



วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

Udon Thani Rajabhat University Journal of Science and Technology

ปีที่ 9 ฉบับที่ 2 (2564) | Vol.9 Issue.2 (2021) | ISSN 2287-0083

บทความวิจัย

- คุณสมบัติและแนวทางการพัฒนาวัสดุแร่ในท้องถิ่นใน 6 จังหวัด ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
วิชรากร วงศ์คำจันทร์, ธนาวัฒน์ จูมแพง และ เชาวลิต ลิ้มสวอย 1
- บทบาทของมอลโทเรคซตรินและสารช่วยตกตรงในการพัฒนาตำรับยาเม็ดคอมแก๊วประสมมะแว้ง
ซึ่งมีและไม่มีเกล็ดสระแทน I: การเลือกสารช่วยตกตรง
กนกพร ระนาดแก้ว, สมบูรณ์ เจตลีลา, อัจฉรา แก้วน้อย, ศุภรัตน์ ควนใหญ่
และ กัญจนภรณ์ ธงทอง 17
- การพัฒนาผลิตภัณฑ์พลาสติกแตกเดียวทอดกรอบโดยใช้ตู้อบลมร้อน
วิจิตรา เหลียวตระกูล และ วชิรญา เหลียวตระกูล 35
- ฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสกัดหยาดจากสาหร่ายเตา
สุทธวรรณ สุพรรณ, พลอยไพลิน สดมณี, ปัทมาภรณ์ คุ่มกัน, ศราวุธ ราชลิ
และ ประดับรัฐ ประจันเขตต์ 49
- การพัฒนาผลิตภัณฑ์ผงโรยข้าวปลาเสริมสาหร่ายพวงองุ่น
อรอนงค์ ศรีพาทกุล, มณฑานติ ท้ามั่น และ ประพัฒน์ กอสวัสดิ์พัฒน์ 69
- ผลของการใส่ปุ๋ยสังกะสีต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และคุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าว กข61 ที่ปลูกในฤดูแล้งและฤดูฝน
ภาณุพงษ์ พวงมาลา และ จีราภรณ์ อินทสาร 83
- ผลของปริมาณพริกแกงพะเนงต่อการยอมรับหอยจ๊อแช่เยือกแข็ง
วิชума เตชะสิริวิชัย 103
- การคำนวณหาการกระจายระดับและแนวโน้มของลูกวอลเลย์บอล ภายใต้แรงเริ่มต้นที่บังคับ
อาทิตย์ หุ้เต็ม, ตรีนุช เอลลิส, ประยูร ไชยบุตร และ ศศิธร แทนทอง 115
- ผลของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่วเขียวพันธุ์ชัยนาท 84-1 และพันธุ์ชัยนาท 6
ภารดี แซ่อึ้ง และ นารีภรณ์ สามีกักดี 127
- ผลของความเข้มข้นสูตรอาหารร่วมกับน้ำตาลซูโครสต่อการเก็บรักษาหน่ออ่อนกล้วยไข่กำแพงเพชรในสภาพปลอดเชื้อ
ธนากร วงษ์ศา, หนึ่งฤทัย จักรศรี และ อนุพันธ์ กงบังเกิด 139
- ศึกษาศักยภาพการเจริญเติบโตของมะเดื่อฝรั่ง 4 พันธุ์ เพื่อปลูกบนพื้นที่อำเภอลำทะเมนชัย จังหวัดเพชรบูรณ์
ศิวลล และ แจ่มจรัส, สมคิด ฤทธิ์เนติกุล, ประธาน เรียงราด และ การันต์ ผึ้งบรรหาร 153



วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ปีที่ 9 ฉบับที่ 2 (2564)

UDON THANI RAJABHAT UNIVERSITY
JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
Vol.9 Issue.2 (2021)

ISSN 2287-0083

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

ปีที่ 9 ฉบับที่ 2 (2564)

วัตถุประสงค์

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

เจ้าของ

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์จรูญ ถาวรจักร์	อธิการบดี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาติชาย ม่วงปทุม	รองอธิการบดี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คณิตรา ธัญสุนทรสกุล	รองอธิการบดี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤตภูมิ ชมพูวิเศษ	รองอธิการบดี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มณีนุชา สุราษ	รองอธิการบดี
ดร.วิบูล เป็นสุข	รองอธิการบดี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุทธิพงษ์ เปื้องคำ	คณบดีคณะเทคโนโลยี
ดร.อภิรักษ์ ลอยแก้ว	คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

ปีที่ 9 ฉบับที่ 2 (2564)

บรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ ดร.น.สพ.ฤทธิชัย พิลาไชย

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ ดร.นิราวรรณ กุณัน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยวดี ยาบุษดี

กองบรรณาธิการผู้ทรงคุณวุฒิ

Prof. Dr.Jeffrey C. Nash

ศาสตราจารย์ ดร.อลงกลด แทนอมทอง

ศาสตราจารย์ ดร.สมชาย ปิ่นล่อ

รองศาสตราจารย์ ดร.ฉลอง วชิราภากร

รองศาสตราจารย์ ดร.ลัดดา มีสุข

รองศาสตราจารย์ ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์

รองศาสตราจารย์ ดร.สิงห์ทอง พัฒนเศรษฐฐานนท์

รองศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต กฤตาคม

รองศาสตราจารย์ ดร.โฆสิต ศรีภูธร

รองศาสตราจารย์ ดร.วัลลภ เหมวงษ์

รองศาสตราจารย์ ดร.สุนทร สุทธิปาก

รองศาสตราจารย์ ดร.ทรงภูมิ อุดรา

รองศาสตราจารย์ ดร.กริช สมกันธา

รองศาสตราจารย์ ดร.กฤษณพงศ์ สมสุข

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัชภาคย์ จิตต์อารี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิสิต คำหล้า

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิวัตร อังควิเศษฐพันธ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อำไพศักดิ์ ทิบุญมา

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

พระนครเหนือ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

มหาวิทยาลัยมหิดล

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

ปีที่ 9 ฉบับที่ 2 (2564)

กองบรรณาธิการผู้ทรงคุณวุฒิ (ต่อ)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กาญจนา วงษ์สวัสดิ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เมทินี วสุนธรวัฒน์	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภูเบศร์ พิพิธหิรัญการ	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรรถศาสตร์ วิเศียรศาสตร์	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรารจิต พยอม	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพ็ญ ฝาใต้	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.น.สพ.ยศวริศ เสมามิ่ง	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

คณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer Review)

ศาสตราจารย์ ดร.อนันต์ พลธานี	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.สุธี บุญช่วย	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.นิรารวรรณ กุณัน	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
รองศาสตราจารย์ ดร.สมาลินทร์ พ่อคำ	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อารยา เขาว์เรืองฤทธิ์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิรวัดน์ สนิทชน	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ระวีวรรณ เจริญทรัพย์	มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประเมษฐ์ จันทรเพ็ง	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรรัตน์ ศุภมิตรโยธิน	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เมทินี วสุนธรวัฒน์	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรรถศาสตร์ วิเศียรศาสตร์	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สรณัฏร เทียมดาว	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิไลพร กุลดั่งวัฒนา	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิเชษฐ เวชวิฐาน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
ดร.วิมลทิพย์ สิงห์เถื่อน	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ดร.วิบูล เป็นสุข	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ดร.วัลยา มงคลสวัสดิ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ปีที่ 9 ฉบับที่ 2 (2564)

คณะกรรมการดำเนินงาน

ดร.เอกราช ดีนาง	ประธานกรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยวดี ยาบุษดี	รองประธานกรรมการ
ดร.ชาลี เกตุแก้ว	กรรมการ
ดร.วิวรรณ แก่นสา	กรรมการ
ดร.รุ่งฤดี ศรีสำออง	กรรมการ
นายกวีพงษ์ หงส์ทอง	กรรมการ
นางสาวศิวพร ภูกองทอง	กรรมการ
นางกาญจนา มูลอาจ	กรรมการ
นางสาวณิชา พันธุ์ควนิชัย	กรรมการ
นายไกรทอง โสมศรี	กรรมการ
ดร.ปณมนัสพงศ์ ปุณประเสริฐ	กรรมการ
นางสาวศศิตา พงศาวิลี	กรรมการ
นายธราดล ปราบภัย	กรรมการ
นางพิมพ์พรรณ ศรีภูธร	กรรมการ
นางสาวนัชชา คำบุญมา	กรรมการ
นางสาวชฎารัตน์ วงษ์มีพันธุ์	กรรมการ
นายอภิเดช อภิพัฒน์ภาคูล	กรรมการและเลขานุการ
นายรุ่งโรจน์ มีแก้ว	กรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ

คณะกรรมการตรวจสอบภาษาต่างประเทศ

ดร.สุภัทรา วันเพ็ญ

พิธีจันอักษร

นางสาวศิวพร ภูกองทอง

ออกแบบปก

นายสุริยา ชัยดำรงณ์

นางสาวศศิตา พงศาวิลี

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ปีที่ 9 ฉบับที่ 2 (2564)

กำหนดการเผยแพร่

3 ฉบับต่อปี ฉบับที่ 1 (มกราคม – เมษายน)

ฉบับที่ 2 (พฤษภาคม – สิงหาคม)

ฉบับที่ 3 (กันยายน – ธันวาคม)

สถานที่ติดต่อ

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

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

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

เว็บไซต์: <http://rdi.udru.ac.th>

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

อีเมล: udrujournal@udru.ac.th

“ข้อความที่ปรากฏในบทความแต่ละเรื่องในวารสารวิชาการเล่มนี้
ไม่ใช่ความคิดเห็นและความรับผิดชอบของคณะผู้จัดทำ บรรณาธิการ
กองบรรณาธิการ และมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ซึ่งความรับผิดชอบด้านเนื้อหาและการตรวจร่างบทความ
แต่ละเรื่องเป็นของผู้เขียนแต่ละท่าน”

บทบรรณาธิการ

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี เป็นวารสารที่ได้รับการประเมินคุณภาพอยู่ใน กลุ่มที่ 2 จากศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (TCI) มีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่บทความวิจัยและบทความวิชาการของคณาจารย์ นักวิจัย นักวิชาการและนักศึกษาทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กำหนดจัดพิมพ์ออกเผยแพร่ ปีละ 3 ฉบับ (มกราคม-เมษายน, พฤษภาคม-สิงหาคม และ กันยายน-ธันวาคม) ตามลำดับ ในวารสารฉบับนี้ ซึ่งเป็นฉบับที่ 2 ปีที่ 9 ประจำปี พ.ศ. 2564 มีบทความวิจัยรวมจำนวน 11 บทความ ซึ่งมีเนื้อหาครอบคลุมทั้งด้านวิทยาศาสตร์ วิทยาศาสตร์ประยุกต์ วิทยาศาสตร์สุขภาพ วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม เกษตรศาสตร์ และวิศวกรรมศาสตร์

กองบรรณาธิการวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ขอขอบคุณผู้เขียนบทความวิจัยที่ได้ร่วมส่งบทความตีพิมพ์ในวารสารฉบับนี้ และขอขอบคุณคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิที่ได้ตรวจบทความในวารสาร กองบรรณาธิการฯ หวังเป็นอย่างยิ่งว่าวารสารฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้อ่านทุกท่าน และขอเชิญชวนผู้ที่สนใจ ทั้งคณาจารย์ นักวิจัย นักวิชาการและนักศึกษาทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ส่งบทความตีพิมพ์ผ่านระบบจัดการวารสารออนไลน์ได้ตลอดทั้งปี ที่เว็บไซต์วารสาร www.tci-thaijo.org/index.php/scudru

ฤทธิชัย พิล้าไชย

บรรณาธิการ

สารบัญ

	หน้า
คุณสมบัติและแนวทางการพัฒนาวัสดุแร่ในท้องถิ่นใน 6 จังหวัด ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ วัชรกร วงศ์คำจันทร์, ธนาวัฒน์ จูมแพง และ เขาวลิต ลิ้มสวຍ	1
บทบาทของมอลโทไรเดกซ์ตรินและสารช่วยตกตรงในการพัฒนาตำรับยาเม็ดอม แก้ไอประสมมะแว้ง ซึ่งมีและไม่มีเกล็ดสาระแน 1: การเลือกสารช่วยตกตรง กนกพร ระนาดแก้ว, สมบูรณ์ เจตลีลา, อัจฉรา แก้วน้อย, ศุภรัตน์ ดวนใหญ่ และ กัญจนภรณ์ ธงทอง	17
การพัฒนาผลิตภัณฑ์พลาสติกแตกเดียวทอดอบกรอบโดยใช้ตู้อบลมร้อน วิจิตรา เหลียวตระกูล และ วชิรญา เหลียวตระกูล	35
ฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสกัดหยาบจากสาหร่ายเตา สุทธวรรณ สุพรรณ, พลอยไพลิน สดมณี, ปัทมาภรณ์ คุ่มกัน, ศรารุช ราชสี และ ประดับรัฐ ประจันเขตต์	49
การพัฒนาผลิตภัณฑ์ผงโรยข้าวปลาเสริมสาหร่ายพวงองุ่น อรอนงค์ ศรีพาทกุล, มณฑานติ ท้วมตัน และ ประพัฒน์ กอสวัสดิ์พัฒน์	69
ผลของการใส่ปุ๋ยสังกะสีต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และคุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าว กข61 ที่ปลูกในฤดูแล้งและฤดูฝน ภาณุพงษ์ พวงมาลา และ จีราภรณ์ อินทสาร	83
ผลของปริมาณพริกแกงพะนางต่อการยอมรับหอยจ๊อแช่เยือกแข็ง วิชชุมา เตชะสิริวิชัย	103
การคำนวณหาการกระจัดแนวระดับและแนวตั้งของลูกวอลเลย์บอล ภายใต้แรง เริ่มต้นที่บังคับ อาทิตย์ หู้เต็ม, ตรีนุช เอลลิส, ประยูร ไชยบุตร และ ศศิธร แท่นทอง	115

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ผลของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่วเขียวพันธุ์ชัยนาท 84-1 และพันธุ์ชัยนาท 6 <i>ภารดี แซ่อึ้ง และ นารีภรณ์ สามีกักดี</i>	127
ผลของความเข้มข้นสูตรอาหารร่วมกับน้ำตาลซูโครสต่อการเก็บรักษาหน่ออ่อนกล้วย ไข่กำแพงเพชรในสภาพปลอดเชื้อ <i>ธนากร วงษศา, หนึ่งฤทัย จักรศรี และ อนุพันธ์ กงบังเกิด</i>	139
ศึกษาศักยภาพการเจริญเติบโตของมะเดื่อฝรั่ง 4 พันธุ์ เพื่อปลูกบนพื้นที่อำเภอลำทะเมนชัย จังหวัดเพชรบูรณ์ <i>คิวดล แจ่มจำรัส, สมคิด ฤทธิ์เนติกุล, ประธาน เรียงราด และ การันต์ ผึ้งบรรหาร</i>	153

คุณสมบัติและแนวทางการพัฒนาวัสดุแร่ในท้องถิ่นใน 6 จังหวัด

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

PROPERTIES AND DEVELOPMENT GUIDELINES OF LOCAL MINERALS IN 6 NORTHEAST PROVINCES OF THAILAND

วัชรกร วงศ์คำจันทร์^{*,1}, ธนาวัฒน์ จุ่มแพ่ง² และ เซาวลิต สิมสวย³

Watcharagon Wongkamjan^{*,1}, Thanawat Jumpepaeng² and Chaowalit Simsuy³

¹คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด

²คณะวิทยาศาสตร์การกีฬาและสุขภาพ มหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติ วิทยาเขตอุดรธานี

³คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์

¹Faculty of Liberal Art and Science, Roi-Ed Rajabhat University

²Faculty of Sports and Health Science, Thailand National Sports University Udon Thani campus

³The Faculty of Industrial Technology, Buriram Rajabhat University

Received: 18 January 2021

Accepted: 29 March 2021

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติวัสดุแร่ที่มีแนวโน้มพัฒนาเป็นวัสดุอุตสาหกรรมในท้องถิ่น ในพื้นที่จังหวัดร้อยเอ็ด จังหวัดยโสธร จังหวัดบุรีรัมย์ จังหวัดบึงกาฬ จังหวัดหนองคาย และจังหวัดอุดรธานี การสำรวจโดยแบบสอบถามพบว่าข้อมูลวัสดุแร่ในท้องถิ่นมีความจำเป็นในระดับมากถึงมากที่สุดร้อยละ 59.55 ในขณะที่การเข้าถึงข้อมูลวัสดุก่อสร้างในท้องถิ่นอยู่ในระดับน้อยถึงไม่มีเลยร้อยละ 51.91 ส่วนข้อมูลที่เป็นพบว่ามีแนวโน้มการใช้ประโยชน์มีความจำเป็นในระดับมากถึงมากที่สุดร้อยละ 65.51 วัสดุแร่ในท้องถิ่นเป้าหมายประกอบด้วยวัสดุ 6 กลุ่มหลักคือ หินก่อสร้าง หินแก้ว แร่วาไรไซต์ ดินเหนียว หินอุตสาหกรรม และแร่ดินขาว

ในกรณีวัสดุกลุ่มทราย หินแก้ว REGS (ทรายแก้วร้อยเอ็ด) และ BKGS (ทรายแก้วบึงกาฬ) มีลักษณะเป็นทรายเม็ดละเอียดสีขาวใสมีสารมลทินเจือปนอยู่เล็กน้อยแตกต่างจาก

* ผู้ประสาน: วัชรกร วงศ์คำจันทร์

อีเมล: watcharagon@reru.ac.th

ทรายก่อสร้าง YSSA (ทรายยโสธร) BRSA (ทรายบุรีรัมย์) และ NKSA (ทรายหนองคาย) แต่มีแร่หลักคือแร่ควอตซ์ เหมือนกัน ส่วน REVC (แร่วาริสไซต์ร้อยเอ็ด) มีสายแร่เฮกซะโกนอลวาริสไซต์สีขาวเนื้อละเอียดมาก แทรกอยู่ในหินทรายจากแร่ควอตซ์ ในกรณี BRCL (ดินเหนียวบุรีรัมย์) มีลักษณะเป็นดินเหนียวเม็ดดินเนื้อละเอียดมากประกอบด้วยโมโนคลินิคควอตซ์ และไดอะสปอร์ กลุ่มหินอุตสาหกรรม BKSS (หินทรายบึงกาฬ) เป็นหินทรายเม็ดละเอียดสีแดง ประกอบด้วยผลึกควอตซ์แบบเฮกซะโกนอล ที่มีเหล็กออกไซด์เจือปนอยู่ BRBS (หินบะซอลต์บุรีรัมย์) ประกอบด้วยเม็ดผลึกแร่เนื้อละเอียดมากมีแร่แพลจิโอเคลสเฟลด์สปาร์กับผลึกควอตซ์ บางส่วน ในขณะที่หินปูนอุดรธานี UDLS1 และ UDLS2 มีแร่หลักคือเฮกซะโกนอลแคลไซต์สีเทาและผลึกควอตซ์ แร่ดินขาว UDKL (แร่ดินขาวอุดร) มีลักษณะเป็นแร่ดินเหนียวเม็ดละเอียดที่ประกอบด้วยแร่โมโนคลินิคเมทาฮาโลยไซต์จากผลการศึกษาดังกล่าวสามารถนำไปพิจารณาแนวทางในการพัฒนาวัสดุแร่เป็นผลิตภัณฑ์ท้องถิ่นได้

คำสำคัญ: วัสดุแร่, ทรายแก้ว, แร่วาริสไซต์, ดินขาว

Abstract

This research aimed to study the properties of minerals that may be potentially used for local industrial development in the areas of Roi Et, Yasothon, Buriram, Bueng Kan, Nong Khai and Udon Thani. The results of a questionnaire indicated that the respondents' access to data about minerals in the target areas was at 59.55%, whereas the access to local data was at a lower level at 51.91%. The data concerning application of local minerals was also needed at a higher level at 65.51%. The minerals in the target areas were; sand, glass gaud, variscite, clay, rock and kaolinite.

Roi Et glass sand (REGS) and Bueng Kan Glass Sand (BKGS) were clearly fine grained, which were different from Yasothon Sand (YSSA), Buriram Sand (BRSA), and Nong Khai Sand (NKSA), where quartz was found as their main mineral. White fine Hexagonal Variscite in quartz sandstone was found in REVC

(Roi Et Variscite). Buriram clay (BRCL) contained clay soil with fine monoclinic quartz and had a diaspore microstructure texture. Bueng Kan Sandstone (BKSS) was a red fine sandstone consisting of hexagonal quartz and iron ore. Buriram Basalt (BRBS) was fine-grained mainly and had plagioclase feldspars with other minerals such as quartz crystal. Udon Thani Limestone 1 (UDLS1) and Udon Thani Limestone 2 (UDLS2) were grey hexagonal calcite and quartz. Udon Thani Kaolin (UDKL) was a clay mineral composed of monoclinic meta-halloysite. According to the results of this research, it could be considered a guideline for the development of mineral materials into local products.

Keywords: mineral materials, glass sand, variscite, kaolin

บทนำ

ทรัพยากรแร่มีความสำคัญต่อการพัฒนาประเทศทั้งเพื่อการส่งออกและอุตสาหกรรมภายในประเทศจากข้อมูลในปี พ.ศ. 2560 ปริมาณทรัพยากรแร่ประเทศไทยมีประมาณ 19 ล้านล้านตันเป็นแร่ประมาณ 40 ชนิด (คณะกรรมการนโยบายบริหารจัดการแร่แห่งชาติ, 2561) อย่างไรก็ตามในปี พ.ศ. 2548 ความต้องการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ สำหรับการก่อสร้างมีสูงถึงประมาณ 9.7 ล้านตัน ซึ่งคิดเป็น 2.2 เท่าของความต้องการในปี พ.ศ. 2544 ถ้าแนวโน้มของการใช้งานยังคงเพิ่มขึ้นคาดว่าจะทรัพยากรจะหมดในอนาคตอันใกล้โดยเฉพาอย่างยิ่งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (กรมควบคุมมลพิษ, 2563) แต่การศึกษาแหล่งวัสดุแร่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือโดยเฉพาะในพื้นที่เป้าหมายยังไม่มีการศึกษาศักยภาพในการใช้ประโยชน์ซึ่งจังหวัดร้อยเอ็ดมีแร่ที่สำคัญได้แก่ หินทรายก่อสร้าง เกลือหิน โพแทช และฟอสเฟต ซึ่งมีเนื้อที่รวมกันประมาณ 6,744 ตารางกิโลเมตร (กรมทรัพยากรธรณี, 2552a) นอกจากนี้ยังพบแร่ฟอสเฟตที่บริเวณบ้านเหล่าขาม ตำบลสีแก้ว อำเภอมือแร่ร้อยเอ็ด (Japakasetr, 1982; Sheldon, 1984) จังหวัดยโสธรมีแหล่งเกลือหินและโพแทช จังหวัดบุรีรัมย์มีพื้นที่แหล่งแร่ทุกชนิดรวม 35 แหล่ง การใช้ประโยชน์ทรัพยากรแร่ของจังหวัดบุรีรัมย์เป็นการใช้หินบะชอลด์เพื่อการก่อสร้าง โดยรองลงมาเป็นทรายก่อสร้างและหินทราย นอกจากนี้ยังมีแหล่งทรัพยากรแร่ที่ยังไม่มีการผลิตเชิงพาณิชย์ในปัจจุบัน คือ ดินอุตสาหกรรม ดินลูกรัง เกลือหิน และโพแทช

จังหวัดบึงกาฬ มีทรัพยากรทรายก่อสร้าง และยังมีทรัพยากรแร่ที่ยังไม่มีการผลิตคือ หินทราย ทรายแก้ว เหล็กหิน และโพแทช จังหวัดหนองคาย มีทรายก่อสร้างที่ผลิตในเชิงอุตสาหกรรม ในขณะที่ทรัพยากรแร่ที่ยังไม่มีการผลิตคือ แร่ทองแดง แร่เหล็ก เหล็กหิน ทรายแก้ว และโพแทช และจังหวัดอุดรธานี มีทรัพยากรแร่ที่มีมูลค่าสูงหลายชนิด ได้แก่ ถ่านหิน ดินขาว แปะไรต์ โปแตช และหินปูน (กรมทรัพยากรธรณี, 2552a, 2552b, 2552c, 2553a 2553b) นอกเหนือจากรายงานแหล่งแร่โดยกรมทรัพยากรธรณีแล้ว ยังไม่มีงานศึกษาใดที่จะทำการ ทดสอบและศึกษาแนวทางในเชิงวัสดุและการประยุกต์ใช้ การวิจัยนี้จึงได้เสนอขึ้นเพื่อศึกษา ศักยภาพและแนวทางการพัฒนาวัสดุแร่ในท้องถิ่นเป้าหมาย

วิธีดำเนินการวิจัย

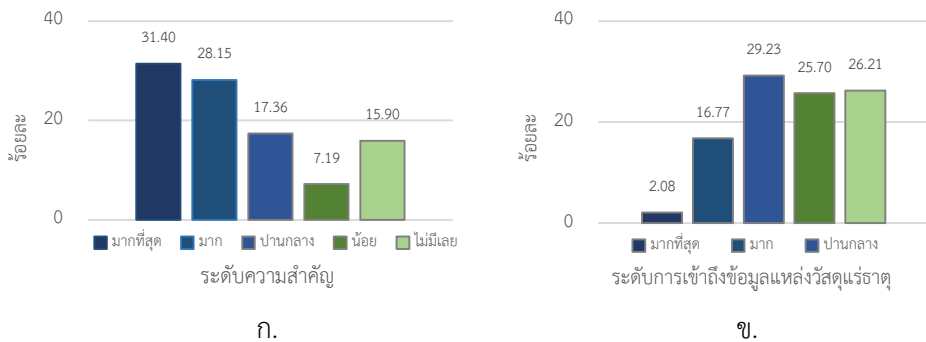
1. ศึกษาเอกสารและออกแบบสำรวจ โดยให้ผู้ตอบแบบสอบถามและความต้องการ ข้อมูลแหล่งวัสดุก่อสร้างในท้องถิ่นเป้าหมายเพื่อเป็นแนวทางในการเลือกวัสดุเพื่อพัฒนาใช้ เป็นวัสดุก่อสร้าง พร้อมทั้งตีกรอบพื้นที่เป้าหมาย
2. ทำการสำรวจภาคสนามและเก็บตัวอย่าง จากข้อมูลการศึกษาเอกสารนำมาวางแผนการสำรวจแหล่งวัตถุดิบที่คาดว่าจะนำมาพัฒนาเป็นวัสดุได้
3. นำมาทดสอบ ณ ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัย ราชภัฏร้อยเอ็ดประกอบด้วยการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์ดิฟฟราคโตม และศูนย์เครื่องมือ วิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทำการวิเคราะห์การเลี้ยวเบน ของรังสีเอกซ์ (X-ray diffractometer, XRD) กับข้อมูลมาตรฐานระบุชนิดของแร่ (Sarkar et al., 2001; Chatterjee, 2001) จากฐานข้อมูลหลักวิธีการวิเคราะห์ของ (Brill et al., 1939)

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

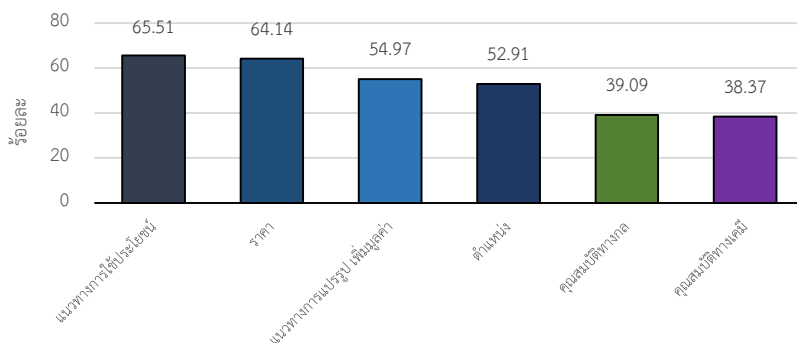
ผลการสำรวจโดยแบบสอบถาม

แบบสำรวจข้อมูลแหล่งวัสดุก่อสร้างในท้องถิ่นของพื้นที่เป้าหมายทุกหน่วยงานบริหาร ส่วนท้องถิ่น ทั้งในระดับจังหวัด ระดับเทศบาล และระดับตำบล พบว่ามีหน่วยงานที่ตอบแบบ สอบถามเป็นจำนวน 242 แห่ง จาก 807 แห่ง คิดเป็นร้อยละ 29.99 ผลการสำรวจในประเด็น ความจำเป็นต้องใช้ข้อมูลแหล่งวัสดุก่อสร้างพบว่า ส่วนใหญ่หน่วยงานในท้องถิ่นเห็นว่าข้อมูล แหล่งวัสดุก่อสร้างในท้องถิ่นมีความจำเป็นในระดับมากถึงมากที่สุด รวมกันสูงถึงร้อยละ

59.55 (มากที่สุดร้อยละ 31.40 และมากร้อยละ 28.15) ดังแสดงในที่ 1 ก. ในขณะที่การเข้าถึงข้อมูลวัสดุก่อสร้างในท้องถิ่นกลับอยู่ในระดับน้อยถึงไม่มีเลยรวมกัน ถึงร้อยละ 51.91 ซึ่งการเข้าถึงข้อมูลในท้องถิ่นในระดับน้อยนี้ส่วนทางกับความต้องการใช้ข้อมูลของหน่วยงานในท้องถิ่นที่อยู่ในระดับมากถึงมากที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 1 ข. ในขณะที่ประเด็นข้อมูลวัสดุแร่ที่จำเป็นต้องใช้ประโยชน์ในท้องถิ่น พบว่าแนวทางการใช้ประโยชน์มีความจำเป็นสูงที่สุดโดยอยู่ในระดับมากถึงมากที่สุดรวมกัน ร้อยละ 65.51 ข้อมูลที่จำเป็นรองลงมาคือ ราคาของวัสดุ (ร้อยละ 64.14) ในขณะที่ความจำเป็นของข้อมูลด้านคุณสมบัติทางเคมี เป็นข้อมูลที่ผู้ตอบแบบสอบถามเห็นว่าสำคัญน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับข้อมูลด้านอื่น (ร้อยละ 38.37) ดังแสดงในรูปที่ 2 จากผลสำรวจดังกล่าวการศึกษาจึงเน้นการศึกษาคุณสมบัติเพื่อเป็นแนวทางการพัฒนาวัสดุแร่และแนวทางเพิ่มมูลค่าวัสดุแร่ในท้องถิ่นต่อไป



รูปที่ 1 ผลสำรวจความคิดเห็นของหน่วยงานบริหารส่วนท้องถิ่น ก. ความจำเป็นต้องใช้ข้อมูลแหล่งวัสดุก่อสร้าง และ ข. ระดับการเข้าถึงข้อมูลวัสดุก่อสร้าง



รูปที่ 2 ความคิดเห็นหน่วยงานส่วนท้องถิ่นต่อข้อมูลวัสดุแร่ที่จำเป็นต้องใช้ประโยชน์

การสำรวจภาคสนาม

จากผลการสำรวจโดยแบบสอบถาม และการศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องพบว่าวัสดุแร่ในท้องถิ่นเป้าหมายประกอบด้วยวัสดุหลักๆ 6 กลุ่มด้วยกันคือ ทรายก่อสร้าง ทรายแก้ว แร่วารีไซต์ ดินเหนียวสำหรับดินเผา หินอุตสาหกรรม และแร่ดินขาว (กรมทรัพยากรธรณี, 2552a, 2552b, 2552c, 2553a 2553b) ดังแสดงในตารางที่ 1 และได้ทำการสำรวจดังแสดงในตารางที่ 2 ทรายก่อสร้าง ประกอบด้วย YSSA BRSA และ NKSA โดย YSSA เป็นทรายแม่น้ำชี ส่วน BRSA เป็นทรายแม่น้ำมูล ในขณะที่ NKSA เป็นแหล่งทรายแม่น้ำโขง ทรายแก้ว ประกอบด้วย REGS และ BKGS เป็นทรายบก ส่วนแร่วารีไซต์ REVC ได้จากสำรวจในพื้นที่บริเวณบ้านเหล่าขาม ในจังหวัดร้อยเอ็ด (Sheldon, 1984; กรมทรัพยากรธรณี, 2552a) ดินเหนียวสำหรับดินเผา BRCL ได้ข้อมูลจากสาขาวิชาอุตสาหกรรมเซรามิกส์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ คือดินเหนียวจาก บ้านหนองค่าย ตำบลบ้านบัว อำเภอเมืองบุรีรัมย์ ที่มีศักยภาพเพียงพอจะนำมาใช้เป็นวัสดุในงานดินเผา ในขณะที่กลุ่มหินอุตสาหกรรม ได้แก่ BRBS BKSS UDLS1 และ UDLS2 โดย BRBS เป็นหินบะซอลต์ที่มีแหล่งกระจายอยู่ในบริเวณตำบลอีสาน และตำบลสายจึก ส่วน BKSS เป็นหินทรายจากเหมืองหินชุด ในขณะที่ UDLS1 และ UDLS2 เป็นหินปูน และแร่ดินขาว UDKL เป็นแร่ดินขาวจากแหล่งที่เกิดอยู่กับที่

ตารางที่ 1 แหล่งวัสดุก่อสร้างเป้าหมายในการสำรวจ

ลำดับ	รหัส	ความหมาย	ชนิดวัสดุ	ตำแหน่ง
1	YSSA	Yasothon sand	ทรายก่อสร้าง	ต.ในเมือง อ.เมือง จ.ยโสธร
2	BRSA	Buriram sand	ทรายก่อสร้าง	ต.นิคม อ.สตึก จ.บุรีรัมย์
3	NKSA	Nong Khai sand	ทรายก่อสร้าง	ต.บ้านเตือ อ.เมือง จ.หนองคาย
4	REGS	Roi Et glass sand	ทรายแก้ว	ต.บึงงาม อ.หนองพอก จ.ร้อยเอ็ด
5	BKGS	Bueng Kan glass sand	ทรายแก้ว	ต.เขกา อ.เขกา จ.บึงกาฬ
6	REVC	Roi Et variscite	แร่วารีไซต์	ต. สีแก้ว อ.เมือง จ.ร้อยเอ็ด
7	BRCL	Buriram clay	ดินเหนียว	ต. บ้านบัว อ.เมือง จ.บุรีรัมย์
8	BRBS	Buriram basalt	หินบะซอลต์	ต.สายจึก อ.เมือง จ.บุรีรัมย์
9	BKSS	Bueng Kan sand stone	หินทราย	ต.นาถ อ.ปากคาด จ.บึงกาฬ
10	UDLS1	Udon Thani limestone	หินปูน	ต.สามัคคี อ.น้ำโสม จ.อุดรธานี
11	UDLS2	Udon Thani limestone	หินปูน	ต.สามัคคี อ.น้ำโสม จ.อุดรธานี
12	UDKL	Udon Thani kaolin	แร่ดินขาว	ต.นาแก อ.นาูง จ.อุดรธานี

ตารางที่ 2 การสำรวจภาคสนามและการเก็บตัวอย่างทดสอบ

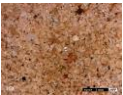
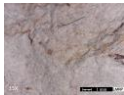
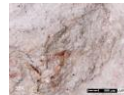
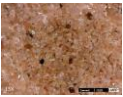
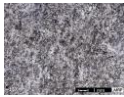
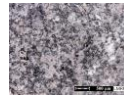
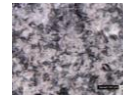
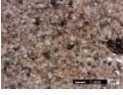
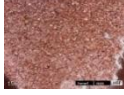
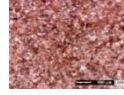
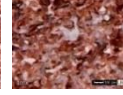
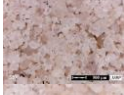
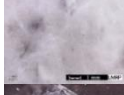
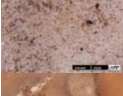
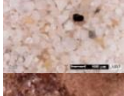
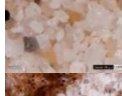
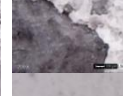
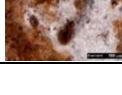
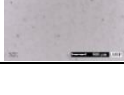
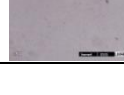
วัสดุแร่	บริเวณ และตัวอย่างทดสอบ			วัสดุแร่	บริเวณ และตัวอย่างทดสอบ		
YSSA				BRCL			
BRSA				BRBS			
NKSA				BKSS			
REGS				UDLS1			
BKGS				UDLS2			
REVC				UDKL			

ผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์ดิจิทัล (Digital Microscope)

แสดงผลวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์ดิจิทัลในตารางที่ 3 ทรายก่อสร้าง YSSA และ BRSA มีลักษณะเป็นทรายเม็ดละเอียดถึงหยาบสีน้ำตาลอ่อน NKSA เป็นทรายเม็ดละเอียดจนถึงหยาบสีน้ำตาลอ่อนถึงเข้ม ทรายทั้งสามมีสารมลทินอื่นๆ เจือปนอยู่มาก ทรายแก้ว REGS และ BKGS มีประกอบด้วยทรายเม็ดละเอียดสีขาว มีสารมลทินอื่นๆ เล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบลักษณะของทรายแก้วกับทรายก่อสร้าง พบว่า REGS และ BKGS มีขนาดอนุภาคละเอียดกว่าทรายก่อสร้าง YSSA BRSA และ NKSA นอกจากนี้ทรายแก้วมีสารเจือปนน้อยมากและมีความใสของเม็ดควอตซ์มากกว่าเมื่อเทียบกับทรายก่อสร้าง ส่วนแร่ไวรัสไซด์ REVC เป็นสายแร่สีขาวแทรกปนอยู่ในหินทรายเนื้อละเอียดสีน้ำตาลถึงแดง และมีขนาดเม็ดแร่ละเอียดมากเมื่อเทียบกับขนาดอนุภาคของเม็ดทราย ดินเหนียว BRCL มีลักษณะเป็นดินเหนียวมีลักษณะเหนียวมากประกอบด้วยเม็ดดินเนื้อละเอียดมากชนิดเนื้อจุลภาคสีขาวถึงน้ำตาลอ่อน และมีสารมลทินอื่นๆ เจือปนอยู่ไม่มาก

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์ดิจิทัล

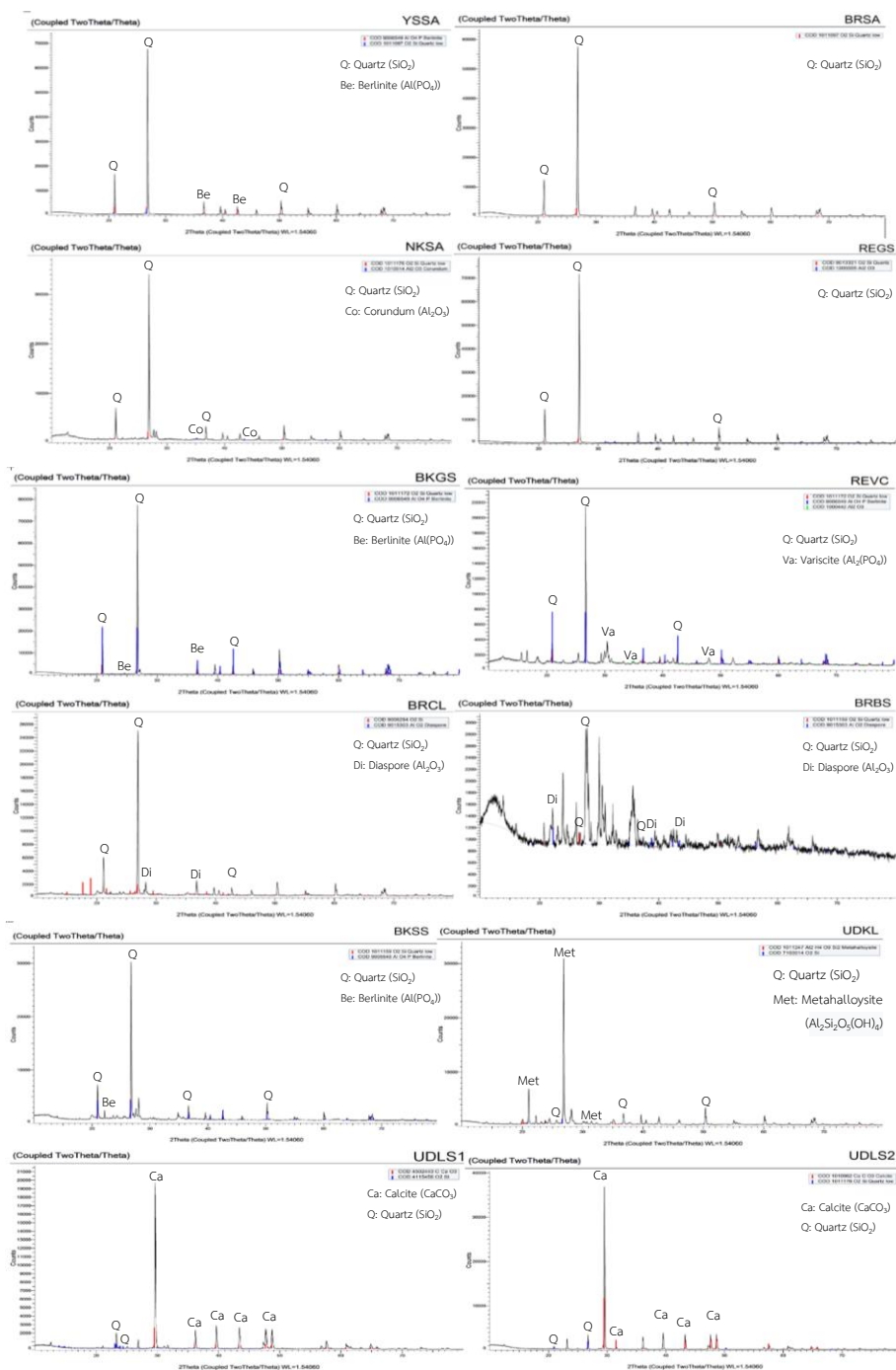
วัสดุ	15X	35X	200X	วัสดุ	15X	35X	200X
YSSA				BRCL			
BRSA				BRBS			
NKSA				BKSS			
REGS				UDLS1			
BKGS				UDLS2			
REVC				UDKL			

ในส่วนหินอุตสาหกรรมพบว่า BRBS เป็นหินบะซอลต์มีลักษณะเป็นสีเทาถึงสีดำมีเนื้อละเอียดทึบแน่นประกอบด้วยเม็ดผลึกแร่เนื้อละเอียดมาก แร่แฟลจิโอเคลสเฟลด์สปาร์ สีเทา สลับกับผลึกควอตซ์สีขาวใสมีสารมลทินอื่นๆเจือปนอยู่ไม่มาก ในขณะที่ BKSS มีลักษณะเป็นหินทรายเม็ดละเอียดสีแดงขนาดแตกต่างกัน (1/16 – 2 มิลลิเมตร) เม็ดแร่ส่วนใหญ่เป็นเม็ดแร่สีแดงเชื่อมกับวัสดุประสานพวกซิลิกา (ควอตซ์ หรือ เซิร์ต) แคลไซต์ โดโลไมต์ และเหล็กออกไซด์ ส่วนหินปูนอุตรธานี (UDLS1 และ UDLS2) มีแร่หลักคือแร่แคลไซต์ หรือแคลเซียมคาร์บอเนตสีเทาอ่อนมีสารมลทินอื่นเจือปนอยู่เล็กน้อย แร่ดินขาว UDKL มีลักษณะเป็นแร่ดินเหนียวเม็ดละเอียดมากสีขาวมีสิ่งเจือปนเล็กน้อย โดยกำลังขยายที่ 200 เท่ายังไม่สามารถมองเห็นขนาดเม็ดแร่ได้

การวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์

การวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray diffractometer, XRD) ได้ผลการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 3 (วิเคราะห์โดยฐานข้อมูล Crystallography Open Database, COD) ทรายก่อสร้าง YSSA BRSA NKSA มี แร่ควอตซ์เป็นองค์ประกอบหลัก โดยระบบผลึก (crystal system) แบบเฮกซะโกนอล (hexagonal) มีค่าอัตราการจัดเรียงตัวสูง

(max counts) ที่มุม 2θ เท่ากับ 26.874 โดย YSSA มีองค์ประกอบรองคือเบอร์ลิไนต์ (berlinite, AlPO_4) NKSA มีองค์ประกอบรองเป็นคอนรันดัม (corundum, Al_2O_3) เพียงเล็กน้อย ส่วน BRSA ไม่พบแร่ประกอบรอง ทราบแล้ว REGS และ BKGS มีแร่หลักคือแร่ควอตซ์ระบบผลึกแบบเฮกซะโกนอล มีค่าอัตราการรับสัญญาณสูงสุดเท่ากับ 26.7308 สำหรับ REGS และ BKGS ตามลำดับ โดย REGS ไม่พบแร่รอง BKGS มีเบอร์ลิไนต์เป็นองค์ประกอบรอง นอกจากนี้หากพิจารณาถึงค่าพีค (Peak) ของ REGS และ BKGS มีค่าพีคที่สูงกว่าทรายก่อสร้างอย่างเห็นได้ชัด บ่งบอกถึงสารเจือปนน้อยกว่าเมื่อเทียบกับทรายก่อสร้าง แร่วารีไซต์ REVC มีแร่หลักคือแร่ควอตซ์ที่มีระบบผลึกแบบเฮกซะโกนอล และมีองค์ประกอบรองเป็นแร่วารีไซต์ โครงสร้างผลึกแบบเฮกซะโกนอล นั่นคือในตัวอย่างทดสอบมีองค์ประกอบรองคือสายแร่วารีไซต์แทรกปนอยู่ในแร่ควอตซ์ ในขณะที่ดินเหนียวสำหรับดินเผา BRCL มีแร่หลัก คือแร่ควอตซ์ที่มีระบบผลึกแบบโมโนคลินิก (monoclinic) และมีไดอะสปอร์ (diaspore) เป็นองค์ประกอบรอง กลุ่มหินอุตสาหกรรมพบว่า BRBS มีแร่หลักคือแร่ควอตซ์โครงสร้างผลึกแบบเฮกซะโกนอล และมีไดอะสปอร์เป็นองค์ประกอบรอง ส่วน BKSS ประกอบด้วยแร่ควอตซ์โครงสร้างผลึกแบบเฮกซะโกนอล และแร่รองคือเบอร์ลิไนต์ในกลุ่มหินปูน UDLS1 และ UDLS2 มีชนิดของกลุ่มแร่หลักสองชนิด คือแร่แคลไซต์ (calcite, CaCO_3) UDLS1 มีโครงสร้างผลึกแบบเฮกซะโกนอล ส่วน UDLS2 มีแคลไซต์โครงสร้างผลึกแบบรอมโบฮีดรัล (rhombohedral) ทั้งสองมีแร่ประกอบรองเป็นแร่ควอตซ์ ในขณะที่แร่ดินขาว UDKL มีแร่หลักสองชนิดประกอบด้วยเมตาฮาลลอยไซต์ (metahalloysite, $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) ระบบผลึกแบบโมโนคลินิกมีค่าอัตราการรับสัญญาณสูงสุด ที่มุม 2θ เท่ากับ 26.8740 และแร่หลักรองลงมาคือแร่ควอตซ์โครงสร้างผลึกแบบเฮกซะโกนอล โดยเมตาฮาลลอยไซต์เป็นแร่ที่กำหนดให้เป็นสถานะไฮเดรต (hydrated phase) ของดินขาว (kaolinite) โดยมีอะลูมิเนียมซิลิเกต (aluminosilicate) เป็นองค์ประกอบของอนุภาคแร่ดินเหนียว (clay mineral)



รูปที่ 3 ผลการวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์

แนวทางในการพัฒนาวัสดุแร่ในพื้นที่เป้าหมาย

ทรายก่อสร้าง YSSA BRSA และ NKSA ยังไม่มีความบริสุทธิ์เพียงพอที่จะใช้เป็นวัสดุแร่ควอตซ์ได้ แต่สามารถใช้ประโยชน์ได้เป็นทรายก่อสร้างและใช้เป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมก่อสร้างได้ เช่น ส่วนผสมวัสดุคอนกรีต วัสดุขึ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป ทรายแก้ว REGS และ BKGS เป็นทรายแก้วมีแร่ควอตซ์เป็นแร่ซิลิกาธรรมชาติอย่างนัยสำคัญ ซึ่งแร่ควอตซ์สามารถใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย เช่น อุตสาหกรรมผลิตแก้ว อุตสาหกรรมกระจก อุตสาหกรรมเซรามิก อุตสาหกรรมหล่อโลหะ อุตสาหกรรมเคมี และอุตสาหกรรมอื่นๆ เช่น วัสดุทนไฟ ฉนวนกันความร้อน อิฐทนไฟ เครื่องเคลือบ เส้นใยของซิลิกา ใช้ในการผลิตโซเดียมซิลิเกต ใช้เป็นของเหลวที่ใช้เป็นสารเคลือบกันน้ำ ซิลิกาสำหรับงานซิลิโคน (silicones silicon) ซิลิคอนคาร์ไบด์ (silicon carbide) (วิชัย วรยศอำไพ, 2542; สภาการเหมืองแร่, 2544; Stewart & Simmons, 2006) แร่วาริสไซต์ REVC เป็นสารประกอบอลูมิเนียมฟอสเฟตซึ่งสามารถใช้เป็นวัสดุผสมเพิ่มในซีเมนต์ด้วยการผสมกับสารละลายแคลเซียมซัลเฟต (calcium sulfate) และโซเดียมซิลิเกต (sodium silicate) เป็นของเหลวสำหรับงานเซรามิก (flux for ceramics) วัสดุซีเมนต์ทันตกรรม (dental cements) คอนกรีตกันซึม (waterproofing concrete) เป็นสารหน่วงเปลวไฟที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการสังเคราะห์สารอินทรีย์ (catalyst in organic synthesis) เครื่องสำอาง สี แวนตาพิเศษยาที่เป็นเจลหรือยาเม็ดสำหรับบรรเทาโรกระเพาะอาหาร และใช้ในการลดการลื่นของเท้า ในการจับอุปกรณ์กีฬา (Grace, 2014) นอกจากนี้ REVC ยังมีการศึกษาว่ามีแนวโน้มใช้เป็นวัสดุฟอสเฟตซีเมนต์แบบพันธะเคมี (chemically bonded phosphate cement, CBPC) ได้ (Wongkamjan & Jumepaeng, 2020) ดินเหนียวสำหรับดินเผา BRCL สามารถใช้ผสมกับดินขาวในงานเซรามิกและดินเผาได้ ทั้งนี้ต้องมีการศึกษาคุณสมบัติเพิ่มเติมเป็นเงื่อนไขประกอบ ได้แก่ การทดสอบคุณสมบัติ สีหลังเผา การหดตัวเชิงเส้น ความทนไฟ กากที่ค้างบนแรงขนาด 45 ไมโครเมตร ความแกร่งก่อนเผาและการดูดซึมน้ำ (อรรธรณ ศรีคุ้มวงศ์, 2551) BKSS เป็นหินทรายก่อสร้าง ซึ่งสามารถใช้ประโยชน์ได้ในทางการก่อสร้าง ซึ่งนอกเหนือจากการใช้ประโยชน์ในการทำเป็นหินทิ้งดั่งที่ใช้อยู่ BKSS ยังมีความแน่นในตัวเนื้อหินสามารถนำมาตัดเป็นแผ่นได้เช่นเดียวกับหินอ่อนและหินแกรนิตสามารถไปใช้ในการนำไปแกะสลักและมีมูลค่าสูงขึ้นได้ UDLS1 และ UDLS2 เป็นหินปูนอุตสาหกรรมใช้ในงานมวลรวมได้ นอกจากนี้ยังมีองค์ประกอบมากกว่าร้อยละ 50 เป็นแร่แคลไซต์ทั้งนี้หินปูนทั้งสองแหล่ง

มีแคลไซต์สูงแต่หากจะใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์จะต้องมี แมกนีเซียมออกไซด์ (จากแร่โดโลไมต์) ไม่เกินร้อยละ 3 ซิลิกาไม่เกินร้อยละ 8 และปริมาณแอลคาไลรวม ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) ไม่เกินร้อยละ 1 (Manning, 1992) ซึ่งจำเป็นต้องมีการศึกษาต่อไป UDKL เป็นแร่ดินขาว สถานะเมทาฮาลลอยไซต์มีคุณสมบัติ ได้แก่ ความละเอียดของอนุภาคมีความขาวตามธรรมชาติ อนุภาคไม่มีความคม ไม่แข็ง และมีราคาถูกกว่าสารเคมีอื่นๆ สามารถใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิก สี ยาง พลาสติก กระดาษ การผลิตวัตถุระเบิดลูมินาจากดินขาว การแยกมลทินเหล็กออกจากดินขาวโดยวิธีผ่านแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ ตัวกรองเซรามิก ปุ๋ย วัสดุเคลือบใบและผล อุตสาหกรรมเครื่องดินเผา อุตสาหกรรมสี ใช้เติมในเนื้อดินสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการรูพรุน (porous) มีน้ำหนักเบา (คชินท์ สายอินทวงศ์, 2561; ฐานข้อมูลส่งเสริมและยกระดับคุณภาพสินค้า OTOP, 2561)

สรุปผลการวิจัย

1. การสำรวจโดยแบบสอบถามพบว่าในประเด็นความจำเป็นต้องใช้ข้อมูลแหล่งวัสดุก่อสร้างในท้องถิ่นพบว่าข้อมูลแหล่งวัสดุก่อสร้างในท้องถิ่นมีความจำเป็นในระดับมากถึงมากที่สุดรวมกันสูงถึงร้อยละ 59.55 ในขณะที่การเข้าถึงข้อมูลวัสดุก่อสร้างในท้องถิ่นกลับอยู่ในระดับน้อยถึงไม่มีเลยรวมกันถึงร้อยละ 51.91 ซึ่งสวนทางกับความต้องการใช้ข้อมูลส่วนประเด็นข้อมูลวัสดุที่จำเป็นต้องใช้ประโยชน์ในท้องถิ่น พบว่าแนวทางการใช้ประโยชน์มีความจำเป็นสูงที่สุดโดยอยู่ในระดับมากถึงมากที่สุดรวมกันร้อยละ 65.51

2. การทดสอบในห้องปฏิบัติการ ผลการทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ดิจิทัลพบว่า วัสดุกลุ่มทรายคือ ทรายก่อสร้าง YSSA BRSA และ NKSA เป็นทรายเม็ดละเอียดจนถึงหยาบ สีน้ำตาลอ่อน มีขนาดเม็ดทรายละเอียด และมีสารมลทินอื่นๆ เจือปนอยู่มาก แตกต่างจากทรายแก้ว REGS และ BKGS เป็นทรายเม็ดละเอียดสีขาว มีประกอบด้วยทรายที่มีสารมลทินเจือปนอยู่เล็กน้อย ส่วนแร่วารีไซต์ REVC เป็นแร่สีขาวเนื้อละเอียดมากแทรกปนอยู่ในหินทรายเนื้อละเอียด BRCL เป็นดินเหนียวเม็ดดินเนื้อละเอียดมากสีขาวถึงน้ำตาลอ่อนมีสารมลทินเล็กน้อย BRBS เม็ดผลึกแร่เนื้อละเอียดมากแร่แคลซิโอเคลสเฟลด์สปาร์ สีเทาสลับกับผลึกควอตซ์ สีขาวใส BKSS เป็นหินทรายเม็ดละเอียดสีแดง ประกอบด้วยเม็ดแร่ควอตซ์ มีเหล็กออกไซด์เจือปนวัสดุประสานพวกซิลิกา UDLS1 และ UDLS2 มีผลึกของแร่แคลไซต์

สีอ่อนจากแคลเซียมคาร์บอเนตและผลึกของควอตซ์ แร่ดินขาว UDKL เป็นแร่เม็ดละเอียดมากสีและมีสารมลทินอื่นเจือปนอยู่เล็กน้อย

การวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ พบว่าทรายก่อสร้าง YSSA BRSA NKSA มีแร่ควอตซ์เป็นองค์ประกอบหลัก โดยแร่ควอตซ์ระบบผลึกแบบเฮกซะโกนอล ทรายแก้ว REGS BKGS มีแร่หลักคือแร่ควอตซ์ระบบผลึกแบบเฮกซะโกนอลเช่นกันแต่มีร้อยละแร่ควอตซ์สูงกว่า แร่วารีไซต์ REVC มีองค์ประกอบรองเป็นวารีไซต์โครงสร้างผลึกแบบเฮกซะโกนอลแทรกอยู่ในแร่ควอตซ์ ดินเหนียวสำหรับดินเผา BRCL มีแร่หลักคือแร่ควอตซ์แบบโมโนคลินิก กลุ่มหินอุตสาหกรรม BRBS BKSS UDLS1 และ UDLS2 พบว่า BRBS มีแร่หลักคือแร่ควอตซ์แบบเฮกซะโกนอล ส่วน BKSS ประกอบด้วยควอตซ์แบบเฮกซะโกนอลในกลุ่มหินปูน คือ UDLS1 และ UDLS2 มีแร่หลักคือแคลไซต์ UDLS1 มีโครงสร้างผลึกแบบเฮกซะโกนอล ส่วน UDLS2 มีโครงสร้างผลึกแบบออร์โธโรมบิก แร่ดินขาว UDKL ประกอบด้วยเมตาแฮลลอยไซต์ระบบผลึกแบบโมโนคลินิกเป็นองค์ประกอบหลัก

3. แนวทางในการพัฒนาวัสดุแร่ในพื้นที่เป้าหมาย ทรายก่อสร้าง YSSA BRSA และ NKSA สามารถใช้ประโยชน์ได้เป็นทรายก่อสร้างและผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมก่อสร้างได้ ทรายแก้ว REGS และ BKGS มีแร่ควอตซ์อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสามารถใช้ประโยชน์ได้หลากหลายเป็นส่วนประกอบในอุตสาหกรรม แร่วารีไซต์ REVC เป็นสารประกอบออลูมิเนียมฟอสเฟตเป็นสารประกอบออลูมิเนียม ซึ่งสามารถใช้ในซีเมนต์ งานเซรามิก วัสดุซีเมนต์ทนความร้อน วัสดุฟอสเฟตซีเมนต์แบบพันธะเคมี ดินเหนียวสำหรับดินเผา BRCL มีแนวโน้มใช้ในงานเซรามิกและดินเผาได้ทั้งนี้ต้องมีการศึกษาคุณสมบัติเพิ่มเติม หินอุตสาหกรรม BKSS เป็นหินทรายก่อสร้างและมีแนวโน้มจะแปรรูปให้มีมูลค่าสูงขึ้นได้ UDLS1 และ UDLS2 เป็นหินปูนอุตสาหกรรม ใช้ในงานมวลรวมได้หากจะใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์จำเป็นต้องมีการศึกษาต่อไป แร่ดินขาว UDKL เป็นแร่ดินขาวสามารถใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกอุตสาหกรรมกระดาษ สี ยาง พลาสติก และผลิตภัณฑ์อื่นๆ

ข้อเสนอแนะ

การศึกษานี้เป็นเพียงการศึกษาคุณสมบัติวัตถุดิบที่มีแนวโน้มใช้เป็นวัสดุแร่ในท้องถิ่น ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของการสร้างองค์ความรู้ในท้องถิ่น และจำเป็นต้องมีการนำผลการศึกษานี้ไปศึกษาต่อเนื่องในด้านแนวทางการผลิตและต่อยอด สำหรับถ่ายทอดสู่ท้องถิ่นต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาสับสนุนทุนวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ การสนับสนุนจาก กองทุนวิจัย สถาบันวิจัยและพัฒนา และคณะศิลปศาสตร์ และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. (2563). รายงานการศึกษาศึกษาแนวทางการจัดการเศษสิ่งก่อสร้างสำหรับประเทศไทย. กรุงเทพฯ. 288 หน้า.
- กรมทรัพยากรธรณี. (2552a). การจำแนกเขตเพื่อการจัดการด้านธรณีวิทยาและทรัพยากรธรณี จังหวัดร้อยเอ็ด. กรุงเทพฯ. 140 หน้า.
- กรมทรัพยากรธรณี. (2552b). การจำแนกเขตเพื่อการจัดการด้านธรณีวิทยาและทรัพยากรธรณี จังหวัดหนองคาย. กรุงเทพฯ. 128 หน้า.
- กรมทรัพยากรธรณี. (2552c). การจำแนกเขตเพื่อการจัดการด้านธรณีวิทยาและทรัพยากรธรณี จังหวัดอุดรธานี. กรุงเทพฯ. 98 หน้า.
- กรมทรัพยากรธรณี. (2553a). การจำแนกเขตเพื่อการจัดการด้านธรณีวิทยาและทรัพยากรธรณี จังหวัดบุรีรัมย์. กรุงเทพฯ. 104 หน้า.
- กรมทรัพยากรธรณี. (2553b). การจำแนกเขตเพื่อการจัดการด้านธรณีวิทยาและทรัพยากรธรณี จังหวัดยโสธร. กรุงเทพฯ. 82 หน้า.
- คชินท์ สายอินทวงศ์. (2561). การเลือกใช้ดินสำหรับผลิตภัณฑ์เซรามิกชนิดต่างๆ. สืบค้นเมื่อวันที่ 28 ธันวาคม 2563, จาก http://www.thaiceramicsociety.com/rm_soil_product.php.
- คณะกรรมการนโยบายบริหารจัดการแร่แห่งชาติ. (2561). ยุทธศาสตร์การบริหารจัดการแร่ 20 ปี (พ.ศ. 2560-2579). กรุงเทพฯ. 128 หน้า.
- ฐานข้อมูลส่งเสริมและยกระดับคุณภาพสินค้า OTOP. (2561). ดินขาว (Kaolin). สืบค้นเมื่อวันที่ 28 ธันวาคม 2563, จาก <http://www.sptn.dss.go.th/otopinfo/index.php/en/compiled-file/other-otop-product/142-kaolin>.
- วิชัย วรยศอำไพ. (2542). ทรัพยากรแร่ทรายในประเทศไทย. กรุงเทพมหานคร: กองเศรษฐกิจธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี.

