

ส่งเสริม เผยแพร่ และแลกเปลี่ยนความรู้ด้านการวิจัย
ระหว่าง คณาจารย์ นิสิต นักศึกษา นักวิชาการ และผู้สนใจทั่วไป



สถาบันวิจัยและพัฒนา



มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
1 หมู่ 20 กม.48 ถนนพหลโยธิน ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 13180
โทรศัพท์ : 0-2909-3036 โทรสาร : 0-2909-3036
<http://rd.vru.ac.th>



วารสารวิจัยและพัฒนา
วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

VRU Research and Development Journal // ISSN 2351-0366

Science and Technology

ปีที่ 15 ฉบับที่ 2 (เดือนพฤษภาคม - เดือนสิงหาคม 2563)

Volume 15 Number 2 (May - August 2020)



ISSN 2351-0366 ปีที่ 15 ฉบับที่ 2 เดือนพฤษภาคม - เดือนสิงหาคม 2562

วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเป็นสื่อกลางในการเผยแพร่ผลงานบทความวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้แก่อาหาร วิทยาศาสตร์การแพทย์ และสุขภาพ วิทยาศาสตร์ธรรมชาติ เกษตรศาสตร์ วิทยาศาสตร์ประยุกต์ วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมและเทคโนโลยีสารสนเทศ สุนักวิจัย นักวิชาการ และผู้สนใจทั่วไป
2. เพื่อเผยแพร่ผลงานบทความวิจัย เพื่อการพัฒนาพื้นที่ในระดับจังหวัด กลุ่มจังหวัด ตำบล หมู่บ้านหรือชุมชน แก่นักวิจัย นักวิชาการและบุคคลทั่วไปได้เสนองานผลงานวิจัยสู่สาธารณะ
3. เพื่อส่งเสริมความร่วมมือในการแลกเปลี่ยนความคิดเห็น ความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้แก่ อาหาร วิทยาศาสตร์การแพทย์ และสุขภาพ วิทยาศาสตร์ธรรมชาติ เกษตรศาสตร์ วิทยาศาสตร์ประยุกต์ วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมและเทคโนโลยีสารสนเทศ รวมไปถึงประสบการณ์ในการวิจัยระหว่างสถาบัน

เจ้าของ

สถาบันวิจัยและพัฒนา
มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์
ในพระบรมราชูปถัมภ์

กำหนดออกเผยแพร่

ปีละ 3 ฉบับ

ฉบับที่ 1 (มกราคม – เมษายน)

ฉบับที่ 2 (พฤษภาคม – สิงหาคม)

ฉบับที่ 3 (กันยายน – ธันวาคม)

คณะที่ปรึกษา

ผศ.ดร.สุพจน์ ทรายแก้ว

บรรณาธิการ

อาจารย์กุลชาติ พันธวรกุล

ผู้จัดทำวารสารและเผยแพร่

ผศ.ดร.เมษา นวลศรี

น.ส.ปรียา ยอดจันทน์

น.ส.เกสอน ชื่นหญ้าปลอก

ผศ.จิรารัตน์ ประยูรวงษ์

น.ส.อัมราภรณ์ เอี่ยมสถาน

นางปิยนันท์ ลีละชาติ

กองบรรณาธิการ

- | | |
|---------------------------------|--|
| 1. ศ.ดร.สมจิตต์ สุพรรณทัศน์ | มหาวิทยาลัยมหิดล |
| 2. รศ.ดร.ธีระชัย ธนานันต์ | มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ |
| 3. รศ.ดร.วุฒิชัย นาครักษา | สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า
คุณทหารลาดกระบัง |
| 4. รศ.ดร.สุทธิพันธุ์ แก้วสมพงษ์ | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| 5. รศ.ดร.ปรัชญนันท์ นิลสุข | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
พระนครเหนือ |
| 6. รศ.ดร.ชูสิทธิ์ ประดับเพ็ชร | มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ศรีอยุธยา |
| 7. รศ.ดร.ดวงใจ บุญกุล | มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี |
| 8. ผศ.ดร.ศุภกิตต์ สายสุนทร | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| 9. ผศ.ดร.เจษฎา มิ่งฉาย | มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ |

ติดต่อสอบถามรายละเอียดได้ที่

กองบรรณาธิการวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
เลขที่ 1 หมู่ 20 ถนนพหลโยธิน กม.48 ปณจ.ประตูน้ำพระอินทร์
ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี รหัสไปรษณีย์ 13180
โทรศัพท์/โทรสาร 0 2909 3036

E-mail: rdi_journalsci@vru.ac.th

Website: <http://rd.vru.ac.th>

โรงพิมพ์

ศูนย์เรียนรู้การผลิตและจัดการธุรกิจสิ่งพิมพ์ดิจิทัล
มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
เลขที่ 1 หมู่ 20 ถนนพหลโยธิน กม.48 ปณจ.ประตูน้ำพระอินทร์
ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี รหัสไปรษณีย์ 13180
โทรศัพท์ 0 2529 0674 7, 0 2909 1633

Website: www.vru.ac.th

จำนวน 40 เล่ม

ข้อความและบทความในวารสารนี้
เป็นความคิดเห็นของผู้นิพนธ์โดยเฉพาะ
กองบรรณาธิการไม่มีส่วนรับผิดชอบในเนื้อหา
และข้อคิดเห็นอื่นๆ แต่อย่างใด

วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

VRU Research and Development Journal

Science and Technology

บทบรรณาธิการ

วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จัดทำขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นสื่อกลางในการเผยแพร่ผลงานบทความวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สู่นักวิจัย และผู้สนใจทั่วไป และเพื่อส่งเสริมความร่วมมือในการแลกเปลี่ยนความคิดเห็น ความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และประสบการณ์ในการวิจัยระหว่างสถาบัน ซึ่งได้รับการประเมินคุณภาพวารสารวิชาการจากศูนย์อ้างอิงดัชนีวารสารไทย (TCI) โดยถูกจัดให้เป็น วารสารกลุ่มที่ 2 สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มีกำหนดออกเผยแพร่ ปีละ 3 ฉบับ คือ ฉบับที่ 1 (เดือนมกราคม – เดือนเมษายน) ฉบับที่ 2 (เดือนพฤษภาคม – เดือนสิงหาคม) ฉบับที่ 3 (เดือนกันยายน – เดือนธันวาคม) สำหรับนักวิจัยที่มีความประสงค์จะส่งต้นฉบับเพื่อลงตีพิมพ์ในวารสารวิจัยและพัฒนาฯ สามารถส่งบทความวิจัยดังกล่าวมายังกองบรรณาธิการได้โดยตรง ทั้งนี้บทความวิจัยที่เสนอขอตีพิมพ์จะต้องไม่เคยหรือได้อยู่ในระหว่างขอเสนอลงตีพิมพ์ในวารสารฉบับอื่นมาก่อน ซึ่งบทความวิจัยดังกล่าวจะต้องได้รับการอ่านและประเมินคุณภาพพร้อมได้รับความเห็นชอบให้ตีพิมพ์เผยแพร่จากผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer Review) ในสาขาวิชานั้น ๆ ของวารสารวิจัยและพัฒนาฯ อย่างน้อย 2 ท่านก่อนลงตีพิมพ์ บทความวิจัยที่ได้รับการพิจารณาตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารวิจัยและพัฒนาฯ ถือเป็นกรรมสิทธิ์ของสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ห้ามนำข้อความทั้งหมดหรือบางส่วนไปพิมพ์ซ้ำ เว้นแต่จะได้รับอนุญาตจากมหาวิทยาลัยเป็นลายลักษณ์อักษรหรือมีการอ้างอิงอย่างถูกต้องชัดเจน โดยเนื้อหาต้นฉบับที่ปรากฏในวารสารวิจัยและพัฒนาฯ เป็นความรับผิดชอบของผู้นิพนธ์บทความวิจัยเอง ทั้งนี้ไม่รวมความผิดพลาดอันเกิดจากเทคนิคการพิมพ์

ปัจจุบันวารสารวิจัยและพัฒนาฯ ปีที่ 15 ฉบับที่ 2 (เดือนพฤษภาคม – เดือนสิงหาคม 2563) ฉบับนี้ ได้รวบรวมบทความวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จำนวน 10 เรื่อง เผยแพร่ผ่าน 3 ช่องทางได้แก่ การจัดพิมพ์เป็นรูปเล่มวารสาร การเผยแพร่ออนไลน์ผ่านทางเว็บไซต์ <http://rd.vru.ac.th> และเว็บไซต์ <https://so06.tci-thaijo.org/index.php/vrurdistjournal/>

สุดท้ายนี้ ทางกองบรรณาธิการ ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ให้การสนับสนุนและส่งผลงานบทความวิจัยเข้าร่วมลงตีพิมพ์ในวารสารวิจัยและพัฒนาฯ อย่างดีตลอดมา

บรรณาธิการ

รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิ
ประจำวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 15 ฉบับที่ 2

รองศาสตราจารย์ ดร.นฤมล	ธนานันต์
รองศาสตราจารย์ ดร.ปรัชญนันท์	นิลสุข
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤษฎางค์	ศุภระมูล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คมกฤษณ์	แสงเงิน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงศ์	จันจุฬา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิ่นนรภัส	ถกลภักดี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปัญญนุช	นิลแสง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรรณวิภา	แพงศรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนัญญา	คำวชิระพิทักษ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยอดธง	รอดแก้ว
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เลิศชาย	สถิตย์พานวงศ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรรณธิชา	เศวตบวร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วุฒิพงษ์	ชินศรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุจิตกัลยา	มฤครัฐอินแปลง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุดาทิพย์	จันทร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรัชย์	บุญเจริญ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ทรงพลธนฤทธิ์	มฤครัฐอินแปลง
ดร.จุฑามาศ	มณีวงศ์
ดร.ณัฐพงษ์	จันจุฬา
ดร.พันธ์ทิพย์	โอฬารรัตน์มณี
ดร.พิษณุ	แก้วตะพาน
ดร.สินีนาถ	สุขทนารักษ์

สารบัญ

	หน้า
การพัฒนากระบวนการผลิตและยืดอายุการเก็บรักษาข้าวหลามใน อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม	1
ศรัณยา จังโส	
ประสิทธิภาพของกระบวนการตรึง CO ₂ ในใบมันสำปะหลังและผักโขม	17
พรชัย ไพบูลย์ สุนทรี ยิ่งชัชวาลย์	
ลักษณะกายวิภาคศาสตร์แผ่นใบและก้านใบของพืชสกุลบานไม่รู้โรย (<i>Gomphrena</i> L.) ในประเทศไทย	29
อาตีกะห์ จะปะกียา อนิษฐาน ศรีนวล วิโรจน์ เกษรบัว	
ผลของการทดแทนเกลือโซเดียมคลอไรด์ด้วยเกลือโพแทสเซียมคลอไรด์ต่อคุณภาพของข้าวเกรียบหอยนางรม	45
กุลพร พุทธรมี วริศชนม์ นิลนนท์	
ผลของน้ำหมักชีวภาพต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่วเหลืองฝักสด (<i>Glycine max</i> (L.) Merill)	59
ภารดี แซ่อึ้ง อรุณี อุทัยพิบูลย์ สิริวรรณ สมิตธิอาภรณ์	
ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณฟีนอลโดยรวมของสารสกัดหยาบลูกยอ	67
ณพัชร บัวฉุน	
สมบัติทางกายภาพและอัตราการดูดซับความชื้นของถ่านผลไม้	77
กฤษฎา บุญชม จุฑามาศ เตียวสกุล กมลวรรณ ทิพวรรณ	
การใช้การตุ๋นแอนิเมชัน 3 มิติเพื่อการประชาสัมพันธ์ กรณีศึกษา เรื่อง พาทัวร์แนวการศึกษาต่อสาขาวิชาธุรกิจดิจิทัล หลักสูตรบริหารธุรกิจ	91
ณัตตยา เอี่ยมคง อิศักดิ์ จำนงค์ศาสตร์	
การหาประสิทธิภาพของเครื่องสีข้าวขนาดเล็กสำหรับการสีข้าวพันธุ์การค้าจังหวัดชัยนาท	105
ภัทรารุจ บุญประคอง คณินนิต ปทุมมาเกษตร เอนก เทียนบูชา	
ฤทธิ์การยับยั้งเชื้อราของไคโตโอลิโกแซคคาไรด์จากต้นอ่อนก้ามปู กระถินบ้าน ข้าว กข. 6 และข้าวฟ่าง เคว 630 ที่ผลิตด้วยเอนไซม์ไคติเนส	119
มานะ ขาวเมฆ	

การพัฒนากระบวนการผลิตและยืดอายุการเก็บรักษาข้าวหลามใน อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม

ศรinya จังโส^{1*}

Received : April 14, 2020

Revised : April 24, 2020

Accepted : June 5, 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยเรื่องการพัฒนากระบวนการผลิตและยืดอายุการเก็บรักษาข้าวหลามใน อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนากระบวนการผลิตข้าวหลามนครปฐมให้ได้คุณภาพตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.746/2548) เรื่องข้าวหลาม และยืดอายุการเก็บรักษาโดยใช้สารลดค่าออกซิเดชันแอกทิวิตี วิธีการบรรจุและอุณหภูมิในการเก็บรักษาที่เหมาะสม ผลการทดลองพบว่ากระบวนการผลิตที่ดีที่สุดคือการควบคุมสุลักษณะที่ดีในการผลิตด้านต่าง ๆ เช่นให้ผู้ผลิตสวมหมวก ผ้ากันเปื้อน ผ้าปิดปากและถุงมือ ปฏิบัติงานโดยใช้โต๊ะที่สะอาดและสูงจากพื้นไม่ต่ำกว่า 60 เซนติเมตร และเพิ่มขั้นตอนการต้มฆ่าเชื้อส่วนผสมน้ำกะทิที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที และทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็วก่อนเทลงในกระบอกไม้ไผ่ที่สะอาดและปิดด้วยจุกใบตองแห้งที่สะอาด การศึกษาด้านการยืดอายุการเก็บรักษาด้วยสารลดค่าออกซิเดชันแอกทิวิตี จัดสิ่งทดลองด้วยวิธี 2x3 แฟคทอเรียลในแผนการทดลองแบบสุ่มโดยตลอด โดยศึกษา 2 ปัจจัยร่วมกัน คือ กลีเซอรอลที่ใช้แทนที่น้ำตาล 2 ระดับ (ร้อยละ 10 และ 15) และซอร์บิทอลที่ใช้แทนที่น้ำตาล 3 ระดับ (ร้อยละ 20, 30 และ 40) พบว่าการใช้กลีเซอรอลร้อยละ 15 ร่วมกับซอร์บิทอลร้อยละ 20 แทนที่น้ำตาลในส่วนผสมเป็นวิธีการที่เหมาะสมที่สุดในการยืดอายุการเก็บรักษาข้าวหลาม ทั้งด้านต้นทุนในการผลิต คุณภาพทางจุลินทรีย์และคุณภาพทางประสาทสัมผัส นอกจากนี้จากการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างการบรรจุแบบดั้งเดิมและการบรรจุสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิแช่เย็น พบว่าข้าวหลามที่บรรจุแบบดั้งเดิมร่วมกับการเก็บรักษาในอุณหภูมิแช่เย็นเป็นวิธีการที่เหมาะสมที่สุดต่อการยืดอายุการเก็บรักษา สภาวะดังกล่าวจะสามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาได้จากปกติเก็บได้ไม่เกิน 1 วัน เป็นเก็บได้นาน 6 วัน โดยมีคุณภาพทางจุลินทรีย์เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน คุณภาพทางประสาทสัมผัสเป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบชิม และมีต้นทุนในการผลิตต่ำที่สุด

คำสำคัญ: ข้าวหลาม จังหวัดนครปฐม สารลดค่าออกซิเดชันแอกทิวิตี อายุการเก็บรักษา

¹อาจารย์ สาขาวิชาการจัดการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

*ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล: key_p1@hotmail.com

DEVELOPMENT OF PRODUCTION PROCESS AND SHELF-LIFE EXTENSION
OF COOKED STICKY RICE IN BAMBOO SHOOT CUT (KAO LAM)
IN AMPHUR MUANG, NAKHON PATHOM PROVINCE

Saranya Changso^{1*}

Abstract

The objectives of development of production process and shelf-life extension of cooked sticky rice in bamboo shoot cut (Kao Lam) in Amphur Muang, Nakhon Pathom province were to develop the production process to reach Thai Community Product Standard of cooked sticky rice in bamboo shoot cut (Kao Lam) (TCPS 746/2548) and shelf-life extension by using the proper humectants, packaging and storage temperature. The results showed that the proper production process was hygienic production control such as wear the cap or hair net, apron, mask and glove, preparation or cooking in a clean place at least 60 centimeters above the ground, sterilized coconut milk mixer by heating at 100 degrees celsius for 5 minutes and then rapidly cool down before pouring in cleaned bamboo shoot cut and covering with cleaned and dried banana leave. Studies on shelf-life extension using humectants were elucidated by 2x3 factorial in completely randomized design. The studied factors were employed with two factors: sucrose substituted by glycerol at 2 levels (10 and 15%) and sucrose substituted by sorbitol at 3 levels (20, 30 and 40%). It was found that sucrose substituted by 15% glycerol and 20% sorbitol was the proper humectant for shelf-life extension in the sense of production cost, microbial and sensory quality. In addition, comparative studies on packaging, traditional without vacuum and vacuum packaging, and storage temperature, room temperature and chilled, were investigated. The best method for shelf-life extension of cooked sticky rice in bamboo shoot cut was traditional packaging preserve by chilled. This condition contributing to prolong shelf-life from not over 1 day to be 6 days. The microbial quality had met Thai Community Product Standard with acceptance from panelists and the lowest production cost.

Keywords: Cooked sticky rice in bamboo shoot cut, Nakhon Pathom province, Humectants, shelf-life

¹Lecturer of Department of Food Management, Faculty of Science and Technology, Nakhon Pathom Rajabhat University

*Corresponding author e-mail: key_p1@hotmail.com

บทนำ

ข้าวหลามจัดเป็นสินค้าที่มีชื่อเสียงของจังหวัดนครปฐม ดังปรากฏในคำขวัญประจำจังหวัดที่กล่าวว่า “ส้มโอหวาน ข้าวสารขาว ลูกสาวงาม ข้าวหลามหวานมัน สนามจันทร์งามล้น พุทธมณฑลคู่ธานี พระปฐมเจดีย์ เสียดฟ้า สวยงามตาแม่น้ำท่าจีน” ข้าวหลามจังหวัดนครปฐมมีต้นกำเนิดแห่งแรกที่บริเวณชุมชนพระงาม (วิลลสิริรุจิราสพรพงศ์, 2550) นิยมซื้อเป็นของฝากได้ทุกเทศกาล สามารถสร้างรายได้ให้กับกลุ่มผู้ประกอบการข้าวหลามจังหวัดนครปฐมเป็นจำนวนมาก

จากการสัมภาษณ์ผู้ประกอบการข้าวหลามแห่งหนึ่งใน อ.เมือง จ.นครปฐม ทำให้ทราบว่า การผลิตข้าวหลามนครปฐมในปัจจุบันประสบปัญหาด้านการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ โดยทั่วไปสามารถเก็บได้ 1-2 วัน ที่อุณหภูมิห้อง จึงจำหน่ายได้เฉพาะภายในจังหวัดนครปฐมและพื้นที่ใกล้เคียงเท่านั้น นอกจากนี้กระบวนการผลิตที่ดำเนินการอยู่ในปัจจุบันยังไม่ได้รับการรับรองมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช. 746/2548 เรื่อง ข้าวหลาม) (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2548) ในขณะที่ผลิตภัณฑ์เป็นที่ต้องการจากนักท่องเที่ยวเป็นอย่างมาก ดังนั้นหากสามารถพัฒนากระบวนการผลิตให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนและยืดอายุการเก็บรักษาข้าวหลามได้จะส่งผลต่อการจัดจำหน่ายและเก็บรักษาสินค้า สร้างความเชื่อมั่นในคุณภาพของสินค้าแก่ผู้บริโภค และทำให้มูลค่าทางการตลาดของข้าวหลามนครปฐมขยายตัวได้เพิ่มขึ้น สอดคล้องวรารัตน์ สานนท์ และคณะ (2561) ที่ให้ข้อคิดเห็นเกี่ยวกับแนวทางการพัฒนาข้าวหลามนครปฐมว่ามีแนวโน้มไปในทางการพัฒนากระบวนการผลิตและยืดอายุการเก็บรักษาข้าวหลาม โดยการปรับปรุงกระบวนการผลิต วิธีการบรรจุ ภาชนะบรรจุ หรือปรับเปลี่ยนสภาวะการเก็บรักษา เช่นเดียวกับพัชรา ถาวระ (2561) ที่ให้ข้อเสนอแนะว่า ควรมีการวิจัยรูปแบบภาชนะบรรจุข้าวหลามที่สามารถยืดอายุอาหารให้ยาวนานขึ้น เพื่อจะได้ส่งขายออกนอกจังหวัดได้สะดวกขึ้น

การเสื่อมเสียของข้าวหลามเกิดขึ้นเนื่องจากส่วนผสมหลักของข้าวหลามประกอบด้วยแป้ง น้ำตาล และกะทิ รวมทั้งการบรรจุแบบสดในกระบอกไม้ไผ่ที่อุณหภูมิห้อง จึงทำให้เสื่อมเสียจากจุลินทรีย์ได้ง่าย จากการเก็บข้อมูลเบื้องต้นพบว่าข้าวหลามมีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีสูง การลดค่าดังกล่าวจะช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสียในผลิตภัณฑ์ ส่งผลให้อาหารมีอายุการเก็บรักษานานขึ้นได้ (ศิริทิพย์ แสงสว่าง, 2547) โดยการใช้สารลดค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (Humectants) เช่น เกลือ น้ำตาล กลีเซอรอล เติมน้ำตาลในผลิตภัณฑ์อาหาร มีผลให้อัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ปฏิกริยาการทำงานของเอนไซม์ และปฏิกริยาทางเคมีอื่น ๆ ลดลง ทั้งนี้การเลือกใช้สารลดค่าวอเตอร์แอกทิวิตี ควรคำนึงถึงข้อจำกัดต่าง ๆ ได้แก่ กลิ่นรสของสารลดค่าวอเตอร์แอกทิวิตีที่ใช้ ความเป็นพิษ และต้องไม่ส่งผลเสียต่อคุณภาพทางด้านต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ เช่น คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี ตลอดจนการยอมรับของผู้บริโภค (Labuza and Hyman, 1998)

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนากระบวนการผลิตข้าวหลามนครปฐมให้ได้ข้าวหลามที่มีคุณภาพตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช. 746/2548) เรื่อง ข้าวหลาม
2. เพื่อทดสอบหาชนิดและปริมาณของสารลดค่าวอเตอร์แอกทิวิตีที่เหมาะสมในการยืดอายุการเก็บรักษาข้าวหลาม
3. เพื่อหาวิธีการบรรจุและสภาวะการเก็บรักษาที่เหมาะสมในการยืดอายุการเก็บรักษาข้าวหลาม

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมตัวอย่าง

วิธีการทำข้าวหาลามข้าวเหนียวขาวในงานวิจัยนี้ดัดแปลงมาจากวิธีการผลิตของผู้ประกอบการข้าวหาลามพระงามใน อ.เมือง จ.นครปฐม โดยนำข้าวเหนียวแช่แฉ่งและลวกด้วยน้ำร้อนให้สุก ใช้น้ำนาน 4 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดเวลานำข้าวเหนียวมากรองน้ำออก ส่วนลวกนำไปต้มให้สุก ใช้กระบอกไม้ไผ่ขนาดกลาง เส้นผ่านศูนย์กลางภายในกระบอก 4.0-4.5 เซนติเมตร ความยาวกระบอก 31-35 เซนติเมตร มีข้อต่อตรงกึ่งกลาง

ส่วนผสมข้าวหาลามแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ 1) ส่วนผสมของแห้ง ประกอบด้วยข้าวเหนียวร้อยละ 86.96 และลวกดำร้อยละ 13.04 2) ส่วนผสมของเหลว ประกอบด้วยหัวกะทิคั้นสดร้อยละ 24.63 หางกะทิคั้นสดร้อยละ 24.63 น้ำตาลปี๊บร้อยละ 49.26 และเกลือร้อยละ 1.48 ผสมให้เข้ากันแล้วพักไว้ ทำความสะอาดกระบอกไม้ไผ่และจุกใบตองแห้งตามวิธีของวีรุฒิ พามิ และผจงรักษ์ พันมี (2561) โดยนำกระบอกไม้ไผ่ไปปิดฝุนภายในกระบอก จากนั้นสเปรย์เอทานอลร้อยละ 70 บริเวณภายในกระบอกรวมทั้งจุกใบตองแห้งให้ทั่ว กรอกส่วนผสมโดยใช้ส่วนผสมของแห้ง 110 กรัม และส่วนผสมของเหลว 75 กรัม กรอกในกระบอกไม้ไผ่ที่สะอาด ปิดด้วยจุกใบตองแห้งที่สะอาดแล้วนำไปเผาจนสุกด้วยเตาเผาที่ใช้ถ่านและเศษไม้เป็นวัสดุเชื้อเพลิง ระหว่างการเผาให้พลิกกลับข้าวหาลามทุก ๆ 10 - 15 นาที เพื่อให้ข้าวหาลามสุกทั่วถึงและไม่ให้ข้าวหาลามไหม้บริเวณใดบริเวณหนึ่ง ใช้เวลาในการเผาประมาณ 1 ชั่วโมง 30 นาที

2. การพัฒนากระบวนการผลิตข้าวหาลามให้ได้คุณภาพตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน เรื่อง ข้าวหาลาม

ปรับปรุงกระบวนการผลิตข้าวหาลามตามวิธีการดังนี้ วิธีที่ 1 ปรับปรุงกระบวนการผลิตจากวิธีดั้งเดิมโดยควบคุมสุลักษณะของผู้ผลิต เช่น ใส่หมวก ผ่ากันเปื้อน ผ่าปิดปาก สวมถุงมือ และปฏิบัติโดยใช้โต๊ะที่สูงจากพื้นไม่ต่ำกว่า 60 เซนติเมตร เช็ดทำความสะอาดและฆ่าเชื้อบนโต๊ะรวมถึงอุปกรณ์ต่าง ๆ ด้วยเอทานอลร้อยละ 70 ก่อนปฏิบัติงาน เพิ่มขั้นตอนการต้มฆ่าเชื้อส่วนผสมของเหลวด้วยอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที แล้วลดอุณหภูมิลงอย่างรวดเร็ว ก่อนเทลงกระบอกไม้ไผ่ที่สะอาดและปิดด้วยจุกใบตองแห้งที่สะอาด วิธีที่ 2 ปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยควบคุมสุลักษณะในการผลิตเช่นเดียวกับวิธีที่ 1 และปรับวิธีการเตรียมส่วนผสมโดยนำข้าวเหนียวที่แช่แฉ่งแล้วไปนึ่ง จากนั้นต้มฆ่าเชื้อส่วนผสมของเหลวด้วยอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที แล้วนำไปนึ่งกับข้าวเหนียว ผสมลวกดำ กรอกลงกระบอกไม้ไผ่ที่สะอาดและปิดด้วยจุกใบตองแห้งที่สะอาด

นำตัวอย่างไปวิเคราะห์ค่าต่าง ๆ เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมดังนี้

2.1 ค่าความชื้น (AOAC, 2000)

2.2 วอเตอร์แอกทิวิตี ด้วยเครื่องวัดค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (Aqua Lab รุ่น series 3)

2.3 จุลินทรีย์ทั้งหมด, สตาฟีโลคอคคัส ออเรียส, เอสเชอริเชีย โคไล, ยีสต์และรา (AOAC, 2000)

2.4 ทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยแบบทดสอบ 9-Points hedonic scale (1 ไม่ชอบมากที่สุด 5 ตอบไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ 9 ชอบมากที่สุด) ด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ใช้ผู้ทดสอบชิมกึ่งฝึกฝนจำนวน 30 คน

3. การศึกษาชนิดและปริมาณของสารลดค่าวอเตอร์แอกทิวิตีที่เหมาะสมในน้ำกะทิต่อการยืดอายุการเก็บรักษาข้าวหาลาม

เลือกกระบวนการผลิตที่ดีที่สุดจากข้อ 2 มาทำการทดลองต่อ จัดสิ่งทดลองด้วยวิธีแฟคทอเรียล ปัจจัยที่ศึกษามี 2 ปัจจัย คือ ปริมาณกลีเซอรอล (Glycerol; GR) ที่ใช้แทนที่น้ำตาลปี๊บ (Plam sugar; PS)

2 ระดับ (ร้อยละ 10 และ 15) และปริมาณซอร์บิทอล (Sorbitol; ST) ที่ใช้แทนที่น้ำตาลปีบ 3 ระดับ (ร้อยละ 20, 30 และ 40) ตัวอย่างทั้งหมดจะถูกเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง นำตัวอย่างมาทดสอบทุก 2 วันจนกว่าผลิตภัณฑ์จะไม่เป็นที่ยอมรับ เปรียบเทียบกับข้าวหลามตัวอย่างควบคุม วิธีการเตรียมตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์คือ นำข้าวหลามน้ำหนัก 150 กรัมไปอุ่นด้วยเครื่องไมโครเวฟ ใช้กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ นาน 1 นาที 30 วินาที วางพักไว้ที่อุณหภูมิห้องจนข้าวหลามมีอุณหภูมิลดลงเหลือ 30 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปวิเคราะห์ค่าต่าง ๆ ดังนี้

3.1 วอเตอร์แอกทิวิตี ด้วยเครื่องวัดค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (Aqua lab รุ่น series 3)

3.2 เนื้อสัมผัส ด้วยเครื่อง Texture analyzer วัดค่าเนื้อสัมผัสด้วยวิธีการวัดแรงกด ใช้หัววัดทรงใบมีดตัดชนิด HDP/BSK กำหนดค่าการวัดของหัววัดประกอบด้วยความเร็วหัววัดก่อนทดลอง (Pre-test speed) 2.0 มิลลิเมตรต่อวินาที ความเร็วหัววัดระหว่างการทดลอง (Test speed) 2.0 มิลลิเมตรต่อวินาที ความเร็วหัววัดหลังการทดลอง (Post-test speed) 10.0 มิลลิเมตรต่อวินาที ระยะทางการกดของหัววัด 50 มิลลิเมตร โดยค่าที่ได้จากการวัดเป็นค่า Maximum forces รายงานผลอยู่ในรูปค่าความแข็ง (Hardness) (g)

3.3 จุลินทรีย์ทั้งหมด และยีสต์และรา (AOAC, 2000)

3.4 ทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยแบบทดสอบ 9-Points hedonic scale ด้านสี กลิ่น รสชาติ รสชาติแปลกปลอม เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ใช้ผู้ทดสอบชิมกึ่งฝึกฝนจำนวน 30 คน

วางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล 2×3 ในแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (2×3 Factorial in completely randomized design) สำหรับการทดสอบทางประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (Randomized completed block design; RCBD) ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4. การศึกษาวิธีการบรรจุและอุณหภูมิในการเก็บรักษาที่เหมาะสมต่อการยืดอายุการเก็บรักษาข้าวหลาม

เลือกใช้ชนิดและปริมาณของสารลดค่าวอเตอร์แอกทิวิตีที่ดีที่สุดจากการทดลองข้อที่ 3 มาทำการทดลองต่อ โดยเมื่อเผาข้าวหลามจนสุกแล้ว รอให้เย็นที่อุณหภูมิห้องแล้วนำมาปอกเปลือก ตัดกระบอกให้สั้น นำมาบรรจุในถุงพลาสติกชนิด LLDPE/Nylon แล้วปิดผนึกแบบสุญญากาศ (Vacuum; Vac) ทำการทดลองเปรียบเทียบกับบรรจุแบบดั้งเดิม (Non vacuum; NVa) ซึ่งบรรจุในกระบอกไม้ไผ่ที่ปิดด้วยจุกใบตองแห้ง นำข้าวหลามทั้งหมดไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิที่แตกต่างกัน 2 ระดับ คือ อุณหภูมิห้อง (Room temperature; RT) อุณหภูมิ 30 - 35 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิแช่เย็น (Chill; Ch) อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส นำตัวอย่างมาวิเคราะห์ค่าต่าง ๆ เช่นเดียวกับการทดลองข้อที่ 3

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ผลการพัฒนากระบวนการผลิตข้าวหลามให้ได้คุณภาพตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน เรื่อง ข้าวหลาม

ผลของกระบวนการผลิตต่อคุณภาพทางเคมีและจุลินทรีย์ของข้าวหลามแสดงดังตารางที่ 1 พบว่าความชื้นและวอเตอร์แอกทิวิตีของข้าวหลามที่ได้จากวิธีดั้งเดิมมีปริมาณสูงกว่าวิธีที่ 1 และ 2 ในขณะที่ข้าวหลามที่ได้จากวิธีที่ 1 และ 2 มีค่าความชื้นและวอเตอร์แอกทิวิตีใกล้เคียงกัน ผลทางด้านจุลินทรีย์พบว่าข้าวหลามที่ได้จากวิธีการผลิตที่ 1 และ 2 มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดและ *สตาฟีโลคอคคัส ออเรียส* น้อยกว่าวิธีดั้งเดิมอย่างเห็นได้ชัดเจน โดยวิธีการผลิตที่ 1 พบจุลินทรีย์ดังกล่าวน้อยกว่าวิธีการผลิตที่ 2 สำหรับ *เอสเชอริเชีย โคไล* ยีสต์และรา

ไม่พบในข้าวหลามที่ได้จากวิธีการผลิตทั้ง 3 วิธี ทั้งนี้เป็นผลเนื่องจากการควบคุมสุขลักษณะในการผลิตด้านต่าง ๆ รวมถึงการเพิ่มขั้นตอนการฆ่าเชื้อในส่วนผสม

การที่วิธีการผลิตที่ 1 พบจุลินทรีย์ต่าง ๆ น้อยกว่าวิธีที่ 2 น่าจะเป็นผลเนื่องจากวิธีที่ 1 ใช้การต้มฆ่าเชื้อส่วนผสมของเหลวด้วยความร้อนระดับการพาสเจอร์ไรส์ร่วมกับการทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็ว จึงมีผลทำให้ลดจำนวนจุลินทรีย์ได้มากกว่าวิธีที่ 2 ซึ่งนำข้าวเหนียวหนึ่งไปนึ่งกับน้ำกะทิที่ต้มฆ่าเชื้อแต่ไม่มีขั้นตอนการลดอุณหภูมิลงอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้มีจุลินทรีย์ที่เหลือรอดชีวิตเป็นจำนวนมากกว่า นอกจากนี้การเผาข้าวหลามเป็นการทำให้สุกโดยใช้อุณหภูมิในการฆ่าเชื้อระดับพาสเจอร์ไรส์ ซึ่งความร้อนในระดับดังกล่าวไม่มากพอที่จะทำลายจุลินทรีย์ทั้งหมดในอาหารได้ ดังนั้นหลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนแล้วควรต้องเก็บรักษาอาหารในลักษณะที่ป้องกันการปนเปื้อนภายหลังการบรรจุ แต่ข้าวหลามมีเพียงจุกใบตองแห้งที่ปิดไว้เพื่อป้องกันฝุ่นละอองแต่ไม่ได้ปิดสนิท จึงทำให้มีโอกาสที่จะปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์เพิ่มได้ในระหว่างการวางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิปกติหลังการเผา

ตารางที่ 1 ผลของกระบวนการผลิตที่ต่างกันต่อคุณภาพทางเคมีและจุลินทรีย์ของข้าวหลาม

พารามิเตอร์	วิธีที่ 1	วิธีที่ 2	วิธีดั้งเดิม	ค่ามาตรฐาน*
ความชื้น (ร้อยละ)	43.04 ^b ±2.06	43.92 ^{ab} ±1.07	48.00 ^a ±2.77	ไม่ได้กำหนด
วอเตอร์แอกทิวิตี	0.941 ^b ±0.00	0.947 ^{ab} ±0.00	0.956 ^a ±0.01	ไม่ได้กำหนด
จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/g)	4.0 × 10 ²	6.7 × 10 ²	5.7 × 10 ⁴	ไม่เกิน 1 × 10 ⁴
สตาฟีโลคอคคัส ออเรียส (CFU/g)	<10	71	1.8 × 10 ³	ต้องไม่พบ
เอสเชอริเชีย โคไล (CFU/g)	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	น้อยกว่า 3
ยีสต์และรา (CFU/g)	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่เกิน 100

หมายเหตุ * อ้างอิงตามเกณฑ์ของมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนเรื่องข้าวหลาม (มผช. 746/2548)

a-b ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวนอนแสดงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผู้วิจัยได้นำข้าวหลามที่ผลิตด้วยวิธีการทั้ง 3 วิธีมาทดสอบทางประสาทสัมผัสร่วมด้วย พบว่าคะแนนเฉลี่ยความชอบของข้าวหลามที่ได้จากวิธีการดั้งเดิมมีค่ามากที่สุดเกือบทุกปัจจัยคุณภาพ แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับวิธีที่ 1 และวิธีที่ 2 (ไม่ได้แสดงข้อมูล) แสดงให้เห็นว่าการใช้กระบวนการผลิตที่ต่างกันไม่มีผลต่อความชอบทางประสาทสัมผัสของข้าวหลามที่ได้ เมื่อพิจารณาร่วมกับคุณภาพทางเคมีและจุลินทรีย์ในข้างต้นจะเห็นได้ว่าการปรับปรุงด้านสุขลักษณะในการผลิตโดยใช้วิธีที่ 1 มีผลทำให้ลดปริมาณจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ได้ดีที่สุดและเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน อีกทั้งยังมีวิธีการทำที่ง่ายกว่า รวมถึงใช้ระยะเวลาในการทำน้อยกว่าวิธีที่ 2 จึงเลือกใช้วิธีการผลิตที่ 1 ไปทำการทดลองต่อในขั้นตอนถัดไป

2. ผลการศึกษาชนิดและปริมาณของสารลดค่าวอเตอร์แอกทิวิตีที่เหมาะสมในน้ำกะทิต่อการยืดอายุการเก็บรักษาข้าวหลาม

การเติมกลีเซอรอลร่วมกับซอร์บิทอลแทนที่น้ำตาลในน้ำกะทิที่ระดับต่าง ๆ ส่งผลให้ข้าวหลามมีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีลดลงเมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม โดยข้าวหลามมีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีลดลงเหลือ 0.922 – 0.931

จากค่าปกติ 0.955 (ตารางที่ 2) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของวโรตม ธวัชโรจน์ (2555) ที่พบว่าการใช้ซอร์บิทอลทดแทนน้ำตาลร้อยละ 20, 40 และ 60 สามารถลดค่าวอเตอร์แอกทิวิตีของไส้ขนมเบียร์กุหลาบตัวอย่างควบคุมจาก 0.963 เป็น 0.902, 0.907 และ 0.905 ตามลำดับ ส่วนการใช้กลีเซอรอลทดแทนน้ำตาลร้อยละ 20, 40 และ 60 สามารถลดค่าวอเตอร์แอกทิวิตีจาก 0.963 เป็น 0.901, 0.897 และ 0.891 ตามลำดับ การที่กลีเซอรอลและซอร์บิทอลสามารถลดค่าวอเตอร์แอกทิวิตีในผลิตภัณฑ์ได้ เนื่องจากสารทั้ง 2 ชนิดเป็นสารประกอบในกลุ่ม Polyhydroxy alcohol ที่มีหมู่ไฮดรอกซิลโมเลกุลเป็นจำนวนมาก จึงทำให้สามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของน้ำได้ มีผลทำให้มีลดค่าวอเตอร์แอกทิวิตีลงได้ (Chirfe and Fontan, 1980) การเพิ่มปริมาณสารลดค่าวอเตอร์แอกทิวิตีสามารถลดค่าวอเตอร์แอกทิวิตีในผลิตภัณฑ์ได้มากขึ้น เนื่องจากการใช้ความเข้มข้นสูงมากขึ้นมีผลทำให้เพิ่มความเข้มข้นของตัวถูกละลายจึงแตกตัวและจับกับโมเลกุลของน้ำได้มากยิ่งขึ้น ส่งผลให้อาหารมีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีลดลง (ศิริทิพย์ แสงสว่าง, 2547) อย่างไรก็ตามแม้ว่าการใช้กลีเซอรอลและซอร์บิทอลจะสามารถลดค่าวอเตอร์แอกทิวิตีในข้าวหลามได้ แต่ค่าดังกล่าวยังคงอยู่ในระดับสูง (0.922 – 0.931) ซึ่งอาจไม่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้มากนัก เนื่องจากจุลินทรีย์ส่วนใหญ่เจริญเติบโตในอาหารที่มีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีมากกว่า 0.90 (ศุภชัย เนื่อนवलสุวรรณ, 2549) โดยทั่วไปการลดค่าวอเตอร์แอกทิวิตีในอาหารให้ต่ำกว่า 0.85 จะช่วยให้อาหารปลอดภัยจากแบคทีเรียก่อโรคอาหารเป็นพิษได้ (วรภา มหากาญจนกุล และคณะ, 2558)

ตารางที่ 2 คุณภาพทางกายภาพและจุลินทรีย์ของข้าวหลามที่เติมสารลดค่าวอเตอร์แอกทิวิตี

สิ่งทดลอง PS: GR: ST	วอเตอร์แอกทิวิตี	ความแข็ง (g)	จุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/g)		ยีสต์และรา (CFU/g)	
			วันที่ 1	วันที่ 3	วันที่ 1 ^{ns}	วันที่ 3 ^{ns}
70: 10: 20	0.931 ^b ±0.004	6351.74 ^c ±576.23	1.62 ^c × 10 ³	9.73 ^c × 10 ⁵	< 100	< 100
65: 15: 20	0.931 ^b ±0.004	7116.10 ^{ab} ±670.60	7.00 ^c × 10 ²	3.93 ^c × 10 ⁵	< 100	< 100
60: 10: 30	0.928 ^{bc} ±0.003	6966.30 ^{abc} ±499.55	5.96 ^c × 10 ²	2.43 ^c × 10 ⁵	< 100	< 100
55: 15: 30	0.926 ^{bcd} ±0.003	7289.74 ^{ab} ±678.44	3.50 ^c × 10 ²	6.23 ^c × 10 ⁵	< 100	< 100
50: 10: 40	0.922 ^d ±0.003	7324.69 ^{ab} ±352.08	4.63 ^c × 10 ²	4.76 ^c × 10 ⁵	< 100	< 100
45: 15: 40	0.924 ^{cd} ±0.004	7709.80 ^a ±564.83	2.63 ^c × 10 ²	7.03 ^c × 10 ⁵	< 100	< 100
ตัวอย่างควบคุม	0.955 ^a ±0.007	6596.30 ^{bc} ±631.10	1.93 ^c × 10 ⁴	1.73 ^c × 10 ⁶	< 100	< 100
ตัวอย่างทางการค้า 1	*	*	4.95 ^b × 10 ⁵	1.40 ^a × 10 ⁷	< 100	< 100
ตัวอย่างทางการค้า 2	*	*	1.63 ^a × 10 ⁶	7.23 ^b × 10 ⁶	< 100	103
ตัวอย่างทางการค้า 3	*	*	5.96 ^c × 10 ⁴	6.86 ^b × 10 ⁶	< 100	< 100

หมายเหตุ a-d ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

PS (Plam sugar): น้ำตาลปีบ, GR (Glycerol): กลีเซอรอล, ST (Sorbitol): ซอร์บิทอล

* ไม่ได้วิเคราะห์

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบด้านเนื้อสัมผัส พบว่าการเติมกลีเซอรอลร่วมกับซอร์บิทอลแทนที่น้ำตาลในปริมาณที่เพิ่มขึ้นมีแนวโน้มทำให้ข้าวหลามมีความแข็งมากขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องจากสารทั้ง 2 ชนิดมีคุณสมบัติเป็นสารคงความชื้น ทำให้รักษาความชื้นได้ดี หรือเกาะจับน้ำไว้ในผลิตภัณฑ์ได้มาก (Birkhed, Edwardsson et al., 1984) เมื่อใช้ในปริมาณมากจึงทำให้เมล็ดข้าวเหนียวมีความชื้นมากขึ้นและเกิดการเกาะตัวกันมากขึ้น ส่งผลให้ข้าวหลามมีค่าความแข็งมากขึ้น

สำหรับผลด้านจุลินทรีย์วิเคราะห์เปรียบเทียบกับข้าวหลามทางการค้าที่เก็บตัวอย่างจากร้านขายข้าวหลามในจังหวัดนครปฐมจำนวน 3 ร้าน แสดงดังตารางที่ 2 พบว่าการเติมกลีเซอรอลและซอร์บิทอลมีผลทำให้จุลินทรีย์ทั้งหมดในข้าวหลามมีจำนวนน้อยกว่าข้าวหลามตัวอย่างทางการค้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากสารทั้ง 2 ชนิดสามารถลดค่าวอเตอร์แอคทิวิตีในข้าวหลามได้ จึงส่งผลให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตได้น้อยกว่าตัวอย่างทางการค้า เมื่อใช้สารดังกล่าวด้วยระดับการแทนที่รวมสูงขึ้นพบว่าปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากสารดังกล่าวสามารถลดระดับค่าวอเตอร์แอคทิวิตีได้เพิ่มขึ้นตามที่ได้กล่าวไปแล้ว เมื่อพิจารณา ณ วันที่ 1 ของการเก็บรักษา พบว่าการแทนที่น้ำตาลด้วยกลีเซอรอลร้อยละ 15 ร่วมกับซอร์บิทอลร้อยละ 30 ส่งผลให้ข้าวหลามมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยที่สุด แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) กับตัวอย่างอื่น ๆ โดยจำนวนจุลินทรีย์ดังกล่าวยังอยู่ในเกณฑ์ของมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนเรื่องข้าวหลาม เมื่อเก็บข้าวหลามไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 3 วัน พบว่าทุกตัวอย่างมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเพิ่มขึ้นและเกินกว่ามาตรฐานกำหนด ในขณะที่ยีสต์และราของทุกตัวอย่างยังมีปริมาณอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

การทดสอบทางประสาทสัมผัสไม่ได้ศึกษาเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมเนื่องจากมีจำนวนจุลินทรีย์เกินมาตรฐานตั้งแต่วันที่ 1 ของการเก็บรักษา ผลการทดสอบพบว่าการเติมสารลดค่าวอเตอร์แอคทิวิตีที่ระดับสูงขึ้นมีผลทำให้คะแนนเฉลี่ยความชอบด้านรสชาติ รสชาติแปลกปลอม เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมมีแนวโน้มลดลง (ตารางที่ 3) เนื่องจากกลีเซอรอลและซอร์บิทอลมีค่าความหวานสัมพัทธ์ (Relative sweetness) เท่ากับ 0.6 เมื่อเทียบกับน้ำตาลซูโครส (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนูปนนท์, 2562ข) การเติมสารทั้งสองชนิดแทนที่ซูโครสจึงทำให้มีรสชาติด้านหวานน้อยกว่าปกติ เมื่อใช้ในปริมาณมากจึงมีผลทำให้ผู้บริโภคเกิดการไม่ยอมรับได้ ซึ่งสอดคล้องกับที่ผู้ทดสอบชิมได้แสดงความคิดเห็นว่าข้าวหลามสูตรดังกล่าวมีความหวานน้อยเกินไป นอกจากนี้กลีเซอรอลที่เติมลงไปมีผลทำให้เกิดรสขม เพี้ยน ทำให้รู้สึกชาและระคายที่ลิ้น และมีรสชาติด้านติดลิ้น (ปิยะนุช คั่นโธ, 2545) ลักษณะดังกล่าวจะเกิดมากขึ้นตามความเข้มข้นของกลีเซอรอลที่ใช้แทนที่น้ำตาลซูโครส จึงทำให้ข้าวหลามที่เติมสารลดค่าวอเตอร์แอคทิวิตีในปริมาณมากเกิดรสชาติแปลกปลอมและไม่เกิดการยอมรับจากผู้ทดสอบชิม ด้านเนื้อสัมผัสอธิบายได้ว่าการเพิ่มระดับความเข้มข้นมีผลให้ข้าวหลามเกิดความแข็งเพิ่มขึ้นดังที่ได้อธิบายไว้แล้วข้างต้นจึงมีผลทำให้ผู้ทดสอบชิมเกิดการยอมรับน้อยลงสำหรับด้านความชอบโดยรวมพบว่ามีผลไปในทิศทางเดียวกันกับผลด้านรสชาติ รสชาติแปลกปลอม และเนื้อสัมผัส แสดงให้เห็นว่าปัจจัยคุณภาพดังกล่าวส่งผลต่อความชอบโดยรวม

จากข้อมูลข้างต้นผู้วิจัยคัดเลือกโดยพิจารณาจากค่าวอเตอร์แอคทิวิตี คุณภาพทางจุลินทรีย์และคุณภาพทางประสาทสัมผัส ซึ่งจะเห็นได้ว่าข้าวหลามสิ่งทดลอง 70:10:20, 65:15:20 และ 60:10:30 มีคะแนนเฉลี่ยความชอบโดยรวมของทุกปัจจัยคุณภาพมากที่สุด และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่เนื่องจากสิ่งทดลอง 70:10:20 มีค่าวอเตอร์แอคทิวิตีและจำนวนจุลินทรีย์เริ่มต้นทั้งหมดมากที่สุด ผู้วิจัยจึงไม่เลือกสิ่งทดลองดังกล่าว ส่วนสิ่งทดลอง 65:15:20 และ 60:10:30 มีค่าวอเตอร์แอคทิวิตีและจำนวนจุลินทรีย์เริ่มต้น

ไม่แตกต่างกัน จึงนำปัจจัยด้านต้นทุนในการผลิตมาพิจารณาด้วย โดยซอร์บิทอลมีราคาแพงกว่ากลีเซอรอลประมาณ 1.6 เท่า จึงเลือกข้าวหลามที่ใช้กลีเซอรอลร้อยละ 15 ร่วมกับซอร์บิทอลร้อยละ 20 (65:15:20) แทนที่น้ำตาลในส่วนผสมเป็นสิ่งทดลองที่เหมาะสมในการยืดอายุการเก็บรักษาข้าวหลามไปศึกษาในหัวข้อต่อไป

ตารางที่ 3 ผลของการแทนที่น้ำตาลด้วยกลีเซอรอลร่วมกับซอร์บิทอลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวหลามที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 วัน

สิ่งทดลอง PS: GR: ST	สี	กลิ่น ^{ns}	รสชาติ	รสชาติ แปลกปลอม	เนื้อสัมผัส	ความชอบ โดยรวม
70: 10: 20	6.34 ^{ab} ±0.79	6.12±0.86	6.58 ^a ±0.94	6.58 ^a ±1.23	6.07 ^a ±1.32	6.23 ^a ±1.10
65: 15: 20	6.65 ^a ±0.74	6.27±1.00	6.31 ^{ab} ±0.88	6.23 ^{ab} ±1.10	6.15 ^a ±1.04	6.19 ^a ±0.98
60: 10: 30	6.15 ^{ab} ±1.22	6.35±1.05	6.42 ^{ab} ±1.02	6.58 ^a ±1.02	6.15 ^a ±1.28	6.54 ^a ±1.06
55: 15: 30	6.31 ^{ab} ±0.88	5.85±1.37	5.88 ^b ±1.24	5.50 ^{cd} ±1.02	5.19 ^b ±1.09	5.46 ^b ±1.02
50: 10: 40	6.00 ^b ±1.13	6.04±1.21	5.85 ^b ±1.34	6.00 ^{bc} ±1.32	5.31 ^b ±1.37	5.35 ^b ±1.32
45: 15: 40	6.23 ^{ab} ±0.86	5.77±1.53	5.96 ^b ±1.11	5.31 ^d ±1.12	5.58 ^{ab} ±1.17	5.62 ^b ±1.06

หมายเหตุ a-d ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวดิ่ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

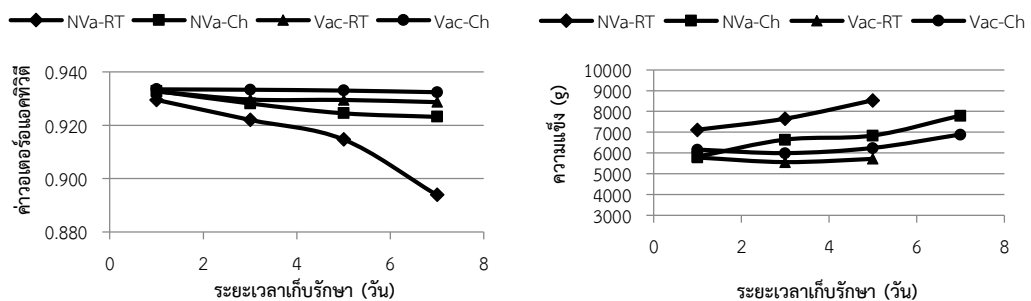
PS (Plam sugar): น้ำตาลปีบ, GR (Glycerol): กลีเซอรอล, ST (Sorbitol): ซอร์บิทอล

3. ผลการศึกษาวิธีการบรรจุและอุณหภูมิในการเก็บรักษาที่เหมาะสมต่อการยืดอายุการเก็บรักษาข้าวหลาม

ผลของวิธีการบรรจุ (ไม่สุญญากาศ; NVa และสุญญากาศ; Vac) และอุณหภูมิในการเก็บรักษา (อุณหภูมิห้อง; RT และอุณหภูมิแช่เย็น; Ch) ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าวอเตอร์แอคทิวิตีแสดงดังภาพที่ 2 ค่าวอเตอร์แอคทิวิตีของทุตัวอย่างมีแนวโน้มลดลงเมื่อเก็บไว้นานขึ้น เป็นผลมาจากจุลินทรีย์นำน้ำอิสระในผลิตภัณฑ์ไปใช้ในการเจริญเติบโต (จารุภัทร ลือชา และคณะ, 2561) ข้าวหลามที่บรรจุแบบดั้งเดิมมีอัตราการเปลี่ยนแปลงลดลงเร็วกว่าข้าวหลามที่บรรจุสุญญากาศ ส่วนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีอัตราการเปลี่ยนแปลงลดลงมากกว่าการเก็บแช่เย็น ในขณะที่ข้าวหลามสุญญากาศแช่เย็นมีการเปลี่ยนแปลงค่าวอเตอร์แอคทิวิตีน้อยมากและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) สอดคล้องกับงานวิจัยของวงชิราภรณ์ สุริยนต์ (2560) ซึ่งพบว่ากลีเซอรอลและเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 35, 0 และ -18 องศาเซลเซียส มีค่าวอเตอร์แอคทิวิตีลดลงระหว่างการเก็บรักษา โดยการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส มีผลทำให้ค่าวอเตอร์แอคทิวิตีลดลงมากกว่าการเก็บที่อุณหภูมิ 0 และ -18 องศาเซลเซียส จากผลดังกล่าวอธิบายได้ว่าการเก็บรักษาลักษณะที่อุณหภูมิสูงมีผลทำให้เกิดการสูญเสียน้ำในปริมาณมาก จึงทำให้มีปริมาณน้ำอิสระน้อยกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ นอกจากนี้การเก็บรักษาข้าวหลามแบบดั้งเดิมเป็นบรรจุภัณฑ์ที่ไม่ได้ปิดสนิท จึงทำให้อากาศซึมผ่านเข้าออกได้มากกว่า ส่งผลให้เกิดการสูญเสียน้ำมากกว่าและเกิดอัตราการลดลงของค่าวอเตอร์แอคทิวิตีมากกว่าการบรรจุแบบสุญญากาศ

ค่าความแข็งของข้าวหลามทุตัวอย่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้น ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการเกิดรีโทรกราเดชัน (Retrogradation) ของข้าวเหนียว โดยหลังจากการทำให้แป้งสุก เมื่อลดอุณหภูมิลงมีผล

ทำให้อะมิโลสที่แพร่กระจายออกมาอยู่นอกเม็ดแบ่งจะกลับเข้ามาเรียงตัวกันใหม่อย่างมีระเบียบด้วยพันธะไฮโดรเจน น้ำที่เคยจับอยู่กับหมู่ไฮดรอกซิลจะถูกดึงออกเกิดเป็นโครงร่างตาข่ายสามมิติ ลักษณะเป็นเจล (Whistler and Bemiller, 1999) เมื่อลดอุณหภูมิลงไปอีกการเรียงตัวของโครงสร้างจะยิ่งแน่นหนามากขึ้น น้ำจะถูกบีบออกจากเจลเรียกว่าซินเนอริซิส (Syneresis) เกิดเป็นโครงร่างผลึกที่มีความแข็งแรงกว่าเดิม (Srirot and Piyachomkwan, 2003) จึงส่งผลให้ข้าวหลามระหว่างการเก็บรักษามีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 1 การเปลี่ยนแปลงค่าวอเตอร์แอคทิวิตี (ซ้าย) และความแข็ง (ขวา) ของข้าวหลามที่เติมสารลดค่าวอเตอร์แอคทิวิตีระหว่างการเก็บรักษา

การบรรจุสุญญากาศมีผลทำให้อัตราการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงเกิดขึ้นน้อยกว่าการบรรจุแบบดั้งเดิม อาจเนื่องจากการสุญญากาศทำให้เกิดการสูญเสียน้ำได้ช้ากว่าจึงทำให้เกิดความแข็งแรงช้ากว่า สอดคล้องกับผลการเปลี่ยนแปลงด้านค่าวอเตอร์แอคทิวิตี ข้าวหลามที่มีวิธีการบรรจุเหมือนกันแต่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแตกต่างกันมีอัตราการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าวิธีการบรรจุมีอิทธิพลต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของข้าวหลามมากกว่าอุณหภูมิในการเก็บรักษา แม้ว่าตามปกติแล้วการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำจะเร่งให้เกิดรีโทรเกรเดชันได้เร็วขึ้นก็ตาม (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนานพนธ์, 2562ก) ทั้งนี้เนื่องจากการเกิดรีโทรเกรเดชันเป็นผลมาจากอะมิโลสที่มีโครงสร้างเป็นสายตรงซึ่งจะเกิดได้มากกว่าและเร็วกว่าอะมิโลเพคตินที่มีโครงสร้างเป็นกึ่งก้าน (Suzuki et al., 1985) แต่เนื่องจากข้าวเหนียวมีอะมิโลสเป็นองค์ประกอบน้อยมาก จึงมีผลทำให้การเกิดรีโทรเกรเดชันเป็นไปอย่างช้า ๆ (Singh et al., 2012) ทำให้ข้าวหลามที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแตกต่างกันมีอัตราการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงไม่แตกต่างกันมากนัก

ผลของวิธีการบรรจุและอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในข้าวหลามที่เติมสารลดค่าวอเตอร์แอคทิวิตีแสดงดังตารางที่ 4 พบว่าการบรรจุแบบสุญญากาศมีผลทำให้อัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นช้ากว่าการบรรจุแบบดั้งเดิม เนื่องจากการสุญญากาศทำให้ลดปริมาณออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์จึงช่วยชะลอการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้ ส่วนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็นมีผลทำให้อัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ลดลงอย่างมากเมื่อเทียบกับการเก็บที่อุณหภูมิห้อง การเสื่อมเสียของข้าวหลามน่าจะเกิดจากเชื้อที่สำคัญคือ *บาซิลลัส ซีเรียส* ซึ่งพบมากในข้าวและธัญพืช *สตาฟีโลคอคคัส ออเรียส* ซึ่งพบมากตามอวัยวะต่าง ๆ ของมนุษย์ และ *เอสเชอริเชีย โคไล* ซึ่งปนเปื้อนไปยังวัตถุดิบต่าง ๆ ได้จากสิ่งขับถ่ายแบคทีเรียเหล่านี้จัดอยู่ในกลุ่มชอบอุณหภูมิปานกลาง ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีความสำคัญมากต่อการทำให้เกิดโรคอาหาร

เป็นพืช มีอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตอยู่ในช่วง 30 – 45 องศาเซลเซียส (ศุภชัย เนื่อนวสุวรรณ, 2549) การเก็บรักษาที่ระดับอุณหภูมิต่ำจึงมีผลทำให้แบคทีเรียกลุ่มดังกล่าวเจริญเติบโตได้อย่างช้า ๆ ข้าวหลามที่เก็บในอุณหภูมิห้องทั้งแบบสุญญากาศและไม่สุญญากาศสามารถเก็บไว้ได้ไม่เกิน 2 วัน โดยจะพบจุลินทรีย์เกินมาตรฐานเมื่อเก็บไว้ 3 วัน ในขณะที่ข้าวหลามที่เก็บแช่เย็นทั้งแบบสุญญากาศและไม่สุญญากาศจะพบจุลินทรีย์เกินมาตรฐานเมื่อเก็บไว้นาน 7 วัน ผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณยีสต์และราเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ข้าวหลามที่เก็บในอุณหภูมิห้องมีปริมาณยีสต์และราเกินเกณฑ์มาตรฐานเมื่อเก็บไว้นาน 5 วัน ส่วนข้าวหลามที่แช่เย็นมีปริมาณยีสต์และราเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานตลอดการเก็บรักษาจนถึงวันที่ 7

จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นได้ว่าการเก็บรักษาแช่เย็นทั้งแบบสุญญากาศและไม่สุญญากาศเป็นวิธีการที่เหมาะสมในการยืดอายุการเก็บรักษาข้าวหลาม โดยข้าวหลามทั้งสองสภาวะดังกล่าวจะสามารถเก็บไว้ได้นานประมาณ 6 วัน เมื่อพิจารณาตามเกณฑ์จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนเรื่องข้าวหลาม ทั้งนี้หากจะนำวิธีดังกล่าวไปผลิตเชิงค้าขึ้น วิธีการบรรจุแบบดั้งเดิมร่วมกับการเก็บในอุณหภูมิแช่เย็นน่าจะเป็นวิธีการที่เหมาะสมกว่าในแง่ของต้นทุนในการผลิตและความปลอดภัยจากเชื้อ *คลอสทริเดียม โบทูลินัม* ซึ่งเป็นเชื้อก่อโรคที่มีความสำคัญในอาหารที่บรรจุปิดสนิท เช่น อาหารที่บรรจุสุญญากาศ อาหารกระป๋องประเภทกรดต่ำ อาหารที่บรรจุแบบปรับแต่งสภาพบรรยากาศ

ตารางที่ 4 ผลของวิธีการบรรจุและอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อคุณภาพทางจุลินทรีย์ในข้าวหลามที่เดิมสารลดค่าวอเตอร์แอกทิวิตีระหว่างการเก็บรักษา

สิ่งทดลอง	จุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/g)				ยีสต์และรา (CFU/g)			
	วันที่ 1	วันที่ 3	วันที่ 5	วันที่ 7	วันที่ 1	วันที่ 3	วันที่ 5	วันที่ 7
NVa-RT	$8.23^a \times 10^2$	$3.80^a \times 10^5$	$1.25^a \times 10^7$	*	< 100	< 100	8.63×10^2	*
NVa-Ch	$3.80^b \times 10^2$	$4.06^c \times 10^3$	$6.70^c \times 10^3$	1.74×10^4	< 100	< 100	< 100	< 100
Vac-RT	$5.90^{ab} \times 10^2$	$2.20^b \times 10^5$	$3.36^b \times 10^6$	*	< 100	< 100	1.53×10^2	*
Vac-Ch	$4.33^b \times 10^2$	$3.73^c \times 10^3$	$7.70^c \times 10^3$	2.45×10^4	< 100	< 100	< 100	< 100

หมายเหตุ a-c ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

* ไม่ได้วิเคราะห์เนื่องจากตัวอย่างเสื่อมเสียคุณภาพแล้ว

ผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสแสดงดังตารางที่ 5 ในวันที่ 1 ของการเก็บรักษาพบว่าคะแนนเฉลี่ยความชอบของข้าวหลามที่บรรจุและเก็บที่อุณหภูมิแตกต่างกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ยกเว้นด้านเนื้อสัมผัส ข้าวหลามบรรจุสุญญากาศและเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (Vac-RT) มีคะแนนเฉลี่ยความชอบด้านเนื้อสัมผัสสูงที่สุดซึ่งอยู่ในเกณฑ์ขอบปานกลาง แต่ไม่แตกต่างกันกับข้าวหลามบรรจุสุญญากาศและเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น (Vac-Ch) และข้าวหลามที่บรรจุแบบดั้งเดิมและเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น (NVa-Ch) ในขณะที่ข้าวหลามที่บรรจุแบบดั้งเดิมและเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (NVa-RT) มีคะแนนเฉลี่ยความชอบด้านเนื้อสัมผัสต่ำสุด อยู่ในเกณฑ์ขอบเล็กน้อย ซึ่งอาจเป็นผลเนื่องจากข้าวหลามที่บรรจุแบบดั้งเดิมและเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีเนื้อสัมผัสแข็งที่สุดสอดคล้องกับผลการทดลองด้านเนื้อสัมผัส (ภาพที่ 1)

