วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
Udon Thani Rajabhat University Journal of Science and Technology
ปีที่ 10 ฉบับที่ 2 (2565) | Vol.10 Issue.2 (2022) | ISSN 2287-0083

บทความวิจัย

ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และความเป็นพิษต่อเซลล์มะเร็งเต้านมของสารสกัดใบติ้ว 1
ณพัฐอร บัวฉุน

โภชนาการและการปนเปื้อนแบคทีเรียก่อโรคบางชนิดของขี้เพี้ยวัว 17
เพิ่มศักดิ์ ยีมิน, จิราภรณ์ สุมังคะ และ แก้วกัลยา โสตถิสวัสดิ์

HEAVY METALS CONCENTRATION IN GROUNDWATER AROUND THE OLD LANDFILL OF UDON THANI, THAILAND 31
Piyabhorn Phawchamnan and Theethawat Singhasiri

การขยายพันธุ์เจตมูลเพลิงขาวโดยการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ 43
เจตุพร หงส์ทองคำ, นัตติยากรณ์ ผาเนตร และ จริยา สิงห์มาตร

ประสิทธิภาพการลดความขุ่นในน้ำด้วยวิธีการตกตะกอนทางเคมีร่วมกับการกรองอย่างง่าย 57
ณัฐสิมา โทขันธ์, วีระวัฒน์ อุ่นเสน่หา และ ณพัฐอร บัวฉุน

พฤติกรรมการใช้สารกำจัดวัชพืชของเกษตรกรผู้ปลูกยางพาราในอำเภอคำตากล้า จังหวัดสกลนคร 75
เบญจภรณ์ อ่อนสุระทุม, อรรถศาสตร์ วิเศียรศาสตร์ และ วิบูล เป็นสุข

ปริมาณสารอัลฟ่าอะไมริน (α-amyrin) ในสารสกัดจากใบสาบเสือ (*Chromolaena odorata* L.) ที่สกัดด้วยเอทานอลและฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *Propionibacterium* acnes 91
จุฑามณี แสงสว่าง, พัชรี อำรุง, ชิษณุพงศ์ ประทุม และ ศรันยา เผือกผ่อง

การจำแนกข้อมูลเพื่อวินิจฉัยความเสี่ยงการเป็นโรคเบาหวานโดยใช้เทคนิควิธีแบบร่วมกันตัดสินใจและวิธีเลือกคุณลักษณะเด่นไปข้างหน้า 107
นพรัตน์ นนท์ศิริ, พิศณุ ชัยจิตวณิชกุล และ กริช สมกันธา

การพัฒนาแบบวัดเวลาปฏิกิริยาตอบสนองสำหรับกีฬาฟุตบอล 123
นนท์นริฐ เจริญกิจวิชนนท์, อรวรีย์ อิงคเตชะ และ เสกสรรค์ ทองคำบรรจง

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ปีที่ 10 ฉบับที่ 2 (2565)

UDON THANI RAJABHAT UNIVERSITY
JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
Vol.10 Issue.2 (2022)

ISSN 2287-0083

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ปีที่ 10 ฉบับที่ 2 (2565)

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 ประมงและสัตวศาสตร์ 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

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คณิศรา ธัญสุนทรสกุล	อธิการบดี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาติชาย ม่วงปฐม	รองอธิการบดี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีระยุทธ์ เพ็งชัย	รองอธิการบดี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สาวิตรี บุญมี	รองอธิการบดี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อิทธิพล สิงห์คำ	รองอธิการบดี
ดร.วิบูล เป็นสุข	รองอธิการบดี
ดร.เอกราช ดีนาง	รองอธิการบดี
รองศาสตราจารย์ ดร.สุนทร สุทธิบาก	คณบดีคณะเทคโนโลยี
ดร.อภิรักษ์ ลอยแก้ว	คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ปีที่ 10 ฉบับที่ 2 (2565)

บรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยวดี ยาบุษดี

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ ดร.นิราวรรณ กุนัน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.น.สพ.ยศวริศ เสมามิ่ง

กองบรรณาธิการผู้ทรงคุณวุฒิ

ศาสตราจารย์ ดร.อลงกลด แทนออมทอง	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์ ดร.สมชาย ปิ่นลออ	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.ฉลอง วชิราภากร	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.ลัดดา มีศุข	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รองศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต กฤตาคม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
รองศาสตราจารย์ ดร.โฆษิต ศรีภูธร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
รองศาสตราจารย์ ดร.น.สพ.ฤทธิชัย พิลาไชย	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
รองศาสตราจารย์ ดร.วัลลภ เหมวงษ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
รองศาสตราจารย์ ดร.ทรงกฎ อุตรา	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
รองศาสตราจารย์ ดร.กฤษณพงศ์ สมสุข	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
รองศาสตราจารย์ ดร.สุมาลินทร์ พ่อค้า	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัชภาคย์ จิตต์อารี	มหาวิทยาลัยมหิดล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรัตน์ บัวเลิศ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิสิต คำหล้า	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิวัตร์ อังควิศิษฐพันธ์	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อำไพศักดิ์ ทีบุญมา	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กาญจนา วงษ์สวัสดิ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ปีที่ 10 ฉบับที่ 2 (2565)

คณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer Review)

รองศาสตราจารย์ ดร.สันติไมตรี ก้อนคำดี	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.นิราวรรณ กุนัน	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรอนงค์ ทัศคร	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จรูญ สารินทร์	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนินทร์ อัมพรสถิร	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิฐู ดิลกธรสกุล	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คณิต วิชิตพันธุ์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดิน ประทุมวรรณ์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุกัญญา เจริญวัฒนะ	มหาวิทยาลัยบูรพา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชาติ คุ้มมะณี	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสาวคนธ์ เหมวงษ์	มหาวิทยาลัยนครพนม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทรงกรด พิมพิศาล	มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิโรจน์ ปงลังกา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัตนจิรา รัตนประเสริฐ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กาญจนา อัจฉริยจิต	มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรศิษฎ์ ศรีบุรินทร์	มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เมทินี วสุนธราวัฒน์	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยวดี ยาบุษดี	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยสุดา ตันเลิศ	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชูเดช ศรีสวัสดิ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยศวริศ เสมามิ่ง	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิภาวรรณ ลาภบุญเรือง	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดรุณี พวงบุตร	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พัชราภรณ์ ไชยศรี	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ปีที่ 10 ฉบับที่ 2 (2565)

คณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer Review)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภูษณพาส สมนิล	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิไลพร กุลตังวัฒนา	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์เอราวัณ เบ้าทอง	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ดร.ธีรดา แต้โสตถิกุล	มหาวิทยาลัยศิลปากร
ดร.วิบูล เป็นสุข	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ดร.วัลยา มงคลสวัสดิ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ดร.ศกุนตลา ศิริอุดม	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ดร.รุ่งฤดี ศรีสำอาง	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ดร.ทัศนัย ปัญจันทร์สิงห์	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ดร.อาทิตย์ ใจช่วง	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ดร.เบญจธรรม สุขณีวัฒน์	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ดร.วินัย มีแสง	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

คณะกรรมการดำเนินงาน

ดร.เอกราช ดีนาง	ประธานกรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยวดี ยาบุษดี	รองประธานกรรมการ
ดร.ชาลี เกตุแก้ว	กรรมการ
นายกวีพงษ์ หงส์ทอง	กรรมการ
นางสาวศิวพร ภูกองทอง	กรรมการ
นางกาญจนา มูลอาจ	กรรมการ
นางสาวณิชา พันธุ์ควณิชย์	กรรมการ
ดร.ปุณมนัสพงศ์ ปุณประเสริฐ	กรรมการ
นางสาวศศิดา พงศาวลี	กรรมการ
นายธราดล ปราบภัย	กรรมการ
นางพิมลพรรณ ศรีภูธร	กรรมการ
นายอภิเดช อภิพัฒน์ภาดุล	กรรมการ

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ปีที่ 10 ฉบับที่ 2 (2565)

คณะกรรมการดำเนินงาน

นางสาวนัชชา คำบุญมา	กรรมการ
ดร.เบญจธรรม สุขณีวัฒน์	กรรมการและเลขานุการ
นายรุ่งโรจน์ มีแก้ว	กรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ

คณะกรรมการตรวจสอบภาษาต่างประเทศ

รองศาสตราจารย์ ดร.นภาทรัพย์ เลิศปรีดากร

พิสูจน์อักษร

นางสาวศิวพร ภูกองทอง

ออกแบบปก

นายสุริยา ชัยดำรงณ์

นางสาวศศิดา พงศาวลี

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: https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/scudru
อีเมล์: scjournal@udru.ac.th

“ข้อความที่ปรากฏในบทความแต่ละเรื่องในวารสารวิชาการเล่มนี้
ไม่ใช่ความคิดเห็นและความรับผิดชอบของคณะผู้จัดทำ บรรณาธิการ
กองบรรณาธิการ และมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ซึ่งความรับผิดชอบด้านเนื้อหาและการตรวจร่างบทความ
แต่ละเรื่องเป็นของผู้เขียนแต่ละท่าน”

บทบรรณาธิการ

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี เป็นวารสารที่ได้รับการประเมินคุณภาพวารสารวิชาการจากศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (TCI) อยู่ในฐานข้อมูล TCI รอบที่ 4 พ.ศ. 2563-2567 ได้ประกาศให้วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ถูกจัดให้เป็นวารสารกลุ่มที่ 2 ซึ่งฉบับนี้เป็นปีที่ 10 ฉบับที่ 2 ประจำปี พ.ศ. 2565 มีบทความวิจัยรวมจำนวน 14 บทความ ซึ่งมีเนื้อหาครอบคลุมทั้งด้านวิทยาศาสตร์ชีวภาพ วิทยาศาสตร์ประยุกต์ วิทยาศาสตร์สุขภาพ วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม เกษตรศาสตร์ และวิศวกรรมศาสตร์

กองบรรณาธิการวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี หวังเป็นอย่างยิ่งว่า วารสารฉบับนี้จะเป็นเวทีทางวิชาการ เกิดการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ของนักวิจัย นักวิชาการ นักศึกษาและผู้อ่านทุกท่าน สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิ ผู้ส่งบทความ และทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการพัฒนาคุณภาพและมาตรฐานของวารสาร

ปิยวดี ยาบุษดี

บรรณาธิการ

สารบัญ

หน้า

ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และความเป็นพิษต่อเซลล์มะเร็งเต้านมของสารสกัดใบติ้ว 1
ณพัฐอร บัวฉุน

โภชนาการและการปนเปื้อนแบคทีเรียก่อโรคบางชนิดของขี้เพี้ยวัว 17
เพิ่มศักดิ์ ยีมิน, จิราภรณ์ สุมังคะ และ แก้วกัลยา โสตถิสวัสดิ์

HEAVY METALS CONCENTRATION IN GROUNDWATER AROUND THE OLD LANDFILL OF UDON THANI, THAILAND 31
Piyabhorn Phawchamnan and Theethawat Singhasiri

การขยายพันธุ์เจตมูลเพลิงขาวโดยการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ 43
จตุพร หงส์ทองคำ, นัตติยากรณ์ ผาเนตร และ จริยา สิงห์มาตร

ประสิทธิภาพการลดความขุ่นในน้ำด้วยวิธีการตกตะกอนทางเคมีร่วมกับการกรองอย่างง่าย 57
ณัฐสิมา โทขันธ์, วีระวัฒน์ อุ่นเสน่หา และ ณพัฐอร บัวฉุน

พฤติกรรมการใช้สารกำจัดวัชพืชของเกษตรกรผู้ปลูกยางพาราในอำเภอคำตากล้า จังหวัดสกลนคร 75
เบญจภรณ์ อ่อนสุระทุม, อรรถศาสตร์ วิเศียรศาสตร์ และ วิบูล เป็นสุข

ปริมาณสารอัลฟ่าอะไมริน (α-amyrin) ในสารสกัดจากใบสาบเสือ (*Chromolaena odorata* L.) ที่สกัดด้วยเอทานอลและฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *Propionibacterium* acnes 91
จุฑามณี แสงสว่าง, พัชรี อำรุง, ชิษณุพงศ์ ประทุม และ ศรันยา เผือกผ่อง

การจำแนกข้อมูลเพื่อวินิจฉัยความเสี่ยงการเป็นโรคเบาหวานโดยใช้เทคนิควิธีแบบร่วมกันตัดสินใจและวิธีเลือกคุณลักษณะเด่นไปข้างหน้า 107
นพรัตน์ นนท์ศิริ, พิศณุ ชัยจิตวณิชกุล และ กริช สมกันธา

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

การพัฒนาแบบวัดเวลาปฏิกิริยาตอบสนองสำหรับกีฬาฟุตบอล 123
นนท์นริฐ เจริญกิจวิชนนท์, อรวรีย์ อิงคเตชะ และ เสกสรรค์ ทองคำบรรจง

การพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารจัดการงานบัณฑิตนิพนธ์ 139
เพียรทิพย์ ศรีสุธรรม, รัตนา ลีรุ่งนาวารัตน์ และ ณัฏฐ์ธมน หีบจันทร์กรี

สมการไดโอแฟนไทน์ $p^x + (p+10)^y = z^2$ เมื่อ p และ $p+10$ เป็นจำนวนเฉพาะ 155
สุธน ตาดี

การเตรียมปุ๋ยละลายช้าที่มีแร่ธาตุไนโตรเจน และโพแทสเซียมโดยใช้ตัวดูดซับซีโอไลต์ 163
พัทธนันท์ นาถพินิจ และ ชลธิชา นิวาสประกฤติ

THE EFFECTS OF RHIZOBIUM AND ARBUSCULAR MYCORRHIZA FUNGI ON GROWTH AND NUTRIENT UPTAKE OF COWPEA VARIETIES 183
Phanit Nakayan, Ratchanon Somboonchai, Porramin Narata, Jiraporn Inthasan and Wilaslux Wongwai

การพัฒนาผลิตภัณฑ์เซรั่มที่ผสมสารสกัดหยาบถั่งเช่าสีทองเพื่อบำรุงผิวหน้า 201
นำพล แปนเมือง, วริษฎา ศิลาอ่อน, วัทนวิภา วงศ์ใหญ่ และ อิสริยาภรณ์ ภูมิเรศสุนทร

ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และความเป็นพิษต่อเซลล์มะเร็งเต้านมของสารสกัดใบติ้ว

ANTIOXIDANT AND CYTOTOXIC ACTIVITIES OF *CRATOXYLUM FORMOSUM* CRUDE AGAINST BREAST CANCER CELLS (MCF-7)

ณพัฐอร บัวฉุน*

Napattaorn Buachoon*

สาขาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal

Received: 18 May 2022 Accepted: 10 August 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ปริมาณประกอบฟลาโวนอยด์ ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และฤทธิ์ความเป็นพิษต่อเซลล์มะเร็งเต้านม (MCF-7) ของสารสกัดใบติ้วจากเฮกเซน เอทิลอะซิเตรต และเมทานอล ผลการทดลองพบว่า สารสกัดเมทานอลมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 150.21 มิลลิกรัมแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักสารสกัด 41.81 มิลลิกรัมสมบูรณ์ของเคอร์ซิตินต่อกรัมน้ำหนักสารสกัด และ 9.87 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ สารสกัดใบติ้วจากเมทานอลแสดงฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งเต้านม (MCF-7) ได้ดีที่สุด โดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ 12.45 ± 2.69 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

คำสำคัญ: ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ, ฤทธิ์ความเป็นพิษต่อเซลล์, มะเร็งเต้านม, ใบติ้ว

* ผู้ประสานงาน: ณพัฐอร บัวฉุน
อีเมลล์: napattaorn@vru.ac.th

Abstract

The purposes of this research were to investigate the content of phenolic compounds, flavonoid compounds, antioxidant activity and cytotoxic of hexane, ethyl acetate, and methanol extracts from *Cratoxylum formosum* leaves against MCF-7 human breast cancer cells. The experimental results indicated that methanol *C.formosum* extract had the highest content of phenolic compounds, flavonoid compounds and antioxidant activity of 150.21 mg GAE/g, 41.81 mg QE/g, and 9.87 mg/mL, respectively. Methanol *C. formosum* extract had the highest inhibitory activity against the growth of MCF-7 human breast cancer cells with IC_{50} of 12.45 ± 2.69 µg/mL.

Keywords: antioxidant activities, cytotoxic, breast cancer**,** *Cratoxylum formosum*

บทนำ

อนุมูลอิสระเป็นอะตอมหรือโมเลกุลที่สามารถทำปฏิกิริยากับอะตอมอื่น ๆ ในร่างกายหรือเซลล์ได้อย่างรวดเร็ว โดยอนุมูลอิสระนี้จะถูกสร้างขึ้นในร่างกายโดยธรรมชาติและยังมีหน้าที่สำคัญในหลาย ๆ กระบวนการที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ หากสารอนุมูลอิสระนี้มีความเข้มข้นสูงขึ้นจะเป็นอันตรายต่อร่างกายและสร้างความเสียหายต่อส่วนประกอบของเซลล์ ดีเอ็นเอ โปรตีน รวมถึงเยื่อหุ้มเซลล์ โดยอาจพัฒนาให้เกิดโรคต่าง ๆ ตามมา เช่น มะเร็ง โรคหลอดเลือดหัวใจ อัลไซเมอร์ พาร์กินสัน เบาหวาน ต้อกระจก หลอดเลือดตีบและแข็งตัว ความจำเสื่อม และจอประสาทตาเสื่อม เป็นต้น (Bagchi & Puri, 1998) จากรายงานการศึกษาต่างๆพบว่า สารพฤกษเคมีจำนวนมาก โดยเฉพาะสารกลุ่มฟีนอลิก สารกลุ่มฟลาโวนอยด์ มีคุณสมบัติความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งการได้รับสารธรรมชาติที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจะช่วยลดความเสี่ยงโรคต่างๆ ที่มีสาเหตุมาจากอนุมูลอิสระ (Pereira et al., 2009) สารต้านอนุมูลอิสระมีความสำคัญต่อกระบวนการออกซิไดซ์อนุมูลอิสระ หรือยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน สารต้านอนุมูลอิสระเหล่านี้มีกลไกการทำงานต้านอนุมูลอิสระด้วยกันหลายแบบ เช่น การดักจับอนุมูลอิสระ (radical scavenging) การยับยั้งการทำงานของออกซิเจนที่ขาดอิเล็กตรอน (singlet oxygen quenching) การจับกับโลหะที่สามารถ

เร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ (metal chelation) การหยุดปฏิกิริยาการสร้างอนุมูลอิสระ (chain-breaking) เสริมฤทธิ์ (synergism) และการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ (enzyme inhibition) ที่เร่งปฏิกิริยาอนุมูลอิสระ สารต้านอนุมูลอิสระมีอยู่จำนวนมาก ทั้งที่ได้จากการสังเคราะห์ขึ้น และที่มีอยู่ในพืชโดยทั่วไป ได้แก่ โคเอนไซม์ เอนไซม์คิวเทน (Beyer, 1992) สารประกอบฟีนอลิก ได้แก่ ฟลาโวนอยด์ กรดฟีนอลิก และแอนโธไซยานิน (ณพัฐอร บัวฉุน, 2563)

โรคมะเร็งเป็นกลุ่มของโรคที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของเซลล์ที่ผิดปกติ โดยเซลล์จะมีแบ่งตัวและเพิ่มจำนวนเจริญเติบโตอย่างควบคุมไม่ได้ ก่อให้เกิดเป็นมะเร็งที่สามารถแพร่กระจายไปยังร่างกายส่วนที่อยู่ห่างไกลได้โดยผ่านระบบน้ำเหลืองหรือกระแสเลือด สาเหตุของมะเร็งนั้นมีหลากหลาย ได้แก่ การสูบบุหรี่ อาหารที่บริโภค การขาดการออกกำลังกาย โรคอ้วน และการบริโภคแอลกอฮอล์ การติดเชื้อบางชนิด การสัมผัสรังสี และมลภาวะสิ่งแวดล้อม ชนิดของมะเร็งที่พบได้มากเป็นอันดับต้น ๆ ได้แก่ มะเร็งปอด มะเร็งเต้านม มะเร็งลำไส้ใหญ่ มะเร็งกระเพาะอาหาร และมะเร็งต่อมลูกหมาก (ศูนย์ข้อมูลออนไลน์, 2563) แม้ในปัจจุบันจะมีผลยับยั้งการแบ่งตัวของเซลล์มะเร็งในขั้นตอนต่าง ๆ ได้ แต่อย่างไรก็ตามก็ยังไม่สามารถยับยั้งเซลล์มะเร็งให้หมดไปได้ และยังส่งผลข้างเคียงภาวะกดไขกระดูกที่ทำหน้าที่สร้างเม็ดเลือดซึ่งทำให้เกิดความผิดปกติของกลไกระบบภูมิคุ้มกัน จึงได้มีการศึกษาค้นคว้าหาสารจากแหล่งต่างๆ ในธรรมชาติ เพื่อใช้เป็นยารักษาโรคมะเร็งและพืชสมุนไพรเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่เข้ามามีบทบาทในการรักษาโรคมะเร็ง โดยสารที่ได้จากธรรมชาติส่วนมากจะมีความปลอดภัยสูงและผลข้างเคียงของการใช้ยาต่ำ

มะเร็งเต้านมเกิดจากความผิดปกติของเซลล์ที่อยู่ภายในท่อน้ำนมหรือต่อมน้ำนม เซลล์เหล่านี้มีการแบ่งตัวผิดปกติไม่สามารถควบคุมได้ มักแพร่กระจายไปตามทางเดินน้ำเหลือง สู่อวัยวะที่ใกล้เคียง เช่น ต่อมน้ำเหลืองที่รักแร้ หรือแพร่กระจายไปสู่อวัยวะที่อยู่ห่างไกล เช่น กระดูก ปอด ตับ และสมอง เช่นเดียวกับมะเร็งชนิดอื่น ๆ มะเร็งเต้านมพบในผู้หญิงมากกว่าผู้ชาย โดยผู้ชายมีโอกาสพบได้น้อยมากเพียง 1% ของมะเร็งเต้านมทั้งหมด จากการเก็บสถิติข้อมูลจำนวนผู้ป่วยมะเร็งชนิดต่างๆในประเทศไทยในปี พ.ศ.2555 พบว่ามะเร็งเต้านมเป็นมะเร็งที่มีจำนวนผู้ป่วยมากที่สุดเป็นอันดับ 1 (ธีรวุฒิ คูหะเปรมะ, 2560)

จากการรายงานการศึกษาพบว่ากลุ่มโพลีฟีนอล (polyphenols) เป็นเมตาบอไลท์ขั้นทุติยภูมิที่ประกอบด้วยวงแหวนอะโรมาติกและมีหมู่ฟังก์ชันเป็นหมู่ไฮดรอกซิลที่พบมาก

ในพืชผัก และผลไม้ ที่มีฤทธิ์ยับยั้งจุลชีพ ต้านการอักเสบ ต้านอนุมูลอิสระและต้านมะเร็ง นอกจากนี้มีการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าสารประกอบฟีนอลิก และสารประกอบฟลาโวนอยด์ มีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ และมีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งได้ (วันเพ็ญ เจริญจิต, 2554)

ติ้ว (*Cratoxylum formosum*) จัดอยู่ในวงศ์ Guttiferae บางคนก็เรียกว่า ผักแต้ว และมีอีกหลาย ๆ ชื่อ เช่น ติ้วขน ติ้วส้ม แต้วหอม หรือแต้วหิน ใบมีรสเปรี้ยวปนฝาด นิยมนำใบมากินกับพริก ลาบ หรือแหนมเนือง ใส่แกงเลียง แกงส้ม หรือต้มยำ ติ้วถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างมากมายทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ โดยนำมาเป็นส่วนหนึ่งของตำรายาแผนโบราณมีการใช้รากและลำต้นแก้กระษัยเส้นและเป็นยาระบาย ใบและยอดอ่อนใช้เป็นยาระบายอ่อนๆ (คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2563) จากข้อมูลวิจัยพบว่ามีการศึกษาความเป็นพิษต่อเซลล์มะเร็งและช่วยยับยั้งการสร้าง NF -kB ที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของสารสื่อการอักเสบ (inflammatory cytokines) ที่จะทำให้เกิดการตายของเซลล์ (apoptosis) ของสารสกัดจากกิ่งติ้ว และยังมีการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้นพบว่า การศึกษาที่เกี่ยวข้องกับฤทธิ์ยับยั้งเซลล์มะเร็งเต้านมจากใบติ้วยังมีน้อยมาก อีกทั้งใบติ้วเป็นพืชที่พบได้ง่ายในทั่วทุกภาคของประเทศไทย ผู้วิจัยจึงสนใจ ศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และฤทธิ์ความเป็นพิษต่อเซลล์มะเร็งเต้านม (MCF-7) ซึ่งผลจากงานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ทางแพทย์ เภสัชวิทยา โดยเป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนาเป็นยารักษามะเร็งเต้านม ช่วยส่งเสริมการบริโภคสมุนไพรพื้นบ้าน การปลูกเป็นพืชเศรษฐกิจ และยังเป็นการเพิ่มมูลค่าพืชสมุนไพร

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมสารสกัดพืชตัวอย่าง

ใบติ้ว (*Cratoxylum formosum* วงศ์ Guttiferae) ที่ใช้ในการศึกษาเก็บจากอำเภอวังน้ำเย็น จังหวัดสระแก้ว เดือนมิถุนายน 2563 โดยเลือกเฉพาะใบอ่อน (อนันต์ อธิพรชัย และคณะ, 2562) นำมาทำความสะอาด หั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ ผึ่งลมให้แห้ง อบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง และบดให้ละเอียด ชั่งตัวอย่างใบติ้ว 1,500 กรัม นำมาแช่ในตัวทำละลายเฮกเซน 8 ลิตร ปิดภาชนะทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน เมื่อครบกำหนด

เก็บสารละลายที่ได้มากรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ และนำกากที่เหลือไปแช่เฮกเซนอีก 3 ครั้ง หลังจากนั้นทำการรวมสารสกัดทั้งหมดมาระเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่องระเหยสารภายใต้สุญญากาศ (rotary evaporator) ที่อุณหภูมิประมาณ 45 องศาเซลเซียส จะได้เป็นส่วนสกัดหยาบใบติ้วในชั้นเฮกเซน (hexane crude extract) ชั่งน้ำหนักของสารสกัดหยาบที่ได้ หลังจากนั้นเตรียมตัวอย่างใบติ้วเหมือนเดิมแต่เปลี่ยนจากตัวทำละลายเฮกเซนเป็นเอทิลอะซิเตรตภายใต้อุณหภูมิประมาณ 45 องศาเซลเซียส และเมทานอลภายใต้อุณหภูมิประมาณ 45 องศาเซลเซียส จะได้สารสกัดหยาบใบติ้วจาก เฮกเซน สารสกัดหยาบใบติ้วจากเอทิลอะซิเตรต และสารสกัดหยาบใบติ้วจากเมทานอล คำนวณร้อยละของสารสกัดหยาบและหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และความเป็นพิษต่อเซลล์มะเร็งเต้านม (MCF-7)

การคำนวณร้อยละของสารสกัดหยาบ (%w/w) = (น้ำหนักสารสกัดหยาบ x 100)/น้ำหนักแห้ง

2. การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (total phenolic content)

ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดถูกวิเคราะห์ด้วยวิธี Folin-Ciocalteu colorimetric โดยดัดแปลงวิธีจาก Majhenic et al. (2007) ใช้กรดแกลลิก (gallic acid) เป็นสารมาตรฐาน โดยผสมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกที่ความเข้มข้นต่างๆ (0.05, 0.1, 0.2, 0.4, 0.8 และ 1.0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) หรือสารสกัดหยาบใบติ้วที่ได้จากตัวทำละลายในข้อ 1 (ความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร กับสารละลาย Folin-Ciocalteu reagent ที่ความเข้มข้น 10% (v/v) ปริมาตร 0.8 มิลลิลิตร ทำการเขย่าให้เข้ากัน และบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 นาที จากนั้น เติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ความเข้มข้น 2.5% (w/v) ปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน บ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 20 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV-vis spectrophotometer โดยทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำและหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดโดยเทียบกับกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก รายงานผลเป็นหน่วย mg Gallic Acid Equipment (GAE)/g สารสกัดหยาบ

3. การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (total flavonoids content)

ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดถูกวิเคราะห์ด้วยวิธี อะลูมิเนียมไตรคลอไรด์ (Aluminium trichloride) colorimetric โดยดัดแปลงวิธีจาก Arvouet-Grand et al. (1994) โดยใช้เคอร์ซิติน (quercetin) เป็นสารมาตรฐาน ผสมสารละลายมาตรฐานเคอร์ซิตินที่ความเข้มข้นต่างๆ (0.05, 0.1, 0.2, 0.4, 0.8 และ 1.0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) หรือสารสกัดหยาบใบติ้วที่ได้จากตัวทำละลายในข้อ 1 (ความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร กับสารละลายอะลูมิเนียมไตรคลอไรด์ความเข้มข้น 1.0% (w/v) ปริมาตร 1.8 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน บ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV-vis spectrophotometer ทั้งหมด 3 ซ้ำ และหาปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดโดยเทียบกับกราฟมาตรฐานเคอร์ซิติน รายงานผลเป็นหน่วย mg Quercetin Equipment (QE)/g สารสกัดหยาบ

4. การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี DPPH Radical Scavenging

ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระถูกวิเคราะห์ด้วยวิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) Radical Scavenging โดยดัดแปลงวิธีจาก Braca et al. (2002) เริ่มจากผสมสารละลายมาตรฐานโทรลอกซ์ (Trolox) ที่ความเข้มข้นต่างๆ (31.25, 62.5, 125, 250 และ 500 ไมโครกรัมตอมิลลิลิตร) หรือสารสกัดหยาบใบติ้วที่ได้จากตัวทำละลายในข้อ 1 ที่ความเข้มข้นต่างๆ (31.25, 62.5, 125, 250 และ 500 ไมโครกรัมตอมิลลิลิตร) ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร กับสารละลาย DPPH ที่ละลายในตัวทำละลายเมทานอล ความเข้มข้น 0.05 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 1.8 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน บ่มที่อุณหภูมิห้องในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV-vis spectrophotometer ทั้งหมด 3 ซ้ำ และหาร้อยละฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (% DPPH radical inhibition) จากสมการ

$$\% \text{ DPPH radical inhibition} = [(A-B) / A] \times 100$$

เมื่อ A คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย DPPH ที่ไม่มีสารทดสอบ
B คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย DPPH ที่มีสารทดสอบ

และนำค่าที่ได้จากการคำนวณแต่ละความเข้มข้นไปคำนวณหาค่า the half maximal inhibitory concentration (IC_{50}) คือ ค่าความเข้มข้นของสารตัวอย่างที่ยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ร้อยละ 50

5. การทดสอบความเป็นพิษของสารสกัดหยาบใบติ้วต่อเซลล์มะเร็งเต้านม (MCF-7)

ทำการทดสอบโดยการใช้วิธี MTT assay (3-(4,5-dimethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyltetrazolium bromide) tetrazolium reduction assay) โดยดัดแปลงวิธีจาก Braca et al. (2002) โดยเตรียมตัวอย่างสารสกัดหยาบใบติ้ว 2 มิลลิกรัม เติม dimethyl sulfoxide (DMSO) 0.04 มิลลิลิตร เขย่าให้ละลายเข้ากัน ทำการเจือจางให้ได้ความเข้มข้น 10, 20, 40, 60, 80 100 และ 200 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร หลังจากนั้นทำการเพาะเลี้ยงเซลล์ MCF-7 (human breast carcinoma ATCC Cat.No. HTB-22) ในอาหารเลี้ยงเซลล์ MEM (Minimum Essential Medium) ที่มี 10% Fetal bovine serum และ 1% penicillin-streptomycin บ่มในตู้ CO_2 ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส และทำการทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์มะเร็งด้วยวิธี MTT assay โดยนำเซลล์ที่ถูกเพาะเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเซลล์ที่เหมาะสมใส่ลงหลุมเลี้ยงเซลล์ชนิด 96 หลุม (96-well plate) ให้มีความหนาแน่น 3,000 เซลล์ต่อหลุม ทำการบ่มในตู้เพาะเลี้ยงเซลล์ 48 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นนำมาเติมสารสกัดตัวอย่างที่ความเข้มข้นต่าง ๆ (10, 20, 40, 60, 80 100 และ 200 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) เติมหลุมละ 100 ไมโครลิตร แต่ละความเข้มข้นจะทำซ้ำ 4 หลุม และนำไปบ่มในตู้เพาะเลี้ยงเซลล์ 24 ชั่วโมง นำสารตัวอย่างออกจากเซลล์เพาะเลี้ยง ทำการบ่มซ้ำในตู้เพาะเลี้ยงเซลล์ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และไปทดสอบด้วยวิธี MTT assay โดยปิเปต MTT (3-(4,5-dimethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyltetrazolium bromide, thiazolyl blue) 50 ไมโครลิตรลงใน phosphate buffer Saline (PBS) 5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เติมลงแต่ละหลุมปริมาตร 60 µl/well บ่มในตู้เพาะเลี้ยงเซลล์ 4 ชั่วโมง เติมสารละลายที่ได้จากการละลายฟอร์มาซาน (formazan) ด้วย Dimethyl Sulfoxide (DMSO) 200 ไมโครลิตร และซอเรนเซนไกลซีนบัฟเฟอร์ (Sorensenglycine buffer)) pH 10.5 วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องไมโครเพลทรีดเดอร์ (Microplate Reader) ที่ความยาวคลื่น 570 นาโนเมตร ทดลอง 3 ซ้ำ (ตัวทำละลายต่างๆ เป็น negative control และฟลูออโรยูราซิล (Fluorouracil) เป็น positive control) และวิเคราะห์ข้อมูลหาค่า IC_{50} เพื่อหาความเป็นพิษต่อเซลล์ของสารสกัดจาก Dose-log response curve ด้วยวิธี Linear regression

6. การวิเคราะห์สถิติ (Statistical analysis)

ทุกการทดลองต้องมีการทดสอบอย่างน้อย 3 ครั้งแสดงข้อมูลในรูปแบบของค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย (mean ± SD) และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดปริมาณสารประกอบฟลาโวนอย์ทั้งหมด และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระวิเคราะห์ด้วยสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ผลผลิตสารสกัดหยาบ

ผลการสกัดใบติ้ว 1,500 กรัม ด้วยเฮกเซน เอทิลอะซิเตรต และเมทานอล ได้สารสกัดหยาบใบติ้วด้วยเฮกเซนที่มีลักษณะเป็นของเหลวข้นสีเขียว 10.41 กรัม ร้อยละผลผลิตสารสกัดหยาบเท่ากับ 5.21 สารสกัดหยาบใบติ้วด้วยเอทิลอะซิเตรตมีลักษณะเหนียวมีความหนืดสีน้ำตาลเข้ม 19.32 กรัม ร้อยละผลผลิตสารสกัดหยาบเท่ากับ 10.54 และสารสกัดหยาบใบติ้วด้วยมีลักษณะเหนียวมีความหนืดสีน้ำตาลเข้มจนเกือบดำ 28.92 ร้อยละผลผลิตสารสกัดหยาบเท่ากับ 15.64

ผลการเตรียมสารสกัดหยาบใบติ้วด้วยเฮกเซน เอทิลอะซิเตรต และเมทานอล พบว่าตัวทำละลายเมทานอลให้ปริมาณร้อยละผลผลิตสารสกัดหยาบสูงที่สุด รองลงมาคือ เอทิลอะซิเตรต และเฮกเซน ทั้งนี้เนื่องจากสารประกอบในพืชส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ที่มีความมีขั้วสูง จึงสามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายที่มีสภาพขั้วที่ใกล้เคียงกัน (นันทวัน บุณยะประภัศร, 2536) เพราะต่างก็เป็นสารอินทรีย์เหมือนกันที่เกิดการละลายกันตามหลักการละลายกันได้ (like dissolves like) ตัวทำละลายอินทรีย์ที่นิยมใช้สำหรับสกัดสารประกอบฟีนอลิกได้แก่ เมทานอล เอทานอล และตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น เอทิลอะซิเตรต เฮกเซน ปิโตรเลียมอีเทอร์

2. ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสารสกัดหยาบใบติ้ว

สารสกัดหยาบใบติ้วจากตัวทำละลายเมทานอล เอทิลอะซิเตรต และเฮกเซน ได้ถูกนำมาวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสารสกัดหยาบใบติ้ว ได้ผลดังตารางที่ 1

การหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในสารสกัดหยาบใบติ้วเทียบกับสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก พบว่า สารสกัดหยาบใบติ้วจากตัวทำละลายที่ต่างกันให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดต่างกัน เรียงตามลำดับจากปริมาณมากไปหาน้อยคือ สารสกัดหยาบใบติ้วจากเมทานอล เอทิลอะซิเตรต และเฮกเซน เท่ากับ 150.21 ± 1.02, 122.11 ± 1.00 และ 90.47 ± 1.53 mg GAE/g ตามลำดับ

การหาปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดในสารสกัดหยาบใบติ้วเทียบกับสารละลายมาตรฐานเคอร์ซิตินพบว่า สารสกัดหยาบใบติ้วจากตัวทำละลายที่ต่างกัน ให้ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดต่างกัน เรียงตามลำดับจากปริมาณมากไปหาน้อยคือ สารสกัดหยาบใบติ้วจากเมทานอล เอทิลอะซิเตรต และ เฮกเซน เท่ากับ 41.81 ± 0.97, 28.91 ± 1.05 และ 21.47 ± 1.32 mg QE/g ตามลำดับ

การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในสารสกัดหยาบใบติ้วเทียบกับสารละลายมาตรฐานโทรลอกซ์ พบว่า สารสกัดหยาบใบติ้วจากตัวทำละลายที่ต่างกันให้ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ต่างกัน เรียงตามลำดับจากปริมาณมากไปหาน้อยคือ คือ สารสกัดหยาบใบติ้วจากเมทานอล เอทิลอะซิเตรต และเฮกเซน โดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ 9.87 ± 1.32, 12.61 ± 1.27 และ 15.39 ± 1.11 mg/mL ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบใบติ้ว

สารสกัด	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/g)	ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (mg QE/g)	ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (IC_{50}) (mg/mL)
เฮกเซน	90.47 ± 1.53	21.47 ± 1.32	15.39 ± 1.11
เอทิลอะซิเตรต	122.11 ± 1.00	28.91 ± 1.05	12.61 ± 1.27
เมทานอล	150.21 ± 1.02	41.81 ± 0.97	9.87 ± 1.32

ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ในสารสกัดหยาบใบติ้วที่ถูกสกัดด้วยเฮกเซน เอทิลอะซิเตรต และเมทานอล สารสกัดหยาบใบติ้วจากเมทานอลมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และฤทธิ์

การต้านอนุมูลอิสระ (IC_{50}) สูงที่สุด ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Bundit et al. (2015) ที่ทำการสกัดติ้วแดงด้วยตัวทำละลายเฮกเซน เอทิลอะซิเตรต และเมทานอล โดยสารสกัดหยาบติ้วแดงจากเมทานอลมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดสูงที่สุด และสอดคล้องกับงานวิจัยของ ธนศักดิ์ แซ่เลี่ยว และคณะ (2551) และ วสันต์ สุมินทิลี่ และคณะ (2557) ที่พบว่าการสกัดหยาบใบติ้วจากเมทานอลมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุด ในการศึกษาตัวทำละลายที่มีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ในสารสกัดใบติ้วด้วยวิธี Folin-Ciocalteu colorometric method พบว่าสารสกัดที่สกัดด้วยเมทานอล มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูง เนื่องจากสารประกอบฟีนอลิกเป็นสารที่มีความเป็นขั้ว จึงสามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายที่มีสภาพขั้วที่ใกล้เคียงกัน (อรพรรณ จันทรวิชิต และ ชัชฎาพร องอาจ, 2558) ซึ่งส่วนใหญ่สารประกอบฟีนอลิกจะละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีสภาพขั้วสูงในตัวทำละลายจำพวกแอลกอฮอล์ได้ดีทำให้สารประกอบฟีนอลิกสามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายเมทานอล (ภาเกล้า ภูมิใหญ่ และ ชญาณิศา สุพา, 2558) นอกจากนี้สารประกอบฟีนอลิกยังทำหน้าที่เป็นสารรีดิวซ์ ซึ่งมีความสามารถในการให้ไฮโดรเจน และกำจัดออกซิเจนที่อยู่ในรูปแอคทีฟด้วยหน้าที่ต่างๆ ดังกล่าวจึงทำให้สารประกอบฟีนอลิกเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญชนิดหนึ่งในพืชทั่วไป (Rice-Evans & Miller, 1996) สารประกอบฟลาโวนอยด์เป็นสารประกอบฟีนอลิก มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระโดยทำหน้าที่เป็นตัวขัดขวางหรือหยุดปฏิกิริยาต่อเนื่องของอนุมูลอิสระ (free radical chain terminator) ตัวจับออกซิเจน (oxygen scavenger) หรือเป็น chelating agent ของโลหะ เป็นต้น พบมากในพืชผักและผลไม้ อีกทั้งยังเป็นรงควัตถุ ทำหน้าที่กรองแสงที่มีความยาวคลื่นที่จำเพาะเจาะจง (Rice-Evans & Miller, 1996)

ผลการหาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในสารสกัดหยาบใบติ้วที่ถูกสกัดด้วยเฮกเซน เอทิลอะซิเตรต และเมทานอล สารสกัดหยาบใบติ้วจากเมทานอลมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด โดยมีค่า IC_{50} น้อยที่สุด ซึ่งแสดงถึงประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระได้ดีที่สุด ซึ่งงานวิจัยของ บังอร วงศ์รักษ์ และ ศศิลักษณ์ ปิยะสุวรรณ์ (2549) ได้ทำการสกัดผักติ้วด้วยสารละลายเมทานอล พบว่าสารสกัดหยาบผักติ้วแสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด (IC_{50} เท่ากับ 0.10 mg/mL) การหาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH โดยเริ่มจากการใช้ตัวทำละลายที่ไม่มีขั้วแล้วค่อยเพิ่มความมีขั้วขึ้น เช่น เฮกเซน เอทิลอะซิเตท อาจจะช่วยสกัดสาร

ที่ไม่ต้องการ เช่น องค์ประกอบของผนังเซลล์ ลิพิดที่อยู่ที่ผนังเซลล์พืช (ลิกนิน) ออกได้และใช้ตัวทำละลายที่มีขั้ว ดังนั้นสารละลายเมทานอลจึงมีประสิทธิภาพที่ดีในการนำมาสกัดและหาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (ศรมน สุทิน และคณะ, 2560) จากผลการทดลองฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจะแปรผันตามปริมาณสารที่ตรวจพบ เมื่อพิจารณาผลความสัมพันธ์ด้วย Pearson correlation จะเห็นว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของของสารสกัดหยาบจากใบติ้วในตัวทำละลายต่างๆ มีความสัมพันธ์กับการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระDPPH ที่ดี (Pourmorad et al., 2006) และกระบวนการต้านอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นนี้ เกี่ยวข้องกับโครงสร้างทางเคมีของสารประกอบฟีนอลิกและสารฟลาโวนอยด์ที่มีหมู่ –OH บริเวณวงแหวน aromatic ring โดยเฉพาะสารฟลาโวนอยด์ที่พบจำนวน –OH ตั้งแต่ 2 วงขึ้นไป หลังจากให้ H atom แก่อนุมูลอิสระ ทำให้โครงสร้างเสถียรและสามารถเข้าทำปฏิกิริยาต่อกับอนุมูลอิสระขั้นที่ 2 ในรูป alkoxyl (RO•) ได้อีกครั้ง (Dugas et al., 2000) H atom ของหมู่ –OH จะกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH• โดยจับกับอิเล็กตรอนโดดเดี่ยวของอนุมูลอิสระ DPPH บริเวณ N atom ทำให้อนุมูลอิสระของ DPPH ได้รับโปรตอนหรือถูกรีดิวซ์ด้วยสารต้านอนุมูลอิสระ จนเกิดความเสถียรและเปลี่ยนจากสีม่วงเป็นสีเหลืองตรวจสอบได้จากค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลง แสดงให้เห็นว่า พืชสมุนไพรจะมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระมากขึ้นเมื่อหมู่ –OH มีจำนวนมากและมีตำแหน่งที่เหมาะสม ประกอบกับคุณสมบัติของสารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ที่แม้ว่าจะสูญเสียอิเล็กตรอนให้กับอนุมูลอิสระแต่โครงสร้างของสารประกอบฟีนอลิกยังมีความหนาแน่นของอิเล็กตรอนสูงทำให้อิเล็กตรอนสามารถย้ายไปทั่วโครงสร้าง (Delocalization) และคงความเสถียรเอาไว้ได้ (Pietta, 2000; Su et al., 2008; Lou et al., 2016)

3. ฤทธิ์ความเป็นพิษต่อเซลล์มะเร็งเต้า (MCF-7)

ผลการทดสอบฤทธิ์ความเป็นพิษต่อเซลล์มะเร็ง MCF-7 ของสารสกัดหยาบใบติ้วจากเฮกเซน สารสกัดหยาบใบติ้วจากเอทิลอะซิเตรต และสารสกัดหยาบใบติ้วจากเมทานอล ที่ความเข้มข้น 10, 20, 40, 60, 80 100 และ 200 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และคำนวณร้อยละการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็ง MCF-7 พบว่าสารสารสกัดหยาบใบติ้วจากเมทานอลที่ระดับความเข้มข้น 200 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร มีความเป็นพิษต่อเซลล์มะเร็ง MCF-7 สูงที่สุด โดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ 12.45 ± 2.69 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร รองลงมาคือสารสกัดหยาบใบติ้วจากเฮกเซน และสารสกัดหยาบใบติ้วจากเอทิลอะซิเตรต โดยมีความเป็นพิษ

ต่อเซลล์มะเร็ง MCF-7 ต่ำกว่า โดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ 19.62 ± 1.21 และ 18.78 ± 1.34 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ที่ระดับความเข้มข้น 200 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

ฤทธิ์ความเป็นพิษต่อเซลล์มะเร็ง MCF-7 ของสกัดหยาบใบติ้วจากเฮกเซน สกัดหยาบใบติ้วจากเอทิลอะซิเตรต และสกัดหยาบใบติ้วจากเมทานอลที่ความเข้มข้นต่างๆ และคำนวณร้อยละการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็ง MCF-7 พบว่า สารสกัดเอทิลอะซิเตรตมีความเป็นพิษต่อเซลล์มะเร็ง MCF-7 สูง งานวิจัยของ Woraratphoka et al. (2012) พบว่าสารสกัดหยาบใบติ้วจากเอทานอลมีฤทธิ์ในการยับยั้งเซลล์มะเร็ง MCF-7 (176.50 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) และ Benjaporn et al. (2017) พบว่าสารสกัดใบติ้วสามารถยับยั้งการเพิ่มจำนวนของเซลล์มะเร็ง MCF-7 โดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ 85.70 ± 4.52 µg/mL ที่เวลา 24 ชั่วโมง และค่า IC_{50} ที่ 85.70 ± 4.52 µg/mL ที่ 48 ชั่วโมง และการศึกษาของ Ren et al. (2011) ที่พบว่าสกัดจากกิ่งติ้วสามารถยับยั้งเซลล์มะเร็ง การที่สารสกัดหยาบใบติ้วเป็นพิษต่อเซลล์มะเร็งเต้า MCF-7 อาจเนื่องมาจากในสารสกัดใบติ้วมีสารประกอบฟีนอลิก และสารประกอบฟลาโวนอยด์เป็นองค์ประกอบอยู่เป็นจำนวนมาก และจากการศึกษาจากพืชสมุนไพรอื่นๆ พบว่าสารฟลาโวนอยด์และสารประกอบฟีนอลิกสามารถที่จะทำลายหรือฆ่าเซลล์มะเร็งได้ เช่น สารพอลิฟีนอล สารเจอรานิน (geraniin) และคอนเดนซ์แทนนินสามารถยับยั้งเซลล์มะเร็งเต้านมได้ ผลจากการศึกษานี้ น่าจะเป็นประโยชน์ให้ประชาชนหันมารับประทานพืชผักสมุนไพรของไทยโดยเฉพาะใบติ้ว ที่มีสรรรพคุณมีฤทธิ์ความเป็นพิษต่อเซลล์มะเร็งเต้านม และยังเป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อการพัฒนาเป็นยารักษามะเร็งเต้านมต่อไป

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และฤทธิ์ความเป็นพิษต่อเซลล์มะเร็งเต้านม (MCF-7) ด้วยตัวทำละลายเฮกเซน เอทิลอะซิเตรต และเมทานอลจากใบติ้ว พบว่า สารสกัดเมทานอลมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด เมื่อเทียบกับตัวทำละลายชนิดอื่น และสารสกัดเมทานอลแสดงฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งเต้านมได้ดีที่สุด โดยผลจากการศึกษาในครั้งนี้จะเป็นประโยชน์ในการพัฒนาสมุนไพรไทยเป็นยารักษาโรคหรืออาหารเสริมได้ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี ที่อำนวยความสะดวกจนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร. (2563). *ข้อมูลพืชสมุนไพรคณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร.* สืบค้นเมื่อ 12 กันยายน 2563, จาก https://pharmacy.su.ac.th/herbmed/herb/text/herb_detail.php?herbID=268.

ณพัฐอร บัวฉุน. (2563). สารพฤกษเคมีเบื้องต้น และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสลัดน้ำพืชสดและพืชแห้ง. *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 14*(1), 144-154.

ธีรวุฒิ คูหะเปรมะ. (2560). *โรคมะเร็ง.* สืบค้นเมื่อ 5 กันยายน 2563, จาก https://www.wattanosothcancerhospital.com/all-about-cancer/general-information-about-cancer.

ธนศักดิ์ แซ่เลี่ยว, ศศิธร จันทนวรางกูร และ วรรณี จิรภาคย์กุล. (2551). *ผลของตัวทำละลายต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและความสามารถต้านออกซิเดชันของกระชายเหลือง (Boesenbergia pandurata).* ใน: การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 46, วันที่ 29 มกราคม – 1 กุมภาพันธ์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 538-545.

นันทวัน บุณยะประภัศร. (2536). การตรวจสอบทางเคมีเบื้องต้นของสารสกัดจากพืช. ใน วันดี กฤษณพันธ์ (ผู้รวบรวม), *ยาและผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ เล่มที่ 1* (หน้า 116-129). ภาควิชาเภสัชวินิจฉัย, คณะเภสัชศาสตร์มหาวิทยาลัยมหิดล.

บังอร วงศ์รักษ์ และ ศศิลักษณ์ ปิยะสุวรรณ์. (2549). *ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของผักพื้นบ้าน*. (วิทยานิพนธ์เภสัชศาสตรบัณฑิต, มหาวิทยาลัยมหิดล).

ภาเกล้า ภูมิใหญ่ และ ชญาณิศา สุพา. (2558). *ตัวทำละลายที่มีผลต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากพืชสมุนไพร*. ใน: การประชุมวิชาการระดับชาติ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ครั้งที่ 2, วันที่ 22 ธันวาคม 2558. มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร, กำแพงเพชร, 627-635.

วันเพ็ญ เจริญจิต. (2547). *พรอพอลิสจากผึ้งผลิตภัณฑ์ธรรมชาติต้านโรค*. ชมรมการจัดการทรัพยากรเกษตร. สืบค้นเมื่อ 12 กันยายน 2563, จาก https://www.Matichon.co.th.

วสันต์ สุมินทิลี่, ปนิดา บรรจงสินศิริ, จันทนา ไพรบูรณ์ และ วรรณวิมล คล้ายประดิษฐ. (2557). กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบจากสาหร่ายพวงองุ่น (*Caulerpa lintillifera*) สาหร่ายทุ่น. *วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม*, *9*(1), 63-75.

ศรมน สุทิน, กิตติพัฒน์ โสภิตธรรมคุณ และ พัชรี ภคกษมา. (2560). *การทดสอบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระและการยับยั้งการเจริญของเซลล์มะเร็งท่อน้ำดีของสารสกัดจากใบต้นจำปีและจำปา.* กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ.

ศูนย์ข้อมูลออนไลน์. (2563). *5 อันดับ มะเร็งในคนไทย รู้ไว้ใกล้ตัวกว่าที่คิด!.* สืบค้นเมื่อ 20 ตุลาคม 2563, จาก http://www.ashthailand.or.th/smartnews/post/detail/558/news_all.php.

อรพรรณ จันทรวิชิต และ ชัชฎาพร องอาจ. (2558). ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ และการต้านเชื้อจุลินทรีย์ของสารสกัดวัชพืช. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, *46*(ฉบับพิเศษ 3), 285-288.

อนันต์ อธิพรชัย, สุรีย์พร หอมวิเศษวงศา และ สุวรรณา เสมศรี. (2562). *การค้นหาและพัฒนาสมุนไพรไทยสำหรับรักษาโรคเบาหวาน.* ชลบุรี: มหาวิทยาลัยบูรพา.

Arvouet-Grand, A., Vennat, B., Pourrat, A., & Legret, P. (1994). Standardization of propolis extract and identification of principal constituents. *Journal de Pharmacie de Belgique, 49*(6), 462-468.

Bagchi, K., & Puri, S. (1998). Free radicals and antioxidants in health and disease: a review. *Eastern Mediterranean Health Journal*, *4*(2), 350-360.

Benjaporn, B., Nootchanat, M., & Ampa, K. (2017). *Cratoxy formosum* leaf extract inhibits proliferation and migration of human breast cancer MCF-7 cells. *Biomedicine and pharmacotherapy*, 90, 77-84.

Beyer, R. (1992). An Analysis of Role of Coenzyme Q in Free Radical Generation and As Antioxidant. *Biochemistry and Cell Biology*, 7, 390–403.

Braca, A., Sortion, C., Politi, M., Morelli, I., & Meddez, J. (2002). Antioxidant activity of flavonoids from *Liccania licaniaeflora*. *Journal of Ethnopharmacology*, *79*(3), 379–381.

Bundit, P., Jureerut, D., Ponlatham, C., Ratree, T., Tueanjit, K., Narintorn, R., Roongpet, T., & Patcharee, B. (2015). Cytotoxicity of *Cratoxylum Formosum* Subsp. *Pruniflorum Gogel* Extracts in Oral Cancer Cell Lines. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention*, *16*(16), 7155-7159.

Dugas, A. J., Castaneda-Acosta, J., Bonin, G. C., Price, K. L., Fischer, N. H., & Winston, G. W. (2000). Evaluation of the total peroxyl radical-scavenging capacity of flavonoids: structure-activity relationships. *Journal of Natural Products*, *63*(3), 327-331.

Lou, Y., Joseph, S., Li, L., Graber, E., Liu, X., & Pan, G. (2016). Water Extract from Straw Biochar Used for Plant Growth Promotion: An Initial Test. *BioResources*, *11*(1), 249-266.

Majhenic, L., Skerget, M., & Knez, Z. (2007). Antioxidant and antimicrobial activity of quarana seed extracts. *Food Chemistry*, *104*(3), 1258-1268.

Pereira D., Valentão, P., Pereira, J., & Andrade, P. (2009). Phenolic: From chemistry to biology. *Molecules,* 14, 2202-2211.

Pietta, P. (2000). Flavonoids as antioxidants. *Journal of Natural Products*, 63, 1035-1042.

Pourmorad, F., Hosseinimehr, S., & Shahabimajd, N. (2006). Antioxidant activity, phenol and flavonoid contents of some selected Iranian medicinal plants. *African Journal of Biotechnology*, *5*(1), 1142-1145.

Ren Y., Matthew S., Lantvit D. D., Ninh T. N., Chai H., Fuchs J. R., Soejarto D. D., Carcache E. J., Swanson S. M., & Kinghorn A. D. (2011). Cytotoxic and NF-kB Inhibitory constituents of the stems of *Cratoxylum cochinchinense* and their semisynthetic analogues, *Journal of Natural Products,* 74, 1117-1125.

Rice-Evans, C. A. & Miller, N. J. (1996). Antioxidant activities of flavonoids as bioactives compounds of foods. *Biochemical Society Transactions*, *24*(3), 790-795.

Su C. C., Lin J. G., Li T. M., Chung J. G., Yang J. S., Ip S. W., Lin W. C., & Chen G. W. (2006). Curcumin-induced apoptosis of human colon cancer colo 205 cells through the production of ROS, Ca^{2+} and the activation of caspase-3. *Anticancer Research,* 26, 4379–4389.

Woraratphoka, J., Intarapichet, K., & Indrapichate, K. (2012). Antioxidant activity and cytotoxicity of six selected, regional, Thai vegetables. *American-Eurasian Journal of Toxicological Sciences*, 4, 108-117.

โภชนาการและการปนเปื้อนแบคทีเรียก่อโรคบางชนิดของขี้เพี้ยวัว

NUTRITION AND SOME PATHOGENIC BACTERIA CONTAMINATION OF COW'S INTESTINAL CONTENTS

เพิ่มศักดิ์ ยีมิน*, จิราภรณ์ สุมังคะ และ แก้วกัลยา โสตถิสวัสดิ์
Permsak Yeemin, Jiraporn Sumangka and Kaewkanlaya Sotthisawad

สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร
Division of Biology, Faculty of Science and Technology, Sakon Nakhon Rajabhat University

Received: 1 February 2022 Accepted: 24 June 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาโภชนาการและการปนเปื้อนแบคทีเรียก่อโรคบางชนิดของขี้เพี้ยวัว โดยการสุ่มเก็บตัวอย่างจากโรงฆ่าสัตว์ ร้านจำหน่ายเนื้อโคในตลาดสดเทศบาลนครสกลนครและริมทางในเขตพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร จากผลการศึกษาปริมาณโภชนาการเฉลี่ยของขี้เพี้ยวัว พบว่าขี้เพี้ยวัวมีความชื้นเป็นองค์ประกอบสูงมากที่สุด คือ ร้อยละ 87.02±0.10 รองลงมาคือ คาร์โบไฮเดรท (ร้อยละ 6.35±0.15) เส้นใย (ร้อยละ 2.27±0.08) เถ้า (ร้อยละ 1.81±0.22) โปรตีน (ร้อยละ 1.75±0.06) และไขมัน (ร้อยละ 0.80±0.13) ตามลำดับ สำหรับผลการตรวจวิเคราะห์การปนเปื้อนแบคทีเรียก่อโรคบางชนิดในขี้เพี้ยวัว พบว่าในฤดูฝนมีค่าเฉลี่ยของการปนเปื้อนจุลินทรีย์ทั้งหมดในขี้เพี้ยวัวทุกตัวอย่างสูงมากที่สุด คือ 1.1×10^{6} CFU/mL รองลงมาคือ ฤดูร้อน และฤดูหนาว โดยมีปริมาณการปนเปื้อนจุลินทรีย์ทั้งหมดที่ 3.5×10^{5} และ 2.2×10^{5} CFU/mL ตามลำดับ ซึ่งการปนเปื้อนดังกล่าวพบ *Escherichia coli* ในขี้เพี้ยวัวทุกตัวอย่างที่เก็บในทุกฤดูกาลมีปริมาณที่เกินเกณฑ์มาตรฐานฯ ที่กำหนดไว้ สำหรับการตรวจหา *Staphylococcus aureus* ในตัวอย่างขี้เพี้ยวัว พบว่ามีการตรวจพบ *S. aureus* ใน 4 แหล่งที่เก็บในฤดูฝน โดยมีการปนเปื้อนในปริมาณที่น้อยกว่าค่าเกณฑ์มาตรฐานฯ กำหนดไว้ (<100 MPN/mL) ในขณะที่การตรวจหา *Salmonella* sp. นั้นไม่พบการปนเปื้อนในทุกตัวอย่างขี้เพี้ยวัวที่เก็บมาจากทุกฤดูกาล

* ผู้ประสานงาน: เพิ่มศักดิ์ ยีมิน
อีเมลล์: permsak_y@snru.ac.th

สำหรับการศึกษาจุลินทรีย์ชนิดเด่นที่พบในตัวอย่างขี้เพี้ยวัว พบจุลินทรีย์ชนิดเด่นทั้งหมด 7 ไอโซเลท เมื่อทำการจัดจำแนกชนิดแบคทีเรียพบว่าจัดเป็น Gram negative bacilli จำนวน 4 ไอโซเลท (RA-1, WA-2, SA-3 และ SB-1), Gram positive bacilli จำนวน 2 ไอโซเลท (WA-1 และ SA-1) และ Gram positive cocci จำนวน 1 ไอโซเลท (SA-2)

คำสำคัญ: แบคทีเรียก่อโรค, ปริมาณโภชนาการ, ขี้เพี้ยวัว

Abstract

This research aimed to study nutrition and contamination of some pathogenic bacteria in cow's intestinal contents. Randomly sampling from slaughterhouses, beef shop in municipality market and sideways in Amphoe Mueang, Sakon Nakhon were used as the sample. The study of nutritional value, found the highest moisture content of 87.02±0.10% followed by the carbohydrate (6.35±0.15%), fiber (2.27±0.08%), ash (1.81±0.22%), protein (1.75± 0.06%) and fat (0.80±0.13%), respectively. The determination of some pathogenic bacteria contamination in cow's intestinal contents, showed that the highest level of contamination was in the rainy season with 1.1×10^6 CFU/mL, followed by summer and winter, which are 3.5×10^5 CFU/mL and 2.2×10^5 CFU/mL, respectively. For this contamination, found *Escherichia coli* in all samples of cow's intestinal contents with a higher amount than the MPN *E. coli* criteria defined. Determination of *Staphylococcus aureus*, exposed the contamination *S. aureus* in lower level than the standards defined (<100 MPN/mL) in sample that collected from four sources within rainy season. Whereas *Salmonella* sp. was not found in all samples. For the study of the dominant microbial species considered, found seven isolates that classified into four isolates of Gram negative bacilli (RA-1, WA-2, SA-3 and SB-1), two isolates of Gram positive bacilli (WA-1 and SA-1) and one isolate of Gram positive cocci (SA-2).