- สภาการเหมืองแร่. (2544). ทรายแก้ว. *เหมืองแร่*, 11, 1-27.
- อรรณณ ศรีคุ้มวงศ์. (2551). *คุณสมบัติของดินที่ใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิก*. กรมวิทยาศาสตร์บริการ. 4 หน้า.
- Brill, R., Hermann, C., & Peters, C. (1939). Studien über chemische Bindung mittels Fourieranalyse III. *Naturwissenschaften*, 27, 676-677.
- Chatterjee, A. K., (2001). X-Ray Diffraction. In Ramachandran V. S. and Beaudoin J. J., eds. *Handbook of Analytical Techniques in Concrete Science and Technology*. William Andrew Publishing, Norwich, New York.
- Grace, W. R. (2014). *Aluminum Phosphate Product Stewardship Summary*. Retrieved December 8, 2020 from <https://grace.com/en-us/environment-health-and-safety>.
- Japakasetr, T. (1982). *Phosphate in Thailand*; Economic Geology Division, DMR. 7p.
- Manning, D. G. (1992). *The design life of structures, Design life of concrete highway structures—The North American scene*. London: Blackie and Son, Ltd.
- Sarkar, S. L., Aimin, X., & Jana, D. (2001). *Scanning Electron Microscopy, X-Ray Microanalysis of Concretes*, In Ramachandran V. S. & Beaudoin J. J., eds. *Handbook of Analytical Techniques in Concrete Science and Technology*. William Andrew Publishing, Norwich, New York.
- Sheldon, R. P., (1984). *Phosphate Resource Assessment and Exploration in Thailand*. Thai Department of Mineral Resources, 52 p.
- Simmons, W., & Stewart, D. (2006). *Silica Mineral*. Encyclopedia Britannica.
- Wongkamjan, W., & Jumepaeng, T. (2020) Properties and Potential of Lao Kham Variscite's Application in Chemically Bonded Phosphate Cement. *International Journal of GEOMATE*, 19(75), 35-41.

บทบาทของมอลโทรเดกซ์ทรินและสารช่วยตอกตรงในการพัฒนาตำรับยาเม็ดอมแก้ไอ
ประสะมะแว้ง ซึ่งมีและไม่มีเกล็ดสะระแหน่ I: การเลือกสารช่วยตอกตรง
ROLES OF MALTRODEXTRIN AND DIRECT COMPRESSION FILLERS (DCFs) IN
FORMULATION DEVELOPMENT OF PRASAMAWAENG COUGH TABLETS
WITH AND WITHOUT MENTHOL I: SELECTION OF DCFs

กนกพร รัตนาก้าว¹, สมบูรณ์ เจตลีลา¹, อัจฉรา แก้วน้อย¹, ศุภรัตน์ ดวนใหญ่¹
และ กัญจนภรณ์ ธงทอง^{*, 2}

Kanokporn Ranadkaew¹, Somboon Jateleela¹, Atchara Kaewnoi¹,
Supharat Duanyai¹ and Kanchanaporn Tongthong^{*, 2}

¹ภาควิชาแพทย์แผนไทย คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

²สาขาวิชาการแพทย์แผนไทย คณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

¹Department of Thai Traditional Medicine, Faculty of Science and Technology,
Bansomdejchaopraya Rajabhat University

²Department of Thai Traditional Medicine Faculty of Nursing, Udon Thani Rajabhat University

Received: 17 January 2021

Accepted: 12 March 2021

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อคัดเลือกชนิดและปริมาณสารช่วยตอกตรง (DCFs) ที่เหมาะสม จากตำรับยาเม็ดของยาประสะมะแว้ง มาพัฒนาตำรับยาเม็ดอมแก้ไอที่มีคุณสมบัติทางกายภาพผ่านเกณฑ์ของความแปรปรวนน้ำหนักยาเม็ด (USP 40 <2091>, 2017) และผ่านเกณฑ์ยาอมเม็ดแก้ไอ คือความแข็ง > 5.5 กิโลกรัม ความกรอบ < 1.0% (USP 40 <1216>, 2017) เวลาละลายยาเม็ดในปาก ≥ 30 นาที หลักสถิติที่นำมาทดสอบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของค่าคุณสมบัติทางกายภาพของยาเม็ดอมแก้ไอประสะมะแว้งตำรับต่างๆ คือ การวิเคราะห์ความแปรปรวน ที่ $p < 0.01$ และการเปรียบเทียบแบบ

* ผู้ประสานงาน: กัญจนภรณ์ ธงทอง

อีเมล: kanchanaporn2727@gmail.com

พหุคูณเพื่อดูความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยของกลุ่มที่อยู่ติดกันซึ่งใช้วิธีเรียงลำดับค่า โดยวิธี Least Significant Difference Procedure (LSD: 1.0% allowance ที่ $\alpha = 0.01$, 2-tailed) เตรียมยาเม็ดดอมแก้ไอประสมมะแว้งตำรับต่างๆ ที่ PVP K-90 ปริมาณ 3.0% โดยน้ำหนักเป็นสารยึดเกาะ โดยใช้มอลโทโรเดกซ์ตริน (MDX) ปริมาณ 0, 40, 80, และ 120 มิลลิกรัม/เม็ดยา ในขณะที่แต่ละ DCF คือ MCC PH-101 หรือ MCC PH-102 หรือไดเบสิด แคลเซียมฟอสเฟตไดไฮเดรต (DCPD) ใช้ 200, 160, 120 และ 80 มิลลิกรัม/เม็ดยา ตามลำดับ พบว่าการเลือกใช้ MCC PH-102 และ DCPD ในปริมาณ 120 และ 80 มิลลิกรัม/เม็ดยา ให้ตำรับยาเม็ด 4 ตำรับที่เข้าเกณฑ์ยาเม็ดดอมแก้ไอ และให้สัมประสิทธิ์ความแปรปรวนน้ำหนักที่ต่ำกว่า 2.0%

คำสำคัญ: ยาประสมมะแว้ง, ยาเม็ดดอมแก้ไอประสมมะแว้ง, สารช่วยดกตรง, เกณฑ์ยาเม็ดดอมแก้ไอ

Abstract

This study was aimed to select the appropriate type and quantity of direct compression fillers (DCFs) from various tablet formulations (R_x s) of Prasamawaeng recipe in order to develop the formulation of cough tablets whose physical properties met the requirements of weight variation (USP 40 <2091>, 2017) and cough tablet criteria: tablet hardness > 5.5 kg, tablet friability < 1.0% (USP 40<1216>, 2017), and mouth dissolving time $\geq$ 30 min. Statistically, analysis of variance (ANOVA) was a tool used to test a significant difference of a mean of tablet parameter of one R_x from means of others, at $p < 0.01$, and least significant difference procedure (LSD: 1.0% allowance at $\alpha = 0.01$, 2-tailed) was used as a multiple comparison to significantly compare adjacent variety means which were arranged in order of magnitude.

Various Prasamawaeng cough tablet R_x s were prepared using PVP K-90 as a binder at 3.0% w/w of formula, maltodextrin (MDX) was used at 0, 40, 80, and 120 mg/tablet, whereas each DCF: microcrystalline cellulose PH-101

or PH-102 (MCC) or dibasic calcium phosphate dihydrate (DCPD) was used at 200, 160, 120, and 80 mg/tablet, respectively. DCFs selected were MCC PH-102, and DCPD at 120, and 80 mg/tablet that could provide 4 R_s that met all requirements of cough tablets with % coefficient of variation of less than 2.0%.

Keywords: Prasamawaeng recipe, Prasamawaeng cough tablets, direct compression fillers, criteria of cough tablets

บทนำ

ยาประสมมะแว้งจัดอยู่ในกลุ่มรักษาอาการของระบบทางเดินหายใจ บรรเทาอาการไอ ทำให้ชุ่มคอ ช่วยขับเสมหะ ซึ่งมีส่วนประกอบของสมุนไพรร คือ สารส้มเสตุ 1 ส่วน เหน่าขมิ้นอ้อย 3 ส่วน ใบตานหม่อนและใบกะเพรา อย่างละ 4 ส่วน ผลมะแว้งต้นและผลมะแว้งเครือ อย่างละ 8 ส่วน (คณะกรรมการพัฒนาระบบยาแห่งชาติ, 2562) เป็นยาประจำบ้านแผนโบราณตำรับหนึ่ง ซึ่งมีลูกมะแว้งต้นและลูกมะแว้งเครือเป็นสมุนไพรรหลัก (กองวิจัยทางการแพทย์, 2528) (Deb et al., 2014) พบว่าสารสกัดมะแว้งต้นมีฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาต่อการออกฤทธิ์ลดปวด ด้านการอักเสบ ลดไข้ กดระบบประสาทส่วนกลาง (Deb et al, 2014) ในการศึกษาฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาของสารสกัดจากผลมะแว้งเครือ โดยสกัดผลมะแว้งเครือด้วยน้ำและเอทานอล พบว่าสารสกัดขนาด 200, 400 มิลลิกรัม/กิโลกรัม มีฤทธิ์ต้านด้านการอักเสบและอาการคัน โดยยับยั้งการเกาะของหนูถีบจักรที่ถูกเหนี่ยวนำด้วยฮีสตามีน ส่งผลเช่นเดียวกับเดกซาเมธาโซน และคลอเฟนิรามีน 1 และ 10 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ (วันทนี หาญช้าง, 2549) มะแว้งมีสารสำคัญเป็นโซลันนัมอัลคาลอยด์ และสารอัลคาลอยด์กลุ่มนี้ยังมีฤทธิ์ด้านการอักเสบและด้านแบคทีเรียในระบบทางเดินหายใจ (Jayakumar & Murugan, 2016).

มาลี บรรจบ (2535) ทำการทดลองผลิตยาเม็ดแก้ไอขับเสมหะประสมมะแว้ง โดยลดปริมาณผงยาจากสูตรตำรับแผนโบราณเดิม 200 ให้เหลือ 50 มิลลิกรัม/เม็ดยา และใช้สารช่วย 5 ชนิด

จิตยา เย็นประสิทธิ์ และ สุกฤษฏ์ แสงแก้ว (2552) ได้พัฒนาตำรับยาเม็ดประสมมะแว้ง เตรียมโดยเทคนิคทำแกรนูลเปียก สารเพิ่มปริมาณที่ใช้คือ แมนนิทอล และ MCC

(Avicel[®] PH-102) สารยึดเกาะที่ใช้คือ PVP K90 และสารยึดเกาะผสมของเจลาตินกับอะเคเซีย ในอัตราส่วน 3:1 โดยน้ำหนัก เพื่อกลบกลิ่นรสยาที่ขม และซูคราโลสแต่งรสหวานซึ่งไม่ใช้สารช่วยแตกตัว ทำให้อยากยาเม็ดในปากได้นานขึ้น โดยการตอกเป็นยาเม็ดขนาด 11 มิลลิเมตร น้ำหนักราว 400 มิลลิกรัม ด้วยเครื่องตอกยาเม็ดชนิดซากเดียว เปรียบเทียบผลการพัฒนาตำรับยาเม็ดอมแก้ไอ 3 ตำรับ ที่ใช้สารยึดเกาะผสมในปริมาณ 4.0, 5.2 และ 7.1% โดยมีแมนนิทอล 100 มิลลิกรัม/เม็ดยา และ MCC 30 มิลลิกรัม/เม็ดยา พบว่าตำรับที่ดีที่สุดมีสารยึดเกาะผสม 5.2% ให้ความแข็ง 4 กิโลกรัม ความกรอบ 0.02% และเวลาแตกตัว 7-13 นาที

การศึกษาวิจัยครั้งนี้มีจุดประสงค์เพื่อ คัดเลือกชนิดสารช่วยตอกตรงมา 2 ชนิด ในปริมาณที่เหมาะสม จากตำรับยาอมแก้ไอประสะมะแว้ง 12 ตำรับ เพื่อนำไปพัฒนายาเม็ดอมแก้ไอประสะมะแว้งที่มีรสสัมผัส รสขมและรสมันต์ที่มีคุณสมบัติทางกายภาพเข้าเกณฑ์ยาอมแก้ไอต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

สารเคมี

สารเคมีที่ใช้เป็น commercial grade มีดังนี้ : PVP K-90 ยาประสะมะแว้ง microcrystalline cellulose (MCC) ขนาดอนุภาคเฉลี่ย 50 ไมโครเมตร (PH 101) และ 100 ไมโครเมตร (PH 102), dibasic calcium phosphate dehydrate (DCPD), anhydrous citric acid, sucralose, lactose, 95% ethanol, orange flavor powder และ maltodextrin (DE: 10-15) stearic acid, fumed silica, น้ำบริสุทธิ์ (Purified Water) สารเคมีที่ใช้เป็น reagent grade มี monobasic potassium phosphate และ sodium hydroxide ยาประสะมะแว้ง นำมาผ่านร่อนเบอร์ 40 (40-mesh sieves) เพื่อให้ส่วนผงที่จับกันแยกเป็นผงละเอียด ก่อนนำมาใช้ ส่วน fumed silica นำมาผ่านร่อนเบอร์ 80

ตำรับยาเม็ดอมแก้ไอประสะมะแว้ง

การตั้งตำรับยาอมแก้ไอประสะมะแว้งมีทั้งหมด 12 ตำรับ ประกอบด้วยกลุ่ม 1 ใช้ MCC PH-101 กลุ่ม 2 ใช้ MCC PH-102 และกลุ่ม 3 ใช้ DCPD โดยมีปริมาณของสารช่วยตอกตรงที่ 200, 160, 120 และ 80 มิลลิกรัม/เม็ดยา ตามลำดับ กลุ่มแรกมีตำรับ 1-4 กลุ่มสองมีตำรับ 5-8 กลุ่มสารเคมีตำรับ 9-12 ส่วนมอลโทเดกซ์ตริน (MDX) ในตำรับที่ใช้จะเป็น

ปริมาณ 0, 40, 80 และ 120 มิลลิกรัม/เม็ดตามลำดับ สำหรับทั้ง 3 กลุ่มตำรับ โดยสารช่วยตอกรวมกับ MDX ได้ปริมาณรวม 200 มิลลิกรัม/เม็ดยา ในทุกๆ ตำรับ citric acid ใช้แต่งรสเปรี้ยว sucralose ใช้แต่งรสหวาน PVP K-90 ปริมาณ 3.0% โดยน้ำหนักของตำรับเป็นสารยึดเกาะ สำหรับขั้นตอนผสมก่อนตอกยาเม็ด ของสารหล่อลื่น stearic acid, 1.8% โดยน้ำหนักของตำรับ สารช่วยไหล Aerosil[®], 0.3% โดยน้ำหนักของตำรับ และ orange flavor 0.7% โดยน้ำหนักของตำรับ แต่งกลิ่นแต่งรสส้ม ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงการแปรผันปริมาณมอลโทเดกซ์ตริน โดยมีสารช่วยตอกรวมคือ MCC PH 101, MCC PH 102 หรือ DCPD สำหรับผลิตยาเม็ดอมแก้ไอประสะมะแว้ง จำนวน 1000 เม็ด

Materials	Formulation											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Prasamawaeng	200.00 g											
MCC PH 101, g	200	160	120	80	-	-	-	-	-	-	-	-
MCC PH 102, g	-	-	-	-	200	160	120	80	-	-	-	-
DCPD, g	-	-	-	-	-	-	-	-	200	160	120	80
Maltrodextrin, g	0	40	80	120	0	40	80	120	0	40	80	120
Citric acid	50.00 g											
Sucralose	5.00 g											
Lactose qs.	10.00 g											
PVP K-90, 3.0% w/w	15.00 g											
Ethanol Solution, % v/v of 120 mL	0	10	30	50	0	10	30	50	0	10	30	50
Sucralose, 1% w/w	5.00 g											
Orange flavor												
Stearic acid, 9.00 g	1.8% w/w											
Aerosil [®] 0.3% w/w	1.50 g											
Total tablet weight	500 mg											

การตอกยาเม็ดโดยเทคนิคการทำแกรนูลเปียก

ใช้เครื่องชั่ง Electronic Precision Balance ซึ่งส่วนประกอบต่างๆ ในปริมาณตามสูตรตำรับที่ตั้งไว้ ใส่ผงยาประสะมะแว้ง สารช่วยตอกรวม คือ MCC PH-101, MCC PH-102 หรือ DCPD มอลโทเดกซ์ตริน citric acid, sucralose, lactose ลงในเครื่องผสม

V-Blender ผสมให้เข้ากัน ใช้เวลา 5 นาที ส่วนของ PVP K-90 ที่ซึ่ง ผสมสารละลายเอทานอลและน้ำที่กำหนดไว้ในแต่ละสูตรตำรับ จะได้เป็นสารละลายยัดเกาะ PVP K-90 นำมาเทใส่บนส่วนผสมผงยาและตัวยาช่วยที่เข้ากันดีที่บรรจุใน Planetary Mixer ผสมให้เข้ากันใช้เวลา 15 นาที จะได้เป็นมวลชื้น (damp mass) นำมาผ่านเครื่องแรง oscillating granulator ซึ่งติดตั้งแรงเบอร์ 14 จะได้แกรนูลเปียก นำมาทำแห้งในตู้อบแบบ Tray โดยใช้ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 4 ชั่วโมง จะได้แกรนูลแห้ง จากนั้นนำมาผ่านเครื่องแรงซึ่งติดตั้งแรงเบอร์ 18 นำสารช่วยภายนอกแกรนูล ได้แก่ sucralose, orange flavor, menthol, stearic acid, Aerosil® ผสมกับแกรนูลแห้งใน V-Blender ใช้เวลา 5 นาที นำส่วนผสมดังกล่าวมาตอกเป็นยาเม็ด โดยใช้เครื่องตอก Single Punch Tablet Machine ขนาด 13 มิลลิเมตร ผิวโค้งมาตรฐาน ตอกยาเม็ด น้ำหนักประมาณ 500 มิลลิกรัม

การประเมินคุณสมบัติทางกายภาพของยาเม็ดคอมแก์โอประสมมะแว้ง

ความแปรปรวนน้ำหนักยาเม็ด (weight Variation) สุ่มตัวอย่างยาเม็ด 20 เม็ด จากแต่ละตำรับ ชั่งน้ำหนัก คำนวณหาน้ำหนักเฉลี่ย ($\bar{x}$) และค่าเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ยจากสมการที่ (1) สำหรับยาเม็ดคอมแก์โอประสมมะแว้งมีน้ำหนักประมาณ 500 มิลลิกรัม ซึ่งหนักกว่า 324 มิลลิกรัม ผ่านเกณฑ์ <2091> Weight variation of dietary supplements, USP 40 (2017) ได้ จะต้องไม่มีเม็ดใดเบี่ยงเบนจากน้ำหนักยาเม็ดเฉลี่ยเกิน 10% และจะต้องไม่มากกว่า 2 เม็ดเบี่ยงเบนจากน้ำหนักยาเม็ดเฉลี่ยเกิน 5%

$$\% \text{ Deviation from mean} = \frac{x_i - \bar{x}}{\bar{x}} \cdot 100 \quad (1)$$

สัมประสิทธิ์ความแปรปรวนน้ำหนักยาเม็ด (Coefficient of Variation, CV) สุ่มตัวอย่างยาเม็ด 20 เม็ด จากแต่ละตำรับ แล้วชั่งน้ำหนักแต่ละเม็ด คำนวณหาน้ำหนักเฉลี่ย ($\bar{x}$) และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation, SD) คำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของน้ำหนักเป็นร้อยละ จากสมการที่ (2) โดยให้ค่าต่ำไม่เกินกว่าร้อยละ 2.0% (สมบุญรัตน์ เจริญผล, 2556)

$$\% \text{ Coefficient of Variation} = \frac{SD}{\bar{x}} \cdot 100 \quad (2)$$

ความหนายาเม็ด (Tablet Thickness) สุ่มตัวอย่างยาเม็ดจำนวน 10 เม็ด ใช้เครื่องวัดความหนายาเม็ด (thickness gauge, model FCL 827) หาค่าความหนายาเม็ดเฉลี่ยเป็นมิลลิเมตร และค่า SD (สมบูรณ์ เจตลีลา, 2556)

ความแข็งยาเม็ด (Tablet Hardness) สุ่มตัวอย่างยาเม็ดจำนวน 10 เม็ด ใช้เครื่องวัดความแข็งยาเม็ด หาค่าความหนายาเม็ดเฉลี่ย และค่า SD ยาเม็ดคอมแก๊วแต่ละตำรับจะผ่านเกณฑ์ได้ โดยค่าความแข็งยาเม็ดเฉลี่ยจะต้องมากกว่า 5.5 กิโลกรัม (สมบูรณ์ เจตลีลา, 2556)

ความกร่อนยาเม็ด (Tablet Friability) สุ่มตัวอย่างยาเม็ด โดยชั่งยาเม็ดให้มีน้ำหนักมากกว่า 6.5 กรัม เล็กน้อย สำหรับยาเม็ดที่มีน้ำหนักไม่เกิน 650 มิลลิกรัม ใช้เครื่องวัดความกร่อนยาเม็ด (tablet friabilitor, Roche model) ความเร็ว 100 รอบ ในเวลา 4 นาที ชั่งน้ำหนักอีกครั้งเพื่อหาน้ำหนักที่หายไป คำนวณหาค่าความกร่อนจากสมการที่ 3 ทำซ้ำ 3 ครั้ง หาค่าเฉลี่ย และค่า SD

$$\% \text{ Friability} = \frac{(\text{น้ำหนักยาเม็ดก่อนทดสอบ} - \text{น้ำหนักยาเม็ดหลังทดสอบ})}{\text{น้ำหนักยาเม็ดหลังทดสอบ}} \times 100 \quad (3)$$

ค่าความกร่อนที่ผ่านเกณฑ์ <1216> Tablet friability USP40 (2017) ไม่เกินร้อยละ 1.0

เวลาละลายยาเม็ดในปาก (Mouth dissolving time) โดยใช้ Disintegration Apparatus (USP Model A) ของ <2040> Disintegration of Dietary Supplements, USP 40 (2017) โดยสุ่มยาเม็ดจำนวน 6 เม็ด ใส่ลงในเครื่องทดสอบ ระยะเวลาที่ยาเม็ดละลายหมดใน phosphate buffer ซึ่งมี pH 6.8 ที่ 37 องศาเซลเซียส จะต้อง ≥ 30 นาที เพื่อให้ยาเม็ดกร่อนและละลายช้าๆ ออกมาใน buffer โดยไม่แตกตัวเป็นอนุภาคเล็กๆ (Choursiya & Andheriya, 2018) (Kini et al., 2011)

การประเมินอิทธิพลของตัวแปรต่อคุณสมบัติทางกายภาพของยาเม็ดโดยใช้หลักสถิติ

การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variances, ANOVA) จาก Single one-way ANOVA หาค่า pooled variance, s^2 โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ค่าความน่าจะเป็นน้อยกว่า 0.01 ($p < 0.01$) โดยมีระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99.0 (Bolton, 2012)

การเปรียบเทียบแบบพหุคูณ (Multiple Comparison) การเปรียบเทียบความต่างของชุดข้อมูลโดยเรียงไปตามลำดับค่าเฉลี่ยของแต่ละชุด โดยเฉพาะค่าที่อยู่ชิดติดกัน ใช้วิธี

least significant difference procedure (LSD) ในการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนจากค่าเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 1.0 (1.0% Allowance) จากสมการ:

$$1.0\% \text{ Allowance} = t \sqrt{s^2(1/n_i + 1/n_j)} \quad (4)$$

t = ค่าที่อ่านได้จาก T-distribution table ที่ degree of freedom ระหว่างกลุ่ม ซึ่งเท่ากับจำนวนตัวรับ $\times$ (จำนวนตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ - 1)

s^2 = pooled variance

n_i และ n_j = จำนวนตัวอย่างที่ใช้ทดสอบของชุดข้อมูล i และ j ตามลำดับ (Bolton, 2012)

ผลการทดลอง

การวิเคราะห์ความแปรปรวน

จากการทดลองการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยความหนา ความแข็ง ความกร่อน และเวลาละลายยาเม็ดในปาก ของยาเม็ดแต่ละตัวรับ ที่ $p < 0.01$ ได้ค่า pooled variance เท่ากับ 0.0044, 0.039, 0.0017 และ 1.05 ตามลำดับ (Bolton, 2012) ดังแสดงในตารางที่ 3 ที่ชี้ให้เห็นว่าค่าเฉลี่ยคุณสมบัติทางกายภาพยาเม็ดแต่ละพารามิเตอร์ให้ค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ กล่าวคือชนิดและปริมาณสารช่วยตอกตรงในตัวรับจะมีผลกระทบต่อค่าคุณสมบัติทางกายภาพเคมีของยาเม็ดแต่ละอันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.01$)

การเปรียบเทียบแบบพหุคูณ

การเปรียบเทียบแบบพหุคูณเป็นการเปรียบเทียบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูลใดๆที่เรียงตามลำดับ เมื่อมีผลกระทบจากชนิดและปริมาณสารช่วยตอกตรง โดยใช้วิธี LSD: 1.0% allowance จากค่าเฉลี่ยของค่าความหนายาเม็ด ความแข็งยาเม็ด ความกร่อนยาเม็ด และเวลาละลายยาเม็ดในปาก (LSD: 1% allowance, $\alpha = 0.01$, 2-tailed) ของยาเม็ดประสมมะแว้งที่คำนวณได้เท่ากับ 0.077 มิลลิเมตร, 0.23 กิโลกรัม, 0.10% และ 1.50 นาที ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การหาค่า 1.0% Allowance ของค่าคุณสมบัติทางกายภาพต่างๆ ของยาเม็ดอมแก้ไอประสมมะแว้ง 12 ตำรับ จากค่าความแปรปรวนที่ได้ โดยวิธี Least Significant Difference ที่ $\alpha=0.01$, 2-tailed

Item No.	Physical Properties	Variance [#] From ANOVA, s^2	df* within groups	Value of t ($\alpha=0.01$, 2-tailed)**	$1/n_i + 1/n_j$	1.0% Allowance
1	Tablet thickness, mm	0.0044	9x12=108	2.622	1/5	0.077 mm
2	Tablet hardness, kg	0.039	9x12=108	2.622	1/5	0.23 kg
3	Tablet friability, %	0.0017	2x12=24	2.797	2/3	0.10 %
4	Mouth dissolving time, min	0.958	5x1=60	2.660	1/3	1.50 min

[#] at $p < 0.01$, *df = degree of freedom, ** from t-distribution table (Bolton S., 2012)

ความแปรปรวนน้ำหนัทยาเม็ด

สุ่มยาเม็ดมา 20 เม็ด จากแต่ละตำรับของยาอมเม็ดแก้ไอประสมมะแว้ง 12 ตำรับ โดยมิก้าน้ำหนัทยาเม็ดเฉลี่ยที่ 504.3–506.8 มิลลิกรัม แต่ละตำรับมีค่าการเบี่ยงเบนจากน้ำหนักเฉลี่ยทั้งสูงสุดและต่ำสุด ดังแสดงในตารางที่ 4 แสดงให้เห็นว่ายาเม็ดอมแก้ไอประสมมะแว้งตำรับต่างๆ มีการเบี่ยงเบนของน้ำหนัทยาเม็ดสูงสุดเท่ากับ 1.34 ถึง 3.39% จากน้ำหนัทยาเม็ดเฉลี่ย มีการเบี่ยงเบนของน้ำหนัทยาเม็ดต่ำสุดเท่ากับ -1.04 ถึง -3.69% จากน้ำหนัทยาเม็ดเฉลี่ย

สัมประสิทธิ์ความแปรปรวนน้ำหนัทยาเม็ด

ยาเม็ดอมแก้ไอประสมมะแว้งตำรับต่างๆ ให้ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนน้ำหนัทยาเม็ดเป็นร้อยละ ดังแสดงผลในตารางที่ 3 ตำรับ 1 มีค่า CV เกินเกณฑ์มาตรฐาน 2.0% ที่ตั้งไว้ ส่วนตำรับ 2-12 มีค่า CV อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน 2.0% เท่ากับ 0.75-1.99%

ตารางที่ 3 แสดงค่าความแปรปรวนของน้ำหนักและสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนน้ำหนักของยาเม็ดประสมมะแว้ง 12 ตำรับ ซึ่งมีการแปรผันปริมาณของสารช่วยตกตรงและมอลโทโรเดกซ์ทริน

ตำรับ	สารช่วยตกตรง (DCF)	ปริมาณสารในยาเม็ด 1 เม็ด, มิลลิกรัม		ค่าเฉลี่ย $\bar{X}$, mg	Maximum Deviation, %		Meet Weight Variation Criteria	Coefficient of Variation, %CV	Low (< 1%CV) or Moderate (1-2%CV)
		DCF	MDX		+ve	-ve			
1		200	0	506.8	3.39	-2.53	Pass	2.06	High
2	MCC	160	40	505.7	3.03	2.51	Pass	1.99	Moderate
3	PH-101	120	80	504.4	1.91	3.04	Pass	1.71	Moderate
4		80	120	505.1	2.95	-2.00	Pass	1.66	Moderate
5		200	0	506.1	2.55	-1.99	Pass	1.39	Moderate
6	MCC	160	40	505.2	2.53	-1.62	Pass	0.99	Low
7	PH-102	120	80	504.8	1.83	-1.34	Pass	0.92	Low
8		80	120	504.3	1.34	-1.04	Pass	0.75	Low
9		200	0	505.7	3.23	-3.69	Pass	1.90	Moderate
10		160	40	506.7	2.44	-2.50	Pass	1.44	Moderate
11	DCPD	120	80	506.1	2.76	-1.99	Pass	1.28	Moderate
12		80	120	504.8	1.63	-1.14	Pass	0.83	Low

MCC = Microcrystalline cellulose,

DCPD = Dibasic calcium phosphate dehydrate

ความแข็งยาเม็ด ความหนายาเม็ด ความกร่อนยาเม็ด เวลาละลายยาเม็ดในปาก

ค่าความหนายาเม็ดเฉลี่ย ความแข็งยาเม็ดเฉลี่ย ค่าความกร่อนยาเม็ดเฉลี่ย เวลาละลายยาเม็ดในปากเฉลี่ย ของยาเม็ดอมแก้ไอประสมมะแว้ง 12 ตำรับ เรียงตำรับที่ใช้ MCC PH 101 คือตำรับ 1-4 MCC PH-102 คือตำรับ 5-8 และ DCPD คือตำรับ 9-12 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4 พบว่า ตำรับที่ใช้ MCC PH-102 คือตำรับ 7, 8 และ DCPD คือตำรับ 11, 12 ผ่านเกณฑ์ยาอมเม็ดแก้ไอ คือ ตำรับที่ 7 ให้ค่าความแปรปรวนน้ำหนักต่ำ ค่าความแข็งยาเม็ดเฉลี่ยเท่ากับ 6.4 กิโลกรัม ค่าความหนายาเม็ดเฉลี่ยเท่ากับ 3.758 มิลลิเมตร ค่าความกร่อนยาเม็ดเฉลี่ยเท่ากับ 0.11% เวลาละลายยาเม็ดในปากเฉลี่ยเท่ากับ 40.01 นาที ตำรับที่ 8 ให้ค่าความแปรปรวนน้ำหนักต่ำ ค่าความแข็งยาเม็ดเฉลี่ยเท่ากับ 6.0 กิโลกรัม ค่าความหนายาเม็ดเฉลี่ยเท่ากับ 3.757 มิลลิเมตร ค่าความกร่อนยาเม็ดเฉลี่ยเท่ากับ 0.30% เวลาละลายยาเม็ดในปากเฉลี่ยเท่ากับ 38.91 นาที ตำรับที่ 11 ให้ค่าความแปรปรวนน้ำหนัก

ปานกลาง ค่าความแข็งยาเม็ดเฉลี่ยเท่ากับ 5.3 กิโลกรัม ค่าความหนายาเม็ดเฉลี่ยเท่ากับ 3.733 มิลลิเมตร ค่าความกร่อนยาเม็ดเฉลี่ยเท่ากับ 0.39% เวลาละลายยาเม็ดในปากเฉลี่ยเท่ากับ 32.47 นาที ตำรับที่ 12 ให้ค่าความแปรปรวนน้ำหนักต่ำ ค่าความแข็งยาเม็ดเฉลี่ยเท่ากับ 6.8 กิโลกรัม ค่าความหนายาเม็ดเฉลี่ยเท่ากับ 3.721 มิลลิเมตร ค่าความกร่อนยาเม็ดเฉลี่ยเท่ากับ 0.11% เวลาละลายยาเม็ดในปากเฉลี่ยเท่ากับ 45.01 นาที

ตารางที่ 4 แสดงค่าพารามิเตอร์เฉลี่ย (mean parameter) ของยาเม็ดว่าเข้าเกณฑ์ยาอมเม็ดแก้ไอที่ตั้งไว้หรือไม่ ของยาเม็ดประสมมะแว้ง 12 ตำรับ

ตำรับ	สารช่วย ตอกรตรง (DCF)	ปริมาณสาร ในยาเม็ด			Meet Criteria of Cough Tablets or not (meet: say Yes, not meet: say No)			
		Thickness,			Mount			
		DCF, mg	MDX, mg	mm	Hardness ≥ 5.5 kg	Friability < 1.0%	Dissolving Time, ≥ 30 min	Cough Tablets
1		200	0	3.893	3.9 kg	1.47%	19.23 min	No
2	MCC	160	40	3.833	4.0 kg	1.32%	21.75 min	No
3	PH-101	120	80	3.812	4.6 kg	1.20%	24.93 min	No
4		80	120	3.804	4.7 kg	1.22%	26.65 min	No
5		200	0	3.811	4.4 kg	0.30%	24.10 min	No
6	MCC	160	40	3.801	4.6 kg	1.22%	25.94 min	No
7	PH-102	120	80	3.758	6.4 kg	0.11%	38.51 min	Yes
8		80	120	3.757	6.0 kg	0.30%	37.41 min	Yes
9		200	0	3.774	3.8 kg	1.47%	18.51 min	No
10	DCPD	160	40	3.748	4.3 kg	1.34%	22.47 min	No
11		120	80	3.733	5.3 kg [@]	0.39%	30.96 min	Yes
12		80	120	3.721	6.8 kg	0.11%	39.01 min	Yes

* MCC = Microcrystalline cellulose [#] DCPD = Dibasic calcium phosphate dihydrate

[@] not differ from 5.5 kg significantly

อภิปรายผล

ความแปรปรวนน้ำหนักรากเม็ดยา

ทำการสุ่มยาเม็ด 20 เม็ด ของตำรับยาอมเม็ดแก้ไอประสมมะแว้ง 12 ตำรับ โดยมีค่าน้ำหนักเฉลี่ยที่ 504.3–506.8 มิลลิกรัม ซึ่งเป็นเกณฑ์ของน้ำหนักเฉลี่ยที่มากกว่า 324 มิลลิกรัม โดยมีการเบี่ยงเบนจากน้ำหนักเฉลี่ยไม่เกิน 5.0% จากตารางที่ 4 แสดงให้เห็นว่ายาเม็ดอมแก้ไอ มีการเบี่ยงเบนจากน้ำหนักยาเม็ดเฉลี่ย ไม่เกิน 5.0% ความแปรปรวนของน้ำหนักยาเม็ด ทั้ง 12 ตำรับ จะเข้ามาตรฐานตามเกณฑ์ของ Dietary Supplements, USP 40 (2017)

สัมประสิทธิ์ความแปรปรวนน้ำหนักรากเม็ดยา

ทั้ง 3 กลุ่มตำรับที่แปรผันปริมาณสารช่วยตอกรตรงต่างๆ พบว่าการเพิ่มมอลโทเร็กซ์ตริน (MDX) จาก 0 มิลลิกรัมต่อเม็ดยา เป็น 40, 80 และ 120 มิลลิกรัม/เม็ดยา ตามลำดับ เหมือนกันทั้ง 3 กลุ่มตำรับ จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนน้ำหนักรากเม็ดยาลดลงจากการทดลองพบว่ากลุ่มตำรับสองที่ใช้ MCC PH-102 และกลุ่มตำรับสามที่ใช้ DCPD ที่มอลโทเร็กซ์ตริน 80 และ 120 มิลลิกรัม/เม็ดยา ให้ค่าดังกล่าวต่ำ สารช่วยตอกรตรงที่เลือกมาทำการพัฒนาตำรับ คือ MCC PH-102 ในปริมาณ 120 และ 80 มิลลิกรัม/เม็ดยา จะให้ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของน้ำหนักรากเม็ดยาเท่ากับ 0.92% และ 0.75% ตามลำดับ และ DCPD ในปริมาณ 120 และ 80 มิลลิกรัม/เม็ดยา จะให้ค่าเช่นนี้เท่ากับ 1.28% และ 0.83% ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Rowe et al., 2009a) Avicel® PH-102 พบว่าชนิดแกรนูลขนาดเฉลี่ย 100 ไมโครเมตร ช่วยในการยึดเกาะอนุภาคสมุนไพร ได้ดีกว่า DCPD และ MCC PH-101 ตามลำดับ ทำให้เป็นแกรนูลที่แข็งดีขึ้น และเกิดผงละเอียด (fine) น้อยที่สุด ตรงกันข้ามเมื่อใช้ MCC PH-101 ชนิดผงขนาดเฉลี่ย 50 ไมโครเมตร เป็นสารยึดเกาะ พบว่าอนุภาคสมุนไพรยึดเกาะกันไม่ดี

ความแข็งแรงยาเม็ด

ทั้ง 3 กลุ่มตำรับที่ใช้ MCC PH-101, MCC PH-102 และ DCPD พบว่าเมื่อเพิ่ม MDX ในตำรับครั้งละ 40 มิลลิกรัม/เม็ดยา จาก 0 เป็น 40, 80 และ 120 มิลลิกรัม/เม็ดยา จะทำให้ค่าความแข็งแรงยาเม็ดเฉลี่ยมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นสำหรับกลุ่มตำรับแรกที่ใช้ MCC PH-101 หรือกลุ่มตำรับสองที่ใช้ MCC PH-102 และเพิ่มอย่างมีนัยสำคัญสำหรับกลุ่มตำรับสามที่ใช้ DCPD ยกเว้นตำรับ 7 ที่ใช้ MCC PH-102 การเพิ่ม MDX จาก 80 เป็น 120 มิลลิกรัม/เม็ดยา

ของตำรับ 8 จะทำให้ความแข็งแรงลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนกลุ่มตำรับแรกที่ใช้ MCC PH-101 ให้ความแข็งแรงที่ยังไม่ผ่านเกณฑ์ 5.5 กิโลกรัม

สารช่วยตอกตรงที่น่าจะเลือกมาทำการพัฒนาตำรับต่อไป คือ MCC PH-102 และ DCPD ในปริมาณที่เลือกมาใช้คือ 120 และ 80 มิลลิกรัม/ยาเม็ด 1 เม็ด ตามลำดับ สำหรับ MCC PH-102 ที่ 2 ปริมาณเช่นว่า จะให้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยาเม็ดเท่ากับ 6.4 และ 6.0 กิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ 5.5 กิโลกรัม ที่ตั้งไว้ อย่างมีนัยสำคัญ (LSD: 1.0% allowance=0.23 kg, $\alpha=0.01$, 2-tailed) ตามลำดับ ในขณะที่ DCPD ให้ค่าดังกล่าวเท่ากับ 5.3 กิโลกรัม ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับเกณฑ์ที่ตั้งไว้ และ 6.8 กิโลกรัม ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้อย่างมีนัยสำคัญ (LSD: 1.0% allowance=0.23 kg, $\alpha=0.01$, 2-tailed) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยยาเม็ด Hydrochlorothiazide ที่รายงานว่า การใช้ MCC PH-102 ให้ความต้านทานแรงดึง (tensile strength) ในการยัดเกาะเป็นยาเม็ดสูงกว่ายาเม็ดที่ใช้ MCC PH-101 ความแข็งแรงจึงมากกว่า (Landin et al., 1993) และนำไปประโยชน์ในงานออกฤทธิ์นานของยาเม็ดแก๊โอเช่นกัน ส่วนแรงยึดเกาะของ DCPD ใช้เปลี่ยนรูปร่างแบบแตกละเอียดแล้วประสานกัน (brittle fracture) ใช้เป็นสารช่วยตอกตรงเช่นเดียวกัน (Rowe et al., 2009b)

ความหนายาเม็ด

ใน 2 กลุ่มตำรับที่ใช้ MCC PH-102 และ DCPD พบว่าเมื่อเพิ่ม MDX ในตำรับ ครั้งละ 40 มิลลิกรัม/เม็ดยา จาก 0 เป็น 40, 80 และ 120 มิลลิกรัม/เม็ดยา จะทำให้ค่าความหนายาเม็ดเฉลี่ยมีแนวโน้มที่จะลดลงอย่างไม่มีนัยสำคัญ ส่วนกรณีเมื่อใช้ MCC PH-101 การเปลี่ยนปริมาณ MDX จาก 0 มิลลิกรัม/เม็ดยา เป็น 80 หรือ 120 มิลลิกรัม/เม็ดยา ค่าความหนายาเม็ดเฉลี่ยจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (LSD: 1.0% allowance=0.077 mm, $\alpha=0.01$, 2-tailed)

ปรากฏการณ์ 2 กลุ่ม สามารถอธิบายได้ว่าเพราะแรงยึดเกาะที่เกิดจากพอลิเมอร์ของเดกโตรสใน MDX ที่ปริมาณมากเพิ่มขึ้นในตำรับ ทำให้การยึดเกาะระหว่างอนุภาคสมุนไพรเป็นแกรนูลที่ความหนาแน่นรวม (bulk density, ρ_b) เพิ่มขึ้น จึงมีผลทำให้ยาเม็ดแก๊โอที่ได้จะมีความหนายาเม็ดเฉลี่ยลดลง ส่วนสารช่วยตอกตรงที่ใช้ 3 ชนิดนั้น จากประสิทธิภาพในการลดความหนายาเม็ดเฉลี่ย พบว่า DCPD > MCC PH-102 > MCC PH-101 ทำให้ความหนายาเม็ดเฉลี่ยเมื่อใช้ DCPD < เมื่อใช้ MCC PH-102 < เมื่อใช้ MCC PH-

101 ที่เป็นเช่นนี้เพราะ DCPD มีความหนาแน่นรวม, ρ_b (0.915 กรัม/มิลลิลิตร) $> \rho_b$ ของ Avicel[®] PH-102 (0.280-0.330 กรัม/มิลลิลิตร) $> \rho_b$ ของ MCC PH-101 (0.260-0.310 กรัม/มิลลิลิตร) เมื่อกลุ่มสามที่ใช้ DCPD เป็นแกรนูลที่มีความหนาแน่นรวมสูงสุด ทำให้ตอกยาเม็ดได้ความหนาเยื่อเคลือบที่ต่ำที่สุด $<$ ความหนาเยื่อเคลือบของกลุ่มสองที่ใช้ MCC PH-102 $<$ ความหนาเยื่อเคลือบของกลุ่มแรกที่ใช้ MCC PH-101 (Rowe et al., 2009a)

สารช่วยตอกตรงที่นำมาเลือกมาพัฒนาตำรับ คือ MCC PH-102 และ DCPD ในปริมาณที่เลือกมาใช้คือ 120 และ 80 มิลลิกรัม/เม็ดยา ตามลำดับ สำหรับ MCC PH-102 จะให้ค่าความหนาเยื่อเคลือบเท่ากับ 3.758 และ 3.757 มิลลิเมตร ตามลำดับ ในขณะที่ DCPD ให้ค่าดังกล่าวเท่ากับ 3.733 และ 3.721 มิลลิเมตร ตามลำดับ ซึ่งค่าความหนาเยื่อเคลือบดังกล่าวที่เหมาะสมไม่หนาเกินไป ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Rowe et al., 2009a) พบว่า DCPD มีค่าเฉลี่ยความหนาเยื่อน้อยกว่า MCC PH-102 และ MCC PH-101 ตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้เพราะ DCPD มีความหนาแน่นรวม คือ 0.915 กรัม/มิลลิลิตร ซึ่งมากกว่า MCC PH-102 คือ 0.280-0.330 กรัม/มิลลิลิตร และ MCC PH-101 คือ 0.260-0.310 กรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ

ความกร่อนยาเม็ด

ทั้ง 3 กลุ่มตำรับที่ใช้ MCC PH-101, MCC PH-102 และ DCPD พบว่าเมื่อเพิ่ม MDX ในตำรับ จาก 0 หรือ 40 มิลลิกรัม/เม็ดยา เป็น 80 หรือ 120 มิลลิกรัม/เม็ดยา จะให้ค่าความกร่อนยาเม็ดเฉลี่ยที่มีแนวโน้มที่จะลดลงทีละน้อยสำหรับกลุ่มตำรับแรกที่ใช้ MCC PH-101 แต่จะให้ค่าความกร่อนยาเม็ดเฉลี่ยที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ สำหรับกลุ่มตำรับสองที่ใช้ MCC PH-102 และกลุ่มตำรับสามที่ใช้ DCPD (LSD: 1.0% allowance=0.10%, $\alpha=0.01$, 2-tailed) และลดต่ำกว่า 1.0% ซึ่งผ่านเกณฑ์ความกร่อนยาเม็ดของ (USP 40, 2017) จากประสิทธิภาพในการลดความกร่อนยาเม็ดเฉลี่ย พบว่า MCC PH-102 ขนาดอนุภาคเฉลี่ย 100 ไมครอน และ DCPD ดีกว่า MCC PH-101 มากมาย ขนาดอนุภาคเฉลี่ย 50 ไมครอน อาจสามารถอธิบายจาก (Rowe et al., 2009a) ได้ว่าให้แรงยึดเกาะระหว่างอนุภาคสมุนไพรในยาเม็ดดีกว่าของยาเม็ดที่ใช้ Avicel[®] PH-101 ที่ขนาดเล็กกว่า โดย MCC ระหว่างตอกยาเม็ดจะเปลี่ยนรูปร่างแบบพลาสติก ซึ่งผลคล้ายคลึงกันกับงานวิจัยยาเม็ด Hydrochlorothiazide ที่วิจัยโดย (Landin et al., 1993) และนำไปในงานออกฤทธิ์นาน

ของยาอมเม็ดแก้ไอเช่นกัน ส่วนของ DCPD ระหว่างตอกยาเม็ดเปลี่ยนรูปร่างแบบแตก
ละเอียดแล้วประสานกัน สามารถใช้ในงานออกฤทธิ์นานของยา (Rowe et al., 2009b)

สารช่วยตอกตรงที่เลือกมาพัฒนาตำรับ คือ MCC PH-102 และ DCPD ในปริมาณที่
ใช้คือ 120 และ 80 มิลลิกรัม/เม็ดยา ตามลำดับ สำหรับ MCC PH-102 ที่ 2 ปริมาณเช่นว่า
จะให้ค่าเฉลี่ยความกร่อนยาเม็ดเท่ากับ 0.11% และ 0.30% ตามลำดับ ซึ่งผ่านเกณฑ์ที่น้อยกว่า
1.0% ตามที่กำหนดในเภสัชตำรับ (USP 40<1216>, 2017) ในขณะที่เมื่อใช้ DCPD ให้ค่า
ดังกล่าวเท่ากับ 0.11% และ 0.39% ตามลำดับ ซึ่งผ่านเกณฑ์ที่น้อยกว่า 1.0% เช่นกัน

เวลาละลายยาเม็ดในปาก

ทั้ง 3 กลุ่มตำรับที่ใช้ MCC PH-101, MCC PH-102 และ DCPD พบว่าเมื่อเพิ่ม
MDX ในตำรับครั้งละ 40 มิลลิกรัม/เม็ดยา จาก 0 มิลลิกรัม/เม็ดยา เป็น 40, 80 และ 120
มิลลิกรัม/เม็ดยา จะทำให้ค่าเวลาละลายยาเม็ดในปากเฉลี่ยเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ สำหรับ
กลุ่มตำรับแรกที่ใช้ MCC PH-101 กลุ่มตำรับสองที่ใช้ MCC PH-102 และกลุ่มตำรับสามที่
ใช้ DCPD ให้ค่าเวลาเวลาละลายยาเม็ดในปากเฉลี่ยเพิ่มอย่างมีนัยสำคัญ จนถึงเมื่อ MDX
เป็น 80 มิลลิกรัม/เม็ดยา ของตำรับ 7 การเพิ่ม MDX จาก 80 เป็น 120 มิลลิกรัม/เม็ดยา
ของตำรับ 8 จะทำให้ค่าเวลาแตกตัวยาเม็ดเฉลี่ยลดลงอย่างมีนัยสำคัญ สำหรับกลุ่มตำรับ
แรกที่ใช้ MCC PH-101 ให้ค่าเวลาละลายยาเม็ดในปากเฉลี่ย ที่ยังไม่ผ่านเกณฑ์ 30 นาที
ที่ตั้งไว้ (Chaerunisaa et al., 2019) รายงานว่า MCC PH-102 ใช้ดีมากในงานออกฤทธิ์นาน
เพราะให้การยึดเกาะที่ดีกว่า MCC PH-101 มาก (Chaerunisaa et al., 2019) ซึ่งผล
คล้ายคลึงกันกับงานวิจัยยาเม็ด Hydrochlorothiazide ของ (Landin et al., 1993) ที่พบว่า
MCC PH-102 ให้ tensile strength ในการยึดเกาะเป็นยาเม็ดสูงกว่า MCC PH-101 ยาเม็ด
ตำรับที่ใช้ MCC PH-102 จึงละลายในปากได้ช้ากว่าเมื่อใช้ MCC PH-101

สารช่วยตอกตรงที่น่าจะเลือกมาพัฒนาตำรับ คือ MCC PH-102 และ DCPD ใน
ปริมาณที่เลือกมาใช้คือ 120 และ 80 มิลลิกรัม/ยาเม็ด 1 เม็ด ตามลำดับ สำหรับ MCC PH-
102 ให้ค่าเวลาละลายยาเม็ดในปากเฉลี่ยเท่ากับ 38.51 นาที และ 37.41 นาที ตามลำดับ
ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ 30 นาที ที่ตั้งไว้อย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ DCPD ให้ค่าดังกล่าวเท่ากับ
30.96 นาที และ 39.01 นาที ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ 30 นาที ที่ตั้งไว้อย่างมีนัยสำคัญ
เช่นกัน (LSD: 1.0% allowance=1.50 min, $\alpha=0.01$, 2-tailed) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย
ยาเม็ด Hydrochlorothiazide ที่รายงานว่าการใช้ MCC PH-102 ให้ความต้านทานแรงดึง

(tensile strength) ในการเกาะเป็นยาเม็ดสูงกว่าตำรับยาเม็ดที่ใช้ MCC PH-101 จึงทำให้ MCC PH-101 แตกตัวในน้ำได้เร็ว (Landin et al., 1993) ส่วนแรงยึดเกาะระหว่างอนุภาคที่ได้จาก DCPD ใช้เปลี่ยนรูปร่างแบบแตกละเอียดแล้วประสานกัน (brittle fracture) ใช้ในงานออกฤทธิ์นานเช่นเดียวกัน (Rowe et al., 2009b)

สรุปผลการวิจัย

ตำรับยาเม็ดอมแก้ไอประสะมะแว้งรสสมหวานเปรี้ยวที่มี PVP K-90 ปริมาณ 3.0% ที่เลือกมาพัฒนาตำรับ ของตำรับคือ MCC PH-102 และ DCPD ในปริมาณที่ 120 และ 80 มิลลิกรัม เนื่องจากยาเม็ดอมแก้ไอประสะมะแว้งตำรับดังกล่าวมีคุณสมบัติให้ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนน้ำหนักต่ำ ค่าความแข็งยาเม็ดเกินกว่า 5.5 กิโลกรัม ค่าความกร่อนต่ำกว่ายาเม็ด 1.0% เวลาละลายยาเม็ดในปากมากกว่า 30 นาที ผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่ตั้งไว้ เพราะ MCC PH-102 เป็นผงขนาด 100 ไมโครเมตร ช่วยในการยึดเกาะอนุภาคสมุนไพรมาก แกลนูลแข็งขึ้น เกิดผงละเอียดน้อย ซึ่งดีกว่าเมื่อใช้ MCC PH-101 ที่มีขนาด 50 ไมโครเมตร มีผลทำให้เกิดแรงเสียดทานต่ำ ความแปรปรวนน้ำหนักลดลง ความแข็งเพิ่มขึ้น ความกร่อนต่ำ การละลายยาเม็ดในปากช้าลง เมื่อใช้ DCPD จะให้ตำรับที่คุณสมบัติทางกายภาพดีรองลงมา ตำรับที่ใช้ DCPD ให้ค่าความหนาต่ำสุด เพราะแกรนูลมีความหนาแน่นรวมสูง จึงตอกยาเม็ดได้บางที่สุด ส่วนตำรับใช้ MCC PH-102 ให้แกรนูลที่มีค่าความหนาแน่นรวมรองลงมา จึงให้ค่าความหนายาเม็ดเพิ่มขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอาจารย์ภาควิชาแพทย์แผนไทย คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

เอกสารอ้างอิง

กองวิจัยทางการแพทย์. (2528). *สมุนไพรพื้นบ้าน ตอนที่ 1*: หน้า 15, 68, 72, 79, 81.

กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์กรมวิทยาศาสตร์ การแพทย์ฯ.

คณะกรรมการพัฒนาระบบยาแห่งชาติ. (2562). *ยาประสะมะแว้ง ชนิดผง*. บัญชียาจากสมุนไพรบัญชียาหลักแห่งชาติ พ.ศ. 2562: หน้า 42.

- จิตยา เย็นประสิทธิ์ และ สุกฤษฎ์ แสงแก้ว. (2552). การพัฒนาตำรับยาเม็ดของยาประสะมะแว้ง. *โครงการพิเศษส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาเภสัชศาสตรบัณฑิต คณะเภสัชศาสตร์, มหาวิทยาลัยมหิดล*.
- มาลี บรรจบ. (2535). กระบวนการผลิตยาเม็ดแก้ไอขับเสมหะสูตรพัฒนาจากยาประสะมะแว้ง. *ไทยเภสัชสาร, 16(1), 89-100*.
- วันทนี หาญช้าง. (2549). *ฤทธิ์ด้านการอักเสบและต้านอาการคันของสารสกัดจากผลมะแว้งเครือ*. (วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเภสัชศาสตร์ชีวภาพ, มหาวิทยาลัยมหิดล).
- สมบูรณ์ เจตลีลา. (2556). *ผลิตภัณฑ์สมุนไพรตอนที่ 2: มาตรฐานทางกายภาพของยาเม็ดสมุนไพร*. สืบค้นเมื่อวันที่ 12 ธันวาคม 2561, จาก <http://www.pharmacy.mahidol.ac.th/th/knowledge/article/154/>.
- Bolton, S. (2012). *Statistics: Multiple comparison in ANOVA*. In Troy DB. ed. Rhemington: The science and practice of pharmacy. 22nd ed. London: Pharmaceutical Press.
- Chaerunisaa, A. Y., Sriwidodo, S., & Abdassah, M. (2019). *Microcrystalline cellulose as pharmaceutical excipient*. *Pharmaceutical Formulation Design: Recent Practices*. Retrieved 3 July, 2020.
- Choursiya, S., & Andheriya, D. (2018). Review on Lozenges. *Journal of Drug Delivery & Therapeutics, 8(6-A), 124-128*.
- Deb, P. K., Ghosh, R., Chakraverty, R., Debnath, R., Das, L., & Bhakta, T. (2014). Phytochemical and Pharmacological Evaluation of Fruits of *Solanum indicum* L. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research, 25(2), 28-32*.
- Jayakumar, K., & Murugan, K. (2016). Solanum Alkaloids and their Pharmaceutical Roles: A Review. *Journal of Analytical & Pharmaceutical Research, 3(6), 75-89*.

- Kini, R., Rathnanand, M., & Kamath, D. (2011). Investigating the suitability of isomalt and liquid glucose as sugar substitute in the formulation of Salbutamol Sulfate hard candy lozenges. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 3(4), 69-75.
- Landín, M., González, M. P., Souto, C., Concheiro, A., Gómez-Amoza, J. L., & Martínez-Pacheco, R. (1993). Comparison of two Varieties of Microcrystalline Cellulose as Filler-Binders II. Hydrochlorothiazide Tablets. *Drug Development and Industrial Pharmacy*, 19, 1211-1220.
- Rowe, R. C., Sheskey, P. J., & Quin, M. E. (2009a). *Calcium phosphate, dibasic dihydrate*. Handbook of Pharmaceutical Excipients. London: RPS Publishing.
- Rowe, R. C., Sheskey, P. J., & Quin, M. E. (2009b). *Cellulose, microcrystalline*. Handbook of Pharmaceutical Excipients. London: RPS Publishing.
- The United States Pharmacopeia Convention. (2017). *Tablet friability 1216*. USP 40 The National Formulary. (p. 1749). Maryland: The United States Pharmacopeia Convention Inc.
- The United States Pharmacopeia Convention. (2017). *Disintegration of dietary supplements 2040*. USP 40 The National Formulary. (p. 2270-2272). Maryland: The United States Pharmacopeia Convention Inc.
- The United States Pharmacopeia Convention. (2017). *Weight variation of dietary supplements 2091*. USP 40 The National Formulary. (p. 2277-2278). Maryland: The United States Pharmacopeia Convention Inc.

การพัฒนาผลิตภัณฑ์พลาสติกแดดเดียวทอดกรอบโดยใช้ตู้อบลมร้อน THE PRODUCT DEVELOPMENT OF CRISPY FRIED SUN-DRIED GOURAMI BY USING HOT-AIR OVEN

วิจิตรา เหลียวตระกูล* และ วชิรญา เหลียวตระกูล
Wijitra Liaotrakoon* and Vachiraya Liaotrakoon

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
Department of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Technology and Agro-
Industry, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi

Received: 3 November 2020

Accepted: 19 May 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์พลาสติกแดดเดียวทอดกรอบโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่ 70 องศาเซลเซียส นาน 0, 30 และ 60 นาที โดยศึกษาคุณค่าทางโภชนาการทางประสาทสัมผัส และอายุการเก็บรักษาพบว่า ระหว่างกระบวนการแปรรูปพลาสติกแดดเดียวในขั้นตอนทำความสะอาด ตากแดด และตัดแต่งและทอด มีปริมาณผลพลริ้อยละ 64.36, 56.58 และ 27.84 เมื่อเทียบกับพลาสติกสดตามลำดับ หลังจากทอดนำไปอบด้วยตู้อบลมร้อนพบว่า เมื่อเวลาในการอบนานขึ้น ทำให้ปริมาณไขมันน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ผู้บริโภคให้คะแนนพลาสติกทอดที่อบแห้งนาน 60 นาที ด้านเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมมากที่สุด ($p \leq 0.05$) ในขณะที่คะแนนด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัสไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) พลาสติกแดดเดียวทอดกรอบ 100 กรัม มีโปรตีน 64.27 กรัม และให้พลังงาน 480.70 กิโลแคลอรี เมื่อเก็บรักษาพลาสติกแดดเดียวทอดกรอบในสภาวะสุญญากาศพบว่า เมื่อเก็บไว้นาน 90 วันที่อุณหภูมิห้อง ทำให้ปริมาณ

* ผู้ประสานงาน: วิจิตรา เหลียวตระกูล
อีเมล: L_wijitra@hotmail.com

จุลินทรีย์ทั้งหมดเพิ่มขึ้นจาก 24 เป็น 505 CFU/g และปริมาณน้ำอิสระเพิ่มจาก 0.48 เป็น 0.56 ซึ่งยังเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน

คำสำคัญ: ปลาสดิตแดดเดียว, อาหารสุขภาพ, คุณค่าทางโภชนาการ, อายุการเก็บรักษา

Abstract

The objective of this research was to develop a product of crispy sun-dried gourami by using a hot-air oven at 70 °C for 0, 30 and 60 minutes by aiming at studying the nutritional value, sensory and shelf life. During the processing of sun-dried gourami in the cleaning, sun-drying, trimming and frying procedures with 64.36, 56.58 and 27.84 percentage of production yields respectively compared to the fresh fish. After the deep-frying procedure, the samples were dried in a hot-air oven. It was found that when the baking time was longer, the fat amount in the sample was significantly reduced ($p \leq 0.05$). The consumers rated the crispy sun-dried gourami at 60 minutes drying for texture and overall preference the most ($p < 0.05$), while the scores on the appearance, color, smell, taste and texture were not different ($p > 0.05$). The crispy sun-dried gourami (100 grams) contained 64.27 grams of protein and 480.70 kilocalories. It revealed that the crispy sun-dried gourami storage under the vacuum conditions for 90 days at room temperature, found that the total microbial count was increased from 24 to 505 CFU/g and the water activity was increased from 0.48 to 0.56 as well, which was compliant with the Community Product Standard.

Keywords: Sun-Dried Gourami, Health Food, Nutritional Value, Shelf Life

บทนำ

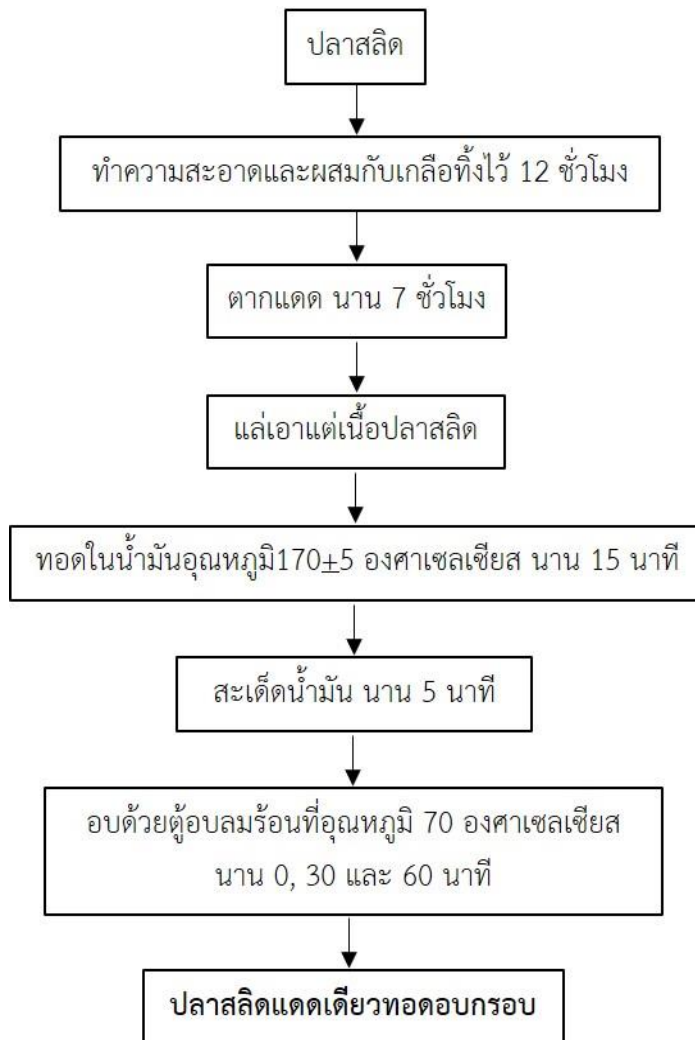
พลาสติก (*Trichogaster pectoralis* Regan) เป็นปลาน้ำจืดที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย พลาสติกมีคุณค่าทางโภชนาการอุดมด้วยโปรตีน แคลเซียม และฟอสฟอรัส รวมทั้งมีกรดไขมันปาล์มมิติก (Palmitic Acid) และกรดโอเลอิก (Oleic Acid) เป็นหลัก (วารุณี สุวรรณจงสถิต และคณะ, 2547) ส่วนใหญ่นิยมนำพลาสติกมาตากแห้งเป็นพลาสติกแดดเดียวเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาพลาสติกให้นานขึ้น และสะดวกในการขนส่ง นอกจากนี้ยังมีการนำพลาสติกมาพัฒนาต่อยอดเพื่อเพิ่มความหลากหลายและสร้างมูลค่ามากขึ้น อาทิเช่น พลาสติกทอดกรอบ ซึ่งการทอด จะทำให้น้ำในอาหารระเหยกลายเป็นไอน้ำมันจะเข้าแทนที่รูพรุนในผิวของอาหารเกิดเป็นเป็นชั้นฟิล์มน้ำมันแบบเปียกบาง ๆ (Boundary Film) และความร้อนจากการทอดจะทำให้อาหารมีความชื้นลดลง และทำลายจุลินทรีย์ในอาหารได้ (ตรีนัฐ โพธารส และหทัยทิพย์ นิमितเกียรติไกล, 2559) อย่างไรก็ตามในกระบวนการผลิตมีการใช้น้ำมัน จึงทำให้ผลิตภัณฑ์หลังทอดมีปริมาณไขมันสูงและอาจก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) ส่งผลให้เกิดกลิ่นเหม็นหืน และไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค การทอดทำให้ปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์ลดลง แต่ปริมาณน้ำมันเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะที่ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ หลังจากผ่านกระบวนการทอดแล้ว การอบจะช่วยให้ลดปริมาณน้ำมันในผลิตภัณฑ์หลังการทอดได้ (วรพรรณ บัญชาจารย์รัตน์ และคณะ, 2552) จึงต้องมีการพัฒนากระบวนการอบเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์พลาสติกแดดเดียวทอดอบกรอบที่เป็นอาหารเพื่อสุขภาพ และมีความสะดวกในการบริโภคโดยการพัฒนาเป็นอาหารพร้อมรับประทานที่สามารถตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคได้

ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์พลาสติกแดดเดียวทอดและอบกรอบโดยใช้ตู้อบลมร้อน โดยการศึกษากระบวนการผลิตและอุณหภูมิการอบ ศึกษาคุณค่าทางโภชนาการ คุณภาพทางประสาทสัมผัส และศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์พลาสติกแดดเดียวทอดอบกรอบ ซึ่งเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มในมิติอาหารเพื่อสุขภาพและเป็นทางเลือกใหม่ให้แก่ผู้บริโภคอีกด้วย

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. การแปรรูปพลาสติกแตกเตี้ยวทอดอบกรอบ

การแปรรูปพลาสติกแตกเตี้ยวทอดอบกรอบ มีขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 1 โดยนำพลาสติกจากจังหวัดสุพรรณบุรี ที่มีน้ำหนัก 250-300 กรัมต่อตัว มาทำการขูดเกล็ด ตัดหัว และควักไส้ออก ล้างด้วยน้ำให้สะอาดแล้วนำพลาสติกมาผสมกับเกลือทะเลในอัตราส่วน 9:1 นาน 12 ชั่วโมง นำพลาสติกไปล้างและสะเด็ดน้ำ นำมาตากแดดด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดยาว 2 เมตร กว้าง 1 เมตร (อุณหภูมิเฉลี่ย 65 องศาเซลเซียส) นาน 7 ชั่วโมง จากนั้นนำมาแล่เอาก้างออกให้เหลือแต่เนื้อพลาสติก และนำไปทอดโดยใช้น้ำมันปาล์ม อัตราส่วนของเนื้อพลาสติกต่อน้ำมันเป็น 1:2 โดยน้ำหนัก ทอดโดยใช้น้ำมันใหม่ทุกชุดการทดลอง อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำมันเป็นอุณหภูมิห้อง (30 องศาเซลเซียส) ให้ความร้อนจนน้ำมันมีอุณหภูมิ 170 ± 5 องศาเซลเซียส จึงนำเนื้อพลาสติกลงไปทอดนาน 15 นาที ทั้งให้สะเด็ดน้ำมันด้วยตะแกรงที่อุณหภูมิห้องนาน 5 นาที จากนั้นนำไปอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 0 (ชุดควบคุม), 30 และ 60 นาที เพื่อลดปริมาณน้ำมันในผลิตภัณฑ์พลาสติกแตกเตี้ยวทอดอบกรอบ โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD)



รูปที่ 1 ขั้นตอนการแปรรูปพลาสติกแตกเดี่ยวทอดอบกรอบ

จากนั้นนำไปวิเคราะห์ปริมาณไขมันที่คงอยู่หลังจากการอบ และทดสอบทางประสาทสัมผัส และศึกษาปริมาณผลผลิต (%Yield) โดยชั่งน้ำหนักพลาสติกสดและน้ำหนักที่ได้ในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผลิต และคำนวณร้อยละปริมาณผลผลิตดังสมการที่ 1

$$\text{ปริมาณผลผลิต (ร้อยละ)} = \left(\frac{\text{น้ำหนักของพลาสติกคงเหลือ}}{\text{น้ำหนักพลาสติกสดเริ่มต้น}} \right) \times 100 \quad (1)$$

2. การศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์

การศึกษาอายุการเก็บรักษาพลาสติกแตกเดี่ยวทอดกรอบ โดยบรรจุในถุงฟิล์มไนลอนลามิเนตกับฟิล์มพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีน (Nylon PE) หนา 0.08 เซนติเมตร บรรจุปิดสนิทแบบสุญญากาศ ขนาดบรรจุ 100 กรัม และเก็บที่อุณหภูมิห้อง (35 ± 2 องศาเซลเซียส) ทำ 3 ซ้ำ และทำการสุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และปริมาณน้ำอิสระโดยเครื่อง AQUALAB water activity meter (model series 4TE, USA) ที่เวลาเริ่มต้น และเก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์คุณภาพทุก ๆ 15 วัน เป็นเวลา 90 วัน

3. การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน

วิเคราะห์ปริมาณไขมันที่คงอยู่หลังจากการอบของตัวอย่างพลาสติกแตกเดี่ยวทอดกรอบด้วยวิธี Soxhlet extraction (AOAC, 2000) วิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ซ้ำเทียบกับน้ำหนักเปียก (Wet Basis) ของตัวอย่าง

4. การประเมินทางประสาทสัมผัส

การประเมินทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยใช้วิธี 9-Point Hedonic Scale คะแนนจาก 1 คือไม่ชอบมากที่สุด ถึงคะแนน 9 คือชอบมากที่สุด ใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 30 คน ทำการเตรียมตัวอย่างก่อนการทดสอบชิม โดยใช้ตัวอย่างภายในวันเดียวกันกับวันที่ผลิต โดยวางแผนการทดลองแบบแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD)

5. การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ

วิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ อย่างละ 3 ซ้ำ ดังนี้ ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณไขมัน ปริมาณโปรตีน และปริมาณเยื่อใย (AOAC, 2000) ส่วนปริมาณคาร์โบไฮเดรตคำนวณจากผลรวมของปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณไขมัน ปริมาณโปรตีน และปริมาณเยื่อใยลบด้วย 100 และคำนวณพลังงาน โดยรายงานเป็นกิโลแคลอรีต่อน้ำหนักอาหาร 100 กรัม จากคาร์โบไฮเดรต 1 กรัมให้พลังงาน 4 กิโลแคลอรี โปรตีน 1 กรัมให้พลังงาน 4 กิโลแคลอรี และไขมัน 1 กรัมให้พลังงาน 9 กิโลแคลอรี

6. การวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total Plate Count)

การวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดด้วยวิธีเทเพลต (Pour Plate) ตามวิธีมาตรฐาน (AOAC, 2000) ทำ Serial Dilution ที่ระดับความเจือจางที่เหมาะสม นำตัวอย่างมาผสมกับอาหารเลี้ยงเชื้อในจานเพาะเชื้อ และนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็น

เวลา 48 ชั่วโมง และนับจุลินทรีย์ทั้งหมด โดยตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์ระหว่าง 25-250 โคโลนี และคำนวณหาจำนวนจุลินทรีย์ต่อตัวอย่าง 1 กรัมรายงานผลเป็น Colony Forming Unit ต่อน้ำหนัก 1 กรัมของตัวอย่าง (CFU/g)

7. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

นำข้อมูลมาเปรียบเทียบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ผลการศึกษากระบวนการผลิตและการอบพลาสติกแดดเดียวทอดกรอบ

จากขั้นตอนกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์พลาสติกแดดเดียวพบว่า ปริมาณผลผลิต (Yield) หลังจากตัดแต่งและล้างทำความสะอาดทำให้ได้เนื้อพลาสติกไม่รวมก้างและครีบเป็น ร้อยละ 64.36 หลังจากตากแดดมีปริมาณผลผลิตร้อยละ 56.58 และเมื่อทอดแล้วพลาสติกแดดเดียวทอดกรอบมีปริมาณผลผลิตร้อยละ 27.84 เมื่อเทียบกับพลาสติกสดตามลำดับ และนำพลาสติกทอดไปอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 0, 30 และ 60 นาที แสดงดังตารางที่ 1 พบว่า เมื่อเวลาในการอบนานขึ้น ทำให้ปริมาณไขมันน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อเวลาในการอบนานขึ้นจาก 0 เป็น 60 นาที ทำให้ปริมาณไขมันลดลงจากร้อยละ 27.08 เป็นร้อยละ 22.97 แสดงว่าการอบด้วยตู้อบลมร้อนหลังจากการทอดทำให้ปริมาณน้ำมันในตัวอย่งลดลง โดยความร้อนจากตู้อบจะช่วยให้การอบไล่ไขมันคงค้างจากการทอดที่ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ จากผลการศึกษาพบว่า ปริมาณไขมันในพลาสติกทอดกรอบมีปริมาณน้อยกว่าในพลาสติกจากการศึกษาของวารุณี สุวรรณจงสถิติ และคณะ (2547) ที่มีปริมาณไขมันในพลาสติกทอดกรอบที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เวลา 15 นาที เป็นร้อยละ 33.05 และรายงานว่าการทอดด้วยสภาวะสุญญากาศทำให้การร่อนน้ำมันลดลง ส่งผลให้ปริมาณไขมันในพลาสติกน้อยลง (ร้อยละ 16.59) เมื่อเทียบกับการทอดด้วยสภาวะปกติ

ตารางที่ 1 ปริมาณไขมันในพลาสติกแตกเดี่ยวทอดกรอบจากการอบไอน้ำมันที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

เวลาในการอบพลาสติกหลังการทอด	ปริมาณไขมัน (ร้อยละ)
0 นาที (ชุดควบคุม)	27.08 ± 0.71^a
30 นาที	25.23 ± 0.55^b
60 นาที	22.97 ± 0.68^c

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD), $n=3$

อักษรภาษาอังกฤษกำกับต่างกัันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

เมื่อนำพลาสติกที่ได้มาทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสได้ผลตามตารางที่ 2 พบว่าพลาสติกแตกเดี่ยวที่อบ 70 องศาเซลเซียส นาน 0, 30 และ 60 นาที มีคะแนนด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น และรสชาติไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีคะแนนอยู่ในช่วง 6.03-6.13, 5.97-6.17, 5.83-6.17 และ 5.73-5.97 ตามลำดับ แสดงว่าผลิตภัณฑ์ได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบชิมระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง และพบว่า คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของพลาสติกแตกเดี่ยวทอดกรอบที่อบที่ 70 องศาเซลเซียส นาน 60 นาที มีคะแนนมากกว่าพลาสติกแตกเดี่ยวทอดกรอบที่ไม่ได้อบ (ชุดควบคุม) และอบที่ 70 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) มีรายงานว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับใช้ทอดอาหารอยู่ในช่วง 160-200 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิที่ใช้ในการทอดต่ำ จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีการอมน้ำมันมากกว่าการทอดที่อุณหภูมิสูง (นิธิยา รัตนพานนท์ และไพโรจน์ วิริยจารี, 2547)

ดังนั้นกระบวนการแปรรูปพลาสติกแตกเดี่ยวทอดกรอบที่เหมาะสมคือ พลาสติกทอดโดยใช้น้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิ 170 ± 5 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที และนำการอบด้วยตู้อบลมร้อนที่เหมาะสมที่สุดคือ อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที เนื่องจากมีปริมาณไขมันคงเหลือน้อยที่สุด (ตารางที่ 1) และได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคมากที่สุด (ตารางที่ 2) พลาสติกแตกเดี่ยวทอดกรอบเป็นผลิตภัณฑ์พร้อมบริโภค และสร้างมูลค่าเพิ่มการนำพลาสติกที่ทอดแล้วไปอบด้วยตู้อบลมร้อน เพื่อลดปริมาณน้ำมันที่มีการตกค้างจากการอมน้ำมัน วิธีการนี้ทำให้ผลิตภัณฑ์คงสภาพความกรอบได้ดี

ตารางที่ 2 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของปลาสดแช่แข็งหอยดอบกรอบ

คุณภาพ ทางประสาทสัมผัส	ระยะเวลาในการอบที่ 70 องศาเซลเซียส (นาท)		
	0 (ชุดควบคุม)	30	60
ลักษณะปรากฏ ^{ns}	6.07±0.64	6.13±0.68	6.03±0.76
สี ^{ns}	5.97±0.67	6.07±0.64	6.87±0.70
กลิ่น ^{ns}	5.83±0.91	6.17±0.75	6.00±0.91
รสชาติ ^{ns}	5.87±0.78	5.73±0.74	5.97±0.76
เนื้อสัมผัส	5.47±1.01 ^b	5.53±1.11 ^b	6.85±1.01 ^a
ความชอบโดยรวม	5.93±0.58 ^b	6.00±0.53 ^b	6.80±0.66 ^a

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD), n=30

อักษรภาษาอังกฤษกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

^{ns} คือ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. ผลคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ปลาสดแช่แข็งหอยดอบกรอบ

คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ปลาสดแช่แข็งหอยดอบกรอบที่พัฒนาได้จากกระบวนการแปรรูปที่เหมาะสมได้ผลดังตารางที่ 3 พบว่า คุณค่าทางโภชนาการของปลาสดแช่แข็งหอยดอบกรอบพบว่า มีปริมาณโปรตีนสูงถึงร้อยละ 64.27 เนื่องจากเป็นเนื้อปลาสดที่ไม่มีการปรุงรส และให้พลังงาน 480.70 กิโลแคลอรีต่อ 100 กรัม จากรายงานของ Salimon and Rahman (2008) พบว่าปลาสดมีกรดไขมันอิ่มตัวร้อยละ 54.24 มีกรดไขมันโอเมก้า-6 (Omega-6) และกรดไขมันโอเมก้า-3 (Omega-3) ร้อยละ 16.0 และ 18.9 ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าปลานิล (*Oreochromis niloticus*) ที่มีกรดไขมันโอเมก้า-3 เพียงร้อยละ 1.3 เท่านั้น รายงานของกรมประมง (2543) พบว่า ปลาสดเค็มทอดมีปริมาณโปรตีนและไขมันร้อยละ 32.8-37.6 และ 4.0-11.2 มีกรดไขมันอิ่มตัวและคอเลสเตอรอลต่ำ (ร้อยละ 4-7 และร้อยละ 20.0-26.6) มีกรดไขมันโอเมก้า-3 สูง นอกจากปลาสดเป็นแหล่งของโปรตีนที่

ย่อยง่าย และไขมันชนิดดีแล้ว ปลาสลิดยังอุดมด้วยแร่ธาตุและวิตามิน เช่น แคลเซียม ฟอสฟอรัส เหล็ก ไบโอฟลาวิน และไนอะซินอีกด้วย

ตารางที่ 3 คุณภาพทางเคมีของปลาสลิดแดดเดียวทอดกรอบ

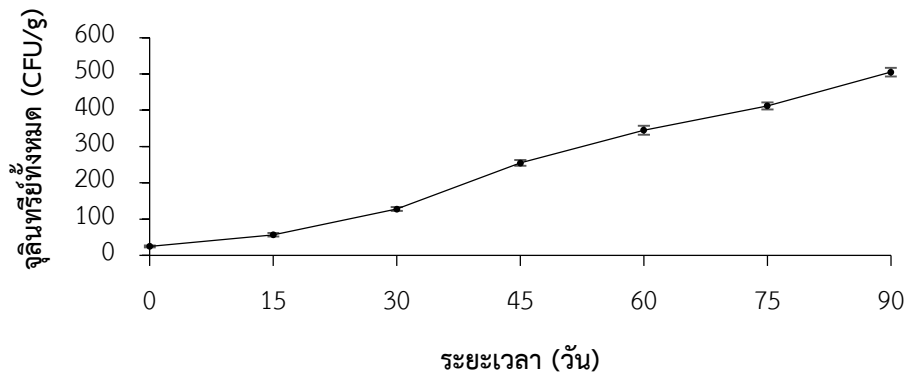
คุณภาพทางเคมี	ปริมาณ
พลังงาน (kcal/ 100 g)	480.70±3.38
ความชื้น (ร้อยละ)	5.56±0.02
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)	4.58±0.50
โปรตีน (ร้อยละ)	64.27±0.10
ไขมัน (ร้อยละ)	22.97±0.68
เยื่อใย (ร้อยละ)	0.09±0.12
เถ้า (ร้อยละ)	2.53±0.13

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD), n=3

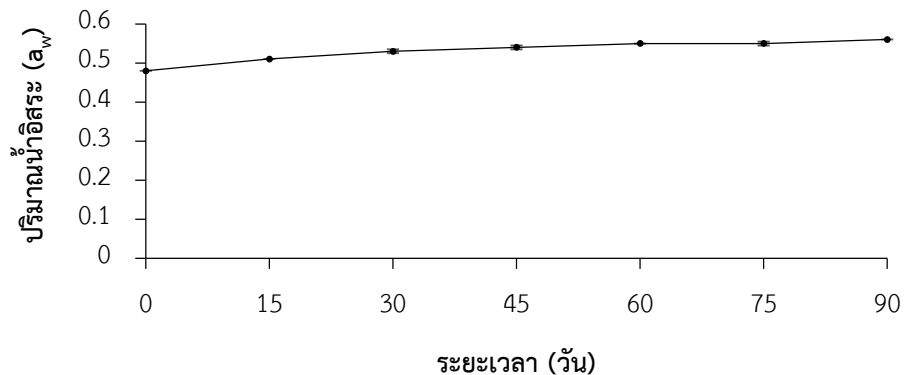
3. ผลการศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ปลาสลิดแดดเดียวทอดกรอบ

ผลการศึกษาอายุการเก็บรักษาปลาสลิดแดดเดียวทอดกรอบบรรจุในถุงฟิล์มไนลอนลามิเนตกับฟิล์มพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนสำหรับบรรจุอาหารแบบสุญญากาศ บรรจุปิดสนิทด้วยระบบสุญญากาศ และเก็บที่อุณหภูมิห้อง แสดงผลตามรูปที่ 2 พบว่า ปริมาณจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษานานขึ้น โดยเพิ่มจาก 24.2 CFU/ g เป็น 505 CFU/ g เมื่อเก็บไว้นาน 90 วัน เนื่องจากปริมาณจุลินทรีย์ที่ยังคงเหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์เริ่มต้น เมื่อเก็บรักษานานขึ้นในสภาวะสุญญากาศ อาจทำให้จุลินทรีย์ที่หลงเหลืออยู่เจริญได้ และค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) อยู่ระหว่าง 0.48-0.56 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนเรื่อง ปลากรอบปรุงรสพร้อมบริโภค มาตรฐานเลขที่ มผช. 106/2553 กำหนดค่า a_w ไม่เกิน 0.6 และมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 1×10^3 CFU/g (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2553) ปริมาณน้ำอิสระมีผลโดยตรงต่ออายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหาร เนื่องจากน้ำอิสระในอาหารเป็นน้ำที่เชื้อจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการเจริญเติบโตและนำไปใช้ในการเกิดปฏิกิริยาเคมี จึงสามารถควบคุมและป้องกันการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์อาหารได้

(ก)



(ข)



รูปที่ 2 (ก) ปริมาณจุลินทรีย์และ (ข) ค่าปริมาณน้ำอิสระของพลาสติกหอดกรอบ
บรรจุแบบสุญญากาศและเก็บที่อุณหภูมิห้องนาน 90 วัน

สรุปผลการวิจัย

การพัฒนาผลิตภัณฑ์พลาสติกแตกเดี่ยวหอดกรอบ โดยการทอดที่ 170 ± 5 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที และอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่ 70 องศาเซลเซียส นาน 60 นาที ทำให้ได้พลาสติกหอดกรอบที่มีโปรตีนร้อยละ 64.27 และมีไขมันร้อยละ 22.97 เมื่อเก็บนาน 3 เดือนในบรรจุภัณฑ์ปิดสนิทแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิห้อง ผลิตภัณฑ์มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณน้ำอิสระอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ผลิตภัณฑ์เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค และเป็นการเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์เชิงอาหารเพื่อสุขภาพได้ สามารถต่อยอดเชิง

พาณิชย์ ซึ่งเป็นแนวทางการยกระดับห่วงโซ่มูลค่าของนวัตกรรมครัวไทยสู่ครัวโลก โดยต้องพัฒนาทั้งผลิตภัณฑ์และบรรจุภัณฑ์ รวมทั้งมาตรฐานความปลอดภัยของอาหาร ให้สามารถผลิตอาหารที่มีความสะอาดและปลอดภัยตลอดกระบวนการผลิตไปจนถึงการบริโภคทั้งในระดับท้องถิ่นและเพื่อการจำหน่ายในวงกว้างมากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

สนับสนุนงบประมาณในการดำเนินงานวิจัยโดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

เอกสารอ้างอิง

- กรมประมง. (2543). การพัฒนาวิธีผลิตพลาสติกเค็มแห้งคุณภาพดี. *เทคโนโลยีชาวบ้าน*, 12(242), 82.
- ตรีสินธุ์ โปธารส และ หทัยทิพย์ นิमितเกียรติไกล. (2559). การพัฒนาผลิตภัณฑ์ปลารมควันจากปลาเบ็ดเตล็ดที่จับได้จากกว๊านพะเยา. *วารสารเกษตรพระวรุณ*, 13(2), 216-226.
- นิธิยา รัตนพานนท์ และ ไพโรจน์ วิริยจารี. (2547). เทคโนโลยีการทอด. เทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร. คณะอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- วรพรรณ บัญชาจากรัตน์, วรางคณา สมพงษ์ และ สมโภช พจนพิมล. (2552). การศึกษากระบวนการผลิตกล้วยน้ำว้าทอดกรอบ. น. 297-304. ใน: การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 47, สาขาอุตสาหกรรมเกษตร. 17-20 มีนาคม 2552. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วารุณี สุวรรณจงสถิต, จินตนา อุปติสสกุล, จีราวรรณ แยมประยูร และ กมลวรรณ แจ่มชัด. (2547). การปรับปรุงกรรมวิธีการทอดและอายุการเก็บรักษาของพลาสติกเค็มทอดกรอบ. น. 315-322. ใน: การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 42, สาขาประมง สาขาอุตสาหกรรมเกษตร. 3-6 กุมภาพันธ์ 2547. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2553). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนเรื่องปลากรอบปรุงรสพร้อมบริโภค มาตรฐานเลขที่ มผช. 106/2553*.

- AOAC. (2000). Official methods of analysis of the association of the official analysis chemists. Arlington: Association of official analytical chemists.
- Salimon, J., & Rahman, N. A. (2008). Fatty acids composition of selected farmed and wild freshwater fishes. *Sains Malaysiana*, 37(2), 149-153.

ฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสกัดหยาบจากสาหร่ายเตา THE BIOLOGICAL ACTIVITY OF *SPIROGYRA* SP. CRUDE EXTRACTS

สุทธวรรณ สุพรรณ*, พลอยไพลิน สดมณี, ปัทมาภรณ์ คุ่มก้น, ศราวุธ ราชาลี
และ ประดับรัฐ ประจันเขตต์

Sutthawan Suphan*, Ploypairin Sodmanee, Pattama Koomkan, Sarawut Rachari
and Pradabrat Prajankett

สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
Division of Biology, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University
of Technology Thanyaburi

Received: 10 January 2021

Accepted: 7 June 2021

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรีย ปริมาณโพลีแซคคาไรด์ และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากสาหร่ายเตา (*Spirogyra* sp.) โดยใช้ตัวทำละลาย 2 ชนิด คือ เอทานอลและเมทานอล ผลการทดสอบฤทธิ์การยับยั้งแบคทีเรียด้วยวิธี Disk diffusion assay พบว่าสารสกัดหยาบจากสาหร่าย *Spirogyra* sp. ที่สกัดด้วยตัวทำละลาย เมทานอลสามารถยับยั้งการเจริญของ *Staphylococcus aureus* ได้ดีที่สุดโดยมีขนาดบริเวณยับยั้งเฉลี่ยเท่ากับ 22.7 มิลลิเมตร จากการศึกษาค่า Minimal inhibitory concentration (MIC) พบว่าสารสกัดหยาบจากตัวทำละลายเมทานอล จากสาหร่าย *Spirogyra* sp. ให้ค่า MIC ต่ำที่สุดต่อเชื้อ *S. aureus* และ *P. aeruginosa* เท่ากันโดยมีค่าเท่ากับ 0.0625 มิลลิกรัม ต่อมิลลิลิตร และค่า Minimal bactericidal concentration (MBC) พบว่าสารสกัดหยาบจากสาหร่าย *Spirogyra* sp. ไม่สามารถฆ่าแบคทีเรียได้ และการวิเคราะห์ปริมาณโพลีแซคคาไรด์ พบว่าสาหร่าย *Spirogyra* sp. มีปริมาณโพลีแซคคาไรด์เท่ากับ 1.34 ± 0.413 เปอร์เซ็นต์ของ น้ำหนักแห้ง และการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระพบว่าสารสกัดหยาบจากสาหร่าย *Spirogyra* sp. พบว่า ปริมาณ inhibitory concentration at 50% (IC50) ของสารสกัดจากสาหร่าย

* ผู้ประสานงาน: สุทธวรรณ สุพรรณ

อีเมลล์: sutthawan_s@rmutt.ac.th

Spirogyra sp. ที่สกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอลมีค่าเท่ากับ 64.19 $\mu\text{g/ml}$ และปริมาณ IC50 ของสารสกัดจากสาหร่าย *Spirogyra* sp ด้วยตัวทำละลายเมทานอลมีค่าเท่ากับ 64.15 $\mu\text{g/ml}$ นอกจากนี้ผลการตรวจสอบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดซึ่งสารต้านอนุมูลอิสระส่วนใหญ่จะอยู่ในกลุ่มของสารประกอบ ฟีนอลิก พบว่าสารสกัดจากสาหร่าย *Spirogyra* sp. ที่สกัดด้วยตัวทำละลายเมทานอล มีปริมาณสารประกอบ ฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุด คือ 54.569 ± 6.74 มิลลิกรัมสมมูล gallic acid (mg GAE) ต่อน้ำหนัก 100 มิลลิลิตร (mL)

คำสำคัญ: *Spirogyra* sp., สารออกฤทธิ์ชีวภาพ, ฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรีย, ปริมาณโพลีแซคคาไรด์, ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

Abstract

The objective of this research was to study the antibacterial activity, polysaccharide content and antioxidant activity in *Spirogyra* sp. by using two types of solvents; ethanol and methanol. The results showed that the antibacterial activity test by disk diffusion assay found that the crude extract from *Spirogyra* sp. extracted with methanol solvent could inhibit the growth of *Staphylococcus aureus* the best with the size of the inhibitory area was 22.7 mm. According to the minimal inhibitory concentration (MIC), the research found that the crude extract from *Spirogyra* sp. with methanol solvent had the lowest MIC values against *S. aureus* and *P. aeruginosa* at the same value at 0.0625 mg/ml. The minimal bactericidal concentration (MBC) showed that the crude extract from *Spirogyra* sp. could not kill the bacteria. Polysaccharide content analysis revealed that *Spirogyra* sp. had polysaccharide content of 1.34 ± 0.413 percent of dry weight. The analysis of antioxidant activity revealed that the crude extract from *Spirogyra* sp. found that the inhibitory concentration at 50% (IC50) content of *Spirogyra* sp. extracted with ethanol solvent was 64.19 $\mu\text{g/ml}$ and the IC50 content of the extract from *Spirogyra* sp. with methanol solvent was 64.15 $\mu\text{g/ml}$. In addition, the results of the examination of the compound content

was all phenolics, the research found that *Spirogyra* sp. extracted by methanol solvent contained the highest total amount of phenolic compounds at 54.569 ± 6.74 milligrams equivalent to gallic acid per 100 milliliters of weight, mg GAE/100 mL.

Keywords: *Spirogyra* sp, Bioactive compound, Antibacterial activity, Polysaccharide content, Antioxidant activity

บทนำ

ในปัจจุบันมีปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อผิวหนังทั้งทางตรงและทางอ้อม ได้แก่ รังสี ultraviolet (UV) จากแสงแดด ฝุ่นควัน ความเครียด การพักผ่อนไม่เพียงพอ การดื่มเครื่องดื่มที่มีส่วนผสมของแอลกอฮอล์ รวมไปถึงการใช้เครื่องสำอางที่นิยมใช้กันมากขึ้นเป็นต้น ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ทำให้เกิดอนุมูลอิสระส่งผลให้ผิวหนังเกิดฝ้า กระ รอยเหี่ยวย่น ผิวไหม้เกรียม จากแสงแดด ผิวแห้งขาดความชุ่มชื้น การใช้สารต้านอนุมูลอิสระจึงเป็นการต้านหรือช่วยชะลอปัญหาต่างๆ ของผิวหนังได้ (Demina & Lysenko, 1996) ทำให้ผู้บริโภคมีความสนใจเกี่ยวกับสารสกัดจากธรรมชาติที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเพื่อการดูแลตัวเองมากขึ้น ดังนั้น การศึกษาหาสารประกอบชีวภาพที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ เช่น สารประกอบฟีนอลิก โพลีแซคคาไรด์ และรงควัตถุชนิดต่างๆ เป็นต้น จึงได้รับความสนใจจากนักวิจัยในปัจจุบัน โดยสารประกอบฟีนอลิก (phenolic compound) หรือสารประกอบฟีนอล เป็นสารที่พบได้ตามธรรมชาติในพืช รวมทั้งในสาหร่าย โดยสารสกัดจากสาหร่ายพบว่ามีสารประกอบฟีนอลิก ซึ่งแสดงคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพสูง (ยุวดี พิรพรพิศาล และคณะ (2555) นอกจากนี้พบว่าพอลิแซคคาไรด์จากสาหร่ายมีฤทธิ์ต่อต้านทางชีวภาพ เช่น เซลล์มะเร็ง สารต้านการแข็งตัวของเลือด และมีฤทธิ์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Tanna & Mishra, 2019)

นอกจากนี้ยังพบว่าผู้บริโภคส่วนใหญ่นิยมเลือกใช้เวชสำอางที่มีส่วนผสมของสารสกัดจากธรรมชาติเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากสารสกัดจากธรรมชาติหลายตัวมีประสิทธิภาพเทียบเคียงกับสารสังเคราะห์ที่ได้จากห้องทดลอง (รัตนา อินทรานุกุล, 2550) โดยพบว่าสารสกัดจากว่านสาวหลงมีคุณสมบัติทำให้ผิวกระจ่างใส (อรรถพล อุทัยเรือง และคณะ, 2563) สารสกัด

จากพืชสกุลมะเขือมีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ (พรรณรัตน์ อภินิษฐาภิชาติ และ เบญจภรณ์ เศรษฐบุปผา, 2563) สารสกัดจากใบบัวบกมีคุณสมบัติในการรักษาผิว (ภารดี อินทจันทร์ และ วิภาเพ็ญ โชคดีสัมฤทธิ์, 2563) และสารสกัดจากดอกเก๊กฮวยเหลืองมีคุณสมบัติชะลอวัย (รวีสราร รื่นไวย, 2563) ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่น่าสนใจและเป็นความต้องการที่สำคัญของผู้บริโภค ดังนั้นจึงเป็นเหตุผลให้ผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของสารสกัดจากธรรมชาติเป็นที่น่าสนใจอย่างยิ่งและมีแนวโน้มในการเลือกซื้อจากผู้บริโภคเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยพบว่าอุตสาหกรรมการผลิตสารสกัดจากธรรมชาติมีมูลค่าตลาดมากกว่า 30,000 ล้านบาท และมีการเติบโตมากกว่า 15% -20% ต่อปี (รชตะ รุ่งตระกูลชัย และคณะ, 2562)

สาหร่ายน้ำจืดขนาดใหญ่ในประเทศไทยที่เป็นที่รู้จักกันดีคือ สาหร่าย *Spirogyra* sp. หรือสาหร่ายเตา หรือเหาน้ำ และเป็นผู้ผลิตออกซิเจนจากกระบวนการสังเคราะห์แสงให้แก่สิ่งมีชีวิตในน้ำ นอกจากนั้นในระบบนิเวศทางน้ำ สาหร่าย *Spirogyra* sp. ยังเป็นผู้ผลิต (producer) ในห่วงโซ่อาหาร (food chain) ชาวบ้านในแถบพื้นที่ภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือนิยมนำสาหร่าย *Spirogyra* sp. มารับประทานเป็นอาหาร แต่สาหร่ายชนิดนี้ไม่นิยมบริโภคในพื้นที่ภาคกลาง ในบริเวณพื้นที่เกษตรกรรมโดยเฉพาะนาข้าว สาหร่าย *Spirogyra* sp. ถูกจัดเป็นพืชที่ไม่มีคุณค่าใด ๆ ถูกกำจัดทิ้งเป็นจำนวนมากในแต่ละวัน (ปริญญญา มูลสิน และ อมรรรัตน์ วงษ์กลม, 2556) ในแถบภาคเหนือนิยมนำสาหร่าย *Spirogyra* sp. มาปรุงเพื่อเป็นอาหารที่เรียกว่า “ยำเตา” สำหรับสาหร่ายชนิดนี้พบว่ามีคุณค่าทางโภชนาการสูงซึ่งประกอบด้วย โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน วิตามิน และเกลือแร่ที่จำเป็นต่อร่างกาย ซึ่งประกอบไปด้วยโปรตีน 18.63-23.76% ไขมัน 2.68-5.51% คาร์โบไฮเดรต 53.98-67.13% เส้นใย (fiber) 6.24-7.66% เถ้า 11.78-17.37% ความชุ่มชื้น 14.90% โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง โดยมีพลังงานเท่ากับ 363 kcal/100g นอกจากนี้ยังมีปริมาณรงควัตถุชนิด chlorophyll a, b และ carotenoid เท่ากับ 4.067, 1.716 และ 1.209 mg/g ตามลำดับ (ยุวดี พิรพรพิศาล, 2549; Sitthiwong, 2019) สาหร่ายชนิดนี้สามารถดัดแปลงเป็นขนมและอาหารได้ เช่น เค้ก คุกกี้ ข้าวเกรียบ ครองแครงกรอบ และทำเป็นเส้นบะหมี่ ซึ่งให้รสชาติและกลิ่นหอม (ยุวดี พิรพรพิศาล, 2549)

ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือทดสอบฤทธิ์ของสารสกัดจากสาหร่าย *Spirogyra* sp. ต่อการยับยั้งและฆ่าเชื้อแบคทีเรียก่อโรคผิวหนัง ได้แก่ เชื้อ *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* และ *Staphylococcus aureus* ตามลำดับ ศึกษาปริมาณ

พอลิแซ็กคาไรด์ ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ รวมไปถึงการหาปริมาณสารฟีนอลิก เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับนำไปประยุกต์ใช้ในทางเวชสำอางค์ และสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับสาหร่าย *Spirogyra* sp.

วิธีการดำเนินงานวิจัย

1. การเตรียมสารสกัดหยาบจากสาหร่าย *Spirogyra* sp.

นำตัวอย่างสาหร่าย *Spirogyra* sp. 100 กรัม บดให้ละเอียด ใส่ลงในขวดแก้ว เต็มตัวทำละลาย คือ เมทานอลและเอทานอล ที่ต้องการทดสอบ 300 มิลลิลิตร ในอัตราส่วนที่เหมาะสม ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 วัน จากนั้นกรองด้วยผ้าขาวบางและกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 และนำส่วนน้ำที่ได้ไประเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่องระเหยระบบสุญญากาศ (Rotary Vacuum Evaporator) รุ่น R-300 บริษัท Buchi ที่อุณหภูมิ 50 °C จะได้สารสกัดเมทานอลเข้มข้นและสารสกัดเอทานอลเข้มข้น จากนั้นนำไปเก็บที่อุณหภูมิ 4 °C เพื่อใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพต่อไป

2. การทดสอบฤทธิ์ต้านแบคทีเรียของสารสกัดจากสาหร่าย *Spirogyra* sp.

ทดสอบฤทธิ์ต้านแบคทีเรียของสารสกัดจากสาหร่าย *Spirogyra* sp. ที่เตรียมได้จากตัวทำละลาย คือ เมทานอลและเอทานอล กับแบคทีเรียแกรมลบและแกรมบวก คือ *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* และ *Staphylococcus aureus* ตามลำดับด้วยวิธี disk diffusion โดยปรับเชื้อให้มีความเข้มข้นเท่ากับ McFarland standard no. 0.5 แล้วใช้ไม้ปั่นสำลีจุ่มเชื้อขีดให้ทั่วผิวน้ำอาหาร Mueller-Hinton agar รอให้ผิวน้ำอาหารแห้งแล้วจึงนำแผ่นกระดาษกรอง (disk) ที่ใส่สารสกัดจากสาหร่าย *Spirogyra* sp. ปริมาณ 5 ไมโครลิตร วางลงบนผิวน้ำของอาหาร Mueller-Hinton agar บ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง บันทึกผลด้วยการวัดขนาดของบริเวณยับยั้ง (zone of inhibition) ที่เกิดขึ้น จากนั้นทำการเปรียบเทียบผลการทดลองด้วยวิธีทางสถิติ ทำการวิเคราะห์ทางสถิติโดยวิเคราะห์ความแปรปรวนและความแตกต่างของชุดการทดลองด้วยวิธี Analysis of Variance (ANOVA) และ Duncan's Multiple Comparison test ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติ 95 เปอร์เซนต์

3. การหาค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย (Minimal inhibitory concentration, MIC) และความเข้มข้นต่ำสุดที่มีฤทธิ์ฆ่าแบคทีเรีย (Minimal bactericidal concentration, MBC)

การหาค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียและความเข้มข้นต่ำสุดที่มีฤทธิ์ฆ่าแบคทีเรีย โดยการเจือจางสารสกัดจากสาหร่าย *Spirogyra* sp. ด้วย Mueller Hinton broth (MHB) แบบ two-fold dilution โดยให้แต่ละหลุมของไมโครไตเตอร์เพลท ให้มีปริมาตรสุดท้ายเท่ากับ 100 ไมโครลิตร เติมน้ำสารสกัดปริมาตร 10 ไมโครลิตร ในสารละลายที่เจือจางทุกหลอด โดยใช้อาหาร MHB ที่ไม่เติมน้ำสารสกัดเป็นชุดควบคุม บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง บันทึกค่า MIC โดยค่า MIC หมายถึง ค่าความเข้มข้นต่ำที่สุดของสารสกัดที่สามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย (Minimal inhibitory concentration) มีหน่วยเป็นไมโครกรัมต่อมิลลิกรัม ทำการสูมตัวอย่างหลอดทดลอง ที่ไม่มีการเจริญของเชื้อปริมาตร 10 ไมโครลิตร ไปเพาะเลี้ยงบนอาหาร MHA นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง บันทึกค่า MBC โดยค่า MBC หมายถึง ค่าความเข้มข้นต่ำที่สุดของสารสกัดที่สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรียได้ (Minimal bactericidal concentration) มีหน่วยเป็นไมโครกรัมต่อมิลลิกรัม

4. การวิเคราะห์ปริมาณโพลีแซคคาไรด์

วิเคราะห์ปริมาณโพลีแซคคาไรด์โดยชั่งสาหร่าย *Spirogyra* sp.แห้ง 1 กรัม ต่อน้ำ 100 มิลลิกรัม ทำการสกัดโพลีแซคคาไรด์โดยต้มในอ่างควบคุม อุณหภูมิ 98 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นกรองผ่านผ้าขาวบาง แล้วนำส่วนกากที่กรองได้มาทำการสกัดโพลีแซคคาไรด์อีกครั้ง นำสารละลายที่ได้จากการสกัดทั้งสองครั้งรวมกัน แล้วทำให้เข้มข้นขึ้นโดยเครื่องระเหยสุญญากาศ (evaporator) ให้เหลือปริมาตรของสารละลาย 1 ใน 4 ส่วนของปริมาตรเดิม ทำการปั่นเหวี่ยงสารละลายที่เหลือด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 4,500 rpm เป็นเวลา 5 นาที เพื่อกำจัดตะกอนของสารปนเปื้อนออก นำสารละลายส่วนใสมาตกตะกอนโพลีแซคคาไรด์ด้วยเอทานอล 95% โดยเติมเอทานอลในอัตราส่วนสารละลายต่อเอทานอล 1 : 2 แล้วนำไปแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปแช่ที่ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เก็บตะกอนโพลีแซคคาไรด์โดยการปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงความเร็ว 6,000 rpm เป็น เวลา 10 นาที แล้วนำตะกอนโพลีแซคคาไรด์ที่ได้อบให้แห้งที่ 55 องศาเซลเซียส นำโพลีแซคคาไรด์แห้งมาชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ปริมาณโพลีแซคคาไรด์แห้งที่สกัดได้จากสาหร่าย *Spirogyra* sp. โดยเทียบจาก 1 กรัม

5. การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากสาหร่าย *Spirogyra* sp. ด้วยวิธี DPPH Radical Scavenging Capacity Assay (Anti-oxidant activity)

การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากสาหร่าย *Spirogyra* sp. ด้วยวิธี 1, 1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) เตรียมสารละลาย 2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical (DPPH) ที่ความเข้มข้น 6×10^{-5} โมลาร์ ใน Absolute ethanol โดยชั่ง DPPH 0.0240 กรัม ใส่ในขวดปริมาตร ขนาด 1,000 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วย Absolute ethanol ให้ได้ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร จากนั้นเตรียมสารละลายมาตรฐาน 2, 6-di-tert-butyl-4-methylphenol (Butylated hydroxyl toluene, BHT) ที่ค่าความเข้มข้น 4 ความเข้มข้น โดยละลายสารกับ Absolute ethanol ให้มีความเข้มข้นที่ 2, 20, 100 และ 200 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ นำสารสกัดจากสาหร่าย *Spirogyra* sp. มาละลายกับ Absolute ethanol ให้มีความเข้มข้นที่ 2, 20, 100 และ 200 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร จากนั้นสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐาน BHT โดยนำสารละลายมาตรฐาน BHT ที่เตรียมไว้แต่ละความเข้มข้นใส่ลงในหลอดทดลองปริมาตร 2 มิลลิลิตร เติมสารละลาย DPPH ปริมาตร 2 มิลลิลิตร (อัตราส่วน 1 ต่อ 1) ผสมสารให้เข้ากันด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง นำไปบ่มในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที สารละลายจะเปลี่ยนจากสารละลายสีม่วงเป็นสารละลายสีเหลือง วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร โดยใช้ BHT 2 มิลลิลิตร และ Absolute ethanol 2 มิลลิลิตร เป็น Blank นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปสร้างกราฟมาตรฐาน จากนั้นทำการตรวจสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของตัวอย่างสาหร่าย โดยนำสารละลายของสารสกัดจากสาหร่าย *Spirogyra* sp. ที่เตรียมไว้ที่ความเข้มข้น 2, 20, 100 และ 200 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองปริมาตร 2 มิลลิลิตร เติมสารละลาย DPPH ปริมาตร 2 มิลลิลิตร (อัตราส่วน 1 ต่อ 1) ผสมสารให้เข้ากันด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง (โดยความเข้มข้นสุดท้ายหลังการเติม DPPH เท่ากับ 1, 10, 50 และ 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) นำไปบ่มในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที สารละลายจะเปลี่ยนจากสารละลายสีม่วงเป็นสารละลายสีเหลือง วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร โดย Blank ของตัวอย่างสารสกัด คือ ตัวอย่างที่ความเข้มข้นต่างๆ 2 มิลลิลิตร และ Absolute ethanol 2 มิลลิลิตร การรายงานผลเป็นค่า IC₅₀ ซึ่งหมายถึง ปริมาณของสารต้านออกซิเดชันที่ทำให้ความเข้มข้นของ DPPH เหลืออยู่ 50% ค่าที่มีค่าน้อยจะแสดงความสามารถในการ

ต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าค่าที่มีค่ามาก ทำการทดลอง 3 ซ้ำ โดยใช้ Vitamin C หรือ Trolox เป็นสารมาตรฐานในการเปรียบเทียบ จากนั้นคำนวณหา % inhibition จากสมการ

$$\% \text{ inhibition} = \frac{\text{Abs control} - \text{Abs sample} \times 100}{\text{Abs control}}$$

6. การตรวจสอบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic compound) ของสารสกัดจากสาหร่าย *Spirogyra* sp.