ตารางที่ 5 ผลของวิธีการบรรจุและอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสข้าวหลามที่เดิมสารลดค่าออกซิเจนแอคทีวิตีระหว่างการเก็บรักษา

ปัจจัยคุณภาพ	สิ่งทดลอง	คะแนนเฉลี่ยความชอบ		
		วันที่ 1	วันที่ 3	วันที่ 5
สี ^{NS}	NVa-RT	7.23±1.50	*	*
	NVa-Ch ^{ns}	6.97±1.40	6.93±0.90	6.63±1.09
	Vac-RT	7.07±1.36	*	*
	Vac-Ch ^{ns}	7.20±1.27	7.03±0.92	6.90±1.02
กลิ่น ^{NS}	NVa-RT	6.37±1.69	*	*
	NVa-Ch ^{ns}	6.73±1.66	7.23±1.13	6.63±1.03
	Vac-RT	6.70±1.29	*	*
	Vac-Ch ^{ns}	6.87±1.47	7.07±1.01	6.70±1.26
รสชาติ ^{NS}	NVa-RT	6.90±1.24	*	*
	NVa-Ch ^{ns}	6.73±1.41	6.73±1.28	6.40±1.19
	Vac-RT	7.20±1.56	*	*
	Vac-Ch ^{ns}	6.70±1.36	6.87±1.16	6.83±1.05
รสชาติแปลกปลอม ^{NS}	NVa-RT	6.60±1.40	*	*
	NVa-Ch	6.83 ^a ±1.41	6.90 ^a ±1.29	5.87 ^b ±1.16
	Vac-RT	6.73±1.25	*	*
	Vac-Ch	6.63 ^{ab} ±1.42	6.83 ^a ±1.26	5.90 ^b ±1.29
เนื้อสัมผัส	NVa-RT	5.90 ^B ±1.80	*	*
	NVa-Ch ^{ns}	6.20 ^{AB} ±1.64	6.10±1.49	6.13±1.33
	Vac-RT	6.87 ^A ±1.69	*	*
	Vac-Ch ^{ns}	6.73 ^A ±1.48	6.53±1.47	6.33±1.39
ความชอบโดยรวม ^{NS}	NVa-RT	6.77±1.45	*	*
	NVa-Ch ^{ns}	6.57±1.35	6.57±1.13	6.27±1.14
	Vac-RT	6.87±1.50	*	*
	Vac-Ch ^{ns}	6.73±1.38	6.97±0.92	6.80±0.99

หมายเหตุ a-b ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวนอน และ A-B ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวดิ่ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ns, NS หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

* ไม่ได้วิเคราะห์เนื่องจากตัวอย่างเสื่อมเสียคุณภาพแล้ว

เมื่อเก็บรักษาข้าวหลามไว้นานขึ้น คะแนนเฉลี่ยความชอบของปัจจัยคุณภาพทุกด้านของข้าวหลามที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็นมีแนวโน้มลดลงแต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยยังได้รับคะแนนอยู่ในเกณฑ์ชอบปานกลางตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 5 วัน ยกเว้นด้านรสชาติแปลกปลอมซึ่งพบว่ามีความชอบลดลงจากชอบปานกลาง (วันที่ 1) เหลือชอบเล็กน้อย (วันที่ 5) ผู้ทดสอบชิมได้แสดงความคิดเห็นว่าข้าวหลามมีรสชาติขมและเผื่อนมากขึ้นในวันที่ 5 ของการเก็บรักษา ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการสูญเสียความชื้นเพิ่มมากขึ้นในวันที่ 5 จึงทำให้รสชาติขมและเผื่อนดังกล่าวเด่นชัดขึ้น สอดคล้องกับผลการทดลองด้านวอเตอร์แอกทิวิตีในภาพที่ 1 โดยข้าวหลามที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็นทั้งการบรรจุแบบดั้งเดิมและสุญญากาศได้คะแนนเฉลี่ยความชอบด้านรสชาติแปลกปลอมไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 5 วัน

สำหรับการคัดเลือกวิธีการบรรจุและอุณหภูมิในการเก็บรักษาที่เหมาะสมต่อการยืดอายุการเก็บรักษาข้าวหลามนั้นพิจารณาจากผลของคุณภาพทางจุลินทรีย์ประกอบกับคุณภาพทางประสาทสัมผัสและรวมถึงต้นทุนในการผลิตด้วย ซึ่งจากผลการทดลองทั้งหมดข้างต้นจะเห็นได้ว่าข้าวหลามที่บรรจุแบบดั้งเดิมร่วมกับการเก็บรักษาในอุณหภูมิแช่เย็นเป็นวิธีการที่เหมาะสมที่สุดสำหรับงานวิจัยนี้

สรุป

กระบวนการผลิตข้าวหลามนครปฐมที่เหมาะสมซึ่งทำให้ได้คุณภาพตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.746/2548) เรื่อง ข้าวหลาม คือ การควบคุมด้านสุขลักษณะในการผลิตทุก ๆ ด้านให้เหมาะสม เช่น การควบคุมสุขลักษณะส่วนบุคคล โดยให้ผู้ผลิตใส่หมวก ผ้ากันเปื้อน ผ้าปิดปากและสวมถุงมือ การควบคุมสุขลักษณะด้านสถานที่ โดยปฏิบัติงานบนโต๊ะที่สะอาดและสูงจากพื้นไม่ต่ำกว่า 60 เซนติเมตร และการปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยการเพิ่มขั้นตอนการฆ่าเชื้อส่วนผสมน้ำกะทิที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที และทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็วก่อนบรรจุลงกระบอกไม้ไผ่และจุกใบตองแห้งที่สะอาด กระบวนการผลิตดังกล่าวจะทำให้ได้ข้าวหลามที่มีคุณภาพด้านต่าง ๆ เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานโดยไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส การยืดอายุการเก็บรักษาข้าวหลามโดยใช้กลีเซอรอลร้อยละ 15 ร่วมกับซอร์บิทอลร้อยละ 20 แทนที่น้ำตาลในส่วนผสมน้ำกะทิเป็นสิ่งทดลองที่เหมาะสม ซึ่งช่วยลดปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้นลงได้มากเมื่อเทียบกับวิธีการดั้งเดิม สำหรับการบรรจุข้าวหลามแบบดั้งเดิมโดยไม่ใช้สุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาในอุณหภูมิแช่เย็น (NVA-Ch) เป็นวิธีการที่เหมาะสมที่สุดต่อการยืดอายุการเก็บรักษา ทั้งในแง่ของต้นทุนการผลิต คุณภาพทางจุลินทรีย์และคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยสภาวะดังกล่าวจะสามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาข้าวหลามจากปกติเก็บได้ไม่เกิน 1 วัน เป็นเก็บได้นาน 6 วัน

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะจากผลการวิจัย

1. เนื่องจากกลีเซอรอลและซอร์บิทอลมีความหวานสัมพันธ์เท่ากับ 0.6 เมื่อเทียบกับน้ำตาลซูโครส จึงควรเติมสารให้ความหวานยิ่งยวด เพื่อเสริมรสหวานให้ข้าวหลามมีความหวานสัมพันธ์เท่ากับน้ำตาลในสูตรปกติ
2. ผู้ผลิตควรตระหนักและให้ความสำคัญในการควบคุมสุขลักษณะที่ดีในการผลิตในทุกขั้นตอนและอาจรวมถึงประเด็นอื่น ๆ ที่นอกเหนือจากที่ผู้วิจัยปรับปรุงในงานวิจัยนี้ เช่น มีห้องเตรียมและห้องผลิตที่เป็นระบบปิด ห่างไกลจากแหล่งต่าง ๆ ที่อาจทำให้เกิดการปนเปื้อน ซึ่งจะช่วยลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นได้

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรศึกษาเพิ่มเติมถึงวิธีการลดอุณหภูมิข้าวหลามที่เหมาะสมระหว่างการรอปอกเปลือกและตัดกระบอก เนื่องจากการลดอุณหภูมิข้าวหลามโดยการวางไว้ที่อุณหภูมิห้องในงานวิจัยนี้อาจทำให้จุลินทรีย์ที่เหลือรอดหลังการเผาเจริญเติบโตได้อีกและอาจปนเปื้อนจุลินทรีย์จากสิ่งแวดล้อมได้ รวมถึงศึกษาวิธีการทำแห้งจุกใบตองให้ปราศจากเชื้อจุลินทรีย์โดยเฉพาะเชื้อรา เนื่องจากในงานวิจัยพบว่าการเสื่อมเสียของข้าวหลามส่วนหนึ่งเกิดจากเชื้อราที่มาจากจุกใบตองแห้งที่ไม่ได้มาตรฐาน และควรศึกษาเพิ่มเติมในข้าวหลามนครปฐมรสชาติอื่น ๆ
2. กรณีที่ผู้ประกอบการมีเงินลงทุนและมีช่องทางการตลาดดี อาจใช้เทคโนโลยีขั้นสูงอื่น ๆ ได้ เช่น การฆ่าเชื้อด้วยหม้อฆ่าเชื้อภายใต้แรงดัน (Retort) การลดอุณหภูมิข้าวหลามหลังการเผาอย่างรวดเร็วด้วยเครื่อง Air blast chiller หรือการเก็บข้าวหลามในอุณหภูมิแช่เยือกแข็งโดยใช้วิธีการแช่แข็งแบบเร็ว น่าจะเป็นวิธีการยืดอายุการเก็บรักษาได้นานยิ่งขึ้น แต่ควรพิจารณาความคุ้มค่าในการลงทุนร่วมด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณแหล่งทุนวิจัย ซึ่งได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม และขอขอบคุณผู้ประกอบการข้าวหลามใน อ.เมือง จ.นครปฐมที่ให้ข้อมูลอันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- จารุภัทร ลือชา, วรพจน์ ราชการดี, ชวโรจน์ ดำเนินสวัสดิ์, จิตติศิลป์ กิจขเวงกุล และภาวิณี ดีแท้. (2561). การศึกษาหาสูตรที่เหมาะสมเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เส้นบะหมี่สด. *วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม*, 13(1), 71–83.
- ปิยะนุช คั่นโธ. (2545). การยืดอายุการเก็บรักษาขนมเปียะโดยใช้สารลดค่าออกเตอรแอกติวิตีและบรรจุภัณฑ์. *วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์*.
- พัชรา ถาวรระ. (2561). การพัฒนาระดับสถานที่ผลิตข้าวหลามในจังหวัดน่านเข้าสู่มาตรฐานการผลิตขั้นต้น. *พุทธชินราชเวชสาร*, 35(1), 53-64.
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนพานนท์. (2562ก). Retrogradation / รีโทรเกรเดชัน, 30 มกราคม 2563. <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0591/retrogradation>
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนพานนท์. (2562ข). Sugar alcohol / น้ำตาลแอลกอฮอล์, 21 ธันวาคม 2562. <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1628/sugar-alcohol>
- วชิราภรณ์ สุริยนต์. (2560). การยืดอายุการเก็บรักษาากละแมด้วยแซนแทนกัม ฮิวเมกแทนท์ และสภาวะการเก็บ. *วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่*.
- วราภา มหากาญจกุล, สิริพร สอนเสาวภาคย์, สุดสาย ตริวานิช, และปริยา วิบูลย์เศรษฐ์. (2558). *การจัดการความปลอดภัยอาหารสำหรับงานบริการอาหาร*. (พิมพ์ครั้งที่ 4). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วรรัตน์ สานนท์, ปิยวรรณ ธรรมบำรุง, เพ็ญพักตร์ แก้วเดชศรี, วิรติ จันททรัพย์ และศรัณยา จังโส. (2561). อดีตถึงปัจจุบันแนวทางการพัฒนาอาหารท้องถิ่นที่เป็นอัตลักษณ์ของจังหวัดนครปฐม. *วารสารวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม*, 5(1), 130-142.

- วโรตม ธูวโรจน์. (2555). การยืดอายุการเก็บรักษาขนมเปียะกุหลาบโดยใช้สารควบคุมความชื้นและบรรจุภัณฑ์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะอุตสาหกรรมเกษตร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- วิมลสิริ รุจิภาสพรพงศ์. (2550). การสืบทอดภูมิปัญญาท้องถิ่นและการส่งเสริมเศรษฐกิจชุมชน: กรณีศึกษาการทำข้าวหลามในชุมชนพระงาม จังหวัดนครปฐม. วิทยานิพนธ์ศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต คณะศึกษาศาสตร์, มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- วีรวิทย์ พามิ และผจงรักษ์ พันมี. (2561). การศึกษากระบวนการผลิตและสุลักษณะที่ดีในการผลิตข้าวหลาม. รายงานวิจัยศิลปศาสตรบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม.
- ศิรินทิพย์ แสงสว่าง. (2547). การยืดอายุการเก็บพายไส้เผือกโดยใช้สารควบคุมความชื้นและการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศุภชัย เนื่อนवलสุวรรณ. (2549). ความปลอดภัยของอาหาร. กรุงเทพฯ: sister print & media group.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2548). มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนข้าวหลาม (มผช. 746/2548), 21 สิงหาคม 2561. http://tcps.tisi.go.th/pub/tcps746_48.pdf
- AOAC. (2000). **Official method of analysis**. (17th ed.). Virginia: The association of office analytical chemists.
- Birkhed, D., Edwardsson, S., Kalfas, S. and Svensater, G. (1984). Cariogenicity of sorbitol. **Swedish dental journal**, 8, 147-154.
- Chirfe, J. and Fontan, C. F. (1980). Prediction of water activity of aqueous solutions in connection with intermediate moisture foods: experimental investigation of the a_w lowering behavior of sodium lactate and some related compounds. **Journal of food science**, 45, 802-804.
- Labuza, T. P. and Hyman, C. R. (1998). Moisture migration and control in multi-domain foods. **Trends in food science & technology**, 9, 47-55.
- Singh, H., Lin, J., Huang, W. & Chang, Y. (2012). Influence of amylopectin structure on the rheological and retrogradation properties of waxy rice starches. **Journal of cereal science**, 56(2), 367-373.
- Srirot, K., and Piyachomkwan, K. (2003). **Technology of starch**. (3th Ed.). Bangkok: Kasetsart University.
- Suzuki, A., Tekeda, Y. & Hizukuri, S. (1985). Relationship between the molecular structure and retrogradation properties of tapioca, potato, and kuzu starches. **Journal of the japanese society for starch science**, 32, 205-212.
- Whistler, R. L., and Bemiller, J. N. (1999). **Carbohydrate chemistry for food scientist** american association of cereal chemists. St. Paul: MN.

ประสิทธิภาพของกระบวนการตรึง CO₂ ในใบมันสำปะหลังและผักโขมพรชัย ไพบูลย์^{1*} สุนทรี ยิ่งชัชวาลย์²

Received : July 13, 2020

Revised : August 3, 2020

Accepted : August 4, 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการตอบสนองต่อ CO₂ ของใบพืช C3 ในมันสำปะหลัง พันธุ์ห้วยบง 60 และพืช C4 ในผักโขมใบสีเขียว สายพันธุ์ AS220 เพื่อเปรียบเทียบศักยภาพของกระบวนการคาร์บอกซิเลชัน ค่าประสิทธิภาพของกระบวนการคาร์บอกซิเลชัน (CE) และจุดดขย CO₂ ในช่องว่างใบ (Γ) ได้จากการวัดอัตราสังเคราะห์แสงสุทธิ (A) ภายใต้ความเข้มข้นของ CO₂ ในภาชนะบรรจุใบ (C_a) ในช่วง 0-2,000 μmolCO₂ mol_{air}⁻¹ ผลการศึกษาพบว่า ใบมันสำปะหลังมีค่า CE 183 mmol m⁻² s⁻¹ และค่า Γ 65 μmolCO₂ mol_{air}⁻¹ ที่อุณหภูมิใบ 33.4°C ขณะที่ผักโขมใบสีเขียวมีค่า CE 564 mmol m⁻² s⁻¹ และค่า Γ ใกล้ศูนย์ แม้ว่ามันสำปะหลังมีค่า CE ที่สูงกว่าพืช C3 ชนิดอื่น แต่ค่าที่ได้ต่ำกว่าใบผักโขมถึง 3 เท่า ค่า Γ ของมันสำปะหลังสูงในระดับเดียวกับพืช C3 ชนิดอื่นและสอดคล้องกับที่คณะวิจัยเคยรายงานก่อนหน้านี้ว่าใบมันสำปะหลังมีอัตราหายใจเชิงแสงที่สูงฟังก์ชันการตอบสนองต่อ CO₂ แสดงว่า ค่า A ของใบผักโขมเริ่มถึงจุดอิ่มตัวที่ C_a ในระดับปัจจุบันที่ 400 μmolCO₂ mol_{air}⁻¹ เร็วกว่าใบมันสำปะหลังอย่างชัดเจน ดังนั้นการเพิ่ม C_a ไม่ได้เร่งกระบวนการคาร์บอกซิเลชันของใบผักโขม ขณะที่ค่า A ของใบมันสำปะหลังยังไม่อิ่มตัวจนกระทั่ง C_a เพิ่มขึ้น 3-4 เท่าของระดับปัจจุบัน ดังนั้น กระบวนการคาร์บอกซิเลชันในใบมันสำปะหลังจึงแสดงการตอบสนองต่อ C_a ที่เพิ่มขึ้นได้ดี โดยสามารถทำให้ค่า A เพิ่มขึ้นมากถึง 93% จนมีค่าสูงสุดได้ถึง 53 μmolCO₂ m⁻² s⁻¹

คำสำคัญ: จุดดขย CO₂ ประสิทธิภาพของกระบวนการคาร์บอกซิเลชัน ผักโขม มันสำปะหลัง

¹ นิสิตหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และนักวิจัย ศูนย์เทคโนโลยีชีวภาพเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อีเมล: pornchai.p@ku.ac.th

² ศาสตราจารย์ และนักวิจัยอาวุโส ศูนย์เทคโนโลยีชีวภาพเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อีเมล: suntaree.y@ku.ac.th

* ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล: pornchai.p@ku.ac.th

CARBOXYLATION EFFICIENCY IN CASSAVA AND AMARANTH LEAVES

Pornchai Paiboon^{1*} Suntaree Yingjajaval²**Abstract**

The CO₂ response functions were evaluated for the leaves of C3 cassava cv. Huai Bong 60 and the C4 green amaranth cv. AS220 to compare their carboxylation capacity. The carboxylation efficiency (CE) and the CO₂ compensation point (Γ) were obtained from the measurement of net photosynthesis rate (A) under varying air CO₂ concentration (C_a), ranging from 0-2,000 $\mu\text{molCO}_2 \text{ mol}_{\text{air}}^{-1}$. The result showed that CE of cassava was $183 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ and Γ was $65 \mu\text{molCO}_2 \text{ mol}_{\text{air}}^{-1}$ at leaf temperature of 33.4°C. In comparison, CE of amaranth was $564 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ and its Γ was closed to zero. Although CE of cassava was remarkably high among the C3 leaves, its level was 3 times smaller than that of amaranth. The high Γ of cassava, within the range of typical C3, agreed with its reported high photorespiration rate. The CO₂ response function clearly showed that A of amaranth reached its plateau very quickly at current C_a of $400 \mu\text{molCO}_2 \text{ mol}_{\text{air}}^{-1}$, so any increase in C_a was not beneficial to its carboxylation process. Cassava, on the other, did not have its saturating A until C_a increased by 3-4 times the current level. Therefore, carboxylation process of cassava showed good response to the elevated C_a, which could increase its A by 93% to be as high as $53 \mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Keywords: CO₂ compensation point, Carboxylation efficiency, Amaranth, Cassava

¹ Graduate student, Doctor of Philosophy Program in Agricultural Biotechnology, Kasetsart University. Researcher, Center for Agricultural Biotechnology, Kasetsart University, e-mail: pornchai.p@ku.ac.th

² Professor and Senior researcher, Center for Agricultural Biotechnology, Kasetsart University, e-mail: suntaree.y@ku.ac.th

* Corresponding author, e-mail: pornchai.p@ku.ac.th

บทนำ

ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในอากาศเพิ่มขึ้นต่อเนื่องทุกปี ตั้งแต่ปี 1958 จนถึงระดับปัจจุบันที่ 415 ppm โดยมีอัตราเพิ่มปีละ 2-3 ppm (Tans & Keeling, 2020) เป็นประเด็นที่นักวิทยาศาสตร์ทั่วโลกตื่นตัวศึกษาว่ามีผลกระทบต่อกระบวนการสังเคราะห์แสงและผลผลิตของพืชปลูกอย่างไร ก่อนหน้านี้มีข้อถกเถียงกันว่า มันสำปะหลังใช้วิธีการสังเคราะห์แสงแบบ C3 หรือวิถีใหม่ (C3-C4) ที่อยู่ในช่วงการพัฒนาจาก C3 เป็น C4 เพราะพบว่ามีคุณลักษณะเฉพาะของพืช C4 บางประการ เช่น การมีเซลล์บันเดิลชีท (bundle sheath cell, BS) การมีอัตราสังเคราะห์แสงที่สูงและยังไม่อิ่มตัวที่ความเข้มแสงสูง การมีอุณหภูมิที่เอื้อต่อกระบวนการสังเคราะห์แสงของใบ (optimum temperature) กว้างในช่วง 20-45°C ซึ่งปรากฏในใบมันสำปะหลังบางสายพันธุ์ แต่จากหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ด้านกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการตรึง CO_2 ในพืช C3 และ C4 ได้ยืนยันแล้วว่า มันสำปะหลังเป็นพืช C3 (Edwards et al., 1990; Angelov et al., 1993; Calatayud et al., 2002) ทั้งนี้ พารามิเตอร์หนึ่งที่ใช้แบ่งพืช C3 จาก C4 ในขั้นต้น คือค่าความเข้มข้นของ CO_2 ในคลอโรพลาสต์ที่เรียกว่าจุดชดเชยคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 compensation point, Γ) โดยที่พืช C3 มีค่าสูงกว่า $40 \mu\text{molCO}_2 \text{ mol}^{-1}$ (พรชัย ไพบูลย์ และสุนทรียัง ชัชวาลย์, 2563) เนื่องจากจุดที่เกิดปฏิกิริยาการบวกลูกลูเลชันโดยเอนไซม์ Ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase (rubisco) ของพืช C3 เกิดในคลอโรพลาสต์ของเซลล์เมโสฟิลล์ (mesophyll cell, MS) ที่ตั้งอยู่รอบช่องว่างของใบ ทำให้ rubisco มีโอกาสทำปฏิกิริยาทั้งกับ CO_2 (carboxylation) และ O_2 (oxygenation) ทำให้มี CO_2 ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการหายใจเชิงแสง (photorespiration, R_p) ได้มาก ค่า Γ จึงมีค่าสูง ขณะที่พืช C4 มีค่า Γ ต่ำมากใกล้เคียงศูนย์ เนื่องจากใบมีการพัฒนากลไกในการเพิ่ม $[\text{CO}_2]$ ภายในเซลล์ให้สูงขึ้น (CO_2 concentrating mechanism, CCM) เพื่อส่งเสริมกระบวนการคาร์บอซิเลชัน และยับยั้งกระบวนการหายใจเชิงแสง โดยปรับโครงสร้างทางด้านสัณฐานวิทยาและขั้นตอนของกระบวนการสังเคราะห์แสงใหม่ ให้เชื่อมต่อเนื่องภายในเซลล์ที่แตกต่างกัน 2 ชนิดคือ MS และ BS (Hatch, 1992) ทั้งยังมีการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการคาร์บอซิเลชันให้สูงขึ้นโดยใช้เอนไซม์หลัก 2 ชนิด คือ Phosphoenolpyruvate carboxylase (PEPc) ในวัฏจักร C4 ที่เกิดขึ้นใน MS และใช้ rubisco ในวัฏจักร C3 ที่เกิดขึ้นใน BS (Taiz & Zeiger, 2006)

กระบวนการสังเคราะห์แสงของใบพืชทุกชนิดประกอบด้วย 2 กระบวนการหลักที่เกิดขึ้นต่อเนื่องกันคือ กระบวนการใช้แสง และกระบวนการคาร์บอซิเลชัน การประเมินศักยภาพการสังเคราะห์แสงของใบพืชจึงจำเป็นต้องทำให้ครอบคลุมทั้ง 2 กระบวนการ โดยวัดเส้นตอบสนองต่อแสง ซึ่งให้ค่าอัตราสังเคราะห์แสงรวมสูงสุด (maximum gross photosynthesis rate, P_{max}) และเส้นตอบสนองต่อคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งให้ค่าประสิทธิภาพของกระบวนการคาร์บอซิเลชัน (carboxylation efficiency, CE) พร้อมกับค่า Γ ในกรณีของมันสำปะหลังแม้เป็นพืช C3 แต่มีความโดดเด่นของอัตราสังเคราะห์แสงสุทธิที่สูง คณะวิจัยได้วัดเส้นตอบสนองของ

ใบมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 60 แล้วพบว่าใบมีค่า $P_{\max}$ $31 \mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ซึ่งอยู่ในระดับเดียวกับพืชกลุ่มพืชโตเร็ว เช่น ข้าว และยูคาลิปตัส นอกจากนี้ยังพบว่า กระบวนการสังเคราะห์แสงของใบเริ่มอิ่มตัวที่ความเข้มแสงระดับปานกลางในช่วง $1,100\text{--}1,300 \mu\text{molPPF m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (พรชัย ไพบูลย์ และสุนทรี ยิ่งชัชวาลย์, 2563) ในการศึกษาครั้งนี้ จึงเป็นการประเมินกระบวนการคาร์บอกซิเลชันของใบมันสำปะหลัง เพื่อความสมบูรณ์ของการรวบรวมพารามิเตอร์ที่อธิบายศักยภาพการสังเคราะห์แสงของใบมันสำปะหลัง ขณะที่ผักโขมซึ่งเป็นพืชที่ทราบโดยสากลว่าเป็นหนึ่งในพืช C4 ใบเลี้ยงคู่เพียงไม่กี่ชนิดในโลก นิยมใช้เป็นพืชต้นแบบในการศึกษาและเปรียบเทียบกระบวนการสังเคราะห์แสงของใบพืช C4 ใบเลี้ยงคู่ และมีปรากฏในประเทศไทย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ศึกษารูปแบบการตอบสนองของอัตราคาร์บอกซิเลชันต่อการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของ CO_2 ในอากาศ ของใบมันสำปะหลังที่เป็นพืช C3 กับใบผักโขมที่เป็นพืช C4

วิธีดำเนินการวิจัย

พืช C3 ที่ใช้เป็นตัวแทนศึกษา คือ มันสำปะหลัง พันธุ์ห้วยบง 60 (เกษตรกรศาสตร์ $50 \times$ ระยะยง 5) ปลูกแบบยกทรงบนดินทรายร่วน โดยใช้ท่อนพันธุ์ยาว 20 ซม. ปักตั้งตรงที่ระยะปลูก 1×1 เมตร เมื่อวันที่ 18 สิงหาคม 2556 ในแปลงแบบอาศัยน้ำฝนของสถานีวิจัยเขาคินซอน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จ.ฉะเชิงเทรา ($\text{N}13^\circ 44.821' \text{ E}101^\circ 33.720'$) หลังจากปลูกได้ 1 เดือน ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 13-13-21 แบบเจาะหลุมด้านข้างแล้วกลบ อัตรา 32 กรัมต่อต้น ควบคุมกำจัดวัชพืชโดยเจ้าหน้าที่ของสถานีวิจัยเขาคินซอน เข้าวัดใบมันสำปะหลังในช่วงที่ต้นโตเต็มที่อายุต้น 7 เดือน ส่วนพืช C4 ที่ใช้เป็นตัวแทนศึกษา คือ ผักโขมใบสีเขียว สายพันธุ์ AS220 ปลูกโดยใช้เมล็ดพันธุ์ของศูนย์วิจัยและพัฒนาพืชผักเขตร้อน (Tropical Vegetable Research Center, TVRC) และย้ายปลูกลงในกระถางภายใต้สภาพอากาศกลางแจ้งที่ TVRC ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม ($\text{N}14^\circ 01.711' \text{ E}99^\circ 58.137'$) ใส่ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) ผสมกับวัสดุปลูกอัตรา 15 กรัมต่อกระถาง และควบคุมกำจัดวัชพืชโดยเจ้าหน้าที่ของ TVRC เข้าวัดใบผักโขมในช่วงที่ต้นโตเต็มที่อายุต้น 45 วัน ศึกษากระบวนการคาร์บอกซิเลชันของใบที่มีพัฒนาการด้านโครงสร้างและระบบสังเคราะห์แสงแล้วเต็มที่ ของมันสำปะหลังตรงกับช่วงลำดับใบที่ 5-10 (ลำดับที่ 1 คือใบอ่อนสุดที่คลี่เต็มที่แล้ว) (พรชัย ไพบูลย์ และคณะ, 2556ก) ของผักโขมตรงกับใบที่มีอายุใบ 8-10 วันหลังจากใบผักโขมเริ่มคลี่ (รุ่งนภา แก้วทองราช และสุนทรี ยิ่งชัชวาลย์, 2552) โดยวัดการตอบสนองต่อ CO_2 ควบคู่กับการวัดรังสีคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนส์ (chlorophyll fluorescence) ด้วยเครื่องวัดอัตราแลกเปลี่ยนแก๊สระบบเปิด (รุ่น LI6400-40 บริษัท LI-COR Biosciences ประเทศสหรัฐอเมริกา) หนีบภาชนะบรรจุใบบริเวณกึ่งกลางใบที่มี

พัฒนาการเต็มที่ กำหนดให้ค่าความเข้มข้นของ CO_2 ในภาชนะบรรจุใบ (C_a) ผันแปรในช่วง $0-2,000 \mu\text{molCO}_2 \text{ mol}_{\text{air}}^{-1}$ และให้ความเข้มข้นแสงสูงคงที่ในระดับที่เพียงพอกระตุ้นให้กระบวนการใช้แสงอิ่มตัว เท่ากับ $1,500 \mu\text{molPPF m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ในมันสำปะหลัง และ $2,500 \mu\text{molPPF m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ในผักโขม (ข้อมูลจากการศึกษาขั้นต้น) กำหนดให้อัตราเร็วของอากาศไหลผ่านใบ (flow rate) เท่ากับ $400 \mu\text{mol s}^{-1}$ อุณหภูมิภาชนะบรรจุใบ $28-30^\circ\text{C}$ ค่าสัดส่วนการนำไอละหว่างผิวใบบนกับผิวใบล่าง (stomatal ratio) เท่ากับ 1 และเพื่อไม่ให้อากาศผันแปรมากขณะวัด ได้ต่อสายยางอ่อนดึงอากาศเข้าเครื่องจากถังพลาสติกขนาด 20 ลิตร (air buffer) ซึ่งภายในแห้งสนิท วัดการตอบสนองต่อ CO_2 ในช่วงเดือนมีนาคม-มิถุนายน 2557 โดยวัดใบมันสำปะหลังทั้งหมด 3 ใบ (ข้า) และใบผักโขม 4 ใบ แต่ละใบมาจากคนละต้น

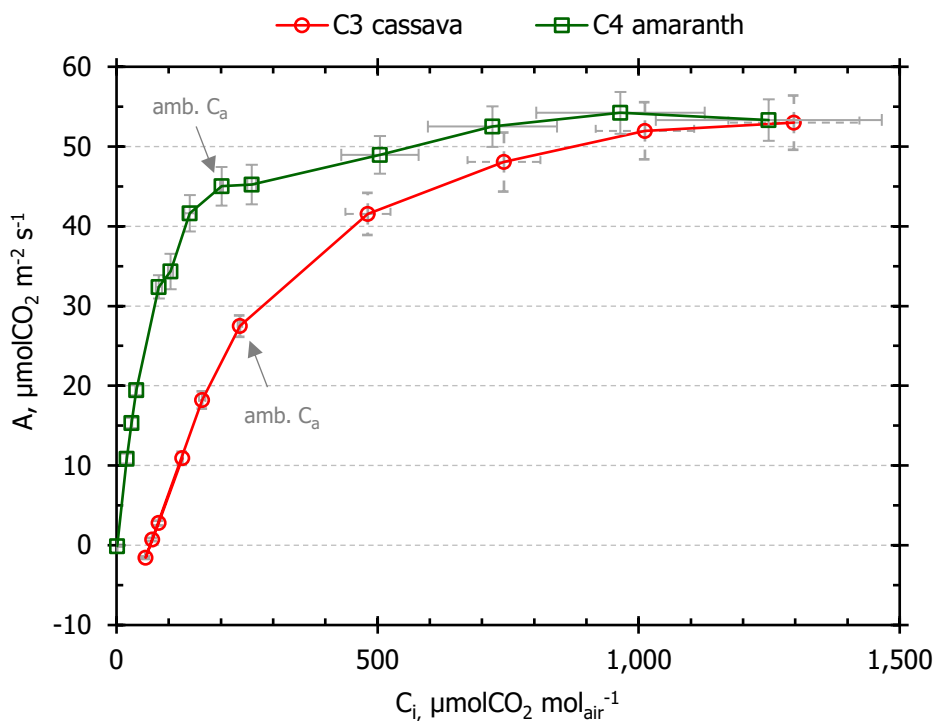
ฟังก์ชันความสัมพันธ์ระหว่างอัตราสังเคราะห์แสงสุทธิ (A) กับ C_i (ความเข้มข้น CO_2 ในช่องว่างใบ) มีลักษณะเชิงเส้นตรง ในรูปสมการ $A=CE \times (C_i - \Gamma)$ ปรากฏในช่วงแรกของเส้นตอบสนองต่อ CO_2 ขณะที่ C_a มีค่า $50-300 \mu\text{molCO}_2 \text{ mol}_{\text{air}}^{-1}$ สำหรับใบมันสำปะหลัง และ $0-100 \mu\text{molCO}_2 \text{ mol}_{\text{air}}^{-1}$ สำหรับใบผักโขม ค่าความชันของฟังก์ชันจะเป็นค่าประสิทธิภาพของกระบวนการคาร์บอกซิเลชัน (CE) และคำนวณจุดชดเชย CO_2 ในช่องว่างใบ (Γ) เป็นค่า C_i ขณะที่ A เป็นศูนย์

พารามิเตอร์ที่ได้นำมาหาค่าเฉลี่ย และทดสอบความแตกต่างทางสถิติของค่าเฉลี่ย 2 กลุ่ม (Two-sample test on means, t-test) ที่ระดับ $p < 0.05$ ด้วยโปรแกรม IBM SPSS Statistics 17

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

เส้นตอบสนองต่อ CO_2 ของใบมันสำปะหลังและผักโขม มีรูปแบบที่แตกต่างกัน (ภาพที่ 1) ที่ค่า C_i เท่ากัน ใบผักโขมมีระดับของ A สูงกว่าใบมันสำปะหลังอย่างชัดเจน โดยเฉพาะในช่วง C_i ต่ำจนถึงประมาณ $500 \mu\text{molCO}_2 \text{ mol}_{\text{air}}^{-1}$ เมื่อ C_i เพิ่มขึ้น ค่า A ของพืชทั้งสองชนิดเริ่มลู่เข้าสู่ระดับสูงสุดและบรรจบกันที่ C_i เกิน $1,000 \mu\text{molCO}_2 \text{ mol}_{\text{air}}^{-1}$ ทั้งนี้ ในช่วงเริ่มต้นที่ค่า A ถูกจำกัดด้วยกิจกรรมของ rubisco (Farquhar et al., 1980; von Caemmerer, 2000) ค่า A ของทั้ง 2 พืชเพิ่มขึ้นตามค่า C_i ด้วยความชันที่ต่างกันชัดเจน ค่าความชันเริ่มต้นนี้แสดงถึงประสิทธิภาพสูงสุดของกระบวนการคาร์บอกซิเลชัน (CE) ซึ่งใบมันสำปะหลัง พันธุ์ห้วยบง 60 มีค่า CE เฉลี่ย $183 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (ตารางที่ 1) เป็นค่าที่สูงกว่ามันสำปะหลังป่า (*Manihot rubricaulis*) ที่มีค่า CE $120 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ แต่ต่ำกว่าสายพันธุ์ M Col 1684 ที่ศูนย์วิจัยเกษตรเขตร้อนนานาชาติ (CIAT) เคยใช้ส่งเสริมเป็นพันธุ์การค้าที่มีค่า CE สูงถึง $220 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (El-Sharkawy, 2006) เมื่อเปรียบเทียบกับพืช C_3 ชนิดอื่นกว่า 20 ชนิดในฐานข้อมูลการสังเคราะห์แสงของพืชเศรษฐกิจ ที่ศูนย์เทคโนโลยีชีวภาพเกษตรมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้รวบรวมจากงานวิจัยตลอด 20 ปี (พรชัย ไพบูลย์ และสุนทรียังษ์ชาลย์, 2563) พบว่า ค่า CE ของมันสำปะหลัง พันธุ์ห้วยบง 60 สูงกว่าพืช C_3 ทุกชนิดทั้งในกลุ่มไม้ผลยืนต้น กลุ่มไม้ยืนต้น

กลุ่มพืชล้มลุก และกลุ่มไม้ดอก ซึ่งมีค่า CE ที่ประเมินด้วยวิธีการเดียวกันอยู่ในช่วง 36-182 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ทั้งนี้ โดยที่ค่า CE ของพืช C3 แสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับค่าอัตราสังเคราะห์แสงรวมสูงสุด (P_{max}) (พรชัย ไพบูลย์ และสุนทรี ยิ่งชัชวาลย์, 2563) ค่า CE ที่สูงของมันสำปะหลังจึงสอดคล้องกับค่า P_{max} ที่พบว่ามีระดับสูงด้วย ซึ่งส่วนหนึ่งน่าจะเกี่ยวข้องกับแผ่นใบมันสำปะหลังที่บางมากอยู่ในช่วง 36-63 g m^{-2} (พรชัย ไพบูลย์ และสุนทรี ยิ่งชัชวาลย์, 2559) ขณะที่ใบยูคาลิปตัสซึ่งมีค่า CE 148 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ มีแผ่นใบหนา 115 g m^{-2} (พรชัย ไพบูลย์ และคณะ, 2556ข) และสับปะรดซึ่งเป็นพืช CAM มีค่า CE ต่ำเพียง 25 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ โดยมีแผ่นใบหนาถึง 175-249 g m^{-2} (พรณิ ชื่นนคร และสุนทรี ยิ่งชัชวาลย์, 2559) แผ่นใบที่บางมากหมายถึงเส้นทางการแพร่ CO_2 ไปยังจุดที่เกิดปฏิกิริยาการบวกลดคาร์บอนมีช่วงสั้น อัตราการแพร่โมเลกุลแก๊สจึงเกิดขึ้นได้เร็ว และอีกเหตุผลหนึ่งน่าจะเกี่ยวข้องกับการที่ใบมันสำปะหลังมีปริมาณไนโตรเจน (N) ที่สูง (พรชัย ไพบูลย์ และสุนทรี ยิ่งชัชวาลย์, 2559) ซึ่งสะท้อนได้ว่าใบมีปริมาณ rubisco ที่สูงด้วย เนื่องจากมีรายงานว่าปริมาณ rubisco สัมพันธ์กับปริมาณ N ในใบพืช C3 โดย 20-30% ของ N ถูกนำไปใช้สร้าง rubisco ซึ่งเป็นโปรตีนที่มีมากที่สุดในใบ และถือเป็นโปรตีนที่มีมากที่สุดในโลก (Ellis, 1979; Makino, 2003)



ภาพที่ 1 เส้นตอบสนองต่อ CO_2 ของใบมันสำปะหลัง และผักโขม ค่าแต่ละจุดคือค่าเฉลี่ย $\pm$ S.E. จำนวน 3-4 ซ้ำ จุดที่ถูกครีซี คือค่าที่ C_a ระดับปัจจุบันที่ 400 $\mu\text{molCO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ air}$

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ย $\pm$ ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard Error, SE) ของพารามิเตอร์เส้นตอบสนองต่อ CO_2 ใบมันสำปะหลัง ($n=3$) และผักโขม ($n=4$)

พารามิเตอร์	มันสำปะหลัง	ผักโขม	<i>p</i> -value	หน่วย
CE	183 ± 2	564 ± 41	*	$\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
Γ	65.0 ± 2.1	1.2 ± 0.6	*	$\mu\text{molCO}_2 \text{ mol}_{\text{air}}^{-1}$
T_{leaf}	33.4 ± 0.7	33.4 ± 0.4	ns	C

* คือ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ

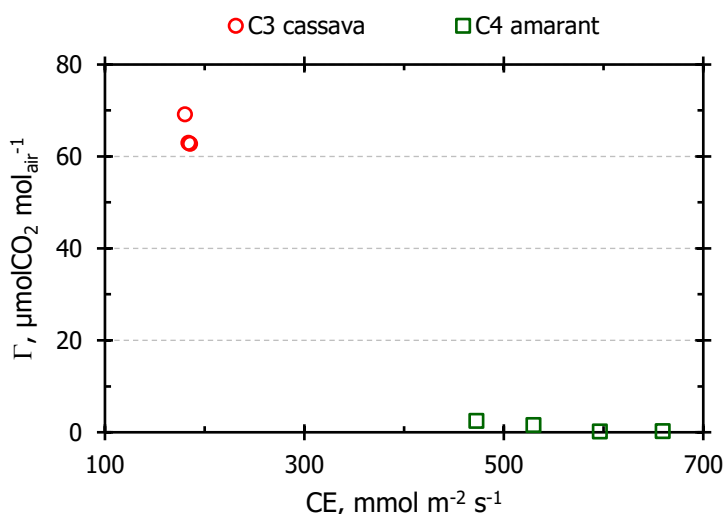
เมื่อคำนวณจุดชดเชย CO_2 ของใบมันสำปะหลัง พบว่า Γ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $65 \mu\text{molCO}_2 \text{ mol}_{\text{air}}^{-1}$ ที่อุณหภูมิใบ 33.4C (ตารางที่ 1) ซึ่งสะท้อนว่าใบมันสำปะหลังมีค่า R_p ที่สูง สอดคล้องกับผลการศึกษาก่อนหน้านี้ที่พบว่า ใบมันสำปะหลัง พันธุ์ห้วยบง 60 มี R_p สูงสุด $12.4 \mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ภายใต้สภาพอากาศระดับปัจจุบัน (พรชัย ไพบูลย์ และสุนทรี ยิ่งชัชวาลย์, 2563) ค่า Γ ที่ได้อยู่ในช่วงเดียวกับมันสำปะหลังหลายสายพันธุ์จากทวีปเอเชีย อเมริกาเหนือ อเมริกากลาง อเมริกาใต้ และที่ปลูกในแปลงทดลองของมหาวิทยาลัยจอร์เจียและศูนย์วิจัยเกษตรเขตร้อนนานาชาติ (CIAT) ที่มีค่าในช่วง $49\text{--}65 \mu\text{l liter}^{-1}$ ($\mu\text{molCO}_2 \text{ mol}_{\text{air}}^{-1}$) ที่อุณหภูมิใบช่วง $30\text{--}32\text{C}$ (Edwards et al., 1990; Angelov et al., 1993) และอยู่ในระดับเดียวกับพืช C_3 ทุกชนิดที่เคยศึกษาก่อนหน้านี้ที่มีค่าในช่วง $48\text{--}87 \mu\text{molCO}_2 \text{ mol}_{\text{air}}^{-1}$ (พรชัย ไพบูลย์ และสุนทรี ยิ่งชัชวาลย์, 2563) ดังนั้น ระดับของ Γ ที่ได้นี้จึงยืนยันว่าใบมันสำปะหลังมีวิถีการสังเคราะห์แสงแบบ C_3

ผักโขมใบสีเขียว สายพันธุ์ AS220 มีค่า CE สูงเท่ากับ $564 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ที่อุณหภูมิใบเดียวกัน (ตารางที่ 1) สอดคล้องกับค่า P_{max} ของใบผักโขมสีเขียวที่มีค่าสูงเท่ากับ $53.6 \mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ภายใต้สภาพอากาศปัจจุบันที่ C_a $400 \mu\text{molCO}_2 \text{ mol}_{\text{air}}^{-1}$ (ข้อมูลจากการศึกษาขั้นต้น) ซึ่งเป็นผลของ PEPC ใน MS และ rubisco ใน BS ร่วมกับที่ผักโขมใบสีเขียวมีแผ่นใบที่บางมากขึ้น นอกจากนี้ ระบบ CCM ของพืชผักโขมช่วยส่งเสริมกระบวนการคาร์บอกซิเลชันควบคู่กับช่วยกด R_p ให้อยู่ในอัตราต่ำที่ $2.5 \mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (ข้อมูลจากการศึกษาขั้นต้น) ทำให้ค่า Γ มีค่าใกล้เคียงศูนย์คืออยู่ที่ $1.2 \mu\text{molCO}_2 \text{ mol}_{\text{air}}^{-1}$ (ตารางที่ 1) ซึ่งเป็นค่าตรงตามลักษณะของใบพืช C_4

ค่า CE ที่สูงมากของใบผักโขม ทำให้ค่า A เริ่มถึงจุดอิ่มตัวที่ C_a ระดับปัจจุบัน (ambient C_a) ที่ $400 \mu\text{molCO}_2 \text{ mol}_{\text{air}}^{-1}$ (ลูกศรสีเทาในภาพที่ 1) เร็วกว่าใบมันสำปะหลังที่ยังไม่ถึงจุดอิ่มตัวอย่างชัดเจน การเพิ่ม C_a ให้สูงขึ้น 2-5 เท่าของระดับปัจจุบัน สามารถยกระดับค่า A ของใบมันสำปะหลังให้สูงขึ้นได้อีกมาก (ภาพที่ 1) จน

มีค่า A สูงสุดได้ถึง $53 \mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (เพิ่มขึ้น 93%) มีการศึกษาก่อนหน้านี้ที่รายงานว่า การเพิ่ม C_a ให้สูงขึ้น 2 เท่าของระดับปัจจุบัน ในช่วง $700\text{--}800 \mu\text{l liter}^{-1}$ ทำให้ A เริ่มอิ่มตัว จนมีค่าสูงสุดได้ถึง $50 \mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Edwards et al., 1990; Angelov et al., 1993) ดังนั้น การสร้างมวลของมันสำปะหลังจึงมีโอกาสมากขึ้นได้จากการเพิ่มระดับ C_a ในบรรยากาศ ในทางกลับกันการเพิ่ม C_a ให้สูงขึ้น 2-5 เท่าของระดับปัจจุบันไม่ได้เร่งกระบวนการคาร์บอนกสิเลชันของใบผักโขมให้สูงขึ้นมากนัก (ภาพที่ 1) เนื่องจากมีกลไกในการเพิ่ม $[\text{CO}_2]$ ภายในใบให้อยู่ในระดับที่สูงได้อย่างมีประสิทธิภาพอยู่แล้ว

ความแตกต่างของกระบวนการคาร์บอนกสิเลชันระหว่างใบพืช C_3 กับ C_4 ของมันสำปะหลังกับผักโขม แสดงได้ชัดเจนด้วยความสัมพันธ์ระหว่างค่า Γ กับค่า CE (ภาพที่ 2) ทำให้เห็นการแยกกลุ่มว่า ใบพืช C_4 มีค่า CE สูง แสดงว่าเส้นทางการแพร่ CO_2 จากช่องว่างในใบเข้าสู่จุดที่เกิดปฏิกิริยาตรึง CO_2 มีลักษณะที่เอื้อให้เกิดการเคลื่อนที่ของ CO_2 ได้รวดเร็ว เมื่อ Γ มีค่าต่ำใกล้เคียงศูนย์ แรงขับเคลื่อนของ CO_2 (ความแตกต่างของ $C_i\text{--}\Gamma$) จึงมีระดับสูง ผลลัพธ์คือ ทำให้อัตราไหลของ CO_2 เข้าใบหรือค่า A ของใบผักโขมมีค่าสูงได้ ในขณะที่ใบมันสำปะหลังแม้มีค่า CE ที่สูงกว่าใบพืชในกลุ่ม C_3 แต่ยังต่ำกว่าค่าของใบผักโขมสี่เท่าถึง 3 เท่า เส้นทางการไหลจึงมีลักษณะที่ทำให้การแพร่โมเลกุลเกิดได้ช้ากว่า เมื่อค่า Γ มีระดับสูง แรงขับเคลื่อนของ CO_2 จึงต่ำกว่า ทำให้ค่า A ของใบมันสำปะหลังมีค่าต่ำกว่าใบผักโขม กล่าวได้ว่าใบพืช C_3 และ C_4 ไม่เพียงมีกระบวนการตรึง CO_2 ที่ทำให้มีค่า Γ ต่างกัน แต่เส้นทางการแพร่ก็มีลักษณะที่ปรับเปลี่ยนความยากง่ายให้สอดคล้องไปด้วยกัน



ภาพที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างจุดชดเชย CO_2 (Γ) กับค่าประสิทธิภาพของกระบวนการคาร์บอนกสิเลชัน (CE) ของใบมันสำปะหลังและผักโขม ค่าที่แสดงแต่ละจุดคือค่าจาก 1 ใบ

สรุป

ผักโขมใบสีเขียวที่เป็นพืช C4 มีประสิทธิภาพของกระบวนการคาร์บอกซิเลชันที่สูงกว่าใบมันสำปะหลังที่เป็นพืช C3 มากถึง 3 เท่า และมีจุดชดเชย CO_2 ที่ต่ำมากใกล้ศูนย์ สะท้อนถึงระบบ CCM ของใบพืช C4 ที่ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงภายใต้สภาพอากาศปัจจุบัน

ข้อเสนอแนะ

1. การเพิ่ม C_a ให้สูงขึ้นจากระดับปัจจุบันที่ $400 \mu\text{molCO}_2 \text{ mol}_{\text{air}}^{-1}$ ไม่ได้ช่วยยกค่า A ของใบผักโขมมากนัก แต่กลับช่วยยกค่า A ของใบมันสำปะหลังให้สูงขึ้นได้มาก ดังนั้น ภายใต้สภาวะโลกร้อนที่ $[\text{CO}_2]$ เพิ่มขึ้นต่อเนื่องทุกปี จึงอาจช่วยส่งเสริมกระบวนการคาร์บอกซิเลชันและยกระดับศักยภาพการสังเคราะห์แสงของใบมันสำปะหลังให้สูงขึ้นได้
2. การเพิ่ม C_a ให้สูงขึ้นจะช่วยเพิ่มผลผลิตมันสำปะหลังได้มากขึ้นเพียงใด ยังเป็นโจทย์ที่น่าสนใจและท้าทายให้ศึกษาต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากศูนย์ความเป็นเลิศด้านเทคโนโลยีชีวภาพเกษตร สำนักพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ขอขอบคุณ ดร. กิ่งกานท์ พานิชนอก สถาบันวิจัยเขาคันทรง คณະเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และ ดร. สิริกุล วะสี ศูนย์วิจัยและพัฒนาพืชผักเขตร้อน ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่อนุเคราะห์ให้เข้าใช้พื้นที่แปลงวิจัย พืชทดลอง และให้ความช่วยเหลืออย่างเต็มที่

เอกสารอ้างอิง

- พรชัย ไพบูลย์, พรรณี ชื่นนคร, และสุนทรี ยิ่งชัชวาลย์. (2556ก). **พัฒนาการของไขมันสำปะหลังตามลำดับใบและศักยภาพการสังเคราะห์แสงของใบ**. นครปฐม: ศูนย์เทคโนโลยีชีวภาพเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- พรชัย ไพบูลย์, พรรณี ชื่นนคร, และสุนทรี ยิ่งชัชวาลย์. (2556ข). **ลักษณะสำคัญทางสรีรวิทยาของสายต้นยูคาลิปตัสที่ได้รับการถ่ายยีนเทียบกับสายต้นธรรมชาติ**. นครปฐม: ศูนย์เทคโนโลยีชีวภาพเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- พรชัย ไพบูลย์, และสุนทรี ยิ่งชัชวาลย์. (2559). **มวลชีวภาพและปริมาณธาตุอาหารพืชหลักของต้นมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 60**. นครปฐม: ศูนย์เทคโนโลยีชีวภาพเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- พรชัย ไพบูลย์, และสุนทรี ยิ่งชัชวาลย์. (2563). **การสร้างฐานข้อมูลการสังเคราะห์แสงของพืชเศรษฐกิจเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในการผลิตพืชที่มีประสิทธิภาพ**. นครปฐม: ศูนย์เทคโนโลยีชีวภาพเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- พรรณี ชื่นนคร, และสุนทรี ยิ่งชัชวาลย์. (2559). **มวลชีวภาพและธาตุอาหารพืชหลักของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย**. นครปฐม: ศูนย์เทคโนโลยีชีวภาพเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- รุ่งนภา แก้วทองราช, และสุนทรี ยิ่งชัชวาลย์. (2552). **ศักยภาพการสังเคราะห์แสงของใบผักโขม, วารสารวิทยศาสตร์เกษตร, 40(3), 401–410.**
- Angelov, M. N., Sun, J., Byrd, G. T., Brown, R. H., & Black, C. C. (1993). Novel characteristics of cassava, *Manihot esculenta* Crantz, a reputed C3–C4 intermediate photosynthesis species, **Photosynthesis Research**, 38, 61–72.
- Calatayud, P. A., Barón, C. H., Velásquez, H., Arroyave, J. A., & Lamaze, T. (2002). Wild manihot species do not possess C4 photosynthesis, **Annals of Botany**, 89(1), 125–127.
- Edwards, G. E., Sheta, E., Moore, B. D., Dai, Z., Franceschi, V. R., Cheng, S.-H., Lin, C.-H., & Ku, M. S. B. (1990). Photosynthetic characteristics of cassava (*Manihot esculenta* Crantz), a C3 species with chlorenchymatous bundle sheath cells, **Plant and Cell Physiology**, 31, 1199–1206.
- Ellis, R. J. (1979). The most abundant protein in the world, **Trends in Biochemical Sciences**, 4(11), 241–244.

- El-Sharkawy, M. A. (2006). International research on cassava photosynthesis, productivity, eco-physiology, & responses to environmental stresses in the tropics, **Photosynthetica**, 44(4), 481–512.
- Farquhar, G. D., von Caemmerer, S., & Berry, J. A. (1980). A biochemical-model of photosynthetic CO₂ assimilation in leaves of C3 species, **Planta**, 149, 78–90.
- Hatch, M. D. (1992). C4 photosynthesis: An unlikely process full of surprises, **Plant and Cell Physiology**, 33, 333–342.
- Makino, A. (2003). Rubisco and Nitrogen Relationships in Rice: Leaf Photosynthesis and Plant Growth, **Soil Science and Plant Nutrition**, 49(3), 319-327.
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2006). **Plant Physiology** (4th ed.). Sunderland: Sinauer Associates.
- Tans, P., & Keeling, R. (2020). **Atmospheric CO₂ at Mauna Loa Observatory, Hawaii**. Retrieved from <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends>
- von Caemmerer, S. (2000). **Biochemical models of leaf photosynthesis**. Victoria: CSIRO Publishing.

ลักษณะกายวิภาคศาสตร์แผ่นใบและก้านใบของพืชสกุลบานไม่รู้โรย (*Gomphrena* L.) ในประเทศไทยอาติกะห์ จะปะกียา¹ อนิษฐาน ศรีนวล^{2*} วิโรจน์ เกษรบัว³

Received : April 17, 2020

Revised : August 18, 2020

Accepted : August 25, 2020

บทคัดย่อ

ศึกษาลักษณะกายวิภาคศาสตร์แผ่นใบและก้านใบของพืชสกุลบานไม่รู้โรย (*Gomphrena* L.) ในประเทศไทย จำนวน 3 ชนิด ได้แก่ *Gomphrena celosioides* Mart., *G. globosa* L. และ *G. serrata* L. เพื่อบรรยายลักษณะกายวิภาคศาสตร์ สร้างรูปวิธานสำหรับระบุชนิดพืช และเป็นฐานข้อมูลของพืชสกุลบานไม่รู้โรยในประเทศไทย โดยเตรียมสไลด์ตัวอย่างด้วยกรรมวิธีลอกผิว (Peeling method) และกรรมวิธีพาราฟฟิน (Paraffin method) ศึกษาลักษณะกายวิภาคศาสตร์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง ผลการศึกษาพบลักษณะสำคัญที่สามารถนำมาระบุชนิดพืชได้คือ 1) รูปร่างและลักษณะผนังเซลล์ด้านตั้งฉากกับผิวของเซลล์ในเนื้อเยื่อชั้นผิว 2) รูปร่างเส้นกลางใบด้านล่าง 3) การมีหรือไม่มีเนื้อเยื่อคอลเลงคิมาในก้านใบ และ 4) ความหนาแน่นของโทรโคมบริเวณเนื้อเยื่อชั้นผิวใบด้านล่าง พืชที่มีความหนาแน่นของโทรโคมมากที่สุดคือ *G. celosioides* (23 ± 2.57 โทรโคมต่อตารางมิลลิเมตร) และพืชที่มีความหนาแน่นน้อยที่สุดคือ *G. serrata* (11 ± 2.31 โทรโคมต่อตารางมิลลิเมตร)

คำสำคัญ: กายวิภาคศาสตร์พืช แผ่นใบและก้านใบ พืชสกุลบานไม่รู้โรย

¹ นักศึกษาระดับปริญญาโท คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
กรุงเทพมหานคร อีเมล: atikah.chapakiya@sg.swu.ac.th

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
กรุงเทพมหานคร อีเมล: a.srinual.swu@gmail.com

³ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
อุบลราชธานี อีเมล : wirot.k@ubu.ac.th

* ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล: a.srinual.swu@gmail.com

LEAF BLADE AND PETIOLE ANATOMICAL CHARACTERISTICS OF *GOMPHRENA* L. IN THAILAND

Atikah Chapakiya¹ Anitthan Srinual^{2*} Wirot Kesonbua³

Abstract

An investigation of leaf blade and petiole anatomical characteristics of *Gomphrena* L. in Thailand including *Gomphrena celosioides* Mart., *G. globosa* L. and *G. serrata* L. The purpose of this research was to describe and assign anatomical characteristics to the species identification key and serve as a database of *Gomphrena* in Thailand. The methods used in examining were the epidermal peeling method and the paraffin method. A light microscope was used to study of anatomical characteristics. These findings indicated that the considerable anatomical characteristics for species identification are 1) shape and anticlinal wall outline of the epidermal cells 2) shape of midrib on abaxial side 3) the presence or absence of collenchyma in petiole and 4) the density of trichome on abaxial epidermis, highest trichome density was observed in *G. celosioides* (23 ± 2.57 trichome/mm²) and lowest in *G. serrata* (11 ± 2.31 trichome/mm²).

