาษด้านซ้าย ส่วนของรายการอ้างอิง ขนาด 15 พอยต์ ชนิดตัวธรรมดา จัดกั้นหน้ากั้นหลัง

2.13 ตัวเลข ใช้เลขอารบิก ตลอดทั้งบทความ

2.14 หมายเลขหน้า ใช้เลขอารบิก แบบอักษร TH Sarabun New ขนาด 15 พอยต์ ชนิดตัวธรรมดา ตำแหน่งชิดขอบกระดาษด้านบนขวา

3. การอ้างอิง (แบบ APA 6th edition)

3.1 การอ้างอิงในเนื้อหา

(ชื่อผู้แต่ง,/ปีพิมพ์)

ตัวอย่าง

(บริบูรณ์ สมฤทธิ์, 2550)

(สุกัญญา จัดตุพรพงษ์ และ วราพันธ์ จินตณวิชัย, 2547)

(Claassen et al., 2004)

3.2 การอ้างอิงส่วนท้ายเล่ม

3.2.1 อ้างอิงจากวารสาร

ชื่อผู้เขียนบทความ./ (ปีพิมพ์)./ ชื่อบทความ./ ชื่อวารสาร./ ปีที่ฉบับที่./ เลขหน้า.

ตัวอย่าง

มาลี เป็นสุข. (2550). ความต้องการและปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับความต้องการของผู้ป่วยโรคเอดส์. *วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 9(2), 5-10.

Huang, L. C. (1988). A procedure for asexual multiplication of *Paphiopedilum* in vitro. *Amer. Orchid Soc. Bull.*, 57(3), 274-278.

3.2.2 อ้างอิงจากหนังสือ

ชื่อผู้แต่ง./ (ปีพิมพ์)./ ชื่อเรื่อง./ ครั้งที่พิมพ์ (พิมพ์ครั้งที่ 2 เป็นต้นไป)./ สถานที่พิมพ์./ สำนักพิมพ์.

ตัวอย่าง

ดุสิต เครื่องาม. (2542). *สิ่งประดิษฐ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ ฟิสิกส์เทคโนโลยีและการใช้งาน*. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นิพนธ์ วิสารทนนท์ และ จักรพงษ์ เจริญศิริ. (2541). *โรคผลไม้*. กรุงเทพฯ: สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตร เขตที่ 6.

Raven, P. H., & Johnson, G. B. (1999). *Biology*. 5th ed. Boston: WCB/McGraw-Hill.

3.2.3 อ้างอิงจากสารสนเทศอิเล็กทรอนิกส์

ชื่อผู้แต่ง./ (ปีพิมพ์)./ ชื่อเรื่อง./ สืบค้นเมื่อ/วัน/เดือน/ปี./ จากแหล่งที่เข้าถึงได้

ตัวอย่าง

Roger, L. C., & Richard, L. H. (2010). Calcium-Permeable AMPA receptor dynamics mediate fear, memory erasure. *Science*, 330(6007), 1108-1112.
doi:10.1126/science.1195298

3.2.4 อ้างอิงจากวิทยานิพนธ์

ชื่อผู้เขียนวิทยานิพนธ์./ (ปีพิมพ์)./ *ชื่อวิทยานิพนธ์*./ (วิทยานิพนธ์ปริณญามหาบัณฑิตหรือ
วิทยานิพนธ์ปริญาดุขภักบัณฑิต./ ชื่อมหาวิทยาลัย/สถาบันการศึกษา).

ตัวอย่าง

พัชรภรณ์ บุราณรักษ์. (2551). *พฤกษศาสตร์พื้นบ้านของพืชสมุนไพรในภูหินลาดซ้อฟ้าจังหวัดหนองบัวลำภู*. (วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี).

Kanjanakaew W. (2001). The satisfaction of people towards public park management: A case study of Nongprachak park, Udonthani. Graduate School, Master of Arts (Environment), Mahidol University, Bangkok (Thailand).

3.2.5 อ้างอิงจากบทความในหนังสือ

ชื่อผู้เขียนบทความ./ (ปีพิมพ์)./ *ชื่อบทความ*./ ใน/ *ชื่อผู้แต่ง*./ (บรรณาธิการ)./ *ชื่อหนังสือ*
(ครั้งที่พิมพ์./ เลขหน้าที่ปรากฏบทความจากหน้าใดถึงหน้าใด)./ สถานที่
พิมพ์./ สำนักพิมพ์.

ตัวอย่าง

เรวัต เลิศฤทัยโยธิน. (2541). ข้าวฟ่าง. ใน วาสนา วงษ์ใหญ่, อุดม พูลเกษ และ วิทยา
แสงแก้วสุข (บรรณาธิการ), *พฤกษศาสตร์พืชเศรษฐกิจ* (หน้า 20-25). กรุงเทพฯ:
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Roy, A. (1995). Psychiatric emergencies. In H. I. Kaplan (Ed.), *Comprehensive textbook of psychiatry* (6th ed., pp. 1739-1749). Baltimore: William & Wilkins.