Keywords: Pathogenic bacteria, Nutritional value, Cow's intestinal contents

บทนำ

ขี้เพี้ยวัว หรือเพี้ยวัว คือส่วนของอาหารที่ย่อยละเอียดแล้วหรือเรียกว่าขี้อ่อนที่อยู่ในลำไส้เล็กของวัวหรือสัตว์เคี้ยวเอื้อง (แสงอรุณ กนกพงศ์ชัย, 2546) โดยบริเวณลำไส้เล็กตอนต้นของวัวนั้นจะมีช่องเปิดของท่อน้ำดี (Common bile duct) และท่อเปิดของของเหลวจากตับอ่อน (Pancreatic duct) ลักษณะของอาหารที่เข้ามาในลำไส้เล็กเป็นอาหารที่มีลักษณะกึ่งเหลว หรือเป็นของเหลว (Chyme) มีสภาพความเป็นกรดสูง มีส่วนประกอบคือสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ได้แก่ ไขมัน แร่ธาตุ น้ำ และกรดเกลือ รวมถึงจุลินทรีย์ต่าง ๆ การย่อยอาหารที่ลำไส้เล็กเกิดจากเอนไซม์จากตับอ่อนและผนังลำไส้เล็ก (วิศิษฐิพร สุขสมบัติ, 2546) ประชาชนส่วนใหญ่ที่มีภูมิลำเนาอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย นิยมนำขี้เพี้ยวัวมาใช้ประกอบอาหารอีสานเพื่อเพิ่มรสขมในอาหาร ไม่ว่าจะเป็นเมนูลาบดิบ หรือที่ชาวอีสานเรียกว่า ก้อย โดยการใส่เลือดสดลงในเนื้อดิบ ๆ (ศูนย์การเรียนรู้อาหารไทย, 2560) รวมทั้งการนำขี้เพี้ยวัวมาปรุงใส่ในอาหารอีสานหลากหลายเมนู เช่น แจ่วอีสาน อ่อมเนื้อ และแจ่วฮ้อน ด้วยพฤติกรรมการบริโภคอาหารสุก ๆ ดิบ ๆ ของคนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ยังคงเป็นพฤติกรรมที่พบเห็นได้ทั่วไปในปัจจุบัน ซึ่งล้วนแต่ส่งผลทำให้เกิดความเสี่ยงในการปนเปื้อนจุลินทรีย์ก่อโรคในระบบทางเดินอาหารบางชนิดที่เจริญหรือปนเปื้อนอยู่ภายในระบบการย่อยอาหารของวัว โดยแบคทีเรียก่อโรคที่อาจพบการปนเปื้อนในลำไส้วัวมีหลายชนิด ไม่ว่าจะเป็นกลุ่มพวกที่ใช้และไม่ใช้ออกซิเจนในการดำรงชีพ แต่ที่พบว่าเป็นปัญหาสำคัญด้านสาธารณสุข และมีผลกระทบต่อการส่งออกผลิตภัณฑ์อาหาร ได้แก่ แบคทีเรีย *Salmonella* sp., *Clostridium* sp., *Escherichia coli* และ *Staphylococcus aureus* อันตรายจากแบคทีเรียเหล่านี้ หากมีการปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์อาหาร ผู้บริโภคก็จะเป็นผู้ได้รับอันตรายจากโรคอาหารเป็นพิษที่มีสาเหตุเกิดจากแบคทีเรียชนิดดังกล่าว จึงถือเป็นความรับผิดชอบของผู้ผลิต ที่จะต้องดำเนินการเพื่อลดความเสี่ยงจากโรคอาหารเป็นพิษมาอยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อผู้บริโภคต่อไป

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะศึกษาการปนเปื้อนแบคทีเรียก่อโรคบางชนิดและปริมาณโภชนาการของตัวอย่างขี้เพี้ยวัวภายในเขตพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร เพื่อนำไปสู่ข้อมูลทางวิชาการที่มีความน่าเชื่อถือ สามารถเผยแพร่ความรู้และประชาสัมพันธ์ให้แก่หน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชน เพื่อนำไปพัฒนาหรือปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มี

คุณภาพตามเกณฑ์มาตรฐาน และช่วยป้องกันความเสี่ยงจากโรคอาหารเป็นพิษที่มีสาเหตุเกิดการปนเปื้อนของแบคทีเรียในกระบวนการฆ่าชำแหละ และสถานที่จำหน่ายต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเก็บตัวอย่างขี้เพี้ยวัว

สุ่มเก็บตัวอย่างขี้เพี้ยวัวในเขตพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร จากโรงฆ่าสัตว์ (จำนวน 2 แห่ง) ร้านจำหน่ายเนื้อโคในตลาดสดเทศบาลนครสกลนคร (จำนวน 2 ร้าน) และร้านจำหน่ายเนื้อโคริมทาง (จำนวน 2 ร้าน) โดยทำการสุ่มเก็บ 3 ครั้ง ในเดือนสิงหาคม (ฤดูฝน) ธันวาคม (ฤดูหนาว) และเมษายน (ฤดูร้อน) โดยทำการเก็บอย่างขี้เพี้ยวัวในถุงพลาสติกขนาด 7 x 11 นิ้ว และเก็บรักษาที่อุณหภูมิเย็นในกล่องโฟมบรรจุน้ำแข็งก่อนนำไปตรวจวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

2. การศึกษาปริมาณโภชนาการของขี้เพี้ยวัว

นำตัวอย่างขี้เพี้ยวัวมาวิเคราะห์หาปริมาณโภชนาการโดยเฉลี่ยด้วยวิธีการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีแบบประมาณ (Proximate analysis) ได้แก่ ปริมาณโปรตีนหยาบ ไขมัน ความชื้น เถ้า และเส้นใย ตามวิธีของ Association of Official Analytical Chemist หรือ AOAC (2016) ร่วมกับการวิเคราะห์หาปริมาณคาร์โบไฮเดรทตามวิธีของ Compendium of method for food analysis (National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards, 2003)

3. การตรวจวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยาในตัวอย่างขี้เพี้ยวัว

เตรียมตัวอย่างขี้เพี้ยวัว โดยปิเปตตัวอย่างขี้เพี้ยวัว 25 mL มาเจือจางใน Buffered peptone water 225 mL แล้วเจือจางตัวอย่างต่อไปเพื่อให้ได้ระดับความเจือจางที่เหมาะสมด้วยเทคนิค Serial dilution ตามวิธี ISO 6579: 2002 (Kramarenko et al., 2013) ก่อนนำไปใช้ในการตรวจวิเคราะห์หา (1) จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดตามวิธีของ Bacteriological Analytical Manual (BAM, 2001a) Chapter 3 (2) ค่า MPN *Escherichia coli* ตามวิธีของ BAM (2002) (3) จำนวน *Staphylococcus aureus* ตามวิธีของ BAM (2001b) และ (4) จำนวน *Salmonella* spp. ตามวิธีของ ISO 6579: 2002 ร่วมกับวิธีของ วีรานุช หลาง (2552) ซึ่งผลการตรวจวิเคราะห์ที่ได้จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์ คุณภาพทางจุลชีววิทยา

ของอาหารและภาชนะสัมผัสอาหาร ฉบับที่ 3 (พ.ศ.2560) ของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข (กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, 2560)

4. ศึกษาจุลินทรีย์ชนิดเด่นที่ตรวจพบในทุกตัวอย่างขี้เพี้ยวัว

ศึกษาจุลินทรีย์ชนิดเด่นที่ตรวจพบในแต่ละตัวอย่างขี้เพี้ยวัว โดยพิจารณาจากความถี่ในการตรวจพบลักษณะทางสัณฐานของโคโลนีในทุกตัวอย่างของผลการตรวจวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดบนอาหารเลี้ยงเชื้อ Plate count agar (PCA) เพื่อทำการจำแนกชนิดโดยการแยกโคโลนีเดี่ยวให้ได้เชื้อบริสุทธิ์ด้วยวิธี Cross streak แล้วนำไปบ่มในอุณหภูมิ 35 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นจึงทำการย้อมสีแกรม (Gram Staining) และศึกษาลักษณะทางสัณฐานของโคโลนี ได้แก่ รูปร่าง ขอบ ผิวหน้า ความนูน และสีของโคโลนี ร่วมกับการศึกษาลักษณะสัณฐานของเซลล์ใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Light Microscope, Nikon E600) (นันทวัน ฤทธิ์เดช และ งามนิจ นนทโส, 2551)

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. การศึกษาปริมาณโภชนาการของขี้เพี้ยวัว

ในการวิเคราะห์ปริมาณโภชนาการของขี้เพี้ยวัวนั้น ได้ใช้วิธีการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีด้วยวิธี Proximate analysis ในตัวอย่างขี้เพี้ยวัวที่เก็บในพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร โดยมีผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 1 ซึ่งพบว่าในตัวอย่างขี้เพี้ยวัวมีความชื้นเป็นองค์ประกอบสูงมากที่สุดคือ เฉลี่ยร้อยละ 87.02±0.10 รองลงมาคือ คาร์โบไฮเดรท (ร้อยละ 6.35±0.15) เส้นใย (ร้อยละ 2.27±0.08) เถ้า (ร้อยละ 1.81±0.22) โปรตีน (ร้อยละ 1.75±0.06) และไขมัน (ร้อยละ 0.80±0.13) ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ปริมาณโภชนาการของตัวอย่างขี้เพี้ยวัวที่เก็บในพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ (ร้อยละ)
โปรตีน (Crude protein)	1.75±0.06
คาร์โบไฮเดรท (Crude Carbohydrate)	6.35±0.15
ไขมัน (Crude fat)	0.80±0.13
ความชื้น (Moisture)	87.02±0.10
เถ้า (Crude ash)	1.81±0.22
เส้นใย (Crude fiber)	2.27±0.08

จากตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าในขี้เพี้ยวัวมีสารอาหารหลักที่สำคัญของสิ่งมีชีวิต ได้แก่ คาร์โบไฮเดรทและโปรตีน ซึ่งสารทั้งสองชนิดจัดเป็นสารชีวโมเลกุลที่มีบทบาทสำคัญต่อเซลล์ของสิ่งมีชีวิต โดยที่คาร์โบไฮเดรท ซึ่งได้แก่ น้ำตาล แป้ง เซลลูโลส และไกลโคเจน ทำหน้าที่สะสมพลังงานและเป็นสารตัวกลางในระบบเมทาบอลิซึม ในขณะที่โปรตีนทำหน้าที่เป็นส่วนประกอบทางโครงสร้าง ฮอร์โมน โปรตีนขนส่ง และเร่งปฏิกิริยาทางเคมีของเอนไซม์ทั้งภายนอกและภายในเซลล์ (สุกัญญา สุนทรส และ วิเชียร ริมพณิชยกิจ, 2553) เนื่องจากขี้เพี้ยวัว คือ ส่วนของอาหารที่ย่อยละเอียดแล้ว หรือหมายถึงขี้อ่อนที่อยู่ในลำไส้เล็กของวัว ซึ่งลักษณะของอาหารที่เข้ามาในส่วนของลำไส้เล็กของวัวหรือสัตว์เคี้ยวเอื้องนั้นประกอบด้วยสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ได้แก่ เซลล์ของจุลินทรีย์ ไขมัน แร่ธาตุ น้ำ และกรดเกลือ การย่อยอาหารที่ลำไส้เล็กเกิดจากเอนไซม์จากตับอ่อนและผนังลำไส้เล็ก โดยมีน้ำดีช่วยในการย่อยไขมัน สารอาหารที่ได้จากการย่อยสลายในลำไส้เล็ก ได้แก่ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมันแร่ธาตุ และวิตามิน (วิศิษฐิพร สุขสมบัติ, 2546)

2. การตรวจวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยาในตัวอย่างขี้เพี้ยวัว

การตรวจวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดที่ปนเปื้อนในตัวอย่างขี้เพี้ยวัว โดยใช้เทคนิค Pour plate บนอาหาร PCA แล้วทำการบ่มที่อุณหภูมิ 35 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นจึงได้ทำการตรวจนับจำนวนโคโลนีของจุลินทรีย์ทั้งหมดในแต่ละตัวอย่าง ซึ่งผลการศึกษาที่ได้แสดงดังตารางที่ 2 พบว่าตัวอย่างขี้เพี้ยวัวที่เก็บในเดือนสิงหาคม (ฤดูฝน) มีการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ทั้งหมดเฉลี่ยมากคือ 1.1×10^{6} CFU/mL โดยผลการตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดในตัวอย่างขี้เพี้ยวัวที่ตรวจนับได้ในแต่ละช่วงเวลาหรือฤดูกาลนั้น พบว่ามีค่าเฉลี่ยของการปนเปื้อนในทุกตัวอย่างอยู่ในช่วงที่เกณฑ์คุณภาพทางจุลินทรีย์ของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุขยอมรับได้ คือ ต้องพบในปริมาณที่น้อยกว่า 5×10^{6} CFU/mL

ตารางที่ 2 จำนวนของจุลินทรีย์ทั้งหมดในตัวอย่างขี้เพี้ยวัวที่ตรวจพบในแต่ละฤดูกาล

ตัวอย่าง	จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/mL)			เกณฑ์มาตรฐาน (CFU/mL)
	ฤดูฝน	ฤดูหนาว	ฤดูร้อน	
โรงฆ่าสัตว์ 1	3.3×10^{5}	9.0×10^{5}	7.4×10^{5}	$<5\times10^{6}$
โรงฆ่าสัตว์ 2	3.2×10^{5}	2.4×10^{5}	5.1×10^{5}	
ตลาดสด 1	3.6×10^{5}	1.6×10^{4}	7.6×10^{5}	
ตลาดสด 2	1.7×10^{5}	1.5×10^{4}	5.0×10^{4}	
ร้านริมทาง 1	3.8×10^{5}	2.9×10^{4}	5.0×10^{4}	
ร้านริมทาง 2	5.0×10^{6}	1.2×10^{5}	5.0×10^{3}	
ค่าเฉลี่ย	$\mathbf{1.1\times10^{6}}$	$\mathbf{2.2\times10^{5}}$	$\mathbf{3.5\times10^{5}}$	

การตรวจวิเคราะห์หา *E. coli* ซึ่งเป็นกลุ่มของแบคทีเรียฟีคอลโคลิฟอร์ม (Fecal coliform) ที่พบในอุจจาระ จึงถูกนำมาใช้เป็นดัชนีหลักในการประเมินสุขลักษณะของการผลิตอาหารและน้ำดื่ม สำหรับการตรวจหา *E. coli* ด้วยวิธี Most probable number (MPN) ในตัวอย่างขี้เพี้ยวัวนั้น พบว่าทุกตัวอย่างในทุกฤดูกาลมีค่า MPN *E. coli* มากกว่า 1,100 MPN/mL (ตารางที่ 3) ซึ่งเป็นการปนเปื้อน *E. coli* ในปริมาณที่เกินเกณฑ์มาตรฐานที่กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุขกำหนดไว้ คือต้องมีค่าน้อยกว่า 100 MPN/mL จึงจะเป็นที่ยอมรับได้ การตรวจพบการปนเปื้อน *E. coli* ของตัวอย่างขี้เพี้ยวัวในปริมาณที่เกินมาตรฐาน แสดงให้เห็นถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหาร (ขี้เพี้ยวัว) ที่อาจก่อให้เกิดความไม่ปลอดภัยต่อผู้บริโภค เนื่องจาก *E. coli* จัดเป็นจุลินทรีย์ก่อโรค ชนิดโรคอาหารเป็นพิษแบบติดเชื้อ (Food infection) โดยเมื่อ *E. coli* ผ่านเข้าสู่ร่างกาย แล้วสามารถเพิ่มจำนวนได้และก่อให้เกิดอาการผิดปกติของร่างกายได้ โดยในขณะที่ *E. coli* มีการเจริญในโฮสต์ (Colonized host) จะมีการสร้างสารเมทาบอไลท์ต่าง ๆ ขึ้น ซึ่งอาจมีผลทำให้เกิดอาการอักเสบหรือเกิดโรคได้ (นิอร โฉมศรี, 2555)

ตารางที่ 3 จำนวน *S. aureus* ที่ตรวจพบในตัวอย่างขี้เพี้ยวัวในแต่ละฤดูกาล

ตัวอย่าง	MPN *E. coli* (MPN/mL)			เกณฑ์มาตรฐาน (MPN/mL)
	ฤดูฝน	ฤดูหนาว	ฤดูร้อน	
โรงฆ่าสัตว์ 1	>1,100	>1,100	>1,100	<100
โรงฆ่าสัตว์ 2	>1,100	>1,100	>1,100	
ตลาดสด 1	>1,100	>1,100	>1,100	
ตลาดสด 2	>1,100	>1,100	>1,100	
ร้านริมทาง 1	>1,100	>1,100	>1,100	
ร้านริมทาง 2	>1,100	>1,100	>1,100	

สำหรับผลการตรวจวิเคราะห์หา *S. aureus* ในตัวอย่างขี้เพี้ยวัวตามวิธีของ BAM (2001b) ภายหลังการบ่มเพาะเชื้อเป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่ามี 4 ตัวอย่างที่เก็บในฤดูฝน ที่ตรวจพบการปนเปื้อนของ *S. aureus* ซึ่งพบในปริมาณที่น้อยกว่าค่าเกณฑ์มาตรฐานที่กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุขกำหนดไว้ (คือ <100 /mL) โดยที่ตัวอย่างที่เก็บได้จากร้านจำหน่ายในตลาดสดพบการปนเปื้อนมากที่สุด ในขณะที่ตัวอย่างจากโรงฆ่าสัตว์และร้านริมทางมีปริมาณการปนเปื้อนที่ต่ำกว่า (ตารางที่ 4) ซึ่งสาเหตุของการปนเปื้อน *S. aureus* ในตัวอย่างขี้เพี้ยวัวที่เก็บจากตลาดสดในช่วงฤดูฝนนี้ อาจมีสาเหตุจากกระบวนการขนส่ง ความสะอาดของสถานที่ หรือตัวผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้อง รวมถึงสภาวะแวดล้อม ได้แก่ ความชื้น อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม และอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ พบว่ามีความสัมพันธ์กับความชุกของ *S. aureus* ในขณะที่ผลการตรวจวิเคราะห์หา *Salmonella* sp. ในตัวอย่างขี้เพี้ยวัวนั้น พบว่าไม่พบการปนเปื้อนของ *Salmonella* sp. ในตัวอย่างขี้เพี้ยวัวที่เก็บมาจากทุกแหล่งและในทุกช่วงฤดูกาล (ไม่ได้แสดงข้อมูล) ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุขกำหนดไว้ คือต้องไม่พบปนเปื้อนของ *Salmonella* sp. ในผลิตภัณฑ์อาหารสดจากโค

ตารางที่ 4 จำนวน *S. aureus* ที่ตรวจพบในตัวอย่างขี้เพี้ยวัวในแต่ละฤดูกาล

ตัวอย่าง	จำนวน *S. aureus* (โคโลนี/mL)			เกณฑ์มาตรฐาน (โคโลนี/mL)
	ฤดูฝน	ฤดูหนาว	ฤดูร้อน	
โรงฆ่าสัตว์ 1	10±0.86	-	-	<100
โรงฆ่าสัตว์ 2	13±0.52	-	-	
ตลาดสด 1	71±3.55	-	-	
ตลาดสด 2	30±2.20	-	-	
ร้านริมทาง 1	-	-	-	
ร้านริมทาง 2	-	-	-	

หมายเหตุ: - หมายถึงไม่พบการปนเปื้อน

3. ผลการศึกษาจุลินทรีย์ชนิดเด่นในตัวอย่างขี้เพี้ยวัว

การศึกษาจุลินทรีย์ชนิดเด่นที่ตรวจพบในแต่ละตัวอย่างของขี้เพี้ยวัวนั้น ได้พิจารณาจากความถี่ในการตรวจพบลักษณะทางสัณฐานของโคโลนีในทุกตัวอย่าง ซึ่งพบว่าส่วนใหญ่เป็นกลุ่มของแบคทีเรีย เมื่อทำการจัดจำแนกชนิด (Classification) โดยพิจารณาจากการติดสีย้อมแกรม และการศึกษาลักษณะของโคโลนีของเชื้อบริสุทธิ์ที่เจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดแข็ง ร่วมกับการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเซลล์ใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง จากการศึกษานี้สามารถคัดแยกแบคทีเรียชนิดเด่นได้ทั้งหมด 7 ไอโซเลท (ตารางที่ 5) โดยแบคทีเรียชนิดเด่นที่คัดแยกได้ในตัวอย่างขี้เพี้ยวัวที่เก็บมาในฤดูฝนมี 1 ไอโซเลท (ได้แก่ RA-1) ฤดูหนาว 2 ไอโซเลท (ได้แก่ WA-1 และ WA-2) และฤดูร้อน 4 ไอโซเลท (ได้แก่ SA-1, SA-2, SA-3 และ SB-1) และเมื่อจำแนกชนิดตามกลุ่มของแบคทีเรียพบว่า สามารถจัดเป็น Gram negative bacilli จำนวน 4ไอโซเลท (RA-1, WA-2, SA-3 และ SB-1) จัดเป็น Gram positive bacilli จำนวน 2 ไอโซเลท (WA-1 และ SA-1) และ Gram positive cocci จำนวน 1 ไอโซเลท (SA-2)

การตรวจพบการปนเปื้อนแบคทีเรียพวก Gram negative bacilli ซึ่งถือเป็นกลุ่มแบคทีเรียชนิดเด่นที่ตรวจพบในทุกฤดูกาล โดยเมื่อพิจารณาผลการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา และการติดสีแกรม ร่วมกับผลการตรวจวิเคราะห์ MPN *Escherichia coli* ในตัวอย่างขี้เพี้ยวัวที่ตรวจวิเคราะห์ในแต่ละฤดูกาล พบว่าทุกตัวอย่างตรวจพบการปนเปื้อน *E. coli*

ในปริมาณที่เกินเกณฑ์มาตรฐานฯ ที่กำหนดไว้ในทุกตัวอย่าง ทำให้มีความเป็นไปได้ว่าแบคทีเรียกลุ่มนี้น่าจะเป็น *E. coli* เนื่องจาก *E. coli* จัดเป็นจุลินทรีย์ประจำถิ่นในลำไส้ของมนุษย์และสัตว์เลือดอุ่น (ธารารัตน์ ชือตอฟ, 2558) จึงทำให้มีโอกาสในการปนเปื้อน *E. coli* สูงมากในขี้เพี้ยวัว

ตารางที่ 5 ลักษณะจุลินทรีย์ชนิดเด่นในตัวอย่างขี้เพี้ยวัว

ไอโซเลท	แกรม	ลักษณะโคโลนี	ลักษณะเซลล์	การจัดจำแนกกลุ่ม
RA-1 WA-2 SA-3 SB-1	Negative	รูปร่าง: Round ขอบ: Entire ผิวหน้า: Smooth ความนูน: Convex สี: Creamy-white	ขนาด: 2-3 µm รูปร่าง: Short-rod	Gram negative bacilli
WA-1	Positive	รูปร่าง: Irregular ขอบ: Undulate ผิวหน้า: Smooth ความนูน: Raised สี: Yellow	ขนาด: 3-4 µm รูปร่าง: Rod	Gram positive bacilli
SA-1	Positive	รูปร่าง: Round ขอบ: Entire ผิวหน้า: Smooth ความนูน: Convex สี: Yellow	ขนาด: 3-4 µm รูปร่าง: Rod, Diplobacilli	Gram positive bacilli
SA-2	Positive	รูปร่าง: Round ขอบ: Entire ผิวหน้า: Smooth ความนูน: Convex สี: White	ขนาด: 1-2 µm รูปร่าง: Sphere	Gram positive cocci

จากผลการตรวจวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยาในตัวอย่างขี้เพี้ยวัวครั้งนี้ แสดงให้เห็นว่าฤดูกาลมีผลต่อการเจริญของแบคทีเรียชนิดเด่นแต่ละกลุ่ม (ชนิด) ทั้งนี้เนื่องจากในแต่ละฤดูกาลนั้นมีสภาวะแวดล้อมของอุณหภูมิและความชื้นในบรรยากาศที่แตกต่างกัน โดยธีระศักดิ์ สมดี (2556) กล่าวว่า ทั้งอุณหภูมิและความชื้นต่างเป็นปัจจัยทางกายภาพที่มีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์แต่ละกลุ่ม ซึ่งจุลินทรีย์แต่ละชนิดนั้นมีค่าอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญที่แตกต่างกันไป ด้วยเหตุนี้จึงทำให้การศึกษาครั้งนี้พบการปนเปื้อนของแบคทีเรียชนิดเด่นในกลุ่มที่แตกต่างกันไปในแต่ละฤดูกาล

สรุปผลการวิจัย

ขี้เพี้ยวัวจัดเป็นส่วนประกอบในการปรุงอาหารท้องถิ่นหรืออาหารพื้นเมืองชนิดหนึ่งที่ให้รสชาติขมที่เป็นเอกลักษณ์ ในด้านโภชนาการพบว่าขี้เพี้ยวัวนั้นมีความชื้นเป็นองค์ประกอบหลัก และมีคาร์โบไฮเดรทเป็นสารอาหารหลักที่พบรองลงมา จากผลการศึกษาวิจัยครั้งนี้พบว่าทั้งฤดูกาล สถานที่ผลิต (โรงฆ่าสัตว์) และแหล่งจำหน่ายขี้เพี้ยวัวมีผลต่อการแพร่กระจายเชื้อก่อโรค เช่น การตรวจพบการปนเปื้อน *S. aureus* ในตัวอย่างขี้เพี้ยวัวที่เก็บในฤดูฝน ในขณะที่ *E. coli* นั้นพบการปนเปื้อนสูงมากในทุกตัวอย่างที่เก็บในทุกฤดูกาล และมีปริมาณเกินค่าเกณฑ์มาตรฐานที่กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุขกำหนดไว้ ทั้งนี้เนื่องจาก *E. coli* จัดเป็นจุลินทรีย์ประจำถิ่นที่พบได้ทั้งในลำไส้ของมนุษย์และสัตว์เลือดอุ่นอยู่แล้ว จึงทำให้มีโอกาสสูงที่จะพบการปนเปื้อน *E. coli* ในปริมาณสูงในขี้เพี้ยวัว ดังนั้นการนำขี้เพี้ยวัวมาประกอบอาหารเพื่อบริโภคในรูปแบบไม่ปรุงสุกอาจเป็นการเพิ่มโอกาสเสี่ยงในการได้รับเชื้อ *E. coli* ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ก่อโรคชนิดสำคัญในกลุ่มโรคอาหารเป็นพิษแบบติดเชื้อ (Food infection) ซึ่งทำให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพของผู้บริโภคได้ สำหรับแนวทางในการควบคุม ป้องกันหรือลดโอกาสการปนเปื้อน *E. coli* หรือเชื้อก่อโรคชนิดอื่น ๆ ในขี้เพี้ยวัวนั้นสามารถกระทำได้โดยผู้ปฏิบัติงานหรือผู้รับผิดชอบตั้งแต่กระบวนการผลิต การบรรจุ การจำหน่าย การเก็บรักษา และการประกอบอาหาร ซึ่งควรตระหนักถึงความปลอดภัยต่อสุขภาพของผู้บริโภคเป็นสำคัญ และควรเน้นให้ความสำคัญในเรื่องการประกอบอาหารแบบปรุงสุก รวมถึงการควบคุมทุกปัจจัยที่มีผลต่อสภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ให้มีความเหมาะสมอยู่เสมอ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร ที่ให้การสนับสนุนด้านทุนวิจัยจากทุนสนับสนุนสำหรับบุคลากรมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร จากงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2559 และสาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร ที่ให้การสนับสนุนด้านห้องปฏิบัติการ ตลอดจนเครื่องมือต่าง ๆ ในการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. (2560). *เกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารและภาชนะสัมผัสอาหาร ฉบับที่ 3 (พ.ศ.2560).* สืบค้นเมื่อ 24 ตุลาคม 2564, จาก http://bqsf.dmsc.moph.go.th/bqsfWeb/index.php/bio/.

ธารารัตน์ ซือตอฟ. (2558). *จุลชีววิทยาทางอาหาร.* กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ธีระศักดิ์ สมดี. (2556). *จุลชีววิทยาพื้นฐาน.* ขอนแก่น: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

นันทวัน ฤทธิ์เดช และ งามนิจ นนทโส. (2551). *คู่มือปฏิบัติการจุลชีววิทยาทั่วไป.* พิมพ์ครั้งที่ 2. ขอนแก่น: ขอนแก่นการพิมพ์.

นิอร โฉมศรี. (2555). *จุลชีววิทยาทางอาหาร (Food Microbiology).* เชียงใหม่: เชียงใหม่ปริ๊นท์ติ้ง.

วิศิษฐิพร สุขสมบัติ. (2546). *เอกสารประกอบการสอนวิชาโภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง.* นครราชสีมา: สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

วีรานุช หลาง. (2552). *คู่มือตรวจวิเคราะห์ด้านจุลชีววิทยาทางอาหาร.* กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศูนย์การเรียนรู้อาหารไทย. (2560). *ลาบขม.* สืบค้นเมื่อ 2 มิถุนายน 2560, จาก http://www.thaifoodheritage.com/recipe_list/detail/54.

สุกัญญา สุนทรส และ วิเชียร ริมพณิชยกิจ. (2553). *ชีวโมเลกุล.* พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

แสงอรุณ กนกพงศ์ชัย. (2546). *อาหาร: ทรัพย์และศิลป์แผ่นดินไทย (Thai cuisine : treasure and art of the land).* กรุงเทพฯ: แปลน โมทิฟ.

AOAC. (2016). *Official Method of Analysis.* The Association of Official Analytical Chemist. 20th ed. Gaithersburg, Maryland.

Bacteriological Analytical Manual. (2001 a). *Chapter 3: Aerobic Plate Count.* Retrieved February 15, 2019, from https://www.fda.gov/Food/Food ScienceResearch/ LaboratoryMetho ds/ucm063346.htm.

Bacteriological Analytical Manual. (2001b). *Chapter 12: Staphylococcus aureus.* Retrieved February 17, 2019, from https://www.fda.gov/Food/Food ScienceResearch/LaboratoryMethods/ucm071429.htm.

Bacteriological Analytical Manual. (2002). *Chapter 4: MPN Escherichia coli.* Retrieved February 17, 2019, from https://www.fda.gov/Food/Food ScienceResearch/LaboratoryMethods/ucm064948.htm.

Kramarenko, T., Nurmoja, I., Meremae, K., Horman, A. & Roasto, M. (2013). The prevalence and serovar diversity of *Salmonella* in various food products in Estonia. *Food Control.* 42, 43 – 47.

National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards. (2003). *Compendium of method for food analysis.* Ministry of Agriculture and Cooperatives, Bangkok.

HEAVY METALS CONCENTRATION IN GROUNDWATER AROUND THE OLD LANDFILL OF UDON THANI, THAILAND

Piyabhorn Phawchamnan[1] and Theethawat Singhasiri[2,*]

[1] Department of Public Health, Faculty of Science, Udon Thani Rajabhat University
[2] Department of Environment, Faculty of Science, Udon Thani Rajabhat

Received: 15 March 2022 Accepted: 24 June 2022

Abstract

The aim of this study was to determine the contamination of heavy metals from groundwater in the surroundings of the old landfill site in Udon Thani, Thailand. The sampling points were four wells on different locations of the old landfill. The groundwater was collected during dry season of 2019 to 2021. All the samples were analyzed for three physicochemical parameters, such as conductivity (EC), pH and Total Dissolved Solids (TDS), and were measured on-site using HQ40D multi meter. The results of this study were within the allowable limit: The concentration of heavy metals includes Cd, Pb, Zn, Cu, Mn and Fe using the Perkin Elmer Optima 8000 Series Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometer (ICP-OES). The analysis indicated that concentration of the heavy metals was mostly below studies detection limit and far below the WHO international best standards. Most of the sites among those showed low enough levels of heavy metal contamination in the groundwater that it would not affect the health of humans and the environment around the landfill.

Keywords: Open Dumpsite, Leachate, Municipal Waste, Heavy Metals

* Corresponding Author: Theethawat Singhasiri
Email: theethawat@udru.ac.th

Introduction

Concerning the situation of community solid waste in Thailand (2020), the amount of waste was approximately 25.4 million tons. From the municipal solid waste (MSW), 10.85 million tons (39%) were disposed of properly according to academic principles and the rest, 7.32 million tons (26%) were incorrectly disposed (Pollution Control Department, 2021). In Thailand, a local government organization is responsible for comprehensive waste management. Most of them are able to provide lots of solid waste collection services which still leave the problem of reducing the garbage. However, there is still a problem of not being very hygienic such as open dumping or open burning (Tanjira et al., 2017), and water resources being drained directly into the seawater (Baun & Christensen, 2004). According to the solid waste disposal, if it was not properly managed, it could lead to various effects such as soil pollution, water pollution, air pollution and health impacts. The major groundwater pollution problem of the landfill is the contamination of heavy metals in leachate. These heavy metals are transported and compartmentalized in the human body through various processes that lead to human diseases (Jarup, 2003; Florea & Busselberg, 2006). Leaching of heavy metals from the landfills have been extensively studied and continuously monitored for a long time. (Aluko et.al, 2003; Looser et al.,1999; Critto et al., 2003; Mitra et al., 2003; Frascari et al., 2004).

Udon Thani province is the third largest city in North East of Thailand and has an estimated population of 1.58 million (2017). The study was conducted at the old landfill called the Banmain Landfill in Naka District. The site is located at 19 km north from the city of Udon Thani. The old landfill is covered a land area of 19.7 acre with open dumpsites technology for MSW disposal. The old landfill was commissioned for use from 1993 to 2003 before it closed and moved to a new location with sanitary landfill technology in 2004. This landfill is an old landfill, which is not designed with a lining and collection

system for leachate management. The old and usually uninsulated landfills contain household hazardous waste, the most obvious being processed metals and electronics. From the above properties, leachate in landfills constitute was a major source of contaminants which can contain heavy metals. The liners are important to prevent the heavy metals in leachate from the landfill from contaminating the groundwater aquifer or environment (Sarabian & Rayhani, 2013; Baumann et al., 2006).

The aim of this study was to determine the contamination of heavy metals from the leachate and water quality in groundwater in the surroundings of the old landfill site in Udon Thani, Thailand. This study can be helpful in developing effective treatment technology to stop the contamination of groundwater and to protect human health living nearby the landfills and environment.

Materials and Methods

1. Sample collection

The old landfill site in this study with geographical coordinates 48Q 266878 and 1944257 is located in Naka District of Udon Thani province, N.E. Thailand. (Fig.1). The site is located in the about 19 km north from Udon Thani city, along the 12 Asian Highway, and comprise an area of 19.7 acre. The old landfill was in operation from 1993 to 2003, and has been used as an uncontrolled open system without any engineering operations in the area. Sampling points were collected from 4 wells (ST1-ST4) near the landfill site during the rainy season (July) of 2019 to 2021 (Table 1).

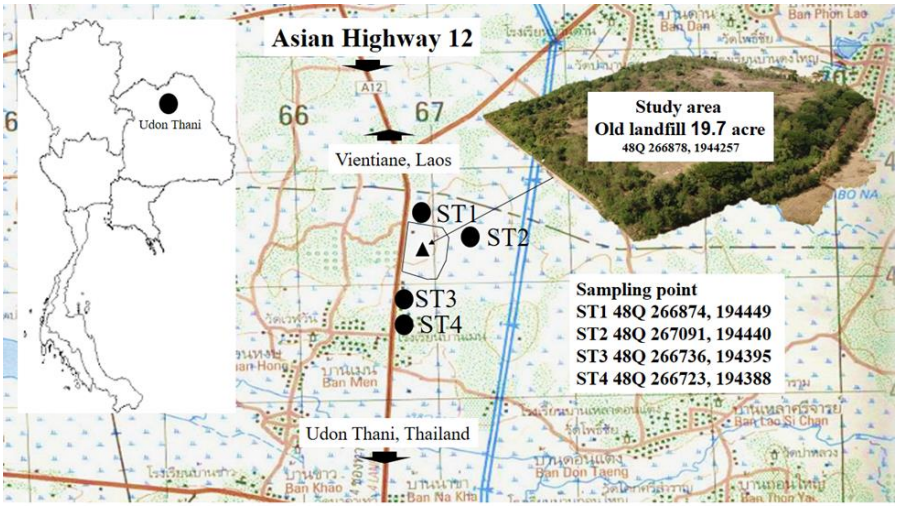


Fig. 1 Position of the studied area and sampling point

Table 1 Sampling point of groundwater well

Sampling point	Distance from landfills (meters)	Coordinates	Depth (meters)
ST1	20	48Q 266874, 194449	75
ST2	77	48Q 267091, 194440	75
ST3	155	48Q 266736, 194395	65
ST4	244	48Q 266723, 194388	65

2. Sample analysis

The field and laboratory procedures were conducted according to APHA et al. (1998). All the chemicals were analytical grade. Groundwater samples were collected in a pre-cleaned polyethylene sample bottle, which were washed using liquid detergent and soaked in 1% nitric acid and then were rinsed with deionized water three times. Groundwater samples were fetched after a pumping period of at least 30 minutes to eliminate immobile water. The samples were collected into polyethylene bottles and fixed with nitric

acid conc to a pH < 2.0. The samples were transported to the laboratory and were conserved at 4°C until further analysis. The samples were tested for the occurrence of physicochemical parameters such as conductivity, pH and TDS, and were measured in-site using a HQ40D multi meter.

Each 100 mL groundwater sample was transferred into beakers containing 10 mL of conc.HNO_3. The samples were heated slowly on a hot plate until the volume was reduced to 20 mL. The samples were allowed to cool and 5 mL of conc.HNO_3 was added. Heating was continued with the addition of conc.HNO_3 as necessary until dry. Then 5 ml of HCl solution (1:1 v/v) was added. The samples were warmed and 5 ml of 5 M NaOH was added. The samples were filtered through filter paper to 100 mL volumetric flasks and diluted to the mark with deionized distilled water. After preparation of samples, heavy metal concentrations Cd, Pb, Zn, Cu, Mn and Fe in the groundwater samples were measured using Perkin Elmer Optima8000 Series Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometer (ICP-OES).

Results and Discussion

The physicochemical analysis and heavy metals results in the groundwater sample in the old landfill site during dry season of 2019 to 2021 is presented in Table 2.

pH values of groundwater samples from each of the sample areas obtained for ST1, ST2, ST3 and ST4 ranged from 6.58±0.03 to 7.57±0.04, which clearly indicated that the groundwater in the study area was good water quality, and values were within the permissible range by the Pollution Control Department of Thailand best standards for water quality (Pollution Control Department, 2021). A slightly alkaline value of pH is normally leachate met at old domestic landfills (El-Fadel et al., 2002; Kanmani & Gandhimath, 2013). The pH value of the groundwater sample may be attributed to the presence

of some chemical and the biological stabilization of the organism over a period of time, and lost into the soil as carbonates, bicarbonates and anaerobic decomposition, while percolated into the underground soil through rain water (Esmail et al., 2009; Lekanet al., 2019).

EC levels in the groundwater samples varied from 4.62±0.07 to 9.36± 0.02 µs/cm. EC is a valuable indicator of the abundance of dissolved total concentration ions and inorganic species in groundwater (Banar et al., 2006; Yilmaz & Koc, 2014). Low concentration of EC was found in the groundwater samples. The concentration of EC with a lower inorganics component may be due to very little solute dissolution into groundwater.

The concentrations of TDS did not show different values between four groundwater samples sites which obtained ranges of 227±29 to 470±16 mg/l. The TDS could be used as indicators of the total dissolved salt content of water. All the sample sites exhibited values much below the allowable value of 1000 mg/l by the WHO for drinking water. The concentration of TDS indicates the groundwater in the study area is fresh water and clearly not saline (Oyem et al., 2014).

The results of heavy metals for groundwater of old landfill samples site including Cd, Pb, Zn, Cu, Mn and Fe are shown in Table 2. The concentration of heavy metals for all groundwater samples were too low to be detected by the instrument of analysis. Zn concentration at ST1 to ST4 showed low concentration. Each showed levels from 0.11±0.05 to 0.48±0.02mg/l. Meanwhile Fe concentration appeared almost below detection limit with a low concentration at 0.09±0.02 mg/l and 0.01±0.00 mg/l for ST1 and ST2, respectively. Although Zn and Mn contaminations occurred in groundwater, both are below the standard acceptable levels of drinking water determined by international standards. The WHO has a guideline value for Zn and Mn of 3.0 mg/l and 0.4 mg/l, respectively. Apart from

them, Cd, Pb, Cu and Fe in the groundwater samples site of the study area were all below detection limit.

Table 2 Analysis of heavy metals in groundwater samples in the studies site during the year: 2019 – 2021

Sample location/ coordinate		Years	parameters			Heavy metal concentration (mg/l)					
			EC (µs/cm)	pH	TDS (mg/l)	Cd	Pb	Zn	Cu	Mn	Fe
ST1	48Q 266874, 194449	2019	8.85±0.12	6.95±0.01	445±16	BDL	BDL	BDL	BDL	0.11±0.02	BDL
		2020	5.87±0.01	6.94±0.02	445±5	BDL	BDL	0.19±0.00	BDL	0.09±0.02	BDL
		2021	8.96±0.01	7.57±0.04	442±23	BDL	BDL	0.11±0.05	BDL	BDL	BDL
ST2	48Q 267091, 194440	2019	5.87±0.01	7.56±0.04	317±15	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL
		2020	6.02±0.01	7.41±0.01	332±11	BDL	BDL	0.20±0.13	BDL	0.01±0.00	BDL
		2021	9.36±0.02	7.43±0.04	470±16	BDL	BDL	0.18±0.00	BDL	BDL	BDL
ST3	48Q 266736, 194395	2019	7.13±0.05	7.35±0.02	442±59	BDL	BDL	0.24±0.16	BDL	BDL	BDL
		2020	7.32±0.01	7.29±0.03	358±19	BDL	BDL	0.16±0.12	BDL	BDL	BDL
		2021	7.54±0.26	7.53±0.05	444±9	BDL	BDL	0.21±0.02	BDL	BDL	BDL
ST4	48Q 266723, 194388	2019	5.22±0.01	6.99±0.04	227±29	BDL	BDL	0.26±0.86	BDL	BDL	BDL
		2020	4.62±0.07	6.58±0.03	247±14	BDL	BDL	0.48±0.02	BDL	BDL	BDL
		2021	5.58±0.12	6.89±0.06	303±7	BDL	BDL	0.29±0.15	BDL	BDL	BDL
WHO (2011)standard			NA	6.5-8.0	500	0.003	0.01	3.0	2.0	0.4	0.3

Note: BDL = below detectable level
NA = No guideline available

ST1, ST2, ST3 and ST4 were located approximately 20 m, 77 m, 155 m and 244 m, away from the old landfill site, respectively. The depth of the groundwater wells varied from 65 m to 75 m. The pattern of sampling points depicting different well depths is presented in Fig. 2. The low concentration of heavy metals in the groundwater samples may be attributed to different depths of wells (Elwali et al., 2008; Othman et al., 2019). The height or depth of the well and the low depth of the groundwater well was another factor/reason enhancing the contamination, because the contamination was

into the groundwater of heavy metals through the soil occurs more slowly. (Abhishek et al., 2017).

However, the liner system is installed as a barrier preventing any leachate migrating to the environment and groundwater around the landfill (Farquhar, 1989; Mochamad et al., 2014). In this study, the old landfills do not have the initial design of the landfill site for leachate management, but instead uses clay which as a type of lining systems in the landfill (Salim et al., 1996). This is probably the reason for the low concentration of heavy metals in the groundwater.

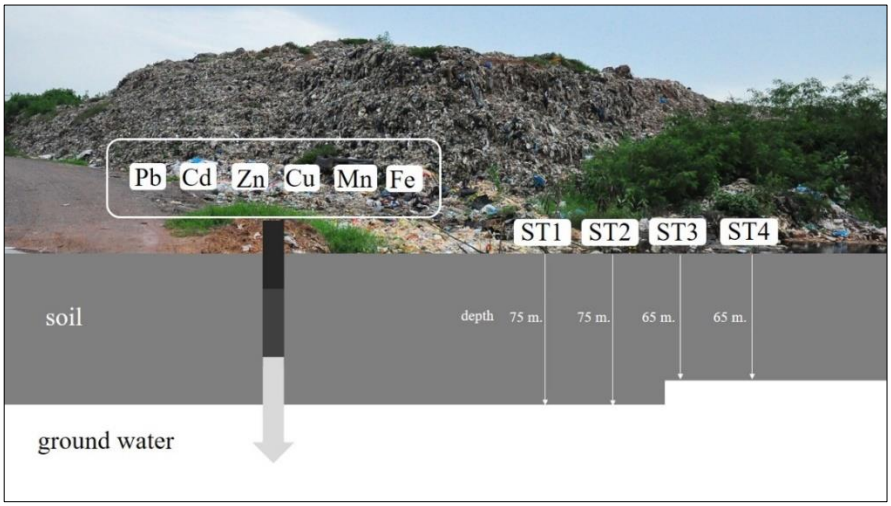


Fig. 2 The pattern of old landfill depicted sampling point at different well depths

Conclusions

The main goal of this study was to assess the physicochemical and heavy metals concentration in groundwater around the old landfill of Udon Thani, Thailand. The samples were collected from four stations around the landfills during the rainy season of 2019 to 2021. The parameters measured

were EC, pH and TDS. The results showed that the groundwater samples at this landfill had a low level of contamination, where the concentration of parameters was under the standard acceptable levels by WHO standard. The heavy metals, Cd, Pb, Cu and Fe were below detection limit in all the sampling sites. Zn and Mn were found to be very low as per WHO standard. From these results, the groundwater of the old landfill is still safe for the health of the population and environment. However, the government should continue monitoring the groundwater of this landfill to prevent further contamination to the groundwater.

Acknowledgements

The authors would like to thank the Faculty of Science administrators, Udon Thani Rajabhat University for all the facilities used during the study, and the Faculty of Science and Technology administrators, Loei Rajabhat University for providing laboratory facilities for the analysis of heavy metals using ICP-OES.

References

Abhishek, K., Malabika, B. R., Pankaj, K. R., & Raju, K. N. P. (2017). Study of Extent and Magnitude of Arsenic in Groundwater in Uttar Pradesh, India. *Environment Asia*, *10*(2), 9-14.

Aluko, O. O., Sridhar, M. K. C., & Oluwande, P. A. (2003). Characterization leachates from a municipal solid waste landfill site in Ibadan, Nigeria. *Journal of Environmental Health, 2*(1), 33-37.

APHA, AWWA, & WEF. (1998). Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. 20th edition, American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environment Federation, Washington DC.

Banar, M., Aysun, O., & Mine, K. (2006). Characterization of the leachate in an urban landfill by physicochemical analysis and solid phase micro extraction. GC/MS. *Environment Monitoring Assessment,* 121, 439-459.

Baumann, T., Fruhstorfer, P., Klein, T., & Niessner, R. (2006). Colloid and heavy metal transport at landfill sites in direct contact with groundwater. *Water Resource*, 40, 2776-2786.

Baun, D. L., & Christensen, T. H. (2004). Speciation of heavy metals in landfill leachate: a review. *Waste Management & Research*, 22, 3-23.

Critto, A., Claudio, C., & Marcomini, A. (2003). Characterization of contaminated soil and groundwater surrounding an illegal landfill by principal component analysis and kriging. *Environmental Pollution*, 122, 235-244.

El-Fadel, M., Bou-Zeid, E., Chahine, W., & Alayli, B. (2002). Temporal variation of leachate quality from pre-sorted and baled municipal solid waste with high organic and moisture content. *Waste Management, 22*(3), 269-282.

Elwali, B. E., Yusoff, I., Samsudin, A. R., Yaacob, W. Z. W., & Ghani, M. R. A. (2008). Heavy metal contamination of soil beneath a waste disposal site at Dengkil, Selangor, Malaysia. *Soil and Sediment Contamination*, 17, 449-466.

Esmail, A. S., Abdul, R. S., Wan-Zuhairi, W. Y., Fadhl, A. N., & Fares, A. (2009). The Characteristics of Leachate and Groundwater Pollution at Municipal Solid Waste Landfill of Ibb City, Yemen. *American Journal of Environmental Sciences, 5*(3), 230-240.

Farquhar, G. J. (1989). Leachate: Production and characterization. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 16, 317-325.

Florea, A. M., & Busselberg, D. (2006). Occurrence, use and potential toxic effects of metals and metal compounds*. Biometals,* 19, 419-427.

Frascari, D., Bronzini, F., Giordano, G., & Nocentini, M. (2004). Long-term characterization, lagoon treatment and migration potential of landfill leachate: a case study in an active Italian landfill. *Chemosphere,* 55, 335-343.

Jarup, L. (2003). Hazards of heavy metal contamination. *British Medical Bulletin, 68*(1), 167-182.

Kanmani, S., & Gandhimath, R. (2013). Investigation of physicochemical characteristics and heavy metal distribution profile in groundwater system around the open dump site. *Applied Water Science*, 3, 387-399.

Lekan, T. P., Adeyinka, S. Y., & Tajudeen, A. A. (2019). Assessment of natural groundwater physico-chemical properties in major industrial and residential locations of Lagos metropolis. *Applied Water Science, 9*(191), 1-10.

Looser, M. O., Parriaux, A., & Bensimon, M. (1999). Landfill underground pollution detection and characterization using inorganic tracer. *Water Resource, 33*(17), 3609-3616.

Mitra, A., Bhattacharyya, P., Chattopadhyay, D. J., & Chakraborty, A. (2003). Physico-chemical properties, heavy metals and their relations in cultivated landfill soil dumped with municipal solid wastes. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 49, 163-170.

Mochamad, A. B., Amin, C., & Hamid, N. (2014). Prediction of Heavy Metal Contamination from Landfill: Lead and Chromium. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, *8*(7), 207-214.

Othman, R., Moad, L. N. H., Baharuddin, Z .M., Hashim, K. S. H. Y., & Lukman, H. M. L. H. (2019). Closed landfill heavy metal contamination distribution profiles at different soil depths and radiuses. *Applied ecology and environmental research*, *17*(4), 8059-8067.

Oyem, H. H., Oyem, I. M., & Ezeweali, D. (2014). Temperature, pH, Electrical Conductivity, Total Dissolved Solids and Chemical Oxygen Demand of Groundwater in Boji-BojiAgbor/Owa Area and Immediate Suburbs. Research *Journal of Environmental Sciences*, *8*(8), 444-450.

Pollution Control Department. (2021). *Thailand State of Pollution Report 2020.* PCD, ISBN 978-616-316-522-0.

Salim, I. A., Miller, C. J., & Howard, J. L. (1996). Sorption isotherm-sequential extraction analysis of heavy metal retention in landfill liners. *Soil Science Society of America Journal,* 60, 107-114.

Sarabian, T., & Rayhani, M. T. (2013). Hydration of geosynthetic clay liners from clay subsoil under simulated field conditions. *Waste Management*, 33, 67-73.

Tanjira, K., Songsakunrungrueng, B., & Pattanamahakul, P. (2017). Heavy metal concentration and risk assessment of soil and rice in and around an open dumpsite in Thailand. *EnvironmentAsia,* 10, 53-64. doi:10.14456/ea.2017.21.

Yilmaz, E. & Koc, C. (2014) Physically and Chemically Evaluation for the Water Quality Criteria in a Farm on Akcay. *Journal of Water Resource and Protection*, *6*(63-67). doi.org/10.4236/jwarp.2014.62010.

การขยายพันธุ์เจตมูลเพลิงขาวโดยการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ

IN VITRO PROPAGATION OF *PLUMBAGO ZEYLANICA* L.

จตุพร หงส์ทองคำ*, นัตติยากรณ์ ผาเนตร และ จริยา สิงห์มาตร
Jatuporn Hongthongkham*, Natteyakon Phanet and Jariya Singhamat

สาขาวิชาชีววิทยา ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด
Department of Science and Technology, Faculty of Liberal Arts and Science,
Roi Et Rajabhat University

Received: 15 March 2022 Accepted: 10 August 2022

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อขยายพันธุ์เจตมูลเพลิงขาวในสภาพปลอดเชื้อ โดยนำชิ้นส่วนตาข้างมาฟอกฆ่าเชื้อด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรด์ (NaOCl) ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 10 และ 15 นาที พบว่า ความเข้มข้นของ NaOCl และระยะเวลาที่เหมาะสม คือ NaOCl ความเข้มข้น 1.24% เป็นเวลานาน 10 นาที มีอัตราการรอดสูงสุด 92% จากนั้นนำชิ้นส่วนตาข้างที่ผ่านการฟอกฆ่าเชื้อแล้วมาเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 0-4 มก./ล. เพื่อชักนำให้เกิดยอด เป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า อาหารที่เติม BA ความเข้มข้น 4 มก./ล. ชักนำให้ตาข้างเกิดยอดได้มากที่สุด 3.28 ยอด/ชิ้นส่วนพืช ยอดมีความสูงและมีจำนวนใบเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 61.86 มม. และ 8.57 ใบ/ยอด ตามลำดับ เมื่อย้ายชิ้นส่วนยอดของเจตมูลเพลิงขาว มาเพาะเลี้ยงบนอาหาร MS ที่เติม NAA ระดับความเข้มข้น 0-2 มก./ล. เพื่อชักนำให้เกิดราก เป็นเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า อาหารที่เติม NAA ความเข้มข้น 2 มก./ล. สามารถชักนำให้ยอดเกิดรากเฉลี่ยได้มากที่สุด 11.75 รากต่อยอด และมีความยาวรากเฉลี่ยสูงสุด 31.50 มม.

คำสำคัญ: เจตมูลเพลิงขาว, การขยายพันธุ์ในสภาพปลอดเชื้อ, โซเดียมไฮโปคลอไรด์

* ผู้ประสานงาน: จตุพร หงส์ทองคำ
อีเมลล์: Jatuporn_h@hotmail.com

Abstract

This study aimed to investigate *in vitro* propagation of *Plumbago zeylanica* L. The axillary buds were surface sterilized with various concentrations of sodium hypochlorite (NaOCl) for 10 and 15 minutes. The result showed that the suitable concentration and duration of NaOCl were 1.24% and 10 minutes which presented the highest survival percentage of axillary buds 92%. The sterilized axillary buds were cultured on MS medium supplemented with 0-4 mg/l BA for shoots induction. After 8 weeks of culture, the result of shoot induction using 4 mg/l BA indicated that the highest shoot was 3.28 shoot/ explant, the average of shoot height and leaves were 61.86 mm and 8.57 leaves/ shoot, respectively. The shoots were transferred to MS medium supplemented with 0-2 mg/l NAA for roots induction at 4 weeks. It was found that the highest of root induction was observed from the medium supplemented with 2 mg/l NAA. The maximum number of roots and the highest of roots length were 11.75 roots per shoot and 31.50 mm., respectively.

Keywords: *Plumbago zeylanica* L, *In vitro* propagation, Sodium hypochlorite

บทนำ

เจตมูลเพลิงขาว (*Plumbago zeylanica* L.) เป็นไม้พุ่มหรือไม้ล้มลุกขนาดเล็กอยู่ในวงศ์ PLUMBAGINACEAE ใบเป็นใบเดี่ยวรูปมนรี ปลายใบแหลม โคนใบมนมีสีเขียวอมแดง เรียงสลับกัน (Alternate) ไปตามข้อ ดอกมีสีขาวออกเป็นช่อที่ปลายกิ่ง เจตมูลเพลิงขาวจัดเป็นพืชสมุนไพรที่สำคัญชนิดหนึ่งในประเทศไทย มีสรรพคุณเป็นยาสมุนไพรพื้นบ้าน เป็นส่วนประกอบในตำรับยาไทยหลายขนานโดยใช้ส่วนต่างๆ เช่น ใบ ใช้แก้ลม ขับเสมหะ ช่วยย่อยอาหาร แก้ปวดเมื่อย ปอดบวม ส่วนของดอก แก้โรคตา แก้หนาวเย็น ลำต้น ใช้ขับประจำเดือน และราก ใช้ขับลมในกระเพาะอาหารและลำไส้ ช่วยย่อย ทำให้เจริญอาหาร ขับประจำเดือน บำรุงโลหิต แก้ปวดท้อง แก้ท้องเสีย เป็นต้น (เพ็ญนภา ทรัพย์เจริญ, 2542) นอกจากนี้ในส่วนรากของเจตมูลเพลิงขาวยังมีสารออกฤทธิ์ในกลุ่ม Naphthoquinone

ชื่อ Plumbagin (Didry et al., 1994; Ceasar et al., 2013) ที่มีฤทธิ์ในการต้านมะเร็ง (Aziz et al., 2008) ต้านสารอนุมูลอิสระ (Tilak et al., 2004) และต้านเชื้อแบคทีเรีย (Pavia et al., 2003)

รากของเจตมูลเพลิงขาวที่เหมาะนำไปใช้เป็นส่วนประกอบในตัวยา จำเป็นต้องใช้รากที่มีขนาดเหมาะสมและมีคุณภาพดี หากมีการนำรากจากต้นพันธุ์ที่มีตามธรรมชาติเพื่อนำไปใช้ประโยชน์หรือขุดออกมาขายจำนวนมากขึ้น อาจส่งผลให้เกิดการสูญพันธุ์ได้ในอนาคต ปัจจุบันนิยมขยายพันธุ์เจตมูลเพลิงขาวโดยการใช้เมล็ดและการปักชำกิ่ง แต่การขยายพันธุ์ด้วยวิธีการดังกล่าวผลิตต้นพืชได้จำนวนน้อย และใช้เวลานานหากต้องการจำนวนต้นพันธุ์ที่มีปริมาณมาก นอกจากนี้ยังพบว่าการเพาะเมล็ดมีอัตราการงอกน้อยและถึงแม้เมล็ดจะงอกเป็นต้นอ่อนได้แต่ยังคงมีอัตราการตายที่สูงเมื่อปลูกในธรรมชาติ (Ceasar et al., 2013) เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าว การนำวิธีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อหรือการขยายพันธุ์ในสภาพปลอดเชื้อมาใช้เพื่อขยายพันธุ์ต้นเจตมูลเพลิงขาวเพื่อให้ได้จำนวนมากนั้น นอกจากจะได้พืชที่มีคุณภาพดี มีความสม่ำเสมอและปลอดโรคแล้วยังเป็นการอนุรักษ์พันธุ์เจตมูลเพลิงขาวได้อีกด้วย

การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช (Plant tissue culture) หรือการขยายพันธุ์ในสภาพปลอดเชื้อ (*In vitro* propagation) เป็นวิธีการที่นิยมใช้ในการขยายพันธุ์พืชโดยเฉพาะอย่างยิ่งพืชที่มีความสำคัญเศรษฐกิจ พืชที่เสี่ยงต่อการสูญพันธุ์ และพืชสมุนไพร เพราะนอกจากจะได้ต้นพันธุ์จำนวนมากในเวลาอันรวดเร็วแล้วยังทำให้ได้พืชที่มีความสม่ำเสมอเมื่อนำไปปลูกในธรรมชาติจึงได้ผลผลิตที่มีคุณภาพดี สะอาดปราศจากโรคและเพียงพอต่อความต้องการ จึงเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับการอนุรักษ์พืชที่ใกล้สูญพันธุ์ หรือพืชหายากได้อย่างมีประสิทธิภาพ (รังสฤษฎ์ กาวีต๊ะ, 2540) อย่างไรก็ตามชิ้นส่วนพืชที่นำมาเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อมักมาจากธรรมชาติที่มีการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ ดังนั้นเพื่อลดการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ที่อาจจะเกิดขึ้นในระหว่างขั้นตอนการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ จึงต้องมีเทคนิคหรือวิธีการที่เหมาะสมในการกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ดังกล่าว (วราภรณ์ ภูตะลุน, 2551)

นอกจากนี้ปัจจัยที่ส่งเสริมให้การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชประสบความสำเร็จยังขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของสารควบคุมการเจริญเติบโตทั้งที่มีอยู่ภายในเนื้อเยื่อพืชและที่เติมลงไปในอาหารเพาะเลี้ยงอีกด้วย โดยสารควบคุมการเจริญเติบโตมีหน้าที่กระตุ้น และส่งเสริมให้เนื้อเยื่อพืชเกิดการเปลี่ยนแปลงและพัฒนาไปเป็นอวัยวะอย่างสมบูรณ์ (ศิวพงศ์ จำรัสพันธุ์,

2546) ซึ่งสารที่มีความสำคัญและนิยมใช้ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชคือ สารในกลุ่มออกซิน (Auxin) ได้แก่ NAA (Naphthalene acetic acid) และ 2,4-D (2,4-Dimethyl ammonium) และกลุ่มไซโตไคนิน (Cytokinin) ได้แก่ BA (N_6-benzyladenine) และ kinetin (KN) อย่างไรก็ตามพืชแต่ละชนิดรวมถึงชิ้นส่วนที่นำมาเพาะเลี้ยงมีความต้องการปริมาณสารควบคุมการเจริญเติบโตที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาหาปริมาณที่เหมาะสมของสารควบคุมการเจริญเติบโตเพื่อให้สามารถขยายพันธุ์พืชในสภาพปลอดเชื้อได้

สำหรับการศึกษาการขยายพันธุ์เจตมูลเพลิงขาวโดยการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อในประเทศไทยพบว่ายังมีการศึกษาเพียงเล็กน้อย โดยเป็นการศึกษาสูตรอาหารและสารควบคุมการเจริญเติบโตกลุ่มไซโตไคนิน (BA, KN และ TDZ) ต่อการชักนำให้เกิดยอด (กัญญาภรณ์ พิพิธแสงจันทร์, 2561) ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของวิธีการฟอกฆ่าเชื้อชิ้นส่วนตาข้าง และศึกษาผลของ BA ต่อการชักนำให้เกิดยอดและเพิ่มจำนวนยอด และผลของ NAA ต่อการชักนำให้เกิดรากของเจตมูลเพลิงขาวในสภาพปลอดเชื้อ เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาด้านการขยายพันธุ์เจตมูลเพลิงขาวต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

การหาสภาวะที่เหมาะสมของการฟอกฆ่าเชื้อชิ้นส่วนตาข้างเจตมูลเพลิงขาว

นำชิ้นส่วนตาข้างเจตมูลเพลิงขาวล้างทำความสะอาดด้วยน้ำผสมน้ำยาล้างจานเขย่าเป็นเวลานาน 5 นาที และล้างออกด้วยน้ำสะอาด จากนั้นย้ายมาแช่ในแอลกอฮอล์ความเข้มข้น 70% เขย่านาน 1 นาที และแช่ในโซเดียมไฮโปคลอไรด์ (NaOCl) ที่ระดับความเข้มข้น 0.42, 0.83 และ 1.24% เขย่านาน 10 และ 15 นาที เมื่อครบกำหนดล้างด้วยน้ำกลั่นปลอดเชื้อ 3 ครั้ง ครั้งละ 5 นาที นำชิ้นส่วนพืชมาวางบนจานเพาะเชื้อและทำการตัดแต่งชิ้นส่วนพืชให้มีขนาดประมาณ 0.5-1.0 ซม. เพาะเลี้ยงบนอาหารสังเคราะห์สูตร MS พื้นฐาน เลี้ยงในที่อุณหภูมิ 25±2 องศาเซลเซียส ให้แสงนาน 16 ชั่วโมง/วัน ความเข้มแสง 2,000 ลักซ์ วางแผนการทดลองแบบ 3x2 Factorial in CRD ทำซ้ำทั้งหมด 5 ซ้ำ ซ้ำละ 5 ตัวอย่าง โดยมีปัจจัยที่ 1 ความเข้มข้นของ NaOCl 3 ระดับ คือ ความเข้มข้น 0.42%, 0.83% และ 1.24% และปัจจัยที่ 2 เวลาในการฟอกฆ่าเชื้อ 10 และ 15 นาที บันทึกเปอร์เซ็นต์การปนเปื้อน และเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตชิ้นส่วนพืช เมื่อเพาะเลี้ยงผ่านไปเป็นเวลา 4 สัปดาห์

การชักนำให้เกิดยอด

ชิ้นส่วนตาข้างเจตมูลเพลิงขาวที่ผ่านการฟอกฆ่าเชื้อเรียบร้อยแล้วมาเพาะเลี้ยงบนอาหารสังเคราะห์สูตร MS ที่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโต BA (N_6-benzyladenine) ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ (0, 1, 2, 3 และ 4 มก./ล.) เพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิ 25±2 องศาเซลเซียส ให้แสงนาน 16 ชั่วโมง/วัน ความเข้มแสง 2,000 ลักซ์ วางแผนการทดลองแบบ CRD (Completely Randomized Design) ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ ซ้ำละ 10 ตัวอย่าง บันทึกผลการทดลองโดยนับจำนวนยอด จำนวนใบเฉลี่ยต่อยอด และวัดความสูงยอด เมื่อเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 8 สัปดาห์

การชักนำให้เกิดราก

นำยอดเจตุมูลเพลิงขาวที่เพาะเลี้ยงนาน 8 สัปดาห์ และมีความสูงเฉลี่ย 1.5-2.0 ซม. มาเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS ที่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโต NAA (Naphthalene acetic acid) ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ (0, 0.5, 1 และ 2 มก./ล.) เพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิ 25±2 องศาเซลเซียส ให้แสงนาน 16 ชั่วโมง/วัน ความเข้มแสง 2,000 ลักซ์ วางแผนการทดลองแบบ CRD (Completely Randomized Design) ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ ซ้ำละ 10 ตัวอย่าง บันทึกผลการทดลองโดยนับจำนวนรากเฉลี่ยต่อยอด และวัดความยาวรากที่เกิดขึ้น เมื่อเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 4 สัปดาห์

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

การหาสภาวะที่เหมาะสมของการฟอกฆ่าเชื้อชิ้นส่วนตาข้างเจตมูลเพลิงขาว

ปัญหาสำคัญที่มักพบในการขยายพันธุ์พืชโดยใช้เทคนิคการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชคือการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ที่อาจเกิดขึ้นในระหว่างการเพาะเลี้ยง ดังนั้นเพื่อหลีกเลี่ยงการปนเปื้อนดังกล่าว การทำความสะอาดหรือการฟอกฆ่าเชื้อชิ้นส่วนพืชก่อนนำมาเพาะเลี้ยงจึงเป็นขั้นตอนที่สำคัญ การนำสารเคมีบางชนิด เช่น โซเดียมไฮโปคลอไรด์ (NaOCl) ที่มีคุณสมบัติเป็นสารฟอกขาวและมีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียได้หลายชนิดมาใช้ในขั้นตอนการฟอกฆ่าเชื้อสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการฟอกฆ่าเชื้อได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของชิ้นส่วนพืชรวมถึงปริมาณและระยะเวลาที่ใช้ในการฟอกฆ่าเชื้อ (ภพเกล้า พุทธรักษ์ และคณะ, 2554) จากการศึกษาได้นำชิ้นส่วนตาข้างของเจตมูลเพลิงขาวมาฟอกฆ่าเชื้อโดยใช้โซเดียมไฮโปคลอไรด์ความเข้มข้นและระยะเวลาที่ต่างกัน พบว่า ความเข้มข้นของโซเดียม

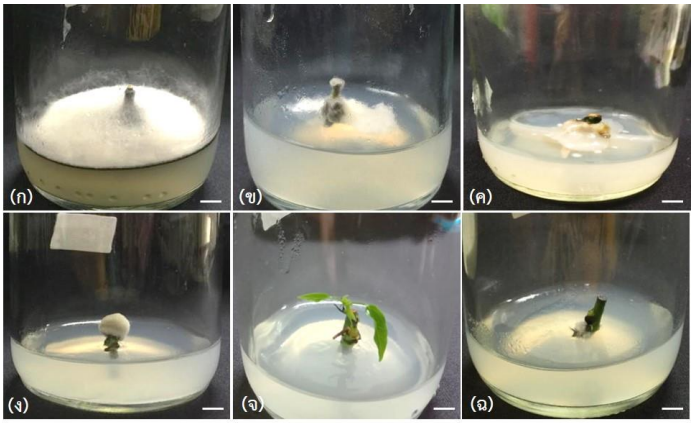
ไฮโปคลอไรด์และเวลาที่ใช้ฟอกฆ่าเชื้อมีอิทธิพลร่วมกันต่อการปนเปื้อนของเชื้อแบคทีเรียและการรอดชีวิตของชิ้นส่วนพืชอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการใช้โซเดียมไฮโปคลอไรด์ความเข้มข้น 0.83% นาน 15 นาที และโซเดียมไฮโปคลอไรด์ความเข้มข้น 1.24% นาน 10 นาที ชิ้นส่วนตาข้างมีเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตสูงสุด 92% เมื่อพิจารณาปัจจัยความเข้มข้นของโซเดียมไฮโปคลอไรด์ พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของโซเดียมไฮโปคลอไรด์สามารถลดการปนเปื้อนของเชื้อแบคทีเรียและเชื้อราได้ และชิ้นส่วนพืชมีเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตสูงขึ้น ขณะเดียวกันการเพิ่มระยะเวลาในการฟอกฆ่าเชื้อมีแนวโน้มให้ชิ้นส่วนพืชเกิดการปนเปื้อนลดลงและมีเปอร์เซ็นต์การอดชีวิตสูงขึ้นเช่นกัน อย่างไรก็ตามจากการศึกษาพบว่า การใช้โซเดียมไฮโปคลอไรด์ที่ความเข้มข้นสูง (1.24%) และใช้เวลาฟอกฆ่าเชื้อนาน (15 นาที) ส่งผลให้ชิ้นส่วนพืชมีเปอร์เซ็นต์การตายสูงขึ้น โดยเฉพาะการใช้โซเดียมไฮโปคลอไรด์ความเข้มข้น 1.24% นาน 15 นาที ชิ้นส่วนตาข้างมีการตายสูงถึง 16% (ตารางที่ 1) (รูปที่ 1) มีงานวิจัยจำนวนมากได้นำโซเดียมไฮโปคลอไรด์ที่ประกอบอยู่ในคลอรอกซ์และไฮเตอร์มาใช้ในการฟอกฆ่าเชื้อชิ้นส่วนพืช เนื่องจากหาซื้อได้ง่ายและราคาถูกอีกทั้งไม่เป็นอันตรายต่อร่างกายมากนัก อย่างไรก็ตามหากใช้ความเข้มข้นที่มากเกินไปก็อาจเป็นอันตรายต่อเนื้อเยื่อพืชได้ (ประศาสตร์ เกื้อมณี, 2538; ภพเกล้า พุทธรักษ์ และคณะ, 2554) ซึ่งการศึกษาครั้งนี้สอดคล้องกับการศึกษาของภพเกล้า พุทธรักษ์ และคณะ (2554) ที่พบว่า การเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายคลอรอกซ์สูง 30% (มีปริมาณโซเดียมไฮโปคลอไรด์ 2.48%) ทำให้ชิ้นส่วนหัวว่านสี่ทิศมีอัตราการปลอดเชื้อสูงแต่อัตราการรอดชีวิตต่ำ โดยชิ้นส่วนจะถูกทำลาย มีลักษณะเป็นสีน้ำตาล ช้ำและตาย อย่างไรก็ตามในการศึกษาของจันทร์เพ็ญ ใจซื่อ และคณะ (2562) พบว่า การฟอกฆ่าเชื้อส่วนข้อของต้นหม้อข้าวหม้อแกงลิงด้วยไฮเตอร์เข้มข้น 30% หรือคิดเป็น 1.8% โซเดียมไฮโปคลอไรด์ ชิ้นส่วนพืชมีการรอดชีวิตสูง 100% ในการศึกษานี้พบว่าการใช้โซเดียมไฮโปคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 1.24% นาน 10 นาที สามารถใช้ในการฟอกฆ่าเชื้อชิ้นส่วนตาข้างเจตมูลเพลิงขาวให้ปราศจากเชื้อจุลินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และนอกจากนี้ชิ้นส่วนพืชยังสามารถเจริญเติบโตต่อได้ปกติ อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของสารที่ใช้ฟอกและระยะในการฟอกฆ่าเชื้อขึ้นอยู่กับชนิด อายุ และชิ้นส่วนของพืชที่นำมาศึกษาด้วย บุญยืน กิจวิจารณ์ (2547) รายงานว่า หากชิ้นส่วนพืชที่นำมาฟอกฆ่าเชื้อมีความหนา และค่อนข้างแข็ง อาจใช้สารฟอกฆ่าเชื้อที่ความเข้มข้นสูง และใช้ระยะเวลาการฟอกนาน

ขณะที่ชิ้นส่วนพืชที่มีขนาดบางและค่อนข้างอ่อน อาจใช้สารฟอกฆ่าเชื้อที่มีความเข้มข้นน้อยและลดระยะเวลาในการฟอกลง

ตารางที่ 1 ผลการฟอกฆ่าเชื้อชิ้นส่วนตาข้างของเจตมูลเพลิงขาวด้วย NaOCl ที่ความเข้มข้นและระยะเวลาต่าง ๆ เมื่อเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 4 สัปดาห์

ความเข้มข้น NaOCl (%) (A)	**เวลาในการฟอกฆ่าเชื้อ (นาที) (B)**	**การปนเปื้อน (%)**		**การรอดชีวิต (%)**	**การตาย (%)**
		แบคทีเรีย	**รา**		
0.42	10	88.00[a]	8.00	4.00[c]	0.00[b]
	15	84.00[a]	8.00	8.00[c]	0.00[b]
0.83	10	60.00[b]	4.00	36.00[b]	0.00[b]
	15	8.00[c]	0.00	92.00[a]	0.00[b]
1.24	10	0.00[c]	0.00	92.00[a]	8.00[b]
	15	0.00[c]	0.00	84.00[a]	16.00[a]
A x B		*	ns	*	*
ความเข้มข้น NaOCl (%) (A)	0.42	86.00[a]	8.00[a]	6.00[c]	0.00[b]
	0.83	34.00[b]	2.00[ab]	64.00[b]	0.00[b]
	1.24	0.00[c]	0.00[b]	88.00[a]	12.00[a]
A		*	*	*	*
เวลาในการฟอกฆ่าเชื้อ (นาที) (B)	10	49.33	4.00	44.00	2.67
	15	30.67	2.67	61.33	5.33
B		ns	ns	ns	ns

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่ต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ Duncan's Multiple Range Test (DMRT)



รูปที่ 1 ผลของการฟอกฆ่าเชื้อตาข้างเจตมูลเพลิงขาวด้วยสาร NaOCl ความเข้มข้นและระยะเวลาต่าง ๆ; (ก) : 0.42% NaOCl นาน 10 นาที, (ข) : 0.42% นาน 15 นาที, (ค) : 0.83% NaOCl นาน 10 นาที, (ง) : 0.83% NaOCl นาน 15 นาที, (จ) : 1.24% NaOCl นาน 10 นาที และ (ฉ) : 1.24% NaOCl นาน 15 นาที (Scale bars: 10 mm)

การชักนำให้เกิดยอด

จากการศึกษาการชักนำให้ตาข้างเจตมูลเพลิงขาวเกิดยอดโดยการเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 0-4 มก./ล. เป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า อาหารที่เติม BA ทุกความเข้มข้น (1-4 มก./ล.) สามารถชักนำให้ตาข้างเจตมูลเพลิงขาวเกิดยอดได้ดีกว่าอาหารที่ไม่เติม BA อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 2) โดยอาหาร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 4 มก./ล. ชักนำให้ตาข้างเกิดยอดได้มากที่สุด มีจำนวนยอดเฉลี่ยต่อชิ้นส่วนพืช 3.28 ยอด รองลงมาคือ อาหาร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 3 มก./ล. และอาหาร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 2 มก./ล. ให้จำนวนยอดเฉลี่ยเท่ากับ 2.57 และ 2.00 ยอด ตามลำดับ (ตารางที่ 2) เมื่อพิจารณาความสูงยอด และจำนวนใบต่อต้น พบว่า อาหาร MS ที่เติม BA 4 มก./ล. ยอดมีความสูงเฉลี่ยสูงที่สุด 61.86 มม. และให้จำนวนใบเฉลี่ยมากที่สุด 8.57 ใบ (ตารางที่ 2) เนื่องจาก BA เป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตในกลุ่มไซโตไคนินที่สามารถกระตุ้นให้เนื้อเยื่อพืชเกิดการแบ่งเซลล์และขยายขนาดของเซลล์พืช รวมถึงสร้างยอดใหม่ (Taiz & Zeiger, 2002) อย่างไรก็ตามมีงานวิจัยที่ผ่านมาได้ศึกษาการชักนำให้เกิดยอดใหม่ของเจตมูลเพลิงขาว พบว่า การเพาะเลี้ยงชิ้นส่วนต่าง ๆ ได้แก่ ชิ้นส่วนข้อ ปลายยอด ตาข้าง

และเอ็มบริโอบนอาหารเพาะเลี้ยงที่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโตในกลุ่มไซโตไคนิน เช่น BAP หรือไคเนติน (KN) ที่ระดับความเข้มข้น 0.5-5 มก./ล. ร่วมกับออกซิน เช่น NAA IAA หรือ IBA ที่ระดับความเข้มข้นต่ำ (0.01-4.5 มก./ล.) สามารถกระตุ้นให้เกิดยอดใหม่และเพิ่มจำนวนยอดได้ดีกว่าการเพาะเลี้ยงบนอาหารที่เติมสารในกลุ่มไซโตไคนินเพียงอย่างเดียว (Sivanesan & Jeong, 2009; Gbadamosi & Egunyomi, 2010; Ceasar et al., 2013; Chatterjee & Ghosh, 2015; Raja et al., 2018) ซึ่งแตกต่างจากการศึกษานี้ที่แสดงให้เห็นว่าการเติม BA ซึ่งเป็นสารในกลุ่มไซโตไคนินเพียงอย่างเดียวลงในอาหารเพาะเลี้ยงสูตร MS มีประสิทธิภาพเพียงพอที่จะกระตุ้นให้ตาข้างเจตมูลเพลิงขาวเกิดยอดใหม่ได้ สอดคล้องกับ Vijay et al., (2016) ที่รายงานว่า อาหารสังเคราะห์ที่เติม BA เพียงอย่างเดียวสามารถชักนำให้ชิ้นส่วนตาข้างของเจตมูลเพลิงขาวเกิดยอดและเพิ่มจำนวนยอดได้ดี นอกจากนี้จากการทดลองพบว่าตาข้างเกิดยอดใหม่ได้ดีเมื่อเพาะเลี้ยงบนอาหารที่เติม BA ในความเข้มข้นที่สูงขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากชิ้นส่วนพืชที่นำมาเพาะเลี้ยงยังไม่มีการสังเคราะห์ฮอร์โมนในกลุ่มไซโตไคนินหรืออาจสร้างได้น้อยจึงไม่เพียงพอที่จะกระตุ้นให้เนื้อเยื่อเกิดการการสร้างยอดได้ ดังนั้นเมื่อได้รับ BA จากอาหารเพาะเลี้ยงในปริมาณที่เพียงพอจึงทำให้เกิดการพัฒนาของเนื้อเยื่อเป็นอวัยวะได้ดีขึ้น

ตารางที่ 2 ผลของสารควบคุมการเจริญ BA ต่อการชักนำให้เกิดยอดของชิ้นส่วนตาข้างเจตมูลเพลิงขาว เมื่อเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 8 สัปดาห์

ความเข้มข้น BA (มก./ล.)	จำนวนยอดเฉลี่ย/ชิ้นส่วนพืช ± SD	ความสูงยอดเฉลี่ย/ยอด (มม.) ± SD	จำนวนใบเฉลี่ย/ต้น ± SD
0	1.14±0.14^{d}	30.00±0.43^{c}	3.86±0.26^{e}
1	1.57±0.13^{cd}	42.29±0.91^{b}	6.57±0.29^{d}
2	2.00±0.12^{c}	45.14±0.73^{b}	7.00±0.30^{bc}
3	2.57±0.18^{b}	45.43±0.49^{b}	7.71±0.42^{ab}
4	3.28±0.15^{a}	61.86±0.53^{a}	8.57±0.36^{a}

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่ต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระดับความเชื่อมั่น 95% จากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

การชักนำให้เกิดราก

เมื่อย้ายยอดของเจตมูลเพลิงขาวมาเพาะเลี้ยงบนอาหาร MS ที่เติม NAA ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ เพื่อชักนำให้เกิดรากเป็นเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า อาหารที่เติม NAA ทุกความเข้มข้น (0.5-2 มก./ล.) สามารถชักนำให้ยอดเกิดรากใหม่ได้แตกต่างจากอาหารที่ไม่เติม NAA อย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ NAA ที่ความเข้มสูงจะกระตุ้นให้เกิดรากได้ดีกว่า NAA ความเข้มข้นต่ำ โดยเฉพาะอาหารที่เติม NAA ความเข้มข้น 2 มก./ล. ชักนำให้ยอดเจตมูลเพลิงขาวเกิดรากเฉลี่ยได้มากที่สุด 11.75 ราก/ยอด และมีความยาวรากเฉลี่ยสูงสุด 31.50 มม. ซึ่งแตกต่างกับยอดเจตมูลเพลิงขาวที่เพาะเลี้ยงบนอาหาร ที่ไม่เติม NAA และอาหาร MS ที่เติม NAA ความเข้มข้น 0.5 และ 1 มก./ล. ที่มีจำนวนรากเฉลี่ย 7.25 และ 3.00 ราก/ยอด ตามลำดับ (ตารางที่ 3) (รูปที่ 2) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า NAA ส่งเสริมให้เนื้อเยื่อพืชเกิดรากได้ เนื่องจาก NAA เป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตในกลุ่มออกซินที่สามารถกระตุ้นให้เนื้อเยื่อพืชเกิดการแบ่งเซลล์ ขยายขนาดของเซลล์และชักนำให้เกิดรากได้ แม้ว่าจะมีรายงานว่าการใช้ออกซินความเข้มข้นสูงสามารถยับยั้งการสร้างรากในพืชหลายชนิด (Chatterjee & Ghosh, 2015; เกศินี ศรีปฐมกุล และคณะ, 2563; นงนุช เลาหะวิสุทธิ์ และคณะ, 2560; พัชรียา บุญกอแก้ว, 2560) และอาจกระตุ้นให้เกิดการสร้างแคลลัส (Sivanesan & Jeong, 2009) แต่ในการทดลองนี้พบว่า จำนวนรากและความยาวรากมากขึ้นเมื่อเพิ่มระดับความเข้มข้นของ NAA และไม่พบแคลลัสเกิดขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่ารากที่เกิดขึ้นแข็งแรงและปกติ

ตารางที่ 3 ผลของสารควบคุมการเจริญ NAA ต่อการชักนำให้เกิดยอดของชิ้นส่วนตาข้างเจตมูลเพลิงขาว เมื่อเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 4 สัปดาห์

ความเข้มข้น NAA (มก./ล.)	จำนวนรากเฉลี่ย/ยอด ±SD	ความยาวรากเฉลี่ย (มม.) ±SD
0	1.00 ± 0.00^{c}	4.00 ± 0.71^{c}
0.5	3.00 ± 0.41^{c}	6.38 ± 0.04^{bc}
1	7.25 ± 1.11^{b}	10.50 ± 1.19^{b}
2	11.75 ± 1.03^{a}	31.50 ± 2.18^{a}

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่ต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระดับความเชื่อมั่น 95% จากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

รูปที่ 2 การเกิดรากจากยอดของเจตมูลเพลิงขาว เมื่อเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS ที่เติม NAA ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ เป็นเวลา 4 สัปดาห์**;** (ก) : NAA ความเข้มข้น 0 มก./ล., (ข) : NAA ความเข้มข้น 0.5 มก./ล., (ค) : NAA ความเข้มข้น 1 มก./ล.และ (ง) : NAA ความเข้มข้น 3 มก./ล. (Scale bars: 5 mm)

สรุปผลการวิจัย

สภาวะที่เหมาะสมของการฟอกฆ่าเชื้อชิ้นส่วนตาข้างของเจตมูลเพลิงขาว คือการฟอกฆ่าเชื้อด้วยสารโซเดียมไฮโปคลอไรด์ ความเข้มข้น 1.24% นาน 10 นาที เมื่อเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า ตาข้างมีเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตสูงถึง 92% และไม่พบการปนเปื้อนของเชื้อแบคทีเรียและเชื้อราเกิดขึ้น การเพาะเลี้ยงชิ้นส่วนตาข้างบนอาหารสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 4 มก./ล. สามารถชักนำให้เกิดยอดใหม่สูงสุด 3.28 ยอด/ชิ้นส่วนพืช ยอดมีความสูง 61.86 มม. และมีจำนวนใบมากที่สุด 8.57 ใบ และอาหาร MS ที่เติม NAA ความเข้มข้น 2 มก./ล. สามารถชักนำให้ต้นเจตมูลเพลิงขาวเกิดรากจำนวน 11.75 ราก และมีความยาวรากสูงสุด 31.50 มม.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ที่สนับสนุนทุนวิจัย และขอขอบคุณคณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ดที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

กัญญาภรณ์ พิพิธแสงจันทร์. (2561). *เทคโนโลยีการอนุรักษ์เชื้อพันธุกรรมพืชในธนาคารเชื้อพันธุ์พืชกรมวิชาการเกษตร*. รายงานโครงการวิจัย, กรมวิชาการเกษตร.