Keywords: Plant anatomy, Leaf blade and petiole, *Gomphrena*

¹ Master student, Faculty of Science, Srinakharinwirot University
Bangkok, e-mail: atikah.chapakiya@g.swu.ac.th

² Assistant Professor Dr. Faculty of Science, Srinakharinwirot University
Bangkok, e-mail: a.srinual.swu@gmail.com

³ Assistant Professor Dr. Faculty of Science, Ubon Ratchathani University,
Ubon Ratchathani, e-mail: wirot.k@ubu.ac.th

* Corresponding author, e-mail: a.srinual.swu@gmail.com

บทนำ

พืชสกุลบานไม่รู้โรย (*Gomphrena* L.) จัดอยู่ในวงศ์บานไม่รู้โรย (Amaranthaceae) มีลักษณะวิสัยเป็นไม้ล้มลุกอายุปีเดียวหรือหลายปี ลำต้นมีขนมากหรือน้อย ใบออกตรงข้าม ขอบเรียบ ลักษณะช่อดอกออกบริเวณปลายหรือซอกใบ หรือช่อดอกเชิงลดสั้น ดอกเป็นดอกสมบูรณ์เพศ ใบประดับติดแน่นไม่ร่วง ใบประดับย่อย 2 ใบ กลีบรวงร่วงง่าย บางใส เป็นร่องคล้ายท้องเรือ มีสี กลีบรวง 5 กลีบ ขนาดสั้นเชื่อมติดกันที่ฐาน แผ่นใบด้านบนมีขนเหมือนขนแกะขึ้นหนาแน่น เกสรเพศผู้ 5 อัน ก้านชูเกสรเพศผู้เชื่อมติดกันครึ่งหนึ่งของความยาวหรือมากกว่า ปลายแยกเป็นแฉกลึก รังไข่แบนราบตามแนวยาว ยอดเกสรเพศเมียแยกเป็นแฉกลึก 2 แฉก ก้านชูรังไข่ห้อยลงตรงและยาว ราบแบนตามแนวยาว ผลแบบกระเปาะเมื่อแก่ไม่แตก (Chayamarit, 1992)

ในประเทศไทยสามารถพบพืชสกุลนี้ได้ทั่วไปทุกภูมิภาคและมีรายงานในหนังสือพรรณพฤกษชาติของประเทศไทย (Chayamarit, 1992) และรายชื่อพรรณไม้แห่งประเทศไทย เต็ม สมิตินันท์ (สำนักงานหอพรรณไม้, 2557) จำนวน 2 ชนิด คือ *Gomphrena celosioides* Mart. (บานไม่รู้โรยป่า) และ *G. globosa* L. (บานไม่รู้โรย) ในขณะที่ Chen and Li (2012) รายงานในหนังสือพรรณพฤกษชาติของประเทศไทยได้เห็นว่าพบพืชสกุลบานไม่รู้โรยชนิด *G. serrata* L. โดยพืชดังกล่าวมีรายงานการกระจายพันธุ์ในประเทศไทยจัดเป็นพืชที่มีแนวโน้มรุกรานและเป็นวัชพืชที่ขึ้นตามแปลงปลูกทั่วไป (พงศ์เทพ สุวรรณวาริ, 2558) ดังนั้น พืชสกุลนี้จึงมีการกระจายพันธุ์ในประเทศไทยจำนวนทั้งสิ้น 3 ชนิด โดยพืชสกุลนี้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลากหลายด้าน

ปัจจุบันพืชบางชนิดในสกุลบานไม่รู้โรยยังมีปัญหาในการจัดจำแนกและระบุชนิดพืชให้ถูกต้องเนื่องจากมีลักษณะสัณฐานวิทยาที่คล้ายคลึงกันมาก (El-Ghamery et al., 2017) เช่น *G. celosioides* และ *G. serrata* มีลักษณะลำต้นและใบคล้ายกัน จึงมักเข้าใจผิดว่าเป็นพืชชนิดเดียวกัน หากไม่ได้พิจารณาถึงองค์ประกอบภายในของดอก เช่น กลีบรวงและยอดเกสรเพศเมีย (Chen & Li, 2012) จึงมีการนำข้อมูลการศึกษาในด้านต่าง ๆ มาใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนการจัดจำแนกและระบุชนิดพืช ซึ่งกายวิภาคศาสตร์เป็นอีกเทคนิคหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ในการระบุชนิดพืชได้ในกรณีที่พืชมีสัณฐานวิทยาที่ใกล้เคียงกัน และใช้ในการระบุชนิดพืชได้ในกรณีที่พืชมีเฉพาะโครงสร้างที่ไม่เกี่ยวข้องกับการสืบพันธุ์ (Vegetative structure) เช่น ใบและลำต้น

การศึกษากายวิภาคศาสตร์ของพืชสกุลบานไม่รู้โรยโดยส่วนใหญ่เป็นงานวิจัยจากต่างประเทศ ซึ่งมีการรายงานลักษณะกายวิภาคศาสตร์ทั่วไปของพืชสกุลนี้และพบว่าสามารถนำลักษณะกายวิภาคศาสตร์บางลักษณะมาใช้ในการระบุชนิดพืชได้ (Carvalho et al., 2010; Metcalfe & Chalk, 1957; Ogundipe et al., 2008) ส่วนในประเทศไทยยังไม่มีรายงานการศึกษากายวิภาคศาสตร์ของพืชสกุลบานไม่รู้โรยที่มีการกระจายพันธุ์ในประเทศไทย ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาลักษณะกายวิภาคศาสตร์แผ่นใบและก้านใบ เพื่อนำลักษณะที่ได้มาสร้างฐานข้อมูลสำหรับการระบุชนิดพืชและเป็นข้อมูลสำหรับการตรวจสอบเอกลักษณ์ของพืชแต่ละชนิด อีก

ทั้งยังสามารถนำไปประยุกต์ต่อยอดในงานวิจัยด้านอื่นที่เกี่ยวข้อง เช่น ด้านแพทย์แผนโบราณ บรรพชีวินวิทยา เกษศาสตร์ หรือเกษตรศาสตร์ เป็นต้น

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เปรียบเทียบลักษณะกายวิภาคศาสตร์แผ่นใบและก้านใบของพืชสกุลบานไม่รู้โรยในประเทศไทย
2. บรรยายลักษณะกายวิภาคศาสตร์แผ่นใบและก้านใบของพืชที่ศึกษา
3. สร้างรูปวิธานโดยใช้ลักษณะทางกายวิภาคศาสตร์ในการระบุชนิดพืชที่ศึกษา

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเก็บตัวอย่างและระบุชื่อวิทยาศาสตร์

ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับพืชสกุลบานไม่รู้โรย สืบค้นและเก็บตัวอย่างพืชที่เจริญเติบโตเต็มที่และมีโครงสร้างที่สมบูรณ์ จำนวน 3 ชนิด ได้แก่ *G. celosioides* (บานไม่รู้โรยป่า) *G. globosa* (บานไม่รู้โรย) และ *G. serrata* พืชที่ศึกษาทั้งสามชนิดเจริญในสภาพแวดล้อมคล้ายกันคือในที่โล่งแจ้งมีแสงแดดส่องถึงตลอดทั้งวัน สภาพดินเป็นดินร่วนปนทราย โดยเก็บตัวอย่างพืชแต่ละชนิด ชนิดละ 15 ตัวอย่าง ตัวอย่างที่เก็บได้ส่วนหนึ่งนำมาเก็บเป็นพรรณไม้อ้างอิง (หมายเลขตัวอย่างพรรณไม้อ้างอิง *G. celosioides* (A. Chapakiya 03/2562), *G. globosa* (A. Chapakiya 016/2562) และ *G. serrata* (A. Chapakiya 04/2562)) และระบุชื่อวิทยาศาสตร์โดยใช้รูปวิธานจาก Flora of Thailand (Chayamarit, 1992) และ Flora of Taiwan (Chen & Li, 2012) ตัวอย่างอีกส่วนหนึ่งนำมารักษาสภาพเซลล์ด้วยสารละลายเอทานอลความเข้มข้น 70 เปอร์เซ็นต์ เพื่อนำมาเตรียมสไลด์ถาวรกายวิภาคศาสตร์แผ่นใบและก้านใบ เก็บรักษาตัวอย่างพรรณไม้อ้างอิงและตัวอย่างดองไว้ที่ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

2. ศึกษาเนื้อเยื่อชั้นผิวใบโดยกรรมวิธีลอกผิว (Peeling method) ตามวิธีของ Johansen (1940)

ศึกษาลักษณะกายวิภาคศาสตร์ของเนื้อเยื่อชั้นผิวโดยนำตัวอย่างที่รักษาสภาพเซลล์ไว้ในสารละลายเอทานอลความเข้มข้น 70 เปอร์เซ็นต์ มาลอกผิวด้านที่ไม่ต้องการออกด้วยใบมีดโกน จากนั้นนำมาย้อมด้วยสีซาฟรานิน (Safranin) ความเข้มข้น 1.5 เปอร์เซ็นต์ที่ละลายในเอทานอล 70 เปอร์เซ็นต์ ดึงน้ำออก (Dehydrate) ด้วยสารละลายเอทานอลความเข้มข้น 70, 95 และ 100 เปอร์เซ็นต์ และย้ายตัวอย่างไปแช่ในสารละลายเอทานอลความเข้มข้น 100 เปอร์เซ็นต์ผสมกับไซลีน (Xylene) อัตราส่วน 1 : 1 จากนั้นทำให้ตัวอย่างใสโดยนำไปแช่ในสารละลายไซลีน เป็นเวลา 10 นาที ก่อนนำตัวอย่างมาฟีนิกส์ไลต์ด้วย DePeX ตัวอย่างพืชแต่ละชนิดทำสไลด์ถาวรจำนวน 15 ซ้ำ

3. ศึกษาภาคตัดขวางของแผ่นใบและก้านใบโดยกรรมวิธีพาราฟฟิน (Paraffin method) ตามวิธีของ Johansen (1940)

ตัดชิ้นตัวอย่างแผ่นใบพืช 3 บริเวณ คือ เส้นกลางใบ ขอบใบ และระหว่างขอบใบกับเส้นกลางใบ ตัดบริเวณกึ่งกลางของก้านใบ บริเวณละ 15 ซม. จากนั้นนำชิ้นส่วนดังกล่าวแช่ไว้ในสารละลายเอทานอลความเข้มข้น 70 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลาประมาณ 24 ชั่วโมง ดึงน้ำออกด้วยสารละลาย tertiary butyl alcohol (TBA) แล้วมาแช่ในสารละลาย TBA บริสุทธิ์กับพาราฟฟินออยล์ (Paraffin oil) อัตราส่วน 1:1 จากนั้นแช่ชิ้นตัวอย่างพืชในพาราฟฟินบริสุทธิ์และนำเข้าสู่ตู้อบที่อุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส ผึ่งชิ้นตัวอย่างพืช (Embedding) ลงในแมกนิฟิมพ์ เมื่อพาราฟฟินแข็งตัวแล้วนำไปตัดด้วยเครื่องมือโครโทมแบบเลื่อน (Sliding microtome) นำริบบ่อนที่ได้มาติดบนสไลด์ด้วยเจลาติน (Gelatin) ย้อมสีย้อมสไลด์ตัวอย่างด้วยสีซาฟรานินและฟาสต์กรีน (Fast green) และฟีนิกสไลต์ด้วย DePeX

4. การศึกษาลักษณะทางกายวิภาคศาสตร์จากสไลด์ถาวร

บรรยายลักษณะทางกายวิภาคศาสตร์จากสไลด์ถาวรที่ได้จากกรรมวิธีลอกผิวและกรรมวิธีพาราฟฟินด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง วัดขนาดเซลล์และความหนาแน่นของโทรโคม (Trichome density) จำนวน 25 เซลล์ โดยใช้โปรแกรม ImageJ และหาค่าดัชนีความหนาแน่นของปากใบ (Stomatal index) แล้วนำข้อมูลเชิงปริมาณไปวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-Way ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ด้วยโปรแกรม SPSS จากนั้นนำลักษณะทางกายวิภาคศาสตร์ที่ได้มาสร้างรูปวิธานระบุชนิดพืช และบันทึกภาพลักษณะเซลล์และเนื้อเยื่อด้วยกล้อง LEICA MC170HD

ผลการวิจัย

จากการศึกษาลักษณะทางกายวิภาคศาสตร์ของพืชสกุลบานไม่รู้โรย จำนวน 3 ชนิด พืชแต่ละชนิดมีลักษณะทางกายวิภาคศาสตร์ทั่วไป ดังนี้

1. *G. celosioides* (บานไม่รู้โรยป่า)

เซลล์ในเนื้อเยื่อชั้นผิวทั้งด้านบนและด้านล่างมีรูปร่างไม่แน่นอน (Irregular shape) มีผิวเคลือบคิวทินเรียบ ผนังเซลล์ในเนื้อเยื่อชั้นผิวเว้าตื้น (Sinuous wall) ทั้งสองด้าน มีปากใบแบบอะนอโมไซติก (ภาพที่ 1 ก และ ข) โทรโคมเป็นแบบขนหลายเซลล์กระจายอยู่ทั่วแผ่นใบทั้งด้านบนและด้านล่าง (ภาพที่ 1 ช) มีช่องสารหลั่ง (Secretory cavity) (ตารางที่ 1) โทรโคมมีความหนาแน่น 5 และ 23 โทรโคมต่อพื้นที่ 1 ตารางมิลลิเมตร ปากใบด้านบนและด้านล่างมีความหนาแน่น 305 และ 116 ปากใบต่อตารางมิลลิเมตร ความหนาแน่นของเซลล์ในเนื้อเยื่อชั้นผิวด้านบนและด้านล่าง 1084 และ 795 เซลล์ต่อตารางมิลลิเมตร และปากใบด้านบนและด้านล่างมีดัชนีความหนาแน่นปากใบ 23 และ 17 ปากใบต่อตารางมิลลิเมตร (ตารางที่ 2)

ภาคตัดตามขวางของแผ่นใบในบริเวณขอบใบมีปลายขอบใบมน (ภาพที่ 2 ก) มีผิวเคลือบคิวทินชัดเจน บริเวณเส้นกลางใบที่แผ่นใบด้านบนและแผ่นใบด้านล่างมีรูปร่างครึ่งวงกลม (ภาพที่ 2 ข) มัดท่อลำเลียง (Vascular bundle) แบบเคียงข้าง 1 มัด มีเยื่อหุ้มท่อลำเลียงล้อมรอบมัดท่อลำเลียง ภายในมัดท่อลำเลียงมีเซลล์เส้นใยคล้ายวุ้น (Gelatinous fiber) ไม่พบเซลล์เส้นใยปกติ (Fiber) (ตารางที่ 1) บริเวณเส้นกลางใบมีผลิกรูปดาวอยู่ภายในเซลล์พาเรงคิมา (Parenchyma cell) ในบริเวณคอร์เทกซ์ และมีจำนวนมัดท่อลำเลียง 1 มัด (ตารางที่ 1) บริเวณระหว่างขอบใบและเส้นกลางใบมีเนื้อเยื่อชั้นผิวเรียง 1 ชั้น ใบเป็นแบบด้านบนและด้านล่างต่างกัน (Dorsiventral mesophyll) มีโครงสร้าง Kranz anatomy แผ่นใบมีเซลล์แพลลิสาด (Palisade cell) ติดกับผิวใบด้านบนเพียงด้านเดียว เซลล์มีรูปร่างเป็นแท่งยาวเรียงเป็นระเบียบ มีเซลล์สปองจี (Spongy cell) เรียงตัวหลายชั้นไม่เป็นระเบียบอยู่ติดกับผิวใบด้านล่าง มักพบผลิกรูปดาวภายในเซลล์พาเรงคิมาและช่องอากาศ (Air space) อยู่บริเวณเซลล์แพลลิสาดและสปองจี (ตารางที่ 1) มีความหนาของชั้นเนื้อเยื่อผิวด้านบนและด้านล่าง 22 และ 27 ไมโครเมตร ชั้นมีโซฟิลล์มีความหนา 221 ไมโครเมตร ชั้นแพลลิสาดมีความหนา 36 ไมโครเมตร ชั้นสปองจีมีความหนา 86 ไมโครเมตร เซลล์คลอเรงคิมา (Chlorenchyma cell) ในชั้นสปองจีที่อยู่ถัดจากเยื่อหุ้มท่อลำเลียงมีความหนา 36 ไมโครเมตร (ตารางที่ 2)

ภาคตัดตามขวางของก้านใบมีมัดท่อลำเลียงคล้ายจันทร์เสี้ยว (ภาพที่ 3 ก) มีผิวเคลือบคิวทินชัดเจน เซลล์ในเนื้อเยื่อชั้นผิวเรียงตัวกันเป็นระเบียบ 1 ชั้น มีโทรโคมแบบขนหลายเซลล์ บริเวณคอร์เทกซ์ประกอบด้วยเนื้อเยื่อคอลเลงคิมาอยู่ถัดจากเนื้อเยื่อชั้นผิวใบ (ภาพที่ 3 จ) และมีเนื้อเยื่อพาเรงคิมา มีผลิกรูปดาวอยู่ภายในเซลล์พาเรงคิมา และมีมัดท่อลำเลียงแบบเคียงข้างแยกออกหลายมัด ภายในมัดท่อลำเลียงมีเซลล์เส้นใยแบบปกติและเซลล์เส้นใยคล้ายวุ้น (ภาพที่ 3 ง) และมีความหนาของเนื้อเยื่อชั้นผิวด้านบนและด้านล่าง 18 และ 11 ไมโครเมตร (ตารางที่ 2)

2. *G. globosa* (บานไม่รู้โรย)

เซลล์ในเนื้อเยื่อชั้นผิวทั้งด้านบนและด้านล่างมีรูปร่างหลายเหลี่ยม (Polygonal shape) และผิวเคลือบคิวทินเรียบ รูปร่างผนังเซลล์ในเนื้อเยื่อชั้นผิวด้านตรง (Straight wall) ทั้งสองด้าน (ภาพที่ 1 ค และ ง) มีปากใบแบบอะนอไมไซติกและแบบแอนไอโซไซติก มีโทรโคมเป็นแบบขนหลายเซลล์กระจายอยู่ทั่วแผ่นใบทั้งสองด้าน มีผลิกรูปดาว (Druse crystal) อยู่ภายในเซลล์ในเนื้อเยื่อชั้นผิว รวมถึงช่องสารหลั่ง (ตารางที่ 1) โทรโคมมีความหนาแน่น 13 และ 19 โทรโคมต่อตารางมิลลิเมตร ปากใบด้านบนและด้านล่างมีความหนาแน่น 156 และ 137 ปากใบต่อตารางมิลลิเมตร ความหนาแน่นของเซลล์ในเนื้อเยื่อชั้นผิวด้านบนและด้านล่าง 662 และ 681 เซลล์ต่อตารางมิลลิเมตร และปากใบด้านบนและด้านล่างมีดัชนีความหนาแน่น 19 และ 17 ปากใบต่อตารางมิลลิเมตร (ตารางที่ 2)

ภาคตัดตามขวางของแผ่นใบในบริเวณขอบใบมีปลายขอบใบมน (ภาพที่ 2 ค) มีผิวเคลือบคิวทินชัดเจน บริเวณเส้นกลางใบที่แผ่นใบด้านบนบนและแผ่นใบด้านล่างมีรูปร่างคล้ายตัวยู (ภาพที่ 2 ง) มีมัดท่อลำเลียงแบบเคียงข้าง แยกออก 2-3 มัด มีเยื่อหุ้มท่อลำเลียงล้อมรอบมัดท่อลำเลียง ภายในมัดท่อลำเลียงมีเซลล์เส้นใยปกติ และเซลล์เส้นใยคล้ายวุ้น (ตารางที่ 1) บริเวณเส้นกลางใบมีผลิกรูปดาวอยู่ภายในเซลล์พาเรงคิมา และมีจำนวนมัดท่อลำเลียง 2-3 มัด (ตารางที่ 1) บริเวณระหว่างขอบใบและเส้นกลางใบ มีเนื้อเยื่อชั้นผิวเรียง 1 ชั้น มีโครงสร้าง Kranz anatomy ใบเป็นแบบด้านบนและด้านล่างต่างกัน มีเซลล์แฟลชีเขตติดกับผิวใบด้านบนเพียงด้านเดียว เซลล์มีรูปร่างเป็นแท่งยาวเรียงเป็นระเบียบ (ภาพที่ 2 ช) มีเซลล์สpongiform หลายชั้นไม่เป็นระเบียบอยู่ติดกับผิวใบด้านล่าง มักพบผลิกรูปดาวภายในเซลล์พาเรงคิมาและช่องอากาศอยู่บริเวณเซลล์แฟลชีเขตและสpongiform (ตารางที่ 1) มีความหนาของชั้นเนื้อเยื่อผิวด้านบนและด้านล่าง 44 และ 40 ไมโครเมตร ชั้นมีโซฟิลล์มีความหนา 231 ไมโครเมตร ชั้นแฟลชีเขตมีความหนา 37 ไมโครเมตร ชั้นสpongiform มีความหนา 87 ไมโครเมตร และเซลล์คอลเรนคิมาในชั้นสpongiform ที่อยู่ถัดจากเยื่อหุ้มท่อลำเลียงมีความหนา 19 ไมโครเมตร (ตารางที่ 2)

ภาคตัดตามขวางของก้านใบมีมัดท่อลำเลียงคล้ายจันทร์เสี้ยว (ภาพที่ 3 ข) มีผิวเคลือบคิวทินชัดเจน เซลล์ในเนื้อเยื่อชั้นผิวเรียงตัวกันเป็นระเบียบ 1 ชั้น มีไทรโคมแบบขนหลายเซลล์ บริเวณคอร์เทกซ์ประกอบด้วยเนื้อเยื่อคอลเลงคิมาอยู่ถัดจากเนื้อเยื่อชั้นผิวใบและมีเนื้อเยื่อพาเรงคิมาเป็นส่วนประกอบหลัก และมีผลิกรูปดาวอยู่ภายในเซลล์พาเรงคิมา และมีมัดท่อลำเลียงแบบเคียงข้างแยกออกหลายมัด ภายในมัดท่อลำเลียงมีเซลล์เส้นใยปกติและเส้นใยคล้ายวุ้น (ภาพที่ 3 ข) และมีความหนาของชั้นเนื้อเยื่อผิวด้านบนและด้านล่าง 18 และ 18 ไมโครเมตร (ตารางที่ 2)

3. *G. serrata* L.

เซลล์ในเนื้อเยื่อชั้นผิวทั้งด้านบนและด้านล่างมีรูปร่างไม่แน่นอน และมีผิวเคลือบคิวทินเรียบ ผิวหนังเซลล์ในเนื้อเยื่อชั้นผิวเว้าตื้นทั้งสองด้าน มีปากใบแบบอะนอโมไซติก (ภาพที่ 1 จ และ ฉ) มีไทรโคมเป็นแบบขนหลายเซลล์กระจายอยู่ทั่วแผ่นใบทั้งสองด้าน มีช่องสารหลัง (ภาพที่ 1 ช) (ตารางที่ 1) ไทรโคมมีความหนาแน่น 6 และ 11 ไทรโคมต่อตารางมิลลิเมตร ปากใบด้านบนและด้านล่างมีความหนาแน่น 278 และ 168 ปากใบต่อตารางมิลลิเมตร ความหนาแน่นของเซลล์ในเนื้อเยื่อชั้นผิวด้านบนและด้านล่าง 908 และ 720 เซลล์ต่อตารางมิลลิเมตร และปากใบด้านบนและด้านล่างมีดัชนีความหนาแน่น 24 และ 19 ปากใบต่อพื้นที่ 1 ตารางมิลลิเมตร (ตารางที่ 2)

ภาคตัดตามขวางของแผ่นใบในบริเวณขอบใบมีปลายขอบใบมน (ภาพที่ 2 จ) มีผิวเคลือบคิวทินชัดเจน (ตารางที่ 1) บริเวณเส้นกลางใบที่แผ่นใบด้านบนบนและแผ่นใบด้านล่างมีรูปร่างคล้ายรูปตัวยู (ภาพที่ 2 ฉ) มีมัดท่อลำเลียงเป็นแบบเคียงข้าง 1 มัด มีเยื่อหุ้มท่อลำเลียงล้อมรอบมัดท่อลำเลียง ภายในมัดท่อลำเลียงมีเซลล์เส้นใยคล้ายวุ้น ไม่พบเซลล์เส้นใยปกติ บริเวณเส้นกลางใบมีผลิกรูปดาวอยู่ภายในเซลล์พาเรงคิมาและมี

จำนวนมัดต่อลำเลียง 1 มัด (ตารางที่ 1) บริเวณระหว่างขอบใบและเส้นกลางใบมีเนื้อเยื่อชั้นผิวเรียง 1 ชั้น ใบเป็นแบบด้านบนและด้านล่างต่างกัน มีโครงสร้าง Kranz anatomy มีเซลล์แพลลิสต์ติดกับผิวใบด้านบนเพียงด้านเดียว เซลล์มีรูปร่างเป็นแท่งเรียงเป็นระเบียบ มีเซลล์สpongiform เรียงตัวหลายชั้นไม่เป็นระเบียบอยู่ติดกับผิวใบด้านล่าง (ภาพที่ 2 ข) มักพบผลึกรูปดาวอยู่ภายในเซลล์พารากิมา (ภาพที่ 3 ข) และช่องอากาศแทรกอยู่ทั้งสองด้านของแผ่นใบ (ตารางที่ 1) มีความหนาของชั้นเนื้อเยื่อผิวด้านบนและด้านล่าง 26 และ 24 ไมโครเมตร ชั้นมีโซฟิลล์มีความหนา 177 ไมโครเมตร ชั้นแพลลิสต์มีความหนา 36 ไมโครเมตร ชั้นสpongiform มีความหนา 69 ไมโครเมตร และเซลล์คอลเลงคิมาในชั้นสpongiform ที่อยู่ถัดจากเยื่อหุ้มต่อลำเลียงมีความหนา 20 ไมโครเมตร (ตารางที่ 2)

ภาคตัดตามขวางของก้านใบมีมัดต่อลำเลียงคล้ายจันทร์เสี้ยว (ภาพที่ 3 ค) มีผิวเคลือบคิวทินชัดเจน เซลล์ในเนื้อเยื่อชั้นผิวเรียงตัวกันเป็นระเบียบ 1 ชั้น มีโทรโคมแบบขนหลายเซลล์ มีเนื้อเยื่อพารากิมาถัดจากเนื้อเยื่อชั้นผิวใบ (ภาพที่ 3 ง) ไม่พบเนื้อเยื่อคอลเลงคิมา พบผลึกรูปดาวอยู่ภายในเซลล์พารากิมาในบริเวณคอร์เทกซ์ มีมัดต่อลำเลียงเป็นแบบเฉียงข้างแยกออกหลายมัด ภายในมัดต่อลำเลียงมีเซลล์เส้นใยปกติและเซลล์เส้นใยคล้ายวุ้น และมีความหนาด้านบนและด้านล่าง 20 และ 17 ไมโครเมตร (ตารางที่ 2)

ลักษณะกายวิภาคศาสตร์แผ่นใบและก้านใบของพืชสกุลบานไม่รู้โรย เมื่อนำมาพิจารณาาร่วมกันสามารถนำมาสร้างเป็นรูปวิธาน ดังนี้

รูปวิธานระบุชนิด โดยใช้ลักษณะกายวิภาคศาสตร์แผ่นใบและก้านใบ

1. เซลล์ในเนื้อเยื่อชั้นผิวทั้งด้านบนและด้านล่างมีรูปร่างไม่แน่นอน..... 2
1. เซลล์ในเนื้อเยื่อชั้นผิวทั้งด้านบนและด้านล่างมีรูปร่างแบบหลายเหลี่ยม..... *G. globosa*
2. รูปร่างเส้นกลางใบครึ่งวงกลมและมีเนื้อเยื่อคอลเลงคิมาในก้านใบ..... *G. celosioides*
2. รูปร่างเส้นกลางใบรูปตัวยูและไม่มีเนื้อเยื่อคอลเลงคิมาในก้านใบ..... *G. serrata*

ตารางที่ 1 ภายวิภาคศาสตร์แผ่นใบและก้านใบของพืชสกุลบานไม่รู้โรยที่ศึกษา

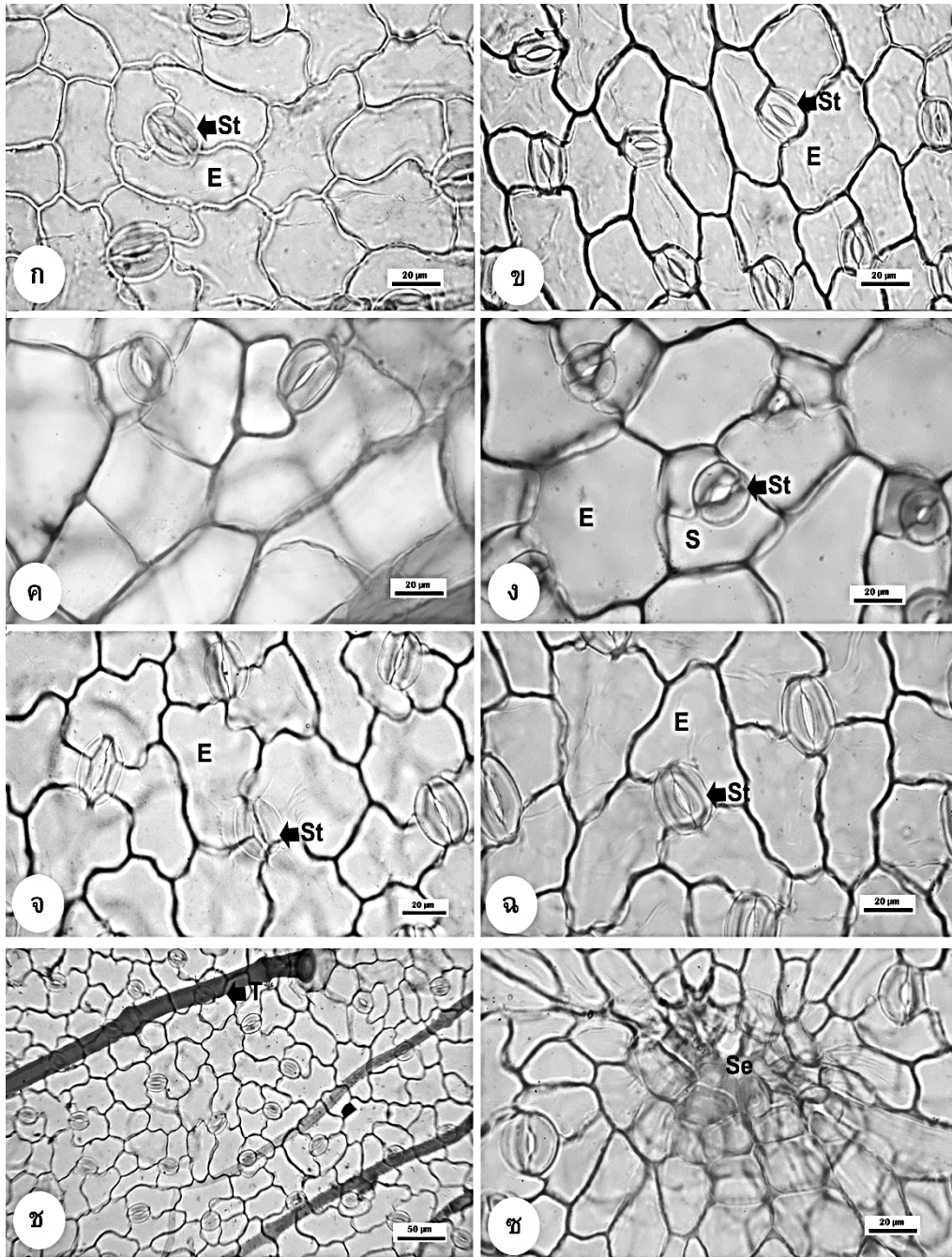
โครงสร้างพืช	ลักษณะกายวิภาคศาสตร์	ชนิดพืชที่ศึกษา			
		<i>G. celosioides</i>	<i>G. globosa</i>	<i>G. serrata</i>	
เนื้อเยื่อชั้นผิวใบ	ด้านบน	รูปร่างเซลล์	Ir	Po	Ir
		ผนังเซลล์	Si	St	Si
		ชนิดปากใบ	An	An/ Ani	An
		ผลิกรูปดาว	-	+	-
		โครงสร้างสารหลัง	+	-	+
		ไทรโคม	+	+	+
	ด้านล่าง	รูปร่างเซลล์	Ir	Po	Ir
		ผนังเซลล์	Si	St	Si
		ชนิดปากใบ	An	An/ Ani	An
		ผลิกรูปดาว	-	-	-
		โครงสร้างสารหลัง	+	+	+
		ไทรโคม	+	+	+
แผ่นใบ	ขอบใบ	รูปร่างขอบใบ	Ub	Ub	Ub
	เส้น กลางใบ	รูปร่างด้านบน/ด้านล่าง	Cv/ Sem	Cv/ U	Cv/ U
		ผลิกรูปดาว	+	+	+
		จำนวนมัดท่อลำเลียง	1	2-3	1
ก้านใบ	เนื้อเยื่อพื้น	Pa/ C	Pa/ C	Pa	

หมายเหตุ - = ไม่ปรากฏ, + = ปรากฏ, An= ปากใบอะนอโมไซติก, Ani= ปากใบแอนไอไซติก, C= คอลเลงคิ
มา, Cv= โค้งนูน, Ir= รูปร่างไม่แน่นอน, Pa= พาเรงคิมา, Po= รูปร่างหลายเหลี่ยม, Sem= รูปร่าง
ครึ่งวงกลม, Si= เว้าตื้น, St= ตรง, U= รูปร่างคล้ายรูปตัวยู และ Ub= ขอบปลายมน

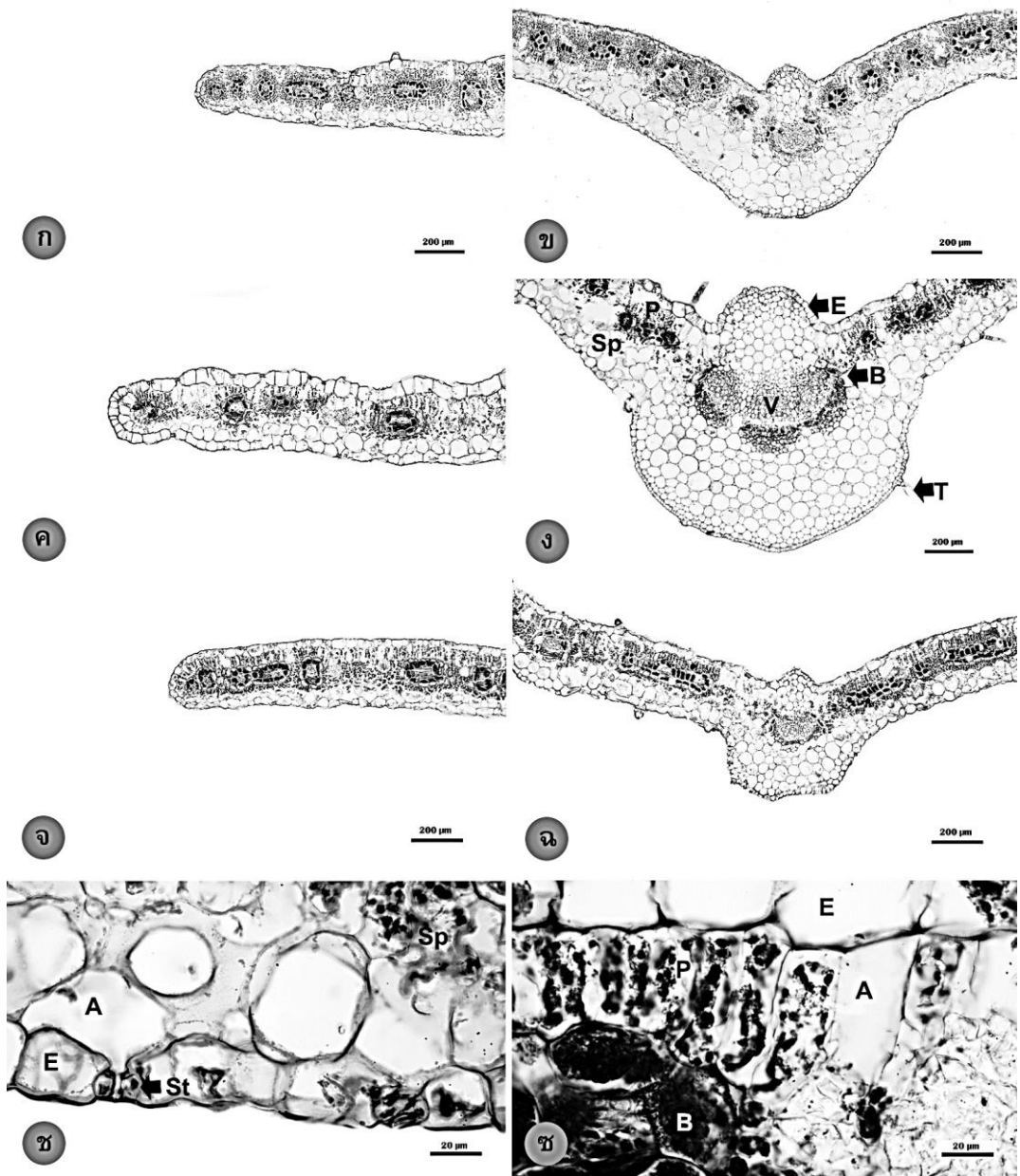
ตารางที่ 2 ข้อมูลเชิงปริมาณของแผ่นใบและก้านใบพืชสกุลบานไม่รู้โรยที่ศึกษา

โครงสร้างพืช		ชนิดพืชที่ศึกษา			F	p
เนื้อเยื่อชั้นผิวใบ (1 mm ²)		<i>G. celosioides</i>	<i>G. globosa</i>	<i>G. serrata</i>		
ความหนาแน่นไทรโคม	ด้านบน	5 ± 2.26 ^b	13 ± 4.10 ^a	6 ± 2.54 ^b	17.504	.000*
	ด้านล่าง	23 ± 2.57 ^a	19 ± 5.43 ^b	11 ± 2.31 ^c	24.652	.000*
ความหนาแน่นปากใบ	ด้านบน	305 ± 3.07 ^a	156 ± 2.15 ^b	278 ± 3.27 ^a	29.705	.000*
	ด้านล่าง	166 ± 2.59 ^a	137 ± 1.07 ^b	168 ± 1.27 ^a	3.619	.041*
ความหนาแน่นเซลล์ในเนื้อเยื่อชั้นผิว	ด้านบน	1084 ± 6.78 ^a	662 ± 7.86 ^c	908 ± 8.73 ^b	28.679	.000*
	ด้านล่าง	795 ± 8.92 ^a	681 ± 4.48 ^b	720 ± 8.73 ^{ab}	2.975	.068
ดัชนีความหนาแน่นปากใบ	ด้านบน	23 ± 3.42 ^a	19 ± 2.36 ^b	24 ± 2.67 ^a	7.636	.002*
	ด้านล่าง	17 ± 3.13 ^{ab}	17 ± 1.21 ^b	19 ± 0.60 ^a	2.654	.089
ภาคตัดขวางแผ่นใบและก้านใบ (μm)						
ความหนาของเนื้อเยื่อชั้นผิว	ด้านบน	22 ± 2.32 ^c	44 ± 7.98 ^a	26 ± 4.46 ^b	119.278	.000*
	ด้านล่าง	27 ± 4.55 ^b	40 ± 6.18 ^a	24 ± 4.02 ^b	68.055	.000*
ความหนาของชั้นมิโซฟิลล์		211 ± 14.42 ^b	231 ± 18.34 ^a	177 ± 14.06 ^c	76.214	.000*
ความหนาของชั้นแพลลิด		36 ± 3.93 ^a	37 ± 5.78 ^a	36 ± 3.48 ^a	0.409	.666
ความหนาของชั้นสปองจี		86 ± 14.25 ^a	87 ± 16.27 ^a	69 ± 10.47 ^b	13.787	.000*
ความหนาของคลอเรงคิมาในชั้นสปองจี		36 ± 5.02 ^a	19 ± 4.15 ^b	20 ± 3.83 ^b	115.067	.000*
ความหนาของเนื้อเยื่อชั้นผิวก้านใบ	ด้านบน	18 ± 1.75 ^b	18 ± 2.31 ^b	20 ± 3.50 ^a	8.054	.001*
	ด้านล่าง	11 ± 2.10 ^b	18 ± 2.55 ^a	17 ± 2.83 ^a	50.239	.000*

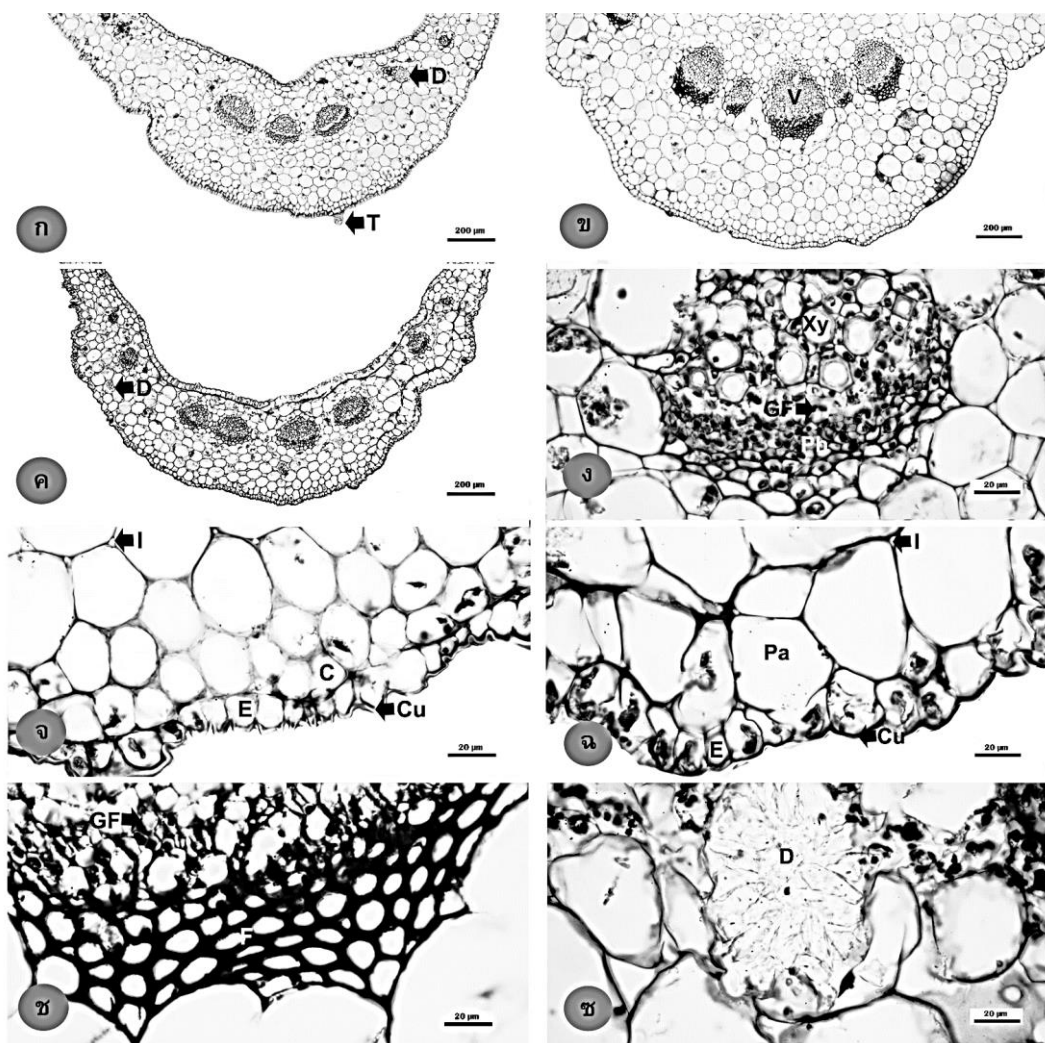
หมายเหตุ *มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05, F = ค่าการทดสอบความแปรปรวน, p = ค่าความน่าจะเป็นในการทดสอบสมมติฐานที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05, อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็ก (a, b, c) ที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 1 ลักษณะกายวิภาคศาสตร์ของเนื้อเยื่อชั้นผิวใบ: ก.-ข. เนื้อเยื่อชั้นผิวใบด้านบนและด้านล่าง (*G. celosioides*) ค.-ง. เนื้อเยื่อชั้นผิวใบด้านบนและด้านล่าง (*G. globosa*) จ.-ฉ.เนื้อเยื่อชั้นผิวใบด้านบนและด้านล่าง (*G. serrata*) ช. ไทรโคมแบบขนหลายเซลล์ (*G. celosioides*) และ ช. ช่องสารหลัง (*G. serrata*) (E = เซลล์ในเนื้อเยื่อชั้นผิวใบ, Se = ช่องสารหลัง, St = ปากใบ และ T = ไทรโคม)



ภาพที่ 2 ลักษณะกายวิภาคศาสตร์ในภาคตัดขวางแผ่นใบ: ก.-ง. ขอบใบและเส้นกลางใบของ (ก.-ข. *G. celosioides* ค.-ง. *G. globosa* และ จ.-ด. *G. serrata*) ข. แผ่นใบด้านล่าง (*G. serrata*) และ ช. แผ่นใบด้านบน (*G. globosa*) (A = ช่องอากาศ, B = เยื่อหุ้มท่อลำเลียง, D = ผลิกรูปดาว, E = เซลล์ในเนื้อเยื่อชั้นผิว, P = แพลลิเซด, Sp = สpongจี, St = ปากใบ และ T = ไทรโคม)



ภาพที่ 3 ลักษณะกายวิภาคศาสตร์ในภาคตัดขวางก้านใบ (ก.-ช.) และแผ่นใบ (ซ.): ก.-ค. มัดท่อลำเลียงคล้าย จันทรีเสี้ยว (ก. *G. celosioides* ข. *G. globosa* และ ค. *G. serrata*) ง.-จ. มัดท่อลำเลียงและเนื้อเยื่อ คอลเลงคิมาติดกับเนื้อเยื่อชั้นผิวด้านล่างของก้านใบ (*G. celosioides*) ฉ. เนื้อเยื่อพาเรงคิมาติดกับเนื้อเยื่อชั้นผิวด้านล่างของก้านใบ (*G. serrata*) ช. เซลล์เส้นใยคล้ายวุ้นและเส้นใยปกติของก้านใบ (*G. globosa*) และ ซ. ผลิกรูปดาวในเซลล์พาเรงคิมาของแผ่นใบ (*G. serrata*) (C = คอลเลงคิมา, Cu = ผิวเคลือบคิวทิน, D = ผลิกรูปดาว, E = เนื้อเยื่อชั้นผิว, F = เส้นใยปกติ, GF = เส้นใยคล้ายวุ้น, I = ช่องว่างระหว่างเซลล์, Pa = พาเรงคิมา, Ph = เนื้อเยื่อโฟลเอ็ม, T = ไทรโคม, V = มัดท่อลำเลียง และ Xy = เนื้อเยื่อไซเล็ม)

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการศึกษากายวิภาคศาสตร์แผ่นใบและก้านใบของพืชสกุลบานไม่รู้โรย พบลักษณะที่สามารถนำมาพิจารณาการระบุชนิด ได้ดังนี้

1. รูปร่างเซลล์ในเนื้อเยื่อชั้นผิว พืชที่ศึกษามีเซลล์ในเนื้อเยื่อชั้นผิวรูปร่างไม่แน่นอนและมีผนังเซลล์เว้าตื้น ยกเว้นบานไม่รู้โรยที่มีเซลล์รูปร่างหลายเหลี่ยมและมีผนังเซลล์เรียบ ลักษณะดังกล่าวสามารถนำมาใช้ในการระบุชนิดพืชที่ศึกษาได้ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Carvalho et al. (2010) ที่กล่าวถึงความสำคัญของรูปร่างเซลล์ในเนื้อเยื่อชั้นผิวใบของพืชสกุลบานไม่รู้โรยต่อการระบุชนิดและการจัดจำแนกด้านอนุกรมวิธาน และสามารถระบุชนิดพืชเบื้องต้นจากรูปร่างเซลล์ในเนื้อเยื่อชั้นผิวใบ นอกจากนี้ Ogundipe et al. (2008) ได้รายงานว่าบานไม่รู้โรยปามีรูปร่างเซลล์ในเนื้อเยื่อชั้นผิวใบแบบไม่แน่นอน มีผนังเซลล์ในเนื้อเยื่อชั้นผิวเว้าตื้นและมีปากใบแบบอะนอโมไซติก ส่วนบานไม่รู้โรยมีรูปร่างเซลล์ในเนื้อเยื่อชั้นผิวใบแบบหลายเหลี่ยม มีผนังเซลล์ในเนื้อเยื่อชั้นผิวตรง มีปากใบเป็นแบบอะนอโมไซติกและแอนไอโซไซติก รวมถึงลักษณะของโทรโคมที่เป็นแบบขนหลายเซลล์ ซึ่งสอดคล้องกับการวิจัยในครั้งนี้ด้วย (ตารางที่ 1)

2. ภาคตัดขวางแผ่นใบและก้านใบ บานไม่รู้โรยป่าและ *G. serrata* พบเส้นใยคล้ายวุ้นและไม่พบเส้นใยแบบปกติ ยกเว้นบานไม่รู้โรยที่พบทั้งเส้นใยปกติและเส้นใยคล้ายวุ้น รูปร่างของเส้นกลางใบด้านล่างคล้ายรูปตัวยู ยกเว้นบานไม่รู้โรยปามีรูปร่างของเส้นกลางใบด้านล่างเป็นครึ่งวงกลม ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Ogundipe et al. (2008) ที่รายงานถึงลักษณะของแผ่นใบและก้านใบของบานไม่รู้โรยป่า มีรูปร่างของเส้นกลางใบด้านล่างเป็นครึ่งวงกลมและมีเนื้อเยื่อคอลเลงคิมอยู่ถัดจากเนื้อเยื่อผิวก้านใบ ยกเว้น *G. serrata* ที่ไม่พบเนื้อเยื่อคอลเลงคิมอยู่ถัดจากเนื้อเยื่อผิวก้านใบตามที่มีในรายงานของ Prasanth (2018) (ตารางที่ 1)

3. จำนวนโทรโคม พืชที่ศึกษาทุกชนิดมีโทรโคมหลายเซลล์กระจายอยู่ทั่วแผ่นใบทั้งด้านบนและด้านล่าง ในพืชทุกชนิดมีความหนาแน่นของโทรโคมที่เนื้อเยื่อชั้นผิวใบด้านล่างมากกว่าด้านบน เมื่อนับจำนวนโทรโคมต่อพื้นที่ 1 ตารางมิลลิเมตร พบว่า บานไม่รู้โรยปามีจำนวนของโทรโคมมากที่สุดที่ 23 โทรโคมต่อ 1 ตารางมิลลิเมตร ในขณะที่บานไม่รู้โรยและ *G. serrata* มีจำนวนโทรโคมที่ 19 และ 11 (ตารางที่ 2) และเมื่อนำมาวิเคราะห์ทางสถิติโดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพบว่า พืชทั้งสามชนิดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากการศึกษาสามารถใช้จำนวนโทรโคมในการระบุชนิดร่วมกับลักษณะอื่น ๆ ได้ อย่างไรก็ตาม ลักษณะเชิงปริมาณบางลักษณะอาจมีการเปลี่ยนแปลงได้ตามสภาพแวดล้อมที่พืชอาศัยอยู่ (Metcalf & Chalk, 1957) ดังนั้นจึงต้องเลือกลักษณะที่มีค่าแตกต่างกันชัดเจนหากนำไปใช้ในการระบุชนิด

เมื่อพิจารณากายวิภาคศาสตร์ของพืชสกุลบานไม่รู้โรยกับสภาพแวดล้อมที่พืชแต่ละชนิดอาศัยอยู่คือบริเวณพื้นที่รกร้างซึ่งอยู่กลางแจ้งและค่อนข้างแห้งแล้งพบว่า พืชที่ศึกษาเป็นพืช C4 มีโครงสร้างพิเศษ คือ

Kranz anatomy ที่ทำให้พืชสกุลนี้ทนทานต่อสภาวะร้อนและแห้งแล้งได้ดีกว่าพืช C3 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sage et al. (2007) และ Carolin et al. (1978) ที่รายงานลักษณะกายวิภาคศาสตร์และการกระจายพันธุ์ของพืชวงศ์บานไม่รู้โรยว่าเป็นพืชที่เจริญได้ดีในกลางแจ้ง และรายงานว่าโครงสร้าง Kranz anatomy เป็นลักษณะร่วมของพืชวงศ์บานไม่รู้โรยอีกด้วย (Metcalf & Chalk, 1957)

ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ถือเป็นการศึกษาเบื้องต้นที่ทำให้ทราบถึงลักษณะกายวิภาคศาสตร์ของแผ่นใบและก้านใบพืชสกุลบานไม่รู้โรยที่ยังไม่มีการรายงานในประเทศไทยมาก่อน และได้รู้ปริิธานสำหรับนำไปใช้ในการสนับสนุนงานทางด้านอนุกรมวิธาน นอกจากนี้ ยังเป็นการเพิ่มพูนฐานข้อมูลกายวิภาคศาสตร์ของพืชสกุลนี้ในประเทศไทย อันจะนำไปสู่การจัดจำแนกและการระบุชนิดพืชในวงศ์นี้ต่อไป

ข้อเสนอแนะ

ควรต่อยอดการศึกษาในอวัยวะของลำต้นและราก เพื่อเป็นการเพิ่มลักษณะสำหรับนำไปใช้ในการสร้างรูปวิธานให้มีความชัดเจนมากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒที่อนุเคราะห์ห้องปฏิบัติการและอุปกรณ์ในการทำวิจัย ขอขอบคุณโครงการส่งเสริมการผลิตครูที่มีความรู้ความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ (สควค.) ที่สนับสนุนทุนทรัพย์ในการดำเนินการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- พงศ์เทพ สุวรรณวาริ. (2558). การสำรวจชนิดพันธุ์ต่างถิ่นในพื้นที่เกาะช้างและหมู่เกาะใกล้เคียง จังหวัดตราด. สืบค้นจาก <http://sutir.sut.ac.th:8080/jspui/bitstream/123456789/5794/1/Fulltext.pdf>
- สำนักงานหอพรรณไม้. (2557). ชื่อพรรณไม้แห่งประเทศไทย เต็ม สมิตินันท์ (ฉบับแก้ไขเพิ่มเติม พ.ศ. 2557). กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์สำนักงานพระพุทธศาสนาแห่งชาติ.
- Carvalho, S. M. F. D., Gomes, M. R. D. A., Silva, P. Í. T., & Báo, S. N. (2010). Leaf surfaces of *Gomphrena* spp. (Amaranthaceae) from Cerrado biome. *Biocell*, 34(1), 23-35.
- Carolin, R., Jacobs, S., & Veski, M. (1978). Kranz cells and mesophyll in the Chenopodiales. *Australian Journal of Botany*, 26(5), 683-698.
- Chayamarit, K. (Eds.). (1992). *Flora of Thailand vol. 5 part 4*. Bangkok: Office of the Forest Herbarium Department of National Parks.

- Chen, S. H., & Li, Y. C. (2012). Remarks on the species of *Gomphrena* (Amaranthaceae) of Taiwan. **Taiwania**, 57(3), 312-317.
- El-Ghamery, A. A., Sadek, A. M., & Abdelbar, O. H. (2017). Comparative anatomical studies on some species of the genus *Amaranthus* (Family: Amaranthaceae) for the development of an identification guide. **Annals of Agricultural Sciences**, 62(1), 1-9.
- Johansen, D. A. (1940). **Plant Microtechnique**. London: Editorial McGraw-Hill.
- Metcalfe, C. R., & Chalk, L. (1957). **Anatomy of the dicotyledons (Vol. 2)**. London: At The Clarendon Press.
- Ogundipe, O., Ajayi, G., & Adeyemi, T. (2008). Phytoanatomical and antimicrobial studies on *Gomphrena celosioides* Mart. **Hamdard Medicus**, 51(3), 146-156.
- Prasanth, D. S. N. B. K. (2018). Preliminary phytochemical, pharmacognostic and physicochemical evaluation of leaf of *Gomphrena serrata*. **Advanced Herbal Medicine**, 4(2), 16-25.
- Sage, R. F., Sage, T. L., Percy, R. W., & Borsch, T. (2007). The taxonomic distribution of C4 photosynthesis in Amaranthaceae sensu stricto. **American Journal of Botany**, 94(12), 1992-2003.

ผลของการทดแทนเกลือโซเดียมคลอไรด์ด้วยเกลือโพแทสเซียมคลอไรด์ ต่อคุณภาพของข้าวเกรียบหอยนางรม

กุลพร พุทธิมี^{1*} วริชชนม์ นิลนนท์²

Received : May 14, 2020

Revised : August 19, 2020

Accepted : August 25, 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการทดแทนเกลือโซเดียมคลอไรด์ด้วยเกลือโพแทสเซียมคลอไรด์ในผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบหอยนางรม ทำการศึกษาคุณภาพทางเคมี จุลินทรีย์ และการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบลดโซเดียม โดยการทดแทนเกลือโซเดียมคลอไรด์ด้วยเกลือโพแทสเซียมคลอไรด์ที่แตกต่างกัน 5 ระดับ คือ ร้อยละ 0 (สูตรควบคุม) 25, 50, 75 และ 100 และลดปริมาณผงปรุงรสจากสูตรพื้นฐานลงร้อยละ 50 พบว่า ข้าวเกรียบหอยนางรมที่ทดแทนเกลือโซเดียมคลอไรด์ด้วยเกลือโพแทสเซียมคลอไรด์ที่ร้อยละ 100 ผู้ทดสอบไม่รับรู้รสขม มีคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี ความกรอบ ความเค็ม และความชอบโดยรวม ไม่มีความแตกต่างจากข้าวเกรียบหอยนางรมสูตรควบคุม โดยได้รับคะแนนความชอบด้านสี ในระดับชอบมาก ด้านลักษณะปรากฏ กลิ่นรส รสชาติ ความกรอบ และการยอมรับโดยรวม ในระดับชอบปานกลาง และความชอบด้านความเค็ม อยู่ในระดับชอบเล็กน้อย คุณภาพด้านความชื้นในข้าวเกรียบหอยนางรมสูตรลดโซเดียม มีความชื้นเท่ากับ ร้อยละ 2.06 และมีปริมาณโซเดียมเท่ากับ 882.33 mg/100g ซึ่งมีปริมาณโซเดียมลดลงจากสูตรพื้นฐาน หรือมีปริมาณโซเดียมลดลงจากสูตรเดิม ร้อยละ 35.65 ซึ่งสามารถกล่าวอ้างได้ว่าเป็นผลิตภัณฑ์ลดโซเดียมตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 182 (2541) และมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า 30 CFU/g มีเชื้อ *Escherichia coli* น้อยกว่า 3.0 MPN/g เชื้อ *Staphylococcus aureus* น้อยกว่า 10 CFU/g และตรวจไม่พบเชื้อรา ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน เรื่อง ข้าวเกรียบ (มผช.107/2554)

คำสำคัญ: เกลือโซเดียมคลอไรด์ เกลือโพแทสเซียมคลอไรด์ ข้าวเกรียบหอยนางรม ลดโซเดียม

¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี
อีเมล: kun290@hotmail.com

² รองศาสตราจารย์ ดร. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏ
รำไพพรรณี อีเมล: waritchon_n@hotmail.com

*ผู้รับผิดชอบหลัก อีเมล: kun290@hotmail.com

EFFECTS OF SODIUM CHLORIDE REPLACEMENT WITH POTASSIUM CHLORIDE ON QUALITIES OF OYSTER CRISPY

Kunlaporn Puttame^{1*} Waritchon Ninlanon²

Abstract

The objective of this research was to determine the substitution of sodium chloride with potassium chloride in oyster cracker product. Study the chemical quality, microbiological and sensory evaluation that affect the sodium reducing oyster cracker product. Sodium chloride substitution with potassium chloride at 5 different levels ; 0 (control), 25, 50, 75 and 100% by weight, and reducing the amount of seasoning powder from basic formula by 50%. The results showed that the tester did not recognize the bitter taste of a cracker that substituted 100% sodium chloride with potassium chloride salt. There were scores of sensory acceptance in appearance, color, crispness, salinity and overall liking that non-significant from the control formula oyster cracker, the preference scores of color was a like very much level, appearance, odor, flavor, crispness and overall liking were like moderately level, and the salinity was like slightly level. The oyster cracker substitute sodium chloride with 100% potassium chloride were 2.06% of moisture content, 882.33 mg/100g of sodium content, which has a lower sodium content of the basic formula or sodium content was reduced from 35.65% the previous formula, which can be claimed as a reduced-sodium products. According to the Notification of the Ministry of Health No. 182 (2541), total microorganism found was < 30 CFU/g, *Escherichia coli* < 3.0 MPN/g, *Staphylococcus aureus* < 10 CFU/g and no mold was detected. The chemical and microbiological qualities of the product had met Thai Community Product Standard of crispy (TCPS 107/2554).

