Online ISSN : 2773-9627
Print ISSN : 1685-8379

Vol. 18 No. 2 / DECEMBER 2021

PRAWARUN AGRICULTURAL JOURNAL

Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University, Thailand

วารสาร เกษตรพระวรุณ

ปีที่ 18 ฉบับที่ 2 ธันวาคม 2564

PRAWARUN AGRICULTURAL JOURNAL

วารสารเกษตรพระวรุณ

PRAWARUN AGRICULTURAL JOURNAL

ISSN 1685-8379 (PRINT) ISSN 2773-9627 (ONLINE)

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเผยแพร่ความรู้ทางวิชาการของคณาจารย์ นักวิจัย นักวิชาการ และผู้สนใจในสาขาเทคโนโลยีการเกษตร ในมหาวิทยาลัย วิทยาลัย และองค์กรทางการเกษตรทั้งภาครัฐและเอกชน
2. เป็นเวทีทางวิชาการเพื่อแลกเปลี่ยนความรู้และวิทยาการทางด้านการเกษตรระหว่างนักวิชาการ ผู้ประกอบการ และผู้รู้อื่นๆ
3. เพื่อเป็นเอกสารทางวิชาการอันเป็นประโยชน์ต่อการเรียนการสอนในสาขาเทคโนโลยีการเกษตร และการพัฒนาอาชีพเกษตรให้แก่เกษตรกรและผู้สนใจ

นโยบายและขอบเขตการตีพิมพ์

1. เป็นบทความวิจัย (Research Article) บทความปริทัศน์ (Review Article) หรือบทความวิชาการ (Academic Article) ทางด้านเกษตรศาสตร์และสาขาเทคโนโลยีการเกษตรที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ พืชศาสตร์ สัตวศาสตร์ ประมง วิทยาศาสตร์สุขภาพสัตว์ วิทยาศาสตร์การอาหารและอุตสาหกรรมเกษตร ธุรกิจการเกษตร ส่งเสริมการเกษตร สารสนเทศการเกษตร นวัตกรรมการเกษตร และนวัตกรรมเทคโนโลยีเครื่องจักรกลการเกษตร เป็นต้น
2. ต้องไม่เคยได้รับตีพิมพ์มาก่อน (ต้นฉบับ หรือส่วนหนึ่งส่วนใดของต้นฉบับ) และต้นฉบับต้องไม่ได้อยู่ระหว่างกระบวนการพิจารณาลงตีพิมพ์ในวารสารหรือสิ่งตีพิมพ์อื่นใด

ข้อกำหนดเฉพาะของวารสาร

1. บทความที่ลงตีพิมพ์ทุกเรื่องได้รับการตรวจสอบทางวิชาการโดยผู้ประเมินอิสระ (Peer Reviewer) อย่างน้อยบทความละ 3 ท่าน แบบ Double blind
2. กองบรรณาธิการวารสารเกษตรพระวรุณ ไม่สงวนสิทธิ์การคัดลอกแต่ให้อ้างอิง แสดงที่มา

เจ้าของ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.นิรุต ถึงนาค	อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภูษิต บุญทองเถิง	รองอธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
บรรณาธิการ	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันทนีย์ พลวิเศษ	คณบดีคณะเทคโนโลยีการเกษตร
รองบรรณาธิการ	อาจารย์ ดร.ฐานิดา ศรีหาวงศ์	รองคณบดีคณะเทคโนโลยีการเกษตร

คณะกรรมการกองบรรณาธิการ

1. กองบรรณาธิการบุคคลภายนอกมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ที่อยู่มหาวิทยาลัยต่างประเทศ

1.1	Prof. Dr. Clemen Fuchs	University of Applied Sciences, Neubrandenburg, Germany
1.2	Associate Professor Dr. J.T. Thomas Schonewille	Faculty of Veterinary Medicine, Department of Farm Animal Health, Utrecht University the Netherlands

2. กองบรรณาธิการบุคคลภายนอกมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ที่อยู่มหาวิทยาลัยอื่นในประเทศไทย

2.1	รองศาสตราจารย์ ดร.ฉลอง วชิราภากร	คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
2.2	รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย ชคตระการ	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
2.3	รองศาสตราจารย์ ดร.เกษม สร้อยทอง	คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2.4	รองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา ตรีโลเกศ	คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
2.5	รองศาสตราจารย์ ดร.โอภาส พิมพา	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี
2.6	รองศาสตราจารย์ ดร.นนทวิทย์ อารีย์ชน	คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
2.7	รองศาสตราจารย์ น.สพ. ดร. อตถพร รุ่งสิทธิชัย	คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
2.8	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมพล เยื้องกลาง	คณะวิทยาศาสตร์และศิลปะศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตนครราชสีมา
2.9	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนันต์ เชาว์เครือ	คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตสารสนเทศเพชรบุรี
2.10	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วสันต์ เธียรสุวรรณ	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
2.11	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไกรเลิศ ทวีกุล	คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
2.12	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนกานต์ อินทรกำแหง	คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
2.13	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐธยาน์ ชูสุข	คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
2.14	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัชนี นามมาตย์	สถาบันวิจัยวลัยรุกขเวช มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

3. กองบรรณาธิการบุคคลภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

3.1.	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชูทวีป ปาลกะวงศ์ ณ อยุธยา	บรรณาธิการประจำบทความสาขาเทคโนโลยีการอาหารและอุตสาหกรรมเกษตร
3.2.	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุทัย โคตรดก	บรรณาธิการประจำบทความสาขาวิชาสัตวศาสตร์
3.3.	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันทนีย์ พลวิเศษ	บรรณาธิการประจำบทความสาขาวิชาสัตวศาสตร์
3.4.	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุฑารัตน์ แก่นจันทร์	บรรณาธิการประจำบทความสาขาประมง
3.5	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ทวีทรัพย์ ไชยรักษ์	บรรณาธิการประจำบทความสาขาวิชาพืชศาสตร์และส่งเสริมการเกษตร
3.6	อาจารย์ นายสัตวแพทย์ ดร.ไกรจักร แก้วพรม	บรรณาธิการประจำบทความสาขาวิทยาศาสตร์สุขภาพสัตว์
3.7	อาจารย์ ดร. อุดร จิตจักร	บรรณาธิการประจำบทความสาขาเทคโนโลยีสารสนเทศบริหารธุรกิจเกษตร เทคโนโลยีเครื่องจักรกล

4. ฝ่ายจัดการงานวารสารเกษตรพระวรุณ

4.1	อาจารย์ ดร.ฐานิดา ศรีหาวงศ์	ผู้จัดการวารสาร (Journal Manager)
4.2	อาจารย์ ดร.วุฒิศักดิ์ คุณ	ผู้พิสูจน์อักษรและตรวจรูปแบบบทความ (Proofreader and Copy Editor)
4.2	อาจารย์วีรเดช โขนสันเทียะ	ผู้พิสูจน์อักษร (Proofreader)
4.3	อาจารย์ ดร.พุทธชาติ อิ่มใจ	ผู้ออกแบบกราฟฟิก (Graphic Designer)
4.5	อาจารย์มนันยา นันทสาร	เหรัญญิกวารสาร
4.6	นายธรรมชาติ แสงนิล	บรรณาธิการฝ่ายผลิต (Production Editor)

กำหนดเผยแพร่ ปีละ 2 ฉบับ
ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน
ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม

เครดิตภาพ อาจารย์ ดร.พุทธชาติ อิ่มใจ

สำนักงาน คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
เลขที่ 80 ถนนนครสวรรค์ ตำบลตลาด อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม 44000

โทรศัพท์/โทรสาร 043 725 439

อีเมลล์ prawarun.j@rmu.ac.th

เว็บไซต์วารสารเกษตรพระวรุณ https://li01.tci-thaijo.org/index.php/pajrmu/index

SCAN ME

QR Code วารสารเกษตรพระวรุณ

ข้อความและบทความในวารสารนี้เป็นความคิดเห็นของผู้เขียนโดยเฉพาะ
กองบรรณาธิการไม่มีส่วนรับผิดชอบในเนื้อหาและข้อคิดเห็นนั้นๆ แต่อย่างใด

คำนำ

การพัฒนาทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของประเทศไทยในปัจจุบัน ส่งผลให้เกิดความก้าวหน้าทางด้านเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตรเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดองค์ความรู้ งานวิจัย และนวัตกรรมทางการเกษตร ที่เกี่ยวข้องมากมาย เพื่อเป็นการถ่ายทอดองค์ความรู้ทางด้านเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร ทางคณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม จึงได้จัดทำวารสารวิชาการเพื่อเผยแพร่องค์ความรู้และงานวิจัย ในรูปแบบบทความวิจัย (Research Article) บทความวิชาการ (Academic Article) และ บทความปริทัศน์ (Review Article) โดยมีขอบเขตการรับตีพิมพ์บทความด้านเกษตรศาสตร์และสาขาเทคโนโลยีการเกษตรที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ พืชศาสตร์ สัตวศาสตร์ ประมง วิทยาศาสตร์ทางสุขภาพสัตว์ วิทยาศาสตร์การอาหารและอุตสาหกรรมเกษตร ธุรกิจการเกษตร ส่งเสริมการเกษตร สารสนเทศการเกษตร นวัตกรรมการเกษตร และนวัตกรรมเทคโนโลยีเครื่องจักรกลการเกษตร เป็นต้น โดยกำหนดการเผยแพร่ปีละ 2 ฉบับ ฉบับที่ 1 ระหว่างเดือนมกราคม – มิถุนายน และ ฉบับที่ 2 ระหว่างเดือนกรกฎาคม – ธันวาคม โดยเผยแพร่ผ่านวารตีพิมพ์ทั้งในรูปแบบเล่มวารสาร (ISSN 1685–8379) และแบบออนไลน์ (ISSN 2773–9627)

วารสารเกษตรพระวรุณในปี พ.ศ. 2564 ถือเป็นปีที่ 18 โดยวารสารปรากฏอยู่ในกลุ่มที่ 2 (วารสารที่ผ่านการรับรองคุณภาพ) ในฐานข้อมูล Thai-Journal Citation Index: TCI ของศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทยและมีค่า Thai-Journal Impact Factor เท่ากับ 0.017 ประจำปี 2561 ตามที่ศูนย์ดังกล่าวประกาศไว้ ซึ่งหมายถึงคุณภาพที่ได้รับการยอมรับและมีประโยชน์ต่อวงวิชาการด้านเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร

สำหรับวารสารปีที่ 18 (Volume 18) ฉบับที่ 2 (Number 2) นี้ประกอบด้วยบทความวิจัย (Research Articles) จำนวน 13 บทความ จากหลากหลายสาขาที่เกี่ยวข้อง โดยมีกำหนดการเผยแพร่ระหว่างเดือน กรกฎาคม - ธันวาคม พ.ศ. 2564 ผ่านวารสารตีพิมพ์ในรูปเล่มวารสารและเผยแพร่ออนไลน์ผ่านระบบ Thai Journal online (ThaiJO)

ทางกองบรรณาธิการเกษตรพระวรุณหวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะเป็นสื่อกลางในการช่วยเผยแพร่องค์ความรู้ใหม่และงานวิจัยทางด้านเทคโนโลยีการเกษตรแก่ คณาจารย์ นักวิจัย นักวิชาการ นักศึกษาและผู้ที่สนใจให้ได้รับข้อมูลที่มีประโยชน์ในการต่อยอดองค์ความรู้และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อการพัฒนาประเทศให้ก้าวหน้าและยั่งยืนต่อไป

กองบรรณาธิการวารสารเกษตรพระวรุณ

ธันวาคม 2564

PRAWARUN AGRICULTURAL JOURNAL

วารสาร

เกษตรพระวรุณ

PRAWARUN AGRICULTURAL JOURNAL

ปีที่ 18 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม 2564
VOL. 18 NO. 2 July – December 2021
ISSN 1685-8379

สารบัญ

บทความวิจัย (Research Article)

- **ผลของการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกลและลมร้อนต่อคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของขมิ้นชัน** 8
  พรพิษณุ ธรรมปัทม์, วีระยุทธ แสนมหาชัย, สุพรรษา บ่อใหญ่ และ กมล พลคำ
  Effects of far-infrared and hot air drying methods on physical chemical and antioxidant properties of turmeric (*Curcuma longa* L.)
  Pornpisanu Thammapat, Weerayuth Saenmahachai, Supansa Boryai and Kamon Ponkham
- **การผลิตเซลล์ตรึงไซยาโนแบคทีเรียออสซิลลาทอเรีย ในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำเสียสังเคราะห์** 16
  บุรินทร์ มนตรีวิสัย, ธีรวัฒน์ สีทองแดง, ทรงกลด ใบยา, บงกช บุญบูรพงศ์, อาภรณ์ บัวหลวง และ สุรศักดิ์ ละลอกน้ำ
  Production of immobilized cyanobacteria oscillatoria for increasing of oxygen contents in synthetic wastewater
  Burin Montrewisai, Teerawat Seethongdaeng, Songklod Baiya, Bongkoj Boonburapong, Aporn Bualuang and Surasak Laloknam
- **การสกัดเซลลูโลสจากไซยาโนแบคทีเรียนอสตอกเพื่อเป็นแหล่งพลังงานทางเลือก** 24
  นิศารัตน์ เพชรพรม, วศิน เจริญหมั่น, บงกช บุญบูรพงศ์, อาภรณ์ บัวหลวง และ สุรศักดิ์ ละลอกน้ำ
  Cellulose extraction from cyanobacteria *Nostoc* sp. for alternative energy source
  Nisarat Phetprom, Vasin Charoenman, Bongkoj Boonburapong, Aporn Bualuang and Surasak Laloknam

- **ฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรียและขจัดกลิ่นของสเปรย์ขจัดกลิ่นไม่พึงประสงค์สำหรับผ้าฝ้ายและผ้าไหม** 33
  จิรศิต อินทร, ญาณิศา จินดาหลวง, ศรัณญา สอนมณี และ เปรมนภา สีโสภา
  Antibacterial and Deodorizing Effect of Malodor Eliminator Spray for Cotton and Silk Fabric
  Jirasit Inthorn, Yanisa Chindaluang, Saranya Sornmanee and Premnapa Sisopa
- **ประสิทธิภาพของน้ำอิเล็กโทรไลต์ชนิดกรดในการฆ่าเชื้อโรค** 41
  นวลใย ญารักษา, ชัดชัย แก้วตา, ศุภาวีร์ มากดี และ ธีระ สาธุพันธ์
  Efficacy of acidic electrolyte water to pathogen inactivation
  Nualyai Yaraksa, Chutchai Kaewta, Supawee Makdee and Theera Sathupan
- **ผลของระยะเวลาและอุณหภูมิในการงอกต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และกรดแกมมา–อะมิโนบิวทิริกในข้าวไทยบางชนิด** 49
  พรพิษณุ ธรรมปัทม์, กฤษฎา ไชยสิงห์ และ ชูทวีป ปาลกะวงศ์ ณ อยุธยา
  Effects of germination time and temperature on total phenolic content and gamma–aminobutyric acid of some thai rice varieties
  Pornpisanu Thammapat, Kitsada Chaiyasing and Choothaweep Palakawong
- **การเพิ่มประสิทธิภาพของปุ๋ยหมักก้อนเชื้อเห็ดเก่าด้วยแอคติโนมัยสีทต่อการเจริญ และการเกิดโรคของต้นหอม (*Allium cepa var. aggregatum*) ที่เกิดจากเชื้อรา** 56
  วารีรัตน์ แสนมาโนช
  Efficiency enhancing of spent mushroom cultivation substrate–derived compost by using actinomycetes to green onion (*Allium cepa var. aggregatum*) growth and increase defense against phytopathogenic fungi
  Wareerat Sanmanoch
- **ประสิทธิภาพของการเสริมกล้วยน้ำว้าในอาหารต่อการตอบสนองทางภูมิคุ้มกันต้านเชื้อ *Aeromonas hydrophila* ในกบนา** 63
  พุทธชาติ อิ่มใจ, จุฑารัตน์ แก่นจันทร์, อรอนงค์ ไชยรา, อนาวิล พรหมเทพ และ นันท์นภัส ปาลินทร
  The effective of banana (*Musa* ABB CV. Kluai "Namwa") supplementary diets on immune response against *aeromonas hydrophila* in lowland frog
  Puttachat Imjai, Chutharat Kanchan, Aonanong Chaiyara, Anavil Phrom thep and Nannapat Palintorn
- **ผลของความเข้มข้นเอนไซม์ฟลาโวไซม์และเวลาย่อยสลายต่อสมบัติทางเคมี – กายภาพของโปรตีนไฮโดรไลเซทจากกากถั่วดาวอินคา** 69
  พัฒสุภา ธีรการุณวงศ์, พร้อมลักษณ์ สรรพ่อค้า, ฉัตรภา หัตถโกศล และ ณัฏฐา เลาหกุลจิตต์
  Effect of flavourzyme concen tration and hydrolysis time on physico – chemical properties of sacha inchi pressed cake protein hydrolysate
  Patsupa Teeragaroonwong, Promluck Sanporkha, Chatrapa Hudthagosol and Natta Laohakunjit

- **การพัฒนาผลิตภัณฑ์ใบมะเขือแผ่นอบกรอบเสริมโปรตีนจากแมลง** 80
  พรพิษณุ ธรรมปัทม์, นวลอนงค์ องค์นาม, อนุศาสน์ โยธะวงษ์, ศราวุฒ รักษาราช และ ชูทวีป ปาละกะวงศ์ ณ อยุธยา
  Development of baked crispy snack of eggplant leaves fortified with protein from insects
  Pornpisanu Thammapat, Nuan-anong Ongnarm, Anusart Yothawong, Sarawut Raksarad and Choothaweep Palakawong Na Ayudhya
- **การศึกษาการอบแห้งขมิ้นชันด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์** 87
  พัชราภรณ์ อินริราย, ธวัลรัตน์ สัมฤทธิ์, วรลักษณ์ สุริวงษ์ และ สุรินทราพร ชั่งไชย
  Study on Drying Turmeric by a Solar Dryer
  Patcharaporn Inrirai, Thawanrat Sumrit, Voraluck Suriwong and Surintraporn Changchai
- **ผลของความเข้มข้นสูตรอาหารและสารควบคุมการเจริญเติบโตต่อการขยายพันธุ์กาบหอยแครง (*Dionaea muscipula*) ในสภาพปลอดเชื้อ** 97
  โสภา ชูเพ็ง, มนทิรา ไชยตะญากูร และ สุวรรณษา ชูเชิด
  Effect of Medium Strength and Plant Growth Regulators on Micropropagation of Venus Flytrap (*Dionaea muscipula*)
  Sopa Choopeng, Montira Chaitayakoon and Suwansa Chuchert
- **ผลของปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์-ทรี ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโต ผลผลิตและคุณภาพในการผลิตมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 และเกษตรศาสตร์ 50 ในชุดดินโคราช** 103
  นิมิตร วงศ์สุวรรณ, พีระยศ แข็งขัน และ นริศ สินศิริ
  Effect of Biofertilizer (PGPR – 3) Organic and Chemical Fertilizers on Growth Yield and Quality of Rayong 9 and Kasetsart 50 Cassava Varieties on Korat Soil Series
  Nimit Wongsuwan, Phirayot Khaengkhan and Naris Sinsiri

https://li01.tci-thaijo.org/index.php/pajrmu/index

บทความวิจัย

ผลของการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกลและลมร้อนต่อคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของขมิ้นชัน

พรพิษณุ ธรรมปัทม์[1*] วีระยุทธ แสนมหาชัย[2] สุพรรษา บ่อใหญ่[2] และ กมล พลคำ[2]

[1] *สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม 44000*

[2] *สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม 44000*

ข้อมูลบทความ

Article history

รับ: 14 กรกฎาคม 2564

แก้ไข: 6 สิงหาคม 2564

ตอบรับการตีพิมพ์: 24 สิงหาคม 2564

ตีพิมพ์ออนไลน์: 30 กันยายน 2564

คำสำคัญ

สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ

เคอร์คิวมิน

การอบแห้ง

บทคัดย่อ

ขมิ้น (*Curcuma longa* L.) เป็นหนึ่งในเครื่องเทศและสารแต่งสีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอาหารของคนเอเชีย เหง้าของขมิ้นชันอุดมไปด้วยสารเคอร์คูมิน ซึ่งเป็นเม็ดสีตามธรรมชาติและมีฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญ การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการทำให้แห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกลและลมร้อนที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80 °C ต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าสี คุณสมบัติทางเคมีและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของขมิ้นชัน สำหรับการประเมินแหล่งความร้อนของการอบแห้ง พบว่าอัตราการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกลสูงกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิเดียวกัน การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกลและลมร้อนส่งผลต่อสีของขมิ้นอย่างมีนัยสำคัญในค่าสี L*, a*, b* และ ΔE ($p < 0.05$) ความแตกต่างของการเปลี่ยนแปลงค่าสีโดยรวมจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิการอบแห้งที่ลดลง การอบแห้งขมิ้นชันด้วยรังสีอินฟราเรดไกล (80 °C) สามารถรักษาค่าสีให้คงเดิมมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการอบแห้งด้วยลมร้อน ซึ่งอาจเกิดจากการทำให้เกิดความร้อนที่รวดเร็วและสม่ำเสมอ การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกลและลมร้อนส่งผลให้ปริมาณเคอร์คิวมิน สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) จุดเด่นของงานวิจัยนี้พบว่าการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกลที่อุณหภูมิ 80°C มีปริมาณเคอร์คูมิน สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูงสุด

บทนำ

ขมิ้นชันมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Curcuma longa* L. และมีชื่อสามัญว่า Turmeric จัดเป็นพืชล้มลุกในวงศ์ขิง มีถิ่นกำเนิดในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ มีเนื้อในเหง้าสีเหลืองหรือสีเหลืองส้ม มีกลิ่นหอมเฉพาะตัว มีฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาที่มีคุณประโยชน์อย่างมาก ขมิ้นชันเป็นพืชสมุนไพรที่มีความสำคัญและใช้ประโยชน์อย่างมากในอุตสาหกรรมอาหาร (Asghari et al., 2009) สามารถสร้างรายได้ให้กับผู้ประกอบการ เช่น ยารักษาโรค ลูกประคบ สมุนไพร ผลิตภัณฑ์ดูแลร่างกายรวมไปถึงผงขัดผิวที่ทำมาจากขมิ้นชัน (Assawarachan et al., 2013) สำหรับขมิ้นชันมีการเพาะปลูกทั่วประเทศ นิยมนำมาเป็นส่วนประกอบในเครื่องสำอาง โดยเฉพาะในส่วนของลำต้นที่อยู่ใต้ดินที่เรียกว่าเหง้า เพราะในส่วนของเหง้าขมิ้นชันประกอบไปด้วยสารเคอร์คิวมิน ซึ่งเป็นสารสีเหลืองมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ดี จึงได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในหลายด้าน โดยเฉพาะทางด้านการผลิตยา อาหาร และเครื่องสำอาง นอกจากนี้ได้มีการวิจัยทั้งในคนและสัตว์ทดลองพบว่า เคอร์คูมินมีฤทธิ์ต้านการอักเสบ ฤทธิ์บำรุงรักษาตับ ช่วยป้องกันมะเร็ง ฤทธิ์ในการลดระดับโคเลสเตอรอล และฤทธิ์ในการป้องกันสมองเสื่อม (Tirawanichakul et al., 2013)

การทำผลิตภัณฑ์สมุนไพรจากขมิ้นชันนั้นควรต้องมีการลด

*Corresponding author
E-mail address: Thammapat.p@gmail.com (P. Thammapat)
Online print: 28 June 2021. Copyright © 2021. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. https://doi.org/10.14456/paj.2021.15

ความชื้นของผลิตภัณฑ์เสียก่อนเพื่อช่วยในการยืดอายุในการเก็บรักษาและเพื่อช่วยในกระบวนการเตรียมขมิ้นชันแห้งในการเป็นวัตถุดิบเบื้องต้นสำหรับกระบวนการอื่น ๆ การลดความชื้นเป็นการนำน้ำออกจากวัสดุไม่ว่าจะเป็นในรูปของของเหลวหรือในรูปของไอน้ำเพื่อให้วัสดุนั้น ๆ มีปริมาณความชื้นต่ำลงตามความต้องการที่เรียกว่าวิธีการอบแห้ง การอบแห้งวัสดุสามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่การอบแห้งโดยใช้แสงอาทิตย์ (การตากแดด) ซึ่งเป็นวิธีการที่ทำได้ง่าย เสียค่าใช้จ่ายน้อย แต่ยากต่อการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ สำหรับการอบแห้งระบบสุญญากาศและการอบแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบดเป็นวิธีการที่ต้องใช้ต้นทุนในการดำเนินงานสูง วิธีการที่นิยมใช้ในการอบแห้งวัสดุทางการเกษตรและผลิตผลทางการเกษตรคือการอบแห้งด้วยลมร้อน วิธีการนี้ใช้อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศอบแห้งต่ำ ทำให้ช่วยรักษากลิ่นและสีของผลิตภัณฑ์ไว้ได้ แต่ก็มีข้อเสียคือใช้เวลาในการอบแห้งค่อนข้างนานส่งผลให้สิ้นเปลืองพลังงาน วิธีการหนึ่งที่มีความน่าสนใจในปัจจุบันคือการนำรังสีอินฟราเรดไกลมาใช้ในกระบวนการอบแห้ง (Riadh, 2015) เนื่องจากรังสีอินฟราเรดไกลสามารถทะลุผ่านวัตถุโดยเฉพาะผลผลิตทางการเกษตรเข้าไปทำให้โมเลกุลของวัตถุนั้น ๆ ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนมากกว่าปกติ เป็นผลให้วัตถุนั้นมีอุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งส่งผลทำให้อัตราการอบแห้งสูงขึ้นตามไปด้วย นอกจากนี้พลังงานที่แผ่รังสีออกมาในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะไม่ทำให้คุณสมบัติทางกายภาพของวัตถุนั้นๆ ต้องเสียไป (Nathakaranakule et al., 2010) ซึ่งในปัจจุบันมีการนำรังสีอินฟราเรดไกลมาใช้ในการอบแห้งอาหารหลายชนิด เช่น ขนุน (Tirawanichakul et al., 2012) กล้วย (Swasdisevi et al., 2007) เนื้อวัว (Muga et al., 2021) กระเทียม (Papu et al., 2014) เป็นต้น

จากปัญหาและความสำคัญดังกล่าว การอบแห้งขมิ้นชันในปัจจุบันนิยมใช้การตากแห้งและการอบด้วยลมร้อนเท่านั้น ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงมุ่งเน้นการศึกษาเปรียบเทียบวิธีการอบแห้งขมิ้นชันระหว่างการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกลและการอบแห้งด้วยลมร้อนต่อคุณภาพของขมิ้นชัน ซึ่งจะเป็นแนวทางในการผลิตขมิ้นชันอบแห้งเพื่อยังคงให้มีระดับของสารเคอร์คิวมินในขมิ้นชันที่สูงและสามารถใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นที่สำคัญในการพัฒนาอุตสาหกรรมการผลิตได้อย่างครบวงจร ซึ่งเป็นการต่อยอดทางเศรษฐกิจของประเทศในการสร้างขีดความสามารถในการแข่งขันทั้งในและต่างประเทศต่อไป

วิธีการวิจัย

1. การเตรียมตัวอย่าง

การเตรียมตัวอย่างโดยนำขมิ้นชันสด (อายุที่มีความแก่ทางการค้า 9 – 11 เดือน) ซื้อจากตลาดในท้องถิ่นในจังหวัดมหาสารคามมาล้างทำความสะอาดเพื่อเอาดินและสิ่งสกปรกออก จากนั้นนำขมิ้นชันสดไปผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิอากาศห้องปกติ ทำการคัดเลือกขมิ้นชันสดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยที่เท่า ๆ กัน (0.84±0.02 นิ้ว) แล้วนำมาเข้าเครื่องสไลด์ให้มีขนาดความหนา 1 มม. ทำการสุ่มตัวอย่างเพื่อไปวิเคราะห์หาความชื้นเริ่มต้น (AOAC, 2002) จากนั้นนำไปอบแห้งขมิ้นชันตามเงื่อนไขที่กำหนด (ข้อ 2)

2. การศึกษาอัตราการอบแห้ง

นำตัวอย่างขมิ้นชัน 100 ก. ไปอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกล (λ = 15 μm – 1 mm) และลมร้อนที่ระดับอุณหภูมิ 60, 70 และ 80 °C แล้วทำการเก็บข้อมูลน้ำหนักขมิ้นชันที่เปลี่ยนแปลงระหว่างกระบวนการอบแห้งด้วยอินฟราเรดไกลและลมร้อน สำหรับการอบแห้งด้วยลมร้อนทุก ๆ 10 นาที และสำหรับการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกลทุก ๆ 5 นาที จนกระทั่งน้ำหนักและความชื้นไม่เปลี่ยนแปลง นำข้อมูลการเปลี่ยนแปลงความชื้นไปคำนวณหาอัตราการอบแห้ง โดยสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับอัตราส่วนความชื้น (Abdulla et al., 2011)

3. การศึกษาผลของการอบแห้งต่อคุณภาพของขมิ้นชัน

นำตัวอย่างขมิ้นชันที่ผ่านการสไลด์เรียบร้อยแล้ว 800 ก. ไปอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดและลมร้อนที่ระดับอุณหภูมิ 60, 70 และ 80 °C เมื่ออบแห้งจนได้ความชื้นสุดท้ายเท่ากับ8% มาตรฐานแห้ง จากนั้นนำขมิ้นชันที่แห้งแล้วไปบดจนละเอียดและร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 150 mesh เพื่อนำไปวิเคราะห์คุณภาพดังนี้

3.1 ค่าสี

วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพด้านการเปลี่ยนแปลงค่าสีด้วยเครื่องวัดสี (Colorimeter) ยี่ห้อ Hunter lab รุ่น CQXE/SAV–2 วัดในระบบ CIE L*, a* และ b* ซึ่งค่า L* คือ ค่าความสว่าง มีค่าเท่ากับ 0 – 100 ค่า +a* คือ ค่าสีแดง ค่า –a* คือ ค่าสีเขียว ค่า +b* คือ ค่าสีเหลือง ค่า –b* คือ ค่าสีน้ำเงิน

3.2 ปริมาณเคอร์คูมิน

การวิเคราะห์ปริมาณเคอร์คูมินจากวิธีของ Pawar et al. (2014) โดยใช้สารเคอร์คูมิน (Fluka, Switzerland) เป็นสารมาตรฐาน ทำการเตรียมสารละลายมาตรฐานที่ระดับความเข้มข้น 6.25, 12.50, 25, 50, 100 และ 200 มก./ล. การเตรียมตัวอย่างโดยใช้ตัวอย่างขมิ้นชันที่ผ่านการบดเรียบร้อยแล้ว 100 มก. สกัดด้วยเอทานอล 95 % ปริมาณ 50 มล.ทำการสกัดเป็นระยะเวลา 10 นาที และปรับปริมาตรให้ครบ 100 มล. กรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 4 (Whatman) หลังจากนั้นนำตัวอย่างไปทำการวิเคราะห์หาปริมาณเคอร์คูมินด้วย UV–Vis Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐาน

3.3 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total

phenolic content) โดยดัดแปลงวิธีการจาก Kragujevac (2011) ด้วยการใช้ Folin–Ciocalteu Reagent โดยนำสารสกัดจากตัวอย่าง ปริมาตร 200 ไมโครลิตร ผสมเข้ากับสารละลาย Folin–Ciocalteu Reagent ที่ความเข้มข้น 10 % ปริมาตร 125 ไมโครลิตร ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 6 นาที จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่ความเข้มข้น 7.5 % ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ในที่มืด ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 นาที แล้วจึงนำไปวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก (gallic acid) ที่ระดับความเข้มข้น 6.25, 12.50, 25, 50, 100 และ 200 มก./ล. แสดงผลเป็นค่ามก.สมมูลของกรดแกลลิกต่อตัวอย่างน้ำหนักแห้ง 100 ก. (mg GAE/100 g dry weight)

3.4 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ

การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH scavenging assay โดยดูดสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ 3 มล. ลงในสารสกัดจากตัวอย่าง 150 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันบ่มที่อุณหภูมิห้องในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV–visible spectrophotometer) ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร (Mokbel et al., 2005) เพื่อคำนวณหา % radical scavenging จากสมการ

$$\% \text{ DPPH radical scavenging} = [(X - Y) / X] \times 100$$

เมื่อ Y คือ ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง

X คือ ค่าการดูดกลืนแสงของ Control

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของขมิ้นชันตามแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติโดย Analysis of variance (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ค่าสถิติ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for Windows version 23 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการวิจัย

1. อัตราการอบแห้ง

การศึกษาอัตราการอบแห้งขมิ้นชันที่ทำการอบแห้ง 2 เงื่อนไข คือ การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกลและการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80 °C มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งขมิ้นชันแสดงดัง Figure 1 และ Figure 2

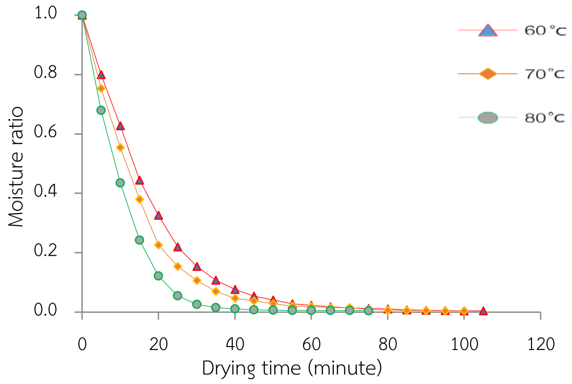


Figure 1 Effects of different temperature of infrared on drying time of turmeric.

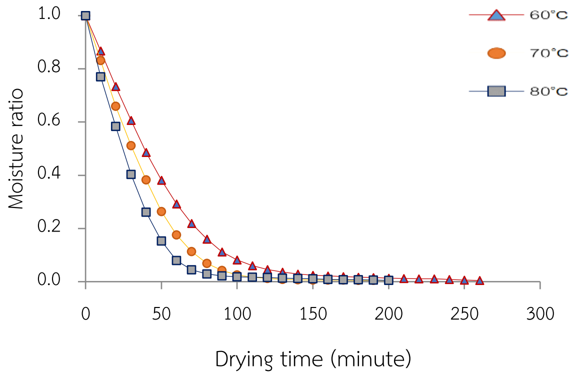


Figure 2 Effects of different temperature of hot air on drying time of turmeric.

จากการเปรียบเทียบการอบแห้งด้วยสภาวะต่าง ๆ การอบแห้งที่ระดับอุณหภูมิ 6, 70 และ 80 °C ทั้งกรณีการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกลและการอบแห้งด้วยลม พบว่าปัจจัยของอุณหภูมิอบแห้งมีผลต่ออัตราการส่วนความชื้น และการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงจะมีอัตราการอบแห้งสูงกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ ดังนั้นระยะเวลาในการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงจะใช้ระยะเวลาในการอบแห้งสั้นกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ โดยสังเกตจากกราฟระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาในการอบแห้งที่ระดับอุณหภูมิ 60, 70 และ 80 °C ทั้งกรณีการอบแห้งด้วยลมร้อนและการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกล ช่วงแรกจะมีความชันสูงเนื่องจากมีอัตราการอบแห้งสูง เมื่อระยะเวลาในการอบแห้งเพิ่มขึ้นกราฟจะมีความชันลดลงตามลำดับเนื่องจากอัตราการอบแห้งลดลง การอบแห้งที่ระดับอุณหภูมิ 80 °C ทั้งกรณีการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกลและการอบแห้งด้วยลมร้อน พบว่ากราฟมีค่าความชันสูงสุดรองลงมา คือ ที่ระดับอุณหภูมิ 70 และ 60 °C ตามลำดับ เมื่อทำการเปรียบเทียบที่ระดับอุณหภูมิเดียวกันของการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกลและการอบแห้งด้วยลมร้อน พบว่าการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกลมีอัตราการอบแห้งที่สูงกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อน

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับอัตราส่วนความชื้น

ในการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกลและการอบแห้งด้วยลมร้อนที่เงื่อนไขอุณหภูมิ 60, 70 และ 80 °C (Figure 3 และ Figure 4)

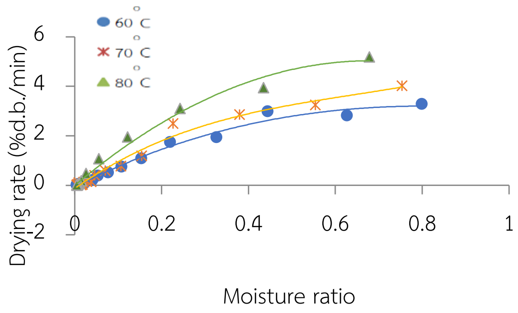


Figure 3 Relation of drying rate and moisture ratio of infrared drying of turmeric.

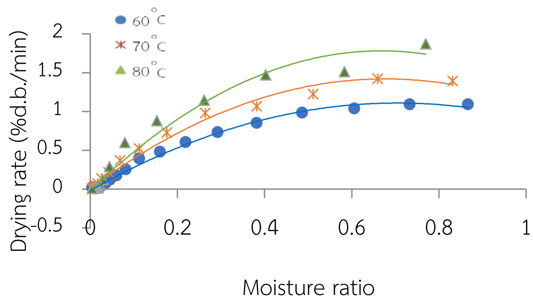


Figure 4 Relation of drying rate and moisture ratio of hot air drying of turmeric.

พบว่าอัตราการอบแห้งจะลดลงทั้งสามอุณหภูมิ ซึ่งที่อุณหภูมิ 80 °C จะพบอัตราการอบแห้งสูงที่สุด รองลงมาคือที่อุณหภูมิ 70 และ 60 °C ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าที่อุณหภูมิในการอบแห้งสูงคือ 80 °C จะมีอัตราการอบแห้งสูงกว่า 70 และ 60 °C ตามลำดับ ทั้งในการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกลและลมร้อน โดยในช่วงเริ่มต้นของการอบแห้งทั้ง 3 ระดับอุณหภูมิจะมีอัตราการอบแห้งสูงสุด เนื่องจากเป็นช่วงเริ่มต้นที่ขมิ้นชันที่ใช้ในการอบแห้งมีความชื้นเริ่มต้นยังสูงอยู่ ผิวของอาหารจะมีลักษณะเปียกชื้นมาก เกิดการถ่ายเทความร้อนระหว่างตัวกลางลมร้อนกับอาหาร ทำให้อุณหภูมิพื้นผิวอาหารมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิกระเปาะเปียก (wet bulb temperature) ของกระแสลมร้อนที่ใช้เป็นตัวกลาง อัตราการทำแห้งค่อย ๆ ลดลงเมื่ออบแห้งเป็นระยะเวลานานขึ้น (Abdulla et al., 2011) เมื่อเปรียบเทียบที่ระดับอุณหภูมิเดียวกันของการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกลและลมร้อนพบว่าการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกลมีอัตราการอบแห้งที่สูงกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อน เนื่องจากการอบแห้งด้วยการแผ่รังสีอินฟราเรดไกล เป็นการแผ่รังสีในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรดไกลจากแหล่งพลังงานความร้อนมาตก

กระทบลงบนผิวของวัสดุ แล้วรังสีทะลุทะลวงเข้าไปในวัสดุทำให้พลังงานส่วนหนึ่งของการแผ่รังสีถูกวัสดุดูดกลืนเอาไว้ และทำให้โมเลกุลของวัสดุเกิดการสั่นสะเทือนแล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนขึ้นในวัสดุ ดังนั้นน้ำที่อยู่ในโมเลกุลก็จะได้รับความร้อน และเกิดการแพร่ไปยังบริเวณผิวของวัสดุ จึงทำให้มีอัตราการอบแห้งสูงกว่าการใช้ลมร้อน (Sharma et al., 2005) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Vishwanathan et al. (2010) ที่พบว่าการอบแห้งแครอทและมะเขือเทศด้วยรังสีอินฟราเรดไกลจะมีอัตราการอบแห้งสูงกว่าลมร้อนที่ระดับอุณหภูมิเดียวกัน

2. ลักษณะทางกายภาพ เคมี และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ

2.1 การเปลี่ยนแปลงค่าสี

จากการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิในระหว่างกระบวนการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกลและการอบแห้งด้วยลมร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพสีของขมิ้นชัน (Table 1)

ขมิ้นชันที่ผ่านการอบแห้งด้วยอินฟราเรดไกลและลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 70 และ 80 °C พบว่าค่าความสว่าง (L*) ของขมิ้นชันสดมีค่าเท่ากับ 69.36 เมื่อผ่านกระบวนการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกลและลมร้อนทำให้ค่าความสว่างลดลง ($p < 0.05$) การอบแห้งด้วยอินฟราเรดไกลที่อุณหภูมิ 80 °C ค่าความสว่างสูงสุด (44.58) ส่วนการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C จะทำให้ค่าความสว่างต่ำสุด (37.49)

ค่าความเป็นสีเขียว/สีแดง (a*) ของขมิ้นชันสดมีค่าเท่ากับ 13.56 เมื่อผ่านการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกลและลมร้อนทำให้ค่าสีแดงเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบที่ระดับอุณหภูมิเดียวกัน พบว่าการอบแห้งขมิ้นชันด้วยลมร้อนมีค่าความเป็นสีแดงเพิ่มขึ้นสูงกว่าการอบแห้งขมิ้นชันด้วยรังสีอินฟราเรดไกล ($p < 0.05$)

ค่าความเป็นสีน้ำเงิน/สีเหลือง (b*) ของขมิ้นชันสดมีค่าเท่ากับ 21.21 การอบแห้งขมิ้นชันด้วยรังสีอินฟราเรดไกลและลมร้อนจะส่งผลให้ขมิ้นชันมีสีเหลืองเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบที่ระดับอุณหภูมิเดียวกันพบว่าการอบแห้งขมิ้นชันด้วยลมร้อน

มีค่าความเป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้นสูงกว่าการอบแห้งขมิ้นชันด้วยรังสีอินฟราเรดไกล ($p < 0.05$)ค่าความแตกต่างค่าสีโดยรวม (ΔE) ของขมิ้นชันที่ผ่านการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกลและลมร้อนที่ระดับอุณหภูมิ 60, 70 และ 80 °C พบว่า การอบแห้งด้วยลมร้อนมี

ค่าความแตกต่างค่าสีโดยรวมของขมิ้นชันสูงกว่าการอบแห้งด้วยอินฟราเรดไกล ($p < 0.05$) เนื่องจากการอบแห้งด้วยลมร้อนอาศัยอากาศร้อนเป็นตัวพาความชื้นออกจากผิวของขมิ้นชัน ซึ่งแตกต่างจากการให้รังสีอินฟราเรดไกลที่ทำให้โมเลกุลของวัสดุเกิด

การสั่นสะเทือนแล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนขึ้นในวัสดุ ดังนั้นการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกลจึงทำให้น้ำระเหยได้เร็วกว่าการอบแห้งโดยใช้ลมร้อน ทำให้ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งสั้นกว่าจึงทำให้การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกล

Table 1 Effects of drying methods on color characteristics of turmeric

Drying method	Temperature (°C)	L*	a*	b*	*ΔE*
Infrared drying	60	42.38±1.11[bc]	17.03±0.32[ab]	27.94±0.43[ab]	28.03±0.95[b]
	70	43.35±0.55[bc]	16.29±0.51[abc]	26.72±0.82[bc]	28.17±2.62[b]
	80	44.58±0.62[b]	15.29±0.47[bc]	26.00±0.56[c]	25.30±0.74[c]
Hot air drying	60	37.49±0.99[d]	18.42±1.02[a]	28.66±0.89[a]	33.10±0.90[a]
	70	38.16±1.55[d]	17.06±0.20[ab]	27.43±0.54[b]	32.01±1.50[a]
	80	41.16±0.94[c]	14.27±3.68[bc]	26.85±0.35[bc]	28.92±0.91[b]
Raw	-	69.36±3.07[a]	13.56±1.04[c]	21.21±0.76[d]	-

Note: Mean values ± standard deviation of determinations for triplicate samples. Values with the different superscript in each column are significantly different ($P < 0.05$).