เกศินี ศรีปฐมกุล, อารยา อาจเจริญ เทียนหอม และ ทัศนัย จารุวัฒนพันธ์. (2563). การขยายพันธุ์ในสภาพปลอดเชื้อหญ้าพันเกลียว (*Ceropegia thailandica* Meve) พืชใกล้สูญพันธุ์อย่างยิ่งในประเทศไทย. *The Journal of Science and Technology, 9*(1), 77-89. Doi:10.14456/tjst.2020.7.

จันทร์เพ็ญ ใจซื่อ, สุรพล ฐิติธนากุล, สรายุทธ อ่อนสนิท และ เยาวพรรณ สนธิกุล. (2562). เทคนิคการฟอกฆ่าเชื้อชิ้นส่วนต้นหม้อข้าวหม้อแกงลิงจากธรรมชาติเพื่อการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ. *แก่นเกษตร 47*(ฉบับพิเศษ 1), 1515-1520.

นงนุช เลาหะวิสุทธิ์, อัจฉรี เรืองเดช, สมเกียรติ สีสนอง และ สมชาย หวังวิบูลย์กิจ. (2560). ผลของสารฟอกฆ่าเชื้อและสารควบคุมการเจริญเติบโตในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพรรณไม้น้ำบูเซป *Bucephalandra* sp. *วารสารเกษตรพระจอมเกล้า, 35*(2), 95-103.

บุญยืน กิจวิจารณ์. (2547). *เทคโนโลยีเบื้องต้นการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชเพื่อพัฒนาพืช*. ขอนแก่น: ภาควิชาชีววิทยา, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ประศาสตร์ เกื้อมณี. (2538). *เทคนิคการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.

พัชรียา บุญกอแก้ว. (2560). *สารควบคุมการเจริญเติบโตในพืชสวน*. กรุงเทพฯ: บริษัทสหมิตรพริ้นติ้งแอนด์พับลิชิ่ง จำกัด.

เพ็ญนภา ทรัพย์เจริญ. (2542). *การแพทย์แผนไทยสายใยแห่งชีวิตและวัฒนธรรม เล่มที่ 2*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึก.

ภพเก้า พุทธรักษ์, วารุต อยู่คง และ มณฑล สงวนเสริมศรี. (2554). การขยายพันธุ์ว่านสี่ทิศโดยการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อในสภาพปลอดเชื้อ. *วาสารนเรศวรพะเยา, 4*(3), 3-8.

รังสฤษฏ์ กาวีต๊ะ. (2540). *การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช : หลักการและเทคนิค*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาเกษตรศาสตร์.

วราภรณ์ ภูตะลุน. (2551). *การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชสมุนไพร : แนวทางการศึกษาเพื่อผลิตสารทุติยภูมิที่มีฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา*. ขอนแก่น: บริษัทขอนแก่นพิมพ์พัฒนา จำกัด.

ศิวพงศ์ จำรัสพันธุ์. (2546). *การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช*. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏอุดรธานี, อุดรธานี.

Aziz, M. H., Dreckschmidt, N. E., & Verma, A. K. (2008). Plumbagin, a medicinal plant-derived naphthoquione, is a novel inhibitor of the growth and invasion of hormone-refractory prostate cancer. *Cancer Research, 68*, 9024-9032.

Ceasar, S. A., Ayyanar, M., & Ignacimuthu, S. (2013). An Improved Micropropagation Protocol for *Plumbago zeylanica* L. An Important Medicinal Plant. *Asian Journal of Biological Sciences, 6*(4), 214-220.

Chatterjee, T., & Ghosh, B. (2015). Simple Protocol for Micropropagation and In Vitro Conservation of *Plumbago zeylanica* L.: An Important Indigenous Medicinal Plant. *International Journal of Bio-resource and Stress Management, 6*(1), 068-075.

Didry, N., Dubrevil, L., & Pinkas, M. (1994). Activity of anthroquinonic and naphthoquinonic compounds on oral bacteria. *Phamazie*, 49, 681-683.

Gbadamosi, I. T., & Egunyomi, A. (2010). Micropropagation of *Plumbago zeylanic*a L. (Plumbaginaceae) in Ibadan, Southwesten, Nigeria. *Journal of Medicinal Plants Research, 4*(4), 293-297.

Pavia, S. R., Figueiredo, M. R., Aragão, T. V., & Kaplan, M. A. (2003). Antimicrobial activity *in vitro* of plumbagin isolated from *Plumbago* species. *Mem. Inst. Oswaldo Cruz, 98*(7), 959-961.

Raja, H. D., Jenifer, A. M., Steffi, P. F., Thamilmaraiselvi, B., Srinivasan, P. & Tamilvanan, R. (2018). Micripropagation of *Plumbago zeylanica* – An important medicinal plant. *World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences, 7*(4), 1823-1829. Doi:10.20959/wjpps20184-11467

Sivanesan, I., & Jeong, B. R. (2009). Micropropagation of *Plumbago zeylanica* L. *African Journal of Biotechnology, 8*(16), 3761-3768.

Taiz, L., & Zeiger, E. (2002). *Plant Physiology*. The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc., California. 45-54 p.

Tilak, J. C., Adhikari, S., & Devasagayam, T. P. (2004). Antioxidant properties of *Plumbago zeylanica*, an Indian medicinal plant and its active ingredient, plumbagin. *Redox Rep, 9*(4), 219-227.

Vijay, R., Shukal, J., & Saxena, R. (2016). Micropropagation of *Plumbago zeylanica* L.: An Important Medicinal Plant of India. *International Journal of Pure & Applied Bioscience, 4*(6), 159-167.

ประสิทธิภาพการลดความขุ่นในน้ำด้วยวิธีการตกตะกอนทางเคมีร่วมกับการกรองอย่างง่าย

WATER TURBIDITY REMOVAL EFFICIENCY OF COMBINATION METHODS BETWEEN CHEMICAL COAGULATION AND SIMPLE FILTRATION

ณัฐสิมา โทขันธ์*, วีระวัฒน์ อุ่นเสน่หา และ ณพัฐอร บัวฉุน
Natsima Tokhun*, Weerawat Ounsaneha and Napattaorn Buachoon

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี
Faculty of Science and Technology, Valay Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage, Pathum Thani Province

Received: 28 March 2022 Accepted: 10 August 2022

บทคัดย่อ

ชุมชนในชนบทนอกจากประสบปัญหาความไม่สมดุลของปริมาณน้ำฝนและภัยแล้งแล้วการเข้าถึงน้ำสะอาดเป็นอีกปัญหาหนึ่งที่ควรได้รับการพิจารณาเช่นกัน โดยเฉพาะความขุ่นของน้ำซึ่งไม่เหมาะสมต่อการใช้ประโยชน์ในครัวเรือน ซึ่งการสำรวจเบื้อต้นพบว่า น้ำใช้ชุมชนเป็นสีน้ำตาลอ่อน มีความเป็นกลาง (pH 7.77) และความขุ่นสูง (499.33 NTU) ดังนั้นจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาวิธีกำจัดความขุ่นของน้ำใช้ในชุมชนชนบท โดยการเปรียบเทียบประสิทธิภาพวิธีกำจัดความขุ่นและ pH ของน้ำที่เหมาะสม ผลการศึกษาพบว่า วิธีการตกตะกอนด้วยสารส้ม (1% alum, 25 mg/L) ร่วมกับวิธีการกรองอย่างง่าย (ผ่านชั้นกรองถ่าน กรวด และทรายหยาบ) มีประสิทธิภาพกำจัดความขุ่นในน้ำได้สูงถึง 99.12% (ค่าความขุ่นเท่ากับ 4.42 NTU) และช่วยปรับค่า pH ให้เหมาะสมต่อการใช้ประโยชน์ (pH 7.42) ซึ่งวิธีการตกตะกอนด้วยสารส้มสามารถช่วยลดความขุ่นของน้ำได้ดีกว่าวิธีการกรองร่วมกับการตกตะกอนและวิธีการกรองอย่างง่าย ตามลำดับ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า การใช้สารเคมีกำจัดความขุ่นหรือการใช้วัสดุกรองในท้องถิ่นนอกจากช่วยกำจัดความขุ่นในน้ำแล้ว

* ผู้ประสานงาน: ณัฐสิมา โทขันธ์
อีเมล์: natsima@vru.ac.th

ควรพิจารณาค่า pH ของน้ำร่วมด้วยเพื่อความปลอดภัยต่อผู้อุปโภคน้ำ และควรทำให้น้ำสะอาดผ่านการฆ่าเชื้อโรคก่อนใช้บริโภค

คำสำคัญ: การตกตะกอนทางเคมี, การกรองอย่างง่าย, ความขุ่น, สารส้ม, จาร์เทส

Abstract

The rural community always face the problem of the imbalance rainfall water volume. Moreover, it faces the problem of drought and the problem about accessing the water too. This problem should be considered especially the turbidity of water that in not suitable for use in the household. The preliminary investigation found that water supply for community had brown color, natural (pH 7.77) and high turbidity level (499.33 NTU). The objective for study methods of turbidity removal from water supply by comparing which methods had the most effective way that suitable for removing turbidity and pH. The result showed the combination method between the flocculation (1% alum, 25 mg/L) and simple filtration (through the charcoal filter layer gravel and coarse sand) is the most water turbidity removal efficiency in 99.12% (turbidity 4.42 NTU) and this method can adjust the pH level (pH 7.42) that in suitable for use in the household. The alum floc method can reduce the turbidity in the water better than combination and simple filtration methods, respectively. This result showed that the chemical agents and using the filter can eliminate the turbidity in the water but we should consider the pH for water safety for consumers. Moreover, it suggests that the consumer should clean the water through disinfection before using it for consumption in the household.

Keywords: chemical flocculation, simple filtration, turbidity, alum, JAR test

บทนำ

การจัดหาน้ำสะอาดในชุมชนเป็นความจำเป็นขั้นพื้นฐานที่รัฐต้องส่งเสริมให้ประชาชนมีน้ำสะอาดเพื่อการอุปโภคบริโภคอย่างเพียงพอ ซึ่งนอกจากประชาชนในชุมชนมีสุขภาพที่ดีแล้วยังช่วยแก้ปัญหาการขาดแคลนน้ำสะอาดในชุมชน โดยติดตั้งระบบประปาหมู่บ้านและติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำให้เป็นไปตามมาตรฐานคุณภาพน้ำประปาส่วนภูมิภาคตามคำแนะนำขององค์การอนามัยโลกที่กำหนด (WHO, 2011) อย่างไรก็ตามหลายพื้นที่โดยเฉพาะเขตชนบทยังคงประสบกับปัญหาคุณภาพน้ำไม่ได้ตามเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งจากผลการสุ่มตรวจคุณภาพน้ำประปาหมู่บ้านปี 2561 จำนวน 445 แห่งพบว่า คุณภาพน้ำประปาหมู่บ้านผ่านเกณฑ์คุณภาพน้ำประปาดื่มได้เพียงร้อยละ 19.1 (ดนัย ธีวันดา, 2562) ซึ่งสาเหตุหลักเกิดจากกระบวนการผลิตน้ำประปาและคุณภาพของแหล่งน้ำดิบที่นำมาใช้ไม่เหมาะสมต่อการผลิตน้ำประปาได้ และแหล่งน้ำส่วนใหญ่ที่นำมาใช้ผลิตน้ำประปาเป็นแหล่งน้ำผิวดินที่พบตามหมู่บ้าน เช่น แม่น้ำ ห้วย หนอง คลองและบึง แต่ปัญหาที่พบของแหล่งน้ำผิวดินดังกล่าวคือ การปนเปื้อนของสารอินทรีย์ แบคทีเรียและความขุ่น ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากสภาพพื้นที่ ฤดูกาลและการใช้ประโยชน์ที่ดินรอบๆ แหล่งน้ำที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำ (อมรรัตน์ วงษ์กลม และ ถนัด ธนะฉัตรชัยรัตนะ, 2561) โดยเฉพาะแหล่งน้ำดิบจากสระหนองและบึงที่ใช้ผลิตน้ำประปาหมู่บ้านที่พบปัญหาความขุ่นของน้ำและการปนเปื้อนแบคทีเรีย (เชษฐพันธุ์ กาฬแก้ว, 2542) ซึ่งค่าความขุ่น (turbidity) มีผลทำให้รสชาติและสีของน้ำไม่เหมาะสมต่อการบริโภคและใช้ประโยชน์ รวมทั้งก่อให้เกิดความเสี่ยงทางสุขภาพได้ เช่น น้ำที่มีความขุ่นมากจะทำให้คลอรีนมีประสิทธิภาพของในการฆ่าเชื้อโรคลดลง เนื่องจากสารแขวนลอยในน้ำจะห่อหุ้มตัวจุลินทรีย์ไว้ทำให้ประสิทธิภาพของคลอรีนในการทำลายจุลินทรีย์ลดลงและทำให้เกิดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ก่อโรคได้ รวมทั้งเพิ่มต้นทุนในการผลิตน้ำประปา ดังนั้น ความขุ่นของน้ำจึงเป็นตัวแปรสำคัญที่ส่งผลต่อกำลังการผลิตน้ำประปาและเกี่ยวพันต่อเนื่องถึงปริมาณน้ำที่จ่ายออกไปยังผู้ใช้น้ำ และเป็นดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพของระบบน้ำประปาหมู่บ้านแบบผิวดินของกรมอนามัย เนื่องจากการจัดการความขุ่นของน้ำดิบอันเนื่องมาจากอนุภาคคอลลอยด์และสารแขวนลอยในน้ำ ซึ่งเป็นกระบวนการส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นและใช้เวลานานกว่ากระบวนการอื่นๆ (วีระพล พูลสวัสดิ์ และธัญลักษณ์ ราษฎร์ภักดี, 2562) นอกจากนี้ความขุ่นของน้ำยังเป็นคุณลักษณะของน้ำทางกายภาพหลักที่ชาวบ้านใช้พิจารณาเมื่อนำน้ำมาใช้ประโยชน์

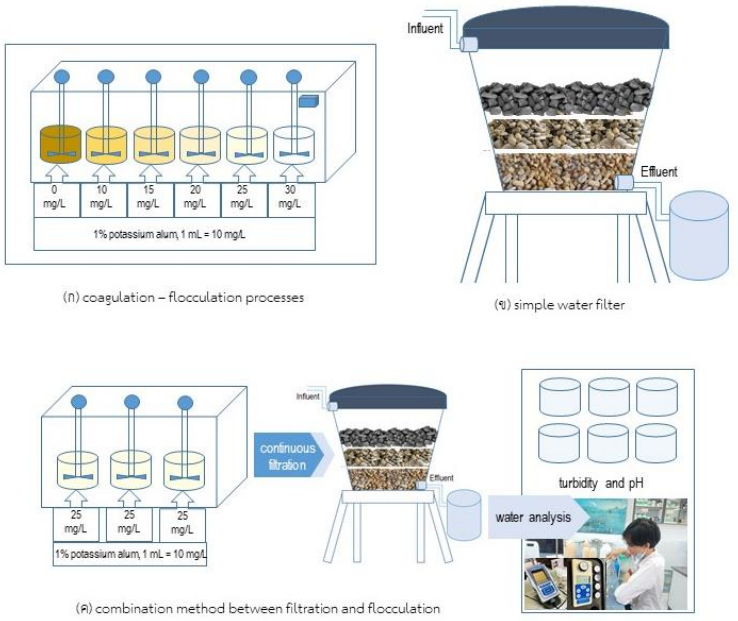
การกำจัดความขุ่นของน้ำเพื่อให้คุณภาพน้ำได้มาตรฐานสำหรับใช้ในการอุปโภคและบริโภคจะมีวิธีที่ใช้และเทคนิคที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับคุณภาพน้ำของแต่พื้นที่ โดยวิธีการกำจัดความขุ่นที่นิยมนำมาใช้ทั่วไปคือ กระบวนการสร้างและรวมตะกอน (coagulation-flocculation) โดยการเติมสารรวมตะกอน (coagulant) เพื่อให้สารแขวนลอยเกิดการรวมตัวกันเป็นตะกอนขนาดใหญ่หรือฟล็อต (floc) และเกิดการตกตะกอน (sedimentation) จากนั้นนำไปผ่านการกรอง (filtration) ก่อนใช้ประโยชน์ ซึ่งสารส้ม (alum) เป็นโคแอกกูแลทน์ (coagulant) ที่นิยมใช้กันมากที่สุด และทำให้ความเป็นด่าง (alkalinity) ลดลง เนื่องจากสารส้ม (alum) มีสูตรเคมี $Al(SO_4)_3$ ใช้ได้ดีกับแหล่งน้ำต่างๆ หาซื้อได้ง่าย ราคาไม่แพง เมื่อเติมลงในน้ำจะแตกตัวให้อิออนบวกและลบ ($2Al^{+3}$ และ $3SO_4^{-2}$) (พรศักดิ์ สมรไกรสรกิจ, 2545) และทำให้น้ำมีค่า pH ลดลงมีสภาพเป็นกรด ซึ่งจาร์เทสต์ (JAR test) เป็นอีกหนึ่งวิธีการทดลองหาปริมาณสารส้มที่เหมาะสมสำหรับเติมลงในน้ำดิบ (optimum dose of coagulation) เพื่อตกตะกอนสารแขวนลอยในน้ำ (การประปาส่วนภูมิภาค สาขาวัฒนานคร, 2560) และนำผลที่ได้ไปปรับจ่ายในกระบวนการผลิตน้ำประปา โดยวิธีจาร์เทสต์เป็นการจำลองการทำงานของถังตกตะกอน ซึ่งเริ่มจากการกวนเร็วเพื่อจ่ายสารส้มให้สม่ำเสมอ การกวนช้าเพื่อให้สารส้มมีโอกาสเคลื่อนที่เข้ารวมกับความขุ่นเพื่อสร้างฟล็อต และการทิ้งให้ตกตะกอน (กรมควบคุมคุณภาพน้ำ, 2544) ทั้งนี้จากรายงานของ เกศรินทร์ วรเดชวิทยา (2552) พบว่าการใช้สารส้มที่ความเข้มข้น 25 mg/L มีประสิทธิภาพกำจัดความขุ่นต่ำกว่า 50 NTU ได้ถึง 88.54% แต่การใช้สารส้มเป็นสารตกตะกอนมีข้อจำกัด คือ มีสภาพเป็นกรด จึงส่งผลทำให้ pH และสภาพด่าง (alkalinity) ของน้ำในระบบผลิตน้ำประปาลดต่ำลง ซึ่งตามค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำประปาส่วนภูมิภาคตามคำแนะนำขององค์การอนามัยโลกที่กำหนดให้ค่า pH ของน้ำประปาอยู่ระหว่าง 6.5 – 8.5 (WHO, 2011) ซึ่งหากน้ำมีค่า pH < 6.5 จะกัดกร่อนเส้นทางท่อส่งน้ำประปาและมีผลประสิทธิภาพของคลอรีนในการกำจัดเชื้อโรคในน้ำประปา อีกทั้งส่งผลต่อการสุขภาพและการใช้ประโยชน์ของมนุษย์ได้ (พรศักดิ์ สมรไกรสรกิจ, 2553; การประกานครหลวง, 2560) ดังนั้น กรณีที่น้ำที่มีความขุ่นมากจะไม่สามารถใช้สารส้มในปริมาณมากในการกำจัดความขุ่นได้เพราะจะทำให้ pH ลดลง อีกทั้งปริมาณสารส้มที่ยังมีผลทำให้เกิดตกค้างของอะลูมิเนียมในน้ำหลังการบำบัดได้ แต่ปริมาณการตกค้างจะแตกต่างกันตามระดับ pH ของน้ำ เช่น เมื่อค่า pH 6.5 – 7.0 พบอะลูมิเนียมตกค้างน้ำประมาณ 0.02 - 0.075 mg/L และเมื่อ pH 8.5 จะส่งผลทำให้อะลูมิเนียมตกค้าง

น้ำประมาณ 0.050 mg/L (Qureshi & Malmberg, 1985) การตกค้างดังกล่าวอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพได้ ดังนั้นการเลือกสารตกตะกอนในการกำจัดความขุ่นของน้ำ จึงต้องมีการศึกษาหาสภาวะและปริมาณความเหมาะสมของสารตกตะกอนที่นำมาใช้ เพื่อประสิทธิภาพการผลิตน้ำประปารวมถึงความปลอดภัยทางสุขภาพของผู้ใช้น้ำ

สำหรับในบางพื้นที่สภาพความเป็นอยู่ในชนบทที่ยังไม่มีระบบน้ำประปาหรือระบบผลิตน้ำประปาหมู่บ้านไม่ได้มาตรฐาน รวมทั้งชาวบ้านยังคงใช้น้ำบ่อหรือน้ำบาดาล การแก้ปัญหาโดยใช้เครื่องกรองน้ำเป็นอีกวิธีหนึ่งที่ได้รับความนิยมแต่ราคาค่อนข้างแพงและบางครัวเรือนไม่สามารถซื้อได้ จึงมีการพัฒนาเครื่องกรองน้ำโดยใช้วัสดุกรองต่างๆ ที่หาได้ง่ายในท้องถิ่น เช่น การใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ได้แก่ ถ่านลูกตาล ถ่านกะลามะพร้าว และถ่านแกลบ (ศวิตา รัตนะ, 2545) การใช้วัสดุธรรมชาติ ได้แก่ หิน กรวด ทราย และถ่าน (น้ำฝน เบ้าทองคำ และ ดำรัสวิทย์ ปทุมมาศ, 2562) ซึ่งการใช้กรวดขนาดต่างๆ และปล่อยน้ำไหลผ่านสามารถลดความขุ่นเฉลี่ยของน้ำได้ถึง 70% และยังสามารถกำจัดโคลิฟอร์มแบคทีเรียได้ถึง 40% (กัมปนาท พลอามาตย์, 2544) และการใช้ทรายละเอียดกรองแบบต่อเนื่องลดความขุ่นของน้ำได้ถึง 95.5% (Mahvi et al., 2003) ซึ่งระบบการกรองน้ำดังกล่าวถือว่ามีประสิทธิภาพในการลดความขุ่นของน้ำและจุลินทรีย์ได้ และคุณภาพน้ำที่ได้อยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัย อีกทั้งยังเป็นเทคโนโลยีที่ไม่ยุ่งยาก วัสดุที่นำมาใช้ยังสามารถหาได้ง่ายในท้องถิ่นและมีต้นทุนต่ำ จึงเป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้ในการกำจัดความขุ่นของน้ำและใช้ปรับปรุงคุณภาพน้ำก่อนนำไปใช้ประโยชน์ แต่อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพของระบบการกรองจะขึ้นอยู่กับคุณภาพน้ำดิบและวัสดุที่นำมาใช้ในการในเครื่องกรอง ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการเลือกวิธีการและรูปแบบการปรับปรุงน้ำประปาที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับคุณภาพน้ำดิบแต่ละพื้นที่ และเน้นความสำคัญด้านความสะอาดและความปลอดภัยของน้ำอุปโภคบริโภคเป็นหลัก ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบวิธีการกำจัดความขุ่นของน้ำใช้ในครัวเรือนชนบท โดยวิธีการตะกอนทางเคมี วิธีการกรองน้ำอย่างง่าย และการประยุกต์ใช้วิธีการตกตะกอนทางเคมีร่วมกับการกรองอย่างง่าย โดยข้อมูลที่ได้สามารถใช้เป็นแนวทางในการกำจัดความขุ่นของน้ำที่เหมาะสม เพื่อทำให้น้ำประปามีคุณภาพ และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและลดค่าใช้จ่ายในการในการผลิตน้ำประปา รวมถึงลดผลกระทบทางสุขภาพของมนุษย์ อีกทั้งยังสามารถนำไปใช้ในในการพิจารณาเลือกวิธีการปรับปรุงคุณภาพน้ำเพื่อให้เหมาะสมกับสภาพคุณภาพน้ำในแต่ละพื้นที่ชุมชนนั้นๆ ได้

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาในครั้งนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลอง ในพื้นที่ชุมชนชนบทแห่งหนึ่งของจังหวัดสระแก้ว และช่วงเดือนกันยายน 2564 เป็นช่วงฤดูฝนที่ชุมชนมีปัญหาน้ำประปามีความขุ่นมากและไม่เหมาะสมกับการใช้ประโยชน์ จึงมีการประเมินความขุ่นและ pH ของน้ำในชุมชน โดยการสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำประปาในชุมชนและโรงเรียนจำนวน 4 จุด ผสมน้ำตัวอย่างให้เป็นเนื้อเดียวกัน ทำการตรวจวัดค่า pH และวัดค่าความขุ่นของน้ำก่อนการทดลอง จากนั้นนำตัวอย่างน้ำไปทดลองกำจัดความขุ่นในน้ำโดยใช้การตกตะกอนทางเคมีด้วยวิธีจาร์เทส (JAR Test) วิธีการกรองอย่างง่าย และการประยุกต์วิธีการตกตะกอนเคมีร่วมกับการกรองอย่างง่าย (รูปที่ 1) มีวิธีการศึกษา ดังนี้



รูปที่ 1 แผนผังการทดลองวิธีกำจัดความขุ่นในน้ำ โดย (ก) การตะกอนด้วยสารส้ม (ข) การกรองอย่างง่าย และ (ค) การตะกอนด้วยสารส้มร่วมกับการกรองอย่างง่าย

1. วิธีทดลองการตกตะกอนเคมี โดยทำการเตรียมสารละลายสารส้ม 1% ใช้สารส้ม (Potassium alum: $KAl(SO_4)_2{\cdot}12H_2O$) 10 กรัม ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 1,000 mL โดยสารละลายนี้ 1 mL = 10 mg/L และมีความถ่วงจำเพาะ 1.0047 จากนั้นทำการทดลอง

JAR Test (รุ่น Plus 6 LED ยี่ห้อ Wizard) โดยตวงน้ำใช้จากชุมชน 1,000 mL ลงในบีกเกอร์ขนาด 2,000 mL จำนวน 6 ใบ วางบนเครื่องกวนสารละลาย (hotplate stirrer) ซึ่งจำลองเดียวกันกับสภาวะถังตกตะกอน โดยเริ่มปั่นกวนเร็ว 100 รอบ/นาที พร้อมกับเติมสารละลายสารส้ม 1% พร้อมกันทุกความเข้มข้นตามปริมาตรคาดการณ์จากการพิจารณาค่าความขุ่นในน้ำตัวอย่างคือ 0 (ชุดควบคุม), 10, 15, 20, 25 และ 30 mg/L ในแต่ละบีกเกอร์ เป็นเวลา 1 นาที และลดความเร็วปั่นกวนช้า 30 รอบ/นาที เป็นเวลา 10 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนอีก 20 นาที จากนั้นนำน้ำที่ใสไปตรวจวัดค่าความขุ่นคงเหลือ (turbidity meter รุ่น TN100 ยี่ห้อ EUTECH) เทียบกับปริมาณสารส้มที่เติมลงไป รวมทั้งตรวจสอบ pH ของน้ำด้วย (pH meter รุ่น PH100 ยี่ห้อ EXTECH) (วีระพล พูลสวัสดิ์ และ ธัญลักษณ์ ราษฎร์ภักดี, 2562; การประปาส่วนภูมิภาค สาขาวัฒนานคร, 2560)

2. วิธีทดลองการกรองอย่างง่าย จัดทำถังกรองอย่างง่าย โดยการประยุกต์วิธีของกรมอนามัย (2563) ที่ให้น้ำไหลผ่านชั้นวัสดุกรองจากบนลงล่างคือ ชั้นน้ำ ถ่านไม้ (biochar) กรวดหยาบ และทรายหยาบอย่างละ 25% (25 kg) ที่บรรจุในถังพลาสติกขนาด 100 ลิตร ซึ่งในส่วนชั้นล่างของถังมีก๊อกปิด-เปิดน้ำ น้ำที่ผ่านการกรองแล้วถูกนำไปตรวจวัดค่าความขุ่นคงเหลือและตรวจวัด pH ของน้ำ สำหรับวัสดุกรองในการทดลองหาได้จากท้องถิ่นและมีขนาด 15–50 มิลลิเมตร

3. วิธีทดลองการตกตะกอนร่วมกับกรองอย่างง่าย พิจารณาค่าความขุ่นหลงเหลือและ pH ของน้ำที่ได้จากการทดลองในขั้นตอนการตกตะกอนเคมีด้วยสารละลายสารส้ม 1% เปรียบเทียบกับคู่มือปฏิบัติงานของ การประปาส่วนภูมิภาค (2560) คือค่าความขุ่นต่ำกว่า 10 NTU (Nephelometric turbidity unit; 1 NTU = 1 mg (formazin)/mg) และ pH (ที่ 25°C) อยู่ในช่วง 6.5 – 8.5 ร่วมปริมาณสารเคมีที่เหมาะสม (optimum dose) โดยเลือกตัวอย่างที่มีปริมาณสารเคมีน้อยที่สุดที่ทำให้ตกตะกอนได้ดีที่สุด เมื่อเลือกตัวอย่างที่มีความเข้มข้นเหมาะสมแล้วทำการทดลองตกตะกอนอีกครั้ง ซึ่งน้ำที่ใสจะถูกส่งต่อไปยังถังกรองอย่างง่ายผ่านชั้นวัสดุกรอง

4. การวิเคราะห์ข้อมูล โดยข้อมูลความขุ่นและ pH ถูกนำไปวิเคราะห์ประสิทธิภาพในแต่ละวิธีเพื่อประเมินความสามารถในการกำจัดความขุ่นหรือค่า pH ในน้ำก่อนและหลังการทดลองสามารถคำนวณได้จาก ประสิทธิภาพ (%) = [(ก่อนทดลอง – หลังทดลอง) / ก่อนทดลอง] x 100 (ปริญญา ไกรวุฒินันท์ และอัจฉรา โลราช, 2558) สำหรับชุดข้อมูลที่ได้

ในการทดลองถูกนำไปวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแบบทางเดียว (one-way ANOVA) ตามแผนการทดลองสุ่มแบบสมบูรณ์ (CRD) ของแต่ละปัจจัยการทดลอง และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Fisher's least-significant difference (LSD) ด้วยโปรแกรม Statistix8 (Analysis software, Tallahassee, FL, USA,1985-2003) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

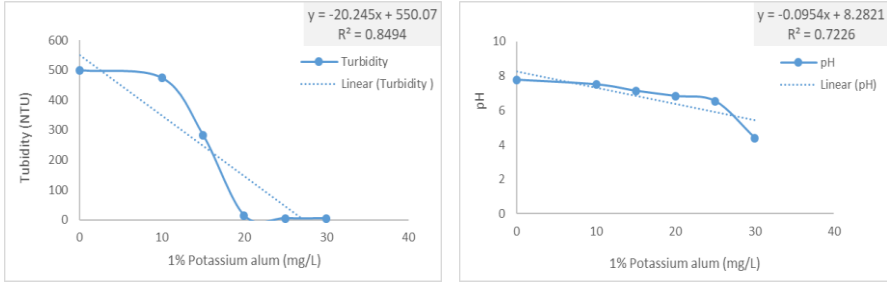
การทดลองกำจัดความขุ่นโดยการตกตะกอนทางเคมีของน้ำด้วยวิธีทดสอบการตกตะกอน (JAR Test) ซึ่งมีสารละลายสารส้ม (1% potassium alum) เป็นสารเคมีที่มีประจุบวกสูงเติมลงไปในปริมาตรต่างๆ คือ 0 (ชุดควบคุม), 10, 15, 20, 25 และ 30 mg/L ช่วยในกระบวนการสร้างและรวมตะกอน (coagulation/flocculation) โดยให้ผลการหาปริมาณสารส้มที่เหมาะสมในการสร้างตะกอนในน้ำใช้ชุมชน (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ผลการทดลองกำจัดความขุ่นในน้ำโดยการตกตะกอนด้วยสารละลายสารส้ม 1%

ความเข้มข้นสารส้ม 1% (mg/L)	Turbidity (NTU)	pH (-)	Turbidity removal efficiency (%)
0	499.33 ± 1.53^{a}	7.77 ± 0.06^{a}	-
10	473.33 ± 4.73^{b}	7.50 ± 0.10^{b}	5.21 ± 0.95^{d}
15	281.50 ± 4.50^{c}	7.13 ± 0.15^{c}	43.63 ± 0.90^{c}
20	13.11 ± 1.05^{d}	6.83 ± 0.06^{d}	97.38 ± 0.21^{b}
25	4.42 ± 0.24^{e}	6.53 ± 0.06^{e}	99.12 ± 0.05^{a}
30	4.27 ± 0.28^{e}	4.36 ± 0.20^{f}	99.13 ± 0.04^{a}
F-test	**	**	**
CV (%)	1.30	1.75	0.86

หมายเหตุ: ข้อมูลจากตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=4) วิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างความขุ่น (turbidity) ความเป็น-ด่าง (pH) และประสิทธิภาพการลดค่าความขุ่น (turbidity removal efficiency) ที่ระดับความเข้มข้นของสารส้มต่างๆ กับชุดควบคุมด้วยวิธี LSD ที่ $p \leq 0.05$, * และ $p \leq 0.01$, **

ตารางที่ 1 ผลการทดลองกำจัดความขุ่นในน้ำโดยการตกตะกอนทางเคมีด้วยวิธี JAR Test พบว่า การใช้สารส้ม 1% ที่ความเข้มข้นต่างๆ มีผลต่อการกำจัดความขุ่นและ pH แตกต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.01; **) และให้ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (Coefficient of Variation) เท่ากับ 1.30 และ 1.75% ตามลำดับ โดยการเติมสารส้มลงในน้ำเพิ่มขึ้นทำให้ลดความขุ่นและ pH ลงตามความเข้มข้นของสารส้มที่เพิ่มขึ้น ดังแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารส้มกับค่าความขุ่นและ pH (รูปที่ 2) ส่วนประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นในน้ำพบว่า ความเข้มข้นของสารส้ม 20, 25 และ 30 mg/L ให้ค่าประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นเฉลี่ย 97.38, 99.12 และ 99.13% ตามลำดับ ในขณะที่ผลการตรวจวัดความขุ่นหลงเหลือในน้ำเท่ากับ 13.11, 4.42 และ 4.27 NTU และ pH เท่ากับ 6.83, 6.53 และ 4.36 ตามลำดับความเข้มข้นดังกล่าว ซึ่งเมื่อพิจารณาหาปริมาณสารส้มที่เหมาะสมในการสร้างตะกอนในน้ำด้วยวิธี JAR Test โดยพิจารณาจากปริมาณสารเคมีที่น้อยที่สุดและทำให้การตกตะกอนได้ดีที่สุด ร่วมกับเกณฑ์การเติมสารเคมีที่ทำให้น้ำส่วนใสมีความขุ่นต่ำกว่า 10 NTU และ pH 6.5 – 8.5 (การประปาส่วนภูมิภาค สาขาวัฒนานคร, 2560) พบว่าความเข้มข้นของสารส้ม 25 mg/L มีความเหมาะสม (optimum dose) ที่สุดในการตกตะกอนของน้ำใช้ชุมชนชนดังกล่าว แต่ค่า pH ของน้ำค่อนข้างเป็นกรดอ่อน (pH = 6.53) อีกทั้งความเข้มข้นของสารส้มที่ใช้ในการทดสอบนี้ยังไม่สามารถลดความขุ่นของน้ำตามค่ามาตรฐานน้ำประปาส่วนภูมิภาคตามคำแนะนำขององค์การอนามัยโลก ที่ความขุ่นของน้ำไม่เกิน 4 NTU และ pH 6.5 – 8.5 ได้ (WHO, 2011) อย่างไรก็ตามแม้ว่าความเข้มข้นของสารส้ม 25 mg/L มีความเหมาะสมต่อการสร้างตะกอนด้วยวิธี JAR Test และมีค่า pH ของน้ำเป็นกลาง ดังนั้นก่อนนำไปใช้ประโยชน์จึงมีกระบวนการบำบัดเพิ่มเติมเพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐานคุณภาพน้ำที่กำหนด



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารส้มกับค่าความขุ่นและ pH ด้วยวิธี JAR test

การทดลองกำจัดความขุ่นในน้ำใช้ของชุมชนด้วยการกรองอย่างง่าย (simple filtration) โดยการให้น้ำไหลผ่านชั้นถ่านคาร์บอน กรวดหยาบและทรายหยาบ และการตกตะกอนทางเคมีด้วยวิธี JAR Test ที่ใช้สารส้ม 1% ความเข้มข้น 25 mg/L ถูกนำมาพิจารณาทดลองร่วมกับการกรองอย่างง่าย โดยให้ผลการหาปริมาณสารส้มที่เหมาะสมในการสร้างตะกอนในน้ำใช้ชุมชน (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ผลการทดลองกำจัดความขุ่นในน้ำโดยวิธีการตกตะกอนร่วมกับการกรอง

Treatments	Turbidity (NTU)	pH (-)	Turbidity removal efficiency (%)
น้ำตัวอย่างก่อนทดลอง	499.33 $\pm$ 1.53^{a}	7.77 $\pm$ 0.06^{a}	-
การตกตะกอนด้วยสารส้ม	4.42 $\pm$ 0.24^{c}	6.53 $\pm$ 0.06^{c}	99.12 $\pm$ 0.05^{a}
การกรองอย่างง่าย	6.87 $\pm$ 0.06^{b}	7.57 $\pm$ 0.10^{b}	98.62 $\pm$ 0.01^{b}
การตะกอนร่วมกับการกรอง	4.45 $\pm$ 0.12^{c}	7.42 $\pm$ 0.13^{b}	99.11 $\pm$ 0.03^{a}
F-test	**	**	**
CV (%)	0.60	1.42	0.04

หมายเหตุ: ข้อมูลจากตารางเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=4) วิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างความขุ่น (turbidity) ความเป็น-ด่าง (pH) และประสิทธิภาพการลดค่าความขุ่น (turbidity removal efficiency) ในกรรมวิธีต่างๆ กับชุดควบคุมด้วยวิธี LSD ที่ $p\leq0.05$, * และ $p\leq0.01$, **

ตารางที่ 2 ผลการทดลองกำจัดความขุ่นในน้ำโดยวิธีการตกตะกอนร่วมกับการกรอง พบว่า สามารถกำจัดความขุ่นในน้ำได้ไม่แตกต่างจากวิธีการตกตะกอนด้วยสารส้ม แต่แตกต่างจากการกรองอย่างง่ายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$) ซึ่งการกรองอย่างง่ายสามารถกำจัดความขุ่นได้น้อยกว่า ในขณะที่ค่า pH มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (pH=7.42) อย่างมีนัยสำคัญยิ่งเมื่อเปรียบเทียบกับการตกตะกอนด้วยสารส้ม (pH=6.53) นอกจากนี้ วิธีการตกตะกอนร่วมกับการกรองมีประสิทธิภาพกำจัดความขุ่น (99.11%) มากกว่าการกรองอย่างง่าย (98.62%) อย่างมีนัยสำคัญ แต่ไม่แตกต่างจากวิธีการตกตะกอนด้วยสารส้ม (99.12%) จากผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า วิธีการกรองอย่างง่ายช่วยเพิ่มค่า pH แต่ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นยังน้อยกว่าวิธีการตกตะกอนด้วยสารส้มและวิธีการตกตะกอนร่วมกับการกรอง

ซึ่งวิธีกรองอย่างง่ายเป็นการที่น้ำดิบไหลผ่านวัสดุกรองชั้นถ่านไม้ กรวดและทรายหยาบมีผลต่อการเพิ่ม pH ของน้ำ เนื่องจากวัสดุกรองดังกล่าวมีค่า pH สูง จึงช่วยลดค่าความเป็นกรดของน้ำ โดยระบบน้ำประปาชุมชนส่วนใหญ่ใช้วิธีการตกตะกอนด้วยสารส้มที่ pH 5.0–5.5 เพื่อกำจัดสีในน้ำ และผ่านระบบกรองทรายที่ถูกปรับ pH เป็น 8.0–8.5 (บริษัท ชัยนริศภูเก็ต เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด, 2561; Liang et al., 2006)

ผลการประเมินความขุ่นและ pH ของน้ำใช้ชุมชนพบว่า น้ำมีสีน้ำตาลอ่อน มีความขุ่นค่อนข้างสูง (Turbidity = 499.33 NTU) และเป็นด่างอ่อน (pH = 7.77) (รูปที่ 3) ซึ่งน้ำดังกล่าวถูกส่งมาจากระบบน้ำประปาหมู่บ้าน แสดงให้เห็นว่าระบบการผลิตน้ำประปาหมู่บ้านไม่ได้มาตรฐาน และช่วงทดสอบเป็นฤดูฝนมีผลต่อน้ำดิบที่มีความขุ่นสูง ซึ่งฤดูฝนทำให้ความขุ่นในน้ำสูงกว่า 100 NTU ปริมาณสารอินทรีย์และสีในน้ำดิบสูง ซึ่งส่งผลต่อการใช้สารเคมีตกตะกอนมาก (ญาณิศา ตันติปาลกุล และคณะ, 2561) รวมทั้งค่าความขุ่นไม่เป็นไปตามมาตรฐานคุณภาพน้ำประปาส่วนภูมิภาคตามคำแนะนำขององค์การอนามัยโลกที่กำหนดให้ค่าความขุ่นไม่เกิน 4 NTU และ pH 6.5 – 8.5 (WHO, 2011) เมื่อทดลองใช้ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมในการสร้างตะกอนด้วยวิธี JAR Test ที่ความเข้มข้น 25 mg/L สามารถกำจัดความขุ่นได้ถึง 99.12% ซึ่งมีค่าความขุ่นหลงเหลือในน้ำเท่ากับ 4.42 NTU และยังลดค่า pH 1.24 ทำให้น้ำเป็นกรดอ่อน (pH = 6.53) (ตารางที่ 1) เนื่องจากสารส้มมีความเป็นกรดโดยมีค่า pH = 3.3 (อำไพ พฤติวรพงษ์กุล และ สุภัทรา รังสิมาการ, 2563) และเมื่อพิจารณาถึงการตกตะกอนของสารส้มที่สามารถกำจัดความขุ่นของน้ำให้ได้ตามค่ามาตรฐานน้ำประปาส่วนภูมิภาคตามคำแนะนำขององค์การอนามัยโลกที่ความขุ่นของน้ำ ไม่เกิน 4 NTU และ pH 6.5 – 8.5 (WHO, 2011) พบว่าความเข้มข้นของสารส้มที่ใช้ในการทดสอบยังไม่สามารถลดความขุ่นของน้ำได้ต่ำกว่า 4 NTU ซึ่งเกิดเนื่องจากว่าเมื่อเติมสารส้มลงไปค่า pH หลังการตกตะกอนจะลดลงเป็น 5.5 ซึ่งสารส้มจะสามารถกำจัดความขุ่นได้ดีในช่วง pH เหมาะสม คืออยู่ในช่วง 6.0 – 7.5 (วิวัฒน์ อ่อนนาคคล้ำ, 2563; AWWA, 2005; Twort, 2011) จึงส่งผลทำให้ความเข้มข้นสารส้มที่ใช้ในการทดสอบครั้งนี้ไม่สามารถกำจัดความขุ่นให้ต่ำกว่า 4 NTU ตามมาตรฐานค่ามาตรฐานน้ำประปาส่วนภูมิภาคตามคำแนะนำขององค์การอนามัยโลกได้ ดังนั้นเห็นได้ว่า การที่สารส้มจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ปริมาณของความขุ่นตั้งต้นของน้ำ โดยความขุ่นเริ่มต้นที่สูงขึ้นจะทำให้สารส้มมีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นของน้ำได้มากขึ้น เนื่องจากปริมาณของแข็ง

แขวนลอยที่เพิ่มสูงขึ้นจึงทำให้มีโอกาสที่อนุภาคจะรวมตัวกันเพิ่มสูงขึ้นด้วย (ญาณิศา ตันติปาลกุล และคณะ, 2561; มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์, 2542) นอกจากนี้ คุณลักษณะของน้ำ เช่น pH ความเป็นด่าง (alkalinity) และปริมาณของสารตกตะกอนที่ใช้ยังคงเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นของน้ำ อย่างไรก็ตามข้อมูลความเข้มข้นของสารส้มที่เหมาะสมในการสร้างตะกอนด้วยวิธี JAR Test ที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ สามารถนำไปปรับใช้ในการผลิตประปาปาของหมู่บ้านเพื่อให้น้ำประปามีคุณภาพและช่วยลดต้นทุนการผลิต หรือสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการกำจัดความขุ่นของน้ำประปาหรือน้ำดิบจากแหล่งอื่นๆ เพื่อให้น้ำมีคุณภาพที่เหมาะสมในการใช้ประโยชน์ต่อไป

รูปที่ 3 ลักษณะของน้ำใช้ชุมชน (ตัวอย่างน้ำทดลอง)

สำหรับวิธีการกรองน้ำอย่างง่าย (Simple filtration) สามารถลดค่าความขุ่น และ pH ได้น้อยกว่าการตกตะกอนด้วยสารส้ม เนื่องจากชุดกรองที่จัดทำขึ้นประกอบด้วยถ่านคาร์บอน กรวดและทรายหยาบ ซึ่งวัสดุดังกล่าวมีคุณสมบัติเป็นด่าง โดยมีค่า pH ของถ่านอยู่ระหว่าง 7.1–10.5 (Inyang et al., 2010; Lehmann et al., 2011) สามารถช่วยปรับสภาพ pH ของน้ำที่เป็นกรดอ่อนให้เป็นกลางแล้วยังช่วยลดกลิ่นของน้ำภายหลังผ่านชั้นกรอง ซึ่งเห็นได้จากการลดความขุ่นและเพิ่มค่า pH ของน้ำโดยใช้วิธีการตกตะกอนด้วยสารส้มร่วมกับการกรองอย่างง่ายทำให้มีคุณสมบัติเหมาะสมต่อการใช้ประโยชน์เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 2) และลดความเสี่ยงอันตรายต่อสุขภาพจากการสัมผัสสารส้มที่มีความเข้มข้นมากเกินไปในน้ำใช้ เช่น เกิดการระคายเคืองผิวหนังและมีผลต่อระบบประสาท (กองควบคุมคุณภาพน้ำ การประปาส่วนภูมิภาค, 2558; Berman, 1980; Arena, 1974) เมื่อสัมผัสน้ำที่เป็นกรดจากกระบวนการตกตะกอนทางเคมีเพียงอย่างเดียว ยิ่งไปกว่านั้นเมื่อค่า pH ของน้ำ ต่ำกว่า 4

ทำให้สารส้มแตกตัวให้อะลูมิเนียมอิออนและเป็นพิษ (toxicity) ต่อสิ่งมีชีวิตได้ จึงควรรักษา pH ให้อยู่ระหว่าง 6-7 เพื่อกำจัดความขุ่นได้สูงสุดและป้องกันความเป็นพิษ (รพีพรรณ ยงยอด และวรางคณา สังสิทธิ์สวัสดิ์, 2550; นุชา สถิตพงษ์, 2561) แต่อย่างไรก็ตาม การเลือกใช้วิธีการกำจัดความขุ่นในน้ำที่เหมาะสมกับชุมชน นอกจากจะพิจารณาปัจจัยการใช้สารเคมีและ pH ร่วมกับประสิทธิภาพการลดความขุ่นแล้ว ควรเติมคลอรีนตามวิธีการเติมคลอรีนเพื่อให้มั่นใจว่า น้ำที่ผ่านกรรมวิธีกำจัดความขุ่นดังกล่าวปราศจากเชื้อโรคจริงๆ ก่อนใช้ประโยชน์ต่อไป โดยภายหลังจากที่ทำการเติมสารละลายคลอรีนไปแล้ว 30 นาที ต้องสามารถวัดปริมาณคลอรีนอิสระได้ระหว่าง 0.2-0.5 mg/L จึงจะสามารถป้องกันการปนเปื้อนของเชื้อโรคได้ (WHO, 2008)

สรุปผลการวิจัย

ปัญหาของน้ำใช้ในชุมชนชนบทในช่วงฤดูฝนมีสภาพเป็นด่างอ่อน สีน้ำตาลอ่อนและความขุ่นค่อนข้างสูง ซึ่งในการจัดการความขุ่นและ pH ของน้ำเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้ประโยชน์ระดับครัวเรือนโดยใช้วิธีการตกตะกอนด้วยสารส้มร่วมกับการกรองอย่างง่ายมีประสิทธิภาพกำจัดความขุ่นได้ถึง 99.11% ซึ่งไม่แตกต่างจากการตกตะกอนด้วยสารส้มเพียงอย่างเดียว (25 mg/L ของ 1% potassium alum) และคุณสมบัติของน้ำ (pH 4.53) อยู่ในช่วงคุณสมบัติน้ำเป็นกลาง (pH 6.6–7.3) ของน้ำใกล้เคียง ในขณะที่วิธีการกรองอย่างง่าย (ถ่านไม้ กรวดและทรายหยาบ) มีประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นได้น้อยกว่าวิธีอื่นๆ แต่ค่า pH ไม่แตกต่างจากวิธีการตกตะกอนร่วมกับการกรอง ดังนั้น วิธีกำจัดความขุ่นในน้ำใช้ที่เหมาะสมในครัวเรือนชนบทมากที่สุดคือ การตกตะกอนด้วยสารส้มร่วมกับการกรองอย่างง่าย เนื่องจากค่าความขุ่นและ pH ของน้ำเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำประปาส่วนภูมิภาค และลดการระคายเครื่องต่อสุขภาพจากการใช้น้ำที่ไม่เหมาะสม รวมทั้ง ได้ทดลองการสร้างตะกอนด้วยวิธี JAR Test และวัสดุชุดกรองอย่างง่ายสามารถหาได้ในท้องถิ่น แต่อย่างไรก็ตาม ไม่ควรใช้น้ำที่ผ่านวิธีทดลองดังกล่าวไปอุปโภคโดยไม่ผ่านการฆ่าเชื้อโรคก่อนโดยวิธีการต้มหรือเติมคลอรีนตามวิธีการเติมคลอรีน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสถาบันวิจัยและพัฒนา และคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ภายใต้โครงการต่อยอดยกระดับคุณภาพการศึกษาแบบองค์รวมด้วยกระบวนการชุมชนเรียนรู้ทางวิชาชีพ PLC และโครงการนวัตกรรมเชิงบูรณาการจาก Productive Learning ต่อยอดราชวิชาสู่การนำไปใช้จริง มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี

เอกสารอ้างอิง

กัมปนาท พลอามาตย์. (2544). *การปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบในสภาวะที่มีแบคมีเรียเกินมาตรฐานสำหรับกระบวนการทรายกรองช้า.* (วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี).

กรมอนามัย. (2563). *คู่มือแนวทางการจัดการคุณภาพน้ำบริโภคโรงเรียนในถิ่นทุรกันดาร.* นนทบุรี, กระทรวงสาธารณสุข.

กองควบคุมคุณภาพน้ำ การประปาส่วนภูมิภาค. (2558). *เอกสารข้อมูลความปลอดภัย (MSDS): สารส้ม.* สืบค้นเมื่อ 16 เมษายน 2564, จาก http://wqc-portal.pwa.co.th/attachment/topic/30/MSDS-Alum2.pdf.

กองควบคุมคุณภาพน้ำ. (2544). *เอกสารประกอบการฝึกอบรมเรื่อง คุณภาพน้ำและการวิเคราะห์.* การประปาส่วนภูมิภาค, กรุงเทพฯ.

การประปาส่วนภูมิภาค สาขาวัฒนานคร. (2560). *คู่มือปฏิบัติงาน: การทดลองจาร์เทสต์.* สระแก้ว, การประปาส่วนภูมิภาคเขต 1 รหัสเอกสาร WI-VT1-CF-01. 12 หน้า.

การประปานครหลวง. (2560). *ข้อมูลการใช้น้ำ.* สืบค้นเมื่อ 11 ธันวาคม 2564, จาก https://www.mwa.co.th/ewt_news.php?nid=1913.

เกศรินทร์ วรเดชวิทยา. (2552). *การกำจัดความขุ่นและสาหร่ายออกจากน้ำโดยวิธีการตกตะกอนทางเคมี.* (วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย).

เชษฐพันธุ์ กาฬแก้ว. (2542). ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบประปาหมู่บ้านแบบผิวดิน. *วารสารส่งเสริมสุขภาพและอนามัยสิ่งแวดล้อม, 22*(3), ไม่ปรากฏเลขหน้า.

ญาณิศา ตันติปาลกุล, คุณัช ปาลวัฒน์วิไชย, ธิดารัตน์ เดชฉกรรจ์ และ เจมจิรา ไขสาร. (2561). การศึกษาสารตะกอนที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการผลิตน้ำประปาการประปานครหลวง. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา, 23*(1), 207–220.

ดนัย ธีวันดา. (2562). *ข่าวในรั้ว สธ.* สืบค้นเมื่อ 18 เมษายน 2564, จาก https://pr.moph.go. th/?url=pr/detail/2/02/124631.

นุชา สถิตพงษ์. (2561). การลดความขุ่นขอน้ำโดยการใช้สารเคมีร่วมกับการปลูกบัวสาย กรณีศึกษา: แหล่งน้ำปิดในมหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์. *สิทธิปริทัศน์, 32*(104), 68–82.

น้ำฝน เบ้าทองคำ และ ดำรัสวิทย์ ปทุมมาศ. (2562). การจัดการเรียนการสอนตามแนวคิดการมีส่วนร่วมของประชาชนในสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพื่อแก้ปัญหาน้ำประปา ชุมชนสะเดียง จังหวัดเพชรบูรณ์. *วารสารวิจัยเพื่อการพัฒนาเชิงพื้นที่, 11*(3), 234–249.

บริษัท ชัยนริศภูเก็ต เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด. (2562). ระบบ Reverse Osmosis (RO). สืบค้นเมื่อ 3 สิงหาคม 2565, จาก https://chainaris.co.th.

ปริญญา ไกรวุฒินันท์ และ อัจฉรา โลราช. (2558). ประสิทธิภาพวัสดุตัวกลางในระบบบำบัดน้ำเสียแบบโปรายกรอง. *วารสารวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 43*(2), 260–266.

พรศักดิ์ สมรไกรสรกิจ. (2545). *กระบวนการโคแอคกูเลชั่น (coagulation) และฟล็อกกูเลชั่น (Flocculation).* สืบค้นเมื่อ 18 เมษายน 2564, จาก https://www.mwa.co.th/ewt_dl_link.php?nid=441.

พรศักดิ์ สมรไกรสรกิจ. (2553). *การแก้ไขปัญหา: คุณภาพน้ำในการผลิตน้ำประปา.* สืบค้นเมื่อ 11 ธันวาคม 2564, จาก https://www.mwa.co.th/download/prd01/water_technology/pdf_water_treatment_plant/wtp_problem.pdf.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์. (2542). *วิศวกรรมการประปา.* กรุงเทพฯ, โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

รพีพรรณ ยงยอด และ วรางคณา สังสิทธิ์สวัสดิ์. (2550). การลดความขุ่นในน้ำโดยใช้ผงกระดองปูดำ (*Scylla olivacea*) เป็นสารช่วยสร้างตะกอนร่วมกับสารส้ม. *วารสารมหาวิทยาลัยขอนแก่น ฉบับบัณฑิตศึกษา, 7*(3), 98–106.

วิวัฒน์ อ่อนนาคคล้ำ. (2563). ผลร่วมของการเติมคลอรีนแบบขั้นต้นและสารตกตะกอนต่อการกำจัดความขุ่นของกระบวนการตกตะกอนในระบบผลิตน้ำประปา โดยถังตกตะกอนชนิดชั้นกรอง. *วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ., 13*(2), 124–132.

วีระพล พูลสวัสดิ์ และ ธัญลักษณ์ ราษฎร์ภักดี. (2562). *ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดความขุ่นสูงในน้ำของระบบน้ำประปา*. น. 98–104. ในงานประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ, ครั้งที่ 20 มหาวิทยาลัยขอนแก่น, วันที่ 15 มีนาคม 2562. ขอนแก่น.

ศวิตา รัตนะ, เสน่ เพ่งบุญ, สุนทร สุรบรรณ์, วิทวัส พิสิฐจำนง และ วารินทร์ สมานธารณ์. (2545). *การพัฒนาเครื่องกรองน้ำโดยใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร*. น. 200-204. ใน: การประชุมทางวิชาการ ครั้งที่ 40 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สาขาวิทยาศาสตร์สาขาการจัดการทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม, วันที่ 4-7 กุมภาพันธ์ 2545. กรุงเทพฯ.

อมรรัตน์ วงษ์กลม และ ถนัด ธนะฉัตรชัยรัตนะ. (2561). การกำจัดความขุ่นและสารคาร์บอนอินทรีย์ที่ละลายน้ำด้วยกระบวนการสร้างและรวมตะกอน กรณีศึกษาระบบการผลิตน้ำประปา ตำบลทรายมูล อำเภอพิบูลมังสาหาร จังหวัดอุบลราชธานี. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา, 23*(2), 1188–1198.

อำไพ พฤติวรพงษ์กุล และ สุภัทรา รังสิมาการ. (2563). การศึกษาคุณภาพยาสารส้มสะตุ. *วารสารแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก, 18(*3), 573–582.

Arena, J. M. (1974). *Poisoning: Toxicology, Symptoms, Treatment*. 3rd edition. Thomas Springfield: Illinois.

AWWA (American Water Works Association)/ASCE (American Society of Civil Engineer). (2005). *Water treatment plant design.* 4th edition. New York: McGRAW-Hill.

Berman, E. (1980). *Toxic metals and their analysis*. Chicago, Heyden & Son, Ltd.

Inyang, M., Gao, B., Pullammanappallil, P., Ding, W., & Zimmerman, A. R. (2010). Biochar from anaerobically digested sugarcane bagasse. *Bioresource Technology, 101*(22), 8868–8872.

Lehmann, J., Rilig, M. C., Thies, J., Masiello, C. A., Hockaday, W. C., & Crowley, D. (2011). Biochar affects on soil biota-a review. *Soil Biology and Biochemistry, 43*(9), 1812–1836.

Liang, B., Lehmann, J., Solomon, D., Grossman, L., O'Neill, B., Skjemstad, J. O., Thies, J., Luizao F. J., Petersen, J. & Neves, E. G. (2006). Black carbon increases cation exchange capacity in soils. *Soil Science Society of America Journal, 70*(5), 1719–1730.

Mahvi, A. H., Sheikhi, R. & Naddafi, K. (2003). Total coliforms and turbidity removal of water in the continuous sand filter. *Iran journal public health*, *32*(3), 7-13.

Qureshi, N. & Malmberg, R. H. (1985). Reducing aluminum residuals in finished water. *Journal - American Water Works Association, 77*(10), 101–108.

Twort, A. C., Ratnayaka, D. D., & Brandt, M. J. (2011). *Water supply.* 5th edition. Oxford: Butterworth-Heinemann.

WHO. (2008). Centers for disease control and prevention. de Benoist, B., McLean, E., Egli, I., Cogswell, M., eds. *Worldwide prevalence of anemia 1993–2005.* Geneva: World Health Organization.

WHO. (2011). *Guidelines for drinking-water quality.* 4th edition. Geneva: World Health Organization.

พฤติกรรมการใช้สารกำจัดวัชพืชของเกษตรกรผู้ปลูกยางพารา ในอำเภอคำตากล้า จังหวัดสกลนคร

HERBICIDES USING BEHAVIOR OF RUBBER FARMERS IN KAMTAKA DISTRICT, SAKONNAKON PROVINCE

เบญจภรณ์ อ่อนสุระทุม[1, *], อรรถศาสตร์ วิเศียรศาสตร์[2] และ วิบูล เป็นสุข[1]
Benjaporn Onsuratum[1, *], Atthasat Wiseansat[2] and Viboon Pensuk[1]

[1] สาขาวิชาการจัดการทรัพยากรเกษตรและสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
[2] สาขาวิชาธุรกิจการเกษตร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
[1] Program in Agricultural Resource and Environmental Management,
Graduate Studies, Udon Thani Rajabhat University
[2] Program in Agribusiness, Faculty of Technology, Udon Thani Rajabhat University

Received: 28 March 2022 Accepted: 24 June 2022

บทคัดย่อ

อำเภอคำตากล้า จังหวัดสกลนคร มีเกษตรกรประกอบอาชีพเกษตรกรรมร้อยละ 90 ซึ่งมีพื้นที่ปลูกยางพารา 39,496 ไร่ เกษตรกรผู้ปลูกยางพาราร้อยละ 90 มีการใช้สารเคมีกำจัดวัชพืชเพื่อดูแลรักษาต้นยางพาราให้สามารถเจริญเติบโตได้ดีขึ้น การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบพฤติกรรมการใช้สารเคมีกำจัดวัชพืชของเกษตรกรผู้ปลูกยางพารา อำเภอคำตากล้า จังหวัดสกลนคร โดยประชากรในการศึกษา คือ เกษตรกรผู้ขึ้นทะเบียนผู้ปลูกยางพาราในตำบลคำตากล้า ตำบลนาแต้ ตำบลหนองบัวสิม และตำบลแพด อำเภอคำตากล้า จังหวัดสกลนคร จำนวน 2,331 ครัวเรือน กำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างโดยใช้สูตรของทาโร่ ยามาเน่ ซึ่งได้กลุ่มตัวอย่างจำนวน 341 ราย เก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล ในช่วงเดือนพฤษภาคม – พฤศจิกายน 2563 และทำการวิเคราะห์โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และใช้สถิติอนุมาน คือ ONE-WAY ANOVA ในการทดสอบสมมติฐาน ผลการศึกษา พบว่า เกษตรกรทั้ง

* ผู้ประสานงาน: เบญจภรณ์ อ่อนสุระทุม
อีเมล์: benjajaaa28@gmail.com

4 ตำบล มีพฤติกรรมก่อนใช้สารกำจัดวัชพืชที่ถูกต้องในภาพรวมไม่แตกต่างกัน คือ เกษตรกรมีการปฏิบัติที่ถูกต้องเป็นบางครั้ง ส่วนพฤติกรรมขณะใช้สารกำจัดวัชพืชในภาพรวม พบว่า เกษตรกรทั้ง 4 ตำบล มีพฤติกรรมขณะใช้สารกำจัดวัชพืชที่ถูกต้องในภาพรวมไม่แตกต่างกัน คือ เกษตรกรมีการปฏิบัติที่ถูกต้องทุกครั้ง และผลการศึกษาพฤติกรรมหลังใช้สารกำจัดวัชพืชที่ถูกต้องในภาพรวม พบว่า เกษตรกรทั้ง 4 ตำบลมีการปฏิบัติที่ถูกต้องทุกครั้ง จากการศึกษาในครั้งนี้จะทำให้เราทราบพฤติกรรมของเกษตรกรในการใช้สารกำจัดวัชพืช ต้องได้รับการดำเนินการควบคุม แก้ไข หากมีความจำเป็นที่ต้องใช้สารเคมีอยู่ ควรมีพฤติกรรมที่ปลอดภัย ต้องอาศัยความร่วมมือจากทุกฝ่าย เพื่อที่ลดจำนวนผู้ป่วยที่เกิดจากการใช้สารเคมีกำจัดวัชพืชของเกษตรกร

คำสำคัญ: สารกำจัดวัชพืช, พฤติกรรม, เกษตรกรผู้ปลูกยางพารา

Abstract

90% of the farmers in Khamtaka District, SakonNakhon Province work in agriculture, with 39,496 rai of rubber plantation area. 90% of the rubber growers use herbicides to take care of the rubber trees to grow better. This research aims to examine behavior of using and compare herbicide by rubber farmers in Khamtakla District, Sakon Nakhon Province. The population was legally-registered rubber farmers from 2,331 households in 4 sub-districts of Khamtakla District, i.e. Khamtakla, Natae, Nongbuasim, and Phaet by using Taro Yamane's formula. The sample were 341 rubber farmers. Data collection was completed by using questionnaires as a primary research tool during May - November 2020. Data was analyzed by descriptive statistics, i.e. mean and standard deviation, and One-Way ANOVA was also applied for hypothesis test. The findings found that all the rubber farmers in 4 sub-districts had overall appropriate behavior before using herbicide in a similar way – in other words, their behavior before using herbicide was sometimes appropriate. Besides, their overall behavior while using herbicide and after using herbicide was also

indifferent, that is, they always had appropriate behavior while using herbicide. and after using herbicide. It showed that the behavior of farmers in using herbicides was appropriate. and should be controlled for safety. and required cooperation from all parties in order to reduce the number of patients caused by the use of herbicides by farmers.