Keywords: Sodium chloride, Potassium chloride, Oyster Cracker, Reduced Sodium

¹ Assistant Professor of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Technology, Rambhai Barni Rajabhat University, e-mail: kun290@hotmail.com

² Associate Professor Dr. of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Technology, Rambhai Barni Rajabhat University, e-mail: waritchon_n@hotmail.com

*Corresponding author, e-mail: kun290@hotmail.com

บทนำ

ข้าวเกรียบเป็นอาหารที่คนไทยส่วนใหญ่นิยมรับประทานเป็นอาหารว่างชนิดหนึ่งที่ทำจากแป้งเป็นส่วนประกอบหลัก อาจมีส่วนประกอบของเนื้อสัตว์ หรือผัก หรือผลไม้ เช่น ปลา กุ้ง หอยนางรม ฟักทอง เผือก งาดำ งาขาว เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้กับข้าวเกรียบ บดผสมให้เข้ากับเครื่องปรุงรส ได้แก่ น้ำตาลทราย ผงปรุงรส น้ำปลา และเกลือแกง แล้วทำให้เป็นรูปทรงตามต้องการ นึ่งให้สุก ตัดให้เป็นแผ่นบางๆ นำไปทำให้แห้งด้วยแสงแดดหรือวิธีอื่นที่เหมาะสม อาจทอดก่อนบรรจุหรือไม่ก็ได้ เมื่อพิจารณาในส่วนประกอบของเครื่องปรุงรส ได้แก่ ผงปรุงรส น้ำปลา และเกลือแกง พบว่า มีส่วนประกอบของโซเดียมอยู่ในปริมาณสูง คือ ผงปรุงรรมีปริมาณโซเดียม 815 มิลลิกรัมต่อ 5 กรัม น้ำปลามีปริมาณโซเดียม 450 มิลลิกรัมต่อ 5 กรัม เกลือแกงมีปริมาณโซเดียม 2,000 มิลลิกรัมต่อ 5 กรัม จากส่วนประกอบของเครื่องปรุงรสที่มีปริมาณโซเดียมสูงส่งผลให้ข้าวเกรียบจัดเป็นอาหารที่มีปริมาณโซเดียมค่อนข้างสูง โดยในข้าวเกรียบกึ่ง 100 กรัม มีปริมาณโซเดียม 800 มิลลิกรัม ในขณะที่ร่างกายต้องการโซเดียมประมาณ 1,500 มิลลิกรัมต่อวัน เท่านั้น (วันทนี เกียรตินิช, 2555) หากร่างกายได้รับโซเดียมในปริมาณที่มากเกินไปจนเกินไปจะก่อให้เกิดโรคต่างๆ ตามมามากมาย เช่น โรคความดันโลหิตสูง โรคไต โรคหัวใจและหลอดเลือด เป็นต้น

การลดเกลือโซเดียมคลอไรด์ในอาหาร สามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ การใช้สารทดแทนเกลือ การใช้สารเสริมกลิ่นรส การเลือกขนาดรูปร่างของเกล็ดที่เหมาะสม ซึ่งจะช่วยเพิ่มความสามารถในการรับรสการใช้สารทดแทนเกลือโซเดียมคลอไรด์เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากที่สุด ซึ่งสารที่ใช้ทดแทนเกลือโซเดียมคลอไรด์ ได้แก่ เกลือโพแทสเซียมคลอไรด์ เนื่องมาจากลักษณะทางด้านเคมีของเกล็ดทั้งสองชนิดมีลักษณะที่ใกล้เคียงกัน ไม่มีสี และไม่ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ขุ่น (วิฑูรย์ ปริญาวิวัฒน์กุล และสุจินดา ศรีวัฒนะ, 2556) การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารสูตรลดโซเดียมยังเป็นการตอบสนองนโยบายของกระทรวงสาธารณสุข ในยุทธศาสตร์ลดการบริโภคเกลือและโซเดียมในประเทศไทย (พ.ศ. 2559 – 2568) และสอดคล้องกับความต้องการของกลุ่มหอยนางรมครบวงจรจังหวัดกระบี่ ศูนย์ศึกษาการพัฒนาอ่าวคุ้งกระเบนอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จ.จันทบุรี ผู้แปรรูปข้าวเกรียบหอยนางรมที่ต้องการพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบลดโซเดียม ซึ่งจะเป็นการเพิ่มช่องทางในการเข้าถึงอาหารและผลิตภัณฑ์ที่มีเกลือและโซเดียมต่ำให้กับผู้บริโภค

ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้พิจารณาที่จะพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบหอยนางรมสูตรลดโซเดียม เพื่อเป็นทางเลือกหนึ่งที่ทำให้ผู้บริโภคสามารถที่จะลดการบริโภคโซเดียม และกลุ่มผู้แปรรูปข้าวเกรียบสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการผลิตเชิงพาณิชย์ต่อไปได้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาปริมาณของการทดแทนเกลือโซเดียมคลอไรด์ด้วยเกลือโพแทสเซียมคลอไรด์ที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบหอยนางรม
2. เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพ และการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบหอยนางรมลดโซเดียม

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาและพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบของกลุ่มหอยนางรมครบวงจรจังหวัดกระบี่ สังกัดศูนย์ศึกษาการพัฒนาอ่าวคุ้งกระเบน อันเนื่องมาจากพระราชดำริ เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ของทางกลุ่ม ฯ ให้เป็นผลิตภัณฑ์อาหารลดโซเดียม โดยมีวิธีการดำเนินการวิจัย 2 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 การวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบหอยนางรมสูตรพื้นฐาน

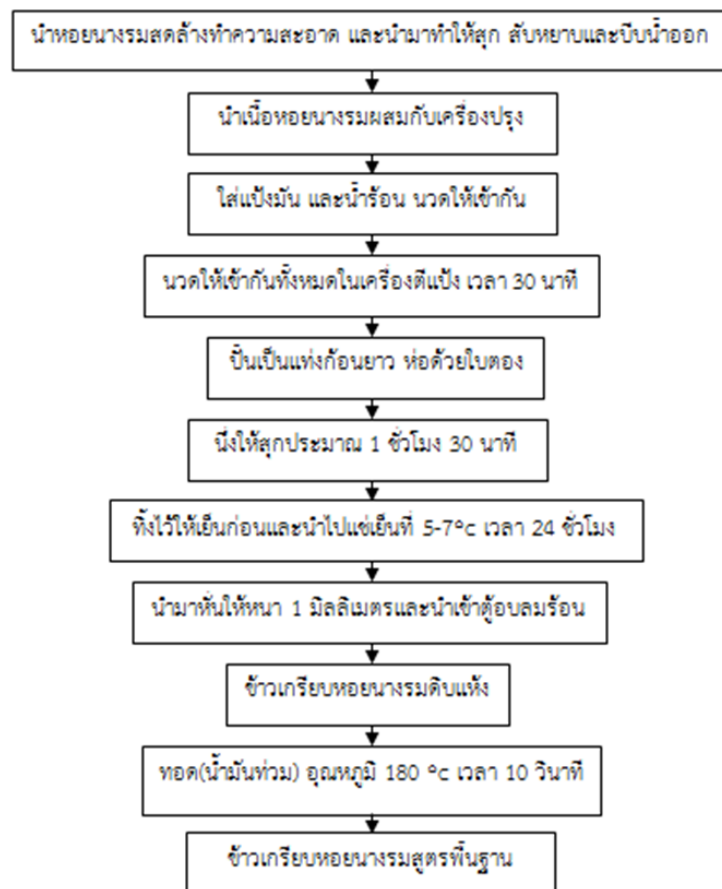
การวิจัยครั้งนี้ใช้สูตรการผลิตข้าวเกรียบหอยนางรมของกลุ่มหอยนางรมครบวงจรคั้งกระเบน เป็นสูตรพื้นฐาน โดยมีวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิตข้าวเกรียบหอยนางรม คือ แป้งมันสำปะหลัง น้ำเปล่า หอยนางรม กระเทียม แป้งสาลี และเครื่องปรุงรส รายละเอียดและปริมาณของส่วนผสมและวัตถุดิบ แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณและร้อยละของวัตถุดิบในการผลิตข้าวเกรียบหอยนางรมสูตรพื้นฐาน

ส่วนผสมและวัตถุดิบ	ปริมาณ (กรัม)	คิดเป็นร้อยละ
1. แป้งมันสำปะหลัง	1,200	68.71
2. น้ำเปล่า	8	0.46
3. กระเทียม	150	8.59
4. แป้งสาลี	50	2.86
5. น้ำตาลทราย	80	4.58
6. พริกไทยป่น	50	2.86
7. หอยนางรม	100	5.73
8. ผงปรุงรส	50	2.86
9. น้ำปลา	30	1.72
10. เกลือแกง	10	0.57
11. ผงฟู	18.5	1.06
รวม	1,746.50	100

ขั้นตอนการผลิตข้าวเกรียบหอยนางรมสูตรพื้นฐานแสดงดังภาพที่ 1 เริ่มจากการคัดเลือกหอยนางรมที่สด นำมาแกะเปลือก ล้างด้วยน้ำให้สะอาด นำมาต้มให้สุก สับหยาบ บีบน้ำออก หลังจากนั้นนำมาผสมกับแป้งมันสำปะหลังและเครื่องปรุงรสให้เข้ากัน นวดแป้งด้วยน้ำร้อนในเครื่องตีแป้ง เป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้แป้งและส่วนผสมอื่นเป็นเนื้อเดียวกันและเกิดการจับตัวกันที่ดี นำใส่พิมพ์รูปทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 เซนติเมตร ท่อด้วยใบตอง นำไปนึ่งเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที หลังจากสุกดีแล้วทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปแช่เย็นที่อุณหภูมิ 5 ถึง 7 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ลอกใบตองออกแล้วนำข้าวเกรียบมาหั่นให้เป็นชิ้นบางๆโดยมีขนาดโดยเฉลี่ย กว้าง 6 ถึง 7 เซนติเมตร ยาว 2.7 ถึง 3 เซนติเมตร หนา 0.12 ถึง 0.15 เซนติเมตร นำไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง (ศรายุทธ จิตรพัฒนา กุล และกุลพร พุทธิม์, 2558) จะได้ข้าวเกรียบหอยนางรมดิบแห้ง จากนั้นนำข้าวเกรียบไปทอดด้วยน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 วินาที จนข้าวเกรียบพองตัว พักให้เย็น บรรจุในภาชนะปิดสนิท จากนั้นนำตัวอย่าง ข้าวเกรียบหอยนางรมมาวิเคราะห์ดังนี้

1. ปริมาณความชื้น ตามวิธีของ AOAC (2000)
2. ปริมาณโซเดียม ตามวิธีของ AOAC (2000)



ส่วนที่ 2 การศึกษาผลของการทดแทนเกลือโซเดียมคลอไรด์ ด้วยเกลือโพแทสเซียมคลอไรด์ที่มีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบหอยนางรม

ศึกษาผลของการทดแทนโซเดียมคลอไรด์ด้วยโพแทสเซียมคลอไรด์โดยแปรปริมาณการทดแทนโซเดียมคลอไรด์ด้วยโพแทสเซียมคลอไรด์ 5 ระดับ คือ ร้อยละ 0, 25, 50, 75 และ 100 และลดปริมาณผงปรุงรสลงร้อยละ 50 จากสูตรพื้นฐานในผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบหอยนางรม ดังตารางที่ 2 ทดสอบโดยใช้วิธีการสนทนากลุ่ม (focus group discussion) กับผู้ทดสอบจำนวน 10 คน ในการสนทนากลุ่มนั้นนำเสนอตัวอย่างให้ผู้ทดสอบครั้งละ 1 ตัวอย่าง โดยเริ่มจากระดับการทดแทนที่ต่ำที่สุดคือ ร้อยละ 0 ไปจนถึง ร้อยละ 100 และสอบถามว่าตัวอย่างมีรสชมหรือไม่ เพื่อหาระดับการทดแทน 1 ระดับที่ผู้ทดสอบไม่สามารถรับรู้รสชมได้ และนำไปทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 20 คน ด้วยการประเมินทางประสาทสัมผัสแบบ 9- point hedonic scale ทดสอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ ความเค็ม ความกรอบ และการยอมรับโดยรวม

ตารางที่ 2 ปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์และเกลือโพแทสเซียมคลอไรด์ของข้าวเกรียบแต่ละสูตร

สูตร	เกลือโซเดียมคลอไรด์ (ร้อยละ)	เกลือโพแทสเซียมคลอไรด์(ร้อยละ)
1(สูตรควบคุม)	100	0
2	75	25
3	50	50
4	25	75
5	0	100

จากนั้นนำตัวอย่างข้าวเกรียบหอยนางรมที่ทดแทนโซเดียมคลอไรด์ด้วยโพแทสเซียมคลอไรด์ 1 ระดับ ที่คัดเลือกได้ไปวัดค่าคุณภาพเปรียบเทียบกับข้าวเกรียบหอยนางรมสูตรพื้นฐาน ดังนี้

1. ปริมาณความชื้น ตามวิธีของ AOAC (2000)
2. ปริมาณโซเดียม ตามวิธีของ AOAC (2000)
3. ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ตามวิธีของ AOAC (2000)
4. เชื้อรา ตามวิธีของ AOAC (2000)
5. เชื้อ *Escherichia coli* ตามวิธีของ BAM (2013)
6. เชื้อ *Staphylococcus aureus* ตามวิธีของ BAM (2001)

7. ทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยใช้ผู้บริโภคนจำนวน 80 คน ด้วยการประเมินทางประสาทสัมผัสแบบ 9 - point hedonic scale ทดสอบด้านสี กลิ่นรส รสชาติ ความกรอบและการยอมรับโดยรวม วิเคราะห์ผลการทดสอบทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ T-test

การศึกษาคุณภาพทางเคมี วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ การทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ วางแผนทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) วิเคราะห์ความแปรปรวนใน Analysis of Variance (ANOVA) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ผลการวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบหอยนางรมสูตรพื้นฐาน

ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น และปริมาณโซเดียมในผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบหอยนางรมสูตรพื้นฐานแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น และปริมาณโซเดียมในผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบหอยนางรมสูตรพื้นฐาน

คุณภาพทางเคมี	ปริมาณ ต่อข้าวเกรียบ 100 กรัม
ความชื้น (ร้อยละ)	2.61±0.08
โซเดียม (มิลลิกรัม)	1,371.29±1.99

ปริมาณความชื้นของข้าวเกรียบหอยนางรมสูตรพื้นฐานมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 2.61 ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณความชื้นของข้าวเกรียบหอยนางรมสูตรพื้นฐาน มีค่าไม่เกินร้อยละ 4.0 ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มพช.107/2554 เรื่องข้าวเกรียบ ที่กำหนดให้ข้าวเกรียบพร้อมบริโภคจะต้องมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 4 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2554) ส่วนปริมาณโซเดียมของข้าวเกรียบหอยนางรมสูตรพื้นฐานมีค่าเท่ากับ 1,371.29 มิลลิกรัมต่อข้าวเกรียบ 100 กรัม เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณโซเดียมในขนมขบเคี้ยว (วันทนี เกียรตินิยศ, 2555) ประเภทข้าวเกรียบกุ้ง พบว่า มีปริมาณโซเดียมเท่ากับ 800 มิลลิกรัมต่อข้าวเกรียบกุ้ง 100 กรัม จะเห็นได้ว่า ข้าวเกรียบหอยนางรมสูตรพื้นฐานมีปริมาณโซเดียมค่อนข้างสูง ทั้งนี้เนื่องจากส่วนผสมต่างๆ มีส่วนประกอบของโซเดียมอยู่ในปริมาณสูง คือ ผงปรุงรสมีปริมาณโซเดียม 815 มิลลิกรัมต่อ 5 กรัม น้ำปลามีปริมาณโซเดียม 450 มิลลิกรัมต่อ 5 กรัม เกลือแกงมีปริมาณโซเดียม 2,000 มิลลิกรัมต่อ 5 กรัม จากส่วนประกอบของเครื่องปรุงรสที่มีปริมาณโซเดียมสูง ส่งผลให้ข้าวเกรียบจัดเป็นอาหารที่มีปริมาณโซเดียมค่อนข้างสูงด้วย

2. ผลการศึกษาระดับการทดแทนโซเดียมคลอไรด์ด้วยโพแทสเซียมคลอไรด์ต่อคุณภาพของข้าวเกรียบหอยนางรม

จากการทดสอบโดยใช้วิธีสนทนากลุ่มกับผู้ทดสอบ 10 คน เพื่อศึกษารสของข้าวเกรียบหอยนางรมที่ทดแทนโซเดียมคลอไรด์ด้วยโพแทสเซียมคลอไรด์ ทั้ง 5 ระดับคือ ร้อยละ 0, 25, 50, 75 และ 100 ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4 ซึ่งพบว่า ข้าวเกรียบหอยนางรมสูตรที่ใช้โพแทสเซียมคลอไรด์ทดแทนโซเดียมคลอไรด์ทุกระดับผู้ทดสอบไม่สามารถรับรู้รสของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบได้

ตารางที่ 4 ผลการสนทนากลุ่มของข้าวเกรียบหอยนางรมที่ใช้โพแทสเซียมคลอไรด์ทดแทนโซเดียมคลอไรด์

ระดับการทดแทนโซเดียมคลอไรด์ด้วยโพแทสเซียมคลอไรด์ของข้าวเกรียบ (ร้อยละ)	ผลการรับรู้รส
0	ไม่มีผู้ทดสอบรับรู้รส
25	ไม่มีผู้ทดสอบรับรู้รส
50	ไม่มีผู้ทดสอบรับรู้รส
75	ไม่มีผู้ทดสอบรับรู้รส
100	ไม่มีผู้ทดสอบรับรู้รส

ผลการศึกษาการทดแทนโซเดียมคลอไรด์ด้วยโพแทสเซียมคลอไรด์ โดยแปรปริมาณการทดแทนโซเดียมคลอไรด์ด้วยโพแทสเซียมคลอไรด์ 5 ระดับ คือ ร้อยละ 0, 25, 50, 75 และ 100 ในผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 20 คน ด้วยการประเมินทางประสาทสัมผัสแบบ 9 - point hedonic scale ทดสอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ ความเค็ม ความกรอบ และการยอมรับโดยรวม ได้ผลการศึกษาดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 คะแนนเฉลี่ยการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวเกรียบหอยนางรมที่มีการทดแทนโซเดียมคลอไรด์ด้วยโพแทสเซียมคลอไรด์ที่ระดับต่างๆ

คุณลักษณะ	ร้อยละของโพแทสเซียมคลอไรด์ที่ใช้ทดแทนโซเดียมคลอไรด์ (ร้อยละ)				
	สูตร 1 (0 สูตรควบคุม)	สูตร 2 25	สูตร 3 50	สูตร 4 75	สูตร 5 100
ลักษณะปรากฏ ^{ns}	8.00±0.72	8.15±0.74	8.05 ±0.76	8.00±0.92	7.95±0.83
สี ^{ns}	8.25±0.64	8.20±0.83	8.20± 0.52	8.25±0.64	8.25±0.85
กลิ่นรส	6.85±0.99 ^b	7.50±1.00 ^{ab}	7.40±1.33 ^{ab}	7.70±1.08 ^a	7.55±1.23 ^{ab}
รสชาติ	7.10±1.07 ^b	7.15±1.18 ^{ab}	7.25±0.97 ^{ab}	7.60±1.14 ^a	7.55±1.28 ^{ab}
ความเค็ม ^{ns}	7.45±1.36	7.30±1.49	7.30±1.56	6.95±1.32	6.90±1.45
ความกรอบ ^{ns}	7.65±1.04	7.60±0.94	7.60±1.19	8.05±0.89	7.80±1.11
การยอมรับโดยรวม ^{ns}	7.80±0.70	7.70±0.86	7.55±1.01	7.50±1.00	7.50±0.99

หมายเหตุ: ค่าที่มีตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$)

ns=non-significant ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P > 0.05$)

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า การทดแทนเกลือโซเดียมคลอไรด์ด้วยโพแทสเซียมคลอไรด์ ไม่มีผลต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบ ในด้านลักษณะปรากฏ สี ความเค็ม ความกรอบ และการยอมรับโดยรวม แต่มีผลต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบในด้านกลิ่นรส และรสชาติ ดังนี้

ความชอบด้านลักษณะปรากฏ พบว่า ผลิภัณฑ์ข้าวเกรียบหอยนางรมที่ทดแทนเกลือโซเดียมคลอไรด์ ด้วยโพแทสเซียมคลอไรด์ ที่ร้อยละ 25 ได้รับคะแนนความชอบเฉลี่ยด้านลักษณะปรากฏสูงที่สุด ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) กับข้าวเกรียบหอยนางรมที่ทดแทนเกลือโซเดียมคลอไรด์ ด้วยโพแทสเซียมคลอไรด์ ที่ร้อยละ 0 50 75 และ 100 ซึ่งผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบในระดับชอบปานกลาง ถึงชอบมาก

ความชอบด้านสี พบว่า ผลิภัณฑ์ข้าวเกรียบหอยนางรมที่ทดแทนเกลือโซเดียมคลอไรด์ด้วยโพแทสเซียมคลอไรด์ทุกสูตรได้รับคะแนนความชอบเฉลี่ยด้านสีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบด้านสีในระดับชอบมาก

ความชอบด้านกลิ่นรส พบว่า ผลิภัณฑ์ข้าวเกรียบหอยนางรมที่ทดแทนเกลือโซเดียมคลอไรด์ด้วยโพแทสเซียมคลอไรด์ที่ร้อยละ 75 ผู้ทดสอบให้คะแนนการยอมรับสูงที่สุด ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) กับข้าวเกรียบหอยนางรมที่ทดแทนเกลือโซเดียมคลอไรด์ด้วยโพแทสเซียมคลอไรด์ที่ร้อยละ 25, 50 และ 100 ซึ่งมีความชอบอยู่ในระดับชอบปานกลาง แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับข้าวเกรียบหอยนางรมที่ทดแทนเกลือโซเดียมคลอไรด์ด้วยโพแทสเซียมคลอไรด์ที่ร้อยละ 0 ซึ่งมีความชอบอยู่ระดับชอบเล็กน้อย

ความชอบด้านรสชาติ พบว่า ผลผลิตพันธุ์ข้าวเกรียบหอยนางรมที่ทดแทนเกลือโซเดียมคลอไรด์ด้วยโพแทสเซียมคลอไรด์ที่ร้อยละ 75 ผู้ทดสอบให้คะแนนการยอมรับสูงที่สุด ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) กับข้าวเกรียบหอยนางรมที่ทดแทนเกลือโซเดียมคลอไรด์ด้วยโพแทสเซียมคลอไรด์ที่ร้อยละ 25, 50 และ 100 ซึ่งมีความชอบอยู่ในระดับชอบปานกลาง แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับข้าวเกรียบหอยนางรมที่ทดแทนเกลือโซเดียมคลอไรด์ด้วยโพแทสเซียมคลอไรด์ที่ร้อยละ 0

ความชอบด้านความเค็ม พบว่า ผลผลิตพันธุ์ข้าวเกรียบหอยนางรมที่ทดแทนเกลือโซเดียมคลอไรด์ด้วยโพแทสเซียมคลอไรด์ที่ร้อยละ 0 ได้รับคะแนนความชอบสูงที่สุด ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) กับข้าวเกรียบหอยนางรมที่ทดแทนเกลือโซเดียมคลอไรด์ด้วยโพแทสเซียมคลอไรด์ที่ร้อยละ 25 และ 50 มีคะแนนความชอบอยู่ในระดับชอบปานกลาง และข้าวเกรียบหอยนางรมที่ทดแทนเกลือโซเดียมคลอไรด์ด้วยโพแทสเซียมคลอไรด์ที่ร้อยละ 75 และ 100 ที่ได้รับคะแนนความชอบในระดับชอบเล็กน้อย ซึ่งจะเห็นได้ว่าระดับความเค็มลดลง แปรผกผันกับปริมาณโพแทสเซียมคลอไรด์ที่เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัย Stanley *et al.* (2017) ที่ศึกษาผลของการใช้เกลือโพแทสเซียมคลอไรด์ทดแทนโซเดียมคลอไรด์ในผลิตภัณฑ์ไส้กรอก พบว่าการทดแทนด้วยเกลือโพแทสเซียมคลอไรด์ในระดับที่มากขึ้น ทำให้คุณลักษณะทางด้านรสเค็มของผลิตภัณฑ์ลดลง แต่คุณลักษณะทางด้านรสขมของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น

ความชอบด้านความกรอบ พบว่า ผลผลิตพันธุ์ข้าวเกรียบหอยนางรมที่ทดแทนเกลือโซเดียมคลอไรด์ด้วยโพแทสเซียมคลอไรด์ที่ร้อยละ 75 ได้รับคะแนนความชอบด้านความกรอบสูงที่สุดอยู่ในระดับชอบมาก ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) จากข้าวเกรียบหอยนางรมที่ทดแทนเกลือโซเดียมคลอไรด์ด้วยโพแทสเซียมคลอไรด์ที่ร้อยละ 0, 25, 50 และ 100 ซึ่งมีคะแนนด้านความกรอบในระดับชอบปานกลาง

ความชอบด้านการยอมรับโดยรวม พบว่า ผลผลิตพันธุ์ข้าวเกรียบหอยนางรมที่ทดแทนเกลือโซเดียมคลอไรด์ด้วยโพแทสเซียมคลอไรด์ที่ร้อยละ 0 คะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) จากข้าวเกรียบหอยนางรมที่ทดแทนเกลือโซเดียมคลอไรด์ด้วยโพแทสเซียมคลอไรด์ที่ร้อยละ 25, 50, 75 และ 100 มีคะแนนการยอมรับโดยรวมในระดับชอบปานกลาง

ดังนั้นจึงคัดเลือกข้าวเกรียบหอยนางรมสูตรทดแทนโซเดียมคลอไรด์ด้วยโพแทสเซียมคลอไรด์ที่ร้อยละ 100 มาทำการศึกษาคุณภาพเปรียบเทียบกับข้าวเกรียบสูตรพื้นฐาน เนื่องจากไม่มีรสขม มีคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ ความเค็ม ความกรอบ และความชอบโดยรวม ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) กับข้าวเกรียบหอยนางรมสูตรควบคุม ซึ่งเป็นระดับที่จะสามารถลดปริมาณโซเดียมลงได้ตามค่าที่สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยากำหนดในการกล่าวอ้างว่า "ลดโซเดียม" ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 182 เรื่อง ฉลากโภชนาการ (กระทรวงสาธารณสุข, 2541)

3. ผลการศึกษาคุณภาพข้าวเกรียบหอยนางรมสูตรลดโซเดียม เปรียบเทียบกับข้าวเกรียบหอยนางรมสูตรพื้นฐาน

3.1 ผลการศึกษาคุณภาพทางด้านเคมี

ผลการศึกษาคุณภาพทางด้านเคมี ได้แก่ ความชื้น และปริมาณโซเดียมของข้าวเกรียบหอยนางรมสูตรลดโซเดียม เปรียบเทียบกับข้าวเกรียบหอยนางรมสูตรพื้นฐานได้ผลดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น และปริมาณโซเดียมในผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบหอยนางรมสูตรลดโซเดียมเปรียบเทียบกับข้าวเกรียบหอยนางรมสูตรพื้นฐาน

คุณภาพทางเคมี	สูตรพื้นฐาน	สูตรลดโซเดียม
ความชื้น (ร้อยละ)	2.61±0.08	2.05±0.18
ปริมาณโซเดียม (mg/100g)	1,371.29±1.99	882.33±0.86

จากการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบ พบว่า ข้าวเกรียบหอยนางรมสูตรพื้นฐานมีความชื้น ร้อยละ 2.61 ส่วนข้าวเกรียบหอยนางรมสูตรลดโซเดียม มีความชื้นร้อยละ 2.05 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนเลขที่ 107/2554 เรื่องข้าวเกรียบ ที่กำหนดไว้ว่า ข้าวเกรียบพร้อมบริโภค ต้องมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก และการทดแทนโซเดียมคลอไรด์ด้วยโพแทสเซียมคลอไรด์ในปริมาณที่มากขึ้นจะส่งผลทำให้ความชื้นในผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยของชาติชาย วิสัยลักษณ์ และสุจินดา ศรีวัฒนะ (2553) ที่ได้ศึกษาการทดแทนเกลือโซเดียมคลอไรด์ด้วยเกลือโพแทสเซียมคลอไรด์ต่อคุณภาพไส้กรอกแฟรงค์เฟอร์เตอร์ พบว่า การทดแทนด้วยเกลือโพแทสเซียมคลอไรด์ในปริมาณที่มากขึ้น จะส่งผลทำให้ความชื้นในผลิตภัณฑ์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ปริมาณโซเดียมในผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบหอยนางรมสูตรพื้นฐานมีปริมาณโซเดียม เท่ากับ 1,371.29 mg/100g และข้าวเกรียบหอยนางรมสูตรลดโซเดียม มีปริมาณโซเดียมเท่ากับ 882.33 mg/100g ซึ่งมีปริมาณโซเดียมลดลงจากสูตรพื้นฐาน หรือมีปริมาณโซเดียมลดลงจากสูตรเดิมร้อยละ 35.65 จึงสามารถกล่าวอ้างได้ว่าเป็นผลิตภัณฑ์ลดโซเดียม ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 182 (2541) เรื่อง ฉลากโภชนาการ ที่ระบุว่าผลิตภัณฑ์ที่จะกล่าวอ้างได้ ว่ามีการลดสารอาหารนั้น จะต้องสามารถทำการลดปริมาณสารอาหารนั้นๆ ได้อย่างน้อยร้อยละ 25 จากสูตรเดิม

3.2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านจุลินทรีย์

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์ในของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบหอยนางรมสูตรลดโซเดียมเปรียบเทียบกับข้าวเกรียบหอยนางรมสูตรพื้นฐาน ได้แก่ จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด เชื้อรา เชื้อ *Escherichia coli* และเชื้อ *Staphylococcus aureus* ได้ผลดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบหอยนางรมสูตรลดโซเดียมเปรียบเทียบกับ ข้าวเกรียบหอยนางรมสูตรพื้นฐาน

คุณภาพทางด้านจุลินทรีย์	ข้าวเกรียบสูตรพื้นฐาน	ข้าวเกรียบสูตรลดโซเดียม
ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/g)	<30	<30
เชื้อรา (CFU/g)	ไม่พบ	ไม่พบ
เชื้อ <i>Escherichia coli</i> (MPN/g)	<3.0	<3.0
เชื้อ <i>Staphylococcus aureus</i> (CFU/g)	<10	<10

ผลการวิเคราะห์คุณภาพด้านจุลินทรีย์ พบว่า ข้าวเกรียบหอยนางรมสูตรพื้นฐานและสูตรลดโซเดียมมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า 30 CFU/g เชื้อ *Escherichia coli* น้อยกว่า 3.0 MPN/g เชื้อ *Staphylococcus aureus* น้อยกว่า 10 CFU/g และตรวจไม่พบเชื้อรา ซึ่งปริมาณจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเชื้อรา เชื้อ *Escherichia coli* และเชื้อ *Staphylococcus aureus* เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของข้าวเกรียบ(เลขที่ 107/2554) ที่กำหนดไว้ว่าปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ต้องไม่เกิน 1×10^6 โคโลนีต่อตัวอย่าง 10 กรัม และเชื้อรา ต้องไม่เกิน 100 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม เชื้อ *Escherichia coli* ต้องน้อยกว่า 3 ต่อตัวอย่าง 1 กรัม และเชื้อ *Staphylococcus aureus* ต้องน้อยกว่า 10 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม ทั้งนี้เนื่องจากข้าวเกรียบเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีการให้ความร้อนค่อนข้างสูงในระหว่างกระบวนการผลิต และจัดเป็นอาหารแห้งทำให้เกิดการเน่าเสียได้ยาก จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ จึงสามารถเก็บรักษาได้นาน

3.3 ผลการศึกษาคุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวเกรียบหอยนางรมสูตรลดโซเดียมเปรียบเทียบกับ ข้าวเกรียบหอยนางรมสูตรพื้นฐาน

ผลการศึกษาคุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวเกรียบหอยนางรมสูตรลดโซเดียมเปรียบเทียบกับข้าวเกรียบหอยนางรมสูตรพื้นฐานโดยใช้ผู้บริโภคนจำนวน 80 คน ด้วยการประเมินทางประสาทสัมผัสแบบ 9- point hedonic scale ทดสอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ ความกรอบ และการยอมรับโดยรวม ได้ผลการศึกษาดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 คะแนนเฉลี่ยการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวเกรียบหอยนางรมสูตรลดโซเดียมเปรียบเทียบกับข้าวเกรียบหอยนางรมสูตรพื้นฐาน

คุณลักษณะ	คะแนนความชอบเฉลี่ยของข้าวเกรียบหอยนางรม	
	สูตรพื้นฐาน	สูตรลดโซเดียม
ลักษณะปรากฏ ^{ns}	7.66±0.88	7.74±1.09
สี ^{ns}	7.69±1.01	7.69±0.91
กลิ่นรส*	7.80±0.68	6.76±1.47
รสชาติ ^{ns}	7.51±1.02	7.70±0.91
ความกรอบ ^{ns}	8.41±0.65	8.29±0.66
ความชอบโดยรวม ^{ns}	8.16±0.72	7.78±1.09

หมายเหตุ ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ความชอบด้านลักษณะปรากฏ พบว่า ข้าวเกรียบหอยนางรมสูตรลดโซเดียมและสูตรพื้นฐานมีคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏอยู่ในระดับชอบปานกลาง ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ความชอบด้านสี พบว่า ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบด้านสี ทั้งสูตรพื้นฐาน และสูตรลดโซเดียม มีคะแนนความชอบด้านสีอยู่ในระดับชอบปานกลาง ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ความชอบด้านกลิ่นรส พบว่า ข้าวเกรียบหอยนางรมสูตรพื้นฐานมีความชอบด้านกลิ่นรสในระดับชอบปานกลาง ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับข้าวเกรียบหอยนางรมสูตรลดโซเดียมที่มีคะแนนความชอบด้านกลิ่นรสอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย เนื่องจากข้าวเกรียบหอยนางรมสูตรลดโซเดียมมีการลดปริมาณผงปรุงรสลงร้อยละ 50 จากข้าวเกรียบหอยนางรมสูตรพื้นฐาน ซึ่งผงปรุงรสเป็นตัวเสริมกลิ่นรสที่ดีให้กับผลิตภัณฑ์ และการลดเกลือโซเดียมส่งผลต่อกลิ่นรส ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ วิฑูรย์ ปริญาวิวัฒน์กุล และสุจินดา ศรีวัฒนะ (2556) ที่ได้ศึกษาการพัฒนาไส้กรอกเวียนนา พบว่า การลดปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์นั้นส่งผลต่อการรับรู้ด้านกลิ่นรสโดยรวมและรสเค็มของผลิตภัณฑ์ลดลง

ความชอบด้านรสชาติ พบว่า ข้าวเกรียบหอยนางรมสูตรลดโซเดียมและสูตรพื้นฐานมีคะแนนความชอบด้านรสชาติอยู่ในระดับชอบปานกลาง ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ความชอบด้านความกรอบ พบว่า ข้าวเกรียบหอยนางรมสูตรลดโซเดียมและสูตรพื้นฐาน มีคะแนนความชอบด้านความกรอบอยู่ในระดับชอบปานกลาง ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ความชอบด้านความชอบโดยรวม พบว่า ข้าวเกรียบหอยนางรมสูตรลดโซเดียมและสูตรพื้นฐาน มีความชอบด้านความชอบโดยรวมสูงอยู่ในระดับชอบปานกลาง และชอบมาก ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

สรุป

1. จากการศึกษาการทดแทนเกลือโซเดียมคลอไรด์ด้วยเกลือโพแทสเซียมคลอไรด์ในผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบหอยนางรม พบว่า สามารถทดแทนเกลือโซเดียมคลอไรด์ด้วยเกลือโพแทสเซียมคลอไรด์ที่ระดับร้อยละ 100 โดย ผู้ทดสอบไม่รับรู้รสขม คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัส ด้านลักษณะปรากฏ สี ความกรอบ ความเค็ม และความชอบโดยรวม ไม่มีความแตกต่างจากข้าวเกรียบสูตรควบคุม โดยได้รับคะแนนความชอบด้านสี ในระดับชอบมาก ด้านลักษณะปรากฏ กลิ่นรส รสชาติ ความกรอบ และการยอมรับโดยรวม ในระดับชอบปานกลาง และความชอบด้านความเค็ม อยู่ในระดับชอบเล็กน้อย

2. คุณภาพของข้าวเกรียบในด้านความชื้น พบว่า ข้าวเกรียบสูตรลดโซเดียมมีความชื้น เท่ากับ ร้อยละ 2.05 ซึ่งลดลงจากข้าวเกรียบสูตรพื้นฐาน และข้าวเกรียบสูตรลดโซเดียมมีปริมาณโซเดียมเท่ากับ 882.33 mg/100g ซึ่งมีปริมาณโซเดียมลดลงจากข้าวเกรียบสูตรพื้นฐาน หรือมีปริมาณโซเดียมลดลงจากสูตรเดิมร้อยละ 35.65 ซึ่งสามารถกล่าวอ้างได้ว่าเป็นผลิตภัณฑ์ลดโซเดียมตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 182 (2541) โดยมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า 30 CFU/g เชื้อ *Escherichia coli* น้อยกว่า 3.0 MPN/g เชื้อ *Staphylococcus aureus* น้อยกว่า 10 CFU/g และตรวจไม่พบเชื้อรา ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของข้าวเกรียบ เลขที่ 107/2554

ข้อเสนอแนะ

ควรมีการศึกษาการใช้สารเสริมกลิ่นรสในผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบสูตรลดโซเดียม เพื่อช่วยเพิ่มกลิ่นรสให้อาหารที่มีเกลือต่ำ เช่น ยีสต์สกัด (Yeast extract) HVP (Hydrolyzed vegetable protein) อาร์จินีน สมุนไพร และเครื่องเทศ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณีที่สนับสนุนทุนดำเนินการวิจัย และกลุ่มหอยนางรมครบวงจรคังกระเบน ศูนย์ศึกษาการพัฒนาอ่าวคุ้งกระเบนอันเนื่องมาจากพระราชดำริ อ.ท่าใหม่ จ.จันทบุรี ที่ให้คำปรึกษา และวางแผนการพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบลดโซเดียม ตลอดจนนำผลงานวิจัยไปถ่ายทอดยังพื้นที่ของทางกลุ่มฯ

เอกสารอ้างอิง

- กระทรวงสาธารณสุข. (2541). ประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 182 เรื่อง ฉลากโภชนาการ. สืบค้นจาก <http://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2541/D/047/23.PDF>
- ชาติชาย วิลัยลักษณ์ และสุจินดา ศรีวัฒน์. (2553). ผลของการทดแทนการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ด้วยเกลือโปแทสเซียมคลอไรด์ในไส้กรอกแฟรงค์แฟอ์เตอร์. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48, 3-5 กุมภาพันธ์ 2553 ณ สาขาอุตสาหกรรมเกษตร. กรุงเทพมหานคร: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.
- วันทนี เกรียงสินยศ. (2555). ลดโซเดียมยึดชีวิต. สืบค้นจาก http://110.164.147.155/kmhealth_new/Document/blood/approach/10.pdf
- วิฑูรย์ ปริญาวิวัฒน์กุล และสุจินดา ศรีวัฒน์. (2556). การพัฒนาผลิตภัณฑ์ไส้กรอกเวียนนาลดโซเดียม. สืบค้นจาก <http://www3.rdi.ku.ac.th/wp-content/uploads/2013/12/Final-Report-of-Reduced-Na-Sausage.pdf>
- ศรายุทธ จิตรพัฒนากุล และกุลพร พุทธิมี. (2558). การพัฒนาเพิ่มผลผลิตข้าวเกรียบหอยนางรมดิบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน. วารสารวิจัยรำไพพรรณี, 10 (1), 17-26.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2554). มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ข้าวเกรียบ. สืบค้นจาก http://tcps.tisi.go.th/pub/tcps107_54.pdf
- AOAC. (2000). Official Methods of the Association of Official Analytical Chemists. 17th Edition. Association Official Analytical Chemists, Washington DC.
- BAM. (2001). Bacteriological Analytical Manual online, Chapter 12 on Staphylococcus aureus. U.S. Food and Drug Administration. Retrieved from <http://www.fda.gov/Food/FoodScienceResearch/LaboratoryMethods/ucm071429.htm>
- BAM. (2013). Bacteriological Analytical Manual online, Chapter 4 on Enumeration of Escherichia coli and the Coliform Bacteria. U.S. Food and Drug Administration. Retrieved from <http://www.fda.gov/Food/FoodScienceResearch/LaboratoryMethods/ucm064948.htm>.

ผลของน้ำหมักชีวภาพต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่วเหลืองฝักสด (*Glycine max* (L.) Merrill)

การตี แช่^{1*} อรุณี อุทัยพิบูลย์² สิริวรรณ สมิทธิอาภรณ์³

Received : April 23, 2020

Revised : August 20, 2020

Accepted : August 25, 2020

บทคัดย่อ

การศึกษาผลของใช้น้ำหมักชีวภาพต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่วเหลืองฝักสดได้ทำการปลูกทดสอบในพื้นที่ตำบลตะค่า อำเภอบางปลาม้า จังหวัดสุพรรณบุรี ทำการทดลองในช่วงระยะเวลาตั้งแต่เดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน 2561 โดยใช้ถั่วเหลืองฝักสดพันธุ์เชียงใหม่ 84-2 และ พันธุ์เชียงใหม่ 1 วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) จำนวน 4 สิ่งทดลอง 3 ซ้ำ สิ่งทดลองเปรียบเทียบการใช้น้ำหมักชีวภาพ คือ 1) การไม่ใช้น้ำหมักชีวภาพ 2) การใช้น้ำหมักปลา 3) การใช้น้ำหมักหอยเชอรี่ 4) การใช้น้ำหมักผลไม้ ผลการทดลองพบว่า การใช้น้ำหมักชีวภาพมีผลการตอบสนองในพันธุ์เชียงใหม่ 84-2 แต่พันธุ์เชียงใหม่ 1 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยผลของการใช้น้ำหมักชีวภาพในถั่วเหลืองฝักสดพันธุ์เชียงใหม่ 84-2 พบว่า การใช้น้ำหมักหอยเชอรี่และน้ำหมักผลไม้ให้ค่าการเจริญเติบโตด้านจำนวนกิ่งต่อต้นสูงที่สุดคือ 7.50-8.17 กิ่ง และผลผลิตสูงที่สุด ได้แก่ จำนวนฝักต่อต้น 22.83-23.83 ฝัก จำนวนเมล็ดต่อต้น 27.50-39.67 เมล็ด และน้ำหนักเมล็ดต่อต้น 13.28-20.96 กรัม

คำสำคัญ: การเจริญเติบโต ถั่วเหลืองฝักสด น้ำหมักชีวภาพ ผลผลิต

¹ อาจารย์สาขาวิชาเกษตรศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา อีเมล: fengpds@ku.ac.th

² นักศึกษาระดับปริญญาตรีสาขาวิชาเกษตรศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา อีเมล: aruneejoon@gmail.com

³ อาจารย์สาขาวิชาเกษตรศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา อีเมล: sirioom@hotmail.com

*ผู้รับผิดชอบ อีเมล: fengpds@ku.ac.th

EFFECT OF LIQUID BIOFERTILIZER ON GROWTH AND YIELD OF VEGETABLE SOYBEAN (*GLYCINE MAX* (L.) MERILL)

Pharadee Saeung^{1*} Arunee Uthaiyiboon² Siriwan Smitthiarporn³

Abstract

The study on the effect of liquid biofertilizer on growth and yield of vegetable soybean was conducted at Takha district, Amphur Bang Pla Ma, Suphan Buri Province. Time to testing during September to November 2018, by Chiang Mai 84-2 cultivar and Chiang Mai 1 cultivar. Experimental design; by Completely Randomized Design (CRD) with 4 treatments, 3 replications. Treatments were consist of 1) unused liquid biofertilizer 2) Use of fish liquid biofertilizer 3) Use of Golden apple snail (*Pomacea canaliculata*) liquid biofertilizer 4) Use of fruit liquid biofertilizer. The results showed that liquid biofertilizer had a response in Chiang Mai 84-2 varieties, but Chiang Mai 1 variety was not significant difference. The results of liquid biofertilizer use on Chiang Mai 84-2 variety showed that Golden apple snail liquid biofertilizer and fruit liquid biofertilizer had the highest growth and yield. The results of Golden apple snail liquid biofertilizer and fruit liquid biofertilizer were consist of 7.50-8.17 branch per plant, 22.83-23.83 pods per plant, 27.50-39.67 good seeds per plant and 13.28-20.96 grams of good seeds weight per plant.

Keywords: growth, vegetable soybean, liquid biofertilizer, yield

¹ Lecturer of Agricultural Program, Science and Technology Faculty, Phranakhon Si Ayutthaya Rajabhat University email: fengpds@ku.ac.th

² Undergraduate student of Agricultural Program, Science and Technology Faculty, Phranakhon Si Ayutthaya Rajabhat University e-mail: aruneejoon@gmail.com

³ Lecturer of Agricultural Program, Science and Technology Faculty, Phranakhon Si Ayutthaya Rajabhat University e-mail: sirioom@hotmail.com

*Corresponding author, e-mail: fengpds@ku.ac.th

บทนำ

ถั่วเหลืองเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่ง เพราะเป็นพืชที่มีคุณค่าทางอาหารสูงมีแร่ธาตุและวิตามินอยู่หลายชนิด สามารถนำมาผลิตเป็นอาหารบริโภคได้หลายรูปแบบ เช่น บริโภคโดยการนำไปต้มเพื่อกินผักสด การผลิตเป็นเครื่องดื่มนมโปรตีนสูง เป็นต้น นอกจากนี้ ถั่วเหลืองเป็นหนึ่งในพืชตระกูลถั่วที่สามารถบำรุงดินเป็นปุ๋ยพืชสดให้กับพื้นที่ปลูกได้เป็นอย่างดี “ถั่วเหลืองฝักสด” เป็นถั่วเหลืองชนิดหนึ่งที่มีลักษณะเด่นคือ มีเมล็ดขนาดใหญ่ ในประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกถั่วเหลืองฝักสดประมาณ 6,363 ไร่ ในปีเพาะปลูก 2561/62 (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2562) โดยถั่วเหลืองฝักสดเป็นพืชที่สามารถรับประทานสด มีคุณค่าทางอาหารสูง การปลูกและดูแลการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองฝักสดสามารถใช้สารเคมีหรือสารสกัดจากธรรมชาติมาช่วยในการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองได้ ซึ่งการใช้สารเคมีในการเร่งการเจริญเติบโตเพียงอย่างเดียวอาจทำให้เกิดการตกค้างของสารเคมีในพืช อาจจะเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค ดังนั้นการใช้น้ำหมักชีวภาพหรือสารสกัดจากพืชที่เป็นการใช้วัสดุจากธรรมชาติ ไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภคสิ่งแวดล้อมและสิ่งมีชีวิตระบบนิเวศ นอกจากนี้ ถือว่าเป็นการนำวัสดุเหลือใช้ในทางเกษตรสามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้เป็นอย่างดี ไม่ว่าจะเป็น เศษปลา เศษผลไม้ หรือหอยเชอรี่ที่เป็นศัตรูในนาข้าว สามารถนำกลับมาใช้เป็นวัสดุหมักทำปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพเพื่อบำรุงต้นถั่วเหลืองฝักสดได้

ดังนั้นการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเศษปลา หอยเชอรี่ เศษผลไม้ มาหมักเป็นน้ำหมักชีวภาพทดสอบใช้กับถั่วเหลืองฝักสด เพื่อศึกษาผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่วเหลืองฝักสด เพื่อนำผลการทดสอบที่เกิดขึ้นมาใช้ในการส่งเสริมและแนะนำให้เกษตรกรใช้งานให้เกิดประโยชน์จริงในพื้นที่ต่อไป

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลของน้ำหมักชีวภาพต่อการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองฝักสด
2. เพื่อศึกษาผลของน้ำหมักชีวภาพต่อผลผลิตของถั่วเหลืองฝักสด

วิธีการวิจัย

1. สถานที่ทำการทดลอง ใช้พื้นที่ทดสอบปลูกพืช ในเขตอำเภอบางปลาม้า จังหวัดสุพรรณบุรี และตรวจวัดผลผลิต ณ ห้องปฏิบัติการสาขาวิชาเกษตรศาสตร์ ห้อง ศว. 406 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

2. วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) จำนวน 3 ซ้ำ และมีการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ Least Significant Difference (LSD) เปรียบเทียบ 4 สิ่งทดลอง ได้แก่ 1) ไม่วางน้ำหมักชีวภาพ 2) รดน้ำหมักปลา 3) รดน้ำหมักหอยเชอรี่ 4) รดน้ำหมักผลไม้ ทดสอบโดยในถั่วเหลืองฝักสด 2 พันธุ์ คือ พันธุ์เชียงใหม่ 84-2 และพันธุ์เชียงใหม่ 1

3. วิธีการเตรียมน้ำหมักและการใช้น้ำหมัก ทำตามวิธีการของกรมพัฒนาที่ดิน (กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2546) ได้แก่ เตรียมวัสดุหมัก ได้แก่ เศษปลา หอยเชอรี่ (ตัวและเปลือก) และเศษผลไม้ มาทุบ สับ ย่อย ให้มีขนาดเล็กไม่เกิน 1 เซนติเมตร ผสมกับกากน้ำตาล น้ำ และสาร พด.2 ในอัตราส่วน วัสดุหมัก 3 กิโลกรัม ผสมกากน้ำตาล 1 กิโลกรัม น้ำ 1 ลิตร และสาร พด.2 หนัก 2.5 กรัม คนให้เข้ากัน หมักในถังพลาสติกปิดฝา ใช้เวลาหมักตามระยะเวลาที่กำหนดได้แก่ น้ำหมักผลไม้ใช้เวลาหมัก 7 วัน น้ำหมักปลาและน้ำหมักหอยเชอรี่ใช้เวลาหมัก 21 วัน สำหรับการใช้น้ำหมักกับพืช ใช้น้ำหมักรดและฉีดพ่นทางใบ อัตราส่วนการใช้ ตามวิธีของสมเกียรติ สุวรรณศิริ (2547) โดยใช้น้ำหมักจำนวน 1 มิลลิลิตร ต่อน้ำเปล่า จำนวน 500 มิลลิลิตร ทุก 7 วัน

4. ปลุกและการดูแลการเจริญเติบโต โดยก่อนปลุก เตรียมดินปลูกโดยใช้ดินเหนียวในพื้นที่ทำนาตำบลตะค่า อำเภอบางปลาม้า จังหวัดสุพรรณบุรี พรวนดินให้มีความสม่ำเสมอเหมือนกัน นำใส่กระถางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 เซนติเมตร คลุกเมล็ดพันธุ์ด้วยไรโซเบียมจากกรมวิชาการเกษตร อัตราปลูก 5 เมล็ดต่อหลุม และเมื่อถั่วเหลืองเจริญเติบโตมีใบเลี้ยงงอก 2 ใบ ถอนให้เหลือ 2 ต้นต่อ 1 กระถาง รดน้ำและให้น้ำหมักตามสิ่งทดลองที่กำหนด (โดยไม่มีการใส่ปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยอินทรีย์ชนิดอื่น) ควบคุม ป้องกันกำจัดโรค แมลง ด้วยสารเคมีตามความเหมาะสม โดยงดการใช้สารเคมีก่อนระยะเวลากักเก็บเกี่ยวอย่างน้อย 2 สัปดาห์

5. เก็บเกี่ยวเมล็ดพันธุ์เมื่อเมล็ดสุกแก่ (สังเกตจากสีของฝักถั่วเหลืองเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลและต้นแห้ง โดยพันธุ์เชียงใหม่ 84-2 อายุเก็บเกี่ยวที่ 63-69 วัน และพันธุ์เชียงใหม่ 1 อายุเก็บเกี่ยวที่ 75 วัน) การเก็บรวบรวมข้อมูลประกอบด้วย การเจริญเติบโตและผลผลิต ได้แก่ ความสูงต้น จำนวนกิ่งต่อต้น จำนวนฝักต่อต้น น้ำหนักเมล็ดต่อต้น และน้ำหนักเมล็ดดี

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากข้อมูลการวิเคราะห์ผลในด้านต่าง ๆ มีรายละเอียดดังนี้

ผลการทดลองในถั่วเหลืองฝักสดพันธุ์ เชียงใหม่ 84-2

การตรวจวัดค่าความสูงและจำนวนกิ่งของถั่วเหลืองฝักสดพันธุ์เชียงใหม่ 84-2 แสดงในตารางที่ 1 โดยความสูงของถั่วเหลืองฝักสดพันธุ์เชียงใหม่ 84-2 แสดงค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ สำหรับจำนวนกิ่งพบว่า การใช้น้ำหมักหอยเชอรี่ มีผลทำให้จำนวนกิ่งเฉลี่ยต่อต้นของถั่วเหลืองฝักสดสูงที่สุด คือ 8.17 กิ่ง รองลงมาคือ การใช้น้ำหมักผลไม้ (7.50 กิ่ง) การไม่ใช้น้ำหมัก (6.50 กิ่ง) และการใช้น้ำหมักปลา (5.83 กิ่ง) ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ความสูง และจำนวนกิ่ง ของถั่วเหลืองฝักสดพันธุ์เชียงใหม่ 84-2

สิ่งทดลอง	ความสูง (ซม.)	จำนวนกิ่ง (กิ่ง)
ไม่ใช้น้ำหมัก	35.17	6.50 ab
ใช้น้ำหมักปลา	33.33	5.83 c
ใช้น้ำหมักหอยเชอรี่	34.17	8.17 a
ใช้น้ำหมักผลไม้	35.83	7.50 ab
F-test	ns	*
cv (%)	12.51	47.51

หมายเหตุ ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

* หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติมีระดับความเชื่อมั่นไม่น้อยกว่า 95%

ตัวอักษรที่กำกับในแต่ละคอลัมน์ แสดงความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย โดยการใช้ LSD

ส่วนการตรวจวัดด้านผลผลิตของถั่วเหลืองฝักสดพันธุ์เชียงใหม่ 84-2 แสดงในตารางที่ 2 โดยจำนวนฝัก พบว่า การใช้น้ำหมักผลไม้ มีผลทำให้ค่าจำนวนฝักเฉลี่ยต่อต้นของถั่วเหลืองฝักสดสูงที่สุด คือ 23.83 ฝัก

รองลงมาคือ การใช้น้ำหมักหอยเชอรี่ (22.83 ฝัก) การไม่ใช้น้ำหมัก (11.83 ฝัก) และการใช้น้ำหมักปลา (5.00 ฝัก) ตามลำดับ

การตรวจวัดจำนวนเมล็ดดีต่อต้น พบว่าการใช้น้ำหมักหอยเชอรี่มีผลทำให้ค่าจำนวนฝักดีเฉลี่ยต่อต้นของถั่วเหลืองฝักสดสูงที่สุด คือ 39.67 กรัม รองลงมาคือ การใช้น้ำหมักผลไม้ (27.50 กรัม) การไม่ใช้น้ำหมัก (17.50 กรัม) และการใช้น้ำหมักปลา (7.00 กรัม) ตามลำดับ

การตรวจวัดน้ำหนักเมล็ดดีต่อต้น พบว่า การใช้น้ำหมักหอยเชอรี่มีผลทำให้ค่าน้ำหนักเมล็ดดีเฉลี่ยต่อต้นของถั่วเหลืองฝักสดสูงที่สุดคือ 20.96 กรัม รองลงมาคือ การใช้น้ำหมักผลไม้ (13.28 กรัม) การไม่ใช้น้ำหมัก (7.38 กรัม) และการใช้น้ำหมักปลา (2.85 กรัม) ตามลำดับ ส่วนน้ำหนักเมล็ดดี 100 เมล็ด พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าอยู่ที่ 38.95 กรัม ถึง 52.24 กรัม โดยการใช้ น้ำหมักหอยเชอรี่มีแนวโน้มให้ค่าน้ำหนัก 100 เมล็ดสูงที่สุด

ตารางที่ 2 จำนวนฝักต่อต้น จำนวนเมล็ดดีต่อต้น น้ำหนักเมล็ดดีต่อต้น และน้ำหนักเมล็ดดี 100 เมล็ด ของถั่วเหลือง ฝักสดพันธุ์เชียงใหม่ 84-2

สิ่งทดลอง	จำนวนฝักต่อต้น (ฝัก)	จำนวนเมล็ดดีต่อต้น (กรัม)	น้ำหนักเมล็ดดีต่อต้น (กรัม)	น้ำหนักเมล็ดดี 100 เมล็ด (กรัม)
ไม่ใช้น้ำหมัก	11.83 ab	17.50 bc	7.38 b	39.71
ใช้น้ำหมักปลา	5.00 b	7.00 c	2.85 bc	38.95
ใช้น้ำหมักหอยเชอรี่	22.83 a	39.67 a	20.96 a	52.24
ใช้น้ำหมักผลไม้	23.83 a	27.50 ab	13.28 ab	46.60
F-test	*	*	*	ns
cv (%)	47.51	46.76	56.15	21.04

หมายเหตุ ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

* หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติมีระดับความเชื่อมั่นไม่น้อยกว่า 95%

ตัวอักษรที่กำกับในแต่ละคอลัมน์ แสดงความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย โดยการใช้ LSD

ผลการทดลองในพันธุ์เชียงใหม่ 1

การศึกษาลงของน้ำหมักชีวภาพต่อการตรวจวัดการเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่วเหลืองฝักสดพันธุ์เชียงใหม่ 1 แสดงผลในตารางที่ 3 และตารางที่ 4 โดยผลของน้ำหมักชีวภาพถั่วเหลืองฝักสดพันธุ์เชียงใหม่ 1 พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยการใช้ น้ำหมักหอยเชอรี่มีแนวโน้มให้จำนวนกิ่งสูงที่สุด ส่วนน้ำหมักผลไม้มีแนวโน้มให้ค่าความสูง จำนวนฝักต่อต้น จำนวนเมล็ดดีต่อต้น น้ำหนักเมล็ดดีต่อต้น และน้ำหนัก 100 เมล็ดสูงที่สุด

ตารางที่ 3 ความสูง และจำนวนกิ่ง ของถั่วเหลืองฝักสดพันธุ์เชียงใหม่ 1

สิ่งทดลอง	ความสูง (ซม.)	จำนวนกิ่ง (กิ่ง)
ไม่ใช้น้ำหมัก	42.67	10.00
ใช้น้ำหมักปลา	41.17	8.00
ใช้น้ำหมักหอยเชอรี่	43.50	11.17
ใช้น้ำหมักผลไม้	48.33	10.00
F-test	ns	ns
cv (%)	12.69	15.60

หมายเหตุ ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 4 จำนวนฝักต่อต้น จำนวนเมล็ดดีต่อต้น น้ำหนักเมล็ดดีต่อต้น และน้ำหนักเมล็ดดี 100 เมล็ด ของถั่วเหลืองฝักสดพันธุ์เชียงใหม่ 1

สิ่งทดลอง	จำนวนฝักต่อต้น (ฝัก)	จำนวนเมล็ดดีต่อต้น (กรัม)	น้ำหนักเมล็ดดีต่อต้น (กรัม)	น้ำหนักเมล็ดดี 100 เมล็ด (กรัม)
ไม่ใช้น้ำหมัก	43.50	60.83	22.27	36.42
ใช้น้ำหมักปลา	31.00	39.17	24.48	55.06
ใช้น้ำหมักหอยเชอรี่	37.17	55.00	26.20	46.78
ใช้น้ำหมักผลไม้	39.83	60.83	30.26	49.57
F-test	ns	ns	ns	ns
cv (%)	20.28	27.71	54.61	53.64

หมายเหตุ ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

วิจารณ์ผลการทดลอง

การใช้น้ำหมักชีวภาพ มีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่วเหลืองฝักสดพันธุ์เชียงใหม่ 84-2 โดยการใช้น้ำหมักหอยเชอรี่และน้ำหมักผลไม้ให้ค่าการเจริญเติบโต คือ จำนวนกิ่งต่อต้น 7.50-8.17 กิ่ง และให้ค่าผลผลิตสูงที่สุด ได้แก่ จำนวนฝักต่อต้น 22.83-23.83 ฝัก จำนวนเมล็ดดีต่อต้น 27.50-39.67 เมล็ด และน้ำหนักเมล็ดดีต่อต้น 13.28-20.96 กรัม ส่วนในพันธุ์เชียงใหม่ 1 พบว่า การใช้น้ำหมักหอยเชอรี่และน้ำหมักผลไม้มีแนวโน้มให้ค่าการเจริญเติบโตและผลผลิตสูงที่สุดเช่นกัน ได้แก่ ความสูง 43.50-48.33 เซนติเมตร จำนวนกิ่งต่อต้น 10.00-11.17 กิ่ง และน้ำหนักเมล็ดดีต่อต้น 26.20-30.26 กรัม ทั้งนี้ น้ำหมักชีวภาพหอยเชอรี่และน้ำหมักผลไม้ไม่มีแนวโน้มช่วยให้การเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่วเหลืองฝักสดมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากน้ำหมักชีวภาพสูตรใช้หอยเชอรี่ กรณีใช้ทั้งตัวหอยพร้อมเปลือกมาหมัก มีองค์ประกอบทางธาตุอาหารสูง โดยมีค่าไนโตรเจนสูงถึงร้อยละ 0.84 (กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2554) สำหรับในน้ำหมักสูตรผลไม้รวม มีค่าไนโตรเจนร้อยละ 0.27 นอกจากนี้ในน้ำหมักหอยเชอรี่มีปริมาณกรดฮิวมิกที่มีส่วนช่วยเร่งการเจริญเติบโตได้ประกอบอยู่ร้อยละ 3.07 มีจุลธาตุประเภท เหล็ก แมงกานีส ทองแดง สังกะสี เป็นองค์ประกอบสูงกว่าน้ำหมัก

ประเภทอื่นๆ โดยธาตุเหล่านี้มีความจำเป็นต่อการเจริญโตและการให้ผลผลิต หากพืชขาดจะทำให้ไม่เจริญเติบโต ครบวงจรชีวิตหรือทำให้คุณภาพของผลผลิตต่ำลงได้ อีกทั้งในน้ำหมักหอยเชอร์รี่และน้ำหมักผลไม้มีองค์ประกอบของธาตุแคลเซียมอยู่ร้อยละ 0.58 และ 1.65 ตามลำดับ และในน้ำหมักผลไม้ยังมีองค์ประกอบของธาตุโบรอนสูงถึง 18 ppm ซึ่งมากกว่าน้ำหมักชนิดอื่นๆ (กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2550) ส่งผลทำให้มีจำนวนฝักต่อต้นสูงมากกว่าการไม่ใช้น้ำหมักอย่างชัดเจน ซึ่งทั้งธาตุแคลเซียมและโบรอนมีผลดีต่อการพัฒนาการของฝักและเมล็ดของถั่วเหลืองฝักสดได้ (สุพรรณิ ปัญญาจีน และคณะ, 2553) ทั้งนี้ สอดคล้องกับการทดลองในข้าวของ มนทนา รุจิระศักดิ์ และพิทยา เกิดนุ่น (2557) พบว่า การฉีดพ่นน้ำหมักไช่หอยเชอร์รี่ เจือจาง 300 ถึง 350 เท่าแก่ต้นข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 มีแนวโน้มทำให้ผลผลิตข้าวสูงขึ้น เนื่องมาจากการเพิ่มจำนวนรวงต่อตารางเมตรและน้ำหนัก 100 เมล็ด

เมื่อพิจารณาการน้ำหนักเมล็ดดีต่อต้น พบว่า การใช้ น้ำหมักหอยเชอร์รี่ และการใช้น้ำหมักผลไม้ไม่มีผลทำให้ น้ำหนักเมล็ดดีสูงขึ้น มากกว่าร้อยละ 77 เมื่อเทียบกับการไม่ใช้น้ำหมัก พบว่า สอดคล้องกับการทดลองของ Herawati and Munadi (2017) ที่พบว่า การใช้ปุ๋ยน้ำชีวภาพมีผลทำให้ผลผลิตของถั่วเหลืองเพิ่มมากขึ้นถึงร้อยละ 14.3 ของผลผลิตปกติ นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาเรื่องน้ำหนักเมล็ดดังกล่าวเมื่อเปรียบเทียบกับ การทดลองของ รัชตา ทนวิสูตร (2559) ซึ่งทดลองใช้ ปุ๋ยเคมี 16-16-16 และ 13-13-21 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ กับการปลูกถั่วเหลืองฝักสดพันธุ์เชียงใหม่ 84-2 พบว่าให้ค่าน้ำหนักเมล็ดต่อต้นคือ 17 กรัมต่อต้น ในขณะที่จากการทดลองนี้การใช้น้ำหมักหอยเชอร์รี่ได้น้ำหนักเมล็ดดีต่อต้น 20.96 กรัม แสดงให้เห็นว่าการใช้น้ำหมักหอยเชอร์รี่มีแนวโน้มให้ผลผลิตดีไม่น้อยกว่าการใช้ปุ๋ยเคมี

สรุปผลการทดลอง

1. การใช้น้ำหมักชีวภาพต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่วเหลืองฝักสด พบว่ามีผลการตอบสนองในพันธุ์เชียงใหม่ 84-2 แต่พันธุ์เชียงใหม่ 1 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ
2. การใช้น้ำหมักชีวภาพ มีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่วเหลืองฝักสดพันธุ์เชียงใหม่ 84-2 โดย น้ำหมักหอยเชอร์รี่ และน้ำหมักผลไม้ ให้ค่าการเจริญเติบโตสูงสุด คือ จำนวนกิ่งต่อต้น 7.50-8.17 กิ่ง และผลผลิตสูงสุด ได้แก่ จำนวนฝักต่อต้น 22.83-23.83 ฝัก จำนวนเมล็ดดีต่อต้น 27.50-39.67 เมล็ด และน้ำหนักเมล็ดดีต่อต้น 13.28-20.96 กรัม และการใช้น้ำหมักหอยเชอร์รี่และน้ำหมักผลไม้มีแนวโน้มให้ค่าการเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 1 สูงที่สุด ได้แก่ ความสูง 43.50-48.33 เซนติเมตร จำนวนกิ่งต่อต้น 10.00-11.17 กิ่ง และน้ำหนักเมล็ดดีต่อต้น 26.20-30.26 กรัม

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา ที่สนับสนุนอุปกรณ์และสถานที่ทำการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2546). สารเร่งประเภทจุลินทรีย์ พด.1 พด.2 พด.3 สำหรับเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินและผลผลิตการเกษตร. กรุงเทพฯ: สำนักวิจัยและพัฒนาการจัดการที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

- กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2550). เอกสารเพื่อการถ่ายทอดเทคโนโลยี ชุดความรู้และเทคโนโลยีการพัฒนาดิน เรื่องมีอะไรในปุ๋ยอินทรีย์น้ำ (สนท.010008-2550). กรุงเทพฯ: สำนักนิเทศและถ่ายทอดเทคโนโลยีการพัฒนาดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2554). เอกสารเพื่อการถ่ายทอดเทคโนโลยี ชุดความรู้และเทคโนโลยีการพัฒนาดิน เรื่องการผลิตปุ๋ยน้ำชีวภาพจากหอยเชอรี่ (สนท.020018-2554). กรุงเทพฯ: สำนักนิเทศและถ่ายทอดเทคโนโลยีการพัฒนาดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- กรมส่งเสริมการเกษตร. (2562). ถั่วเหลืองฝักสด : พื้นที่เพาะปลูก 2561/62. สืบค้นจาก <http://www.agriinfo.doae.go.th/year62/plant/rortor/agronomy/22.pdf>
- มนทนา รุจิระศักดิ์, และพิทยา เกิดนุ่น. (2557). การใช้น้ำหมักไข่หอยเชอรี่เพื่อเพิ่มผลผลิตข้าว, วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์, 6(1), 73-80.
- รัชตา ทนวิหวัตร. (2559). อิทธิพลของการใส่ปุ๋ยต่อองค์ประกอบผลผลิต และผลผลิตเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองฝักสด กลิ่นหอม, วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 11(3), 55-63.
- สมเกียรติ สุวรรณศิริ. (2547). ปุ๋ยน้ำชีวภาพหรือน้ำสกัดชีวภาพและการประยุกต์ใช้ในกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (อีเอ็ม) (ด้านการเกษตรและสิ่งแวดล้อม). เชียงใหม่: ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- สุพรรณิ ปัญญาจีน, ทรงขาว อินสมพันธ์, และดำเนิน กาละดี. (2553). การตอบสนองต่อแคลเซียมและโบรอน ในถั่วเหลืองฝักสด, วารสารเกษตร, 26(1), 59-68.
- Herawati, J., & Munadi, E. (2017). Effect of basic fertilizer doses and liquid organic fertilizer concentration on soybean yield. *Journal of Agricultural Biotechnology and Sustainable Development*, 9(6), 45-53.

ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณฟีนอลิกรวมของสารสกัดหยาบลูกยอ

ณพัฐอร บัวฉุน^{1*}

Received : October 15, 2019

Revised : August 20, 2020

Accepted : August 25, 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาชนิดพฤษทางเคมี ปริมาณฟีนอลิกรวม ปริมาณแทนนินรวม ฟลาโวนอยด์รวม และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบลูกยอ โดยนำผลมาทำการสกัดด้วยเอทานอล ทำการวิเคราะห์หาปริมาณฟีนอลิกรวม แทนนินรวม ฟลาโวนอยด์รวม และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบลูกยอ ด้วยวิธี DPPH radical scavenging จากการศึกษา พบว่า สารสกัดหยาบลูกยอพบชนิดสารพฤษเคมี ได้แก่ ฟลาโวนอยด์ คูมาริน ซาโปนิน แทนนิน เทอร์ปีนอยด์ และ โพลีฟีนอล สารสกัดหยาบลูกยอมีปริมาณฟีนอลิกรวม ปริมาณแทนนินรวม และ ปริมาณฟลาโวนอยด์ เท่ากับ 98.68 ± 0.02 mg GAE/g, 90.78 ± 0.03 mg TAE/g และ 113.29 ± 0.05 mg QE/g ตามลำดับ และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging พบว่าสารสกัดหยาบลูกยอมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงสุด โดยมีค่า EC_{50} เท่ากับ 11.93 ± 0.04 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

คำสำคัญ: ปริมาณฟีนอลิกรวม พฤษทางเคมี ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ลูกยอ

¹อาจารย์ประจำหลักสูตรสาขาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี

*ผู้เขียนหลัก อีเมล: send2duang@hotmail.com

ANTIOXIDANT ACTIVITY AND TOTAL PHENOLIC CONTENT FROM CRUDE EXTRACTS OF *MORINDA CITRIFOLIA*

Napattaorn Buachoon^{1*}

Abstract

The aim of present study is to screen the phytochemical, total phenolic content, total tannin content, total flavonoid content and antioxidant activity of *Morinda citrifolia* from fruits. The *Morinda citrifolia* fruits were extracted by ethanol. Total phenolic content, total tannin content, total flavonoid content and antioxidant activity using DPPH radical scavenging method from crude extracts of *Morinda citrifolia* were evaluated. In this study, the phytochemical screening of *Morinda citrifolia* extracts were flavonoids, coumarins, saponins, tannins terpenoids and phlobatannins. The extracts showed the highest total phenolic content and total flavonoid content of 98.68 ± 0.02 mg GAE/g, 90.78 ± 0.03 mg TAE/g and 113.29 ± 0.05 mg QE/g, respectively. The antioxidant activity using DPPH radical scavenging method extracts of fruits *Morinda citrifolia* showed the highest antioxidant activity with EC_{50} values of 11.93 ± 0.04 mg/mL.

Keywords: Total phenolic content, Phytochemical screening, Antioxidant activity, *Morinda citrifolia* L.