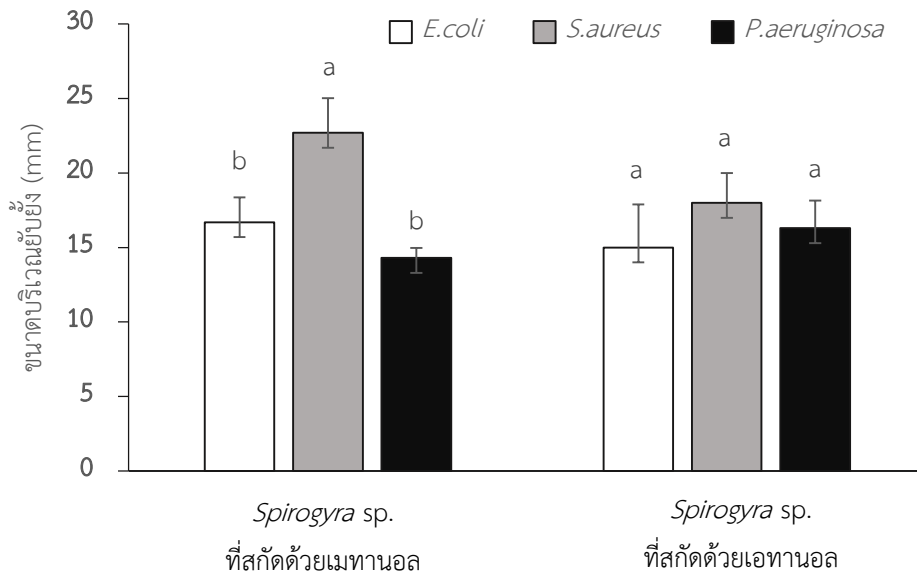
ศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic compound) ของสารสกัด โดยทำการเจือจางสารสกัดจากสาหร่าย *Spirogyra* sp. ด้วยเอทานอล ให้ได้ความเข้มข้นดังนี้ 0.5, 1 และ 2 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร นำสารสกัดที่เจือจางแต่ละความเข้มข้นมาใส่ในหลอดทดลอง ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร เติม Folin-Ciocalteu's reagent ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร เติม Sodium carbonate (Na_2CO_3) เข้มข้น 7.5 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 0.25 มิลลิลิตร จากนั้นผสมสารให้เข้ากัน นำไปแช่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 45 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 15 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร โดยใช้ Blank คือ เอทานอล 40 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร แทนสารสกัดจากสาหร่าย *Spirogyra* sp. ทำการการสร้างกราฟมาตรฐานของ Gallic acid โดยการเจือจาง Gallic acid ด้วยเอทานอล 40 เปอร์เซ็นต์ ให้มีความเข้มข้นเท่ากับ 1, 10, 25, 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร นำสารละลาย Gallic acid แต่ละความเข้มข้น ปริมาตร 0.25 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลาย Folin-Ciocalteu's reagent ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ 5 นาที เติม Sodium carbonate (Na_2CO_3) เข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 0.25 มิลลิลิตร จากนั้นผสมสารให้เข้ากัน นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร โดยใช้ Blank คือ เอทานอล 40 เปอร์เซ็นต์ 0.5 มิลลิลิตร แทนสารละลาย Gallic acid สร้างกราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารละลาย Gallic acid กับค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. การทดสอบฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรียด้วยวิธี (Disk diffusion method)

จากการนำสาหร่าย *Spirogyra* sp. มาสกัดด้วยตัวทำละลาย 2 ชนิด คือ เมทานอลและเอทานอล จากนั้นนำมาทดสอบฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรียด้วยวิธี Disk diffusion method โดยพิจารณาจากบริเวณยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย พบว่า สารสกัดหยาบจากสาหร่าย *Spirogyra* sp. ที่สกัดด้วยตัวทำละลายเมทานอล สามารถยับยั้งการเจริญของ *Staphylococcus aureus* ได้มากที่สุดโดยมีค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณยับยั้งเท่ากับ 22.7 มิลลิเมตร รองลงมาคือสารสกัดหยาบจากสาหร่าย *Spirogyra* sp. ที่สกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอล สามารถยับยั้งการเจริญของ *Staphylococcus aureus* ค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณยับยั้งเท่ากับ 18.0 มิลลิเมตร (รูปที่ 1) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Pati et al. (2011) ที่ได้ทำการศึกษาในการใช้สารสกัดจากสาหร่าย 3 ชนิด ได้แก่ *Spirogyra* sp., *Chara* sp. และ *Cladophora* sp. ในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียและเชื้อรา ได้แก่ *Escherichia coli*, *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus aureus*, *Proteus vulgaris*, *Asperigillus niger* และ *Candida albicans* โดยใช้วิธี agar well diffusion method พบว่า สารสกัดจากสาหร่าย *Spirogyra* sp. ที่สกัดด้วยตัวทำละลายเมทานอลยับยั้งเชื้อ *Escherichia coli* ได้ดีที่สุด โดยมีขนาด inhibition zone เท่ากับ 17 มิลลิเมตร ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยนี้ที่พบว่า สารสกัดหยาบจากสาหร่าย *Spirogyra* sp. ที่สกัดด้วยตัวทำละลายเมทานอล สามารถยับยั้งการเจริญของ *Escherichia coli* โดยมีค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณยับยั้งเท่ากับ 16.7 มิลลิเมตร นอกจากนี้ปริญา มุลสิน และ อมรรัตน์ วงษ์กลม (2556) ได้ทำการศึกษาการใช้สารสกัดจากสาหร่ายในการเพิ่มมูลค่าเครื่องสำอางศึกษาฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย โดยวิธี Disc diffusion assay พบว่าสารสกัดของ *Spirogyra* sp. มีฤทธิ์สูงสุดในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* มีค่า inhibition zone เท่ากับ 11.66 มิลลิเมตร นอกจากนี้รัตนารณ์ จันทรทิพย์ และคณะ (2555) ได้ศึกษาฤทธิ์ในการต้านจุลินทรีย์ของสารสกัดหยาบจากสาหร่ายเตา (*Spirogyra* spp.) และสาหร่ายไก่อ (*Cladophora* spp.) จากภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยโดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ทั้งหมด 3 ชนิดคือ เฮกเซนไดคลอโลมีเทน และเมทานอล ทดสอบฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อ *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Candida albicans*, *Escherichia coli* และ *Vibrio cholera* พบว่าสารสกัดหยาบจาก *Spirogyra* spp. ทุกตัวอย่างมีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *S. aureus*

และ *S. epidermidis* ได้เกือบทุกชนิด ส่วนสารสกัดหยาบจากสาหร่ายไถทุกชนิด สามารถยับยั้งการเจริญของ *S. aureus* ได้



รูปที่ 1 การเปรียบเทียบสารสกัดหยาบจากสาหร่าย *Spirogyra* sp. โดยใช้ตัวทำละลาย เมทานอลและเอทานอลในการยับยั้งเชื้อ *E. coli*, *S. aureus* และ *P. Aeruginosa*

จากการทดสอบฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรียด้วยวิธี Disk diffusion method พบว่าสาหร่าย *Spirogyra* sp. สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* และ *Pseudomonas aeruginosa* โดยสารสกัดจากสาหร่าย *Spirogyra* sp. ที่สกัดด้วยตัวทำละลายเมทานอลมีขนาดของบริเวณยับยั้ง 22.7 ± 4.01 , 16.7 ± 2.92 และ 14.3 ± 1.21 มิลลิเมตรตามลำดับ พบว่าขนาดของบริเวณยับยั้งของ *Staphylococcus aureus* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับ *Escherichia coli* และ *Pseudomonas aeruginosa* นอกจากนี้ยังพบว่าสารสกัดจากสาหร่าย *Spirogyra* sp. ที่สกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอลมีขนาดของบริเวณยับยั้ง 18.3 ± 3.53 , 16.3 ± 3.22 และ 15.5 ± 5.01 มิลลิเมตรตามลำดับ โดยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

2. การหาค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย (Minimal inhibitory concentration, MIC) และความเข้มข้นต่ำสุดที่มีฤทธิ์ฆ่าแบคทีเรีย (Minimal bactericidal concentration, MBC)

จากผลการหาค่าบริเวณยับยั้งเชื้อ (inhibition zone) ซึ่งเป็นการทดสอบฤทธิ์เบื้องต้นในการยับยั้งแบคทีเรีย ดังนั้นขั้นตอนต่อไปจึงได้มีการนำสารสกัดจากสาหร่าย *Spirogyra* sp. มาหาค่า MIC ด้วยวิธีการเจือจางในอาหารเหลว (broth microdilution method) แบบ two-fold dilution ด้วยไมโครไตเตอร์เพลท จากการทดสอบพบว่า สารสกัดจากสาหร่าย *Spirogyra* sp. จากทั้งเอทานอลและเมทานอลสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อทั้ง 3 ชนิดได้ สารสกัดจากสาหร่าย *Spirogyra* sp. ด้วยเอทานอลมีค่า MIC ต่ำสุดต่อเชื้อ *P.aeruginosa* ที่ความเข้มข้น 0.0625 mg/ml ในขณะที่สารสกัดด้วยเมทานอล มีค่า MIC ต่ำสุดที่ความเข้มข้น 0.0625 mg/ml ต่อเชื้อ *S. aureus* และ *P.aeruginosa* (ตารางที่ 1) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของปริญญา มูลสิน และ อมรรัตน์ วงษ์กลม (2556) ที่ได้ทำการศึกษาการใช้สารสกัดจากสาหร่ายในการเพิ่มมูลค่าเครื่องสำอางค์ ศึกษาฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียโดยวิธี Disc diffusion assay และการหาค่า MIC พบว่าสารสกัดจากสาหร่าย *Spirogyra* sp. จังหวัดอุบลราชธานี สามารถยับยั้งเชื้อ *S. aureus* ดีที่สุด โดยมีค่า MIC ที่ระดับความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

จากการทดสอบหาค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถฆ่าแบคทีเรียได้ โดยการหาค่า MBC จากสารสกัดหยาบของสาหร่าย *Spirogyra* sp. โดยนำตัวอย่างจากทุกหลุมบนไมโครไตเตอร์เพลท ปริมาตร 0.1 ไมโครลิตร ไปเพาะเลี้ยงบนอาหาร MHA พบว่าสารสกัดหยาบจากสาหร่าย *Spirogyra* sp. ไม่สามารถฆ่าแบคทีเรียได้

ตารางที่ 1 ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย (Minimal inhibitory concentration, MIC) และค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่มีฤทธิ์ฆ่าแบคทีเรีย (Minimal bactericidal concentration, MBC) ของสารสกัดจากสาหร่าย *Spirogyra* sp. ด้วยเอทานอลและเมทานอล

ตัวทำละลาย	<i>S. aureus</i>		<i>P. aeruginosa</i>		<i>E. coli</i>	
	ค่า MIC (mg/ml)	ค่า MBC (mg/ml)	ค่า MIC (mg/ml)	ค่า MBC (mg/ml)	ค่า MIC (mg/ml)	ค่า MBC (mg/ml)
เอทานอล	0.1250	-	0.0625	-	0.1250	-
เมทานอล	0.0625	-	0.0625	-	0.1250	-

หมายเหตุ: ค่าความเข้มข้นสูงสุด 0.5 กรัมต่อมิลลิลิตร จากนั้นเจือจางสารสกัดในความเข้มข้นถัดมาเท่ากับ 0.2500, 0.1250, 0.0625, 0.0312, 0.0156, 0.0078, 0.0039, 0.0019 และ 0.0009 กรัมต่อมิลลิลิตร
- = ไม่มีฤทธิ์ฆ่าแบคทีเรีย

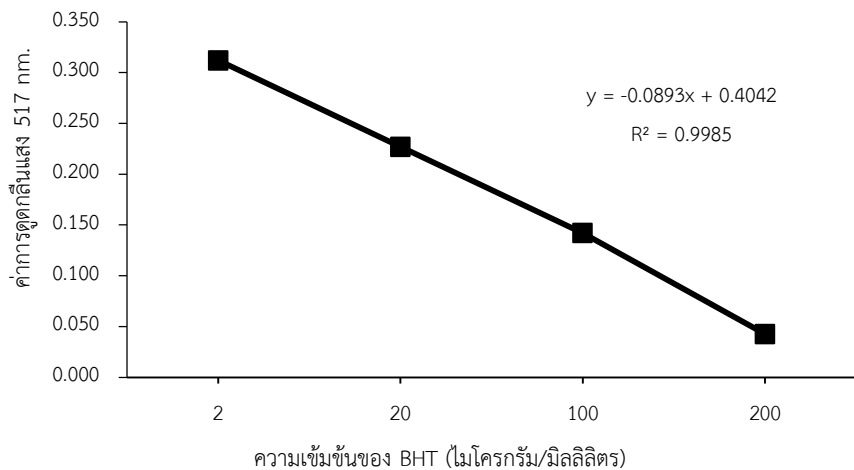
3. การวิเคราะห์ปริมาณโพลีแซคคาไรด์

ผลการสกัดโพลีแซคคาไรด์จากสาหร่าย *Spirogyra* sp. พบว่าสาหร่าย *Spirogyra* sp. มีปริมาณโพลีแซคคาไรด์เท่ากับ 1.34 ± 0.413 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณโพลีแซคคาไรด์ที่ได้จากสาหร่าย *Spirogyra* sp. โดย Sarayot et al. (2015) ได้รายงานเกี่ยวกับการตรวจคุณลักษณะของซัลเฟตโพลีแซคคาไรด์ของสาหร่าย *Spirogyra neglecta* (Hassall) Kützing พบว่าประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรต 68-85.3% กรดยูโรนิก 3.2-4.9% ซัลเฟต 2.2-12.2% และปริมาณโปรตีนอื่นๆ 2.6-17.1% นอกจากนี้ยังพบ D-galactose 23.5–27.3%, D-glucose 11.5–24.8%, L-fucose 19.0–26.7% และ L-rhamnose 16.4–18.3% เป็นโมโนแซคคาไรด์หลัก จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงคุณประโยชน์ของโพลีแซคคาไรด์จากสาหร่าย *Spirogyra* sp. ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ ได้

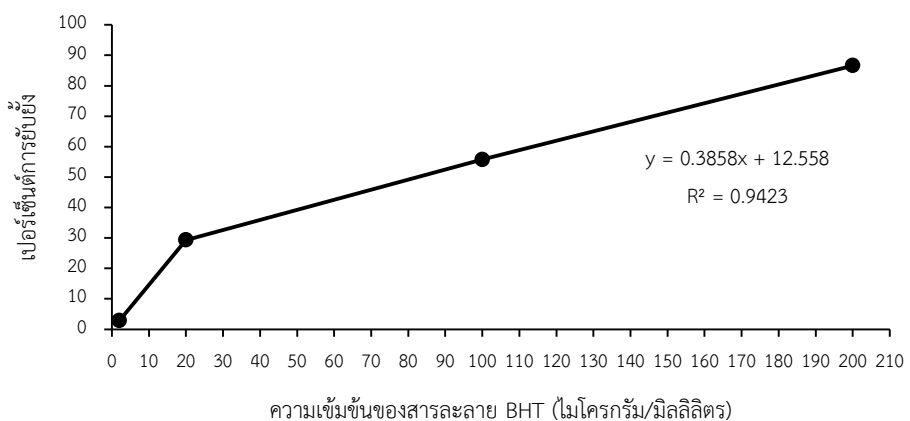
4. ความสามารถในการยับยั้ง 2,2-diphenyl-1-picryl hydrazyl radical (DPPH)

DPPH radical เป็นสารอนุมูลอิสระสังเคราะห์ เมื่อละลายในเอทานอล จะได้อาหารละลายที่มีสีม่วง และเมื่อได้รับ Hydrogen atom จากสารสกัดที่ใช้ในการทดสอบ

สารละลายสีม่วงจะเปลี่ยนเป็นสีเหลือง ซึ่งสามารถทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงได้ที่มีความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร จากนั้นนำสารละลายมาตรฐาน BHT (Butylated hydroxyl toluene) ละลายในเอทานอลที่ความเข้มข้น 2, 20, 100 และ 200 ไมโครกรัม มาทำปฏิกิริยากับสารละลายของ DPPH เพื่อสร้างกราฟมาตรฐาน (รูปที่ 2) และสร้างกราฟการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ของสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ BHT (รูปที่ 3)



รูปที่ 2 กราฟมาตรฐานของ BHT



รูปที่ 3 การยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ของสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ BHT

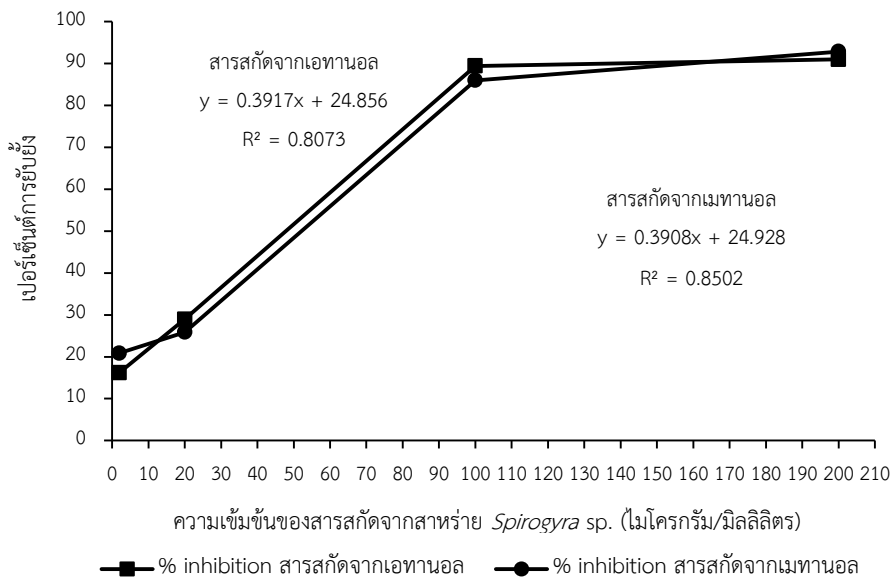
4.1 ผลการยับยั้ง DPPH ของสารสังเคราะห์ BHT

ค่าการดูดกลืนแสงของอนุมูลอิสระเสถียร DPPH จะลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ BHT เพิ่มขึ้น เมื่อนำค่าการดูดกลืนแสงของ DPPH ที่แต่ละความเข้มข้นของสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ BHT ไปคำนวณเปอร์เซ็นต์การยับยั้ง (% inhibition) เพื่อสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การยับยั้งกับความเข้มข้นสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ BHT (รูปที่ 3) พบว่า IC_{50} มีค่าเท่ากับ 80 $\mu\text{g/ml}$ หรือต้องใช้สารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ BHT เข้มข้น 80 $\mu\text{g/ml}$ จึงสามารถยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ที่ความเข้มข้น 6×10^{-5} โมลาร์ ลดลงไป 50 เปอร์เซ็นต์

4.2 ผลการยับยั้ง DPPH ของสารสกัดหยาบจากสาหร่าย *Spirogyra* sp.

ค่าการดูดกลืนแสงของอนุมูลอิสระเสถียร DPPH จะลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารสกัดหยาบ *Spirogyra* sp. เพิ่มขึ้น เมื่อนำค่าการดูดกลืนแสงของ DPPH ที่แต่ละความเข้มข้นของสารสกัดหยาบ *Spirogyra* sp. ที่สกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอลและเมทานอล ไปคำนวณเปอร์เซ็นต์การยับยั้ง (% inhibition) เพื่อสร้างกราฟการยับยั้งกับความเข้มข้นสารสกัดหยาบ *Spirogyra* sp. ด้วยตัวทำละลายเอทานอลและเมทานอล (รูปที่ 4 และตารางที่ 2) พบว่าปริมาณ IC_{50} ของสารสกัดหยาบจากสาหร่าย *Spirogyra* sp. ที่สกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอลมีค่าเท่ากับ 64.19 $\mu\text{g/ml}$ และปริมาณ IC_{50} ของสารสกัดจากสาหร่าย *Spirogyra* sp. ด้วยตัวทำละลายเมทานอลมีค่าเท่ากับ 64.15 $\mu\text{g/ml}$ หรือต้องใช้สารสกัดจากสาหร่าย *Spirogyra* sp. เข้มข้น 64.19 $\mu\text{g/ml}$ และ 64.15 $\mu\text{g/ml}$ จึงสามารถยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ที่ความเข้มข้น 6×10^{-5} โมลาร์ ลดลงไป 50 เปอร์เซ็นต์

เมื่อพิจารณางานวิจัยของฐิติกานต์ ปัญญาใหญ่ (2551) ที่ได้ศึกษากิจกรรมต้านออกซิเดชันของสาหร่ายเตา *Spirogyra neglecta* (Hassall) Kützinger พบว่าสารสกัดด้วยน้ำมีปริมาณสารสกัดหยาบ เท่ากับ 25.8% และมีผลการทดสอบความสามารถในการต้านออกซิเดชัน พบว่า สาหร่ายเตาดังกล่าวสามารถยับยั้ง $DPPH^{\bullet}$ radical ได้ดีที่สุดคือมีค่า IC_{50} เท่ากับ 0.044 ± 0.002 mg/ml และรายงานของ Thumvijit et al. (2013) ที่รายงานว่าสาหร่ายเตา *Spirogyra neglecta* (Hassall) Kützinger ที่เก็บจากจังหวัดแพร่ มีค่ากิจกรรมต้านออกซิเดชันเมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH Radical Scavenging Capacity Assay พบว่ามีค่า IC_{50} เท่ากับ 48.67 ± 3.06 $\mu\text{g/ml}$ จะเห็นได้ว่าฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากสาหร่าย *Spirogyra* sp. จากงานวิจัยนี้มีค่าสูงกว่า



รูปที่ 4 การยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดจากสาหร่าย *Spirogyra* sp. ในตัวทำละลายที่ต่างกัน

5. การตรวจสอบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic compound) ของสารสกัดหยาบจากสาหร่าย *Spirogyra* sp.

จากการศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดหยาบจากสาหร่าย *Spirogyra* sp. ด้วยวิธี Total phenolic assay ซึ่งคำนวณได้จากสมการถดถอยเชิงเส้น (Linear regression equation) ที่ได้จากกราฟมาตรฐานของ Gallic acid ($Y = 9.3027X + 0.0136$, $R^2 = 0.9996$) โดย Y = gallic acid equivalents และ X = ค่าดูดกลืนแสง พบว่า สารสกัดจากสาหร่ายน้ำจืด *Spirogyra* sp. ที่สกัดโดยตัวทำละลายเมทานอล มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุด คือ 54.57 ± 6.74 มิลลิกรัมสมมูล gallic acid ต่อน้ำหนัก 100 มิลลิลิตร, mg GAE/100 mL สารสกัดจากสาหร่ายน้ำจืด *Spirogyra* sp. ที่สกัดโดยตัวทำละลายเอทานอลมีค่าเท่ากับ 14.70 ± 1.53 มิลลิกรัมสมมูล gallic acid ต่อน้ำหนัก 100 มิลลิลิตร, mg GAE/100 mL (ตารางที่ 2) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Assawarachan et al. (2013) ที่ได้ทำการศึกษาวัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในสาหร่าย *Spirogyra* sp. พบว่ามีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 17.91 ± 4.09 มิลลิกรัมสมมูล gallic acid ต่อน้ำหนัก

100 มิลลิลิตร, mg GAE/100 mL เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Yosboonrung et al. (2020) ที่ได้ที่ได้รายงานเกี่ยวกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในสาหร่าย *Spirogyra neglecta* พบว่ามีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 157.92 mg GAE/g จากตัวอย่างสาหร่าย ที่เก็บจากภาคเหนือของประเทศไทย จากงานวิจัยต่างๆที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นจะเห็นได้ว่า มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมีความแตกต่างกันในแต่ละงานวิจัยรวมถึงงานวิจัยนี้ด้วย โดย Alshididi & Jawad (2015) ได้รายงานว่ องค์ประกอบต่าง ๆ รวมถึงสารประกอบชีวภาพในสาหร่าย *Spirogyra* sp. มีปริมาณที่แตกต่างกันในแต่ละงานวิจัยนั้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากชนิดของสาหร่าย วิธีการสกัด การเลือกใช้ตัวทำละลาย อายุของการเก็บรักษาสารสกัด ตลอดจนสภาพแวดล้อมที่สาหร่ายนั้นๆ เจริญเติบโต

ตารางที่ 2 ปริมาณ IC_{50} และ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดหยาบจากสาหร่าย *Spirogyra* sp. ในตัวทำละลายต่าง ๆ

ตัวทำละลาย	ปริมาณ IC_{50} (μ g/mL)	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (มิลลิกรัมสมมูล gallic acid ต่อน้ำหนัก 100 มิลลิลิตร, mg GAE/100 mL)
เอทานอล	64.19	14.70 $\pm$ 1.53
เมทานอล	64.15	54.57 $\pm$ 6.74

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาฤทธิ์ทางชีวภาพจากสารสกัดของสาหร่าย *Spirogyra* sp. โดยศึกษาฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรีย การวิเคราะห์ปริมาณโพลีแซคคาไรด์ การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และการตรวจสอบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด จากผลการศึกษารังนี้ แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของสารสกัดจากสาหร่าย *Spirogyra* sp. ที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียก่อโรคผิวหนังได้ และมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีศักยภาพสูงสะสมอยู่ภายในสาหร่ายดังกล่าว ดังนั้นการศึกษานี้จึงเป็นข้อมูลพื้นฐานส่วนหนึ่งในการประยุกต์ใช้สาหร่ายที่เป็นทรัพยากรธรรมชาติ ในการนำไปมาใช้ประโยชน์ในด้านอื่น ๆ โดยเฉพาะการนำมาใช้ประโยชน์ทางด้านเวชสำอางค์ อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้สาหร่าย *Spirogyra* sp. อีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ได้สนับสนุนงบประมาณตลอดจนการเอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำทดลองอุปกรณ์ สารเคมี และเครื่องมือต่าง ๆ ในการทำโครงการวิจัยเรื่องนี้

เอกสารอ้างอิง

- ฐิติกานต์ ปัญญาใหญ่. (2551). *กิจกรรมด้านออกซิเดชันของสาหร่ายเตา Spirogyra neglecta (Hassall) Kützing*. (วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาชีววิทยา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่).
- ปริญญา มูลสิน และ อมรรัตน์ วงษ์กลม. (2556). *การศึกษาผลของการใช้สารสกัดจากสาหร่ายเพื่อเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง*. รายงานการวิจัย สาขาวิชาชีววิทยา และสาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี. อุบลราชธานี
- พรรณรัตน์ อภิษฐาภิชาติ และ เบญจภรณ์ เศรษฐบุปผา. (2563). *ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและฤทธิ์ปกป้องเซลล์ของสารสกัดจากผลพืชสกุลมะเขือ 4 ชนิด*. *วารสารเภสัชศาสตร์อีสาน*, 16(1), 49-58.
- ภาวดี อินทจันทร์ และ วิภาเพ็ญ โชคดีสัมฤทธิ์. (2563). *การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเจลสารสกัดใบบัวบก 5% กับเจลคลินดามัยซิน 1% ในการรักษาสิว*. *วารสารการแพทย์และวิทยาศาสตร์สุขภาพ*, 27(1), 1-11.
- ยุวดี พิรพรพิศาล. (2549). *ศักยภาพของสาหร่ายน้ำจืดขนาดใหญ่ในการนำมาเป็นอาหารและยา*. รายงานการวิจัย สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย. กรุงเทพฯ
- ยุวดี พิรพรพิศาล, ฐิติกานต์ ปัญญาใหญ่ และ ดวงพร อมรเลิศพิศาล. (2555). *ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและต้านการอักเสบของสาหร่ายเตา*. *วารสารวิทยาศาสตร์ มข.* 40(1), 238-235.
- รัตนา อินทรานุปกรณ์. (2550). *การตรวจสอบและการสกัดแยกสารสำคัญจากสมุนไพร*. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- รัตนภรณ์ จันทร์ทิพย์, ฐิติพรรณ ภูมิสุข, อรุณี คงดี และ ดวงพร อมรเลิศพิศาล. (2555). *พฤษเคมีและผลของตัวทำละลายต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของสาหร่ายเตา (Spirogyra sp.). ใน: การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัย เชียงใหม่ ครั้งที่ 3, 23 พฤศจิกายน 2555. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 15-22.*
- รวีสรา รื่นไวย. (2563). การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิก และความสามารถต้านอนุมูลอิสระ ของสารสกัดจากดอกเก๊กฮวย. *วารสารนเรศวรพะเยา, 13*(1), 16-20.
- รชตะ รุ่งตระกูลชัย, วุฒิ สุขเจริญ, อนุพงศ์ อวิรุทธา และ วัชรินทร์ โชติชัยชรินทร์. (2562). การศึกษาและวิเคราะห์แนวทางในการพัฒนาตลาดที่ใช้สารสกัดจากธรรมชาติ. *วารสารสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น : บริหารธุรกิจและภาษา, 7*(1), 75-82.
- อรรถพล อุทัยเรือง, รุจลักขณ์ รัตตะรมณ์ และ ศัทธิตยา เมฆจรัสกุล. (2563). การประยุกต์ ทางเวชสำอางค์ของน้ำมันหอมระเหยว่านสาวหลงจากส่วนทั้งต้นและส่วนใต้ดิน. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 9*(5), 680-692.
- Alshididi, S. S. & Jawad, A. (2015). Antagonistic activity of *Spirogyra micropunctata* against some multidrug resistant human pathogenic bacteria. *Iraqi Journal of Science, 56* (3C), 2494-2498.
- Assawarachan, R., Nookong, M., Chailungka, N., & Amornlerdpison, D. (2013). Effects of microwave power on the drying characteristics, color and phenolic content of *Spirogyra* sp. *Journal of Food, Agriculture & Environment, 11*(1), 15-18.
- Demina, N. S. & Lysenko, S. V. (1996). Collagenolytic enzymes synthesized by microorganisms. *Mikrobiologiya, 65*(3), 293-304.
- Patil K. J., Patil, A. V., Mahajan, S. R., & Mahajan, R. T. (2011). Bio-activity of algae belonging to Bhusawal region, Maharashtra. *Current Biology, 2*(1), 29-31.
- Surayot U., Wang J., Lee J. H., Kanongnuch C., Peerapornpisal Y. & You S. G. (2015). Characterization and immunomodulatory activities of polysaccharides from *Spirogyra neglecta* (Hassall) Kützing. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry, 79*(10), 1644–1653.

- Sitthiwong, N. (2019). Pigment and nutritional value of *Spirogyra* spp. in Sakon Nakhon, Nakhon Phanom and Mukdahan provinces. *Science and Technology RMUTT Journal*, 9(1), 10-21.
- Tanna, b. & Mishra, A. (2019). Nutraceutical potential of seaweed polysaccharides: structure, bioactivity, safety, and toxicity. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(3), 817-831.
- Thumvijit, T., Inboot, W., Peerapompisal, Y., Amornlerdpison, D., & Wongpoomchai, R. (2013). The antimutagenic and antioxidant properties of *Spirogyra neglecta* (Hassall) Kützing. *Journal of Medicinal Plants Research*, 7(34), 2494-2500.
- Yosboonruang, A., Duangjai, A., Amornlerdpison, D., & Viyoach, J. (2020). Screening for Biological Activities of *Spirogyra neglecta* Water Extract. *Walailak Journal of Science and Technology*, 17(4), 359-368.

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ผงโรยข้าวปลาเสริมสาหร่ายพวงองุ่น THE PRODUCT DEVELOPMENT OF FISH RICE-SEASONING FISH SUPPLEMENTED WITH GREEN CAVIAR

อรอนงค์ ศรีพาวาทกุล^{*1}, มณฑกานติ ท้ามตัน² และ ประพัฒน์ กอสวัสดิ์พัฒน์²
Ornanong Sripawatakul^{*1}, Montakan Tamtin² and Prapat Kosawatpat²

¹สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี
²ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งเพชรบุรี

¹Department of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Technology
Phetchaburi Rajabhat University

²Phetchaburi Coastal Aquaculture Research and Development Center

Received: 2 February 2021

Accepted: 10 June 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยมีจุดประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการอบแห้งสาหร่ายพวงองุ่นที่เหลือจากการตัดแต่งและศึกษาปริมาณสาหร่ายพวงองุ่นที่เหมาะสมในการทำผงโรยข้าวปลา โดยศึกษาการอบแห้งสาหร่ายด้วยวิธีการตากแดดและวิธีอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 3 ระดับ คือ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส พบว่า สาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งมีค่าความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 12.03 -12.31 ความเค็มอยู่ในช่วง 62-63 ppt และค่า a_w อยู่ในช่วง 0.50-0.53 ซึ่งไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) สาหร่ายพวงองุ่นที่ตากแดดมีสีเขียวซีดและบางส่วนมีสีขาว แต่การใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิทั้ง 3 ระดับ สาหร่ายมีลักษณะที่ไม่แตกต่างกันโดยสาหร่ายอบแห้งมีสีเขียวเข้ม มีกลิ่นของสาหร่ายและรสชาติเค็ม ดังนั้นจึงเลือกการอบแห้งที่ 70 องศาเซลเซียสเพราะใช้เวลาน้อยที่สุด การศึกษาการใช้สาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งในผงโรยข้าวปลาที่ระดับร้อยละ 2, 3 และ 4 โดยน้ำหนักของสูตรพื้นฐาน พบว่าปริมาณการใช้สาหร่ายพวงองุ่นมีผลต่อการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผงโรยข้าวปลาด้านรสชาติและความชอบโดยรวม ($p>0.05$) สาหร่ายพวงองุ่นร้อยละ 3 ผู้บริโภคให้คะแนนการยอมรับมากที่สุด สูตรผงโรยข้าวปลาที่พัฒนาได้มี

* ผู้ประสานงาน: อรอนงค์ ศรีพาวาทกุล
อีเมล Ornanong.sri@gmail.com

ส่วนผสมจาก ปลานวลจันทร์ทะเลเลหยอง 34 กรัม หอมเจียว 14 กรัม กระเทียมเจียว 14 กรัม
งาขาว 14 กรัม งาดำ 7 กรัม ซอสปรุงรส 7 กรัม ซีอิ๊วขาว 6 กรัม น้ำตาลทราย 3 กรัม ผง
ปรุงรส 1 กรัม และสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้ง 3 กรัม มีคะแนนความชอบโดยรวม 8.09
ในระดับชอบมากถึงชอบมากที่สุด มีค่า L^* a^* b^* เท่ากับ 45.49 5.26 และ 23.09 ตามลำดับ
ค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) เท่ากับ 0.34 สาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งจะช่วยเพิ่มรสชาติและกลิ่นรส
ของสาหร่ายให้กับผงโรยข้าว แต่ถ้าใช้ในปริมาณที่มากจะทำให้ผงโรยข้าวมีรสชาติเค็มมากเกินไป

คำสำคัญ: ผงโรยข้าว, สาหร่ายพวงองุ่น, การทำแห้ง

Abstract

The objective of this research was to study the drying process of green caviars that were discarded during trimming and to study the appropriate amount of green caviars that could be supplemented into the fish rice-seasoning. The drying process was experimented by using sun drying and hot-air oven drying at temperatures of 50, 60 and 70 °C. It was found that the moisture content (12.03-12.31%), salinity (62-63 ppt) and a_w (0.50-0.53) of dried green caviars were not significantly different ($p>0.05$). The sun-dried green caviars were generally pale green and some were white. On the other hand, the hot-air oven dried green caviars did not show any significant difference in appearance between the three drying temperatures. The dark green colour of hot-air dried green caviars along with their odour and salty taste were retained. Therefore, drying process at 70 °C was selected due to its shortest drying time. The results of supplementing 2%, 3% and 4% of green caviars into the basis formula of fish rice-seasoning revealed that the amount of green caviars influenced sensory evaluation of the fish rice-seasoning product in terms of flavour and overall preference at $p>0.05$. The supplementing of 3% green caviars into the product showed highest acceptance by consumers. The developed formula of fish rice-seasoning consisted of 34 g of shredded seasoned milkfish, 14 g of fried red

onion, 14 g of fried garlic, 14 g of white sesame, 7 g of black sesame, 7 g of seasoning sauce, 6 g of light soy sauce, 3 g of sugar, 1 g of seasoning powder and 3 g of dried green caviars. The developed rice-seasoning was rated at 8.09 in overall satisfaction which indicated 'most' and 'more'. The product's $L^* a^* b^*$ value was at 45.49 5.26 and 23.09 respectively and its measured a_w was at 0.34. The green caviars would add the seaweed taste and flavour in fish rice-seasoning but the excessive addition of green caviars would result in too salty product.

Keywords: Rice Seasoning, Green Caviar, Drying

บทนำ

สาหร่ายองุ่นเป็นสาหร่ายทะเลสีเขียว (*Caulerpa lentillifera* J. Agardh) มีชื่อสามัญว่า Sea Grapes หรือ Green Caviar เนื่องจากมีเม็ดกลมและเป็นช่อคล้ายพวงองุ่นหรือคล้ายไข่ปลาการ์เวียร์ สาหร่ายชนิดนี้มีวิตามินหลายชนิด เช่น วิตามินบี 1 วิตามินบี 2 วิตามินอี และมีเบต้าแคโรทีน มีเกลือแร่ได้แก่ไอโอดีน ฟอสฟอรัส สังกะสี แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก แมงกานีส (Ratana-arporn & Chirapart, 2006) สาหร่ายพวงองุ่นสดมีความชื้นร้อยละ 94.90 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 2.10 โปรตีนร้อยละ 2.47 ไขมันร้อยละ 0.48 ไชมันร้อยละ 0.04 ปริมาณกากหยาบร้อยละ 2.15 และพลังงาน 10.70 kcal/100 กรัม มีกรดอะมิโนที่พบมากที่สุดคือ อาร์จินีน 251.94 มก./100 กรัม (นพรัตน์ มะเห และคณะ, 2562) และกรดอะมิโนชนิดแอสพาร์ติกและกลูตามิกสูงประมาณร้อยละ 25 ของปริมาณกรดอะมิโนทั้งหมด ทำให้สาหร่ายมีกลิ่นและรสเฉพาะตัว (สุพล ต้นสุวรรณ และคณะ, 2555) สารสกัดจากสาหร่ายใน genus *Caulerpa* (Caulerpaceae) เช่น *Caulerpa racemosa* และ *Caulerpa lentillifera* ยังมีคุณสมบัติในการยับยั้งจุลินทรีย์ก่อโรค (pathogenic bacteria) และช่วยลดการอักเสบ (antiinflammatory activity) (Nagappan & Vairappan, 2014) พอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) ของสาหร่ายพวงองุ่นส่วนใหญ่เป็นเส้นใยอาหาร (Matanjun et al., 2009) สาหร่ายพวงองุ่นมีแร่ธาตุและวิตามินหลายชนิด มีปริมาณใยอาหารสูงและให้พลังงานต่ำ ในปัจจุบันจึงมีการบริโภคสาหร่ายพวงองุ่นในลักษณะสดเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้มีเกษตรกรเพาะเลี้ยงสาหร่ายพวงองุ่นเป็นจำนวนมาก ในกระบวนการเก็บเกี่ยว

ต้องนำสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงประมาณ 1-2 เดือน มาล้างทำความสะอาดและคัดเลือกสาหร่ายที่มีสีเขียว ช่อยาวสมบูรณ์ ไม่แก่เกินไปนำไปจำหน่าย ซึ่งกระบวนการดังกล่าวต้องคัดทิ้งสาหร่ายพวงอุ้งที่มีลักษณะไม่สมบูรณ์เช่น ก้านสั้น เม็ดไม่เต็มก้าน มีสีซีดหรือสีน้ำตาลออกคิดเป็นร้อยละ 40-50 ที่ถูกทิ้งและไม่ได้นำมาใช้ประโยชน์ ดังนั้นถ้าสามารถนำสาหร่ายส่วนนี้มาแปรรูปก็จะทำให้เพิ่มมูลค่าของสาหร่ายได้มากขึ้น การอบแห้งเป็นการแปรรูปอาหารโดยการกำจัดน้ำออกจากอาหารเพื่อชะลอการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ช่วยให้เก็บรักษาอาหารได้นานขึ้น เป็นการเพิ่มความหลากหลายของผลิตภัณฑ์และสะดวกในการบริโภค (วิไลรังสาดทอง, 2547) การแปรรูปสาหร่ายด้วยวิธีการอบแห้งจึงเป็นวิธีการที่น่าสนใจโดยเฉพาะการอบแห้งด้วยวิธีการตากแดดหรือใช้ตู้อบลมร้อนเพราะเป็นวิธีการที่ง่าย ประเทศไทยมีการนำเข้าสาหร่ายทะเลอบแห้งจาก จีน ญี่ปุ่นหรือเกาหลี ในปี 2563 มีการนำเข้าสาหร่ายทะเลจำนวน 4,442,920 กิโลกรัมมีมูลค่า 1,716.2 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2563) โดยเฉพาะสาหร่ายทะเลชนิดสาหร่ายสายใบ (porphyra) หรือจี๋ฉ่าย จัดอยู่ในกลุ่มสาหร่ายสีแดง (Rhodophyta) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Porphyra* sp. ใช้ทำแกงจืดหรือทำเป็นแผ่นบางใช้ทำอาหารญี่ปุ่น เช่น ข้าวห่อสาหร่ายหรือตัดเป็นเส้นเล็กผสมในผัดโรย ข้าวผัดหรือที่ชาวญี่ปุ่นเรียกกันว่าฟูริคาเคะ (Furikake) เป็นอาหารสุขภาพที่นิยมรับประทานโดยนำมาโรยข้าว เพิ่มคุณค่าทางอาหารและรสชาติ มีส่วนประกอบหลักจาก ปลาผง งาขาว งาดำหรือสาหร่ายทะเล ในประเทศไทยมีการนำเข้าสาหร่ายทั้งสาหร่ายทะเลและสาหร่ายน้ำจืดมาแปรรูปด้วยวิธีการอบแห้งเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาหรือนำไปทำเป็นผลิตภัณฑ์เพิ่มมูลค่าเช่น ภูมิปัญญาชาวบ้านดั้งเดิมของคนน่านทำสาหร่ายไก่อแผ่นอบแห้งและผงบาหร่ายไก่อ๊นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยการอบแห้งสาหร่ายหลายชนิดเช่น น้ำฝน ไชยลังการ (2557) ได้ศึกษาการอบแห้งสาหร่ายเตาด้วยเครื่องอบแห้งแบบตู้อบลมร้อนพบว่าการอบแห้งที่สาหร่ายเตาที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ลดการเปลี่ยนสีและลดการสูญเสียสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพได้ดีที่สุด สิริมาชินสาร และ นิสานารถ กระแสร์ชล (2562) ศึกษาการอบแห้งสาหร่ายพวงอุ้งที่ผ่านการออสโมซิสด้วยสารละลายน้ำตาลและโซเดียมคลอไรด์พบว่าการใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ทำให้สาหร่ายพวงอุ้งแห้งมีการคินตัว มีค่าสีและความแน่นเนื้อใกล้เคียงกับสาหร่ายพวงอุ้งสด เกริกชัย ชีระปฏิยุทธ์ (2552) ศึกษาการอบแห้งไข่น้ำ (*Wolffia globosa*) นำมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ผัดโรยข้าวจากไข่น้ำ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาการใช้ประโยชน์จากสาหร่ายพวงอุ้งที่มีเหลือจากการตัดแต่งแต่ยังคงมีคุณภาพดีมาอบแห้งและ

พัฒนาผลิตภัณฑ์ผงโรยข้าวปลาเสริมสาหร่ายพวงองุ่น ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ใหม่และเป็นการเพิ่มมูลค่าสาหร่ายพวงองุ่น โดยวัตถุประสงค์งานวิจัยเพื่อศึกษาอุณหภูมิในการอบแห้งสาหร่ายพวงองุ่นและปริมาณสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งที่เหมาะสมในการทำผงโรยข้าวปลา

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งสาหร่ายพวงองุ่น

1.1 การเตรียมสาหร่ายพวงองุ่นก่อนอบแห้ง โดยนำสาหร่ายพวงองุ่นที่เหลือจากการตัดแต่งที่มีคุณภาพดีแต่มีลักษณะรูปร่างไม่สมบูรณ์ ก้านสั้น เม็ดไม่เต็มก้าน ไม่ซ้ำ ดังรูปที่ 1 มาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำ ทิ้งให้สะเด็ดน้ำและผึ่งสาหร่ายพวงองุ่นบนตะแกรงที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6 ชั่วโมง



รูปที่ 1 สาหร่ายพวงองุ่นเหลือจากการตัดแต่ง

1.2 การศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งสาหร่ายพวงองุ่น โดยเปรียบเทียบการตากแดดและอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 3 ระดับ คือ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส อบแห้งสาหร่ายพวงองุ่นปริมาณ 3 กิโลกรัมให้มีค่าความชื้นประมาณร้อยละ 12 แล้วบันทึกเวลาในการอบแห้ง นำสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งไปวิเคราะห์คุณภาพดังต่อไปนี้ วัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสี Hunter color lab (UltraScan VIS,UAS) ใช้การวัดสีในระบบ CIE Lab เพื่อวัดค่าความสว่าง (L^*) ค่าสีแดง (a^*) ค่าสีเหลือง (b^*) ปริมาณความชื้นด้วยวิธีการอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ด้วยเครื่องวัดค่าปริมาณน้ำอิสระ

(AQUA LAB,USA) และความเค็มด้วยเครื่องวัดค่าเค็ม (Salinity Refractometer) (ATAGO, JAPAN) ทำการทดลอง 3 ซ้ำและบันทึกลักษณะปรากฏ สีและกลิ่นของสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้ง เพื่อเลือกสภาวะการอบแห้งที่เหมาะสม โดยสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งควรมีลักษณะแห้ง มีสีเขียวไม่ซีดขาว มีกลิ่นสาหร่าย

2. การศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งในผลิตภัณฑ์ผงโรยข้าว ปลาเสริมสาหร่ายพวงองุ่น

นำผงโรยข้าวปลาสูตรพื้นฐานมาศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้ง 3 ระดับ โดยใช้สาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งใส่ในผงโรยปลาข้าวสูตรพื้นฐานในปริมาณ ร้อยละ 2, 3 และ 4 ของน้ำหนักผงโรยปลาข้าวสูตรพื้นฐาน รายละเอียดในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ผงโรยข้าวปลาเสริมสาหร่ายพวงองุ่น

ส่วนผสม	สูตรพื้นฐาน	สูตรเสริมสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้ง (ร้อยละของน้ำหนักสูตรพื้นฐาน)		
		ร้อยละ 2	ร้อยละ 3	ร้อยละ 4
ปลานวลจันทร์ทะเลหยอง (กรัม)	34	34	34	34
หอมเจียว (กรัม)	14	14	14	14
กระเทียมเจียว (กรัม)	14	14	14	14
งาขาว (กรัม)	14	14	14	14
งาดำ (กรัม)	7	7	7	7
ซอสปรุงรส (กรัม)	7	7	7	7
ซีอิ๊วขาว (กรัม)	6	6	6	6
น้ำตาลทราย (กรัม)	3	3	3	3
ผงปรุงรส (กรัม)	1	1	1	1
สาหร่ายพวงองุ่นอบแห้ง (กรัม)	0	2	3	4

นำผงโรยข้าวปลาเสริมสาหร่ายพวงองุ่นไปวิเคราะห์ค่าสี และค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) และนำไปทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสใช้การทดสอบแบบ 9-Point Hedonic scale ให้คะแนนความชอบระดับ 9 ระดับ (1=ไม่ชอบมากที่สุด 5=เฉยๆ 9=ชอบมากที่สุด) ทำประเมินคุณลักษณะด้านคุณลักษณะปรากฏ สี รสชาติ และความชอบโดยรวม โดยผู้ทดสอบชิม

ไม่ได้ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน การเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบชิมโดยเสรีในถ้วยขนาด 2 ออนซ์ ใช้ข้าวสวยหอมมะลิ 30 กรัม โรยผงโรยข้าว 3 กรัม ก่อนเสรีผู้ทดสอบชิมจะชิมทีละตัวอย่างพร้อมทั้งให้คะแนนความชอบในแต่ละคุณลักษณะและบ้วนปากด้วยน้ำทุกครั้งก่อนเปลี่ยนตัวอย่างชิมใหม่

3. การวางแผนการทดลองทางสถิติและการวิเคราะห์ข้อมูล

การวัดค่าคุณภาพทางกายภาพและทางเคมี ใช้การวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย วิธี Duncan's Multiple-Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส ใช้การวางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Completely Block Design; RCBD) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple-Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

1. การศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งสาหร่ายพวงองุ่น

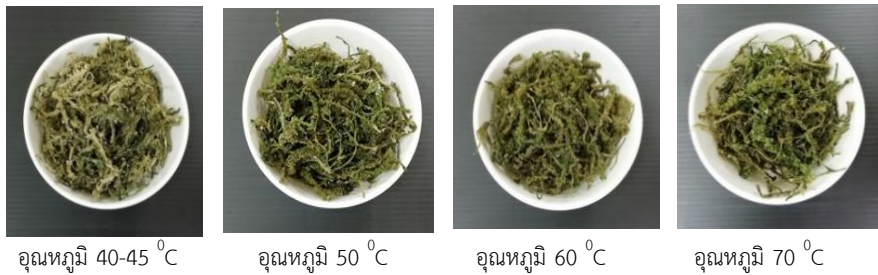
การอบแห้งสาหร่ายพวงองุ่นให้มีความชื้นประมาณร้อยละ 12 ด้วยวิธีการตากแดด อุณหภูมิประมาณ 40-45 องศาเซลเซียสและใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 3 ระดับ คือ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลาการอบแห้งที่แตกต่างกัน การตากแดดใช้ระยะเวลามากที่สุดคือ 600 นาที การอบแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่ 70 องศาเซลเซียสใช้เวลา 240 นาที สาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งมีค่าความชื้น ความเค็ม และปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ดังตารางที่ 2 โดยมีความชื้นประมาณร้อยละ 12.03-12.31 และความเค็มอยู่ระหว่าง 62-63 ppt และค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) อยู่ระหว่าง 0.50 - 0.55 ซึ่งเป็นค่า a_w ที่ต่ำเชื้อจุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ ทำให้สามารถเก็บรักษาสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งได้นานขึ้น และค่า a_w ของสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนสาหร่ายอบแห้ง (มพช.515/2547) ที่กำหนดค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ต้องต่ำกว่า 0.60 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2547) สาหร่ายพวงองุ่นสดที่นำมาอบแห้งมีสีเขียวอ่อน มีรสชาติเค็มเล็กน้อย เนื่องจากสาหร่ายพวงองุ่นเพาะเลี้ยงในน้ำที่มีความเค็มประมาณ 27-33 ppt (สุพล ต้นสุวรรณ และคณะ, 2555) มีลักษณะอวบน้ำภายในมีส่วนประกอบของน้ำร้อยละ 95 และมีปริมาณโซเดียมคลอไรด์ 2.90 มิลลิกรัม

(พิชญ์ ใหมสุทิสกุล และ วิชฌณี ยืนยงพุทธรกาล, 2563) การอบแห้งทำให้น้ำระเหยออก จึงทำให้สาหร่ายพวงองุ่นแห้งมีสีเขียวเข้มขึ้น มีรสชาติเค็มมากขึ้น ดังรูปที่ 2 วิธีการตากแดด สาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งจะมีกลิ่นคาวและสีเขียวเข้มน้อยกว่าการใช้ตู้อบลมร้อนและบางส่วน มีสีขาวเนื่องจากการตากแดดใช้เวลานานถึง 2 วัน วลัย คลีฉายา และ สมยศ ราชนิยม (2558) ศึกษาการอบแห้งสาหร่ายผักกาดและสาหร่ายไส้ไก่พบว่าสาหร่ายอบแห้งทั้ง 2 ชนิด ที่ได้จากการนำสาหร่ายแบบสดมาตากแดดเกิดการเปลี่ยนแปลงสีมากกว่าและมีคะแนนการยอมรับร่วนน้อยกว่าสาหร่ายที่ลวกและอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่ 60 องศาเซลเซียส การใช้ตู้อบลมร้อนที่ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส สาหร่ายพวงองุ่นแห้งมีคุณภาพดีกว่าวิธีการตากแดด สาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งจากตู้อบลมร้อนมีลักษณะปรากฏไม่แตกต่างกันและมีกลิ่นสาหร่าย มีสีเขียวเข้มขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้อบแห้ง เป็นอุณหภูมิที่พอเหมาะในการทำงานของเอนไซม์ คลอโรฟิลเลส (chlorophyllase) ซึ่งอยู่ในช่วง 60-82.2 องศาเซลเซียส การทำงานของเอนไซม์นี้จะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาให้หมู่ไฟตอล (phytol) แตกตัวออกจากคลอโรฟิลล์ที่มีสีเขียวเปลี่ยนเป็นคอลโรฟิลไลด์ (chlorophyllide) ที่มีสีเขียวสด (ปราณี มีศิริสุข, 2553) ผลงานวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Thedthai & Zhou (2009) ที่ได้ศึกษาการทำแห้งใบมินท์โดยใช้ลมร้อนที่ อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียสพบว่าค่าสีของใบมินท์ไม่มีความแตกต่างกัน