Keywords: Herbicide, Behavior, Rubber farmers

บทนำ

ประเทศไทยได้ชื่อว่าเป็นประเทศเกษตรกรรมมาช้านาน เนื่องจากตั้งอยู่ในเขตมรสุมเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ มีสภาพภูมิประเทศ ทรัพยากร สิ่งแวดล้อม และสภาพภูมิอากาศเอื้ออำนวยต่อการทำการเกษตร ประชากรส่วนใหญ่ของประเทศไทยประกอบอาชีพทางการเกษตร หรือเกี่ยวข้องกับการเกษตรมาโดยตลอด แม้ว่าจะพยายามพัฒนาไปสู่ความเป็นประเทศอุตสาหกรรม แต่ก็ยังคงพึ่งพาอาศัยเกษตรกรรมอยู่ วิวัฒนาการและพัฒนาการเกษตรของไทยได้เปลี่ยนแปลงไปตามยุคสมัย และตามกระแสการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ของโลก ในปัจจุบันประเทศไทยได้อาศัยการเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมการเกษตร เป็นพื้นฐานสำคัญในการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศ โดยเฉพาะพืชผลทางการเกษตรเป็นสินค้าที่ส่งออกที่สำคัญนำรายได้เข้าประเทศ ซึ่งยางพาราก็เป็นพืชเศรษฐกิจในการส่งออกที่สำคัญของประเทศไทย (ระวี เจียรวิภา, 2562) จากสถานการณ์ที่ผ่านมา ในช่วงปี 2547-2554 ยางพารามีราคาสูงมากตามความต้องการบริโภคยางพาราในตลาดโลกซึ่งเติบโตโดยเฉพาะความต้องการจากประเทศจีน และประเทศอินเดียที่ขยายภาคอุตสาหกรรมยานยนต์ ประกอบกับราคาน้ำมันที่พุ่งสูงขึ้นทำให้ราคายางสังเคราะห์ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีปรับตัวสูงขึ้นตามไปด้วย (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2564) จึงมีผลให้ความต้องการใช้ยางธรรมชาติซึ่งเป็นสินค้าทดแทนปรับเพิ่มขึ้น ทำให้มีการขยายพื้นที่ปลูกยางพาราเพิ่มขึ้นในภูมิภาคเอเชีย ส่งผลให้ประเทศไทยมีการขยายพื้นที่ปลูกยางพาราจากภาคใต้ สู่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคอื่น ๆ ของประเทศไทย ซึ่งการส่งเสริมการปลูกและดูแลรักษายางพาราเพื่อให้ได้ผลผลิตตามระยะเวลาที่กำหนดนั้นจะต้องมีการใช้สารเคมีกำจัดวัชพืช การใช้สารกำจัดวัชพืชเป็นวิธีที่ได้ผลดี ประหยัดแรงงาน ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายตลอดจนมีประสิทธิภาพสูงสุด

ในการกำจัดวัชพืชในแปลงยางพารา ซึ่งนิยมใช้สารเคมีในการกำจัดวัชพืชกับต้นยางพาราที่สูงจากพื้นดิน 75 เซนติเมตร และใช้ตลอดระยะเวลาปลูกของยางพารา (กรมวิชาการเกษตร, 2542)

อำเภอคำตากล้า มีเกษตรกรประกอบอาชีพเกษตรกรรมร้อยละ 90 มีครัวเรือนเกษตรกรรมในปี 2561 จำนวน 6,230 ครัวเรือน ทำการเพาะปลูก 115,285.14 ไร่ ซึ่งมีพื้นที่ปลูกยางพาราจำนวน 2,453 ครัวเรือน เป็นพื้นที่ 39,495.59 ไร่ ให้ผลผลิตแล้ว จำนวน 21,537.71 ไร่ เกษตรกรผู้ปลูกยางพาราร้อยละ 90 มีการใช้สารเคมีกำจัดวัชพืชเพื่อดูแลรักษาต้นยางพาราให้สามารถเจริญเติบโตได้ดีขึ้น ลดการระบาดของโรคแมลงศัตรูพืชของยางพารา และร้อยละ 10 ปล่อยให้ยางพาราเจริญเติบโตตามสภาพธรรมชาติ (สำนักงานเกษตรอำเภอคำตากล้า, 2561) ในขณะที่ปริมาณนำเข้าวัตถุอันตรายทางการเกษตร ปี 2563 มีการนำเข้าสารกำจัดวัชพืชมากถึง 57,007 ตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2564) ซึ่งการใช้สารกำจัดศัตรูพืชอย่างไม่ถูกต้องและมากเกินความจำเป็น อาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของเกษตรกรทั้งผู้ใช้ และผู้บริโภค (สำนักโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม. 2553) การผลิตที่คำนึงถึงความยั่งยืนจึงมีความจำเป็นที่จะต้องคำนึงภาวะสุขภาพอนามัยของผู้ผลิต ผู้บริโภคควบคู่ไปกับการพัฒนาผลผลิตให้ได้คุณภาพเป็นที่ต้องการของตลาด เพื่อลดปัญหาทางสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของประชาชนต่อไป ดังนั้น จึงจำเป็นที่จะต้องทราบข้อมูลและเปรียบเทียบพฤติกรรมการใช้สารเคมีกำจัดวัชพืชของเกษตรกรใน 4 ตำบลของอำเภอคำตากล้า จังหวัดสกลนคร เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการประเมินผลกระทบทางสุขภาพของเกษตรกร และเพื่อหาแนวในการป้องกันอันตรายจากการใช้สารเคมีกำจัดวัชพืช

วิธีดำเนินการวิจัย

1. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้คือ แบบสอบถาม (questionnaire) ที่สร้างขึ้นเพื่อสอบถามข้อมูลพฤติกรรมการใช้สารเคมีกำจัดวัชพืชของเกษตรกรผู้ปลูกยางพารา ซึ่งแบ่งออกเป็นพฤติกรรมก่อนใช้ ขณะใช้ และหลังใช้สารเคมีกำจัดวัชพืช โดยใช้คะแนนแบ่งออกเป็นช่วง ๆ คือ ปฏิบัติของเกษตรกรเกี่ยวกับความปลอดภัยในการใช้สารเคมีกำจัดวัชพืช ปฏิบัติทุกครั้ง ได้ 2 คะแนน ปฏิบัติบางครั้ง ได้ 1 คะแนน ไม่ปฏิบัติ ได้ 0 คะแนน นำข้อมูลที่ได้

มาแจกแจงความถี่ในแต่ละข้อ แล้วนำเสนอในรูปตารางประกอบความเรียง สำหรับคะแนนเฉลี่ยแบ่งออกเป็นช่วง ๆ ดังนี้

$$\text{ขนาดช่วงชั้น} = \frac{\text{ระดับคะแนนสูงสุด} - \text{ระดับคะแนนต่ำสุด}}{\text{จำนวนชั้น}}$$

$$= \frac{2 - 0}{3} = \frac{2}{3} = 0.66$$

การแบ่งช่วงคะแนนเฉลี่ยและความหมายมีดังนี้

ค่าคะแนนเฉลี่ย 0.00 - 0.66 คะแนน หมายถึง ไม่ปฏิบัติ
ค่าคะแนนเฉลี่ย 0.67 - 1.33 คะแนน หมายถึง ปฏิบัติบางครั้ง
ค่าคะแนนเฉลี่ย 1.34 - 2.00 คะแนน หมายถึง ปฏิบัติทุกครั้ง

2. วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

การศึกษาในครั้งนี้เป็นการศึกษาโดยใช้รูปแบบการวิจัยเชิงสำรวจ (survey research) โดยออกสำรวจโดยใช้แบบสอบถามในการเก็บรวบรวมข้อมูล มีการกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างโดยใช้สูตรของ Yamane (Yamane, 1973) โดยยอมให้มีความคลาดเคลื่อน ร้อยละ 5 รายละเอียดดังนี้

$$n = \frac{N}{1 + Ne^2}$$

n = ขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่ต้องการ
N = ขนาดของประชากร
e = ความคลาดเคลื่อนของการสุ่มตัวอย่างที่ยอมรับได้

จากจำนวนประชากรผู้ปลูกยางพาราในอำเภอคำตากล้า จำนวน 2,331 ราย ซึ่งได้กลุ่มตัวอย่างจำนวน 341 ราย โดยวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบหลายขั้นตอน คือ เลือกตัวอย่างระดับตำบลที่มีการปลูกยางพารา จำนวน 4 ตำบล อำเภอคำตากล้า จังหวัดสกลนคร ได้แก่ กำหนดจำนวนตัวอย่างของเกษตรกรแต่ละตำบล โดยการสุ่มอย่างเป็นสัดส่วน ทำการสุ่ม

ตัวอย่างเกษตรกรตามจำนวนที่กำหนดในแต่ละตำบล โดย การสุ่มตัวอย่างแบบง่าย (simple random sampling)

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลโดยวิธีการทางสถิติด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS สถิติที่ใช้ในการวิจัย ครั้งนี้ คือ สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และใช้สถิติอนุมาน คือ ANOVA ในการเปรียบเทียบพฤติกรรมการใช้สารกำจัดวัชพืชของเกษตรกร 4 ตำบล เป็นรายคู่ด้วยวิธี Scheffe

สมมติฐาน

H_0 = พฤติกรรมการใช้สารกำจัดวัชพืชของเกษตรกร 4 ตำบลเหมือนกัน

H_1 = พฤติกรรมการใช้สารกำจัดวัชพืชของเกษตรกร 4 ตำบลแตกต่างกัน

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. พฤติกรรมก่อนใช้สารเคมีกำจัดวัชพืชของเกษตรกร

ผลการศึกษาพฤติกรรมก่อนใช้สารเคมีกำจัดวัชพืชของเกษตรกรผู้ปลูกยางพารา อำเภอคำตากล้า จังหวัดสกลนคร พบว่า พฤติกรรมที่ควรปฏิบัติก่อนใช้สารกำจัดวัชพืชในภาพรวมของเกษตรกรตำบลคำตากล้า ตำบลนาแต้ ตำบลหนองบัวสิม และตำบลแพด ไม่แตกต่างกัน คือ มีการปฏิบัติที่ถูกต้องเป็นบางครั้ง แต่เมื่อพิจารณารายละเอียดแต่ละหัวข้อในการปฏิบัติ พบว่า มีหัวข้อในการปฏิบัติที่แตกต่างกัน คือ การเลือกใช้ชนิดของสารกำจัดวัชพืชที่ถูกชนิดของวัชพืชและช่วงอายุของยางพารา การศึกษาเกี่ยวกับวิธีการป้องกันอันตรายวิธีการปฐมพยาบาลการแก้พิษ การเตรียมน้ำสะอาดและสบู่ไว้เพียงพอสำหรับการชำระล้างร่างกายในกรณีเกิดเหตุฉุกเฉินขึ้น และการเตรียมอุปกรณ์ป้องกันไว้สำรองเผื่อเกิดเหตุอุปกรณ์ป้องกันชำรุดเสียหาย ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยและคา p-value ของการทดสอบความแตกต่างของพฤติกรรมก่อนใช้สารเคมีกำจัดวัชพืชของเกษตรกรผู้ปลูกยางพาราที่อาศัยในตำบลต่างกันด้วยวิธี One-way ANOVA

การปฏิบัติของเกษตรกรที่ถูกต้อง	ค่าเฉลี่ยพฤติกรรมที่ควรปฏิบัติก่อนใช้สารกำจัดศัตรูพืช				P-value
	ตำบลคำตากล้า N=71	ตำบลนาแต้ N=105	ตำบลหนองบัวลิม N=87	ตำบลแพด N=78	
พฤติกรรมที่ควรปฏิบัติก่อนใช้สารกำจัดศัตรูพืชในภาพรวม	(1.18±0.50) ปฏิบัติบางครั้ง	(1.28±0.54) ปฏิบัติบางครั้ง	(1.28±0.53) ปฏิบัติบางครั้ง	(1.29±0.53) ปฏิบัติบางครั้ง	0.886
1. สำรวจและรู้ชนิดของวัชพืชที่ขึ้นในแปลงยางพารา	(0.89±0.75) ปฏิบัติบางครั้ง	(0.91±0.79) ปฏิบัติบางครั้ง	(0.92±0.72) ปฏิบัติบางครั้ง	(0.95±0.79) ปฏิบัติบางครั้ง	0.697
2. อ่านฉลากสารเคมีให้เข้าใจในรายละเอียดอย่างชัดเจนก่อนการใช้ทุกครั้ง	(1.74±0.44) ปฏิบัติทุกครั้ง	(1.69±0.47) ปฏิบัติทุกครั้ง	(1.70±0.46) ปฏิบัติทุกครั้ง	(1.74±0.44) ปฏิบัติทุกครั้ง	0.799
3. เลือกใช้ชนิดของสารกำจัดวัชพืชที่ถูกกับชนิดของวัชพืชและช่วงอายุของยางพารา	(1.76±0.43) ปฏิบัติทุกครั้ง	(1.15±0.84) ปฏิบัติบางครั้ง	(1.67±0.47) ปฏิบัติทุกครั้ง	(1.65±0.48) ปฏิบัติทุกครั้ง	0.000*
4. อบรมการใช้สารกำจัดวัชพืชก่อนการซื้อสารในการกำจัดวัชพืช	(0.07±0.26) ไม่ปฏิบัติ	(0.08±0.27) ไม่ปฏิบัติ	0.08±0.27) ไม่ปฏิบัติ	(0.06±0.25) ไม่ปฏิบัติ	0.981
5. ศึกษาเกี่ยวกับวิธีการป้องกันอันตรายวิธีการปฐมพยาบาลการแก้พิษ	(0.64±0.48) ไม่ปฏิบัติ	(0.98±0.31) ปฏิบัติบางครั้ง	(0.95±0.21) ปฏิบัติบางครั้ง	(0.87±0.47) ปฏิบัติบางครั้ง	0.000*
6. เตรียมน้ำสะอาดและสบู่ไว้เพียงพอสำหรับการชำระล้างร่างกายในกรณีเกิดเหตุฉุกเฉินขึ้น	(0.59±0.55) ไม่ปฏิบัติ	(1.30±0.46) ปฏิบัติบางครั้ง	(1.21±0.41) ปฏิบัติบางครั้ง	(1.28±0.45) ปฏิบัติบางครั้ง	0.000*
7. ตรวจสอบอุปกรณ์ให้อยู่ในสภาพสมบูรณ์พร้อมใช้งาน หากพบอุปกรณ์ชำรุดท่านเปลี่ยนชิ้นใหม่ทันที	(1.30±0.62) ปฏิบัติบางครั้ง	(1.33±0.68) ปฏิบัติบางครั้ง	(1.28±0.64) ปฏิบัติบางครั้ง	(1.31±0.69) ปฏิบัติบางครั้ง	0.831
8. เตรียมอุปกรณ์และสารเคมีกำจัดศัตรูพืชในการฉีดพ่น ท่านปฏิบัติด้วยความระมัดระวัง	(1.56±0.50) ปฏิบัติทุกครั้ง	(1.45±0.50) ปฏิบัติทุกครั้ง	(1.57±0.50) ปฏิบัติทุกครั้ง	(1.44±0.50) ปฏิบัติทุกครั้ง	0.153
9. เตรียมเสื้อผ้าเพื่อใช้ในการผลัดเปลี่ยนหลังการปฏิบัติงาน	(1.59±0.45) ปฏิบัติทุกครั้ง	(1.55±0.50) ปฏิบัติทุกครั้ง	(1.67±0.47) ปฏิบัติทุกครั้ง	(1.59±0.50) ปฏิบัติทุกครั้ง	0.447
10. เตรียมอุปกรณ์ป้องกันไว้สำรองเผื่อเกิดเหตุอุปกรณ์ป้องกันชำรุดเสียหาย	(0.47±0.53) ไม่ปฏิบัติ	(1.32±0.47) ปฏิบัติทุกครั้ง	(0.90±0.70) ปฏิบัติทุกครั้ง	(1.26±0.52) ปฏิบัติทุกครั้ง	0.000*
11. ไม่ให้บุคคลที่ไม่เกี่ยวข้องอยู่ในบริเวณและระมัดระวังไม่ให้สารเคมีหกเลอะเทอะขณะผสมสารกำจัดวัชพืช	(1.77±0.42) ปฏิบัติทุกครั้ง	(1.82±0.39) ปฏิบัติทุกครั้ง	(1.67±0.47) ปฏิบัติทุกครั้ง	(1.72±0.45) ปฏิบัติทุกครั้ง	0.093
12. ดูทิศทางลมก่อนในการฉีดพ่นสารเคมีกำจัดวัชพืช	(1.77±0.54) ปฏิบัติทุกครั้ง	(1.75±0.45) ปฏิบัติทุกครั้ง	(1.72±0.49) ปฏิบัติทุกครั้ง	(1.63±0.62) ปฏิบัติทุกครั้ง	0.332

จากนั้นนำผลการทดสอบสมมติฐานที่ได้มาทำการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบพฤติกรรมก่อนใช้สารเคมีกำจัดวัชพืชของเกษตรกรผู้ปลูกยางพาราทั้ง 4 ตำบล เป็นรายคู่ โดยวิธี Scheffe พบว่า พฤติกรรมการเลือกใช้ชนิดของสารกำจัดวัชพืชที่ถูกกับชนิดของวัชพืชและช่วงอายุของยางพารา ตำบลคำตากล้า มีค่าเฉลี่ยแตกต่างจาก ตำบลนาแต้ และตำบลนาแต้มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกับตำบลหนองบัวสิม และตำบลแพด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($P<0.05$) ส่วนพฤติกรรมการศึกษาเกี่ยวกับวิธีการป้องกันอันตราย วิธีการปฐมพยาบาลการแก้พิษตำบลคำตากล้ามีค่าเฉลี่ยแตกต่างจากตำบลนาแต้ ตำบลหนองบัวสิม และตำบลแพด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($P<0.05$) ส่วนพฤติกรรมการเตรียมน้ำสะอาดและสบู่ไว้เพียงพอสำหรับการชำระล้างร่างกายในกรณีเกิดเหตุฉุกเฉินขึ้นของเกษตรกรผู้ปลูกยางพาราในตำบลคำตากล้า มีค่าเฉลี่ยแตกต่างจาก ตำบลนาแต้ ตำบลหนองบัวสิม และตำบลแพด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($P<0.05$) ส่วนพฤติกรรมการเตรียมอุปกรณ์ป้องกันไว้สำรองเผื่อเกิดเหตุอุปกรณ์ป้องกันชำรุดเสียหายของเกษตรกรผู้ปลูกยางพาราในตำบลคำตากล้า มีค่าเฉลี่ยแตกต่างจาก ตำบลนาแต้ ตำบลหนองบัวสิม และตำบลแพด ส่วนตำบลนาแต้มีค่าเฉลี่ยแตกต่างจาก ตำบลหนองบัวสิม และตำบลหนองบัวสิม มีค่าเฉลี่ยแตกต่างจากตำบลแพด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($P<0.05$) ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของพฤติกรรมก่อนใช้สารเคมีกำจัดวัชพืชของเกษตรกรผู้ปลูกยางพาราที่อาศัยในตำบลต่างกันเป็นรายคู่ด้วยวิธี Scheffe

พฤติกรรมก่อนใช้สารเคมีกำจัดวัชพืช	p-value				
	ตำบล	คำตากล้า	นาแต้	หนองบัวสิม	แพด
1. เลือกใช้ชนิดของสารกำจัดวัชพืชที่ถูกกับชนิดของวัชพืชและช่วงอายุของยางพารา	คำตากล้า	-	0.000*	0.834	0.784
	นาแต้	-	-	0.000*	0.000*
	หนองบัวสิม	-	-	-	0.999
	แพด	-	-	-	-
2. ศึกษาเกี่ยวกับวิธีการป้องกันอันตราย วิธีการปฐมพยาบาล การแก้พิษ	คำตากล้า	-	0.000*	0.000*	0.003*
	นาแต้	-	-	0.969	0.280
	หนองบัวสิม	-	-	-	0.572
	แพด	-	-	-	-
3. เตรียมน้ำสะอาดและสบู่ไว้เพียงพอสำหรับการชำระล้างร่างกายในกรณีเกิดเหตุฉุกเฉินขึ้น	คำตากล้า	-	0.000*	0.000*	0.000*
	นาแต้	-	-	0.635	0.998
	หนองบัวสิม	-	-	-	0.784
	แพด	-	-	-	-
4. เตรียมอุปกรณ์ป้องกันไว้สำรองเผื่อเกิดเหตุอุปกรณ์ป้องกันชำรุดเสียหาย	คำตากล้า	-	0.000*	0.000*	0.000*
	นาแต้	-	-	0.000*	0.935
	หนองบัวสิม	-	-	-	0.001*
	แพด	-	-	-	-

2. พฤติกรรมขณะใช้สารเคมีกำจัดวัชพืชของเกษตรกร

ผลการวิเคราะห์พฤติกรรมขณะใช้สารเคมีกำจัดวัชพืชของเกษตรกรของเกษตรกรผู้ปลูกยางพารา อำเภอคำตากล้า จังหวัดสกลนคร พบว่า พฤติกรรมที่ควรปฏิบัติขณะใช้สารกำจัดศัตรูพืชในภาพรวมของเกษตรกรตำบลคำตากล้า ตำบลนาแต้ ตำบลหนอง-บัวสิม และตำบลแพด ไม่แตกต่างกัน คือ มีการปฏิบัติที่ถูกต้องเป็นบางครั้ง ซึ่งเกษตรกรทั้ง 4 ตำบลยังมีพฤติกรรมที่ยังไม่ถูกต้อง คือ เกษตรกรใส่แว่นตาหรือครอบตานิรภัยเป็นบางครั้ง เกษตรใส่หมวกหรือผ้าคลุมศีรษะเป็นบางครั้ง เกษตรกรสวมผ้ายางกันเปื้อนเป็นบางครั้ง เกษตรกรสูบบุหรี่/ดื่มเหล้า/เบียร์/เครื่องดื่มแอลกอฮอล์/กาแฟ/เครื่องดื่มชูกำลังเป็นบางครั้ง เกษตรกรยังอนุญาตให้บุคคลที่ไม่เกี่ยวข้องอยู่ในบริเวณพ่นสารกำจัดศัตรูพืช และเกษตรกรปฏิบัติเป็นบางครั้งในการหยุดการทำงานทันทีที่เกิดฝนตกหรือสภาพอากาศแปรปรวน ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยและค่า p-value ของการทดสอบความแตกต่างของพฤติกรรมขณะใช้สารเคมีกำจัดวัชพืชของเกษตรกรผู้ปลูกยางพาราที่อาศัยในตำบลต่างกันด้วยวิธี One-way ANOVA

การปฏิบัติของเกษตรกรที่ถูกต้อง	ค่าเฉลี่ยพฤติกรรมที่ควรปฏิบัติขณะใช้สารกำจัดศัตรูพืช				P-value
	ตำบล คำตากล้า N=71	ตำบล นาแต้ N=105	ตำบล หนองบัวสิม N=87	ตำบล แพด N=78	
พฤติกรรมที่ควรปฏิบัติขณะใช้สารกำจัดศัตรูพืชในภาพรวม	1.09±0.61 ปฏิบัติบางครั้ง	1.13±0.56 ปฏิบัติบางครั้ง	1.12±0.56 ปฏิบัติบางครั้ง	1.10±0.57 ปฏิบัติบางครั้ง	0.268
1. สวมหน้ากากป้องกันทางเดินหายใจขณะฉีดพ่นสารเคมีกำจัดวัชพืช	1.34±0.78 ปฏิบัติทุกครั้ง	1.62±0.60 ปฏิบัติทุกครั้ง	1.69±0.54 ปฏิบัติทุกครั้ง	1.58±0.64 ปฏิบัติทุกครั้ง	0.190
2. ใส่แว่นตา หรือครอบตานิรภัย	1.04±0.86 ปฏิบัติบางครั้ง	0.98±0.76 ปฏิบัติบางครั้ง	1.03±0.78 ปฏิบัติบางครั้ง	1.00±0.76 ปฏิบัติบางครั้ง	0.948
3. สวมถุงมือยางทุกครั้งในการผสมสารกำจัดวัชพืช	1.14±0.87 ปฏิบัติทุกครั้ง	1.24±0.87 ปฏิบัติทุกครั้ง	1.31±0.82 ปฏิบัติทุกครั้ง	1.28±0.85 ปฏิบัติทุกครั้ง	0.647
4. สวมเสื้อแขนยาว กางเกงขายาวขณะทำงานกับสารกำจัดวัชพืช	1.63±0.49 ปฏิบัติทุกครั้ง	1.64±0.48 ปฏิบัติทุกครั้ง	1.63±0.49 ปฏิบัติทุกครั้ง	1.59±0.50 ปฏิบัติทุกครั้ง	0.918
5. สวมใส่รองเท้าบู๊ตยาง ความสูงปิดถึงครึ่งน่อง	1.54±0.50 ปฏิบัติทุกครั้ง	1.58±0.50 ปฏิบัติทุกครั้ง	1.51±0.50 ปฏิบัติทุกครั้ง	1.51±0.50 ปฏิบัติทุกครั้ง	0.720
6. ใส่หมวกหรือผ้าคลุมศีรษะ	0.93±0.79 ปฏิบัติบางครั้ง	0.88±0.70 ปฏิบัติบางครั้ง	1.00±0.72 ปฏิบัติบางครั้ง	0.95±0.72 ปฏิบัติบางครั้ง	0.703
7. สวมผ้ายางกันเปื้อน	1.01±0.81 ปฏิบัติบางครั้ง	0.89±0.79 ปฏิบัติบางครั้ง	0.93±0.74 ปฏิบัติบางครั้ง	0.88±0.77 ปฏิบัติบางครั้ง	0.704
8. ไม่ดื่มน้ำและรับประทานอาหารขณะทำงานกับสารจัดวัชพืช	1.57±0.50 ปฏิบัติทุกครั้ง	1.84±0.37 ปฏิบัติทุกครั้ง	1.62±0.49 ปฏิบัติทุกครั้ง	1.82±0.39 ปฏิบัติทุกครั้ง	0.235
9. หากมีอาการอ่อนเพลียท่านจะหยุดทำงานกับสารเคมีกำจัดวัชพืชทันที	1.43±0.50 ปฏิบัติทุกครั้ง	1.47±0.50 ปฏิบัติทุกครั้ง	1.43±0.50 ปฏิบัติทุกครั้ง	1.51±0.50 ปฏิบัติทุกครั้ง	0.639
10. ยืนอยู่เหนือลม คำนึงถึงทิศทางลม	1.41±0.50 ปฏิบัติทุกครั้ง	1.42±0.50 ปฏิบัติทุกครั้ง	1.49±0.50 ปฏิบัติทุกครั้ง	1.46±0.50 ปฏิบัติทุกครั้ง	0.688
11. ท่านสูบบุหรี่/ดื่มเหล้า/เบียร์/เครื่องดื่มแอลกอฮอล์/กาแฟ/เครื่องดื่มชูกำลัง	0.86±0.73 ปฏิบัติบางครั้ง	0.90±0.73 ปฏิบัติบางครั้ง	0.79±0.70 ปฏิบัติบางครั้ง	0.76±0.74 ปฏิบัติบางครั้ง	0.579
12. ท่านได้สัมผัสสารเคมีกำจัดวัชพืชในขณะฉีดพ่น	0.54±0.58 ไม่ปฏิบัติ	0.50±0.61 ไม่ปฏิบัติ	0.46±0.59 ไม่ปฏิบัติ	0.38±0.56 ไม่ปฏิบัติ	0.401
13. ขณะทำการฉีดพ่นท่านพบว่าเสื้อผ้าของท่านเปียกชุ่มสารกำจัดวัชพืช	0.90±0.57 ปฏิบัติบางครั้ง	0.91±0.50 ปฏิบัติบางครั้ง	0.90±0.55 ปฏิบัติบางครั้ง	0.76±0.65 ปฏิบัติบางครั้ง	0.243
14. ท่านไม่ได้อนุญาตให้บุคคลที่ไม่เกี่ยวข้องอยู่ในบริเวณนั้นๆด้วย	0.10±0.30 ไม่ปฏิบัติ	0.08±0.27 ไม่ปฏิบัติ	0.09±0.29 ไม่ปฏิบัติ	0.08±0.27 ไม่ปฏิบัติ	0.936
15. ท่านหยุดการทำงานทันทีที่เกิดฝนตกหรือสภาพอากาศแปรปรวน	0.90±0.30 ปฏิบัติบางครั้ง	0.94±0.23 ปฏิบัติบางครั้ง	0.95±0.21 ปฏิบัติบางครั้ง	0.95±0.22 ปฏิบัติบางครั้ง	0.510

3. พฤติกรรมหลังใช้สารเคมีกำจัดวัชพืชของเกษตรกร

ผลการวิเคราะห์พฤติกรรมหลังใช้สารเคมีกำจัดวัชพืชของเกษตรกรผู้ปลูกยางพารา อำเภอคำตากล้า จังหวัดสกลนคร พบว่า พฤติกรรมที่ควรปฏิบัติหลังใช้สารกำจัดวัชพืชในภาพรวมของเกษตรกรตำบลคำตากล้า ตำบลนาแต้ ตำบลหนองบัวสิม และตำบลแพด ไม่แตกต่างกัน คือ เกษตรกรมีการปฏิบัติหลังใช้ที่ถูกต้องทุกครั้ง แต่ถ้าพิจารณาในรายละเอียดในแต่ละหัวข้อในการปฏิบัติ พบว่า มีเพียง 1 หัวข้อการปฏิบัติที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางเศรษฐกิจที่ระดับ 0.05 ($P<0.05$) คือ การตรวจสุขภาพประจำปี และตรวจเลือดเป็นประจำทุกปี ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยและค่า p-value ของการทดสอบความแตกต่างของพฤติกรรมหลังใช้สารเคมีกำจัดวัชพืชของเกษตรกรผู้ปลูกยางพาราที่อาศัยในตำบลต่างกันด้วยวิธี One-way ANOVA

การปฏิบัติของเกษตรกรที่ถูกต้อง	ค่าเฉลี่ยพฤติกรรมที่ควรปฏิบัติหลังใช้สารกำจัดศัตรูพืช				P-value
	ตำบล คำตากล้า N=71	ตำบล นาแต้ N=105	ตำบล หนองบัวสิม N=87	ตำบล แพด N=78	
พฤติกรรมที่ควรปฏิบัติหลังใช้สารกำจัดศัตรูพืชในภาพรวม	(1.56±0.47) ปฏิบัติทุกครั้ง	(1.57±0.50) ปฏิบัติทุกครั้ง	(1.56±0.51) ปฏิบัติทุกครั้ง	(1.60±0.51) ปฏิบัติทุกครั้ง	0.337
1. ล้างมือทุกครั้งหลังทำงานกับสารเคมีกำจัดวัชพืช	(1.94±0.23) ปฏิบัติทุกครั้ง	(1.94±0.27) ปฏิบัติทุกครั้ง	(1.95±0.27) ปฏิบัติทุกครั้ง	(1.95±0.27) ปฏิบัติทุกครั้ง	0.985
2. เมื่อถึงบ้านท่านอาบน้ำทำความสะอาดร่างกายทันทีก่อนทำภารกิจอย่างอื่น	(1.83±0.38) ปฏิบัติทุกครั้ง	(1.83±0.39) ปฏิบัติทุกครั้ง	(1.79±0.41) ปฏิบัติทุกครั้ง	(1.82±0.41) ปฏิบัติทุกครั้ง	0.921
3. ถอดเสื้อผ้าที่สวมใส่ทันทีหลังฉีดพ่นสารเคมี	(1.77±0.42) ปฏิบัติทุกครั้ง	(1.70±0.46) ปฏิบัติทุกครั้ง	(1.63±0.47) ปฏิบัติทุกครั้ง	(1.79±0.46) ปฏิบัติทุกครั้ง	0.085
4. ท่านแยกซักเสื้อผ้าไม่ปะปนกับเสื้อผ้าอื่น ๆ หลังฉีดพ่นสารเคมี	(1.79±0.41) ปฏิบัติทุกครั้ง	(1.71±0.45) ปฏิบัติทุกครั้ง	(1.66±0.46) ปฏิบัติทุกครั้ง	(1.79±0.46) ปฏิบัติทุกครั้ง	0.146
5. ท่านเก็บ/ล้างเครื่องมือและอุปกรณ์ในการฉีดพ่นสารเคมีกำจัดวัชพืช แยกออกจากเครื่องใช้อื่น ๆ	(1.80±0.40) ปฏิบัติทุกครั้ง	(1.84±0.40) ปฏิบัติทุกครั้ง	(1.71±0.46) ปฏิบัติทุกครั้ง	(1.82±0.42) ปฏิบัติทุกครั้ง	0.212
6. ท่านฝังกลบภาชนะบรรจุสารเคมีกำจัดวัชพืช ที่ใช้หมดแล้วหลังฉีดพ่นสารเคมีกำจัดวัชพืช	(1.63±0.68) ปฏิบัติทุกครั้ง	1.51±0.70) ปฏิบัติทุกครั้ง	(1.48±0.72) ปฏิบัติทุกครั้ง	(1.60±0.71) ปฏิบัติทุกครั้ง	0.506
7. เมื่อท่านมีอาการเจ็บป่วยหรือไม่สบายท่านไปพบหมอ/ เจ้าหน้าที่สาธารณสุข หลังฉีดพ่นสารเคมีกำจัดวัชพืช	(1.83±0.38) ปฏิบัติทุกครั้ง	(1.83±0.39) ปฏิบัติทุกครั้ง	(1.80±0.40) ปฏิบัติทุกครั้ง	(1.78±0.41) ปฏิบัติทุกครั้ง	0.850
8. ท่านมีการติดป้ายแจ้งเตือนการฉีดพ่นยาเพื่อแจ้งเตือนบุคคลอื่น	1.38 (0.489) ปฏิบัติทุกครั้ง	1.38 (0.490) ปฏิบัติทุกครั้ง	1.34 (0.488) ปฏิบัติทุกครั้ง	1.34 (0.483) ปฏิบัติทุกครั้ง	0.604

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยและค่า p-value ของการทดสอบความแตกต่างของพฤติกรรมหลังใช้สารเคมีกำจัดวัชพืชของเกษตรกรผู้ปลูกยางพาราที่อาศัยในตำบลต่างกันด้วยวิธี One-way ANOVA (ต่อ)

การปฏิบัติของเกษตรกรที่ถูกต้อง	ค่าเฉลี่ยพฤติกรรมที่ควรปฏิบัติหลังใช้สารกำจัดศัตรูพืช				P-value
	ตำบล คำตากล้า N=71	ตำบล นาแต้ N=105	ตำบล หนองบัวสิม N=87	ตำบล แพด N=78	
9. ท่านมีการตรวจสุขภาพประจำปี และตรวจเลือดเป็นประจำทุกปี	(0.23±0.61) ไม่ปฏิบัติ	(0.94±0.83) ปฏิบัติบางครั้ง	(0.86±0.85) ปฏิบัติบางครั้ง	(0.97±0.83) ปฏิบัติบางครั้ง	0.000*
10. ท่านไม่นำภาชนะบรรจุสารเคมีกำจัดวัชพืชที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่	(1.72±0.45) ปฏิบัติทุกครั้ง	(1.50±0.50) ปฏิบัติทุกครั้ง	(1.60±0.50) ปฏิบัติทุกครั้ง	(1.58±0.50) ปฏิบัติทุกครั้ง	0.445
11. ท่านจัดเก็บสารเคมีกำจัดวัชพืชไว้ในที่ที่เด็กเอื้อมไม่ถึง และแยกเก็บไว้อย่างเป็นระเบียบปลอดภัยจากสัตว์เลี้ยง	(1.77±0.42) ปฏิบัติทุกครั้ง	(1.80±0.40) ปฏิบัติทุกครั้ง	(1.78±0.43) ปฏิบัติทุกครั้ง	(1.86±0.42) ปฏิบัติทุกครั้ง	0.527
12. ท่านดูแลรักษาอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ฉีดพ่นสารเคมีกำจัดวัชพืชให้อยู่ในสภาพใช้งานเสมอ	(1.96±0.20) ปฏิบัติทุกครั้ง	(1.95±0.24) ปฏิบัติทุกครั้ง	(1.97±0.25) ปฏิบัติทุกครั้ง	(1.81±0.31) ปฏิบัติทุกครั้ง	0.169
13. ท่านไม่นำชุดที่สวมใส่สำหรับฉีดพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืชมาใช้สวมใส่ในกรณีอื่น ๆ	(0.67±0.79) ปฏิบัติบางครั้ง	(0.71±0.80) ปฏิบัติบางครั้ง	(0.84±0.81) ปฏิบัติบางครั้ง	(0.87±0.81) ปฏิบัติบางครั้ง	0.254
14. หากท่านมีการสัมผัสสารกำจัดวัชพืชได้ทำการล้างชำระด้วยน้ำสะอาดนาน ๆ อย่างน้อย 15 นาที	(1.51±0.65) ปฏิบัติทุกครั้ง	(1.34±0.67) ปฏิบัติทุกครั้ง	(1.34±0.64) ปฏิบัติทุกครั้ง	(1.38±0.67) ปฏิบัติทุกครั้ง	0.243

จากนั้นนำผลการทดสอบสมมติฐานที่ได้มาทำการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบพฤติกรรมหลังใช้สารเคมีกำจัดวัชพืชของเกษตรกรผู้ปลูกยางพาราทั้ง 4 ตำบล เป็นรายคู่ โดยวิธี Scheffe พบว่า พฤติกรรมของเกษตรกรที่มีการตรวจสุขภาพประจำปีและตรวจเลือดเป็นประจำทุกปี ตำบลคำตากล้า มีค่าเฉลี่ยแตกต่างจากตำบลนาแต้ ตำบลหนองบัวสิม และตำบลแพด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระดับ 0.05 ($P<0.05$) ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของพฤติกรรมหลังใช้สารเคมีกำจัดวัชพืชของเกษตรกรผู้ปลูกยางพาราที่อาศัยในตำบลต่างกันเป็นรายคู่ด้วยวิธี Scheffe

พฤติกรรมหลังใช้สารเคมีกำจัดวัชพืช	p-value				
	อำเภอ	คำตากล้า	นาแต้	หนองบัวสิม	แพด
ท่านมีการตรวจสุขภาพประจำปี และตรวจเลือดเป็นประจำทุกปี	คำตากล้า	-	0.000*	0.000*	0.000*
	นาแต้	-	-	0.920	0.995
	หนองบัวสิม	-	-	-	0.843
	แพด	-	-	-	-

จากผลการการศึกษาพฤติกรรมก่อนใช้สารกำจัดวัชพืชของเกษตรกรผู้ปลูกยางพารา ในอำเภอคำตากล้า จังหวัดสกลนคร ทั้ง 4 ตำบล ในภาพรวมไม่มีความแตกต่าง แต่จะเห็นได้ว่าในระดับรายข้อจำแนกตามการปฏิบัติ เกษตรกรมีการใช้สารกำจัดวัชพืชก่อนใช้และขณะใช้ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระดับ 0.05 โดยมีพฤติกรรมการใช้สารกำจัดวัชพืชก่อนใช้ที่แตกต่างกัน คือ การเลือกใช้ชนิดของสารกำจัดวัชพืชที่ถูกกับชนิดของวัชพืชและช่วงอายุของยางพารา ศึกษาเกี่ยวกับวิธีการป้องกันอันตราย วิธีการปฐมพยาบาลการแก้พิษ การเตรียมน้ำสะอาดและสบู่ไว้เพียงพอสำหรับการชำระล้างร่างกายในกรณีเกิดเหตุฉุกเฉินขึ้น และเตรียมอุปกรณ์ป้องกันไว้สำรองเผื่อเกิดเหตุอุปกรณ์ป้องกันชำรุดเสียหาย และเกษตรกรมีพฤติกรรมที่ปฏิบัติบางครั้งที่เหมือนกันทั้ง 4 ตำบล คือ สำรวจและรู้ชนิดของวัชพืชที่ขึ้นในแปลงยางพารา และตรวจสอบอุปกรณ์ให้อยู่ในสภาพสมบูรณ์พร้อมใช้งาน หากพบอุปกรณ์ชำรุดท่านเปลี่ยนชิ้นใหม่ทันที สอดคล้องกับ จารุวรรณ ไตรทิพย์สมบัติ และคณะ (2557) ที่ศึกษาความรู้ ทัศนคติ และพฤติกรรมการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรบ้านห้วยสามขา ตำบลทัพรั้ง อำเภอพระทองคำ จังหวัดนครราชสีมา พบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีการตรวจสอบอุปกรณ์การฉีดพ่นให้อยู่ในสภาพดีก่อนนำมาใช้งาน

ส่วนพฤติกรรมขณะใช้ เกษตรกรมีการปฏิบัติที่ถูกต้องเป็นบางครั้ง ซึ่งเกษตรกรทั้ง 4 ตำบลยังมีพฤติกรรมที่ยังไม่ถูกต้อง คือ เกษตรกรใส่แว่นตาหรือครอบตานิรภัยเป็นบางครั้ง สอดคล้องกับวรเชษฐ ขอบใจ และคณะ (2553) เกษตรใส่หมวกหรือผ้าคลุมศีรษะเป็นบางครั้ง เกษตรกรสวมผ้ายางกันเปื้อนเป็นบางครั้ง เกษตรกรสูบบุหรี่/ดื่มเหล้า/เบียร์/เครื่องดื่มแอลกอฮอล์/กาแฟ/เครื่องดื่มชูกำลังเป็นบางครั้ง เกษตรกรยังอนุญาตให้บุคคลที่ไม่เกี่ยวข้องอยู่ในบริเวณพ่นสารกำจัดศัตรูพืช และเกษตรกรปฏิบัติเป็นบางครั้งในการหยุดการทำงานทันทีที่เกิดฝนตกหรือสภาพอากาศแปรปรวน สอดคล้องกับวรเชษฐ ขอบใจ และคณะ (2553) ที่ศึกษาพฤติกรรมการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชและระดับเอนไซม์โคลีนเอสเตอร์ในเลือดของเกษตรกรต้นน้ำ กรณีศึกษาชาวม้ง จังหวัดพะเยา พบว่า เกษตรกรบางคนมีพฤติกรรมการปฏิบัติไม่ถูกต้องในการใช้สารกำจัดศัตรูพืช คือ เกษตรกรกลุ่มตัวอย่างไม่ปิดปากปิดจมูกและไม่สวมแวนตาตลอดเวลาฉีดพ่นสารกำจัดศัตรูพืช เนื่องจากสภาพภูมิอากาศของประเทศไทยเป็นเขตร้อน การสวมอุปกรณ์ป้องกันอย่างมิดชิดอาจเป็นอุปสรรคในการฉีดพ่นสารกำจัดศัตรูพืช และสอดคล้องกับ น้ำเงิน จันทรมณี (2560) ที่ศึกษาพฤติกรรมการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชและประสิทธิผลของการให้อาชีวสุขศึกษาที่มีผลต่อความรู้ทางด้านความปลอดภัยของ

เกษตรกรพื้นที่ต้นน้ำจังหวัดพะเยา พบว่า กลุ่มตัวอย่างเกษตรกรมีพฤติกรรมที่ไม่ปลอดภัยและเป็นความเสี่ยง คือ กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีการรับประทานอาหารหรือดื่มน้ำในบริเวณที่ทำงานเกือบทุกครั้งที่ปฏิบัติงาน รองลงมาเป็นกลุ่มตัวอย่างไม่สวมถุงมือยางป้องกันสารเคมี และกลุ่มตัวอย่างดื่มเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ในบริเวณที่ทำงานเป็นบางครั้งที่ปฏิบัติงาน พฤติกรรมที่ปฏิบัติยังไม่ถูกต้องของเกษตรกรอาจส่งผลให้เกษตรกรมีความเสี่ยงได้สัมผัสสารเคมีกำจัดวัชพืช อาจทำให้เกษตรกรมีอาการเจ็บป่วยเล็กๆน้อยๆที่เกษตรกรเองไม่คาดคิดว่าจะเป็นสาเหตุจากการปฏิบัติงานฉีดพ่นสารเคมีกำจัดวัชพืช

พฤติกรรมหลังใช้สารกำจัดวัชพืชของเกษตรกรผู้ปลูกยางพารา ในอำเภอคำตากล้า จังหวัดสกลนคร ทั้ง 4 ตำบล ในภาพรวมไม่มีความแตกต่าง แต่จะเห็นได้ว่าในระดับรายข้อจำแนกตามการปฏิบัติ โดยพบว่าพฤติกรรมการตรวจเลือดเป็นประจำทุกปี ของเกษตรกรตำบลคำตากล้ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ดังนี้ เนื่องจากเกษตรกรมีการเข้าถึงการรักษาพยาบาลที่แตกต่างกันส่วนใหญ่การเข้ารับการรักษาจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อมีการเจ็บป่วยแล้วเท่านั้น และพฤติกรรมดูแลรักษาอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ฉีดพ่นสารเคมีกำจัดวัชพืชให้อยู่ในสภาพใช้งานเสมอ เกษตรกรไม่มีความตระหนักถึงการรักษาเครื่องมือเนื่องจากในการใช้สารกำจัดวัชพืชเกษตรกรมีความถี่ในการใช้งานน้อย และในปัจจุบันเกษตรกรสามารถหาได้ง่าย เครื่องมือต่างๆ มีราคาถูกลง ได้ ส่วนพฤติกรรมที่ถูกต้องที่เกษตรกรไม่ได้ปฏิบัติหรือปฏิบัติเป็นบางครั้ง ในประเด็นอื่นๆ อาจเนื่องจากเกษตรกรมีความเคยชิน หรือคิดว่ามีตนความชำนาญแล้วจึงมีความละหลวมในการป้องกันตนเองจากการใช้สารเคมีกำจัดวัชพืช อีกทั้งผลกระทบจากการใช้สารเคมีกำจัดวัชพืชอาจไม่ส่งผลในทันทีทำให้เกษตรกรมองว่าไม่ได้รับผลกระทบหรือเป็นเรื่องที่ไกลตัวของเกษตรกร ซึ่งเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตร หรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องทั้งในด้านการควบคุมการใช้สารกำจัดวัชพืช หรือหน่วยงานด้านสาธารณสุขจะต้องชี้ให้เห็นถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นมากกว่าที่เป็นเพื่อให้เกษตรกรมีความตระหนักมากขึ้น

สรุปผลการวิจัย

เกษตรกรตำบลคำตากล้า ตำบลนาแต้ ตำบลหนองบัวสิม และตำบลแพด อำเภอคำตากล้า จังหวัดสกลนคร มีพฤติกรรมก่อนใช้สารกำจัดวัชพืชพืช ขณะใช้สารกำจัดวัชพืช และหลังใช้สารเคมีกำจัดวัชพืชของเกษตรกรในภาพรวม ไม่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามใน

พฤติกรรมรายข้อ เกษตรกรทั้ง 4 ตำบล มีพฤติกรรมที่ปฏิบัติเป็นบางครั้งที่เหมือนกัน คือ สำรวจและรู้ชนิดของวัชพืชที่ขึ้นในแปลงยางพารา การตรวจสอบอุปกรณ์ให้อยู่ในสภาพสมบูรณ์พร้อมใช้งาน หากพบอุปกรณ์ชำรุดท่านเปลี่ยนชิ้นใหม่ทันที เกษตรกรใส่แว่นตาหรือครอบตานิรภัยเป็นบางครั้ง เกษตรใส่หมวกหรือผ้าคลุมศีรษะเป็นบางครั้ง เกษตรกรสวมผ้ายางกันเปื้อนเป็นบางครั้ง เกษตรกรสูบบุหรี่/ดื่มเหล้า/เบียร์/เครื่องดื่มแอลกอฮอล์/กาแฟ/เครื่องดื่มชูกำลังเป็นบางครั้ง เกษตรกรปฏิบัติเป็นบางครั้งในการหยุดการทำงานทันทีที่เกิดฝนตกหรือสภาพอากาศแปรปรวน และเกษตรกรยังอนุญาตให้บุคคลที่ไม่เกี่ยวข้องอยู่ในบริเวณพ่นสารกำจัดศัตรูพืช นอกจากนั้นยังมีเกษตรกรส่วนใหญ่โดยเฉพาะตำบลคำตากล้าไม่ได้รับการตรวจสุขภาพประจำปีและตรวจเลือดเป็นประจำทุกปี ซึ่งหน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรหาแนวทางในการแก้ไข เพื่อให้เกษตรกรใช้สารเคมีอย่างถูกต้องและปลอดภัย

เอกสารอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. (2542). *การกำจัดวัชพืชในสวนยางพารา*. ชุมชนสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย. กรุงเทพฯ.

จารุวรรณ ไตรทิพย์สมบัติ, เพลินพิศ จับกลาง, สุวิมล บุญเกิด และ อัญชลี อาบสุวรรณ์. (2557). การศึกษาความรู้ ทัศนคติ และพฤติกรรมการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรบ้านห้วยสามขา ตำบลทัพรั้ง อำเภอพระทองคำ จังหวัดนครราชสีมา. *ศรีนครินทร์เวชสาร*, *29*(5), 429-434.

น้ำเงิน จันทรมณี. (2560). พฤติกรรมการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชและประสิทธิผลของการให้อาชีวสุขศึกษาที่มีผลต่อความรูทางด้านความปลอดภัยของเกษตรกรพื้นที่ต้นน้ำจังหวัดพะเยา. *วารสารความปลอดภัยและสุขภาพ*, *10*(37), 35-45.

ระวี เจียรวิภา. (2562). พืชร่วมในสวนยางพาราทางภาคใต้ของประเทศไทย: ผลกระทบและรูปแบบการปลูกอย่างยั่งยืน. *วารสารพระจอมเกล้า*, *37*(1), 179-189.

วรเชษฐ ขอบใจ, อารักษ์ ดำรงสัตย์, พิทักษ์พงษ์ ปันต๊ะ และ เดช ดอกพวง. (2553). พฤติกรรมการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชและระดับเอนไซม์โคลีนเอสเตอร์ในเลือดของเกษตรกรต้นน้ำกรณีศึกษาชาวม้ง จังหวัดพะเยา. *วารสารวิจัยทางวิทยาศาสตร์สุขภาพ*, *4*(2), 36-46.

สำนักโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม. (2553). *คู่มือเกษตรกรปลอดโรคสำหรับเกษตรกรและอาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.

สำนักงานเกษตรอำเภอคำตากล้า. (2561). *รายงานผลการดำเนินงานขึ้นทะเบียนและปรับปรับทะเบียนเกษตรกร ปี 2561/2562*. (อัดสำเนา)

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2564). *ข้อมูลเศรษฐกิจการเกษตร ปัจจัยการผลิตปริมาณและมูลค่าการนำเข้าสารกำจัดศัตรูพืช*. สืบค้นเมื่อ 13 สิงหาคม 2564, จาก https://www.oae.go.th/view/1/%E0%B8%9B%E0%B8%B1%E0%B8%88%E0%B8%88%E0%B8%B1%E0%B8%A2%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%9C%E0%B8%A5%E0%B8%B4%E0%B8%95/TH-TH.

Yamane, T. (1973). *Statistics: an introductory analysis*. New York: New York: Harper & Row.

ปริมาณสารอัลฟ่าอะไมริน (α-amyrin) ในสารสกัดจากใบสาบเสือ (*Chromolaena odorata* L.) ที่สกัดด้วยเอทานอลและฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *Propionibacterium acnes*

CONCENTRATION OF α-AMYRIN AND ANTIBACTERIAL ACTIVITY AGAINST *PROPIONIBACTERIUM ACNES* OF ETHANOLIC EXTRACTS FROM SIAM WEED (*CHROMOLAENA ODORATA* L.) LEAVES

จุฑามณี แสงสว่าง[1, *], พัชรี อำรุง[2], ชิษณุพงศ์ ประทุม[3] และ ศรันยา เผือกผ่อง[4]
Juthamanee Sangsawang[1, *], Patcharee Amroong[2], Chitsanuphong Pratum[3] and Sarunya Puakpong[4]

[1] ศูนย์วิจัยและถ่ายทอดเทคโนโลยีการเกษตร คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
[2] ฝ่ายเครื่องมือและวิจัยทางวิทยาศาสตร์ สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
[3] คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
[4] ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

[1] Agricultural Research and Technology Transfer Center, Faculty of Agriculture, Kasetsart University
[2] Scientific Equipment and Research Division, Kasetsart University Research and Development Institute, Kasetsart University
[3] Faculty of Environment and Resource Studies, Mahidol University
[4] Department of Home Economics, Faculty of Agriculture, Kasetsart University

Received: 8 April 2022 Accepted: 10 August 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณของสาร α-amyrin ในสารสกัดใบสาบเสือ และทดสอบฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสกัดจากใบสาบเสือที่สกัดด้วย เอทานอล 95% ต่อเชื้อ *P. acnes* ผลการวิจัย พบว่า ในสารสกัดใบสาบเสือที่สกัดด้วย เอทานอล มีความเข้มข้นของ α-amyrin เท่ากับ 163.1 mg/g น้ำหนักแห้งผงใบสาบเสือ และค่า peak ที่

* ผู้ประสานงาน: จุฑามณี แสงสว่าง
อีเมล์: pangjung@yahoo.com

retention time เท่ากับ 4.355 นาที ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับจุด peak ของสารมาตรฐาน α-amyrin (4.251 นาที) การทดสอบความสามารถในการยับยั้งเชื้อ *P. acnes* พบว่า ความเข้มข้นต่ำสุดของสารในการยับยั้งเชื้อ *P. acnes* (MIC) เท่ากับ 0.78±0.062 mg/ml และความเข้มข้นต่ำสุดของสารในการทำลายเชื้อ *P. acnes* (MBC) เท่ากับ 1.56±0.017 mg/ml จึงมีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อ *P. acnes* ต่ำกว่า Tetracycline HCL สารสกัดจากเปลือกมังคุด และสารจากสกัดเปลือกต้นชะเอม แต่สูงกว่าสารจากสกัดใบมันสำปะหลัง มีฤทธิ์ในการทำลายเชื้อ *P. acnes* ต่ำกว่า Tetracycline HCL และสารสกัดจากเปลือกมังคุด แต่สูงกว่าสารสกัดจากเปลือกต้นชะเอม และสารสกัดจากใบมันสำปะหลัง เมื่อทำการทดสอบด้วย disc diffusion method (clear zone test) ที่ความเข้มข้นของสารสกัดจากใบสาบเสือ 0.2 mg/ml พบว่าความยาวของรัศมีส่วนใสเท่ากับ 14.67±0.471 mm ซึ่งมีความยาวมากกว่า 6 mm ของ paper disc จึงสามารถยับยั้งแบคทีเรีย α-amyrin ได้ดี

คำสำคัญ: สารสกัดใบสาบเสือ, อัลฟ่า-อะไมริน, เชื้อแบคทีเรียโพรพิโอนิแบคทีเรียมแอคเน่, สิว

Abstract

The objectives of this study were to evaluate the concentration of α-amyrin in an ethanol extracts of Siam weed (*Chromolaena odorata* L.) leaves and to test the bioactivity of an ethanol extracts from the Siam weed leaves with inhibit *P. acnes* (DMST14916). The results of the study showed that concentration of α-amyrin in ethanol extracts of the Siam weed leaves was 163.1 mg/g of dry leave, and retention time was 4.355 minute (peak of standard α-amyrin at 4.251 minute). In the part of the bioactivity test on *P. acnes* showed that minimal inhibitory concentration (MIC) and minimal bactericidal concentration (MBC) of Siam weed leaves extracts were 0.78±0.062 mg/ml and 1.56±0.017 mg/ml, respectively. MIC of Siam weed leaves extracts was higher than that of Tetracycline HCL, mangosteen pericarp extracts and liquorice stem bark extracts, but lower than that of cassava leaves extracts. MBC of Siam

weed leaves extracts was higher than that of Tetracycline HCL and mangosteen pericarp extracts, but lower than that of liquorice stem bark extracts and cassava leaves extracts. In addition, disc diffusion method (clear zone test) at 0.2 mg/ml of Siam weed leaves extracts concentration revealed that radius of clear zone of the Siam weed extracts on *P. acnes* was 14.67±0.471 mm (diameter of paper disc is 6 mm). The results of the study demonstrated that it can be used as a good anti- *P. acnes* agent.

Keywords: Siam weed, *Chromolaena ordorata* L., α-amyrin, *Propiobacterium acnes*

บทนำ

สาบเสือเป็นวัชพืชในพื้นที่เกษตรกรรม จัดเป็นพืชรุกราน เนื่องจากการเจริญเติบโตและขยายพันธุ์ได้รวดเร็วมาก เกษตรกรส่วนใหญ่กำจัดสาบเสือด้วยสารเคมีกำจัดวัชพืช ซึ่งเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของมนุษย์ สารเคมีทางการเกษตรที่ตกค้างในสิ่งแวดล้อม จะก่อให้เกิดอันตรายต่อระบบนิเวศและเข้าสู่ห่วงโซ่อาหาร (Rouw, 1991; Vitelli et al., 2018) ในขณะที่สาบเสือถูกใช้เป็นพืชสมุนไพรมาตั้งแต่สมัยโบราณในการรักษาโรคต่างๆ สาบเสือจึงเป็นพืชที่มีศักยภาพในการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ การเก็บเกี่ยวสาบเสือมาใช้ประโยชน์ยังสามารถลดการใช้สารเคมีกำจัดวัชพืชในพื้นที่เกษตรกรรมลงได้ สาบเสือ (*Chromolaena odorata* L.) เป็นพืชล้มลุก อยู่ในวงศ์ Asteraceae ใบสาบเสือประกอบไปด้วยสารพฤกษเคมีหลายชนิด ใบสาบเสือมีการใช้เป็นยาสมุนไพรรักษาบาดแผลและห้ามเลือด แก้พิษ แก้อักเสบ รักษาอาการน้ำเหลืองเสีย เป็นต้น (Bouda et al., 2001) สารพฤกษเคมีที่พบในใบสาบเสือ สามารถจำแนกเป็นกลุ่มต้านการอักเสบและสารกลุ่มต้านเชื้อแบคทีเรีย (Venkata et al., 2012) สาร α-amyrin ในใบสาบเสือมีคุณสมบัติในการยับยั้งทั้งแบคทีเรียแกรมบวกและแกรมลบ α-amyrin เป็นสารประกอบในกลุ่ม pentacyclic triterpenoid ที่มีหมู่ฟังชั่นทั้งหมู่ hydroxyl (-OH) และหมู่ methyl ($-CH_3$) หมู่ Hydroxyl (-OH) ของสาร terpenoids มีศักยภาพสูงในการเข้าจับตัวกับโปรตีนที่ช่วยยับยั้งกิจกรรมของเอ็นไซม์บนเยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรีย สามารถเข้าทำลายพันธะไฮโดรเจนในโครงสร้างโปรตีนที่เป็น

องค์ประกอบของไบโอฟิล์มของแบคทีเรีย และยังสามารถต้านการอักเสบได้ดี สารกลุ่ม terpenoids มีประสิทธิภาพสูงมากในการยับยั้งแบคทีเรียแกรมบวก (Kiplimo, 2016; Brown, 1998; Harizon et al., 2015; Miklasinska-Majdanik et al., 2018; Brandas et al., 2005; Olajide et al., 2000) ซึ่ง *Propionibacterium acnes* เป็นแบคทีเรียแกรมบวกชนิดหนึ่ง มีรูปร่างเป็นท่อน (rod) ก่อให้เกิดสิว ในปัจจุบันมีการใช้ยาต้านแบคทีเรียกลุ่มสเตียรอยด์ในการรักษาสิว (Luangnarumitchai et al., 2007; Hassan et al., 2015) สารสกัดใบสาบเสือจึงสามารถนำมาใช้ในการยับยั้งเชื้อ *P. acnes* แทนการใช้สารกลุ่มสเตียรอยด์ที่อาจก่อให้เกิดผลข้างเคียง ทั้งยังเป็นการนำวัชพืชที่เป็นปัญหาในพื้นที่การเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์มากขึ้น

วิธีดำเนินการวิจัย

การเตรียมวัตถุดิบและการทำสารสกัด

เก็บรวบรวมใบสาบเสือสด นำมาล้างให้สะอาด อบแห้งที่ 40 °C บดละเอียด สกัดด้วยเทคนิค soxhlet extraction ที่ 40-60 °C ใช้เอทานอล 95% เป็นตัวทำละลาย อัตราส่วนผงแห้งใบสาบเสือ (กรัม) ต่อตัวทำละลาย (มิลลิลิตร) เท่ากับ 1:10 (w/v) นำสารสกัดที่ได้ไประเหยด้วย rotary evaporator ได้สารสกัดเข้มข้น คิดเป็น 2.5% (w/w) ของผงใบสาบเสือแห้งที่ใช้นำมาเป็นวัตถุดิบในการสกัด สารสกัดเข้มข้นที่สกัดได้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

การวิเคราะห์หาความเข้มข้นของสาร α-amyrin ในสารสกัดใบสาบเสือ

ใช้เทคนิค HPLC (high performance liquid chromatography) ไดโอดอาเรย์ (Shimadzu, SPD-10Avp) ความยาวคลื่น 205 nm ควบคุมด้วยระบบและโปรแกรม class VP ในการประมวลผล คอลัมน์ชนิด octadecylsilane (Inertsil ODS-3, 4.6 x 10 mm, 5 μm) สารละลายเฟสเคลื่อนที่ คือ acetonitrile และ phosphoric acid 0.01% (v/v) กับน้ำและ phosphoric acid 0.01% (v/v) อัตราการไหล 1.0 ml/min ปริมาณการฉีดสาร 20 μl retention time ของสารมาตรฐาน α-amyrin เท่ากับ 4.251 นาที โดยดัดแปลงจาก Wagh et al. (2012)

การทดสอบฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสกัดจากใบสาบเสือที่สกัดด้วยเอทานอลต่อเชื้อ *P. acnes*

1. การทดสอบความเข้มข้นต่ำสุดของสารสกัดจากใบสาบเสือในการยับยั้งเชื้อ *P. acnes* (Minimum inhibitory concentration: MIC) ใช้เทคนิค microdilution method ใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ Mueller Hinton broth (MHB) (Merck, Germany) บ่มที่ 37 °C เวลา 24 ชั่วโมง เติมสารละลาย 200 μl ลงใน microtiter plates 100 หลุม ประกอบด้วยสารสกัดจากใบสาบเสือ 20 μl และแบคทีเรียใน MHB ปริมาตร 180 μl ซึ่งผ่าน microdilution method แล้ว (ความเข้มข้น 10^5 CFU/μl) บ่มที่ 37 °C ค่า MIC พิจารณาจากความเข้มข้นต่ำสุดของสารสกัดใบสาบเสือที่ไม่พบความขุ่นในหลุมของ microtiter plates โดยดัดแปลงจาก Basri et al. (2005)

2. การทดสอบความเข้มข้นต่ำสุดของสารสกัดใบสาบเสือในการทำลายเชื้อ *P. acnes* (Minimum bactericidal concentration: MBC) ดูดสารละลายที่ไม่พบความขุ่นจาก microtiter plates ที่บ่มแล้ว มา 100 μl นำมาเลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ Mueller Hinton agar (MHA) (Merck, Germany) บ่มที่ 37 °C เวลา 24 ชั่วโมง ค่า MBC พิจารณาจากค่าความเข้มข้นต่ำสุดของสารสกัดจากใบสาบเสือที่ไม่พบการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย โดยดัดแปลงจาก Basri et al. (2005)

3. การทดสอบฤทธิ์ของสารสกัดใบสาบเสือด้วย disc diffusion method ถ่ายเชื้อ 1 โคโลนี ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ Mueller-Hinton broth (MHB) บ่มที่ 37 °C เวลา 1 ชั่วโมง ปรับความขุ่นด้วย sterile sodium chloride 0.85% ให้ได้ความขุ่นเท่ากับ 0.5 McFarland ความเข้มข้นของเซลล์ในสารละลายเท่ากับ 1-2 x 10^8 CFU/ml (Hudzicki, 2009) swab เชื้อให้ทั่วผิวหน้าอาหาร MHA ใช้ paper disc ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 mm ที่ผ่านการฆ่าเชื้อ (Whatman No.01) เตรียมสารสกัดใบสาบเสือที่ความเข้มข้น 200,000 ppm ดูดสารสกัดปริมาณ 10 μl หยดลงกลาง paper disc วาง paper disc ลงบนผิวหน้าอาหารเลี้ยงเชื้อ บ่มที่ 37 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ค่าบริเวณการยับยั้ง (inhibition zone) ได้จากค่าความยาวของรัศมีของส่วนใส (clear zone) ที่วัดได้ โดยดัดแปลงจาก Adiguzel et al. (2007)

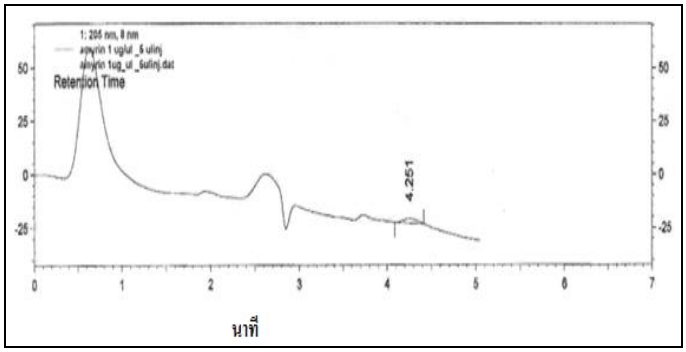
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ผลการทดสอบสาร α-amyrin ในสารสกัดใบสาบเสือด้วยเทคนิค HPLC

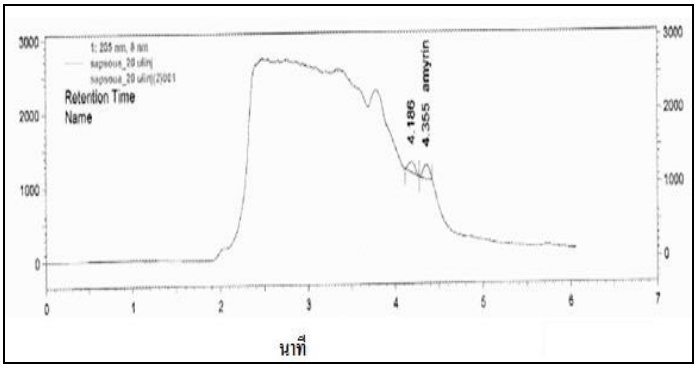
ผลการตรวจสอบหาปริมาณสาร α-amyrin ในสารสกัดใบสาบเสือแห้งที่สกัดด้วยเอทานอล พบว่า สามารถตรวจพบค่าความเข้มข้นของสาร α-amyrin ในสารละลายตัวอย่างเท่ากับ 2.33 μg/μl หรือ 163.1 mg/g ผงแห้งใบสาบเสือ โดยมีค่า retention time เท่ากับ 4.355 นาที (ตารางที่ 1) สาร α-amyrin เป็นสารออกฤทธิ์สำคัญที่พบในสารสกัดจากใบและรากของสาบเสือ (Venkata et al., 2012) α-amyrin เป็นสารพฤกษเคมีในกลุ่ม pentacyclic triterpines พบได้ในพืชหลายๆ ชนิด (Sporn et al., 2011; Oliveira et al., 2005) สาบเสือเป็นพืชในวงศ์ Asteraceae ซึ่งสามารถพบสาร α-amyrin ในพืชวงศ์ Asteraceae ได้ (Garcia-Risco et al., 2017)

ตารางที่ 1 ความเข้มข้นของ α-amyrin ในสารสกัดจากใบสาบเสือ

ปริมาณที่ฉีด (μl)	ความเข้มข้น (μg)	ความเข้มข้นต่อน้ำหนักแห้งวัตถุดิบ (mg/g)	Retention time (นาที)		Peak area
			สารมาตรฐาน	สารสกัด	
20	46.6	163.1	4.251	4.355	920591
			P-value ≤ 0.05		



(ก)



(ข)

ภาพที่ 1 การทดสอบสาร α-amyrin ในสารสกัดจากใบสาบเสือ ด้วยเทคนิค HPLC
(ก) peak area และ retention time ของ α-amyrin มาตรฐาน
(ข) peak area และ retention time ของ α-amyrin ในสารสกัดใบสาบเสือ

2. ผลการทดสอบฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสกัดจากใบสาบเสือที่สกัดด้วยเอทานอลต่อเชื้อ *P. acnes*

2.1 ผลการทดสอบความเข้มข้นต่ำสุดของสารสกัดจากใบสาบเสือในการยับยั้งและทำลายเชื้อ *P. acnes*

ผลการทดสอบความเข้มข้นต่ำสุดของสารสกัดจากใบสาบเสือในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *P. acnes* (MIC) พบว่า ความเข้มข้นต่ำสุดของสารสกัดจากใบสาบเสือในการยับยั้งเชื้อ *P. acnes* เท่ากับ 0.78±0.062 mg/ml เมื่อเปรียบเทียบค่า MIC ของสารสกัดจากใบสาบเสือกับพืชชนิดอื่น พบว่า สารสกัดจากใบสาบเสือมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อ

แบคทีเรีย *P. acnes* สูงกว่าสารสกัดจากใบมันสำปะหลัง แต่มีประสิทธิภาพต่ำกว่าสารสกัดจากเปลือกผลมังคุดและสารสกัดจากเปลือกต้นชะเอม และเมื่อเปรียบเทียบกับ Tetracycline HCL พบว่า สารสกัดจากใบสาบเสือมีประสิทธิภาพต่ำกว่า Tetracycline HCL 97.5 เท่า (ตารางที่ 2) ซึ่งเป็นปกติที่ยาปฏิชีวนะสามารถออกฤทธิ์ในการยับยั้งแบคทีเรียได้ในความเข้มข้นที่ต่ำกว่าสารสกัดจากพืช

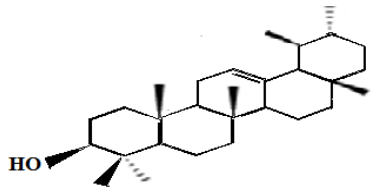
ผลการทดสอบความเข้มข้นต่ำสุดของสารสกัดจากใบสาบเสือในการทำลายเชื้อแบคทีเรีย *P. acnes* (MBC) พบว่า ความเข้มข้นต่ำสุดของสารสกัดจากใบสาบเสือในการทำลายเชื้อ *P. acnes* เท่ากับ 1.56±0.017 mg/ml เมื่อเปรียบเทียบค่า MBC ของสารสกัดจากใบสาบเสือกับพืชชนิดอื่น พบว่า สารสกัดจากใบสาบเสือมีประสิทธิภาพในการทำลายเชื้อแบคทีเรีย *P. acnes* สูงกว่าสารสกัดจากเปลือกต้นชะเอมและสารสกัดจากใบมันสำปะหลัง แต่มีประสิทธิภาพต่ำกว่าสารสกัดจากเปลือกผลมังคุด และเมื่อเปรียบเทียบกับ Tetracycline HCL พบว่า สารสกัดจากใบสาบเสือมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *P. acnes* ต่ำกว่ายา Tetracycline HCL 97.5 เท่า (ตารางที่ 2)

α-amyrin เป็นสาระสำคัญชนิดหนึ่งในใบสาบเสือที่มีศักยภาพในการยับยั้งและทำลายแบคทีเรียได้ดี สาบเสือถูกนำมาใช้เป็นพืชสมุนไพรป้องกันและรักษาอาการติดเชื้อ *P. acn es* ที่ผิวหนังที่ก่อให้เกิดสิว α-amyrin มีฤทธิ์ในการยับยั้งแบคทีเรียชนิดนี้ได้ดีมาก มีโครงสร้างเป็นวงเบนซีน 5 วง มีหมู่ฟังก์ชัน คือ หมู่ไฮดรอกซิล (-OH) 1 ตำแหน่ง (ภาพที่ 2) จะทำลาย *P. acnes* ซึ่งเป็นแบคทีเรียแกรมบวกได้ดี โดยเข้าทำลายที่ผนังเซลล์ของแบคทีเรียแกรมบวกซึ่งมีความหนาและความซับซ้อนน้อยกว่าแกรมลบ และยังทำให้ความสามารถในการลำเลียงผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ (permeability) เพิ่มสูงขึ้น สูญเสียสมบัติความเป็นเยื่อเลือกผ่านควบคุมการเข้า-ออกของสารได้ไม่ดี (Venkata et al., 2012; Parsaeimehr et al., 2017; Stefanovic and Comic, 2011)

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบความเข้มข้นต่ำสุดของสารสกัดจากใบสาบเสือ พืชชนิดอื่น และยาปฏิชีวนะในการยับยั้งและทำลายเชื้อแบคทีเรีย *P. acnes* (MIC และ MBC)

สารทดสอบ	MIC (mg/ml)	MBC (mg/ml)
สารสกัดจากใบสาบเสือ*	0.78±0.062	1.56±0.017
สารสกัดจากเปลือกผลมังคุด*	0.011	0.191
สารสกัดจากเปลือกต้นชะเอม*	0.262	>2.052
สารสกัดจากใบมันสำปะหลัง*	1.253	2.503
Tetracycline HCL	0.0082	0.0082

หมายเหตุ: [1]Khumsupan & Gritsanapan (2014), [2]Julianti et al. (2017), 3 Mustarichie et al. (2020)
* ใช้ตัวทำละลาย คือ เอทานอล



ภาพที่ 2 โครงสร้างโมเลกุลของ α-amyrin (pentacyclic triterpenoid)

2.2 ผลการทดสอบฤทธิ์ของสารสกัดใบสาบเสือด้วย disc diffusion method

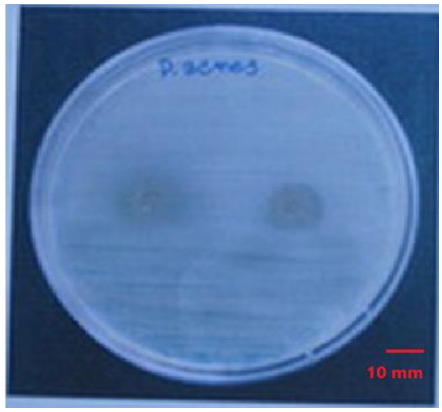
สารสกัดจากใบสาบเสือที่สกัดด้วยเอทานอลเป็นตัวทำละลายที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 200,000 ppm หรือ 0.2 mg/ml สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *P. acnes* ได้ โดยมีบริเวณการยับยั้ง (inhibition zone) ที่วัดจากความยาวของรัศมีของส่วนใส (clear zone) เท่ากับ 14.67±0.471 mm เมื่อเปรียบเทียบกับการยับยั้งเชื้อ *P. acnes* ของสารสกัดจากพืชชนิดอื่น พบว่า มีประสิทธิภาพในการยับยั้งสูงกว่าสารสกัดจากใบมันสำปะหลัง แต่มีประสิทธิภาพในการยับยั้ง ต่ำกว่าสารสกัดจากเปลือกผลมังคุดและสารสกัดจากเปลือกต้นชะเอม และเมื่อเปรียบเทียบกับยา Tetracycline HCL พบว่า มีประสิทธิภาพในการยับยั้งต่ำกว่า Tetracycline HCL 195 เท่า (ตารางที่ 3 และภาพที่ 3) สาร α-mangostin เป็นสารออกฤทธิ์ที่สำคัญในสารสกัดจากเปลือกผลมังคุด มีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) เป็นหมู่ฟังก์ชั่นถึง 3 ตำแหน่ง และมีหมู่เมทิล ($-CH_3$) ถึง 4 ตำแหน่ง ย่อมมีประสิทธิภาพสูงมากในการเข้า

ทำลายส่วนห่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรีย ขณะที่สารออกฤทธิ์ที่สำคัญในสารสกัดจากเปลือกต้นชะเอม เช่น vanillic acid (2 หมู่ไฮดรอกซิล) caffeic acid (3 หมู่ไฮดรอกซิล) gallic acid (4 หมู่ไฮดรอกซิล) protocatechuic acid (3 หมู่ไฮดรอกซิล) ρ-coumaric acid (2 หมู่ไฮดรอกซิล) และ ferulic acids (2 หมู่ไฮดรอกซิล) เป็นสารกลุ่ม phenolic acids ที่มีหมู่คาร์บอกซิล (-COOH) แสดงความเป็นกรด ส่วน Tetracycline HCL มีหมู่ไฮดรอกซิลถึง 5 หมู่ อยู่ในโครงสร้าง (Pothitirat et al., 2009; Aisha et al., 2012; Abass, 2018) จึงสามารถยับยั้งและทำลายแบคทีเรียได้ในความเข้มข้นที่ต่ำกว่า α-amyrin ในใบสาบเสือ อย่างไรก็ตาม สารสกัดจากใบสาบเสือยังมีสารพฤกษเคมีอื่นๆ ที่เป็นประโยชน์หลายด้าน จำนวน 42 ชนิด เช่น สาร 4, 5, 6, 7-tetramethoxyflavone ซึ่งมีฤทธิ์ในการห้ามเลือด สาร Sakuranin ซึ่งมีฤทธิ์ต้านการอักเสบ สาร Ethyl linolenate ซึ่งมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ เป็นต้น (Venkata et al., 2012; Triratana et al., 1991) สารสกัดจากใบสาบเสือจึงมีศักยภาพในการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ต่อไป เช่น เจลแต้มสิว น้ำยาล้างผักผลไม้ ฯลฯ ที่มีความปลอดภัยต่อผู้บริโภคและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบค่าบริเวณการยับยั้งเชื้อ *P. acnes* ของสารสกัดจากใบสาบเสือพืชชนิดอื่น และยาปฏิชีวนะ (วิธี disc diffusion)

สารทดสอบ	ความเข้มข้น (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร)	ค่าบริเวณการยับยั้ง (ความยาวของรัศมีส่วนใส) (มิลลิเมตร)
สารสกัดจากใบสาบเสือ*	0.20	14.67±0.47
สารสกัดจากเปลือกผลมังคุด*	0.01	33.60±0.50[1]
สารสกัดจากเปลือกต้นชะเอม*	0.02	17.20[2]
สารสกัดจากใบมันสำปะหลัง*	0.20	0.30[3]
Tetracycline HCL	0.25	18.90[2]

หมายเหตุ: [1] อดิเทพชัยย์การณ์ ภาชนะวรรณ และ ปราณีต งามเสน่ห์ (2553).
[2] Julianti et al. (2017), [3] Mustarichie et al. (2020)
* ใช้ตัวทำละลาย คือ เอทานอล



ภาพที่ 3 การทดสอบค่าบริเวณการยับยั้งเชื้อ *P. acnes* ของสารสกัดจากใบสาบเสือ

สรุปผลการวิจัย

สารสกัดจากใบสาบเสือที่สกัดโดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย มีปริมาณสาร α-amyrin เท่ากับ 2.33 μg/μl หรือ 163.1 mg/g กรัมผงแห้งใบสาบเสือ ผลการทดสอบค่าความเข้มข้นต่ำสุดในการยับยั้ง (MIC) และค่าความเข้มข้นต่ำสุดในการทำลาย (MBC) เชื้อ *P. acnes* แสดงให้เห็นว่าสารสกัดจากใบสาบเสือมีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อ *P. acnes* ต่ำกว่า Tetracycline HCL สารสกัดจากเปลือกมังคุด และสารจากสกัดเปลือกต้นชะเอม แต่สูงกว่าสารจากสกัดใบมันสำปะหลัง มีฤทธิ์ในการทำลายเชื้อ *P. acnes* ต่ำกว่า Tetracycline HCL และสารสกัดจากเปลือกมังคุด แต่สูงกว่าสารสกัดจากเปลือกต้นชะเอม และสารสกัดจากใบมันสำปะหลัง นอกจากนี้ผลการทดสอบด้วย disc diffusion method (clear zone test) ยังพบว่ามีความยาวของรัศมีส่วนใสมากกว่า 6 mm ซึ่งเป็นความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางของ paper disc จึงสามารถยับยั้งแบคทีเรีย α-amyrin ได้ดี สารสกัดจากใบสาบเสือสามารถนำไปใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่ใช้ในการยับยั้งเชื้อ *P. acnes* ได้ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่สนับสนุนทุนสำหรับการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

อดิเทพชัยย์การณ์ ภาชนะวรรณ และ ปราณีต งามเสน่ห์. (2553). ประสิทธิภาพของสารสกัดจากเปลือกมังคุดในการยับยั้งเชื้อ *Streptococcus agalactiae* ที่เป็นแบคทีเรียก่อโรคในปลา. *วารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมง, 4*(1), 103-110.