มีการเปลี่ยนแปลงค่าความแตกต่างค่าสีโดยรวมน้อยกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อน (Sakare et al., 2020) การอบแห้งขมิ้นชันด้วยรังสีอินฟราเรดไกลที่อุณหภูมิ 80 °C มีการเปลี่ยนแปลงค่าความแตกต่างค่าสีโดยรวมต่ำสุด (25.30) ในขณะที่การอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C มีการเปลี่ยนแปลงค่าความแตกต่างค่าสีโดยรวมสูงสุด (33.10) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Vishwanathan et al. (2010) ที่พบว่าการอบแห้งแครอทและมะเขือเทศด้วยรังสีอินฟราเรดไกลจะมีการเปลี่ยนแปลงค่าสีหรือการเกิดดัชนีสีน้ำตาล (browning index) น้อยกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อน

2.2 ปริมาณเคอร์คูมิน ฟีนอลิกทั้งหมด และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ

ปริมาณเคอร์คูมิน ฟีนอลิกทั้งหมด และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของขมิ้นชันที่ผ่านการอบแห้งด้วยวิธีการที่แตกต่างกันแสดงดัง Table 2 เมื่อพิจารณาถึงอิทธิพลของระดับอุณหภูมิในการอบแห้งขมิ้นชันด้วยรังสีอินฟราเรดไกลและลมร้อนที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80 °C ต่อปริมาณสารเคอร์คิวมิน พบว่าขมิ้นชันสดมีปริมาณเคอร์คิวมินสูงสุด 19.49 ก./100 ก. (dry basis) การอบแห้งขมิ้นชันด้วยรังสีอินฟราเรดไกลและลมร้อนส่งผลให้ปริมาณเคอร์คิวมินลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) การอบแห้งด้วยลมร้อนจะส่งผลให้ปริมาณเคอร์คิวมินลดลงมากกว่าการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกล โดยการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกลที่อุณหภูมิ 80 °C จะมีปริมาณเคอร์คิวมิลดลง (15.68 ก./100 ก.) น้อยกว่าที่อุณหภูมิ 60 และ 70 °C ส่วนการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C จะมีปริมาณเคอร์คิวมินลดลง (11.79 ก./100 ก.) มากกว่าที่อุณหภูมิ 70 และ 80 °C สอดคล้องกับการศึกษาของ Jeevarathinam et al. (2021) ที่พบว่าการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกลทำให้ปริมาณเคอร์คิวมินลดลงน้อยกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเมื่อพิจารณาถึงอิทธิพลของระดับอุณหภูมิในการอบแห้งขมิ้นชันด้วยรังสีอินฟราเรดไกลและลมร้อนที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80 °C พบว่าขมิ้นชันสดมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุด 550.28 มก.สมมูลย์กรดแกลลิก/100 ก. การอบแห้งขมิ้นชันด้วยรังสีอินฟราเรดไกลและลมร้อนส่งผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) การอบแห้งด้วยลมร้อนจะส่งผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดลดลงมากกว่าการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกล โดยการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกลที่อุณหภูมิ 70 และ 80 °C จะมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดลดลงต่ำสุด 494.18 และ 494.24 มก.สมมูลย์กรดแกลลิก/100 ก. ตามลำดับ ส่วนการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C จะมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดลดลงสูงสุด (438.11 มก.สมมูลย์กรดแกลลิก/100 ก.) จากการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกลส่งผลต่อการลดลงของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดน้อยกว่าการอบแห้ง ด้วยลมร้อนเมื่อเทียบกับขมิ้นชันสด ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Wanyo et al. (2011) ที่พบว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนส่งผลต่อการลดลงของกรดฟีนอลิกในใบหม่อนมากกว่าการอบแห้งด้วยอินฟราเรดใกล้ การวิเคราะห์ฤทธิ์การอนุมูลอิสระ (DPPH radical scavenging) พบว่าขมิ้นชันสดมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระการต้านอนุมูลสูงสุด (82.01 % inhibition) เมื่อเทียบกับขมิ้นชันที่ ผ่านการอบแห้ง เมื่อพิจารณาถึงอิทธิพลของระดับอุณหภูมิในการอบแห้งขมิ้นชันด้วยรังสีอินฟราเรดไกล และลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 70 และ 80 °Cต่อฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระจะส่งผลให้ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกลที่ระดับอุณหภูมิ 80 °C มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระลดลงต่ำสุด (70.03 % inhibition) ในขณะที่การอบแห้งด้วยลมร้อนพบว่าที่ระดับอุณหภูมิของการอบแห้ง 60 °C มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระลดลงสูงสุด (54.55 % inhibition) การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกลและลมร้อนจะส่งผลต่อการลดลงของฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณสารเคอร์คิวมินและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่ลดลงในกระบวนการอบแห้งทั้งสองวิธี ซึ่งการลดลงของสารดังกล่าวจะส่งผลให้ฤทธิ์ต้านอนุมูล อิสระลดลงตามไปด้วย โดยการอบแห้งด้วยลมร้อนจะส่งผลให้ปริมาณเคอร์คิวมิน

Table 2 Effects of drying methods on curcumin, total phenolic content and DPPH radical scavenging of turmeric

Drying method	Temperature (°C)	Curcumin (g/100g)	Total Phenolic content (mg GAE/100g)	DPPH radical scavenging (% inhibition)
Infrared drying	60	14.28±0.47[cd]	472.81±4.84[c]	61.95±1.01[d]
	70	15.24±0.46[bc]	494.18±6.59[b]	64.19±0.83[c]
	80	15.68±0.39[b]	494.24±10.90[b]	70.03±0.41[b]
Hot air drying	60	11.79±0.47[e]	438.11±8.87[e]	54.55±0.98[g]
	70	13.09±0.60[d]	455.09±11.37[d]	57.16±0.99[f]
	80	13.71±0.27[d]	464.47±8.73[cd]	60.07±0.71[e]
Raw	-	19.49±1.40[a]	550.28±11.28[a]	82.01±0.60[a]

Note: Mean values ± standard deviation of determinations for triplicate samples. Values with the different superscript in each column are significantly different (P < 0.05)

สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระลดลงมากกว่าการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกล เมื่อเปรียบเทียบที่ระดับอุณหภูมิเดียวกัน สอดคล้องกับการศึกษาของ Abbaspour–Gilandeh et al. (2021) ที่ได้ทำการศึกษาผลของการอบแห้งผลซานจาด้วยวิธีการต่าง ๆ ผลการศึกษาพบว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนส่งผลต่อการลดลงของฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระมากกว่าการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด

การอบแห้งด้วยลมร้อนส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงค่าสีโดยรวม (ΔE) ปริมาณเคอร์คูมิน ฟีนอลิกทั้งหมด และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระเปลี่ยนแปลงไปจากขมิ้นชันสดมากกว่าการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกล เนื่องจากการอบแห้งด้วยลมร้อนมีอัตราการอบแห้งต่ำกว่าการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกล จึงทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งนานกว่า ทำให้ตัวอย่างสัมผัสกับความร้อนเป็นระยะเวลานาน ส่งผลให้ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระลดลงมากกว่าการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกล (Cousins et al., 2007; Lima et al., 2017) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Wanyo et al. (2011) ที่พบว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมีมากกว่าการอบแห้งด้วยอินฟราเรดใกล้

References

Abbaspour–Gilandeh, Y., Kaveh, M., Fatemi, H. & Aziz, M. (2021). Combined hot air, microwave, & infrared drying of hawthorn fruit: Effects of ultrasonic pretreatment on drying time, energy, qualitative, & bioactive compounds' properties. *Foods*, 10, 1–18.

Abdulla, S., Wen, P., Landers, R. & Yousif, B.F. (2011). Fruit drying process: Analysis, modeling & simulation. *Scientific Research & Essays*, 6(23), 4915–4924.

AOAC. (2002). *Official methods of analysis of AOAC International*. Maryland : Gaithersburg.

Asghari, G., Mostajeran, A. & Shebli, M. (2009). Curcuminoid & essential oil components of turmeric at different stages of growth cultivated in Iran. *Research in Pharmaceutical Sciences,* 4(1), 55–61.

Assawarachan, R., Nookong, M. & Amornlerdpison, D. (2013). Effects of microwave power on the drying characteristics, color & phenolic content of *Spirogyra* sp. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 11(1), 15–18.

Cousins, M., Adelberg, J., Chen, F. & Rieck, J. (2007). Antioxidant capacity of fresh & dried rhizomes from four clones of turmeric (*Curcuma longa* L.) grown in vitro. *Industrial Crops & Products*, 25(2), 129–135.

Jeevarathinam, G., Pandiselvam, R., Pandiarajan. T., Preetha, P., Balakrishnan, M., Thirupathi, V. & Kothakota, A. (2021). Infrared assisted hot air dryer for turmeric slices: Effect on drying rate & quality parameters. *LWT*, 144. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111258

Kragujevac, M.S. (2011). Total phenolic content, flavonoid concentration & antioxidant activity of *Marrubium peregrinum* L. extracts. *Kragujevac Journal of Science*, 33, 63–72.

Lima, M.S.D., Silva, M.A.P., Plácido, G.R., Cagnin, C., Vieira, N.F., Carmo, R.M., Silva, R.C.F., Castro, C.F.S., Caliari, M. & Silva, R.M. (2017). Physical & chemical characteristics & drying kinetics of turmeric (Curcuma longa L.). *African Journal of Agricultural Research*, 12(1), 28–34.

Mokbel, M., Saif, F. & Hashinaga, F. (2005). Antibacterial & antioxidant activities of banana (*Musa*, AAA cv. cavendish) fruits peel. *Asian Journal of Biotechnology*, 2, 1–4.

Muga, F. C., Marenya, M. O., & Workneh, T. S. (2021). Modelling the Thin–Layer Drying Kinetics of Marinated Beef during Infrared–Assisted Hot Air Processing of Biltong. *International*

Journal of Food Science, 2021, 8819780. https://doi.org/10.1155/2021/8819780

Nathakaranakule, A., Jaiboon, P. & Soponronnarit, S. (2010). Far infrared radiation assisted drying of longan fruit. *Journal of Food Engineering*, 100(4), 662–668.

Pawar, H., Karde, M., Mundle, N., Jadhav, P. & Mehra, K. (2014). Phytochemical evaluation & curcumin content determination of turmeric rhizomes collected from Bhandara district of Maharashtra (India). *Medical Chemistry*, 4(8), 588–591.

Papu, S., Singh, A., Jaivir, S., Sweta, S., Arya, A.M. & Singh, B.R. (2014). Effect of drying characteristics of garlic–A Review. *Food Processing & Technolog*, 5(4), 1–6.

Riadh, M.H., Ahmad,S.A.B., Marhaban, M.H. & Soh, A.C. (2015). Infrared heating in food drying: An overview. *Drying Technology*, 33(3), 322–335.

Sakare, P., Prasad, N., Thombare, N., Singh, R. & Sharma, S.C. (2020). Infrared drying of food materials: recent advances. *Food Engineering Reviews*, 12, 381–398.

Sharma, G.P., Verma, R.C. & Pathare, P. (2005). Mathematical modeling of infrared radiation thin layer drying of onion slices. *Journal of Food Engineering*, 71, 282–286.

Swasdisevi, T., Devahastin, S., Ngamchum, R. & Soponronnarit, S. (2007). Optimization of a drying process using infrared vacuum drying of Cavendish banana slices. *Songklanakarin Journal of Science & Technology*, 29(3), 809–816.

Tirawanichakul, S., Lamaepae, S. & Tirawanichakul, Y. (2012). Combined infrared/microwave & hot air drying for jackfruit: kinetics, quality & sensory analysis. *Burapha Science Journal* , 17(1), 117–129. (in Thai)

Tirawanichakul, S., Chanchiew, S. & Tirawanichakul, Y. (2013). Pennywort drying using infrared radiation: drying kinetics, energy consumption & quality aspect. *KKU Research Journal*, 18(2), 311–324. (in Thai)

Vishwanathan, K.H., Hebbar, H.U. & Raghavarao, K.S.M.S. (2010). Hot air assisted infrared drying of vegetables & its quality. *Food Science & Technology* Research16(5), 381–88.

Wanyo, P., Siriamornpun, S. & Meeso, N. (2011). Improvement of quality & antioxidant properties of dried mulberry leaves with combined far–infrared radiation & air convection in Thai tea process. *Food & Bioproducts Processing*, 89(1), 22–30

Research article

Effects of far–infrared and hot air drying methods on physical chemical and antioxidant properties of turmeric (*Curcuma longa* L.)

Pornpisanu Thammapat[1*], Weerayuth Saenmahachai[2], Supansa Boryai[2] and Kamon Ponkham[2]

[1] *Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University, Mueang, Maha sarakham 44000*
[2] *Faculty of Science and Technology, Rajabhat Maha Sarakham University, Mueang, Maha sarakham 44000*

ARTICLE INFO

Article history
Received: 14 July 2021
Revised: 6 August 2021
Accepted: 24 August 2021
Online published: 30 september 2021

Keyword
Bioactive compound
Curcumin
Drying

ABSTRACT

Turmeric (*Curcuma longa* L.) is one of the most extensively used spices and coloring agents in Asian cuisine. Rhizome of turmeric is rich in curcumin which is also an important natural pigment and has important biological activity. The aim of this study was to investigate the effect of far–infrared and hot air drying at 60, 70 and 80 °C on color changes, chemical and antioxidant properties of turmeric. For evaluating of heat sources of drying, the results showed that far–infrared drying rate is higher than drying with hot air at the same temperature. The far–infrared and hot air drying significantly affected the color of turmeric in L*, a*, b* and ΔE values ($p < 0.05$). The total color was difference increase with the decline in the drying temperature. The highest retention of color in the turmeric treated by far–infrared (80°C) may be attributed to the uniform and quick heating of the sample compared to the hot air drying. The far–infrared and hot air drying methods resulted in a decrease in curcumin, total phenolic and antioxidant activity was statistically significant ($p < 0.05$) Highlights of this research tumuric was dried by far–infrared at 80 °C has the highest of curcumin, total phenolic and antioxidant activity.

*Corresponding author
E-mail address: Thammapat.p@gmail.com (P. Thammapat)
Online print: 30 September Copyright © 2021. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. https://doi.org/10.14456/paj.2021.15

PRAWARUN AGRICULTURAL JOURNAL
https://li01.tci-thaijo.org/index.php/pajrmu/index

บทความวิจัย

การผลิตเซลล์ตรึงไซยาโนแบคทีเรียออสซิลลาทอเรีย ในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำเสียสังเคราะห์

บุรินทร์ มนตรีวิสัย[1] ธีรวัฒน์ สีทองแดง[1] ทรงกลด ใบยา[2] บงกช บุญบูรพงศ์[1] อาภรณ์ บัวหลวง[3] และ สุรศักดิ์ ละลอกน้ำ[1*]

[1]ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เขตวัฒนา กรุงเทพฯ 10110

[2]ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เขตวัฒนา กรุงเทพฯ 10110

[3]วิทยาลัยแพทยศาสตร์นานาชาติจุฬาภรณ์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

ข้อมูลบทความ

Article history
รับ : 22 กรกฎาคม 2564
แก้ไข : 10 สิงหาคม 2564
ตอบรับการตีพิมพ์ : 31 สิงหาคม 2564
ตีพิมพ์ออนไลน์: 30 กันยายน 2564

คำสำคัญ
เซลล์ตรึง
ไซยาโนแบคทีเรีย
ออกซิเจนละลายน้ำ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเซลล์ตรึงไซยาโนแบคทีเรียออสซิลลาทอเรียในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำเสียสังเคราะห์ ศึกษาสูตรเซลล์ตรึงที่เหมาะสมโดยใช้อัตราส่วนสารละลายโซเดียมอัลจิเนต (($C_6H_8O_6$)n) ความเข้มข้นร้อยละ 2.0 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร กับ สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) ความเข้มข้นร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร แปรผันความเข้มข้นของเซลล์ไซยาโนแบคทีเรียออสซิลลาทอเรีย ร้อยละ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 โดยน้ำหนักต่ปริมาตร ตั้งทิ้งไว้ในที่มีแสงสีขาว ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 120 นาที ติดตามปริมาณออกซิเจนละลายน้ำด้วยเครื่องวัดออกซิเจนละลายในน้ำ พบว่า สูตรที่ดีที่สุดในการทำเซลล์ตรึง คือ สารละลายโซเดียมอัลจิเนตความเข้มข้นร้อยละ 2.0 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และไซยาโนแบคทีเรียออสซิลลาทอเรีย ร้อยละ 2.0 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เซลล์ตรึงไซยาโนแบคทีเรียมีความสามารถในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในน้ำเสียสังเคราะห์สูงสุด เท่ากับ 7.25 มก./มล. โดยเซลล์ตรึงไซยาโนแบคทีเรียมีประสิทธิภาพในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำสูงกว่าเซลล์อิสระประมาณ 1.31 เท่า จากการศึกษาครั้งนี้อธิบายได้ว่าเซลล์ตรึงไซยาโนแบคทีเรียออสซิลลาทอเรียสามารถนำไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียได้

บทนำ

ไซยาโนแบคทีเรีย (Cyanobacteria) หรือ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (Blue–Green Algae) เป็นสิ่งมีชีวิตพวกโพรคาริโอต สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้ เนื่องจากมีรงควัตถุคลอโรฟิลล์และไฟโคไซยานิน ได้ผลผลิตเป็นสารประกอบคาร์บอน และ แก๊สออกซิเจน (Bualuang et al. 2013; Johnson. 2006; Laloknam & Boonburapong. 2012) ไซยาโนแบคทีเรีย (cyanobacteria) เป็นสิ่งมีชีวิตชนิดโพรคาริโอต (prokaryote) มีทั้งเซลล์เดี่ยวหลายเซลล์ และ เส้นสาย เช่น แอนาบีนา (Anabaena) นอสตอก (Nostoc) สไปรูไลน่า (Spirulina) และ ออสซิลลาทอเรีย (Oscillatoria) มีประโยชน์หลายด้าน เช่น ด้านการเกษตร ด้านอุตสาหกรรมอาหาร ด้านอุตสาหกรรมยาและเครื่องสำอาง (Charoenman et al. 2021; Danyuttasilp & Laloknam. 2013; Laloknam et al. 2014; Laloknam et al. 2017; Poolsawasdi et al. 2015; Shen. 2017; Sarma et al. 2016; Suktalord et al. 2016; Thajuddin & Subramanian. 2005) นอกจากนี้มีรายงาน

[*]Corresponding author
E-mail address: surasak2515@hotmail.com (S. Laloknam)
Online print: 30 September 2021 Copyright © 2021. This is an open access article, production and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. https://doi.org/10.14456/paj.2021.16

การใช้ไซยาโนแบคทีเรียอิสระชนิดออสซิลลาทอเรีย (*Oscillatoria* sp.) ที่เป็นไซยาโนแบคทีเรียชนิดเส้นสายที่แยกได้จากแหล่งน้ำคลองแสนแสบบริเวณท่าเรือประสานมิตร มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ มีความสามารถในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ และ น้ำในคลองแสนแสบ รวมถึงใช้เป็นดัชนีบ่งชี้คุณภาพน้ำทางชีวภาพ (Danyuttasilp & Laloknam. 2013; Suktalord et al. 2016;)

น้ำเป็นทรัพยากรที่มนุษย์นำมาใช้ประโยชน์ในด้าน การเกษตร การประมง อุปโภคบริโภค อุตสาหกรรม และ การคมนาคม นอกจากนี้มีการปล่อยน้ำเสียที่มีการบำบัดไม่ถูกวิธีลงแหล่งน้ำ ทำให้คุณภาพของน้ำเสื่อมโทรมลง ส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ เนื่องจากดัชนีคุณภาพน้ำเปลี่ยนแปลงไป เช่น ค่าความเป็นกรดเบสเปลี่ยนไปเป็นกรด และ ปริมาณออกซิเจนในแหล่งน้ำลดลง โดยทั่วไปพิจารณาดัชนีคุณภาพน้ำที่บ่งบอกความสามารถในการนำน้ำไปใช้ประโยชน์ คือ ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (dissolved oxygen: DO) เป็นการบอกปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ ในกรณีที่นำน้ำไปใช้ประโยชน์ทางด้านการประมง ค่าออกซิเจนละลายน้ำต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 6 มก./ล. และ การนำไปใช้ประโยชน์ทางด้านการเกษตร ค่าออกซิเจนละลายน้ำต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 4 มก./ล. และเมื่อต้องการนำน้ำจากแหล่งน้ำเสียไปใช้ในการอุปโภคบริโภค ควรมีการบำบัดน้ำให้ได้ค่ามาตรฐานของการนำน้ำไปใช้ประโยชน์ การบำบัดน้ำเสียมีหลายวิธี ได้แก่ 1) การบำบัดทางกายภาพใช้เครื่องมือในการตีน้ำเพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ 2) การบำบัดทางเคมีใช้สารเคมีทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีทำให้เกิดการตกตะกอน และ 3) การบำบัดทางชีวภาพใช้สิ่งมีชีวิตที่มีความสามารถในการสังเคราะห์ด้วยแสง เช่น พืช สาหร่าย และ ไซยาโนแบคทีเรีย (Laloknam & Sirisopana, 2011; Pollution control department, 2020; Shen et al., 2017)