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

*Corresponding author, e-mail: send2duang@hotmail.com

บทนำ

สารอนุมูลอิสระ (Free radicals) หรือ Reactive oxygen species (ROS) เป็นโมเลกุล หรือ ไอออนที่มีอิเล็กตรอนโดดเดี่ยวอยู่บนนอกและมีอายุสั้นมากจัดเป็นโมเลกุลที่ไม่เสถียร และว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมี จึงทำปฏิกิริยากับโมเลกุลต่าง ๆ ภายในร่างกายเพื่อให้สารอนุมูลอิสระนั้นมีความเสถียรมากขึ้น แหล่งที่ทำให้เกิดอนุมูลอิสระในตัวคน มี 2 แหล่ง คือ จากภายในร่างกาย เช่น การเผาผลาญอาหาร การหายใจ การออกกำลังกาย และจากแหล่งภายนอกร่างกายที่เป็นตัวกระตุ้นให้เกิดอนุมูลอิสระ ได้แก่ ความเครียด มลพิษในอากาศ เป็นต้น อนุมูลอิสระมีหลายชนิดโดยชนิดที่สำคัญ ได้แก่ ซูเปอร์ออกไซด์แอนไอออน (Superoxide anion) ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide) ไฮดรอกซิลแรดิคัล (Hydroxyl radical) เมื่อมีอนุมูลอิสระเกิดขึ้น จึงเกิดการทำลายโมเลกุลอื่น ๆ ต่อเนื่องกันเป็นลูกโซ่ ส่งผลให้เกิดการอักเสบของเนื้อเยื่อร่างกาย เกิดริ้วรอยบนใบหน้า รอบดวงตา และผิวพรรณ รวมทั้งเป็นสาเหตุของการเกิดโรคเรื้อรังต่าง ๆ เช่น โรคหัวใจขาดเลือด ความดันโลหิตสูง อัลไซเมอร์ เบาหวาน และมะเร็ง เป็นต้น ปกติภายในร่างกายมีกลไกป้องกันการโจมตีจากอนุมูลอิสระ โดยอาศัยการทำงานของสารต้านอนุมูลอิสระที่สร้างขึ้นในร่างกาย เช่น เอนไซม์ Superoxide dismutase (SOD), Catalase และ Glutathione peroxidase เป็นต้น แต่การสร้างสารต้านอนุมูลอิสระยังไม่เพียงพอและมีขีดจำกัด และเมื่ออายุเพิ่มขึ้นร่างกายจะมีการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระน้อยลงกว่าเดิม ดังนั้นร่างกาย จึงควรรับสารต้านอนุมูลอิสระจากภายนอกด้วยเช่นกัน สารต้านอนุมูลอิสระหรือสารแอนติออกซิแดนท์ (Antioxidants) ที่รู้จักกันดี ได้แก่ วิตามินซี วิตามินอี ซีลีเนียม เบต้าแคโรทีน วิตามินเอ และฟลูเคซีเคมีต่าง ๆ (Phytochemical) เช่น โพลีฟีนอล (Polyphenol) และไอโซฟลาโวน (Isoflavone) เป็นต้น ปัจจุบันสารต้านอนุมูลอิสระถูกนำมาใช้เป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์เสริม อาหารหลายชนิด นอกจากนี้ยังมีการใช้สารต้านอนุมูลอิสระธรรมชาติในเภสัชภัณฑ์ และ ส่วนประกอบอื่น ๆ ในผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เช่น สารกันบูดในอาหาร และ เครื่องสำอาง (วรพร ศีลศร, 2554)

यो มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Morinda citrifolia* เป็นพืชพื้นเมืองในแถบพอลินีเซียตอนใต้ แล้วแพร่กระจายไปยังบริเวณอื่น ๆ ภาษามลายูเรียก เมอคาตู ในหมู่เกาะในมหาสมุทรแปซิฟิกเรียก โนนู เป็นไม้ยืนต้น ต้นสีเหลี่ยม เปลือกต้นเรียบ ใบสีเขียวเข้ม ดอกออกเป็นช่อที่ช่อใบ ฐานดอกติดกันแน่นเป็นทรงกลม ผลทรงยาวรี เมื่ออ่อนสีเขียว พอสุกเปลี่ยนเป็นสีขาวนวล เนื้อนุ่ม รสเผ็ด กลิ่นแรง มีเมล็ดจำนวนมาก สีสน้ำตาลเข้ม เป็นสมุนไพรพื้นบ้านและเป็นยาอายุวัฒนะที่คนไทยทั่วทุกภาครู้จักและบริโภคเป็นอาหารมานาน ทั้งผล ใบ และรากของโยโย มีสารต้านอนุมูลอิสระหลายชนิด ซึ่งมีผลเสริมฤทธิ์กันในการขจัดอนุมูลอิสระ (Free radicals) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น Flavonoids, Triterpenoids, Triterpenes, Saponins, Carotenoids, Vitamin C, Vitamin E เป็นต้น (Scortichini & Rossi, 1991) มีรายงานพบว่า สารสกัดจากส่วนต่าง ๆ ของโยโย เช่น ผล ใบ ราก และน้ำหมักลูกโยโยมีฤทธิ์ปกป้องความเป็นพิษต่อดับที่เกิดจากการเหนี่ยวนำด้วยสารพิษต่างๆ ในสัตว์ทดลอง เช่น น้ำลูกโยโยมีฤทธิ์ปกป้องความเป็นพิษต่อดับที่ถูกเหนี่ยวนำด้วยคาร์บอนเตตระคลอไรด์ (CCl₄) แบบเรื้อรังในหนู *Sprague dawley* (Bhawna & Kumar, 2009) น้ำหมักลูกโยโยสามารถลดพยาธิสภาพการทำลายเซลล์ตับของหนูขาวใหญ่ที่เหนี่ยวนำให้เกิดเบาหวานด้วย streptozotocin (Nayak et al., 2011) สารสกัดผลโยโยสามารถลดความเป็นพิษต่อดับที่ถูกเหนี่ยวนำด้วยยารักษาโรควัณโรค isoniazid (INH) และ rifampicin (Sunarni et al., 2012) ในหนูขาวใหญ่

จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้น งานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะนำลูกโยโยมาทำการสกัดเพื่อศึกษาชนิดฟลูเคซีเคมี ปริมาณสารฟีนอลิกรวม ปริมาณสารแทนนินรวม ปริมาณสารฟลาโวนอยด์รวม และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ เพื่อ

นำไปเป็นฐานข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ในการสนับสนุนฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและเป็นการเพิ่มคุณค่าให้กับพืชสมุนไพรไทยและเป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาขั้นสูงต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาชนิดพฤกษเคมีของสารสกัดหยาบลูกยอ
2. เพื่อศึกษาปริมาณสารฟีนอลิกรวม ปริมาณสารแทนนินรวม และปริมาณสารฟลาโวนอยด์รวมของสารสกัดหยาบลูกยอ
3. เพื่อศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบลูกยอ

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมสารสกัดหยาบ

ใช้ผลยอที่มีคุณภาพดี ไม่มีแมลงเจาะทำลาย ผลแก่ใกล้สุก มีสีเหลืองปนเขียว เก็บจากสวนในจังหวัดปทุมธานี ที่ไม่มีการใช้ยาฆ่าแมลง นำมาผ่าเป็นชิ้นเล็กๆ แยกเอาเมล็ดออก อบให้แห้ง และปั่นให้เป็นผง ชั่งน้ำหนักแห้งเทียบกับน้ำหนักสดตั้งต้น และนำผงลูกยอแห้งจำนวน 500 กรัม ใส่ในโหลแก้ว เติมหั่นทำละลาย 95% เอทานอล จำนวน 2,000 มิลลิลิตร ปิดโหลให้สนิท เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน ทำการกรองสารละลายของแต่ละตัวอย่าง นำสารละลายที่กรองได้ไประเหยด้วยเครื่องระเหยสารแบบหมุนภายใต้สุญญากาศ ชั่งน้ำหนักสารสกัดหยาบแต่ละตัวอย่างที่ได้ เก็บรักษาสารสกัดในภาชนะปิดที่บดแสงที่อุณหภูมิห้อง จนกว่าจะใช้ทดสอบในขั้นตอนต่อไป

2. การตรวจสอบชนิดพฤกษเคมี

การตรวจสอบชนิดพฤกษเคมีของสารสกัดหยาบลูกยอโดยแบ่งการทดสอบ 9 กลุ่ม ได้แก่ ฟลาโวนอยด์ แอนทราควิโนน คูมาริน ซาโปนิน แทนนิน โพลีฟีนอลแทนนิน เทอร์ปีนอยด์ สเตียรอยด์ และคาร์ดิแอกไกลโคไซด์ โดยอาศัยปฏิกิริยาการเกิดสีหรือตะกอน (Ayoola et al., 2008; Koleva et al., 2002) แต่ละการทดสอบทำการทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง ดังนี้

2.1 การตรวจสอบสเตียรอยด์ (Steroids)

ชั่งสารสกัดจำนวน 0.2 กรัม ละลายด้วยคลอโรฟอร์มเขย่ากรองส่วนที่ไม่ละลายออกนำของเหลวที่ได้จากการกรอง เติมกรดกลูเซิลแอซิดิกทำการเขย่า เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น ถ้าสารละลายมีสีน้ำเงินหรือน้ำเงินเขียว แสดงว่าพบสเตียรอยด์

2.2 การตรวจสอบฟลาโวนอยด์ (Flavonoids)

ชั่งสารสกัดจำนวน 0.2 กรัม ละลายด้วย 50% เอทานอล เขย่ากรองส่วนที่ไม่ละลายออกนำของเหลวที่ได้จากการกรอง ใส่หลอดแมกนีเซียมชิ้นเล็กๆ และหยดกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น เขย่า นำไปอุ่นบนเครื่องอังน้ำเป็นเวลา 5 นาที ถ้าสารละลายมีสีเหลืองเข้ม แสดงว่าพบ ฟลาโวนอยด์

2.3 การตรวจสอบแอนทราควิโนน (Anthraquinones)

ชั่งสารสกัดจำนวน 0.2 กรัม เติมสารละลาย 10% H_2SO_4 เขย่านำไปอุ่นบนเครื่องอังน้ำเป็นเวลา 5 นาที กรองส่วนที่ไม่ละลายออก ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เมื่อสารละลายเย็น นำของเหลวที่ได้จากการกรองไปเติมสารละลายแอมโมเนีย (10% NH_3) เขย่า ถ้าสารละลายมีสีชมพูแดงเกิดขึ้น แสดงว่าพบ แอนทราควิโนน

2.4 การตรวจสอบแทนนิน (Tannins)

ซึ่งสารสกัดจำนวน 0.2 กรัม เติมน้ำกลั่นปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร นำไปอุ่นบนเครื่องอังน้ำเป็นเวลา 5 นาที กรองส่วนที่ไม่ละลายออก นำของเหลวที่ได้จากการกรองมาเติมด้วยสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ (1% FeCl_3) จำนวน 5 หยด เขย่า ถ้าสารละลายมีสีเขียวดำหรือน้ำเงินดำ แสดงว่าพบ แทนนิน

2.5 การตรวจสอบเทอร์ปีนอยด์ (Terpenoids)

ซึ่งสารสกัดจำนวน 0.2 กรัม ละลายด้วยคลอโรฟอร์ม เขย่า กรองส่วนที่ไม่ละลายออก นำของเหลวที่ได้จากการกรอง ค่อยๆ เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้นลงไป ถ้าพบวงแหวนสีน้ำตาลตรงรอยต่อระหว่างชั้นของสารสกัดกับสารละลายกรดซัลฟิวริก แสดงว่าพบ เทอร์ปีนอยด์

2.6 การตรวจสอบซาโปนิน (Saponins)

ซึ่งสารสกัดจำนวน 0.2 กรัม เติมน้ำกลั่น นำไปอุ่นบนเครื่องอังน้ำเป็นเวลา 5 นาที เขย่าอย่างแรง ถ้าเกิดฟองถาวรเกิดขึ้นในหลอดทดลอง แสดงว่าพบ ซาโปนิน

2.7 การตรวจสอบคูมาริน (Coumarins)

ซึ่งสารสกัดจำนวน 0.2 กรัม ละลายด้วย 50 % เอทานอล เขย่า กรองส่วนที่ไม่ละลายออก นำของเหลวที่ได้จากการกรอง เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (6 M NaOH) เขย่า ถ้าสารละลายมีสีเหลืองเข้มแสดงว่าพบ คูมาริน

2.8 การตรวจสอบโฟลบาแทนนิน (Phlobatannins)

ซึ่งสารสกัดจำนวน 0.2 กรัม เติมน้ำกลั่น นำไปอุ่นบนเครื่องอังน้ำเป็นเวลา 5 นาที กรองส่วนที่ไม่ละลายออก นำของเหลวที่ได้จากการกรองเติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (10% HCl) เขย่า แล้วนำไปอุ่นบนเครื่องอังน้ำ 5 นาที ถ้าสารละลายมีสีเขียวดำหรือน้ำเงินดำ แสดงว่าพบ โฟลบาแทนนิน

2.9 การตรวจสอบคาร์ดิแอกไกลโคไซด์ (Cardiac glycosides)

ซึ่งสารสกัดจำนวน 0.2 กรัม ละลายด้วยคลอโรฟอร์ม เขย่า กรองส่วนที่ไม่ละลายออก นำของเหลวที่ได้เติมสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ (1% FeCl_3) เขย่าเติมกรดกลูเซิลแอซีติก และค่อยๆ เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น ถ้าพบวงแหวนสีน้ำตาลตรงรอยต่อระหว่างชั้นของสารสกัดกับสารละลายกรดซัลฟิวริก แสดงว่าพบ คาร์ดิแอกไกลโคไซด์

3. การหาปริมาณฟีนอลิกรวม (Tsai et al., 2005)

เตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกที่ความเข้มข้นต่างๆ (0, 20, 40, 60 และ 80 ppm) โดยนำสารละลายมาตรฐานแต่ละความเข้มข้นมา 0.2 มิลลิลิตร เติมน้ำ 2.5 มิลลิลิตร และเติมสารละลาย Folin-ciocalteu 0.2 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน เติมนโซเดียมคาร์บอเนต (7% Na_2CO_3) 2 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 60 นาที วัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร ทำการทดสอบสารสกัดเช่นเดียวกับสารละลายมาตรฐาน โดยแต่ละตัวอย่างทำการทดลอง 3 ซ้ำ สร้างกราฟหาสมการเส้นตรงเพื่อหาปริมาณฟีนอลิกรวมในสารสกัดจากกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก นำเสนอในหน่วยมิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักสารสกัดแห้ง (mg GAE/g extract)

4. การหาปริมาณแทนนินรวม (Tsai et al., 2005)

เตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแทนนิกที่ความเข้มข้นต่างๆ (0, 20, 40, 60 และ 80 ppm) โดยนำสารละลายมาตรฐานแต่ละความเข้มข้นมา 0.2 มิลลิลิตร เติมน้ำ 2.5 มิลลิลิตร และเติมสารละลาย Folin-ciocalteu 2 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน เติมนโซเดียมคาร์บอเนต (7% Na_2CO_3) 2 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 60 นาที วัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร ทำการทดสอบสารสกัดเช่นเดียวกับสารละลายมาตรฐาน

โดยแต่ละตัวอย่างทำการทดลอง 3 ซ้ำ สร้างกราฟหาสมการเส้นตรงเพื่อหาปริมาณแทนนินรวมในสารสกัดจากกราฟมาตรฐานของกรดแทนนิก นำเสนอในหน่วยมิลลิกรัมสมมูลของกรดแทนนิกต่อกรัมน้ำหนักสารสกัดแห้ง (mg TAE/g extract)

5. การหาปริมาณฟลาโวนอยด์รวม (Prommuak et al., 2008)

เตรียมสารละลายสารมาตรฐานเคอร์ซีตินที่ความเข้มข้นต่างๆ (0, 20, 40, 60 และ 80 ppm) โดยนำสารละลายมาตรฐานแต่ละความเข้มข้นมา 0.2 มิลลิลิตร กับสารละลายอะลูมิเนียมไตรคลอไรด์ (1% $AlCl_3$) 1.8 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 10 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร ทำการทดสอบสารสกัดเช่นเดียวกับสารละลายมาตรฐานโดยแต่ละตัวอย่างทำการทดลอง 3 ซ้ำ สร้างกราฟหาสมการเส้นตรงเพื่อหาปริมาณฟลาโวนอยด์รวมในหน่วยมิลลิกรัมสมมูลของเคอร์ซีตินต่อน้ำหนักสารสกัดแห้ง (mg QE/g extract)

6. การหาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH (Prommuak et al., 2008)

เตรียมสารละลายสารมาตรฐาน (Butylated hydroxytoluene, BHA และ Butylated hydroxyanisole, BHT) สารสกัดหยาบลูกยอที่ความเข้มข้นต่างๆ (500, 250, 125, 62.5, และ 31.25 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) นำสารละลายมาตรฐานหรือสารสกัดที่ความเข้มข้นต่างๆ 2 มิลลิลิตร เติมสารละลาย DPPH 6×10^{-5} โมลาร์ 2 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 60 นาที โดยแต่ละตัวอย่างทำการทดลอง 3 ซ้ำ นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร คำนวณหา % Radical scavenging จากสูตร

$$\% \text{ Radical scavenging} = [(Ac - As)/Ac] \times 100$$

โดย Ac คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ของสารละลาย DPPH

As คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ของสารตัวอย่างผสมกับ DPPH

ค่าที่ได้นำมาคำนวณเพื่อหาค่า Effective concentration (EC_{50}) หรือค่าความเข้มข้นของสารสกัดที่ทำให้สารอนุมูลอิสระลดลง 50% จากกราฟระหว่างความเข้มข้นของสารตัวอย่างกับ % Radical scavenging

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการวิจัย

1. ผลการสกัดสารจากลูกยอ

ผลการสกัดลูกยอ โดยวิธีการหมักด้วยเอทานอล พบว่า สารสกัดหยาบลูกยอที่ได้มีลักษณะสีเหลืองเข้มหนืด นำมาหำร้อยละของสารสกัดหยาบลูกยอ (% Yield) พบว่า สารสกัดหยาบลูกยอ มีน้ำหนักคิดเป็นร้อยละสารสกัดหยาบ เท่ากับ 28.46

2. การทดสอบชนิดสารพฤษเคมี

ผลการทดสอบสารพฤษเคมีเบื้องต้นของสารสกัดหยาบลูกยอ พบว่า สารพฤษเคมีเบื้องต้นของสารสกัดหยาบลูกยอ มี 6 ชนิด คือ ฟลาโวนอยด์ คูมาริน ซาโปนิน ทอร์ปีนอยด์ โพลีฟีนอล และแทนนิน ผลการทดลอง ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบชนิดสารพฤกษเคมีของสารสกัดหยาบเอทานอลของลูกยอ

ชนิดสารพฤกษเคมี	สารสกัดหยาบเอทานอลของลูกยอ
ฟลาโวนอยด์	+
แอนทราควิโนน	-
คูมาริน	+
ซาโปนิน	+
แทนนิน	+
โพลบาแทนนิน	+
เทอร์ปีนอยด์	+
สเตียรอยด์	-
คาร์ดิแอกไกลโคไซด์	-

หมายเหตุ - หมายถึง ทดสอบไม่พบสาร + หมายถึง ทดสอบพบสาร

3. ผลการหาปริมาณฟีนอลิกรวม แแทนนินรวม และฟลาโวนอยด์รวมของสารสกัดหยาบลูกยอ

ผลการหาปริมาณฟีนอลิกรวม ปริมาณแทนนินรวม และปริมาณฟลาโวนอยด์รวม พบว่า สารสกัดหยาบลูกยอมีปริมาณฟีนอลิกรวม ปริมาณแทนนินรวม และปริมาณฟลาโวนอยด์รวม เท่ากับ 98.68 ± 0.02 mg GAE/g, 121.78 ± 0.03 mg TAE/g และ 113.29 ± 0.05 mg QE/g ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการหาปริมาณฟีนอลิกรวม ปริมาณแทนนินรวม และปริมาณฟลาโวนอยด์รวมของสารสกัดหยาบลูกยอ

สาร	สารสกัดหยาบลูกยอ
ปริมาณฟีนอลิกรวม (mg GAE/g extract)	98.68 ± 0.02
ปริมาณแทนนินรวม (mg TAE/g extract)	121.78 ± 0.03
ปริมาณฟลาโวนอยด์รวม (mg QE/g extract)	113.29 ± 0.05

4. ผลการหาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH

ผลการหาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบลูกยอ พบว่า สารสกัดหยาบลูกยอมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ โดยมีค่า EC_{50} เท่ากับ 11.93 ± 0.04 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เมื่อเทียบกับสารละลายมาตรฐาน (BHA และ BHT) จะพบว่าสารสกัดหยาบลูกยอมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดีกว่าสารละลายมาตรฐาน ผลแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการหาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ของสารสกัดหยาบลูกยอ

สารสกัด	EC ₅₀ (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)
BHT	14.34±0.03
BHA	12.40±0.01
สารสกัดหยาบลูกยอ	11.93±0.04

อภิปรายผล

จากการศึกษาสารสกัดหยาบลูกยอทำการตรวจหาชนิดพฤษทางเคมีสารรวม 6 กลุ่มคือ ฟลาโวนอยด์ คูมาริน ซาโปนิน แทนนิน เทอร์ปีนอยด์ และโพลีฟีนอล แทนนิน ซึ่งสารกลุ่มดังกล่าวนี้ ได้มีรายงานว่า เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ เมื่อทำการวิเคราะห์หาปริมาณฟีนอลิกรวม ปริมาณแทนนินรวม และปริมาณฟลาโวนอยด์รวม พบว่าสารสกัดหยาบลูกยอมีปริมาณสารดังกล่าวเท่ากับ 98.68±0.02 mg GAE/g, 90.78±0.03 mg TAE/g และ 113.29±0.05 mg QE/g ตามลำดับ ในการทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูล DPPH ซึ่งอนุมูล DPPH เป็นอนุมูลไนโตรเจนที่คงตัว สารต้านอนุมูลอิสระจะให้หรือรับอิเล็กตรอนแก่อนุมูล DPPH ทำให้ได้เป็นสาร Diphenyl picrylhydrazyl (DPPH:H) ที่ไม่เป็นอนุมูลอีกต่อไป ในการทดลองนี้ พบว่า ฤทธิ์การต้านอนุมูล DPPH ของสารสกัดแปรผันตรงกับความเข้มข้นของสารที่ทดสอบ โดยสารสกัดหยาบลูกยอมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงโดยมีค่า EC₅₀ เท่ากับ 11.93±0.04 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร งานวิจัยของ Duduk et al. (2013) ที่พบว่า สารสกัดลูกยอมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเช่นกัน เมื่อทดสอบด้วยวิธี DPPH โดยมีค่า %DPPH Scavenging activity เท่ากับ 55.60 และสอดคล้องกับของ Adriana et al. (2010) มีค่า %DPPH Scavenging activity เท่ากับ 55.80 งานวิจัยของ ณพัชร บัวฉวน และเยาวนารถ งามนนท์ (2561) พบว่า สารสกัดมีปริมาณฟีนอลิกรวม และฟลาโวนอยด์รวมในปริมาณที่สูงจะมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันที่สูงด้วย ซึ่งผลการทดลอง พบว่า สารสกัดหยาบลูกยอมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งผลดังกล่าวน่าจะเป็นผลการทดลองมาจากสารฟีนอลิกรวมที่ตรวจพบมากที่สุดในสารสกัด และนอกจากนี้ผลการทดลองดังกล่าวยังยืนยันด้วยการตรวจทางพฤษเคมี โดยสารที่พบส่วนใหญ่ในสารสกัดลูกยอเป็นสารฟีนอลิก เช่น แทนนิน และฟลาโวนอยด์ ซึ่งสารดังกล่าวสามารถต้านอนุมูลอิสระได้อีกด้วย (อัญญา เจนวิถีสุด, 2544; ณพัชร บัวฉวน, 2558)

สรุป

จากการศึกษาชนิดพฤษทางเคมีในสารสกัดหยาบลูกยอ พบ สารกลุ่มฟลาโวนอยด์ คูมาริน ซาโปนิน แทนนิน เทอร์ปีนอยด์ และ โพลีฟีนอล และ พบว่า สารสกัดหยาบลูกยอเมื่อปริมาณฟีนอลิกรวม ปริมาณแทนนินรวม ฟลาโวนอยด์รวมสูง และ พบว่า สารสกัดหยาบลูกยอมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งสามารถนำมาพัฒนาต่อยอดเป็นส่วนประกอบในอาหารเสริม

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการพัฒนาเพื่อนำสารสกัดลูกยอมาพัฒนาเป็นอาหารเสริม
2. ควรมีการศึกษาเพิ่มเติม เช่น ตัวทำละลายชนิดอื่น ฤทธิ์ทางชีวภาพในส่วนต่างๆ ของยอ

เอกสารอ้างอิง

- ณพัฑฐอร บัวฉวน. (2558). สารต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารฟีนอลิกรวมของสารสกัดจากชะเอมไทย, **วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**, 10(2), 78-95.
- ณพัฑฐอร บัวฉวน, และเยาวนารถ งามนนท์. (2561). การพัฒนาไลซันบำรุงผิวจากสารสกัดหยาดชะเอมไทยและพิลังกาสา, **วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**, 13(2), 74-85.
- อัญญา เจนวิถีสุข. (2544). การตรวจหาและบ่งชี้ชนิดสารต้านอนุมูลอิสระจากผักพืชบ้านและสมุนไพรไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- วรพร ศीलสร. (2554). การเตรียมสารสกัดมาตรฐานกล้วยไม้หวายม่วงแดงเพื่อใช้ประโยชน์ทางเครื่องสำอาง, วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์เครื่องสำอาง คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง.
- Adriana, M. A., Guimaraes, S. E. F., Pereira, C. S., Lopes, P. S., Rodrigues, M. T., & Machado, T. M. (2010). Paternity in Brazilian goats with DNA microsatellites. **R Bras Zootec** 39, 1011–1014.
- Ayoola, G. A., Coker, H. A. B., Adesegun, S. A., Adepoju-Bello, A. A., Obaweya, K., Ezennia, E. C., & Atangbayila, T.O. (2008). Phytochemical screening and antioxidant activities of some selected medicinal plants used for malaria therapy in southwestern Nigeria, **Journal of Pharmaceutical Research**, 7 (3), 1019–1024.
- Bhawna S., & Kumar S.U. (2009). Hepatoprotective activity of some indigenous plants. **Int. International Journal of PharmTech Research**, 1(4), 1330–1334.
- Duduk, B., Paltrinieri, S., Lee, I. M., & Bertaccini, A., (2013). Nested PCR and RFLP analysis based on the 16S rRNA gene. In: Dickinson M, Hodgetts J,eds. **Phytoplasma, Methods and Protocols** Chapter 14, 159-173.
- Koleva, I. I., BeeK, T., Linseen, J. P. H., Groot, A., & Evstatieva, L. N. (2002). Screening of plant extracts for antioxidant activity: a comparative study on three testing methods, **Phytochemical Analysis**, 13(1), 817-821.
- Nayak, B.S., Marshall, J.R., Isitor, G., & Adogwa, A. (2011). **Hypoglycemic and Hepatoprotective activity of fermented fruit juice of *Morinda citrifolia* (Noni) in diabetic rats.** Evid Based Complement Alternat Med. Article ID 875293, 5 pages doi:10.1155/2011/875293.
- Prommuak, C., D-Eknamkul, W. & Shotipruk, A. (2008). Extraction of flavonoids and carotenoids from Thai silk waste and antioxidant activity of extract, **Separation and Purification Technology**, 62, 444-448.

- Scortichini, M. & Rossi, M. P. (1991). Preliminary in vitro evaluation of the antimicrobial activity of terpenes and terpenoids towards *Erwinia amylovora* (Burrill) Winslow et al, **Journal of Applied Bacteriology**, 71(2), 109–112
- Sunarni, T., Prastivi, R. M., Rinanto, Y., Jannah, N. H., & Wardani, W. W. (2012). **The combined effect of an extracts of *Morinda citrifolia* L. Fruits and *Carica papaya* L. leaves of serum transaminase and bilirubin in antituberculosis-induced rats**, International conference: research and application on traditional complementary and alternative medicine in health care (TCAM): June, 22nd -23rd 2012 surakarta indonesia, 174-180.
- Tsai, C. C., Chen, H. S., Chen, S. L., Ho, Y. P., Ho, K. Y., & Wu, Y. M.. (2005). Lipid peroxidation: a possible role in the induction and progression of chronic periodontitis, **Journal Periodontal**, 40, 378–384.

สมบัติทางกายภาพและอัตราการดูดซับความชื้นของถ่านผลไม้

กฤษฎา บุญชม^{1*} จุฑามาศ เตียวสกุล² กมลวรรณ ทิพวรรณ³

Received : April 20, 2020

Revised : August 22, 2020

Accepted : August 27, 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาสมบัติทางกายภาพและอัตราการดูดซับความชื้นของถ่านจากผลไม้ 6 ชนิด คือ ถ่านสับปะรด ถ่านเปลือกทุเรียน ถ่านข้าวโพด ถ่านกล้วย ถ่านมังคุดและถ่านเงาะ โดยสมบัติทางกายภาพที่ศึกษา คือ ค่าความร้อน ความชื้น ดัชนีแตกร่วนและร้อยละความพรุนปรากฏ พบว่าถ่านที่ค่าความร้อนสูงสุดคือถ่านข้าวโพด รองลงไปคือถ่านสับปะรด ถ่านจากเปลือกทุเรียน ถ่านกล้วย ถ่านมังคุดและถ่านเงาะ ตามลำดับ ถ่านทุกชนิดมีค่าความร้อนไม่ต่ำกว่า 5,000 cal/g อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน มผช. 238/2547 ค่าดัชนีแตกร่วนอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน 0.5 ถึง 1 และถ่าน 3 ชนิดมีค่าความชื้น มากกว่าร้อยละ 8 เกินเกณฑ์มาตรฐาน คือ ถ่านสับปะรด ถ่านข้าวโพด ถ่านเปลือกทุเรียน มีค่าดังนี้ 15.47 ± 2.36 10.51 ± 0.54 และ 8.31 ± 1.26 ตามลำดับ สำหรับคุณสมบัติในการดูดซับความชื้นของถ่านผลไม้พบว่า ถ่านจากสับปะรดมีอัตราการดูดซับความชื้นสูงสุด คือ ร้อยละ 11.613 ต่อวัน รองลงไปคือ ถ่านเปลือกทุเรียนมีอัตราการดูดซับความชื้น คือ ร้อยละ 9.858 ต่อวันและถ่านข้าวโพดมีอัตราการดูดซับความชื้น คือ ร้อยละ 4.602 ต่อวัน ตามลำดับ โดยปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราการดูดซับความชื้นคือ ร้อยละความพรุนปรากฏของถ่านผลไม้ มีค่าดังนี้ 38.07 ± 4.87 39.90 ± 1.75 42.99 ± 1.32 28.28 ± 3.09 27.72 ± 2.55 และ 49.87 ± 0.26 ตามลำดับ จากผลที่ได้เมื่อพิจารณาจากค่าความร้อนและค่าความชื้นทำให้ถ่านข้าวโพดมีความเหมาะสมมากกว่าถ่านสับปะรด ที่จะนำไปใช้เป็นถ่านหุงต้ม แต่ถ่านสับปะรดมีความเหมาะสมมากกว่าถ่านข้าวโพดและเปลือกทุเรียนในการทำเป็นถ่านดูดความชื้น เมื่อพิจารณาจากความพรุนปรากฏและอัตราการดูดความชื้นของถ่านผลไม้ทั้ง 6 ชนิด

คำสำคัญ : ค่าความร้อน ค่าความชื้น ความพรุนปรากฏ อัตราการดูดซับความชื้น

¹ อาจารย์ประจำภาควิชาฟิสิกส์และวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ e-mail : kritsada_boo@cmru.ac.th

² นักศึกษาหลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่

³ นักศึกษาหลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่

* ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล : e-mail : kritsada_boo@cmru.ac.th

PHYSICAL PROPERTIES AND MOISTURE ADSORPTION RATE OF FRUIT CHARCOAL

Kritsada Boonchom^{1*} Jutamas Thewsakun² Kamonwan Thipawan³**Abstract**

The objective of this research is to study the physical properties and the moisture adsorption rate of charcoal from six kinds of fruit which are pineapple, durian peel, corn, banana, mangosteen and rambutan. The physical properties studied were calorific value (gross heat), moisture content, Shatter index and apparent porosity. It found that the highest calorific value is corn charcoal. Every type of charcoal has a calorific value of not less than 5,000 cal/g. There are in Thai community standard 238/2547. The Shatter index is in the range of 0.5 to 1. Pineapple charcoal, corn charcoal and durian rind charcoal had the moisture content more than 8 percent exceeded the standard criteria following values: 15.47±2.36 10.51±0.54 and 8.31±1.26, respectively. Charcoal from pineapples had the highest moisture absorption rate, 11.613 percent per day, followed by durian rind charcoal with 9.858 percent moisture absorption per day. The factors that affect moisture adsorption rate are the apparent porosity. The apparent porosities of fruit charcoal were as follows 38.07 ± 4.87 39.90 ± 1.75 42.99 ± 1.32 28.28 ± 3.09 27.72 ± 2.55 and 49.87 ± 0.26 respectively. Corn charcoal is more suitable than pineapple charcoal that will be used to charcoal for cooking. Pineapple charcoal is more suitable than corn charcoal and durian rind charcoal in making charcoal to absorb moisture.

Keywords: Gross heat, Moisture content, Apparent porosity, Moisture adsorption rate

¹ Lecturer of Physics and General Science department, Faculty of Science and Technology, ChiangMai Rajabhat University, ChiangMai province. e-mail : kritsada_boo@cmru.ac.th

² Scholar of Education Program, Faculty of Education, ChiangMai Rajabhat University, ChiangMai province.

³ Scholar of Education Program, Faculty of Education, ChiangMai Rajabhat University, ChiangMai province.

* Corresponding author, e-mail : kritsada_boo@cmru.ac.th

บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ประชากรส่วนมากมีอาชีพเกษตรกรรม ทำนา ทำสวน ทำไร่ ผลผลิตที่ได้คือพืชผลทางการเกษตร เมื่อมีบางครั้งที่ผลผลิตล้นตลาดหรือเป็นช่วงเวลาที่ผลผลิตไม่เป็นที่ต้องการของตลาด พืชผลทางการเกษตรจึงมีมูลค่าต่ำและบางส่วนที่เหลือไม่สามารถขายได้ก็นำเสียดลายมาเป็นเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรหรือขยะ ดังนั้นเมื่อเกิดสถานะเช่นนี้ขึ้น ตัวเกษตรกรเอง ผู้ประกอบการ นักวิชาการหรือหน่วยงานทางราชการที่เกี่ยวข้อง ก็จะมาร่วมกันแก้ปัญหาด้วยกระบวนการหรือวิธีการที่หลากหลายเพื่อมูลค่าของผลผลิต เช่น การพัฒนาหรือแปรรูปผลิตภัณฑ์ ขยายเวลาการเน่าเสีย พัฒนาบรรจุภัณฑ์ เพิ่มประโยชน์หรือสร้างช่องทางในการจัดจำหน่าย เป็นต้น ซึ่งผลผลิตทางการเกษตรอย่างหนึ่งที่ผู้วิจัยให้ความสนใจเนื่องจากผลไม้บางชนิดเกษตรกรต้องใช้เงินทุนและระยะเวลากว่าที่จะได้ผลผลิต และการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากผลไม้โดยทั่วไปก็มี 2 แนวทางคือ พัฒนามาเพื่อการบริโภค หรือพัฒนาเพื่อการอุปโภคหรือการใช้สอย แต่ที่ผู้วิจัยให้ความสนใจคือการพัฒนาเพื่อการอุปโภค เป็นเครื่องใช้สอย เพราะนอกจากจะแก้ปัญหาเรื่องผลผลิตล้นตลาดแล้ว ยังจะแก้ปัญหาด้านอื่นๆ ด้วยเช่น ผลผลิตเสียหายก่อนเก็บเกี่ยว การปลิดผลผลิตทิ้งบางส่วน ซึ่งไม่ต้องคำนึงถึงอายุการเก็บเกี่ยวและความเสียหายของผลผลิต (ไม่สวย ขำ ตก เน่าบางส่วน) ประกอบกับฐานความรู้ที่ผู้วิจัยมี จึงมุ่งไปที่การแปรรูปผลิตภัณฑ์เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลแต่การนำผลไม้ไปพัฒนาเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลโดยตรงมีมูลค่าต่ำ ประกอบกับผลไม้มีรูปร่างที่สวยงามและก็มีหลายภาคส่วนนำไปใช้ ผลไม้บางชนิด และเปลือกผลไม้ มาทำเป็นถ่านดูดความชื้น ซึ่งเป็นหนึ่งในคุณสมบัติตามธรรมชาติของถ่านไม้ ถูกศึกษาได้โดยการศึกษาความสามารถในการดูดซับไอน้ำในอากาศโดยการสังเกตความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นดูดซับและความพรุนของถ่านที่ผลิต (Dias Júnior et al., 2016) และถ่านดูดกลิ่น โดยการศึกษาหาค่าไอโอดีน เพื่อเพิ่มมูลค่าของถ่านไม้ โดยจากรายงานการจัดการความรู้และถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตถ่านดูดกลิ่น 3 In 1 จากวัสดุเหลือทิ้งตาลโตนด พบว่าชุมชนจะมีรายได้เสริมจากการขายถ่านดูดกลิ่น ต่อเดือนประมาณ 55,000 บาท หรือ ปีละ 660,000 บาทต่อปี (จันทร์เพ็ญ ชุมแสง และพิทักษ์ อุปัญญา, 2562)

ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาสมบัติทางกายภาพและอัตราการดูดซับความชื้นของถ่านของถ่านผลไม้จาก มังคุด เงาะ กล้วย สับปะรด ข้าวโพด และเปลือกทุเรียน เพื่อเป็นข้อมูลเชิงเทคนิคประกอบการตัดสินใจสำหรับการพัฒนาต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์ถ่านประดับเพื่อการดูดความชื้น วัสดุปลูกและประดับสำหรับการปลูกกล้วยไม้ จากงานวิจัยของ Takolpuckdee (2014) ได้ศึกษาการใช้ถ่านชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น เปลือกทุเรียน เปลือกมังคุด ชิงข้าวโพด และเปลือกกล้วย มาปรับปรุงดิน เนื่องจากในถ่านมีร้อยละของธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืช เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส แคลเซียมและแมกนีเซียม นอกเหนือจากการทำถ่านเพื่อเป็นเชื้อเพลิงให้กับชุมชนที่สนใจต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาค่าความร้อน ร้อยละความพรุนและดัชนีแตกร่วนของถ่านผลไม้จาก มังคุด เงาะ กล้วย สับปะรด ข้าวโพด และเปลือกทุเรียน
2. ศึกษาอัตราการดูดซับความชื้นของถ่านผลไม้จาก มังคุด เงาะ กล้วย สับปะรด ข้าวโพด และเปลือกทุเรียน

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการดำเนินงานวิจัยนี้มีขั้นตอนในการดำเนินงานดังนี้

1. การคัดเลือกผลไม้ที่จะนำมาทำการเผาเป็นถ่าน เนื่องจากต้องการพัฒนาเป็นถ่านประดับ จึงมีเกณฑ์การคัดเลือกจาก ความสวยงามของลวดลายพื้นผิว (Texture pattern) ในกรณีศึกษา นี้ได้เลือกเอาผลไม้ 5 ชนิด คือ มังคุด เงาะ กล้วย สับปะรด ข้าวโพด และเศษวัสดุจากผลไม้ 1 ชนิดคือเปลือกทุเรียน
2. ทดลองเผาเป็นถ่านเพื่อศึกษาช่วงอุณหภูมิในการเปลี่ยนเป็นถ่านของผลไม้แต่ละชนิด การให้พลังงานที่เหมาะสม และทำการสร้างผลิตภัณฑ์ โดยในการเผาถ่านผลไม้จะใช้เตาเผาถ่านแบบถัง 200 ลิตร วางในแนวนอน และนำผลไม้ใส่ถังเหล็กขนาดเล็กดังแสดงในภาพที่ 3 ใส่ใบตองคลุมปิดไว้ด้านบนของวัตถุดิบเพื่อป้องกันเขม่าที่เกิดขึ้นขณะการเผา

2.2.1. นำเชื้อเพลิงมาจุดไฟ ให้ความร้อนกระจายเข้าไปในเตา เพื่อไล่ความชื้นที่อยู่ในเตาและเนื้อผลไม้ออกไป ซึ่งในตอนแรกนี้ควันที่เกิดจากการเผาไหม้ จะมีลักษณะเป็นสีขาวที่ เมื่อเผาถ่านได้สักพัก ควันจะเริ่มลดน้อยลงและเปลี่ยนจากสีขาวกลายเป็นสีเทา เมื่อควันเป็นสีเทาแล้วจึงค่อยๆ ลดเชื้อเพลิงและลดหน้าเตาลงเพื่อควบคุมปริมาณอากาศภายในเตา เพราะต่อจากนี้ผลไม้ในเตาจะเริ่มคลายความร้อน จนทำให้อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น หลังจากนั้นผลไม้ที่ทำการเผาจะเปลี่ยนสภาพกลายเป็นถ่าน ช่วงนี้ใช้เวลาประมาณ 3 - 7 ชั่วโมง ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบ ดังแสดงในภาพที่ 1

2.2.2. สังเกตดูที่ควันอีกครั้งเมื่อเกิดควันใส ให้ทำการเปิดปากเตา ปล่องไฟทั้งหมดทิ้งไว้ประมาณ 1-2 ชั่วโมง เพื่อให้ถ่านเย็นลงจึงนำออกมา



(ก) จุดเชื้อเพลิงให้ความร้อนในเตา



(ข) ลดเชื้อเพลิงและลดหน้าเตา



(ค) นำผลิตภัณฑ์ออกจากเตา

ภาพที่ 1 แสดงกระบวนการเผาถ่านผลไม้

3. ศึกษาสมบัติทางกายภาพของถ่านผลไม้ดังนี้ ค่าความร้อน ร้อยละความพรุนและดัชนีแตกร่วน ตามวิธีมาตรฐาน ASTM (American society for testing and material)

ค่าความร้อน (Gross heat) (ASTM D 3286) โดยใช้เครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ (Bomb calorimeter) ร้อยละความชื้น (Moisture content) (ASTM D 3286) อบที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วทำให้เย็นใน Desiccators เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วคำนวณหาค่าความชื้น ตามมาตรฐานแห้ง ตามสมการที่ (1) (สุวดี จางอิสระกุล และคณะ, 2552)

$$M_d = \frac{(w - d)}{d} \times 100\% \quad (1)$$

เมื่อ M_d คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง, เปอร์เซ็นต์

w คือ มวลของวัสดุ

d คือ มวลของวัสดุแห้งที่ไม่มีความชื้น

ดัชนีแตกร่วน (Shatter index) (ASTM D 3038) โดยการปล่อยถ่านผลไม้ลงพื้น จากความสูง 1 เมตร (Drop shatter test) แล้วคำนวณหาค่าดัชนีแตกร่วน ตามสมการที่ (2) (ศุภกร เชื้ออำ และคณะ, 2561)

$$R = \frac{W_a}{W_b} \quad (2)$$

เมื่อ R คือ ดัชนีการแตกร่วน

W_a คือ น้ำหนักของวัตถุหลังจากปล่อย (กรัม)

W_b คือ น้ำหนักของวัตถุก่อนปล่อย (กรัม)

ร้อยละความพรุนปรากฏ (Apparent porosity) (ASTM C20) (วันโชค เครือหงส์ และคณะ, 2559)

คำนวณได้ตามสมการที่ (3)

$$\%App.P = \frac{(S - D)}{(S - I)} \times 100 \quad (3)$$

เมื่อ D คือ น้ำหนักของชิ้นตัวอย่างแห้ง

S คือ น้ำหนักของชิ้นตัวอย่างอิ่มตัว (ซึ่งในอากาศ) (ต้ม 2 ชั่วโมง แช่น้ำทิ้งไว้ 12 ชั่วโมง)

I คือ น้ำหนักของชิ้นตัวอย่างอิ่มตัวซึ่งในน้ำ

โดยที่ ความถ่วงจำเพาะปรากฏ (Apparent specific gravity (T)) หาได้จากสมการที่ (4)

$$T = \frac{D}{D - I} \quad (4)$$

และ ความหนาแน่นรวม (Bulk density (B)) หาได้จากสมการที่ (5)

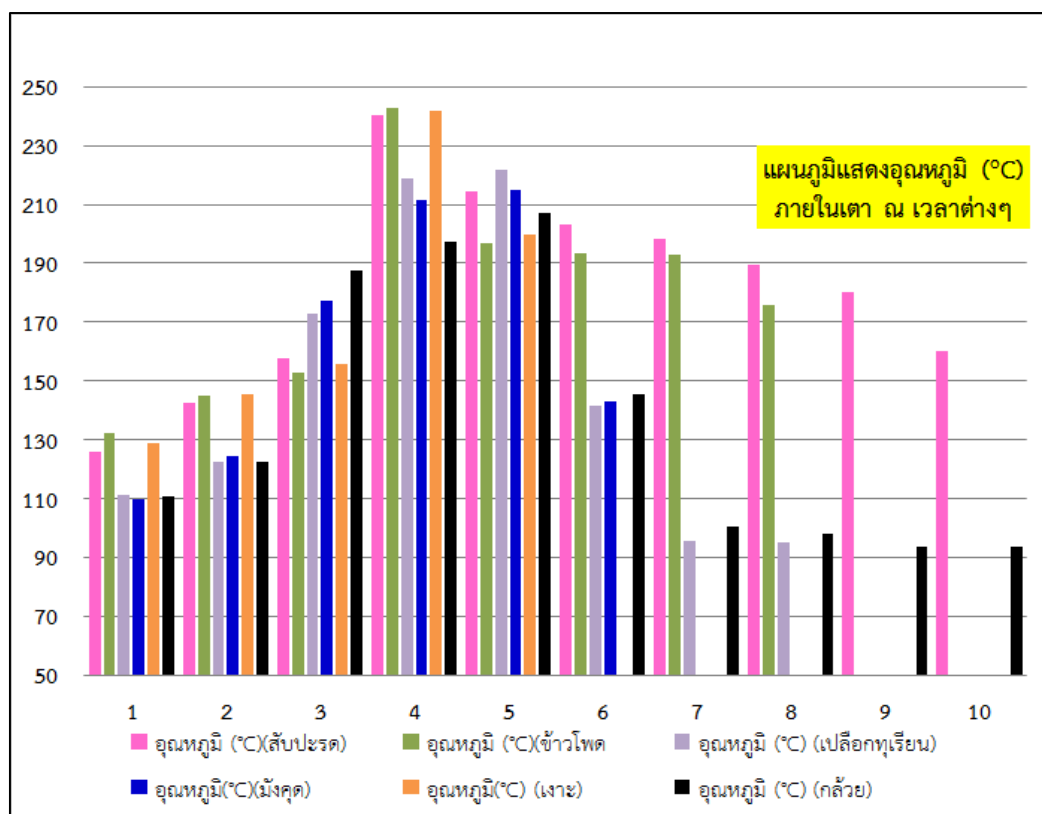
$$B = \frac{D}{S - I} \quad (5)$$

4. ศึกษาอัตราการดูดซับความชื้นของถ่านผลไม้ สรุปรและอภิปรายผลการทดลอง โดยค่าที่ได้จากการวัดในตารางที่ 1 แสดงผลเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard error (α)) ตามสมการ (6) โดย S.D. คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและ n เป็นจำนวนข้อมูล

$$\alpha = \frac{S.D.}{\sqrt{n}} \quad (6)$$

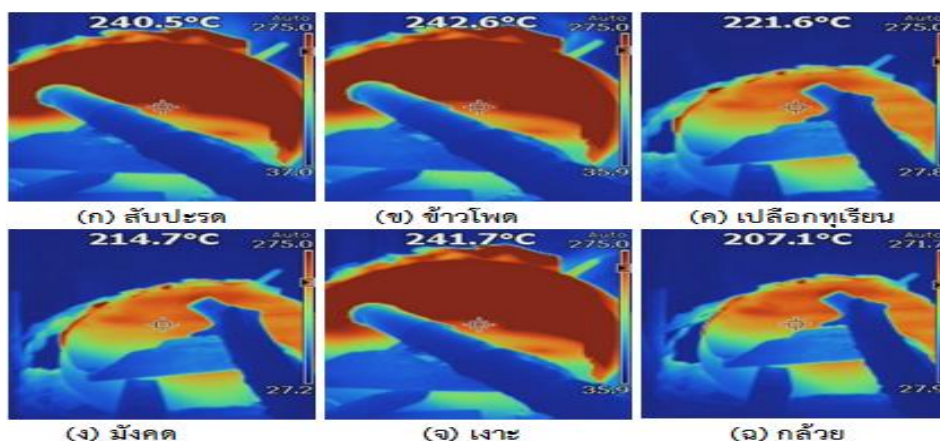
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

การวัดอุณหภูมิภายในเตาระหว่างการเผาถ่านผลไม้ชนิดต่าง ๆ ณ ช่วงเวลาต่าง ๆ ทำการวัดโดยกล้องวัดรังสีความร้อน Fluke TI450 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าของอุณหภูมิในการเผาถ่านผลไม้ชนิดต่างๆ ในภาพที่ 1 พบว่า ถ่านจากฝักข้าวโพดมีอุณหภูมิการเผาที่ฝักข้าวโพดเปลี่ยนเป็นถ่านทั้งหมดสูงที่สุดคือ 242.6 องศาเซลเซียส รองลงไปคือถ่านจากผลเงาะ และผลสับปะรด ซึ่งมีอุณหภูมิใกล้เคียงกันคือ 241.7 และ 240.5 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และ ถ่านผลไม้ที่ใช้เวลาในการเปลี่ยนให้เป็นถ่านทั้งหมดคือ ถ่านผลสับปะรดและถ่านผลกล้วยใช้เวลา 10 ชั่วโมง และที่ใช้เวลาสั้นที่สุดคือ ถ่านจากผลเงาะ ใช้เวลา 5 ชั่วโมง โดยถ่านผลไม้ทุกชนิดได้ถูกทดลองเผามาแล้ว ถ้าทำเผาเกินกว่าเวลาที่แสดงถ่านจะไหม้เป็นถ่านหมด

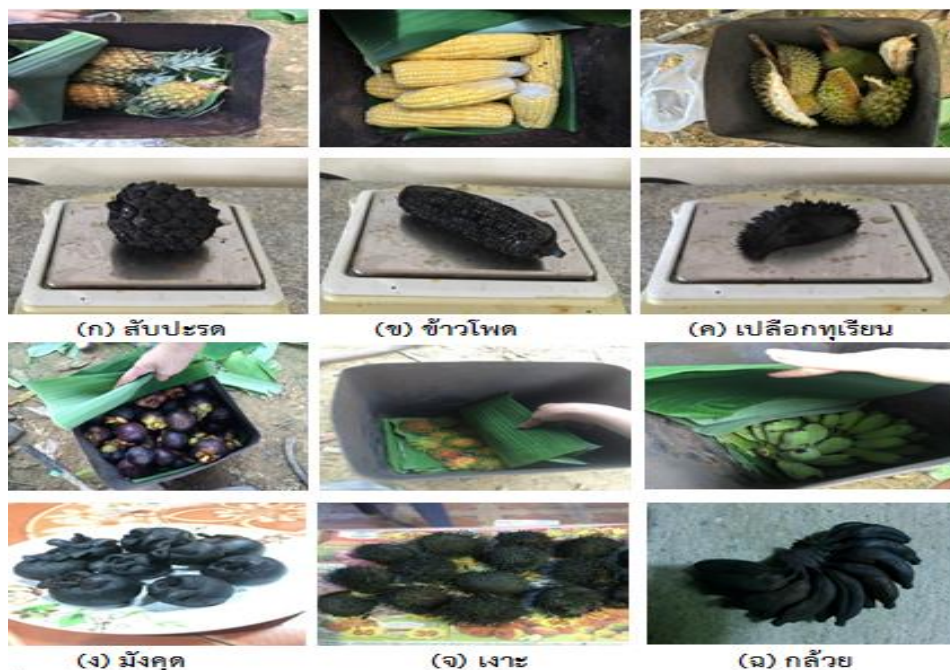


ภาพที่ 2 แสดงอุณหภูมิในเตาระหว่างการเผาถ่านผลไม้ ณ เวลาต่างๆ

ผลของอุณหภูมิในการเปลี่ยนให้เป็นถ่านสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ จุฑา เก่งเขตรวิทย์ และคณะ (2557) ที่พบว่า เงื่อนไขที่เหมาะสมต่อการผลิตถ่านมังคุดดูดกลิ่นด้วยเตาเผาชีวมวลขนาดเล็ก คือ อุณหภูมิช่วงการเผาไหม้ควรอยู่ระหว่าง 200-300 องศาเซลเซียส และถ้าช่วงอุณหภูมิการเผาไหม้สูงถึง 300-400 องศาเซลเซียส ผลมังคุดจะกลายเป็นเถ้าก่อนที่จะเปลี่ยนเป็นถ่านแต่ถ้าช่วงอุณหภูมิการเผาไหม้ต่ำกว่า 200 องศาเซลเซียส ผลมังคุดจะถูกเปลี่ยนเป็นถ่านแค่บางส่วน ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพแสดงในตารางที่ 1



ภาพที่ 3 แสดงรังสีความร้อนที่อุณหภูมิสูงสุดในเตาระหว่างการเผาถ่านผลไม้



ภาพที่ 4 ผลิตภัณฑ์ก่อนการเผาและหลังการเผา

ตารางที่ 1 แสดงสมบัติทางกายภาพของถ่านผลไม้แต่ละชนิด

ชนิดถ่าน ผลไม้	ค่าความร้อน (Gross heat) (cal/g)	ร้อยละ ความชื้น เฉลี่ยของ ถ่าน	ดัชนีแตก ร่วนเฉลี่ย	ความ หนาแน่น รวม (g/cm ³)	ความ หนาแน่น ปรากฏ (g/cm ³)	ร้อยละความ พรุนปรากฏ เฉลี่ย
สับปะรด	6,586.48	15.47±2.36	0.98±0.01	0.16±0.03	0.27±0.07	38.07±4.87
ข้าวโพด	6,679.89	10.51±0.54	0.98±0.01	0.23±0.01	0.41±0.02	42.99±1.32
เปลือก ทุเรียน	5,989.97	8.31±1.26	0.98±0.01	0.25±0.01	0.42±0.02	39.90±1.75
มังคุด	5,118.25	2.85±0.40	0.99±0.01	0.41±0.02	0.57±0.01	28.28±3.09
เงาะ	5,051.60	4.02±0.57	0.99±0.01	0.27±0.01	0.38±0.02	27.72±2.55
กล้วย	5,624.22	2.57±0.54	0.96±0.04	0.35±0.02	0.69±0.03	49.87±0.26

หมายเหตุ ค่าในตารางคือ ค่าเฉลี่ย±ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน

จากตารางค่าความร้อนถ่านผลไม้ทุกชนิด เป็นไปตาม มพข.238/2547 คือมี ค่าความร้อนเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานของผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง คือมีค่าไม่น้อยกว่า 5,000 cal/g ค่าความร้อนของถ่านสัมพันธ์กับปริมาณคาร์บอนที่อยู่ในถ่าน และการกลายเป็นถ่านของวัตถุดิบ ก็คือการทำให้เซลลูโลสกลายเป็นถ่านดังนั้น ปริมาณของเซลลูโลสในวัตถุดิบจึงสัมพันธ์กับปริมาณคาร์บอนที่อยู่ในถ่าน Asim et al. (2015) ได้ศึกษาองค์ประกอบของใบสับปะรด พบว่า มีปริมาณร้อยละของคาร์บอน เท่ากับ 73.13 ของปริมาณองค์ประกอบทั้งหมด จึงทำให้ถ่านสับปะรดมีความร้อนสูงเนื่องจากผลสับปะรดจะมีส่วนหัวที่เป็นใบของสับปะรดอยู่และใกล้เคียงกับถ่านจากข้าวโพด โดยจากงานวิจัยของ Mullen et al. (2010) ได้ศึกษาองค์ประกอบของพืชรังข้าวโพดมีร้อยละคาร์บอนคงตัว เท่ากับ 47.35 แต่อัตราส่วนเนื้อของสับปะรดต่อใบมากกว่าอัตราส่วนเนื้อของข้าวโพดต่อรังข้าวโพด เวลาเปลี่ยนเป็นถ่านและนำมาวัดค่าปริมาณความร้อนเป็นถ่านบดที่มีส่วนผสมของทั้ง 2 ส่วน จึงทำให้ค่าความร้อนของถ่านจากข้าวโพดสูงกว่าถ่านจากสับปะรด และ Nuithitikul et al. (2015) ศึกษาองค์ประกอบของเปลือกทุเรียนพบว่ามีร้อยละคาร์บอนคงตัว 42.86 และ Mukti et al. (2018) ได้ศึกษาองค์ประกอบของเปลือกมังคุดพบว่ามีร้อยละคาร์บอนคงตัว 32.29 และ Rosal et al. (2012) ศึกษาองค์ประกอบของกล้วยพบว่ามีร้อยละคาร์บอนคงตัว 39.67 ซึ่งสอดคล้องกับค่าความร้อนในตารางที่ 1 ตามค่าคาร์บอนคงตัว ค่าความชื้นของถ่านผลไม้ ถ่านสับปะรด ถ่านข้าวโพดและถ่านเปลือกทุเรียน มีค่าร้อยละความชื้น

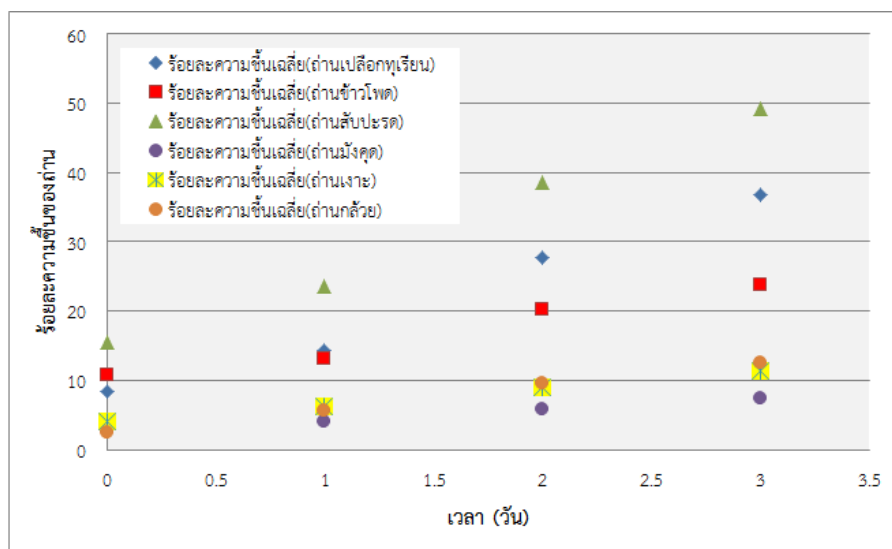
ไม่อยู่ในเกณฑ์ คือ เกินกว่าร้อยละ 8 และค่าดัชนีแตกร่วนอยู่ในเกณฑ์ที่ใช้ได้คืออยู่ในช่วง 0.5 - 1 เหมาะสมนำไปใช้งานสามารถขนส่งได้สะดวกไม่แตกหักง่าย

การหาอัตราการดูดซับความชื้นของถ่านผลไม้ ถูกศึกษาจากตู้ควบคุม (ตู้กระจกปิด ที่กำหนดให้ความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 92 %) อัตราการดูดซับความชื้นของถ่านผลไม้แต่ละชนิด จะคำนวณจากความชื้นของกราฟเส้นแนวโน้มของร้อยละความชื้นที่ถ่านผลไม้ดูดซับความชื้นในแต่ละวันโดยทำการศึกษา 3 วัน โดยทำการหาค่ามวลของถ่านที่เพิ่มขึ้นในแต่ละวันจากการดูดซับไอน้ำในตู้กระจก จากนั้นนำมาคำนวณหาค่าความชื้นในแต่ละวัน แสดงในตารางที่ 2 และแนวโน้มการดูดซับความชื้นของถ่านแต่ละชนิดแสดงในภาพที่ 4

ตารางที่ 2 แสดงร้อยละความชื้นของถ่านผลไม้แต่ละชนิดในแต่ละวัน

เวลา (วัน)	ร้อยละความชื้นเฉลี่ยของถ่านผลไม้แต่ละชนิด					
	เปลือกทุเรียน	ข้าวโพด	สับปะรด	มังคุด	เงาะ	กล้วย
เริ่มต้น	8.31±1.26	10.51±0.54	15.47±2.36	2.85±0.40	4.02±0.57	2.57±0.54
1	14.35±1.84	13.31±1.33	23.62±2.58	4.06±0.38	6.14±0.65	5.61±0.41
2	27.67±1.77	20.15±0.90	38.5±1.50	5.91±0.52	8.96±0.84	9.52±0.96
3	36.73±0.36	23.71±0.63	49.22±1.07	7.41±0.53	11.29±0.92	12.58±1.00

หมายเหตุ ค่าในตารางคือ ค่าเฉลี่ย±ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน



ภาพที่ 5 ผลลัพธ์ก่อนการเผาและหลังการเผา

จากภาพที่ 4 สมการเส้นแนวโน้มแสดงการดูดซับไอน้ำภายในตู้ควบคุม โดยทำการศึกษาเป็นเวลา 3 วัน

สมการเส้นแนวโน้มการดูดซับความชื้นของถ่านสับปะรด ดังนี้ $y = 11.613x + 14.283$ $R^2 = 0.9889$

สมการเส้นแนวโน้มการดูดซับความชื้นของถ่านเปลือกทุเรียนดังนี้ $y = 9.858x + 6.978$ $R^2 = 0.9819$

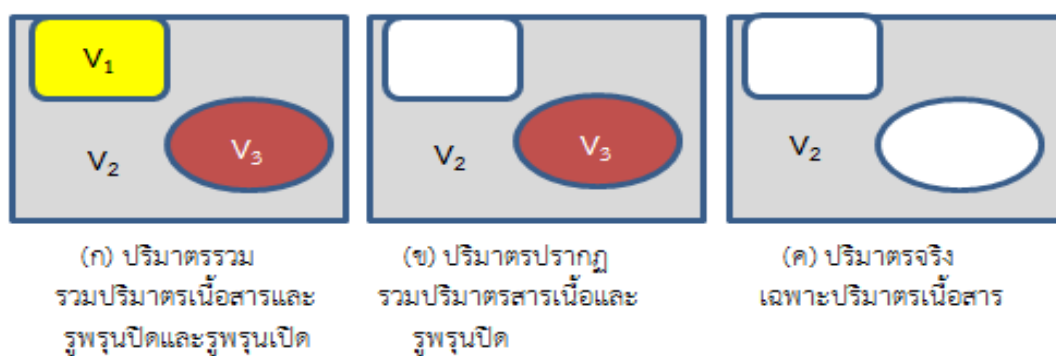
สมการเส้นแนวโน้มการดูดซับความชื้นของถ่านข้าวโพด ดังนี้ $y = 4.644x + 9.954$ $R^2 = 0.9745$

สมการเส้นแนวโน้มการดูดซับความชื้นของถ่านกล้วย ดังนี้ $y = 3.394x + 2.479$ $R^2 = 0.9974$

สมการเส้นแนวโน้มการดูดซับความชื้นของถ่านเงาะ ดังนี้ $y = 2.463x + 3.908$ $R^2 = 0.9973$

สมการเส้นแนวโน้มการดูดซับความชื้นของถ่านมังคุด ดังนี้ $y = 1.553x + 2.728$ $R^2 = 0.9942$

จากสมการถ่านสับปะรดมีอัตราการดูดซับความชื้นสูงที่สุด คือ ร้อยละ 11.613 ต่อวัน รองลงไปคือ ถ่านเปลือกทุเรียนมีอัตราการดูดซับความชื้น คือ ร้อยละ 9.858 ต่อวันและถ่านข้าวโพดมีอัตราการดูดซับความชื้น คือ ร้อยละ 4.602 ต่อวัน จากอัตราการดูดซับความชื้นสอดคล้องกับงานวิจัยของ Dias Júnior et al. (2016) พบว่าความสามารถในการดูดความชื้นของถ่านอยู่ในช่วง ร้อยละ 4 ถึง ร้อยละ 16 ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของการกลายเป็นถ่าน ที่อุณหภูมิประมาณ 250 องศาเซลเซียสจะอยู่ที่เฉลี่ยประมาณ ร้อยละ 7 และสังเกตเห็นว่าการเพิ่มขึ้นของความหนาแน่นจะช่วยลดจำนวนของรูพรุน ทำให้ลดความสามารถในการดูดความชื้นของถ่าน ถ่านที่มีความพรุนที่สูงกว่า พื้นที่ผิวของถ่านจะมีโอกาสสัมผัสกับโมเลกุลของน้ำมากขึ้น ก็เพิ่มโอกาสการดูดซับมากขึ้น แต่การที่มีความพรุนที่สูงก็อาจจะไม่มีความสามารถที่ดีในการดูดซับความชื้นก็ได้ ปัจจัยที่เกี่ยวข้องอีกปัจจัยคือเส้นผ่าศูนย์กลางของรูพรุน เช่น รูพรุนที่มีขนาดไมโคร อาจจะทำให้เกิดปรากฏการณ์แคปิลลารี (Capillarity) ขึ้น ทำให้ความสามารถในการดูดซับได้น้อยลง เช่น ถ่านกล้วย พิจารณาปริมาณที่ส่งผลต่อความหนาแน่นของถ่านผลไม้ ในกรณีที่ถ่านมีมวลเท่ากัน ก็คือปริมาตร สัดส่วนของปริมาตรต่างๆที่เกี่ยวข้อง แสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 6 สัดส่วนของปริมาตรแบบต่างๆ

ตารางที่ 3 แสดงสัดส่วนของปริมาตรต่อมวลของถ่านชนิดต่าง ๆ

ชนิดของถ่าน	ปริมาตรของรูพรุนเปิดต่อมวลถ่าน (cm ³ /g)	ปริมาตรของรูพรุนปิดและปริมาตร เนื้อสารต่อมวลของถ่าน (cm ³ /g)
ถ่านสับปะรด	2.44±0.16	4.23±0.92
ถ่านเปลือกทุเรียน	1.61±0.17	2.40±0.08
ถ่านข้าวโพด	1.85±0.04	2.46±0.10
ถ่านกล้วย	1.45±0.08	1.49±0.07
ถ่านเงาะ	1.12±0.10	2.66±0.13
ถ่านมังคุด	0.70±0.10	1.76±0.02

จากตารางที่ 3 พิจารณาปริมาตรของรูพรุนเปิดและรูพรุนปิดของถ่านผลไม้ชนิดต่างๆ ซึ่งถูกใช้เป็นที่เก็บกักความชื้น พบว่า ถ่านจากสับปะรดน่ามีปริมาตรรูพรุนเปิดและรูพรุนปิดมากที่สุดสอดคล้องกับค่าอัตราการดูดซับความชื้น รองลงมาเป็นถ่านเปลือกทุเรียนและถ่านข้าวโพดซึ่งมีค่าสมบัติทางกายภาพ และรูพรุนที่ใกล้เคียงกัน แต่ถ่านเปลือกทุเรียนมีอัตราการดูดซับความชื้นที่สูงกว่าถ่านข้าวโพด อาจเนื่องมาจากถ่านเปลือกทุเรียนมีปริมาตรของรูพรุนเปิดที่น้อยกว่าเมื่อมีการดูดซับไอน้ำมาแล้วก็จะมีอัตราการคายน้ำที่ต่ำกว่าถ่านจากข้าวโพดที่มีปริมาตรรูพรุนเปิดมากกว่า

สรุป

จากการดำเนินการ ทดลองผลิตถ่านจากผลไม้ จำนวน 6 ชนิด คือ ถ่านสับปะรด ถ่านเปลือกทุเรียน ถ่านข้าวโพด ถ่านกล้วย ถ่านมังคุดและถ่านเงาะ พบว่าวัตถุดิบแต่ละชนิดมีช่วงของอุณหภูมิในการกลายเป็นถ่าน (Carbonization) ที่แตกต่างกัน ในงานวิจัยนี้ พบว่าวัตถุดิบที่ใช้อุณหภูมิสูงที่สุดในการเปลี่ยนให้เป็นถ่านคือ ข้าวโพด รองลงไปที่เงาะและสับปะรด และในการศึกษาสมบัติทางกายภาพในเชิงถ่านเชื้อเพลิง พบถ่านที่ค่าความร้อนสูงสุดคือ ถ่านข้าวโพด รองลงไปคือถ่านสับปะรดและถ่านจากเปลือกทุเรียนตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณคาร์บอนคงตัวในวัตถุดิบและถ่านทุกชนิดมีค่าความร้อนอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน มผช. 238/2547 ค่าความชื้นของถ่านอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน คือไม่เกินร้อยละแปด 3 ชนิดคือ ถ่านเงาะ ถ่านมังคุด และถ่านกล้วย และมีค่าดัชนีแตกร่วนอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน และในการหาสมบัติในการดูดซับความชื้นของถ่านผลไม้ชนิดต่างๆ พบว่า ถ่านมีร้อยละความพรุนปรากฏในช่วง ร้อยละ 27 ถึงร้อยละ 50 โดยถ่านสับปะรดมีปริมาตรรูพรุนเปิดและรูพรุนปิดมากที่สุดและมีอัตราการดูดซับความชื้นมากที่สุด คือ ร้อยละ 11.613 ต่อวันและถ่านจากมังคุดมีอัตรา

การดูดซับความชื้นน้อยที่สุด คือ ร้อยละ 1.553 ต่อวัน และสอดคล้องกับผลการหาปริมาตรของรูพรุนปิดและรูพรุนเปิดของถ่านตัวอย่าง

ข้อเสนอแนะ

ในกระบวนการผลิตถ่านผลไม้ที่ทำนั้น เป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์เป็นถ่านประดับเพื่อดูดความชื้นในบริเวณที่ต้องการ ถ้าต้องการพัฒนาเป็นถ่านดูดกลิ่นหรือดูดสารพิษ (ถ่านกัมมันต์) ต้องมีพัฒนากระบวนการเผาหรือกระตุ้นให้เป็นถ่านกัมมันต์ และจะต้องตรวจสอบผลทางวิทยาศาสตร์ เช่น ค่าไอโอดีน พื้นที่ผิวจำเพาะและรูและโครงสร้างสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด เป็นต้น เพื่อให้ผลผลิตที่ได้มีคุณภาพตามเกณฑ์ มผช. 180/2560 และอาจพัฒนาเป็นวัสดุดูดความชื้นประกอบอาคาร สำนักงาน สำหรับพัฒนางานด้านพลังงาน (Yu et al., 2019)

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอแสดงความขอบคุณแก่ ศูนย์วิทยาศาสตร์ และคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ที่ได้สนับสนุนและให้ความช่วยเหลือในการทำงานจนกระทั่งงานสำเร็จลงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- จรรยา เก่งเขตรวิทย์, ดลฤดี ใจสุทธิ, รติยา ฐวพณิขยานันท์, สุดสายสิน แก้วเรือง, และประसान สถิตเรืองศักดิ์. (2014). การศึกษาผลของอุณหภูมิช่วงการเผาไหม้ต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและค่าไอโอดีนในถ่านมั่งคุดูดกลิ่น. *Agricultural Sci. J.*, 45(2), 333-336.
- จันทร์เพ็ญ ชุมแสง, และพิทักษ์ อุปัญญา. (2562). รายงานการวิจัยการจัดการความรู้และถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตถ่านดูดกลิ่น 3 In 1 จากวัสดุเหลือทิ้งตาลโตนดเพื่อการส่งเสริมอาชีพและยกระดับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน. กรุงเทพฯ: สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ.
- วันโชค เครือหงษ์, โสภณ สังข์แป้น, ประภิต สิทธิคณารักษ์, และจิระศักดิ์ วิลัยรัตน์. (2559). สมบัติทางกลโครงสร้างจุลภาคและการนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกผสมถ่านลอย. *วารสารวิจัยและพัฒนา มจร.*, 39(3), 407-423.
- ศุภกร เชื้ออ่ำ, ศรินทร ทองแสง, และแววบุญ แยมแสงสังข์. 2561. สมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากขังข้าวโพดและกากตะกอนน้ำเสียจากอุตสาหกรรมพลาสติก. รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติครั้งที่ 19 (หน้า 146-154), 9 มีนาคม พ.ศ. 2561 ณ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น.