Abass, A. M. (2018). Preparation and application of tetracycline hydrochloride liquid membrane electrodes. *Journal of Al-Nahrain University (Science), 21*(2), 73-80.

Adiguzel, A., Ozer, H., Killic, H., & Cetin, B. (2007). Screening of antimicrobial activity of essential oil and methanol extract of *Satureja hortensis* on foodborne bacteria and fungi. *Czech Journal of Food Sciences, 25*(2), 81-89.

Aisha, A. F. A., Abu-Salah, K. M., Ismail, Z., & Majid, A. M. S. A. (2012). In vitro and in vivo anti-colon cancer effects of *Garcinia mangostana* xanthones extract. *BMC Complementary and Alternative Medicine, 12*(104), 1-10.

Basri, D. F., & Fan, S. H. (2005). The potential of aqueous and acetone extracts of galls of *Quercus infectoria* as antibacterial agents. *Indian Journal of Pharmacology, 37*(1), 26-29.

Bouda, H., Tapondjou, L. A., Fontem, D. A., & Gumedzoe, M. Y. D. (2001). Effect of essential oils from leaves of *Ageratum conyzoides*, *Lantana camara* and *Chromolaena odorata* on the mortality of *Sitophilus zeamais* (Coleoptera, Curculionidae). *Journal of Stored Products Research, 37*(2), 103-109.

Brandas, S. S., Vik, A., Friedman, L., & Koiter, R. (2005). Biofilm: the matrix revisited. *Trends Microbiology*, *13*(1), 20-26.

Brown, G. D. (1998). The biosynthesis of steroids and triterpenoids. *Natural Product Reports journal*, 15, 653-695.

Garcia-Risco, M. R., Mouhid, L., Salas-Perez, L., Lopez-Padilla, A., Santoyo, S., Jaime, L., Molina, A. R., Reglero, G., & Fornari, T. (2017). Biological activities of Asteraceae (*Achillea millefolium* and *Calendula officinalis*) and Lamiaceae (*Melissa officinalis* and *Origanum majorana*) plant extracts. *Plant Foods for Human Nutrition, 72*(1), 96-102.

Harizon, Pujiastutib, B., Kurniab, D., Sumiarsab, D., Shionoc Y., & Supratman, U. (2015). Antibacterial triterpenoids from the bark of *Sonneratia alba* (Lythraceae). *Natural Product Communications*, *10*(2), 277-280.

Hassan, I. A. S., Hassan, M. A., Embarek, M. S., Attallah, D. A., Mokhtar, M. A. E., & Eldin, G. M. A. (2015). Antibiotic susceptibility patterns of *Propionibacterium acnes* isolated from *Acne Vulgaris* in Assiut University hospitals, Egypt. *Egyptian Journal of Medical Microbiology, 24*(4), 67-72.

Hudzicki, J. (2009). *Kirby-Bauer disk diffusion susceptibility test protocol*. American Society for Microbiology, Washington, D.C.

Julianti, E., Rajah, K. K., & Fidrianny, I. (2017). Antibacterial activity of ethanolic extracts of Cinnamon bark, honey, and their combination effects against acne causing bacteria. *Scientia Phamaceutica, 85*(2), 1-8.

Khumsupan, P., & Gritsanapan, W. (2014). Anti-acne activity of *Garcinia mangostana* L.: a review. *Plant Science Today*, *1*(3), 147-150.

Kiplimo, J. J. (2016). A review on the biological activity and the triterpenoids from the genus Vernonia (Asteraceae Family). *International Research Journal of Pure and Applied Chemistry, 11*(3), 1-14.

Luangnarumitchai, S., Lamlertthon, S., & Tiyaboonchai, W. (2007). Antimicrobial activity of essential oils against five strains of *Propionibacterium acnes*. *Mahidol University Journal of Pharmaceutical Sciences*, *34*(1-4), 60-64.

Miklasinska-Majdanik, M., Kepa, M., Wojtyczka, R. D., Idzik, D., & Wasik, T. J. (2018). Phenolic compounds diminish antibiotic resistance of *Staphylococcus aureus* clinical strains. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *15*(10), 1-18.

Mustarichie, R., Sulistyaningsih, S., & Runadi, D. (2020). Antibacterial activity test of extracts and fractions of cassava leaves (*Manihot esculenta* Crantz) against clinical isolates of *Staphylococcus epidermidis* and *Propionibacterium acnes* causing acne. *Hindawi International Journal of Microbiology*, DOI:10.1155/2020/1975904.

Olajide, O. A., Awe, S. O., Makinde, J. M., Ekhelar, A. I., Olusola, A., Morebise, O., & Okpako, D. T. (2000). Studies on the anti-inflammatory, antipyretic and analgesic properties of *Alstonia boonei* stem bark. *The Journal of Ethnopharmacology, 71*(1-2), 179-186.

Oliveira, F. A., Chaves, M. H., Almeida, F. R., Lima, R. C., Jr, Silva, R. M., Maia, J. L., Brito, G. A., Santos, F. A., & Rao, V. S. (2005). Protective effect of alpha- and beta-amyrin, a triterpene mixture from *Protium heptaphyllum* (Aubl.) March. trunk wood resin, against acetaminophen-induced liver injury in mice. *Journal of Ethnopharmacology*, 98, 103-108.

Parsaeimehr, A., Martinez-Chapa, *S. O.,* & Parra-Saldivar, R. (2017). Medicinal plants versus skin disorders: a survey from ancient to modern herbalism clinical microbiology. *Diagnosis, Treatments and Prophylaxis of infections*, 2, 205-221.

Pothitirat, W., Chomnawang, M. T., & Gritsanapan, W. (2009). Anti-acne inducing bacteria activity and α-mangostin content of *Garcinia mangostana* fruit rind extracts from different provenience. *Songklanakarin Journal of Science and Technology, 31*(1), 41-47.

Rouw, A. D. (1991). The invasion of *Chromolaena odorata* (L.) King & Robinson (ex *Eupatorium odoratum*), and competition with the native flora, in the rain forest zone, south-west cote d' Ivoire. *Journal of Biogeography*, 18, 13-23.

Sporn M. B., Liby, K. T., Yore, M. M., Fu L., Lopchuk, J. M., & Gribble, G. W. (2011). New synthetic triterpenoids: potent agents for prevention and treatment of tissue injury caused by inflammatory and oxidative stress. *Journal of Natural Products*, 74, 537-545.

Stefanovic, O., & Comic, L. (2011). Inhibitory effect of *Cytisus nigri*cans L. and *Cytisus capitatus* Scop. on growth of bacteria. *African Journal of Microbiology Research*, *5*(27), 4725-4730.

Triratana, T., Suwannuraks, R., & W. Naengchomnong. (1991). Effect of Eupatorium odoratum on blood coagulation. *Journal of the Medical Association of Thailand*, *74*(5), 283-287.

Venkata, R. B., Samuel, L. A., Saradhi, M. P., Rao, B. N., Krishna, A. N. V., Sudhakar, M., & Radhakrishnan, T. M. (2012). Antibacterial, antioxidant activity and GC-MS analysis of *Eupatorium odoratum*. *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research, 5*(2), 99-106.

Vitelli, J. S., Panetta, F. D., Madigan, B. A., & Van Haaren, P. E. (2018). Chemical options for the control of Siam Weed (*Chromolaena odorata*) in natural ecosystems. *Ecological Management & Restoration, 19*(1), 88-93.

Wagh, S. J., Gujar, J. G., & Gaikar, V. G. (2012). Experimental and modeling studies on extraction of amyrins from latex of mandar (*Calotropis gigantea*). *Indian Journal of Chemical Technology*, 19, 427-433.

การจำแนกข้อมูลเพื่อวินิจฉัยความเสี่ยงการเป็นโรคเบาหวานโดยใช้เทคนิควิธีแบบร่วมกันตัดสินใจและวิธีเลือกคุณลักษณะเด่นไปข้างหน้า

DATA CLASSIFICATION FOR DIABETES RISK DIAGNOSIS USING MAJORITY VOTING ENSEMBLE METHOD AND FORWARD FEATURE SELECTION METHOD

นพรัตน์ นนท์ศิริ[1,*], พิศณุ ชัยจิตวณิชกุล[2] และ กริช สมกันธา[1]
Nopparat Nonsiri[1,*], Pitsanu Chaichitwanidchakol[2] and Krit Somkantha[1]

[1] สาขาวิทยาการข้อมูลและเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
[2] สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
[1] Data Science and Information Technology, Faculty of Science, Udon Thani Rajabhat University
[2] Computer Science and Information Technology, Faculty of Science, Udon Thani Rajabhat University

Received: 9 March 2022 Accepted: 24 June 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาขั้นตอนวิธีในการจำแนกข้อมูลเพื่อวินิจฉัยความเสี่ยงการเป็นโรคเบาหวาน กรณีข้อมูลผู้ป่วยโรคเบาหวานโรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชบ้านดุง เป็นข้อมูลที่เกิดจากการทบทวนเวชระเบียนผู้ป่วยโรคเบาหวานย้อนหลังปี 2557-2561 ซึ่งลักษณะข้อมูลดังกล่าวเป็นข้อมูลที่มีมิติสูง เนื่องจากคุณลักษณะของข้อมูลนั้นมีหลายคุณลักษณะ และบางคุณลักษณะไม่มีความสัมพันธ์ต่อการจำแนกข้อมูล ดังนั้นจำเป็นต้องมีการเลือกคุณลักษณะเบื้องต้น เพื่อลดความซ้ำซ้อนของข้อมูลและเพิ่มประสิทธิภาพการจำแนกความถูกต้องของคลาส (Class) ในการแก้ปัญหาเหล่านี้ผู้วิจัยได้ใช้วิธีเลือกคุณลักษณะเด่นไปข้างหน้า (Forward Selection) และวิธีร่วมกันตัดสินใจจากต้นไม้ตัดสินใจ 3 โมเดล เพื่อเลือกคุณสมบัติที่เหมาะสม (Voting Tree) วัดประสิทธิภาพคุณลักษณะด้วยวิธีครอสวาลิเดชั่น (Cross Validation) จำแนกข้อมูลด้วยขั้นตอนวิธีร่วมกันตัดสินใจ (Voting Ensemble), วิธีเกรเดียนท์บูตทรีส์ (Gradient Boosted), วิธีต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree), วิธีแรนดอม

* ผู้ประสานงาน: นพรัตน์ นนท์ศิริ
อีเมล์: Nopparat.nonsiri@gmail.com

ฟอเรสต์ (Random Forest), วิธีนาอีฟเบย์ (Naïve Bayes), วิธีซัพพอร์ทเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine), วิธีเพื่อนบ้านที่ใกล้เคียงกันที่สุด (K-Nearest Neighbor) วัดประสิทธิภาพแบบจำลอง (Accuracy) ด้วยวิธีครอสวาลิเดชั่น จากการทดสอบความถูกต้องในการจำแนกข้อมูล ผลการเปรียบเทียบพบว่า วิธีร่วมกันตัดสินใจให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าการใช้เทคนิคแบบโมเดลเดี่ยว (Single Model) ทั้งนี้เพราะเมื่อนำตัวจำแนกข้อมูลที่หลากหลายมาช่วยกันตัดสินใจด้วยโหวตเสียงข้างมากจะช่วยในการลดปัญหาการเกิดความโน้มเอียงของข้อมูล (Bias) และการเลือกใช้ตัวจำแนกที่ดีแต่ละตัวช่วยกันเสริมประสิทธิภาพในการจำแนกข้อมูล ทำให้โมเดลที่ได้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น นอกจากนั้นยังพบอีกว่าการเลือกใช้คุณลักษณะที่เหมาะสมด้วยวิธีเลือกคุณลักษณะเด่นไปข้างหน้าที่ผ่านวิธีร่วมกันตัดสินใจทำให้โมเดลมีประสิทธิภาพในการจำแนกเพิ่มมากยิ่งขึ้น เหมาะสมที่จะนำโมเดลดังกล่าวนำไปใช้เป็นแนวทางในการสนับสนุนการตัดสินใจทางการแพทย์ในการวินิจฉัยการเป็นโรคเบาหวานอย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: วิธีแบบร่วมกันตัดสินใจ, การคัดเลือกคุณลักษณะที่เหมาะสม, ความเสี่ยงการเป็นโรคเบาหวาน

Abstract

The purpose of this research was to find an algorithm to classify data for diagnosing diabetes risk. Diabetes Patient Information, Somdej Phrayuparaj Ban Dung Hospital. The data were from the review of medical records of patients with diabetes in the past 2014-to 2018. The nature of such information was high-dimensional information. Because there were many attributes and some attributes were not related to the classification of data. Therefore, a preliminary selection of features was required to reduce data redundancy and optimize the classification accuracy of classes (Class) to solve these problems.

The researcher used the Forward Selection method and how to make decisions together from 3 model decision trees to select the appropriate properties (Voting Tree) to measure performance with Cross-Validation, Voting

Ensemble, Gradient Boosted, Decision Tree method. Tree Method, Random Forest Method, Naïve Bayes Method, Support Vector Machine Method, Nearest Neighbor Method (K-Nearest Neighbor). Measure model performance (Accuracy) by cross-validation method by testing the accuracy of data classification. The comparison results found that a collaborative decision-making approach yields better results than a single model technique.

This was because when using a variety of classifiers to make decisions with a majority vote; help to reduce bias, and choosing a good classifier enhances the efficiency of data classification, make the model more efficient. It also found that the selection of suitable attributes through a co-op decision-making approach made the model more efficient in its classification. It is appropriate to use this model as a guideline for effective medical decision support in the diagnosis of diabetes.

Keywords: Majority Voting Ensemble, Diabetes Risk Diagnosis, Features Selection

บทนำ

จากข้อมูลของสหพันธ์เบาหวานนานาชาติ พบผู้ป่วยโรคเบาหวานทั่วโลกราว 425 ล้านคนในปี 2560 และคาดการณ์ว่าจะมีจำนวนผู้ป่วยด้วยโรคนี้มากถึง 520 ล้านคนในปี 2578 (Li et al., 2017) สำหรับสถานการณ์โรคเบาหวานในประเทศไทยพบว่า คนไทยช่วงอายุ 20-79 ปี เป็นโรคเบาหวานร้อยละ 8.3 หรือหมายความว่าใน 100 คน จะพบคนที่ป่วยเป็นโรคเบาหวานประมาณ 8 คน และจำนวนมากกว่าครึ่งไม่ทราบว่าตนเองเป็นโรคเบาหวาน ซึ่งผู้ที่อยู่ในกลุ่มเสี่ยงต่อภาวะการเป็นเบาหวาน สามารถพัฒนาการเกิดโรคเบาหวานประเภทที่ 2 ได้ และพบว่าผู้ป่วยโรคเบาหวานมีภาวะแทรกซ้อน เนื่องจากไตเสื่อมสูงสุดถึงร้อยละ 43.9 ต้อกระจกร้อยละ 42.8 และจอประสาทตาเสื่อมร้อยละ 30.7 และพบมีภาวะแทรกซ้อนจากโรคหัวใจขาดเลือดและโรคหลอดเลือดสมองร้อยละ 8.1 และ 4.4 ตามลำดับ โดยโอกาสของคนจะเป็นเบาหวานจะมีค่าน้ำตาลเกินค่าปกติ คือ 126 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร จะถือว่าเป็นโรคเบาหวาน ซึ่งโรคนี้จะทำให้ภูมิคุ้มกันของร่างกายลดลง (WHO & IDF, 2006)

โรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราช เป็นโรงพยาบาลชุมชนประจำอำเภอสังกัดกระทรวงสาธารณสุข มีขีดความสามารถระดับปฐมภูมิ (Primary Care) และระดับทุติยภูมิ (Secondary Care) ซึ่งปัจจุบันกำลังประสบปัญหาโรคเรื้อรังที่เกี่ยวข้องกับการไม่ปฏิบัติตนตามพฤติกรรมสุขภาพที่เหมาะสมของคนในพื้นที่ เช่น รับประทานอาหารที่มีประโยชน์อย่างเหมาะสม ออกกำลังกายแบบแอโรบิค จากสภาวการณ์ปัจจุบันนี้เองก่อเกิดปัจจัยเสี่ยงด้านสุขภาพมากมาย ทำให้ประชาชนในท้องถิ่นมีแนวโน้มเจ็บป่วยด้วยโรคเรื้อรังมากขึ้นนั่นก็คือโรคเบาหวานซึ่งเป็นหนึ่งในโรคที่สำคัญที่ทำให้เกิดภาวะแทรกซ้อนของโรคอื่น อีกทั้งทางโรงพยาบาลยังขาดแคลนบุคลากรทางการแพทย์โดยเฉพาะทีมบริการเฉพาะโรคเมื่อโรงพยาบาลออกบริการชุมชน

ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงเห็นถึงปัญหาและความสำคัญในการศึกษาสถานการณ์สุขภาพของผู้ป่วยโรคเบาหวานในโรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชบ้านดุง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหารูปแบบที่เหมาะสมในการจำแนกข้อมูลเพื่อวินิจฉัยความเสี่ยงการเป็นโรคเบาหวานและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธี ในการจำแนกข้อมูลความเสี่ยงการเป็นโรคเบาหวานด้วยวิธีแบบร่วมกันตัดสินใจและการคัดเลือกคุณลักษณะที่เหมาะสม เพื่อที่จะนำข้อมูลดังกล่าวไปพัฒนาระบบวินิจฉัยความเสี่ยงการเป็นโรคเบาหวาน ให้สามารถตรวจสอบความเสี่ยงในการเกิดโรคเบื้องต้น แล้วนำผลไปใช้กำหนดแนวทางส่งเสริมสุขภาวะที่ดีของกลุ่มผู้ที่มีแนวโน้มที่จะป่วยเป็นโรคเบาหวานในอนาคต ตลอดทั้งการวางแผนรองรับการรักษาโรคเบาหวาน ซึ่งนับเป็นเรื่องที่สำคัญที่จะต้องเร่งรัด ดำเนินการ และจะต้องให้ความสนใจในสาเหตุหรือปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อการเกิดโรค หากผู้ป่วยเกิดพัฒนาเป็นโรคเบาหวานประเภทที่ 2 จะทำ ให้มีอัตราการเสียชีวิตเพิ่มขึ้น ถึงร้อยละ 90 เนื่องจากเกิดอาการแทรกซ้อนของโรคอื่น ๆ (Kazerouni et al., 2020)

วิธีการดำเนินวิจัย

ในปัจจุบันการเรียนรู้ด้วยเครื่องมีหลายรูปแบบคือแบบผู้สอน (Supervised learning) แบบไม่มีผู้สอน (Unsupervised learning) และแบบการเรียนรู้เกิดมาจากการปฏิสัมพันธ์ (Reinforcement learning) ซึ่งผู้วิจัยได้ศึกษาเทคนิคเพื่อการจำแนกกลุ่มของข้อมูลประกอบด้วย วิธีร่วมกันตัดสินใจ, วิธีเกรเดียนท์บูตทรีส์, วิธีต้นไม้ตัดสินใจ, วิธีแรนดอมฟอเรสต์, วิธีนาอีฟเบย์, วิธีซัพพอร์ทเวกเตอร์แมชชีนและวิธีความใกล้เคียงกันที่สุด เนื่องจากเทคนิค

ดังกล่าว เป็นเทคนิคที่นิยมและเหมาะกับการจำแนกข้อมูลที่เป็นหมวดหมู่ข้อมูลต่าง ๆ ที่ถูกแนบอยู่ในแต่ละเรคคอร์ดของชุดข้อมูล โดยการเรียนรู้แบบมีผู้สอนจะแตกต่างกับการเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอนที่จะไม่ทราบถึงหมวดหมู่ของข้อมูล ตัวอย่างเช่น ในการวิเคราะห์ข้อมูลโรคเบาหวานที่ไม่มีข้อมูลที่บ่งบอกว่าเป็นโรคเบาหวาน ก็จะนำข้อมูลปัจจัยไปวิเคราะห์หาความเสี่ยงว่าเป็นโรคเบาหวานหรือไม่ เป็นต้น และข้อมูลที่ผู้วิจัยได้ทำการรวบรวมนั้นมีหมวดหมู่ของข้อมูลที่บ่งบอกว่าเป็นโรคเบาหวานอย่างชัดเจน ผู้วิจัยจึงได้เลือกใช้เทคนิควิธีดังกล่าวข้างต้น โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. วิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support vector machine) เป็นวิธีที่ใช้จำแนกค่าคุณลักษณะของ 2 กลุ่มโดยจะสร้างเส้นแบ่ง (Plane) ที่ เป็นเส้นตรงขึ้นมา และเพื่อให้ทราบว่าเส้นตรงที่แบ่ง 2 กลุ่ม ออกจากกันนั้น เส้นตรงใดที่เป็นเส้นที่ดีที่สุด โดย เส้นตรงนั้นจะเพิ่มเส้นขอบ (margin) ออกไปทั้งสองข้างออกไปจนกว่าจะสัมผัส กับค่าของกลุ่มตัวอย่างที่ใกล้ที่สุดโดยอาศัยการปรับค่าสมการด้วยวิธีการเคอร์เนล (Kazerouni et al., 2020) ในการหารูปแบบและความสัมพันธ์ เคอร์เนลฟังก์ชันนั้น มีอยู่เป็นจำนวนมากที่รู้จักกันดี เช่น Polynomial, RBF หรือ Sigmoid โดยผู้วิจัยได้เลือกใช้เคอร์เนลรวมแบบดอท หาได้จากสมการดังนี้

$$(x_{i,}y_{i,}),\ \ldots,(x_{n,}y_{n,})\ \text{เมื่อ}\ x\ \in\ R^{m},\ y \in \{+1,-1\} \quad (1)$$

$$(w^{t}\ *x)+b \quad (2)$$

$$(w^{t}*x)+b>0\ \text{ถ้า}\ y_{i}=+1$$

$$(w^{t}*x)+b<0\ \text{ถ้า}\ y_{i}=\ -1$$

$(x_{i,}y_{i,}),\ \ldots,(x_{n,}y_{n,})$ แทน ข้อมูลกลุ่มตัวอย่าง

w^{t} แทน ค่าน้ำหนักที่เชื่อมโยงจาก feature

b แทน ค่าโน้มเอียง (bias)

n แทน จำนวนข้อมูลตัวอย่าง

m แทน จำนวนมิติข้อมูล

y แทน ผลลัพธ์กลุ่มข้อมูลมีค่า +1 หรือ -1

2. วิธีเพื่อนบ้านที่ใกล้เคียงกันที่สุด (K-Nearest Neighbor) เป็นวิธีการหนึ่งสำหรับแก้ปัญหา การประมาณค่าที่ไม่ใช่พารามิเตอร์สำหรับการจำแนกกลุ่ม (Kazerouni et al., 2020) ซึ่งเหมาะกับข้อมูลที่เป็นรูปร่างที่ดี หลักการก็คือจะวัดค่าของข้อมูลที่ใกล้ที่สุด เพื่อหาจุดได้เท่ากับจำนวน k จนกว่าจะเจอข้อมูลจำนวน k 5 ตัว จึงจะหยุด จากนั้นก็ทำการจำแนกว่ามันอยู่ใกล้กับข้อมูลจุดไหนมากสุดและหาค่าได้จากสมการดังนี้

$$Distance = \sqrt{(w_1 - x_1)^2 + (w_2 - x_2)^2 + (w_i - x_i)^2} \quad (3)$$

โดย Distance คือผลรวมระยะทางของ x_i

w_i คือจำนวนของแอตทริบิวต์ข้อมูล Test ทั้งหมดของชุดข้อมูล

x_i คือจำนวนแอตทริบิวต์ข้อมูล Train ทั้งหมดของชุดข้อมูล

3. วิธีต้นไม้ตัดสินใจ (Decision tree) เป็นการจำแนกค่าคุณลักษะของข้อมูลโดยจะประกอบด้วยบัพ (node) และ กิ่ง (link) ที่ต่อกับบัพ บัพที่ปลายสุดจะเรียก ว่าบัพใบ (leaf) ต้นไม้ตัดสินใจจะทำโดยสร้างบัพทีละบัพเพื่อตรวจสอบคุณสมบัติของตัวอย่าง แล้วแยกตัวอย่างลงตามค่าของกิ่ง ทำจนกระทั่งตัวอย่างในใบแต่ละใบอยู่ในประเภทเดียวกันทั้งหมดโดย s เป็นเซตของข้อมูลซึ่งประกอบด้วยข้อมูล s เรคคอร์ด n เป็นจำนวนกลุ่มทั้งหมดที่ต่างกันของข้อมูลชุดนั้น c_i แทนกลุ่มในลำดับ ที่ i โดย ที่ i มีค่าระหว่าง 1 ถึง n, s_i แทนจำนวน ข้อมูลสมาชิกของ s และอยู่ในกลุ่ม c_i หาได้จากสมการที่ (4), (5) และ (6) (Zou et al., 2018)

$$I(s_1, s_{2,\dots}, s_n) = -\sum_{i=1}^{n} \frac{s^1}{s} \log_2 \frac{s^1}{s} \quad (4)$$

$$E(A) = \sum_{j=1}^{n} \frac{s_{1j}+\cdots+s_{nj}}{s} I(s_{1j}, s_{2j}, \dots s_{nj}) \quad (5)$$

$$Gain(A) = I(s_{1j}, s_{2j}, \dots, s_{nj}) - E(A) \quad (6)$$

4. วิธีนาอีฟเบย์ (Naïve Bayes) เป็นตัวจำแนกที่เหมาะกับกรณีของเซ็ตตัวอย่างมีจำนวนมากและคุณสมบัติ (attribute) ของตัวอย่างไม่ขึ้นต่อกัน (Nagaratnam et al., 2020) มีการนำตัวจำแนกประเภทเบย์ไปประยุกต์ใช้งานด้านการจำแนกประเภทข้อความและพบว่าใช้งานได้ดี ไม่ต่างจากการจำแนกประเภทวิธีอื่น ๆ หาได้จากสมการ (7) และ (8)

$$P(c|x) = \frac{P(x|c)P(c)}{P(x)} \quad (7)$$

$$P(c|X) = P(x_1|c) \times \ldots \times P(x_n|c) \times P(c) \quad (8)$$

c คือ คลาสของข้อมูล

x คือ แอตทริบิวต์

p คือ ความน่าจะเป็นของข้อมูล

$P(c|x)$ คือความน่าจะเป็นที่ข้อมูลที่มีแอตทริบิวต์เป็น x จะมีคลาส c

$P(x|c)$ คือ ความน่าจะเป็นที่ข้อมูลที่มีคลาส c และมีแอตทริบิวต์ x

$P(c)$ คือ จำนวนคลาสที่อาจจะเกิดขึ้นหารด้วยจำนวนคลาสทั้งหมดของคลาส c

$P(x)$ คือ จำนวน แอตทริบิวต์ ทั้งหมด

5. วิธีการร่วมกันตัดสินใจคือการนำเอาตัวจำแนกข้อมูลหลาย ๆ ตัวมาร่วมกันตัดสินใจโดยการโหวตเสียงข้างมาก (Voting Ensemble) จะเลือกค่านำหนักในการลงคะแนน 2 ใน 3 ของโมเดลเพื่อตัดสินผลลัพธ์ สามารถกำหนดค่า f_k โดยที่ $(k = 1, 2, \ldots, K)$ ซึ่ง K คือ จำนวนของตัวจำแนกข้อมูลและ $f_k(x) = c,\ c \in \{+1, -1\}$ โดยที่ฟังก์ชันในการตัดสินใจจะตัดสินใจผลลัพธ์ที่ได้ว่าอยู่ในคลาสบวกหรือคลาสลบ จากนั้นนำค่าฟังก์ชัน $f_e(x)$ ที่ได้จากตัวจำแนกข้อมูลมาตัดสินใจร่วมกันโดยดูที่เสียงข้างมากว่าของโมเดลตัดสินใจเป็นคลาสบวก หรือคลาสลบโดยมีสมการดังสมการที่ (9)

$$f_e(x) = \arg\ max\ \sum_{k:f_e(x)=c} 1 \quad (9)$$

6. วิธีแรนดอมฟอเรสต์ (Random Forest) เป็นโมเดลอีกประเภทหนึ่งของเครื่องจักรเรียนรู้ (Machine Learning) ถูกพัฒนาขึ้นจากต้นไม้ตัดสินใจ ต่างกันที่วิธีแรนดอมฟอเรสต์เป็นการเพิ่มจำนวน ต้นไม้ตัดสินใจหลาย ๆ ต้น ทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานสูงขึ้นแม่นยำมากขึ้น ซึ่งเป็นโมเดลที่ได้รับความนิยมไปอย่างมากในการใช้กับเครื่องจักรเรียนรู้ กำหนดให้ $RFfi_i$ คือคุณลักษณะที่คำนวณได้จากต้นไม้ทั้งหมดในแบบจำลอง Random Forest $normf_{i_{i_j}}$ คือคุณสมบัติที่ทำให้เป็นมาตรฐานสำหรับ i ใน $tree_j$ และ T คือจำนวนต้นไม้ทั้งหมด โดยมีสมการดังสมการที่ (10) (Lan & Pan, 2019)

$$RFfi_i = \frac{\sum_{j \in all\ tree} norm f_{i_j}}{T} \quad (10)$$

7. วิธีเกรเดียนท์บูตทรีส์ (Gradient Boosted) คือวิธีที่มีพื้นฐานมาจากต้นไม้ตัดสินใจ ซึ่งเป็นการปรับปรุงประสิทธิภาพของแบบจำลองใหม่โดยการสุ่มสร้างต้นไม้ตัดสินใจหลายร้อยโมเดลและประเมินผลแต่ละโมเดลจนกว่าจะได้ต้นไม้ตัดสินใจที่สมบูรณ์ โดย n คือจำนวนของน้ำหนัก S_i น้ำหนักของเซต x_i, y_i เซตของการจำแนก หาได้จากสมการที่ (11) และ (12) (Dutta et al., 2020)

$$S_i = \{(x_i, y_i)\}^n \quad (11)$$

$$h(x) = h_1(x) + h_2(x) + \ldots + h_n(x) \quad (12)$$

8. การวัดประสิทธิภาพแบบจำลองโดยใช้วิธีครอสวาลิเดชั่น (Cross validation) คือทำการแบ่งข้อมูลออกเป็นส่วน ๆ โดยที่แต่ละส่วนมีจำนวนข้อมูลเท่ากันและนำแต่ละส่วนไปทดสอบ จากนั้นเก็บค่าความถูกต้องของโมเดลแต่ละรอบไว้แล้วนำมาพิจารณาค่าเฉลี่ยทุกกลุ่มข้อมูล (Dutta et al., 2020) คำนวณได้จากสมการดังนี้

$$Accuracy = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \quad (13)$$

$$Precision = \frac{TP}{TP+TN} \quad (14)$$

$$Recall = \frac{TP}{TP+FN} \quad (15)$$

$$F - Measure = \frac{Precision * Recall}{Precision+Recall} \quad (16)$$

$TP =$ อัตราความถูกต้องเชิงบวก
$TN =$ อัตราความถูกต้องเชิงลบ
$FP =$ อัตราความผิดพลาดเชิงบวก
$FN =$ อัตราความผิดพลาดเชิงลบ

9. วิธีเลือกคุณลักษณะเด่นไปข้างหน้า (Forward Selection) เป็นวิธีการที่นำคุณลักษณะแต่ละตัวมาหาความถูกต้องด้วยขั้นตอนวิธีการจำแนกข้อมูลและทำการทดสอบว่า

คุณลักษณะที่เข้ามานั้นมีค่าความถูกต้องเท่าใด จากนั้นจะเก็บคุณลักษณะที่เหมาะสมไว้ โดยในบทความนี้ผู้วิจัยใช้ ต้นไม้ตัดสินใจ 3 โมเดลช่วยกันตัดสินใจเพื่อเลือกคุณลักษณะที่ดีมาใช้ในการจำแนกข้อมูล (Priyank et al., 2020)

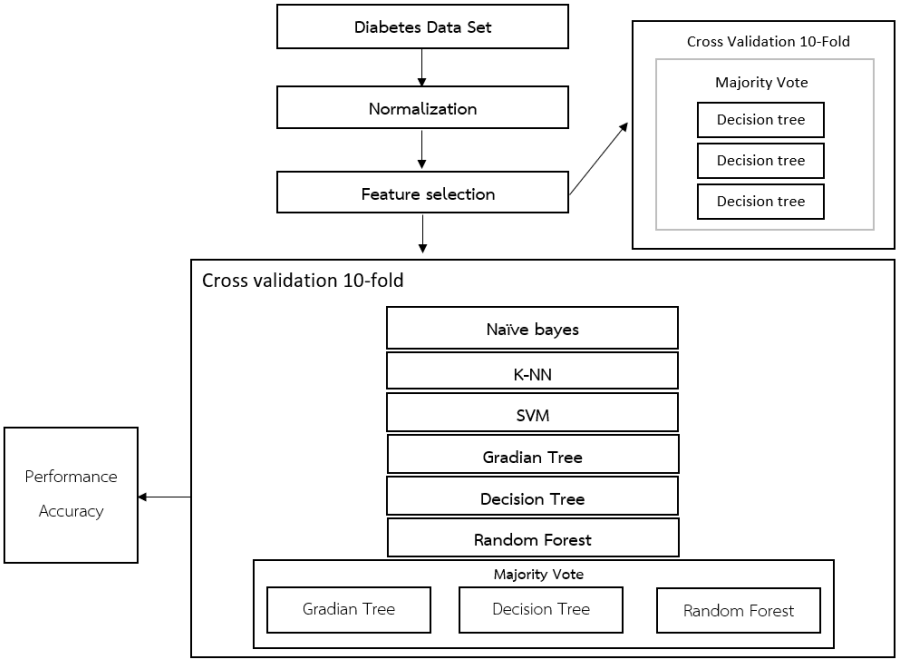
10. ขั้นตอนการวิจัย

10.1 การเก็บรวบรวมข้อมูลการวิจัยนี้ เป็นการทบทวนเวชระเบียนผู้ป่วยโรคเบาหวาน จากโรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราช ตั้งแต่ปี 2557-2561 จำนวน 10,875 รายการ ประกอบด้วย 20 คุณลักษณะ ได้ทำความสะอาดข้อมูล กรณีที่ข้อมูลไม่สมบูรณ์ (Incomplete data) ให้ได้ข้อมูลที่สมบูรณ์คือ 1,435 รายการ 15 คุณลักษณะ แสดงดังตารางที่ 1 แบ่งเป็นข้อมูลผู้ป่วยที่เป็นโรคเบาหวาน 715 คน และ 720 คน คือกลุ่มที่ร่างกายปกติ เมื่อนำมาผ่านการคัดเลือกคุณสมบัติที่เหมาะสม เหลือคุณลักษณะที่เหมาะสมเพียง 6 คุณลักษณะที่จะนำไปใช้ในการจำแนกข้อมูล คือ FBS, HBA1C, Creatinine, FH, EGFR, Drinking โดยค่าความถูกต้องของชุดข้อมูลคือ 94.91%

ตารางที่ 1 คุณลักษณะของข้อมูลผู้ป่วยโรคเบาหวาน

คุณลักษณะ	ความหมาย
BPS	ความดันโลหิตตัวบน
BPD	ความดันโลหิตตัวล่าง
BW	น้ำหนัก
Height	ส่วนสูง
FBS	ค่าระดับน้ำตาลในเลือด
BMI	ดัชนีมวลกาย
TG	ไตรกลีเซอไรด์
HDL	ไขมันดี
EGFR	อัตราการกรองของเสียของไต
Creatinine	การทำงานของไต
HBA1C	น้ำตาลสะสมในเลือด
FH	กรรมพันธุ์ที่มีโรคเบาหวาน
Waist	รอบเอว
Smoking	บุหรี่
Drinking	สุรา
Outcome	ผลลัพธ์ 0 = ปกติ, 1= เป็นเบาหวาน

10.2 การสร้างแบบจำลองงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ใช้เครื่องมือวิเคราะห์ข้อมูลคือโปรแกรม Rapid miner v.9.6 และ Jupyter Notebook v.6.3.0 ขั้นตอนวิธีการจำแนกข้อมูลที่ใช้ประกอบด้วย วิธีร่วมกันตัดสินใจโดยโหวตเสียงข้างมากจากต้นไม้ตัดสินใจ, วิธีเกรเดียนท์บูตทรีส์, วิธีต้นไม้ตัดสินใจ, วิธีแรนดอมฟอเรสต์, วิธีนาอีฟเบย์, วิธีซัพพอร์ทเวกเตอร์แมชชีน, วิธีความใกล้เคียงกันที่สุด และวิธีการคัดเลือกไปข้างหน้าเพื่อคัดเลือกคุณลักษณะที่เหมาะสมวัดประสิทธิภาพด้วยวิธีครอสวาลิเดชั่น การวัดประสิทธิภาพด้วยวิธีนี้จะทำการแบ่งข้อมูลออกเป็น 10 ส่วน โดยที่แต่ละส่วนมีจำนวนข้อมูลเท่ากันแล้วนำข้อมูลทีละส่วนเข้าทดสอบในแบบจำลองในแต่ละรอบและเก็บค่าเฉลี่ยไว้ ทำแบบนี้ไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะครบ จากนั้นก็เอาค่าเฉลี่ยในแต่ละรอบมาหาค่าเฉลี่ยทั้งหมด ก็จะได้ค่าความถูกต้องในการทำนายของแบบจำลองแต่ละวิธี ภาพรวมในการสร้างแบบจำลองแสดงได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ภาพรวมในการสร้างแบบจำลองจำแนกข้อมูล

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

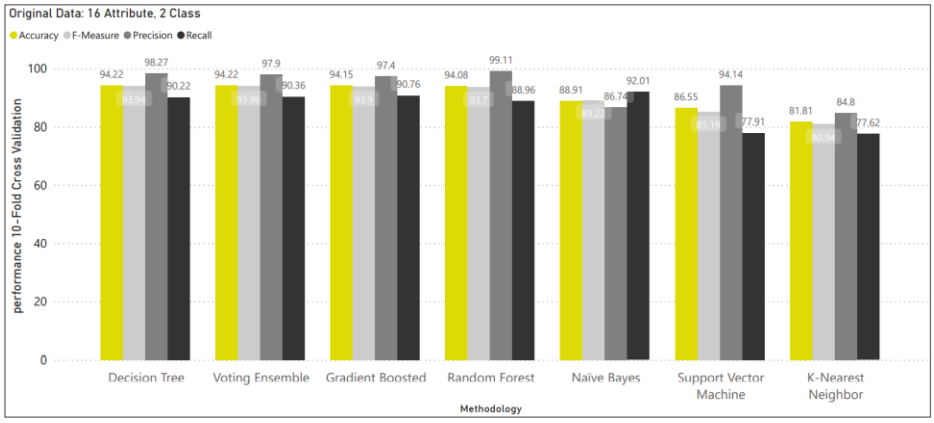
ผลการทดลองบทความฉบับนี้ได้วิเคราะห์ถึงค่าความถูกต้องของแบบจำลองจำแนกความเสี่ยงในการเป็นโรคเบาหวานด้วยเทคนิคเหมืองข้อมูล โดยค่าความถูกต้องของการจำแนกข้อมูลที่ยังไม่ผ่านการเลือกคุณลักษณะแสดงได้ดังตารางที่ 2 และข้อมูลที่ผ่านการเลือกคุณลักษณะด้วยวิธีเลือกไปข้างหน้าแสดงได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 2 ผลการวัดประสิทธิภาพของข้อมูล Original Data

Original Data: 16 Attribute, 2 Class				
Method	**Precision**	**Recall**	**Accuracy**	**F-Measure**
Voting Ensemble	97.9	90.36	94.22	93.96
Gradient Boosted	97.4	90.76	94.15	93.9
Decision Tree	98.27	90.22	94.22	93.94
Random Forest	99.11	88.96	94.08	93.7
Naïve Bayes	86.74	92.01	88.91	89.22
SVM	94.14	77.91	86.55	85.19
K-Nearest Neighbor	84.8	77.62	81.81	80.94

จากผลลัพธ์ที่ได้จากตารางที่ 2 เมื่อพิจารณาจากค่าความถูกต้อง พบว่าวิธีร่วมกันตัดสินใจมีประสิทธิภาพในการจำแนกข้อมูลมากที่สุด โดยมีค่า Accuracy 94.22%, Precision 97.90%, Recall 90.36% และ F-Measure 93.96% รองลงมาคือวิธีต้นไม้ตัดสินใจมีค่า Accuracy 94.22%, Precision 89.18%, Recall 92.45% F-Measure 93.94% วิธีเกรเดียนท์บูตทรีส์ มีค่า Accuracy 94.15%, Precision 97.40%, Recall 90.76% F-Measure 93.90% วิธีแรนดอมฟอเรสต์ มีค่า Accuracy 94.08%, Precision 99.11%, Recall 88.96% F-Measure 93.70% วิธีนาอีฟเบย์ มีค่า Accuracy 88.91%, Precision 86.74%, Recall 92.01% F-Measure 89.22% วิธีความใกล้เคียงกันที่สุดและวิธีซัพพอร์ทเวกเตอร์แมชชีนมีค่า Accuracy 81.81%, Precision 84.14%, Recall 77.62%, F-Measure 80.94% และมีค่า Accuracy 86.55%, Precision 94.14%, Recall 77.91% และ F-Measure 85.19% ตามลำดับ จากผลการวิจัยดังตารางที่ 2 พบว่าชุดข้อมูลที่ยังไม่

ทำการคัดเลือกคุณลักษณะ วิธีร่วมกันตัดสินใจโหวตเสียงข้างมากมีประสิทธิภาพความแม่นยำสูงกว่าขั้นตอนวิธีอื่น ๆ ดังรูปที่ 2



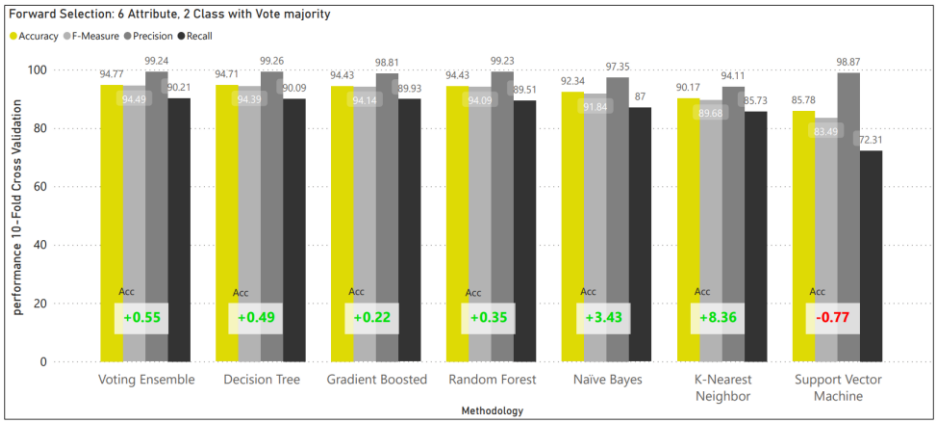
รูปที่ 2 ประสิทธิภาพของโมเดลด้วยวิธีครอสวาลิเดชั่นของข้อมูล Original Data

ตารางที่ 3 ผลการวัดประสิทธิภาพของโมเดลของข้อมูลที่ผ่านคัดเลือกคุณลักษณะ

Forward Selection: 6 Attribute, 2 Class with Vote majority				
Method	**Precision**	**Recall**	**Accuracy**	**F-Measure**
Voting Ensemble	99.24	90.21	94.77	94.49
Gradient Boosted	98.81	89.93	94.43	94.14
Decision Tree	99.26	90.09	94.71	94.39
Random Forest	99.23	89.51	94.43	94.09
Naïve Bayes	97.35	87	92.34	91.84
SVM	98.87	72.31	85.78	83.49
K-Nearest Neighbor	94.11	85.73	90.17	89.68

จากตารางที่ 3 เมื่อพิจารณาจากค่าความถูกต้องวิธีร่วมกันตัดสินใจมีค่า Accuracy 94.77%, Precision 99.24%, Recall 90.21% และ F-Measure 94.49% วิธีเกรเดียนท์บูตทรีส์ มีค่า Accuracy 94.43%, Precision 98.81%, Recall 89.93% F-Measure

94.14% วิธีต้นไม้ตัดสินใจมีค่า Accuracy 94.71%, Precision 99.26%, Recall 90.09%, F-Measure 94.39% วิธีแรนดอมฟอเรสต์ มีค่า Accuracy 94.43%, Precision 99.23%, Recall 89.51%, F-Measure 94.09% วิธีนาอีฟเบย์ มีค่า Accuracy 92.34%, Precision 97.35%, Recall 87.00%, F-Measure 91.84% วิธีความใกล้เคียงกันที่สุดและวิธีซัพพอร์ทเวกเตอร์แมชชีนมีค่า Accuracy 90.17%, Precision 94.11%, Recall 85.73%, F-Measure 89.68% และมีค่า Accuracy 85.78%, Precision 98.87%, Recall 72.31% และ F-Measure 83.49% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับการจำแนกข้อมูลที่ยังไม่เลือกคุณลักษณะพบว่าวิธีร่วมกันตัดสินใจมีค่า Accuracy เพิ่มขึ้น 0.55%, วิธีต้นไม้ตัดสินใจเพิ่มขึ้น 0.49%, วิธีเกรเดียนท์บูตทรีส์เพิ่มขึ้น 0.22%, วิธีแรนดอมฟอเรสต์เพิ่มขึ้น 0.35%, วิธีความใกล้เคียงกันที่สุดเพิ่มขึ้น 8.36%, วิธีนาอีฟเบย์เพิ่มขึ้น 3.43% และวิธีซัพพอร์ทเวกเตอร์มชชีนลดลง 0.77% ซึ่งค่าที่ลดลงนั้นเกิดจากเคอเนลที่เรานำเสนอไป อาจทำงานได้ไม่ดีถ้าความสัมพันธ์ของข้อมูลนั้นมีการเพิ่มหรือลดความซับซ้อนจนแบ่งด้วยเส้นตรงไม่ได้ (ควรเลือกใช้เคอเนลที่เหมาะสมกับข้อมูล) ทำให้มีค่าความถูกต้องของโมเดลลดลง แสดงผลการวัดประสิทธิภาพของโมเดลดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ประสิทธิภาพของโมเดลด้วยวิธีครอสวาลิเดชั่นของข้อมูลที่ผ่านคัดเลือกคุณลักษณะ

สรุปผลการวิจัย

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาขั้นตอนวิธีที่เหมาะสมในการจำแนกข้อมูลเพื่อวินิจฉัยความเสี่ยงการเป็นโรคเบาหวานและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีในการจำแนกข้อมูลด้วยการคัดเลือกคุณลักษณะเด่นไปข้างหน้า จำแนกข้อมูลด้วยวิธีร่วมกันตัดสินใจโดยโหวตเสียงข้างมากจากต้นไม้ตัดสินใจ, วิธีเกรเดียนท์บูตทรีส์, วิธีต้นไม้ตัดสินใจ, วิธีแรนดอมฟอเรสต์, วิธีนาอีฟเบย์, วิธีซัพพอร์ทเวกเตอร์แมชชีน, วิธีความใกล้เคียงกันที่สุด และใช้วิธีเลือกคุณลักษณะเด่นไปข้างหน้า วัดค่าความถูกต้องโดยใช้วิธีครอสวาลิเดชั่น จากผลการวิจัยสามารถสรุปผลได้สองส่วนดังนี้ ส่วนแรกคือการคัดเลือกคุณสมบัติที่เหมาะสมด้วยวิธีการเลือกไปข้างหน้า มีค่าความถูกของการจำแนกคุณลักษณะ 94.91% ลดคุณลักษณะจากข้อมูลเดิม 15 คุณลักษณะเหลือเพียง 6 คุณลักษณะ ในการคัดเลือกคุณลักษณะใช้วิธีต้นไม้ตัดสินใจ 3 โมเดลในการโหวตเลือกคุณลักษณะที่เหมาะสม ซึ่งเหตุผลในการเลือกเฉพาะต้นไม้ตัดสินใจ เนื่องจากข้อเสียของการโหวตเสียงข้างมากคือ ถ้าหากโมเดล 2 ใน 3 ทำนายผลลัพธ์เป็นคลาสบวกหรือ คลาสลบก็จะส่งผลต่อค่าความถูกต้องของการจำแนกข้อมูล และการเลือกใช้ตัวจำแนกที่ดีแต่ละตัวช่วยกันเสริมประสิทธิภาพในการจำแนกข้อมูลทำให้มีค่าความถูกต้องสูงขึ้น ส่วนที่สองคือการนำข้อมูลที่ผ่านการคัดเลือกคุณลักษณะมาจำแนกด้วยขั้นตอนวิธีต่าง ๆ เมื่อพิจารณาจากค่าความถูกต้องวิธีร่วมกันตัดสินใจมีค่า Accuracy 94.77% วิธีเกรเดียนท์บูตทรีส์ มีค่า Accuracy 94.43% วิธีต้นไม้ตัดสินใจมีค่า Accuracy 94.71% วิธีแรนดอมฟอเรสต์ มีค่า Accuracy 94.43% วิธีนาอีฟเบย์ มีค่า Accuracy 92.34% วิธีความใกล้เคียงกันที่สุดและวิธีซัพพอร์ทเวกเตอร์แมชชีนมีค่า Accuracy 90.17% และมีค่า Accuracy 85.78% ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าวิธีร่วมกันตัดสินใจมีค่าความถูกต้องมากที่สุดเมื่อเทียบกับขั้นตอนวิธีอื่น ๆ ซึ่งข้อดีของวิธีนี้คือการนำตัวจำแนกข้อมูลที่หลากหลายมาช่วยกันตัดสินใจด้วยการโหวตเสียงข้างมากซึ่งจะช่วยในการลดปัญหาการเกิดความโน้มเอียงของข้อมูล นอกจากนี้ยังพบว่าการเลือกใช้คุณลักษณะที่เหมาะสมด้วยวิธีเลือกคุณลักษณะเด่นไปข้างหน้าทำให้โมเดลมีประสิทธิภาพในการจำแนกเพิ่มมากยิ่งขึ้น ผู้วิจัยจึงได้นำผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีร่วมกันตัดสินใจไปใช้ในการศึกษาเพื่อพัฒนาระบบวินิจฉัยโรคเบาหวานและเป็นแนวทางในการสนับสนุนการตัดสินใจทางการแพทย์ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

Li, X., Zhao, Z., Gao, C., Rao, L., Hao, P., Jian, D., Li, W., Tang, H., & Li M., (2017). The diagnostic value of whole blood lncRNA ENST00000550337. 1 for prediabetes and type 2 diabetes mellitus. *Experimental and Clinical Endocrinology & Diabetes*, *125*(6), 377–383.

WHO & IDF. (2006). *Diabetes.mellitus.California*.[online]. Retrieved August 26, 2021, from Available: https://www.who.int/diabetes/publications/diagnosis_diabetes2006/en.

Kazerouni, F., Bayani, A., Asadi, F., Saeidi, L., Parvizi, N., & Mansoori, Z. (2020). Type2 diabetes mellitus prediction using data mining algorithms based on the long noncoding RNAs expression: a comparison of four data mining approaches. *BMC Bioinformatics*, 21, 372- 385.

Zou, Q., Qu, K., Luo, Y., Yin, D., Ju, Y., & Tang, H. (2018). Predicting diabetes mellitus with machine learning techniques. *Frontiers in Genet*ics, 9, 515-525.

Nagaratnam, A., Deepika, B., Sharoon, T., & Ajay, CH. (2020). Diagnosis of Various Thyroid Ailments using Data Mining Classification Techniques. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 10(5), 984-987.

Lan, H., & Pan, Y. (2019). *A Crowdsourcing quality prediction model based on random forests*. In: Proceedings of 18th International Conference on Computer and Information Science (ICIS), 17-19 June 2019, Beijing, China. 315-319.

Dutta, J., Yong Woon K., & Dalia, D. (2020). *Comparison of gradient boosting and extreme boosting ensemble methods for webpage classification*. In: Proceedings of Fifth International Conference on Research in Computational Intelligence and Communication Networks (ICRCICN), 26 – 27 November 2020, Bangalore, India. 77-82.

Priyanka, S., Srabani, P., & Sarmistha, N. (2020*). A Correlation - Sequential Forward Selection Based Feature Selection Method for Healthcare Data Analysis*. In: Proceedings of IEEE International Conference on Computing, Power and Communication Technologies (GUCON), 2-4 October, 2020, Greater Noida, India. 69-72.

การพัฒนาแบบวัดเวลาปฏิกิริยาตอบสนองสำหรับกีฬาฟุตบอล
THE DEVELOPMENT OF REACTION TIME TEST FOR FOOTBALL

นนท์นริฐ เจริญกิจวิชนนท์[1], อรวรีย์ อิงคเตชะ[1,*] และ เสกสรรค์ ทองคำบรรจง[2]
Nonnarit Charoenkitvichanon[1], Onwaree Ingkatecha[1,*]
and Sakesan Thongkambanjong[2]

[1] สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การออกกำลังกายและการกีฬา คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา มหาวิทยาลัยบูรพา
[2] สาขาวิชาวิจัย ประเมินและสถิติการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
[1] Exercise and Sport Science, Faculty of Sport Science, Burapha University
[2] Educational Research, Evaluation and Statistics, Faculty of Education, Burapha University

Received: 5 May 2022 Accepted: 10 August 2022

บทคัดย่อ

การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อพัฒนาแบบวัดเวลาปฏิกิริยาตอบสนองที่มีความเหมาะสมสำหรับกีฬาฟุตบอล และทดสอบความสอดคล้องของแบบวัดเวลาปฏิกิริยาตอบสนองที่สร้างขึ้นกับแบบวัดมาตรฐาน กลุ่มตัวอย่างเป็นนักศึกษาชาย มหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติ จำนวน 30 คน ทดสอบตามแบบวัดเวลาปฏิกิริยาตอบสนองสร้างขึ้นกับแบบวัดมาตรฐาน นำมาทดสอบหาค่าอำนาจจำแนกระหว่างกลุ่มสูง-ต่ำด้วย Independent sample t-test หาความเชื่อมั่นของแบบทดสอบเวลาปฏิกิริยาตอบสนองที่ผู้วิจัยพัฒนาด้วยการตรวจสอบความคงที่ภายใน (Internal consistency) และตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงเกณฑ์สัมพันธ์ (Criterion related validity) ด้วยความเที่ยงตรงเชิงสภาพ (Concurrent validity) ผลการศึกษาพบว่า

1) ค่าความคงที่ภายในของแบบทดสอบเวลาปฏิกิริยาตอบสนองที่พัฒนาขึ้นมีความคงที่ภายในตั้งแต่การทดสอบรอบที่ 1-4 (15, 13, 11, และ 9 ครั้ง) ในการทดสอบรอบที่ 1 (Test) มีค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบัคที่ 0.840, 0.942, 0.973, และ 0.985 ตามลำดับ และในการทดสอบซ้ำ (Retest) มีค่า 0.931, 0.943, 0.963, และ 0.985 ตามลำดับ และจากการทดสอบในรอบที่ 4 (9 ครั้ง) ของการทดสอบและการทดสอบซ้ำ พบว่ามีความใกล้เคียง

* ผู้ประสานงาน: อรวรีย์ อิงคเตชะ
อีเมล์: onwaree@go.buu.ac.th

กับค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแอลฟา (Standardized Alpha) มากที่สุดที่ 0.985:0.989, 0.985:0.986, และ 0.989:0.991 ตามลำดับ

2) กลุ่มที่ได้คะแนนสูงจะมีการใช้เวลาในการตอบสนองต่อเป้าหมายที่ต่ำ และในกลุ่มที่ได้คะแนนต่ำจะมีการตอบสนองต่อเป้าหมายโดยใช้เวลาที่สูง โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.001

3) ค่าความเชื่อมั่นของการทดสอบ (Test) และการทดสอบซ้ำ (Retest) ของแบบทดสอบเวลาปฏิกิริยาตอบสนองระหว่างแบบวัดที่พัฒนาขึ้นกับแบบวัดมาตรฐาน มีความสัมพันธ์กันอย่างมีในนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.0001

สรุปผลการวิจัย พบว่าแบบทดสอบที่พัฒนาขึ้นเพื่อให้สอดคล้องกับกีฬาฟุตบอล มีความคงที่ภายในของแบบทดสอบ และความเชื่อมั่นอยู่ในระดับที่ดี สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับกีฬาฟุตบอลได้

คำสำคัญ: ฟุตบอล, เวลาปฏิกิริยาตอบสนอง, แบบทดสอบ

Abstract

The purposes of this research were to develop reaction time test which was suitable for football and to test the correlation between the developed reaction time test (DRT) and the standard reaction time test (SRT). Thirty male students of the National Sport University, participated in the study, were asked for testing the developed reaction time test and the standard test. Discrimination values between high and low group was tested by independent sample t-test. Reliability of the DRT test was tested by internal consistency and criterion related validity was tested by concurrent validity. The results revealed that:

1) The internal consistency of DRT was consistent from the 1^{st} to 4^{th} (15, 13, 11 and 9 times). Cronbach's alpha coefficient of the test were 0.840, 0.942, 0.973, and 0.985 respectively and that of the retest were 0.931, 0.943, 0.963, and 0.985. In the 4^{th} test of the test and retest, it revealed that there

were 0.985:0.989, 0.985:0.986, and 0.989:0.991 respectively which closed to the standardized Alpha.

2) The reaction times of high score group was less than those of the low score group with significant differences at 0.001.

3) The reliability of test-retest of the DRT and SRT correlated with significant level at 0.0001.

In conclusion, there was internal consistency for the DRT and the reliability at a good level. The DRT could be applied for the football.

Keywords: Football, Response time, Test

บทนำ

กีฬาฟุตบอลเป็นหนึ่งในกีฬาสากลที่มีความนิยมอย่างแพร่หลายไปทั่วโลก ผู้รับชมเป็นจำนวนมาก ไม่ว่าจะเป็นการรับชมในสนามแข่งขัน หรือรับชมออนไลน์ผ่านทางโทรทัศน์หรือโทรศัพท์ ในโลกปัจจุบันที่มีอินเตอร์เน็ตในการเข้าถึงข้อมูลได้ง่ายและรวดเร็ว ร่วมไปถึงการเก็บบันทึกภาพเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในแข่งขันฟุตบอลทั่วโลก มีการเก็บรวบรวมข้อมูลสถิติต่างๆ ที่เกิดขึ้นในกีฬาฟุตบอล ยิ่งทำให้ผู้คนทั่วโลกสนใจและมีส่วนร่วมมากขึ้น นอกจากความบันเทิงที่ได้รับจากการชมเกมการแข่งขัน กีฬาฟุตบอลนั้นยังเป็นที่นิยมในการใช้ออกกำลังกาย เพราะมีทั้งความสนุกสนานและท้าทาย อีกทั้งยังได้รับประโยชน์ในพัฒนาสุขภาพร่างกายในสมบูรณ์แข็งแรง อันเนื่องมาจากกีฬาฟุตบอลต้องอาศัยการเดิน การวิ่ง และการกระโดด เป็นต้น เพื่อที่จะเคลื่อนที่ไปรับลูกฟุตบอลและส่งต่อไปให้เพื่อนร่วมทีม มีการเคลื่อนไหวร่างกายในรูปแบบต่าง ๆ อยู่ตลอดเวลาต่อเนื่องตั้งแต่ 10-45 นาทีขึ้นไป ซึ่งกีฬาฟุตบอลต้องอาศัยทักษะพื้นฐานทางกีฬาฟุตบอลได้แก่ การรับและส่งลูกฟุตบอล (Receiving & Passing), การเลี้ยงลูกฟุตบอล (Dribbling), การควบคุมลูกฟุตบอล (Controlling), การยิงลูกฟุตบอล (Shooting) การโหม่งลูกฟุตบอล (Heading), และการรักษาประตู (Goalkeeping) ทั้งหมดในเล่น โดยทักษะเหล่านี้ต้องมีการทำงานประสานกันระหว่างการทำงานของระบบประสาทและกล้ามเนื้อที่ดีเพื่อช่วยในการคิดวิเคราะห์ในการเคลื่อนไหวร่างกายไปยังทิศทางต่าง ๆ และเลือกใช้ทักษะให้เหมาะสมกับสถานการณ์ตรงหน้า

ทักษะการรับและส่งลูกฟุตบอลเป็นทักษะพื้นฐานที่ถูกใช้บ่อยที่สุด เพราะการส่งลูกฟุตบอลนั้นย่อมมีความรวดเร็วกว่าการเลี้ยงลูกฟุตบอลไปข้างหน้า กาหลง เย็นจิตต์ (2553) กล่าวว่า การครอบครองบอล (Ball possession) เป็นองค์ประกอบสำคัญในการเล่นฟุตบอล เพราะฝ่ายที่ครอบครองบอลได้ หมายถึงเป็นฝ่ายรุกย่อมมีโอกาสทำประตู การทำประตูได้ย่อมมีโอกาสเป็นฝ่ายชนะ โดยสิ่งสำคัญที่บ่งบอกถึงการครอบครองบอลในกีฬาฟุตบอลคือจำนวนการรับและส่งลูกฟุตบอล ทำปัจจุบันนิยมทำการฝึกฝนทักษะการรับและส่งลูกฟุตบอลเป็นทักษะแรก ๆ สำหรับพื้นฐานการเล่นกีฬาฟุตบอล ประโยค สุทธิสง่า (2527) กล่าวว่า นักกีฬาฟุตบอลต้องทำการฝึกซ้อมทักษะจนชำนาญจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพและส่งผลให้นักกีฬาฟุตบอลแสดงศักยภาพออกมาได้มากขึ้น ซึ่งในการฝึกทักษะกีฬาฟุตบอลนักกีฬาต้องอาศัยสมรรถภาพทางกายสมรรถภาพทางกายที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพ (Health-related Physical fitness) และสมรรถภาพทางกายที่เกี่ยวข้องกับทักษะ (Skill-related Physical fitness) ที่ดี เพราะกีฬาฟุตบอลเป็นกีฬาที่ต้องอาศัยการเคลื่อนไหวร่างกายในการเล่นรวมไปถึงในระดับการแข่งขัน ต้องอาศัยกล้ามเนื้อลาย (Skeletal muscle) และใช้พลังงาน (Energy) ในร่างกาย นักกีฬาฟุตบอลจึงจะต้องมีสมรรถภาพทางกายที่แข็งแรง เพื่อทำให้เคลื่อนไหวร่างกายได้อย่างมีประสิทธิภาพและช่วยลดอาการบาดเจ็บจากการเล่นกีฬาฟุตบอล และจากงานวิจัยของ Hicheur et al. (2017) ที่ทำการศึกษาเกี่ยวกับทักษะการรับและส่งฟุตบอล พบว่า สมรรถภาพทางกายเฉพาะทักษะเวลาปฏิกิริยาตอบสนอง (Response time) นั้นส่งผลต่อความแม่นยำในการรับและส่งฟุตบอล

เจริญ กระบวนรัตน์ (2538) กล่าวว่า การฝึกการทำงานของสมอง โดยการจัดการเคลื่อนไหวอย่างมีขั้นตอนเคลื่อนไหวจากง่ายไปยากและพัฒนาการเคลื่อนไหวจากช้าไปเร็ว ทำให้เกิดการเรียนรู้ที่หลากหลายรูปแบบเพื่อให้เกิดความสัมพันธ์ทางด้านทักษะกลไกการเคลื่อนไหวร่างกาย (Psychomotor Skill) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในการรับรู้ของสมองที่จะเกี่ยวข้องกับเวลาปฏิกิริยาตอบสนองและเวลาการเคลื่อนไหว นอกจากนั้นเจริญ กระบวนรัตน์ (2538) กล่าวไว้ว่า เวลาปฏิกิริยาตอบสนอง (Reaction Time) หรือระยะเวลาของการสะท้อนกลับ (Reflex Time) หมายถึงระยะเวลาที่ระบบประสาทรับรู้การกระตุ้นจากสิ่งเร้า จนถึงกระแสประสาทสั่งงานไปถึงอวัยวะที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับกลไกการเคลื่อนไหว สอดคล้องกับ ณัฐวุฒิ ไวโรจนานันต์ และ ชาญชัย ขันติศิริ (2559) กล่าวว่า เวลาปฏิกิริยาตอบสนองนั้นคือ การที่ระบบประสาทรับรู้ต่อสิ่งเร้าจากนั้นระบบประสาทจึงทำการสั่งงานไปยังอวัยวะเพื่อตอบสนอง

ต่อสิ่งเร้านั้น การวัดปฏิกิริยาตอบสนองนั้นเราสามารถวัดออกมาเป็นเวลาที่แน่นอนได้โดยการใช้เครื่องมือจับเวลาชนิดต่าง ๆ โดยผู้ให้การทดสอบเป็นผู้กดเริ่มและหยุดเวลา หรือการใช้เครื่องมือที่สร้างขึ้นเป็นมาตรฐาน

ผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการที่จะสร้างแบบทดสอบที่ใช้ในการทดสอบเวลาปฏิกิริยาตอบสนองของเสียงกับการเคลื่อนไหวของเท้าไปยังตำแหน่งเป้าหมาย สำหรับใช้ในนักกีฬาฟุตบอล เพื่อที่จะได้นำไปใช้ในการทดสอบในการประเมินประสิทธิภาพและการพัฒนานักกีฬาฟุตบอล พร้อมทั้งยังเป็นการพัฒนาวิธีการทดสอบเวลาปฏิกิริยาตอบสนองเพื่อพัฒนาแบบวัดที่ตรงตามทางทักษะกีฬาฟุตบอลและเป็นการเพิ่มทางเลือกในการประเมินสมรรถภาพที่เกี่ยวข้องกับทักษะในเรื่องของเวลาปฏิกิริยาตอบสนองให้มากขึ้น

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาแบบวัดเวลาปฏิกิริยาตอบสนองที่มีความเหมาะสมสำหรับกีฬาฟุตบอล

2. เพื่อทดสอบความสอดคล้องของแบบวัดเวลาปฏิกิริยาตอบสนองที่พัฒนาขึ้นกับแบบวัดมาตรฐาน

วิธีการดำเนินการวิจัย

กลุ่มตัวอย่างในการวิจัยครั้งนี้ เป็นนักศึกษาของมหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติ วิทยาเขตชลบุรี เพศชาย จำนวน 30 คน คัดเลือกกลุ่มตัวอย่างด้วยวิธีการการสุ่มแบบง่าย (Simple random sampling) โดยกำหนดระดับค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ.05 อำนาจการทดสอบเท่ากับ.80 และค่าขนาดอิทธิพลเท่ากับ 0.5 งานวิจัยนี้ผ่านการรับรองจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์จากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยบูรพา (รหัสโครงการ G-HS 119/2563)

เกณฑ์การคัดเข้า เป็นนิสิตนักศึกษา เพศชาย มหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติ ผ่านการเรียนรายวิชาฟุตบอลและออกกำลังกายด้วยกีฬาฟุตบอลเป็นประจำ ไม่มีประวัติการเจ็บป่วยทางระบบประสาทและกล้ามเนื้อขาภายในระยะเวลาก่อนการทดสอบ 6 เดือน และไม่มีปัญหาทางการได้ยิน

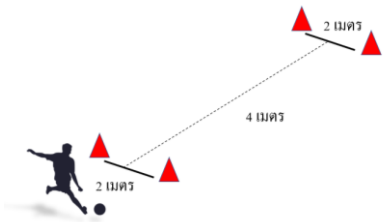
เกณฑ์การคัดออก เกิดการบาดเจ็บขึ้นระหว่างการทดสอบ ทำให้ไม่สามารถดำเนินการทดสอบต่อไป หรือไม่ประสงค์เข้าร่วมการทดสอบจนเสร็จสิ้น

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย ลูกฟุตบอล กรวยสีส้ม 4 อัน และชุดทดสอบปฏิกิริยาตอบสนอง 2 ชุด

ขั้นตอนการวิจัย ผู้วิจัยทำการบันทึกข้อมูลของผู้เข้าร่วมงานวิจัย ชั่งน้ำหนัก วัดส่วนสูง ซักถามประวัติสุขภาพ และตอบแบบสอบถามประเมินความพร้อมก่อนออกกำลังกาย (PAR-Q) ทำการทดสอบความถนัดของขา ด้วยการทดสอบเตะฟุตบอลเข้าเป้าหมาย (Kick ball test) (van Melick et al., 2017) และทดสอบเวลาปฏิกิริยาตอบสนองระหว่างเสียงกับเท้าด้วยแบบวัดเวลาปฏิกิริยาตอบสนองที่สร้างขึ้น กับแบบวัดมาตรฐาน

1. การทดสอบเตะฟุตบอลเข้าเป้าหมาย

ผู้วิจัยนำกรวยมา 2 อัน วางห่างกัน 2 เมตรทำเป็นเป้าหมายในการทดสอบ และใช้ตลับเมตรวัดจากกึ่งกลางของเป้าหมายเป็นระยะห่าง 4 เมตร นำกรวยมาวางอีก 2 อันเป็นจุดทดสอบ ผู้เข้ารับการทดที่จุดทดสอบพร้อมลูกฟุตบอล 1 ใบ เตรียมพร้อมรอสัญญานกหวีดเพื่อทำการทดสอบ เมื่อได้รับสัญญาณนกหวีดผู้เข้ารับการทดสอบต้องทำการเตะลูกฟุตบอลให้เข้าไปยังเป้าหมาย และให้ผู้วิจัยสังเกตขาข้างที่ใช้เตะลูกฟุตบอล ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 วิธีการทดสอบความถนัดของขาแบบเตะฟุตบอลเข้าเป้าหมาย

2. การทดสอบเวลาปฏิกิริยาตอบสนองระหว่างเสียงกับเท้าด้วยแบบวัดเวลาปฏิกิริยาตอบสนองมาตรฐาน

ผู้วิจัยกำหนดตำแหน่งการยืนของผู้เข้ารับการทดสอบบนพื้นเพื่อกำหนดจุดทดสอบและกำหนดตำแหน่งปุ่มตัดสัญญาณ โดยกำหนดให้ปุ่มตัดสัญญาณต้องห่างจากจุดทดสอบ 0.25 เมตรโดยประมาณ ปุ่มตัดสัญญาณจะมีอยู่ 3 จุดๆ ละสี (สีแดง, สีน้ำเงิน, สีเขียว) โดยมีตำแหน่งด้านตรงหน้า ด้านซ้าย และด้านขวา ที่อยู่เฉียงทำมุม 45 องศาจากจุดทดสอบ โดยผู้วิจัยอธิบายและให้ผู้เข้ารับการทดสอบได้ทดลองเพื่อสร้างความคุ้นเคยกับแบบทดสอบจากนั้นจึงเริ่มการทดสอบ

2.1 ผู้เข้ารับการทดสอบยืนอยู่ในท่าเตรียมพร้อมในจุดทดสอบ

2.2 เมื่อได้รับสัญญาณบอกตำแหน่งของเป้าหมาย ให้ผู้เข้ารับการทดสอบรีบนำเท้าไปแตะที่ปุ่มตัดสัญญาณเพื่อหยุดเวลา และกลับมาอยู่ในท่าเตรียมพร้อมรอสัญญาณเสียงอีกครั้ง

2.3 ทำซ้ำแบบเดิมจนครบ 15 ครั้ง พร้อมบันทึกเวลาในแต่ละครั้งที่ทดสอบ

2.4 นำเวลาที่บันทึกได้ทั้งหมด 15 ครั้ง คัดเลือกเวลาที่ดีที่สุด 3 ครั้ง และเวลาที่ช้าที่สุด 3 ครั้งแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

3. การทดสอบเวลาปฏิกิริยาตอบสนองระหว่างเท้ากับตาด้วยแบบวัดเวลาปฏิกิริยาตอบสนองที่พัฒนาขึ้น

ผู้วิจัยได้พัฒนาตำแหน่งของปุ่มตัดสัญญาณจากแบบวัดมาตรฐานที่กำหนดให้มี 3 ตำแหน่ง โดยอาศัยสถานการณ์จริงของการรับ-ส่งลูกฟุตบอล กำหนดตำแหน่งการยืนของผู้เข้ารับการทดสอบบนพื้นทั้งสิ้น 4 ตำแหน่ง เพื่อกำหนดจุดทดสอบ โดยกำหนดตำแหน่งปุ่มตัดสัญญาณ ให้จุด A อยู่ทางด้านซ้ายมือ จุด B อยู่ด้านหน้า จุด C อยู่ทางด้านขวามือ และจุด D อยู่ด้านหลัง ทั้ง 4 จุดจะตั้งอยู่ห่างจากจุดทดสอบ 0.25 เมตร โดยผู้วิจัยอธิบายและให้ผู้เข้ารับการทดสอบได้ทดลองเพื่อสร้างความคุ้นเคยกับแบบทดสอบ จากนั้นจึงเริ่มการทดสอบ