การบำบัดน้ำเสียหรืองานด้านอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มผลผลิตโดยใช้การตรึงเซลล์ (immobilization) เป็นการนำเซลล์มายึดติดไว้กับวัสดุใด ๆ ที่สามารถขึ้นรูปได้เพื่อเพิ่มความทนทานของเซลล์ในการใช้งาน และสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ซ้ำหลายครั้ง เพราะเซลล์ตรึงสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการทำงานตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการมากกว่าเซลล์อิสระ (Daemi & Barikani. 2012; Kaur et al., 2018; Kongsook et al., 2020; Kumar et al., 2011; Li et al. 2018; Mrudula & Shyam. 2012; Rahman et al. 2006; Ying. 2007; Zhang et al. 2004) นอกจากนี้มีการรายงานนำเซลล์ไซยาโนแบคทีเรียในรูปแบบเซลล์ตรึงไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนโลหะหนัก เช่น นอสตอก แอนาบีนา และ ออสซิลลาทอเรีย (Singh et al. 1989; Brouers & Hall. 1986; Lee et al. 1995; Bestawy. 2019; Kosourov et al. 2014) จากข้อมูลมีรายงานที่มีการใช้เซลล์ตรึงไซยาโนแบคทีเรียในการบำบัดเสียเพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนในเสียจำนวนน้อย มีเพียงรายงานของ Montrewisai et al. (2021) รายงานว่าเซลล์ตรึงไซยาโนแบคทีเรียนอสตอก แอนาบีนา และ สไปรูไลน่า สามารถเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำเสียสังเคราะห์ได้ และ ยังไม่มีรายงานในการนำไซยาโนแบคทีเรียออสซิลลาทอเรียมาทำเซลล์ตรึงเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำเสีย งานวิจัยนี้จึงมีแนวทางในการนำเซลล์ *Oscillatoria* sp. SWU121 ได้มาจากการคัดแยกจากแหล่งน้ำคลองแสนแสบบริเวณท่าเรือประสานมิตร มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ และ มีรายงานว่าเซลล์ออสซิลลาทอเรียอิสระสามารถเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำเสียจากคลองแสนแสบในห้องปฏิบัติการได้ (Danyuttasilp & Laloknam, 2013) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตเซลล์ตรึงไซยาโนแบคทีเรียออสซิลลาทอเรีย *Oscillatoria* sp. SWU121 ที่มีความสามารถในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำเสียสังเคราะห์ และเปรียบเทียบความสามารถในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำเสียสังเคราะห์กับเซลล์ออสซิลลาทอเรียอิสระ เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการบำบัดน้ำเสียที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำกว่าค่ามาตรฐานในการนำไปใช้ประโยชน์ของแหล่งน้ำผิวดินเพื่อการเกษตรและการประมงต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

การเตรียมไซยาโนแบคทีเรียออสซิลลาทอเรีย

ทำการเพาะเลี้ยงไซยาโนแบคทีเรียออสซิลลาทอเรีย (*Oscillatoria* sp. SWU121) ตามวิธีของ Laloknam et al. (2014) โดยนำเซลล์ออสซิลลาทอเรีย ปริมาตร 1 มล. ใส่ในอาหารเหลวชนิด BG11 พีเอช 7.5 ที่เตรียมใหม่ 100 มล. เพาะเลี้ยงภายใต้แสงสีขาว 3,000 ลักซ์ อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 14 วัน จากนั้นทำการรวบรวมตะกอนเซลล์โดยนำไปปั่นแยกด้วยเครื่องเซนตริฟิวจ์ (centrifuge) ที่ความเร็วรอบ 5,000 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 10 นาที และนำตะกอนเซลล์ไปทำการทดลองต่อไป

การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์

น้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้มีแนวคิดให้น้ำเสียมีปริมาณของสารเคมีกลุ่มที่มีแหล่งคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ และจำลองสถานการณ์ให้แหล่งน้ำเมื่อได้รับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เพิ่มขึ้นจะมีการเปลี่ยนแปลงไปเป็นสารประกอบที่มีขั้วประเภทคาร์บอเนต (CO_3^{2-}) และ ไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) โดยน้ำเสียสังเคราะห์ที่เลือกใช้ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์เพื่อการประมงได้ ดังนั้น ค่าออกซิเจนละลายน้ำต้องน้อยกว่า 6.0 มก./ล. เมื่อวัดด้วยเครื่องวัดออกซิเจนละลายน้ำ (DO meter) ดังนั้นเลือกความเข้มข้นโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ร้อยละ 2.0 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ให้ค่าออกซิเจนละลายน้ำ คือ 4.2 มก./ล. เป็นภาวะของน้ำเสียสังเคราะห์ในการศึกษาครั้งนี้

ศึกษาผลของเซลล์ออสซิลลาทอเรียอิสระต่อการเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำเสียสังเคราะห์

ชั่งเซลล์ออสซิลลาทอเรีย ปริมาณ 0.2 ก. จากนั้นนำเซลล์ออสซิลลาทอเรียศึกษาความสามารถในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำเสียสังเคราะห์ใช้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร จำนวน 100 มล. ทำการวัดค่าออกซิเจนละลายน้ำทุก 15 นาที เป็นระยะเวลา 120 นาที ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

ศึกษาผลความเข้มข้นของเซลล์ออสซิลลาทอเรียในการผลิตเซลล์ตรึงออสซิลลาทอเรียต่อการเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำเสียสังเคราะห์

ชั่งเซลล์ออสซิลลาทอเรีย ปริมาณ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 3.0 ก. ผสมกับสูตรเซลล์ตรึงโดยดัดแปลงตามวิธีของ Montrewisai et al (2021) ใช้สารละลายแคลเซียม ($CaCl_2$) ความเข้มข้นร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และ สารละลายโซเดียมอัลจิเนต ($(C_6H_8O_6)_n$) ความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร จากนั้นนำเซลล์ตรึงออสซิลลาทอเรียที่ได้ทั้งหมดของแต่ละความเข้มข้นศึกษาความสามารถในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำเสียสังเคราะห์ใช้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร จำนวน 100 มล. ทำการวัดค่าออกซิเจนละลายน้ำทุก 15 นาที เป็นระยะเวลา 120 นาที ทำการทดลอง 3 ซ้ำ แล้วคัดเลือกเซลล์ตรึงออสซิลลาทอเรียที่เหมาะสมไปทำการศึกษาประสิทธิภาพในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนต่อไป

การศึกษาประสิทธิภาพของเซลล์ตรึงออสซิลลาทอเรียในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำเสียสังเคราะห์

ทำการเปรียบเทียบความสามารถในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำเสียสังเคราะห์ของเซลล์ออสซิลลาทอเรียอิสระและเซลล์ตรึงออสซิลลาทอเรีย โดยใช้ปริมาณเซลล์เท่ากัน จำนวน 1 ก. ในรูปแบบเซลล์ออสซิลลาทอเรียอิสระและเซลล์ตรึงออสซิลลาทอเรีย ศึกษาความสามารถในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำเสียสังเคราะห์ใช้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร จำนวน 100 มล. ทำการวัดค่าออกซิเจนละลายน้ำทุก 15 นาที เป็นระยะเวลา 120 นาที ทำการทดลอง 3 ซ้ำ คำนวณหาประสิทธิภาพของเซลล์ออสซิลลาทอเรียอิสระ และเซลล์ตรึงออสซิลลาทอเรีย และคำนวณเป็นร้อยละ

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การทดลองจากการวิจัยจัดทำทั้งหมด 3 ซ้ำ โดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ Completely Randomized Design (CRD) วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และ เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$)

ผลการวิจัย

ศึกษาผลของเซลล์ออสซิลลาทอเรียอิสระในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำเสียสังเคราะห์

นำเซลล์ออสซิลลาทอเรีย ปริมาณ 0.2 ก. ทดสอบความสามารถในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำเสียสังเคราะห์ปริมาตร 100 มล. เปรียบเทียบกับชุดควบคุม (Control) ที่ไม่มีเซลล์ออสซิลลาทอเรีย ติดตามปริมาณค่าออกซิเจนละลายน้ำ ทุก ๆ 15 นาที เป็นระยะเวลา 120 นาที แสดงผลดัง Figure 1

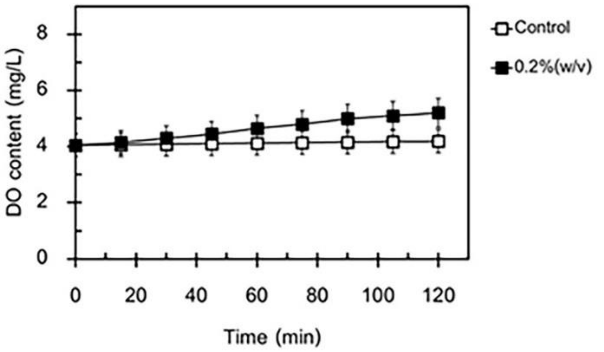


Figure 1 The potential of free *Oscillatoria* sp. cells to increase oxygen contents in synthetic wastewater for 120 min. (n=3)

จาก Figure 1 พบว่า ออสซิลลาทอเรียความเข้มข้นร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร สามารถเพิ่มปริมาณค่าออกซิเจนละลายน้ำในน้ำเสียสังเคราะห์ได้สูงกว่าภาวะควบคุมประมาณ 1 มก./ล. หรืออัตราเร็ว 0.008 ออกซิเจนละลายน้ำต่อนาที แสดงว่าเซลล์อิสระมีความสามารถในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ได้ และเป็นการทดลองนำร่องที่จะนำเซลล์อิสระไปศึกษาผลของการเพิ่มปริมาณเซลล์ในการทำเซลล์ตรึงต่อไป สอดคล้องกับผลการวิจัยของ Montrewisai et al. (2021) รายงานว่าการเพิ่มปริมาณเซลล์อิสระไซยาโนแบคทีเรียทำให้ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำสูงขึ้น

ผลความเข้มข้นของเซลล์ออสซิลลาทอเรียต่อการทำเซลล์ตรึงออสซิลลาทอเรีย

จากการแปรผันความเข้มข้นของเซลล์ออสซิลลาทอเรียความเข้มข้นร้อยละ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 3.0 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ผสมกับสูตรเซลล์ตรึงที่มีสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) ความเข้มข้นร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และโซเดียมอัลจิเนต ($(C_6H_8O_6)_n$) ความเข้มข้นร้อยละ 2.0 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นำไปศึกษาความสามารถในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำเสียสังเคราะห์ แสดงดัง Figure 2

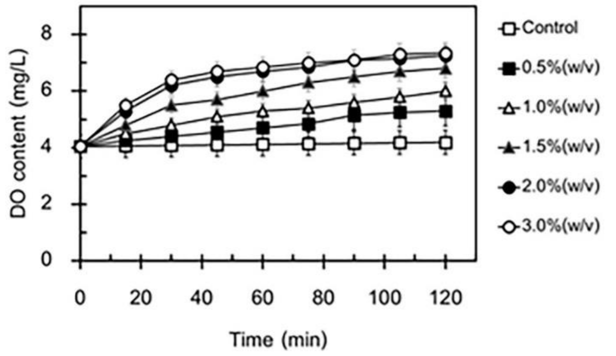


Figure 2 Effects of cyanobacterial cell concentration in immobilized cyanobacterial cells to increase oxygen contents in synthetic wastewater for 120 min. (n=3)

จาก Figure 2 พบว่า เซลล์ตรึงออสซิลลาทอเรียที่มีปริมาณเซลล์ออสซิลลาทอเรีย ปริมาณเพิ่มขึ้นมีแนวโน้มในการเพิ่มค่าออกซิเจนละลายในน้ำสูงขึ้น โดยเซลล์ตรึงออสซิลลาทอเรียที่มีความเข้มข้นร้อยละ 3.0 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ให้ค่าออกซิเจนละลายน้ำสูงที่สุด รองลงมา คือ เซลล์ตรึงออสซิลลาทอเรียที่มีความเข้มข้นร้อยละ 2.0, 1.5, 1.0 และ 0.5 ตามลำดับโดยเซลล์ตรึงควบคุมที่ไม่มีเซลล์ออสซิลลาทอเรียไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าออกซิเจนละลายน้ำ นอกจากนี้ความสามารถในการเพิ่มค่าออกซิเจนละลายน้ำของเซลล์ตรึงออสซิลลาทอเรียความเข้มข้นร้อยละ 2.0 และ 3.0 มีความใกล้เคียงกัน ประมาณ 7.0 มก./ล. เป็นระยะเวลา 120 นาที ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์หาอัตราเร็วในการเพิ่มค่าออกซิเจนละลายในน้ำของเซลล์ตรึงออสซิลลาทอเรีย แสดงดัง Figure 3

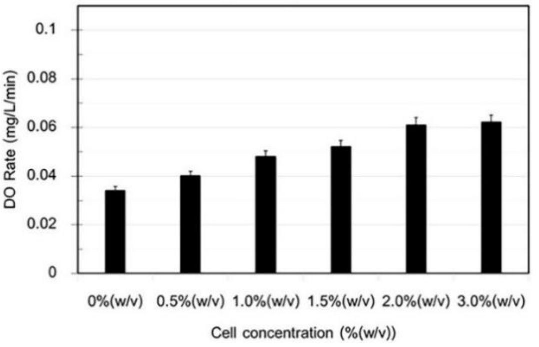


Figure 3 Effects of cyanobacterial cell concentration in immobilized cyanobacterial cells on dissolved oxygen rate in synthetic wastewater for 120 min. (n=3)

จาก Figure 3 พบว่า เซลล์ตรึงออสซิลลาทอเรียที่มีอัตราเร็วในการเพิ่มค่าออกซิเจนละลายน้ำในน้ำเสียสังเคราะห์ดีที่สุด คือ ความเข้มข้นร้อยละ 3.0 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร รองลงมา คือ ความเข้มข้นร้อยละ 2.0, 1.5, 1.0 และ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ตามลำดับ ทั้งนี้เซลล์ตรึงออสซิลลาทอเรียความเข้มข้นร้อยละ 2.0 และ 3.0 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร มีอัตราเร็วในการเพิ่มค่าออกซิเจนละลายน้ำไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่มีความแตกต่างจากความเข้มข้นอื่น ๆ ที่ใช้ในการวิจัยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังนั้นจึงเลือกเซลล์ตรึงออสซิลลาทอเรียความเข้มข้นร้อยละ 2.0 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ไปทำการศึกษาประสิทธิภาพในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนเปรียบเทียบกับเซลล์ออสซิลลาทอเรียอิสระต่อไป

ศึกษาประสิทธิภาพในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้เซลล์ตรึงออสซิลลาทอเรีย

จากการศึกษาประสิทธิภาพของการเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำเสียสังเคราะห์โดยการเปรียบเทียบระหว่างเซลล์ออสซิลลาทอเรียอิสระกับเซลล์ตรึงออสซิลลาทอเรีย ที่มีปริมาณเซลล์ออสซิลลาทอเรียนเท่ากันในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ความเข้นข้นร้อยละ 2.0 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ปริมาตร 100 มล. โดยใช้เซลล์ออสซิลลาทอเรียอิสระจำนวน 2 ก. และ เซลล์ตรึงออสซิลลาทอเรียที่มีเซลล์ออสซิลลาทอเรีย จำนวน 2 ก. เปรียบเทียบความสามารถในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนละลายน้ำด้วยเครื่องวัดค่าออกซิเจนละลายน้ำ ทุก ๆ 15 นาที เป็นระยะเวลา 120 นาที แสดงดัง Figure 4

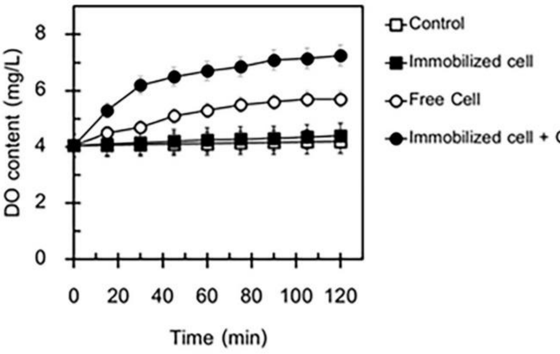


Figure 4 The comparison of free cells, immobilized cells and immobilized cyanobacteria cells to increase oxygen contents in synthetic wastewater for 120 min. (n=3)

จาก Figure 4 พบว่า เซลล์ตรึงออสซิลลาทอเรียเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำเสียสังเคราะห์ได้สูงสุดในระยะเวลา 120 นาที ให้ค่าออกซิเจนละลายน้ำ เท่ากับ 7.25 มก./ล. รองลงมา คือ เซลล์ออสซิลลาทอเรียอิสระ เท่ากับ 5.52 มก./ล. ในขณะที่เซลล์ตรึงที่ไม่มีเซลล์ออสซิลลาทอเรีย และ ภาวะควบคุม ไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าออกซิเจนละลายน้ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนละลายน้ำของเซลล์ตรึงออสซิลลาทอเรียและเซลล์ออสซิลลาทอเรียอิสระ พบว่าเซลล์ตรึงออสซิลลาทอเรียมีประสิทธิภาพในการเพิ่มค่าออกซิเจนละลายได้ดีกว่าเซลล์ออสซิลลาทอเรียอิสระประมาณ 1.31 เท่า

วิจารณ์ผลการวิจัย

ไซยาโนแบคทีเรียที่ใช้ในการศึกษา คือ *Oscillatoria* sp. SWU121 แยกได้จากคลองแสนแสบ บริเวณท่าเรือประสานมิตร มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กรุงเทพมหานคร เมื่อศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์มีลักษณะเป็นเส้นสายที่มีเซลล์เรียงต่อกันภายในมีรงควัตถุคลอโรฟิลล์สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้ มีความสามารถในการสังเคราะห์ด้วยแสงคล้ายกับพืช ดังนั้นเมื่อแหล่งน้ำมีไซยาโนแบคทีเรียจึงทำให้เพิ่มปริมาณออกซิเจนในแหล่งน้ำให้กับสิ่งมีชีวิตในน้ำได้ (Bualuang et al. 2013; Johnson. 2006; Laloknam & Boonburapong. 2012) และ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Danyuttasilp & Laloknam (2013) ศึกษาการเพิ่มปริมาณออกซิเจนในแหล่งน้ำคลองแสนแสบในระดับห้องปฏิบัติการ พบว่า ออสซิลลาทอเรีย แอนาบีนา นอสตอก และ สไปรูไลน่า สามารถเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำเสียจากคลองแสนแสบได้ นอกจากนี้การเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำได้ต้องอาศัยปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ได้แก่ ปริมาณสารตั้งต้น ปริมาณ รงควัตถุหรือเซลล์ของสิ่งมีชีวิต อุณหภูมิ และ พีเอชของแหล่งน้ำ และ แสง ดังนั้นการทดลองนี้ใช้น้ำเสียสังเคราะห์จากโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) เนื่องจากเมื่อละลายน้ำจะให้ ไอออนของคาร์บอเนต (CO_3^{2-}) และสามารถเปลี่ยนเป็นไอออนของไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) เป็นการจำลองสถานการณ์ที่แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ละลายน้ำ (H_2O) จะมีการเปลี่ยนแปลงไปสู่ไอออนของคาร์บอเนต (CO_3^{2-}) และ ไอออนของไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) ตามวัฏจักรของคาร์บอน (Carbon cycle) และทำให้พืชหรือสิ่งมีชีวิตในน้ำที่มีความสามารถในการสังเคราะห์ด้วยแสงดูดซึมเข้าไปเป็นสารตั้งต้นและให้แก๊สออกซิเจนละลายในน้ำ ดังนั้นเซลล์ไซยาโนแบคทีเรียอิสระที่ใช้ในการศึกษามีความสามารถใช้แหล่งคาร์บอนที่เป็นไอออนคาร์บอเนตและไอออนไบคาร์บอเนตทุกความเข้มข้นได้จึงสามารถนำไปสู่กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงได้และให้แก๊สออกซิเจนเป็นผลผลิตออกมา และโดยปกติไอออนคาร์บอเนตและไอออนไบคาร์บอเนตเมื่อละลายน้ำจะให้มีภาวะเป็นเบส ซึ่งไซยาโนแบคทีเรียมีความสามารถในการเจริญเติบโตในภาวะที่เป็นเบสได้ดีในช่วงพีเอช 8 – 10 (Bualuang et al. 2013; Montrewisai. 2021; Ying. 2007)

การทำเซลล์ตรึงในสิ่งมีชีวิตส่วนมากใช้ปฏิกิริยาระหว่างสารละลายโซเดียมอัลจิเนต ($(C_6H_8O_6)_n$) และสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) ได้ผลิตภัณฑ์เป็นของแข็งที่มีลักษณะใสมีความหนืดและความยืดหยุ่นโดยการทำปฏิกิริยาต้องใช้ความเข้มข้นที่เหมาะสม (Mrudula & Shyam. 2012; Daemi & Barikani. 2012; Kaur et al. 2018; Li et al. 2018) มีรายงานที่ทำเซลล์ตรึงไซยาโนแบคทีเรียในการบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนักใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมอัลจิเนต ($(C_6H_8O_6)_n$) และสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) แตกต่างกัน (Singh et al. 1989; Brouers & Hall. 1986; Lee et al. 1995; Bestawy. 2019; Kosourov. 2014) การศึกษาครั้งนี้ทำการผลิตเซลล์ตรึงโดยดัดแปลงจาก Montrewisai et al. (2021) ที่ศึกษาการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้เซลล์ตรึงจากไซยาโนแบคทีเรียชนิด แอนาบีนา นอสตอก และ สไปรูไลน่า โดยใช้เซลล์ตรึงภาวะที่เหมาะสม คือ สารละลายโซเดียมอัลจิเนต ($(C_6H_8O_6)_n$) ความเข้มข้นร้อยละ 2.0 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) ความเข้มข้นร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ซึ่งมีความคงทนและความสามารถในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ความเข้มข้นร้อยละ 2.0 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และ เซลล์ตรึงไซยาโนแบคทีเรียมีความสามารถในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนมากกว่าเซลล์ไซยาโนแบคทีเรียอิสระ