ตารางที่ 2 ปริมาณน้ำอิสระ ความชื้น ความเค็มและเวลาอบแห้งของสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิ (°C)	ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ^{ns}	ความชื้น (ร้อยละ) ^{ns}	ความเค็ม (ppt) ^{ns}	เวลาอบแห้ง (นาท)
ตากแดด	0.55±0.06	12.31	63	600
50	0.51±0.05	12.25	63	480
60	0.50±0.05	12.05	62	300
70	0.52±0.05	12.03	63	240

หมายเหตุ: ^{ns} หมายถึงค่าในแนวดิ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)



รูปที่ 2 สาหร่ายพวงองุ่นอบแห้ง

ค่าสีของสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งในตารางที่ 3 พบว่า ค่า L^* (ความสว่าง) และค่า a^* (ค่าสีแดง) ของสาหร่ายพวงองุ่นที่ตากแดดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กับการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนทั้ง 3 อุณหภูมิ โดยสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งที่ตากแดดมีค่า L^* มากกว่าเนื่องจากมีสีเขียวซีดกว่า สาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งที่ใช้ลมร้อนทั้ง 3 อุณหภูมิมีค่า a^* ไม่แตกต่างกันและมีค่าติดลบหมายถึงมีสีอยู่ในโทนสีเขียวมากกว่าสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งที่ตากแดด กระบวนการที่เหมาะสมในการอบแห้งสาหร่ายพวงองุ่นโดยใช้ตู้อบลมร้อนคือ อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเพราะใช้เวลาการอบแห้งน้อยที่สุดและสีของสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งมีสีเขียวเข้ม

ตารางที่ 3 ค่าสีของสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิ (°C)	ค่าสี		
	L^*	a^*	b^{*ns}
ตากแดด	38.71 ± 0.46^a	0.06 ± 0.28^a	13.19 ± 0.77
50	32.10 ± 2.24^b	-1.08 ± 0.53^b	11.38 ± 1.20
60	30.63 ± 1.29^b	-1.06 ± 0.09^b	11.49 ± 0.88
70	31.35 ± 1.68^b	-0.94 ± 0.35^b	11.05 ± 1.63

หมายเหตุ: ^{a,b} อักษรที่ต่างกันในแนวตั้งหมายถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} หมายถึง ค่าในแนวตั้งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

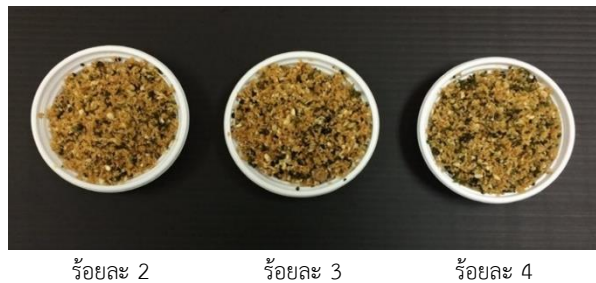
2. ผลการศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งในผลิตภัณฑ์ผงโรยข้าวปลาเสริมสาหร่ายพวงองุ่น

นำผงโรยข้าวปลาที่ใช้สาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งร้อยละ 2, 3 และ 4 ดังรูปที่ 3 ไปทดสอบค่าสี ค่า a_w และทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคเพื่อหาปริมาณสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งที่เหมาะสมในการผลิตผงโรยข้าวปลาเสริมสาหร่ายพวงองุ่น ดังตารางที่ 4 พบว่า ค่าสีของผงโรยข้าวที่มีปริมาณสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งที่แตกต่างกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) โดยค่าสี L^* (ค่าความสว่าง) อยู่ในช่วง 43.43 – 45.69 ค่า a^* (ค่าสีแดง) อยู่ในช่วง 4.58 – 5.44 และค่า b^* (ค่าสีเหลือง) อยู่ในช่วง 20.06 – 23.09 ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสที่ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏและสี ไม่แตกต่างกัน ผงโรยข้าวที่มีสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งในปริมาณที่ต่างกันมีค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) โดยผงโรยข้าวที่มีปริมาณสาหร่ายพวงองุ่นร้อยละ 4 มีค่า a_w มากที่สุดเท่ากับ 0.38 ซึ่งไม่เกินค่า a_w ของมาตรฐานผลิตภัณฑ์ผงโรยข้าวจากสาหร่าย (มผช.1512/2562) ที่กำหนดให้ค่า a_w ต้องไม่เกิน 0.6 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2562)

ตารางที่ 4 ค่าสีและปริมาณน้ำอิสระ(a_w) ของผงโรยข้าวปลาที่ใช้สาหร่ายพวงองุ่นอบแห้ง

สาหร่ายพวงองุ่น อบแห้ง (ร้อยละ)	ปริมาณน้ำอิสระ (a_w)	ค่าสี		
		L^* ^{ns}	a^* ^{ns}	b^* ^{ns}
2	0.33±0.015 ^b	45.69±4.57	5.44±2.22	21.20±3.65
3	0.34±0.020 ^b	45.49±2.07	5.26±1.71	23.09±4.07
4	0.38±0.006 ^a	43.43±5.51	4.58±1.69	20.06±4.48

หมายเหตุ: ^{a,b} อักษรที่ต่างกันในแนวตั้งหมายถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$)
^{ns} หมายถึง ค่าในแนวตั้งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)



รูปที่ 3 ผงโรยข้าวโดยใช้สาหร่ายพวงองุ่นอบแห้ง

ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผงโรยข้าวปลาที่ใช้สาหร่ายพวงองุ่น ดังตารางที่ 5 พบว่าคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ สีและกลิ่นไม่มีความแตกต่างกัน ($p>0.05$) ส่วนคุณลักษณะด้านรสชาติและความชอบโดยรวมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) ทั้งนี้ผงโรยข้าวที่ใส่สาหร่ายพวงองุ่นร้อยละ 3 ผู้บริโภคให้คะแนนการยอมรับมากที่สุด มีคะแนนความชอบโดยรวม 8.09 คะแนนอยู่ที่ระดับชอบมากถึงชอบมากที่สุด เนื่องจากสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งที่ใส่ลงไปช่วยเพิ่มรสชาติของสาหร่ายให้กับผงโรยข้าวปลา แต่ถ้าใส่ในปริมาณที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลทำให้ผงโรยข้าวมีรสชาติเค็มมากเกินไปเพราะสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งมีรสชาติเค็ม ดังนั้นสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งร้อยละ 3 จึงเป็นสัดส่วนที่เหมาะสมต่อการผลิตผลิตภัณฑ์ของผงโรยข้าวปลาที่ใช้สาหร่ายพวงองุ่นอบแห้ง

ตารางที่ 5 ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผงโรยข้าวปลาโดยใช้สาหร่ายพวงองุ่น

สาหร่ายพวง องุ่นอบแห้ง (ร้อยละ)	ลักษณะ ปรากฏ ^{ns}	สี ^{ns}	กลิ่น ^{ns}	รสชาติ	ความชอบ โดยรวม
2	7.31±1.21	7.23±0.91	7.23±1.22	7.00±1.48 ^b	7.26±1.04 ^b
3	7.40±1.00	7.66±0.99	7.46±1.29	8.09±0.98 ^a	8.09±0.95 ^a
4	7.63±1.01	7.17±0.95	7.00±1.21	6.02±0.90 ^c	6.17±0.95 ^c

หมายเหตุ: ^{a,b,c} อักษรที่ต่างกันในแนวดังหมายถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$)
^{ns} หมายถึง ค่าในแนวดังไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

สรุปผลการวิจัย

สาหร่ายพวงองุ่นที่เหลือจากขั้นตอนการตัดแต่งสามารถนำมาอบแห้งเพื่อเพิ่มมูลค่าวัตถุดิบได้ โดยนำสาหร่ายมาล้างน้ำ ทั้งให้สะอาดและผึ่งสาหร่ายพวงองุ่นบนตะแกรงที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6 ชั่วโมง นำไปอบแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เวลา 240 นาที สาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งมีสีเขียวเข้ม มีกลิ่นสาหร่าย มีความเค็มเท่ากับ 63 ppt ความชื้นประมาณร้อยละ 12 และมีค่า a_w เท่ากับ 0.52 ผงโรยข้าวปลาที่มีสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งร้อยละ 3 ผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับมากที่สุดมีคะแนนความชอบโดยรวม 8.09 คะแนนอยู่ที่ระดับชอบมากถึงชอบมากที่สุด สาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งจะช่วยเพิ่มรสชาติให้ผงโรยข้าวปลา ผงโรยข้าวปลาเสริมสาหร่ายพวงองุ่นมีค่า a_w เท่ากับ 0.34 ซึ่งไม่เกินมาตรฐานผลิตภัณฑ์ผงโรยข้าวจากสาหร่ายที่กำหนด สาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งสามารถทำผลิตภัณฑ์ผงโรยข้าวจากปลาเสริมสาหร่ายพวงองุ่นได้ เป็นการช่วยเพิ่มมูลค่าวัตถุดิบที่เหลือใช้เพิ่มคุณค่าทางอาหารให้กับผลิตภัณฑ์ ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ใหม่ เพิ่มทางเลือกให้กับผู้บริโภคที่ต้องการอาหารเพื่อสุขภาพ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรีที่ได้สนับสนุนทุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2563

เอกสารอ้างอิง

- เกริกชัย ชีระปฎิยุทธ. (2552). *ผลิตภัณฑ์ผงผักปรุงรสโรยข้าวเคลือบสูงจากไข่น้ำ (วอลฟ์เพียกลอโบซ่า)*. (วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย).
- นพรัตน์ มะเห, มาโนช ขำเจริญ และ ดลฤดี พิชัยรัตน์. (2562). คุณค่าทางโภชนาการและการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของสาหร่ายพวงองุ่น (*caulerpa lentillifera*) หลังการเก็บเกี่ยว. *วารสารวิทยาศาสตร์ มข.*, 47(3), 478-489.
- น้ำฝน ไชยลังการ. (2557). *ผลกระทบของสภาวะและวิธีการอบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพสาหร่ายเตา*. (วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยแม่โจ้).
- ปราณี มีศิริสุข. (2553). *เคมีอาหาร*. ชลบุรี: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก.

- พิชญูร ไหมสุทธิสกุล และ วิษณีย์ ยืนยงพุทธกาล. (2563). ผลของวิธีการลดความเค็มต่อสมบัติทางเคมีของสาหร่ายพวงองุ่น. *วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก*, 13(1), 92-101.
- วลัย คลีฉายา และ สมยศ ราชนิยม. (2558). *วิธีการจัดการและยืดอายุการเก็บรักษาคุณภาพสาหร่ายผักกาดทะเลและสาหร่ายไส้ไก่*. รายงานผลการวิจัย, กองวิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ กรมประมง.
- วิไล รังสาทอง. (2547). *เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร*. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2547). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน สาหร่ายทะเลอบแห้ง(มผช515/2547)*. สืบค้นเมื่อวันที่ 8 มิถุนายน 2564, จาก http://tcps.tisi.go.th/pub/tcps515_47.pdf.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2562). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ผงโรยข้าวจากสาหร่าย(มผช1512/2562)*. สืบค้นเมื่อวันที่ 5 มกราคม 2563, จาก <http://tcps.tisi.go.th/public/StandardList.aspx>.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2563). *ปริมาณและมูลค่าการนำเข้าสินค้าเกษตรและอาหาร*. สืบค้นเมื่อวันที่ 8 มิถุนายน 2564, จาก http://impexp.oae.go.th/service/report_product01.php?S_YEAR=2563&i_type=1&PRODUCT_ID=1273&wf_search=&WF_SEARCH=Y#4476.
- สิริมา ชินสาร และ นิसानารถ กระแสร์ชล. (2562). *การพัฒนากรรมวิธีการผลิตสาหร่ายพวงองุ่นอบแห้งคืนรูปเร็ว*. รายงานผลการวิจัย, มหาวิทยาลัยบูรพา.
- สุพล ต้นสุวรรณ, มณฑกานติ ท้ามตัน และ สันติภาพ แซ่เฮ้า. (2555). *สาหร่ายพวงองุ่น "Green Caviar"*. สืบค้นเมื่อวันที่ 5 มกราคม 2563, จาก <https://www.fisheries.go.th>.
- Matanjun, P., Mohamed, S., Mustapha, N. M., & Muhammad, K. (2009). Nutrient content of tropical edible seaweeds, *Eucheuma cottonii*, *Caulerpa lentillifera* and *Sargassum polycystum*. *Journal of Applied Phycology*, 21, 75–78.

- Nagappan, T., & Vairappan, C. S. (2014). Nutritional and bioactive properties of three edible species of green algae, genus caulerpa (caulerpacrae). *Journal of Applied Phycology*, 26(2), 1019-1027.
- Ratana-Arporn, P., & Chirapart, A. (2006). Nutritional evaluation of tropical green seaweeds Caulerpa lentillifera and Ulva reticulate. *Kasetsart Journal (Natural Science)*, 40 (Suppl), 75–83.
- Therdthai, N., & Zhou, W. (2009). Characterization of microwave vacuum drying and hot air drying of mint leaves (*Mentha cordifolia* Opiz ex Fresen). *Journal of Food Engineering*, 91(3), 482–489.

ผลของการใส่ปุ๋ยสังกะสีต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และคุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าว

กข61 ที่ปลูกในฤดูแล้งและฤดูฝน

THE EFFECTS OF ZINC FERTILIZER TOWARDS GROWTH, PRODUCT QUANTITY AND QUALITY OF RICE SEED (RD61) CULTIVATING IN DRY SEASON AND RAINY SEASON IN SUKHOTHAI PROVINCE

ปานพงษ์ พวงมาลา^{*,1} และ จีราภรณ์ อินทสาร²

Panupong Puongmala^{*,1} and Jiraporn Inthasan²

¹ศูนย์เมล็ดพันธุ์ข้าวสุโขทัย จังหวัดสุโขทัย

²สาขาวิชาทรัพยากรดินและสิ่งแวดล้อม คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

¹Sukhothai Rice Seed Center

²Division of Soil Science Faculty of Agricultural Production, Maejo University

Received: 16 November 2020

Accepted: 24 June 2021

บทคัดย่อ

การศึกษาผลของการใส่ปุ๋ยสังกะสีต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และคุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าว กข61 ในจังหวัดสุโขทัย ได้ทำการปลูกข้าวเจ้าพันธุ์ กข61 ในฤดูนาปรังและนาปี ในปี 2561 วางแผนการทดลองแบบ RCBD ประกอบด้วย 6 ตำรับ ได้แก่ T1 คือ การไม่ใส่ปุ๋ยเคมี T2 คือ การใส่ปุ๋ยเคมีตามกรรมวิธีของกลุ่มผู้ผลิตเมล็ดพันธุ์ (50 กิโลกรัม/ไร่) T3 การใส่ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำของกรมการข้าว T4 การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (App LDD) T5 การใส่ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำของกรมการข้าว +Zn 20 กรัม/น้ำ 20 ลิตร และ T6 การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน +Zn 20 กรัม/น้ำ 20 ลิตร ผลการทดลองพบว่าในการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวของฤดูนาปรัง การใส่ T2 ส่งผลให้จำนวนหน่อ/กอ ที่ต้นข้าวอายุ 45 และ 90 วัน มีจำนวนมากที่สุด 23 หน่อ/กอ ขณะที่ T6 ส่งผลให้จำนวนเมล็ดดี/รวง และผลผลิต/ไร่ สูงที่สุด (67 เมล็ด และ 695 กิโลกรัม/ไร่ ตามลำดับ) รวมทั้งไม่พบการพักตัว/แข็งตัวของเมล็ด ส่วน T5 ทำให้มีจำนวนเมล็ดลีบ/รวง น้อยที่สุดอยู่ที่ 14 เมล็ด ขณะที่การเน่า/ตาย ของเมล็ด

* ผู้ประสาน: ปานพงษ์ พวงมาลา

อีเมล: panupong.p@rice.mail.go.th

พบน้อยที่สุดใน T1 ในส่วนของการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวในฤดูนาปีพบว่าที่อายุ 45 วัน การใส่ T5 ทำให้ค่าเฉลี่ยความสูงของต้นข้าวสูงที่สุดอยู่ที่ 86 เซนติเมตร ขณะที่เมื่อข้าวอายุ 90 วัน T4 ทำให้ต้นข้าวมีค่าเฉลี่ยความสูงมากที่สุด (102 เซนติเมตร) ส่วนการใส่ T2 ทำให้มีจำนวนหน่อ/กอ มากที่สุด (20 หน่อ/กอ) ขณะที่การใส่ T6 ทำให้มีจำนวนเมล็ดลีบ/รวง และการเน่า/ตาย ของเมล็ดน้อยที่สุด (7 เมล็ด และ 2 เมล็ดตามลำดับ) และได้ผลผลิตสูงที่สุดอยู่ที่ 951 กิโลกรัม/ไร่ รวมทั้งมีเปอร์เซ็นต์การงอกสูงที่สุดอยู่ที่ 96% และไม่พบการงอกผิดปกติของเมล็ดพันธุ์ข้าว

คำสำคัญ: กข61, สังกะสี, ผลผลิต, คุณภาพเมล็ดพันธุ์, นาปรัง, นาปี

Abstract

The research investigated the effects of zinc fertilizer towards growth, grain yield and quality of rice seed. The rice variety RD61 was used in this experiment. The research was conducted in the in-season and off-season on paddy fields in 2018. The RCBD plan of experiment consisted of a trial of 6 treatments. The treatments were; T1) application of non-chemical fertilizer, T2) application of chemical fertilizer according to the suggestion of the seed producers group (50 kg/Rai), T3) application of chemical fertilizer based on the suggestion of the Rice Department, T4) application of chemical fertilizer according to the soil analysis data on LDD Application of the Land Development Department, T5) application of chemical fertilizer based on the suggestion of the Rice Department, added with Zinc for 20 grams/20 Liters of water and T6) application of chemical fertilizer according to the soil analysis data on LDD Application, added with Zinc for 20 grams/ 20 Liters of water. The research revealed that the seed production in the dry season paddy field found that T2 brought the highest number of tillers per hill of the rice seeding at 45 and 90 days with 23 tillers/hill. T6 brought the highest number of filled grain per panicle and the grain yield at 67 seeds and 695 kg/rai respectively. In addition,

the seed dormancy was not found. Besides, the T5 brought the lowest number of unfilled grain/panicles at 14 seeds and the damaged or rotten grain was found the least in the T1. The seed production in the in-season paddy field found that T5 application on the rice seeding at 45 days, brought the highest average plant height at 86 centimeters. While the rice seeding at 90 days, T4 brought the highest average plant height at 102 centimeters. Furthermore, T2 brought the most number of tiller per hill at 20 tillers/hill. T6 brought the lowest unfilled grain/panicle and the damaged/rotten seed at 7 seeds and 2 seeds respectively and T6 was able to produced the highest grain yield at 951 kg/rai and the highest seed germination percentage at 96% as well as the abnormal seed germinate was not found at all.

Keywords: RD61, Zinc, Yield, Seed quality, In-season, Off-season

บทนำ

สังกะสีอยู่ในกลุ่มจุลธาตุเป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณน้อย ในพืชส่วนใหญ่ สังกะสีมีบทบาทในการสร้างคลอโรฟิลล์ เป็นองค์ประกอบในเอนไซม์บางชนิด และมีหน้าที่เกี่ยวกับการสร้างฮอร์โมนที่ใช้ในการเจริญเติบโตของพืช กระตุ้นกระบวนการเจริญเติบโต ส่งเสริมการใช้ธาตุอาหารอื่น ๆ การสร้างแป้งและน้ำตาล การสร้างเมล็ด ทำให้ข้าวต้านทาน การเกิดโรค (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544; ยงยุทธ โอสธสภ และคณะ, 2558)

สำหรับข้าวนั้นเป็นพืชที่ไวต่อการขาดสังกะสีมาก ซึ่งมักพบอาการขาดสังกะสีในการปลูกแบบนาขังน้ำ เนื่องจากค่าความเป็นกรดต่างที่เพิ่มมากขึ้น โดยความเป็นประโยชน์ของสังกะสีจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อดินแห้งหรือลดระดับน้ำในนาข้าวลง การขังน้ำจะทำให้ปริมาณสังกะสีลดลงเนื่องจากการสูญเสียหน้าดินบางส่วน มีผลต่อปริมาณอินทรีย์วัตถุที่ถูกเคลื่อนย้ายออกไปจากพื้นที่ (จิราภรณ์ อินทสาร, 2557) สภาพขังน้ำมีผลต่อปฏิกิริยาทางเคมีไฟฟ้าและชีวเคมีของดิน (Rehman et al., 2012) สังกะสีในดินจะละลายน้ำและปลดปล่อยได้ง่ายเมื่อระดับความเป็นกรดต่างอยู่ในช่วงประมาณ 5.0 หากสูงกว่า 6.5 การละลายน้ำของสังกะสีจะลดลง (อรอรอนงค์ โฉมศิริ และคณะ, 2555) และสังกะสีจะอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่ำ

หากมีปริมาณฟอสฟอรัส และสารประกอบไบคาร์บอเนตในดินสูง ทำให้จับตัวกับสังกะสีและเปลี่ยนเป็นรูปที่ข้าวนำไปใช้ประโยชน์ไม่ได้ ผลของการขาดสังกะสีในดินเกิดขึ้นในดินกรดที่สลายตัวอย่างมาก (highly weathered acid soils) และดินเนื้อปูน (calcareous soils) ในดินกรดสังกะสีจะตกตะกอนเป็น $Zn(OH)_2$ และ ZnS ในดินก้ำมะถันและดินด่าง (alkaline soils) (Hafeez et al., 2013) ขณะที่ในดินเนื้อปูนการขาดสังกะสีเกิดจากสาเหตุในดินเนื้อปูน (calcareous soils) มีค่าความเป็นกรดต่างมากกว่า 7.0 ซึ่งมีอินทรีย์วัตถุระดับปานกลางถึงสูง มีผลทำให้ขาดสังกะสีเนื่องจากไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) ในสารละลายดินสูง และดินที่มีสัดส่วนระหว่าง Mg : Ca ratio มากกว่า 1 ก็มีผลทำให้ขาดสังกะสีได้ โดยพบว่าค่าระดับวิกฤตของการขาดสังกะสีในข้าวอยู่ที่ 15 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (Yoshida, 1981) เช่นเดียวกับในพืชทั่วไปค่าระดับวิกฤตของสังกะสีอยู่ที่ 15 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (Benton, 2003) Sudha & Stalin (2015) รายงานว่าเมื่อมีการให้ปริมาณสังกะสีลดลง ส่งผลต่อผลผลิตข้าวที่ลดลง โดยความเข้มข้นของสังกะสีก็ต่ำลงเช่นกัน ในข้าวสาธิตการใส่ปุ๋ยสังกะสีช่วยให้การเจริญเติบโต และยังช่วยปรับปรุงผลผลิตรวมทั้งปริมาณความเข้มข้นของธาตุสังกะสีในเมล็ดได้ 3-4 เท่า (Yilmaz et al., 2010) ดังนั้นงานวิจัยในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการจัดการปุ๋ยที่แตกต่างกันต่อการเจริญเติบโต องค์ประกอบผลผลิต ผลผลิต และคุณภาพเมล็ดพันธุ์ของข้าวเจ้า กข61 ที่ปลูกในฤดูแล้งและฤดูฝน

วิธีดำเนินการวิจัย

สถานที่และแผนการทดลอง

การเปรียบเทียบกรรมวิธีการจัดการปุ๋ยในการผลิตเมล็ดข้าวเจ้าพันธุ์ กข61 ในพื้นที่ของศูนย์เมล็ดพันธุ์ข้าวสุโขทัย เลขที่ 169 หมู่ 5 ตำบลนาทุ่ง อำเภอสวรรคโลก จังหวัดสุโขทัย พิกัด $17^{\circ}18'40.0''N$ $99^{\circ}42'59.7''E$ ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มชุดดินในพื้นที่ลุ่ม กลุ่มชุดดินที่ 15 ได้แก่ ชุดดินหล่มสัก (La) ชุดดินแม่สาย (Ms) และชุดดินแม่ทะ (Mta) ลักษณะคือเป็นกลุ่มดินทราย แปรสลับมากที่เกิดจากตะกอนลำนํ้า ปฏิกิริยาดินเป็นกลางหรือเป็นด่าง การระบายน้ำเลวถึงค่อนข้างเลว ความอุดมสมบูรณ์ต่ำถึงปานกลาง (สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน, 2548) ระยะเวลาทำการทดลองปลูกข้าวเจ้าพันธุ์ กข61 ในฤดูนาปรัง ในช่วงเดือนพฤษภาคม 2560 – พฤษภาคม 2561 และในฤดูนาปี ในช่วงเดือนมิถุนายน – ตุลาคม 2561 ในแปลงย่อยขนาด 6×10 เมตร จำนวน 24 แปลงย่อย โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์

RCBD 6 กรรมวิธี จำนวน 4 ซ้ำ ประกอบด้วย 1. การไม่ใส่ปุ๋ยเคมี (T1) 2. การใส่ปุ๋ยเคมีตามกรรมวิธีของกลุ่มผู้ผลิตเมล็ดพันธุ์ (46-0-0 อัตรา 50 กิโลกรัม/ไร่) (T2) 3. การใส่ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำของกรมการข้าว (18-3-0 อัตรา 49 กิโลกรัม/ไร่) (T3) 4. การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (App LDD) (18-3-0 อัตรา 46 กิโลกรัม/ไร่) (T4) 5. การใส่ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำของกรมการข้าว +Zn 20 กรัม/น้ำ 20 ลิตร (T5) และ 6. การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน Soil Analysis +Zn 20 กรัม/น้ำ 20 ลิตร (T6)

การปลูกและดูแลรักษา

ทำการเพาะเมล็ดข้าวในถาดเพาะจนต้นข้าวประมาณ 2 สัปดาห์ จากนั้นนำไปปักดำในแปลง ระยะการปลูก 20x20 เซนติเมตร การใส่ปุ๋ย ดำรับที่ 2 แบ่งใส่ 2 ครั้ง คือครั้งที่ 1 ใช้ปุ๋ยสูตร 46-0-0 อัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่ หลังจากปักดำ 1 สัปดาห์ ครั้งที่ 2 ใส่ปุ๋ยสูตร 46-0-0 อัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่ ระยะแตกกอ ดำรับที่ 3 แบ่งใส่ 3 ครั้ง คือครั้งที่ 1 ใช้ปุ๋ยสูตร 46-0-0 อัตรา 8 กิโลกรัมต่อไร่ และปุ๋ยสูตร 16-20-0 อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่ หลังจากปักดำ 1 สัปดาห์ ครั้งที่ 2 ใส่ปุ๋ยสูตร 46-0-0 อัตรา 13 กิโลกรัมต่อไร่ ระยะแตกกอ และครั้งที่ 3 หลังจากใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 15-20 วัน ใส่ปุ๋ยสูตร 46-0-0 อัตรา 13 กิโลกรัมต่อไร่ ดำรับที่ 4 แบ่งใส่ 2 ครั้ง คือครั้งที่ 1 ใช้ปุ๋ยสูตร 46-0-0 อัตรา 16 กิโลกรัมต่อไร่ และปุ๋ยสูตร 16-20-0 อัตรา 7 กิโลกรัมต่อไร่ หลังจากปักดำ 1 สัปดาห์ และครั้งที่ 2 ใช้ปุ๋ยสูตร 46-0-0 อัตรา 16 กิโลกรัมต่อไร่ และปุ๋ยสูตร 16-20-0 อัตรา 7 กิโลกรัมต่อไร่ ระยะข้าวแตกกอ ดำรับที่ 5 ใส่ปุ๋ยตามดำรับที่ 3 แต่ฉีดพ่น $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ปริมาณอัตรา Zn 20 มิลลิลิตร/น้ำ 20 ลิตร ตั้งแต่ข้าวเริ่มท้องจนถึงระยะดอกบาน ทุก ๆ 2 สัปดาห์ และดำรับที่ 6 แบ่งใส่ 2 ครั้ง คือครั้งที่ 1 ใช้ปุ๋ยสูตร 46-0-0 อัตรา 8 กิโลกรัมต่อไร่ ปุ๋ยสูตร 16-20-0 อัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่ ครั้งที่ 2 ใช้ปุ๋ยสูตร 46-0-0 อัตรา 8 กิโลกรัมต่อไร่ และแต่ฉีดพ่น $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ปริมาณอัตรา Zn 20 มิลลิลิตร/น้ำ 20 ลิตร ตั้งแต่ข้าวเริ่มท้องจนถึงระยะดอกบาน ทุก ๆ 2 สัปดาห์

การเก็บตัวอย่างข้าว

การเก็บตัวอย่างข้าวเจ้าพันธุ์ข้าว กข61 ทั้งในฤดูนาปรังและนาปี โดยแบ่งออกเป็น 2 ระยะการเจริญเติบโต คือ 1) ช่วงที่ข้าวอายุ 45 วันหลังการปักดำ ทำการเก็บข้อมูลความสูง จำนวนหน่อต่อกอ 2) ช่วงที่ข้าวอายุ 90 วัน หรือระยะสุกแก่ ทำการเก็บข้อมูลทำการเก็บข้อมูลความสูง จำนวนหน่อต่อกอ และเก็บข้อมูลองค์ประกอบของผลผลิต ได้แก่ ความยาวรวง

ระแ่ง เมล็ดดี เมล็ดลีบ เมล็ดร่วง น้ำหนัก 1,000 เมล็ด และผลผลิตข้าวเฉลี่ย โดยใช้วิธีการเก็บเกี่ยวตัวอย่าง ขนาด 1X1 ตารางเมตรต่อแปลงย่อย แล้วบันทึกผล

การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of variance) ตามวางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ RCBD เมื่อพบความแตกต่างกันในทางสถิติจะทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยวิธี Least Significant Difference (LSD)

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

การเจริญเติบโตของข้าวเจ้าพันธุ์ กข61 ในฤดูการปลูกข้าวนาปรัง จากการทดลองพบว่า การเจริญเติบโตทางด้านความสูงไม่มีความแตกต่างในทางสถิติ โดยค่าเฉลี่ยความสูงของต้นข้าวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของอายุข้าวที่เจริญเติบโตเพิ่มมากขึ้นในทุกตำรับทดลอง ซึ่งการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน Soil Analysis +Zn 20 กรัม/น้ำ 20 ลิตร ทำให้ระดับความสูงของข้าวมากที่สุดทั้ง 2 ช่วงอายุข้าว ขณะที่พบความแตกต่างกันในทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.01$) ในส่วนของจำนวนหน่อ/กอ ทั้ง 2 ช่วงอายุวัน โดยในช่วงอายุ 45 วัน พบว่าการใส่ปุ๋ยเคมีตามกรรมวิธีของกลุ่มผู้ผลิตเมล็ดพันธุ์ ทำให้มีจำนวนหน่อต่อกอสูงที่สุดอยู่ที่ 23 หน่อ/กอ แต่ไม่แตกต่างจากการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน Soil Analysis +Zn 20 กรัม/น้ำ 20 ลิตร (19 หน่อ/กอ) หรือการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (19 หน่อ/กอ) และการใส่ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำของกรมการข้าว (17 หน่อ/กอ) ส่วนการไม่ใส่ปุ๋ยเคมีทำให้พบจำนวนหน่อต่อกอน้อยที่สุดอยู่ที่ 13 หน่อ/กอ แต่ไม่แตกต่างจากการใส่ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำของกรมการข้าว +Zn 20 กรัม/น้ำ 20 ลิตร (15 หน่อ/กอ) ขณะที่เมื่อข้าวอายุ 90 วัน พบว่าการใส่ปุ๋ยเคมีตามกรรมวิธีของกลุ่มผู้ผลิตเมล็ดพันธุ์ทำให้ข้าวมีจำนวนหน่อ/กอสูงที่สุดที่ 23 หน่อ/กอ แต่ไม่แตกต่างจากการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน Soil Analysis +Zn 20 กรัม/น้ำ 20 ลิตร (20 หน่อ/กอ) หรือการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (19 หน่อ/กอ) การใส่ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำของกรมการข้าว (18 หน่อ/กอ) และการใส่ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำของกรมการข้าว +Zn 20 กรัม/น้ำ 20 ลิตร (16 หน่อ/กอ) ตามลำดับ สำหรับการไม่ใส่ปุ๋ยเคมีทำให้ข้าวมีจำนวนหน่อ/กอน้อยที่สุดที่ 13 หน่อ/กอ (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 Effect of fertilizer on plant growth of RD61 rice cultivar during off-season, 2018

Treatment	Plant height (cm.)		Tillers number per hill	
	45 DAP	90 DAP	45 DAP	90 DAP
T1	67	99	13 C	13 C
T2	70	99	23 A	23 A
T3	74	101	17 ABC	18 ABC
T4	72	100	19 ABC	19 AB
T5	72	96	15 BC	16 BC
T6	76	106	19 AB	20 AB
Grand Mean	72	100	18	18
F-test	ns	ns	**	**
C.V.	5.11	3.94	16.66	15.08

* significant at $P<0.05$, ** significant at $P<0.01$, ns = not significant

ในด้านขององค์ประกอบของผลผลิตข้าวเจ้าพันธุ์ กข61 ในฤดูนาปรัง ปี 2561 (ตารางที่ 2) ไม่พบความแตกต่างกันในทางสถิติ ของความยาวรวง ระวัง/รวง เมล็ดร่วง/รวง น้ำหนัก 1,000 เมล็ดและ โดยการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินทำให้มีขนาดความยาวรวงมากที่สุดคือ 24.3 เซนติเมตร และน้อยที่สุดอยู่ที่ 22.7 เซนติเมตรในตำรับที่ไม่ใส่ปุ๋ยเคมี การใส่ปุ๋ยเคมีตามกรรมวิธีของกลุ่มผู้ผลิตเมล็ดพันธุ์ และการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน Soil Analysis +Zn 20 กรัม/น้ำ 20 ลิตร ส่วนจำนวนระวัง/รวง ของทุกตำรับทดลองมีค่าเท่ากันคือ 8 ระวัง/รวง จำนวนเมล็ดร่วง/รวง พบอยู่ระหว่าง 2-3 เมล็ด/รวง สำหรับน้ำหนัก 1,000 เมล็ด มีค่าสูงสุดอยู่ที่ 30.9 กรัมในตำรับการใส่ปุ๋ยเคมีตามกรรมวิธีของกลุ่มผู้ผลิตเมล็ดพันธุ์ และน้อยที่สุดอยู่ที่ 29.8 กรัมในตำรับการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน ในส่วนของผลผลิตพบว่าการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน Soil Analysis +Zn 20 กรัม/น้ำ 20 ลิตร ทำให้ผลผลิตของข้าวสูงที่สุดอยู่ที่ 695 กิโลกรัม/ไร่ ส่วนการไม่ใส่ปุ๋ยเคมีที่ทำให้มีผลผลิตข้าว น้อยที่สุดเป็น 517 กิโลกรัม/ไร่ ขณะที่พบความแตกต่างกันในทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.01$) ในจำนวนเมล็ดดี/รวง และจำนวนเมล็ดลีบ/รวง โดยจำนวนเมล็ดดี/รวง พบมากที่สุดในการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน Soil Analysis +Zn 20 กรัม/น้ำ 20 ลิตร (67 เมล็ด/รวง) รองลงมาเป็นการใส่ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำของกรมการข้าว +Zn 20 กรัม/น้ำ

20 ลิตร (66 เมล็ด/รวง) แต่ไม่แตกต่างจากการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน การใส่ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำของกรมการข้าวและดำรับที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยเคมีตามลำดับ ส่วนการใส่ปุ๋ยเคมีตามกรรมวิธีของกลุ่มผู้ผลิตเมล็ดพันธุ์ทำให้มีจำนวนเมล็ดดี/รวง น้อยที่สุดอยู่ที่ 52 เมล็ด/รวง สำหรับจำนวนเมล็ดลีบ/รวง พบว่าการไม่ใส่ปุ๋ยเคมีทำให้เกิดเมล็ดลีบ/รวงมากที่สุด (20 เมล็ด/รวง) และการใส่ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำของกรมการข้าว +Zn 20 กรัม/น้ำ 20 ลิตร พบเมล็ดลีบ/รวง น้อยที่สุดอยู่ที่ 14 เมล็ด/รวง แต่ไม่แตกต่างกันกับการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน Soil Analysis +Zn 20 กรัม/น้ำ 20 ลิตร (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 Effects of fertilizer management on yield components and grain yield of RD61 at harvest in dry season, 2018

Treatment	Length of panicle (cm.)	Secondary branch/ panicle	Filled grain/ panicle	Unfilled grain/ panicle	Dropped grain/ panicle	1000 grain weight (g.)	Gain yield (kg/rai)
T1	22.7	8	56 AB	20 A	2	30.3	517
T2	22.7	8	52 B	17 AB	3	30.9	642
T3	23.8	8	57 AB	18 AB	2	30.6	677
T4	24.3	8	60 AB	19 A	2	29.8	585
T5	23.1	8	66 A	14 B	3	30.2	674
T6	22.7	8	67 A	17 B	3	30.3	695
Grand Mean	23.2	8	60	17	2	30.3	632
F-test	ns	ns	**	**	ns	ns	ns
C.V.	4.96	8.10	8.09	13.04	51.11	2.01	18.44

* significant at $P < 0.05$, ** significant at $P < 0.01$, ns = not significant

สำหรับเปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดข้าวของข้าวเจ้าพันธุ์ กข61 ในฤดูนาปรัง ปี 2561 ค่าเปอร์เซ็นต์การงอกปกติและการงอกผิดปกติไม่พบความแตกต่างกันในทางสถิติ ซึ่งการใส่ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำของกรมการข้าวทำให้มีเปอร์เซ็นต์การงอกสูงที่สุดเป็น 95.25% และน้อยที่สุดอยู่ที่ 92% เมื่อได้รับการใส่ปุ๋ยเคมีตามกรรมวิธีของกลุ่มผู้ผลิตเมล็ดพันธุ์ โดยในส่วนของ การงอกผิดปกติพบว่าการไม่ใส่ปุ๋ยเคมีพบการงอกผิดปกติ 1.25 เมล็ด ขณะที่ดำรับทดลอง

ที่เหลือไม่พบการงอกผิดปกติเลย สำหรับการเน่าหรือตายของเมล็ดพบความแตกต่างกันในทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) โดยการใส่ปุ๋ยเคมีตามกรรมวิธีของกลุ่มผู้ผลิตเมล็ดพันธุ์พบอัตราการเน่า/ตายสูงที่สุด (7 เมล็ด) แต่ไม่แตกต่างจากตำรับที่ใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน Soil Analysis +Zn 20 กรัม/น้ำ 20 ลิตรและการใส่ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำของกรมการข้าว +Zn 20 กรัม/น้ำ 20 ลิตร (5.25 เมล็ด) รองลงมาเป็นการใส่ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำของกรมการข้าวและการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (3 เมล็ด) ขณะที่การไม่ใส่ปุ๋ยเคมีเลยพบอัตราการเน่า/ตาย น้อยที่สุดอยู่ที่ 2 เมล็ด สำหรับเรื่องการฟักตัว/เมล็ดแข็งพบความแตกต่างกันในทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ซึ่งการไม่ใส่ปุ๋ยเคมีพบการฟักตัวหรือเมล็ดแข็งสูงที่สุดอยู่ที่ 4 เมล็ด แต่ไม่แตกต่างจากการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน และไม่แตกต่างจากการใส่ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำของกรมการข้าวและการใส่ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำของกรมการข้าว +Zn 20 กรัม/น้ำ 20 ลิตร (1.5 เมล็ด) ขณะที่ตำรับที่ใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน Soil Analysis +Zn 20 กรัม/น้ำ 20 ลิตรมีการฟักตัว/แข็งตัว ของเมล็ดน้อยที่สุดคือ 0.25 เมล็ด และไม่แตกต่างจากตำรับที่ใส่ปุ๋ยเคมีตามกรรมวิธีของกลุ่มผู้ผลิตเมล็ดพันธุ์ (0.75 เมล็ด) (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 Effects of fertilizer management on seed germination parameters of RD61 rice in dry season, 2018

Treatment	Seed germination percentage	Seeds failed to germinate	Damaged seed/ rotten seed	Seed dormancy
T1	93.75	1.25	2.00 C	4.00 A
T2	92.00	0.25	7.00 A	0.75 C
T3	95.25	0.25	3.00 BC	1.50 BC
T4	93.25	0.25	3.00 BC	3.50 AB
T5	93.25	0	5.25 AB	1.50 BC
T6	94.25	0.25	5.25 AB	0.25 C
Grand Mean	93	0	4	2
F-test	ns	ns	*	*
C.V.	2.78	38.39	45.73	36.26

* significant at $P<0.05$, ** significant at $P<0.01$, ns = not significant

การเจริญเติบโตของข้าวเจ้าพันธุ์ กข61 ในฤดูการปลูกข้าวนาปี จากการทดลองพบว่าจำนวนหน่อ/กอ ในช่วงอายุ 45 วัน ไม่มีความแตกต่างในทางสถิติ โดยการใส่ปุ๋ยเคมีตามกรรมวิธีของกลุ่มผู้ผลิตเมล็ดพันธุ์ทำให้มีจำนวนหน่อ/กอสูงที่สุดคือ 17 หน่อ/กอ และน้อยที่สุดอยู่ที่ 14 หน่อ/กอ เมื่อได้รับการใส่ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำของกรมการข้าว +Zn 20 กรัม/น้ำ 20 ลิตร และการไม่ใส่ปุ๋ยเคมี สำหรับค่าเฉลี่ยความสูงของข้าวที่อายุ 45 วัน พบความแตกต่างกันในทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.01$) ซึ่งพบว่าในตำรับที่ไม่ใส่ปุ๋ยเคมีทำให้ค่าเฉลี่ยความสูงน้อยที่สุดอยู่ 76 เซนติเมตรแตกต่างจากทุกตำรับทดลอง โดยที่การใส่ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำของกรมการข้าว +Zn 20 กรัม/น้ำ 20 ลิตร ส่งผลให้ข้าวมีค่าเฉลี่ยความสูงมากที่สุดอยู่ที่ 86 เซนติเมตร รองลงมาเป็น การใส่ปุ๋ยเคมีตามกรรมวิธีของกลุ่มผู้ผลิตเมล็ดพันธุ์ การใส่ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำของกรมการข้าวหรือการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน Soil Analysis +Zn 20 กรัม/น้ำ 20 ลิตร และการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน ตามลำดับ ขณะที่เมื่อข้าวอายุ 90 วันพบว่าค่าเฉลี่ยความสูงและจำนวนหน่อ/กอ มีความแตกต่างกันในทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) โดยการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินและการใส่ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำของกรมการข้าว +Zn 20 กรัม/น้ำ 20 ลิตร ทำให้ข้าวมีค่าเฉลี่ยความสูงมากที่สุด (102 เซนติเมตร) แต่ไม่แตกต่างจากการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน Soil Analysis +Zn 20 กรัม/น้ำ 20 ลิตร รองลงมาเป็น การใส่ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำของกรมการข้าว หรือการใส่ปุ๋ยเคมีตามกรรมวิธีของกลุ่มผู้ผลิตเมล็ดพันธุ์ และการไม่ใส่ปุ๋ยเคมีทำให้ข้าวมีค่าเฉลี่ยความสูงน้อยที่สุดอยู่ที่ 99 เซนติเมตร ขณะที่การใส่ปุ๋ยเคมีตามกรรมวิธีของกลุ่มผู้ผลิตเมล็ดพันธุ์พบจำนวนหน่อ/กอมากที่สุด (20 หน่อ/กอ) แต่ไม่แตกต่างจากการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน Soil Analysis +Zn 20 กรัม/น้ำ 20 ลิตร หรือการใส่ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำของกรมการข้าว รองลงมาเป็น การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินและการใส่ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำของกรมการข้าว +Zn 20 กรัม/น้ำ 20 ลิตร แต่ไม่แตกต่างจากการไม่ใส่ปุ๋ยเคมีตามลำดับ (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 Effect of fertilizer on plant growth of RD61 rice cultivar during rice-season, 2018

Treatment	Plant height (cm.)		Tillers number per hill	
	45 DAT	90 DAT	45 DAT	90 DAT
T1	76 B	99 C	14	13 B
T2	84 A	100 BC	17	20 A
T3	82 A	100 AB	15	18 A
T4	83 A	102 A	15	17 AB
T5	86 A	102 A	14	17 AB
T6	82 A	101 AB	16	19 A
Grand Mean	82	101	15	17
F-test	**	*	ns	*
C.V.	2.81	0.83	11.27	14.40

* significant at $P < 0.05$, ** significant at $P < 0.01$, ns = not significant

ในด้านขององค์ประกอบของผลผลิตข้าวเจ้าพันธุ์ กข61 ในฤดูนาปี ปี 2561 พบว่า ค่าเฉลี่ยความยาวรวง ระแง้/รวง เมล็ดดี/รวง เมล็ดร่วง/รวง และ น้ำหนัก 1,000 เมล็ด ไม่มีความแตกต่างในทางสถิติ โดยการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน Soil Analysis +Zn 20 กรัม/น้ำ 20 ลิตรทำให้มีค่าเฉลี่ยความยาวรวงและเมล็ดดี/รวงและน้ำหนัก 1,000 เมล็ดมากที่สุด (24.1 เซนติเมตร, 72 เมล็ดและ 29.2 กรัม ตามลำดับ) ส่วนจำนวนระแง้/รวง อยู่ที่ 8-9 ระแง้/รวง ขณะที่การใส่ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำของกรมการข้าวทำให้มีเมล็ดร่วง/รวง สูงที่สุด (9 เมล็ด) และการใส่ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำของกรมการข้าว +Zn 20 กรัม/น้ำ 20 ลิตรทำให้มีเมล็ดร่วง/รวง น้อยที่สุด (5 เมล็ด) สำหรับจำนวนเมล็ดลีบ/รวง และในส่วนของผลผลิตพบว่ามีค่าแตกต่างกันในทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งโดยการไม่ใส่ปุ๋ยเคมีทำให้พบเมล็ดลีบ/รวง มากที่สุดอยู่ที่ 13 เมล็ด แต่ไม่แตกต่างจากการใส่ปุ๋ยเคมีตามกรรมวิธีของกลุ่มผู้ผลิตเมล็ดพันธุ์ หรือการใส่ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำของกรมการข้าว รองลงมาเป็นการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน และการใส่ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำของกรมการข้าว +Zn 20 กรัม/น้ำ 20 ลิตร ตามลำดับ ขณะที่การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน Soil Analysis +Zn 20 กรัม/น้ำ 20 ลิตร ทำให้พบจำนวนเมล็ดลีบ/รวงน้อยที่สุดอยู่ที่ 7 เมล็ด ($P < 0.05$) สำหรับผลผลิต/ไร่ของข้าวสูงที่สุดเมื่อมีการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน Soil Analysis +Zn 20 กรัม/น้ำ 20 ลิตร

อยู่ที่ 971 กิโลกรัม/ไร่ แต่ไม่แตกต่างจากการใส่ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำของกรมการข้าว +Zn 20 กรัม/น้ำ 20 ลิตร การใส่ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำของกรมการข้าว และการใส่ปุ๋ยเคมีตามกรรมวิธีของกลุ่มผู้ผลิตเมล็ดพันธุ์ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างจากการไม่ใส่ปุ๋ยเคมีที่ทำให้มีผลผลิต/ไร่น้อยที่สุดเท่ากับ 634 กิโลกรัม/ไร่ แต่ไม่แตกต่างจากการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (676 กิโลกรัม/ไร่) ($P < 0.01$) (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 Effects of fertilizer management on yield components and grain yield of RD61 rice at harvest in rainy season, 2018

Treatment	Length of panicle (cm.)	Secondary branch/panicle	Filled grain/panicle	Unfilled grain/panicle	Dropped grain/panicle	1000 grain weight (g.)	Grain yield (kg/rai)
T1	23.4	9	65	13.0 A	6	27.6	634 B
T2	22.8	9	65	10.7 AB	7	28.9	754 AB
T3	23.3	9	62	11.3 AB	9	28.8	781 AB
T4	23.6	8	71	9.9 B	7	28.8	676 B
T5	23.6	8	70	9.5 BC	5	29.0	799 AB
T6	24.1	9	72	7.1 C	8	29.2	951 A
Grand Mean	23.4	9	68	10	7	28.7	765
F-test	ns	ns	ns	*	ns	ns	**
C.V.	5.53	12.73	6.3	16.52	41.04	2.73	13.34

* significant at $P < 0.05$, ** significant at $P < 0.01$, ns = not significant

สำหรับเปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดข้าวของข้าวเจ้าพันธุ์ กข61 ในฤดูนาปี ปี 2561 พบความแตกต่างกันในทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญของเปอร์เซ็นต์การงอกปกติ งอกผิดปกติ และการเน่า/ตาย ของเมล็ด โดยการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน Soil Analysis +Zn 20 กรัม/น้ำ 20 ลิตร ทำให้มีเปอร์เซ็นต์งอกปกติสูงที่สุดเป็น 96.25% แต่ไม่แตกต่างจากการใส่ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำของกรมการข้าว +Zn 20 กรัม/น้ำ 20 ลิตร และจากการใส่ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำของกรมการข้าว รองลงมาเป็น การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินหรือการไม่ใส่ปุ๋ยเคมี และการใส่ปุ๋ยเคมีตามกรรมวิธีของกลุ่มผู้ผลิตเมล็ดพันธุ์พบเปอร์เซ็นต์การงอกปกติน้อยที่สุดอยู่ที่ 91.75% ($P < 0.05$) ในส่วนการไม่ใส่ปุ๋ยเคมีพบว่าการงอกผิดปกติของเมล็ด

ข้าวสูงที่สุดอยู่ที่ 1.75 เมล็ด ขณะที่การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินและการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน Soil Analysis +Zn 20 กรัม/น้ำ 20 ลิตร ไม่พบการงอกผิดปกติของเมล็ดข้าวเลย และไม่แตกต่างจากการใส่ปุ๋ยเคมีตามกรรมวิธีของกลุ่มผู้ผลิตเมล็ดพันธุ์ การใส่ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำของกรมการข้าวและการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าคำแนะนำของกรมการข้าว +Zn 20 กรัม/น้ำ 20 ลิตร ที่พบการงอกผิดปกติของเมล็ดข้าวอยู่ที่ 1 เมล็ด ($P<0.05$) สำหรับการใส่ปุ๋ยเคมีตามกรรมวิธีของกลุ่มผู้ผลิตเมล็ดพันธุ์ทำให้พบการเนา/ตายของเมล็ดสูงที่สุดอยู่ที่ 6.75 เมล็ด และน้อยที่สุดอยู่ที่ 1.75 เมล็ด เมื่อได้รับการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน Soil Analysis +Zn 20 กรัม/น้ำ 20 ลิตร และการไม่ใส่ปุ๋ยเคมี ($p<0.01$) ในด้านการพักตัว/เมล็ดแข็ง ไม่พบความแตกต่างกันในทางสถิติ ซึ่งการไม่ใส่ปุ๋ยเคมีและการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินทำให้เกิดการพักตัว/เมล็ดแข็ง มากที่สุดอยู่ที่ 3 เมล็ด ขณะที่การใส่ปุ๋ยเคมีตามกรรมวิธีของกลุ่มผู้ผลิตเมล็ดพันธุ์และการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าคำแนะนำของกรมการข้าว +Zn 20 กรัม/น้ำ 20 ลิตรพบการพักตัว/เมล็ดแข็ง น้อยที่สุด (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 6 Effects of fertilizer management on seed germination parameters of RD61 rice in rainy season, 2018

Treatment	Seed germination percentage	Seeds failed to germinate	Damaged seed/ rotten seed	Seed dormancy
T1	93.50 BC	1.75 A	1.75 B	3.00
T2	91.75 C	0.50 B	6.75 A	1.00
T3	94.50 AB	0.75 B	3.00 B	1.75
T4	93.75 BC	0.25 B	3.25 B	2.75
T5	95.75 AB	0.75 B	2.25 B	1.25
T6	96.25 A	0.25 B	1.75 B	1.75
Grand Mean	94	1	3	2
F-test	*	*	**	ns
C.V.	1.69	91.43	43.43	62.95

* significant at $P<0.05$, ** significant at $P<0.01$, ns = not significant

อภิปรายผลการวิจัย

จากการทดลองผลของสังกะสีต่อคุณภาพการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าว กข61 ที่ผลิตในฤดูนาปรังและนาปี ปี 2561 พบว่า การเจริญเติบโตของข้าว กข61 ในด้านความสูงและจำนวนหน่อ/ต้น ในฤดูนาปรังมีค่าเฉลี่ยความสูงเพิ่มขึ้นตามอายุข้าว โดยการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน Soil Analysis +Zn 20 กรัม/น้ำ 20 ลิตร ทำให้มีค่าเฉลี่ยความสูงในทั้ง 2 ช่วงอายุ (76 และ 106 เซนติเมตรตามลำดับ) และจำนวนหน่อ/กอ ที่ 45 และ 90 วัน มีค่าสูงที่สุด เมื่อได้รับการใส่ปุ๋ยเคมีตามกรรมวิธีของกลุ่มผู้ผลิตเมล็ดพันธุ์ (23 หน่อ/กอ) สำหรับในฤดูนาปีพบว่าการไม่ใส่ปุ๋ยเคมีและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าคำแนะนำของกรมการข้าว +Zn 20 กรัม/น้ำ 20 ลิตร ทำให้มีค่าเฉลี่ยความสูงมากที่สุด (86 เซนติเมตร) เมื่ออายุ 45 วัน และในอายุ 90 วัน มีค่าเฉลี่ยความสูงมากที่สุดเมื่อได้รับการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าคำแนะนำของกรมการข้าว +Zn 20 กรัม/น้ำ 20 ลิตร (102 เซนติเมตร) สำหรับจำนวนหน่อ/กอ พบมากที่สุดจากการใส่ปุ๋ยเคมีตามกรรมวิธีของกลุ่มผู้ผลิตเมล็ดพันธุ์ ทั้งสองช่วงอายุ (17 และ 20 หน่อ/กอ)