1) ขนาดกระดาษ: B5 (ISO) 17.6 x 25 ซม.

2) ระยะขอบ:

บน 3 ซม. ล่าง 2 ซม.

ภายใน 3 ซม. ภายนอก 2 ซม.

ชื่อเรื่อง

{TH Sarabun 16 pt, ตัวหนา, จัดกึ่งกลาง}

TITLE

{TH Sarabun 15 pt, ตัวหนา, จัดกึ่งกลาง, อักษรตัวพิมพ์ใหญ่}

ผู้เขียนคนที่ 1^{1,*} ผู้เขียนคนที่ 2² และ ผู้เขียนคนที่ 3³

¹ สังกัด 1 {เช่น สาขาวิชา.... คณะ.... สถาบัน....}

² สังกัด 2 {เช่น สาขาวิชา.... คณะ.... สถาบัน....}

{TH Sarabun 12 pt, ตัวธรรมดา, จัดกึ่งกลาง}

บทคัดย่อ {TH Sarabun 15 pt, ตัวหนา, จัดชิดซ้าย}

งานวิจัยนี้... {TH Sarabun 15 pt, ตัวธรรมดา, จัดกระจายแบบไทย}.....

.....
.....

คำสำคัญ: คำที่ 1, คำที่ 2, คำที่ 3, ... {TH Sarabun 15 pt, ไม่เกิน 5 คำ}

Abstract {TH Sarabun 15 pt, ตัวหนา, จัดชิดซ้าย}

This study... {TH Sarabun 15 pt, ตัวธรรมดา, จัดกระจายแบบไทย}.....

.....
.....

Keywords: word 1, word 2, word 3, ... {TH Sarabun 15 pt, ไม่เกิน 5 คำ}

* ผู้ประสานงาน: ชื่อ-นามสกุล ผู้ประสานงาน {TH Sarabun 12 pt, ตัวธรรมดา, จัดชิดซ้าย}

อีเมล:@...com

บทนำ {TH Sarabun 15 pt, ตัวหนา, จัดชิดซ้าย}

เนื้อหา... {TH Sarabun 15 pt, ตัวธรรมดา, จัดกระจายแบบไทย}.....

.....

.....

วิธีดำเนินการวิจัย {TH Sarabun 15 pt, ตัวหนา, จัดชิดซ้าย}

เนื้อหา... {TH Sarabun 15 pt, ตัวธรรมดา, จัดกระจายแบบไทย}.....

.....

.....

ตารางที่ 1 ชื่อตาราง.....

รายการ	ความถี่	ร้อยละ
1.....	50	50.00
2.....	50	50.00
รวม	100	100.00

ที่มา: ชื่อ สกุล (ปีที่อ้างอิง: เลขหน้า) {TH Sarabun 15 pt, จัดชิดซ้าย}



รูปที่ 1

ที่มา: ชื่อ สกุล (ปีที่อ้างอิง: เลขหน้า)

{TH Sarabun 15 pt, จัดกึ่งกลาง}

ผลการวิจัยและอภิปรายผล {TH Sarabun 15 pt, ตัวหนา, จัดชิดซ้าย}

เนื้อหา... {TH Sarabun 15 pt, ตัวธรรมดา, จัดกระจายแบบไทย}.....

.....
.....

สรุปผลการวิจัย {TH Sarabun 15 pt, ตัวหนา, จัดชิดซ้าย}

เนื้อหา... {TH Sarabun 15 pt, ตัวธรรมดา, จัดกระจายแบบไทย}.....

.....
.....

กิตติกรรมประกาศ {TH Sarabun 15 pt, ตัวหนา, จัดชิดซ้าย}

เนื้อหา... {TH Sarabun 15 pt, ตัวธรรมดา, จัดกระจายแบบไทย}.....

.....
.....

เอกสารอ้างอิง {TH Sarabun 15 pt, ตัวหนา, จัดชิดซ้าย}

รายการอ้างอิง 1... {TH Sarabun 15 pt, ตัวธรรมดา, จัดกระจายแบบไทย}.....

.....

รายการอ้างอิง 2.....

.....

Udon Thani Rajabhat University
Journal of Science and Technology

Vol.9 Issue.3 (2021)

ISSN 2287-0083

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

64 ถ.ทหาร ตำบลหมากแข้ง อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี 41000

โทรศัพท์: 042-211040 ต่อ 1702 โทรสาร: 042-241586

เว็บไซต์: <http://rdi.udru.ac.th>

เว็บไซต์: <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/scudru>

อีเมล: udrujournal@udru.ac.th