จากการศึกษาครั้งนี้เซลล์ตรึงออสซิลลาทอเรียมีความสามารถในการเพิ่มออกซิเจนได้มากกว่าเซลล์ออสซิลลาทอเรียอิสระ เนื่องจากเซลล์ตรึงเป็นการรวมกลุ่มของเซลล์ไว้ด้วยกันในพื้นที่จำกัดจึงมีการสนับสนุนกันให้เพิ่มกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ด้วยระบบที่ใช้ในการศึกษาเป็นการตั้งไว้ไม่มีการเขย่า ดังนั้นเมื่อตั้งทิ้งไว้ เซลล์อิสระจะอยู่ที่บริเวณก้นของภาชนะ ในขณะที่เซลล์ตรึงออสซิลลาทอเรียจะมีลักษณะเป็นเม็ดทรงกลมเล็ก ๆ เรียงซ้อนกันเมื่อสังเกตด้วยตาเปล่าพบว่าฟองอากาศที่เป็นแก๊สออกซิเจนของเซลล์ตรึงจะมีการรวมกันและลอยขึ้นจนสามารถสังเกตได้จากบริเวณเซลล์ตรึง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Montrewisai et al. (2021) เซลล์ตรึงไซยาโนแบคทีเรียมีความสามารถเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำเสียสังเคราะห์มากกว่าเซลล์ไซยาโนแบคทีเรียอิสระ ดังนั้นการศึกษานี้จึงเป็นแนวทางในการนำเซลล์ตรึงออสซิลลทอเรียไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำต่อไป เนื่องจากเซลล์ตรึงออสซิลลาทอเรียมีความสามารถในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำเสียสังเคราะห์สูงกว่าเซลล์ออสซิลลาทอเรียแบบอิสระประมาณ 1.31 เท่า

สรุปผลการวิจัย

การผลิตเซลล์ตรึงออสซิลลาทอเรียที่มีความสามารถในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำเสียสังเคราะห์ได้สูงสุด คือ สูตรผสมเซลล์ตรึงที่มีสารละลายโซเดียมอัลจิเนต ($(C_6H_8O_6)_n$) ความเข้มข้นร้อยละ 2.0 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) ความเข้มข้นร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และมีเซลล์ออสซิลลาทอเรีย ปริมาณ 2.0 ก. ซึ่งเซลล์ตรึงออสซิลลาทอเรียมีประสิทธิภาพในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำเสียสังเคราะห์สูงกว่าเซลล์ออสซิลลาทอเรียอิสระ ประมาณ 1.31 เท่า

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันยุทธศาสตร์ทางปัญญาที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยในรูปแบบ R2R (080/2564) ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไปและ

ภาควิชาชีววิทยาที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่เครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ ในการทำวิจัย

References

Bestawy, E.E. (2019). Efficiency of immobilized cyanobacteria in heavy metals removal from industrial effluents. *Desalination & Water Treatment*, 159, 66–78.

Brouers, M., & Hall, D.O. (1986). Ammonia & hydrogen production by immobilized cyanobacteria. *Journal of Biotechnology*, 3 (5–6), 307–321.

Bualuang, A., Kongwithtaya, S., & Laloknam, S. (2013). Application of Micro–Alga. *Journal of Research Unit on Science, Technology & Environment for Learning*, 4(1), 72–79. (in Thai)

Charoenman, V., Phetprom, N., Boonburapong, B., Bualuang, A., & Laloknam, S. (2021). Optimization of cellulose extraction from filamentous cyanobacteria. *In: Proceedings of 14th University Research Network National Conference.* Bangkok: Srinakharinwirot University, 701–711. (in Thai)

Daemi, H., & Barikani, M. (2012). Synthesis & characterization of calcium alginate nanoparticles, sodium homopoly–mannuronate salt & its calcium nanoparticles. *Scientia Iranica*, 19(6), 2023–2028.

Danyuttasilp, Y., & Laloknam, S. (2013). Increasing of oxygen gas in waste water from Saen Sab Canal using filamentous Cyanobacteria. *Advance Science Journal*, 13(2), p. 24– 34. (in Thai)

Johnson, D. (2006). The Manganese–calcium oxide cluster of Photosystem II & its assimilation by the Cyanobacteria. Tallahassee: Department of Chemistry Florida State University.

Kaur, N., Singh, B., & Sharma, S. (2018). Hydrogel for potential food application: Effect of sodium alginate & calcium chloride on physical & morphological properties. *The Pharma Innovation Journal,* 7(7), 142–148.

Kongsook, S., Nasaree, T., Khotsa, S., Rungrot, N., Phonchaiya, S., & Wuttisela, K. (2020). Synthesis & characterization of coloured calcium alginate noodles. *Journal of Science & Science Education,* 3(1), 1–7.

Kosourov, S., Leino, H., Murukesan, G., Lynch, F., Sivonen, K., Tsygankov, A.A., Aro, E.M., & Allahverdiyeva, Y. (2014). Hydrogen Photoproduction by Immobilized N2–Fixing Cyanobacteria: Understanding the Role of the Uptake Hydrogenase in the Long–Term Process. *Applied & Environmental Microbiology*, 80(18), 5807–5817.

Kumar, M.S., Rajeshwari, A., Johnson, S., Thajuddin, N., & Gunasekaran, M. (2011). Removal of Pb (II) by Immobilized & Free Filaments of Marine Oscillatoria sp. NTMS01 & Phormidium sp. NTMS02. *Bulletin of Environmental Contamination & Toxicology*, 87(3), 254–259.

Laloknam, S., & Boonburapong, B. (2012). Potential of Cyanobacteria in Thailand. *Journal of Research Unit on Science, Technology & Environment for Learning*, 3(2), 149–154. (in Thai)

Laloknam, S., & Sirisopana, S. (2011). Learning Achievement & Learning Retention of Local Lower Secondary Students with an Activity Package of Basic Water Quality Tests. *Journal of Research Unit on Science, Technology & Environment for Learning*, 2(2), 119–131. (in Thai)

Laloknam, S., Kanchitanurak, P., Boonburapong, B., Rai, V., & Kongvitthaya, S. (2014). Inorganic & Organic Compounds of Freshwater Filamentous Cyanobacteria under Normal & Salt Stress Conditions. *Journal of Chemistry & Chemical Engineering*, 8: 1059–1067.

Laloknam S., Panjapatanasiri, J., Sookchuay, N., & Klongkian, S. (2017). Cellulose extraction from Macro–Alga. in: *Proceedings of 10th SWU Research National Conference.* Bangkok: Srinakharinwirot University, 701–711. (in Thai)

Lee, C.M., Lu, C., Lu, W.M., & Chen, P.C. (1995). Removal of Nitrogenous Compounds from Wastewaters using Immobilized Cyanobacteria Anabaena CH_3. *Environmental Technology,*16(8), 701–713.

Li, J., Ma, J., Chen, S., He, J., & Huang, Y. (2018). Characterization of calcium alginate/deacetylated konjac glucomannan blend films prepared by Ca2+ crosslinking & deacetylation. *Food Hydrocolloids*, 82, 363–369.

Montrewisai, B., Seethongdaeng, T., Baiya, S., Boonburapong, B., Bualuang, A., & Laloknam, S. (2021). Potential of immobilized cyanobacteria on increasing of oxygen contents in synthetic waste water. in: *Proceedings of 14th University Research Network National Conference*. Bangkok: Srinakharinwirot University, 701–711. (in Thai)

Mrudula, S., & Shyam, N. (2012). Immobilization of Bacillus megaterium MTCC 2444 by Ca–alginate entrapment method for enhanced alkaline protease production. *Brazilian Archives of Biology & Technology*. 55(1), 135–144.

Pollution control department. (2020). *Ground water quality standard.* Retrieved July 15, 2020 from http://pcd.go.th/info_serv/reg_std_water.html

Poolsawasdi, A., Yadee, S., Boonburapong, B., & Laloknam, S. (2015). Potential of cyanobacterium Oscillatoria sp. SWU121 to promote the rice growth under salt stress condition. *Journal of Research Unit on Science, Technology & Environment for Learning,* 6(2), 243–255. (in Thai)

Rahman, R.N., Ghaza, F.M., Salleh, A.B., & Basri, M. (2006). Biodegradation of hydrocarbon contamination by immobilized bacterial cells. *Journal of Microbiology, 44(3), 354–359.*

Sarma, M.K., Kaushik, S., & Goswami, P. (2016). Cyanobacteria: A metabolic power house for harvesting solar energy to produce bio–electricity & biofuel. *Biomass & Bioenergy*, 90, 187–201.

Shen, Y., Gao, J., & Li, L. (2017). Municipal wastewater treatment via co–immobilized microalgal–bacterial symbiosis: Microorganism growth & nutrients removal. *Bioresource Technology*, 1(243), 905–913.

Singh, S.P., Verma, S.K., Singh, R.K., & Pandey, P.K. (1989). Copper uptake by free & immobilized cyanobacterium. *FEMS Microbiology Letters*, 60(2), 193–196.

Suktalord, P., Pratsaphan, R., Rakchad, S., Petchpool, T., Kerdsombat, P., & Laloknam S. (2016). The Use of Alga as Water Quality Indicator in Sansab Canal. *Journal of Research Unit on Science, Technology & Environment for Learning*, 7(1), 14–27. (in Thai)

Thajuddin, N., & Subramanian, G. (2005). Cyanobacterial biodiversity & potential applications in biotechnology. *Current science*, 89, 47–57.

Ying, Z. (2007). Immobilized cell fermentation for production of chemicals & fuels. *Bioprocessing for Value–Added Products from Renewable Resources*, 373–396.

Zhang, Y.Q., Tao, M.L., Shen, W.D., Zhou, Y.Z., Ding, Y., Ma, Y., & Zhou, W.L. (2004). Immobilization of

L–asparaginase on the microparticles of the natural silk sericin protein & its characters. *Biomaterials,* 25(17), 3751–3759

Research article

Production of immobilized cyanobacteria oscillatoria for increasing of oxygen contents in synthetic wastewater

Burin Montrewisai[1], Teerawat Seethongdaeng[1], Songklod Baiya[2], Bongkoj Boonburapong[1], Aporn Bualuang[3] and Surasak Laloknam[1*]

[1]*Department of General Science, Faculty of Science, Srinakharinwirot University, Watthana, Bangkok 10110*
[2]*Department of Biology, Faculty of Science, Srinakharinwirot University, Watthana, Bangkok 10110*
[3]*Chulabhorn International College of Medicine, Thammasat University, Khlong Luang, Pathumthani 12120*

ARTICLE INFO

Article history
Received: 22 July 2021
Revised: 3 August 2021
Accepted: 29 August 2021
Online published: 30 September 2021

Keyword
Immobilized cells Cyanobacteria
Dissolved oxygen

ABSTRACT

This research aimed to investigate the ability of cyanobacteria *Oscillatoria* sp. immobilized cells to increase dissolved oxygen (DO) contents in synthetic wastewater. The optimal immobilized cyanobacteria Oscillatoria cell was studied using various concentration of fresh cell at 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 and 3.0 %(w/v) in 2.0%(w/v) sodium alginate solution ($(C_6H_8O_6)_n$) and 1.0 %(w/v) calcium chloride solution ($CaCl_2$). The immobilized cyanobacteria cell was incubated in synthetic wastewater under white light and room temperature for 120 minutes. The DO contents were measured using DO meter. The optimal formula of the immobilized cell was 2.0%(w/v) *Oscillatoria* sp. cell in the optimal formula of immobilized cell solution showed the highest DO contents (7.25 mg/L). The *Oscillatoria* sp. immobilized cells have a higher potential of increasing DO contents than free cells for 1.31 folds. This finding suggested that the immobilized cyanobacteria could be used for wastewater treatment.

*Corresponding author
E-mail address: surasak2515@hotmail.com (S. Laloknam)
Online print: 30 September 2021 Copyright © 2021. This is an open access article, production and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. https://doi.org/10.14456/paj.2021.16

PRAWARUN AGRICULTURAL JOURNAL
https://li01.tci-thaijo.org/index.php/pajrmu/index

บทความวิจัย

การสกัดเซลลูโลสจากไซยาโนแบคทีเรียนอสตอกเพื่อเป็นแหล่งพลังงานทางเลือก

นิศารัตน์ เพชรพรม[1] วศิน เจริญหมั่น[1] บงกช บุญบูรพงศ์[1] อาภรณ์ บัวหลวง[2] และ สุรศักดิ์ ละลอกน้ำ[1*]

[1]ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เขตวัฒนา กรุงเทพฯ 10100

[2]วิทยาลัยแพทยศาสตร์นานาชาติจุฬาภรณ์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

ข้อมูลบทความ

Article history

รับ : 22 กรกฎาคม 2564

แก้ไข : 3 สิงหาคม 2564

ตอบรับการตีพิมพ์ : 29 สิงหาคม 2564

ตีพิมพ์ออนไลน์: 30 กันยายน 2564

คำสำคัญ

ไซยาโนแบคทีเรีย

เซลลูโลส

ผลผลิต

บทคัดย่อ

ไซยาโนแบคทีเรียมีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบสามารถนำไปย่อยให้เป็นน้ำตาลรีดิวซ์ใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตพลังงานทดแทนได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาภาวะที่เหมาะสมในสกัดเซลลูโลสจากไซยาโนแบคทีเรีย Nostoc sp. และ ศึกษาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เมื่อย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส นำเซลล์ Nostoc sp. แห้งมาสกัดเซลลูโลสตามขั้นตอนดังนี้ 1) กำจัดคลอโรฟิลล์โดยใช้เอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 25, 50, 75 และ 100 โดยปริมาตรต่อปริมาตร 2) กำจัดลิพิดโดยใช้เฮกเซนความเข้มข้นร้อยละ 25, 50, 75 และ 100 โดยปริมาตรต่อปริมาตร 3) กำจัดโปรตีนโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และ 4) ฟอกขาวโดยใช้ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 10, 20 และ 30 โดยปริมาตรต่อปริมาตร พบว่า ภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเซลลูโลสจาก Nostoc sp. คือ กำจัดคลอโรฟิลล์โดยใช้เอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 100 โดยปริมาตรต่อปริมาตร กำจัดลิพิดโดยใช้เฮกเซนความเข้มข้นร้อยละ 100 โดยปริมาตรต่อปริมาตร กำจัดโปรตีนโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และ ฟอกขาวโดยใช้ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยปริมาตรต่อปริมาตร ตามลำดับ ให้ร้อยละผลผลิตเซลลูโลสเท่ากับ ร้อยละ 78.92 นำเซลลูโลสจาก Nostoc sp. ย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลสเพื่อวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ พบว่า Nostoc sp. ให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ เท่ากับ 27.45 มิลลิกรัมต่อกรัมเซลลูโลส จากการศึกษานี้อธิบายได้ว่าเซลลูโลสจาก Nostoc sp. สามารถย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลสเป็นน้ำตาลรีดิวซ์สามารถนำไปใช้เป็นสารตั้งต้นในผลิตพลังงานทดแทนได้

บทนำ

ปัจจุบันความต้องการใช้พลังงานของมนุษย์ในด้านอุตสาหกรรมต่างๆ และ การใช้ชีวิตประจำวันมีมากขึ้นส่งผลกระทบต่อแหล่งพลังงานที่ใช้แล้วหมดไป เช่น แหล่งน้ำมันดิบ หรือ ถ่านหิน ดังนั้นจึงมีความจำเป็นในการแสวงหาแหล่งพลังงานทดแทนในรูปแบบอื่นๆ มาใช้ เช่น พลังงานลม พลังงานน้ำ และ ชีวมวล โดยเฉพาะชีวมวลที่ได้จากผลผลิตทางการเกษตรที่ได้จากพืชสามารถนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนได้ เช่น ไบโอดีเซล และ ไบโอเอทานอล Germec et al., 2015; Gumienna et al., 2016; Tamunaidu et al., 2013; Tsujik et al., 2011) สำหรับไบโอเอทานอลเป็นพลังงานทดแทนที่ได้จากการผสมกันระหว่างเอทานอลกับน้ำมันเบนซิน จัดเป็นแนวทางลดการใช้น้ำมันเบนซินลงด้วยการเพิ่มปริมาณเอทานอล การผลิตเอทานอลโดยทั่วไปใช้กระบวนการหมักน้ำตาลด้วยจุลินทรีย์แล้วได้เอทานอล จึงเป็นที่มาในการนำชีวมวลมาเป็นทางเลือกในการผลิตชีวมวลเนื่องจากเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบของพืชชีวมวล และ ถ้าย่อยเซลลูโลสด้วยกระบวนการเฉพาะจะได้น้ำตาลซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญในการนำไปใช้ในการ

[*]Corresponding author
E-mail address: surasak2515@hotmail.com (S. Laloknam)
Online print: 30 September 2021 Copyright © 2021. This is an open access article, production and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. https://doi.org/10.14456/paj.2021.17

หมักเอทานอล (Klaichom et al., 2011; Soontornchaiboon & Pawongrat, 2013)

เซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคส เชื่อมต่อด้วยพันธะไกลโคซิดิก ส่วนมากพบเซลลูโลสในพืชบริเวณผนังเซลล์ประมาณร้อยละ 97–99 มีการนำเซลลูโลสและอนุพันธ์ของเซลลูโลสมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ เช่น อาหาร ยา เครื่องสำอาง ผงซักฟอก กระดาษ และ สิ่งทอ ประเทศไทยมีการนำเข้าเซลลูโลสและอนุพันธ์ของเซลลูโลสจากต่างประเทศทำให้เกิดผลกระทบทางด้านเศรษฐกิจ ทำให้ประเทศสูญเสียเงินในการจัดซื้อวัตถุดิบ จึงส่งผลให้ต้นทุนการผลิตและราคาสินค้าที่ที่มีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบสูงขึ้น (Behera et al., 2014; Capolupo & Faraco, 2016; Kurokochi & Sato, 2020; Satari et al., 2019) อย่างไรก็ตามมีรายงานการสกัดเซลลูโลสในพืชหลายชนิด เช่น ชานอ้อย ผักตบชวา และ ธูปฤๅษี ทำการสกัดเซลลูโลส ด้วยตัวทำละลายหลายชนิด เช่น เมทานอล และ เอทานอล แล้วฟอกขาวด้วยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรด์ ที่อุณหภูมิ 60°C แล้วติดตามความบริสุทธิ์ของเซลลูโลสโดยการย่อยเส้นใยที่ได้ด้วยกรดไฮโดรคลอริก สำหรับการสกัดเซลลูโลสจากเปลือกกล้วยใช้ตัวทำละลายเอทานอลแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่อุณหภูมิ 50°C ฟอกสีเซลลูโลสโดยใช้สารละลายไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ และติดตามความขาวของเซลลูโลสด้วยการวัดค่าสี (Charoenman et al., 2021; Punyanunt et al., 2018; Laloknam et al., 2017; Song et al., 2019; Szyman'ska et al., 2017) นอกจากเซลลูโลสจะพบในพืชแล้วยังสามารถพบในสิ่งมีชีวิตอื่นๆ เช่น เห็ด สาหร่าย และ ไซยาโนแบคทีเรีย (สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน) โดยไซยาโนแบคทีเรียเป็นสิ่งมีชีวิตชนิดโพรคาริโอต มีรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง ดังนั้นจึงมีการนำไซยาโนแบคทีเรียไปใช้ประโยชน์หลายด้าน เช่น การเกษตร อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมยา เครื่องสำอาง การบำบัดน้ำเสีย และ พลังงานทดแทน (Acevedo & Garcla, 2006; Bualuang et al., 2013; Danyuttasilp & Laloknam, 2013; Laloknam et al., 2014; Laloknam & Naktong, 2016; Poolsawasdi et al., 2015; Sarma et al., 2016; Shen et al., 2017; Suktalord et al., 2016; Thajuddin & Subramanian, 2005)

เนื่องจากไซยาโนแบคทีเรียมีการเจริญเติบโตที่เร็วกว่าพืช จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจในการนำมาเพิ่มผลผลิตใช้ในการสกัดเซลลูโลส ในการวิจัยนี้เป็นการศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเซลลูโลสจากไซยาโนแบคทีเรียเนื่องจากการรายงานการสกัดเซลลูโลสจากไซยาโนแบคทีเรียยังมีไม่แพร่หลาย และงานวิจัยนี้ทำการศึกษากับไซยาโนแบคทีเรีย *Nostoc* sp. ซึ่งมีรายงานว่ามีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบ (Nobles et al., 2001; Tsolcha et al., 2021; Zanchettaa et al., 2021) เมื่อได้เซลลูโลสที่สกัดได้จาก *Nostoc* sp. แล้วทำการศึกษาคุณภาพและผลผลิต จากนั้นทำการย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลสให้ได้เป็นน้ำตาลรีดิวซ์เพื่อวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการนำ *Nostoc* sp. ไปใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทน เนื่องจากน้ำตาลรีดิวซ์สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการหมักเพื่อผลิตเอทานอล และนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

การเตรียมไซยาโนแบคทีเรีย Nostoc sp.