ในด้านองค์ประกอบของผลผลิตข้าว กข61 ในฤดูนาปรังพบว่าการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินมีค่าเฉลี่ยความยาวรวงมากที่สุด (24.3 ซม.) และมีจำนวนระแงง/รวง อยู่ 8 ระแงง/รวง เท่ากันในทุกตำรับทดลอง การไม่ใส่ปุ๋ยเคมี การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าแนะนำของกรมการข้าวรวมทั้งการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินทำให้พบจำนวนเมล็ดรวง/รวง น้อยที่สุด และการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าคำแนะนำของกรมการข้าว +Zn 20 กรัม/น้ำ 20 ลิตร ทำให้มีจำนวนเมล็ดลีบ/รวง น้อยที่สุดอยู่ที่ 14 เมล็ด สำหรับการใส่ปุ๋ยเคมีตามกรรมวิธีของกลุ่มผู้ผลิตเมล็ดพันธุ์ทำให้น้ำหนัก 1,000 เมล็ดมากที่สุดเท่ากับ 30.9 กรัม ขณะที่จำนวนเมล็ดดี/รวง สูงที่สุดอยู่ที่ 67 เมล็ดและการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน +Zn 20 กรัม/น้ำ 20 ลิตร ทำให้มีผลผลิต/ไร่ สูงที่สุดเท่ากับ 695 กิโลกรัม/ไร่ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sudha & Stalin (2015) ที่ทำการศึกษาผลของสังกะสีต่อผลผลิต คุณภาพและปริมาณสังกะสีในเมล็ดข้าว พบว่าการใส่สังกะสี (100 กิโลกรัม/เฮกตาร์, การฉีดพ่น 0.5% $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ทางใบ ที่ระยะออกดอก ระยะน้ำนมและระยะแป้ง) ช่วยเพิ่มความสูง จำนวนกอ ความยาวรวง น้ำหนัก 1,000 เมล็ด เมื่อเปรียบเทียบกับ การใส่ปุ๋ย NPK เพียงอย่างเดียว โดยยงยุทธ โอสภสกา และคณะ (2558) อธิบายไว้ว่าสังกะสีมีส่วนช่วยในการพัฒนาของดอก ผลและเมล็ด โดยส่งเสริมการเจริญของตาดอกและอับเรณู ได้ละอองเรณูที่สมบูรณ์ จึงทำให้มี

เปอร์เซ็นต์ของจำนวนเมล็ดดีเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้การขาดสังกะสีเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้พบเมล็ดลีบเนื่องจากละอองเรณูเป็นหมัน ซึ่งตรงกันข้ามกับงานทดลองของ พัทรินทร์ ตัญวงศ์ และคณะ (2558) ที่ศึกษาผลของการฉีดพ่นสังกะสี (ความเข้มข้น 0.5% $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) ที่ใบต่อผลผลิตและการสะสมธาตุสังกะสีในข้าวกล้องของข้าวพันธุ์พื้นเมืองและพันธุ์ปรับปรุง พบว่าการพ่นสังกะสีทางใบไม่มีผลต่อผลผลิตเมล็ดและฟางข้าวของข้าวทั้ง 4 พันธุ์ โดยพันธุ์ข้าวและการพ่นสังกะสีมีผลต่อความเข้มข้นของธาตุสังกะสีในข้าวกล้อง โดยข้าวทั้ง 4 พันธุ์มีปริมาณธาตุสังกะสีมีข้าวกล้องเพิ่มมากขึ้นเมื่อมีการพ่นสังกะสี แต่มีระดับการเพิ่มขึ้นที่แตกต่างกันในข้าวแต่ละพันธุ์ ขณะที่การทดลองของอุไรวรรณ ไอยสุวรรณ (2557) รายงานว่าการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินอัตราต่างๆ ไม่มีผลทำให้ผลผลิตข้าวแตกต่างกัน เช่นเดียวกับปรีชา พรหมณีย์ และคณะ (2544) ที่รายงานว่า การใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินโดยการเพิ่มหรือลดอัตราปุ๋ยไม่มีผลทำให้ข้าวมีผลผลิตแตกต่างกัน แต่มีผลต่อต้นทุนที่เพิ่มมากขึ้น

สำหรับในฤดูนาปีพบว่าการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน Soil Analysis +Zn 20 กรัม/น้ำ 20 ลิตรทำให้มีค่าเฉลี่ยความยาวรวงและจำนวนเมล็ดดี/รวงมากที่สุด (24.1 ซม. และ 72 เมล็ด ตามลำดับ) รวมทั้งทำให้มีจำนวนเมล็ดลีบ/รวงน้อยที่สุดเช่นกัน (7 เมล็ด) สอดคล้องกับการศึกษาของ Li et al. (2013) ที่ศึกษา Zn finger protein ตัวหนึ่งทำหน้าที่กระตุ้นการแสดงออกของยีนที่ควบคุมการสังเคราะห์ฮอร์โมนไซโตไคนิน เพื่อเร่งการแบ่งเซลล์ของเยื่อเจริญที่ยอดที่นำไปสู่การพัฒนาเป็นดอกอ่อน สังกะสีจึงมีบทบาทสำคัญในการกำหนดจำนวนเมล็ดตั้งแต่ช่วงเริ่มต้นของการเจริญเติบโตในระยะเจริญพันธุ์ ขณะที่การไม่ใส่ปุ๋ยเคมี ใส่ปุ๋ยเคมีตามกรรมวิธีของกลุ่มผู้ผลิตเมล็ดพันธุ์ ใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าคำแนะนำของกรมการข้าวและการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน Soil Analysis +Zn 20 กรัม/น้ำ 20 ลิตรทำให้ต้นข้าวมีจำนวนระแงง/รวงสูงที่สุด (9 ระแงง/รวง) การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าคำแนะนำของกรมการข้าว +Zn 20 กรัม/น้ำ 20 ลิตรมีผลทำให้ข้าวมีจำนวนเมล็ดรวงน้อยที่สุด (5 เมล็ด) ในส่วนของการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน Soil Analysis +Zn 20 กรัม/น้ำ 20 ลิตรส่งผลให้มีน้ำหนัก 1,000 เมล็ดและผลผลิตสูงที่สุด (29.2 กรัม, 951 กิโลกรัม/ไร่) สอดคล้องกับงานทดลองของ Naik & Das (2010) ที่รายงานว่า การใช้สังกะสี (Zn-EDTA กับ ZnSO_4) ทำให้ผลผลิตข้าวและฟางข้าวเพิ่มสูงขึ้นกว่าค่าควบคุมถึง 37.8% และ 20.9% ตามลำดับ เช่นเดียวกับ Dore et al. (2018) ที่ศึกษาผลกระทบของการใช้สังกะสีต่อลักษณะทางสัณฐานวิทยาและชีวฟิสิกส์ของจีโนไทป์ข้าวในการทดลองในกระถาง พบว่าการใส่ ZnSO_4

20 กิโลกรัม/เฮกตาร์ ช่วยเพิ่มความสูงของข้าว พื้นที่ใบ จำนวนหน่อ น้ำหนักแห้งรวม อัตราการสังเคราะห์แสง การชักนำการเปิด-ปิดปากใบ อัตราการคายน้ำ และปริมาณสังกะสีในเมล็ด เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับควบคุม (ไม่ใส่สังกะสี) แต่ตรงกันข้ามกับงานทดลองของอุซุกร พรหมมานนท์ และคณะ (2556) ที่ศึกษาผลของสังกะสีซัลเฟต (Zinc sulfate) ต่อการเจริญเติบโตและการสะสมสังกะสีในข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 พบว่าการให้ Zinc sulfate ระดับต่างๆ ไม่มีผลต่อความสูงข้าว จำนวนรวง/กอ น้ำหนัก 1,000 เมล็ด และน้ำหนักต้นข้าว เฉลี่ย/กอ แต่มีผลทำให้ระดับสังกะสีในดิน จำนวนต้น/กอ ระดับความเขียวของสีใบ และผลผลิตของข้าวแตกต่างกัน และการทดลองการใส่ปุ๋ยเคมีในนาข้าวตามค่าวิเคราะห์ดินของนันทนา ชื่นอ้อม และคณะ (2553) รายงานว่าการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินของกรมการข้าว ทำให้มีผลผลิตข้าวสูงที่สุดและไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ย

สำหรับเปอร์เซ็นต์ความงอกของเมล็ดข้าวของข้าวเจ้าพันธุ์ กข61 ในฤดูนาปรัง พบว่าการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าคำแนะนำของกรมการข้าวมีเปอร์เซ็นต์การงอกดีที่สุดอยู่ที่ 95% และไม่พบอัตราการงอกผิดปกติเลยในตำรับที่ 2-6 การไม่ใส่ปุ๋ยเคมีเลยทำให้มีการเน่า/ตายของเมล็ดข้าวน้อยที่สุดอยู่ที่ 2 เมล็ด และการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน Soil Analysis +Zn 20 กรัม/น้ำ 20 ลิตร ทำให้ไม่พบการพักตัว/เมล็ดแข็งเลย ขณะที่ในฤดูนาปีพบว่ามีเปอร์เซ็นต์การงอกดีที่สุดอยู่ที่ 96% เมื่อได้รับการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน Soil Analysis +Zn 20 กรัม/น้ำ 20 ลิตร และการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินและปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน Soil Analysis +Zn 20 กรัม/น้ำ 20 ลิตร ไม่พบการงอกผิดปกติเกิดขึ้นเลย ส่วนการไม่ใส่ปุ๋ยเคมีและการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าคำแนะนำของกรมการข้าว +Zn 20 กรัม/น้ำ 20 ลิตร รวมทั้งการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน Soil Analysis +Zn 20 กรัม/น้ำ 20 ลิตร พบการเน่า/ตาย ของเมล็ดน้อยที่สุดอยู่ที่ 2 เมล็ด ในส่วนของการพักตัว/เมล็ดแข็ง พบน้อยที่สุดอยู่ที่ 1 เมล็ด ในตำรับการใส่ปุ๋ยเคมีตามกรรมวิธีของกลุ่มผู้ผลิตเมล็ดพันธุ์และใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าคำแนะนำของกรมการข้าว +Zn 20 กรัม/น้ำ 20 ลิตร

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาจะเห็นได้ว่าเมื่อทำการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน Soil Analysis +Zn 20 กรัม/น้ำ 20 ลิตร และการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าคำแนะนำของกรมการข้าว +Zn 20 กรัม/น้ำ 20 ลิตร ทำให้การเจริญเติบโตของต้นข้าวในด้านความสูงและจำนวนหน่อต่อกอ

สูงที่สุด และช่วยส่งเสริมให้ต้นข้าวมีความยาวรวงเพิ่มขึ้น เมล็ดข้าวลีบลดลง จึงทำให้ข้าวมีผลผลิตเพิ่มขึ้น รวมถึงเมื่อมีการใส่สังกะสีจะช่วยให้คุณภาพและอัตราการงอกของเมล็ดข้าวดีขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์เมล็ดพันธุ์ข้าวสุโขทัยที่ให้การสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. (2548). *ปฐพีวิทยาเบื้องต้น*. กรุงเทพฯ : คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- จิราภรณ์ อินทสาร. (2557). *ความอุดมสมบูรณ์ของดิน*. คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 325 หน้า.
- นันทนา ชื่นอิม, วิวัฒน์ อิงคะประดิษฐ์, สมชาย กริฑาภิรมย์ และ นุชรา สีนบัวทอง. (2553). *การใช้ปุ๋ยเคมีในนาข้าวตามค่าวิเคราะห์ดิน*. ใน: การประชุมทางวิชาการของ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48, ระบุวันที่. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 325-332.
- ปรีชา พราหมณีย์, ประจักษ์ ประเสริฐศักดิ์ และ จักรินทร์ ศรีธนาพร. 2544. *การทดสอบ การใช้ปุ๋ยเคมีในอ้อยตามค่าวิเคราะห์ดิน*. ใน: รายงานผลงานวิจัยประจำปี 2544. ศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร. 1-28.
- พัชรินทร์ ดุ้ยวงศ์, เพ็ญภา จักรสมศักดิ์, เบญจวรรณ ฤกษ์เกษม และ ขนากานต์ เทโบลต์ พรหมอุทัย. (2558). ผลของการพ่นสังกะสีที่ใบต่อผลผลิตการสะสมธาตุสังกะสีในข้าวกล้องของข้าวพันธุ์พื้นเมืองและพันธุ์ปรับปรุง. *แก่นเกษตร*, 43 (4), 605-612.
- ยงยุทธ โอสดสภา, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และ ชวลิต ฮงประยูร. (2558). *ดิน ธาตุอาหาร และปุ๋ยข้าว*. สมาคมดินและปุ๋ยแห่งประเทศไทย. 454 หน้า.
- อุซุร พรหมมานนท์, อัจฉรา จิตตลดากร และ สุกัญญา แยมประชา. (2556). *ผลของ สังกะสีซัลเฟตต่อการเจริญเติบโตและการสะสมสังกะสีในข้าวพันธุ์ชัยนาท 1*. ใน: การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา มสธ. ครั้งที่ 3. วันที่ 3-4 กันยายน 2556. มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, นนทบุรี. 1-13.

- อุไรวรรณ ไอยสุวรรณ. (2557). การจัดการปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และประสิทธิภาพการใช้น้ำของข้าวที่ปลูกในดินชุดสรรพยา. *วารสารเกษตร*, 30(2), 133-140.
- อรอนงค์ โฉมศิริ, นกสสร โนตศิริ และ กมรินทร์ พรหมรัตน์รักษ์. (2555). ปริมาณจุลธาตุอาหาร ทองแดงและสังกะสีในดินเกษตรกรรมที่ระดับความอุดมสมบูรณ์ต่างกันในพื้นที่ ภาคกลาง. กรุงเทพฯ: ส่วนวิจัยสิ่งแวดล้อม สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- Benton, J. J. (2003). *Agronomic handbook: management of crops, soils and their fertility*. USA; CRC press LLC.
- Hafeez, B., Khanif, Y. M., & Saleem, M. (2013). Role of Zinc in Plant Nutrition- A Review. *American Journal of Experimental Agriculture*, 3(2), 374-391.
- Dore, V., Koit, R. V., & Hanamaratti, N. G. (2018). Impact of Zinc Application on Morphological and Biophysical Parameters of Rice Genotypes in Pot Experiment. *Advances in Research*. 16(2), 1-7.
- Li, S., Zhao, B., Yuan, D., Duan, M., Qian, Q., Tang, L., Wang, B., Liu, X., Zhang, J., Wang, J., Sun, J., Liu, Z., Feng, Y. Q., Yuan, L., & Li., C. (2013). Rice zinc finger protein DST enhances grain production through controlling Gn1a/OsCKX2 expression. *Proceedings of the National Academy of Sciences (PANS)*. 110 (8), 3168-3172.
- Naik, S. K., & Das, D. K. (2010). Evaluation of various zinc extractants in low land rice soil under the influence of zinc sulphate and chelated zinc. *Communi. Soil Science. and Plant. Analysis.*, 41, 122-134.
- Rehman, H. U., Aziz, T., & Farooq, M. (2012). Zinc nutrition in rice production systems: A review. *Plant Soil*, 361(1-2), 203–226. doi: 10.1007/s11104-012-1346-9.
- Sudha, S., & Stalin, P. (2015). Effect of zinc on yield, quality and grain zinc content of rice genotypes. *International Journal of Farm Sciences*, 5(3),17-27.

- Yilmaz, K., Saltali, K., Guzel, E. U. & Dikici, H. (2010). Zinc (II) sorption characteristics of soils in predominant smectite, illite and kaolinite clay minerals. *Asian Journal of Chemistry*. 22, 1487–1494.
- Yoshida, S. (1981). *Fundamental of Rice Crop Science*. International Rice Research Institute, Los Baños, Laguna, Philippines, 269.

ผลของปริมาณพริกแกงพะแนงต่อการยอมรับหอยจืดแช่เยือกแข็ง
EFFECT OF PANANG CURRY PASTE TOWARDS ACCEPTABILITY
OF FROZEN HUI CHO

วิชชума เตชะสิริวิชัย*

Wichuma Tachasiriwichai

สาขาผู้ประกอบการอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

Department of Food Entrepreneur, Faculty of Engineering and Industry Technology,

Bansomdejchaopaya Rajabhat University

Received: 18 April 2021

Accepted: 29 July 2021

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาปริมาณพริกแกงพะแนงที่เหมาะสมในการทำหอยจืดแช่เยือกแข็ง 2) ศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของหอยจืดแช่เยือกแข็ง 3) ศึกษาอายุการเก็บ คุณภาพด้านสี และจุลินทรีย์ของหอยจืดแช่เยือกแข็ง ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยผู้ไม่ผ่านการฝึกฝน ทดสอบชิมจำนวน 50 คน ผลการวิจัย พบว่า ปริมาณพริกแกงพะแนงร้อยละ 20 ได้รับความชอบโดยรวมสูงสุด (7.98) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ของการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส นำหอยจืดแช่เยือกแข็งที่ได้รับการยอมรับมากที่สุดมาทอดให้สุก พบว่า ในน้ำหนัก 100 กรัม/4ชิ้น มีคุณค่าทางโภชนาการดังนี้ พลังงาน 162.88 กิโลแคลอรี ปริมาณความชื้น 63.09 กรัม ปริมาณเถ้า 2.59 กรัม ปริมาณไขมัน 5.12 กรัม ปริมาณโปรตีน 15.55 กรัม และปริมาณคาร์โบไฮเดรต 13.65 กรัม ผลการศึกษาอายุการเก็บรักษา คุณภาพด้านสี และจุลินทรีย์ พบว่า หอยจืดแช่เยือกแข็งที่บรรจุด้วยถุงพลาสติกโพลีเอทิลีนแบบสุญญากาศ เก็บไว้ที่อุณหภูมิ -18°C องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 สัปดาห์ นำมาทอดสุกแล้วทำการวิเคราะห์หาค่าสี พบว่า ค่าความสว่าง L^*

* ผู้ประสานงาน: วิชชума เตชะสิริวิชัย

อีเมล: wichuma.ta@gmail.com

มีค่าเท่ากับ 38.80 ค่าสีแดง a^* มีค่าเท่ากับ 20.93 ค่าสีเหลือง b^* มีค่าเท่ากับ 32.10 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 1×10^6 CFU/กรัม และไม่พบการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย *Salmonella* spp. ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน มผช.506/2555

คำสำคัญ: พริกแกงพะเนียง, หอยจืด, แห่เยือกแข็ง

Abstract

The objectives of this research were 1) to study the appropriate amount of Panang curry paste in Frozen Hui Cho, 2) to study the nutritional values of frozen Hui Cho, 3) to study the shelf-life, color, values and microorganism of frozen Hui Cho. The sensory quality was assessed for colour, smell, taste, texture and overall preference by 50 untrained panelists. The amount of Panang curry paste at 20% was the most preferred with the overall score at 7.98. There was a statistically significant difference ($p < 0.05$). The most accepted frozen Hui Cho were fried and cooked. It was found that in the weight of 100 g/4 pieces, the nutritional values were as follows: total energy was at 162.88 kcal, 63.09 g of moisture content, 2.59 g of ash content, 5.12 g of fat content, 15.55 g of protein and 13.65 g of carbohydrates. The results of the research on shelf life, color quality and microorganisms revealed that after frying the frozen Hui Cho packed with polyethylene vacuum bags, stored at -18°C for 12 weeks, it was found that the brightness L^* was at 38.80, the red a^* value was at 20.93, the yellow value b^* was equal to 32.10 and a^* was equal to 20.93 and b^* was equal to 32.10. The total microbial count (Aerobic Plate Count) was not more than 1×10^6 CFU/g and no bacterial (*Salmonella* spp) growth was found under the Thai Industrial Standards 506/2555

Keywords: Panang Curry Paste, Hui Cho, Frozen

บทนำ

อาหารว่างจัดเป็นมืออาหารที่รับประทานระหว่างมื้อ มีความจำเป็นโดยเฉพาะคนที่ต้องเดินทางไกลระหว่างบ้านกับที่ทำงาน อาหารว่างควรเป็นอาหารที่ย่อยง่าย ทานง่าย รับประทานแล้วไม่อิ่มจนเกินไป มีความสะดวกในการรับประทาน ไม่ยุ่งยากในเรื่องของภาชนะและการจัดเสิร์ฟ ควรเป็นอาหารที่เป็นชิ้นเป็นคำ หรือถ้วยเล็ก สิ่งที่สำคัญในการประกอบอาหารว่าง จะต้องคำนึงด้วยว่าอาหารว่างควรจะประกอบด้วยวัตถุดิบหลายๆ อย่าง เพื่อให้ได้คุณค่าทางอาหารอย่างครบถ้วนการนำอาหารว่างเข้ามาเป็นส่วนหนึ่งของเมนูอาหาร จำเป็นต้องคำนึงถึงเรื่องโภชนาการประกอบด้วย เพราะอาหารว่างหลายชนิดมีปริมาณของไขมันและน้ำตาลค่อนข้างมาก จึงควรเลือกรับประทานของที่ประกอบด้วยวัตถุดิบที่มีประโยชน์ (สาคร มะลิพันธุ์, 2554) และในปัจจุบันด้วยอิทธิพลจากวัฒนธรรมการกิน ทำให้อาหารว่างทั่วไปในปัจจุบันมีการผสมผสานเข้ากับอาหารจากหลากหลายรสชาติและรูปแบบ ตัวอย่างเช่น อาหารว่างแบบจีน มักเป็นของทอดหรือหนึ่ง ได้แก่ ขนมจีบ ซาลาเปา หรืออาหารว่างแบบสากล ได้แก่ แขนวิช เค้กต่างๆ ขนมปัง เป็นต้นรวมถึงอาหารว่างแบบประยุกต์ที่มีการดัดแปลงให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์และวัตถุดิบที่หาได้ง่ายในท้องถิ่น กลายเป็นอาหารว่างชนิดใหม่ๆ

หอยจือ หรือ ฮ้อยจือ มาจากภาษาจีน เป็นชื่ออาหารของชาวจีนแต้จิ๋ว ทำจากเนื้อปูเป็นหลักผสมกับหมูสามชั้นที่ต้มแล้วหั่นละเอียด ไข่ ต้นหอมซอย และแป้งสาลีเล็กน้อยปรุงรสด้วยเกลือ น้ำตาล และพริกไทย ห่อด้วยฟองเต้าหู้เป็นท่อนยาว มัดเป็นปล้องๆ นำไปนึ่งโดยเป็นวิธีการทำให้อาหารสุกด้วยการใช้ความร้อนที่ได้จากไอน้ำนำเอาอาหารใส่ในลังถึง (สุภรณ์ พจนมณี, 2555) จนสุกทั้งให้เย็นแล้วหั่นตามรอยมัด จะได้หอยจือเป็นลูกๆ ขนาดพอคำลักษณะคล้ายกับผลพุทรา เวลารับประทานต้องนำไปทอดรับประทานคู่กับน้ำจิ้ม

พริกแกง เป็นวัตถุดิบที่สำคัญมากอย่างหนึ่งในการประกอบอาหารไทย ซึ่งสามารถนำมาประกอบอาหารได้มากมายหลายประเภท พริกแกงมีหลายชนิดมีเครื่องเทศและสมุนไพรที่แตกต่างกัน ซึ่งการใช้เครื่องเทศและสมุนไพรสามารถใช้ได้กับอาหารทุกชนิดไม่ว่าจะเป็นอาหารคาว ขนมหวานรวมทั้งการถนอมอาหาร (ศรีสมร คงพันธุ์, 2551) พริกแกงพะเนียงที่มีส่วนผสมของเครื่องเทศและสมุนไพรต่างๆ อาทิ พริกชี้ฟ้าแห้ง ข่า ตะไคร้ ผิวมะกรูด ลูกผักชี ยี่ห่วย และถั่วลิสง เป็นแกงไทยแบบขลุกขลิกเป็นอาหารภาคกลางที่มีความเป็นเอกลักษณ์ โดยสันนิษฐานว่าในสมัยก่อนมีการผสมผสานทางวัฒนธรรมสูงกว่าภาคอื่น

ทั้งจากเปอร์เซีย โปรตุเกส อินเดียจีน ญวน มอญ และอีกหลายชนชาติ (ญดา ศรีเงินวง และ ชนิตน์ สำเร็จ, 2560) แต่คนไทยได้พัฒนาสูตรและรสชาติเป็นของตนเองจนเป็นที่รู้จักกันในนามของเครื่องแกงไทยมีขั้นตอนการปรุงอย่างละเอียดละไม รวมทั้งองค์ประกอบวัตถุดิบหลายอย่าง มีความซับซ้อนและมีเอกลักษณ์อย่างหนึ่งที่ควรค่าแก่การอนุรักษ์ (สำนักพิมพ์แสงแดด, 2563) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้พริกแกงพะแนงในผลิตภัณฑ์หอยจ๊อ เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้กับผลิตภัณฑ์อาหารว่าง นอกจากนี้เพื่อเป็นแนวทางในการใช้พริกแกงพะแนงเสริมลงในผลิตภัณฑ์อาหาร เป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การศึกษาปริมาณพริกแกงพะแนงที่เหมาะสมในการทำหอยจ๊อแช่เยือกแข็งที่ 4 ระดับ คือ ร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 ของปริมาณน้ำหนัทั้งหมด โดยประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ในด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยวิธีการทดสอบชิมแบบการให้คะแนนความชอบ (Hedonic test) แต่ละลักษณะคุณภาพ (อรอนงค์ นัยวิกุล และคณะ, 2559) ด้วยคะแนน 9-point hedonic scaling (ปราณี อานเปรี๊อง, 2547) วางแผนการทดลองแบบสุ่มภายในบล็อกสมบูรณ์ (RCBD) จัดแผนการทดลองใช้แบบการวัดซ้ำ 2 ครั้ง (1 ผลิตภัณฑ์ๆ ละ 4 ตำรับ เท่ากับ 8 ตัวอย่าง/ผู้ทดสอบชิม) ด้วยผู้ไม่ผ่านการฝึกฝนทดสอบชิม 50 คนนำมาวิเคราะห์ทางสถิติหาค่าความแปรปรวน ANOVA และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย Duncan is New Multiple Range Test โดยใช้คอมพิวเตอร์ประมวลผลด้วยโปรแกรม SPSS คัดเลือกสูตรที่ได้รับคะแนนความชอบจากผู้ทดสอบชิมมากที่สุดใช้เกณฑ์การจัดช่วงคะแนน โดยให้ผู้ทดสอบชิมทำแบบทดสอบการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยให้คะแนน 9-point hedonic scaling (ปราณี อานเปรี๊อง, 2547) ดังนี้

คะแนนเฉลี่ย	8.12-9.00	หมายถึง ชอบมากที่สุด
คะแนนเฉลี่ย	7.23-8.11	หมายถึง ชอบมาก
คะแนนเฉลี่ย	6.34-7.22	หมายถึง ชอบปานกลาง
คะแนนเฉลี่ย	5.45-6.33	หมายถึง ชอบเล็กน้อย
คะแนนเฉลี่ย	4.56-5.44	หมายถึง กำลังระหว่างชอบกับไม่ชอบ

คะแนนเฉลี่ย	3.67-4.55	หมายถึง ไม่ชอบเล็กน้อย
คะแนนเฉลี่ย	2.78-3.66	หมายถึง ไม่ชอบปานกลาง
คะแนนเฉลี่ย	1.89-2.77	หมายถึง ไม่ชอบมาก
คะแนนเฉลี่ย	1.00-1.88	หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด

ตารางที่ 1 ปริมาณส่วนผสมของหอยจืดสูตรพื้นฐาน

ส่วนผสม	ปริมาณน้ำหนัก (กรัม)
แผ่นฟองเต้าหู้	25.00
เนื้ปู	250.00
เนื้อกุ้งบดละเอียด	375.00
เนื้อหมูบดละเอียด	250.00
มันหมูแข็ง	37.50
ไข่ไก่	100.00
หัวสับละเอียด	125.00
ต้นหอมซอย	12.50
รากผักชีโขลกละเอียด	37.50
กระเทียมโขลกละเอียด	37.50
แป้งข้าวโพด	56.25
เหล้าจีน	25.00
น้ำมันงา	25.00
ซีอิ๊วขาว	32.50
น้ำมันหอย	32.50
น้ำตาลทราย	37.50

ตารางที่ 2 ปริมาณพริกแกงพะแนง 4 ระดับ

ปริมาณพริกแกงพะแนง	ปริมาณน้ำหนักรวม (กรัม)
ร้อยละ 0	0.00
ร้อยละ 10	145.87
ร้อยละ 20	291.75
ร้อยละ 30	437.62

2. การศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของหอยจืดแช่เยือกแข็งที่ได้รับการยอมรับมาทอดให้สุก แล้วทำการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของอาหาร (James, 1995) เป็นการวิเคราะห์ที่เรียกว่า Proximate Analysis Foods คือ การวิเคราะห์เพื่อหาส่วนประกอบหลักที่มีอยู่สารอาหารโดยประมาณ ในการวิจัยครั้งนี้ได้วิเคราะห์ (สถาบันอาหาร, 2564)

1) พลังงาน และคาร์โบไฮเดรต ด้วยวิธี Method of Analysis for Nutrition Labeling 1993, Chapter 1,5

2) ความชื้นด้วยวิธี AOAC (2019) 950.46B

3) เกล็ด ด้วยวิธี AOAC (2019) 920.153

4) โปรตีน ด้วยวิธี In-house method T927 based on AOAC (2019) 991.20

5) ไขมัน ด้วยวิธี AOAC (2019) 960.39

3. ศึกษาการอายุการเก็บและคุณภาพด้านสีและจุลินทรีย์ของหอยจืดแช่เยือกแข็งจากการวัดค่าสีด้วยเครื่อง Color reader รุ่น Cr-10 Plus ยี่ห้อ Konica minolta ได้แก่ ค่าความสว่าง (L) ค่าสีแดง (a*) ค่าสีเหลือง (b*) ทำการทดสอบ 3 ซ้ำ หาค่าเฉลี่ย การศึกษาอายุการเก็บรักษาหอยจืดแช่เยือกแข็งด้วยการเปลี่ยนแปลงด้านจุลินทรีย์ซึ่งมาบรรจุด้วยถุงพลาสติกโพลีเอทิลีนแบบสุญญากาศ เก็บไว้ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 สัปดาห์ แล้วนำมาทำการละลายน้ำแข็งด้วยการแช่ในน้ำเย็นจนเนื้อสัมผัสหอยจืดนิ่มลง จึงนำไปศึกษาหาปริมาณจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดด้วยการวิเคราะห์ด้วยวิธี FDA BAM Online, 2001 (Chapter 3) และปริมาณจำนวนแบคทีเรีย *Salmonella* spp. ด้วยการวิเคราะห์ด้วยวิธี ISO 6579-1: 2017

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ตารางที่ 3 ผลวิเคราะห์คะแนนความชอบเฉลี่ยปริมาณพริกแกงพะแนงที่เหมาะสมในการทำ
หอยจืดที่ 4 ระดับ

คุณภาพ	ตำรับ			
	ร้อยละ 0	ร้อยละ 10	ร้อยละ 20	ร้อยละ 30
สี	7.40 ^{ab} ± 1.16	7.44 ^{ab} ± 1.07	7.80 ^a ± 0.76	7.28 ^b ± 1.21
กลิ่น	7.20 ^{ns} ± 1.23	7.24 ^{ns} ± 1.21	7.56 ^{ns} ± 0.93	7.48 ^{ns} ± 1.16
รสชาติ	6.98 ^b ± 1.25	7.28 ^{ab} ± 1.32	7.62 ^a ± 0.99	6.94 ^b ± 1.51
เนื้อสัมผัส	6.72 ^{ns} ± 1.44	6.66 ^{ns} ± 1.21	7.18 ^{ns} ± 0.90	6.72 ^{ns} ± 1.56
ความชอบโดยรวม	7.36 ^b ± 0.90	7.44 ^b ± 0.97	7.98 ^a ± 0.80	7.50 ^b ± 0.93

หมายเหตุ: 1. ค่าเฉลี่ยที่มีอักษร ns ในแนวนอน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)
2. ค่าเฉลี่ยที่มีอักษร a, b ต่างกันแนวนอน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของปริมาณพริกแกงพะแนงที่เหมาะสมในการทำหอยจืดพบว่า ผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับในตำรับร้อยละ 20 ในด้านสี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวม ในระดับความชอบมาก ด้านเนื้อสัมผัส ในระดับความชอบปานกลาง ผลค่าเฉลี่ยตำรับร้อยละ 0 และตำรับร้อยละ 10 มีคะแนนความชอบแตกต่างกันกับตำรับร้อยละ 20 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติและไม่แตกต่างกันกับตำรับร้อยละ 30 ในด้านสี รสชาติ และความชอบโดยรวม ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบโดยรวมสูงสุดของตำรับร้อยละ 20 มีค่าเท่ากับ 7.98 ซึ่งสอดคล้องกับพัฒนาผลิตภัณฑ์หมวยลดไขมันเสริมสมุนไพรพะแนงเขียวหวาน (พรพาชื่น ชูเชิด และคณะ, 2550) ศึกษาวิจัยหาสารทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์หมวยศึกษาเสริมสมุนไพร 9 รสชาติในผลิตภัณฑ์หมวยลดไขมัน พบว่า เครื่องแกงผสมในหมวยลดไขมันได้ร้อยละ 7 ผู้บริโภคมีความชอบระดับชอบมาก แต่หากใส่ปริมาณพริกแกงที่เพิ่มขึ้นอาจส่งผลทำให้ลักษณะทางประสาทสัมผัสลดลง เช่น สีเข้มเกินไป มีรสชาติเผ็ดมากขึ้น และสอดคล้องกับการพัฒนาผลิตภัณฑ์หมวยเห็ดทดแทนไขมันสัตว์ทอดกรอบ (ดวงกมล ตั้งสฤติพร

และคณะ, 2560) ศึกษาการผลิตและปรับเปลี่ยนรูปแบบของหมุยให้หัตถดกรอบด้วยผงปรุงรสได้ที้อยละ 10 เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีความน่ารับประทานมากขึ้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกตำรับร้อยละ 20 นำไปทำการแช่เยือกแข็งและทดสอบคุณภาพต่อไป

ตารางที่ 4 การศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของหอยจืดแช่เยือกแข็งเมื่อทอดสุก

คุณค่าทางโภชนาการ	ปริมาณต่อ 100 กรัม
พลังงาน (Kcal)	162.88
ความชื้น (กรัม)	63.09
เถ้า (กรัม)	2.59
โปรตีน (กรัม)	15.55
ไขมัน (กรัม)	5.12
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	13.65

ผลการศึกษาคุณค่าทางโภชนาการโดยประมาณ ใน 100 กรัม/4 ชิ้น ให้พลังงานเท่ากับ 162.88 กิโลแคลอรี ปริมาณความชื้น 63.09 กรัม ปริมาณเถ้า 2.59 กรัม ปริมาณโปรตีน 15.55 กรัม ปริมาณไขมัน 5.12 กรัม และปริมาณคาร์โบไฮเดรต 13.65 กรัม

ตารางที่ 5 สีของผลิตภัณฑ์จากการศึกษาการวัดค่าสีเมื่อทอดสุก

เวลา (สัปดาห์)	ค่าความสว่าง L*	ค่าสีแดง a*	ค่าสีเหลือง b*
0	46.83	15.30	25.30
4	36.90	19.46	25.33
8	37.17	20.66	24.23
12	38.80	20.93	32.10

ผลการศึกษาลักษณะที่ในการทดสอบวัดค่าสีเป็นเวลา 12 สัปดาห์ ค่าความสว่าง (L*) อยู่ระหว่าง 36.90 – 46.83 ค่าสีแดง (a*) อยู่ระหว่าง 15.30 – 20.93 และค่าสีเหลือง (b*) อยู่ระหว่าง 24.23 – 32.10 โดยมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในด้านความเป็นสีแดง (a*) และความเป็นสีเหลือง (b*)

ตารางที่ 6 การศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์หอยจืดแช่เยือกแข็ง

เวลา (สัปดาห์)	ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ (CFU/กรัม)	<i>Salmonella</i> spp.
0	6.2×10^3	ND
4	1.5×10^3	ND
8	4.4×10^3	ND
12	5.2×10^3	ND

หมายเหตุ: ND คือ Not Detected

ผลการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์หอยจืดแช่เยือกแข็งตำรับร้อยละ 20 มาบรรจุด้วยถุงพลาสติกโพลีเอทิลีนแบบสุญญากาศ เก็บไว้ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 สัปดาห์ เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและจุลินทรีย์ด้วยการตรวจสอบเชื้อจากการทำการละลายน้ำแข็งพบปริมาณเชื้อจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด $1.5 \times 10^3 - 6.2 \times 10^3$ CFU/กรัม (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2555). ว่าด้วยหอยจืดต้องมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดต้องน้อยกว่า 1×10^6 CFU/1 กรัม และการวิจัยครั้งนี้ไม่พบการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย *Salmonella* spp. ซึ่งตรงตามมาตรฐานกำหนดว่าต้องไม่พบในตัวอย่าง 25 กรัม ดังแสดงในตารางที่ 6

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าปริมาณพริกแกงพะเนียงที่เหมาะสมในการทำหอยจืดแช่เยือกแข็ง คือ ร้อยละ 20 ของปริมาณน้ำหนักรับทั้งหมดได้รับคะแนนความชอบในด้าน สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมเท่ากับ 7.80, 7.56, 7.62, 7.18 และ 7.98 ตามลำดับ เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีองค์ประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนาการในปริมาณ

100 กรัม/4 ชิ้น ให้พลังงานเท่ากับ 162.88 กิโลแคลอรี ปริมาณความชื้น 63.09 กรัม ปริมาณเถ้า 2.59 กรัม ปริมาณโปรตีน 15.55 กรัม ปริมาณไขมัน 5.12 กรัม และปริมาณคาร์โบไฮเดรต 13.65 กรัม การเก็บรักษาด้วยการบรรจุด้วยถุงพลาสติกโพลีเอทิลีนแบบสุญญากาศ เก็บไว้ที่อุณหภูมิ -18°C องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 สัปดาห์ และนำไปทดสอบ พบว่ามีค่าสี L^* มีค่าเท่ากับ 38.80 ค่า a^* มีค่าเท่ากับ 20.93 ค่า b^* มีค่าเท่ากับ 32.10 ปริมาณจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดอยู่ระหว่าง $1.5 \times 10^3 - 6.2 \times 10^3$ CFU/กรัม ซึ่งตามกำหนดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.506/2555) และการวิจัยครั้งนี้ไม่พบการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย *Salmonella* spp. ซึ่งตรงตามมาตรฐานกำหนด

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากแหล่งทุนภายในสำหรับอาจารย์มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา จากงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2563

เอกสารอ้างอิง

- ญดา ศรีเงินยวง และ ชนิรัตน์ สำเร็จ. (2560). *แกงไทย*. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์พิมพ์ดี จำกัด.
- ดวงกมล ตั้งสถิตพร, ดวงสุตา เตโชติรส, น้อมจิตต์ สุธิบุตร และ ชมภูณัฐ เพื่อนพิภพ. (2560). *การพัฒนาผลิตภัณฑ์หมูยทอดแทนไขมันสัตว์ทอดกรอบ*. รายงานผลการวิจัย, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
- ปราณี อ่านเปื้อง. (2547). *หลักการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัส*. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พรพาชื่น ชูเชิด, ชมพู ยิ้มโต และ ประดิษฐ์ หนองคำไผ่. (2550). *การพัฒนาผลิตภัณฑ์หมูยทอดไขมันเสริมสมุนไพรแกงเขียวหวาน*. รายงานผลการวิจัย, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- ศรีสมร คงพันธุ์. (2551). *เข้าครัวเป็นอาชีพ*. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แสงแดดจำกัด.
- สถาบันอาหาร. (2564). *เรื่องบริการตรวจวิเคราะห์*. สืบค้นเมื่อวันที่ 18 กุมภาพันธ์ 2564, จาก <https://www.nfi.or.th/service-chemical-analysis.php>.

- สาคร มะลิพันธุ์. (2554). *อาหารว่าง*. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ หจก. ภาพพิมพ์.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2555). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนฮ้อยจอมผข. 506/2555*. กรุงเทพมหานคร: กระทรวงอุตสาหกรรม.
- สำนักพิมพ์แสงแดด. (2563). *อาหารไทยจงเจริญ*. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์พิมพ์ดี จำกัด.
- สุภรณ์ พจนมณี. (2555). *ตำรับอาหาร*. พิมพ์ครั้งที่ 10. กรุงเทพมหานคร: วีรณาเพลส.
- อรอนงค์ นัยวิกุล, วรณิ จิรภาคย์กุล, พิณทิพย์ รัมภากาภรณ์, ปรียา วิบูลย์เศรษฐ์, วราภา มหากาญจนกุล, สุดสาย ตริวานิช, จิตศิริ ราชชนะพันธุ์, ปรีศนา สุวรรณภรณ์, ศิวาพร ศิวเวช, อนุกุล วัฒนสุข, โชคชัย อีรกุลเกียรติ, สายพิน ทานัฒมาสัย, ทนง ภัครัชพันธุ์, ธนะบุลย์ สัจจาอนันต์กุล, ศศิธร ตรงจิตภักดี, สายสนม ประดิษฐ์ดวง, สงวนศรี เจริญศรี, วีระเชษฐ์ จิตตานิษฐ์, สาวิตรี รัตนสุมาวงศ์, สุนันท์ชน ศรีงาม, และ วรณวิบูลย์ กาญจนกฤษ. (2559). *วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารเล่ม 1*. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- James, C. S. (1995). *Analytical Chemistry of Foods*. Blackie Academic & Professional. London, pp 3-16.

การคำนวณหาการกระจัดแนวระดับและแนวตั้งของลูกวอลเลย์บอล ภายใต้แรงเริ่มต้นที่บังคับ

EVALUATION OF HORIZONTAL AND VERTICAL DISPLACEMENT OF A VOLLEYBALL UNDER APPLIED INITIAL FORCE

อาทิตย์ หูเต็ม^{1*}, ตรีนุช เอลลิส¹, ประยูร ไชยบุตร² และ ศศิธร แทนทอง³
Artit Hutem^{1*}, Treenuch Ellis¹, Prayoon Chaibuth² and Sasithorn Thantong³

¹สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

²สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

³สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

¹Physics Division, Faculty of Science and Technology, Phetchabun Rajabhat University

²Computer Science Division, Faculty of Science and Technology, Phetchabun Rajabhat University

³Chemistry Division, Faculty of Science and Technology, Phetchabun Rajabhat University

Received: 22 September 2020

Accepted: 5 July 2021

บทคัดย่อ

แรงที่กระทำโดยผู้เล่นวอลเลย์บอลเมื่อพวกเขาตีลูกบอลจากดินแดนของตนเองผ่านตาข่ายไปยังขอบเขตของฝ่ายตรงข้ามสามารถคำนวณและสร้างแบบจำลองได้รับการออกแบบโดยมีเงื่อนไขว่าลูกบอลจะต้องไม่ออกจากพื้นที่สนามวอลเลย์บอล ซึ่งงานวิจัยนี้สร้างสื่อการเรียนรู้การสอนนี้ใช้โปรแกรมทางคณิตศาสตร์เพื่ออธิบายการเคลื่อนที่ของวอลเลย์บอล ผลการวิจัยพบว่า แรงของผู้ตีลูกวอลเลย์บอลเป็นฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ของการใช้กำลังเริ่มต้นกับเวลาเกี่ยวข้องกับฟังก์ชันลอการิทึม เลขชี้กำลัง และตรีโกณมิติลูกวอลเลย์บอลลงสนามไม่ออกซึ่งใช้กฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตันในการคำนวณหาความเร็วที่ขึ้นกับเวลาและการกระจัดในแนวนอนและแนวตั้งของวอลเลย์บอลภายใต้แรงเริ่มต้นที่ใช้แรงของผู้ตีลูกวอลเลย์บอลสองประเภท แต่ละแรงถูกรวมเข้าด้วยกันเพื่อค้นหาความเร็วเริ่มต้น ผลลัพธ์กำหนดการเคลื่อนที่

* ผู้ประสาน: อาทิตย์ หูเต็ม

อีเมล: artithutem@pcru.ac.th

ในแนวตั้งเป็นฟังก์ชันแนวนอน กราฟผูกพล็อตระหว่างการกระจัดในแนวนอน (X) และการกระจัดในแนวตั้ง (Y)

คำสำคัญ: วอลเลย์บอล, ความเร็ว, การกระจัดของลูกวอลเลย์บอล

Abstract

The forces exerted by volleyball players when they hit the ball from their own realm over the net to the realm of the opposing side could be calculated and a model was designed with the condition that the ball must not leave the court area. This research created the instructional material using a mathematical program to describe the movement of volleyball. The research revealed that the volleyball batter force was a mathematical function of applying the initial force to time as it related to the logarithmic, exponential and trigonometric functions. Newton's second law of motion was used to calculate time-dependent velocity and horizontal and vertical displacement of the volleyball under two types of applied initial force. Each force was integrated to find the initial velocity. The results defined the vertical displacement as a horizontal function. A graph was plotted between horizontal displacement (X) and vertical displacement (Y).

Keywords: volleyball, velocity, displacement of the volleyball

Introduction

The trajectory of motion of a volleyball consists of many repetitions of short and forceful exercises, performed throughout the duration of the game. A review of the available literature concluded that the trajectory of motion of a volleyball depended on explosive strength as the applied initial force (Jalilian et al., 2014). However, little information is available regarding volleyball displacement related to apply initial force by volleyball players.

Lidor & Gal (2010) reviewed several studies (n=31) on physical attributes, physiological attributes and on-court performances of female volleyball players. Mohammadi & Malek (2012) researched a design of experiment (DOE) as a procedure of planning controlled experiments to investigate the effect of certain processes on experimental units. Ferrara & Alfredo (2018) designed a training program to evaluate the effectiveness of an instrument to measure the pressure exerted by the palm of the hand on a volleyball during service execution.

Horizontal and vertical displacement of a volleyball were calculated under seven types of applied initial force (Jalilian et al., 2014). In section two of the method of evaluation, we present the calculation of horizontal and vertical displacement. Section three shows numerical calculation methods and graphs for the seven types of applied initial force. Calculations are presented at the end of the document.

Materials and methods

The method of evaluation of vertical and horizontal for volleyball displacement

Experiments were designed which related the fields of physics and mathematics. Newton's second law of motion, momentum theory and the mathematics of first and second order differential equation were studied by

integrating one part at a time using basic calculus, polynomials, trigonometric, logarithmic and exponential functions.

Applied initial forces for volleyball players as time-dependent functions were determined.

Table 1 Illustration of various the time-dependent applied initial forces.

Function type	Force related to time
1. Trigonometric	$\bar{F}_1(t) = \frac{F_0}{\beta} \cos(\omega t)$
2. Logarithmic	$\bar{F}_2(t) = \frac{F_0}{\beta} \ln(\omega t)$

To calculate vertical displacement as a horizontal function ($y(x)$) and plot the graph:

1. Calculate the end speed that will become the initial velocity in the projectile motion

Apply the defined forces to be replaced in Newton's second law of motion for integrating to find the speed of the hand (u_1) used to hit the volleyball (Serway & Jewett, 2006). On integration by parts, the method yields

$$\int \frac{\sum \bar{F}}{m} dt = \int du_1 \quad v = u_1$$

We define the applied initial force as, $\bar{F}_1(t) = \frac{F_0}{\beta} \cos(\omega t)$ we obtain

$$u_1 = \frac{F_0}{\beta m} \left(\frac{\sin(\omega t)}{\omega} \right) \quad (1)$$

We define the applied initial force as, $\bar{F}_2(t) = \frac{F_0}{\beta} \ln(\omega t)$ we obtain

$$u_1 = \frac{F_0 t (-1 + \log(t) + \log(\omega))}{m} \quad (2)$$

Then, take the speed of the hand (u_1) and apply the laws of conservation of momentum and energy to calculate the end velocity (v_2) of the volleyball that will become the initial velocity of the projectile motion. Related to momentum theory

$$m_1(u_1 - v_1) = m_2(v_2 - u_2) \quad (3)$$

Related to the law of conservation of energy

$$m_1(u_1^2 - v_1^2) = m_2(v_2^2 - u_2^2) \quad (4)$$

Substituting Equation (3) into Equation (4) and rearranging gives

$$v_1 = (u_2 - u_1) + v_2 \quad (5)$$

Substituting the initial velocity v_1 in Equation (3), we get a new equation as the final velocity of a volleyball

$$\frac{2m_1u_1 - m_1u_2 + m_2u_2}{(m_1 + m_2)} = v_2 \quad (6)$$

2. Calculate the velocity of the volleyball under air resistance force by considering a free body diagram (FBD) showing the projectile motion of the volleyball to be used for calculating the displacement under the air resistance force Related to Newton's second law of motion

$$\begin{aligned} \Sigma F = ma &= m \frac{d}{dt} (v_x \hat{i} + v_y \hat{j}) \\ -F_d \cos(\theta) \hat{i} - F_d \sin(\theta) \hat{j} - mg \hat{j} - F_0 \sin^2(\omega t + \phi) \hat{j} &= m \frac{d}{dt} (v_x \hat{i} + v_y \hat{j}) \end{aligned} \quad (7)$$

From Equation (7), we consider the horizontal motion of a volleyball

$$-F_d \cos(\theta) \hat{i} = m \frac{d}{dt} v_x \quad (8)$$

We define the parameter F_d as αv_x . Let us consider Equation (8) which when integrated can be written as

$$v_x = ce^{-\int \frac{\alpha}{m} \cos(\theta) dt} \quad (9)$$

We use the condition of motion with $v_x(0) = v_0$ and the solution of Equation (8) as

$$v_x(t) = v_0 e^{-\frac{\alpha}{m} t \cos \theta} \quad (10)$$

We calculate Equation (10) to produce a new equation as the horizontal displacement that is a function of time

$$x(t) = \frac{mv_0 e^{-\frac{\alpha}{m} t \cos \theta}}{-\alpha \cos \theta} + c \quad (11)$$

We use the condition of motion $x(0) = 0$ with to find the value of constant (c), we obtain

$$c = \frac{v_0 m}{\alpha \cos \theta} \quad (12)$$

Substituting Equation (12) into Equation (11) and rearranging gives

$$x(t) = \frac{v_0 m}{\alpha \cos \theta} (1 - e^{-\frac{\alpha}{m} t \cos \theta}) \quad (13)$$

From Equation (7), we consider the vertical motion of a volleyball

$$-F_d \sin \theta - mg - F_0 \sin^2(\omega t - \phi) = \frac{mdv_y}{dt} \quad (14)$$

After rearranging

$$\frac{dv_y}{dt} + \frac{\alpha}{m} v_y \sin \theta = -\left(g + \frac{F_0}{m} \sin^2(\omega t - \phi)\right) \quad (15)$$

Substituting Equation (15) into the completed solution of the non-homogeneous first order linear differential equation (Tikjha et al., 2018), we get

$$\int e^{\frac{\alpha}{m}t \sin \theta} \frac{F_0}{m} \sin^2(\omega t + \phi) dt = \frac{F_0}{2m} \left[\int e^{\frac{\alpha}{m}t \sin \theta} dt - \int e^{\frac{\alpha}{m}t \sin \theta} \cos(2(\omega t + \phi)) dt \right] \quad (16)$$

Which on second right term side integration by parts method yields. After rearranging

$$\int e^{\frac{\alpha}{m}t \sin \theta} \cos(2\omega t + 2\phi) dt = \frac{e^{\frac{\alpha}{m}t \sin \theta}}{2\omega} \sin(2\omega t + 2\phi) - \frac{\alpha \sin \theta}{m2\omega} \int e^{\frac{\alpha}{m}t \sin \theta} \sin(2\omega t + 2\phi) dt \quad (17)$$

Which on second right term side integration by parts method yields

$$\begin{aligned} & \int e^{\frac{\alpha}{m}t \sin \theta} \sin(2\omega t + 2\phi) dt \\ &= \frac{-e^{\frac{\alpha}{m}t \sin \theta} \cos(2\omega t + 2\phi)}{2\omega} + \int \frac{\alpha \sin \theta}{2m} e^{\frac{\alpha}{m}t \sin \theta} \cos(2\omega t + 2\phi) dt \end{aligned} \quad (18)$$

Substituting Equation (18) into Equation (17) and rearranging gives

$$\int e^{\frac{\alpha}{m}t \sin \theta} \cos(2\omega t + 2\phi) dt = \frac{\left(2m^2 \omega e^{\frac{\alpha}{m}t \sin \theta} \sin(2\omega t + 2\phi) + \alpha m \sin \theta e^{\frac{\alpha}{m}t \sin \theta} \cos(2\omega t + 2\phi) \right)}{(4m^2 \omega^2 + \alpha^2 \sin^2 \theta)} \quad (19)$$

Substituting Equation (19) into Equation (16) and rearranging gives velocity as a function of time $v(t)$ as

$$v(t) = \frac{-gm}{\alpha \sin \theta} - \left(\frac{F_0}{2m} \left(\frac{m}{\alpha \sin \theta} - \frac{(2m^2 \omega \sin(2\omega t + 2\phi) + \alpha m \sin \theta \cos(2\omega t + 2\phi))}{(4m^2 \omega^2 + \alpha^2 \sin^2 \theta)} \right) \right) + ce^{\frac{-\alpha}{m} \sin \theta} \quad (20)$$

We use the condition of motion with $t=0, v_y(0)=0$ to find the value of constant (c), we obtain

$$c = v_0 + \frac{gm}{\alpha \sin \theta} + \frac{F_0}{2\alpha \sin \theta} - \frac{F_0 (2m^2 \omega \sin(2\phi) + \alpha m \sin(\theta) \cos(2\phi))}{2m(4m^2 \omega^2 + \alpha^2 \sin^2 \theta)} \quad (21)$$

Substituting Equation (21) into Equation (20) and rearranging gives

$$v_y(t) = \left(v_0 + \frac{gm}{\alpha \sin \theta} + \frac{F_0}{2\alpha \sin \theta} - \frac{F_0 \left(2\omega m^2 \sin(2\phi) + \alpha m \sin \theta \cos(2\phi) \right)}{2m \left(4m^2 \omega^2 + \alpha^2 \sin^2 \theta \right)} \right) e^{\frac{-\alpha}{m} \sin \theta t} - \frac{gm}{\alpha \sin \theta} - \frac{F_0}{2\alpha \sin \theta} + \frac{F_0 \left(2m^2 \omega \sin(2\omega t + 2\phi) + \alpha m \sin \theta \cos(2\omega t + 2\phi) \right)}{2m \left(4m^2 \omega^2 + \alpha^2 \sin^2 \theta \right)} \quad (22)$$

Related to the derivative of position with respect to time

$$v_y(t) = \frac{dy}{dt} \quad dy = v_y(t) dt \quad (23)$$

Substituting Equation (22) into Equation (23) and integrating by part, we generate a new Equation as the vertical displacement as a function of time $y(t)$

$$y(t) = \left(\frac{m}{\alpha \sin \theta} \left(1 - e^{\frac{-\alpha}{m} \sin \theta t} \right) \right) \left(v_0 + \frac{gm}{\alpha \sin \theta} + \frac{F_0}{2\alpha \sin \theta} - \frac{F_0 \left(2\omega m^2 \sin(2\phi) + \alpha m \sin \theta \cos(2\phi) \right)}{2m \left(4m^2 \omega^2 + \alpha^2 \sin^2 \theta \right)} \right) - \frac{gmt}{\alpha \sin \theta} - \frac{F_0 t}{2\alpha \sin \theta} + \left(\frac{F_0 2\omega m^2 (\cos(2\phi) - \cos(2\omega t + 2\phi))}{4m\omega^2 (4m^2 \omega^2 + \alpha^2 \sin^2 \theta)} \right) + \left(\frac{F_0 \alpha m \sin \theta (\sin(2\omega t + 2\phi) - \sin \phi)}{4m\omega (4m^2 \omega^2 + \alpha^2 \sin^2 \theta)} \right) + y_0 \quad (24)$$

3. Calculate the time that a volleyball takes to move in two dimensions.

After rearranging we obtain

$$t = \frac{m}{\cos \theta \ln \left(\frac{mu_0 - \alpha \cos \theta x}{mu_0} \right)} \quad (25)$$

4. Take the time in the x-axis to be replaced in the y-axis to find the y-axis displacement as a function of the x-axis displacement. After rearranging we obtain

$$\begin{aligned}
 y(x) = & \left(\frac{m}{\alpha \sin \theta} \left(1 - e^{\frac{-\alpha}{m} \sin \theta t} \right) \left(v_0 + \frac{gm}{\alpha \sin \theta} + \frac{F_0}{2\alpha \sin \theta} - \frac{F_0 (2\omega m^2 \sin(2\phi) + \alpha m \sin \theta \cos(2\phi))}{2m(4m^2 \omega^2 + \alpha^2 \sin^2 \theta)} \right) \right. \\
 & - \frac{gmt}{\alpha \sin \theta} - \frac{F_0 t}{2\alpha \sin \theta} + \left(\frac{F_0 2\omega m^2 (\cos(2\phi) - \cos(2\omega t + 2\phi))}{4m\omega(4m^2 \omega^2 + \alpha^2 \sin^2 \theta)} \right) \\
 & \left. + \left(\frac{F_0 \alpha m \sin \theta (\sin(2\omega t + 2\phi) - \sin \phi)}{4m\omega(4m^2 \omega^2 + \alpha^2 \sin^2 \theta)} \right) \right) + y_0
 \end{aligned} \quad (26)$$

5. Plot the graph between horizontal displacement (x) and vertical displacement (y) in program mathematica From Equation (26) is the vertical displacement for volleyball of the horizontal displacement show graph in program. Putting Equation (26) into program mathematica (Zimmerman & Olness, 2002) for plot graph. Next, we can be using the applied initial force $F_1(t)$ and $F_2(t)$ (Ricardo, 2014) evaluation of the vertical displacement $y(x)$ via the first-order linear differential equation. The initial force parameter (F_0) of the applied initial force is the independent variable. The initial velocity parameter (v_0) of the volleyball is the independent variable.