- สุวดี จางอิสระกุล, อับดุลลาตีฟ ดอโรแม, อาริษา เรืองมี, และชญานุช แสงวิเชียร. 2552. **ชีวมวลทางเลือกใหม่สำหรับพลังงานทดแทนโดยเปลือกกล้วยและหญ้าแฝก**. การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 5, 29 เมษายน – 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2552 ณ มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก.
- Asim, M., Abdan, K., Jawaid, M., Nasir M., Dashtizadeh, Z., Ishak, M.R. & Hoque, M.E. (2015). A review on pineapple leaves fibre and its composites. **International Journal of Polymer Science**, 2015, Article ID 950567. <http://dx.doi.org/10.1155/2015/950567>
- Dias Júnior, A.F., Pirola, L.P., Takeshita, S., Lana, A.Q., Brito, J.O. & Andrade, A.M. (2016). Higoscopcity of charcoal produced in different temperatures. **CERNE**, 22(4), 423-430.
- Mukti, N.I.F., Prasetyo, I., Mindaryani, A. & Septarini, S. (2018). Preparation of porous carbon as ethylene adsorbent by pyrolysis of extraction waste mangosteen rinds. **MATEC Web of Conferences**, 154, 01032. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201815401032>
- Mullen, C.A., Boateng A.A., Goldberg, N.M., Lima, I.M., Laird, D.A. & Hicks, K.B. (2010). Bio-oil and bio-char production from corn cobs and stover by fast pyrolysis. **BIOMASS AND BIOENERGY**, 34, 67 – 74.
- Nuithitikul, K., Srikun, S. & Hirunpraditkoon, S. (2015). Synthesis of activated carbons from durian peel and their adsorption performance for lead ions in aqueous Solutions. **ATINER'S Conference Paper Series**, No: ENV2015-1670. Athens:Greece.
- Rosal, A., Rodríguez, A., González, Z. & Jiménez, L. (2012). Use of banana tree residues as pulp for paper and combustible. **International Journal of Physical Sciences**, 7(15), 2406 – 2413. doi: 10.5897/IJPS11.1661
- Takolpuckdee P. (2014). Transformation of agricultural market waste disposal to biochar soil amendments. **Procedia Environmental Sciences**, 20, 64 – 70.
- Yu, S., Cui, Y., Shao, Y. & Han, F. (2019). Research on the comprehensive performance of hygroscopic materials in an office building based on energyplus. **Energies**, 12(191). doi:10.3390/en12010191

การใช้การ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติเพื่อการประชาสัมพันธ์
กรณีศึกษา เรื่อง พาทัวร์แนวการศึกษาต่อสาขาวิชาธุรกิจดิจิทัล หลักสูตรบริหารธุรกิจ

นัตตยา เอี่ยมคง^{1*} อีรศักดิ์ จำนงค์ศาสตร์²

Received : April 16, 2020

Revised : August 25, 2020

Accepted : August 27, 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยเรื่องมีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ เรื่อง พาทัวร์แนวการศึกษาต่อสาขาวิชาธุรกิจดิจิทัล หลักสูตรบริหารธุรกิจ 2) หาคุณภาพของการนำการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติมาใช้ในการประชาสัมพันธ์แนวการศึกษาต่อ 3) ศึกษาความพึงพอใจของผู้รับชมสื่อแอนิเมชัน 3 มิติ เรื่อง พาทัวร์แนวการศึกษาต่อสาขาวิชาธุรกิจดิจิทัล หลักสูตรบริหารธุรกิจ มีกลุ่มตัวอย่าง คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาชั้นปีที่ 6 จำนวน 30 คน โดยเลือกแบบเจาะจง ผู้ที่มีความสนใจในการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ เครื่องมือการวิจัยประกอบไปด้วย 1) การ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ เรื่อง พาทัวร์แนวการศึกษาต่อสาขาวิชาธุรกิจดิจิทัล หลักสูตรบริหารธุรกิจ ที่พัฒนาขึ้น 2) แบบสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญด้านคุณภาพการ์ตูนแอนิเมชัน 3) แบบสอบถามความพึงพอใจของผู้รับชมการพัฒนาการ์ตูนแอนิเมชัน

ผลการวิจัยพบว่า 1) การ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ เรื่อง พาทัวร์แนวการศึกษาต่อสาขาวิชาธุรกิจดิจิทัล หลักสูตรบริหารธุรกิจ ที่ได้พัฒนาขึ้นมีความยาวประมาณ 5.08 นาที ประกอบไปด้วย 6 ฉาก 2 ตัวละคร 2) ผลการประเมินคุณภาพของสื่อโดยผู้เชี่ยวชาญประเมินขั้นการออกแบบพัฒนาการ์ตูนแอนิเมชันโครงสร้างเนื้อเรื่อง ผู้เชี่ยวชาญประเมินเนื้อเรื่องอยู่ในระดับดีมาก คุณภาพของการออกแบบฉาก ตัวละคร การดำเนินเนื้อหาภายในการ์ตูนแอนิเมชัน ภาพและเสียง คุณภาพด้านการนำเสนออยู่ในระดับดีมาก ด้านความเหมาะสมของเวลาการนำเสนออยู่ในระดับดี ผลการประเมินความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างที่ชมการ์ตูนแอนิเมชันโดยรวมมีระดับคุณภาพอยู่ในระดับมากที่สุด โดยผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าเยาวชนหันมาให้ความสนใจกับการนำเสนอแนวทางการศึกษาต่อผ่านการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ เป็นอย่างมาก ซึ่งสื่อรูปแบบนี้สามารถสร้างความสนใจและความเข้าใจให้กับผู้รับชมที่เป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาชั้นปีที่ 6 หรือผู้ชื่นชอบการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ : การ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ สาขาวิชาธุรกิจดิจิทัล

¹ อาจารย์ ดร. สาขาวิชาธุรกิจดิจิทัล คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
จังหวัดปทุมธานี อีเมล : nuttaya.iam@vru.ac.th

² นักวิจัยอิสระ อีเมล : aea_jumnongsat_2217@hotmail.com

*ผู้รับผิดชอบ อีเมล : nuttaya.iam@vru.ac.th

DEVELOPMENT OF 3D ANIMATION CARTOON FOR PUBLIC RELATION CASE STUDY:
EDUCATIONAL TOUR IN THE DIGITAL BUSINESS PROGRAM,
BUSINESS ADMINISTRATION COUSE

Nuttaya lam-khong^{1*} Theerasak jamnoosart²

Abstract

The objective of the research aims to 1) Develop 3D animation cartoon: Educational tour in the digital business program, Business Administration Course. 2) Find the quality of 3D animation cartoon: Educational tour in the digital business program, Business Administration Course. 3) Study the satisfaction of viewers in the 3D animation cartoon: Educational tour in the digital business program, Business Administration Course. The participants in this research were 30 people in high school grade 6 who are interested in 3D animation cartoons. The research instruments were 1) 3D animation cartoon: Educational tour in the digital business program, Business Administration Course. 2) Interview form for animation cartoon quality experts 3) Questionnaire for the satisfaction of the viewers of animation cartoon.

The results showed that 1) 3D animation cartoon: Educational tour in the digital business program, Business Administration Course that developed has approximately 5.08 minutes in length consisting of 6 scenes and 2 characters. 2) The media quality evaluation results by experts assess the design stage, develop cartoon animation structure Story: The expert evaluates the story at a very good level. The quality of the character set design, the content operation within the animation cartoon, motion and sound, the presentation quality is very good level. The appropriateness of the presentation time is good level. The results of the satisfaction evaluation of the sample who watched the animation cartoon in overall had the very good level. The research shows that young people have turned their attention to presenting educational guidelines through 3D animation cartoon. Which this type

¹ Dr., Digital Business Program Faculty of Management Sciences, Valaya Alongkorn Rajabhat University Under The Royal Patronage, email : nuttaya.iam@vru.ac.th

² Independent Researcher, e-mail : aea_jumnongsat_2217@hotmail.com

*Corresponding author, email : nuttaya.iam@vru.ac.th

of media can create interest and understanding for viewers those are high school students in grade 6 or who interested in the 3D animation cartoon as well.

Keywords: Animation Cartoon, 3D Animation, Digital Business Program

บทนำ

แอนิเมชัน (Animation) หมายถึง กระบวนการที่เฟรมแต่ละเฟรมของภาพยนตร์ ถูกผลิตขึ้นต่างกัน ทีละเฟรม แล้วนำมาร้อยเรียงเข้าด้วยกัน โดยการฉายต่อเนื่องกัน ไม่ว่าจากวิธีการใช้คอมพิวเตอร์กราฟิก ถ่ายภาพรูปรวาด หรือ รูปถ่ายแต่ละขณะของจำลองที่ค่อย ๆ ขยับเลื่อนเมื่อนำภาพดังกล่าวมาฉายด้วยความเร็ว เราจะเห็นเหมือนว่าภาพดังกล่าวเคลื่อนไหวได้ต่อเนื่องกัน ทั้งนี้เนื่องจากการเห็นภาพติดตาในคอมพิวเตอร์ การจัดเก็บภาพแบบแอนิเมชันที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอินเทอร์เน็ต (Sorkine-Hornung, Kobbelt, Griffiths, 2007; Moreno, 2014; Musa, Ziatdinov, Griffiths, 2013) ประเภทของการ์ตูนแอนิเมชันนั้นแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ 2 มิติ แอนิเมชัน คือ ภาพเคลื่อนไหวแบบที่มองเห็นความสูงและความกว้าง และ 3 มิติ คือ จะมองเห็นทั้งความสูง ความกว้าง ความลึก โดยแอนิเมชัน 3 มิติ จะที่ได้รับความนิยมมากกว่าแอนิเมชัน 2 มิติ (พูนศักดิ์ ธนพันธ์พาณิชย์, 2558) การเผยแพร่สื่อแอนิเมชันอาทิเช่น ภาพยนตร์ การ์ตูน สื่อโฆษณา ที่ใช้การผ่านเทคโนโลยีการสื่อสารนั้นช่วยสร้างความเข้าใจความกระจ่างในสารที่ต้องการจะสื่อถึงแอนิเมชันเข้ามาทดแทน ช่องว่างบางอย่างในสังคม จึงทำให้ผู้รับชมเข้าใจได้ง่ายขึ้น ทำให้เกิดการดึงดูดความสนใจ และความคล้อยตามของผู้รับชม ด้วยเพราะรูปแบบในการนำเสนอผ่านการแสดงออกของตัวละคร การกำหนดช่วงเวลาการเคลื่อนไหวภาพ เพลงประกอบ และระยะเวลาการนำเสนอ สิ่งนี้จะสร้างความประทับใจให้กับผู้รับชมได้นาน (Goel & Upadhyay, 2017) สื่อประเภทนี้จึงได้รับความสนใจในกลุ่มบุคคลทั่วไป และในกลุ่มผู้ที่มีอายุอยู่ในช่วง 13 – 19 ปี เป็นอย่างมาก (Barve et al., 2015) ปัจจุบันจึงมีการนำสื่อแอนิเมชันมาใช้ประกอบกับการโฆษณากันแพร่หลายมากขึ้น โดยการตลาดรูปแบบการซื้อขายที่ต่างไปจากการตลาดแบบเดิม ด้วยช่องทางการซื้อขายผ่านสื่อสังคมออนไลน์ (Social media) การสร้างช่องทางการตลาดดิจิทัลนี้ใช้ต้นทุนในการตลาดต่ำและสื่อมีอิทธิพลสูง การแพร่กระจายของข่าวสารสามารถเข้าถึงผู้รับชมได้มากขึ้น โดยในที่นี้ขอยกตัวอย่างสินค้าจากการ์ตูนแอนิเมชันที่เราพบเห็นกันได้ง่ายและเป็นที่นิยมมากที่สุดในปัจจุบัน คือ การ์ตูนแอนิเมชันแสดงอิโมชันอาทิเช่น สดิกเกอร์ไลน์เป็นแอนิเมชันที่ช่วยให้การสื่อสารประสบความสำเร็จและตรงตามความต้องการของผู้ส่งสาร ด้วยการ์ตูนที่สื่อถึงสภาวะอารมณ์และความตั้งใจของผู้ส่งสารด้วยข้อความ รูปภาพ และเสียง เป็นต้น (ไทยรัฐออนไลน์, 2562) แอนิเมชันสร้างรายได้จากการพัฒนาสื่อการ์ตูนออนไลน์ งานสร้างสรรค์จากการวาดภาพดิจิทัลอาร์ต หรือการทำงานกราฟิก สื่อการ์ตูน 2 มิติ และ 3 มิติ ในปัจจุบันเป็น

ธุรกิจมาแรงลงทุนน้อยแต่สร้างรายได้มหาศาลกลุ่มคนที่นิยมดาวน์โหลดเป็นกลุ่มเยาวชนและบุคคลทั่วไป (GamingDose, 2020)

จากที่กล่าวมาแสดงให้เห็นถึงการตื่นแอนิเมชันเป็นสื่อเพื่อการประชาสัมพันธ์สินค้าผ่านช่องทางการตลาดในสังคมออนไลน์ที่กำลังได้รับความนิยม ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงมีศึกษาคุณภาพของการนำการการ์ตูนแอนิเมชันมาใช้ในการประชาสัมพันธ์แนวทางการศึกษาต่อ และความพึงพอใจของผู้รับชมผ่านกรณีศึกษาเรื่อง พาทัวร์แนวการศึกษาต่อสาขาวิชาธุรกิจดิจิทัล หลักสูตรบริหารธุรกิจ ไว้เป็นทางเลือกในการนำเสนอหลักสูตรสำหรับผู้ที่มีมองหาสื่อที่ได้รับความสนใจจากนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาชั้นปีที่ 6 และบุคคลทั่วไปที่ชื่นชอบในการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. พัฒนาการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ เรื่อง พาทัวร์แนวการศึกษาต่อสาขาวิชาธุรกิจดิจิทัล หลักสูตรบริหารธุรกิจ
2. เพื่อหาคุณภาพของการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติเรื่อง พาทัวร์แนวการศึกษาต่อสาขาวิชาธุรกิจดิจิทัล หลักสูตรบริหารธุรกิจ ด้วยการประเมินคุณภาพโดยผู้เชี่ยวชาญ
3. ศึกษาความพึงพอใจและความเข้าใจของผู้รับชมสื่อแอนิเมชัน 3 มิติ เรื่อง พาทัวร์แนวการศึกษาต่อสาขาวิชาธุรกิจดิจิทัล หลักสูตรบริหารธุรกิจ

วิธีดำเนินการวิจัย

เครื่องมือการวิจัย

1. การ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ เรื่อง พาทัวร์แนวการศึกษาต่อสาขาวิชาธุรกิจดิจิทัล หลักสูตรบริหารธุรกิจ พัฒนาขึ้นโดยโปรแกรม Autodesk maya 2015 โปรแกรม Adobe after effects โปรแกรม Adobe premiere pro CS6 และโปรแกรม Adobe photoshop CS6
2. แบบสัมภาษณ์แบบเจาะลึกด้านคุณภาพการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ เรื่อง พาทัวร์แนวการศึกษาต่อสาขาวิชาธุรกิจดิจิทัล หลักสูตรบริหารธุรกิจ
3. แบบสอบถามความพึงพอใจและความเข้าใจของผู้รับชมการพัฒนาการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ เรื่อง พาทัวร์แนวการศึกษาต่อสาขาวิชาธุรกิจดิจิทัล หลักสูตรบริหารธุรกิจ

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการศึกษา คือ ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน และนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 กลุ่มตัวอย่างในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยใช้วิธีการแบบเจาะจง (Purposive sampling) เป็นชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ที่มีความสนใจในการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ จำนวน 30 คน โดยการเก็บข้อมูลดำเนินการเก็บข้อมูลผ่านงานนิทรรศการด้านการศึกษาต่อของโรงเรียนมัธยมศึกษาในเขตพื้นที่จังหวัดปทุมธานี

การสร้างและตรวจสอบเครื่องมือ

การวิจัยการพัฒนากระบวนการออกแบบการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ เรื่อง พาทัวร์แนวการศึกษาต่อสาขาวิชาธุรกิจดิจิทัล หลักสูตรบริหารธุรกิจ ในครั้งนี้ใช้การวิจัยแบบผสมผสานเป็นการวิจัยเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพเพื่อสร้างสรรค์ผลงานการออกแบบภาพเคลื่อนไหวโดยแบ่งขั้นตอนได้ดังนี้

ขั้นที่ 1 การวิเคราะห์การออกแบบการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ เรื่อง พาทัวร์แนวการศึกษาต่อสาขาวิชาธุรกิจดิจิทัล หลักสูตรบริหารธุรกิจ เป็นขั้นตอนสำหรับการเตรียมสร้างการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ โดยเริ่มจากเขียนเนื้อเรื่องมีเนื้อหาดังนี้

รุ่นน้องเป็นนักศึกษาปี 1 ได้เข้ามาศึกษาต่อในมหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ อยากทราบข้อมูลเกี่ยวกับมหาวิทยาลัยและสาขาวิชาธุรกิจดิจิทัลจึงเดินดูภายในมหาวิทยาลัยเรื่อยมา กระทั่งพบรุ่นพี่ของสาขาวิชาธุรกิจดิจิทัลเธอก็จึงเดินไปทักทายและแนะนำตัวกับรุ่นพี่ น้องชื่อดาวคะ อยากถามข้อมูลเกี่ยวกับมหาวิทยาลัยและที่ตั้งของคณะวิทยาการจัดการ รุ่นพี่จึงแนะนำตัวว่าตนเองพี่ชื่อเดือน ยินดีที่ได้รู้จักจากนั้นจึงพาเดินแนะนำสถานที่ภายในมหาวิทยาลัย และอาคารที่ตั้งของคณะวิทยาการจัดการ แล้วพาน้องดาวไปห้องสาขาพร้อมกับแนะนำ อาจารย์ในสาขาวิชาธุรกิจดิจิทัล โครงสร้างของหลักสูตรธุรกิจดิจิทัล พื้นฐานความรู้และวิชาที่น่าสนใจในสาขาวิชา และกิจกรรมของสาขาวิชา น้องดาวรับฟังและกล่าวขอบคุณพี่เดือน

เนื้อเรื่องจะดำเนินตามนี้ในขั้นตอนต่อไป คือ การออกแบบลักษณะของตัวละคร การออกแบบฉาก และเขียนเนื้อเรื่องประกอบภาพด้วยการใช้เครื่องมือเขียนบทดำเนินเรื่อง (Storyboard) ให้เป็นไปตามเนื้อเรื่องที่ออกแบบไว้จนครบถ้วน

ขั้นที่ 2 การออกแบบและผลิตการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ เรื่อง พาทัวร์แนวการศึกษาต่อสาขาวิชาธุรกิจดิจิทัล หลักสูตรบริหารธุรกิจ การออกแบบ เป็นขั้นตอนการเริ่มลงมือทำงานแอนิเมชันจากบทดำเนินเรื่องที่เตรียมไว้โดยเริ่มจากการการออกแบบฉากและตัวละคร โดยในการสร้างฉากจะประกอบไปด้วย 6 ฉากด้วยกัน และตัวละคร 2 ตัวละคร ดังภาพตัวอย่างภาพที่ 1- 4

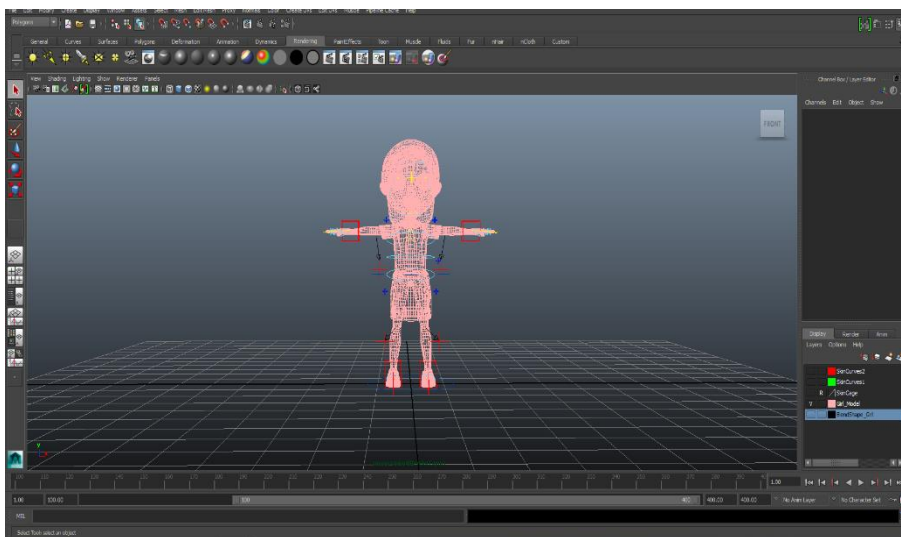
ภาพที่ 1 เป็นโมเดลการสร้างตัวละครชาย คือ เดือน เพื่อเป็นผู้ดำเนินเนื้อเรื่องและอธิบายเนื้อหาแนะนำรายละเอียดของสาขาวิชาธุรกิจดิจิทัล

ภาพที่ 2 เป็นโมเดลการสร้างตัวละครหญิง คือ ดาว ตัวละครทำหน้าที่ซักถามเพื่อให้เนื้อเรื่องค่อยๆ ดำเนินไปเปรียบได้กับผู้ที่เข้ามาเยี่ยมชมสาขาวิชาธุรกิจดิจิทัล สถานที่ภายในคณะ และมหาวิทยาลัย พร้อมกับความต้องทราบข้อมูลพื้นฐานของสาขาวิชาและบุคลากรภายในสาขาวิชาเมื่อเข้ามาศึกษาต่อแล้ว

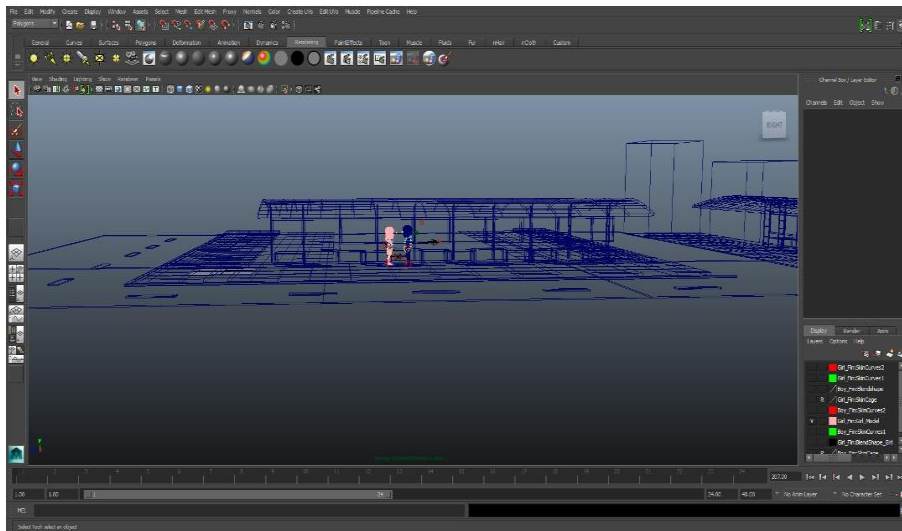
ภาพที่ 3 และ 4 เป็นการออกแบบโครงสร้างจำลองอาคารคณะและมหาวิทยาลัยเพื่อให้เห็นภาพรวมและจุดเด่นของสถานที่ สร้างความน่าสนใจผ่านแอนิเมชันทำให้ผู้รับชมอยากมาสถานที่จริง



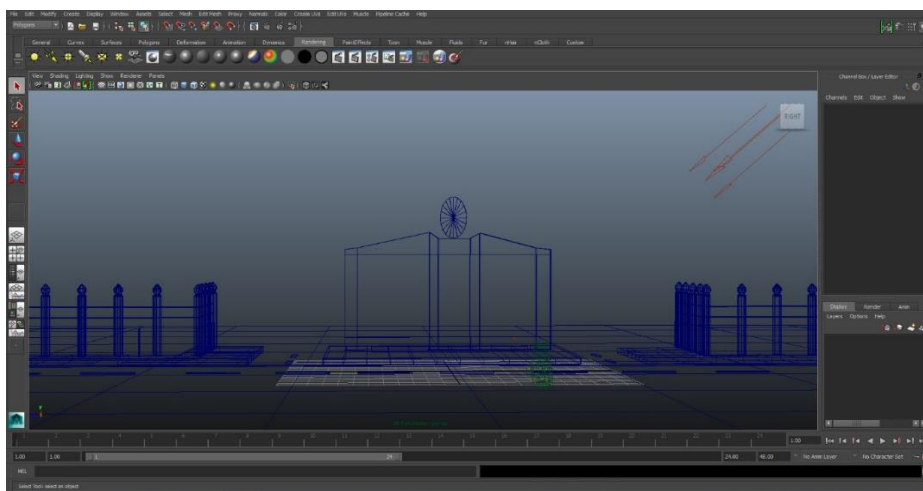
ภาพที่ 1 การออกแบบและสร้างตัวละครผู้ชาย “เดียน”



ภาพที่ 2 การออกแบบและสร้างตัวละครผู้หญิง “ดาว”



ภาพที่ 3 การออกแบบฉากอาคารคณะวิทยาการจัดการ



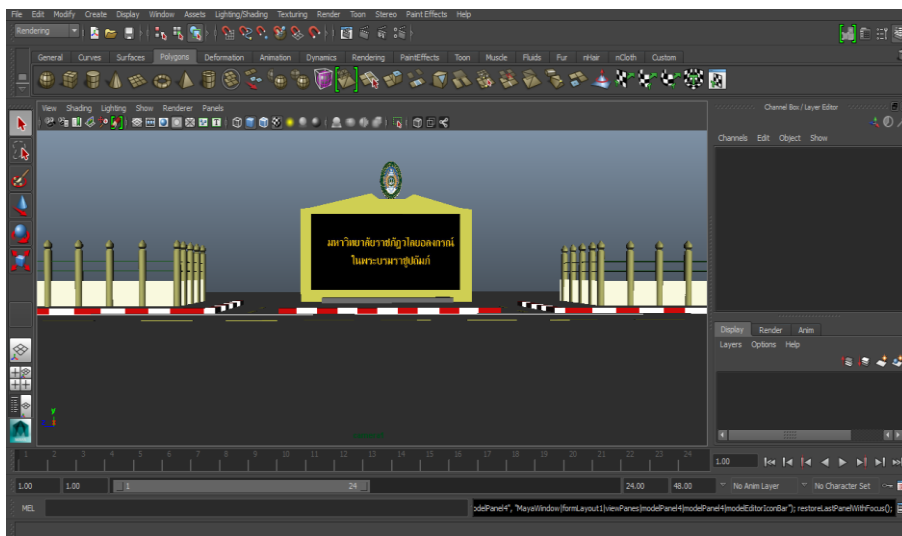
ภาพที่ 4 การออกแบบฉากมหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์

การผลิตจะเป็นการสร้างการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ ในครั้งนี้ประกอบไปด้วยโปรแกรม Autodesk maya 2015 ทำในส่วนของการสร้างเนื้อหาภายในการ์ตูนแอนิเมชันประกอบด้วย การลงสี ภาพประกอบ วิดีโอ และ

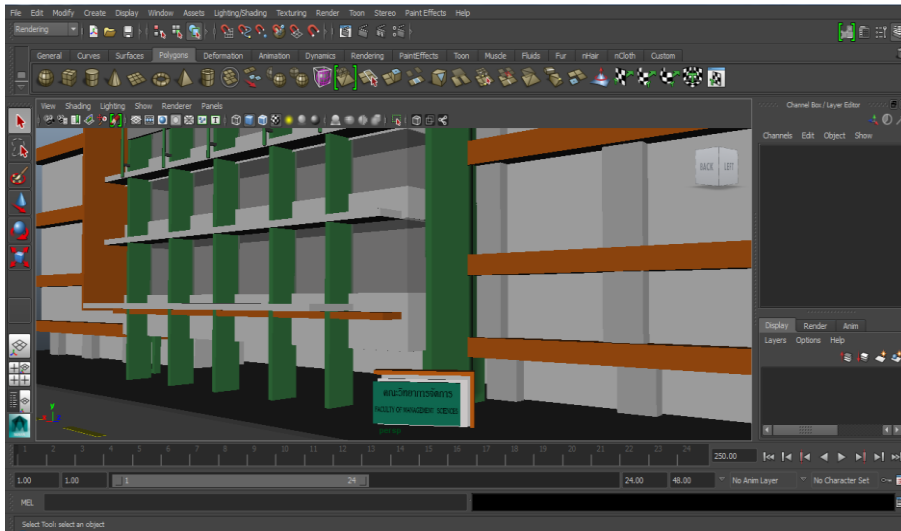
เพลงประกอบ โปรแกรม Adobe after effects ใช้การแปลงวีดีโอจากโปรแกรม Autodesk maya 2015 โปรแกรม Adobe premiere pro CS6 ใช้ในการตัดต่อวิดีโอ และโปรแกรม Adobe photoshop CS6 ใช้ในการตัดต่อเพื่อให้เสมือนจริงใช้เวลาในการดำเนินเนื้อเรื่องทั้งหมด 6.45 นาที ดังแสดงในภาพที่ 5 – 8



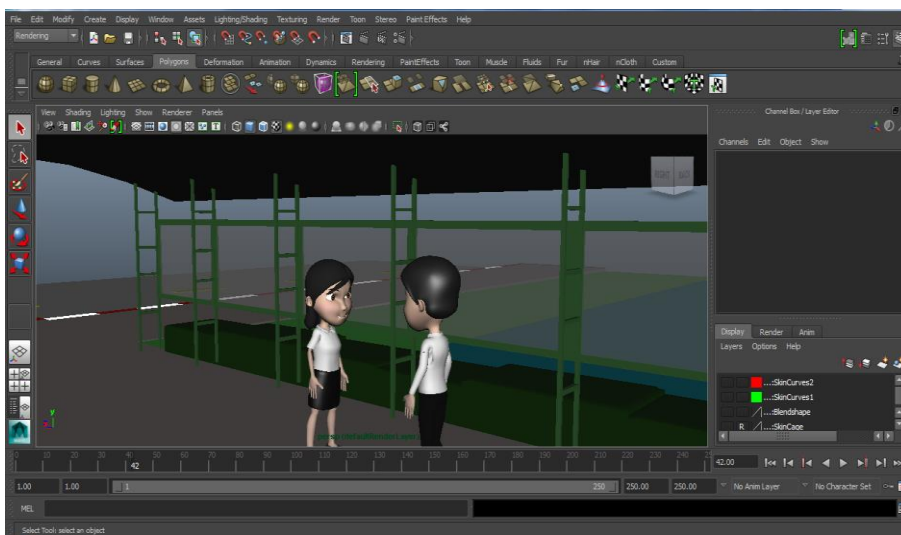
ภาพที่ 5 ตัวอย่างการออกแบบตัวละครชายและหญิง



ภาพที่ 6 ตัวอย่างฉากแรกหน้ามหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์



ภาพที่ 7 อาคารคณะวิทยาการจัดการ



ภาพที่ 8 ตัวอย่างการทำงานของตัวละครร่วมกับฉาก

ภาพที่ 6 และ 7 เป็นภาพการนำเสนอสถานที่เด่นสร้างการจดจำให้กับผู้รับชม โดยภายในเนื้อหาของการ์ตูนแอนิเมชันนั้นนำเสนอข้อมูลสาขาวิชา และกล่าวแนะนำบุคลากรภายในหลักสูตรผ่านการสนทนาของตัวละครเดือนและดาว เป็นการสอดแทรกเนื้อหาสร้างความเข้าใจข้อมูลแนวทางการศึกษาต่อผ่านตัวละครที่เป็นการ์ตูนแอนิเมชัน เพื่อดึงดูดความสนใจของผู้รับชมและสร้างความเข้าใจผ่านบรรยากาศและสิ่งอำนวยความสะดวกโดยรอบของการศึกษาต่อในสาขาวิชาธุรกิจดิจิทัล

ขั้นตอนที่ 3 การประเมินคุณภาพของการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ เรื่อง พาทัวร์แนวการศึกษาต่อสาขาวิชาธุรกิจดิจิทัล หลักสูตรบริหารธุรกิจ ด้วยการสร้างเครื่องมือแบบสัมภาษณ์แบบเจาะลึก ตรวจสอบเครื่องมือด้วยนักวิชาการจำนวน 3 ท่าน แล้วจึงนำมาใช้กับผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่าน ในการประเมินคุณภาพของสื่อในส่วนของเนื้อเรื่อง การเขียนบทดำเนินเรื่อง การออกแบบและผลิตการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ จากนั้นจึงนำผลสัมฤทธิ์การประเมินมาปรับปรุงวิเคราะห์ข้อมูลผลการประเมินเชิงคุณภาพแล้วนำไปทดสอบกับกลุ่มตัวอย่างผู้รับชมที่เป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาชั้นปีที่ 6

ขั้นตอนที่ 4 การประเมินความพึงพอใจและความเข้าใจจากการรับชมการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ เรื่อง พาทัวร์แนวการศึกษาต่อสาขาวิชาธุรกิจดิจิทัล หลักสูตรบริหารธุรกิจ สร้างเครื่องมือการประเมินความพึงพอใจและแบบสัมภาษณ์วัดความรู้ที่ได้จากการรับชมการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ ตรวจสอบเครื่องมือการประเมินความพึงพอใจและแบบสัมภาษณ์ด้วยนักวิชาการจำนวน 3 ท่าน แล้วจึงนำมาใช้กับกลุ่มตัวอย่างด้วยวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจงเป็นมัธยมศึกษาชั้นปีที่ 6 ที่มีความสนใจในการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ จำนวน 30 คน โดยแบบสอบถามเป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating scale) ซึ่งมีระดับมาตราส่วน 5 ระดับ (ธานินทร์ ศิลป์จารุ, 2552) โดยใช้การวิเคราะห์ข้อมูล คือ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการอภิปรายผล

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการวิจัยแบ่งออกเป็น 3 ข้อด้วยกันดังนี้

1) การ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ เรื่อง พาทัวร์แนวการศึกษาต่อสาขาวิชาธุรกิจดิจิทัล หลักสูตรบริหารธุรกิจ มีความยาวประมาณ 5.08 นาที ประกอบไปด้วย 6 ฉาก และ 2 ตัวละคร พัฒนาขึ้นโดยมีเนื้อหาการใช้การ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ เล่าเรื่องราวแนวทางการศึกษาต่อโดยในทีนี้ยกกรณีศึกษาเป็นการประชาสัมพันธ์หลักสูตรเพื่อเป็นแนวทางสร้างสรรค์สื่อที่ตรงต่อความสนใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาชั้นปีที่ 6 และบุคคลทั่วไปที่ชื่นชอบในการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ

2) ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบและเสนอแนะแนวทางการปรับเนื้อหาและการดำเนินเนื้อเรื่องแล้วจึงประเมินคุณภาพของสื่อหลังจากที่ได้ทำการปรับแก้แล้วผลที่ได้จากข้อเสนอแนะและการประเมินมีดังนี้

ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน มีการประเมินคุณภาพของสื่อเป็น 3 ด้าน ด้วยแบบสัมภาษณ์เชิงลึก

ด้านแรก การออกแบบพัฒนาการ์ตูนแอนิเมชันโครงสร้างเนื้อเรื่อง ผู้เชี่ยวชาญประเมินเนื้อเรื่องว่าเป็นการนำเสนอเนื้อหาจากภาพกว้างที่กล่าวถึงมหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ โดยนำเสนอผ่านแลนด์มาร์กที่เป็นจุดสังเกตอันดับแรกของมหาวิทยาลัย คือ ป้ายหน้ามหาวิทยาลัย จากนั้นจึงค่อย ๆ ลดภาพลงสู่ระดับคณะที่แสดงผ่านอาคารที่เป็นจุดสังเกตหลักของคณะ และลงสู่ระดับสาขาวิชา เนื้อหาแสดงให้เห็นเข้าใจภาพรวมโดยง่ายถึงโครงสร้างสาขาวิชาและกิจกรรมในสาขาวิชา อันเป็นสิ่งที่เหมาะสมในการนำเสนอข้อมูลให้ผู้สนใจในศึกษาต่อรับรู้ เพื่อสร้างความเข้าใจเป็นอันดับแรก ถือว่าเป็นการจัดเนื้อเรื่องที่ดีมาก

ด้านที่สอง คุณภาพของการออกแบบฉาก ตัวละคร การดำเนินเนื้อหาภายในการ์ตูนแอนิเมชัน ภาพและเสียง คุณภาพด้านการนำเสนออยู่ในระดับดีมาก ประกอบด้วยหลักการลงสี ภาพประกอบ วิดีโอ และเพลงประกอบ ที่มีการนำเสนอความน่าสนใจด้วยการใช้เทคนิคใหม่ ๆ เข้ามาช่วยในการนำเสนอเนื้อหา ทำให้เกิดความเพลิดเพลินกับผู้รับชม และเกิดความสนุกสนานระหว่างรับชม

ด้านที่สาม ความเหมาะสมของเวลาการนำเสนอ ผู้เชี่ยวชาญประเมินอยู่ในระดับดี เสนอแนะให้ปรับลดความยาวของเนื้อหาเวลานำเสนอ โดยให้แก้บางส่วนของเนื้อหาซ้ำและไม่จำเป็นออก สร้างความกระชับให้กับการดำเนินเนื้อเรื่อง ไม่ให้เกิดความสับสนในการรับชม และสร้างความเข้าใจได้ง่ายขึ้น

ผู้วิจัยจึงแก้ไขแล้วนำเสนอเนื้อหาที่แสดงให้เห็นถึงภาพลักษณ์ของสาขาวิชาธุรกิจดิจิทัล ที่ชัดเจนขึ้น ปรับบทและตัดเนื้อหาในส่วนที่ซับซ้อนลงตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญจากเดิมที่เนื้อหามีความยาว 6.45 นาที ลดเวลาในการนำเสนอลงโดยใช้เวลา 5.08 นาที

3) ผลการประเมินความพึงพอใจและความเข้าใจของผู้รับชมการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ เรื่อง พาทัวร์แนวการศึกษาต่อสาขาวิชาธุรกิจดิจิทัล หลักสูตรบริหารธุรกิจ จากกลุ่มตัวอย่างดังแสดงตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการประเมินความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างที่มีต่อการดูการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ เรื่อง พาทัวร์แนว

รายการประเมิน	ค่าเฉลี่ย	ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ระดับคุณภาพความพึงพอใจ
คุณภาพด้านเนื้อหา	4.65	0.20	มากที่สุด
คุณภาพด้านภาพเสียง	4.53	0.48	มากที่สุด
คุณภาพด้านนำเสนอ	4.97	0.17	มากที่สุด
ค่าเฉลี่ยรวม	4.72	0.28	มากที่สุด

จากตารางที่ 1 ผลการประเมินความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างที่มีต่อการดูการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ เรื่อง พาทัวร์แนวการศึกษาต่อสาขาวิชาธุรกิจดิจิทัล หลักสูตรบริหารธุรกิจ ผู้วิจัยแบ่งการประเมินออกเป็น 3 ด้าน คือ คุณภาพด้านเนื้อหา มีค่าเฉลี่ยเป็น 4.65 ระดับคุณภาพความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด คุณภาพด้านภาพเสียง มีค่าเฉลี่ยเป็น 4.53 ระดับคุณภาพความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด ด้านคุณภาพด้านนำเสนอมีค่าเฉลี่ยเป็น 4.97 ระดับคุณภาพความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด และโดยภาพรวมคุณภาพทั้ง 3 ด้านมีค่าเฉลี่ยรวมเป็น 4.72 ซึ่งระดับคุณภาพอยู่ในระดับมากที่สุด

ผลที่ได้จากแบบสัมภาษณ์วัดความรู้จากการรับชมการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาชั้นปีที่ 6 เป็นกลุ่มตัวอย่างที่ได้รับชมการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ มีความเข้าใจในสาขาวิชาธุรกิจดิจิทัล ทราบแนวทางการศึกษาโดยกลุ่มตัวอย่างอธิบายว่า จากการรับชมการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ พอละเห็นภาพรวมของมหาวิทยาลัย

คณะที่จะเข้าศึกษา เข้าใจลักษณะการศึกษาในมหาวิทยาลัย การแต่งกาย การใช้ชีวิตในรั้วมหาวิทยาลัย ทราบถึงรายวิชาที่ต้องศึกษาเพื่อเตรียมตัวก่อนเข้าศึกษาต่อ และอาชีพหลังจบการศึกษา

อภิปรายผลจากผลการวิจัยที่ได้แนะนำการทุนแอนิเมชัน 3 มิติ เรื่อง พาทัวร์แนวการศึกษาต่อสาขาวิชาธุรกิจดิจิทัล หลักสูตรบริหารธุรกิจ ผู้วิจัยได้ยกกรณีศึกษาการทุนแอนิเมชัน 3 มิติขึ้นไว้เป็นทางเลือกในการนำเสนอหลักสูตรสำหรับผู้ที่กำลังมองหาสื่อที่ได้รับความสนใจจากนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาชั้นปีที่ 6 และบุคคลทั่วไป สอดคล้องกับงานวิจัยของ พจนศิริรินทร์ ลิ้มปิ่นนันทน์ (2559) การทุนแอนิเมชันสามารถถ่ายทอดสอดแทรกความรู้เนื้อหาที่ทำให้เด็กและเยาวชนเกิดความสนใจ เพลิดเพลินดึงดูดความสนใจได้เป็นอย่างดี ส่งผลต่ออิทธิพลความคิดและสามารถโน้มน้าวความคิดเด็กและเยาวชนได้ จึงเหมาะสมในการนำมาสร้างเป็นสื่อเพื่อการแนะนำสร้างแนวทางการศึกษาต่อได้

ในส่วนของการประเมินสื่อที่ผู้เชี่ยวชาญประเมินขึ้นการออกแบบพัฒนากำหนดทุนแอนิเมชันโครงสร้างเนื้อเรื่อง การนำเสนอเนื้อหาที่เน้นไปที่ภาพรวมใหญ่จึงค่อย ๆ ลดขนาดของภาพรวม ผู้เชี่ยวชาญประเมินให้ระดับความเหมาะสมในการนำเสนอข้อมูลและการจัดการเนื้อเรื่องอยู่ในระดับดีมาก และความเหมาะสมของเวลาการนำเสนอ ผู้เชี่ยวชาญเสนอแนะให้จำกัดความยาวของเนื้อหาเวลา โดยในส่วนนี้สอดคล้องกับกระบวนการพื้นฐานในการผลิตภาพยนตร์แอนิเมชันโดย Jeremy (1994) ได้เสนอแนวทางในการปรับเนื้อหาภาพยนตร์ แอนิเมชันไว้ดังนี้ หลักการเขียนบทภาพยนตร์แอนิเมชันควรวางโครงสร้างตามลำดับดังนี้ แนวคิดหลักในการนำเสนอภาพยนตร์ แก่นเรื่อง แนวเรื่อง รูปแบบลักษณะ และการเล่าเรื่อง ซึ่งลำดับของเนื้อหาและระยะเวลาในการนำเสนอมีผลต่อความประทับใจของผู้ชม นิพนธ์ คุณารักษ์ (2556) กล่าวว่า เนื้อหาสาระของภาพยนตร์แอนิเมชันมักจะปรากฏให้เห็นถึง แนวคิด ค่านิยม หรือสะท้อนความต้องการส่งสาร สื่อความหมายจากผู้ผลิตไปยังผู้รับชม ผ่งมาในรูปแบบสัญลักษณ์ต่าง ๆ ที่จะช่วยส่งเสริมสร้างความเข้าใจของผู้เข้าชม

ผลการประเมินความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างที่มีต่อการทุนแอนิเมชัน 3 มิติ เรื่อง พาทัวร์แนวการศึกษาต่อสาขาวิชาธุรกิจดิจิทัล หลักสูตรบริหารธุรกิจ โดยภาพรวมคุณภาพทั้ง 3 ด้านมีค่าเฉลี่ยรวมเป็น 4.72 ซึ่งระดับคุณภาพอยู่ในระดับมากที่สุด สอดคล้องกับงานวิจัยของ สุวิธ ธีระโคตร และคณะ (2560) แสดงให้เห็นกลุ่มผู้สนใจในการทุนแอนิเมชันส่วนมากเรียนอยู่ในระดับมัธยมศึกษาตอนปลายและปริญญาตรี ระดับเจตคติต่อสื่อแอนิเมชันและแรงจูงใจในการใช้สื่อแอนิเมชันเพื่อการเรียนรู้มีดังนี้ ความคิดเห็นต่ออิทธิพลของสื่อแอนิเมชันมีผลต่อความสนใจและความชอบส่วนตัว ผ่านลักษณะการถ่ายทอดเนื้อหา แอนิเมชันเป็นสื่อที่รับรู้ได้ทั้งตาและหู มีสีสันสวยงาม ดึงดูดใจ สร้างความสนุกสนานและผ่อนคลาย

สรุป

จากวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ 3 ข้อดังนี้ 1) พัฒนาการตูนแอนิเมชัน 3 มิติ เรื่อง พาทัวร์แนวการศึกษาต่อสาขาวิชาธุรกิจดิจิทัล หลักสูตรบริหารธุรกิจ 2) เพื่อหาคุณภาพของการการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติเรื่อง พาทัวร์แนวการศึกษาต่อสาขาวิชาธุรกิจดิจิทัล หลักสูตรบริหารธุรกิจ ด้วยการประเมินคุณภาพโดยผู้เชี่ยวชาญ 3) ศึกษาความพึงพอใจและความเข้าใจของผู้รับชมสื่อแอนิเมชัน 3 มิติ เรื่อง พาทัวร์แนวการศึกษาต่อสาขาวิชาธุรกิจดิจิทัล หลักสูตรบริหารธุรกิจ ผลการวิจัยสรุปได้ดังนี้ การ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ เรื่องนี้เป็นตัวอย่างการสร้างสื่อประชาสัมพันธ์แนวใหม่อีกทางเลือกหนึ่งในการแนะนำแนวทางการศึกษาต่อที่สร้างความสนใจให้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาชั้นปีที่ 6 และบุคคลทั่วไปที่ชอบรับชมวิดีโอและสามารถนำเสนอและประชาสัมพันธ์ไปยังกลุ่มผู้บริโภคผ่านสื่อที่เข้าถึงได้ง่าย เช่น ยูทูบ เฟซบุ๊ก และ อินสตาแกรม เป็นต้น เนื้อหาของการ์ตูนแอนิเมชันเรื่องนี้ยังสร้างจุดน่าสนใจจากตัวละคร 2 ตัว ที่พูดคุยซักถามด้วยคำพูดที่เข้าใจง่าย พร้อมกับพาชมสถานที่ต่าง ๆ ภายในมหาวิทยาลัย ฉากที่สร้างขึ้นเน้นไปที่ภาพใหญ่อันเป็นแลนด์มาร์กของมหาวิทยาลัยเชื้อเชิญให้ผู้รับชมอยากมาสัมผัสสถานที่จริง ไต่ระดับไปสู่เนื้อหาของสาขาวิชา สร้างความเพลิดเพลินกับผู้รับชม ด้วยบทพูดและภาษาของตัวละครที่ย่อยง่าย เข้าใจง่าย และมีการดำเนินเนื้อเรื่องที่กระชับ

ข้อเสนอแนะ

การนำการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ ไปพัฒนาต่อควรเพิ่มในส่วนของฉากและสีสันให้เกิดความน่าสนใจเพิ่มขึ้น เสียงที่ใช้ในการพากย์ควรสร้างอารมณ์ให้กับผู้รับชมมากขึ้น หรืออาจดำเนินเนื้อเรื่องเป็นซีรีส์ ดำเนินเนื้อเรื่องร้อยเรียงที่ชักจูงใจผู้รับชมให้ติดตามในตอนต่อไป สร้างความต่อเนื่องได้มากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

ไทยรัฐออนไลน์. (2562). Thairath entertain. สืบค้นจาก <https://www.thairath.co.th/entertain/news/1312012>.

ธานินทร์ ศิลป์จารุ. (2552). การวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วย SPSS. พิมพ์ครั้งที่ 10. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์บิสซิเนสอาร์แอนด์ดี.

นิพนธ์ คุณารักษ์. (2556). การออกแบบบุคลิกลักษณะเพื่อผลิตภาพยนตร์แอนิเมชัน ประเภทนิยายวิทยาศาสตร์ด้วยทฤษฎีสัญศาสตร์. วิทยานิพนธ์ศิลปศาสตรดุษฎีบัณฑิต คณะศิลปกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พจน์ศิริพร ลิ้มปิ่นนันทน์. (2559). การพัฒนาแอนิเมชันนิทานพื้นบ้านในรูปแบบแอนดรอยด์แอปพลิเคชันเพื่อสืบทอดให้คนรุ่นหลังอย่างยั่งยืน. วารสารวิจัยเพื่อพัฒนาสังคมและชุมชน มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ปีที่ 3, 2(6), 1050 - 1161.

พูนศักดิ์ อนุพันธ์พานิช. (2558). **เริ่มต้นเรียนรู้การใช้งานโปรแกรม Maya**. กรุงเทพฯ: อักษรเงินดี.
 สุวิษ ธีระโคตร และคณะ. (2560). เจตคติและแรงจูงใจของผู้เรียนในการใช้แอนิเมชันเพื่อการเรียนรู้.

วารสารวิชาการนวัตกรรมสื่อสารสังคม ปีที่ 5, 2(10), 92 - 101.

Barve. et.al. (2015). Effects of Advertising on Youth (Age Group of 13-19 Years Age). **Journal of Mass Communication & Journalism**, Volume 5, 260-265. DOI:10.4172/2165-7912.1000260

Goel, D. & Upadhyay, R. (2017). Effectiveness of use of Animation in Advertising: A Literature Review. *Int. J. Sci. Res. in Network Security and Communication*, Volume 5, 146 - 159.

GamingDose. (2020). **Game and Animation Line Today**. Retrieved from <https://today.line.me/th/pc/article/>.

Jeremy, B. G. (1994). **Animated Television: The Narratire Cartoon**. USA.: Wadsworth.

Moreno L. (2014). **The creatiion process of 2D animation movies**. Retirieved from https://www.edubcn.cat/racs_gene/treballs_recerca/2014-2015-02-4-TR_baixa.pdf.

Musa, S., Ziatdinov, R. & Griffiths, C. (2013). **Introduction to computer animation and its possible educational applications**. Retrieved from <https://arxiv.org/abs/1312.1824>.

Sorkine-Hornung, A. & Griffiths, K. (2007). Character animation from 2D pictures and 3D motion data. **ACM Journal Transactions on Graphics**, 26(1).

การหาประสิทธิภาพของเครื่องสีข้าวขนาดเล็กสำหรับการสีข้าวพันธุ์การค้าจังหวัดชัยนาท

ภัทรารุณ บุญประกอบ¹ คณินิต ปทุมมาเกสร^{2*} เอนก เทียนบูชา³

Received : July 14, 2020

Revised : August 27, 2020

Accepted : August 27, 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาประสิทธิภาพในการสีข้าวพันธุ์การค้าจังหวัดชัยนาทของเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก โดยการหาค่าระดับความเร็วและระยะห่างลูกกลิ้งยางที่เหมาะสมในการสีข้าวขาวและข้าวกล้อง การทดสอบในครั้งนี้ทำการเลือกข้าวที่นำมาทดสอบจำนวน 3 สายพันธุ์คือ ข้าวชัยนาท1 ข้าวไรซ์เบอร์รี่ และข้าวหอมปทุม จากชุมชนบ้านหัวตะพาน อำเภอสรรคบุรี จังหวัดชัยนาท ปริมาณข้าวที่นำมาทดลองครั้งละ 1 กิโลกรัม การทดสอบจะทำการควบคุมระดับความชื้นของข้าวเปลือกเท่ากับ 15 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นทำการทดสอบด้วยการปรับค่าความเร็วของมอเตอร์และปรับระยะห่างของลูกกลิ้งยางที่เหมาะสมกับการสีข้าวของแต่ละสายพันธุ์ ซึ่งผลการวิจัยพบว่า ค่าระดับความเร็วขอบลูกกลิ้งยางที่เหมาะสมของข้าวชัยนาท1 ลูกกลิ้งยาง ก ข และ ค เท่ากับ 1,009.0 590.3 และ 1,019.0 rpm ตามลำดับ ข้าวไรซ์เบอร์รี่มีค่าระดับความเร็วขอบของลูกกลิ้งยาง ก ข และ ค เท่ากับ 1,110.3 649.9 และ 1,123.7 rpm ตามลำดับ และข้าวหอมปทุม ลูกกลิ้งยาง ก ข และ ค เท่ากับ 861.8 503.9 และ 870.2 rpm ตามลำดับ ค่าระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งยางเท่ากับ 1 มิลลิเมตร สำหรับข้าวหอมปทุม ระยะห่างลูกกลิ้งยางเท่ากับ 0.9 มิลลิเมตร สำหรับข้าวไรซ์เบอร์รี่และข้าวชัยนาท1 ดังนั้นผลการทดสอบพบว่าประสิทธิภาพของเครื่องสีข้าวขนาดเล็กสามารถสีข้าวชัยนาท1 ผลการทดสอบได้ข้าวขาวคิดเป็น 65 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักข้าวเปลือกที่ป้อน ข้าวไรซ์เบอร์รี่ได้ข้าวกล้องเท่ากับ 76 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักข้าวเปลือกที่ป้อน และข้าวหอมปทุมได้ข้าวขาวคิดเป็น 75 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักข้าวเปลือกที่ป้อน ผลการเปรียบเทียบทั้งสามพันธุ์ข้าวพบว่าเมื่อทำการปรับค่าความเร็วขอบลูกกลิ้งยางและระยะห่างลูกกลิ้งยางที่เหมาะสมกับแต่ละชนิดของพันธุ์ข้าวแล้วส่งผลให้การสีข้าวขาวมีปริมาณการแตกหักน้อยลงและผลการทดสอบของพันธุ์ข้าวหอมปทุมได้ปริมาณข้าวขาวมากกว่าพันธุ์ชัยนาท1 และสำหรับข้าวไรซ์เบอร์รี่สามารถทำการสีข้าวเพียงรอบเดียวจากเดิมต้องทำการสีข้าวซ้ำ 2 ครั้ง และผลการของสีข้าวกล้องนั้นเป็นที่น่าพึงพอใจมาก

คำสำคัญ: การสีข้าว เครื่องสีข้าวขนาดเล็ก ประสิทธิภาพของเครื่องสีข้าว

¹ อาจารย์สาขาอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์อุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม จังหวัดกรุงเทพมหานคร อีเมล: phattrawut_z17@hotmail.com

² อาจารย์สาขาเทคโนโลยีการผลิต คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม จังหวัดกรุงเทพมหานคร อีเมล: syck59@hotmail.com

³ อาจารย์สาขาเทคโนโลยีการผลิต คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม จังหวัดกรุงเทพมหานคร อีเมล: webthaitutor@hotmail.com

*ผู้รับผิดชอบหลัก อีเมล: syck59@hotmail.com

THE EFFECTIVENESS OF SMALL RICE MILL MACHINE FOR RICE MILL OF RICE VARIETIES TRADING IN CHAI-NAT PROVINCE

Phattrawut Boonprakong¹ Kanuengnit Patoommakesorn² Anek Thianboocha³

Abstract

This research was to find the efficiency of rice mill for rice varieties trading in Chai-Nat province by determining the optimum speed and the distance of gaps the rubber roller to appropriate of each varieties rice. In the experiments, three rice varieties were selected: Chai-Nat1 Rice, Rice berry and Thai Pathumthani Fragrant Rice from Ban Hua-Ta-phan Community, Sankhaburi District, Chai-Nat Province. The experiment used one kilogram of rice per time by controlling paddy has a 15 percent moisture content. After that, adjusted the speed of motor at 30-50 Hz and adjusting the distance of gaps the rubber roller to match of each varieties rice. The results of the experiment showed the optimum speed of Chai-Nat1 Rice, surface speed of rubber rollers A, B and C was 1,009.0, 590.3 and 1,019.0 rpm, respectively. Rice berry, surface speed of rubber rollers A, B and C was 1,110.3, 649.9, and 1,123.7 rpm, respectively. Thai Pathumthani Fragrant Rice, the surface speed of the rubber rollers was 861.8, 503.9 and 870.2 rpm, respectively. Thai Pathumthani Fragrant Rice, Gap between the rubber rollers is one millimeter. Rice berry and Chai-Nat1 Rice, Gaps between the rubber rollers is 0.9 millimeter. Therefore, the efficiency test results of the small rice mill showed that Chai-Nat 1 received white rice, equivalent to 65 percent of the weight of the paddy. In Rice berry obtained brown rice equal to 76 percent of the weight of the paddy and Thai Pathumthani Fragrant Rice obtained white rice, representing 75 percent of the weight of the paddy. The results of comparing the three types showed that adjust speed and the distance of gaps the rubber roller to appropriate of each varieties rice that resulted in receiving less broken white rice. The results of milling of Thai Pathumthani Fragrant Rice were more white rice than Chai-Nat 1, and for Rice berry milling could be done only once, instead of having to repeat rice milling twice, and the results of brown rice color were very satisfactory.