3.1 ผู้เข้ารับการทดสอบยืนอยู่ในท่าเตรียมพร้อมในจุดทดสอบ

3.2 เมื่อได้รับสัญญาณเสียงบอกตำแหน่งของเป้าหมาย ให้ผู้ทดสอบรีบเคลื่อนตัวนำเท้าไปแตะที่ปุ่มตัดสัญญาณเพื่อหยุดเวลา และกลับมาอยู่ในท่าเตรียมพร้อมรอสัญญาณเสียงอีกครั้ง

3.3 ทำซ้ำแบบเดิมจนครบ 15 ครั้ง พร้อมบันทึกเวลาในแต่ละครั้งที่ทดสอบ

3.4 นำเวลาที่บันทึกได้ทั้งหมด 15 ครั้ง คัดเลือกเวลาที่ดีที่สุด 3 ครั้ง และเวลาที่ช้าที่สุด 3 ครั้งแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

การวิเคราะห์ข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้ใช้ค่าสถิติต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1) ค่าสถิติพื้นฐาน ได้แก่ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ของอายุ น้ำหนัก ส่วนสูง และข้อมูลพื้นฐาน

2) ทดสอบหาค่าอำนาจจำแนกระหว่างกลุ่มสูง-ต่ำ ด้วย Independent sample t-test และหาความเชื่อมั่นของแบบทดสอบเวลาปฏิกิริยาตอบสนองที่ผู้วิจัยพัฒนา โดยการ

ตรวจสอบความคงที่ภายใน (Internal consistency) ของการทดสอบ 15 ครั้ง โดยใช้สูตรสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบัค (Cronbach's alpha coefficient) (Cronbach, 1951)

3) ตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงเกณฑ์สัมพันธ์ (Criterion related validity) ด้วยความเที่ยงตรงเชิงสภาพ (Concurrent validity) โดยการหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างวิธีการทดสอบเวลาปฏิกิริยาตอบสนองที่พัฒนาขึ้น กับวิธีการทดสอบเวลาปฏิกิริยาตอบสนองระหว่างเท้ากับตาด้วยแบบวัดมาตรฐาน ด้วยวิธีการของ Pearson's correlation coefficient (r_{xy}) และ Dependent sample t-test

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการวิจัย เรื่องการพัฒนาแบบวัดเวลาปฏิกิริยาตอบสนองสำหรับกีฬาฟุตบอล แสดงข้อมูลลักษณะทางกายภาพเบื้องต้นของกลุ่มตัวอย่างในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ลักษณะทางกายภาพเบื้องต้นของกลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่าง (n=30)	อายุ (ปี)	น้ำหนัก (กิโลกรัม)	ส่วนสูง (เซนติเมตร)	BMI (กก./ม^2)
ค่าเฉลี่ย±SD	19.03±0.61	68.78±13.08	172.63±7.25	23.25±0.26

แสดงข้อมูลทดสอบค่าอำนาจจำแนกและตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงเกณฑ์สัมพันธ์ดังนี้จากตารางที่ 1 ผู้วิจัยได้ทำการตรวจสอบความคงที่ภายในของการทดสอบของแบบทดสอบเวลาปฏิกิริยาตอบสนองที่พัฒนาขึ้นของเสียงกับการเคลื่อนไหวของเท้าไปยังตำแหน่งเป้าหมาย ในกลุ่มตัวอย่างจำนวน 30 คน การทดสอบคนละ 15 ครั้งใน 1 รอบการทดสอบ และทำการทดสอบซ้ำ (Test-retest) ในระยะเวลาห่าง 1 สัปดาห์ โดยการวิเคราะห์ความคงที่ภายในของแบบทดสอบด้วยสูตรการหาค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบัค สรุปได้ว่าค่าความคงที่ภายในของแบบทดสอบเวลาปฏิกิริยาตอบสนองของเสียงกับการเคลื่อนไหวของเท้าไปยังตำแหน่งเป้าหมายที่พัฒนาขึ้น มีความคงที่ภายในตั้งแต่ 15, 13, 11, และ 9 ครั้ง โดยในการทดสอบ (Test) มีค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบัคที่ 0.840, 0.942, 0.973, และ 0.985 ตามลำดับ และในการทดสอบซ้ำ (Retest) มีค่า 0.931, 0.943, 0.963, และ 0.985 ตามลำดับ อีกทั้งเมื่อหาค่าเฉลี่ยของแบบทดสอบทั้ง 15 ครั้ง ของการทดสอบครั้งที่ 1 และการทดสอบซ้ำ พบว่า มีค่าความคงที่ภายในที่ 0.917, 0.965, 0.980, และ 0.989 ตาม

ลำดับ จากการทดสอบในครั้งที่ 4 ถึงครั้งที่ 12 (9 ครั้ง) ของการทดสอบ การทดสอบซ้ำและค่าเฉลี่ย พบว่ามีความใกล้เคียงกับค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแอลฟา (Standardized Alpha) มากที่สุดที่ 0.985:0.989, 0.985:0.986, และ 0.989:0.991 ตามลำดับ

จากการศึกษาค่าความคงที่ภายในของแบบทดสอบเวลาปฏิกิริยาตอบสนองของเสียงกับการเคลื่อนไหวของเท้าไปยังตำแหน่งเป้าหมายมีผลของเวลาปฏิกิริยาตอบสนอง พบว่าค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบัค (Cronbach's Alpha) มีค่าสูงสุดที่ 9 ครั้ง (จากผลการทดสอบในครั้งที่ 4 ถึงครั้งที่ 12) โดยมีค่า 0.989 แสดงให้เห็นว่าแบบทดสอบที่ผู้วิจัยทำการสร้างขึ้นมีค่าความคงที่ภายในที่ค่อนข้างสูง เนื่องมาจากวิธีการในการคำนวณผลของเวลาปฏิกิริยาตอบสนองของแบบที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นความเชื่อมั่นและถูกต้อง เพราะผู้วิจัยได้พัฒนาโดยยึดวิธีการของแบบทดสอบเวลาปฏิกิริยาตอบสนองระหว่างเท้ากับตาด้วยเครื่องวัดมาตรฐานในการคำนวณผล ผู้ที่เข้ารับการทดสอบจะต้องทำการทดสอบทั้งหมด 15 ครั้งใน 1 รอบ และผู้วิจัยจะนำผลที่ได้มาเรียงลำดับจากมากไปหาน้อย ทำการตัดเวลาที่มากที่สุดและน้อยที่สุดออกอย่างละ 3 ครั้ง คัดเลือกเอาเวลาในช่วงกลางมาทั้งหมด 9 ครั้งมาหาค่าเฉลี่ย (ครั้งที่ 4 ถึงครั้งที่ 12)

ตารางที่ 2 การตรวจสอบความคงที่ภายใน (Internal consistency) ของการทดสอบของแบบทดสอบเวลาปฏิกิริยาตอบสนองที่พัฒนาขึ้นของเสียงกับการเคลื่อนไหวของเท้าไปยังตำแหน่งเป้าหมายโดยใช้สูตรสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบัค (Cronbach's alpha coefficient)

ครั้งที่	MD1				MD2				MMD			
	CITC (15)	CITC (13)	CITC (11)	CITC (9)	CITC (15)	CITC (13)	CITC (11)	CITC (9)	CITC (15)	CITC (13)	CITC (11)	CITC (9)
1	0.197				1.561				1.700			
2	0.564	1.433			1.289	1.289			1.361	1.361		
3	1.199	1.199	1.199		1.162	1.162	1.162		1.180	1.180	1.180	
4	1.092	1.092	1.092	1.092	1.047	1.047	1.047	1.047	1.070	1.070	1.070	1.070
5	1.017	1.017	1.017	1.017	0.996	0.996	0.996	0.996	1.007	1.007	1.007	1.007
6	0.968	0.968	0.968	0.968	0.967	0.967	0.967	0.967	0.968	0.968	0.968	0.968
7	0.930	0.930	0.930	0.930	0.918	0.918	0.918	0.918	0.924	0.924	0.924	0.924
8	0.904	0.904	0.904	0.904	0.879	0.879	0.879	0.879	0.892	0.892	0.892	0.892
9	0.876	0.876	0.876	0.876	0.850	0.850	0.850	0.850	0.864	0.864	0.864	0.864
10	0.852	0.852	0.852	0.852	0.825	0.825	0.825	0.825	0.839	0.839	0.839	0.839

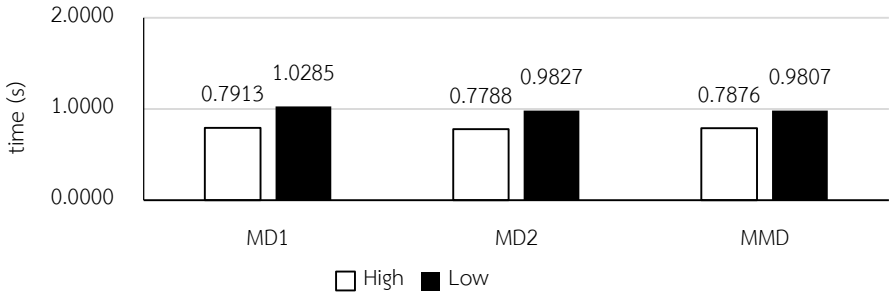
ตารางที่ 2 การตรวจสอบความคงที่ภายใน (Internal consistency) ของการทดสอบของแบบทดสอบเวลาปฏิกิริยาตอบสนองที่พัฒนาขึ้นของเสียงกับการเคลื่อนไหวของเท้าไปยังตำแหน่งเป้าหมายโดยใช้สูตรสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบัค (Cronbach's alpha coefficient) (ต่อ)

ครั้งที่	MD1				MD2				MMD			
	CITC (15)	CITC (13)	CITC (11)	CITC (9)	CITC (15)	CITC (13)	CITC (11)	CITC (9)	CITC (15)	CITC (13)	CITC (11)	CITC (9)
11	0.820	0.820	0.820	0.820	0.799	0.799	0.799	0.799	0.810	0.810	0.810	0.810
12	0.791	0.791	0.791	0.791	0.772	0.772	0.772	0.772	0.782	0.782	0.782	0.782
13	0.758	0.758	0.758		0.734	0.734	0.734		0.746	0.746	0.746	
14	0.721	0.721			0.696	0.696			0.708	0.708		
15	0.634				0.632				0.634			
Alpha	0.840	0.942	0.973	0.985	0.931	0.943	0.963	0.985	0.917	0.965	0.980	0.989
Std. Alpha	0.969	0.978	0.985	0.989	0.977	0.979	0.982	0.986	0.978	0.984	0.988	0.991

หมายเหตุ MD: แบบทดสอบเวลาปฏิกิริยาตอบสนองของเสียงกับการเคลื่อนไหวของเท้าไปยังตำแหน่งเป้าหมาย; MMD: ค่าเฉลี่ยของแบบทดสอบเวลาปฏิกิริยาตอบสนองของเสียงกับการเคลื่อนไหวของเท้าไปยังตำแหน่งเป้าหมาย; CITC: Corrected items-total correlation; Alpha: Cronbach's alpha; Std. Alpha: Standardized Alpha

จากตารางที่ 2 แสดงให้เห็นค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบัคของแบบทดสอบเวลาปฏิกิริยาตอบสนองของเสียงกับการเคลื่อนไหวของเท้าไปยังตำแหน่งเป้าหมายมีความคงที่ภายในตั้งแต่ 15, 13, 11, และ 9 ครั้ง ของการทดสอบ การทดสอบซ้ำ และค่าเฉลี่ยของการทดสอบ และการทดสอบซ้ำ จะสังเกตได้ว่าเมื่อทำการตัดเวลาที่มากที่สุดและน้อยที่สุดออก จะทำให้มีค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบัคที่ดีขึ้นตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องมาจากในการทดสอบเวลาปฏิกิริยาตอบสนองเป็นการกระตุ้นและทำการตอบสนองต่อสิ่งเร้าผ่านช่วงระยะเวลาสั้น เกิดจากการเวลาปฏิกิริยากับเวลาเคลื่อนไหวที่รวมกัน โดยเวลาปฏิกิริยาจะเป็นในช่วงของความเร็วของระบบประสาทสั่งการ เริ่มจากการรับรู้การกระตุ้นของสิ่งเร้า ประมวลผลและสั่งการเพื่อตอบสนองต่อสิ่งเร้า โดยการสั่งการให้ร่างกายทำการเคลื่อนไหวเพื่อตอบสนองต่อสิ่งเร้าเป็นเวลาเคลื่อนไหว แต่โดยปกติก่อนที่ร่างกายสั่งการในการรับรู้และตอบสนองตามขบวนการ มนุษย์เลือกใช้สัญชาตญาณในการคาดเดาเข้ามาช่วยในการตัดสินใจในการตอบสนอง จึงทำให้แบบทดสอบปฏิกิริยาเกิดความผิดพลาด ตัวอย่างเช่น ถ้าเดาถูกก็อาจจะทำให้เวลาต่ำกว่าปกติ หรือถ้าผิดก็จะทำให้ระบบประสาทต้องสั่งการเพื่อเปลี่ยนทิศทางใน

การเคลื่อนไหวทำให้ต้องใช้เวลาตอบสนองมากกว่าปกติ เป็นต้น การเสียสมาธิเคลื่อนไหวร่างกายที่ไม่แม่นยำสัมผัสปุ่มตัดสัญญาณพลาดเป้าหมาย ร่วมไปถึงความผิดเครื่องมือในบางครั้งก็จะส่งผลต่อระยะเวลามากหรือน้อยได้ทั้งสิ้น ผู้วิจัยจึงใช้หลักการคำนวณผลเดิมของวิธีการทดสอบเวลาปฏิกิริยาตอบสนองระหว่างเสียงกับเท้าด้วยเครื่องวัดมาตรฐาน และจากผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบัคยังแสดงให้เห็นว่าค่าเฉลี่ยของการทดสอบและการทดสอบซ้ำมีความใกล้เคียงกับค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของมีความใกล้เคียงกับค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแอลฟา (Standardized Alpha) มากที่สุดที่ 0.989: 0.991 แสดงให้เห็นว่ามีค่าความเชื่อมั่นของความคงที่ภายในที่ค่อนข้างสูงมาก

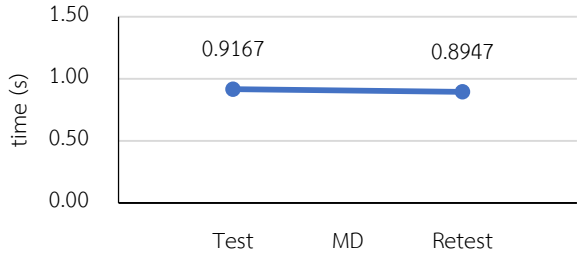


รูปที่ 2 เปรียบเทียบอำนาจจำแนกของแบบทดสอบเวลาปฏิกิริยาตอบสนองของเสียงกับการเคลื่อนไหวของเท้าไปยังตำแหน่งเป้าหมายในการจำแนกสมรรถภาพของกลุ่มตัวอย่างระหว่างกลุ่มที่คะแนนสูงและกลุ่มได้คะแนนต่ำ

หมายเหตุ MD: แบบทดสอบเวลาปฏิกิริยาตอบสนองของเสียงกับการเคลื่อนไหวของเท้าไปยังตำแหน่งเป้าหมาย; MMD: ค่าเฉลี่ยของแบบทดสอบเวลาปฏิกิริยาตอบสนองของเสียงกับการเคลื่อนไหวของเท้าไปยังตำแหน่งเป้าหมาย High: กลุ่มที่ได้คะแนนสูง; Low: กลุ่มที่ได้คะแนนต่ำ

จากรูปที่ 2 ผู้วิจัยได้ทำการเปรียบกลุ่มที่ได้คะแนนสูงและกลุ่มที่ได้คะแนนต่ำ โดยกลุ่มที่ได้คะแนนสูงจะมีการใช้เวลาในการตอบสนองต่อเป้าหมายที่ต่ำ และในกลุ่มที่ได้คะแนนต่ำจะมีการตอบสนองต่อเป้าหมายโดยใช้เวลาที่สูง ผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบการทดสอบเวลาปฏิกิริยาตอบสนองของเสียงกับการเคลื่อนไหวของเท้าไปยังตำแหน่งเป้าหมายในการทดสอบ การทดสอบซ้ำ และค่าเฉลี่ยระหว่างการทดสอบรอบที่ 1 และการทดสอบซ้ำ พบว่ามีความแตกต่างกันระหว่างกลุ่มที่ได้คะแนนสูงและกลุ่มที่ได้คะแนนต่ำดังแผนภูมิที่ โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .001

แบบทดสอบเวลาปฏิกิริยาตอบสนองของเสียงกับการเคลื่อนไหวของเท้าไปยังตำแหน่งเป้าหมายมีผลของเวลาปฏิกิริยาตอบสนองจากการทดสอบแบบวัดซ้ำ (Test-retest) ที่ 0.9167 และ 0.8947 วินาที อันเนื่องมาจากหลักการของการทดสอบแบบวัดซ้ำ จะต้องทำการทดสอบหรือวัดด้วย วิธีการและเครื่องมือชุดเดียวกัน คนกลุ่มเดียวกัน ในเวลาที่แตกต่างกัน โดยวิธีการทำการทดสอบแบบวัดซ้ำในแบบทดสอบที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น ได้ให้กลุ่มตัวอย่างสร้างความคุ้นเคยกับแบบทดสอบก่อนที่จะเข้ารับการทดสอบ โดยระยะเวลาระหว่างการทดสอบรอบที่ 1 และการทดสอบซ้ำ มีระยะเวลาห่างกัน 1 สัปดาห์ โดยในช่วง 1 สัปดาห์ ผู้วิจัยได้คำนึงการพักของกล้ามเนื้อเพื่อไม่ให้ส่งผลการต่อความเมื่อยล้าจนรวมไปถึงการเรียนรู้และพัฒนาทักษะ ให้ผู้เข้ารับการทดสอบเกิดการพัฒนาในเรื่องของทักษะในน้อยที่สุด เพื่อให้ผลที่ได้จากทดสอบใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด และจากผลการทดสอบค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบเวลาปฏิกิริยาตอบสนองของเสียงกับการเคลื่อนไหวของเท้าไปยังตำแหน่งเป้าหมาย มีค่าความเชื่อมั่นที่ 0.763 มีความสัมพันธ์กันอย่างมีในนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.0001 ด้วยวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแบบทดสอบที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นมีค่าความเชื่อมั่นอยู่ในระดับที่ดี เพราะค่าความเชื่อมั่นที่ได้จากการคำนวณได้จะมีค่าสูงสุดเท่ากับ 1 โดยเมื่อค่าที่ได้มีค่าใกล้ 1 แสดงว่าเครื่องมือหรือวิธีการมีความเชื่อมั่นค่อนข้างมาก (สุวิมล ติรกานันท์, 2551)



รูปที่ 3 ค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบเวลาปฏิกิริยาตอบสนองของเสียงกับการเคลื่อนไหวของเท้าไปยังตำแหน่งเป้าหมาย (วินาที) ด้วยค่าสถิติ Dependent sample t-test

หมายเหตุ MD: แบบทดสอบเวลาปฏิกิริยาตอบสนองของเสียงกับการเคลื่อนไหวของเท้าไปยังตำแหน่งเป้าหมาย; Test: ค่าความเชื่อมั่นของการทำแบบทดสอบเวลาปฏิกิริยาตอบสนองของเสียงกับการเคลื่อนไหวของเท้าไปยังตำแหน่งเป้าหมาย; Retest: ค่าความเชื่อมั่นของการทำแบบทดสอบเวลาปฏิกิริยาตอบสนองของเสียงกับการเคลื่อนไหวของเท้าไปยังตำแหน่งเป้าหมายซ้ำ

จากรูปที่ 3 สรุปได้ว่าแบบทดสอบเวลาปฏิกิริยาตอบสนองที่พัฒนาขึ้นของเสียงกับการเคลื่อนไหวของเท้าไปยังตำแหน่งเป้าหมาย มีค่าผลของเวลาปฏิกิริยาตอบสนองจากการทดสอบแบบวัดซ้ำ (Test-retest) ที่ 0.9167 และ 0.8947 วินาที {SD (test)=0.1240, SD (retest)=0.1206, MD=0.0220, SE=0.0154, t-value=1.4310, p-value=0.1630} และค่าความเชื่อมั่นของการทดสอบ (Test) และการทดสอบซ้ำ (Retest) ที่ 0.763 มีความสัมพันธ์กันอย่างมีในนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.0001 ด้วยวิธีการของ Pearson's correlation coefficient (r_{xy})

ตารางที่ 3 หาค่าความเที่ยงตรงเชิงเกณฑ์สัมพันธ์ (Criterion related validity) ด้วยความเที่ยงตรงเชิงสภาพ (Concurrent validity) ระหว่างวิธีการทดสอบเวลาปฏิกิริยาตอบสนองที่พัฒนาขึ้นของเสียงกับการเคลื่อนไหวของเท้าไปยังตำแหน่งเป้าหมายกับวิธีการทดสอบเวลาปฏิกิริยาตอบสนองระหว่างเท้ากับตาด้วยแบบวัดมาตรฐาน

MD	STD	MD1	MD2	MMD
STD	1.000			
MD1	0.649	1.000		
MD2	0.709	0.763	1.000	
MMD	0.723	0.941	0.937	1.000

หมายเหตุ MD: แบบทดสอบเวลาปฏิกิริยาตอบสนองของเสียงกับการเคลื่อนไหวของเท้าไปยังตำแหน่งเป้าหมาย; MMD: ค่าเฉลี่ยของแบบทดสอบเวลาปฏิกิริยาตอบสนองของเสียงกับการเคลื่อนไหวของเท้าไปยังตำแหน่งเป้าหมาย; STD: แบบทดสอบเวลาปฏิกิริยาตอบสนองระหว่างเท้ากับตาด้วยแบบวัดมาตรฐาน

จากตารางที่ 3 พบว่า แบบทดสอบเวลาปฏิกิริยาตอบสนองที่พัฒนาขึ้นของเสียงกับการเคลื่อนไหวของเท้าไปยังตำแหน่งเป้าหมายมีความเที่ยงตรงเชิงเกณฑ์สัมพันธ์กับแบบทดสอบเวลาปฏิกิริยาตอบสนองระหว่างเท้ากับตาด้วยเครื่องวัดมาตรฐาน ที่ 0.723 และมีความสัมพันธ์ของการทดสอบ (Test) และการทดสอบซ้ำ (Retest) ที่ 0.763 อย่างมีในนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.0001

ผู้วิจัยทำการศึกษาความเที่ยงตรงเชิงเกณฑ์สัมพันธ์ ด้วยความเที่ยงตรงเชิงสภาพ (Concurrent validity) โดยการหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างวิธีการทดสอบเวลาปฏิกิริยาตอบสนองของเสียงกับการเคลื่อนไหวของเท้าไปยังตำแหน่งเป้าหมาย กับวิธีการทดสอบเวลา

ปฏิกิริยาตอบสนองระหว่างเท้ากับตาด้วยเครื่องวัดมาตรฐาน พบว่ามีความเที่ยงตรงเชิงเกณฑ์สัมพันธ์ของวิธีการทดสอบที่ 0.723 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ 0.0001 เนื่องจากผู้วิจัยนั้นได้สร้างแบบทดสอบเวลาปฏิกิริยาตอบสนองของเสียงกับการเคลื่อนไหวของเท้าไปยังตำแหน่งเป้าหมาย โดยการพัฒนาจากวิธีการของแบบทดสอบเวลาปฏิกิริยาตอบสนองระหว่างเท้ากับตาด้วยเครื่องวัดมาตรฐาน ดังตารางที่ 3 จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าแบบทดสอบที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นนั้นถูกต้องตามหลักการและวิธีการทดสอบเวลาปฏิกิริยาตอบสนอง เพียงแต่ผู้วิจัยได้เพิ่มจำนวนตัวหยุดสัญญาณเวลา เพิ่มองศาในการวางตำแหน่งตัวหยุดสัญญาณและทิศทางที่มากขึ้นทำให้ผู้เข้ารับการทดสอบจะต้องรับรู้ (Awareness) สภาพแวดล้อมโดยรอบตัวมากขึ้น มีการเคลื่อนไหวไปสัมผัสปุ่มหยุดสัญญาณที่อยู่ในมุมอับสายตา ทำให้ต้องมาการหันศีรษะเพื่อเพิ่มมุมมองและทำการตอบสนองต่อสิ่งเร้า ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ McGuckian et al. (2019) ที่พบว่านักฟุตบอลที่มีการเคลื่อนไหวหรือการหันของศีรษะมากครั้ง จะส่งผลต่อการตัดสินใจที่เร็วขึ้นในการส่งบอล อีกทั้งผู้วิจัยยังใช้สัญญาณเสียงเป็นตัวกระตุ้น ทำให้ผู้ทดสอบต้องใช้การรับรู้ในการกระตุ้นและทำการตอบสนองต่อสิ่งเร้าด้วยการมองเห็น เพื่อให้สอดคล้องกับธรรมชาติของกีฬาฟุตบอลที่นักกีฬาต้องใช้การรับรู้จากเสียงและการมองเห็นในการรับรู้สภาพแวดล้อมโดยรอบ ก่อนที่จะเคลื่อนไหวร่างกายหรือทำการสัมผัสลูกฟุตบอล และจากการศึกษาความเที่ยงตรงเชิงเกณฑ์สัมพันธ์ผลของเวลาปฏิกิริยาตอบสนองระหว่างแบบทดสอบเวลาปฏิกิริยาตอบสนองของเสียงกับการเคลื่อนไหวของเท้าไปยังตำแหน่งเป้าหมาย กับแบบทดสอบเวลาปฏิกิริยาตอบสนองระหว่างเท้ากับตาด้วยเครื่องวัดมาตรฐาน พบว่าผลของเวลาปฏิกิริยาตอบสนองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งเกิดจากแบบทดสอบที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้นมีความซับซ้อนที่มากขึ้นอันเนื่องมาจากการที่ผู้วิจัยได้เพิ่มจำนวนตัวหยุดสัญญาณทำให้เวลาปฏิกิริยา (Reaction time) ยาวนานขึ้น มีองศาและทิศทางในการวางตำแหน่งตัวหยุดสัญญาณมากขึ้นทำให้ในส่วนของเวลาเคลื่อนไหว (Movement time) ยาวนานขึ้นเช่นกัน ผลของเวลาปฏิกิริยาตอบสนองของแบบทดสอบที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นจึงมีระยะเวลาที่ยาวนานกว่า ซึ่งสอดคล้องกับ เจริญ กระบวนรัตน์ (2538) ที่กล่าวว่าเมื่อตัวกระตุ้นมีความยากหรือซับซ้อนมากขึ้นจะทำให้เวลาปฏิกิริยายาวนานขึ้น และเวลาปฏิกิริยาจะสั้นลงเมื่อตัวกระตุ้นมีลักษณะที่ง่าย แต่เนื่องจากแบบทดสอบเวลาปฏิกิริยาตอบสนองของเสียงกับการเคลื่อนไหวของเท้าไปยังตำแหน่งเป้าหมาย ผู้วิจัยต้องการนำไปใช้กับนักกีฬา

ฟุตบอล จึงพัฒนาวิธีการทดสอบให้สอดคล้องกับธรรมชาติของกีฬาฟุตบอลและคล้ายคลึงสถานการณ์ในการเล่นกีฬาฟุตบอลมากที่สุด

สรุปผลการวิจัย

ผลการวิจัยสรุปได้ว่า แบบทดสอบที่พัฒนาขึ้นเพื่อให้สอดคล้องกับกีฬาฟุตบอล มีความคงที่ภายในของแบบทดสอบ และความเชื่อมั่นอยู่ในระดับที่ดี สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับกีฬาฟุตบอลได้

เอกสารอ้างอิง

กาหลง เย็นจิตต์. (2553). *วิทยาศาสตร์การกีฬาฟุตบอล (Sport Science for Soccer)*. กรุงเทพฯ: ศูนย์วิทยาศาสตร์การกีฬา, การกีฬาแห่งประเทศไทย.

เจริญ กระบวนรัตน์. (2538). *เทคนิคการฝึกความเร็ว*. กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ณัฐวุฒิ ไวโรจนานันต์ และ ชาญชัย ขันติศิริ. (2559). การสร้างเครื่องทดสอบเวลาปฏิกิริยาการตอบสนองของการทำงานระหว่างตากับการเคลื่อนไหวของร่างกายไปยังตำแหน่งเป้าหมายเพื่อใช้ในกีฬาแบดมินตัน. *วารสารศึกษาศาสตร์ปริทัศน์, 31*(3), 165-174.

ประโยค สุทธิสง่า. (2527). *แบบทดสอบทักษะฟุตบอลระดับอุดมศึกษาไทย.* ภาควิชาพลศึกษา คณะพลศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

สุวิมล ติรกานันท์. (2551). *การสร้างเครื่องมือวัดตัวแปรในการวิจัยทางสังคมศาสตร์: แนวทางสู่การปฏิบัติ*. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Cronbach, L. J. (1951). Coefficient alpha and the internal structure of tests. *Psychometrika,* 16, 297-334.

Hicheur, H., Chauvin, A., Chassot, S., Chenevière, X., & Taube, W. (2017). Effects of age on the soccer-specific cognitive-motor performance of elite young soccer players: Comparison between objective measurements and coaches' evaluation. *PLoS one, 12*(9), e0185460.

McGuckian, T. B., Cole, M. H., Chalkley, D., Jordet, G., & Pepping, G. J. (2019). Visual exploration when surrounded by affordances: frequency of head movements is predictive of response speed. *Ecological Psychology, 31*(1), 30-48.

Melick, N. V., Meddeler, B. M., Hoogeboom, T. J., Sanden, M., & van Cingel, R., (2017). How to determine leg dominance: The agreement between self-reported and observed performance in healthy adults. *PLoS One, 12*(12), e0189876.

การพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารจัดการงานบัณฑิตนิพนธ์

THE DEVELOPMENT OF MANAGEMENT INFORMATION SYSTEM FOR THESIS

เพียรทิพย์ ศรีสุธรรม*, รัตนา ลีรุ่งนาวารัตน์ และ ณัฏฐ์ธมน หีบจันทร์กรี
Peanthip Srisutam*, Rattana Leerungnavarat and Nattamol Heebjankri

สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา
Information and Communication Technology Major, Faculty of Science and Technology,
Bansomdejchaopraya Rajabhat University.

Received: 8 December 2021 Accepted: 24 June 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารจัดการงานบัณฑิตนิพนธ์ 2) หาประสิทธิภาพของระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารจัดการงานบัณฑิตนิพนธ์ และ 3) ศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้ระบบระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารจัดการงานบัณฑิตนิพนธ์ การทำงานของระบบอยู่ในรูปแบบของเว็บแอปพลิเคชั่น พัฒนาโดยใช้ภาษา PHP ร่วมกับระบบจัดการฐานข้อมูล MySQL กลุ่มตัวอย่างแบ่งเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ ผู้เชี่ยวชาญด้านกระบวนการจัดทำบัณฑิตนิพนธ์และการพัฒนาระบบสารสนเทศ จำนวน 3 คน และกลุ่มผู้ใช้งานระบบ จำนวน 62 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ 1) ระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารจัดการงานบัณฑิตนิพนธ์ 2) แบบประเมินประสิทธิภาพของระบบ และ 3) แบบประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ สถิติที่ใช้ในงานวิจัย ได้แก่ ค่าเฉลี่ย และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการวิจัย พบว่า ระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารจัดการงานบัณฑิตนิพนธ์ ที่พัฒนาขึ้น แบ่งสิทธิ์การทำงานของผู้ใช้เป็น 3 กลุ่ม คือ ผู้ดูแลระบบ อาจารย์ และนักศึกษา ประกอบด้วยระบบงานย่อย 7 ระบบ คือ การจัดการข้อมูลผู้ใช้งาน การจัดการข้อมูลพื้นฐาน การจัดการข้อมูลบัณฑิตนิพนธ์ การจัดการข้อมูลการสอบบัณฑิตนิพนธ์ การจัดการข้อมูลเอกสารบัณฑิตนิพนธ์ การค้นหาและติดตามข้อมูลบัณฑิตนิพนธ์ และการ

* ผู้ประสานงาน: เพียรทิพย์ ศรีสุธรรม
อีเมล์: thiplovely@hotmail.com

จัดทำรายงาน ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบโดยผู้เชี่ยวชาญ ในภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\overline{X}$ = 4.68, S.D. = 0.49) และผลการศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้ระบบในภาพรวมอยู่ในระดับมาก ($\overline{X}$ = 4.27, S.D. = 0.62)

คำสำคัญ: ระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารจัดการงานบัณฑิตนิพนธ์, ระบบบริหารจัดการบัณฑิตนิพนธ์

Abstract

The objectives of this research were 1) develop the management information system for my thesis; 2) evaluate the effectiveness of the management information system for my thesis; and 3) study user satisfaction with the management information system for my thesis. The functionality of the system is a web application and was developed using PHP and the MySQL database management system. The samples were divided into 2 groups, namely, three experts in graduate thesis and information systems development and 62 system users. The instruments in this research were 1) an information system for thesis management; 2) a system efficiency assessment form; and 3) a user satisfaction questionnaire. The statistic used in the research were mean and standard deviation. It was found that the developed information system for the management of thesis divided the work rights of users into three groups, namely, administrators, teachers, and students, with seven sub-systems which consisted of user information management, basic data management, thesis information management, data management for thesis examinations, data management of thesis documents searching and tracking, and thesis preparation. The result of system performance evaluation by experts were at the highest level ($\overline{X}$ = 4.68, S.D. = 0.49). The result of the users' satisfaction was at a high level ($\overline{X}$ = 4.27, S.D. = 0.62).

Keywords: the management information system for thesis, thesis management system

บทนำ

ความก้าวหน้าของเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ต ส่งผลกระทบต่อการดำเนินชีวิตของมนุษย์เกือบทุกด้าน มนุษย์สามารถเข้าถึงข้อมูลข่าวสารในอินเทอร์เน็ตได้ทุกที่ทุกเวลา จำนวนผู้ใช้งานอินเทอร์เน็ตเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากสถิติ ณ ปี พ.ศ. 2562 มีจำนวนคนไทยใช้อินเทอร์เน็ตประมาณ 52 ล้านคน และเพิ่มขึ้นจากปีที่ผ่านมาประมาณ 1 ล้านคน คนไทยใช้อินเทอร์เน็ตนานขึ้นเฉลี่ยวันละ 10 ชั่วโมง 5 นาที เพิ่มขึ้นทุกปี (สำนักงานพัฒนาธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์, 2562) องค์กรทั้งภาครัฐและเอกชนต้องมีการปรับกระบวนการทำงานให้สอดรับกับเทคโนโลยีที่เปลี่ยนไปอย่างรวดเร็ว โดยมีการขับเคลื่อนให้เกิดกระบวนการสื่อสารข้อมูลภายในและภายนอกองค์กร ในรูปแบบออนไลน์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต เข้ามาทดแทนการบริหารจัดการข้อมูลในรูปแบบเอกสาร ด้วยการนำระบบสารสนเทศในรูปแบบต่าง ๆ มาใช้ในการดำเนินงานขององค์กร เป้าหมาย คือ การใช้ความก้าวหน้าของเทคโนโลยี เพื่อการบริหารจัดการข้อมูล เพื่อนำไปสู่การบรรลุวัตถุประสงค์ขององค์กร ภายใต้กระแสความเปลี่ยนแปลง และความก้าวหน้าของเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารนั่นเอง (Eroshkina et al., 2017)

สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา ในฐานะของเป็นหน่วยงานของสถาบันการศึกษา ซึ่งมีหน้าที่ในการผลิตบุคลากรที่มีความรู้ความสามารถ เพื่อตอบสนองการพัฒนาประเทศ ได้เล็งเห็นถึงประโยชน์และคุณค่าของเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารที่จะมีต่อการพัฒนาเศรษฐกิจ สังคม และคุณภาพชีวิตของประชาชน จึงมีเป้าหมายเพื่อผลิตบัณฑิตที่มีความรู้ ความสามารถ และทักษะเฉพาะด้านทางเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร ที่สอดคล้องกับแผนพัฒนาดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม และเพื่อตอบสนองความต้องการขององค์กรทั้งภาครัฐและเอกชน และท้องถิ่น ซึ่งโครงสร้างของหลักสูตรได้มีรายวิชาโครงงานเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร 2 ที่นักศึกษาชั้นปีที่ 4 ทุกคน ต้องจัดทำบัณฑิตนิพนธ์ที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร จัดทำรูปเล่มเอกสารบัณฑิตนิพนธ์ที่สมบูรณ์ และจัดทำบทความวิจัยเพื่อตีพิมพ์เผยแพร่เป็นขั้นตอนสุดท้าย ทั้งนี้การบริหารจัดการขั้นตอนต่าง ๆ ยังขาดการจัดเก็บข้อมูลที่ดี ส่งผลให้เกิดปัญหาในการบริหารจัดการข้อมูล เกิดความล่าช้าในการค้นหาติดตาม และการสูญหายของเอกสารหลักฐานบางส่วน

จากปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดนำเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารมาประยุกต์ใช้ เพื่อแก้ปัญหาในการบริหารจัดการงานบัณฑิตนิพนธ์ โดยการพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารจัดการงานบัณฑิตนิพนธ์ ในรูปแบบของเว็บแอพพลิเคชั่น ที่สามารถบริหารจัดการเกี่ยวกับกระบวนจัดสอบ ตลอดจนการติดตามสถานะของบัณฑิตนิพนธ์ การจัดเก็บไฟล์รูปเล่มบัณฑิตนิพนธ์ในรูปแบบดิจิตอล รองรับการสืบค้นข้อมูลได้อย่างสะดวกรวดเร็ว สามารถเข้าถึงข้อมูลได้ทุกที่ทุกเวลา ลดปัญหาข้อมูลสูญหาย และค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บเอกสาร และหาประสิทธิภาพของระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารจัดการงานบัณฑิตนิพนธ์ เพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพในการดำเนินงานดียิ่งขึ้น ทั้งนี้ยังศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้ระบบระบบเพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้ระบบการบริหารจัดการงานบัณฑิตนิพนธ์ให้เป็นแหล่งความรู้ทางด้านเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารเพื่อเผยแพร่แก่นักศึกษาและผู้ที่สนใจ (ประพัฒน์ อธิปัญจพงษ์, 2562)

ขอบเขตของการวิจัย

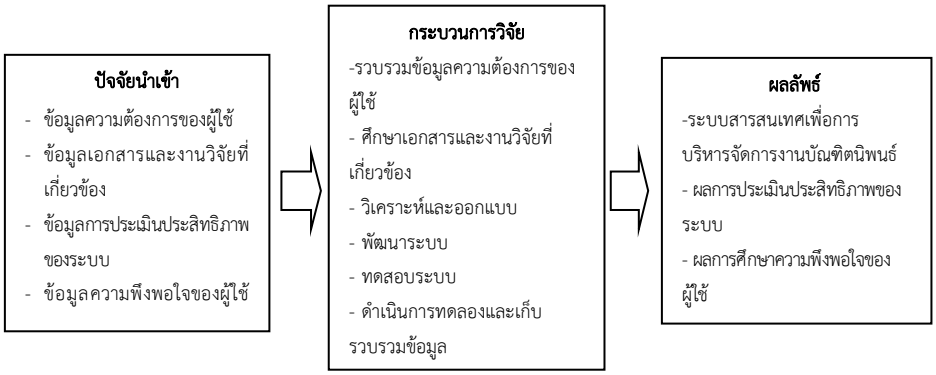
ระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารจัดการงานบัณฑิตนิพนธ์ ใช้สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา เป็นกรณีศึกษา มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง ที่ใช้ในวิจัยครั้งนี้ ประชากร ได้แก่ อาจารย์และนักศึกษาของสาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา จำนวน 73 คน และได้เลือกกลุ่มตัวอย่าง โดยการใช้สูตรทาโร่ยามาเน่ โดยได้ผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการบวนการจัดทำบัณฑิตนิพนธ์ จำนวน 62 คน

2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ แบบประเมินประสิทธิภาพของระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารจัดการงานบัณฑิตนิพนธ์ สำหรับผู้เชี่ยวชาญ และแบบสอบถามความพึงพอใจต่อระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารจัดการงานบัณฑิตนิพนธ์ สำหรับผู้ใช้งานระบบ

3. ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัยครั้ง ตัวแปรต้น ได้แก่ ระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารจัดการงานบัณฑิตนิพนธ์ และตัวแปรตาม ได้แก่ ผลการประเมินประสิทธิภาพ และผลการประเมินความพึงพอใจของระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารจัดการงานบัณฑิตนิพนธ์

4. ระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารจัดการงานบัณฑิตนิพนธ์ ที่พัฒนาขึ้นเป็นเว็บแอปพลิเคชั่นทำงานผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต จำแนกขอบเขตออกเป็น 7 ระบบ ได้แก่ ระบบที่ 1 การกำหนดสิทธิ์ในการใช้งานของผู้ใช้ระบบ สามารถ ตรวจสอบข้อมูลของผู้ใช้ระบบ กำหนดสิทธิ์ในการใช้งาน บันทึกข้อมูลผู้ใช้ระบบ ระบบที่ 2 จัดการข้อมูลพื้นฐานระบบ สามารถ จัดการข้อมูลคณะ จัดการข้อมูลสาขาวิชา จัดการข้อมูลอาจารย์ จัดการข้อมูลนักศึกษา จัดการข้อมูลภาคการศึกษา จัดการข้อมูลห้องสอบ ระบบที่ 3 กำหนดข้อมูลบัณฑิตนิพนธ์ สามารถ จัดการข้อมูลหัวข้อบัณฑิตนิพนธ์ จัดการข้อมูลอาจารย์ที่ปรึกษาบัณฑิตนิพนธ์ จัดการข้อมูลภาคการศึกษาที่จัดทำบัณฑิตนิพนธ์ จัดการข้อมูลผู้จัดทำบัณฑิตนิพนธ์ บันทึกข้อมูลบัณฑิตนิพนธ์ ระบบที่ 4 จัดการข้อมูลการสอบบัณฑิตนิพนธ์ สามารถ แจ้งความประสงค์ขอสอบ จัดตารางสอบ บันทึกผลการสอบ ระบบที่ 5 จัดการไฟล์เอกสารบัณฑิตนิพนธ์ สามารถ ตรวจสอบสถานะบัณฑิตนิพนธ์ แนบไฟล์เอกสารบัณฑิตนิพนธ์ บันทึกข้อมูลเอกสารแนบ ระบบที่ 6 ค้นหาข้อมูลบัณฑิตนิพนธ์ สามารถ ระบุเงื่อนไขในการค้นหา สืบค้นข้อมูล แสดงรายงานการค้นหา และระบบที่ 7 จัดทำรายงาน สามารถ แสดงรายงานหัวข้อบัณฑิตนิพนธ์ รายงานภาระอาจารย์ที่ปรึกษา รายงานงานการจัดสอบ รายงานผู้ใช้ระบบได้



รูปที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. รวบรวมความต้องการจากผู้ใช้งานระบบ

ผู้พัฒนาระบบรวบรวมความต้องการ โดยใช้เทคนิคการสัมภาษณ์ และเทคนิคการสังเกตการจัดการงานบัณฑิตนิพนธ์ของสาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา เพื่อให้เกิดความเข้าใจในปัญหา ความต้องการ รวมถึงกระบวนการต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในระบบ โดยข้อมูลที่ได้จะนำมาเป็นข้อมูลประกอบในการดำเนินงาน และการตัดสินใจในการพัฒนาระบบ ได้แบ่งการทำงานเป็น 3 ด้าน ดังนี้

1.1 ด้านอาจารย์ เข้าสู่ระบบด้วยการ Login สามารถ 1) ดูรายงานต่าง ๆ ที่มีในระบบ 2) ค้นหาข้อมูลบัณฑิตนิพนธ์ 3) อนุมัติหัวข้อบัณฑิตนิพนธ์ 4) อนุมัติการเสนอความก้าวหน้าบัณฑิตนิพนธ์ 5) อนุมัติการเสนอเอกสารป้องกันบัณฑิตนิพนธ์ 6) อนุมัติการเสนอเอกสารบัณฑิตนิพนธ์ฉบับสมบูรณ์ และ 7) บันทึกผลการสอบบัณฑิตนิพนธ์

1.2 ด้านผู้ดูแลระบบ เข้าสู่ระบบด้วยการ Login สามารถ 1) กำหนดข้อมูลพื้นฐานของระบบ 2) กำหนดสิทธิการใช้งานให้กับผู้ใช้งานระบบ 3) กำหนดตารางสอบ 4) จัดการข้อมูลการสอบบัณฑิตนิพนธ์ 5) จัดการไฟล์เอกสารบัณฑิตนิพนธ์ 6) อนุมัติหัวข้อบัณฑิตนิพนธ์ 7) อนุมัติการเสนอความก้าวหน้าบัณฑิตนิพนธ์ 8) อนุมัติการเสนอเอกสารป้องกันบัณฑิตนิพนธ์ 9) อนุมัติการเสนอเอกสารบัณฑิตนิพนธ์ฉบับสมบูรณ์ 10) บันทึกผลการสอบบัณฑิตนิพนธ์ และ 11) จัดการข้อมูลเอกสารสำหรับการจัดทำบัณฑิตนิพนธ์

1.3 นักศึกษา เข้าสู่ระบบด้วยการ Login สามารถ 1) จัดการข้อมูลบัณฑิตนิพนธ์ 2) แจ้งความประสงค์ของสอบ และ 3) ค้นหาข้อมูลบัณฑิตนิพนธ์

2. ศึกษาและค้นคว้าข้อมูล

2.1 การศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเอกสารระเบียบ ข้อกำหนด และแบบฟอร์มต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการจัดทำบัณฑิตนิพนธ์ของสาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร จากเล่มหลักสูตรเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร ฉบับปรับปรุง พ.ศ.2560 ทั้งนี้เพื่อกำหนดเป็นข้อกำหนดความต้องการของผู้ใช้ (User Requirements) ใช้เป็นแนวทางในการวิเคราะห์และออกแบบระบบในขั้นต่อไป

2.2 ศึกษากระบวนการพัฒนาระบบสารสนเทศ ตามทฤษฎีวงจรการพัฒนาระบบสารสนเทศ ที่มีกระบวนการตามลำดับ เริ่มต้นจากการกำหนดปัญหา การวิเคราะห์

ระบบ การออกแบบระบบ การพัฒนาระบบ การทดสอบระบบ การติดตั้งและการบำรุงรักษา ซึ่งขั้นตอนในแต่ละช่วงจะสืบเนื่องกัน จากขั้นตอนหนึ่งสู่อีกขั้นตอนหนึ่งตามลำดับเหมือนสายน้ำตก และสามารถย้อนกลับไปปรับปรุงขั้นตอนก่อนหน้าได้ (วศิน เพิ่มทรัพย์, 2561)

2.3 ศึกษาขั้นตอนการออกแบบฐานข้อมูล ซึ่งประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ การออกแบบฐานข้อมูลเชิงแนวคิด การออกแบบฐานข้อมูลเชิงตรรกะ และการออกแบบฐานข้อมูลเชิงกายภาพ ที่ในแต่ละขั้นตอนมีเครื่องมือที่เกี่ยวข้องดังนี้

1) แบบจำลองข้อมูลเชิงแนวคิด (Conceptual Data Model) เป็นแบบจำลองแรกของการออกแบบฐานข้อมูล ที่นำเสนอโครงสร้างของฐานข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กันในรูปแบบของอีอาร์ไดอะแกรม (ER-Diagram) แสดงความสัมพันธ์กันระหว่างเอนทิตี้ต่าง ๆ ในระบบในรูปแบบความสัมพันธ์ 3 ประเภท คือ ความสัมพันธ์แบบหนึ่งต่อหนึ่ง ความสัมพันธ์แบบหนึ่งต่อกลุ่ม และความสัมพันธ์แบบกลุ่มต่อกลุ่ม

2) แบบจำลองฐานข้อมูลเชิงตรรกะ (Logical Data Model) เป็นแบบจำลองข้อมูลที่เกิดขึ้นหลังจากเลือกระบบจัดการฐานข้อมูล (DBMS) แล้ว โดยงานวิจัยครั้งนี้ได้ใช้ฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ (Relational Database) ซึ่งข้อมูลจะถูกจัดเก็บในตารางข้อมูล (table) ที่ประกอบด้วยคอลัมน์ (column) ข้อมูลแต่ละแถวในตารางเรียกว่าเรคอร์ด แต่ละตารางต้องระบุคีย์หลัก (Primary Key) เพื่อบอกความแตกต่างระหว่างแถว และมีคีย์นอก (Foreign Key) เป็นตัวเชื่อมความสัมพันธ์ระหว่างตาราง

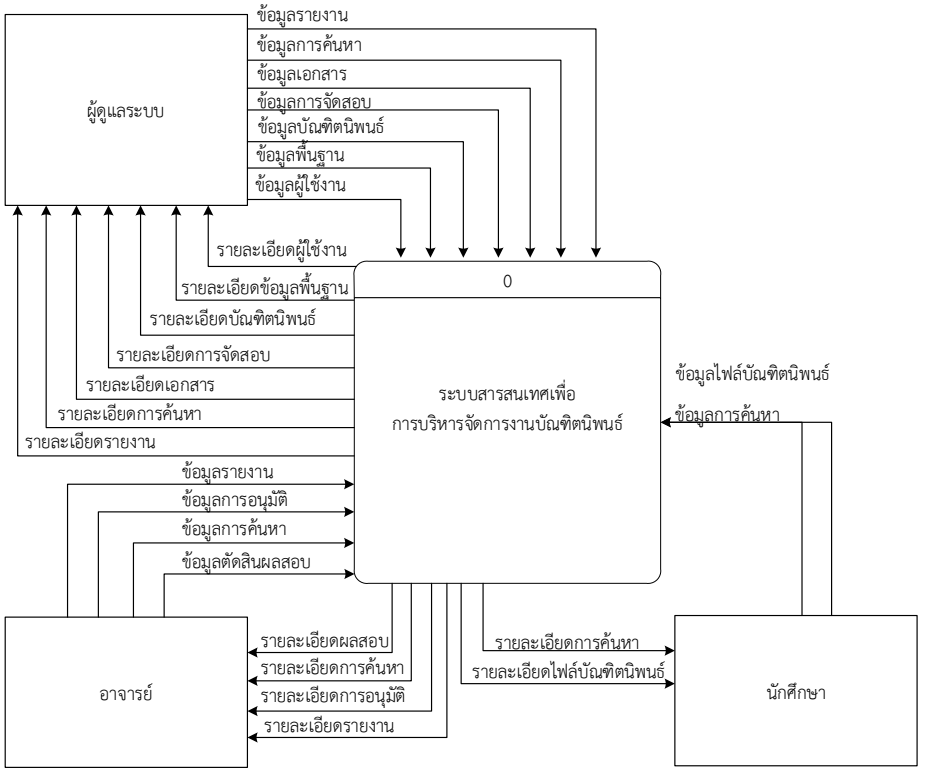
3) ระบบจัดการฐานข้อมูล (Database Management System : DBMS) หมายถึง ซอฟต์แวร์หรือโปรแกรมที่ทำหน้าที่จัดการฐานข้อมูล ที่อำนวยความสะดวกแก่ผู้ใช้งานในการบริหารจัดการฐานข้อมูล เช่น สร้างฐานข้อมูล การสร้างตารางจัดเก็บข้อมูล การเพิ่ม การลบ การแก้ไข และเรียกดูข้อมูล ด้วยเครื่องมือที่ใช้งานได้ง่าย โปรแกรมระบบจัดการฐานข้อมูลจะทำหน้าที่เป็นตัวกลางระหว่าง ผู้ใช้งานฐานข้อมูลหรือโปรแกรมประยุกต์ที่พัฒนาขึ้น เพื่อจัดการข้อมูลในฐานข้อมูล

4) ระบบจัดการฐานข้อมูล MySQL คือ ระบบจัดการฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ (Relation Database Management) พัฒนาโดยบริษัท MYSQL AB ใช้ภาษาเอสคิวแอล (SQL) เป็นภาษาในการสื่อสาร รองรับระบบปฏิบัติการได้หลากหลาย เหมาะกับการใช้งานร่วมกับโปรแกรมประยุกต์บนเว็บ สามารถทำงานร่วมกับภาษาสคริปต์ที่ทำงานฝั่งเครื่อง

บริการ เช่น ภาษา PHP ภาษา Python เป็นต้น MySQL เป็นระบบฐานข้อมูลโอเพนทซอร์ท (Open Source) ที่นิยมและใช้งานมากที่สุดในปัจจุบัน

3. การวิเคราะห์ระบบ

เป็นการความต้องการของผู้ใช้ (User Requirement) ที่ชัดเจนแล้วมาเป็นแนวทางในการกำหนดความต้องการของระบบใหม่ โดยใช้แบบจำลองกระบวนการ คือ แผนภาพกระแสข้อมูล (Data Flow Diagram : DFD) ดังรูปที่ 2



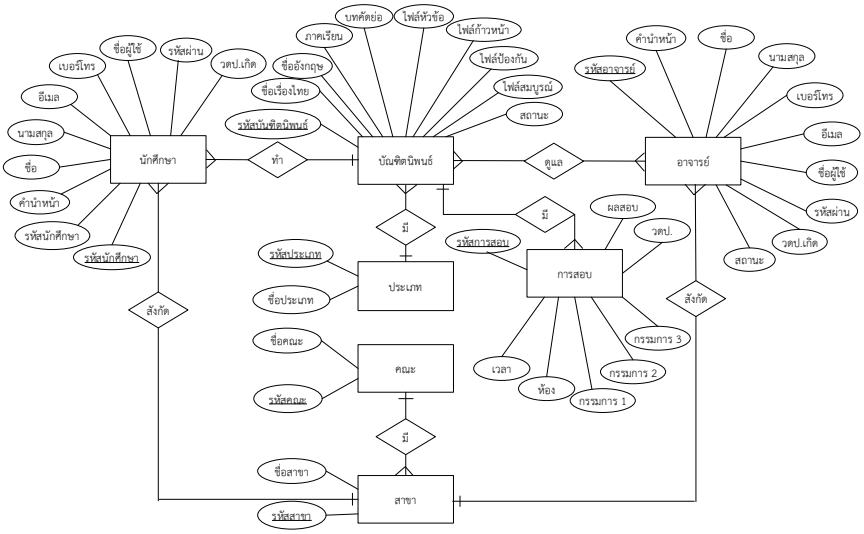
รูปที่ 2 แผนภาพกระแสข้อมูลของระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารจัดการบัณฑิตนิพนธ์

4. การออกแบบระบบ เมื่อกำหนดความต้องการของแต่ละส่วนแล้ว ต่อมาดำเนินการออกแบบเว็บไซต์ และออกแบบฐานข้อมูล โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

4.1 ส่วนประกอบของเว็บเพจ สามารถแบ่งเป็น 4 ส่วน ดังนี้ ส่วนหัวแสดงชื่อระบบ ส่วนที่ประกอบด้วยเมนูต่าง ๆ และส่วนเนื้อหา และส่วนท้าย ดังรูปที่ 3

รูปที่ 3 ส่วนประกอบของเว็บไซต์

4.2 การออกแบบฐานข้อมูล โดยการออกแบบอีอาร์ไดอะแกรม (ER-Diagram) เป็นไดอะแกรมแสดงความสัมพันธ์กันระหว่างเอนทิตี้ที่เกี่ยวข้องกันภายในระบบ ประกอบด้วย 1) นักศึกษา 2) บัณฑิตนิพนธ์ 3) อาจารย์ที่ปรึกษา 4) ประเภทบัณฑิตนิพนธ์ 5) การจัดสอบ 6) คณะ 7) สาขา ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แผนภาพ อี-อาร์ ระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารจัดการงานบัณฑิตนิพนธ์

5. การพัฒนาระบบระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารจัดการงานบัณฑิตนิพนธ์ เริ่มจากการติดตั้งโปรแกรม XAMPP เพื่อจำลองเครื่องเว็บเซิร์ฟเวอร์ ทำการสร้างฐานข้อมูลโดยการ

ใช้โปรแกรม phpMyAdmin เพื่อสร้างข้อมูลในฐานข้อมูล MySQL หลังจากนั้นทำการพัฒนาระบบโดยใช้โปรแกรม Visual Studio Code ภาษาที่ใช้ในการพัฒนา ได้แก่ ภาษา HTML, PHP, SQL, CSS, jQuery และ JavaScript

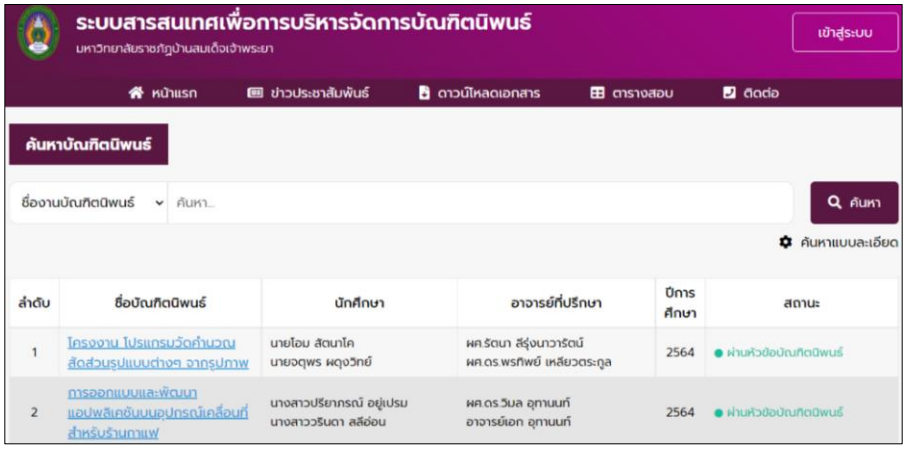
6. การทดสอบระบบ ใช้วิธีการทดสอบระบบแบบ Black Box Testing ผู้พัฒนาเป็นผู้ทดสอบระบบเพื่อหาข้อผิดพลาด และสิ่งที่ต้องแก้ไขเพิ่มเติม เมื่อทำการทดสอบเสร็จสิ้น ดำเนินการแก้ไขระบบ ตามข้อผิดพลาดที่ตรวจพบเพื่อให้ระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารจัดการงานบัณฑิตนิพนธ์ สามารถใช้งานได้อย่างถูกต้อง หลังจากนั้นได้ให้ผู้เชี่ยวชาญด้านกระบวนการจัดทำบัณฑิตนิพนธ์ และการพัฒนาระบบสารสนเทศ จำนวน 3 คน ทำการทดสอบระบบเพื่อหาข้อผิดพลาด และสิ่งที่ต้องแก้ไขเพิ่มเติม

7. การติดตั้งระบบแบบขนาน (Parallel Conversation) คือ การที่ระบบงานเก่ายังคงปฏิบัติงานอยู่แต่ระบบใหม่ก็เริ่มต้นทำงานพร้อม ๆ กัน เพราะทำให้อัตราความเสี่ยงของการหยุดชะงักของงานลดน้อยลง เมื่อผลลัพธ์ได้รับการตรวจสอบแล้วว่าถูกต้องในช่วงเวลาหนึ่ง และใช้งานจริงโดยเรียกใช้งานผ่าน https://realbearpro.com/bansomdesh/login.php

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ผลจากการพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารจัดการงานบัณฑิตนิพนธ์โดยใช้รูปแบบของเว็บแอพพลิเคชั่น สามารถบริหารจัดการเกี่ยวกับกระบวนจัดสอบ ตลอดจนการติดตามสถานะของบัณฑิตนิพนธ์ การจัดเก็บไฟล์รูปเล่มบัณฑิตนิพนธ์ในรูปแบบดิจิตอล รองรับการสืบค้นข้อมูลได้อย่างสะดวกรวดเร็ว ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการดำเนินงานดียิ่งขึ้น โดยแบ่งตามขอบเขตของผู้ใช้งานเป็น 3 กลุ่ม คือ ผู้ดูแลระบบ อาจารย์ และนักศึกษา

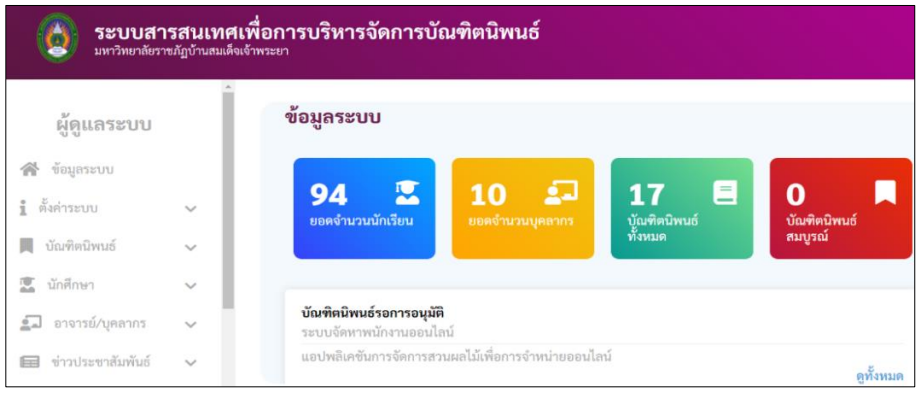
1.1 เมื่อเข้าสู่ระบบผ่านทางโปรแกรมเว็บเบราว์เซอร์ จะพบหน้าจอหลักของระบบ ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 หน้าหลักของระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารจัดการบัณฑิตนิพนธ์

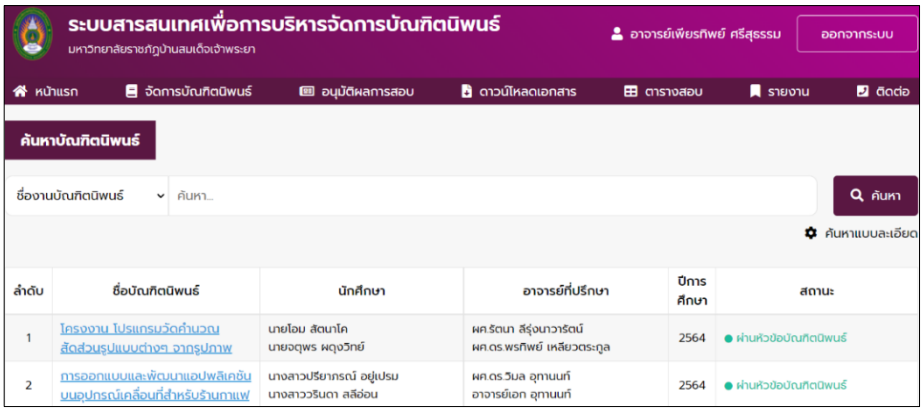
จากรูปที่ 5 เมื่อเข้าสู่ระบบครั้งแรก จะพบหน้าจอหลักประกอบด้วย เมนูหลัก คือ หน้าแรก ข่าวประชาสัมพันธ์ ดาวน์โหลดเอกสาร ตารางสอบ ส่วนของการเข้าสู่ระบบ และส่วนแสดงเนื้อหาที่ประกอบด้วย รายชื่อหัวข้อบัณฑิตนิพนธ์

1.2 ผู้ดูแลระบบ ฟังก์ชันการทำงาน ประกอบด้วย การตั้งค่าระบบ การจัดการข้อมูลบัณฑิตนิพนธ์ การจัดการข้อมูลนักศึกษา การจัดการข้อมูลอาจารย์ การจัดการข้อมูลข่าวประชาสัมพันธ์ การจัดการเอกสาร การจัดสอบบัณฑิตนิพนธ์ และการจัดการข้อมูลช่องทางการติดต่อ ดังรูปที่ 6



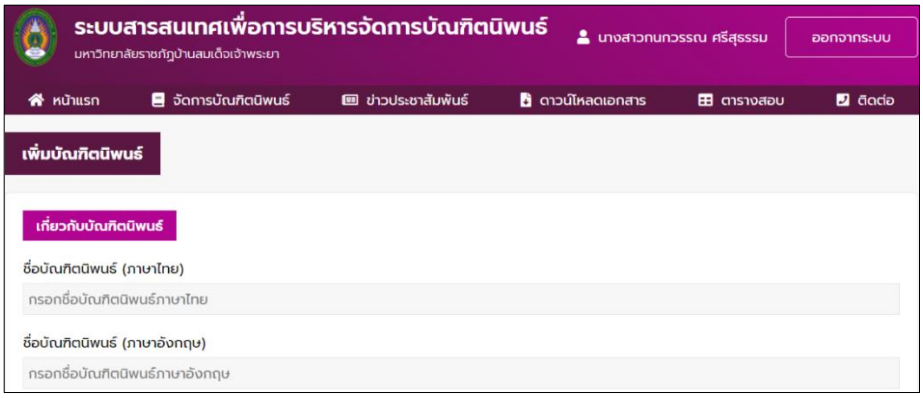
รูปที่ 6 ส่วนหน้าจอหลักของผู้ดูแลระบบ

1.3 อาจารย์ ประกอบด้วยกระบวนการทำงาน การเข้าสู่ระบบ จัดการบัณฑิตนิพนธ์ อนุมัติผลการสอบ ดาวน์โหลดเอกสาร การดูข้อมูลตารางสอบ และการดูรายงาน ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 รายละเอียดบัณฑิตนิพนธ์ในความดูแลของอาจารย์

1.4 นักศึกษา หลังจากเข้าสู่ระบบแล้ว นักศึกษาสามารถจัดการข้อมูลส่วนบุคคลได้เหมือนกับส่วนของอาจารย์ที่กล่าวมาแล้ว และสามารถจัดการข้อมูลบัณฑิตนิพนธ์ ตรวจสอบตารางสอบ และดาวน์โหลดเอกสาร ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 การเพิ่มข้อมูลบัณฑิตนิพนธ์

2. ผลจากการประเมินประสิทธิภาพของระบบโดยผู้เชี่ยวชาญ โดยใช้แบบประเมินประสิทธิภาพทางด้านการพัฒนาระบบสารสนเทศ แบ่งสอบถามแบ่งออกเป็น 3 ด้าน ได้แก่ ด้านการวิเคราะห์และออกแบบระบบ ด้านการออกแบบฐานข้อมูล และด้านการใช้งานแอพพลิเคชั่น ใช้มาตรวัดของลิเคอร์ท (Likert) ประกอบด้วยมาตรอันดับเชิงคุณภาพและมาตรอันดับเชิงปริมาณ 5 ระดับ ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบ โดยผู้เชี่ยวชาญ

รายการประเมิน	ผลการวิเคราะห์		ระดับ
	$\overline{X}$	S.D.	
1. ด้านการวิเคราะห์และออกแบบระบบ	4.52	0.55	มากที่สุด
2. ด้านการออกแบบฐานข้อมูล	4.67	0.48	มากที่สุด
3. ด้านการใช้งานแอปพลิเคชัน	4.82	0.39	มากที่สุด
รวม	**4.68**	**0.49**	มากที่สุด

จากตารางที่ 1 ผลการประเมินประสิทธิภาพของของระบบ โดยผู้เชี่ยวชาญด้านการพัฒนาระบบสารสนเทศ พบว่า ประสิทธิภาพของระบบในภาพรวม อยู่ในระดับมากที่สุด ($\overline{X}$ = 4.68, S.D. = 0.49) เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่า ด้านที่มีผลประเมินประสิทธิภาพมากที่สุด คือ ด้านการใช้งานแอปพลิเคชัน ($\overline{X}$ = 4.82, S.D. = 0.39) รองลงมา คือ ด้านการออกแบบฐานข้อมูล ($\overline{X}$ = 4.67, S.D. = 0.48) และด้านการวิเคราะห์และออกแบบระบบ ($\overline{X}$ = 4.52, S.D. = 0.55) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ประพาพร มั่นคง และ มานิตย์ อาษานอก (2559) ที่ทำการประเมินประสิทธิภาพและการศึกษาความพึงพอใจต่อระบบสารสนเทศเพื่อการติดตามวิทยานิพนธ์ คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่กล่าวไว้ว่าประสิทธิภาพด้านโปรแกรมคอมพิวเตอร์มีความเหมาะสมในระดับมากที่สุด ระบบสารสนเทศที่พัฒนาขึ้นมีความถูกต้องตามที่ออกแบบไว้ สามารถจัดเก็บ ค้นหาและติดตามข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว เป็นปัจจุบัน ทันท่วงที

3. ผลจากการศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้ระบบ โดยใช้แบบประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ระบบ ผลการประเมิน ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีต่อระบบทุกด้าน

รายการประเมิน	ผลการวิเคราะห์		ระดับ
	$\bar{X}$	S.D.	
1. ด้านการตรงตามความต้องการของผู้ใช้ระบบ	4.28	0.76	มาก
2. ด้านการทำงานได้ตามฟังก์ชั่นงานของระบบ	4.36	0.72	มาก
3. ด้านความง่ายต่อการใช้งานของผู้ใช้ระบบ	4.29	0.71	มาก
4. ด้านการรักษาความปลอดภัยของข้อมูลในระบบ	4.35	0.71	มาก
รวม	**4.32**	**0.72**	**มาก**

จากตารางที่ 2 ผลการศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีต่อระบบในทุกด้าน จากกลุ่มผู้ใช้งานระบบ พบว่า ผู้ใช้งานมีความพึงพอใจต่อระบบที่พัฒนาขึ้นในภาพรวม อยู่ในระดับดี ($\bar{X}$ = 4.27, S.D. = 0.62) ด้านที่ผู้ใช้งานมีความพึงพอใจมากที่สุด คือ ด้านการทำงานได้ตามฟังก์ชั่นงานของระบบ ($\bar{X}$ = 4.36, S.D. = 0.72) รองลงมา คือ ด้านการรักษาความปลอดภัยของข้อมูลในระบบ ($\bar{X}$ = 4.35, S.D. = 0.71) และด้านความง่ายต่อการใช้งานของผู้ใช้ระบบ ($\bar{X}$ = 4.29, S.D. = 0.71) ส่วนด้านที่ผู้ใช้งานมีความพึงพอใจน้อยที่สุด คือ ด้านการตรงตามความต้องการของผู้ใช้ระบบ ($\bar{X}$ = 4.28, S.D. = 0.76) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของประพัฒน์ อธิปัญจพงษ์ (2562) ที่ทำการพัฒนาระบบการจัดการสารสนเทศโครงงานพิเศษและสหกิจศึกษาของนักศึกษาภาควิชาพัฒนาการเกษตรและการจัดการทรัพยากร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่กล่าวไว้ว่า ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ระบบอยู่ในระดับดี สามารถแก้ปัญหาการสืบค้น การเข้าถึงข้อมูล การจัดเก็บข้อมูล

สรุปผลผลการวิจัย

1. ผลการพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารจัดการบัณฑิตนิพนธ์ มีรูปแบบการทำงานเป็นเว็บแอปพลิเคชั่นที่แสดงผล และเข้าถึงได้ผ่านทางโปรแกรมเว็บเบราว์เซอร์ การทำงานของระบบแบ่งตามส่วนของผู้ใช้ 3 ส่วน ประกอบด้วย 1) ส่วนของผู้ดูแลระบบ 2) ส่วนของอาจารย์ และ 3) ส่วนของนักศึกษา โมดูลการทำงานหลัก คือ 1) การจัดการข้อมูลผู้ใช้งาน 2) การจัดการข้อมูลพื้นฐานระบบ 3) การจัดการข้อมูลบัณฑิตนิพนธ์ 4) การ

จัดการข้อมูลการจัดสอบ 5) การจัดการข้อมูลเอกสาร 6) การค้นหาข้อมูลบัณฑิตนิพนธ์ และ 7) การจัดทำรายงาน

2. ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบโดยผู้เชี่ยวชาญด้านการพัฒนาระบบเทคโนโลยีสารสนเทศโดยภาพรวม พบว่า ประสิทธิภาพของระบบในภาพรวม อยู่ในระดับมากที่สุด แสดงให้เห็นว่าระบบมีความสะดวกรวดเร็วในการค้นหาติดตามบัณฑิตนิพนธ์ มีการควบคุมให้ใช้งานตรมสิทธิ์ของผู้ใช้ระบบ มีการจัดวางองค์ประกอบภายในหน้าจอ การใช้รูปแบบ ขนาด และสีตัวอักษรชัดเจนเหมาะสมง่ายต่อการอ่าน โดยภาพรวมของเว็บไซต์เป็นที่น่าพอใจ

3. ผลการศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้งานที่มีต่อระบบในทุกด้าน จากกลุ่มผู้ใช้งานระบบ พบว่าผู้ใช้งานมีความพึงพอใจต่อระบบที่พัฒนาขึ้นในภาพรวม อยู่ในระดับดี แสดงให้เห็นว่าระบบที่พัฒนาขึ้นมีการดำเนินงานได้ตามฟังก์ชั่นงานของระบบ สามารถบริหารจัดการข้อมูลบัณฑิตนิพนธ์ได้ตามสิทธิที่กำหนด สามารถค้นหาติดตามบัณฑิตนิพนธ์ รวมทั้งกระบวนการจัดสอบและการแสดงรายงานต่าง ๆ ที่แสดงข้อมูลสรุปได้ตามความต้องการของผู้ใช้ ระบบมีการรักษาความปลอดภัยของข้อมูล และง่ายต่อการใช้งาน

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

1.1 กระบวนการแนบไฟล์เอกสารบัณฑิตนิพนธ์แต่ละขั้นตอน ต้องได้รับการอนุมัติจากอาจารย์ที่ปรึกษา ดังนั้นที่ปรึกษาบัณฑิตนิพนธ์จำเป็นต้องตรวจสอบภาระงานที่รอการอนุมัติในระบบอย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้นักศึกษาดำเนินขั้นต่อไปได้

1.2 ระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารจัดการงานบัณฑิตนิพนธ์ แบ่งกลุ่มผู้ใช้งานตามสิทธิของผู้ใช้ที่ต่างกัน ผู้ใช้งานควรทำความเข้าใจคู่มือเพื่อการใช้งานได้อย่างถูกต้อง

1.3 ระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารจัดการงานบัณฑิตนิพนธ์ ควรเพิ่มรายการประเมินให้สะท้อนในทุกมิติ

2. ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

2.1 ควรมีการพัฒนาโปรแกรมในรูปแบบของโมบายแอปพลิชันร่วมด้วย เพื่ออำนวยความสะดวกในการเข้าถึงระบบได้หลากหลายช่องทางเพิ่มมากขึ้น

2.2 ควรมีการพัฒนาในส่วนการแจ้งเตือนอาจารย์ที่ปรึกษาผ่านช่องทางอื่น เช่น SMS หรือ Line เพื่อแจ้งเตือนเอกสารบัณฑิตนิพนธ์ที่รอการอนุมัติจากอาจารย์ที่ปรึกษา

2.3 ควรพัฒนาระบบการจัดสอบให้สามารถบันทึกคะแนนผ่านระบบได้

2.4 ควรพัฒนาระบบให้สามารถเพิ่มจำนวนกรรมการสอบได้อย่างอิสระ

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา ที่อนุมัติทุนวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

นิมารูนี หะยีวาเงาะ, โซฟีนา ลาเม็ง และ รอมศีล แตมาสา. (2562). การพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการด้านวิจัยของสถาบันวิจัยและพัฒนาชายแดนใต้ มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา. *วารสารวิทยบริการ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 30*(3), 153-164.