The parameter of ω is the angular frequency parameter. The parameter of β is the damping coefficient. The parameter of g is the acceleration due to gravity. The parameter of α is the air-resistance coefficient. The parameter $\omega = 1 \text{ rad/s}$, $\beta = 2.5$, $\alpha = 1$, $g = 10 \text{ m/s}^2$, $\theta = \frac{\pi}{4} \text{ rad}$, $\phi = \frac{\pi}{3} \text{ rad}$ and $y_0 = 2 \text{ m}$ of the vertical displacement $y(x)$ equation is the control variable for all the apply initial force ($F_1(t)$, and $F_2(t)$).

Results and discussion

Analyze the graph of the volleyball motion. Consider whether the graph of the volleyball motion that is served with various kinds of forces meets the conditions of moving in a complete projectile motion, having vertical displacement over the height of the net. The vertical displacement $y(x)$ for case the applied initial forces $F_1(t)$ and $F_2(t)$ are plotted in Figure 1.

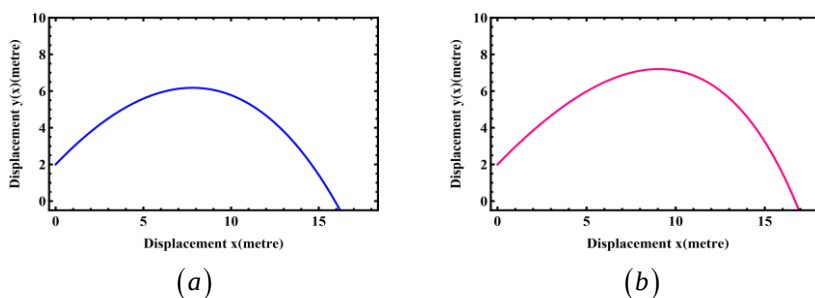


Figure 1 Plots of the vertical displacement $y(x)$, which illustrate the right-hand sides of Equation (26), as a function of the horizontal displacement (a) The vertical displacement is a function of the x-axis in the boundary of the volleyball field of the applied initial forces $F_1(t) = \frac{F_0}{\beta} \cos(\omega t)$ (the blue hard thing line) (b) The vertical displacement is a function of the x-axis in the boundary of the volleyball field of the applied initial forces $F_2(t) = \frac{F_0}{\beta} \ln(\omega t)$ (the pink hard thing line).

The vertical displacement $y(x)$ for case the comparison of the applied initial forces are plotted in Figure 2.

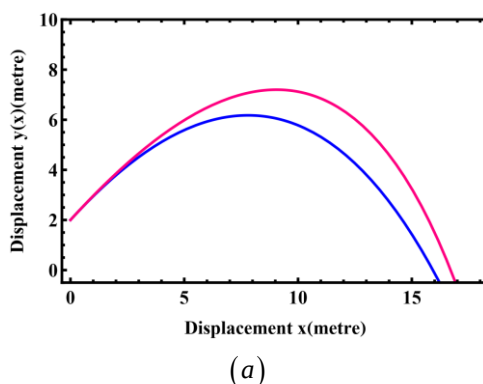


Figure 2 Plots of the vertical displacement $y(x)$, which reveal the right-hand sides of Equation (26), as a function of the horizontal displacement (a) We must be the comparison of the vertical displacement $y(x)$ evaluated from different the applied initial forces ($F_1(t)$ and $F_2(t)$).

These can be used to model the velocity of the curved movement of a volleyball as follows: Replace the force and initial velocity in the vertical displacement of the horizontal function $y(x)$. Plot the graph between the vertical displacement (y) and horizontal displacement (x) and compare a suitable graph with the curved movement of a volleyball.

From the Figure 1(a), the initial force used to hit the volleyball is 650.00 N. The initial velocity of volleyball is 133.79 m/s. The displacement in the x-axis is 16.00 ± 0.01 meters. The y-axis displacement which is a function of the x-axis is 6.50 ± 0.01 meters and almost out the boundary of the volleyball court (= 18 meters). From the Figure 1(b), the initial force used to hit the volleyball is 140.00 N. The initial velocity of volleyball is 76.27 m/s. The displacement in the x-axis is 17.00 ± 0.01 meters. The y-axis displacement which is a function of the x-axis is 7.00 ± 0.01 meters and almost out the boundary of the volleyball court (= 18 meters). Figure 2 (a), we must be comparison the vertical displacement $y(x)$ produced from different types of the applied initial force. These can be summary the applied initial force $F_1(t)$, $F_2(t)$ have similar the initial force and the initial velocity.

Conclusions

Results showed that the apply initial force $F_1(t)$ and $F_2(t)$ as a pure and mixed time function dependent the parameter α , ω , β , θ , ϕ , F_0 and the initial velocity of the projectile of motion for volleyball and in accordance with the conditions of horizontal displacement over 9 meters not exceeding 18 meters and vertical displacement not less than 2.24 meters. From Figure 2 (b), if higher the initial force used to hit the volleyball and the initial velocity affect decreasing value of the horizontal and the vertical displacement of $y(x)$.

Acknowledgment

I would like to thank the Phetchabun Rajabhat University, Physics Division and Chemistry Division. And also Faculty of Science and Technology, Phetchabun Rajabhat University for partial support.

References

- Ferrara, F., & Alfredo, P. (2018). Preliminary work on the testing of power glove applied to volleyball. *Journal of Physical Education and Sport*, 18(5), 1986-1990.
- Jalilian, P., Kreun, P. K., Makhmalbaf, M. M., & Liou, W. W. (2014). Computational aerodynamics of baseball, soccer ball and volleyball. *American Journal of Sports Science*, 2(5), 115-121.
- Lidor, R., & Gal, Z. (2010). Physical and physiological attributes of female volleyball players-a review. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(7), 1963-1973.
- Mohammadi, M., & Malek, A. (2012). Improving the Serving Motion in a Volleyball Game: A Design of Experiment Approach. *IJCSI International Journal of Computer Science*, 9(6), 206-213.
- Ricardo, J. (2014). Modelling the Motion of a Volleyball with Spin. *Journal of the Advance undergraduate Physic Laboratory Investigation*, 2(1), 1-10.
- Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2006). *Principles of Physics: A Calculus Based Text*. (4th ed.) Belmont, USA: Brooks/cole, Thomson Learning. North Asia Ltd. Hong Kong: Pearson Prentice Hall.
- Tikjha, W., Normai, T., Jittburus, U., & Pumila, A. (2018). Periodic with period 4 of a piecewise linear system of differential equations with initial conditions being some points on positive y axis. *PSRU Journal of Science and Technology*, 3(2), 26-34.
- Zimmerman, R. L., & Olness, F. I. (2002). *Mathematica for Physics*. (2nd ed). New York: Addison-Wesley Publishing Company, Inc.

ผลของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่วเขียว

พันธุ์ชัยนาท 84-1 และพันธุ์ชัยนาท 6

EFFECTS OF VERMICOMPOST ON GROWTH AND YIELD OF MUNGBEAN

CV. CHAINAT 84-1 AND CHAINAT 6

ภารดี แซ่อึ้ง* และ นารีภรณ์ สามิภักดิ์

Pharadee Sae-Ung* and Nareeporn Samipuk

สาขาวิชาเกษตรศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

Agricultural Program, Science and Technology Faculty,

Phranakhon Si Ayutthaya Rajabhat University

Received: 17 November 2020

Accepted: 5 July 2021

บทคัดย่อ

การศึกษาเรื่อง ผลของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่วเขียว วางแผนการทดลองแบบ 4x2 factorial in RCB (Randomized Complete Block) จำนวน 3 ซ้ำ ประกอบด้วย 2 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยที่ 1 อัตราการใส่ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน 4 อัตรา คือ 0, 500, 1,000 และ 1,500 กิโลกรัมต่อไร่ ปัจจัยที่ 2 คือ พันธุ์ถั่วเขียว 2 พันธุ์ คือ พันธุ์ชัยนาท 84-1 และพันธุ์ชัยนาท 6 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยในแต่ละกรรมวิธีด้วยวิธี Least Significant Difference (LSD) ผลการศึกษาพบว่า การเจริญเติบโตและผลผลิตไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในแต่ละอัตราการใส่ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน และปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใส่ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินและพันธุ์ของถั่วเขียว ให้ค่าการเจริญเติบโตและผลผลิตไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่มีแนวโน้มว่า การใส่ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินทำให้การเจริญเติบโตและผลผลิตมากกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน สำหรับความแตกต่าง

* ผู้ประสานงาน: ภารดี แซ่อึ้ง

อีเมล: fengpds@ku.a.th

ของถั่วเขียวสองพันธุ์พบว่า ถั่วเขียวพันธุ์ชัยนาท 6 มีการเจริญเติบโตด้านจำนวนใบต่อต้น (25.83 ใบต่อต้น) และมีผลผลิตด้านจำนวนฝักต่อต้น (29.04 ฝักต่อต้น) จำนวนเมล็ดต่อต้น (192.26 เมล็ดต่อต้น) สูงกว่าพันธุ์ชัยนาท 84-1

คำสำคัญ: ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน, ถั่วเขียว, การเจริญเติบโต, ผลผลิต

Abstract

The research aimed to study the effects of vermicompost on growth and yield of mung beans cv. Chainat 84-1 and Chainat 6. The experiments were planned by the 4x2 factorial in RCB (Randomized Complete Block), with three replications and two factors. The first factor was four vermicompost rates of application at (0, 500, 1,000 and 1,500 kg per rai) respectively. The second factor was mung bean varieties (cv. Chainat 84-1 and Chainat 6) and comparing the mean in each process with the Least Significant Difference (LSD) method. The results show that the growth and yield were not significantly different for each vermicompost application. The interaction between vermicompost compost rates and mung bean cultivars showed no significant difference in growth and yield values, but it was likely that fertilizing with vermicompost had a greater increase in growth and yield than not fertilizing with vermicompost. For the difference between the two mung bean varieties, it was found that Mung bean cultivar Chainat 6 had higher leaf number per plant (25.83 leaves per plant) and pod number per plant (29.04 pods per plant), seed number per plant (192.26 seeds per plant) than Chainat 84- 1.

Keywords: Vermicompost, Mungbean, Growth, Yield

บทนำ

ถั่วเขียวเป็นพืชอายุสั้น เหมาะแก่การบำรุงดิน นอกจากนี้ สามารถนำไปแปรรูปเป็นอาหารได้หลายชนิด เช่น ถั่วงอก แป้งถั่วเขียว และขนมชนิดต่างๆ รวมทั้งถั่วเขียวยังเป็นพืชอุตสาหกรรมอาหารเพื่อสุขภาพที่สำคัญโดยเฉพาะอุตสาหกรรมการผลิตวุ้นเส้น ซึ่งตลาดส่งออกวุ้นเส้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในขณะที่พื้นที่ปลูกถั่วเขียวของประเทศไทยมีจำนวน 868,000 ไร่ ผลผลิตรวม 109,000 ตัน ความต้องการใช้ถั่วเขียวมีถึง 111,945 ตัน ราคาขายถั่วเขียวผิวมันเมล็ดใหญ่คละ เฉลี่ยกิโลกรัมละ 28.50 บาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2563) ดังนั้นจึงมีความน่าสนใจที่จะทำการศึกษาถึงการปลูกถั่วเขียวให้ได้การเจริญเติบโตที่ดีและผลผลิตสูง ซึ่งการปลูกพืชในปัจจุบันมีการใช้ปุ๋ยเคมีในปริมาณมาก ทำให้การปลูกพืชมีต้นทุนสูง แนวทางการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ หรือปุ๋ยหมัก หรือสารบำรุงดินทดแทนปุ๋ยเคมี จึงมีการแนะนำให้ใช้มากขึ้น ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินเป็นเศษซากพืชอินทรีย์วัตถุต่างๆ รวมทั้งดินและจุลินทรีย์ที่ไส้เดือนดินกินเข้าไปแล้วผ่านกระบวนการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุเหล่านั้นภายในลำไส้ของไส้เดือนดินแล้วขับถ่ายเป็นมูลออกมา มีธาตุอาหารพืชอยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ในปริมาณมากและมีจุลินทรีย์จำนวนมาก (อานัฐ ตันโช, 2556) และเป็นปุ๋ยชนิดหนึ่งที่ปลอดภัยจากสารเคมีและมีธาตุอาหารที่จะบำรุงการเจริญเติบโตของพืชได้ โดยการใช้ปุ๋ยหมักจากไส้เดือนดิน ส่งผลต่อการปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ ของทรัพยากรดิน ความเป็นประโยชน์ทางด้านการผลิตพืชและความเป็นประโยชน์ทางด้านสิ่งแวดล้อม เนื่องจากช่วยจัดการของเสียบางชนิดได้ (นันทวุฒิ จำปางาม, 2560)

ดังนั้น การศึกษาถึงแนวทางการใช้ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินมาช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตและสร้างผลผลิตที่ดีให้แก่พืชจึงเป็นเรื่องน่าสนใจ ซึ่งในการศึกษารั้งนี้ได้ศึกษาการใส่ปุ๋ยมูลไส้เดือนดินกับการเจริญเติบโตและผลผลิตถั่วเขียว โดยทดสอบอัตราการใส่ปุ๋ยที่อัตราต่างๆ ในถั่วเขียวสองพันธุ์ ก่อนที่จะนำผลการทดสอบเผยแพร่เป็นข้อมูลประกอบการส่งเสริมและแนะนำให้เกษตรกรใช้งานได้จริงในพื้นที่ต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

1. สถานที่ทำการทดลอง ใช้พื้นที่ทดสอบปลูกพืช สาขาเกษตรศาสตร์ และห้องปฏิบัติการสาขาวิชาเกษตรศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

2. วางแผนการทดลองแบบ 4x2 factorial in RCB (Randomized Complete Block) จำนวน 3 ซ้ำ ประกอบด้วย 2 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยที่ 1 อัตราการใส่ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน 4 อัตรา คือ 0, 500, 1,000 และ 1,500 กิโลกรัมต่อไร่ ปัจจัยที่ 2 คือ พันธุ์ถั่วเขียว 2 พันธุ์ คือ พันธุ์ชัยนาท 84-1 และพันธุ์ชัยนาท 6 โดยการวิเคราะห์ข้อมูลมีการหาความแปรปรวนโดยวิธี Analysis of Variance (ANOVA) แบบสองปัจจัย เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยในแต่ละกรรมวิธีด้วยวิธี Least Significant Difference (LSD)

3. เตรียมดินปลูกพรวนดินให้มีความสม่ำเสมอเหมือนกัน นำใส่กระถางปลูกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 22 เซนติเมตร ผสมปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินตามอัตราที่กำหนดในสิ่งทดลอง ผึ่งตากดินไว้เป็นเวลา 2 วัน

หมายเหตุ ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินในการทดสอบนี้ ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่เลี้ยงด้วยใบไม้ภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยาร่วมกับมูลโคนม มีคุณสมบัติดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ใช้ในการทดสอบ

สมบัติทางเคมี	ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน	
	ค่าที่วิเคราะห์ได้	เกณฑ์มาตรฐาน*
pH	7.3	5.5 – 8.5
EC (dS/m)	3.16	ไม่เกิน 6 dS/m
อินทรีย์วัตถุ (ร้อยละ)	33.06	ไม่น้อยกว่า ร้อยละ 30
แอมโมเนียม (mg/kg)	113.29	
ไนเตรท (mg/kg)	117.37	
ฟอสเฟต (mg/kg)	192.71	

ที่มา: *กรมวิชาการเกษตร (2548)

4. ปลูกถั่วเขียว 2 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ชัยนาท 84-1 และ พันธุ์ชัยนาท 6 โดยคลุกเมล็ดพันธุ์ด้วยไรโซเบียมจากกรมวิชาการเกษตร อัตราปลูก 5 เมล็ดต่อหลุม และเมื่อถั่วเขียวเจริญเติบโตมีใบเลี้ยงงอก 2 ใบ ถอนให้เหลือ 2 ต้นต่อ 1 กระถาง ดูแลการเจริญโตของต้นถั่วเขียวอย่างสม่ำเสมอ เช่น ให้น้ำ ป้องกันกำจัดวัชพืชและป้องกันกำจัดโรค-แมลง เป็นต้น

5. เก็บข้อมูลค่าเฉลี่ยของการเจริญเติบโตและผลผลิตเมื่อมีฝักแก่ร้อยละ 80 ของฝักทั้งหมด โดยเก็บข้อมูลการเจริญเติบโต ได้แก่ ความสูงก่อนเก็บเกี่ยว และจำนวนใบ และข้อมูลผลผลิต ได้แก่ จำนวนเมล็ดต่อฝัก จำนวนฝักต่อต้น จำนวนเมล็ดต่อต้น น้ำหนักเมล็ดต่อต้น และน้ำหนัก 1,000 เมล็ด

ผลวิจัยและอภิปรายผล

ผลการของการทดสอบผลของการใส่ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่วเขียวพันธุ์ชัยนาท 84-1 และพันธุ์ชัยนาท 6 ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 2 ดังนี้

ความสูงของต้นถั่วเขียวขณะเก็บเกี่ยว

ความสูงของถั่วเขียวขณะเก็บเกี่ยวของถั่วเขียวที่มีอัตราการใส่ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินอัตราต่างๆ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าความสูง 52.75-55.35 เซนติเมตร และไม่มีความแตกต่างกันในระหว่างพันธุ์ถั่วเขียว โดยในพันธุ์ชัยนาท 84-1 มีความสูง 55.98 เซนติเมตร และพันธุ์ชัยนาท 6 มีความสูง 53.17 เซนติเมตร ทั้งนี้ สอดคล้องกับการทดลองของ Tarafder et al. (2020) ทดสอบการให้ปุ๋ยไนโตรเจนด้วยวิธีการใส่ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน และการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนแบบต่างๆ ในถั่วเขียวสองพันธุ์ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญด้านความสูงของต้นถั่วเขียว แต่การใส่ปุ๋ยหมักมีแนวโน้มให้ค่าความสูงมากกว่าการไม่ใส่ปุ๋ย

ตารางที่ 2 ผลของปุ๋ยมูลไส้เดือนดินต่อผลผลิตของถั่วเขียว พันธุ์ชัยนาท 84-1 และพันธุ์ชัยนาท 6

สิ่งทดลอง	ความสูง (เซนติเมตร)	จำนวนใบ (ใบ)	จำนวน ฝักต่อต้น (ฝัก)	จำนวน เมล็ดต่อฝัก (เมล็ด)	จำนวน เมล็ดต่อต้น (เมล็ด)	น้ำหนัก เมล็ดต่อต้น (กรัม)	น้ำหนัก 1,000 เมล็ด (กรัม)
อัตราการใส่ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน (A)							
0 กิโลกรัมต่อไร่ (A1)	55.05	16.17	18.75	7.77	135.63	5.44	56.88
500 กิโลกรัมต่อไร่ (A2)	55.35	16.33	17.17	8.26	133.09	7.25	62.38
1,000 กิโลกรัมต่อไร่ (A3)	52.75	18.33	19.17	8.42	151.08	8.69	61.50
1,500 กิโลกรัมต่อไร่ (A4)	55.13	18.25	22.25	8.35	172.18	9.66	70.42
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
พันธุ์ถั่วเขียว (B)							
ชัยนาท 84-1 (B1)	55.98	8.71b	10.00 b	9.75 a	103.73 b	5.90	68.04 a
ชัยนาท 6 (B2)	53.17	25.83a	29.04 a	6.64 b	192.26 a	9.62	57.54 b
F-test	ns	**	**	**	*	ns	*
Interaction (AxB)							
A1B1	55.93	7.17	8.50	8.87	78.38	3.84	58.92
A1B2	54.17	25.17	29.00	6.67	192.87	7.03	54.83
A2B1	55.20	8.33	9.17	9.64	95.33	5.48	66.00
A2B2	55.50	24.33	25.17	6.87	170.85	9.03	58.75
A3B1	59.93	9.00	9.50	10.33	104.08	6.25	63.17
A3B2	50.33	27.67	30.33	6.5	198.08	11.12	59.83
A4B1	55.98	10.33	12.83	10.17	137.12	8.04	84.08
A4B2	53.17	26.17	31.67	6.53	207.23	11.28	56.75
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

หมายเหตุ: ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

* หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติมีระดับความเชื่อมั่นไม่น้อยกว่า 95%

** หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติมีระดับความเชื่อมั่นไม่น้อยกว่า 99%

ตัวอักษรที่กำกับในแต่ละคอลัมน์ แสดงความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย โดยการใช้ LSD

จำนวนใบของต้นถั่วเขียวขณะเก็บเกี่ยว

จำนวนใบของถั่วเขียวขณะเก็บเกี่ยวของถั่วเขียวที่มีอัตราการใส่ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินอัตราต่างๆ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีจำนวนใบอยู่ที่ 16.17-18.33 เซนติเมตร สอดคล้องกับการทดลองของ วนิดา ชัยชนะ (2561) ที่ทดสอบใช้ปุ๋ยมูลไส้เดือนดินในอัตรา 1 กิโลกรัมในพื้นที่ 1 ตารางเมตร พบว่า ฝักบุงจันมี ความกว้างใบ ความยาวใบ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่การใส่ปุ๋ยมูลไส้เดือนดินและการใส่ปุ๋ยสูตรอื่นๆ มีแนวโน้มให้ความกว้างใบ

ความยาวใบมากกว่าไม่ใส่ปุ๋ย ส่วนจำนวนใบของถั่วเขียวสองพันธุ์ พบว่า มีความแตกต่างกันในระหว่างพันธุ์ถั่วเขียว โดยในพันธุ์ชัยนาท 84-1 มีความจำนวนใบ 8.71 ใบ และพันธุ์ชัยนาท 6 มีจำนวนใบสูงกว่า คือ 25.83 ใบ

จำนวนฝักต่อต้น

จำนวนฝักต่อต้นของถั่วเขียวที่มีอัตราการใส่ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินอัตราต่างๆ พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีจำนวนฝักต่อต้น 17.17-22.25 ฝัก และมีความแตกต่างกันในระหว่างพันธุ์ถั่วเขียว โดยในพันธุ์ชัยนาท 84-1 มีจำนวนฝักต่อต้น 10 ฝัก และพันธุ์ชัยนาท 6 มีจำนวนฝักต่อต้นมากกว่าพันธุ์ชัยนาท 84-1 คือ มีจำนวนฝักต่อต้น 29.04 ฝัก ทั้งนี้ มีสาเหตุจากที่คุณสมบัติด้านจำนวนฝักต่อต้น เป็นคุณสมบัติส่วนหนึ่งที่มีสาเหตุมาจากความสามารถที่กำหนดโดยทางพันธุกรรมของพันธุ์ สภาพภูมิอากาศ และระดับแร่ธาตุอาหารในดิน (ชนากานต์ เทโบลต์ พรหมอุทัย, 2559) ซึ่งสอดคล้องกับการทดสอบของ Biswash et al. (2014) พบว่า การให้ปุ๋ยมูลไส้เดือนดินกับถั่วเขียวเปรียบเทียบกับการไม่ใส่ปุ๋ย พบว่า จำนวนฝักต่อต้นไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ทั้งนี้ จำนวนฝักจะมีเพิ่มขึ้นได้เมื่อมีการใส่ปุ๋ยโปแตสเซียมเข้าไปเพิ่มเติมร่วมกับการใช้ปุ๋ยมูลไส้เดือนดิน และการทดลองของ Gadi et al. (2017) ที่ทดสอบการเพิ่มธาตุไนโตรเจนโดยการใส่ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน และการปุ๋ยหมักจากมูลสัตว์ พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของจำนวนฝักต่อต้นของถั่วเขียว แต่การใส่ธาตุไนโตรเจนจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินและจากปุ๋ยหมักจากมูลสัตว์อื่น มีแนวโน้มทำให้จำนวนฝักต่อต้นของถั่วเขียวเพิ่มขึ้น

จำนวนเมล็ดต่อฝัก

จำนวนเมล็ดต่อฝักของถั่วเขียวที่ใส่ปุ๋ยหมักไส้เดือนดินในอัตราการใส่ต่างๆ พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีจำนวนเมล็ดต่อฝักเฉลี่ยที่ 7.77-8.42 เมล็ด สอดคล้องกับการศึกษาของ เกศกนก วงศ์ขยานันท์ และ คมกฤษณ์ แสงเงิน (2563) ทดสอบการผลของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนต่อผลผลิตของมะเขือเทศเชอร์รี่ อัตรา 50, 100, 150, 200 และ 250 กรัมต่อต้น พบว่าจำนวนผลต่อช่อไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ในการทดลองนี้ ถ้าพิจารณาเป็นปริมาณปุ๋ยต่อกระถาง พบว่าใส่ปุ๋ยมูลไส้เดือนดินแต่ละสิ่งทดลอง ในอัตรา 12, 24 และ 36 กรัมต่อกระถางตามลำดับ) ทั้งนี้ จำนวนเมล็ดต่อฝักของถั่วเขียวมีความแตกต่างกันในระหว่างพันธุ์ถั่วเขียว โดยในพันธุ์ชัยนาท 84-1 มีจำนวนเมล็ดต่อฝักสูงกว่าพันธุ์ชัยนาท 6 โดยมีเมล็ดต่อฝัก 9.75 เมล็ด และพันธุ์ชัยนาท 6 มีจำนวนเมล็ดต่อฝัก 6.64 เมล็ด

จำนวนเมล็ดต่อต้น

จำนวนเมล็ดต่อต้นของถั่วเขียวที่ใส่ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินในอัตราต่างๆ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีจำนวนเมล็ดต่อต้น 133.09-172.18 เมล็ด แต่มีความแตกต่างกันในระหว่างพันธุ์ถั่วเขียว โดยในพันธุ์ชัยนาท 84-1 มีจำนวนเมล็ดต่อต้น 103.73 เมล็ด และพันธุ์ชัยนาท 6 มีจำนวนเมล็ดต่อต้น สูงกว่าพันธุ์ชัยนาท 84-1 คือมีจำนวนเมล็ดต่อต้น 192.26 เมล็ด

น้ำหนักเมล็ดต่อต้น

ผลการใส่ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินอัตราต่างๆ ต่อน้ำหนักเมล็ดต่อต้นของถั่วเขียว พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีน้ำหนักเมล็ดต่อต้น 5.44-9.66 กรัม มีความสอดคล้องกับการทดลองของ ปริญญาวดี ศรีตันทิพย์ และคณะ (2559) ที่ทดลองการใส่ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินผงอัตรา 0.5 – 2.0 ตันต่อไร่ให้กับการปลูกผักเชียงดา พบว่า ให้น้ำหนักยอดของผักเชียงดา ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติเช่นกัน และสอดคล้องกับการทดลองของ Bajracharya & Rai (2009) ได้ทดลองในถั่วลูกไก่ (chickpea) พบว่า การใส่ปุ๋ยมูลไส้เดือนดิน 5 กิโลกรัมต่อดินปลูก 10 กิโลกรัม ไม่ทำให้ผลผลิตเมล็ดเฉลี่ยสองปี แตกต่างกัน นอกจากนี้จากการทดสอบพบว่า น้ำหนักเมล็ดต่อต้นไม่มีความแตกต่างกันในระหว่างพันธุ์ถั่วเขียว โดยในพันธุ์ชัยนาท 84-1 มีน้ำหนักเมล็ดต่อต้น 5.90 กรัม และพันธุ์ชัยนาท 6 น้ำหนักเมล็ดต่อต้น 9.62 กรัม

ทั้งนี้ การใช้ปุ๋ยมูลไส้เดือนดินเพื่อให้ได้ผลผลิตพืชเพิ่มขึ้นที่ชัดเจน อาจต้องมีการเพิ่มธาตุอาหารหรือผสมผสานปุ๋ยชนิดอื่นร่วมด้วย ดังเช่นการทดลองของ วิณา นิลวงศ์ (2557) ทดสอบการใช้ปุ๋ยหมักไส้เดือนดินร่วมกับการฉีดพ่นน้ำหมักมูลไส้เดือนดิน มีผลในการเพิ่มปริมาณ จำนวนช่อ จำนวนดอก และน้ำหนักรวม ของกุหลาบ ขวนชม โป๊ยเซียน และมะลิได้อย่างมีนัยสำคัญ

น้ำหนัก 1,000 เมล็ด

น้ำหนัก 1,000 เมล็ด ของถั่วเขียวที่มีอัตราการใส่ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินอัตราต่างๆ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีน้ำหนัก 1,000 เมล็ด ที่ 56.88-70.42 กรัม แต่มีความแตกต่างกันในระหว่างพันธุ์ถั่วเขียว โดยในพันธุ์ชัยนาท 84-1 มีน้ำหนัก 1,000 เมล็ด สูงกว่าพันธุ์ชัยนาท 6 คือ มีน้ำหนัก 1,000 เมล็ด เฉลี่ยที่ 68.04 กรัม ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการทดสอบของสุวิมล ถนอมทรัพย์ (2558) ที่มีน้ำหนัก 1,000 เมล็ดที่ 69 กรัม ส่วนพันธุ์ชัยนาท 6 น้ำหนัก 1,000 เมล็ด เฉลี่ย 57.54 กรัม

ทั้งนี้ จากการทดสอบการใช้ปุ๋ยมูลไส้เดือนดินในถั่วเขียวพันธุ์ชัยนาท 6 มีแนวโน้มให้ผลผลิตน้ำหนักรวมเมล็ดต่อต้นสูง เนื่องมาจากมีจำนวนฝักต่อต้น จำนวนเมล็ดต่อต้นสูงกว่าพันธุ์ชัยนาท 84-1 ซึ่งสอดคล้องกับการอธิบายของ เบญจมาศ บริสุทธิ์วิณิชน (2544) ที่กล่าวว่า ลักษณะทางเกษตรของถั่วเขียว ได้แก่ จำนวนฝักต่อต้น น้ำหนัก 100 เมล็ด และลักษณะทางสรีรวิทยา ได้แก่ ดัชนีพื้นที่ใบ ดัชนีเก็บเกี่ยว อัตราการเจริญเติบโต และระยะเวลาสะสมน้ำหนักแห้งของเมล็ด มีอิทธิพลทางบวกต่อผลผลิต เช่น การปลูกถั่วเขียวต้นฤดูฝน พบว่าพันธุ์ชัยนาท 36 มีจำนวนฝักต่อต้น 56.20 ฝักต่อต้น มีผลผลิตต่อพื้นที่ 3,617 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ส่วนพันธุ์ชัยนาท 60 มีจำนวนฝักต่อต้น 33.03 ฝักต่อต้น มีผลผลิตต่อพื้นที่ 3,144 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ เป็นต้น

โดยจากการทดสอบในงานวิจัยนี้ พบว่า ถั่วเขียวพันธุ์ชัยนาท 6 มีจำนวนใบต่อต้นสูงถึง 25.83 ใบ จำนวนฝักต่อต้น 29.04 ฝัก จำนวนเมล็ดต่อต้น 192.26 เมล็ด ส่งผลทำให้มีน้ำหนักเมล็ดต่อต้นสูงถึง 9.62 กรัม มีแนวโน้มมีผลผลิตสูงกว่าพันธุ์ชัยนาท 84-1 สอดคล้องกับการศึกษาของ Sriphadet et al. (2005) ที่พบว่า ถั่วเขียวที่มีจำนวนใบมาก ทำให้สามารถสร้างอาหารเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตได้ดี มีผลให้ผลผลิตมากขึ้นด้วย ซึ่งผลผลิตต่อต้นขึ้นกับหลายปัจจัย ได้แก่ ขนาดเมล็ด จำนวนฝักต่อต้น จำนวนเมล็ดต่อฝัก ความยาวและความกว้างฝัก ความสูงต้น การสังเคราะห์ด้วยแสง ความเข้มแสง และค่าสุทธิแสงสูงสุด

ถึงแม้การเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่วเขียวที่มีอัตราการใส่ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินอัตราต่างๆ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใส่ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินและพันธุ์ของถั่วเขียว ให้ค่าการเจริญเติบโตและผลผลิตไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่มีแนวโน้มว่าการใส่ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินมีผลทำให้มีการเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่วเขียวเพิ่มขึ้น โดยการใส่ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่อัตรา 1,500 กิโลกรัมต่อไร่ มีแนวโน้มให้ผลผลิตถั่วเขียวสูงที่สุด โดยให้น้ำหนักเมล็ดต่อต้นสูงที่สุด ได้แก่ในพันธุ์ชัยนาท 84-1 ให้น้ำหนัก 8.04 กรัมต่อต้น (A4B1) และในพันธุ์ชัยนาท 6 ให้น้ำหนัก 11.28 กรัมต่อต้น (A4B2) ซึ่งปุ๋ยหมักที่ได้จากมูลไส้เดือนดินมีปริมาณกรดฮิวมิก อินทรีย์คาร์บอน ธาตุอาหารหลัก และกิจกรรมของเอนไซม์ที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับวัสดุหรืออาหารที่ไส้เดือนดินย่อยสลาย ซึ่งกรดฮิวมิก ธาตุอาหาร และเอนไซม์เหล่านี้มีประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตให้กับพืช (วิศรุตวิชัยวิทย์ และคณะ, 2555) โดยมีปัจจัยมาจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ได้มาจากการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุของไส้เดือนดินมี ค่าความชื้น ค่าการนำไฟฟ้า ธาตุอาหารต่างๆ สูง ส่งผล

ทำให้พืชมีการเจริญเติบโตสูง (Tangsombatvichit et al., 2016) ก่อนที่จะส่งเสริมให้มีผลผลิตของพืชสูงต่อไป

สรุปผลการวิจัย

การทดสอบการใช้ปุ๋ยมูลไส้เดือนดินต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของถั่วเขียว สรุปผลได้ดังนี้

1. ผลของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่วเขียว พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในแต่ละอัตราการใส่ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน และปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใส่ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินและพันธุ์ของถั่วเขียว ให้ค่าการเจริญเติบโตและผลผลิตไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
2. การใช้ปุ๋ยมูลไส้เดือนดินในถั่วเขียว มีแนวโน้มให้จำนวนใบ ความสูง จำนวนเมล็ดต่อฝัก น้ำหนักเมล็ดต่อต้น และน้ำหนัก 1,000 เมล็ด สูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยมูลไส้เดือนดิน
3. การใช้ปุ๋ยมูลไส้เดือนดินกับถั่วเขียวในอัตรา 1,500 กิโลกรัมต่อไร่ มีแนวโน้มให้จำนวนฝักต่อต้น จำนวนเมล็ดต่อต้น น้ำหนักเมล็ดต่อต้น และน้ำหนัก 1,000 เมล็ด สูงที่สุด ดังนั้น อัตราการใช้ปุ๋ยมูลไส้เดือนดินกับถั่วเขียวควรใช้ในอัตราตั้งแต่ 1,500 กิโลกรัมต่อไร่ขึ้นไป หรือควรใช้ร่วมกับปุ๋ยชนิดอื่น เช่น ใช้ร่วมกับน้ำหมักมูลไส้เดือนดิน เป็นต้น
4. ถั่วเขียวพันธุ์ชัยนาท 6 มีจำนวนใบ จำนวนฝักต่อต้น และจำนวนเมล็ดต่อต้น สูงกว่าพันธุ์ชัยนาท 84-1 และมีแนวโน้มมีน้ำหนักเมล็ดต่อต้นสูงกว่าพันธุ์ชัยนาท 84-1 อาจเนื่องจากอิทธิพลของลักษณะทางพันธุกรรม

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ หน่วยงานศูนย์วิจัยพืชไร่ชัยนาท ให้การอนุเคราะห์เมล็ดพันธุ์ประกอบ การทดสอบวิจัย ขอขอบคุณอาจารย์ ดร.สุทธยศ ยัมพุลทรัพย์ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา ที่ให้การสนับสนุนปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน และขอขอบคุณหน่วยงานคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา ให้การสนับสนุนอุปกรณ์และสถานที่ทำการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. (2548). *ประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่อง มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548. (2 มิถุนายน 2548)*. ราชกิจจานุเบกษา.
- เกศกนก วงศ์ขยานันท์ และ คมกฤษณ์ แสงเงิน. (2563). ผลของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของมะเขือเทศเชอร์รี่. *วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 15(1), 115-123.
- ชนากานต์ เทโบลต์ พรหมอุทัย. (2559). *สรีรวิทยาพืชไร่*. เชียงใหม่: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- นันทวุฒิ จำปางาม. (2560). เทคโนโลยีปุ๋ยหมักไส้เดือนดินเพื่อการเกษตรที่ยั่งยืน. *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 11(2), 70-81.
- เบญจมาศ บริสุทธีวณิชชน. (2544). *ลักษณะทางการเกษตรและสรีรวิทยาที่สัมพันธ์กับการให้ผลผลิตถั่วเขียว*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์).
- ปริญญาวดี ศรีตันทิพย์, ชิตี ศรีตันทิพย์ และ ณัฐธยาน์ ธีระวิไล. (2559). ผลของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินต่อสมบัติทางเคมีบางประการของดิน ผลผลิตส่วนที่บริโภคได้ และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในผักเชียงดา. *วารสารพืชศาสตร์สงขลานครินทร์*, 3(ฉบับพิเศษ), 50-56.
- วนิดา ชัยชนะ. (2561). ประสิทธิภาพของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของผักบุ้งจีน. *วารสารเกษตรพระพิรุณ*, 16(1), 81-90.
- วิศรุต วิชัยวิทย์, เบญจมาศ รสโสภา และ กรรณิการ์สัจจาพันธ์. (2555). คุณภาพปุ๋ยมูลไส้เดือนดินที่ได้จากการย่อยสลายขยะอินทรีย์ประเภทต่างๆ โดยไส้เดือนดิน สายพันธุ์ *Perionyx excavatus*. *วารสารเกษตรพระจอมเกล้า*, 30(2), 86-96.
- วีณา นิลวงศ์ (2557). *การศึกษาคุณภาพปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินและการใช้ประโยชน์ทางการเกษตร. รายงานผลการวิจัย. โครงการย่อยภายใต้ชุดโครงการ: ศักยภาพของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินท้องถิ่นไทย ที่ผลิตจากขยะอินทรีย์ต่อระบบการเกษตรและสิ่งแวดล้อม*. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 60 หน้า
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กรมวิชาการเกษตร. (2563). *สถานการณ์การผลิตและการตลาดรายสัปดาห์ 22-28 มิ.ย. 61*. สืบค้นเมื่อวันที่ 25 พฤษภาคม 2563, จาก <http://www.oae.go.th/view/1/28609/TH-TH>.

- สุวิมล ถนอมทรัพย์. (2558). รายงานชุดโครงการวิจัย วิจัยและพัฒนาถั่วเขียว. กรมวิชาการ
เกษตร. 25 หน้า.
- อานัฐ ตันโช. (2556). *เกษตรธรรมชาติประยุกต์ แนวคิด หลักการ เทคนิคปฏิบัติในประเทศไทย*. เชียงใหม่: สำนักพิมพ์รีโอแอดเวอร์ไทซิง แอนด์ มีเดีย.
- Bajracharya, S. K., & Rai, S. K. (2009). Study on the Effects of Vermicompost on the Nodulation and the Yield of Chickpea. *Nepal Agriculture Research Journal*, 9, 49-55.
- Biswash, R., Rahman, W., Haque, M., Sharmin, M., & Barua, R. (2014). Effect of potassium and vermicompost on the growth, yield and nutrient contents of mungbean (BARI Mung 5). *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 1(3), 33-39.
- Gadi, P., Dawson, J., & Shankar, M. (2017). Effect of different organic manures, inorganic fertilizers and growth regulator on yield attributes and yield of greengram (*Vigna radiata* L.). *Agric. Update*, 12 (TECHSEAR-6), 1567-1572.
- Sriphadet, S., Christopher, J., Lambrides C. J., & Srinives P. (2005). Inheritance of Agronomic Traits and Their Interrelationship in Mungbean (*Vigna radiata* (L.) Wilczek). *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 10(4), 249-256.
- Tangsombatvichit, P., Chupong, S., Ketrot, D., & Boonlerthirun, K. (2016). The management of organic wastes produced vermicompost using earthworm *Eudrilus eugeniae* and effects of vermicompost on growth of *Helianthus annuus*. In: Proceedings of the 5th International conference on food, Agricultural and Biological Sciences (ICFABS-2016). December 25-26, 2016. Thailand.
- Tarafder, S., Rahman, A., Hossain, A., & Chowdhury, A. H. (2020). Yield of *Vigna radiata* L. and Post-harvest Soil Fertility in Response to Integrated Nutrient Management. *Agricultural and Biological Sciences Journal*, 6(1), 32-43.

ผลของความเข้มข้นสูตรอาหารร่วมกับน้ำตาลซูโครสต่อการเก็บรักษาหน่ออ่อน
กล้วยไข่กำแพงเพชรในสภาพปลอดเชื้อ

EFFECT OF CULTURE MEDIA AND SUCROSE CONCENTRATIONS ON
IN VITRO YOUNG SHOOTS STORAGE OF *MUSA* (AA GROUP)
'KHAI KAMPHAENG PHET'

ธนากร วงษ์ศา^{1,*}, หนึ่งฤทัย จักรศรี¹ และ อนุปันท์ กงบังเกิด²
Thanakorn Wongs^{1,*}, Nuengruethai Jucksri¹ and Anupan Kongbangkerd²

¹โปรแกรมวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

²หน่วยวิจัยการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

¹Program in Biology, Faculty of Science and Technology, Kamphaeng Phet Rajabhat University

²Plant Tissue Culture Research Unit, Department of Biology, Faculty of Science, Naresuan University

Received: 3 March 2021

Accepted: 5 July 2021

บทคัดย่อ

จากการเลี้ยงชิ้นส่วนหน่ออ่อนกล้วยไข่กำแพงเพชรบนอาหารสูตร MS, ½ MS และ ¼ MS ร่วมกับน้ำตาลซูโครสปริมาณ 0, 10, 20 และ 30 กรัมต่อลิตร เป็นเวลา 24 สัปดาห์ พบว่า ชิ้นส่วนที่เลี้ยงบนอาหารสูตร ½ MS และ ¼ MS ที่เติมน้ำตาลซูโครส 30 กรัมต่อลิตร ให้อัตราการมีชีวิตของชิ้นส่วนหน่ออ่อนกล้วยไข่กำแพงเพชรสูงที่สุด 100% และเมื่อย้ายชิ้นส่วนหน่ออ่อนกล้วยไข่เลี้ยงบนอาหารสูตร MS ที่ไม่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโต ต่อเนื่องอีก 12 สัปดาห์ พบว่า หน่ออ่อนกล้วยไข่กำแพงเพชรที่เลี้ยงบนอาหารสูตร MS, ½ MS และ ¼ MS ที่เติมน้ำตาลซูโครส 30 กรัมต่อลิตร มีการเจริญพัฒนากลับเป็นยอดใหม่ ได้ดีที่สุดในคิดเป็น 20%

คำสำคัญ: กล้วยไข่กำแพงเพชร, ความเข้มข้นสูตรอาหาร, น้ำตาลซูโครส, การเจริญและพัฒนา

* ผู้ประสานงาน: ธนากร วงษ์ศา

อีเมล: thanakorn_wo@kpru.ac.th

Abstract

In vitro shoot tips of *Musa* (AA group) ‘Khai Kamphaeng Phet’ were cultured on MS, ½ MS and ¼ MS combined with various sucrose concentrations at 0, 10, 20 and 30 gram/litre for 24 weeks. The research found that the highest percentage of viability (100%) could be obtained on ½ MS and ¼ MS medium supplemented with 30 gram/lite of sucrose. The shoots were then subcultured onto MS medium without hormone for regeneration recovery testing for 12 weeks. The results revealed that the highest regeneration percentage (20%) could obtained in all MS, ½ MS and ¼ MS augmented with 30 gram/lite sucrose.

Keywords: *Musa* (AA group) ‘Khai Kamphaeng Phet’, culture media concentrations, sucrose, Growth and development

บทนำ

กล้วยไข่กำแพงเพชรจัดเป็นไม้ผลที่มีการปลูกและนำมาใช้ประโยชน์ในจังหวัดกำแพงเพชร ตั้งแต่อดีตราวปี พ.ศ. 2465 ต่อเนื่องมาจนถึงปัจจุบัน แต่ปัญหาสำคัญที่มีผลต่อการปลูกกล้วยไข่กำแพงเพชร คือ สภาพลมฟ้าอากาศที่แปรปรวน โดยเฉพาะเกิดลมพายุใน 2 ช่วงเวลาที่กล้วยไข่กำแพงเพชรมีการเจริญเติบโตทางด้านลำต้นส่งผลให้ต้นหักและโคนล้ม และช่วงที่กล้วยไข่อยู่ในระยะกำลังตกเครือซึ่งเป็นช่วงที่กล้วยไข่กำลังสร้างผลผลิต ทำให้เกิดความเสียหายต่อการปลูกและผลผลิตของกล้วยไข่เป็นประจำทุกปี (สันติพงษ์ ศุภกิจเจริญ และคณะ, 2557) นอกจากนี้ ยังพบปัญหาการระบาดของโรคและแมลงบางชนิดในกล้วยไข่ในพื้นที่ปลูกของเกษตรกรอีกด้วย (กลุ่มกัญและสัตววิทยา, 2553) จึงเป็นเหตุให้การปลูกกล้วยไข่กำแพงเพชรของเกษตรกรลดลง และส่งผลให้พื้นที่ปลูกและผลผลิตลดลงไปตามลำดับ ถึงแม้ว่าจังหวัดกำแพงเพชรมีการจัดตั้งศูนย์รวบรวมสายพันธุ์กล้วยเฉลิมพระเกียรติ เพื่อปลูกรวบรวมเก็บรักษาสายพันธุ์กล้วยมากกว่า 150 สายพันธุ์ เป็นสายพันธุ์กล้วยที่มีความสำคัญทั้งในเชิงเชื้อพันธุ์กรรม และเชิงเศรษฐกิจและการเกษตร กล้วยไข่ที่ปลูกรวบรวมเก็บรักษาสายพันธุ์ไว้ในแปลงปลูกก็ยังคงประสบปัญหาवादภัย และการระบาดของโรคและแมลง

เช่นเดียวกับแปลงปลูกกล้วยไข่ของเกษตรกรเช่นกัน อีกทั้งการเก็บรักษาสายพันธุ์กล้วยไข่ทั่วไปโดยวิธีปลูกลงในแปลงปลูกต้องใช้พื้นที่และแรงงานคนจำนวนมาก ทำให้การจัดการมีความยุ่งยากซับซ้อนมากขึ้น และอาจส่งผลให้สายพันธุ์ของกล้วยไข่ที่ปลูกในพื้นที่จังหวัดกำแพงเพชรลดลงและมีแนวโน้มสูญหายไปจากพื้นที่จังหวัดกำแพงเพชร ดังนั้น การศึกษาเทคนิค และวิธีการในการเก็บรักษาสายพันธุ์กล้วยไข่ที่สามารถควบคุมปัจจัยแวดล้อมต่าง ๆ ได้ จึงเป็นวิธีการที่เหมาะสม วิธีการเก็บรักษาสายพันธุ์พืชที่สำคัญและมีประสิทธิภาพในปัจจุบันแนวทางหนึ่งคือ การเก็บรักษาสายพันธุ์พืชในสภาพปลอดเชื้อ (Engelmann, 1991; Imarhiagbe et al., 2016) วิธีการเก็บรักษาสายพันธุ์พืชในสภาพปลอดเชื้อมีข้อดีคือใช้พื้นที่น้อยในการเก็บรักษา ปลอดจากเชื้อโรค และสามารถผลิตต้นพันธุ์เพื่อเพิ่มจำนวนให้ได้ปริมาณมากในระยะเวลาที่น้อยกว่าการแยกหน่อในวิธีการขยายพันธุ์แบบวิธีดั้งเดิม (Engelmann, 2009) วิธีการเก็บรักษาสายพันธุ์พืชในสภาพปลอดเชื้อนั้น มีทั้งการเก็บรักษาในระยะเวลาไม่นาน (Short term storage) การเก็บรักษาระยะปานกลาง (Medium term storage) และการเก็บรักษาในระยะยาว (Long term storage) (Rao, 2004; Engelmann, 2011) แต่ละรูปแบบนั้นดำเนินไปเพื่อให้พืชนั้นเจริญเติบโตช้า แต่ยังคงความมีชีวิตและรักษาพันธุกรรมไว้ได้โดยทั่วไปแล้ว วิธีเก็บรักษาสายพันธุ์พืชในสภาพปลอดเชื้อมักเริ่มจากการศึกษาการเก็บรักษาแบบ *in vitro* short term หรือ medium term storage โดยศึกษาปัจจัยบางประการที่มีผลต่อการชะลอการเจริญเติบโต อาทิ การลดความเข้มข้นของธาตุอาหาร การเติมสารชะลอการเจริญเติบโต การลดอุณหภูมิและปริมาณของแสงให้น้อยลง เป็นต้น (Da Silva et al., 2018) การศึกษาปัจจัยบางประการที่มีผลต่อความสำเร็จในการเก็บรักษาสายพันธุ์พืชในสภาพปลอดเชื้อนั้น อาทิ การศึกษาผลของอุณหภูมิ (Carvalho et al., 2014) ผลของแสง (Benelli et al., 2012; Linjikhao et al., 2018a) และองค์ประกอบอาหาร ได้แก่ ความเข้มข้นของอาหาร (Linjikhao et al., 2018b) ปริมาณของน้ำตาล (Sintim & Acromah, 2015) และสารชะลอการเจริญเติบโต (Jarret, 1997; Huang et al., 2014) เป็นต้น สำหรับปัจจัยบางประการที่มีผลต่อการเก็บรักษาสายพันธุ์กล้วยในสภาพปลอดเชื้อนั้น มีรายงานการศึกษาผลของอุณหภูมิ (Banerjee & De Langhe, 1985) ผลของความแตกต่างทางจีโนมของกล้วยสายพันธุ์ต่าง ๆ (Van den Houwe et al., 1995) ชนิดของน้ำตาล (Madhulatha et al., 2006) ชนิดของน้ำตาลและสารพยุ้ง (supporting agent) (Agrawal et al., 2010) แต่รายงานการศึกษาในกล้วยไข่ยังมีไม่มากนัก ดังนั้น งานวิจัยนี้จึง

มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลขององค์ประกอบของอาหารบางประการต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาของชิ้นส่วนหน่ออ่อนกล้วยไข่ในหลอดทดลอง สำหรับเป็นแนวทางในการเก็บรักษาพันธุ์กรรมกล้วยไข่อย่างง่ายและไม่ใช้ต้นทุนในการเก็บรักษามากเกินไป เพื่อการใช้ประโยชน์อย่างยั่งยืนต่อไปในอนาคต

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การรวบรวมต้นพันธุ์ในการทดลอง โดยรวบรวมต้นพันธุ์กล้วยไข่สายพันธุ์กำแพงเพชร จากสวนกล้วยไข่จังหวัดกำแพงเพชรที่ได้รับการรับรองสายพันธุ์ที่เป็นสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ จากกรมทรัพย์สินทางปัญญา ทำการคัดเลือกต้นกล้วยไข่ที่แข็งแรงและปราศจากโรค ระยะเวลาใบดาบมาใช้ในการทดลองต่อไป

2. การเตรียมชิ้นส่วนเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อกล้วยไข่ โดยนำหน่อใบดาบมาตัดแต่งให้มีขนาดประมาณ 3 เซนติเมตร ล้างทำความสะอาดแล้วนำมาแช่ในสารละลายผสมป้องกันกำจัดเชื้อรา (Captan 1% + Cabendazim 1%) เป็นเวลา 30 นาที ฟอกฆ่าเชื้อผิวภายนอกชิ้นส่วน จากนั้นย้ายไปแช่ในสารละลายเอทานอล 95% เป็นเวลา 1 นาที แล้วย้ายไปแช่ในสารละลายคลอริกซ์ 15% (w/v) อีก 15 นาที ล้างด้วยน้ำกลั่นนิ่งฆ่าเชื้อ 4-5 ครั้ง ตัดแต่งชิ้นส่วนบริเวณปลายยอดและบริเวณฐานให้มีขนาดประมาณ 1.0 เซนติเมตร

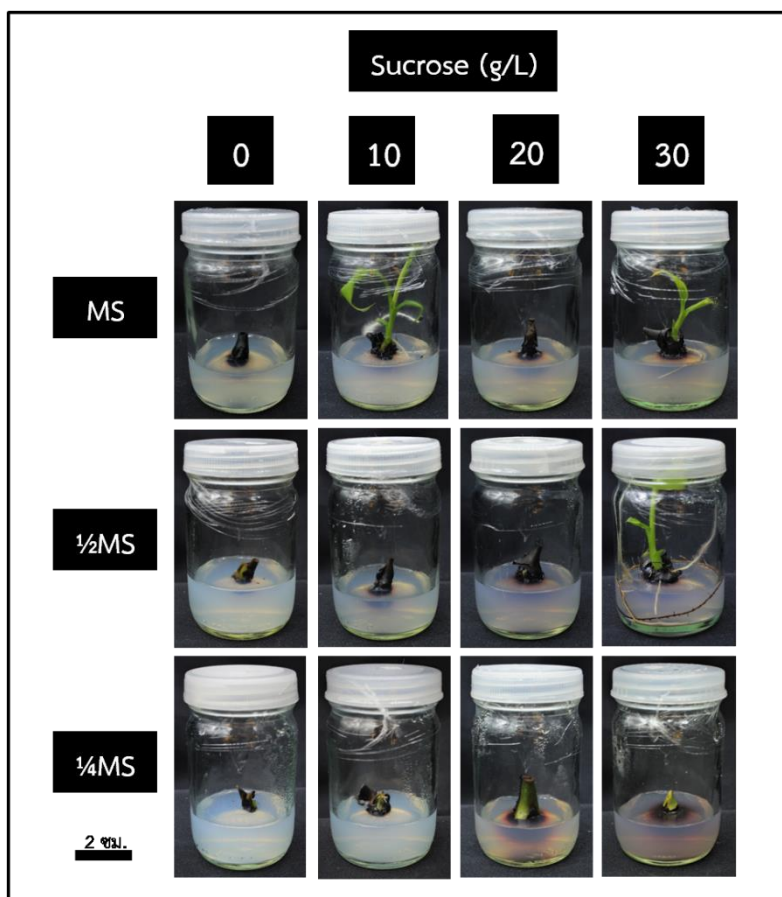
3. ผลของความเข้มข้นของธาตุอาหารร่วมกับน้ำตาลต่อการเจริญของหน่ออ่อนกล้วยไข่ โดยนำหน่ออ่อนกล้วยไข่ที่ตัดแต่งขนาดแล้วมาเลี้ยงบนอาหารกึ่งแข็งสูตร MS (Murashige & Skoog, 1962) ที่แปรผันความเข้มข้นของธาตุอาหาร ได้แก่ MS, ½ MS และ ¼ MS ร่วมกับการเติมน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 0 10 20 และ 30 กรัมต่อลิตร ผงวุ้น 7.0 กรัมต่อลิตร ค่า pH เป็น 5.7 เลี้ยงในห้องเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส ให้แสง 12 ชั่วโมงต่อวัน ความเข้มแสง 20 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที และบันทึกผลการอัตราการมีชีวิตของหน่ออ่อน หลังจากเพาะเลี้ยงไปแล้วทุก ๆ 6 สัปดาห์ จนครบ 24 สัปดาห์ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design; CRD) มีการจัดสิ่งทดลองแบบ 3×4 Factorial in CRD แต่ละทรีตเมนต์เลี้ยงชิ้นส่วนทั้งหมด 10 ชิ้นส่วน (หน่วยทดลอง) และทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง หลังจากครบ 24 สัปดาห์ ย้ายชิ้นส่วนทุกทรีตเมนต์ลงเลี้ยงบนอาหารใหม่สูตร MS เติมน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 30 กรัมต่อลิตร โดยไม่เติมน้ำสารควบคุมการเจริญเติบโต เพื่อศึกษาการเจริญและพัฒนาออกกลับเป็นต้นใหม่