Keywords: rice mill, small rice mill machine, Effectiveness of rice mill machine

¹ Lecturer of Electronic and Industrial Computer Program, Faculty of Science, Chandrakasem Rajabhat University, Bangkok, e-mail: phattrawut_z17@hotmail.com

² Lecturer of Production Technology Program, Faculty of Science, Chandrakasem Rajabhat University, Bangkok, Bangkok, e-mail: syck59@hotmail.com

³ Lecturer of Production Technology Program, Faculty of Science, Chandrakasem Rajabhat University, Bangkok, Bangkok, e-mail: webthaitutor@hotmail.com

* Corresponding author, e-mail: syck59@hotmail.com

บทนำ

ชัยนาทเป็นจังหวัดหนึ่งของภาคกลางตอนบนของประเทศไทย ตั้งอยู่ริมฝั่งซ้ายของแม่น้ำเจ้าพระยา และตอนเหนือของภาคกลาง เป็นพื้นที่ยุทธศาสตร์สำคัญของการปลูกข้าวซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจของไทย โดยมีพื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมด 884,451 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 68.93 ของพื้นที่ทางการเกษตรกรรมทั้งหมด การปลูกข้าวของจังหวัดชัยนาทสามารถทำได้ทั้งนาปี และนาปรัง โดยเฉพาะการปลูกข้าวนาปรังมีปริมาณมากคิดเป็นอันดับสามของประเทศ รองจากจังหวัดสุพรรณบุรีที่เป็นอันดับหนึ่ง และจังหวัดนครสวรรค์ที่เป็นอันดับสอง สำหรับข้าวที่เพาะปลูกในจังหวัดชัยนาทมีหลากหลายชนิด แต่ที่นิยมปลูกมากที่สุด ได้แก่ ข้าวหอมปทุม ข้าวขาว ข้าว กข47 กข49 กข31 กข41 กข63 ชัยนาท1 และข้าวหอมมะลิ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2559) จากข้อมูลของสมาคมโรงสีข้าวไทยแสดงราคาข้าวเปลือกเฉลี่ย (ความชื้นที่ร้อยละ 15) เดือนมกราคม - ธันวาคม 2561 พบว่าข้าวเปลือกหอมมะลิใหม่ราคา 16,959 บาท/ตัน ข้าวเปลือกหอมปทุมฯ ราคา 10,725.16 บาท/ตัน (สมาคมโรงสีข้าวไทย, 2561) ซึ่งราคาข้าวเพิ่มขึ้นจากปี 2558 และปี 2559 จากนโยบายรัฐบาลส่งผลให้ชาวนาเน้นการปลูกเพื่อจำหน่ายให้กับโรงสีทำให้เกษตรกรไม่มีอยู่ฉางสำหรับเก็บข้าวเหมือนในอดีต นอกจากนี้ปัญหาด้านความชื้นของข้าวเปลือกทำให้เกษตรกรไม่มีอำนาจการต่อรองกับโรงสีจึงจำเป็นต้องขายข้าวเปลือกตามที่โรงสีกำหนดแม้ว่าการกำหนดความชื้นของข้าวเปลือกที่โรงสีใช้จะเป็นวิธีทำให้เกษตรกรเสียเปรียบจากปัญหาดังกล่าว กลุ่มเกษตรกรต้องขายข้าวเปลือกให้แก่โรงสี แต่มีเกษตรกรบางรายเท่านั้นทำการเก็บรักษารข้าวเปลือกบางส่วนไว้ในอยู่ฉางเพื่อบริโภคและจำหน่าย

ทีมนักวิจัยได้ลงพื้นที่สำรวจเกษตรกรพื้นที่หมู่ 14 ตำบลแพรกศรีราชา อำเภอสรรคบุรี จังหวัดชัยนาท พบว่าผลผลิตข้าวเปลือกที่เก็บเกี่ยวแต่ละครั้งจะทำการจำหน่ายข้าวเปลือกให้กับโรงสี แบ่งเก็บรักษาไว้ในอยู่ฉางเพื่อไว้บริโภค แบ่งขายและทำเป็นเมล็ดพันธุ์ในปีต่อไป ซึ่งก่อนเก็บข้าวเปลือกนั้นเกษตรกรจะนำข้าวเปลือกไปอบแห้งเพื่อลดความชื้น ซึ่งต้องเสียค่าใช้จ่าย 5 บาท/กิโลกรัม ส่วนการนำข้าวมาบริโภคหรือแบ่งขายจะต้องผ่านเครื่องสีข้าวขัดขาวก่อน เกษตรกรส่วนใหญ่จะนำข้าวไปสีที่โรงสีข้าว ซึ่งคิดราคาค่าสีข้าวถ่วงถึงละ 25 บาท/ถัง ข้าวขัดขาวราคา 1.20 บาท/กิโลกรัม จากการสำรวจชุมชนบ้านหัวตะพาน หมู่ 14 ตำบลแพรกศรีราชา นั้นไม่มีเครื่องสีข้าวของชุมชนแต่จะมีเครื่องสีข้าวขัดขาวขนาดเล็กในบางครัวเรือนสำหรับสีข้าวเพื่อบริโภคและจำหน่าย ส่วนข้าวไรซ์เบอร์รี่และข้าวหับทิมชุมแพต้องนำไปสีที่โรงสีข้าวเช่นกัน คุณภาพของข้าวที่ผ่านเครื่องสีข้าวขนาดเล็กพบว่าเมล็ดแตกหักเป็นจำนวนมากเนื่องจากการขัดขาวถึง 2 ครั้งและการสีข้าวจะมีการใช้ระดับความเร็วในการสีข้าวทุกพันธุ์ข้าวที่มีระดับความเร็วเท่ากันจึงมีผลต่อคุณภาพของเมล็ดข้าวที่สีออกมาเพราะลักษณะเมล็ดพันธุ์ข้าวแต่ละชนิดมีลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกัน การสีข้าวที่เมล็ดข้าวแตกหัก สีของเมล็ดข้าวไม่ขาวจะทำให้มีผลกระทบต่อราคาขาย (สุรินทร์ แหมงงาม และคณะ, 2558) ได้นำเสนอเครื่องสีข้าวขนาดเล็กสำหรับครัวเรือนโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F887 ควบคุมการทำงานสามารถสีได้ทั้งข้าวขาวและข้าวกล้องและทำการศึกษการปรับความเร็วรอบของมอเตอร์เครื่องสีข้าวให้เหมาะสมกับการสีข้าว กข31, กข41, กข47, พิษณุโลก2, ปทุมธานี1, -ข้าวเหนียวกำและข้าวเหนียวขาว พบว่าความเร็วมอเตอร์ที่เหมาะสมกับการสีข้าวและข้าวกล้องเท่ากับ 3,300 rpm และ 3,500 rpm ลำดับ ผลการทดสอบการสีข้าวกล้องและข้าวขาวเฉลี่ยไม่ต่ำกว่า 60% และ 40% ตามลำดับ (จักรกฤษณ์ เคลือบวงศ์ และคณะ, 2557) ทำการควบคุมเครื่องสีข้าวด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ Mitsubishi FX48-MROS ซึ่งทำการทดลองสีข้าวกล้องและผลเฉลี่ยเท่ากับ 714.552 กรัม คิดเป็น 71.45% ของน้ำหนักข้าวเปลือก แกลบเฉลี่ยไม่ต่ำกว่า 2.54% ข้าวขาวเฉลี่ย 607.45 กรัม คิดเป็น

60.74% น้ำหนักแกลบเฉลี่ย 194.448 กรัม คิดเป็น 19.44 % ซึ่งจะเห็นว่างานวิจัยของสุรินทร์และกาญจนาไม่มีการปรับระยะห่างลูกยางขัดขาวที่เหมาะสมกับพันธุ์ข้าว (สุรพงษ์ บางพาน และพีรพันธ์ บางพาน, 2555) ทำการสร้างเครื่องสีข้าวขนาดเล็กเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสีข้าว ความเร็วในการสีข้าว รวมถึงประหยัดพลังงานไฟฟ้า ผลการทดลองสำหรับพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิและข้าวพันธุ์สันป่าตอง1 ได้รับข้าวดีร้อยละ 80.88% เวลาเฉลี่ย 15, 13.7 นาที ประสิทธิภาพการสีข้าวที่ 32, 35 กิโลกรัม/วัน ตามลำดับ ความเร็วรอบ1440 รอบต่อนาที ระยะห่างของลูกหินขัดขาวกับแท่งยางเท่ากับ 1.5 มิลลิเมตร กระแสไฟฟ้าเฉลี่ย 5 หน่วยต่อวัน (นิทัศน์ ตั้งพินิจกุล และคณะ, 2548) ทำการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสีข้าวโดยเปรียบเทียบการขัดข้าวขาวข้าวกล้องเต็มเมล็ดด้วยลูกขัดสีแบบลูกหินแนวอนและลูกขัดสีแบบแกนโลหะพบว่าลูกขัดสีแบบลูกหินได้ต้นข้าวเฉลี่ย 85% ซึ่งสูงกว่าแบบแกนโลหะซึ่งได้ต้นข้าว 76% และลูกขัดสีแบบลูกหินและแกนโลหะมีความสามารถในการขัดข้าวข้าวกล้องเฉลี่ยเท่ากับ 88 และ 233 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และ (ธนัสถ์ นนทพุท และคณะ, 2558) เสนอเครื่องสีข้าวกล้องขนาดเล็กสำหรับใช้ครัวเรือนโดยการประยุกต์เครื่องสีข้าวขนาดใหญ่ให้มีขนาดเล็กจะสามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวกมีลูกยางกะเทาะสีอัน หมุนไปในทิศทางตรงข้ามกันความเร็วที่แตกต่างกัน ผลการทดลองสามารถสีข้าวกล้องได้มากกว่า 40 กิโลกรัมต่อชั่วโมง การสีข้าวขาวได้แต่ประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำประมาณ 10 กิโลกรัมต่อชั่วโมง จากผลงานวิจัยส่วนใหญ่ทำการออกแบบและสร้างเครื่องสีข้าวเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องโดยทำการปรับปรุงพัฒนาการทำงานของเครื่องสีข้าวทำการทดสอบโดยการปรับความเร็วมอเตอร์ให้เหมาะสมกับพันธุ์ข้าวที่นำมาทดลอง

ดังนั้นจากปัญหาในข้างต้นจากเกษตรกรต้องนำข้าวเปลือกไปที่โรงสีข้าวเพื่อบริโภคและจำหน่าย ส่วนการสีข้าวเปลือกกับเครื่องสีข้าวสำหรับครัวเรือนพบข้าวแตกหักเสียหายเป็นจำนวนมาก ทีมนักวิจัยจึงมีแนวคิดในการนำเครื่องสีข้าวยี่ห้อหนึ่งเพื่อมาเป็นต้นแบบการหาประสิทธิภาพของเครื่องสีข้าวเพื่อให้สามารถสีข้าวเปลือกได้อย่างเหมาะสมในแต่ละพันธุ์ข้าว เกิดการแตกหักเสียหายน้อยโดยทำการทดสอบด้วยการควบคุมความชื้นข้าวเปลือกที่ 15% และนำเครื่องไปทดสอบปรับค่าความเร็วมอเตอร์และระยะห่างของลูกยางให้เหมาะสมกับพันธุ์ข้าวในพื้นที่ตำบลแพรงศรีราชา อำเภอสรรคบุรี จังหวัดชัยนาท และพันธุ์ข้าวที่นำมาทดสอบได้แก่ ข้าวหอมปทุม ข้าวไรซ์เบอร์รี่ และข้าวชัยนาท1 เพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องสีข้าวและทราบค่าความเร็วมอเตอร์และระยะห่างของลูกยางที่เหมาะสมและสามารถเป็นต้นแบบให้เกษตรกรนำหลักการไปปรับใช้กับพันธุ์ข้าวอื่นๆ ได้

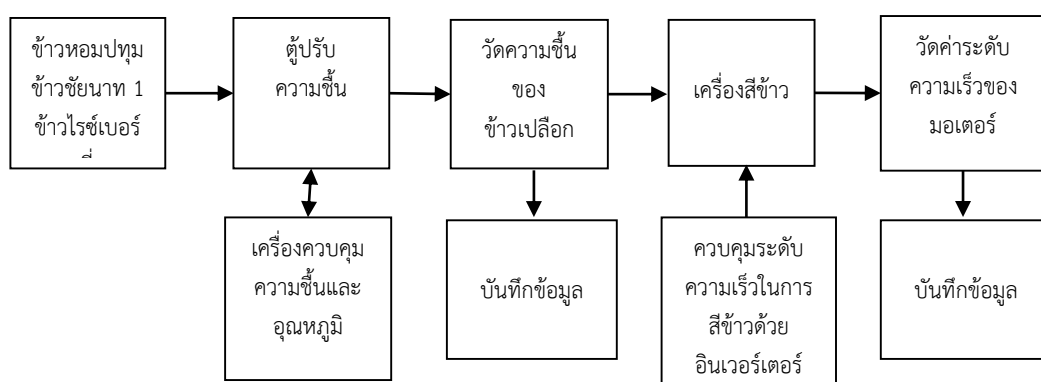
วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องสีข้าวขนาดเล็กสำหรับการสีข้าวพันธุ์การคำจังหวัดชัยนาท
2. เพื่อหาประสิทธิภาพและเปรียบเทียบชนิดของพันธุ์ข้าวในการสีข้าวของเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก

วิธีดำเนินการวิจัย

การหาประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องสีข้าวพันธุ์ข้าวหอมปทุม ข้าวชัยนาท1 และข้าวไรซ์เบอร์รี่มาทดสอบเพื่อหาค่าความเร็วมอเตอร์และระยะห่างของลูกยางจำนวน 3 ลูกของการสีข้าวเปลือก ซึ่งมีแนวคิดในการออกแบบการทำงานของระบบ ดังภาพที่ 1 แสดงหลักการทำงานของการปรับระดับความเร็วของเครื่องสีข้าว

พันธุ์ โดยการนำพันธุ์ข้าวเปลือกหอมปทุมหรือข้าวชัยนาท 1 หรือข้าวไรซ์เบอร์รี่เข้ามายังตู้ปรับความชื้นเพื่อทำการวัดความชื้นของข้าวเปลือก เครื่องจะทำการสร้างหรือลดความชื้นแก่ข้าวเปลือกให้ได้ค่าความชื้นเท่ากับร้อยละ 15 หลังจากนั้นนำข้าวเปลือกป้อนเข้าไปยังเครื่องสีข้าวเพื่อทำการสีข้าวที่ระดับค่าความถี่ของมอเตอร์ระหว่าง 30-50 Hz ที่ควบคุมความเร็วมอเตอร์ด้วยอินเวอร์เตอร์ ปรับค่าระยะห่างของลูกยาง ก ข และ ค เท่ากับ 0.80 0.85 0.90 0.95 และ 1.0 มิลลิเมตร (mm.) พร้อมทั้งวัดค่าและบันทึกค่าความเร็วรอบของลูกกลิ้งยาง ก ข และ ค ในแต่ละระดับค่าความถี่ของมอเตอร์ และบันทึกผลของการสีข้าวหอมปทุม ข้าวชัยนาท 1 และ ข้าวไรซ์เบอร์รี่



ภาพที่ 1 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของเครื่องปรับระดับความเร็วของเครื่องสีข้าว

1. การปรับลดความชื้นของข้าวเปลือก

เริ่มต้นจากการเตรียมข้าวเปลือกในการทดสอบทั้งสามสายพันธุ์คือข้าวหอมปทุม ข้าวชัยนาท 1 ข้าวไรซ์เบอร์รี่ การทดสอบมีการกำหนดน้ำหนักของข้าวเปลือกปริมาณครั้งละ 1 กิโลกรัมเข้าไปปรับเพิ่ม-ลดความชื้นของข้าวเปลือกที่ตู้ปรับความชื้น ซึ่งประกอบด้วยตัวตรวจจับความชื้นเป็นเครื่องวัดและควบคุมความชื้นด้วยหัววัดแบบดิจิตอลความละเอียดสูงสามารถวัดความชื้นตั้งแต่ร้อยละ 0 ถึงร้อยละ 99 ความละเอียดร้อยละ 1 ควบคุมการทำงานด้วยรีเลย์ ตู้ปรับความชื้นของข้าวเปลือกจะทำการลดความชื้นของข้าวเปลือกโดยใช้ซิลิกาเจลหรือสารดูดความชื้นภายในตู้จะมีการติดตั้งพัดลมเพื่อทำให้ซิลิกาเจลสามารถกระจายตัวและดูดความชื้นภายในตู้อย่างรวดเร็วส่งผลให้ความชื้นภายในข้าวเปลือกถูกดูดความชื้นออกจากตัวเมล็ดข้าวทันที ซึ่งในการทดลองนี้ทำการควบคุมความชื้นของข้าวเปลือกเท่ากับร้อยละ 15 ซึ่งเป็นค่าความชื้นที่เหมาะสมในการสีข้าว (ธนส์ นนทพชร และคณะ, 2558)

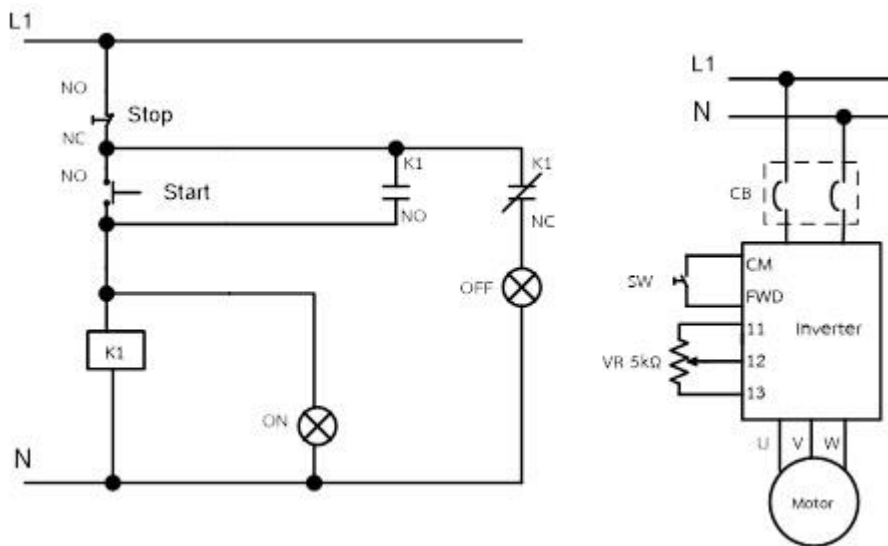
2. การควบคุมระดับความเร็วในการสีข้าวด้วยอินเวอร์เตอร์

2.1 เครื่องสีข้าว

เครื่องสีข้าวที่ใช้ในการทดสอบในครั้งนี้เป็นเครื่องสีข้าวยี่ห้อหนึ่งสามารถสีข้าวได้ทั้งข้าวขาวและข้าวกล้อง สีข้าวเปลือกได้ 150-170 กิโลกรัมต่อชั่วโมง สามารถปรับความขาวของข้าวได้ตามต้องการและแยกรา

ข้าว ปลายข้าวและแกลบ ขนาดมอเตอร์ 3 แรง 220 โวลต์ น้ำหนักเครื่อง 165 กิโลกรัม ขนาด 110x58x145 เซนติเมตร สำหรับการสีข้าวกล้องต้องทำการสีสองครั้ง ส่วนลูกยางกะเทาะข้าวจำนวน 3 ลูก ขนาด 254 มิลลิเมตร ความหนา 25.4 มิลลิเมตร ระยะห่างระหว่างลูกยางกะเทาะข้าวเปลือกมีค่าเท่ากับ 1.0 มิลลิเมตร สำหรับการทดลองจะทำการปรับระยะห่างของลูกยางกะเทาะข้าวเปลือกตั้งแต่ 0.8-1.0 มิลลิเมตรและวัดความเร็วรอบของลูกยาง เพื่อหาค่าที่เหมาะสมในการกะเทาะเปลือกของข้าวเปลือกทั้งสามสายพันธุ์

2.2 การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ด้วยอินเวอร์เตอร์

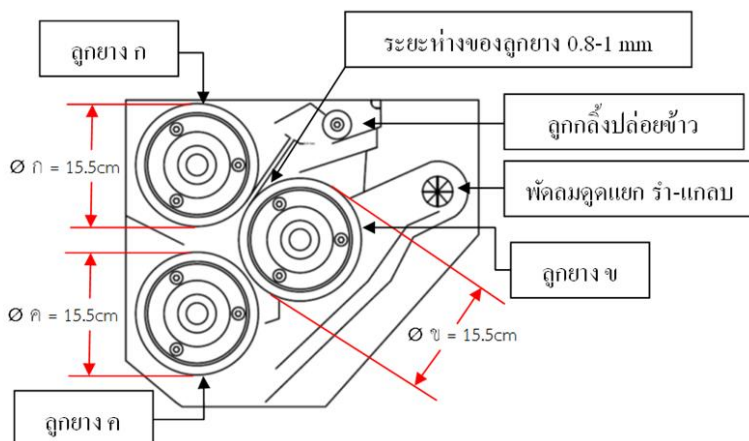


ภาพที่ 2 วงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์

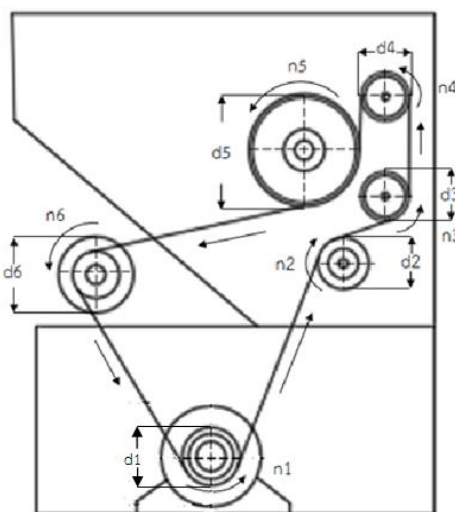
จากภาพที่ 2 ชุดวงจรควบคุมเมนไฟฟ้าสำหรับอินเวอร์เตอร์ขนาด 3 HP Input 1 Phase/220V Output 3 Phase/220V ซึ่งมีหลักการทำงานเมื่อทำการเปิดตัวควบคุมตัดกระแสไฟฟ้า (Circuit Breaker) ขนาด 30 A จะทำให้หลอดไฟ OFF ติดอยู่ในสถานะปิดเครื่องและพร้อมใช้งาน เมื่อทำการกดปุ่มสตาร์ท (Start) ตัวแมกเนติกสวิตช์จะทำงานสร้างสนามแม่เหล็กและหน้าคอนแทคสัมผัสกันทำให้กระแสไหลผ่านจึงทำให้หลอดไฟสีเขียวทำงาน (ON) และหลอดไฟสีแดงจะอยู่สถานะไม่ทำงาน (OFF) จากนั้นระบบทำการล๊อคคอนแทคด้วย K1 ซึ่งมีการทำงานแบบระบบอินเตอร์ล๊อคทำให้กระแสไฟฟ้า 220V ไหลผ่านหน้าสัมผัสของแมกเนติกส์ไปสู่วงจรอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมมอเตอร์และสามารถปรับความเร็วรอบมอเตอร์ของเครื่องสีข้าวได้

3. วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

3.1 ทำการทดสอบการปรับระดับความเร็วของมอเตอร์โดยการปรับความถี่ตั้งแต่ระดับ 30-50 Hz การทดสอบจะปรับระดับความถี่ขึ้นครั้งละ 1 Hz และนำเครื่องมือวัดความเร็วรอบหรือเรียกว่า Photo/Contact Tachometer แบบแสงอินฟราเรด (rpm) ลักษณะของลูกกลิ้งยางแสดงในภาพที่ 3 ขนาดของลูกกลิ้งยางทั้งสามลูกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากันคือ 15.50 เซนติเมตร (cm) เครื่องมือวัดจะทำการวัดค่าความเร็วรอบลูกกลิ้งยาง ก ข และ ค ทำซ้ำ 3 ครั้งและทำการบันทึกผล ซึ่งการทดสอบนี้จะไม่มี การป้อนข้าวเปลือก สำหรับภาพที่ 4 แสดงระบบชุดพลูเลย์ขับเคลื่อนความเร็วของมอเตอร์ซึ่งจะอยู่ด้านหลังของลูกกลิ้งยาง



ภาพที่ 3 ลูกกลิ้งยางของเครื่องสีข้าว

ภาพที่ 4 ระบบชุดพูลูเลย์
มอเตอร์

ขับเคลื่อนรอบของ

3.2 นำ
ข้าวเปลือกคุณภาพดีไปวัด
ความชื้นและจดบันทึกผล

ข้าวเปลือกที่มีเมล็ด
ความชื้นด้วยเครื่องมือวัด
หลังจากนั้นนำไปเพิ่มหรือ

ลดความชื้นด้วยตู้อบความชื้นเพื่อให้ได้ค่าความชื้นเท่ากับ 15% เมื่อข้าวเปลือกได้ค่าความชื้นที่กำหนดแล้วจะ
นำข้าวเปลือกไปซังให้น้ำหนัก 1 กิโลกรัมป้อนเข้าเครื่องสีข้าวเพื่อทำการทดสอบการสีข้าว ทำการตั้งค่าความถี่
ของมอเตอร์ตั้งแต่ 30 Hz จนถึง 50 Hz ทำการปรับค่าความถี่ขึ้น ครึ่งละ 1 Hz และทำการปรับระยะห่างของ
ลูกกลิ้งยาง ก ข ค จะทำการทดลองตั้งค่าระยะห่างตั้งแต่ 0.80 0.85 0.90 0.95 และ 1.0 มิลลิเมตร ตามลำดับ
ทำการสีข้าวเปลือกหอมปทุม ข้าวชัยนาท1 และไรซ์เบอร์รี่ทั้งสามสายพันธุ์ จนครบทุกความถี่และระยะห่างของ
ลูกกลิ้งยางที่ตั้งค่าไว้และบันทึกผลการทดสอบ เมื่อทราบผลการสีข้าวจากการตั้งค่าระยะห่างของลูกกลิ้งยาง ก ข
และ ค จะทำการเลือกระยะห่างของลูกกลิ้งยางที่สีข้าวได้ผลดีที่สุดของแต่ละพันธุ์ข้าวไปทดสอบหาความเร็วของ
ลูกกลิ้งยางที่เหมาะสมต่อไป ซึ่งการทดลองในขั้นตอนนี้ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 วิเคราะห์ข้อมูลของผลการทดลองระดับการปรับความถี่ของมอเตอร์ที่มีต่อผลการสีข้าวระดับความเร็วขอบของลูกยาง ก ข ค และค่าระยะห่างของลูกยาง ก ข ค ที่เหมาะสมกับพันธุ์ข้าวหอมปทุม ชัยนาท1 และไรซ์เบอร์รี่

4.2 วิเคราะห์คุณภาพของข้าวหอมปทุม ข้าวชัยนาท1 และข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้จากการสี เช่น ปริมาณของเมล็ดข้าวสมบูรณ์ การแตกหัก แกลบ และรำ เป็นต้น

4.3 เปรียบเทียบผลการสีข้าวของข้าวชัยนาท 1 ข้าวหอมปทุม ข้าวไรซ์เบอร์รี่

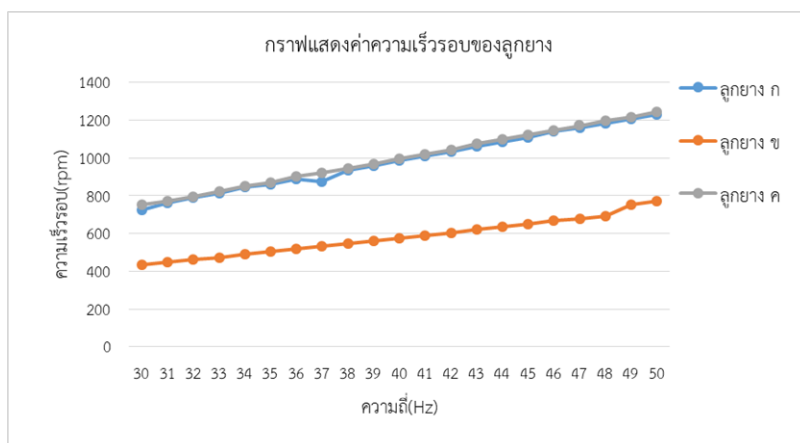
4.4 สรุปผลการทดลอง

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

การสีข้าวที่มีคุณภาพข้าวเต็มเมล็ดและแตกหักน้อยนั้นประกอบด้วยปัจจัยหลายประการ เช่น ความชื้นของข้าวเปลือก คุณภาพของข้าวเปลือก สภาพอากาศและสภาพแวดล้อมในการปลูกข้าว และสิ่งสำคัญอีกประการคือความเร็วของมอเตอร์ ความเร็วขอบของลูกยาง ระยะห่างของลูกยางทั้งสามลูกที่เหมาะสมของการสีข้าว ดังนั้นจึงการทดสอบทำการวัดความเร็วขอบของลูกกลิ้งยางขณะไม่มีการป้อนข้าวเปลือก และทำการปรับระยะห่างของลูกกลิ้งยางของเครื่องสีข้าวเพื่อหาค่าที่เหมาะสมกับการสีข้าวพันธุ์ข้าวหอมปทุม ข้าวชัยนาท1 และข้าวไรซ์เบอร์รี่ มีผลการทดสอบดังนี้

1. ผลการทดสอบการวัดค่าความเร็วขอบของลูกกลิ้งยางของเครื่องสีข้าว

จากภาพที่ 4 แสดงด้านหลังของลูกกลิ้งยางจะมีสายพานขับพลูเลย์ ซึ่งพลูเลย์จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงทำให้ความเร็วรอบของลูกยางกะเทาะข้าวเปลือกแต่ละลูกจะมีความเร็วรอบที่แตกต่างกัน ดังแสดงภาพที่ 5

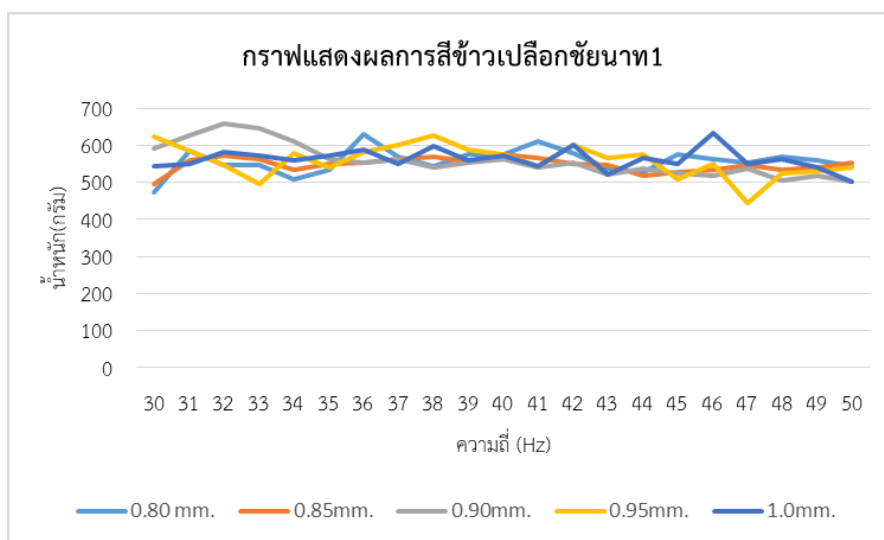


ภาพที่ 5 ค่าความเร็วเฉลี่ยของขอบลูกกลิ้งยาง ก ข และ ค สำหรับการปรับระดับความถี่ความเร็วมอเตอร์ของเครื่องสีข้าว ขณะไม่มีการสีข้าวเปลือก

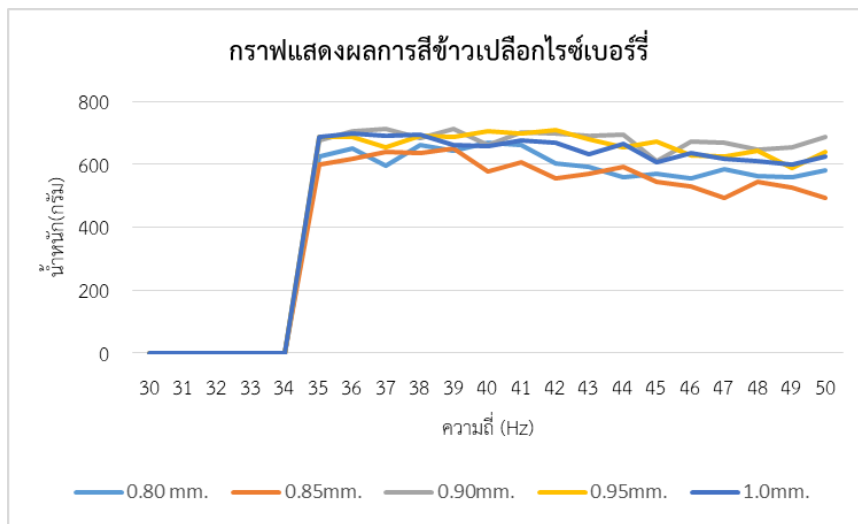
2. ผลการทดสอบการสีข้าวเปลือกที่ค่าระดับความเร็วและระยะความห่างของลูกกลิ้งยางที่เหมาะสม

การทดสอบการสีข้าวเปลือกจะทำการทดสอบระดับค่าความถี่ตั้งแต่ 30-50 Hz และทำการตั้งระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งยาง ก ข และ ค เท่ากับ 0.80 mm. 0.85 mm. 0.90 mm. 0.95mm. และ 1.00 mm. ตามลำดับ ซึ่งแต่ละระดับความถี่จะนำข้าวเปลือกน้ำหนัก 1 กิโลกรัม มาทำการสีข้าว หลังจากนั้นจะทำการตรวจสอบคุณภาพการสีข้าวเปลือกขัณฑ์ 1 ข้าวไรซ์เบอร์รี่ และข้าวหอมปทุม โดยการชั่งน้ำหนักเมล็ดข้าวสมบูรณ์ ดังแสดงภาพที่ 6 ภาพที่ 7 และภาพที่ 8 ตามลำดับ

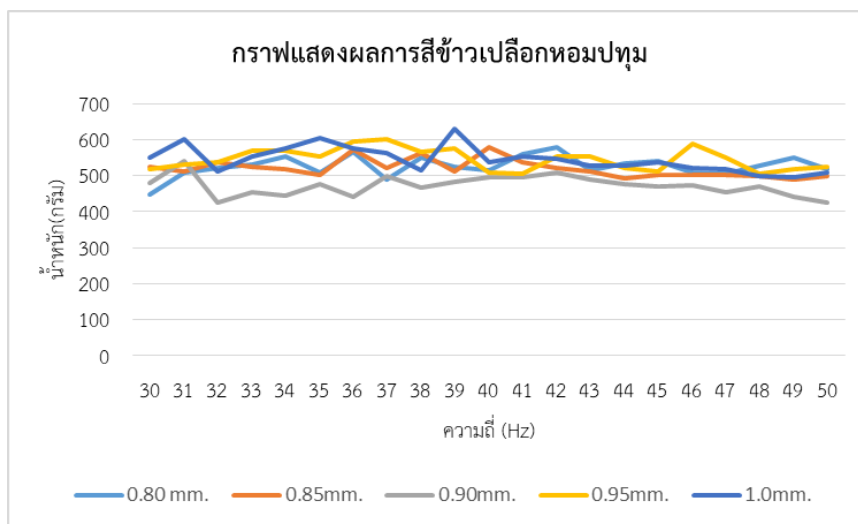
จากภาพที่ 6 ผลของการสีข้าวขัณฑ์ 1 พบว่าการตั้งค่าระยะห่างของลูกกลิ้งยางเท่ากับ 0.90 mm. มีค่าผลการสีข้าวขาวเต็มเมล็ดที่ดีที่สุดเท่ากับ 658 กรัม ดังนั้นค่าระยะห่างของลูกกลิ้ง ก ข และ ค ที่เหมาะสมของข้าวขัณฑ์ 1 คือ 0.90 mm. ส่วนภาพที่ 7 นั้นแสดงผลของการสีข้าวไรซ์เบอร์รี่ พบว่าการตั้งค่าระยะห่างของลูกกลิ้งยางเท่ากับ 0.90 mm. มีค่าผลการสีข้าวขาวเต็มเมล็ดที่ดีที่สุดเท่ากับ 713 กรัม ดังนั้นค่าระยะห่างของลูกกลิ้งยาง ก ข และ ค ที่เหมาะสมของข้าวไรซ์เบอร์รี่ 1 คือ 0.90 mm. และภาพที่ 8 แสดงผลของการสีข้าวหอมปทุม พบว่าการตั้งค่าระยะห่างของลูกกลิ้งยางเท่ากับ 1.0 mm. มีค่าผลการสีข้าวขาวเต็มเมล็ดที่ดีที่สุดเท่ากับ 629 กรัม ดังนั้นค่าระยะห่างของลูกกลิ้ง ก ข และ ค ที่เหมาะสมของข้าวหอมปทุมคือ 1.0 mm.



ภาพที่ 6 ผลการสีข้าวขัณฑ์ 1 ที่ระยะห่างของลูกกลิ้งยางเท่ากับ 0.80 0.85 0.90 0.95 และ 1.0 mm.



ภาพที่ 7 ผลการสื้ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ระยะห่างของลูกกลิ้งยางเท่ากับ 0.80 0.85 0.90 0.95 และ 1.0 mm.



ภาพที่ 8 ผลการสื้ข้าวหอมปทุมที่ระยะห่างของลูกกลิ้งยางเท่ากับ 0.80 0.85 0.90 0.95 และ 1.0 mm.

เมื่อได้ค่าระยะห่างของลูกกลิ้งยางที่เหมาะสมสำหรับพันธุ์ข้าวทั้งสามชนิดแล้ว จะทำการทดสอบการสีข้าวเปลือกที่มีความชื้นเท่ากับ 15% และตั้งค่าระยะห่างของลูกกลิ้งยาง ก ข และ ค คือ ข้าวชัยนาท 1 และข้าวไรซ์เบอร์รี่ เท่ากับ 0.90 mm. และข้าวหอมปทุม เท่ากับ 1.0 mm. ซึ่งได้ผลค่าความเร็วขอบลูกกลิ้งยางที่เหมาะสมดังนี้

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบการสีข้าวที่มีค่าความเร็วขอบลูกกลิ้งยางที่เหมาะสมที่ค่าความชื้น 15 %

พันธุ์ข้าว	ความถี่ (Hz)	ความเร็วขอบ (rpm)			ข้าวเต็มเมล็ด (กรัม)	ปลายข้าว (กรัม)	แกลบ (กรัม)	รำ (กรัม)
		ก	ข	ค				
ชัยนาท1	41	1009.0	590.3	1019.0	650	100	160	105
ไรซ์เบอร์รี่	45	1110.3	649.9	1123.7	670	100	210	60
หอมปทุม	35	861.8	503.9	870.2	750	95	100	60

สรุป

จากการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสีข้าวโดยทำการทดสอบการสีข้าวเปลือกพันธุ์ข้าวชัยนาท1 ข้าวไรซ์เบอร์รี่และข้าวหอมปทุม การทดสอบครั้งละ 1 กิโลกรัม ผลการทดสอบพบว่าระยะห่างของลูกกลิ้งยางสอดคล้องตามลักษณะของพันธุ์ข้าวแต่ละชนิด ซึ่งข้าวหอมปทุมมีค่าระยะห่างลูกกลิ้งยางที่เหมาะสมสำหรับการสีข้าวมีค่าเท่ากับ 1.0 mm. เนื่องจากข้าวหอมปทุมมีขนาดของเปลือกใหญ่กว่าข้าวชัยนาท1และข้าวไรซ์เบอร์รี่ ส่วนข้าวชัยนาท1และข้าวไรซ์เบอร์รี่จึงมีผลทดสอบระยะห่างของลูกกลิ้งยางที่เหมาะสมสำหรับการสีข้าวเท่ากับ 0.9 mm. เนื่องจากมีขนาดของเปลือกที่ใหญ่ใกล้เคียงกันแต่ความยาวของเมล็ดมีขนาดแตกต่างกัน ส่วนความชื้นที่ใช้ในการทดสอบเท่ากับ 15% สำหรับผลการทดสอบระดับความเร็วขอบลูกกลิ้งยาง ก ข และ ค ที่เหมาะสมในการสีข้าวชัยนาท1 ข้าวหอมปทุมและข้าวไรซ์เบอร์รี่ในงานวิจัยนี้คือข้าวชัยนาท 1 เท่ากับ 1009.0, 590.3 และ 1019.0 rpm ข้าวไรซ์เบอร์รี่เท่ากับ 1110.3, 649.9 และ 1123.7 rpm และข้าวหอมปทุมเท่ากับ 861.8, 503.9 และ 870.2 rpm จากการตั้งค่าความเร็วขอบลูกกลิ้งยาง ค่าระยะห่างของลูกกลิ้งยางทั้งสามลูกและความชื้นที่เหมาะสมนั้นทำให้ผลต่อการสีข้าวจริง จากการทดสอบพบว่าการสีข้าวชัยนาท 1 ได้ข้าวขาวเฉลี่ย 650 กรัม คิดเป็น 65 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักข้าวเปลือกที่ป้อน สำหรับข้าวหอมปทุมได้ข้าวขาวเฉลี่ย 750 กรัม คิดเป็น 75 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักข้าวเปลือกที่ป้อนทำการสีหนึ่งรอบเท่านั้น ผลการเปรียบเทียบทั้งสามพันธุ์ข้าวพบว่าเมื่อทำการปรับค่าความเร็วขอบลูกยางและระยะห่างลูกกลิ้งให้เหมาะสมกับแต่ละชนิดของพันธุ์ข้าวส่งผลให้การสีข้าวมีปริมาณการแตกหักน้อยลงและพันธุ์ข้าวหอมปทุมได้ปริมาณข้าวขาวมากกว่าพันธุ์ชัยนาท 1 ส่วนข้าวไรซ์เบอร์รี่สามารถทำการสีข้าวเพียง 1 ครั้งจากเดิมต้องทำการสีข้าวซ้ำ 2 ครั้ง และผลการของสีข้าวกล็องนั้นเป็นที่น่าพึงพอใจมาก ผลการวิจัยนี้เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับผลงานวิจัยของสุรินทร์ เหมงาม และคณะ (2558) และจักรกฤษณ์ เคลือบวงศ์ และคณะ (2557) ที่ผ่านมามีผลสรุปว่าความเร็วขอบของลูกกลิ้งยางและความชื้นนั้นมีผลต่อคุณภาพของการสีข้าว ซึ่งงานวิจัยนี้พบว่าความชื้น การปรับความเร็วขอบของลูกยางด้วยการปรับความถี่(30-50Hz) ของมอเตอร์นั้นทำให้ทราบถึงความเร็วที่เหมาะสมที่สุดในการสีข้าวพันธุ์แต่ละ

ชนิดและระยะความห่างของลูกยางของเครื่องสีข้าวเป็นปัจจัยหนึ่งที่พบว่ามีผลต่อการกะเทาะเปลือกข้าว และควรตั้งค่าระยะห่างให้เหมาะสมกับพันธุ์ข้าวแต่ละชนิด ดังนั้นวิธีการหาประสิทธิภาพของงานวิจัยนี้จึงมีประโยชน์ และสามารถประยุกต์ใช้กับเครื่องสีข้าวขนาดเล็กในชุมชนและเกษตรกรสามารถปรับตั้งค่าต่างๆ ของเครื่องสีข้าวให้เหมาะสมกับพันธุ์ข้าวแต่ละชนิดได้

ข้อเสนอแนะ

1. การนำไปใช้ประโยชน์

1.1 เกษตรกรสามารถปรับตั้งค่าความเร็วของมอเตอร์และระยะห่างของลูกกลิ้งยางของเครื่องสีข้าวที่เหมาะสมกับพันธุ์ข้าวหอมปทุม ข้าวชัยนาท1และข้าวไรซ์เบอร์รี่ ทำให้เครื่องสีข้าวมีประสิทธิภาพซึ่งส่งผลต่อคุณภาพของการสีข้าว

1.2 เกษตรกรสามารถนำหลักการในงานวิจัยนี้ไปประยุกต์เพื่อปรับตั้งค่าความเร็วของมอเตอร์และระยะห่างของลูกกลิ้งยางของเครื่องสีข้าวขนาดเล็กที่เหมาะสมกับพันธุ์ข้าวแต่ละชนิดได้

2. แนวทางการประยุกต์หรือพัฒนาต่อยอดในลักษณะอื่นๆ

2.1 สามารถหาประสิทธิภาพของการสีข้าวพันธุ์อื่น ๆ ได้

2.2 เพิ่มอุปกรณ์สำหรับคัดกรองเศษหิน กรวด หรือสิ่งเจือปนก่อนทำการสีข้าวเพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการสีข้าว

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นโครงการที่จัดทำขึ้นโดยได้รับการสนับสนุนจากเงินงบประมาณประจำปี 2560 จากสำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย (สกว.) และมหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม และขอขอบคุณสมใจ เกิดเทศ และคุณฉอ้อน เกิดเทศ เกษตรกรวิสาหกิจชุมชนเกษตรทฤษฎีใหม่บ้านหัวตะพาน ตำบลแพรกศรีราชา อำเภอสรรคบุรี จังหวัดชัยนาทที่เอื้อเฟื้อข้อมูลสนับสนุนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- จักรกฤษณ์ เคลือบวงศ์, อรัญ ตาเขียว, สุรวุฒิ รุ่งสว่าง, และกาญจนา ท้าวบุตร. (2557). การพัฒนาเครื่องสีข้าวขนาดเล็กด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรล. ปรินญาณินพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา.
- ธนัสต์ นนทพุทธ, กรภัทร เฉลิมวงศ์, ศักดิ์ชัย ดันติวิวัฒน์, และณชพร รัตนภรณ์. (2558). เครื่องสีข้าวกล้องขนาดเล็กสำหรับครัวเรือน, วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร. (ฉบับพิเศษ), 489-498.
- นิทัศน์ ตั้งพินิจกุล, อารีย์ ทิมนกุล, และวิบูลย์ เทเพนทร์. (2548). เครื่องสีข้าวขนาดเล็ก. สืบค้นจาก <http://www.doa.go.th/aeri/?p=884>
- สมาคมโรงสีข้าวไทย. (2561). สรุปรายงานราคาข้าวสารและราคาข้าวเปลือกเฉลี่ยแต่ละเดือนประจำปี 2561 ของสมาคมโรงสีข้าวไทย. สืบค้นจาก www.thairicemillers.org

- สุรพงศ์ บางพาน, และพีรพันธ์ บางพาน. (2555). **เครื่องสีข้าวขนาดเล็กแบบเปิด**. การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13, 4-5 เมษายน 2555 โรงแรมอิมพีเรียล แม่ปิง. เชียงใหม่: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- สุรินทร์ แหงมงาม, ศศิวรรณ อินทรวงศ์, อีรวัฒน์ แม่นพวก, ธนาวุฒิ ชินบุตร, อนาวิน กรรณแก้ว, และภูมิใจ เหล่าผง. (2558). **เครื่องสีข้าวขนาดเล็กสำหรับใช้ในครัวเรือน**. การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 8, 4-6 พฤศจิกายน 2558 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.ปทุมธานี: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2559). **ผลการผลิตข้าวแยกตามจังหวัดปี พ.ศ.2559**. สืบค้นจาก <http://mis-app.oae.go.th>

ฤทธิ์การยับยั้งเชื้อราของไคโตโอลิโกแซคคาไรด์จากต้นอ่อนก้ามปู กระถินบ้าน ข้าว กข. 6
และข้าวฟ่าง เเคย 630 ที่ผลิตด้วยเอนไซม์ไคตินเนส

มานะ ขาวเมฆ^{1*}

Received : April 24, 2020

Revised : August 27, 2020

Accepted : August 27, 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาฤทธิ์การยับยั้งเชื้อราของไคโตโอลิโกแซคคาไรด์จากต้นอ่อนก้ามปู กระถินบ้าน ข้าว กข. 6 และข้าวฟ่าง เเคย 630 ที่ผลิตด้วยเอนไซม์ไคตินเนส อายุ 2 สัปดาห์ ด้วยอะซิเตตบัพเฟอร์ เข้มข้น 0.1 โมลาร์ พบว่า มีค่ากิจกรรมจำเพาะอยู่ในช่วง 1.6139-19.8040 ยูนิต/มิลลิกรัม โดยไคตินเนสจากก้ามปู มีค่ากิจกรรมจำเพาะสูงที่สุด รองมาเป็นกระถินบ้าน ข้าว กข. 6 และข้าวฟ่าง เเคย 630 ตามลำดับ พีเอชที่เหมาะสมในการเร่งปฏิกิริยาของไคตินเนสที่สกัดจากก้ามปู กระถินบ้าน ข้าว กข. 6 และข้าวฟ่าง เเคย 630 มีค่าเท่ากับ 3.5, 4.5, 4.5 และ 3.0 ตามลำดับ อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเร่งปฏิกิริยาของไคตินเนสที่สกัดจากก้ามปู กระถินบ้าน ข้าว กข. 6 และข้าวฟ่าง เเคย 630 มีค่าเท่ากับ 45, 45, 45 และ 65 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากการย่อยของไคตินเนสที่สกัดจากก้ามปู กระถินบ้าน ข้าว กข. 6 และข้าวฟ่าง เเคย 630 ที่ใช้เวลาย่อย 30 นาที มีไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ขนาด 1-6 ((GlcNAc)₁₋₆) และมีโมเลกุลขนาดเล็กของ (GlcNAc)₂ และ (GlcNAc)₃ เพิ่มขึ้น เมื่อใช้เวลาย่อยเพิ่มเป็น 1, 2 และ 4 ชั่วโมง ในขณะที่ (GlcNAc)₄, (GlcNAc)₅ และ (GlcNAc)₆ ลดลง โดยไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ขนาดใหญ่ ((GlcNAc)₄, (GlcNAc)₅ และ (GlcNAc)₆) ที่ใช้เวลาบ่มที่ 30 นาทีของก้ามปูจะมีปริมาณมากที่สุด รองมาเป็นกระถินบ้าน ข้าว กข. 6 และข้าวฟ่าง เเคย 630 ตามลำดับ ไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากไคตินเนสจากต้นอ่อนก้ามปู กระถินบ้าน ข้าว กข. 6 และข้าวฟ่าง เเคย 630 สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา 4 สายพันธุ์ คือ *Bipolaris oryzae*, *Curvularia lunata*, *Magnaporthe oryzae* และ *Setosphaeria oryzae* ด้วยความเข้มข้น 5-10 ไมโครกรัม

คำสำคัญ: ไคตินเนส ไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ ฤทธิ์การยับยั้งเชื้อรา

¹ รองศาสตราจารย์สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี

* ผู้รับผิดชอบหลัก อีเมล: mana@vru.ac.th

ANTIFUNGAL ACTIVITY OF CHITOLIGOSACCHARIDES FROM *SAMANCA SAMAN* (JACQ) MERR.,
LEUCAENA LEUCOCEPHALA DE WIT, *ORYZA SATIVA* RD. 6 AND *SORGHUM VULGARE* KU 630
PRODUCED BY CHITINASE

Mana Kaomek^{1*}

Abstract

This research was aimed to study the antifungal activity of chitooligosaccharides from two weeks seedlings, *Samanca saman* (Jacq) Merr., *Leucaena leucocephala* de wit, *Oryza sativa* RD. 6 and *Sorghum vulgare* KU 630 produced by chitinase with 0.1 molar acetate buffer. The specific activity was 1.6139-19.8040 units/mg. The chitinase from *Samanca saman* (Jacq) Merr. had the highest specific activity and decreased from *Leucaena leucocephala* de wit, *Oryza sativa* RD. 6 and *Sorghum vulgare* KU 630, respectively. The optimum pH was extracted from *Samanca saman* (Jacq) Merr., *Leucaena leucocephala* de wit, *Oryza sativa* RD.6 and *Sorghum vulgare* KU 630 of 3.5, 4.5, 4.5 and 3.0, respectively. The optimum temperature was extracted from *Samanca saman* (Jacq) Merr., *Leucaena leucocephala* de wit, *Oryza sativa* RD. 6 and *Sorghum vulgare* KU 630 of 45, 45, 45 and 65 °C, respectively. Chitooligosaccharides obtained from the digestion of chitinase which extracted from *Samanca saman* (Jacq) Merr., *Leucaena leucocephala* de wit, *Oryza sativa* RD. 6 and *Sorghum vulgare* KU 630 were used for digestion 30 min that had chitooligosaccharides of 1-6 ((GlcNAc)₁₋₆). The small molecules of (GlcNAc)₂ and (GlcNAc)₃ were increased when the incubation time is increased to 1, 2 and 4 hours, while (GlcNAc)₄, (GlcNAc)₅ and (GlcNAc)₆ were decreased. The large molecules ((GlcNAc)₄, (GlcNAc)₅ and (GlcNAc)₆) of *Samanca saman* (Jacq) Merr. were incubated for 30 minutes that had the highest and *Leucaena leucocephala* de wit, *Oryza sativa* RD. 6 and *Sorghum vulgare* KU 630, respectively. Chitooligosaccharides obtained from chitinase of *Samanca saman* (Jacq) Merr., *Leucaena leucocephala* de wit, *Oryza sativa* RD. 6 and *Sorghum vulgare* KU 630 were able to inhibit 4 species of *Bipolaris oryzae*, *Curvularia lunata*, *Magnaporthe oryzae* and *Setosphaeria oryzae* that concentrations of 5-10 micrograms.

Keywords: Chitinase, Chitooligosaccharides, Antifungal

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

*Corresponding author, e-mail: mana@vru.ac.th

บทนำ

โคโตโอลิโกแซคคาไรด์เป็นพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยมอนแซคคาไรด์ตั้งแต่ 2-10 โมเลกุล เชื่อมต่อกันด้วยพันธะเบตา 1,4 ไกลโคซิดิกของเอนอะซิดิลกลูโคซามีนและกลูโคซามีน ซึ่งเป็นสายน้ำตาลที่เกิดจากการย่อยสลายไคตินและไคโตซานด้วยปฏิกิริยาเคมีโดยใช้กรดหรือการเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์กลุ่มไคติโนไลติกเช่น ไคตินเนสและไคโตซานเนส ไคโตโอลิโกแซคคาไรด์นำมาใช้เป็นสารยับยั้งแบคทีเรียและเชื้อรา (Baureithel et al., 1994; Shibuya et al., 1993) การต้านโรคพืชเชื้ออื้อเสบ ลดคอเลสเตอรอลและไขมันในเส้นเลือด ควบคุมการปล่อยตัวยาสำคัญ (Coelho et al., 2010) ไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ละลายน้ำได้และมีประสิทธิภาพการดูดซึมดีกว่าไคตินและไคโตซาน ดังนั้น ไคโตโอลิโกแซคคาไรด์จึงมีมูลค่าสูงกว่าไคตินและไคโตซานมาก ไคตินและไคโตซานยังไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากนักเนื่องจากปกติจะอยู่ในรูปพอลิเมอร์ ดังนั้นต้องมีการเปลี่ยนไคตินที่อยู่ในรูปพอลิเมอร์ให้เป็นโอลิโกแซคคาไรด์ด้วยไคตินเนส ซึ่งพืชหลายชนิดมีไคตินเนสที่มีค่ากิจกรรมจำเพาะสูงจะเปลี่ยนไคตินเป็นไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ได้ดี

ไคตินเนสเป็นเอนไซม์เร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของพันธะเบตา 1,4 ไกลโคซิดิกของเอนอะซิดิลกลูโคซามีน (GlcNAc) ได้ผลผลิตเป็นเอนอะซิดิลกลูโคซามีนและไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่มีความยาวต่าง ๆ กัน ไคตินเนสพบในสิ่งมีชีวิตหลายชนิด เช่น แบคทีเรีย เชื้อรา และยีสต์ ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อการประยุกต์ใช้ทางเทคโนโลยีชีวภาพ โดยเฉพาะด้านอุตสาหกรรมเภสัชกรรมใช้ควบคุมโรคพืชที่เกิดจากเชื้อราและแมลงที่เป็นอันตราย (Chernin et al., 1997)

ไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากการย่อยของไคตินเนสและไคโตซานจากจุลินทรีย์สามารถยับยั้งเชื้อราได้ แต่ไคตินเนสจากพืชจะผลิตไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ได้ดีกว่าจุลินทรีย์ ผู้วิจัยจึงศึกษาผลของไคตินเนสจากต้นอ่อนพืช 4 ชนิดคือ ก้ามปู กระถินบ้าน ข้าว กข 6 และข้าวฟ่าง อายุ 630 สืบเนื่องจากผลการวิจัยของ พัทธวรณ ป้องกัน และมานะ ขาวเมฆ (2562) พุทธิดา ภูมิคอนสาร และมานะ ขาวเมฆ (2561) พบว่า ไคโตโอลิโกแซคคาไรด์จากไคตินเนสที่สกัดจากต้นอ่อนอายุ 2 สัปดาห์จากก้ามปูและข้าวฟ่าง อายุ 630 มีขนาดโมเลกุลเป็นโคโตไตรโอส (GlcNAc)₃, โคโตเตตระโอส (GlcNAc)₄ และ โคโตเพนโตส (GlcNAc)₅ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของมูนและคณะ (Moon et al., 2017) ที่สกัดไคตินเนสจากเชื้อแบคทีเรีย *Serratia marcescens* PRNK-1 เมื่อใช้เวลาในการย่อยคอลลอยไอดอลไคตินช่วงสั้นจะมีปริมาณของโคโตเฮกโซสมากที่สุด รองมาเป็นโคโตเพนโตส และโคโตเตตระโอส ตามลำดับ ดังนั้นงานวิจัยจึงมุ่งศึกษาการนำไคตินเนสจากต้นอ่อนอายุ 2 สัปดาห์ของพืช 4 ชนิดคือ ก้ามปู กระถินบ้าน ข้าว กข. 6 และข้าวฟ่าง อายุ 630 ที่มีค่ากิจกรรมจำเพาะสูง มาย่อยคอลลอยไอดอลไคตินเป็นไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ และศึกษาผลของไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้ต่อฤทธิ์การยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ด้วยโคตินเนสจากต้นอ่อนอายุ 2 สัปดาห์ของก้ามปู กระถินบ้าน ข้าว กข 6 และข้าวฟ่าง เคนู 630
2. เพื่อศึกษาพฤติกรรมการยับยั้งเชื้อราของโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ผลิตได้

วิธีดำเนินการวิจัย

1. สกัดโคตินเนสจากต้นอ่อนของพืช 4 ชนิด ด้วยวิธีของบอลเลอร์และคณะ (Boller et al., 1983) โดยใช้ต้นอ่อนพืชอายุ 2 สัปดาห์ 10 กรัม บดและเติมโซเดียมอะซิเตตบัฟเฟอร์พีเอช 4.5 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ที่มีฟีนิลเมธิลซัลโฟนิลฟลูออไรด์เข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ และพอลิไวนิลพอลิไพร์โรลิโดน 5 เปอร์เซ็นต์ ปั่นเหวี่ยงที่ 25,000 g 30 นาที จะได้สารสกัดโคตินเนส

2. หาค่ากิจกรรมของโคตินเนสด้วยวิธีของบอลเลอร์และคณะ (Boller et al., 1983) โดยนำสารสกัดโคตินเนส 200 ไมโครลิตร ผสมกับคอลลอยด์ไฮโดรโคตินเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ (Berger et al., 1958) ในโซเดียมอะซิเตตบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ พีเอช 4.5 ปริมาตร 800 ไมโครลิตร บ่มที่ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที นำของผสมปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 5,000 g เป็นเวลา 10 นาที นำสารละลายใส 500 ไมโครลิตร มาเติม 0.8 โมลาร์โซเดียมเตตระโบเรต ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ต้มในน้ำเดือด 3 นาที เติมน้ำตาลละลายพาราไดเมธิลอะมีโนเบนซัลดีไฮด์ปริมาตร 3 มิลลิลิตร บ่มในอ่างน้ำที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที วัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 585 นาโนเมตร เทียบกับกราฟมาตรฐานเอนอะซิติลกลูโคซามีน

3. หาปริมาณโปรตีนด้วยวิธีของเลาว์รีและคณะ (Lowry et al., 1951) โดยนำสารสกัดโคตินเนสมา 10 ไมโครลิตร ปรับปริมาตรเป็น 500 ไมโครลิตร ด้วยโซเดียมอะซิเตตบัฟเฟอร์ 0.1 โมลาร์ พีเอช 4.5 เติมน้ำตาลละลายผสมคอปเปอร์ซัลเฟต 2.5 มิลลิลิตร เขย่าตั้งไว้ 10 นาที เติมน้ำตาลละลาย 50 เปอร์เซ็นต์ โพลีน ปริมาตร 250 ไมโครลิตร เขย่าและตั้งไว้ 30 นาที วัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร เทียบกับกราฟมาตรฐานของโปรตีน

4. ศึกษาผลของพีเอชต่อการเร่งปฏิกิริยาในช่วง 3.0-10 (ช่วงต่าง 0.5) โดยพีเอช 3.0-6.0 ใช้โซเดียมอะซิเตตบัฟเฟอร์ พีเอช 6.5-8.0 ใช้ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ และพีเอช 8.5-10 ใช้ทริสไฮโดรคลอริก บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส 20 นาที

5. ศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 30-90 องศาเซลเซียส (ช่วงต่าง 5 องศาเซลเซียส) โดยใช้บัฟเฟอร์พีเอชที่เหมาะสมบ่มที่อุณหภูมิ 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85 และ 90 เป็นเวลา 20 นาที

6. หาปริมาณของโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ด้วยวิธีของโคกะและคณะ (Koga et al., 1998) โดยเครื่องโครมาโทกราฟีสมรรถนะสูง (HPLC) ดังนี้

6.1 นำสารมาตรฐานเอนอะซิติลกลูโคซามีนและโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ขนาด 2-6 หน่วย เข้มข้น 50, 100 และ 150 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร วิเคราะห์ด้วย HPLC โดยใช้สารเคลื่อนที่เป็น น้ำ : เมทานอล = 60 : 40

อัตราการไหล 1 มิลลิลิตร/นาที คอลัมน์ Shodex Asahipak NH2P-50 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส น้ำพื้นที่พืคและค่าความเข้มข้นสารมาตรฐานสร้างกราฟมาตรฐานเอนอะซิติลกลูโคซามีนและโคโตโอลิโกแซคคาไรด์

6.2 นำสารโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้การย่อยของโคตินเนสจากพืชทั้ง 4 ชนิดมาวิเคราะห์ด้วย HPLC และหาปริมาณร้อยละโดยการเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานเอนอะซิติลกลูโคซามีนและโคโตโอลิโกแซคคาไรด์

7. ศึกษาฤทธิ์การยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราด้วยวิธีของทริพาธีและดูเบย์ (Tripathi et al., 2004) โดยตัดเชื้อราและนำมาเลี้ยงในจานเลี้ยงเชื้อที่มีอาหาร PDA ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน วางกระดาษกรองรูวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.8 มิลลิเมตร รอบเชื้อราที่เลี้ยงไว้ 4 จุด โดย C คือ อะซิเตดบัฟเฟอร์ สำหรับ 1, 2 และ 3 คือ COS ข้มข้น 5, 10 และ 15 ไมโครกรัม ตามลำดับ ใช้ C, 1, 2 และ 3 อย่างละ 50 ไมโครลิตร บ่มที่ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน สังเกตการณ์การยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา

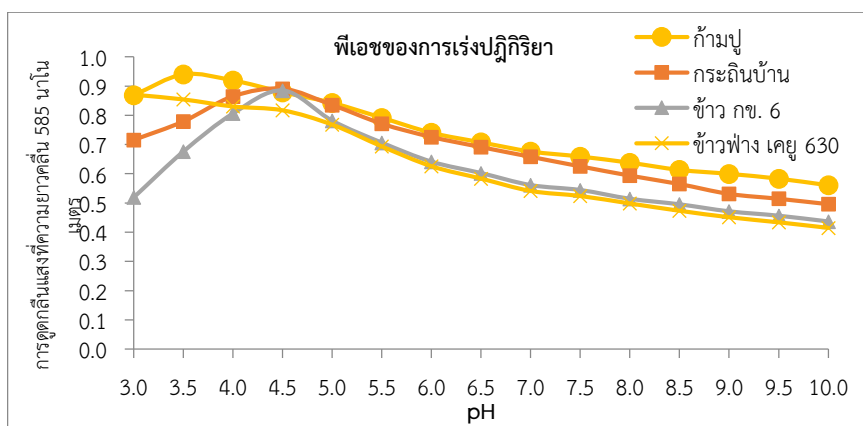
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ผลการศึกษาค่ากิจกรรมและค่ากิจกรรมจำเพาะของโคตินเนส