ทำการเพาะเลี้ยงไซยาโนแบคทีเรียตามวิธีของ Laloknam et al. (2014) โดยนำเซลล์ *Nostoc* sp. ปริมาตร1 มิลลิลิตร ใส่ในอาหารเหลวชนิด BG11 พีเอช 7.5 ที่เตรียมใหม่ 100 มิลลิลิตร เพาะเลี้ยงภายใต้แสงสีขาว 3,000 ลักซ์ อุณหภูมิ 25°C เป็นระยะเวลา 14 วัน จากนั้นทำการรวบรวมตะกอนเซลล์โดยนำไปเซนตริฟิวจ์ที่ความเร็ว 5,000 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 10 นาที และนำตะกอนเซลล์มาอบแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70°C เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง

การหาภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเซลลูโลสจาก Nostoc sp.

การสกัดคลอโรฟิลล์

ชั่งเซลล์ *Nostoc* sp. อบแห้ง จำนวน 1 กรัม นำไปสกัดคลอโรฟิลล์ออกด้วยเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 25, 50, 75 และ 100 โดยปริมาตรต่อปริมาตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟกำลัง 400 วัตต์ ระยะเวลา 15 วินาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำไปเซนตริฟิวจ์ที่ความเร็ว 5,000 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 10 นาที เทส่วนใสเก็บไว้สังเกตสีที่ได้ และวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ตามวิธีของ (Wellburn, 1994) จากนั้นทำการสกัดซ้ำอีกครั้ง จนสังเกตเห็นว่าสีของส่วนใสไม่มีการเปลี่ยนแปลง แล้วนำตะกอนไปอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70°C เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ชั่งผลผลิต ทำการทดลอง 3 ซ้ำ จากนั้นนำเซลล์ *Nostoc* sp. อบแห้งที่ผ่านการสกัดคลอโรฟิลล์ออกโดยความเข้มข้นของเอทานอลที่สามารถสกัดคลอโรฟิลล์ได้สูงสุด คือ ความเข้มข้นที่ถูกเลือกใช้ในการทดลองขั้นตอนต่อไป

การสกัดลิพิด

ชั่งเซลล์นอกตอกอบแห้งที่ผ่านการสกัดคลอโรฟิลล์ออกแล้ว จำนวน 1 กรัม นำไปสกัดลิพิดออกด้วยเฮกเซนที่ความเข้มข้นร้อยละ 25, 50, 75 และ 100 โดยปริมาตรต่อปริมาตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าความเร็วรอบ 120 รอบต่อนาที อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปแยกด้วยกรวยแยกสารละลายชั้นบนที่เป็นเฮกเซน ไประเหยแห้งด้วยเครื่อง Rotary evaporator แล้วชั่งลิพิดที่ได้ (Camongol et al., 2017; Laloknam et al., 2010) สำหรับสารละลายส่วนใสชั้นล่าง

นำไปเซนติฟิวจ์ที่ความเร็วรอบ 5,000 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 10 นาที เทส่วนใสทิ้งและนำตะกอนที่ได้ทำการสกัดซ้ำอีกครั้ง จนปริมาณลิพิดที่ได้ลดลงเหลือน้อยกว่าร้อยละ 20 จากการสกัดครั้งเริ่มต้น แล้วนำตะกอนไปอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70°C เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ชั่งผลผลิต ทำการทดลอง 3 ซ้ำ จากนั้นนำเซลล์ Nostoc sp. อบแห้งที่ผ่านการสกัดคลอโรฟิลล์และลิพิดออกแล้ว โดยความเข้มข้นของเฮกเซนที่สามารถสกัดลิพิดได้สูงสุด คือ ความเข้มข้นที่ถูกเลือกใช้ในการทดลองขั้นตอนต่อไป

การสกัดโปรตีน

ชั่งเซลล์ *Nostoc* sp. อบแห้งที่ผ่านการสกัดคลอโรฟิลล์และลิพิดออกแล้ว จำนวน 1 กรัม นำไปสกัดโปรตีนออกด้วย สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปให้ความร้อนด้วยเครื่องนึ่งความดันไอสูง (Autocalve) อุณหภูมิ 121 °C ความดัน 1 บรรยากาศ เป็นระยะเวลา 15 นาที จากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้เย็น นำไปเซนตริฟิวจ์ที่ความเร็วรอบ 5,000 รอบต่อนาที ระยะเวลา 10 นาที เทส่วนใสแล้วนำไปหาปริมาณ โปรตีนโดยวิธีของ Bradford (1976) และ นำตะกอนที่ได้ทำการสกัดซ้ำอีกครั้ง จนปริมาณโปรตีนที่ได้ลดลง เหลือน้อยกว่าร้อยละ 20 จากการสกัดครั้งเริ่มต้น แล้วนำตะกอนไปอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70°C เป็น ระยะเวลา 24 ชั่วโมง ชั่งผลผลิต ทำการทดลอง 3 ซ้ำ จากนั้นนำเซลล์ *Nostoc* sp. อบแห้งที่ผ่านการสกัดคลอโรฟิลล์ ลิพิด และโปรตีนออกแล้ว โดยความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ที่สามารถสกัดโปรตีนได้สูงสุด คือ ความเข้มข้นที่ถูกเลือกใช้ในการทดลองขั้นตอนต่อไป

การฟอกขาว

ชั่งเซลล์ *Nostoc* sp. อบแห้งที่ผ่านการสกัดคลอโรฟิลล์ ลิพิด และโปรตีนออกแล้ว จำนวน 1 กรัม นำไปฟอกขาว ด้วยสารละลายไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 20 และ 30 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ กำลังปานกลาง เป็นระยะเวลา 15 วินาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น นำไปเซนตริฟิวจ์ที่ความเร็วรอบ 5,000 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 10 นาที เทส่วนใสทิ้ง และสังเกตสีของตะกอน จากนั้นนำตะกอนที่ได้มาทำการฟอกขาวซ้ำ จนสีตะกอนเซลล์คงที่ไม่เปลี่ยนแปลงจากการฟอกขาว แล้วนำตะกอนไปอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70°C เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ชั่งผลผลิต ทำการทดลอง 3 ซ้ำ (Charoenman et al., 2021) จากนั้นนำเซลล์ *Nostoc* sp. อบแห้งที่ผ่านการสกัดคลอโรฟิลล์ ลิพิด โปรตีน และฟอกขาวแล้ว โดยความเข้มข้นของโซเดียมไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ที่สามารถสกัดโปรตีนได้สูงสุด คือ ความเข้มข้นที่ถูกเลือกใช้ในการทดลองขั้นตอนต่อไป

การศึกษาคุณภาพและผลผลิตของเซลลูโลสที่สกัดได้จาก Nostoc sp.

นำเซลลูโลสที่ผ่านการสกัดทุกขั้นตอนดังกล่าวข้างต้น มาศึกษาคุณภาพและผลผลิต ดังนี้ 1) วัดความขาวจากการฟอกสี เริ่มจากบันทึกภาพเซลลูโลสที่ผ่านการสกัดจาก *Nostoc* sp. ทุกขั้นตอน จากนั้นวิเคราะห์ค่าสีในระบบ RGB ด้วยโปรแกรม Adobe Photoshop เพื่อสังเกตความขาวของเซลลูโลสที่สกัดได้จากตัวอย่างเปรียบเทียบกับความขาวของกระดาษกรอง ถ้าตัวอย่างมีความขาวใกล้เคียงกับกระดาษกรองจะมีค่า RGB ใกล้เคียงกัน วิธีการทำเปิดโปรแกรม Adobe Photoshop แล้วสังเกตที่บริเวณแสดงค่าสี RGB ทำการกำหนดตำแหน่งที่ต้องการวัดค่าสี จากรูปภาพที่ปรากฏบนจอภาพ โดยแบ่งภาพออกเป็น 9 ส่วน เท่ากันตามขวางและตามยาว แล้วทำการสังเกตค่าสีตรงกลางของแต่ละส่วน จากนั้นหาค่าเฉลี่ยของค่าสี RGB ทำการแปลผลความขาวของตัวอย่างเซลลูโลสกับกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 4 โดยถ้ามีความขาวใกล้เคียงกันจะมีค่าสี RGB เฉลี่ยแตกต่างกันไม่เกินร้อยละ 20 (Charoenman et al., 2021) 2) คำนวณหาร้อยละผลผลิต (% yield) ของเซลลูโลสโดยนำค่าน้ำหนักของผลผลิตของขั้นตอนสุดท้ายหารด้วยขั้นตอนก่อนหน้าแล้วคูณด้วยร้อย และ 3) ศึกษาเปรียบเทียบลักษณะของเส้นใยเซลลูโลสด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดเลนส์ประกอบ (Compound microscope)

การศึกษาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในเซลลูโลสสกัดจาก Nostoc sp.

ศึกษาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จากการย่อยเซลลูโลสสกัดจาก *Nostoc* sp. ด้วยเอนไซม์เซลลูเลส ดัดแปลงจาก Laloknam et al. (2017) ดังนี้ ชั่งผงเอนไซม์รวม (Combizym) ที่มีเอนไซม์เซลลูเลส จำนวน 1 กรัม ละลายในน้ำกลั่นปริมาตร 10 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปเซนตริฟิวจ์ที่ความเร็วรอบ 5,000 รอบต่อนาที นำส่วนใสซึ่งเป็นตัวแทนเอนไซม์เซลลูเลสทำการทดลองต่อไป ชุดควบคุมใช้กระดาษกรองเบอร์ 1 เป็นตัวแทนเซลลูโลสบริสุทธิ์ โดยตัดเป็นชิ้นเล็กๆ ชั่ง จำนวน 0.1 กรัม เติมสารละลายเอนไซม์เซลลูเลส 1 มิลลิลิตร บ่มทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปเซนตริฟิวจ์ที่ความเร็วรอบ 5,000 รอบต่อนาที นำส่วนใสไปหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ด้วยวิธี Dinitro salicylic acid ดัดแปลงจากวิธีของ Miller (1959) แล้วเปลี่ยนตัวอย่างจากกระดาษกรองเป็นเซลลูโลสสกัดจาก *Nostoc* sp. ที่ผ่านการสกัดในแต่ละขั้นตอน

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การทดลองจากการวิจัยจัดทำทั้งหมด 3 ซ้ำ โดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ Completely Randomized Design (CRD) วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และ เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$)

ผลการวิจัย

ภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเซลลูโลสจาก Nostoc sp.

เมื่อนำเซลล์ *Nostoc* sp. อบแห้ง จำนวน 1 กรัม ไปทำการกำจัดคลอโรฟิลล์ โดยนำมาสกัดด้วยเอทานอลที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ (ร้อยละ 25, 50, 75 และ 100 โดยปริมาตรต่อปริมาตร) พบว่าตัวทำละลายเอทานอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 100 โดยปริมาตรต่อปริมาตร สามารถกำจัดคลอโรฟิลล์ได้สูงที่สุด ดังแสดงใน Table 1

Table 1 Effects of ethanol concentration on chlorophyll contents from *Nostoc* sp. extraction (n = 3)

Ethanol conc. %(v/v)	Chlorophyll contents in supernatant (mg/g dry weight)
0	0.25±0.01[a]
25	0.68±0.03[b]
50	1.57±0.09[c]
75	2.39±0.16[d]
100	3.57±0.20[e]

Note: a, b, … is column mean to quality at $p < 0.05$ statistically significant confidence level.

จากนั้นนำเซลล์ *Nostoc* sp. อบแห้งที่ผ่านการกำจัดคลอโรฟิลล์ด้วยเอทานอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 100 โดยปริมาตรต่อปริมาตร จำนวน 1 กรัม มาทำการกำจัดลิพิด โดยสกัดด้วยเฮกเซนที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ (ร้อยละ 25, 50, 75 และ 100 โดยปริมาตรต่อปริมาตร) พบว่าตัวทำละลายเฮกเซนที่ความเข้มข้นร้อยละ 100 โดยปริมาตรต่อปริมาตร สามารถกำจัดลิพิดได้สูงที่สุด ดังแสดงใน Table 2

Table 2 Effects of hexane concentration on lipid contents from *Nostoc* sp. extraction. (n = 3)

Hexane conc. %(v/v)	Liplid contents (mg/g dry weight)
0	0.0±0.0[a]
25	54.0±2.7[b]
50	105.0±6.3[c]
75	152.0±9.9[d]
100	213.0±11.7[e]

Note: a, b, … is column mean to quality at $p < 0.05$ statistically significant confidence level.

จากนั้นนำเซลล์ *Nostoc* sp. อบแห้งที่ผ่านการกำจัดคลอโรฟิลล์และลิพิดด้วยตัวทำละลายเอทานอลเฮกเซนที่ความเข้มข้นร้อยละ 100 และ 100 โดยปริมาตรต่อปริมาตร ตามลำดับ มาสกัดโปรตีนโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ (ร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) พบว่าสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร สามารถกำจัดโปรตีนได้สูงที่สุด ดังแสดงใน Table 3

Table 3 Effects of NaOH concentration on protein contents from *Nostoc* sp. extraction. (n = 3)

NaOH conc. %(w/v)	Protein contentsIn supernatant (mg/g dry weight)
0	0.0±0.0[a]
5	27.0±1.4[b]
10	68.0±4.1[c]
15	72.0±4.7[c]
20	75.0±4.1[c]

Note: a, b, … is column mean to quality at $p < 0.05$ statistically significant confidence level.

และนำเซลล์ *Nostoc* sp. อบแห้งที่ผ่านการกำจัดคลอโรฟิลล์ ลิพิด และและโปรตีน ด้วยตัวทำละลายเอทานอลเฮกเซนที่ความเข้มข้นร้อยละ 100 และ 100 โดยปริมาตรต่อปริมาตร และร้อยละ 10 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ตามลำดับ มาทำการฟอกขาวด้วยไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ (ร้อยละ 10, 20 และ 30 โดยปริมาตรต่อปริมาตร) พบว่าความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ที่เหมาะสมในการฟอกขาว คือที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยปริมาตรต่อปริมาตร ดังแสดงใน Table 4

Table 4 Effects of hydrogen peroxide concentration on whitening of cellulose extracts from *Nostoc* sp. using RGB color system (n = 3)

Samples	H_2O_2 conc. (%(v/v))	RGB value R	G	B
Nostoc sp.	10	115.7±6.9[a]	113.4±6.1[a]	109.2±5.5[a]
	20	134.5±8.0[b]	131.8±7.5[b]	129.7±6.4[b]
	30	143.2±8.5[c]	146.4±8.2[c]	147.3±7.6[c]
Filterpaper (Whatman No.4)	-	173.5±10.4[d]	176.2±9.6[d]	178.1±8.9[d]

Note: a, b, … is column mean to quality at $p < .05$ statistically significant confidence level

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า ภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเซลลูโลสจาก *Nostoc* sp. คือ กำจัดคลอโรฟิลล์ออกด้วยเอทานอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 100 โดยปริมาตรต่อปริมาตร กำจัดลิพิดออกด้วยเฮกเซนที่ความเข้มข้นร้อยละ 100 โดยปริมาตรต่อปริมาตร

กำจัดโปรตีนออกด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และทำการฟอกขาวด้วยสารละลายไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยปริมาตรต่อปริมาตร โดยพบว่าสีของเซลลูโลสจาก *Nostoc* sp. ที่ผ่านกระบวนการสกัดตามภาวะดังกล่าว มีสีน้ำตาลอ่อน ดังแสดง Figure. 1b ในขณะที่เซลล์เริ่มต้นมีสีเขียวอมดำ ดังแสดง Figure 1a โดยในขั้นตอนการฟอกขาวมีผลทำให้ความเข้ม ของสีลดลง แต่ไม่สามารถทำให้เซลลูโลสจาก *Nostoc* sp. มีความขาวที่ใกล้เคียงกับกระดาษกรอง (Figure 1c) ได้

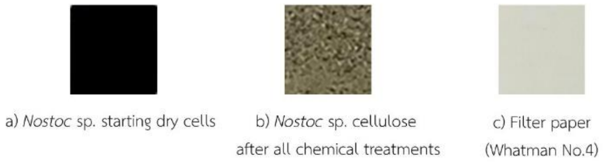


Figure 1 Color comparisons of *Nostoc* sp. starting dry cells (a), *Nostoc* sp. cellulose after all chemical treatments (b), and Filter paper (c)

คุณภาพและผลผลิตของเซลลูโลสที่สกัดได้จาก Nostoc sp.

เมื่อพิจารณาค่าร้อยละผลผลิตของเซลลูโลสจาก *Nostoc* sp. ที่ผ่านการสกัดในขั้นตอนต่าง ๆ พบว่า ร้อยละผลผลิตของเซลลูโลสจาก *Nostoc* sp. ที่ผ่านขั้นตอนการสกัดทุกขั้นตอน (กำจัดคลอโรฟิลล์ ลิพิด โปรตีน และฟอกขาว) มีค่าเท่ากับ 78.92 โดยมีค่าแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเทียบกับร้อยละผลผลิตของเซลลูโลสจาก *Nostoc* sp. ที่ผ่านขั้นตอนการกำจัดคลอโรฟิลล์ ลิพิด และโปรตีน ดังแสดงใน Figure 2

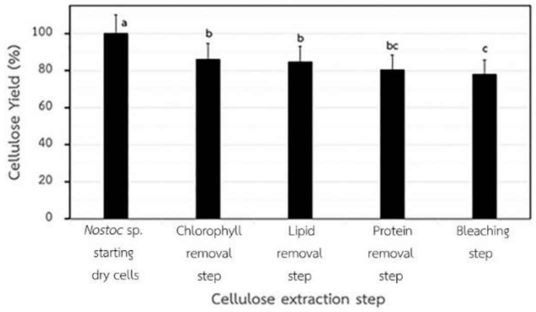


Figure 2 %Yield of cellulose from each cellulose extraction steps: *Nostoc* sp. starting dry cells, chlorophyll removal step using 100% v/v Ethanol, lipid removal step using 100% v/v Hexane, Protein removal step using 10% w/v NaOH, and bleaching step using 30% v/v H_2O_2. (n = 3, p < 0.005

โดยเมื่อทำการศึกษาลักษณะของเส้นใยเซลลูโลสจาก *Nostoc* sp. ที่ผ่านการสกัดในขั้นตอนต่าง ๆ ด้วยกล้องจุลทรรศน์ พบว่าลักษณะของเส้นใยเซลลูโลสจาก *Nostoc* sp. เป็นเส้นสายสั้นกว่าเส้นใยของกระดาษกรอง และโดยเมื่อผ่านขั้นตอนการสกัดโดยใช้สารเคมีที่มากขึ้น เส้นใยจะมีขนาดสั้นลง ดังแสดงใน Figure. 3

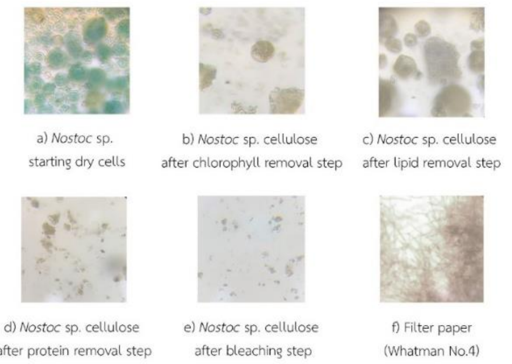


Figure 3 *Nostoc* sp. cellulose fibers from each extraction steps compared with filter paper (control) under compound microscope (400x). (a) *Nostoc* sp. starting dry cells, (b) Chlorophyll removal step using 100% v/v Ethanol, (c) Lipid removal step using 100% v/v Hexane, (d) Protein removal step using 10% w/v NaOH, (e) Bleaching step using 30% v/v H2O2, and (f) Filter paper.