ของชิ้นส่วนหน่ออ่อนกล้วยไข่ที่ผ่านการเลี้ยงบนอาหารสูตรต่าง ๆ ที่แปรผันความเข้มข้นของธาตุอาหารรวมกับการเติมน้ำตาลซูโครสความเข้มข้นต่าง ๆ มาแล้ว 24 สัปดาห์ เป็นระยะเวลาอีก 12 สัปดาห์

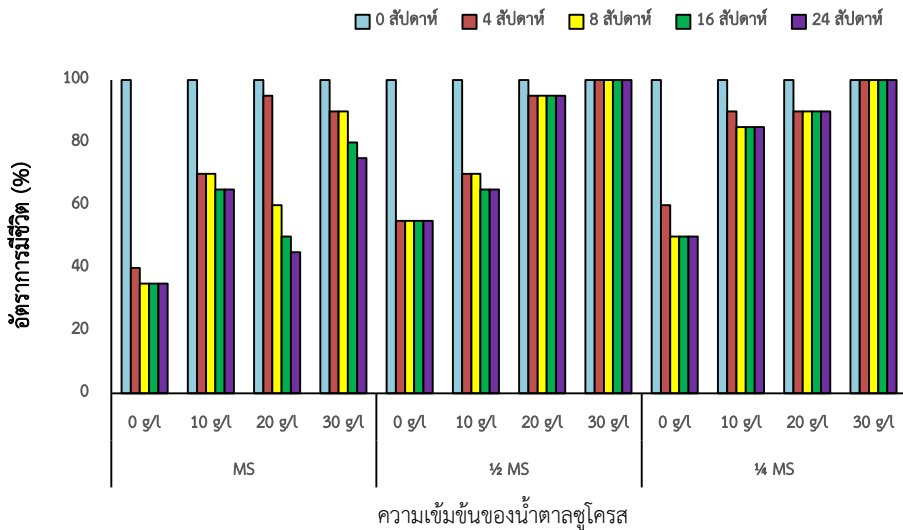
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

การศึกษาผลขององค์ประกอบอาหารบางประการ ได้แก่ ความเข้มข้นของสูตรอาหารและปริมาณน้ำตาล ต่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาของหน่ออ่อนกล้วยไข่ ที่ตัดแยกออกจากหน่ออ่อนกล้วยไข่ที่นำมาฟอกฆ่าเชื้อและเข้าสู่กระบวนการเก็บรักษาพันธุ์กล้วยไข่กำแพงเพชรในสภาพปลอดเชื้อ นำหน่ออ่อนกล้วยไข่สายพันธุ์กำแพงเพชรมาเลี้ยงบนอาหารที่มีการแปรผันความเข้มข้นของสูตรอาหาร (MS, $\frac{1}{2}$ MS และ $\frac{1}{4}$ MS) ร่วมกับปริมาณน้ำตาลซูโครสที่แตกต่างกัน (0, 10, 20 และ 30 กรัมต่อลิตร) เมื่อพิจารณาเฉพาะความเข้มข้นของสูตรอาหารพบว่า เมื่อเวลาผ่านไปจาก 0, 4, 8, 16 และ 24 สัปดาห์ อาหารสูตร $\frac{1}{2}$ MS และ $\frac{1}{4}$ MS มีแนวโน้มของอัตราการมีชีวิตของหน่ออ่อนกล้วยไข่ที่เลี้ยงในสูตรอาหารทุกความเข้มข้นนั้นเพิ่มมากขึ้น และมีอัตราการมีชีวิตบนอาหาร $\frac{1}{2}$ MS, $\frac{1}{4}$ MS และ MS โดยเฉพาะในสูตรอาหารที่มีการเติมน้ำตาลซูโครส 30 กรัมต่อลิตร คิดเป็นอัตราการมีชีวิต 100, 100 และ 75% ตามลำดับ (รูปที่ 1 และรูปที่ 2) อย่างไรก็ตาม จากรายงานการศึกษาผลความเข้มข้นของสูตรอาหาร MS (MS, $\frac{1}{2}$ MS และ $\frac{1}{4}$ MS) ต่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาของชิ้นส่วนปลายยอดของกล้วยคาเวนดิชแคระ (banana, cv. Dwarf Cavendish) ให้ผลในทางตรงกันข้ามโดยพบว่า เมื่อเลี้ยงชิ้นส่วนปลายยอดกล้วยคาเวนดิชแคระบนอาหารสูตร MS, $\frac{1}{2}$ MS และ $\frac{1}{4}$ MS นานขึ้น มีแนวโน้มทำให้อัตราการรอดชีวิตลดลงตามความเข้มข้นของสูตรอาหารที่ลดลงโดยลำดับ (Tokoporo et al., 2013) และจากผลการทดลองนี้ เมื่อปริมาณน้ำตาลซูโครสในสูตรอาหารเพิ่มมากขึ้น มีแนวโน้มทำให้อัตราการมีชีวิตของหน่ออ่อนกล้วยไข่เพิ่มมากขึ้นในสูตรอาหารทุกความเข้มข้น (MS, $\frac{1}{2}$ MS และ $\frac{1}{4}$ MS) อย่างไรก็ตาม เมื่อเวลาผ่านไปนานขึ้นส่งผลทำให้มีแนวโน้มของอัตราการมีชีวิตลดลง จนเมื่อเวลา 24 สัปดาห์ พบว่า สูตร $\frac{1}{2}$ MS และ $\frac{1}{4}$ MS ที่เติมน้ำตาลซูโครส 30 กรัมต่อลิตร มีชิ้นส่วนหน่ออ่อนกล้วยไข่มีอัตราการมีชีวิตสูงสุด 100% ในขณะที่สูตร MS ที่เติมน้ำตาลซูโครส 30 กรัมต่อลิตร มีอัตราการมีชีวิตลดลงเหลือเพียง 75% ซึ่งให้ผลในทำนองเดียวกับผลการทดลองของ Linjikao et al. (2019) ที่รายงานว่า ต้นอ่อนกล้วยไม้ *Vandopsis lissochiloides* ยังคงมีอัตราการรอดชีวิต

ดีที่สุด ในสูตรอาหารทุกความเข้มข้น ที่มีการเติมน้ำตาลซูโครส 30 กรัมต่อลิตร และรายงานการศึกษาผลของปริมาณน้ำตาลซูโครสต่ออัตราการรอดชีวิตของชิ้นส่วนปลายยอด *Paulownia tomentosa* พบว่า อาหารที่เติมน้ำตาลซูโครส 30 กรัมต่อลิตร นั้น จะให้อัตราการรอดชีวิตของชิ้นส่วนปลายยอดในสภาพปลอดเชื้อสูงที่สุดด้วยเช่นกัน (El-Homosany and Noor EL-Deen, 2019)



รูปที่ 1 ลักษณะทางสัณฐานของชิ้นส่วนหน่อกล้วยไข่ที่เลี้ยงบนอาหารสูตรต่าง ๆ ที่เติมน้ำตาลความเข้มข้นแตกต่างกัน เป็นเวลา 24 สัปดาห์ (สเกล = 2 เซนติเมตร)



รูปที่ 2 อัตราการมีชีวิตของชิ้นส่วนปลายยอดเมื่อเลี้ยงบนอาหาร MS ที่แปรผันระดับของความเข้มข้นอาหารร่วมกับความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครส เป็นระยะเวลา 24 สัปดาห์

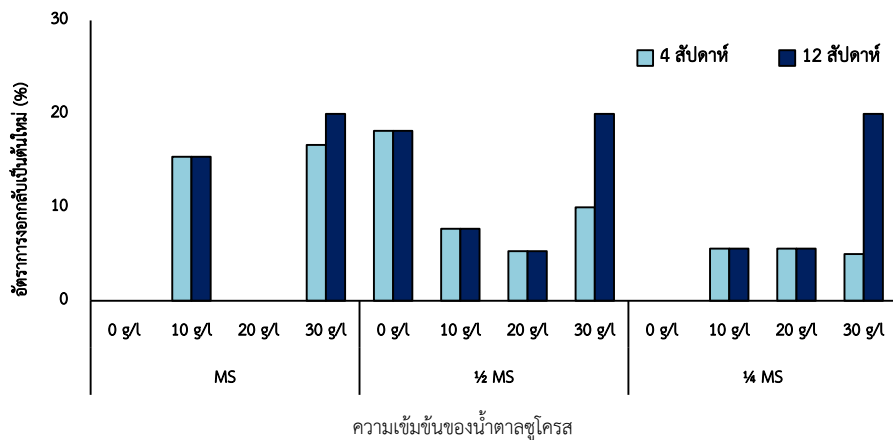
หลังจากเลี้ยงชิ้นส่วนหน่ออ่อนกล้วยไข่ลงบนอาหารที่แปรผันความเข้มข้นของสูตรอาหารร่วมกับปริมาณน้ำตาลซูโครสที่แตกต่างกัน จนครบ 24 สัปดาห์แล้ว ทำการย้ายชิ้นส่วนหน่ออ่อนกล้วยไข่ที่ยังมีชีวิตจากอาหารทุกสูตรดังกล่าว ไปเลี้ยงบนอาหารสูตร MS ที่เติมน้ำตาลซูโครส 30 กรัมต่อลิตร โดยไม่มีการเติมสารควบคุมการเจริญเติบโต ต่อเนื่องอีกเป็นเวลา 12 สัปดาห์ พบว่า เมื่อย้ายเลี้ยงหน่ออ่อนกล้วยไข่เป็นเวลา 1 สัปดาห์ ชิ้นส่วนหน่อกล้วยไข่ที่มีสีน้ำตาลเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเขียวในอาหาร MS, 1/2 MS และ 1/4 MS ที่เติมน้ำตาลซูโครส 10 กรัมต่อลิตร และเมื่อเลี้ยง 2 สัปดาห์ ชิ้นส่วนสีเขียวนั้นเริ่มมีการแทงหน่ออ่อนขึ้นมาเป็นยอดใหม่ขนาดเล็กบนอาหาร MS, 1/2MS และ 1/4MS ที่เติมน้ำตาลซูโครส 10 กรัมต่อลิตร เช่นเดียวกัน โดยเมื่อเลี้ยงชิ้นส่วนครบ 4 สัปดาห์ พบว่า ชิ้นส่วนที่มีสีน้ำตาลและเปลี่ยนแปลงไปเป็นสีเขียวนั้น เริ่มมีการงอกกลับเป็นหน่ออ่อนและพัฒนาเป็นยอดใหม่เพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะชิ้นส่วนที่ผ่านการเลี้ยงบนอาหารสูตรที่เติมน้ำตาลมาก่อน ในขณะที่ชิ้นส่วนที่ผ่านการเลี้ยงบนอาหารสูตรที่เติมน้ำตาล 0 กรัมต่อลิตร พบว่า ชิ้นส่วนส่วนใหญ่ไม่เกิดการงอกกลับเป็นต้นใหม่ และยังคงเป็นสีน้ำตาล ซึ่งคาดว่าชิ้นส่วนดังกล่าวอาจตายและเมื่อเลี้ยงต่อเนื่องไปเรื่อย ๆ พบว่า อัตราการงอกกลับเป็นต้นใหม่ของชิ้นส่วนค่อย ๆ

เพิ่มมากขึ้น จนครบ 12 สัปดาห์ พบว่า ขึ้นส่วนที่ผ่านการเลี้ยงบนอาหารสูตร MS และสูตร $\frac{1}{2}$ MS และสูตร $\frac{1}{4}$ MS ที่เติมน้ำตาลซูโครส 30 กรัมต่อลิตร ให้อัตราการงอกกลับเป็นต้นใหม่สูงสุด 20% เท่ากัน ในขณะที่ขึ้นส่วนที่ผ่านการเลี้ยงบนอาหารสูตร MS และสูตร $\frac{1}{4}$ MS ที่เติมน้ำตาลซูโครส 0 กรัมต่อลิตร ไม่พบการงอกกลับเป็นต้นใหม่ของขึ้นส่วนแต่อย่างใด เช่นเดียวกับขึ้นส่วนที่ผ่านการเลี้ยงบนอาหารสูตร MS ที่เติมน้ำตาลซูโครส 20 กรัมต่อลิตร อีกด้วย (รูปที่ 3 และรูปที่ 4)

ขึ้นส่วนหน่อกล้วยไข่ที่ผ่านการเลี้ยงมาจากสูตรอาหารความเข้มข้นต่าง ๆ ที่เติมน้ำตาลซูโครสปริมาณในช่วง 10-20 กรัมต่อลิตร (รูปที่ 1) แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครสที่สูง (30 กรัมต่อลิตร) ส่งผลต่อสภาวะที่เรียกว่า osmotic stress และส่งผลให้ขึ้นส่วนหน่ออ่อนของกล้วยไข่มีการงอกกลับเป็นต้นใหม่ที่ค่อนข้างช้าและพัฒนาเป็นต้นที่สมบูรณ์ช้ากว่าขึ้นส่วนหน่อกล้วยไข่ที่ผ่านการเลี้ยงมาจากสูตรอาหารที่เติมน้ำตาลซูโครสในปริมาณที่ต่ำกว่า (10-20 กรัมต่อลิตร) ซึ่ง Leila et al. (2017) ได้รายงานถึงผลของการชักนำให้อาหารเพาะเลี้ยงเกิด osmotic stress นั้นมีผลต่อการเจริญของขึ้นส่วนปลายยอดเพาะเลี้ยงกล้วยคาเวนดิชแคระ ซึ่งสภาวะของอาหารเพาะเลี้ยงที่มีการชักนำให้เกิด osmotic stress มากนั้น ส่งผลให้ปลายยอดเพาะเลี้ยงกล้วย 'Dwarf Cavendish' นั้นมีการเจริญได้ไม่ดี อีกทั้งในพืชอื่น ๆ ได้มีรายงานการศึกษาผลของชนิดและปริมาณน้ำตาลต่อการเจริญเติบโตของต้นอ่อนสาकुและพบว่า การเพิ่มปริมาณน้ำตาลซูโครสในอาหารเพาะเลี้ยงส่งผลให้ลักษณะทางสัณฐานและความสมบูรณ์ของต้นอ่อนสาकुลดลง เนื่องมาจากเกิดสภาวะ osmotic stress ในอาหารเพาะเลี้ยงดังกล่าว (Simaryono et al., 2012) รวมไปถึงรายงานการศึกษาผลของน้ำตาลซูโครสต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาของต้นอ่อนอัฟริกันไวโอเล็ต (*Saintpaulia ionantha* Wendl.) ที่พบว่า การเพิ่มปริมาณน้ำตาลซูโครสในอาหารเพาะเลี้ยงส่งผลให้อัตราการเจริญที่วัดจากจำนวนต้น ความสูง และอัตราการเกิดรากใหม่นั้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Moges et al., 2003) และรายงานการศึกษาผลของน้ำตาลซูโครสต่อการเจริญและการพัฒนาการของแคลลัสข้าวสาลี พบว่า แคลลัสที่เลี้ยงบนอาหารสูตรที่เติมน้ำตาลซูโครสความเข้มข้นสูงๆ จะเกิดสภาวะ osmotic stress ทำให้ลักษณะสัณฐานภายนอกเปลี่ยนแปลงไปและมีอัตราการเจริญเติบโตที่วัดจากน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งลดลง (Javed & Ikram, 2008)



รูปที่ 3 ต้นที่เลี้ยงบนอาหาร MS ที่ไม่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโต เป็นเวลา 12 สัปดาห์



รูปที่ 4 อัตราการงอกกลับเป็นต้นใหม่ของชิ้นส่วนหน่อกล้วยไข่ที่บนอาหาร MS ที่ไม่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโต เป็นเวลา 12 สัปดาห์

สรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า อาหารสูตร ½ MS และ ¼ MS ที่เติมน้ำตาลซูโครส 30 กรัมต่อลิตร ให้อัตราการมีชีวิตของชิ้นส่วนหน่ออ่อนกล้วยไข่สูงที่สุด เมื่อเวลาผ่านไป 24 สัปดาห์ และเมื่อย้ายชิ้นส่วนหน่ออ่อนกล้วยไข่ลงเลี้ยงบนอาหารสูตร MS ที่ไม่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโต เป็นเวลา 12 สัปดาห์ พบว่า หน่ออ่อนกล้วยไข่ที่เลี้ยงบนอาหารสูตร MS, ½ MS และ ¼ MS ที่เติมน้ำตาลซูโครส 30 กรัมต่อลิตร มีการเจริญพัฒนางอกกลับเป็นยอดใหม่ได้ดีที่สุดเท่ากัน ในการศึกษาในครั้งนี้สามารถประยุกต์สภาวะที่เหมาะสมจากการทดลองสำหรับเก็บรักษาพันธุ์กรรมหน่ออ่อนกล้วยไข่ในระยะปานกลาง (medium term storage) เพื่อการใช้ประโยชน์อย่างยั่งยืนในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยราชภัฏกาแพงเพชร ที่สนับสนุนงบประมาณแผ่นดิน ปี 2561 และขอขอบคุณนางสาวอณรรัตน์ อินมะโน ที่ได้ช่วยเหลืองานด้านต่าง ๆ ของการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

กลุ่มกีฏและสัตววิทยา. (2553). *คำแนะนำการป้องกันกำจัดแมลงและศัตรูพืชปี 2553*.

เอกสารวิชาการเกษตร. สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 63 หน้า.

สันติพงษ์ ศุภกิจเจริญ, ธเนศ ศรีวิชัยลำพันธ์, และ กาญจนา โชคถาวร. (2557). ปัจจัยที่มีผลต่อการยอมรับการปลูกกล้วยไข่ของเกษตรกรในจังหวัดกำแพงเพชร. *สัปดาห์ : วารสารมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์*, 20(3), 1-9.

Agrawal, A., Sanayaima, R., Tandon, R., & Tyagi, R. K. (2010). Cost-effective *in vitro* conservation of banana using alternatives of gelling agent (isabgol) and carbon source (market sugar). *Acta Physiologia Plantarum*, 32, 703–711.

- Banerjee, N., & De Langhe, E. (1985). A tissue culture technique for rapid clonal propagation and storage under minimal growth conditions of *Musa* (banana and plantain). *Plant Cell Reports*, 4, 351-354.
- Benelli, C., Ozudogru, E. A., Lambardi, M., & Dradi, G. (2012). *In vitro* conservation of ornamental plants by slow growth storage. *Acta Horticulturae*, 961, 89-93.
- Carvalho, V., Santos, D. S., & Nievola, C. C. (2014). *In vitro* storage under slow growth and ex vitro acclimatization of the ornamental bromeliad *Acanthostachys strobilacea*. *South African Journal of Botany*, 92, 39-43.
- Da Silva, D. P. C., Ozudogru, E. A., Reis, M. V. D., & Lambardi, M. (2018). *In vitro* conservation of ornamental plants. *Ornamental Horticulture*, 2(4), 28-33.
- El-Homosany, A. A., & Noor El-Deen, T. M. (2019). *In vitro* storage of *Paulownia tomentosa*. *Scientific Journal of Flowers and Ornamental Plants*, 6(3), 139-149.
- Engelmann, F. (1991). *In vitro* conservation of horticultural species. *Acta Horticulturae*, 298, 327-332.
- Engelmann, F. (2009). Use of biotechnologies for conserving plant biodiversity. *Acta Horticulturae*, 812, 63-82.
- Engelmann, F. (2011). Use of biotechnologies for the conservation of plant biodiversity. *In Vitro Cellular and Developmental Biology-Plant*, 45, 5-16.
- Huang, H. P., Wang, J., Huang, L. Q., Gao, S. L., Huang, P., & Wang, D. L. (2014). Germplasm preservation *in vitro* of *Polygonum multiflorum* Thunb. *Pharmacognosy Magazine*, 10(38), 179-184.
- Imarhiagbe, O., Osazee, J. O., Aiwansoba, R. O., & Shittu, O. H. (2016). *In vitro* germplasm collection and storage: A review. *International Journal of Biology Research*, 1(1), 9-14.

- Jarret, R. L. (1997). Effects of chemical growth retardants on growth and development of sweetpotato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) *in vitro*. *Journal of Plant Growth Regulation*, 16, 227-231.
- Javed, F., & Ikram, S. (2008). Effect of sucrose induced osmotic stress on callus growth and biochemical aspects of two wheat genotypes. *Pakistan Journal of Botany*, 40(4), 1487-1495.
- Leila, S., Ali, S., & Esmail, A. M. (2017). Improvement of shoot-tip culture proliferation in banana using PEG6000. *Iranian Journal of Plant Physiology*, 7(3), 2105-2111.
- Linjikhao, J., Inthima, P., & Kongbangkerd, A. (2018a). Effect of medium components and light on growth and development of *in vitro* *Vandopsis lissochiloides* (Gaudich.) Pfitz. Seedlings. In: Proceedings of The International Conference on Agriculture and Natural Resources 2018 (ANRES 2018). April 26–28, 2018. The Hotel Windsor Suites & Convention. p.3-6.
- Linjikhao, J., Inthima, P., & Kongbangkerd, A. (2018b). Effect of different media and mannitol concentrations on growth and development of *Vandopsis lissochiloides* (Gaudich) Pfitz. under slow growth conditions. In: Proceedings of the 20th International Conference on Plant Biology and Plant Sciences. November 12-13, 2018, Tokyo, Japan. p.383-387.
- Linjikhao, J., Inthima, P., & Kongbangkerd, A. (2019). Effect of different media and mannitol concentrations on growth and development of *Vandopsis lissochiloides* (Gaudich.) Pfitz. under slow growth conditions. *World Academy of Science, Engineering and Technology – International Journal of Agricultural and Biosystems Engineering*, 13(6), 177-182.
- Madhulatha, P., Kirubakaran, S. I., & Sakthivel, N. (2006). Effects of carbon sources and auxins on *in vitro* propagation of banana. *Biologia Plantarum*, 50(4), 782-784.

- Moges, A. D., Karam, N. S., & Shibli, R. A. (2003). Slow growth in vitro preservation of African violet (*Saintpaulia ionantha* Wendl.). *Advances in Horticultural Science*, 17(4), 223-230.
- Murashige, T., & Skoog, F. (1962). A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum*, 15(3), 473-497.
- Rao, N. K. (2004). Plant genetic resources: advancing conservation and use through biotechnology. *African Journal of Biotechnology*, 3, 136-145.
- Simaryono, Muslihatin, W., & Ratnadewi, D. (2012). Effect of carbohydrate source on growth and performance of *in vitro* sago palm (*Metroxylon sagu* Rottb.) plantlets. *HAYATI Journal of Biosciences*, 19(2), 88-92.
- Sintim, H. Y., & Acromah, R. (2015). Differing sucrose requirements for in-vitro conservation of cassava genotypes. *International Journal of Plant and Soil Science*, 7(1), 45-54.
- Tokoporo, G. L., Elhassan, A. A., & Ali, M. A. (2013). Effect of nutrient medium concentration and temperature on short-term *in vitro* conservation of shoot-tip explants of banana. *Journal of Natural Resources and Environmental Studies*, 1, 37-40.
- Van den Houwe, I., De Smet, K., Tezenas du Montcel, H., & Swennen, R. (1995). Variability in storage potential of banana shoot cultures under medium term storage conditions. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 42, 267-274.

ศึกษาศักยภาพการเจริญเติบโตของมะเดื่อฝรั่ง 4 พันธุ์ เพื่อปลูกบนพื้นที่
อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์

STUDY OF THE GROWTH POTENTIAL OF 4 VARIETIES FIGS FOR PLANTING
IN KHAO KHO DISTRICT, PHETCHABUN PROVINCE.

ศิวดล แจ่มจำรัส^{1,*}, สมคิด ฤทธิเนติกุล², ประธาน เรียงราด³ และ การันต์ ผึ้งบรรหาร¹
Siwadon Chaemchamrat^{1,*}, Somkid Ritnathikul², Prathan Rienglard³
and Karun Phungbunhan¹

¹สาขาวิชาพืชศาสตร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

²สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

³สาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

¹Division of Plant science, Faculty of Agricultural and Industrial Technology,
Phetchabun Rajabhat University

²Division of Computer Engineering, Faculty of Agricultural and Industrial Technology,
Phetchabun Rajabhat University

³Division of Animal science, Faculty of Agricultural and Industrial Technology,
Phetchabun Rajabhat University

Received: 16 April 2021

Accepted: 5 July 2021

บทคัดย่อ

การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบหาสายพันธุ์มะเดื่อฝรั่งที่เหมาะสมในการปลูกบนพื้นที่สูงของอำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ โดยใช้พันธุ์มะเดื่อฝรั่ง 4 สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ออสเตรเลีย, แบล็ค อิสราเอล, บีทีเอ็ม 6 (BTM 6) และไวท์ ซีเรีย พบว่ามะเดื่อฝรั่งอายุหลังย้ายปลูก 150 วัน มะเดื่อฝรั่งพันธุ์แบล็ค อิสราเอล และพันธุ์ออสเตรเลียมีประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสง (Fv/Fm) มากกว่าพันธุ์ บีทีเอ็ม 6 โดยมีค่าเท่ากับ 0.711-0.713 และ 0.587 ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยในของส่วนค่าประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงมะเดื่อฝรั่งพันธุ์ออสเตรเลียมีความสัมพันธ์กับปริมาณคลอโรฟิลล์ที่มีมาก

* ผู้ประสาน: ศิวดล แจ่มจำรัส

อีเมล: vip119z@hotmail.com

ที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 53.23 spad unit ส่วนมะเดื่อฝรั่งพันธุ์แบล็ค อิสราเอลมีพื้นที่ผิวทรงพุ่มมากกว่าพันธุ์ ออสเตรเลียและพันธุ์ บีทีเอ็ม 6 โดยมีพื้นที่ผิวทรงพุ่มเท่ากับ 8,245.15 4,009.81 และ 2,369.72 ตารางเซนติเมตร ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติถึงความสูงลำต้นของ พันธุ์แบล็ค อิสราเอลมีมากกว่า พันธุ์ออสเตรเลียและพันธุ์บีทีเอ็ม 6 และจำนวนใบของต้นมะเดื่อฝรั่งพันธุ์ไวท์ ซีเรีย มีจำนวนใบมากที่สุด โดยมีจำนวนใบเท่ากับ 91.33 ใบ ส่วนในสายพันธุ์อื่นๆ มีจำนวนใบอยู่ในช่วง 23.33-41.00 ใบ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติซึ่งโดยภาพรวมแล้วพันธุ์แบล็ค อิสราเอล มีความเหมาะสมกับการปลูกบนพื้นที่สูงของอำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ เมื่อเทียบกับพันธุ์อื่นที่ทดสอบร่วมกัน

คำสำคัญ: มะเดื่อฝรั่ง, เขาค้อ, พื้นที่สูง

Abstract

The objective of this study was to investigate the suitable strains of fig for planting in the highlands of Khao Kho District, Phetchabun Province. The research focused on four varieties of figs, including Australia, Black Israel, BTM 6, and White Syria. After 150 days of transplantation, Black Israel and Australian figs were more efficient on photosynthesis (Fv/Fm) than BTM 6, with values of 0.711-0.713 and 0.587, respectively, with a statistically significant difference. The photosynthetic efficiency of Australian figs was the most correlated with chlorophyll content with the value of 53.23 spad units. The Black Israel had more canopy surface area than its Australia and BTM 6 varieties, with a canopy surface area of 8,245.15, 4,009.81, and 2,369.72 square centimeters. The stem height of the Black Israel was greater than the Australia and Btm6 varieties. The number of leaves of the White Syrian fig tree had the highest number of leaves. with the number of leaves equal to 91.33 leaves in other species. The number of leaves was in the range of 23.33-41.00, which was a statistically significant difference. In general, the Black Israel fig was the suitable strain for

planting in the highlands of Khao Kho District, Phetchabun Province compared to other varieties tested together.

Keywords: Fig, Khao Kho, highland

บทนำ

มะเดื่อฝรั่ง (Fig) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Ficus carica* L. เป็นพืชในตระกูลเดียวกับ โพธิ์ ไทร และหม่อน (Montserrat, 2012) เป็นไม้ผลขนาดกลาง ซึ่งมีแหล่งกำเนิดอยู่ที่ เอเชียตะวันตก แถบเมดิเตอร์เรเนียนของยุโรปและแอฟริกาเหนือ (Manago, 2006 อ้างโดย เพ็ญแข รุ่งเรือง และคณะ, 2560) มะเดื่อฝรั่งเป็นพืชสกุลหม่อน (mulberry) เป็นไม้ผลที่ปลูกในเชิงพาณิชย์ในหลายประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกา ฝรั่งเศส อิตาลี เป็นต้น โดยในประเทศไทยนั้นโครงการหลวงได้เริ่มทดลองปลูกวิจัยและส่งเสริมการปลูกมะเดื่อฝรั่งโดยเริ่มทดลองปลูกที่ต๋อยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่ โดยเน้นไปที่การปรับตัวและการให้ผลผลิตในสภาพพื้นที่สูงในเขตร้อนวิจัยและขยายพื้นที่ปลูกมะเดื่อฝรั่งมากขึ้น (ทวีศักดิ์ ชัยเรืองยศ, 2551) โดยมะเดื่อฝรั่งสามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาพอากาศที่หนาวเย็นบนพื้นที่สูงได้เป็นอย่างดี ซึ่งได้มีการนำมาทดลองปลูกตั้งแต่ปี พ.ศ. 2525 (Punsri & Thongtham, 1983 อ้างโดย สุรินทร์ นิลสำราญจิต และคณะ, 2553) มะเดื่อฝรั่งเป็นผลไม้ที่มีใยอาหารสูง โดยผลสดมีเส้นใยอาหารร้อยละ 1.2 ส่วนในผลอบแห้งมีร้อยละ 5.6 รวมทั้งผลของมะเดื่อฝรั่งเมื่อบริโภคแล้วยังสามารถช่วยสร้างความสมดุลระหว่างความเป็นกรด-ด่างในร่างกายได้เช่นกัน นอกจากนี้ยังพบว่ามีโปรตีน เอนไซม์ วิตามินและเกลือแร่ที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายจำนวนมาก (ณรงค์ชัย พิพัฒน์ธนวศ์, 2550) ซึ่งมะเดื่อฝรั่งบางชนิดสามารถบริโภคเป็นอาหารได้ แต่ไม่เป็นที่นิยมมากนักเนื่องจากรสชาติไม่หวาน ส่วนบางชนิดที่เป็นที่นิยมแต่จะมีแมลงเข้าไปวางไข่และเกิดเป็นตัวหนอนภายในผล (สุรินทร์ นิลสำราญจิต, 2529) ใบมะเดื่อฝรั่งสามารถนำมาหั่นตากแห้งทำเป็นชาชงได้ ราคาจำหน่ายค่อนข้างสูง ผลสดจำหน่ายกิโลกรัมละ 200-300 บาท ส่วนผลอบแห้งนั้นจะราคาเพิ่มขึ้นกิโลกรัมละ 800-1,000 บาท นอกจากนี้ผลของมะเดื่อฝรั่งยังสามารถ นำมาแปรรูปได้ เช่น แยม พายพุดดิ้ง แยม ไอศกรีม เป็นต้น (นัย บำรุงเวช, 2560) มะเดื่อฝรั่งเป็นพืชที่มีปัญหาเกี่ยวกับโรคแมลงค่อนข้างน้อย โดยอาจพบโรค ใบจุดสีแดงเข้ม และราสีเทา นอกจากนี้ยังพบไส้เดือนฝอยเข้าทำลายราก ไรมะเดื่อดูดน้ำเลี้ยง

จากใบ ด่วงเจาะลำต้นเพื่อวางไขจนเป็นตัวหนอนกัดกินเนื้อเยื่อภายในลำต้น ผีเสื้อกลางคืน และแมลงวันผลไม้วางไข่และเป็นตัวหนอนทำลายผล (ลลิตพันธุ์ จันตะเคารักษ์, 2552)

การพัฒนาความหลากหลายและแปลกใหม่ของผลไม้ในอำเภอเขาค้อจึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจและให้ความสำคัญเป็นอย่างยิ่งว่าจะมีศักยภาพของพื้นที่เพียงพอสำหรับการผลิตผลไม้ชนิดใหม่อันได้แก่ มะเดื่อฝรั่ง เริ่มนำต้นเข้ามาปลูกครั้งแรกเมื่อ พ.ศ. 2524 ที่ดอยอ่างขาง โดยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และ มูลนิธิโครงการหลวง เพื่อทดแทนการปลูกฝิ่น

อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์มีสภาพพื้นที่เป็นภูเขาสูงคล้ายกันจึงน่าจะมีความเหมาะสมและมีศักยภาพเพียงพอสำหรับการปลูกและผลิตมะเดื่อฝรั่ง แต่ยังพบว่ายังขาดองค์ความรู้ในรอบด้านที่จะพัฒนาศักยภาพการผลิตมะเดื่อฝรั่ง บนพื้นที่อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ โดยการมีส่วนร่วมของเกษตรกรในท้องถิ่น ดังนั้นการวิจัยนี้จึงมุ่งพัฒนาศักยภาพการผลิตมะเดื่อฝรั่งแบบมีส่วนร่วมกับเกษตรกร บนพื้นที่อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ จึงมีความจำเป็นอย่างเร่งด่วน ที่จะต้องดำเนินการวิจัย เพื่อพัฒนาศักยภาพการผลิตมะเดื่อฝรั่งเพื่อตอบสนองต่อการผลิตไม้ผลชนิดใหม่ เพื่อเพิ่มทางเลือกและความต้องการของตลาดผู้บริโภคผลไม้ที่มีคุณค่าทางโภชนาการและมีคุณภาพสูง

วิธีดำเนินการวิจัย

การทดลองปลูกมะเดื่อฝรั่ง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) แบ่งออกเป็น 4 สิ่งทดลองประกอบไปด้วยมะเดื่อฝรั่งทั้งหมด 4 พันธุ์ ได้แก่ 1. พันธุ์ออสเตรเลีย 2. พันธุ์ Black Israel 3. พันธุ์ White Syria 4. พันธุ์ BTM 6 พันธุ์ละ 4 ต้น รวม 16 ต้น

วิธีการดำเนินงาน

เตรียมพื้นที่ปลูก ณ แปลงปลูกของเกษตรกรอำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ โดยเตรียมดินสำหรับปลูกโดยใช้วัสดุปลูก ดิน:กาบมะพร้าวสับ:มูลวัว อัตราส่วน 1:1:1 จากนั้นสุมต้นมะเดื่อฝรั่งปลูกลงในวงบ่อซีเมนต์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เมตร โดยวางวงบ่อห่างกัน 2 เมตร วงละ 1 ต้นจนครบทั้ง 16 ต้น และทำการบันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตหลังการย้ายปลูก 90-150 วัน

การบันทึกข้อมูล

บันทึกข้อมูลของมะเดื่อฝรั่งทุก 2 สัปดาห์

ความสูงของมะเดื่อฝรั่ง (เซนติเมตร) วัดจากโคนต้นจนถึงปลายยอดที่สูงที่สุด โดยสายวัด ความกว้างทรงพุ่มมะเดื่อฝรั่ง (เซนติเมตร) โดยวัดจากความกว้าง 2 ด้าน ตรงข้ามกัน โดยใช้สายวัด

จำนวนใบทั้งต้นมะเดื่อฝรั่ง โดยทำการนับใบสะสมทั้งต้น

ปริมาณคลอโรฟิลล์ของใบมะเดื่อฝรั่ง วัดจำนวน 4 ใบ ใบละ 1 ทิศ จำนวน 4 ทิศ โดยเครื่องวัดคลอโรฟิลล์ (Portable Chlorophyll Meter, spad 502) โดยทุกครั้งเลือกใบ เพสลาด (youngest leave fully) (สิวล แฉ่มจำรัส, 2554)

ประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสง (maximum quantum efficiency of PSII photochemistry, Fv/Fm) ด้วยเครื่อง Pulse Modulated chlorophyll fluorometer รุ่น OS5p+ โดยทำ dark-adapted เป็นระยะเวลา 30 นาที ก่อนการวัดค่า Fv/Fm (สุขมาภรณ์ แสงงาม และคณะ, 2561) และทำการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสง (Fv/Fm) จากการศึกษาพบว่ามะเดื่อฝรั่งอายุหลัง ย้ายปลูก 150 วัน มะเดื่อฝรั่งพันธุ์แบล็ค อิสราเอล และพันธุ์ออสเตรเลียมีประสิทธิภาพในการ สังเคราะห์แสง (Fv/Fm) มากกว่าพันธุ์ บีทีเอ็ม 6 โดยมีค่าเท่ากับ 0.711-0.713 และ 0.587 ตามลำดับ (Table 1) ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยสอดคล้องกับงานวิจัยของ Aroua et al. (2020) ที่ทำการศึกษากการปรับตัวต่อสภาพอากาศในแต่ละฤดูกาลของต้นมะเดื่อ ฝรั่งที่ปลูกในประเทศตูนิเซียซึ่งพบว่ามะเดื่อฝรั่งมีประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงที่ต่างกัน โดยพันธุ์ Zidi มีประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงที่ดีกว่าพันธุ์ Bither abiadh โดยมีประสิทธิภาพ การสังเคราะห์แสงสูงสุดเท่ากับ 0.741 และ 0.600 ตามลำดับ ซึ่งเป็นการวัดประสิทธิภาพในช่วง ฤดูใบไม้ผลิในช่วงฤดูร้อนที่มีอุณหภูมิสูงขึ้นทำให้ประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงลดลง

ส่วนปริมาณคลอโรฟิลล์นั้นพบว่ามะเดื่อฝรั่งหลังย้ายปลูก 90 วัน มีปริมาณคลอโรฟิลล์ ไม่แตกต่างกันทางสถิติแต่เมื่อสิ้นสุดการทดลองหลังจากย้ายปลูก 150 วัน มะเดื่อฝรั่งพันธุ์ ออสเตรเลียมีปริมาณคลอโรฟิลล์มากที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 53.23 spad unit ส่วนในพันธุ์อื่น มีปริมาณคลอโรฟิลล์อยู่ในช่วง 37.93-44.85 spad unit ซึ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติ อย่างมีนัยสำคัญ (Table 2)

พื้นที่ผิวทรงพุ่มของมะเดื่อฝรั่งอายุหลังย้ายปลูก 90-150 วัน มะเดื่อฝรั่งทุกสายพันธุ์มีพื้นที่ผิวทรงพุ่มที่แตกต่างกันในทุกครั้งที่ทำการบันทึกข้อมูล โดยเมื่อสิ้นสุดการทดลองหลังการย้ายปลูก 150 วัน มะเดื่อฝรั่งพันธุ์แบล็ค อิสราเอลมีพื้นที่ผิวทรงพุ่มมากกว่าพันธุ์ ออสตรเลีย และพันธุ์ บีทีเอ็ม 6 โดยมีพื้นที่ผิวทรงพุ่มเท่ากับ 8,245.15 4,009.81 และ 2,369.72 ตารางเซนติเมตร ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติยิ่ง และสอดคล้องกับการศึกษาของ Ferraz et al. (2020) ที่ศึกษาการเจริญเติบโตของมะเดื่อฝรั่งในบราซิลพบว่ามะเดื่อฝรั่งในแต่ละสายพันธุ์มีขนาดพื้นที่ทรงพุ่มแตกต่างกันถึงแม้จะปลูกในพื้นที่เดียวกัน (Table 3)

ความสูงของต้นมะเดื่อฝรั่งเริ่มมีความแตกต่างกันตั้งแต่หลังการย้ายปลูก 105-150 วัน โดยหลังการย้ายปลูก 150 วัน พันธุ์แบล็ค อิสราเอลมีความสูงของลำต้นมากกว่า พันธุ์ ออสตรเลียและพันธุ์บีทีเอ็ม 6 โดยมีความสูงลำต้นเท่ากับ 46.00 31.33 และ 21.33 เซนติเมตร ตามลำดับ (Table 4)

จำนวนใบของต้นมะเดื่อฝรั่งมีความแตกต่างกันทางสถิติหลังจากย้ายปลูก 105-150 วัน โดยหลังย้ายปลูก 150 วัน พันธุ์ไวท์ ซีเรีย มีจำนวนใบมากที่สุด โดยมีจำนวนใบเท่ากับ 91.33 ใบ ส่วนในสายพันธุ์อื่นๆ มีจำนวนใบอยู่ในช่วง 23.33-41.00 ใบ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 5)

Table 1 Photosynthesis efficiency (Fv/Fm) of four fig varieties after transplanting 90-150 days grown in Khao Kho District. Phetchabun Province.

Treatment	Photosynthesis efficiency (Fv/Fm) / planting (days)				
	90	105	120	135	150
Australia	0.759	0.664 ^a	0.684	0.711 ^a	0.711 ^a
Black Israel	0.660	0.637 ^{ab}	0.694	0.621 ^b	0.713 ^a
White Syria	0.701	0.702 ^a	0.725	0.649 ^{ab}	0.659 ^{ab}
BTM 6	0.742	0.550 ^b	0.697	0.597 ^b	0.587 ^b
CV%	10.53	7.71	6.12	4.27	6.33
F-test	ns	*	ns	**	*

ns means no significant difference.

* Means there was a significant difference. There was no significant difference between identical letters in the same column.

** Means there was a highly significant difference. There was no significant difference between identical letters in the same column.

Table 2 Chlorophyll content (spad unit) of four figs after transplanting 90-150 days grown in Khao Kho District Phetchabun Province.

Treatment	Chlorophyll conten (spad unit) / planting (days)				
	90	105	120	135	150
Australia	41.07	42.12 ^a	46.82 ^a	44.17	53.23 ^a
Black Israel	41.30	41.48 ^a	43.87 ^{ab}	51.60	37.93 ^b
White Syria	44.12	50.30 ^a	52.27 ^a	50.90	44.85 ^b
BTM 6	34.80	32.02 ^b	33.22 ^b	43.30	44.15 ^b
CV%	20.90	8.33	13.51	15.06	9.67
F-test	ns	**	*	ns	*

ns means no significant difference.

* Means there was a significant difference. There was no significant difference between identical letters in the same column.

** Means there was a highly significant difference. There was no significant difference between identical letters in the same column.

Table 3 Canopy surface area (Square centimeters) of four varieties of figs after transplanting 90-150 days grown in Khao Kho District. Phetchabun Province.

Treatment	Canopy surface area (Square centimeters)/planting (days)				
	90	105	120	135	150
Australia	2,028.30 ^b	3,105.62 ^c	3,862.13 ^b	4,256.34 ^{bc}	4,009.81 ^{bc}
Black Israel	3,369.56 ^a	6,963.41 ^a	7,153.48 ^a	8,012.04 ^a	8,245.15 ^a
White Syria	2,185.28 ^b	4,905.76 ^b	5,036.07 ^b	5,618.57 ^{ab}	5,983.99 ^{ab}
BTM 6	1,664.91 ^b	1,849.26 ^d	1,632.34 ^c	2,182.33 ^c	2,369.72 ^c
CV%	14.40	7.66	19.96	18.45	23.77
F-test	**	**	**	**	**

** Means there was a highly significant difference. There was no significant difference between identical letters in the same column.

Table 4 Plant height (centimeters) of four varieties of figs after transplanting 90-150 days grown in Khao Kho District Phetchabun Province.

Treatment	Plant height (centimeters)/planting (days)				
	90	105	120	135	150
Australia	23.50	25.00 ^b	29.33 ^{ab}	30.67 ^{ab}	31.33 ^{bc}
Black Israel	26.50	38.00 ^a	40.67 ^a	43.33 ^a	46.00 ^a
White Syria	23.00	28.33 ^{ab}	31.00 ^a	32.33 ^{ab}	36.67 ^{ab}
BTM 6	16.00	18.00 ^b	18.33 ^b	21.00 ^b	21.33 ^c
CV%	17.70	20.31	19.68	21.24	22.06
F-test	ns	*	*	*	*

ns means no significant difference.

* Means there was a significant difference. There was no significant difference between identical letters in the same column.

Table 5 Number of leaves of four varieties of figs after transplanting 90-150 days grown in Khao Kho District Phetchabun Province.

Treatment	Number of leaves (leaves)/planting (days)				
	90	105	120	135	150
Australia	20.00	31.67 ^{ab}	35.33 ^a	28.67 ^b	28.33 ^b
Black Israel	21.67	31.67 ^{ab}	35.00 ^a	38.33 ^b	41.00 ^b
White Syria	29.00	52.33 ^a	54.00 ^a	89.67 ^a	91.33 ^a
BTM 6	18.33	13.00 ^b	13.00 ^b	23.33 ^b	23.33 ^b
CV%	51.91	28.53	30.56	17.04	22.69
F-test	ns	**	*	**	**

ns means no significant difference.

* Means there was a significant difference. There was no significant difference between identical letters in the same column.

** Means there was a highly significant difference. There was no significant difference between identical letters in the same column.

สรุปผลการวิจัย

มะเดื่อฝรั่งพันธุ์ออสเตรเลียมีค่าประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงที่สูงซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณคลอโรฟิลล์ของใบและพื้นที่ผิวทรงพุ่มมะเดื่อฝรั่งที่มีปริมาณมากเช่นเดียวกัน แต่มีความสูงลำต้นที่น้อยกว่าพันธุ์แบล็ค อีสราเอล ส่วนพันธุ์ไวท์ ซีเรีย นั้นมีจำนวนใบมากที่สุด โดยเมื่อพิจารณาในภาพรวมแล้วพันธุ์แบล็ค อีสราเอล มีศักยภาพที่ดีที่สุดในการปลูกบนพื้นที่สูงของอำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ เมื่อเปรียบเทียบกับพันธุ์ที่ร่วมทดสอบ

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ที่ได้สนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัย งบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2562 มา ณ ที่นี้ด้วย

เอกสารอ้างอิง

- ณรงค์ชัย พิพัฒน์ธนวศ์. (2550). *การผลิตไม้ผลเมืองหนาวขนาดเล็กในเขตร้อน*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ทวีศักดิ์ ชัยเรืองยศ. (2551). การปลูกมะเดื่อฝรั่งเชิงพาณิชย์. *วารสารเส้นทางกิจกรรม*, 14(158), 1-66.
- นัย บำรุงเวช. (2560). *มะเดื่อฝรั่งคนปลูกน้อยแปรรูปอบแห้ง ขายผลสดได้กำไรละ 200 บาท* *รสชาติดี คุณค่าทางโภชนาการสูง*. สืบค้นเมื่อวันที่ 16 สิงหาคม 2562, จาก https://www.technologychaoban.com/agriculturaltechnology/article_10587.
- เพ็ญแข รุ่งเรือง, กาญจนา เหลืองสุวาลัย, สุนทรียา กาละวงศ์ และ ปณต ขวัญรัตน์. (2560). การชักนำการเกิดยอดและรากของมะเดื่อฝรั่งสายพันธุ์แบล็คแจ๊ค (*Ficus carica* L. “Black Jack”) ในสภาพปลอดเชื้อ. *วารสารก้าวหน้าทางโลกวิทยาศาสตร์*, 17(2), 42-53.
- ลลิตพันธุ์ จันตะกะรักษ์. (2552). *ต้นทุนและผลตอบแทนการปลูกมะเดื่อฝรั่ง ของมูลนิธิโครงการหลวง*. บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ศิวดล แจ่มจำรัส. (2554). *การชักนำการออกดอกของลำไยที่ได้จากการเพาะเมล็ดเพื่อร่นระยะของการปรับปรุงพันธุ์*. (วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยแม่โจ้)

- สุขุมารณ์ แสงงาม, ธนบูรณ์ พลากุลมณฑล, คณิน คงเอียง และ อภิชาติ สุขสำราญ. (2561). การเพิ่มประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงของมะเขือเทศเชอร์รี่พันธุ์ CH154 ภายใต้สภาวะเครียดจากความแล้งด้วยสารบราสซิโนสเตียรอยด์มีมิก. *แก่นเกษตร*, 46(ฉบับพิเศษ1), 328-332.
- สุรินทร์ นิลสำราญจิต. (2529). *การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา กายวิภาควิทยา และการเจริญเติบโตของมะเดื่อฝรั่ง 2 สายพันธุ์ ซึ่งปลูกบนพื้นที่ของประเทศไทย*. (วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์).
- สุรินทร์ นิลสำราญจิต, จารุพันธ์ ทองแถม, และ วิณ ปุณศรี. (2553). *การเจริญเติบโตของมะเดื่อฝรั่งซึ่งปลูกบนที่สูงของประเทศไทย*. งานเกษตรที่สูง, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Aroua, A., Aissa, I. E., Mars, M., & Gouiaa, M. (2020). Seasonal variation of fig tree (*Ficus carica* L.) physiological characteristics reveals its adaptation performance. *Suoth African Journal of Botany*, 132, 30-37.
- Ferraz, R. A., Leonel, S., Souza, J. M. A, Ferreira, R. B., Modesto, J. H., & Arruda, L. L. (2020). Phenology, vegetative growth, and yield performance of fig in Southeastern Brazil. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 55.
- Manago, N. (2006). In *the Japanese Society for Horticultural Science* (eds.). Horticulture in Japan Shoukadoh Publishing of Nakanishi Printing Co., Ltd. Fig:06-110.
- Montserrat, P. (2012). *Fig trees of the Balearic islands*. Son Mut Nou experimen tation field, Lluçmajo. Mallorca.
- Punsri, P., & Thongtham, M. L. C. (1983). *Research on the common fig (Ficus carica L.). Exotic Fruit Production as a sudstitute for Opium Poppy in the Higlands of Thailand*. (Semi-Annual Report for Aug. 1982-Jan. 1983), 1, 37-40.

คำแนะนำสำหรับผู้เขียน

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

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

หลักเกณฑ์การเสนอบทความ

1. องค์ประกอบของบทความ

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

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

2. การเตรียมต้นฉบับ มีรายละเอียดดังนี้

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

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

2.1.2 การเว้นระยะขอบกระดาษ กำหนดดังนี้

ระยะขอบบน 3 เซนติเมตร ระยะขอบล่าง 2 เซนติเมตร

ระยะภายใน 3 เซนติเมตร ระยะภายนอก 2 เซนติเมตร

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

2.3 ชื่อผู้เขียนและผู้เขียนร่วม ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ขนาด 14 พอยต์ ชนิดตัวธรรมดา ตำแหน่งกึ่งกลางหน้ากระดาษได้ชื่อเรื่อง

2.4 หน่วยงานหรือสังกัด ของผู้เขียนและผู้เขียนร่วม ใช้เชิงอรรถในบรรทัดต่อมา ขนาด 12 พอยต์ ชนิดตัวธรรมดา ตำแหน่งกึ่งกลางหน้ากระดาษ

2.5 ชื่อผู้ประสานงาน ใช้เชิงอรรถส่วนท้ายของหน้ากระดาษ ขนาด 12 พอยต์ ชนิดตัวธรรมดา ตำแหน่งชิดขอบกระดาษด้านซ้าย โดยระบุชื่อและอีเมลของผู้ประสานงาน

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

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

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

2.9 เนื้อหา ขนาด 15 พอยต์ ชนิดตัวธรรมดา จัดกั้นหน้ากั้นหลัง ตลอดทั้งบทความ

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

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

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

2.13 ตัวเลข ใช้เลขอารบิก ตลอดทั้งบทความ

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

3. การอ้างอิง (แบบ APA 6th edition)

3.1 การอ้างอิงในเนื้อหา

(ชื่อผู้แต่ง,/ปีพิมพ์)

ตัวอย่าง

(บริบูรณ์ สมฤทธิ์, 2550)

(สุกัญญา จัดตุพรพงษ์ และ วราพันธ์ จินตณวิชัย, 2547)

(Claassen et al., 2004)

3.2 การอ้างอิงส่วนท้ายเล่ม

3.2.1 อ้างอิงจากวารสาร

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

ตัวอย่าง

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

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

3.2.2 อ้างอิงจากหนังสือ

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

ตัวอย่าง

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

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

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

3.2.3 อ้างอิงจากสารสนเทศอิเล็กทรอนิกส์

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

ตัวอย่าง

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

3.2.4 อ้างอิงจากวิทยานิพนธ์

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

ตัวอย่าง

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

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

3.2.5 อ้างอิงจากบทความในหนังสือ

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

ตัวอย่าง

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

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

1) ขนาดกระดาษ: B5 (ISO) 17.6 x 25 ซม.

2) ระยะขอบ:

บน 3 ซม. ล่าง 2 ซม.

ภายใน 3 ซม. ภายนอก 2 ซม.

ชื่อเรื่อง

{TH Sarabun 16 pt, ตัวหนา, จัดกึ่งกลาง}

TITLE

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

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

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

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

{TH Sarabun 12 pt, ตัวธรรมดา, จัดกึ่งกลาง}

บทคัดย่อ {TH Sarabun 15 pt, ตัวหนา, จัดชิดซ้าย}

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

.....
.....

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

Abstract {TH Sarabun 15 pt, ตัวหนา, จัดชิดซ้าย}

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

.....
.....

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

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

อีเมล:@...com

บทนำ {TH Sarabun 15 pt, ตัวหนา, จัดชิดซ้าย}

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

.....

.....

วิธีดำเนินการวิจัย {TH Sarabun 15 pt, ตัวหนา, จัดชิดซ้าย}

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

.....

.....

ตารางที่ 1 ชื่อตาราง.....

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

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



รูปที่ 1

ที่มา: ชื่อ สกุล (ปีที่อ้างอิง: เลขหน้า)

{TH Sarabun 15 pt, จัดกึ่งกลาง}

ผลการวิจัยและอภิปรายผล {TH Sarabun 15 pt, ตัวหนา, จัดชิดซ้าย}

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

.....

.....

สรุปผลการวิจัย {TH Sarabun 15 pt, ตัวหนา, จัดชิดซ้าย}

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

.....

.....

กิตติกรรมประกาศ {TH Sarabun 15 pt, ตัวหนา, จัดชิดซ้าย}

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

.....

.....

เอกสารอ้างอิง {TH Sarabun 15 pt, ตัวหนา, จัดชิดซ้าย}

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

.....

รายการอ้างอิง 2.....

.....

Udon Thani Rajabhat University
Journal of Science and Technology

Vol.9 Issue.2 (2021)

ISSN 2287-0083

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

64 ถ.ทหาร ตำบลหมากแข้ง อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี 41000

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

เว็บไซต์: <http://rdi.udru.ac.th>

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

อีเมล: udrujournal@udru.ac.th