ผลการศึกษาค่ากิจกรรมของโคตินเนสจากต้นอ่อนก้ามปู กระถินบ้าน ข้าว กข. 6 และข้าวฟ่าง เเคยู 630 อายุ 2 สัปดาห์ พบว่าค่ากิจกรรม ปริมาณโปรตีน และค่ากิจกรรมจำเพาะอยู่ในระหว่าง 1.9588-19.2687 ยูนิต/มิลลิลิตร 0.1237-14.0220 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และ 1.6139-19.8040 ยูนิต/มิลลิกรัม ตามลำดับ เมื่อเทียบกับกราฟมาตรฐานเอนอะซิติลกลูโคซามีน และกราฟมาตรฐานโปรตีน พบว่าก้ามปูมีค่ากิจกรรมจำเพาะสูงที่สุดคือ 19.8040 ยูนิต/มิลลิกรัม ส่วนข้าวฟ่าง เเคยู 630 มีค่ากิจกรรมจำเพาะน้อยที่สุดคือ 1.6139 ยูนิต/มิลลิกรัม พืชที่มีค่ากิจกรรมจำเพาะเรียงจากมากไปน้อยคือ ก้ามปู กระถินบ้าน ข้าว กข 6 และข้าวฟ่าง เเคยู 630 เมื่อเปรียบเทียบโคตินเนสที่สกัดได้จากต้นอ่อนก้ามปูและกระถินบ้าน อายุ 2 สัปดาห์มีค่ากิจกรรมจำเพาะสูงกว่าจากแหล่งอื่น เช่น โคตินเนสจาก *Bacillus sp.* Strain KCTC0377BP มีค่ากิจกรรมจำเพาะเท่ากับ 6.9582 ยูนิต/มิลลิกรัม (Senol et al., 2014) และโคตินเนส จาก *Paenibacillus fukunensis* มีค่ากิจกรรมจำเพาะเท่ากับ 0.0122 ยูนิต/มิลลิกรัม (Yong et al., 2017) ดังนั้น โคตินเนสจากพืชมีค่ากิจกรรมจำเพาะสูงกว่าเอนไซม์โคตินเนสจากแบคทีเรียและเชื้อราบางสายพันธุ์ดังกล่าวข้างต้น เนื่องจากโคตินเนสจากพืชส่วนใหญ่จะเป็นชนิดภายใน (Endo Type) ที่การสลายพันธะแบบสุ่ม จึงสามารถจับกับโครงสร้างโคตินได้ดีกว่า

2. ผลการศึกษาพีเอชต่อการเร่งปฏิกิริยา

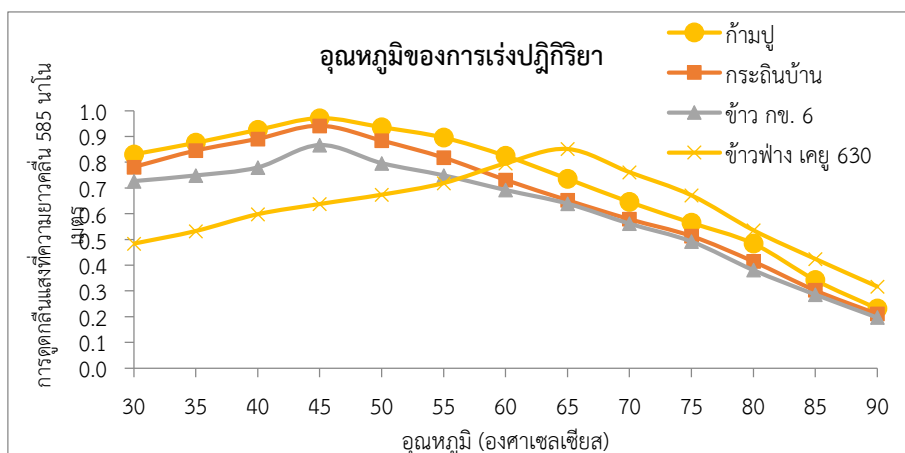
ผลการศึกษาค่าพีเอชต่อการเร่งปฏิกิริยาของโคติเนสจากต้นอ่อนก้ามปู กระถินบ้าน ข้าว กข. 6 และข้าวฟ่าง เคว 630 อายุ 2 สัปดาห์ ในช่วงพีเอช 3.0 ถึง 10.0 ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส พบว่า โคติเนสจากพืชทั้ง 4 ชนิดสามารถทำปฏิกิริยาได้ดีที่สุดในช่วงพีเอช 3.5-4.5 ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กราฟแสดงการเร่งปฏิกิริยาของโคติเนสจากก้ามปู กระถินบ้าน ข้าว กข. 6 และข้าวฟ่าง เคว 630 ในช่วง pH 3.0 -10.0

3. ผลการศึกษาระดับอุณหภูมิต่อการเร่งปฏิกิริยา

ผลการศึกษาการเร่งปฏิกิริยาของโคติเนสจากต้นอ่อนก้ามปู กระถินบ้าน ข้าว กข. 6 และข้าวฟ่าง เคว 630 อายุ 2 สัปดาห์ ในช่วงอุณหภูมิ 30 ถึง 90 องศาเซลเซียส พบว่า โคติเนสจากพืชทั้ง 4 ชนิดสามารถทำปฏิกิริยาได้ดีในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 45-65 องศาเซลเซียส ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 กราฟแสดงการเร่งปฏิกิริยาของโคติเนสจากก้ามปู กระถินบ้าน ข้าว กข. 6 และข้าวฟ่าง เคว 630 ในช่วงอุณหภูมิ 30 -90 องศาเซลเซียส

4. ผลการหาปริมาณร้อยละของโคโตโอลิโกแซคคาไรด์

เมื่อนำโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากการย่อยคอลลอยต์ไอดอลโคติน 1 เปอร์เซ็นต์ ด้วยไคติเนสจากต้นก้ามปู กระถินบ้าน ข้าว กข. 6 และข้าวฟ่าง เเคู 630 อายุ 2 สัปดาห์ ที่ใช้เวลาบ่ม 30 นาที 1 ชั่วโมง 2 ชั่วโมง และ 4 ชั่วโมงมาวิเคราะห์หาปริมาณด้วยเครื่องโครมาโทกราฟีสมรรถนะสูงและเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของเอนอะซิติลกลูโคซามีนและโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ขนาด 2-6 โมเลกุล พบว่า ปริมาณของโคโตโอลิโกแซคคาไรด์จากต้นก้ามปูมีเอนอะซิติลกลูโคซามีน (GlcNAc) โคโตไบโอส (GlcNAc)₂ โคโตไตรโอส (GlcNAc)₃ โคโตเตตระโอส (GlcNAc)₄ โคโตเพนโตส (GlcNAc)₅ และโคโตเฮกโซส (GlcNAc)₆ ร้อยละ 6.92-18.08, 24.98-40.98, 9.91-16.92, 12.98-25.02, 7.88-18.15 และ 3.15-15.02 ตามลำดับ โดยพบว่ากระถินบ้านมีเอนอะซิติลกลูโคซามีน โคโตไบโอส โคโตไตรโอส โคโตเตตระโอส โคโตเพนโตส และโคโตเฮกโซสร้อยละ 10.06-16.99, 34.98-44.98, 9.92-17.01, 11.92-20.02, 6.98-15.03 และ 2.11-9.98 ตามลำดับ ข้าว กข. 6 มีเอนอะซิติลกลูโคซามีน โคโตไบโอส โคโตไตรโอส โคโตเตตระโอส โคโตเพนโตส และโคโตเฮกโซสร้อยละ 11.92-19.23, 40.77-47.85, 14.92-24.92, 3.92-14.92, 1.92-9.54 และ 2.15-7.92ตามลำดับ และข้าวฟ่าง 630 มีเอนอะซิติลกลูโคซามีน โคโตไบโอส โคโตไตรโอส โคโตเตตระโอส โคโตเพนโตส และโคโตเฮกโซสร้อยละ 12.98-21.72, 41.92-50.98, 17.85-22.98, 1.92-11.92, 0.98-7.92 และ 1.40-7.40 ตามลำดับ จากผลการทดลองดังกล่าวข้างต้นพบว่า พืชทั้ง 4 ชนิดมีปริมาณของโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ขนาดใหญ่เป็นปริมาณมากเมื่อใช้เวลาบ่มน้อย และจะลดลงเมื่อใช้เวลาในการบ่มนานขึ้น โดยก้ามปูจะมีร้อยละของโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่มากที่สุด รองมาเป็นกระถินบ้าน ข้าว กข.6 และข้าวฟ่าง เเคู 630 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของมูนและคณะ (Moon et al., 2017) ที่สกัดไคติเนสจากเชื้อแบคทีเรีย *Serratia marcescens* PRNK-1 เมื่อย่อยคอลลอยต์ไอดอลโคตินแล้วหาปริมาณของโคโตโอลิโกแซคคาไรด์พบว่า เมื่อใช้เวลาในการบ่มสั้นจะมีปริมาณของโคโตเฮกโซสมากที่สุด รองมาเป็นโคโตเพนโตส และโคโตเตตระโอส ตามลำดับ

5. ผลการศึกษาการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา

เมื่อนำโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากการสลายคอลลอยด์ไอดอลโคตินด้วยโคติเนสในระยะเวลาบ่ม 30 นาที 1 ชั่วโมง 2 ชั่วโมง และ 4 ชั่วโมง มาทดสอบความสามารถในการยับยั้งเชื้อราพบว่า โคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้สามารถยับยั้งเชื้อทดสอบได้ 4 สายพันธุ์ คือ *Bipolaris oryzae*, *Curvularia lunata*, *Magnaporthe oryzae* และ *Setosphaeria oryzae* ที่ความเข้มข้นของโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ 5-10 ไมโครกรัม โดยโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากการสลายคอลลอยด์ไอดอลโคตินด้วยโคติเนสของต้นอ่อนก้ามปูและต้นอ่อนกระถินบ้านยับยั้งเชื้อราได้ทั้ง 4 สายพันธุ์ ที่ระดับความเข้มข้น 5 ไมโครกรัม โดยประสิทธิภาพในการยับยั้งได้ร้อยละ 58.87-74.82 และ 50.31-72.91 ตามลำดับ สำหรับโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากการสลายคอลลอยด์ไอดอลโคตินด้วยโคติเนสจากต้นอ่อนข้าว กข.6 และต้นอ่อนข้าวฟ่าง เกษ.630 ยับยั้งเชื้อราได้ทั้ง 4 สายพันธุ์ ที่ระดับความเข้มข้น 5 ไมโครกรัม ยกเว้น โคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ใช้เวลาบ่ม 4 ชั่วโมง ต้องใช้ความเข้มข้น 10 ไมโครกรัม โดยมีประสิทธิภาพในการยับยั้งได้ร้อยละ 53.15-75.48 และ 51.22-66.88 ตามลำดับ ดังตารางที่ 1 ถึง ตารางที่ 4

ตารางที่ 1 การยับยั้งเชื้อราสายพันธุ์ต่าง ๆ ของโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากการย่อยของโคติเนสจากต้นอ่อนก้ามปู

เชื้อรา	ระยะเวลาในการบ่ม/ร้อยละการยับยั้งเชื้อราของโคโตโอลิโกแซคคาไรด์											
	จากต้นอ่อนก้ามปู											
	30 นาที			1 ชั่วโมง			2 ชั่วโมง			4 ชั่วโมง		
	5 µg	10 µg	15 µg	5 µg	10 µg	15 µg	5 µg	10 µg	15 µg	5 µg	10 µg	15 µg
<i>Bipolaris oryzae</i>	63.12	68.17	69.24	61.22	65.92	68.67	57.34	61.24	67.89	56.08	59.94	62.48
<i>Curvularia lunata</i>	59.78	61.54	65.71	55.51	59.06	64.19	53.42	56.64	62.23	53.87	56.46	60.21
<i>Magnaporthe oryzae</i>	62.68	65.18	69.26	61.48	64.93	67.24	54.28	61.06	65.87	53.88	59.74	63.81
<i>Setosphaeria oryzae</i>	70.93	72.19	74.82	67.76	69.51	73.24	62.13	67.76	72.29	62.07	65.71	67.47

ตารางที่ 2 การยับยั้งเชื้อราสายพันธุ์ต่าง ๆ ของโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากการย่อยของโคตินีนจากต้นอ่อนกระถินบ้าน

เชื้อรา	ระยะเวลาในการบ่ม/ร้อยละการยับยั้งเชื้อราของโคโตโอลิโกแซคคาไรด์											
	จากต้นอ่อนกระถินบ้าน											
	30 นาที			1 ชั่วโมง			2 ชั่วโมง			4 ชั่วโมง		
	5 µg	10 µg	15 µg	5 µg	10 µg	15 µg	5 µg	10 µg	15 µg	5 µg	10 µg	15 µg
<i>Bipolaris oryzae</i>	62.45	64.71	68.42	59.74	62.31	65.12	50.76	52.67	54.17	50.31	51.26	52.17
<i>Curvularia lunata</i>	57.64	59.48	61.91	54.16	56.04	59.39	52.94	54.43	56.82	51.71	52.17	54.82
<i>Magnaporthe oryzae</i>	58.45	61.17	69.24	57.21	58.92	61.76	54.26	57.71	59.17	53.82	54.28	57.62
<i>Setosphaeria oryzae</i>	69.23	70.95	72.91	66.67	68.14	70.46	61.12	64.37	68.16	60.71	61.17	63.54

ตารางที่ 3 การยับยั้งเชื้อราสายพันธุ์ต่าง ๆ ของโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากการย่อยของโคตินีนจากต้นอ่อนข้าว กข.6

เชื้อรา	ระยะเวลาในการบ่ม/ร้อยละการยับยั้งเชื้อราของโคโตโอลิโกแซคคาไรด์											
	จากต้นอ่อนข้าว กข.6											
	30 นาที			1 ชั่วโมง			2 ชั่วโมง			4 ชั่วโมง		
	5 µg	10 µg	15 µg	5 µg	10 µg	15 µg	5 µg	10 µg	15 µg	5 µg	10 µg	15 µg
<i>Bipolaris oryzae</i>	64.45	67.71	71.21	62.12	64.49	65.63	59.63	62.91	64.42	0.00	54.17	56.44
<i>Curvularia lunata</i>	58.23	60.49	62.84	54.13	57.16	60.28	51.14	54.16	57.27	0.00	53.15	55.29
<i>Magnaporthe oryzae</i>	65.45	67.31	70.59	60.23	61.21	64.74	57.64	59.81	61.47	0.00	55.29	57.15
<i>Setosphaeria oryzae</i>	67.32	72.54	75.48	61.73	63.75	66.61	58.17	59.17	62.62	0.00	59.42	61.73

ตารางที่ 4 การยับยั้งเชื้อราสายพันธุ์ต่าง ๆ ของโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากการย่อยของโคตินีนจากต้นอ่อนข้าวฟ่าง เคว 630

เชื้อรา	ระยะเวลาในการบ่ม/ร้อยละการยับยั้งเชื้อราของโคโตโอลิโกแซคคาไรด์จากต้นอ่อนข้าวฟ่าง เคว 630											
	30 นาที			1 ชั่วโมง			2 ชั่วโมง			4 ชั่วโมง		
	5 µg	10 µg	15 µg	5 µg	10 µg	15 µg	5 µg	10 µg	15 µg	5 µg	10 µg	15 µg
<i>Bipolaris oryzae</i>	61.88	63.73	66.88	58.06	61.61	64.38	55.37	57.35	61.87	0.00	56.13	59.64
<i>Curvularia lunata</i>	56.65	58.58	61.53	54.54	55.64	60.32	51.15	54.27	57.42	0.00	51.22	54.84
<i>Magnaporthe oryzae</i>	59.22	61.32	65.32	58.33	59.13	62.68	55.64	59.12	61.64	0.00	53.35	57.44
<i>Setosphaeria oryzae</i>	57.32	59.70	61.65	55.22	56.18	61.33	53.14	56.23	57.92	0.00	53.18	57.68

เมื่อเปรียบเทียบฤทธิ์การยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราด้วยโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากแหล่งที่แตกต่างกัน ผลการยับยั้งเชื้อราที่ใช้ทดสอบจะแตกต่างกันตามชนิดของโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ โคโตโอลิโกแซคคาไรด์จากโคตินีนที่สกัดจากต้นก้ามปูอายุ 2 สัปดาห์ ที่ใช้เวลาในการบ่ม 30 นาที จะมีโมเลกุลขนาดใหญ่ของโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ของโคโตเพนโตสและโคโตเฮกโซสมากกว่าเวลาในการบ่ม 1, 2 และ 4 ชั่วโมง จึงยับยั้งเชื้อราได้ดีกว่า ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของลิเวนส์ (Lievens et al., 2009) ที่พบว่า โคโตโอลิโกแซคคาไรด์โมเลกุลขนาดใหญ่ที่เป็นโคโตเฮกโซสและโคโตเฮปโตสจะมีประสิทธิภาพสูงในการยับยั้งเชื้อรา เนื่องจากโคโตเฮกโซสและโคโตเฮปโตสซึ่งมีประจุบวกจะจับกับผนังเซลล์ของเชื้อราที่มีประจุลบได้ดี

สรุป

1. โคตินีนที่สกัดจากต้นอ่อนก้ามปู กระถินบ้าน ข้าว กข. 6 และข้าวฟ่าง เคว 630 อายุ 2 สัปดาห์ มีค่ากิจกรรมจำเพาะอยู่ในช่วง 1.6139-19.8040 ยูนิต์/มิลลิกรัม ตามลำดับ โดยโคตินีนจากก้ามปูมีค่ากิจกรรมจำเพาะสูงสุด รองมาเป็นกระถินบ้าน ข้าว กข. 6 และข้าวฟ่าง เคว 630 ตามลำดับ
2. พีเอชที่เหมาะสมในการเร่งปฏิกิริยาของโคตินีนที่สกัดจากต้นอ่อนก้ามปู กระถินบ้าน ข้าว กข. 6 และข้าวฟ่าง เคว 630 อายุ 2 สัปดาห์ มีค่าเท่ากับ 3.5, 4.5, 4.5 และ 3.0 ตามลำดับ
3. อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเร่งปฏิกิริยาของโคตินีนที่สกัดจากต้นอ่อนก้ามปู กระถินบ้าน ข้าว กข. 6 และข้าวฟ่าง เคว 630 อายุ 2 สัปดาห์ มีค่าเท่ากับ 45, 45, 45 และ 65 องศาเซลเซียส
4. โคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากการย่อยของโคตินีนที่สกัดจากต้นอ่อนก้ามปู กระถินบ้าน ข้าว กข. 6 และข้าวฟ่าง เคว 630 อายุ 2 สัปดาห์ ที่ใช้เวลาย่อย 30 นาที จะมีโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ขนาด 1-6 ((GlcN)₁₋₅) และมีโมเลกุลขนาดเล็กของ (GlcN)₂ และ (GlcN)₃ เพิ่มขึ้น เมื่อใช้เวลาดบ่มเพิ่มเป็น 1, 2 และ 4

ข้าวโม่ง ในขณะที่ (GlcN)₄, (GlcN)₅ และ (GlcN)₆ ลดลง โดยโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ขนาดใหญ่ ((GlcN)₄, (GlcN)₅ และ (GlcN)₆) ที่ใช้เวลายับที่น้อยของก้ามปูจะมีมากที่สุด รองมาเป็นกระถินบ้าน ข้าว กข. 6 และข้าวฟ่าง เเคู 630 ตามลำดับ

5. โคโตโอลิโกแซคคาไรด์โมเลกุลขนาดใหญ่ซึ่งเป็นโคโตเฮกโซสและโคโตเฮปโตสจะมีประสิทธิภาพสูงในการยับยั้งเชื้อรา

ข้อเสนอแนะ

นำผลผลิตโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ขนาดต่าง ๆ ไปประยุกต์ใช้ในเครื่องสำอาง การเร่งการเจริญเติบโตของพืช และใช้ในการผสมอาหารบางชนิด

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความอนุเคราะห์ของศูนย์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ และทุนอุดหนุนการวิจัยจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

เอกสารอ้างอิง

- พัชรารวรรณ ป้องกัน, และมานะ ขาวเมฆ. (2562). รูปแบบและฤทธิ์การต้านเชื้อราของโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ผลิตด้วยโคตินจากข้าวฟ่าง เเคู 630. การประชุมวิชาการระดับชาติ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีระหว่างสถาบัน ครั้งที่ 7 บุรณการ วิจัย และนวัตกรรม เพื่อสร้างเสริมสุขภาพ. 7 มิถุนายน 2562. หน้า 704-711.
- พริตา ภูมิสาร, และมานะ ขาวเมฆ. (2561). การประเมินคุณลักษณะและกิจกรรมของเอนไซม์โคตินจากต้นอ่อนก้ามปู. การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏกลุ่มศรีอยุธยา ครั้งที่ 9 วิจัยและนวัตกรรมเพื่อสังคม. 18-19 ตุลาคม 2561. หน้า 472-479.
- Baureithel, K., Felix, G. & Boller, T. (1994). Specific, High Affinity Binding of Chitin Fragments Tomato Cells and Membranes, Competitive Inhibition of Binding by Derivatives of Chitooligosaccharides and a Nod Factor of Rhizobium. *Journal of Biological Chemistry*. 269(27), 17931-17938.
- Berger, L. R. & Reynold, D. M. (1958). The Chitinase System of a Strain of Griseus. *Biochimica et Biophysica Acta*. 29(3), 522-534.
- Boller, T., Gehri, A., Mauch, F. & Vogeli, U. (1983). Chitinase in Bean Leaves: Induction by Ethylene, Purification, Properties and Possible Function. *Planta*. 157, 22-31.
- Chernin, L. S., Fuente, L. D., Sobolev, L. V., Haran, S., Vorgias, C. E., Oppenheim, A. B. & Chet, I. (1997). Molecular Cloning, Structural Analysis, and Expression in *Escherichia coli* of a Chitinase Gene from *Enterobacter Agglomerans*. *Applied and Environmental Microbiology*. 63 (3), 834-839.

- Coelho, J. F., Ferreira, P. C., Alves, P., Cordeiro, R., Fonseca, A. C., Gois, J.R. & Gill, M. H. (2010). Drug Delivery System: Advanced Technologies Potentially Applicable in Personalized Treatments. **EPMA Journal**. 1(1), 164-209.
- Koga, D., Yoshioka, T. & Arakane, Y. (1998). HPLC Analysis of Anomeric Formation and Cleavage Pattern by Chitinolytic Enzyme. **Bioscience, Biotechnology and Biochemistry**. 62(8), 1643-1646.
- Lievens, B., Houterman, P. M. & Rep, M. (2009). Effector Gene Screening Allows Unambiguous Identification of *Fusarium oxysporum* f. sp. lycopersici Races and Discrimination from other Formae Specials. **FEMS Microbiology Letters**. 300(2), 201–215.
- Lowry, O. H., Rosebrough, N. J., Farr, A. L. & Randall, R. J. (1951). Protein Measurement with the Folin Phenol Reagent. **Journal of Biological Chemistry**. 193, 256-257.
- Moon, C., Seo, D. J., Song, Y. S., Hong, S. H., Choi, S. H. & Jung, W. J. (2017). Antifungal Activity and Patterns of N-acetyl-chitooligosaccharide Degradation via Chitinase Produced from *Serratia marcescens* PRNK-1. **Microbial Pathogenesis**. 113, 218–224.
- Senol, M., Nadaroglu, H., Dikbas, N. & Kotan, R. (2014.) Purification of Chitinase enzymes from *Bacillus subtilis* Bacteria TV-125, Investigation of Kinetic Properties and Antifungal Activity against *Fusarium culmorum*. **Analytical of Clinical Microbiology and Antimicrobials**. 13(1), 3-41.
- Shibuya, N., Kaku, H., Kuchitsu, K. & Maliarik, M. J. (1993). Identification of a Novel High-Affinity Binding Site for N-acetylchitooligosaccharide Elicitor in the Plasma Membrane Fraction from Suspension-Cultured Rice Cells. **Federation of European Biochemical Societies**. 329, 75–78.
- Tripathi, P. & Dubey, N. K. (2004). Evaluation of some Essential Oils as Botanical Fungitoxics in Management of Post-harvest Rotting of Citrus Fruits World. **Journal of Microbiology and Biotechnology**. 20, 317-321.
- Yong, H. K., Seur, K. P., Jin, Y. H. & Young, C. K. (2017). Purification and Characterization of a Major Extracellular Chitinase from a Biocontrol Bacterium, *Paenibacillus elgii* HOA73. **The Plant Pathology Journal**. 33(3), 318-328.

ภาคผนวก

สถาบันวิจัยและพัฒนา

มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

เลขที่ 1 หมู่ 20 ถนนพหลโยธิน กม.48 ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 13180

โทรศัพท์ 0 2909 3036 โทรสาร 0 2909 3036 E-mail: rdi_journalsci@vru.ac.th Website http://rd.vru.ac.th

แบบนำส่งบทความวิจัยลงตีพิมพ์เผยแพร่

วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

1. ข้าพเจ้าชื่อ (นาย, นาง, น.ส., ยศ) นามสกุล
2. วุฒิการศึกษาสูงสุด ☐ ปริญญาตรี ☐ ปริญญาโท ☐ ปริญญาเอก
คุณวุฒิ สาขา
สถาบัน
☐ สำเร็จการศึกษา ☐ กำลังศึกษา ปีที่คาดว่าจะสำเร็จการศึกษา วันที่
3. สถานะภาพของผู้นิพนธ์บทความวิจัย ☐ อาจารย์ ☐ นักศึกษาปริญญาเอก ☐ นักศึกษาปริญญาโท ☐ บุคคลทั่วไป
ตำแหน่งทางวิชาการ ตำแหน่งทางบริหาร
4. ชื่อหน่วยงาน/สถานที่ทำงาน
เลขที่ ถนน ซอย ตำบล/แขวง
อำเภอ/เขต จังหวัด รหัสไปรษณีย์
โทรศัพท์ โทรสาร
E-mail
5. ที่อยู่สำหรับติดต่อและจัดส่งเอกสาร
เลขที่ ถนน ซอย ตำบล/แขวง
อำเภอ/เขต จังหวัด รหัสไปรษณีย์
โทรศัพท์ โทรสาร
E-mail
มือถือ
6. มีความประสงค์ขอส่งบทความเรื่อง
ชื่อบทความ(ภาษาไทย)
ชื่อบทความ(ภาษาอังกฤษ)

เพื่อลงตีพิมพ์ในวารสาร วิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ข้าพเจ้าขอรับรองว่าบทความนี้ยังไม่เคยนำลงตีพิมพ์ในวารสารฉบับใดๆ มาก่อน ทั้งนี้ ข้าพเจ้าได้ศึกษากฎเกณฑ์และคำแนะนำในการส่งบทความวิจัยเพื่อนำลงตีพิมพ์ในวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์แล้ว และยินดีปฏิบัติตามเงื่อนไขทุกประการ พร้อมนี้ข้าพเจ้าได้ชำระค่าธรรมเนียมบำรุงวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ เป็นจำนวนเงิน 2,500 บาทเรียบร้อยแล้ว

โดยชำระเป็น ☐ โอนเงินผ่านทางธนาคารกรุงศรีอยุธยา สาขาย่อยนวนนคร ชื่อบัญชี สถาบันวิจัยและพัฒนา
มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ เลขที่ 258-1-84630-3

ลงชื่อ.....ผู้นำส่งบทความวิจัย

(.....)

วันที่/...../.....

ระเบียบการตีพิมพ์บทความวิจัย
วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

ในการส่งบทความวิจัยลงตีพิมพ์ในวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ เพื่อให้การตีพิมพ์บทความวิจัยเป็นไปโดยเรียบร้อยได้มาตรฐาน TCI และเป็นประโยชน์ทั้งผู้ส่งบทความวิจัย ผู้ใช้ประโยชน์จากบทความวิจัย รวมทั้งสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ในการจัดทำวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จึงได้กำหนดหลักเกณฑ์ในการพิจารณาบทความวิจัยเพื่อตีพิมพ์ในวารสารฯ ตลอดจนคำแนะนำการเขียนและส่งต้นฉบับ ดังนี้

หลักเกณฑ์ในการพิจารณาบทความวิจัยเพื่อตีพิมพ์ในวารสาร

1. เป็นบทความวิจัยในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ตามรูปแบบของต้นฉบับในข้อกำหนดของคำแนะนำการเขียนและส่งต้นฉบับวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
2. บทความวิจัยที่ส่งมาพิจารณาตีพิมพ์ลงในวารสารต้องเป็นบทความวิจัยที่ไม่เคยตีพิมพ์เผยแพร่ที่ไหนมาก่อนและไม่อยู่ระหว่างเสนอขอตีพิมพ์ในวารสารอื่น
3. เนื้อหาในต้นฉบับควรเกิดจากการสังเคราะห์ความคิดขึ้นโดยผู้เขียนเอง ไม่ได้ลอกเลียนหรือดัดทอนมาจากผลงานวิจัยของผู้อื่น หรือจากบทความอื่นโดยไม่ได้รับอนุญาต หรือปราศจากการอ้างอิงที่เหมาะสม
4. ผู้ส่งบทความวิจัยต้องชำระค่าธรรมเนียมบำรุงวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ เป็นจำนวนเงิน 2,500 บาท โดยสามารถโอนเงินผ่านบัญชี ธนาคารกรุงศรีอยุธยา สาขาย่อยนครราชสีมา บัญชี สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ เลขที่ 258-1-84630-3 พร้อมส่งสำเนาหลักฐานการชำระค่าธรรมเนียมบำรุงวารสารฯ ได้ 3 ช่องทาง ดังนี้
 - 4.1 ไปรษณีย์ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ เลขที่ 1 หมู่ที่ 20 กม.48 ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 13180 โดยวงเล็บมุมซองว่า (ชำระค่าธรรมเนียมบำรุงวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์)
 - 4.2 โทรสาร 0 2909 3036
 - 4.3 E-mail address: rdi_journalsci@vru.ac.th หรือเว็บไซต์ <https://tci-thaijo.org/index.php/vrurdistjournal/index>
5. ผู้เขียนบทความวิจัยต้องดำเนินการปรับแก้ไขบทความตามผลการอ่านประเมินของกองบรรณาธิการและผู้ทรงคุณวุฒิของวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ อย่างต่อเนื่องตลอดการตีพิมพ์ หากผู้เขียนบทความวิจัยซึ่งต่อไปนี้จะเรียกว่าผู้นิพนธ์บทความไม่ปฏิบัติตามระเบียบการตีพิมพ์บทความวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ กองบรรณาธิการมีสิทธิ์แจ้งยกเลิกการพิจารณาตีพิมพ์บทความวิจัยโดยไม่คืนเงินค่าธรรมเนียมบำรุงวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
6. บทความวิจัยที่ส่งมาจะได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ต่อเมื่อได้ผ่านกระบวนการประเมินเห็นสมควรให้ตีพิมพ์เผยแพร่โดยผู้ทรงคุณวุฒิที่มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์แต่งตั้งขึ้น อย่างน้อย 2 ท่าน

คำแนะนำการเขียนและส่งต้นฉบับ วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

1. **การเตรียมต้นฉบับ** ต้นฉบับบทความวิจัยต้องจัดทำสำหรับกระดาษขนาด B5(JIS) (18.2 ซม. X 25.7 ซม.) ความยาว 15 หน้ากระดาษ ตามรูปแบบวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ พิมพ์โดยใช้โปรแกรม Microsoft Word เวอร์ชัน 2007 ขึ้นไป
2. **การตั้งค่าหน้ากระดาษ** ระยะขอบกระดาษด้านบน (Top Margin) 2.54 เซนติเมตร ด้านซ้าย (Left Margin) ด้านขวา (Right Margin) และด้านล่าง (Bottom Margin) 2 เซนติเมตร
3. **รูปแบบตัวอักษร** ใช้ TH SarabunPSK เท่านั้น ชื่อหัวข้อพิมพ์เป็นตัวหนา ขนาด 14 Point จัดชิดซ้ายหน้ากระดาษ และเนื้อหาพิมพ์เป็นตัวปกติ ขนาด 14 Point จัดกระจายหน้ากระดาษ
4. **องค์ประกอบบทความวิจัยประกอบด้วย**
 - 4.1 **ชื่อเรื่อง** มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ มีความยาวไม่เกินภาษาละ 2 บรรทัด สามารถอธิบายสาระของเรื่องได้ใช้รูปแบบตัวอักษร TH SarabunPSK ตัวหนา ขนาด 14 Point จัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ
 - 4.2 **ชื่อผู้รับผิดชอบบทความ** มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ใช้ชื่อเต็มไม่ต้องระบุคำนำหน้าชื่อ ใส่เครื่องหมายเชิงอรรถเป็นตัวเลขยกไว้ท้ายนามสกุลเรียงลำดับตามจำนวนผู้รับผิดชอบและใส่เครื่องหมายดอกจัน (*) ไว้บนเลขยกเพื่อแสดงว่าเป็นผู้รับผิดชอบหลัก รูปแบบตัวอักษร TH SarabunPSK ตัวหนา ขนาด 14 Point จัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ โดยใส่รายละเอียดที่อยู่ผู้รับผิดชอบและอีเมลผู้รับผิดชอบหลักในเชิงอรรถ
 - 4.3 **ที่อยู่ผู้รับผิดชอบบทความ** ใส่รายละเอียดในเชิงอรรถข้อความที่เขียนไว้ส่วนล่างของหน้ากระดาษและมีเส้นคั่นระหว่างเชิงอรรถกับตัวบทคัดย่อ (Abstract) อย่างชัดเจน โดยขีดเส้นคั่นจากริมกระดาษด้านซ้าย ไปทางด้านขวาประมาณ 1 นิ้ว หรือ 7 ตัวอักษร ใส่ตัวเลขกำกับไว้เหนือตัวอักษรตัวแรกเล็กน้อย ตัวเลขต้องตรงกับตัวเลขที่กำกับไว้กับชื่อผู้รับผิดชอบตำแหน่งทางวิชาการ (ถ้ามี) สถานที่ทำงาน หน่วยงานหรือสถาบัน และอีเมลแอดเดรส (E-mail Address) ของผู้รับผิดชอบทุกท่าน เช่น นักศึกษาระดับ.... สาขา.... คณะ มหาวิทยาลัย.... อีเมล.... หรือ อาจารย์.... สาขา..... คณะ..... มหาวิทยาลัย.... อีเมล.... หรือ ตำแหน่ง... บริษัท... ที่อยู่... อีเมล... รูปแบบตัวอักษร TH SarabunPSK ตัวปกติ ขนาด 12 Point จัดชิดซ้ายหน้ากระดาษ
 - 4.4 **บทคัดย่อ(Abstract)** ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษความยาวไม่เกิน 15 บรรทัด หรือ 350 คำ โดยใช้สำนวนให้กระชับ ชัดเจนที่สุด รูปแบบตัวอักษร TH SarabunPSK ตัวปกติ ขนาด 14 Point จัดกระจายหน้ากระดาษ
 - 4.5 **คำสำคัญ(Keyword)** ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษอยู่ใต้บทคัดย่อ(Abstract) คำสำคัญภาษาไทย จำนวน 3 – 5 คำเรียงตามลำดับอักษรระหว่างคำวรรค 2 วรรค ส่วน Keyword หรือคำสำคัญภาษาอังกฤษให้เรียงตามคำสำคัญภาษาไทยคั่นระหว่างคำด้วยจุลภาค (.)
 - 4.6 **เนื้อหาของบทความวิจัย** ประกอบด้วยหัวข้อต่อไปนี้
 - 4.6.1 **บทนำ** เป็นส่วนของเนื้อหาที่บอกความเป็นมา และเหตุผลนำไปสู่การศึกษาวิจัย
 - 4.6.2 **วัตถุประสงค์ของการวิจัย** ให้ชี้แจงถึงจุดมุ่งหมายของการวิจัย
 - 4.6.3 **วิธีดำเนินการวิจัย** ควรอธิบายวิธีดำเนินการวิจัย โดยกล่าวถึงวิธีการสุ่มกลุ่มตัวอย่าง ที่มาของกลุ่มตัวอย่าง แหล่งที่มาของข้อมูล การเก็บและรวบรวมข้อมูล การใช้เครื่องมือ สถิติที่ใช้ในการวิจัยและการวิเคราะห์ข้อมูล
 - 4.6.4 **ผลการวิจัยและอภิปรายผล** เป็นการเสนอสิ่งที่ได้จากการวิจัยเป็นลำดับอาจแสดงด้วยตารางกราฟ แผนภาพ ประกอบการอธิบาย ทั้งนี้ถ้าแสดงด้วยตาราง ควรเป็นตารางแบบไม่มีเส้นขอบตารางด้านซ้ายและขวา หัวตารางแบบธรรมดาไม่มีสี ตารางควรมีเฉพาะที่จำเป็นไม่ควรเกิน 5 ตาราง สำหรับรูปภาพประกอบควรเป็นรูปภาพขาว-ดำ ที่ชัดเจนและมีคำบรรยายได้รูป จัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ กรณีที่จำเป็นอาจใช้ภาพสีได้

- 4.6.5 **สรุป** เป็นการสรุปผลที่ได้จากการวิจัยและควรมีการอภิปรายผลการวิจัยว่าเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้หรือไม่เพียงใด และควรอ้างทฤษฎีหรือเปรียบเทียบการทดลองของผู้อื่นที่เกี่ยวข้องประกอบเพื่อให้ผู้อ่านเห็นด้วยตามหลักการหรือคัดค้านทฤษฎีที่มีอยู่เดิม รวมทั้งแสดงให้เห็นถึงการนำผลไปใช้ประโยชน์ และการให้ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต
- 4.6.6 **ข้อเสนอแนะ** ควรมี 2 ส่วน คือ ข้อเสนอในการนำผลการวิจัยไปใช้ และข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป
- 4.6.7 **กิตติกรรมประกาศ** (ถ้ามี) ข้อความแสดงความขอบคุณผู้มีส่วนสนับสนุน ช่วยเหลือ และให้ความร่วมมือในการทำงานวิจัย รวมถึงแหล่งทุนสนับสนุนต่างๆ
- 4.6.8 **เอกสารอ้างอิงและการอ้างอิง** การเขียนเอกสารอ้างอิงและการอ้างอิง ใช้ระบบ APA (American Psychological Association) ให้เรียงลำดับชื่อผู้แต่งหรือผู้รายงานตามลำดับอักษรเริ่มด้วยเอกสารภาษาไทยก่อน แล้วต่อด้วยเอกสารภาษาต่างประเทศ

4.7 การเขียนเอกสารอ้างอิงและการอ้างอิงในระบบ APA (American Psychological Association)

- 4.7.1 ชื่อวารสาร ชื่อหนังสือ และปีที่ (Volume) ไม่ใช่ชื่อย่อ
- 4.7.2 ชื่อภาษาอังกฤษ เขียนชื่อผู้แต่งโดยขึ้นต้นด้วย Last name ตามด้วยจุลภาค (,) และชื่อย่อตามด้วยมหัพภาค (.)
- 4.7.3 ชื่อไทย เขียนชื่อผู้แต่งโดยขึ้นต้นด้วยชื่อตัว ตามด้วยนามสกุล
- 4.7.4 กรณีผู้แต่งมากกว่าหนึ่งคน ให้เขียนชื่อผู้แต่งทั้งหมดทุกคน คั่นระหว่างชื่อด้วยจุลภาค (,) และมีคำว่า “and” หรือ “&” ในกรณีชื่อภาษาอังกฤษ หรือ “และ” ในกรณีชื่อภาษาไทยก่อนชื่อสุดท้าย
- 4.7.5 ถ้าไม่มีชื่อผู้แต่ง ให้ขึ้นต้นด้วยชื่อเรื่อง หรือชื่อวารสาร หรือชื่อหนังสือ ตามด้วยปีที่พิมพ์
- 4.7.6 ถ้าผู้แต่งเป็นหน่วยงาน หรือองค์กร ให้ใช้ชื่อหน่วยงานหรือองค์กรแทนชื่อผู้แต่ง
- 4.7.7 เรียงลำดับรายการตามตัวอักษรชื่อผู้แต่ง รายการที่มีทั้งเอกสารภาษาไทยและอังกฤษ ให้นำข้อมูลภาษาไทยขึ้นก่อน
ตามด้วยข้อมูลภาษาอังกฤษ พิมพ์โดยใช้ระยะห่างระหว่างบรรทัด อย่างน้อย (At least) 12 Point
- 4.7.8 บรรทัดที่สองและบรรทัดต่อไปของแต่ละรายการให้ย่อหน้าเข้ามา 7 ตัวอักษร หรือ 1.25 เซนติเมตร
- 4.7.9 การอ้าง – อ้างโดย(ชื่อผู้แต่ง, ปีที่พิมพ์)
- 4.7.10 ไม่อ้างโดยใช้คำว่า “และคณะ” หรือ “และคนอื่นๆ” หรือ et al. ยกเว้นกรณีอ้างในเนื้อเรื่องที่มีผู้แต่งตั้งแต่สามคนขึ้นไปและหลังจากได้มีการอ้างครั้งแรกไว้ก่อนหน้านี้แล้ว หรือการอ้างที่มีผู้แต่งตั้งแต่หกคนขึ้นไป
- 4.7.11 การอ้างจากวารสารและนิตยสารให้ระบุหน้าแรกถึงหน้าสุดท้าย โดยไม่ใช่คำย่อ “p.” หรือ “pp.” นอกจากหนังสือ
- 4.7.12 การติดต่อส่วนตัวโดยสื่อใดๆ ก็ตาม สามารถอ้างอิงได้ในเนื้อเรื่อง แต่ต้องไม่มีการระบุไว้ในรายการเอกสารอ้างอิง เพราะผู้อื่นไม่สามารถติดตามข้อมูลเหล่านั้นได้
- 4.7.13 การอ้างอิงจาก Website ให้ระบุวัน เดือน ปีที่พิมพ์ ถ้าไม่ปรากฏให้อ้างวันที่ทำการสืบค้น และระบุ URL ให้ชัดเจน ถูกต้อง เมื่อจบ URL address ห้ามใส่จุด (.) ข้างท้าย
- 4.7.14 Website ไม่บอกวันที่ ให้ระบุ n.d.
- 4.7.15 หลัง มหัพภาค “.” (period) เว้น 2 บรรทัด
- 4.7.16 หลัง จุลภาค “,” (comma) เว้น 1 บรรทัด
- 4.7.17 หลัง อัฒภาค “;” (semicolon) เว้น 1 บรรทัด
- 4.7.18 หลัง ทวิภาค “:” (colons) เว้น 1 บรรทัด
- 4.7.19 รูปแบบและตัวอย่างการอ้างอิงจากสิ่งพิมพ์ต่าง ๆ

- รูปแบบ: 1. หนังสือหรือตำรา
ตัวอย่างเช่น ชื่อผู้แต่ง. //(ปีที่พิมพ์).//ชื่อหนังสือ./ครั้งที่พิมพ์(ถ้ามี). //เมืองที่พิมพ์: /สำนักพิมพ์.
ไพรัช รัชชพิงษ์, และกฤษณะ ช่างกล่อม. (2541). **งานพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานสารสนเทศแห่งชาติ
เพื่อการศึกษา**. กรุงเทพฯ: แพร่พิทยา.
Mitchell, T. R., & Larson, J. R., Jr. (1987). **People in organizations: An introduction to
organizational behavior** (3rd ed.). New York: McGraw-Hill.
- รูปแบบ: 2. หนังสือหรือตำราที่มีบรรณาธิการ
ตัวอย่างเช่น ชื่อบรรณาธิการ(ผู้รวบรวม). //(ปีที่พิมพ์).//ชื่อหนังสือ./เมืองที่พิมพ์: /สำนักพิมพ์.
อดุลย์ วิริยเวชกุล, (บก.). (2541). **คู่มือจัดการเรียนการสอนระดับบัณฑิตศึกษา**. นครปฐม:
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล.
Gibbs, J. T., & Huang, L. N. (Eds.). (1991). **Children of color: Psychological
interventions with minority youth**. San Francisco: Jossey-Bass.
- รูปแบบ: 3. วิทยานิพนธ์
ตัวอย่างเช่น ชื่อผู้แต่ง. //(ปีที่พิมพ์).//ชื่อวิทยานิพนธ์./ระดับวิทยานิพนธ์./มหาวิทยาลัย.
พรพิมล เฉลิมพลาณภาพ. (2535). **พฤติกรรมและการแสวงหาข่าวสารและการใช้เทคโนโลยีการ
สื่อสารของบริษัทธุรกิจเอกชนที่มียอดขายสูงสุดของประเทศไทย**. วิทยานิพนธ์
วารสารศาสตรมหาบัณฑิต คณะวารสารศาสตร์และสื่อสารมวลชน, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
Almeida, D.M. (1990). **Fathers' participation in family work: Consequences for
fathers' stress and father-child relations**. Unpublished master's thesis,
University of Victoria, Victoria British Columbia, Canada.
- รูปแบบ: 4. รายงานการประชุมหรือสัมมนาทางวิชาการ
ตัวอย่างเช่น ชื่อผู้แต่ง. //ปีที่พิมพ์.//ชื่อเรื่อง.//ชื่อเอกสารรวมเรื่องรายงานการประชุม./วัน เดือน ปี สถานที่จัด.
เมืองที่พิมพ์: /สำนักพิมพ์.
กรมวิชาการ. 2538. **การจัดกิจกรรมส่งเสริมนิสัยรักการอ่าน**. การประชุมปฏิบัติการณรงค์เพื่อ
ส่งเสริมนิสัยรักการอ่าน, 25-29 พฤศจิกายน 2528 ณ วิทยาลัยครูมหาสารคาม
จังหวัดมหาสารคาม. กรุงเทพฯ: ศูนย์พัฒนาหนังสือ กรมวิชาการ กระทรวงศึกษาธิการ.
Deci, E. L., & Ryan, R. M. (1991). **A motivational approach to self:
Integration in personality**. In R. Dienstbier (Ed.), *Nebraska Symposium on
Motivation: Vol. 38. Perspectives on Motivation* (pp. 237-288). Lincoln:
University of Nebraska Press. *Motivation: Vol. 38. Perspectives on
Motivation* (pp. 237-288). Lincoln: University of Nebraska Press.
- รูปแบบ: 5. พจนานุกรม
ตัวอย่างเช่น พจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2542. (2546). กรุงเทพฯ: นานมีบุ๊คพับลิเคชัน.
Shorter Oxford English dictionary (5 th ed.). (2002). New York: Oxford
University Press.

6. วารสาร/นิตยสาร

- รูปแบบ: ชื่อผู้แต่ง.// (ปีที่พิมพ์).// ชื่อเรื่อง.// ชื่อวารสารหรือนิตยสาร, /ปีที่ (ฉบับที่), /หน้าแรก-หน้าสุดท้าย.
- ตัวอย่างเช่น ชำนิ กิ่งแก้ว, และอุษา คณ. (2551). การศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตโดยการลดความสูญเสียในกระบวนการผลิตแอลกอฮอล์, วารสารเทคโนโลยีภาคใต้, 1 (2), 27-35.
- Klimoski, R., & Palmer, S. (1993). The ADA and the hiring process in organizations. *Consulting Psychology Journal: Practice and Research*, 45(2), 10-36.

7. บทความจากหนังสือพิมพ์

- รูปแบบ: ชื่อผู้แต่ง.// (ปีที่พิมพ์, เดือน, วันที่).// ชื่อเรื่อง.// ชื่อหนังสือพิมพ์, /หน้าที่นำมาอ้าง.
- ตัวอย่างเช่น สายใจ ดวงมาลี. (2548, มิถุนายน 7) มาลาเรียมมาลา 3 จ.ใต้ตอนบน สธ.เร่งคุมเข้มกันเชื้อแพร่หนัก. *คม-ชัด-ลึก*, 25.
- Di Rado, A. (1995, March 15). Trekking through college: Classes explore modern society using the world of Star Trek. *Los Angeles Time*, p. A3.

8. สื่ออิเล็กทรอนิกส์

- รูปแบบ: ชื่อผู้แต่ง.// (ปีที่พิมพ์).// ชื่อเรื่อง.// สืบค้นจาก/URL
- Author, A. A. (Year). **Title of post**. Retrieved from URL
- ตัวอย่างเช่น สำนักงานคณะกรรมการวัฒนธรรมแห่งชาติ กระทรวงวัฒนธรรม. (2545). **ประเพณีใส่กระเจียวชาวไทยพวนสอนให้รู้จักแบ่งปัน มีน้ำใจ**. สืบค้นจาก http://www.m-culture.go.th/culture01/highlight/highlightdetail.php?highlight_id=114&lang=th
- Lynch, T. (1996). **DS9 trials and tribble-ations review**. Retrieved from <http://www.bradley.edu/psiphi/DS9/ep/503r.html>

5. **การส่งต้นฉบับ** ผู้มีพันธบัตรความต้องการส่งต้นฉบับที่พิมพ์ตามรูปแบบของต้นฉบับในข้อกำหนดของคำแนะนำการเขียนและส่งต้นฉบับวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ในรูปแบบ Word Document (.docx) และ PDF File (.pdf) พร้อมแบบนำเสนอบทความวิจัยลงตีพิมพ์เผยแพร่วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์และสำเนาหลักฐานการชำระเงินค่าธรรมเนียมบำรุงวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ มาที่เว็บไซต์ <https://tci-thaijo.org/index.php/vrurdistjournal/index> บทความวิจัยที่ปฏิบัติตามคำแนะนำจะได้รับพิจารณาดำเนินการโดยทันที

6. การประเมินบทความวิจัย และลิขสิทธิ์ในการตีพิมพ์เผยแพร่

- 6.1 **การอ่านประเมินต้นฉบับ** บทความวิจัยต้นฉบับที่ส่งเข้ามาเพื่อลงตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จะได้รับการอ่านประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer Review) ในสาขานั้น ๆ อย่างน้อยจำนวน 2 ท่านต่อเรื่องและส่งผลการอ่านประเมินคืนผู้มีพันธบัตรความให้เพิ่มเติม แก้ไข แล้วแต่กรณี โดยบทความที่ผ่านการประเมินได้รับการตีพิมพ์ในวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ผู้มีพันธบัตรความจะได้รับหนังสือแจ้งพิจารณาการตีพิมพ์ พร้อมวารสารฉบับที่บทความวิจัยนั้นลงตีพิมพ์ จำนวน 1 ฉบับ

- 6.2 **ลิขสิทธิ์บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์** ถือเป็นกรรมสิทธิ์ของสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ห้ามนำข้อความทั้งหมดหรือบางส่วนไปพิมพ์ซ้ำ เว้นแต่จะได้รับอนุญาตจากมหาวิทยาลัยเป็นลายลักษณ์อักษร

- 6.3 **ความรับผิดชอบ** เนื้อหาต้นฉบับที่ปรากฏในวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ เป็นความรับผิดชอบของผู้มีพันธบัตรความหรือผู้เขียนเอง ทั้งนี้ไม่รวมความผิดพลาดอันเกิดจากเทคนิคการพิมพ์

รูปแบบบทความวิจัย
และพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

[illegible]

2.54 ซม.

ชื่อเรื่องภาษาอังกฤษ (ตัวหนาขนาด 14 point จัดกึ่งกลาง)
(เว้น 14 point)

ชื่อผู้พิมพ์ภาษาอังกฤษ¹//ชื่อผู้พิมพ์ภาษาอังกฤษ²//ชื่อผู้พิมพ์ภาษาอังกฤษ³// (ตัวหนาขนาด 12 point จัดกึ่งกลาง)
(เว้น 14 point)

Abstract (ตัวหนาขนาด 14 point ชิดซ้าย)
Abstract must be written in Thai and English, within a maximum of 350 words for each language

ย่อหน้า 1.25 ซม. หรือประมาณ 7 ตัวอักษร

2 ซม. 2 ซม.

..... (ตัวปกติขนาด 14 point จัดกระจาย)
(เว้น 14 point)

Keyword:,,,, (ตัวปกติขนาด 14 point จัดชิดซ้าย)
(เว้น 14 point)

.....

¹Position, Office address, Email address: author 1
²Position, Office address, Email address: author 2
³Position, Office address, Email address: author 3
*Corresponding author, e-mail:

2 ซม.

2.54 ซม.

บทนำ (ตัวหนาขนาด 14 point จัดชิดซ้าย)

เป็นส่วนหนึ่งของเนื้อหาที่บอกความเป็นมา และเหตุผลนำไปสู่การศึกษาวิจัย

(ตัวปกติขนาด 14 point จัดกระจ่าย)

(เว้น 14 point)

วัตถุประสงค์ของการวิจัย (ตัวหนาขนาด 14 point จัดชิดซ้าย)

ให้ชี้แจงถึงจุดมุ่งหมายของการวิจัย.....

(ตัวปกติขนาด 14 point จัดกระจ่าย)

(เว้น 14 point)

วิธีดำเนินการวิจัย (ตัวหนาขนาด 14 point จัดชิดซ้าย)

ควรอธิบายวิธีดำเนินการวิจัย โดยกล่าวถึงวิธีการสุ่มกลุ่มตัวอย่าง ที่มาของกลุ่มตัวอย่าง แหล่งที่มาของข้อมูล การเก็บและรวบรวมข้อมูล การใช้เครื่องมือ สถิติที่ใช้ในการวิจัยและการวิเคราะห์ข้อมูล

(ตัวปกติขนาด 14 point จัดกระจ่าย)

(เว้น 14 point)

ผลการวิจัยและอภิปรายผล (ตัวหนาขนาด 14 point จัดชิดซ้าย)

เป็นการเสนอสิ่งที่ได้จากการวิจัยเป็นลำดับอาจแสดงด้วยตารางกราฟ แผนภาพประกอบการอธิบาย ทั้งนี้ถ้าแสดงด้วยตาราง ควรเป็นตารางแบบไม่มีเส้นขอบตารางด้านซ้ายและขวา หัวตารางแบบธรรมดาไม่มีสี ตารางควรมีเฉพาะที่จำเป็นไม่ควรเกิน 5 ตาราง สำหรับรูปภาพประกอบควรเป็นรูปภาพขาว-ดำ ที่ชัดเจนและมีคำบรรยายใต้รูป กรณีที่จำเป็นอาจใช้ภาพสีได้.....

(ตัวปกติขนาด 14 point จัดกระจ่าย)

(เว้น 14 point)

2 ซม.

สรุป (ตัวหนาขนาด 14 point จัดชิดซ้าย)

เป็นการสรุปผลที่ได้จากการวิจัยว่าเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้หรือไม่เพียงใด และควรอ้างทฤษฎีหรือเปรียบเทียบการทดลองของผู้อื่นที่เกี่ยวข้องประกอบเพื่อให้ผู้อ่านเห็นด้วยตามหลักการหรือคัดค้านทฤษฎีที่มีอยู่เดิม รวมทั้งแสดงให้เห็นถึงการนำผลไปใช้ประโยชน์.....

(ตัวปกติขนาด 14 point จัดกระจ่าย)

(เว้น 14 point)

2 ซม.

ข้อเสนอแนะ (ตัวหนาขนาด 14 point จัดชิดซ้าย)

ควรมี 2 ส่วน คือ ข้อเสนอเกี่ยวกับงานวิจัย และข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

(ตัวปกติขนาด 14 point จัดกระจ่าย)

(เว้น 14 point)

กิตติกรรมประกาศ(ถ้ามี) (ตัวหนาขนาด 14 point จัดชิดซ้าย)

ข้อความแสดงความขอบคุณผู้มีส่วนสนับสนุน ช่วยเหลือ และให้ความร่วมมือในการทำงานวิจัย รวมถึงแหล่งทุนสนับสนุนต่างๆ

(ตัวปกติขนาด 14 point จัดกระจ่าย)

(เว้น 14 point)

เอกสารอ้างอิง (ตัวหนาขนาด 14 point จัดชิดซ้าย)

การเขียนเอกสารอ้างอิงและการอ้างอิง ใช้ระบบ APA (American Psychological Association) เท่านั้น ให้เรียงลำดับชื่อผู้แต่งหรือผู้รายงานตามลำดับอักษรเริ่มต้นด้วยเอกสารภาษาไทยก่อน แล้วต่อกับเอกสารภาษาต่างประเทศ.....

(ตัวปกติขนาด 14 point จัดกระจ่าย)

2 ซม.

[ชื่อเรื่องบทความวิจัยภาษาไทย (TH SarabunPSK, 14 point, ตัวหนา, จัดกึ่งกลาง)]

[ชื่อผู้นิพนธ์บทความวิจัย]^{1*} [ชื่อผู้นิพนธ์บทความวิจัย]² [ชื่อผู้นิพนธ์บทความวิจัย]³

บทคัดย่อ

บทคัดย่อ ควรจะสรุปเนื้อหาทั้งหมดของบทความวิจัย โดยใช้จำนวนให้กระชับ ชัดเจนที่สุด มีความยาวไม่เกิน 15 บรรทัด หรือ 350 คำ รูปแบบตัวอักษร TH SarabunPSK ตัวปกติ ขนาด 14 point จัดกระจายแบบไทย “ชื่อเรื่อง” มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ มีความยาวไม่เกินภาษาละ 2 บรรทัด และให้อธิบายสาระสำคัญของเรื่องได้ดี รูปแบบตัวอักษร TH SarabunPSK ตัวหนา ขนาด 14 point จัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ “ชื่อผู้นิพนธ์บทความวิจัย” มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ใช้ชื่อเต็มไม่ต้องระบุค่านำหน้าชื่อ ใส่เครื่องหมายเชิงอรรถเป็นตัวเลขยกไว้ท้ายนามสกุลพร้อมใส่เครื่องหมายดอกจัน (*) แสดงถึงความสำคัญของการเป็นผู้นิพนธ์หลัก หากมีผู้นิพนธ์บทความมากกว่าหนึ่งท่านให้ใส่เครื่องหมายเชิงอรรถเป็นตัวเลขยกไว้ท้ายนามสกุลเรียงลำดับตามจำนวนผู้นิพนธ์พร้อมใส่เครื่องหมายดอกจัน (*) แสดงถึงความสำคัญของการเป็นผู้นิพนธ์หลัก รูปแบบตัวอักษร TH SarabunPSK ตัวหนา ขนาด 14 Point จัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ และใส่รายละเอียดที่อยู่ผู้นิพนธ์บทความไว้ในเชิงอรรถส่วนล่างของกระดาษ โดยระบุตำแหน่งทางวิชาการหรือตำแหน่งทางบริหาร(ถ้ามี) สถานที่ทำงาน หน่วยงานหรือสถาบัน และอีเมลแอดเดรส (E-mail Address) ของผู้นิพนธ์บทความทุกคน เช่น ¹ นักศึกษาระดับ ... สาขา... คณะ... มหาวิทยาลัย... อีเมล: หรือ อาจารย์... สาขา... คณะ... มหาวิทยาลัย... อีเมล: หรือ ตำแหน่ง... บริษัท... ที่อยู่.... อีเมล: ... * ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล:รูปแบบตัวอักษร TH SarabunPSK ตัวเอียง ขนาด 12 Point จัดชิดซ้ายหน้ากระดาษ.....

คำสำคัญ : คำสำคัญ คำสำคัญ คำสำคัญ

¹ นักศึกษา หลักสูตรครุศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาการบริหารการศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี อีเมล :

² อาจารย์ประจำหลักสูตร ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี อีเมล :

³ เจ้าหน้าที่การเงิน บริษัท ธุรกิจการพิมพ์ จำกัด จังหวัดนนทบุรี อีเมล :

* ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล :

[First A. Author1]^{1*} [Second B. Author2]² [Third C. Author3]³

Abstract must be written in Thai and English, within a maximum of 350 words for each language.

language.

* Corresponding author, e-mail :

บทนำ

[บทนำ เป็นส่วนของความสำคัญและมูลเหตุที่นำไปสู่การวิจัย].....
 (TH SarabunPSK, 14 point, ตัวปกติ, จัดกระจายแบบไทย)

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

[วัตถุประสงค์ของการวิจัย เป็นส่วนของเนื้อหาที่บอกความเป็นมา และเหตุผลนำไปสู่การ
 ศึกษาวิจัย]..... (TH SarabunPSK, 14 point, ตัวปกติ, จัดกระจายแบบไทย)

วิธีดำเนินการวิจัย

[วิธีดำเนินการวิจัย ควรอธิบายวิธีดำเนินการวิจัย โดยกล่าวถึงวิธีการสุ่มกลุ่มตัวอย่าง ที่มาของกลุ่ม
 ตัวอย่าง แหล่งที่มาของข้อมูล การเก็บและรวบรวมข้อมูล การใช้เครื่องมือ สถิติที่ใช้ในการวิจัยและการวิเคราะห์
 ข้อมูล]..... (TH SarabunPSK, 14 point, ตัวปกติ, จัดกระจายแบบไทย)

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

[ผลการวิจัยและอภิปรายผล ควรเสนอผลที่ชัดเจน ตรงประเด็น เป็นการเสนอสิ่งที่ได้จากการวิจัยเป็น
 ลำดับอาจแสดงด้วยตารางกราฟ แผนภาพประกอบการอธิบาย] ทั้งนี้ถ้าแสดงด้วยตาราง ควรเป็นตารางแบบไม่มี
 เส้นขอบตารางด้านซ้ายและด้านขวา หัวตารางแบบธรรมดาไม่มีสี ตารางควรมีเฉพาะที่จำเป็นไม่ควรเกิน 5
 ตาราง และมีคำอธิบายตาราง เช่น

ตารางที่ 1 รูปแบบ ขนาดและลักษณะของตัวอักษร

ส่วนประกอบ	ขนาดอักษร	ลักษณะอักษร
ชื่อบทความ (ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ)	TH SarabunPSK, 14	หนา
ชื่อผู้เขียน (ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ)	TH SarabunPSK, 14	หนา
สถานที่ติดต่อ(ระบุในเชิงบรรณ)	TH SarabunPSK, 12	เอียง, ปกติ
บทคัดย่อ / Abstract	TH SarabunPSK, 14	ปกติ
คำสำคัญ / Keywords	TH SarabunPSK, 14	ปกติ
หัวข้อหลัก	TH SarabunPSK, 14	หนา
หัวข้อย่อย	TH SarabunPSK, 14	ปกติ
เนื้อความทั่วไป	TH SarabunPSK, 14	ปกติ

ตารางที่ 1 รูปแบบ ขนาดและลักษณะของตัวอักษร (ต่อ)

ส่วนประกอบ	ขนาดอักษร	ลักษณะอักษร
ตารางและภาพ	TH SarabunPSK, 14	ปกติ
กิตติกรรมประกาศ	TH SarabunPSK, 14	ปกติ
เอกสารอ้างอิง	TH SarabunPSK, 14	ปกติ

สำหรับรูปภาพประกอบควรเป็นรูปภาพขาว-ดำ ที่ชัดเจน มีขนาดของรูปภาพที่เหมาะสมและมีคำบรรยายใต้รูปภาพ

รูปภาพ

ภาพที่ 1 ตัวอย่างการจัดรูปภาพ (TH SarabunPSK, 14 point, ตัวปกติ, จัดกระจายแบบไทย)

สรุป

เป็นการสรุปผลที่ได้จากการวิจัยว่าเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้หรือไม่เพียงใด และควรอ้างทฤษฎีหรือเปรียบเทียบการทดลองของผู้อื่นที่เกี่ยวข้องประกอบเพื่อให้ผู้อ่านเห็นด้วยตามหลักการหรือคัดค้านทฤษฎีที่มีอยู่เดิม รวมทั้งแสดงให้เห็น.....
(TH SarabunPSK, 14 point, ตัวปกติ, จัดกระจายแบบไทย)

ข้อเสนอแนะ

[เนื้อหาข้อเสนอแนะ ควรมี 2 ส่วน คือ ข้อเสนอเกี่ยวกับงานวิจัย และข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป] (TH SarabunPSK, 14 point, ตัวปกติ, จัดกระจายแบบไทย)

กิตติกรรมประกาศ

[กิตติกรรมประกาศ ให้เขียนถึงข้อความแสดงความขอบคุณผู้มีส่วนสนับสนุน ช่วยเหลือ และให้ความร่วมมือในการทำงานวิจัย รวมถึงแหล่งทุนสนับสนุนต่างๆ]
(TH SarabunPSK, 14 point, ตัวปกติ, จัดกระจายแบบไทย)

เอกสารอ้างอิง

[การเขียนเอกสารอ้างอิงและการอ้างอิง ให้ใช้ระบบ APA (American Psychological Association) เท่านั้น ให้เรียงลำดับชื่อผู้แต่งหรือผู้รายงานตามลำดับอักษรเริ่มด้วยเอกสารภาษาไทยก่อน แล้วต่อด้วยเอกสารภาษาต่างประเทศ]..... (TH SarabunPSK, 14 point, ตัวปกติ, จัดกระจายแบบไทย)

ขั้นตอนการตีพิมพ์บทความวิจัย
วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