เซลลูโลสจาก *Nostoc* sp. ที่ผ่านขั้นตอนการสกัดทุกขั้นตอน (กำจัดคลอโรฟิลล์ ลิพิด โปรตีน และฟอกขาว) ที่ผ่านการบ่มกับเอนไซม์เซลลูเลส มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงที่สุด เท่ากับ 29.58 มิลลิกรัมต่อกรัมเซลลูโลส รองลงมาคือเซลลูโลสจาก *Nostoc* sp. ที่ผ่านขั้นตอนการกำจัดคลอโรฟิลล์ ลิพิด และโปรตีน เท่ากับ 28.41 มิลลิกรัมต่อกรัมเซลลูโลส โดยมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น .05 ตามด้วยปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้เซลลูโลสจาก *Nostoc* sp. ที่ผ่านขั้นตอนการกำจัดคลอโรฟิลล์ และลิพิด เท่ากับ 14.29 มิลลิกรัมต่อกรัมเซลลูโลส ที่ผ่านขั้นตอนการกำจัดคลอโรฟิลล์ เท่ากับ 6.37 มิลลิกรัมต่อกรัมเซลลูโลส และ ตัวอย่างเซลล์แห้งเริ่มต้นให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ น้อยที่สุด เท่ากับ 3.41 มิลลิกรัมต่อกรัมเซลลูโลส ดังแสดงใน Figure 4

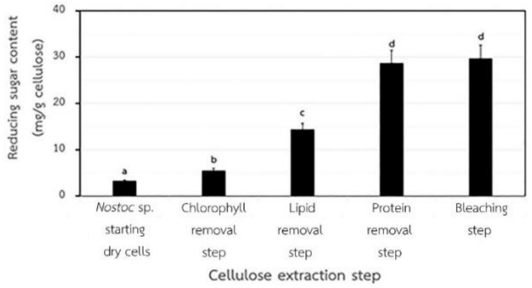


Figure 4 Reducing sugar contents of *Nostoc* sp. cellulose from each cellulose extraction steps: *Nostoc* sp. starting dry cells, chlorophyll removal step using 100% v/v Ethanol, lipid removal step using 100% v/v Hexane, Protein removal step using 10% w/v NaOH, and bleaching step using 30% v/v H_2O_2. (n = 3, p < 0.05)

ในขณะที่กระดาษกรองมาบ่มด้วยเอนไซม์เซลลูเลสสามารถตรวจวัดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ 28.38 มิลลิกรัมต่อกรัมเซลลูโลส (ไม่แสดงผลการศึกษา)

วิจารณ์ผลการวิจัย

จากผลการทดลองพบว่า ร้อยละผลผลิตเซลลูโลสที่ได้จาก *Nostoc* sp. คิดเป็นร้อยละ 77.82 ซึ่งได้ผลผลิตที่สูงกว่าการสกัดเซลลูโลสจากพืช โดยเปรียบเทียบจากผลการวิจัยก่อนหน้านี้ โดย Song et al. (2019) รายงานว่า ร้อยละผลผลิตเซลลูโลสที่ได้จากปอแก้ว หัวหอม และ ดอกรักอินเดีย คิดเป็นร้อยละ 50.7, 41.1, และ 64.1 ตามลำดับ โดยเมื่อพิจารณาถึงระยะเวลาที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงไซยาโนแบคทีเรีย *Nostoc* sp. ในงานวิจัยนี้นี้ใช้เวลาเพียง 14 วัน ในขณะที่พืชที่มีรายงานว่าสามารถใช้ในการผลิตเยื่อกระดาษชนิดต่างๆ เช่น ฟางข้าว อ้อย และ สับปะรด ต้องใช้ระยะเวลาในการเจริญเติบโตนาน โดยมีอายุของการเพาะปลูกประมาณ 90 วัน หลังจากการเก็บเกี่ยวผลผลิตแล้ว ในกรณีของต้นยูคาลิปตัสใช้ระยะเวลานานหลายเดือน ดังนั้นไซยาโนแบคทีเรีย *Nostoc* sp. จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถใช้เป็นแหล่งของเซลลูโลส จากการศึกษาลักษณะเส้นใยเซลลูโลสจาก *Nostoc* sp. พบว่ามีขนาดสั้นกว่าเส้นใยเซลลูโลสจากกระดาษกรอง จึงไม่เหมาะสมในการนำไปทำกระดาษ และหลังจากการการฟอกขาวลักษณะปรากฏในด้านสี พบว่ามีสีน้ำตาลอ่อน โดยไม่ใกล้เคียงกับความขาวของกระดาษกรอง อาจเป็นเพราะในไซยาโนแบคทีเรียมีปริมาณรงควัตถุหลายชนิด เช่น คลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ ไฟโคไซยานิน และอื่นๆ โดยกระบวนการสกัดโดยใช้สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัยนี้ไม่สามารถสกัดออกได้ (Laloknam et al., 2017) ดังนั้นแนวทางในการนำเซลลูโลสจาก *Nostoc* sp. ไปใช้ประโยชน์ คือการใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตพลังงานทดแทน โดยการนำเซลลูโลสที่สกัดจาก *Nostoc* sp. มาทำการย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส หรือ การย่อยด้วยกรด เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์เป็นน้ำตาลกลูโคส เพื่อนำไปใช้ในผลิตเป็นเอทานอลโดยผ่านกระบวนการหมัก (Capolupo & Faraco, 2016; Ibrahim et al., 2013; Kurokochi & Sato, 2020; Punyanunt et al., 2018; Satari et al., 2019; Song et al., 2019; Szyman'ska et al., 2017) โดยเมื่อพิจารณาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการย่อยเซลลูโลสจาก *Nostoc* sp. ที่ผ่านขั้นตอนการสกัดทุกขั้นตอน (กำจัดคลอโรฟิลล์ ลิพิด โปรตีน และฟอกขาว) กับปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการย่อยเซลลูโลสจาก *Nostoc* sp. ที่ผ่านขั้นตอนกำจัดคลอโรฟิลล์ ลิพิด และโปรตีน มีค่าที่ใกล้เคียงกัน หากต้องการนำการใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตพลังงานทดแทน เช่น เอทานอล ขั้นตอนการฟอกขาวจึงไม่มีความจำเป็น โดยสามารถลดขั้นตอนการสกัด และลดการใช้สารเคมีในกระบวนการสกัด สอดคล้องกับงานวิจัยที่มีการรายงานเกี่ยวกับการใช้ผลิตผลทางการเกษตรเพื่อนำมาผลิตน้ำตาลรีดิวซ์ในการเป็นสารตั้งต้นของการผลิตเอทานอล (Behera et al., 2014; Camongol et al., 2017; Klaichom et al., 2011; Soontornchaiboon & Pawongrat, 2013) ดังนั้น *Nostoc* sp. จึงเป็นแหล่งทางเลือกที่น่าสนใจในผลิตพลังงานทดแทน โดยนำไปสกัดเซลลูโลสแล้วย่อยให้ได้น้ำตาลรีดิวซ์ก่อนเข้าสู่กระบวนหมักด้วยจุลินทรีย์ให้ได้เอทานอลเพื่อนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทนในรูปแบบไบโอเอทานอลได้

สรุปผลการวิจัย

ภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเซลลูโลสจาก *Nostoc* sp. ใช้อัตราส่วนของเซลล์แห้ง 1 กรัมต่อตัวทำละลายปริมาตร 100 มิลลิลิตร โดยมีลำดับขั้นตอนในการสกัดดังนี้ เริ่มด้วยการกำจัดคลอโรฟิลล์โดยใช้เอทานอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 100 โดยปริมาตรต่อปริมาตร จากนั้นทำการกำจัดลิพิดโดยใช้เฮกเซนที่ความเข้มข้นร้อยละ 100 โดยปริมาตรต่อปริมาตร และนำไปกำจัดโปรตีนโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และทำการฟอกขาวโดยใช้สารละลายไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยปริมาตรต่อปริมาตร โดยการสกัดเซลลูโลสจาก *Nostoc* sp. ตามขั้นตอนดังกล่าวให้ร้อยละผลผลิตของเซลลูโลสสูงถึง 77.82 และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงที่สุดเท่ากับ 29.58 มิลลิกรัมต่อกรัมเซลลูโลส

References

Behera, B.C., Parida, S., Dutta, S.K., & Thatoi, H.N. (2014). Isolation & identification of cellulose degrading bacteria from mangrove soil of Mahanadi river delta & their cellulase production ability. *American Journal of Microbiological Research*, 2(1), 41–46

Bradford, M.M. (1976). A rapid & sensitive method for quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein–dye–binding. *Analytical Chemistry*, 72 (1–2), 248–254.

Bualuang, A., Kongwithtaya, S. & Laloknam, S. (2013). Application of Micro–Alga. *Journal of Research Unit on Science, Technology & Environment for Learning*, 4(1), 72–79. (in Thai)

Camongol, R.C., Agarin, R.A.B., & Panaligan, L.P. (2017). Determination of Fatty Acid Content of Rambutan (*Nephelium lappaceum* L.) Seed. Asia Pacific Journal of Multidisciplinary Research, 5(4), 47–50.

Capolupo, L., & Faraco, V. (2016). Green methods of lignocellulose pretreatment for biorefinery development. *Applied microbiology & biotechnology,* 100(22), 9451–9467.

Charoenman, V., Phetprom, N., Boonburapong, B., Bualuang, A., & Laloknam. (2021). Optimization of cellulose extraction from filamentous cyanobacteria. in *Proceedings of 14th University Research Network National Conference*. Bangkok: Srinakharinwirot University, 1,116–1,126. (in Thai)

Danyuttasilp, Y. & Laloknam, S. (2013). Increasing of oxygen gas in waste water from Saen Sab Canal using filamentous Cyanobacteria. *Advance Science Journal,* 13(2), 24–34. (in Thai)

Germec, M., Turhan, I., Karhan, M., & Demirci, A. (2015). Ethanol production via repeated–batch fermentation from carob pod extract by using Saccharomyces cerevisiae in biofilm reactor. *Fuel*, 161, 304–311.

Gumienna, M., Szwengiel, A., Szczepańska–Alvarez, A., Szambelan, K., Lasik–Kurdyś, M., Czarnecki, Z., & Sitarski, A. (2016). The impact of sugar beet varieties & cultivation conditions on ethanol productivity. *Biomass & Bioenergy*, 85, 228–234.

Ibrahim, M. M., El–Zawawy, W. K., Jüttke, Y., Koschella, A., & Heinze, T. (2013). Cellulose & microcrystalline cellulose from rice straw & banana plant waste: preparation & characterization. *Cellulose*, 20(5), 2403–2416.

Klaichom, N., Srinophakun, P., & Thanapimmetha, A. (2011). Reducing sugar production from sweet sorghum bagasse by acid hydrolysis. *Kasetsart Engineering Journal*, 75, 91–102. (in Thai)

Kurokochi, Y., & Sato, M. (2020). Steam treatment to enhance rice straw binderless board focusing hemicellulose & cellulose decomposition products. *Journal of Wood Science*, 66(1), 1–8.

Laloknam, S., Bualuang, A., Boonburapong, B., Rai, V., Takabe, T., & Incharoensakdi, A. (2010). Salt stress induced glycine–betaine accumulation with amino & fatty acid changes in cyanobacterium Aphanothece halophytica. *Asian Journal of Food & Agro–Industry*, 3(1), 25–34.

Laloknam, S., Kanchitanurak, P., Boonburapong, B., Rai, V. & Kongvitthaya, S. (2014). Inorganic & Organic Compounds of Freshwater Filamentous Cyanobacteria under Normal & Salt Stress Conditions. *Journal of Chemistry & Chemical Engineering,* 8, 1059–1067.

Laloknam, S. & Naktong, K. (2016). Potential of Phycocyanin–Producing Cyanobacteria in Sansab Canal. *Journal of Research Unit on Science, Technology & Environment for Learning*, 7(2), 377–388. (in Thai)

Laloknam, S., Panjapatanasiri, J., Sookchuay, N., & Klongkian, S. (2017). Cellulose extraction from Macro–Alga. in *Proceedings of 10th SWU Research National Conference*. Bangkok: Srinakharinwirot University, 701–711. (in Thai)

Miller, G. L. (1959). Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Analytical chemistry*, 31(3), 426–428.

Nobles, D. R., Romanovicz, D. K., & Brown Jr, R. M. (2001). Cellulose in cyanobacteria. Origin of vascular plant cellulose synthase?. *Plant physiology*, 127(2), 529–542.

Poolsawasdi, A., Yadee, S., Boonburapong, B. & Laloknam, S. (2015). Potential of cyanobacterium *Oscillatoria* sp. SWU121 to promote the rice growth under salt stress condition. *Journal of Research Unit on Science, Technology & Environment for Learning*, 6(2), 243–255. (in Thai)

Punyanunt, S., Piyachomkwan, K., & Sriroth, K. (2018). Preparation & characterization of cellulose gel from cassava pulp for food applications. *King Mongkut's Agricultural Journal*. 36(2), 106–116. (in Thai)

Rivillas–Acevedo, L., & Soriano–García, M. (2006). Antimicrobial peptides from plants as mechanism of defense. *Actualidades Biológicas,* 28(85), 155–169.

Satari, B., Karimi, K., & Kumar, R. (2019). Cellulose solvent–based pretreatment for enhanced second–generation biofuel production: a review. *Sustainable energy & fuels*, 3(1), 11–62.

Sarma, M.K., Kaushik, S., & Goswami, P. (2016). Cyanobacteria: A metabolic power house for harvesting solar energy to produce bio–electricity & biofuels. *Biomass & Bioenergy*, 90, 187–201.

Shen, Y., Gao, J., & Li, L. (2017). Municipal wastewater treatment via co–immobilized microalgal–bacterial symbiosis: microorganism growth & nutrients removal. *Bioresource Technology*, 1(243),905–913.

Soontornchaiboon, W., & Pawongrat, R. (2013). Utilization of natural wastes as supporting materials for cell immobilization & its application for ethanol production. *Veridian E–Journal SU*, 6(1), 795–807. (in Thai)

Song, K., Zhu, X., Zhu, W., & Li, X. (2019). Preparation & characterization of cellulose nanocrystal extracted from Calotropis procera biomass. *Bioresources & Bioprocessing*, 6(1), 1–8.

Suktalord, P., Pratsaphan, R., Rakchad, S., Petchpool, T., Kerdsombat, P., & Laloknam, S. (2016). The Use of Alga as Water Quality Indicator in Sansab Canal *Journal of Research Unit on Science, Technology & Environment for Learning*, 7(1), 14–27. (in Thai)

Szymańska–Chargot, M., Chylińska, M., Gdula, K., Kozioł, A., & Zdunek, A. (2017). Isolation & characterization of cellulose from different fruit & vegetable pomaces. *Polymers*, 9(10), 1–16.

Tamunaidu, P., Matsui, N., Okimori, Y., & Saka, S. (2013). Nipa (Nypa fruticans) sap as a potential feedstock for ethanol production. *Biomass & bioenergy*, 52, 96–102.

Thajuddin, N., & Subramanian, G. (2005). Cyanobacterial biodiversity & potential applications in biotechnology. *Current science*, 47–57.

Tsolcha, O.N., Patrinou, V., Economou, C.N., Dourou, M., Aggelis, G., & Tekerlekopoulou, A.G. (2021). Utilization of biomass derived from cyanobacteria–based agro–industrial wastewater treatment & raisin residue extract for bioethanol production. *Water*, 13(4), 486.

Tsuji, K., Ghazalli, N.F., & Ariffin, Z. (2011). Biological & ethnobotanical characteristics of Nipa Palm (*Nypa fructicans* Wurmb.): *A Review. Sains Malaysiana*, 40 (12), 1407–1412.

Wellburn, A.R. (1994). The spectral determination of chlorophylls a & b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *Journal of plant physiology,* 144(3), 307–313.

Zanchetta, E., Damergi, E., Patel, B., Borgmeyer, T., Pick, H., Pulgarin, A., & Ludwig, C. (2021). Algal cellulose, production & potential use in plastics: Challenges & opportunities. *Algal Research*, 56, 102288

.

Research article

Cellulose extraction from cyanobacteria *Nostoc* sp. for alternative energy source

Nisarat Phetprom[1], Vasin Charoenman[1], Bongkoj Boonburapong[1], Aporn Bualuang[2] and Surasak Laloknam[1*]

[1]*Department of General Science, Faculty of Science, Srinakharinwirot University, Wattaana, Bangkok 10110.*
[2]*Chulabhorn International College of Medicine, Thammasat University, Khlong Luang, Pathumthani 12120*

ARTICLE INFO

Article history
Received: 22 July 2021
Revised: 3 August 2021
Accepted: 29 August 2021
Online published: 30 September 2021

Keyword
Cyanobacteria,
Cellulose
Yield

ABSTRACT

Cyanobacterial contains cellulose that can be hydrolyzed into reducing sugars utilized for biofuels production. This research aimed to optimize conditions for cellulose extraction of cyanobacterial, Nostoc sp. and to determine total reducing sugars after hydrolyzed by cellulase enzymes. Dried cyanobacteria Nostoc sp. cells were subjected to 4 steps cellulose extraction process with different solvent concentrations: 1) chlorophyll removal using 25, 50, 70 and 100 %(v/v) ethanol, 2) lipid removal using 25, 50, 70 and 100 %(v/v) hexane, 3) protein removal using 5, 10, 15, and 20 %(w/v) sodium hydroxide, and 4) bleaching process using 10, 20, and 30 %(v/v) hydrogen peroxide. The results showed that the optimal solvent concentration of cyanobacteria Nostoc sp. cellulose extraction process was 100 %(v/v) ethanol, 100 %(v/v) hexane, 10 %(w/v) sodium hydroxide, and 30 %(v/v) hydrogen peroxide with the average yield of 78.92%. Cyanobacteria Nostoc sp. cellulose was digested by cellulase to determine reducing sugar contents. The results showed that Nostos sp. contains the reducing sugar contents 27.45 mg/g cellulose. This finding suggested that cyanobacteria Nostoc sp. cellulose could hydrolyzed into reducing sugars that can be used as renewable energy source.

[*]Corresponding author
E-mail address: surasak2515@hotmail.com (S. Laloknam)
Online print: 30 September 2021 Copyright © 2021. This is an open access article, production and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. https://doi.org/10.14456/paj.2021.17

วารสารเกษตรพระวรุณ (PRAWARUN AGRICULTURAL JOURNAL 2021) 18(2): 33 – 40

PRAWARUN AGRICULTURAL JOURNAL

https://li01.tci-thaijo.org/index.php/pajrmu/index

บทความวิจัย

ฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรียและขจัดกลิ่นของสเปรย์ขจัดกลิ่นไม่พึงประสงค์สำหรับผ้าฝ้ายและผ้าไหม

จิรศิต อินทร[1*] ญาณิศา จินดาหลวง[1] ศรัณญา สอนมณี[1] และ เปรมนภา สีโสภา[1]

[1]สาขาวิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพและเครื่องสำอาง คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000

ข้อมูลบทความ

Article history

รับ: 3 กันยายน 2564

แก้ไข: 5 ตุลาคม 2564

ตอบรับการตีพิมพ์: 7 ตุลาคม 2564

ตีพิมพ์ออนไลน์: 26 พฤศจิกายน 2564

คำสำคัญ

การยับยั้งแบคทีเรีย

กลิ่นกาย

ผลิตภัณฑ์สเปรย์ขจัดกลิ่นไม่พึงประสงค์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียและขจัดกลิ่นไม่พึงประสงค์ของผลิตภัณฑ์สเปรย์ขจัดกลิ่นไม่พึงประสงค์จำนวน 3 สูตร ผลิตภัณฑ์มีองค์ประกอบแตกต่างกัน ได้แก่ Microcare MT เป็นสารยับยั้งการเจริญของจุลชีพ และสาร Cosmo P813 เป็นสารระงับกลิ่นกายและน้ำหอม การทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียด้วยวิธีเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณตามวิธีมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเรื่องการทดสอบสิ่งทอ เชื้อแบคทีเรียที่ใช้ทดสอบคือ สตาฟิโลค็อกคัส ออเรียส (*Staphylococcus aureus*) และ เอสเชอริเชีย โคไล (*Escherichia coli*) โดยแยกทดสอบในผ้าจำนวน 2 ชนิดคือ ผ้าฝ้ายและผ้าไหม รวมถึงการศึกษาประสิทธิภาพด้านการลดกลิ่นไม่พึงประสงค์ในผู้บริโภคด้วยวิธีการประเมินทางประสาทสัมผัส ผลการทดสอบพบว่า ประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อเชิงคุณภาพของผลิตภัณฑ์สเปรย์ทั้ง 3 สูตรมีระยะวงรอบที่ยับยั้งแบคทีเรียมากกว่าผลิตภัณฑ์ควบคุม ส่วนประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อเชิงปริมาณพบว่า ผลิตภัณฑ์สเปรย์ทั้ง 3 สูตรมีค่าร้อยละการยับยั้งเชื้ออยู่ในช่วง 92.75 – 100 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการลดกลิ่นไม่พึงประสงค์ในผู้บริโภคพบว่า ผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 สูตร สามารถลดกลิ่นไม่พึงประสงค์ของผ้าไหมและผ้าฝ้ายที่ผ่านการสวมใส่ได้ จากผลการศึกษาประสิทธิภาพทั้งหมดสามารถสรุปได้ว่าผลิตภัณฑ์สเปรย์สามารถนำไปผลิตต่อยอดเชิงพาณิชย์ได้

บทนำ

กลิ่นไม่พึงประสงค์ของผ้าเกิดจากการเจริญของเชื้อแบคทีเรียที่อยู่บนผิวหนังและที่อยู่ตามสภาวะสิ่งแวดล้อมทั่วไป โดยแบคทีเรียสามารถเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโปรตีน ไขมันและเหงื่อที่หลั่งออกมาจากผิวหนัง ร่วมกับความชื้นส่งผลให้เกิดสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญของแบคทีเรีย จากนั้นแบคทีเรียจะเปลี่ยนแปลงโมเลกุลของสารอาหารดังกล่าวเป็นสารโมเลกุลขนาดเล็กที่ระเหยได้ดีและมีกลิ่นอับ บูดเน่าเฉพาะตัวที่ติดตามเสื้อผ้าของผู้สวมใส่ แบคทีเรียที่พบได้ทั่วไปบริเวณผิวหนังได้แก่ *Staphylococcus epidermidis, Micrococcus luteus, Enhydrobacter aerosaccus, Corynebacterium jeikeium* และ *Propionibacterium acnes* โดยพบว่าหลังจากการสวมใส่เสื้อผ้าเป็นเวลา 8 ชั่วโมงทำให้มีเชื้อแบคทีเรียเจริญถึง 107–108 CFU /cm2 (Callewaert et al., 2014) กลิ่นเหม็นที่แบคทีเรียสร้างขึ้นได้แก่ 3–methyl–2–hexenoic acid และ isovaleric acid พบได้บริเวณรักแร้ สาร 3–hydroxy–3–methylhexanoic acid, thioalcohol และandrostenone พบได้บริเวณเท้า (Natsch et al., 2006) และนอกจากบริเวณผิวหนังดังกล่าวแบคทีเรียยังสามารถสร้างกลิ่นไม่พึงประสงค์จากเหงื่อและกลิ่นสามารถติดที่เสื้อผ้าของผู้สวมใส่ได้ ของหลักการยับยั้งกลิ่นไม่พึงประสงค์ของผลิตภัณฑ์สำหรับผ้าโดยทั่วไปได้แก่ การกลบกลิ่นไม่พึงประสงค์ด้วยสารเคมี (malodor–masking deodorant) คือการใช้สารเคมีที่มีกลิ่นหอมหรือน้ำหอมเพื่อใช้ในการกลบกลิ่นไม่พึงประสงค์ โดยหวังผลให้ผู้บริโภคไม่ได้กลิ่นเหม็นหรือได้