ประพัฒน์ อธิปัญจพงษ์. (2562). การพัฒนาระบบจัดการสนสนเทศโครงงานพิเศษและสหกิจศึกษา ของนักศึกษาภาควิชาพัฒนาการเกษตรและการจัดการทรัพยากร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. *วารสารวิชาการ ปชมท, 8*(2), 40-52.

ประพาพร มั่นคง และ มานิตย์ อาษานอก. (2559). การประเมินประสิทธิภาพและการศึกษาความพึงพอใจ ต่อระบบสารสนเทศเพื่อการติดตามวิทยานิพนธ์คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. *วารสารการวัดผลการศึกษา มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 22*(1), 183-190.

วศิน เพิ่มทรัพย์. (2561). *ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ.* กรุงเทพฯ: โปรวิชั่น.

สำนักงานพัฒนาธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์. (2562). *รายงานผลการสำรวจพฤติกรรมผู้ใช้อินเทอร์เน็ตในประเทศไทย ปี 2562.* กรุงเทพฯ.

Eroshkin, S. Yu., Kameneva, N. A., Kovkov, D.V., & Sukhorukov, A.I. (2017). Conceptual system in the modern information management. *Procedia Computer Science*, 103, 609 – 612.

สมการไดโอแฟนไทน์ $p^x + (p+10)^y = z^2$ เมื่อ p และ $p+10$ เป็นจำนวนเฉพาะ

ON THE DIOPHANTINE EQUATION $p^x + (p+10)^y = z^2$ WHEN p AND $p+10$ ARE PRIMES

สุธน ตาดี*
Suton Tadee*

สาขาวิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี
Department of Mathematics, Faculty of Science and Technology, Thepsatri Rajabhat University

Received: 15 May 2022 Accepted: 10 August 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ (x,y,z) ของสมการไดโอแฟนไทน์ $p^x + (p+10)^y = z^2$ เมื่อ p และ $p+10$ เป็นจำนวนเฉพาะ และพบว่า ถ้า x เป็นจำนวนเต็มคู่ จะได้ว่าสมการดังกล่าวไม่มีผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบและถ้า y เป็นจำนวนเต็มคู่ จะได้ว่า สมการดังกล่าวมีผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบเพียงสองผลเฉลยเท่านั้น คือ $(p,x,y,z) \in \{(3,1,0,2),(3,3,2,14)\}$

คำสำคัญ: สมการไดโอแฟนไทน์, ผลเฉลยจำนวนเต็ม

Abstract

This paper, reports the non-negative integer solutions (x,y,z) of the Diophantine equation $p^x + (p+10)^y = z^2$, when p and $p+10$ are primes. It proved that if x is an even integer, then this equation has no non-negative integer solution. If y is an even integer, then this equation has only two non-negative integer solutions which are $(p,x,y,z) \in \{(3,1,0,2),(3,3,2,14)\}$.

Keywords: Diophantine equation, integer solution

* ผู้ประสานงาน: สุธน ตาดี
อีเมล์: suton.t@lawasri.tru.ac.th

บทนำ

เมื่อไม่นานมานี้ได้มีผู้สนใจศึกษาค้นคว้าหาผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็ม (x, y, z) ของสมการไดโอแฟนไทน์ที่อยู่ในรูป $p^x + (p + h)^y = z^2$ เมื่อ p และ $p + h$ เป็นจำนวนเฉพาะ โดยที่ h เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ ตัวอย่างเช่น Bacani & Rabago (2015) ได้พบว่าสมการไดโอแฟนไทน์ $p^x + (p + 2)^y = z^2$ เมื่อ p และ $p + 2$ เป็นจำนวนเฉพาะ มีผลเฉลยทั้งหมดที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบอยู่ในรูป $(x, y, z) = \left(1,1, \sqrt{2p + 2}\right)$ เมื่อ $\sqrt{2p + 2}$ เป็นจำนวนเต็ม ต่อมา Burshtein (2018a) ได้พิสูจน์ว่าสมการไดโอแฟนไทน์ $p^x + (p + 4)^y = z^2$ เมื่อ $p > 3$ และ $p + 4$ เป็นจำนวนเฉพาะ ไม่มีผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มบวก นอกจากนี้ Burshtein (2018b) ได้ศึกษาผลเฉลยทั้งหมดที่เป็นจำนวนเต็มบวกของสมการไดโอแฟนไทน์ $p^x + (p + 6)^y = z^2$ เมื่อ $p, p + 6$ เป็นจำนวนเฉพาะ และ $x + y = 2, 3, 4$ ในปีเดียวกัน Neres (2018) ได้พบว่าสมการไดโอแฟนไทน์ $p^x + (p + 8)^y = z^2$ เมื่อ $p > 3$ และ $p + 8$ เป็นจำนวนเฉพาะ ไม่มีผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มบวก หลังจากนั้น Burshtein (2019) ได้ศึกษาผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มบวกของสมการไดโอแฟนไทน์ $p^x + p^y = z^2$ เมื่อ p เป็นจำนวนเฉพาะ โดยพบว่ามีเพียงสองกรณีเท่านั้น คือ กรณีที่ไม่มีผลเฉลยและกรณีมีผลเฉลยเป็นจำนวนอนันต์ และ Kumar et al. (2019) ได้พบว่าสมการไดโอแฟนไทน์ $p^x + (p + 12)^y = z^2$ เมื่อ p และ $p + 12$ เป็นจำนวนเฉพาะ โดยที่ p อยู่ในรูป $6n + 1$ เมื่อ n เป็นจำนวนเต็มบวก ไม่มีผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ ต่อมา Dokchan & Pakapongpun (2021) ได้พิสูจน์ว่าสมการไดโอแฟนไทน์ $p^x + (p + 20)^y = z^2$ เมื่อ p และ $p + 20$ เป็นจำนวนเฉพาะ ไม่มีผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มบวก และ Mina & Bacani (2021) ได้พบว่าสมการไดโอแฟนไทน์ $p^x + (p + 4k)^y = z^2$ เมื่อ p และ $p + 4k$ เป็นจำนวนเฉพาะ โดยที่ $k \neq 1$ เป็นจำนวนเต็ม มีผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มบวกเพียงผลเฉลยเดียว คือ $(p, p + 4k, x, y, z) = (3,11,5,4,122)$ เมื่อ $x > 1$ และ $y > 1$

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ (x, y, z) ของสมการไดโอแฟนไทน์ $p^x + (p + 10)^y = z^2$ เมื่อ p และ $p + 10$ เป็นจำนวนเฉพาะ

วิธีดำเนินการวิจัย

ในปี ค.ศ. 2017 Asthana & Singh (2017) ได้ศึกษาผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบของสมการไดโอแฟนไทน์ $p^x + (p+10)^y = z^2$ ในกรณีที่ $p = 3$ พบว่า

ทฤษฎีบท 1 (Asthana & Singh, 2017) สมการไดโอแฟนไทน์ $3^x + 13^y = z^2$ มีผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบเพียงสี่ผลเฉลยเท่านั้น คือ

$$(x, y, z) \in \{(1,0,2), (1,1,4), (3,2,14), (5,1,16)\}$$

สำหรับในงานวิจัยนี้จะแยกพิจารณาผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ (x, y, z) ของสมการไดโอแฟนไทน์

$$p^x + (p+10)^y = z^2 \tag{1}$$

เมื่อ p และ $p + 10$ เป็นจำนวนเฉพาะ ใน 2 กรณี คือ กรณีที่ x เป็นจำนวนเต็มคู่ และกรณีที่ y เป็นจำนวนเต็มคู่

ทฤษฎีบท 2 ให้ $p, p+10$ เป็นจำนวนเฉพาะ และ x, y, z เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ จะได้ว่า

1. ถ้า x เป็นจำนวนเต็มคู่ แล้ว สมการ (1) ไม่มีผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ
2. ถ้า y เป็นจำนวนเต็มคู่ แล้ว สมการ (1) มีผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบเพียงสองผลเฉลยเท่านั้น คือ $(p, x, y, z) \in \{(3,1,0,2), (3,3,2,14)\}$

พิสูจน์

1. ให้ x เป็นจำนวนเต็มคู่ ดังนั้น จะมีจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ n ที่ทำให้ $x = 2n$ จากสมการ (1) จะได้ว่า

$$(p+10)^y = z^2 - p^{2n} = (z - p^n)(z + p^n) \tag{2}$$

จากสมการ (2) และ $p + 10$ เป็นจำนวนเฉพาะ ดังนั้น จะมีจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ u ที่ทำให้

$$z - p^n = (p+10)^u \tag{3}$$

$$z + p^n = (p+10)^{y-u} \tag{4}$$

จากสมการ (3) และ (4) จะได้ว่า $y \geq 2u$ และ

$$2p^n = (p+10)^u[(p+10)^{y-2u} - 1] \quad (5)$$

จากสมการ (5) ถ้า $u > 0$ จะได้ว่า $(p+10)|2p^n$ และจาก p, $p+10$ เป็นจำนวนเฉพาะ ดังนั้น $p+10 = 2$ หรือ $p+10 = p$ ซึ่งเป็นไปไม่ได้ทั้งสองกรณี เพราะฉะนั้น $u = 0$ จะได้ว่า

$$2p^n = (p+10)^y - 1 \quad (6)$$

จากสมการ (6) จะได้ว่า $y \geq 1$, $n \geq 1$ และ

$$2p^n = (p+9)[(p+10)^{y-1} + (p+10)^{y-2} + \cdots + 1] \quad (7)$$

จากสมการ (7) จะได้ว่า $p|(p+9)$ เพราะฉะนั้น $p|9$ และจาก p เป็นจำนวนเฉพาะ ดังนั้น $p = 3$ จากทฤษฎีบท 1 และ x เป็นจำนวนเต็มคู่ จะได้ว่า สมการ (1) ไม่มีผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ

2. ให้ y เป็นจำนวนเต็มคู่ ดังนั้น จะมีจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ m ที่ทำให้ $y = 2m$ จากสมการ (1) จะได้ว่า

$$p^x = z^2 - (p+10)^{2m} = (z - (p+10)^m)(z + (p+10)^m) \quad (8)$$

จากสมการ (8) และ p เป็นจำนวนเฉพาะ ดังนั้น จะมีจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ v ที่ทำให้

$$z - (p+10)^m = p^v \quad (9)$$

$$z + (p+10)^m = p^{x-v} \quad (10)$$

จากสมการ (9) และ (10) จะได้ว่า $x \geq 2v$ และ

$$2(p+10)^m = p^v[p^{x-2v} - 1] \quad (11)$$

จากสมการ (11) ถ้า $v > 0$ จะได้ว่า $p|2(p+10)^m$ และจาก p, $p+10$ เป็นจำนวนเฉพาะ ดังนั้น $p = 2$ หรือ $p = p+10$ ซึ่งเป็นไปไม่ได้ทั้งสองกรณี เพราะฉะนั้น $v = 0$ จะได้ว่า

$$2(p+10)^m = p^x - 1 \quad (12)$$

จากสมการ (12) จะได้ว่า $x \geq 1$ และ

$$2(p+10)^m = (p-1)(p^{x-1} + p^{x-2} + \cdots + 1) \quad (13)$$

ถ้า $p > 3$ และจากสมการ (12) จะได้ว่า $m \geq 1$ เพราะฉะนั้นจากสมการ (13) และ $p+10$ เป็นจำนวนเฉพาะ จะได้ว่า $(p+10)|(p-1)$ ซึ่งเป็นไปไม่ได้ ดังนั้น $p = 3$ จากทฤษฎีบท 1 และ y เป็นจำนวนเต็มคู่ จะได้ว่าสมการ (1) มีผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบเพียงสองผลเฉลยเท่านั้น คือ $(p,x,y,z) \in \{(3,1,0,2),(3,3,2,14)\}$

บทแทรก 3 ให้ $p, p+10$ เป็นจำนวนเฉพาะ และ x,y,z เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ จะได้ว่า ถ้า $p \equiv 2(\text{mod } 3)$ แล้ว สมการ (1) ไม่มีผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ

พิสูจน์

สมมติว่า x เป็นจำนวนเต็มคี่ และจาก $p \equiv 2(\text{mod } 3)$ จะได้ว่า $p^x \equiv 2(\text{mod } 3)$ และ $p+10 \equiv 0(\text{mod } 3)$ จึงทำให้ $(p+10)^y \equiv 0(\text{mod } 3)$ ดังนั้น $p^x + (p+10)^y \equiv 2(\text{mod } 3)$ และจากสมการ (1) จะได้ว่า $z^2 \equiv 2(\text{mod } 3)$ ซึ่งเป็นไปไม่ได้ เนื่องจาก $z^2 \equiv 0$ หรือ $1(\text{mod } 3)$ ดังนั้น x เป็นจำนวนเต็มคู่ จากทฤษฎีบท 2 จะได้ว่า สมการ (1) ไม่มีผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ

หมายเหตุ จากบทแทรก 3 จะได้ว่า สมการไดโอแฟนไทน์ $41^x + 51^y = z^2$ และ $47^x + 57^y = z^2$ ไม่มีผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ

บทแทรก 4 ให้ d เป็นจำนวนเต็มบวก และ x,y,w เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ จะได้ว่า ถ้า $p, p+10$ เป็นจำนวนเฉพาะ และ $p \equiv 2(\text{mod } 3)$ แล้วสมการไดโอแฟนไทน์

$$p^x + (p+10)^y = w^{2d} \quad (14)$$

ไม่มีผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ

พิสูจน์

สมมติว่ามีจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ a,b,c ที่ทำให้ $p^a + (p+10)^b = c^{2d}$ ดังนั้น $(x,y,z) = (a,b,c^d)$ เป็นผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบของสมการ (1) ซึ่งขัดแย้งกับบทแทรก 3 เพราะฉะนั้น สมการ (14) ไม่มีผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ

บทแทรก 5 ให้ p เป็นจำนวนเฉพาะ และ x, y, z เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ จะได้ว่า ถ้า $p \equiv 1 (\mathrm{mod}\ 5)$ แล้ว สมการ (1) ไม่มีผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ

พิสูจน์

เนื่องจาก $p \equiv 1 (\mathrm{mod}\ 5)$ ดังนั้น $p + 10 \equiv 1 (\mathrm{mod}\ 5)$ จะได้ว่า $p^x \equiv 1 (\mathrm{mod}\ 5)$ และ $(p + 10)^y \equiv 1 (\mathrm{mod}\ 5)$ เพราะฉะนั้น $p^x + (p + 10)^y \equiv 2 (\mathrm{mod}\ 5)$ และจากสมการ (1) จะได้ว่า $z^2 \equiv 2 (\mathrm{mod}\ 5)$ ซึ่งเป็นไปไม่ได้ เนื่องจาก $z^2 \equiv 0, 1$ หรือ $4 (\mathrm{mod}\ 5)$ นั่นคือ สมการ (1) ไม่มีผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ

หมายเหตุ จากบทแทรก 5 สังเกตว่า $p + 10$ จะเป็นหรือไม่เป็นจำนวนเฉพาะก็ได้ สมการ (1) ยังคงไม่มีผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ ตัวอย่างเช่น $11^x + 21^y = z^2$ และ $17^x + 27^y = z^2$ เป็นต้น

สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบของสมการไดโอแฟนไทน์ $p^x + (p + 10)^y = z^2$ เมื่อ p และ $p + 10$ เป็นจำนวนเฉพาะ พบว่า 1) ถ้า x เป็นจำนวนเต็มคู่แล้ว สมการดังกล่าวไม่มีผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ 2) ถ้า y เป็นจำนวนเต็มคู่แล้ว สมการดังกล่าวมีผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบเพียงสองผลเฉลยเท่านั้น คือ $(p, x, y, z) \in \{(3,1,0,2), (3,3,2,14)\}$ 3) ถ้า $p \equiv 2 (\mathrm{mod}\ 3)$ แล้ว สมการดังกล่าวและสมการไดโอแฟนไทน์ $p^x + (p + 10)^y = w^{2d}$ ไม่มีผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ เมื่อ d เป็นจำนวนเต็มบวก และ 4) ถ้า $p \equiv 1 (\mathrm{mod}\ 5)$ แล้ว สมการดังกล่าวไม่มีผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ

อภิปรายผล

ผลเฉลยที่ค้นพบในงานวิจัยนี้ ยังไม่ใช่ผลเฉลยทั้งหมดที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบของสมการไดโอแฟนไทน์ $p^x + (p + 10)^y = z^2$ เมื่อ p และ $p + 10$ เป็นจำนวนเฉพาะ เพราะขาดกรณีที่ x และ y เป็นจำนวนเต็มคี่ ดังนั้น จึงยังเป็นสิ่งที่น่าสนใจในการหาผลเฉลยสำหรับกรณีดังกล่าว นอกจากนี้ ยังคงมีสมการไดโอแฟนไทน์ที่อยู่ในรูป $p^x + (p + h)^y = z^2$ เมื่อ p และ $p + h$ เป็นจำนวนเฉพาะ โดยที่ h เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ ที่ยังไม่ทราบผลเฉลย

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนา และคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ที่ให้การสนับสนุนในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

Asthana, S. & Singh, M. M. (2017). On the Diophantine equation $3^x + 13^y = z^2$. *International Journal of Pure and Applied Mathematics, 114*(2), 301-304.

Bacani, J. B., & Rabago, J. F. T. (2015). The complete set of solutions of the Diophantine equation $p^x + q^y = z^2$ for twin primes p and q, *International Journal of Pure and Applied Mathematics, 104*(4), 517-521.

Burshtein, N. (2018a). The Diophantine equation $p^x + (p+4)^y = z^2$ when $p > 3$ and $p + 4$ are primes is insolvable in positive integers x, y, z. *Annals of Pure and Applied Mathematics*, *16*(2), 283-286.

Burshtein, N. (2018b). Solutions of the Diophantine equation $p^x + (p+6)^y = z^2$ when $p, p + 6$ are primes and $x + y = 2, 3, 4$. *Annals of Pure and Applied Mathematics*, *17*(1), 101-106.

Burshtein, N. (2019). All the solutions of the Diophantine equations $p^x + p^y = z^2$ and $p^x - p^y = z^2$ when $p \geq 2$ is prime. *Annals of Pure and Applied Mathematics*, *19*(2), 111-119.

Dokchan, R., & Pakapongpun, A. (2021). On the Diophantine equation $p^x + (p+20)^y = z^2$ where p and $p + 20$ are primes., *International Journal of Mathematics and Computer Science, 16*(1), 179-183.

Kumar, S., Gupta, D., & Kishan, H. (2019). On the solutions of exponential Diophantine equation $p^x + (p+12)^y = z^2$. *International Transactions in Mathematical Sciences and Computers, 11*(1), 1-19.

Mina, R. J. S. & Bacani, J. B. (2021). On the solutions of the Diophantine equation $p^x + (p + 4k)^y = z^2$ for prime pairs p and $p + 4k$. *European Journal of Pure and Applied Mathematics, 14*(2), 471-479.

Neres, F. (2018). On the solvability of the Diophantine equation $p^x + (p + 8)^y = z^2$ when $p > 3$ and $p + 8$ are primes. *Annals of Pure and Applied Mathematics*, *18*(1), 9-13.

การเตรียมปุ๋ยละลายช้าที่มีแร่ธาตุไนโตรเจน และโพแทสเซียม โดยใช้ตัวดูดซับซีโอไลต์

PREPARATION OF SLOW-RELEASE FERTILIZERS CONTAINING NITROGEN AND POTASSIUM MINERALS USING ZEOLITE ADSORBENT

พัทธนันท์ นาถพินิจ[1, *] และ ชลธิชา นิวาสประกฤติ[2]
Patthanant Natpinit[1, *] and Chonticha Niwasprakrit[2]

[1] ศูนย์เชี่ยวชาญนวัตกรรมหุ่นยนต์และเครื่องจักรกลอัตโนมัติ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
[2] ศูนย์เชี่ยวชาญนวัตกรรมเกษตรสร้างสรรค์ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
[1] Expert Centre of Innovative Industrial Robotics and Automation, Thailand Institute of Scientific and Technological Research.
[2] Expert Centre of Innovative Creating Agriculture. Thailand Institute of Scientific and Technological Research.

Received: 7 February 2022 Accepted: 24 June 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อเตรียมปุ๋ยละลายช้าที่มีแร่ธาตุไนโตรเจน และโพแทสเซียม โดยใช้ตัวดูดซับซีโอไลต์ สำหรับปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในพื้นที่ลาดชัน โดยคัดเลือกซีโอไลต์ 3 ชนิด ได้แก่ โดโลไมต์ ซีโอไลต์บ่อกุ้ง และซีโอไลต์ 4เอ ในการศึกษาคุณสมบัติของตัวดูดซับ ได้แก่ ความเป็นกรด-เบส, ความนำไฟฟ้า และค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก, ความเป็นกรด-เบสต่อการแลกเปลี่ยนไอออน และความสามารถในการดูดซับแอมโมเนียมของตัวดูดซับ 3 ชนิด เป็นต้น จากการทดลองพบว่า ซีโอไลต์ 4เอ มีประสิทธิภาพในการดูดซับดีที่สุด จึงศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับแร่ธาตุของซีโอไลต์ 4เอ ได้แก่ พฤติกรรมการดูดซับธาตุอาหาร, ระยะเวลา, ความเข้มข้นเริ่มต้น, รูปแบบในการดูดซับ และการทดสอบการละลายของปุ๋ย เป็นต้น ผลการวิจัยพบว่า ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของซีโอไลต์ 4เอ มีค่ามากที่สุดเป็น 786 เซนติโมลต่อกิโลกรัม พฤติกรรมการดูดซับแอมโมเนียมและโพแทสเซียมใน

* ผู้ประสานงาน: พัทธนันท์ นาถพินิจ
อีเมล์: Patthanant_n@tistr.or.th

ซีโอไลต์ 4เอ เป็นไปตามแบบจำลองฟรุนด์ลิช ซึ่งมีศักยภาพในการดูดซับเป็น 20.39 มก. แอมโมเนียมต่อกรัมซีโอไลต์ และที่ 17.48 มก.โพแทสเซียมต่อกรัมซีโอไลต์ที่สัดส่วน %solid ที่ 0.5% ระดับพีเอช และระยะเวลาไม่มีผลต่อการดูดซับ แต่ความเข้มข้นเริ่มต้นมีผลต่อในการดูดซับแร่ธาตุ รูปแบบการดูดซับแร่ธาตุของซีโอไลต์ 4เอ มีขั้นตอนการดูดซับ 2 รอบ เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการดูดซับสูงสุด โดยรอบที่ 1 ความเข้มข้นเริ่มต้นที่ 0.02 โมลาร์ ใช้ตัวดูดซับที่ %solid 0.5% รอบที่ 2 ที่ %solid 0.25% ในสารละลายเดิม จะได้ร้อยละการดูดซับแอมโมเนียม และโพแทสเซียมเป็น 71.76 และ 61.11 ตามลำดับ และมีสัดส่วนการดูดซับแร่ธาตุต่อซีโอไลต์เป็น 26.68 มก.แอมโมเนียมต่อกรัมซีโอไลต์ และ 28.91 มก. โพแทสเซียมต่อกรัมซีโอไลต์ และจากการทดสอบการละลายของปุ๋ยพบว่า ปุ๋ยซีโอไลต์ 4เอ+ แอมโมเนียม และ 4เอ+โพแทสเซียม มีอัตราการละลายคงที่ 0.157 กรัมแอมโมเนียมต่อลิตร และ 0.129 กรัมโพแทสเซียมต่อลิตร ซึ่งจัดว่าเป็นปุ๋ยละลายช้าที่สามารถควบคุมการปลดปล่อยของแร่ธาตุได้

คำสำคัญ: ปุ๋ยละลายช้า, ซีโอไลต์ 4เอ, แอมโมเนียม, โพแทสเซียม, การดูดซับ

Abstract

The objective of this investigation aims to the preparation of slow-release fertilizers containing nitrogen and potassium minerals using zeolite adsorbent for growing maize in slope areas. 3 types of zeolite such as dolomite, zeolite for shrimp farm, and zeolite 4A were selected. The characteristic properties of zeolites were studied as pH, conductivity and cation exchange capacity (CEC), pH for ion exchange, and the ammonium adsorption capacity of 3 adsorbents, etc. The experiment result was shown that zeolite 4A had the optimal adsorption capacity. Therefore, the factors affecting the nutrients adsorption of zeolite 4A were conducted as minerals adsorption behavior, duration time, initial concentration, adsorption pattern, and fertilizer solubility test, etc. The research demonstrated that the cation exchange capacity of zeolite 4A was the highest at 786 cmol/kg. The ammonium and potassium

adsorption behavior of zeolite 4A were on the Freundlich model that the adsorption capacity was as 20.39 mg NH_4/g zeolite and 17.48 mg K/g zeolite at 0.5% of the solid proportion. Moreover, pH and duration time had not affected but the initial concentration of both minerals affects the adsorption. The adsorption pattern of zeolite 4A had 2 cycles for the maximum adsorption capacity. In cycle 1^{st}, the initial concentration was 0.02 M at 0.5% of solid proportion and cycle 2^{nd} was at 0.25% of solid proportion in the original solution. The ammonium and potassium adsorption efficiency was 71.76% and 61.11% respectively. In addition, the adsorption capacity of both minerals was 26.68 mg NH_4/g zeolite and 28.91 mg K/g zeolite. The fertilizer solubility test indicated that zeolite 4A+NH_4 and 4A+K fertilizers had a steady solubility rate of 0.157 g NH_4/L and 0.129 g K/L. It summarized that zeolite fertilizer was a slow-release fertilizer controlling both minerals release.

Keywords: slow-release fertilizer, zeolite 4A, ammonium, potassium, adsorption

บทนำ

เทคโนโลยีการจัดการธาตุอาหาร หรือปุ๋ยให้เป็นปุ๋ยละลายช้าสำหรับการปลูกพืชในพื้นที่ลาดชัน น่าจะเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการช่วยเพิ่มผลผลิตการปลูกข้าวเลี้ยงสัตว์ได้ เนื่องจากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เป็นพืชที่สามารถปลูกได้ในหลายพื้นที่ โดยเฉพาะในพื้นที่ที่ใช้น้ำน้อยและสามารถปลูกได้ในฤดูแล้ง ซึ่งให้ผลตอบแทนสูง (Granados et al., 1994) นอกจากนี้ยังพบว่าการปลูกข้าวโพดจะทำให้ดินสูญเสียแร่ธาตุอาหารในดิน ส่งผลให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์ลดลง โดยอัตราการสูญเสียไนโตรเจน ประมาณ 13.1 กก./ไร่ ฟอสฟอรัสประมาณ 7.7 กก./ไร่ และโพแทสเซียม 5.4 กก./ไร่ (กอบเกียรติ ไพศาลเจริญ และคณะ, 2551) จะเห็นได้ว่าหากมีการนำตัวดูดซับแร่ธาตุมาใช้ในการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เพื่อให้แร่ธาตุในปุ๋ยเกิดการละลายอย่างค่อยเป็นค่อยไป เพื่อให้เกิดการสูญเสียน้อยที่สุด รวมทั้งยังสามารถเก็บกักเหลือไว้ในดิน เพื่อไม่ให้ดินเกิดการสูญเสียแร่ธาตุมากเกินไป

ปุ๋ยละลายช้าที่ใช้กันในปัจจุบัน เป็นปุ๋ยเคมีที่มีการควบคุมการละลาย และการปลดปล่อยแร่ธาตุอาหารให้ออกมาอย่างสม่ำเสมอ และต่อเนื่องเป็นเวลานาน เพื่อให้พืชได้รับสารอาหารอย่างเพียงพอ และต่อเนื่อง โดยส่วนใหญ่ ปุ๋ยละลายช้าที่ใช้มักเป็นปุ๋ยเคมีที่บรรจุอยู่ในสารเคลือบโพลิเมอร์ หรือเรซิน เพื่อควบคุมการละลาย และการปลดปล่อย การใช้ปุ๋ยละลายช้าต่อครั้ง จะสามารถยืดเวลาการเติมซ้ำได้นาน โดยการใส่ปุ๋ยเพียงครั้งเดียว แร่ธาตุอาหารจะอยู่ได้นาน 3-6 เดือน ซึ่งต่างจากปุ๋ยเคมีทั่วไปที่ละลายเร็ว และปลดปล่อยธาตุอาหารสูงในสัปดาห์แรก พืชไม่สามารถดูดซึมไปใช้ประโยชน์ได้ทัน

การพัฒนาปุ๋ยละลายช้ามีการนำตัวดูดซับชนิดต่างๆ มาใช้ โดยเฉพาะซีโอไลต์ (ปธานิน แสงอรุณ และคณะ, 2560) เนื่องจากตัวดูดซับประเภทซีโอไลต์มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน การที่ตัวดูดซับชนิดซีโอไลต์เป็นที่นิยมมากในทางเกษตรกรรม เนื่องจากช่องว่างภายในโครงสร้างซีโอไลต์สามารถกักเก็บน้ำได้สูง มีความหนาแน่นต่ำ มีปริมาตรช่องว่างมากเมื่อถูกดึงน้ำออกจากโครงสร้าง และมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน (Breck, 1974) ซีโอไลต์ที่นิยมใช้เพื่อปรับปรุงคุณภาพดิน คือ ซีโอไลต์ชนิดคลินอฟติโลไลต์ (Clinoptilolite) ซึ่งเป็นซีโอไลต์ธรรมชาติ สามารถช่วยจับแอมโมเนียได้สูงและปล่อยออกมาช้าๆ จึงช่วยให้ดินยึดไนโตรเจนไว้ได้นาน (Witter & Lopez, 1988) นอกจากนี้มีการนำซีโอไลต์มาใช้ในพื้นที่การเกษตร เพื่อการเพาะปลูกธัญพืช ผัก และผลไม้กันเป็นจำนวนมาก (Torii, 1978) เนื่องจากคุณสมบัติการแลกเปลี่ยนไอออน (Butorac et al., 2002) ซึ่งสามารถช่วยลดการสูญเสียแร่ธาตุอาหารได้ด้วย โดยเฉพาะไนโตรเจนและโพแทสเซียม (Polat et al., 2004) จากคุณสมบัติที่มีความเป็นด่างอ่อนๆ ทำให้สามารถรักษาสภาวะบัฟเฟอร์ และระดับพีเอชของดินได้ (Milosevic et al., 2009) ในการเพาะปลูกได้มีการนำซีโอไลต์ไปใช้ในการปลูกแอปเปิ้ล โดยมีอัตราการใช้ที่ 2-8 กิโลกรัมต่อต้น (Polat et al., 2004) หรือ 4-8 ตันต่อเอเคอร์ โดยได้ผลผลิตเพิ่มขึ้น 13-38% (Torii, 1978) และมีการนำซีโอไลต์ชนิดคลินอฟติโลไลต์ มาใช้ในการปลูกข้าว ในอัตรา 8 หรือ 16 ตันต่อเฮกแตร์ ซึ่งสามารถดูดซับไนโตรเจนไว้ได้ถึง 65% (Kavoosi, 2007)

ซีโอไลต์ในธรรมชาติ ได้แก่ analcime, chabazite, clinoptilolite, heulandite, natrolite, phillipsite, dolomite และ stilbite มีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนประมาณ 100-300 เซนติโมล/กิโลกรัม ซีโอไลต์ธรรมชาติที่ราคาถูกได้แก่ โดโลไมต์ หรือซีโอไลต์ที่ใช้ในบ่อกุ้ง เนื่องจากมีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนในระดับหนึ่ง แต่มี

ค่าค่อนข้างต่ำ ประมาณ 80-150 เซนติโมล/กิโลกรัม แต่ซีโอไลต์สังเคราะห์ ได้แก่ A, X, Y และ 4A มีค่าความสามารถในแลกเปลี่ยนไอออนสูงถึง 600-900 เซนติโมล/กิโลกรัม ดินที่มีซีโอไลต์ผสมอยู่ จะมีการชะล้างของแร่ธาตุไนโตรเจน และโพแทสเซียมน้อยกว่า ดินที่ไม่มีซีโอไลต์ผสมอยู่ (นงลักษณ์ วิบูลสุข และ พวงเล็ก โมรากุล, 2539) นอกจากนี้ยังพบว่าซีโอไลต์คลินอฟติโลไลต์ สามารถตรึงไนโตรเจนให้มีระดับคงที่ และคงอยู่ได้ยาวนานขึ้น (Barbarick & Pirela, 1984)

การดูดซับแอมโมเนียมไอออน โดยใช้ซีโอไลต์ คลินอฟติโลไลต์ มีอัตราส่วนที่ซีโอไลต์ 1 กรัมสามารถดูดซับแอมโมเนียมได้ 150 ไมโครโมล/ลบ.เดซิเมตร โดยใช้เวลาในการดูดซับ 2 ชั่วโมง พบว่าแอมโมเนียมสามารถปลดปล่อยออกมาได้อย่างช้าๆ นอกจากนี้ยังพบว่าถ้ามีการเคลือบผิวด้วยพาราฟิน จะช่วยให้การปลดปล่อยได้ช้าลงมากยิ่งขึ้น (Mihok et al., 2020) นอกจากนี้ยังพบว่า สเม็คไทต์และเถ้าลอยลิกไนต์สามารถดูดซับแอมโมเนียมและฟอสเฟตได้ โดยมีความสามารถในการดูดซับเป็น 5.12 มก./ก. และ 199.87 มก./ก. ตามลำดับ และมีอัตราการปลดปล่อยแอมโมเนียมเป็น 32.26 มก./ล.-นาที และอัตราการปลดปล่อยฟอสเฟตเป็น 7.73 มก./ล.-นาที (นิพนธ์ ใจสุทธิ์ และคณะ, 2562) การนำซีโอไลต์ที่เสริมด้วยแอมโมเนียมมาใช้กับการปลูกสตรอเบอรี่พบว่า สามารถเพิ่มผลผลิตสตรอเบอรี่ได้มาก และมีผลต่อการเจริญเติบโต และการสังเคราะห์แสงได้เป็นอย่างดี (Giulia et al., 2020)

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้มุ่งเน้นวิธีเตรียมปุ๋ยละลายช้าที่มีแร่ธาตุไนโตรเจน และโพแทสเซียม โดยใช้ซีโอไลต์เป็นตัวดูดซับ เพื่อให้มีองค์ประกอบของแร่ธาตุ เพื่อนำไปใช้ในการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์บนพื้นที่สูง

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การศึกษาคุณสมบัติสารดูดซับ

1.1 ความเป็นกรด-เบส (Wang & Peng, 2010) อบตัวอย่างซีโอไลต์ในตู้อบที่ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ชั่งซีโอไลต์ 1 กรัม เติมน้ำกลั่นปราศจากไอออน 100 มล. จากนั้นต้มสารแขวนลอยที่ 90 องศาเซลเซียส และกวนเป็นเวลา 20 นาที ทิ้งให้เย็นในอุณหภูมิห้อง และกรองซีโอไลต์ด้วยตัวกระดาษกรองเบอร์ 42 วัดสารละลายที่ได้ด้วยเครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง ที่ทำการเทียบมาตรฐานด้วยสารละลายมาตรฐานที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง

1.2 ความนำไฟฟ้า (Wang & Peng, 2010) อบตัวอย่างซีโอไลต์ในตู้อบที่ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ชั่งซีโอไลต์ 1 กรัม เติมน้ำปราศจากไอออน 100 มิลลิลิตร กวน 30 นาที นำไปวัดค่าการนำไฟฟ้าด้วยเครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้ามาตรฐาน

1.3 ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Chapman, 1965) อบตัวอย่างซีโอไลต์ที่ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ชั่งซีโอไลต์ 1 กรัม ทำให้ซีโอไลต์อิ่มตัวด้วยสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตต (Ajax Finechew pty Ltd./Analytical grade) (NH_4OAc) ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ที่สภาวะค่าความเป็นกรดเบสเท่ากับ 7 ทิ้งไว้ประมาณ 24 ชั่วโมง จากนั้นกรองและล้างตัวอย่างด้วยสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตต 3-4 ครั้ง และล้างซีโอไลต์ด้วยเอธิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 95 ประมาณ 3-4 ครั้ง จากนั้นให้นำซีโอไลต์ไปแช่ในสารละลายโซเดียมอะซิเตต หรือโพแทสเซียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 1 โมลาร์ โดยแช่ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมากรอง และนำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนียมไอออนที่ถูกแทนที่ออกมาจากซีโอไลต์โดยการกลั่นและไตเตรต

1.4 ความเป็นกรด-เบสต่อการแลกเปลี่ยนไอออน ชั่งซีโอไลต์ 1 กรัม แช่ลงในสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ (Ajax Finechew pty Ltd./Analytical grade) ความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ ปริมาตร 100 มล. ทำการปรับค่าความเป็นกรด-เบสในช่วง 7-7.5 เทียบกับตัวอย่างที่ไม่มีการปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง

1.5 ความสามารถในการดูดซับแอมโมเนียมของตัวดูดซับ 3 ชนิด ตัวดูดซับ 3 ชนิด ได้แก่ โดโลไมต์ (เกรดทางการค้า) และ ซีโอไลต์บ่อกุ้ง (เกรดทางการค้า)ใช้อย่างละ 25 กรัมและซีโอไลต์ 4เอ (เกรดทางการค้า) 10 กรัม ทำการดูดซับโดยใช้สารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ 0.01 โมลาร์ ปริมาตร 100 มล. ทำการเขย่าตลอดเวลา ด้วยเครื่องกวน เป็นเวลา 30 นาที

2. การศึกษาการดูดซับธาตุอาหาร

2.1 การศึกษาพฤติกรรมการดูดซับธาตุอาหาร พฤติกรรมการดูดซับธาตุอาหารของสารดูดซับ (adsorption isotherm) ใช้แบบจำลองการดูดซับของแลงเมียร์-ฟรุนด์ลิช ดังสมการที่ 1 และ 2

Langmuir Adsorption Isotherm $C_e/Q_e = C_e/Q_o + 1/(K_L Q_o)$ (1)

Freundlich Adsorption Isotherm $\log Qe = \log Kf + (1/n) \log Ce$ (2)

โดยที่ Ce = Equilibrium conc. (mg/l)

Qe = monolayer adsorption capacity of adsorbent (mg/g)

K_L = Langmuir adsorption constant (L/mg)

K_f = Freundlich coefficient (L/mg)

1/n = dimensionless constant (ปัจจัยที่แสดงความไม่เป็นเนื้อเดียวกัน)

โดยใช้ซีโอไลต์ 0.25-10 กรัม ในแอมโมเนียมคลอไรด์หรือโพแทสเซียมคลอไรด์ 0.01 โมลาร์ 100 มิลลิลิตร ทำการเขย่าตลอดเวลา ด้วยเครื่องกวน เวลาดูดซับ 30 นาที

2.2 การศึกษาการดูดซับแอมโมเนียมที่ระยะเวลาต่างๆ ชั่งซีโอไลต์ 0.5 กรัมในสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ 0.01 โมลาร์ 100 มล. ทำการเขย่าตลอดเวลา ด้วยเครื่องกวน โดยเวลาที่ทดลองการดูดซับ 5 10 15 30 60 และ 120 นาที

2.3 การศึกษาการดูดซับแอมโมเนียมที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างๆ ชั่งซีโอไลต์ 0.5 กรัมในสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน ในช่วง 0.01-0.1 โมลาร์ 100 มล. ทำการเขย่าตลอดเวลา ด้วยเครื่องกวน ใช้เวลาในการดูดซับ 15 นาที

2.4 การศึกษารูปแบบในการดูดซับแอมโมเนียม และโพแทสเซียม เปรียบเทียบรูปแบบในการดูดซับ 2 วิธี ดังนี้

วิธีที่ 1 ใช้ซีโอไลต์ 4เอ 0.5 กรัม (รอบที่ 1 และรอบที่ 2) ในสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์หรือโพแทสเซียมคลอไรด์ (Ajax Finechew pty Ltd./Analytical grade) 0.02 โมลาร์ 100 มล. ทำการเขย่าตลอดเวลา ด้วยเครื่องกวน เป็นเวลา 15 นาที

วิธีที่ 2 ใช้ซีโอไลต์ 4เอ 0.5 กรัม (รอบที่ 1) และ 0.25 กรัม (รอบที่ 2) ในสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์หรือโพแทสเซียมคลอไรด์ 0.02 โมลาร์ 100 มล. ทำการเขย่าตลอดเวลา ด้วยเครื่องกวน เป็นเวลา 15 นาที

3. การทดสอบการละลายของปุ๋ย

นำปุ๋ยที่เตรียมได้ ประมาณ 1.0 กรัม ละลายในน้ำกลั่นคราวละ 50 มล. โดยตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง แล้วนำมากรองแยกตะกอน และสารละลายส่วนใส ส่วนตะกอน นำกลับไปละลายในน้ำกลั่นอีกครั้ง โดยทำซ้ำเช่นนี้เรื่อยไป จนครบ 500 มล. ส่วนสารละลายส่วนใสนำมาวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งที่ละลายทั้งหมด

ผลการวิจัยและวิจารณ์

1. การศึกษาคุณสมบัติสารดูดซับ

ตารางที่ 1 สมบัติของตัวดูดซับ

โดโลไมต์			ซีโอไลต์บ่อกุ้ง			ซีโอไลต์ 4เอ		
pH	EC	CEC	pH	EC	CEC	pH	EC	CEC
9.17	149	97	9.69	142	131	10.23	219	786

หมายเหตุ: หน่วย EC (ค่าการนำไฟฟ้า) คือ ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร
หน่วย CEC (ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก) คือ เซนติโมลต่อกิโลกรัม

จากตารางที่ 1 เห็นได้ว่าซีโอไลต์ทั้ง 3 ชนิดมีค่าความเป็นกรด-ด่าง ในช่วง 9.17-10.23 ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นด่าง แสดงว่าสามารถรักษาสภาวะบัฟเฟอร์ในดินได้ดี เนื่องจากดินมีค่าความเป็นกรดสูง (Milosevic et al., 2009) นอกจากนี้จะเห็นว่า โดโลไมต์ และ ซีโอไลต์บ่อกุ้ง มีค่าการนำไฟฟ้าใกล้เคียงกัน แต่มีค่าต่ำกว่าซีโอไลต์ 4เอ โดยค่าการนำไฟฟ้าเป็น 149, 142 และ 219 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ตามลำดับ สำหรับค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) พบว่าซีโอไลต์ 4เอ มีค่ามากที่สุด รองลงมาคือซีโอไลต์บ่อกุ้ง และโดโลไมต์ตามลำดับ โดยค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกเป็น 786 131 และ 97 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ หากเปรียบเทียบกับค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินกล่าวได้ว่าซีโอไลต์มีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกอยู่ในระดับสูง (มากกว่า 40 เซนติโมล/กิโลกรัม) (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553) แสดงให้เห็นว่า ซีโอไลต์ทั้ง 3 ชนิดสามารถนำมาใช้เป็นตัวดูดซับแร่ธาตุอาหารได้ (Butorac et al., 2002)

จากตารางที่ 2 เห็นได้ว่า ซีโอไลต์ 4เอ มีความสามารถในการดูดซับแอมโมเนียม (มก./ก.ซีโอไลต์) ได้ดีกว่าซีโอไลต์บ่อกุ้ง และโดโลไมต์อย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้เนื่องจากซีโอไลต์ 4เอ มีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกที่สูงกว่ามาก ทำให้มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างไอออนบวกในซีโอไลต์กับแอมโมเนียมได้มากกว่า ซีโอไลต์ชนิดอื่น (Polat et al., 2004) ซึ่งซีโอไลต์บ่อกุ้ง และโดโลไมต์มีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกใกล้เคียงกัน จึงทำให้ดูดซับแอมโมเนียมไม่แตกต่างกันมากนัก โดยค่าการดูดซับแอมโมเนียม

ของโดโลไมต์ ซีโอไลต์บ่อกุ้ง และซีโอไลต์ 4เอ เป็น 0.056, 0.073 และ 1.394 มก.แอมโมเนียม ต่อกรัมซีโอไลต์ ตามลำดับ

จากตารางที่ 3 พบว่าการปรับระดับความเป็นกรด-ด่างให้เป็นกลางก่อนการดูดซับแอมโมเนียมไม่มีความแตกต่างกับการไม่ปรับระดับความเป็นกรด-ด่างก่อนการดูดซับ โดยปริมาณแอมโมเนียมที่ถูกดูดซับได้มีค่าเป็น 1.37 มก. แสดงว่าการดูดซับไม่ขึ้นกับระดับพีเอชของสารละลาย แต่ขึ้นกับค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของซีโอไลต์ (Butorac et al., 2002)

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับแอมโมเนียมของตัวดูดซับ 3 ชนิด

ตัวอย่างที่	กรัม	แอมโมเนียมที่ถูกดูดซับ (มก.)	การดูดซับแอมโมเนียม (มก./ก.)
โดโลไมต์	25.0488	1.4127	0.056
ซีโอไลต์บ่อกุ้ง	25.0068	1.8282	0.073
ซีโอไลต์ 4เอ	10.0193	14.2101	1.394

ตารางที่ 3 ผลระดับความเป็นกรด-ด่างในการดูดซับแอมโมเนียม

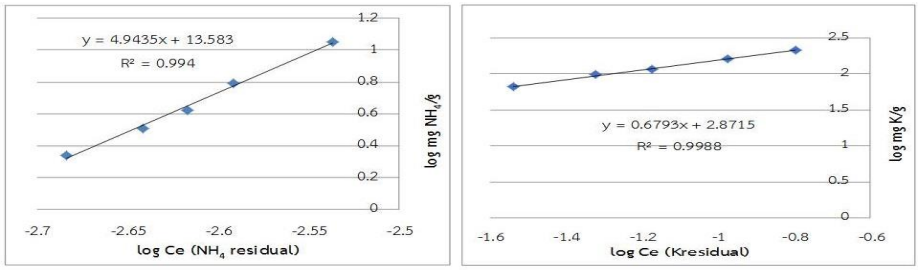
ตัวอย่างที่	กรัม	แอมโมเนียมที่ถูกดูดซับ (มก.)
ปรับพีเอชเป็นกลาง	1.0058	1.37
ไม่ปรับพีเอช	1.0026	1.37

2. การศึกษาการดูดซับธาตุอาหาร

2.1 การศึกษาพฤติกรรมการดูดซับธาตุอาหาร

เมื่อปริมาณซีโอไลต์ 4เอ เพิ่มมากขึ้น ปริมาณการดูดซับเพิ่มสูงขึ้น แต่ไม่มีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นตรง เนื่องจากการดูดซับแอมโมเนียมต่อกรัมซีโอไลต์มีค่าลดลง ดังนั้นจึงต้องอาศัยแบบจำลองการดูดซับแบบแลงเมียร์-ฟรุนด์ลิช มาอธิบายพฤติกรรมการดูดซับธาตุอาหารของซีโอไลต์ แสดงได้ดังรูปที่ 1 และตารางที่ 4-5 พบว่าพฤติกรรมการดูดซับแอมโมเนียมและโพแทสเซียมของซีโอไลต์ 4เอ เป็นแบบฟรุนด์ลิช โดยสัดส่วนการดูดซับแอมโมเนียมหรือโพแทสเซียมต่อปริมาณซีโอไลต์ มีปริมาณลดลงเมื่อปริมาณซีโอไลต์เพิ่ม

มากขึ้น ทั้งที่ปริมาณการดูดซับมีปริมาณเพิ่มขึ้น โดยพบว่า จากสมการฟรุนด์ลิชที่ได้ของการดูดซับแอมโมเนียม คือ y = 4.9435x + 13.583 สามารถคำนวณความสามารถในการดูดซับแอมโมเนียมต่อกรัมซีโอไลต์ได้ โดยที่ร้อยละ 60 ของการดูดซับ (log Ce= x = 0.004) จะมีศักยภาพในการดูดซับเป็น 20.39 มก.แอมโมเนียมต่อกรัมซีโอไลต์ (10^y) ซึ่งจะมีค่าตรงกับสัดส่วนตัวดูดซับต่อสารละลายแอมโมเนียมที่ใช้ในการดูดซับ (%solid) ที่ 0.5% ดังแสดงในตารางที่ 4 หรือ ที่ร้อยละ 70 ของการดูดซับ (log Ce= x = 0.003) จะมีศักยภาพในการดูดซับเป็น 11.23 มก.แอมโมเนียมต่อกรัมซีโอไลต์ (10^y) และได้สัดส่วนตัวดูดซับต่อสารละลายแอมโมเนียมที่ใช้ในการดูดซับ (%solid) ที่ 1.0% ดังแสดงในตารางที่ 4 โดยทั่วไปมักเลือกใช้ซีโอไลต์ที่สามารถดูดซับแอมโมเนียมได้ในช่วง 14-32 มิลลิกรัมแอมโมเนียมต่อกรัมซีโอไลต์ (Nguyen, 1997) ในทำนองเดียวกันพบว่า จากสมการฟรุนด์ลิชที่ได้ของการดูดซับโพแทสเซียม คือ y = 0.6793x + 2.8715 สามารถคำนวณความสามารถในการดูดซับโพแทสเซียมต่อกรัมซีโอไลต์ได้ โดยที่ร้อยละ 50 (log Ce= x = 0.005) ของการดูดซับ จะมีศักยภาพในการดูดซับเป็น 20.34 มก.โพแทสเซียมต่อกรัมซีโอไลต์ (10^y) และได้สัดส่วน %solid ที่ 0.25% ดังแสดงในตารางที่ 5 หรือ ที่ร้อยละ 60 ของการดูดซับ (log Ce= x = 0.004) จะมีศักยภาพในการดูดซับเป็น 17.48 มก.โพแทสเซียมต่อกรัมซีโอไลต์ (10^y) และได้สัดส่วน %solid ที่ 0.5% ดังแสดงในตารางที่ 5 ในการวิจัยนี้จึงได้เลือกที่ %solid 0.5% เพื่อให้สอดคล้องกับการดูดซับแอมโมเนียม จะเห็นได้ว่าพฤติกรรมการดูดซับแอมโมเนียมหรือโพแทสเซียมของ ซีโอไลต์ 4เอ ขึ้นกับตำแหน่งในโครงการสร้างต่อการดูดซับ ซึ่งอนุมานได้ว่าพฤติกรรมการดูดซับมี 3 ลำดับ คือ 1) แอมโมเนียมหรือโพแทสเซียมไอออนแพร่จากสารละลายไปสู่ซีโอไลต์ เนื่องจากความเข้มข้นในอนุภาคที่แตกต่างกัน โดยไอออนจะแพร่จากสสารที่มีความเข้มข้นสูงไปสู่สสารที่มีความเข้มข้นต่ำ 2) แอมโมเนียมหรือโพแทสเซียมไอออนสัมผัสหรือแลกเปลี่ยนไอออนที่อยู่บนพื้นผิวของซีโอไลต์ และ 3) แอมโมเนียมหรือโพแทสเซียมไอออนกระจายตัวไปยังรูพรุนในโครงสร้างของซีโอไลต์ เพื่อถูกดูดซับเก็บไว้ให้มีความเสถียรภาพมากขึ้น (Mihok et al., 2020)



ก. การดูดซับแอมโมเนียม ข. การดูดซับโพแทสเซียม

รูปที่ 1 แบบจำลองการดูดซับแบบฟรุนด์ลิช

ตารางที่ 4 อัตราการดูดซับแอมโมเนียมต่อกรัมซีโอไลต์ 4 เอ ในการดูดซับแอมโมเนียม

g zeolite	mg NH_4 ab	%NH_4 ab	mg NH_4/gZ	Ce	log Ce	log mgNH_4/g
0.5014	10.22	60.30	20.39	0.0039	-2.43	1.31
1.0566	11.72	69.12	11.23	0.0029	-2.54	1.05
2.0018	12.34	72.79	6.15	0.0026	-2.59	0.79
3.0039	12.59	74.26	4.19	0.0024	-2.62	0.62
4.0270	12.84	75.74	3.20	0.0023	-2.64	0.50
5.0476	12.84	75.74	2.54	0.0023	-2.64	0.41
6.0570	13.21	77.94	2.18	0.0021	-2.68	0.34
7.0710	13.21	77.94	1.88	0.0021	-2.68	0.27

ตารางที่ 5 อัตราการดูดซับโพแทสเซียมต่อกรัมซีโอไลต์ 4 เอ ในการดูดซับโพแทสเซียม

gZeolite	mg Kab	%Kab	mgK/gZ	Ce	log Ce	log mgK/gZ
0.2574	5.5	14.47	21.4	0.16	-0.80	2.33
0.5035	8.2	21.58	16.3	0.11	-0.98	2.21
1.0070	11.8	31.05	11.7	0.07	-1.17	2.07
2.0095	19.4	51.05	9.7	0.05	-1.32	1.98
4.0205	26.7	70.26	6.6	0.03	-1.54	1.82

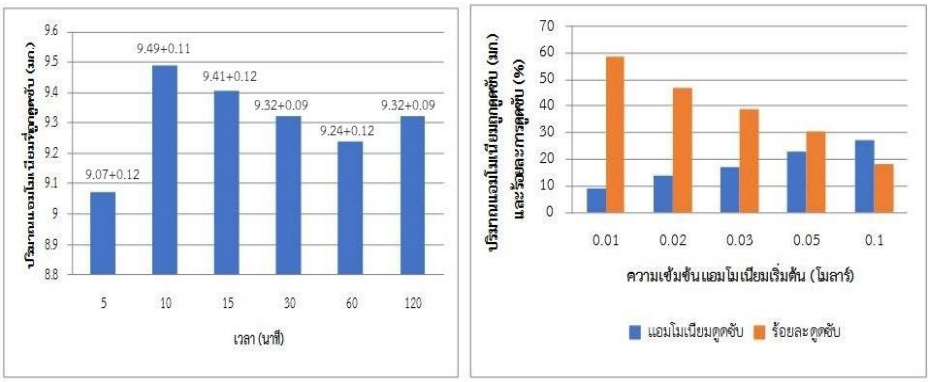
2.2 การศึกษาการดูดซับธาตุอาหารที่ระยะเวลาต่างๆ

ในการทดลอง ใช้สัดส่วน %solid 0.5% ในการหาระยะเวลาในการดูดซับ แสดงได้ดังรูปที่ 2 ก. พบว่า เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นจาก 5 นาที เป็น 10 นาที ปริมาณแอมโมเนียมถูกดูดซับมากขึ้น และที่ระยะเวลา 10 นาที มีการดูดซับมากที่สุด ที่ 9.4905 มก. หลังจากนั้นเวลาเพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณแอมโมเนียมถูกดูดซับลดลง ทั้งนี้เนื่องจากกลไกการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างสารละลายแอมโมเนียมและไอออนบวกในโครงสร้างซีโอไลต์เกิดการแลกเปลี่ยนอยู่ตลอดเวลา ซึ่งสามารถเกิดการดูดซับ และการปลดปล่อยได้ เมื่อระยะเวลามากขึ้น เนื่องจากแรงดึงดูดระหว่างแอมโมเนียมและโครงสร้างซีโอไลต์เป็นเพียงการแลกเปลี่ยนไอออน ซึ่งพบว่าประสิทธิภาพการดูดซับเพิ่มขึ้นได้ เมื่อมีโลหะร่วมบนตัวรองรับซีโอไลต์ หรือมีการแลกเปลี่ยนโลหะทรานซิชันในโครงสร้างซีโอไลต์หรือโลหะอื่นๆ เช่น Fe Cu Mn Ca เป็นต้น (Lin et al., 2013) เพื่อเพิ่มความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน เนื่องจากไอออนโลหะแต่ละชนิดมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนต่างกัน โดยเฉพาะแอมโมเนียมมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนหรือแทนที่ไอออนได้ดีกว่าโซเดียม แคลเซียม และเหล็ก ตามลำดับ (Lin et al., 2013) หรือปรับเสถียรภาพของโครงสร้างซีโอไลต์ ให้มีความสมดุลระหว่างไอออนบวกและลบในโครงสร้างของซีโอไลต์ก่อน (Hwang & Tai, 2010) นอกจากนี้ยังพบว่า ประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียม ลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณตัวดูดซับ ความเข้มข้นแอมโมเนียมเริ่มต้นและเวลาการดูดซับ (Murkani et al., 2015) จึงสรุปได้ว่าระยะเวลาไม่มีผลต่อการดูดซับมากนัก เนื่องจากประสิทธิภาพการดูดซับขึ้นกับ ชนิดของไอออนที่แลกเปลี่ยนในโครงสร้างซีโอไลต์ โครงสร้างของซีโอไลต์ และความชื้นในอากาศ (ศิรินุช ลอยหา, 2556)

2.3 การศึกษาการดูดซับธาตุอาหารที่ความเข้มข้นแอมโมเนียมเริ่มต้น

จากรูปที่ 2 ข. เห็นได้ว่า ที่สัดส่วน %solid 0.5% เมื่อความเข้มข้นของแอมโมเนียมในสารละลายเริ่มต้นเพิ่มมากขึ้น จาก 0.01, 0.02, 0.03, 0.05 และ 0.1 โมลาร์ ตามลำดับ ซีโอไลต์สามารถดูดซับแอมโมเนียมได้มากขึ้น โดยมีปริมาณการดูดซับเป็น 8.91, 13.99, 17.32, 22.89 และ 27.47 มก. ตามลำดับ แต่ร้อยละการดูดซับแอมโมเนียม กลับลดลงอย่างมีนัยสำคัญ จาก 58.79%, 46.67%, 38.81%, 30.56% และ 18.33% ตามลำดับ ทำให้เกิดการสูญเสียแอมโมเนียมในปริมาณมาก เนื่องจากพฤติกรรมการดูดซับแอมโมเนียมของซีโอไลต์ เป็นการดูดซับตามแบบจำลองฟรุนด์ลิช โดยปริมาณการดูดซับแอมโมเนียม

เพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณซีโอไลต์เพิ่มมากขึ้น แต่ปริมาณการดูดซับแอมโมเนียมลดลง เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของแอมโมเนียมเพิ่มมากขึ้น (Murkani et al., 2015)



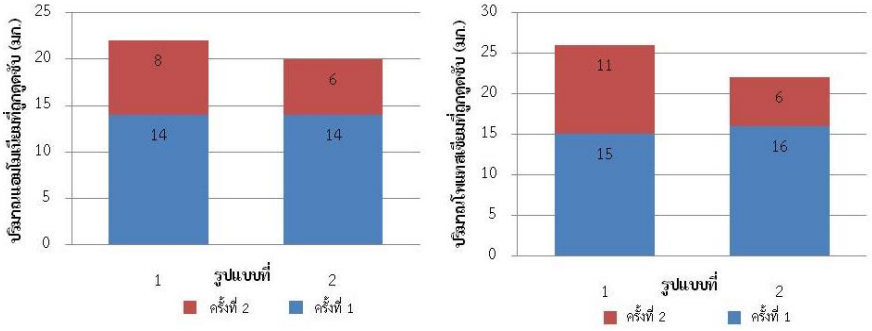
ก. การดูดซับที่ระยะเวลาต่างๆ ข. การดูดซับที่ความเข้มข้นต่างๆ

รูปที่ 2 แอมโมเนียมที่ถูกดูดซับที่ระยะเวลา และความเข้มข้นต่างๆ

2.4 การศึกษารูปแบบในการดูดซับแอมโมเนียม และโพแทสเซียม

จากรูปที่ 3 เห็นได้ว่า ปริมาณแอมโมเนียมและโพแทสเซียมที่ถูกดูดซับ และเหลืออยู่หลังการดูดซับครั้งแรกที่สัดส่วน %solid ที่ 0.5% ของรูปแบบที่ 1 และ 2 ในครั้งที่ 1 มีค่าใกล้เคียงกัน ปริมาณการดูดซับแอมโมเนียมในรูปแบบที่ 1 และ 2 เป็น 14 มก. และ 14 มก. ตามลำดับ และโพแทสเซียมที่ 15 มก. และ 16 มก. ตามลำดับ ซึ่งแต่ละแร่ธาตุไม่แตกต่างกันมากนัก ปริมาณแอมโมเนียมและโพแทสเซียมที่เหลืออยู่ประมาณร้อยละ 50 และ 60 จากเริ่มต้น ตามลำดับ แต่การดูดซับในครั้งที่ 2 จะเห็นได้ว่ารูปแบบการดูดซับมีความแตกต่างกัน โดยรูปแบบที่ 1 การดูดซับครั้งที่ 2 ใช้สัดส่วน%solid ที่ 0.5% แต่รูปแบบที่ 2 การดูดซับครั้งที่ 2 ใช้สัดส่วน%solid ที่ 0.25% พบว่า การดูดซับแอมโมเนียมครั้งที่ 2 ในรูปแบบที่ 1 และ 2 เป็น 8 มก. และ 6 มก. ตามลำดับ ส่วนโพแทสเซียมเป็น 11 มก. และ 6 มก. ตามลำดับ เนื่องจากพฤติกรรมการดูดซับแบบฟรุนด์ลิช ปริมาณตัวดูดซับที่เพิ่มขึ้นไม่สามารถเพิ่มการดูดซับได้อย่างมีนัยสำคัญ และประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียมและโพแทสเซียมจะลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณตัวดูดซับ (Murkani et al., 2015) ซึ่งรูปแบบที่ 1 มีทั้งปริมาณการดูดซับ และร้อยละการดูดซับมากกว่ารูปแบบที่ 2 แต่เมื่อเทียบสัดส่วนการดูดซับต่อซีโอไลต์พบว่า รูปแบบที่ 2 มีค่ามากกว่ารูปแบบที่ 1 เนื่องจากในรูปแบบที่ 2 มีปริมาณ

ของซีโอไลต์ที่ใช้น้อยกว่าในรูปแบบที่ 1 โดยปริมาณซีโอไลต์โดยรวมในการดูดซับแอมโมเนียมในรูปแบบที่ 2 มีสัดส่วนซีโอไลต์รวมเป็น 0.75% ส่วนรูปแบบที่ 1 มีสัดส่วนซีโอไลต์รวมเป็น 1.0% ซึ่งปริมาณตัวดูดซับในรูปแบบที่ 1 ที่ใช้มีปริมาณมากกว่าร้อยละ 25 ซึ่งไม่คุ้มค่าต่อการสังเคราะห์ปุ๋ยละลายช้า นอกจากนี้จะเห็นได้ว่า ซีโอไลต์ 4เอ ดูดซับแอมโมเนียมได้น้อยกว่าโพแทสเซียมในระดับ %solid 0.5% เท่ากัน เนื่องจากขนาดของแอมโมเนียมมีขนาดใหญ่กว่าโพแทสเซียม จึงทำให้การดูดซับเข้าไปในโครงสร้างของซีโอไลต์ได้น้อยลง รวมทั้งค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตี (electronegativity; EN) ของโพแทสเซียมมีค่าต่ำกว่าแอมโมเนียมด้วย จึงถูกดูดด้วยประจุลบซึ่งเป็นโครงสร้างของซีโอไลต์ได้มากกว่า



ก. รูปแบบการดูดซับแอมโมเนียม ข. รูปแบบการดูดซับโพแทสเซียม

รูปที่ 3 การดูดซับแอมโมเนียมและโพแทสเซียมในรูปแบบต่างๆ

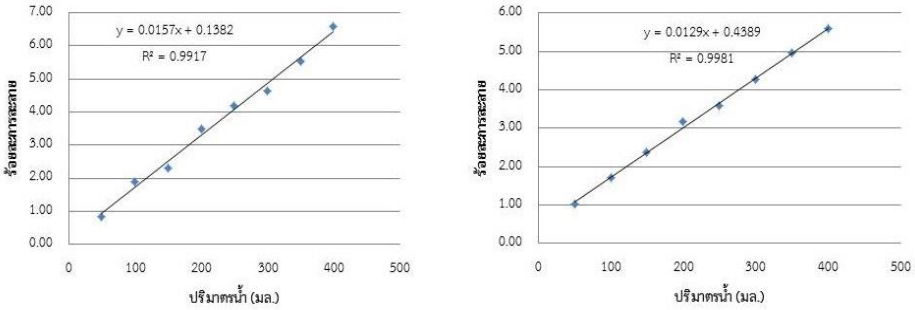
รูปแบบที่ 1 ครั้งที่ 1 และ 2 ที่สัดส่วน %solid ที่ 0.5%

รูปแบบที่ 2 ครั้งที่ 1 และ 2 ที่สัดส่วน %solid ที่ 0.5% และ 0.25% ตามลำดับ

3. การทดสอบการละลายของปุ๋ย

จากรูปที่ 4 เห็นได้ว่าปุ๋ย 4เอ+แอมโมเนียม และปุ๋ย 4เอ+โพแทสเซียม มีลักษณะการละลายแบบเดียวกันคือ มีร้อยละการละลายเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาตรน้ำเพิ่มมากขึ้น และอัตราการละลายค่อนข้างคงที่ เนื่องจากได้กราฟที่มีความชันเป็นเส้นตรง และมีค่า $R^2 > 0.99$ โดยมีค่าการละลายอยู่ที่ 0.157 กรัมแอมโมเนียมต่อลิตร และ 0.129 กรัมโพแทสเซียมต่อลิตร ตามลำดับ แสดงว่าปุ๋ยที่เตรียมจากการใช้ซีโอไลต์เป็นตัวดูดซับทั้งแอมโมเนียม และโพแทสเซียมสามารถควบคุมการละลายของปุ๋ยได้ เมื่อเทียบกับปุ๋ยละลายช้าออสโมโค้ท พบว่ามีอัตราการละลายอยู่ที่ 0.3004 กรัมต่อลิตร (วริษฐา แสงฤทธิ์, 2547) หรือ 0.558 กรัมต่อลิตร (จิตตรีรา

บัวเทศ, 2554) ซึ่งปุ๋ยออสโมโค้ทเป็นปุ๋ยทางการค้า มีหลายสูตร เช่น 13:13:13 หรือ 12:25:6 เป็นต้น โดยเป็นปุ๋ยเคมีที่ควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหารได้ เป็นการนำปุ๋ยเคมีที่ละลายเร็วมาเคลือบด้วยสารเรซินธรรมชาติ เมื่อนำไปใช้งาน น้ำจะซึมผ่านชั้นเคลือบผิวเรซินเข้าไปละลายแร่ธาตุที่อยู่ภายใน และแร่ธาตุจะซึมผ่านชั้นเคลือบออกมาด้วยกระบวนการออสโมซิส เพื่อที่จะสามารถควบคุมการละลายและการปลดปล่อยของแร่ธาตุในปุ๋ยได้ เมื่อแร่ธาตุละลายหมดแล้วจะเหลือแต่เปลือกเรซิน ภายนอก (จิตตรีรา บัวเทศ, 2554) เมื่อเทียบกับ โดยปุ๋ยซีโอไลต์ 4เอ+แอมโมเนียม และ 4เอ+โพแทสเซียม เป็นการดูดซับแร่ธาตุในโครงสร้างซีโอไลต์ ซึ่งความสามารถในการดูดซับขึ้นกับค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของซีโอไลต์ (Lin et al., 2013) ซึ่งจากการทดลองพบว่า ปุ๋ยซีโอไลต์ 4เอ+แอมโมเนียม และ4เอ+โพแทสเซียม มีแอมโมเนียมและโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบประมาณ 26 มก./ก. และ 63 มก./ก. ตามลำดับ หรือ 2.6% และ 6.3% ตามลำดับเท่านั้น ซึ่งมีค่าน้อยกว่าปุ๋ยออสโมโค้ทค่อนข้างมาก จึงทำให้มีอัตราการละลายที่ต่ำกว่า



ก. ปุ๋ยซีโอไลต์ 4เอ+แอมโมเนียม ข. ปุ๋ยซีโอไลต์ 4เอ+โพแทสเซียม

รูปที่ 4 อัตราการละลายของปุ๋ยซีโอไลต์ 4เอ+แอมโมเนียม และ 4เอ+โพแทสเซียม

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้สรุปได้ว่า การดูดซับแอมโมเนียม และโพแทสเซียมในตัวดูดซับไม่ขึ้นกับระดับพีเอชของสารละลาย และระยะเวลา แต่ขึ้นกับค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของซีโอไลต์ ซึ่งซีโอไลต์ 4เอ มีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกเป็น 786 เซนติโมลต่อกิโลกรัม มีค่ามากกว่าโดโลไมต์และซีโอไลต์บ่อกุ้ง ลักษณะการดูดซับของแอมโมเนียมและโพแทสเซียมในซีโอไลต์ 4เอ เป็นไปตามแบบจำลองฟรุนด์ลิช โดยพบว่า ถ้าให้ซีโอไลต์

มีความสามารถในการดูดซับแร่ธาตุต่อกรัมซีโอไลต์ที่ร้อยละ 60 จะมีศักยภาพในการดูดซับเป็น 20.39 มก.แอมโมเนียมต่อกรัมซีโอไลต์ และที่ 17.48 มก.โพแทสเซียมต่อกรัมซีโอไลต์ที่สัดส่วน %solid ที่ 0.5% รูปแบบในการเตรียมปุ๋ยละลายช้าที่ใช้ซีโอไลต์ 4เอ เป็นตัวดูดซับมีขั้นตอนการดูดซับ 2 รอบ โดยรอบที่ 1 ให้ใช้สัดส่วน %solid ที่ 0.5% ความเข้มข้นเริ่มที่ 0.02 โมลาร์ รอบที่ 2 ให้ใช้สัดส่วน %solid ที่ 0.25% และใช้สารละลายเดิมที่เหลืออยู่ ซึ่งสรุปได้ว่า ซีโอไลต์ 4เอ สามารถดูดซับแอมโมเนียม และโพแทสเซียมได้ร้อยละ 71.76 และ 61.11 ตามลำดับ และมีสัดส่วนการดูดซับแร่ธาตุต่อซีโอไลต์เป็น 26.68 มก.แอมโมเนียมต่อกรัมซีโอไลต์ และ 28.91 มก.โพแทสเซียมต่อกรัมซีโอไลต์ ตามลำดับ และจากการทดสอบการละลายของปุ๋ยพบว่า ปุ๋ยซีโอไลต์ 4เอ+แอมโมเนียม และ 4เอ+โพแทสเซียมจัดว่าเป็นปุ๋ยละลายช้าได้ เนื่องจากมีอัตราการละลายที่คงที่ 0.157 กรัมแอมโมเนียมต่อลิตร และ 0.129 กรัมโพแทสเซียมต่อลิตร ตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

เอกสารอ้างอิง/References

กรมพัฒนาที่ดิน. (2553). *คู่มือการปฏิบัติงาน กระบวนการวิเคราะห์ตรวจสอบดินทางเคมี.* กรมพัฒนาที่ดิน.

กอบเกียรติ ไพศาลเจริญ, อัจฉรา นันทกิจ, สมปอง หมื่นแจ้ง และ ไพโรจน์ พันธุ์พฤกษ์. (2551). การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยเคมี และปุ๋ยชีวภาพกับ การผลิตข้าวโพดสายพันธุ์นครสวรรค์ 2 ในชุดดินวังสะพุง. *วารสารวิชาการเกษตร, 1*(1), 82-90.

จิตตรีรา บัวเทศ. (2554). *การผลิตปุ๋ยละลายช้าจากแร่ลีโอนาร์ไดต์ ซีโอไลต์ และฟางข้าว.* (วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย).

นงลักษณ์ วิบูลสุข และ พวงเล็ก โมรากุล. (2539). *การใช้ซีโอไลต์ปรับปรุงดิน เพื่อการเกษตร.* กลุ่มงานวิจัยเคมีดิน กองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร. 1-13.

นิพนธ์ ใจสุทธิ์, คณิตา ตังคณานุรักษ์, วัชรพงษ์ วาระรัมย์ และ ดาวจรัส เกตุโรจน์. (2562). สมบัติของปุ๋ยทางเลือกที่ได้จากการดูดซับธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำเสียด้วยสเม็คไทต์และเถ้าลอยลิกไนต์. *วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น*, *19*(2)2, 131-141.

ปธานิน แสงอรุณ, ธเรศ ศรีสถิตย์ และ พงษ์เสริฐ ศรีพรหม. (2560). สภาวะที่เหมาะสมในการเพิ่มค่าความสามารถในการ แลกเปลี่ยนประจุบวกของการปรับสภาพเถ้าลอยถ่านหิน โดยวิธีพื้นผิวตอบสนอง. *วารสารวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมไทย*, *31*(3), 57-64.

วริษฐา แสงฤทธิ์. (2547). *ปุ๋ยที่เคลือบด้วยน้ำมันซักแห้ง เพื่อการปลดปล่อยแบบควบคุม.* (วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์, คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย).

ศิรินุช ลอยหา. (2556). ซีโอไลต์และเทคโนโลยีซีโอไลต์. *วารสารวิทยาศาสตร์ มข*., 41(1), 56-66.

Barbarick, K .A., & Pirela, H. J. (1984). Agronomic and horticultural uses of zeolite. In: Pond, W.G., & Mumpton, F.A., editors. *Zeo-agriculture: Use of Natural Zeolites in Agriculture and Aquaculture*. Boulder, CO, USA: Westview Press, 93–104.

Breck, D. W. (1974). *Zeolite MolecularSieves*. John Wiley and Sons, New York.

Butorac, A., Filipan, T., Basic, F., Butorac, J., Mesic, M., & Kisic, I. (2002). Crop response to the application of special natural amendments based on zeolite tuff. *Rostlinná Výroba*, 48, 118-124.

Chapman, H. D. (1965). *Cation exchange capacity. In Methods of Soil Analysis (Number 9 in the Series Agronomy), Part 2*, A. Black, ed. Madison, Wisconsin: American Institute of Agronomy. 891-901.

Granados, G., Kitbamroong, C., Tavarasook, C., Chatasiri, M., Grudloyma, P., Chotichun, S., & Boonpradab, S. (1994). Winter maize in paddy fields research conducted in Thailand in 1992-1994. pp. 26.

Giulia, C., Valentina, C., Enrica, F., Ilaria, M., Roberta, G., Marco, G., & Giovanna, G. (2020). Characterization and use of absorbent materials as slow-release fertilizers for growing strawberry: Preliminary results. *Sustainability*, 12, Doi:10.3390/su12176854.

Hwang, C. L., & Tai, N. H. (2010). Removal of dimethylsulfide by adsorption on ionexchanged zeolites. *Applied Catalysis B: Environmental*, 93, 363-367.

Kavoosi, M. (2007). Effects of Zeolite Application on Rice Yield, Nitrogen Recovery, and Nitrogen Use Efficiency. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 38, 69-76.

Lin, L., Lei, Z., Wang, L., Liu, X., Zhang, Y., & Wan, C. (2013). Adsorption mechanisms of high-levels of ammonium onto natural and NaCl-modified zeolites. *Separation and Purification Technology,* 103(15–20).

Mihok, F., Macko, J., Orinak, A., Orinakov, R., Koval, K., Katarina Sisakov., K., Petrus, O., & Kosteck, Z. (2020). Controlled nitrogen release fertilizer based on zeolite clinoptilolite: Study of preparation process and release properties using molecular dynamics. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry,* 3, Doi.org/10. 1016/j.desal.2011.03.030.

Milosevic, T., & Milosevic, N. (2009). The effect of zeolite, organic and inorganic fertilizers on soil chemical properties, growth and biomass yield of apple trees. *Plant, Soil and Environment, 55*(12), 528-535.

Murkani, M., Nasrollahi, M., Ravanbaskhsh, M., Bahrami, P., Jaafarzadeh, N., & Fard, H. (2015). Evaluation of natural zeolite clinoptilolite efficiency for the removal of ammonium and nitrate from aquatic solution. *Environmental health engineering and management Journal*, *2*(1), 17-22.

Nguyen, M. L. (1997). *Retention and subsequent nitrification of wastewater ammoniumin natural New Zealand zeolites.* Proc., UNEP—For Life on Earth—Int. Regional Conf. Perth, Australia: Murdoch University.

Polat, E., Karaca, M., Demir, H., & Naci-Onus, A. (2004). Use of Natural Zeolite Clinoptilolite in Agriculture. *Journal of Fruit Ornamental and Plant Research,* 12, 183-189.

Torii, K. (1978). *Utilization of natural zeolite in Japan, in "Natural Zeolites: Occurrence, Properties, Use"* Sand, L.B., Mumpton, F.A., Editor. Pergamon Press, Elmsford, New York, pp. 441-450.

Wang, S., & Peng, Y. (2010). Review natural zeolites as effective adsorbents in wastewater treatment. *Chemical Engineering Journal*, 156, 11-24.

Witter, E., & Lopez-Real, J. (1988). Nitrogen losses during the composting of sewage sludge, and the effectiveness of clay soil, zeolite, and compost in adsorbing the volatilized ammonia. *Biological Wastes*, *23*(4), 279-294.

THE EFFECTS OF RHIZOBIUM AND ARBUSCULAR MYCORRHIZA FUNGI ON GROWTH AND NUTRIENT UPTAKE OF COWPEA VARIETIES

Phanit Nakayan[1, *], Ratchanon Somboonchai[1], Porramin Narata[1], Jiraporn Inthasan[2] and Wilaslux Wongwai[3]

[1] Programm of Geosocial Based Sustainable Development, Faculty of Agriculture, Maejo University
[2] Programm of Soil Science, Faculty of Agriculture, Maejo University
[3] Office of Agricultural Research and Development Region 1, Department of Agriculture

Received: 5 April 2021 Accepted: 10 August 2022

Abstract

The study was conducted to determine the effects of rhizobium and Arbuscular mycorrhiza fungi (AMF) on the growth of three cowpea varieties (*Vigna unguiculata* L. Walp.). The cowpea inoculated with three *Rhizobium* strains (R14, R41 and R55) and four AMF strains (AMF1, AMF2, AMF3 and AMF4) were evaluated with a pot experiment under greenhouse conditions. The experiment consisted of 3 groups and each group was divided into six treatments in completely randomized design: (1) control treatment (non-inoculated plant), (2) rhizobium treatment (inoculated with rhizobium isolated R14, R41 and R55 for cowpea no. 14, 41, and 55, respectively), (3) AMF1 treatment (dual inoculation with each rhizobium and AMF1), (4) AMF2 treatment (dual inoculation with each rhizobium and AMF2), (5) AMF3 treatment (dual inoculation with each rhizobium and AMF3) and (6) AMF4 treatment (dual inoculation with each rhizobium and AMF4). The results showed that rhizobium inoculation increased shoot dry weight of all cowpea varieties higher than control treatment with 14, 45, and 28%, respectively. The cowpea

* Corresponding Author: Phanit Nakayan
Email: phanit@mju.ac.th

no.14 and 41 that rhizobium inoculation increased the amounts of nitrogen from nitrogen-fixation higher than control treatment by 70 and 47%, respectiv ely. The dual inoculation of rhizobium and AMF on a percentage of mycorrhizal colonization and phosphorus content were not statistically significant from the control treatment. The amounts of nitrogen from nitrogen-fixation of cowpea strain 14 and 55 with dual inoculation of *Rhizobium* R14 or R15 and all groups of AMF were lower than a single rhizobium inoculation. The amounts of nitrogen from nitrogen-fixation of cowpea strain 41 and 55 with dual inoculation of rhizobium R14 and AMF2 or AMF3 or AMF4 were higher than a single rhizobium inoculation. This study concluded that the growth of cowpea and amounts of nitrogen from nitrogen-fixation of cowpea could have been improved by specific rhizobium. However, the dual inoculation of rhizobium and arbuscular mycorrhizal remains to be considered on a case-by-case basis.

Keywords: cowpea, rhizobium, arbuscular mycorrhiza fungi, nitrogen fixation

Introduction

Cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp var. *unguiculate*) is one of the most ancient crops known to humankind and is the most important legumes in Africa (Murdock et al., 2010). It has been extensively grown traditionally, which has grown to intercrop with sorghum, millet, maize, or cassava. However, it has grown as a monoculture on occasion. Farmers have lately increased their cowpea production after recognizing it could be a profitable crop. Cowpea grows in poor soil and low moisture (average annual rainfall of 300 mm). For the African continent, cowpea is an economic crop used as food and feed and more than 80% of the world's cowpea crop is grown in Africa. Furthermore, the cowpea grain contains 23-25 % high-quality protein by weight, which is comparable to the quantity found in dried leaves (Murdock et al., 2010). In

the field, cowpea is an N-source for plants and soil and also enhances soil fertility and protects soil moisture (Bado et al., 2006).

In Northern Thailand, *V. unguiculata* var. *unguiculate* is grown in dryland farming or garden at highland areas. For the selection of variety, three varieties of *V. unguiculata* were selected by Wongwai et al. (Wongwai et al., 2017) after they found that only cowpea can grow with upland rice not disturb rice. The three varieties were identified by color include No. 14 (black seed), No.41 (brown polka dot dotted color), and No.55 (black and white seed). Moreover, *V. unguiculata* var. *unguiculate* can protect soil moisture surface and reduce weed (Wongwai et al., 2014). The litter of cowpea can increase organic matter. The cowpea's pod can be food and sell (Wongwai et al*.,* 2014).

Rhizobia are a type of soil bacteria that form root nodules in a symbiotic interaction with legume roots. They are a type that coexists with plants and can be utilized in environmental agriculture to reduce nitrogen fertilizer consumption, aid drought resistance, reduce nitrogen pollution and soil acidification, raise Leguminosae productivity and quality, and improve soil fertility and health (Young, 2014).

For cowpea, *Bradyrhizobium* strain has been increased in shoot biomass (Püschel et al., 2017). A beneficial microorganism is arbuscular mycorrhiza fungi (AMF) that facilitate enhanced plant phosphorus uptake (Klabi et al., 2014). However, depending on the degree of physiological compatibility between the fungal symbiont and the host plant, nutrient availability, and plant species relationships, the influence of AMF on the plant might be negative, neutral, or beneficial (Meng et al., 2015). The tripartite symbiosis between legumes, rhizobia, and mycorrhiza fungi is beneficial for legume nitrogen uptake (Estefan et al., 2013). The dual inoculation showed a significantly increased total biomass of soybean and maize compared with non-inoculated. Püschel et al.(2017) found that *Bradyrhizobium strain* could be related significantly to

the indigenous AMF, and showed a more various colonization pattern of cowpea root. However, rhizobium and arbuscular mycorrhiza's ability and potential on cowpea growth have not been investigated in Thailand. Therefore, our study aims to determine the effects of rhizobium and arbuscular mycorrhiza fungi (AMF) on cowpea and assess the capacities of the three rhizobium on cowpea growth.

Materials and methods

Experimental Design

A greenhouse pot experiment was conducted at the farm of Maejo University, Thailand. Wongwai et al. (2017) selected three cowpea varieties and separated the test as 3 experiments. Varieties were included as cowpea No. 14 (black seed), No.41 (brown polka dot dotted color) and No. 55(black and white seed). The experiment was conducted in six treatments, and four replicates with a completely randomized design. Each variety was treated with compatible rhizobium. There were as follow: (1) only cowpea and no inoculant (control, T1); (2) cowpea inoculated with rhizobia isolate R14, R41, and R55, which selected by soil science laboratory in Maejo University (T2); (3-5) each cowpea varieties inoculated with rhizobia R14, R41, and R55 plus with arbuscular mycorrhiza fungi selected from Samoeng Rice Research Center (AMF1-AMF3) and from Department of Agriculture; DOA (AMF4) (6) each cowpea varieties inoculated with rhizobia isolated R14, R41 and R55 plus with arbuscular mycorrhiza fungi from Department of Agriculture (DOA). Transparency plastic greenhouse was used from April 24 – August 8, 2018. The harvesting was finished when cowpea was as 105 days after planting.

Plant Growth Medium

The using soil contained pH 5.73, 3.8 g kg^{-1} of organic matter, 43 ug g^{-1} of available P, and 147 ug g^{-1} of exchangeable K. The soil was twice steam-

sterilized at 120° C for 2 hours to eliminate the AMF spores. Next, plastic pots having 30 cm diameter and 27 cm height were filled with 8 kg of dry soil.

Seedling and Inoculating

A total of 3 seeds of each cowpea varieties (*V. unguiculata* var. unguiculate Varieties No. 14, No.41 and No. 55) were sterilized in 70% ethyl alcohol for 5 min. The sterilized cowpea seed was covered with peat moss which was $5.9x10^{11}$ cfu g^{-1} of rhizobium. Seeds were sowed in the tray and 13 days old seedling was transplanted to a pot. For arbuscular mycorrhiza inoculation, cowpea seedlings were planted to the pot after 50 g of soil inoculum (contained 15-20 spores g^{-1}) were added to 8 kg of soil pot^{-1}. Cowpea were grown under greenhouse, and watering was every 1-2 day depend on the weather. Two weeks after inoculations, the seedlings were thinned to one seedling per pot.

Data collection

After 105 days after planting, dry weight of shoot dry weight, root dry weight, nodule dry weight, and branches number of plant, nitrogen, phosphorus, potassium uptake, ureide relative index, mycorrhizal colonization and correlation coefficient between shoot dry weight (SDW) were analyzed. Determinations of nitrogen, phosphorus and potassium content of shoot: nitrogen content was determined by the Kjeldahl method as described by Estefan et al. (Herridge & Peoples, 2002). Phosphorus and total potassium were determined by the procedure of Estefan et al. (2013). Ureide-N, amino-N and nitrate-N, ureide relative index (RU-N%) was determined by Herridge & Peoples (2002). Mycorrhizal infection was used by Phillips & Hayman (1970) (Tang et al., 2019). Correlation coefficient between shoot dry weight(SDW) and All parameters were analyzed for statistical significance using the analysis of variance (ANOVA) by Sirichai Statistic program ver. 7.0.

Results and discussion

The influence of rhizobium and arbuscular mycorrhiza fungi on the growth of three cowpea cultivars was investigated. The present research showed an encouraging effect of single rhizobia inoculation and dual inoculation with arbuscular mycorrhiza fungi (AMF) can increased dry shoot weight of cowpea, which is in agreement with white clovers after inoculated with AMF *Rhizoglomus intraradices* and *Rhizobium trifolii* (Boddey et al., 2016). Meng et al. (2015) also reported that the soybean and maize intercropping system's yield was signifi cantly increased by the single AMF *Glomus mosseae* or *Rhizobium* SH212 and dual inoculating. Our results also supported that some advantageous microbes' strains had to the synergistic work in stimulating the growth of host plant

1. Cowpea no. 14

Shoot dry weight, nitrogen, phosphorus and potassium uptake and their relative: The comparison of the control treatment (none inoculation), single inoculation with *Rhizobium* R14 and double inoculation R14+AMF4 and R14+ AMF2 significantly increased shoot dry weight and relative shoot dry weight up to 14, 13, and 17%, respectively. In addition, the comparison of control treatment, double inoculation with R14+AMF4 and single *Rhizobium* R14 inoculation were not significantly increased nitrogen uptake with 3.68 g N plant^{-1} (Relative N-uptake 6% compared with control) and 3.61 g N plant^{-1} (Relative N-uptake 4% compared with control). Phosphorus uptake was increased 0.31 g P plant^{-1} (Relative P-uptake 19% compared with control. However, single rhizobium inoculation did not increase P-uptake and K-uptake of cowpea's shoot. In addition, the control treatment and double inoculation with R14+AMF3 recorded significantly higher K-uptake (Table 1).

Table 1. The effect of *Rhizobium* R14 and arbuscular mycorrhiza fungi (AMF) on relative shoot dry weight (Relative SDW), the uptake of the shoot nitrogen, phosphorus and potassium, relative nitrogen, phosphorus and potassium in cowpea no.14

Treatments	SDW (g plant^{-1})	Relative SDW (%)	N-uptake (g N plant^{-1})	Relative N-uptake (%)	P-uptake (g P plant^{-1})	Relative P-uptake (%)	K-uptake (g P plant^{-1})	Relative K-uptake (%)
Control	79.15 ^{c}	100	3.48	100	0.26	100	0.46 ^{bc}	100
R14	90.54 ^{ab}	114	3.61	104	0.23	88	0.32 ^{d}	70
R14+AMF1	86.06 ^{abc}	109	2.99	86	0.27	104	0.44 ^{c}	96
R14+AMF2	92.39 ^{a}	117	3.45	99	0.27	104	0.44 ^{c}	96
R14+AMF3	81.45 ^{bc}	103	2.57	74	0.24	92	0.54 ^{a}	117
R14+AMF4	89.69 ^{ab}	113	3.68	106	0.31	119	0.51 ^{ab}	110
Mean	86.55		0.30		0.26		0.45	
F-test	*		ns		ns		*	
C.V. (%)	6.65		16.30		27.04		8.85	

ns: non-significant, * significant at p≤0.05, ** significant at p≤0.01

Means with column letter within the same column is not significant by LSD at p≤0.05

SDW is shoot dry weight; N-uptake is Nitrogen uptake; P-uptake is Phosphorus uptake; K-uptake is Potassium uptake

R14 is the best rhizobium selected from the nodule of cowpea no.14

AMF1 is arbuscular mycorrhiza fungi from Samoeng Rice Research Center (orange spore)

AMF2 is arbuscular mycorrhiza fungi from Samoeng Rice Research Center (transparent spore)

AMF3 is arbuscular mycorrhiza fungi from Samoeng Rice Research Center (dark orange spore)

AMF4 is arbuscular mycorrhiza fungi from Department of Agriculture (Mixed spore)

Root dry weight: All inoculated treatment increased root dry weight compared to control treatment (Table 2). The highest root dry weight was found in single inoculated with rhizobium R14, that could increase root dry weight up to 61% compared with control. Root dry weight were decreased with dual inoculating with rhizobium no.14 and arbuscular mycorrhiza fungi (AMF).

Nodule dry weight: All treatments did not increase nodule dry weight as compared to control treatment. Double inoculating trended to decreased nodule dry weight compared with control treatment (Figure 1A).

Table 2 The effect of *Rhizobium* R14 and arbuscular mycorrhiza fungi (AMF) on root dry weight, nodule dry weight, relative ureide index (RUI), and mycorrhizal colonization, of cowpea No. 14

Treatments	RDW (g plant^{-1})	Relative RDW (%)	Nod DW (g plant^{-1})	Relative Nod-DW (%)	RUI (%)	Mycorrhizal colonization (%)
Control	37.43 ^{c}	100	0.82 ^{a}	100	47.85	90
R14	60.22 ^{a}	161	0.75 ^{a}	92	85.50	88
R14+AMF1	53.23 ^{b}	142	0.55 ^{b}	67	60.21	78
R14+AMF2	50.18 ^{b}	134	0.48 ^{b}	59	63.30	80
R14+AMF3	50.18 ^{b}	134	0.40 ^{b}	49	52.07	80
R14+AMF4	52.80 ^{c}	114	0.74 ^{a}	90	64.60	95
Mean	49.01	130	0.62		57.15	
F-test	**		**		ns	
C.V. (%)	11.23		17.02		19.61	

ns: non-significant, * significant at p≤0.05, ** significant at p≤0.01

Means with column letter within the same column is not significant by LSD at p≤0.05

RDW is Root Dry Weight; Nod DW is Nodule Dry Weight (g plant-dry-weight^{-1});

RUI is Relative Ureide Index; P-fix is Phosphorus fixation

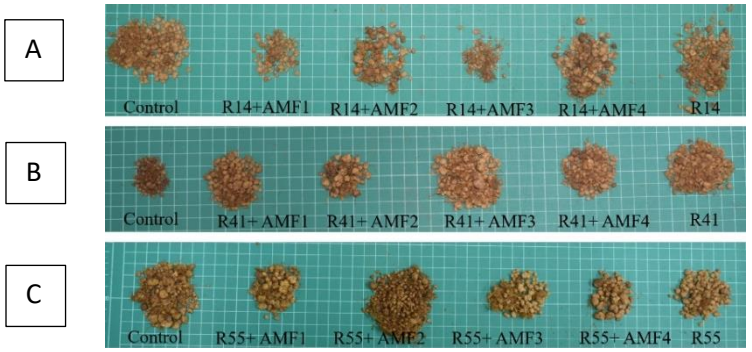


Fig. 1 A nodule of cowpea no. 14 = A, no.41 = B, and no.55 = C

Relative ureide index (%RUI): The RUI was highest with rhizobium R14 inoculation. In addition, the double inoculating treatment trended to increased RUI (Table 2).

Mycorrhizal colonization: All treatments did not increase the percentage of mycorrhizal colonization compared to control, except double inoculating of AMF4 and rhizobium R14, which could increase the percentage of mycorrhizal colonization up to 95% (Table 2).

A positive correlation was found for correlation analysis on RUI vs. SDW and RUI vs. mycorrhizal colonization (Table 3).

Table 3 Correlation between RUI and shoot dry weight (SDW) and between RUI and mycorrhizal colonization of cowpea no.14

Correlation	N	r
RUI VS SDW	6	0.908 *
RUI VS mycorrhizal colonization	6	0.830 *

RUI is Relative Ureide Index, SDW is shoot dry weight

In case of cowpea no.14, shoot growth can increase by only *Rhizobium* R14 applying. While, better N, P, K-uptake were showed by a co-inoculating between R14 and specific AMF groups. However, root dry weight and nodule dry weight were affective increased when only *Rhizobium* R14 using and have positive relationship with RUI. Moreover, RUI also have good effected to mycorrhizal colonization. These results showed the difference strain of rhizobium and AMF were specific to the plant host. Boddey et al. (2016) also stated that the cowpea could respond remarkably when highly effective rhizobium strain was used.

2. Cowpea no. 41

Shoot dry weight, nitrogen, phosphorus and potassium uptake and their relative: Compared with the control treatment (uninoculated), The comparison of all treatments significantly increased shoot dry weight and relative shoot dry weight 27-45%. In addition, compared with control treatment,

double inoculation with R41+AMF4 was significantly increased nitrogen uptake with 4.04 g N plant^{-1} (Relative N-uptake increased up to 52% compared with control) and also increased phosphorus uptake to 0.24 g P plant^{-1} (Relative P-uptake increased to 41% compared with control treatment). Moreover, all inoculation treatment could increase the K-uptake of cowpea's shoot up to 23-34% compared with control and double inoculated R14+AMF4 (Table 4).

Table 4. The effect of *Rhizobium* R41 and arbuscular mycorrhiza fungi (AMF) on shoot dry weight, relative shoot dry weight (Relative SDW), nitrogen, phosphorus and potassium. The uptake of relative nitrogen, phosphorus and potassium uptake in cowpea no.41

Treatments	SDW (g plant^{-1})	Relative SDW (%)	N-uptake (g N plant^{-1})	Relative N-uptake (%)	P-uptake (g P plant^{-1})	Relative P-uptake (%)	K-uptake (g K plant^{-1})	Relative K-uptake (%)
Control	56.17 ^{c}	100	2.67 ^{b}	100	0.17	100	0.35	100
R41	81.43 ^{a}	145	3.04 ^{b}	114	0.20	118	0.43	123
R41+AMF1	71.40 ^{b}	127	3.08 ^{ab}	116	0.18	105	0.47	134
R41+AMF2	78.60 ^{ab}	139	3.18 ^{ab}	119	0.19	112	0.47	134
R41+AMF3	75.70 ^{ab}	135	4.04 ^{a}	152	0.24	141	0.44	126
R41+AMF4	78.92 ^{ab}	141	3.46 ^{ab}	130	0.22	129	0.35	100
Mean	73.71		3.44		0.20		0.42	
F-test	**		ns		ns		ns	
C.V. (%)	7.03		18		2.99		19.66	

ns: non-significant, * significant at p≤0.05, ** significant at p≤0.01

Means with column letter within the same column is not significant by LSD at p≤0.05

SDW is shoot dry weight; N-uptake is Nitrogen uptake; P-uptake is Phosphorus uptake; K-uptake is Potassium uptake

R41 is the best rhizobium selected from nodule of cowpea no.41

Root dry weight: the single *Rhizobium* R41 inoculated treatment significantly increased root dry weight compared with control treatment up to 41.15% (Table 5), but other treatment did not affect the root dry weight

cowpea no.41. Root dry weight was decreased whit dual inoculating with R14+ AMF.

Nodule dry weight(g per plant dry weight): All treatments did not increase dry nodule weight as compared to control treatment. Double inoculating trended to decreased nodule dry weight compared with control treatment (Figure 1B).

Relative ureide index(%RUI): The RUI of R14+AMF2 inoculation treatment was the highest. In addition, single rhizobium and double inoculating treatment trended to increased RUI compared with control.

Mycorrhizal colonization: All treatments increased the percentage of mycorrhizal colonization compared to control, except single rhizobium inoculating, which has decreased the percentage of mycorrhizal colonization less than control treatment (Table 5).

Table 5 The effect of *Rhizobium* R14 and arbuscular mycorrhiza fungi (AMF) on root dry weight, nodule dry weight, relative ureide index (RUI), and mycorrhizal colonization of cowpea No. 41

Treatments	RDW (g plant^{-1})	Relative RDW (%)	Nod DW (g plant^{-1})	Relative Nod-uptake (%)	RUI (%)	Mycorrhizal colonization (%)
Control	40.63 ^{b}	100.00	0.90 ^{a}	100.00	43.95	90.00
R41	57.35 ^{a}	141.15	0.88 ^{a}	97.78	54.19	87.50
R41+AMF1	37.70 ^{bc}	92.79	0.44 ^{b}	48.89	53.06	95.00
R41+AMF2	31.15 ^{cd}	76.67	0.77 ^{b}	30.00	61.81	90.00
R41+AMF3	27.65 ^{b}	68.05	0.80 ^{a}	88.89	57.67	100.00
R41+AMF4	34.81 ^{bcd}	85.67	0.82 ^{a}	91.11	54.56	97.50
Mean	38.21		0.68		51.11	1.32
F-test	**		**		ns	ns
C.V. (%)	15.06		17.62		19.26	19.41

ns: non-significant, * significant at p≤0.05, ** significant at p≤0.01

Means with column letter within the same column is not significant by LSD at p≤0.05

Nod DW is nodule dry weight

3. Cowpea no. 55

Shoot dry weight, nitrogen, phosphorus and potassium uptake and their relative: The comparison of the control treatment (uninoculated, R55+AMF1 and R55+AMF3 treatment increased shoot dry weight and relative shoot dry weight 1.18 and 5.57%. In addition, N-uptake and K-uptake of the R55+AMF3 inoculation were significantly increased to 40% and 41.03% compared to the control treatment. However, all treatments did not affect to increased P-uptake when compared with control (Table 7).

Table 7 The effect of *Rhizobium* R55 and arbuscular mycorrhiza fungi (AMF) on shoot dry weight, relative shoot dry weight (Relative SDW), nitrogen, phosphorus and potassium uptake, relative nitrogen, phosphorus and potassium uptake of cowpea no.55

Treatments	SDW (g plant^{-1})	Relative SDW (%)	N-uptake (g N plant^{-1})	Relative N-uptake (%)	P-uptake (g P plant^{-1})	Relative P-uptake (%)	K-uptake (g K plant^{-1})	Relative K-uptake (%)
Control	83.36 ^{ab}	100.00	3.25 ^{bc}	100.00	0.25	100.00	0.39 ^{b}	100.00
R55	68.99 ^{c}	82.42	2.58 ^{c}	79.38	0.22	88.00	0.49 ^{ab}	125.64
R55+AMF1	84.69 ^{ab}	101.18	3.70 ^{b}	113.85	0.19	76.00	0.52 ^{a}	133.33
R55+AMF2	73.16 ^{c}	87.41	2.82 ^{c}	86.77	0.21	84.00	0.46 ^{ab}	117.95
R55+AMF3	88.36 ^{a}	105.57	4.55 ^{a}	140.00	0.25	100.00	0.55 ^{a}	141.03
R55+AMF4	75.89 ^{bc}	90.17	2.83 ^{c}	87.08	0.24	108.00	0.35 ^{b}	89.76
Mean	79.13		3.29		0.26		0.47	
F-test	**		**		ns		*	
C.V. (%)	8.13		15.60		20.32		16.66	

ns: non-significant, * significant at p≤0.05, ** significant at p≤0.01

Means with column letter within the same column is not significant by LSD at p≤0.05

R55 is the best rhizobium selected from the nodule of cowpea no.55

Root dry weight, nodule dry weight (Figure 1C), Relative ureide index (%RUI), and percentage of mycorrhizal colonization: compared with control, all inoculated treatments did not affect on root dry weight, nodule dry weight,

relative ureide index (%RUI), and percentage of the root of cowpea no.55. Nevertheless, these parameters decreased by single rhizobium treatment and dual inoculation R14+AMF (Table 8).

Table 8 The effect of *Rhizobium* R55 and arbuscular mycorrhiza fungi (AMF) on root dry weight, relative root dry weight (relative RDW), nodule dry weight (Nod DW), relative ureide index (RUI%) and mycorrhizal colonization of cowpea no. 55

Treatments	RDW (g plant^{-1})	Relative RDW (%)	Nod DW (g plant^{-1})	Relative Nod-uptake (%)	RUI (%)	Mycorrhizal colonization(%)
Control	74.51 ^{a}	100.00	1.01 ^{a}	100.00	48.39	95.00
R55	26.72 ^{d}	35.86	0.87 ^{a}	86.14	55.03	90.00
R55+AMF1	60.10 ^{b}	80.66	0.42 ^{c}	41.58	46.90	92.50
R55+AMF2	54.70 ^{b}	73.41	0.85 ^{a}	84.16	55.03	100.00
R55+AMF3	38.70 ^{c}	51.94	0.67 ^{b}	66.34	61.39	92.50
R55+AMF4	38.41 ^{c}	56.63	0.33 ^{c}	32.67	49.48	92.50
Mean	48.87		0.69		51.11	1.33
F-test	**		**		ns	ns
C.V. (%)	11.58		15.44		19.26	20.99

ns: non-significant, * significant at p≤0.05, ** significant at p≤0.01

Means with column letter within the same column is not significant by LSD at p≤0.05

Nod DW is nodule dry weight

Number of branches per plant

The result revealed that the amount of cowpea branch (no. 14 and no.41) were the highest by rhizobium inoculation treatment (5.5 and 5.75 branches, respectively). However, maximum of branch per plant of cowpea no. R55 was showed by using of combination R55+AMF4.

Control treatment of cowpea no.55 showed the highest nodule dry weight compared with rhizobium inoculation. This result might be due to rhizobium, which is non-host-specific bacteria that occurred in environmental areas (from water and air). There were more effected on nodule than rhizobium

that inoculated to cowpea and in soil 2 times sterile (60 min per each time) by the mushroom sterilizer. Besides, rhizobium was non-spore microbe, so the soilborn natural rhizobium was eliminated by this procedure. In contrast, Rebika & Nongmaithem (2019) reported that inoculation of cowpea seed with rhizobium was found to be more nodule product when compared with no inoculation. Besides, the results found that the root dry weight of cowpea no.14 increased to 61% by comparing with the control. This might be due to *Rhizobium* R14 may can produce IAA that effect to improve cowpea root which is in an according with Lebrazi et al. (2020) reported that the IAA can produce by a majority of rhizobacteria. In addition, *Bradyrhizobium* sp. in root of cowpea that from South Africa and Mozambique also can produce IAA (Dabo et al., 2019). However, double inoculation rhizobium R14 and AMF did not improve the effectiveness of nitrogen fixation, shoot dry weight, %RUI, root dry weight, and nodule dry weight (except *Rhizobium* R14+AMF4 treatment showed no difference of dry nodule weight compared to rhizobium treatment). These results may be due to competition between *Rhizobium* R14 and AMF1-3.

%RUI is the nitrogen-fixing efficiency index of rhizobium. The results showed that %RUI of cowpea no.14, 41 and 55 in the control treatment have 47.85, 54.19 and 55.03%, respectively. In comparison, rhizobium inoculation treatment has a trend non-significant lower dry weight nodule than control. However, they showed better %RUI (85.50, 54.19 and 55.03%, respectively). Consequences, it referred to superior nitrogen-fixing efficiency from rhizobium, which has been selected from laboratory and they could more fixing nitrogen than control.

In this study found that mycorrhiza infection up to 90% in the control treatment. The results were affected by mycorrhiza fungi in the environment or the sterilization method of soil by mushroom sterilizer did not eliminate all microorganisms include natural arbuscular mycorrhiza.

Conclusions

The effect of rhizobium and arbuscular mycorrhiza fungi (AMF) on cowpea's growth can conclude that all variety of cowpea was used in this research were good significantly respond to three rhizobium isolates. The only specific rhizobium used was affected by three cowpea varieties than combination application. The growth of cowpea, some nutrient uptake (such as nitrogen) which rhizobium inoculating had increased more than control. However, not all specific rhizobium and mycorrhizas can stimulate and enhance the growth of cowpea. Some co-inoculated may reduce their growh. Therefore, the good growth stimulation of cowpea that depends on the proper and specific selection of rhizobium and/or mycorrhizal fungi.

Acknowledgments

The National Reaseach Council of Thailand supported this research. In addition, the authors would like to thank the Biological Control Technology Learning Center, Maejo University, for the greenhouse to plant cowpea and Miss Wilaslux Wongwai for cowpea seeds.

References

Bado, B. V., Bationo, A., & Cescas, M. P. (2006). Assessment of cowpea and groundnut contributions to soil fertility and succeeding sorghum yields in the Guinean savannah zone of Burkina Faso (Weat Africa). *Biology and Fertility of Soils*, 43, 171-176.

Boddey, L. M., Fosu, M., Atakora, W. K., Miranda, C. H. B., Boddey, L. H., Guimaraes, A. P., & Ahiabor, B. D. K. (2016). Cowpea (*Vigna unguiculata*) crops in Africa can respond to inoculation with rhizobium. *Experimental Agriculture, 53*(4), 578-587.

Dabo, M., Jaiswal, S. K., & Dakora, F. D. (2019). Phylogenetic evidence of allopatric speciation of bradyrhizobia nodulating cowpea (*Vigna unguiculata* L. walp) in South African and Mozambican soils. *FEMS Microbiology Ecology*, *9*(6), 1-14.

Estefan, G., Sommer, R., & Ryan, J. (2013). *Methods of soil, plant, and water analysis: A manual for the West Asia and North Africa region*. 3nd Eidition. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas. Beirut.

Herridge, D. E., & Peoples, M. B. (2002). Timing of xylem sampling for ureide analysis of nitrogen fixation. *Plant and Soil, 38*, 57-67.

Klabi, R., Hamel, C., Schellenberg, M. P., Iwaasa, A., Raies, A., & St-Arnaud, M. (2014). Interaction between legume and arbuscular mycorrhiza fungi identity alters the competitive ability of warm-season grass species in a grassland community. *Soil Biology and Biochemistry, 70*, 176-182.

Lebrazi, S., Fadil, M., Chraibi, M., & Fikri-Benbrahim, K. (2020). Screening and optimization of indole-3-acetic acid production by *Rhizobium* sp. strain using response surface methodology. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology, 18*(20), 1-10.

Meng, L., Zhang, A., Wang, F., Han, X., Wang, D., & Li, S. (2015). Arbuscular mycorrhizal fungi and rhizobium facilitate nitrogen uptake and transfer in soybean/maize intercropping system. *Frontiers in Plant Science, 6*, 1-10.

Murdock, L. L., Sithole-Niang, I., & Higgins,T. J. V. (2010). Transforming the cowpea, an African orphan staple crop grown predominantly by women. pp. 211-232. In: J. David and et al.(ed.). *Successful Agricultural Innovation in emerging economics: New genetic technologies for global food production*. Cambridge University Press. Cambridge.

Phillips, J. M., & Hayman, D. S. (1970). Improved producer for clearing root and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhiza fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society, 55*, 158-161.

Püschel, D., Janoušková, M., Voříšková, A., Gryndlerová, H., Vosátka, M., & Jansa, J. (2017). Arbuscular mycorrhiza stimulates biological nitrogen fixation in two *Medicago* spp. through improved phosphorus acquisition. *Frontiers in Plant Science*, *8*, 1-12.

Rebika, T., & Nongmaithem, N. (2019). Effect of *Rhizobium* inoculation on yield and nodule formation of coepea. *International journal of current microbiology and applied sciences, 8*(11), 134-139.

Tang, T. T., Xie, M. M., Chen, S. M., Zhang, S. M., & Wu, Q. S. (2019). Effect of arbuscular mycorrhizal fungi and rhizobia on physiological activities in White Clover (*Trifolium repens*). *Biotechnology, 18*(2), 49-54.

Wongwai, W., Choengaksorn, C., Hassarangsee, S. Leelapiromkul, P., Chaimongkol, N., & Khunpiluk, P. (2014). Developmemt on crawling cowpea production in upland and highland cropping system. *Khon Kaen Agriculture Journal, 47(Suppl.2), 298-303. (in Thai)*

Wongwai, W., Leelapiromkul, P., Choengaksorn, C., Hassarangsee, S., Yotharath, S., Punchaisri, K., Meekul, P., Chitta, P., & Nakayan, P. (2017). *Varieties selection of crawling cowpea for growing with upland rice in highland cropping system*. In: Proceedings of 6th National Conference on Legumes. 23-25 August 2017, Nakhon Si Thammarat, Thailand. 181-190. (in Thai)

Young, C. C. (2014). *Soil and fertilizer concepts and practices*. Airti Press Inc. New Taipei City, Taiwan.

การพัฒนาผลิตภัณฑ์เซรั่มที่ผสมสารสกัดหยาบถั่งเช่าสีทองเพื่อบำรุงผิวหน้า

PRODUCT DEVELOPMENT OF A SERUM CONTAINING *CORDYCEPS MILITARIS* FOR FACE SKIN CARE

นำพล แปนเมือง[1, *], วริษฎา ศิลาอ่อน[2], วัทนวิภา วงศ์ใหญ่[2] และ อิสริยาภรณ์ ภูมิเรศสุนทร[2]
Nampon Panmueang[1, *], Warisada Sila-on[2], Wanthanawipa Wongyai[2]
and Aissariyapron Pumredsoonthon[2]

[1] สาขาวิชาการแพทย์แผนไทย มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
[2] คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
[1] Thai Traditional Medicine program, Udon Thani Rajabhat University
[2] Faculty of Pharmaceutical Sciences, Ubon Ratchathani University

Received: 8 February 2021 Accepted: 10 August 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดถั่งเช่าสีทองและพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์เซรั่มโดยศึกษาผลของสารก่อเจลต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ นำสารสกัดถั่งเช่าสีทองที่สกัดด้วยน้ำร้อนเป็นเวลา 30 นาที และสารสกัดจากน้ำ มาทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี $ABTS^{+\cdot}$ พบว่ามีค่า IC_{50} เท่ากับ 6.57 ± 0.30 mg/ml และ 3.16 ± 0.14 mg/ml เมื่อทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH สารสกัดถั่งเช่าสีทองด้วยน้ำ มีค่า IC_{50} เท่ากับ 6.81 ± 0.34 mg/ml และ 6.77 ± 0.33 mg/ml ตามลำดับ ส่วนสารก่อเจลในสูตรตำรับผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมในการเตรียมเป็นเซรั่มคือ HPMC 2% และองค์ประกอบในตำรับ ประกอบด้วยสารให้ความชุ่มชื้น 4% และสารกันเสีย 1% เมื่อทดสอบด้วยสภาวะเร่ง ดังนั้นจึงสามารถนำสารสกัดถั่งเช่าสีทองมาเตรียมเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางเซรั่มเพื่อบำรุงผิวหน้าได้

คำสำคัญ: ถั่งเช่าสีทอง, เซรั่ม, ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

* ผู้ประสานงาน: นำพล แปนเมือง
อีเมล์: namphon@udru.ac.th

Abstract

The objective of this research were to study the antioxidant activity of *Cordyceps militaris* (CM) extract and investigate the effect of gelling agents on product characteristics to develop the serum formulation. The extracts of CM by hot water for 30 minutes (CMH) and water (CMW) were antioxidant capacity by ABTS and DPPH assay. The $ABTS^{+\cdot}$ radical scavenging activities expressed as IC_{50} was 6.57 ± 0.30 mg/ml and 3.16 ± 0.14 mg/ml for CMH and CMW, respectively. CMH and CMW showed, IC_{50} values 6.81 ± 0.34 mg/ml and 6.77 ± 0.33 mg/ml , in DPPH assay. The gelling agent compose of 2% HPMC, 4% hydration, and 1% preservatives examined under accelerated condition was suitable for serum formulation. The CM extracts can be useful to prepare as a serum product

Keywords: *Cordyceps militaris*, Serum, Antioxidant activity

บทนำ

ผิวหน้าเป็นส่วนที่รับและสัมผัสกับมลภาวะต่าง ๆ ส่งผลให้สุขภาพผิวเกิดปัญหาได้ หากไม่ได้รับการดูแลผิวหน้าที่ดีพอจะส่งผลให้เกิดริ้วรอยก่อนวัย ผิวพรรณไม่สดใส ผู้บริโภคจึงให้ความสำคัญกับการบำรุงผิวหน้าจึงทำให้ในปัจจุบันมีผลิตภัณฑ์ดูแลผิวหน้าจำนวนมากเกิดขึ้นและมีรูปแบบใหม่ๆ ที่ตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค เช่น ผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มความชุ่มชื้นให้กับผิวหน้า ผลิตภัณฑ์ลบเลือนริ้วรอย ผลิตภัณฑ์ที่ทำให้ผิวหน้ากระจ่างใส เป็นต้น โดยผลิตภัณฑ์ดังกล่าวนิยมใช้สารสกัดจากธรรมชาติ ได้มีการนำเอาสารสกัดจากตระกูลเห็ดมาใช้ได้แก่ เห็ดหูหนู เห็ดหูหนูขาว เห็ดฟาง และเห็ดนางฟ้า โดยนำสารที่มีชื่อว่าพอลิแซ็กคาไรด์ที่ละลายในน้ำมาประยุกต์ใช้ในเครื่องสำอางบำรุงผิว เพื่อช่วยชะลอริ้วรอยของผิวหนัง รวมทั้งยังมีการนำสกัดสารกลุ่มบีตากลูแคนจากเห็ดมาเป็นสาระสำคัญเพื่อช่วยให้ผิวหน้าเต่งตึง (ภาณุพงษ์ ใจวุฒิ, 2558) เนื่องจากมีความปลอดภัย มีการระคายเคืองผิวหนังน้อย

ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะนำถั่งเช่าสีทองมาสกัดเป็นสาระสำคัญเพื่อประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์เซรั่มบำรุงผิว ถั่งเช่าสีทองมีชื่อวิทยาศาสตร์ : *Cordyceps militaris* ชื่อสามัญ :

Caterpillarfungus, Cordyceps, Cetepiller, mushroom มีลักษณะเล็กยาวคล้ายไม้เบสบอล ยาวประมาณ 4 - 11 เซนติเมตร มีสีเหลืองทอง มีกลิ่นหอมเป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัว ซึ่งได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อถั่งเช่าสีทอง ให้คุณสมบัติและสรรพคุณที่ใกล้เคียงกับถั่งเช่าธิเบต มีสารออกฤทธิ์ ได้แก่พอลีแซ็กคาไรด์ เช่น beta glucan, galactomannan, adenosine, cordycepin, cordycepic acid, กรดอะมิโน นอกจากนี้ยังประกอบด้วยสารอาหารสำคัญอื่น ๆ เช่น โพแทสเซียม โซเดียม แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก สังกะสี และซีลีเนียม ซึ่งสารอาหารเหล่านี้ล้วนมีคุณประโยชน์ต่อร่างกาย ถั่งเช่าสีทองมีราคาที่ถูกและหาได้ง่ายกว่าถั่งเช่าธิเบต ถั่งเช่าสีทองยังมีฤทธิ์ทางชีวภาพที่หลากหลายได้แก่ ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (Chen et al., 2013) ฤทธิ์ต้านการอักเสบ (Won & Park, 2005) นอกจากนี้ Cordycepin ยังช่วยลดริ้วรอยได้ (Das et al., 2010) ซึ่งปัจจุบันถั่งเช่าสีทองถูกนำมาประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง มีการนำเอาสาร Cordycepin จากถั่งเช่าสีทองมาช่วยปกป้องผิวจากแสงแดด (Lee et al., 2009) และนำเอา Super oxide dismutase ในถั่งเช่าสีทอง ซึ่งเป็นสารที่ทำหน้าปกป้องการเสื่อมของเซลล์โดยต้านสารอนุมูลอิสระที่มากเกินไป มาประยุกต์ใช้ในเครื่องสำอางบำรุงผิว ซึ่งจะช่วยผลัดเซลล์ผิวหนัง ชะลอความแก่ ช่วยให้ผิวพรรณเปล่งปลั่ง (Zillich et al., 2015) นอกจากนี้ยังพบว่าในสารสกัดจากถั่งเช่าสีทองยังสามารถยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสและการ สร้างเม็ดสีเมลานินได้ (Nam et al., 2010) จึงนับได้ว่าถั่งเช่าสีทองสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางและผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพทั้งภายในและภายนอกได้

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์เซรั่มบำรุงผิวหน้าจากสารสกัดถั่งเช่าสีทอง โดยเตรียมในรูปแบบเซรั่ม มีความบางเบา ซึมเข้าสู่ผิวได้เร็ว นอกจากนี้ยังมีขั้นตอนและวิธีการผลิตที่ง่าย จึงนับได้ว่าเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่อีกหนึ่งทางเลือกที่เหมาะสมกับการดูแลและบำรุงผิวหน้า โดยศึกษาผลของสารก่อเจลที่มีต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมและเกิดประโยชน์ในทางพาณิชย์รวมถึงเป็นทางเลือกให้กับผู้บริโภคต่อไป

วิธีการดำเนินวิจัย

1. สารเคมีและวัสดุอุปกรณ์

1.1 สารเคมีทดสอบ DPPH (Sigma-Aldrich, Denmark), Ascorbic acid (Sigma–Aldrich, USA), ABTS (Sigma–Aldrich, Germany), Potassium per sulfate (Ajax finechem, Australia), Methanol HPLC grade (Rci labscan, Thailand)

1.2 Horizontal Shaker (HS501, IKA, USA), Centrifuge (Centrifuge 5810R, Eppendorf, Germany), (Alpha 1-4, Christ, Switzerland), Hot air oven (Steriliser SN30, Germany), Desiccator cabinet (Wandefu, Japan), Micro plate Reader (EZ Read 400, Biochrom, UK), Plate shaker (shaker ST3, Elmi, UK) freeze dried (Alpha 1–4, Christ, Switzerland) pH paper (Indicator strips Merck, Germany)

2. วิธีการเตรียมสารสกัดจากถั่งเช่าสีทอง นำผงแห้งถั่งเช่าสีทองปริมาณ 1 กรัม แช่ในน้ำอุณหภูมิ 80 °C นาน 30 นาที จากนั้นกรองผ่านผ้าขาวบาง เก็บในภาชนะปิดสนิท ส่วนสารสกัดถั่งเช่าสีทองที่สกัดด้วยน้ำทำแห้งแบบเยือกแข็งด้วยเครื่อง freeze dried

3. ศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดถั่งเช่าสีทองโดยแบ่งออกเป็นดังนี้

3.1 ศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดถั่งเช่าสีทองด้วยวิธี DPPH เตรียมสารละลาย DPPH radical ในเมทานอล เตรียมสารสกัดถั่งเช่าสีทองในความเข้มข้น 1-10 mg/ml ผสมสารสกัดถั่งเช่าสีทองปริมาตร 40 µl และสาร DPPH ปริมาตร 160 µl หยดลงใน 96 well plate ปริมาตรหลุมละ 200 µl เขย่าให้เข้ากันตั้งไว้ในที่มืดที่ 25° C เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 nm (n=3) ด้วยเครื่อง microplate reader โดยเปรียบเทียบกับ ascorbic acid เป็นสารละลายมาตรฐาน แล้วคำนวณหา % radical scavenging และค่า IC_{50} จากสมการ ซึ่งดัดแปลงมาจากวิธีของ Brand-Williams et al. (1995)

$$\% \text{ radical scavenging} = \left[1 - (A_{sample} / A_{control})\right] \times 100$$

A_{sample} คือ ค่าดูดกลืนแสงของสารตัวอย่าง

$A_{control}$ คือ ค่าดูดกลืนแสงของสาร DPPH

3.2 ศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดถั่งเช่าสีทองด้วยวิธี $ABTS^{+\cdot}$ เตรียมสารละลาย ABTS กับ potassium persulfate ผสมให้เข้าด้วยกันด้วยอัตราส่วน 1:1 นำไปบ่มในที่มืดที่อุณหภูมิ 25 ºC นาน 16 ชั่วโมง เติม DI water ปริมาตร 25 ml เพื่อเจือจาง นำไปหยดลงใน 96 well plate ปริมาตรหลุมละ 200 µl แล้วนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 405 nm ด้วยเครื่อง microplate rader ให้ได้ค่าที่ 0.7-1 จะได้สาร $ABTS^{+\cdot}$ ที่มีความเสถียร เตรียมสารสกัดถั่งเช่าสีทองที่ความเข้มข้น 1-10 mg/ml นำสารตัวอย่างปริมาตร 20 µl ผสมเข้ากันกับสาร $ABTS^{+\cdot}$ ปริมาตร 180 µl หยดลงใน 96 well plate ปริมาตรหลุมละ 200 µl เขย่าให้เข้ากันตั้งไว้ในที่มืดที่ 25 ºC เป็นเวลา 6 นาที แล้วนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 405 nm (n=3) คำนวณค่า Ic_{50} ใช้ ascorbic acid เป็นสารละลายมาตรฐาน ดัดแปลงมาจากวิธีของ Pellegrini และคณะ (Re et al., 1999)

4. การพัฒนาตำรับเซรั่มเบสโดยปรับเปลี่ยนชนิดและปริมาณของสารเพิ่มความหนืดโดยใช้ carbopol ETD 2020, carbopol ultrez 10 และ carbopol 934 ที่ความเข้มข้น 0.25, 0.275, 0.30, 0.325, 0.35, 0.375 และ 0.40% w/w และ hydroxypropyl methylcellulose (HPMC) ที่ความเข้มข้น 1.0 และ 2.0% w/w และเลือกใช้สารให้ความชุ่มชื้น (humectant) 4%, และสารกันเสีย 1% ซึ่งการคัดเลือกเซรั่มเบสที่ดีที่สุดจะประเมินจากลักษณะทางกายภาพและเคมี ลักษณะภายนอก ได้แก่ สี ความใส การแยกชั้น ความเป็นกรดด่าง (pH) และความหนืดโดยใช้เครื่องวัดความหนืด ก่อนและหลังจากทดสอบสภาวะเร่งด้วยวิธี heating and cooling cycle โดยนำตำรับเซรั่มเบสเก็บที่อุณหภูมิ 45 ºC / 75% relative humidity (RH) นาน 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปเก็บที่อุณหภูมิ 8 ºC นาน 24 ชั่วโมง คิดเป็น 1 cycle ทำซ้ำ 6 cycle และทดสอบความคงตัวโดยการเก็บตำรับเบสที่อุณหภูมิห้อง อุณหภูมิ 8 ºC และอุณหภูมิ 45 ºC เป็นเวลา 14 วัน

5. การพัฒนาตำรับเซรั่มที่ผสมสารสกัดถั่งเช่าสีทองเติมสารสกัดถั่งเช่าสีทองที่สกัดจากน้ำความเข้มข้น 0.016% w/w, ลงในตำรับเซรั่มเบสที่ดีที่สุดและเลือกใช้สารให้ความชุ่มชื้น (humectant) ได้แก่ glycerin 4%, และสารกันเสีย ได้แก่ paraben 1% w/w จากนั้นประเมินตำรับเซรั่มที่มีส่วนผสมของสารสกัดถั่งเช่าจากลักษณะทางกายภาพและเคมี ลักษณะภายนอก ได้แก่ สี ความใส การแยกชั้น ความเป็นกรด-ด่างและความหนืดโดยใช้เครื่องวัดความหนืด ก่อนและหลังจากทดสอบสภาวะเร่งและทดสอบความคงตัวของตำรับเซรั่ม

6. ศึกษาความคงสภาพของตำรับเซรั่มที่ผสมสารสกัดถั่งเช่าสีทอง โดยนำตัวอย่างผลิตภัณฑ์เซรั่มเก็บที่สภาวะเร่งด้วยวิธี heating and cooling cycles เก็บผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 8 ºC และ 45 ºC เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยทำสลับกันไปมาจนครบ 7 รอบ และเก็บที่สภาพจริงที่อุณหภูมิห้อง เมื่อทำการทดสอบในสภาวะเร่งครบ 7 รอบแล้ว นำตัวอย่างผลิตภัณฑ์มาทดสอบดูความคงสภาพในด้านกายภาพโดยการสังเกตลักษณะภายนอกเช่น สี กลิ่น การแยกชั้น โดยถ่ายภาพการเปลี่ยนแปลงในช่วงเวลาต่าง ๆ วัดค่า pH โดยใช้ pH paper (Indicator strips Merck, Germany) วัดความหนืดโดยเครื่องมือวัดความหนืด (Thermo Fisher Scientific, USA) และด้านเคมี โดยสังเกตค่าความเป็นกรด-ด่างของตำรับ

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

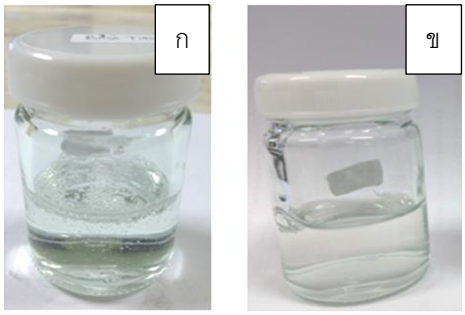
1. ผลการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเมื่อทดสอบด้วยวิธี $ABTS^{+\cdot}$ (n= 3) โดยใช้ ascorbic acid เป็นสารละลายมาตรฐานพบว่ามีค่า IC_{50} เท่ากับ 0.22 ± 0.00 mg/ml ส่วนสารสกัดถั่งเช่าสีทองที่สกัดด้วยน้ำร้อนนาน 30 นาที และน้ำ (freeze dried) มีค่า IC_{50} เท่ากับ 6.57 ± 0.30 mg/ml และ 3.16 ± 0.14 mg/ml ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเมื่อทดสอบด้วยวิธี DPPH (n= 3) พบว่า ascorbic acid ซึ่งเป็นสารละลายมาตรฐานพบว่ามีค่า IC_{50} เท่ากับ 0.30 ± 0.02 mg/ml ส่วนสารสกัดถั่งเช่าสีทองที่สกัดด้วยน้ำร้อนนาน 30 นาที และน้ำ มีค่า IC_{50} เท่ากับ 6.81 ± 0.34 mg/ml และ 6.77 ± 0.37 mg/ml ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

Samples	Antioxidant activity	
	$ABTS^{+\cdot}$ (IC_{50} mg/ml)	DPPH (IC_{50} mg/ml)
CMH (Hot water)	6.57 ± 0.30	6.81 ± 0.34
CMW (freeze-dried)	3.16 ± 0.14	6.77 ± 0.37
ascorbic acid	0.22 ± 0.00	0.30 ± 0.02

งานวิจัยนี้พบว่าสารสกัดถั่งเช่าสีทองมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระแต่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระน้อยกว่า ascorbic acid เมื่อทดสอบโดยวิธี $ABTS^{+\cdot}$ และ DPPH ซึ่งเห็นได้ว่าฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบถั่งเช่าสีทองในน้ำขึ้นอยู่กับความเข้มข้น (dose-dependent) (Yu, et al., 2007; Park et al., 2014) และถั่งเช่าสีทองเมื่อนำมาสกัดด้วยน้ำร้อนและเอทานอล จากนั้นทำให้บริสุทธิ์ด้วยวิธี chromatography มีค่า IC_{50} เท่ากับ 0.548 mg/ml ส่วนสารละลาย ascorbic acid มีค่า IC_{50} เท่ากับ 0.358 mg/ml (Yu et al., 2007) ดังนั้นตัวทำละลายและวิธีการทำให้สารสกัดบริสุทธิ์ขึ้นจะทำให้ผลการทดสอบฤทธิ์ต้านออกซิเดชันมีความแตกต่างกัน (Chen et al., 2013) ซึ่งสารในกลุ่ม พอลิแซ็กคาไรด์ ในถั่งเช่าสีทอง เช่น บีตากลูแคน มีฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชัน (Das et al., 2010)

2. การพัฒนาตำรับเซรั่มเบสโดยเปลี่ยนแปลงชนิดและปริมาณของสารเพิ่มความหนืด ได้แก่ carbopol ETD 2020, carbopol 934, carbopol ultrez 10 ความเข้มข้น 0.25%-0.40% w/w พบว่า ตำรับเซรั่มเบสทั้งหมดมีลักษณะทางกายภาพที่สามารถมองเห็นได้ที่เหมือนกัน ได้แก่ ลักษณะสีของตำรับ ความใส และไม่มีการแยกชั้น ตำรับเซรั่มเบสทั้งหมดมีค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในช่วง 7.0 - 7.2 วัดความหนืดของแต่ละตำรับพบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ carbopol จะทำให้ตำรับเซรั่มมีความหนืดที่เพิ่มขึ้นด้วย โดยตำรับเซรั่มเบสที่มีความเหมาะสมที่สุดคือ carbopol ultrez 10 ความเข้มข้น 0.30% แสดงดังตารางที่ 2 และเมื่อทดสอบสภาวะเร่งด้วยวิธี heating and cooling cycle พบว่าทุกตำรับมีความหนืดที่ลดลงเมื่อเทียบกับความหนืดก่อนทำการทดสอบสภาวะเร่ง ตำรับเซรั่มเบสที่มี carbopol ultrez 10 เป็นตำรับเซรั่มเบสที่มีการเปลี่ยนแปลงความหนืดน้อยกว่า carbopol ชนิดอื่นๆ ส่วนสารก่อเจล HPMC ที่มีปริมาณ 1.0% - 2.0% w/w แสดงดังตารางที่ 2 และ รูปที่ 1 พบว่าตำรับเซรั่มเบสที่มีคุณลักษณะทางกายภาพที่สามารถมองเห็นได้ที่เหมือนกัน ได้แก่ ลักษณะสีของตำรับ ความใส และการแยกชั้น ตำรับเซรั่มเบสมีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 6.0 - 6.3 ซึ่งมีค่า pH ใกล้เคียงกับสาระสำคัญของถั่งเช่าสีทองที่สามารถคงตัวได้ดี เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ HPMC จะทำให้ตำรับเซรั่มเบสมีความหนืดที่เพิ่มขึ้น โดยตำรับเซรั่มเบสที่มี HPMC 2% w/w มีความหนืดที่เหมาะสมมากกว่า HPMC 1% w/w



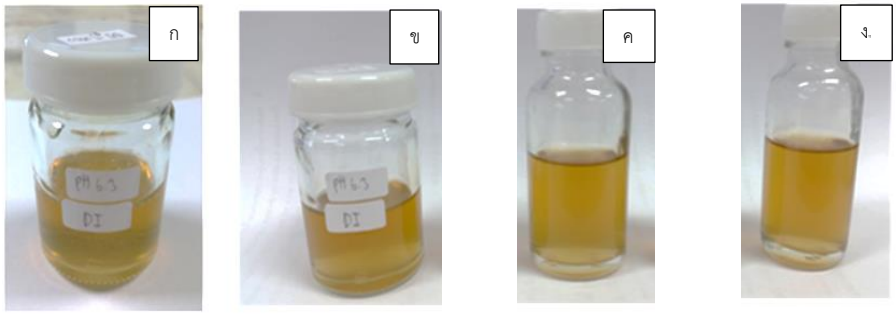
รูปที่ 1 ลักษณะทางกายภาพและเคมีของเซรั่มเบสที่มี HPMC 2% w/w ในสภาวะเร่ง
ก) วันเริ่มต้น ข) หลังทดสอบสภาวะเร่งครบ 7 cycle

เมื่อนำตำรับเซรั่มเบสมาผสมกับสารสกัดถั่งเช่า พบว่าการผสมสารสกัดถั่งเช่าในตำรับที่มีสารเพิ่มความหนืดเป็น carbopol จะทำให้ตำรับเซรั่มมีความหนืดที่ลดลงมาก ซึ่งเป็นผลมาจากความเป็นกรด-ด่าง ของสารสกัดถั่งเช่า โดยมีค่า pH เป็นกรด จึงส่งผลต่อความคงตัวของ carbopol ได้ สารเพิ่มความหนืดที่เหมาะสมในการเตรียมตำรับเซรั่มที่มีสารสกัดถั่งเช่าจึงต้องมีคุณสมบัติที่สามารถทนกรดได้ ได้แก่ HPMC ซึ่งเมื่อผสมสารสกัดถั่งเช่าในตำรับเซรั่มที่มี HPMC พบว่าความหนืดลดลงไม่มากเมื่อเทียบกับความหนืดของตำรับเซรั่มเบส และเมื่อนำไปเก็บที่สภาวะต่าง ๆ เป็นเวลา 14 วัน พบว่า ความหนืดของตำรับเซรั่มทุกตำรับมีค่าลดลงจากความหนืดเริ่มต้น แสดงให้เห็นว่าสารเพิ่มความหนืดกลุ่มอนุพันธ์ของ cellulose มีผลต่อลักษณะทางด้านกายภาพ เช่น ความหนืด และความรู้สึกต่อการทา (กัมปนาท หวลบุตตา, 2560) ซึ่งเนื้อเซรั่มมีความหนืดที่เหมาะสม ทาผิวได้ง่าย เมื่อทาลงบนผิวรู้สึกเย็น ซึมผ่านผิวได้ดี ส่งผลทำให้ติดผิวได้นานขึ้นโดยไม่ทำให้รู้สึกเหนียวไม่สบายผิว เป็นผลมาจากการเพิ่มระยะเวลาสัมผัส (contact time) ของเซรั่มให้กับผลิตภัณฑ์ ทำให้ประสิทธิภาพในการปลดปล่อยสาระสำคัญมากขึ้น

ตารางที่ 2 ความหนืดและค่า pH ของสารก่อเจลแต่ละชนิดหลังสภาวะเร่ง

ผลการทดสอบ	Carbopol 934	Carbopol ultrez 10	Carbopol ETD 2020	HPMC
ความเข้มข้น (%)	0.400	0.300	0.400	2%
ค่าเฉลี่ยความหนืดก่อนการทดสอบสภาวะเร่ง (cPs)	4,505 ± 400.93	5,103 ± 104.65	5,752 ± 267.99	5,780.50 ±125.16
ความหนืดหลังการทดสอบสภาวะเร่ง (cPs)	3,159 ± 385.25	4,023 ± 104.05	1,298 ± 186.56	5012 ± 105.24
pH ก่อนการทดสอบสภาวะเร่ง	7.0	7.2	7.0	6.00
pH หลังการทดสอบสภาวะเร่ง	7.0	7.2	7.0	6.30

3. การพัฒนาสูตรตำรับเซรั่มที่มีสารสกัดถั่งเช่าสีทองจากการคัดเลือกตำรับเซรั่มเบสที่เหมาะสมคือตำรับที่มีสารก่อเจลชนิด HPMC 2% ส่วนตำรับเซรั่มที่ผสมสารสกัดถั่งเช่าสีทองในน้ำ สารให้ให้ความชุ่มชื้น (humectant) 4%, และสารกันเสีย 1% w/w จากนั้นนำไปทดสอบความคงตัวโดยเก็บในสภาวะต่าง ๆ ที่อุณหภูมิห้อง 8 ºC และ 45 ºC เป็นเวลา 14 แสดงผลดังตารางที่ 3 และ รูปที่ 2



รูปที่ 2 ลักษณะทางกายภาพและเคมีของตำรับเซรั่มถั่งเช่าสีทองในสภาะต่างๆ
ก) วันเริ่มต้น ข) หลังเก็บที่อุณหภูมิห้อง ค) หลังเก็บที่อุณหภูมิ 8 ºC
ง) หลังเก็บที่อุณหภูมิ 45 ºC

ตารางที่ 3 ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของตำรับเซรั่มที่มี HPMC

วันที่	ลักษณะทางกายภาพและทางเคมี			
	ค่าเฉลี่ยความหนืด (cPs)	pH	สี	ลักษณะเซรั่ม
วันเริ่มต้น	5569.00 ± 444.06	6.30	เหลืองทอง	ใส, ไม่แยกชั้น
หลังเก็บที่อุณหภูมิห้อง	4909.00 ± 18.38	6.00	เหลืองทอง	ใส, ไม่แยกชั้น
หลังเก็บที่อุณหภูมิ 8 °C	4486.50 ± 139.30	6.00	เหลืองทอง	ใส, ไม่แยกชั้น
หลังเก็บที่อุณหภูมิ 45 °C	4531.50 ± 7.78	6.00	เหลืองทอง	ใส, ไม่แยกชั้น

สรุปผลการวิจัย

ถั่งเช่าสีทองเป็นสมุนไพรที่มีสรรพคุณมากมายสามารถนำมาใช้บำรุงร่างกายได้ทั้งภายในและภายนอก พบว่าสารสกัดจากถั่งเช่าสีทองสกัดด้วยน้ำมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ เนื่องจากเป็นสมุนไพรที่มีสารสำคัญที่มีคุณประโยชน์มากมายรวมถึงฤทธิ์ทางชีวภาพต่าง ๆ ส่วนผลิตภัณฑ์เซรั่มพบว่ากลุ่มสารให้ความหนืดคือ HPMC เป็นกลุ่มอนุพันธ์ของ cellulose กระจายตัวได้ดีในน้ำ ให้คุณลักษณะเนื้อเจลและเข้ากันได้ดีกับองค์ประกอบในตำรับจึงสามารถนำมาเตรียมเป็นผลิตภัณฑ์เซรั่มเพื่อบำรุงผิวหน้าได้และยังมีค่า pH อยู่ในช่วงที่สารสำคัญของถั่งเช่าสีทองคงตัวได้ดี และถั่งเช่าสีทองถูกสกัดด้วยน้ำจึงมีความปลอดภัยต่อผิวหน้า อย่างไรก็ตามการวิจัยนี้เป็นการศึกษาเบื้องต้น จำเป็นต้องทดสอบผลิตภัณฑ์ด้านจุลชีววิทยา และทำการทดสอบในเซลล์เพาะเลี้ยงหรือสัตว์ทดลองต่อไป เพื่อคุณภาพและความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ โดยเป็นไปตามข้อกำหนดของเครื่องสำอางผสมสมุนไพรและข้อกำหนดตามมาตรฐานของ ISO

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณท่าน รศ.ดร.วริษฎา ศิลาอ่อน อาจารย์จากวิชาเภสัชเคมีและเทคโนโลยีเภสัชกรรมและผู้วิจัยทุกท่านจากคณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ได้ให้คำแนะนำและเทคนิคต่าง ๆ รวมถึงวิธีการทำวิจัยในครั้งนี้จนสำเร็จสุล่วงได้ด้วยดีและขอขอบคุณคณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือทางห้องปฏิบัติการต่าง ๆ ขอขอบคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

เอกสารอ้างอิง

กัมปนาท หวลบุตตา. (2560). *พอลิเมอร์ที่ใช้ทางเภสัชกรรม (Pharmaceutical polymers.)* คณะเภสัชศาสตร์, มาหวิทยาลัยบูรพา.

ภาณุพงษ์ ใจวุฒิ. (2058). *ฤทธิ์ทางชีวภาพของพอลิแซคคาไรด์ละลายน้ำจากเห็ดหูหนู เห็ดหูหนูขาว เห็ดฟาง และเห็ดนางฟ้า สำหรับการประยุกต์ใช้ในเครื่องสำอางและผลิตภัณฑ์เสริมสุขภาพ.* สาขาวิทยาศาสตร์และเภสัชศาสตร์, มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง.

Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food science and Technology, 28*(1), 25-30.

Chen, X., Wu, G., & Huang, Z. (2013). Structural analysis and antioxidant activities of polysaccharides from cultured Cordyceps militaris. *International Journal of Biological Macromolecules*, 58, 18-22.

Das, S. K., Masuda, M., Sakurai, A., & Sakakibara, M. (2010). Medicinal uses of the mushroom Cordyceps militaris: current state and prospects. *Fitoterapia, 81*(8), 961-968.

Lee, Y. R., Noh, E. M., Jeong, E. Y., Yun, S. K., Jeong, Y. J., Kim, J. H., Kwon, K. B., Kim, B. S., Lee S. H., & Park. C. S. (2009). Cordycepin inhibits UVB-induced matrix metalloproteinase expression by suppressing the NF-kB pathway in human dermal fibroblasts. *Experimental & Molecular Medicine*, *41*(8), 548-554.

Nam, B. H., Jo, W. S. Choi, Y. J., Lee, J. Y., Kang, E. Y., Jeong, M. H., & Lee, J. D. (2010). Inhibitory effects of melanin secretion on B16 melanoma cell of Cordyceps militaris water extract. *The Korean Journal of Mycology, 38*(2), 167-171.

Park, J. M., Lee, J. S., Lee, K. R., Ha S. J., & Hong, E. K. (2014). Cordyceps militaris extract protects human dermal fibroblasts against oxidative stress-induced apoptosis and premature senescence. *Nutrients, 6*(9), 3711-3726.

Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free radical biology and medicine, 26*(9-10), 1231-1237.

Won, S. Y., & Park, E. H. (2005). "Anti-inflammatory and related pharmacological activities of cultured mycelia and fruiting bodies of Cordyceps militaris. *Journal of ethnopharmacology*, *96*(3), 555-561.

Yu, R., Yang, W., Song, L., Yan, C., Zhang, Z., & Zhao, Y. (2007). Structural characterization and antioxidant activity of a polysaccharide from the fruiting bodies of cultured Cordyceps militaris. *Carbohydrate Polymers, 70*(4), 430-436.

Zillich, O. V., Schweiggert-Weisz, U., Eisner, P., & Kerscher, M. (2015). Polyphenols as active ingredients for cosmetic products. *International journal of cosmetic science, 37*(5), 455-464.

Udon Thani Rajabhat University
Journal of Science and Technology
Vol.10 Issue.2 (2022)
ISSN 2287-0083

บทความวิจัย

การพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารจัดการงานบัณฑิตนิพนธ์ 139
เพียรทิพย์ ศรีสุธรรม, รัตนา ลีรุ่งนาวารัตน์ และ ณัฏฐ์ธมน หีบจันทร์กรี

สมการไดโอแฟนไทน์ $p^x+(p+10)^y=z^2$ เมื่อ p และ p+10 เป็นจำนวนเฉพาะ 155
สุธน ตาดี

การเตรียมปุ๋ยละลายช้าที่มีแร่ธาตุไนโตรเจน และโพแทสเซียมโดยใช้ตัวดูดซับซีโอไลต์ 163
พัทธนันท์ นาถพินิจ และ ชลธิชา นิวาสประกฤติ

THE EFFECTS OF RHIZOBIUM AND ARBUSCULAR MYCORRHIZA FUNGI ON GROWTH AND NUTRIENT UPTAKE OF COWPEA VARIETIES 183
Phanit Nakayan, Ratchanon Somboonchai, Porramin Narata, Jiraporn Inthasan and Wilaslux Wongwai

การพัฒนาผลิตภัณฑ์เซรั่มที่ผสมสารสกัดหยาบถั่งเช่าสีทองเพื่อบำรุงผิวหน้า 201
นำพล แปนเมือง, วริษฎา ศิลาอ่อน, วัทนวิภา วงศ์ใหญ่ และ อิสริยาภรณ์ ภูมิเรศสุนทร

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
อีเมล์: scjournal@udru.ac.th