*Corresponding author
E-mail address: jirasit.i@psru.ac.th (J. Inthorn)
Online print: 26 November 2021 Copyright © 2021. This is an open access article, production and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. https://doi.org/10.14456/paj.2021.18

กลิ่นเหม็นน้อยลง (Gautschi, Natsch & Schroder, 2007) ข้อจำกัดของหลักการนี้คือ ต้องใช้น้ำหอมในปริมาณที่สูงพอสมควรที่จะกลบกลิ่นไม่พึงประสงค์ได้และสารเคมีบางอย่างมีกลิ่นเฉพาะตัวซึ่งผู้บริโภคอาจจะไม่พึงพอใจในกลิ่นน้ำหอมนั้น และวิธีการนี้ไม่ใช่การลดปริมาณกลิ่นที่แท้จริงเป็นเพียงการกลบกลิ่นไม่พึงประสงค์ที่เกิดขึ้นแล้วเท่านั้น การลดกลิ่นไม่พึงประสงค์ด้วยการทำให้โมเลกุลกลิ่นไม่พึงประสงค์เป็นกลาง (malodor–neutralizing deodorants) กลิ่นไม่พึงประสงค์ที่เกิดจากเชื้อแบคทีเรียส่วนใหญ่เป็นสารกลุ่มกรด ที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก ระเหยได้ดี จึงมักมีกลิ่นเปรี้ยว หรือบูดเน่าและฟุ้งกระจายออกจากเสื้อผ้าได้ทำให้เราได้กลิ่นรุนแรงตามปริมาณสารที่แบคทีเรียได้สร้างขึ้น ดังนั้นจึงมีการใช้สารที่มีคุณสมบัติ neutralizing เช่นสาร zinc ricinoleate ที่ทำปฏิกิริยาหรือสร้างพันธะเคมีกับโมเลกุลของกลิ่นไม่พึงประสงค์ มีผลทำให้เกิดโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ระเหยได้ยากและเปลี่ยนเป็นโมเลกุลที่ไม่มีกลิ่น (Ballarin et al., 2015) แต่ข้อจำกัดของ zinc ricinoleate คือเป็นสารที่ไม่ละลายน้ำ และสุดท้ายคือ การยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย (antimicrobial deodorants) สารเคมีสำหรับยับยั้งการเจริญหรือฆ่าเชื้อจุลชีพในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางและในผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมมีหลากหลายชนิด ซึ่งมีกลไกที่แตกต่างกันออกไป เช่นสารลดแรงตึงผิวประจุลบ (anionic surfactant) ที่ทำให้เกิดฟอง ทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ของเชื้อจุลชีพให้แตกออกและมักจะก่อให้เกิดการระคายเคือง สารลดแรงตึงผิวประจุบวก (cationic surfactant) สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อได้ สารเคมีกลุ่มด่างแก่ (alkaline) ข้อเสียคือระคายเคืองสูงมากและทำลายโครงสร้างโปรตีนในเส้นใยไหม สารกลุ่มเอนไซม์โปรติเอส (proteinase) ซึ่งจะย่อยสลายสารโปรตีนในเชื้อจุลชีพและในทางเดียวกันเอนไซม์โปรติเอสก็จะทำลายสารโปรตีนในเส้นใยไหมด้วยเช่นกัน สารกันเสีย (preservative) ที่ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อและสารกลุ่มโลหะหนัก (metal ion) เช่น นาโนเงิน (nano silver) จะทำปฏิกิริยากับสารโปรตีนที่เป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ที่จำเป็นของจุลชีพ ทั้งจุลินทรีย์ แบคทีเรีย และไวรัส ปฏิกิริยาดังกล่าว จะทำลายผนังเซลล์ของจุลชีพ ส่งผลให้ DNA ของจุลชีพหยุดทำงานและตายในที่สุด (Nakashima & Matsuo, 2001) ผลิตภัณฑ์สเปรย์ขจัดกลิ่นไม่พึงประสงค์สำหรับผ้าที่วางจำหน่ายในท้องตลาด มักใช้สารที่มีคุณสมบัติยับยั้งแบคทีเรียเป็นหลัก ร่วมกับการใส่น้ำหอมที่มีคุณสมบัติกลบกลิ่นไม่พึงประสงค์ ส่วนสาร zinc ricinoleate ที่มีคุณสมบัติลดกลิ่นเหม็นด้วยหลักการ neutralizing ไม่เป็นที่นิยมเนื่องจากเป็นสารที่ไม่ละลายน้ำ หากต้องใช้จำเป็นต้องละลายด้วยแอลกอฮอล์ในปริมาณสูง จึงส่งผลต่อต้นทุนผลิตภัณฑ์ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เลือกสารจากธรรมชาติ คือ Tego Cosmo P813 ที่มีคุณสมบัติระงับกลิ่นเหม็นที่เกิดขึ้นแล้วและสามารถละลายน้ำได้มาใช้ในการพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือการศึกษาคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์สเปรย์ขจัดกลิ่นไม่พึงประสงค์สำหรับผ้าจำนวน 3 สูตร ที่มีส่วนผสมของสารทำหน้าที่แตกต่างกันออกไปได้แก่ Microcare MT (INCI: methylisothiazolinone) เป็นสารที่มีคุณคุณสมบัติยับยั้งแบคทีเรีย (Michael & Irene, 2004) Tego Cosmo P813 (INCI: polyglyceryl–3 caprylate) เป็นสารธรรมชาติที่มีคุณคุณสมบัติระงับกลิ่น (natural deodorant) (Cosmetic Ingredient Review, 2012) และน้ำหอมกลิ่น TCFF Fineline blue ที่มีคุณสมบัติกลบกลิ่นไม่พึงประสงค์ (malodor–masking) โดยทำการทดสอบประสิทธิภาพยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย จำนวน 2 ชนิดตามมาตรฐานอุตสาหกรรมสำหรับสิ่งทอ ได้แก่เชื้อสตาฟิโลค็อกคัส ออเรียส (*Staphylococcus aureus*) ซึ่งเป็นแบคทีเรียชนิดแกรมบวก และเอสเชอริเชีย โคไร (*Escherichia coli*) ซึ่งเป็นแบคทีเรียชนิดแกรมลบ รวมไปถึงการทดสอบประสิทธิภาพในการยับยั้งกลิ่นไม่พึงประสงค์ที่เกิดขึ้นในผ้าเมื่อสวมใส่ด้วยวิธีทางประสาทสัมผัสในอาสาสมัครจำนวน 20 คน การศึกษาในครั้งนี้ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพสารส่วนผสมในผลิตภัณฑ์ที่คาดหวังว่าจะช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีคุณสมบัติตามที่ต้องการ การศึกษาได้ทดสอบในผ้าจากเส้นใยธรรมชาติ 2 ชนิดคือ ผ้าไหมซึ่งเป็นเส้นใยโปรตีนจากสัตว์และผ้าฝ้ายซึ่งเป็นเส้นใยเซลลูโลสจากพืช ประโยชน์ที่ได้จากการศึกษานี้คือสูตรผลิตภัณฑ์ที่มีประสิทธิภาพที่ออกฤทธิ์ต่อแบคทีเรีย โดยมีกลุ่มผ้าทอจังหวัดสุโขทัยเป็นผู้รับการถ่ายทอดสูตรและข้อมูลผลิตภัณฑ์เพื่อนำไปต่อยอดเชิงพาณิชย์

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

1. การพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์สเปรย์ขจัดกลิ่นไม่พึงประสงค์

ในการพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์สเปรย์ขจัดกลิ่นไม่พึงประสงค์ในครั้งนี้ ได้ทำการศึกษาจำนวน 3 สูตร โดยใช้สารที่ทำหน้าที่ (function) แตกต่างกัน โดยสูตรที่ F1 ใช้สาร Microcare MT (INCI: methylisothiazolinone) ทำหน้าที่เป็นสารยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย และ สาร Product–21–BN (INCI: PEG–40 hydrogenated castor oil) ทำหน้าที่เป็นสารช่วยละลาย (solubilizer) สูตรที่ F2 เพิ่มสาร Tego Cosmo P813 (INCI: polyglyceryl–3 caprylate) ซึ่งเป็นสารธรรมชาติที่มีคุณสมบัติระงับกลิ่น (natural deodorant) ส่วนสูตรที่ F3 เพิ่มส่วนผสม Tego Cosmo P813 และ TCFF Fineline blue ทำหน้าที่น้ำหอม (malodor–masking) (Table 1) โดยแยกผสมสารในส่วน A และส่วน B กวนแต่ละส่วนให้ละลายเข้ากัน และจากนั้นผสมส่วน A และส่วน B เข้าด้วยกันจนได้สารละลายใส

2. การวิเคราะห์ลักษณะเส้นใยผ้าด้วยกล้องจุลทรรศน์

ผ้าฝ้ายและผ้าไหมได้รับมาจากกลุ่มศุขโขผ้าทอจังหวัดสุโขทัย (Cluster of Sukhothai Ancient Fabric) โดยที่ผ้าฝ้ายทอจากด้ายฝ้ายขนาด 39.50 เทกซ์ (tex) แรงดึงขาด 7,600 เซนตินิวตัน (cN) และผ้าไหมทอจากด้ายไหมขนาด 16.18 เทกซ์ (tex) แรงดึงขาด 4,050 เซนตินิวตัน (cN) นำผ้าทั้ง 2 ชนิดไปแช่ในผลิตภัณฑ์สเปรย์ขจัดกลิ่นไม่พึงประสงค์เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำชิ้นผ้าออกจากผลิตภัณฑ์ ปล่อยให้ผ้าแห้งสนิทโดยวางชิ้นผ้าไว้บนกระจกนาฬิกาเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการตัดชิ้นผ้าให้มีขนาด 2 x 2 ตารางเซนติเมตร จากนั้นนำผ้าไปถ่ายภาพภายใต้กล้องจุลทรรศน์สเตอริโอ (Nikon, model C–BD230, JAPAN) โดยใช้ซอฟแวร์ถ่ายภาพ NIS element ที่กำลังขยาย 20 เท่า สังเกตความแตกต่างของเส้นด้ายในชิ้นผ้า สังเกตว่ามีคราบตะกอนของสารเคมีตกค้างบนวัสดุผ้าหรือไม่ โดยใช้น้ำกลั่นเป็นการทดลองควบคุม

Table 1 Formulation of Malodor Eliminator Spray

Part	Ingredient	Function	Formulation (% w/w)		
			F1	F2	F3
A	Fragrance TCFF Fineline blue (INCI: perfume)	malodor-masking	-	-	0.30
A	Tego Cosmo P813 (INCI: polyglyceryl-3 caprylate)	natural deodorant	-	0.30	0.30
A	Product-21-BN (INCI: PEG-40 hydrogenated castor oil)	solubilizer	0.30	0.30	0.30
B	Water (INCI: distilled water)	solvent	98.70	98.40	98.10
B	Microcare MT (INCI: methylisothiazolinone)	anti-microbial	1.00	1.00	1.00

3. การทดสอบการยับยั้งแบคทีเรีย

แบคทีเรียที่ใช้ทดสอบจำนวน 2 สายพันธุ์ ได้แก่ สตาฟิโลค็อกคัส ออเรียส (*Staphylococcus aureus*) ซึ่งเป็นแบคทีเรียชนิดแกรมบวก และเอสเชอริเชีย โคไร (*Escherichia coli*) ซึ่งเป็นแบคทีเรียชนิดแกรมลบ ได้รับจากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) การเตรียมอาหารเหลวเพาะเชื้อ (nutrient broth) ประกอบด้วย บีฟเอ็กซ์เทรค (beef extract) ปริมาณ 3 กรัม,เพปโทน (peptone) 5 กรัม,น้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร และอาหารวุ้นเพาะเชื้อ (nutrient agar) เตรียมโดยเพิ่ม ผงวุ้น (agar) 15 กรัม สารละลายสำหรับปรับสภาพให้เป็นกลางคือสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (0.85 % sodium chloride) การเตรียมชิ้นผ้าทดสอบ โดยทำการตัดผ้าไหมและผ้าฝ้ายเป็นชิ้นวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตรสำหรับการทดสอบเชิงคุณภาพ และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 48 มิลลิเมตรสำหรับการทดสอบเชิงปริมาณ โดยที่ชิ้นผ้าไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ จากนั้นนำผ้าไปชุบในผลิตภัณฑ์สเปรย์ขจัดกลิ่นให้เปียกและปล่อยให้ผ้าแห้งสนิทโดยวางชิ้นผ้าไว้บนกระจกนาฬิกาเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วจึงนำไปทดสอบ ใช้น้ำกลั่นเป็นชุดควบคุม (control group)

3.1 การทดสอบการต้านแบคทีเรียของผลิตภัณฑ์ (เชิงคุณภาพ)

ใช้วิธีอ้างอิงตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) 121 เล่ม 29 – 2554 การประเมินการต้านแบคทีเรียของสิ่งทอ (Thai Industrial Standards Institute, 2011) มีขั้นตอนดังนี้

1) การเตรียมอาหารวุ้นเพาะเชื้อชั้นล่างในจานเพาะเชื้อ เทอาหารวุ้นเพาะเชื้อที่ผ่านการทำไร้เชื้อแล้วปริมาตร 10.0 มิลลิลิตร ลงในจานเพาะเชื้อที่ผ่านการทำไร้เชื้อแต่ละจานแล้วปล่อยให้อาหารแข็งตัว โดยการทำให้ไร้เชื้อในหม้อนึ่งอัดไอ ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 205 กิโลพาสคัล เป็นเวลา 15 นาที

2) การเตรียมอาหารวุ้นเพาะเชื้อชั้นบนในจานเพาะเชื้อ เตรียมอาหารวุ้นที่มีปริมาณที่เพียงพอ และทำให้เย็นลงในอ่างน้ำที่มีอุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส จากนั้นปิเปตเชื้อทดสอบ (ความเข้มข้น 1 – 5 x 108 CFU/mL) ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในอาหารวุ้นเพาะเชื้อ 150 มิลลิลิตร เขย่าอย่างแรงเพื่อกระจายแบคทีเรียให้ทั่วถึง แล้วเทอาหารที่มีแบคทีเรียปริมาตร 5 มิลลิลิตร ลงบนจานเพาะเชื้อที่มีอาหารวุ้นชั้นล่างปล่อยให้อาหารแข็งตัว นำไปทดสอบภายใน 1 ชั่วโมง

3) วางชิ้นผ้าทดสอบและชิ้นผ้าควบคุมบนอาหาร จานละ 1 ชิ้น ให้ชิ้นผ้าสัมผัสกับอาหารวุ้นเพาะเชื้ออย่างทั่วถึง นำไปบ่มเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสทันที

4) ตรวจดูการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย คำนวณระยะเขตวงรอบชิ้นผ้าที่ยับยั้งแบคทีเรีย โดยใช้สูตร

$$H = (D-d)/2$$

โดยที่ H คือ ระยะเขตวงรอบชิ้นผ้าที่ยับยั้งแบคทีเรีย (มิลลิเมตร)

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางรวมของชิ้นผ้าและระยะเขตวงรอบชิ้นผ้าที่ยับยั้งแบคทีเรีย (มิลลิเมตร)

d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นผ้า (มิลลิเมตร)

3.2 การทดสอบการต้านแบคทีเรียของผลิตภัณฑ์ (เชิงปริมาณ)

ใช้วิธีอ้างอิงตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) 121 เล่ม 30 – 2554 การประเมินการต้านแบคทีเรียของสิ่งทอ (Thai Industrial Standards Institute, 2011) มีขั้นตอนดังนี้

1) นำชิ้นผ้าทดสอบใส่ในขวดปากกว้างที่ผ่านการทำให้ไร้เชื้อ จำนวน 4 ขวดต่อเชื้อ ปิดปากขวดให้แน่น โดย ขวดที่ 1 และขวดที่ 2 ใส่ชิ้นผ้าที่ตกแต่งด้วยสารต้านแบคทีเรียและไม่ได้รับการใส่เชื้อ ขวดที่ 3 และขวดที่ 4 ใส่ชิ้นผ้าที่ไม่ตกแต่งด้วยสารต้านแบคทีเรียและได้รับการใส่เชื้อ

2) นำขวดที่ 2 และขวดที่ 4 บ่มเพาะเชื้อที่ใส่ชิ้นผ้า ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3) นำขวดที่ 1 และ ขวดที่ 3 ไปทดสอบ โดยการเทสารละลายสำหรับปรับสภาพให้เป็นกลาง ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ลงในขวดที่ใส่ชิ้นทดสอบ เขย่าขวดอย่างแรงเป็นเวลา 1 นาที เพื่อแยกแบคทีเรียออกจากชิ้นทดสอบ

4) แบ่งสารละลาย ขวดที่ 1 และ ขวดที่ 3 ออกมาเจือจางเป็นลำดับ (serial dilution) ด้วยสารละลายสำหรับปรับสภาพให้เป็นกลาง และเพาะเชื้อ (pour plate) บนลงจานเพาะเชื้อ ระดับการเจือจางละ 2 จาน ระดับความเจือจางที่ 1 เท่า (100 dilution) 10 เท่า (101 dilution) และ 100 เท่า (102 dilution) ตามลำดับ

5) นำจานอาหารวุ้นเพาะเชื้อ ไปบ่มเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นับจำนวนโคโลนีของแบคทีเรียบนอาหารวุ้นเพาะเชื้อ บันทึกค่าเป็นโคโลนีของแบคทีเรียต่อตัวอย่างที่เวลาสัมผัสเชื้อเท่ากับศูนย์

6) นำขวดที่ 2 และ ขวดที่ 4 บ่มเพาะเชื้อที่ใส่ชิ้นทดสอบที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เทสารละลายสำหรับปรับสภาพให้เป็นกลาง ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ลงในขวดที่ใส่ชิ้นทดสอบ เขย่าขวดอย่างแรงเป็นเวลา 1 นาที เพื่อแยกแบคทีเรียออกจากชิ้นทดสอบ

7) สำหรับปรับสภาพให้เป็นกลาง และเพาะเชื้อ (pour plate) บนลงจานเพาะเชื้อ ระดับการเจือจางละ 2 จาน ระดับความเจือจางที่ 1 เท่า (100 dilution) 10 เท่า (101 dilution) และ 100 เท่า (102 dilution) ตามลำดับ

8) นำจานอาหารวุ้นเพาะเชื้อ ไปบ่มเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นับจำนวนโคโลนีของแบคทีเรียบนอาหารวุ้นเพาะเชื้อ หากไม่พบโคโลนีของแบคทีเรียบนอาหารวุ้นเพาะเชื้อ ที่ระดับความเจือจาง 1 เท่า (ไม่ได้ทำการเจือจาง) ให้บันทึกค่าเป็น น้อยกว่า 100 คำนวณจำนวนโคโลนีของแบคทีเรียที่ลดลงเป็นร้อยละ โดยใช้สูตร

$$R = [(C–A)/C] \times 100$$

โดยที่ R คือ จำนวนโคโลนี (CFU/mL) ของแบคทีเรียที่ลดลง (ร้อยละ)

A คือ จำนวนโคโลนีของแบคทีเรีย (CFU/mL) ที่นับได้จากชิ้นทดสอบที่ตกแต่งด้วยสารต้านแบคทีเรียซึ่งบ่มเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

C คือ จำนวนโคโลนีของแบคทีเรีย (CFU/mL) ที่นับได้จากชิ้นทดสอบที่ไม่ตกแต่งด้วยสารต้านแบคทีเรียซึ่งมีเวลาสัมผัสเชื้อเท่ากับศูนย์

หมายเหตุ ค่า C ของผ้าไหมเท่ากับ 706 (CFU/mL) และ ผ้าฝ้ายเท่ากับ 3,244 (CFU/mL)

4. การประเมินคุณสมบัติการยับยั้งกลิ่นไม่พึงประสงค์จากเหงื่อ

การประเมินคุณสมบัติการยับยั้งกลิ่นไม่พึงประสงค์จากเหงื่อ โดยการประเมินกลิ่นเหงื่อที่แบคทีเรียสร้างขึ้น (malodor evaluation) วิธีการดัดแปลงของ Gulumser (2015) โดยทดสอบผลิตภัณฑ์กับอาสาสมัครจำนวน 20 ราย ด้วยการให้คะแนนความเข้มของกลิ่นเหงื่อในชิ้นผ้า 5 ระดับ (5–point intensity scale) กำหนดให้คะแนนดังนี้

0 = ไม่มีกลิ่นเหงื่อ	1 = มีกลิ่นเหงื่อน้อยมาก
2 = มีกลิ่นเหงื่อ	3 = มีกลิ่นปานกลาง
4 = มีกลิ่นรุนแรง	5 = มีกลิ่นรุนแรงมาก

ทำการประเมินโดยฉีดพรมผลิตภัณฑ์ทดสอบลงไป 2 ครั้ง ลงบนผ้าไหมและผ้าฝ้ายสี่เหลี่ยมขนาด 7 x 7 เซนติเมตร เพื่อให้ผืนผ้าสัมผัสกับผลิตภัณฑ์อย่างทั่วถึง จากนั้นทิ้งไว้ 5 นาทีให้ผ้าแห้ง แล้วนำผืนผ้าไปติดบริเวณด้านในของเสื้ออาสาสมัครในตำแหน่งของบริเวณระหว่างเหนือสะดือใต้อก จากนั้นอาสาสมัครสวมใส่เสื้อในเวลาเช้า โดยให้ผืนผ้าด้านที่ได้รับการฉีดพ่นผลิตภัณฑ์สัมผัสกับผิวหนัง เมื่อครบ 8 ชั่วโมง แกะชิ้นผ้าออกเพื่อให้อาสาสมัครประเมินระดับของกลิ่นเหงื่อที่ชิ้นผ้า

5. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพรรณนา ใช้การหาค่าเฉลี่ยทางเลขคณิต (mean) ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงอนุมานใช้สถิติ one way ANOVA เพื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนของการวิเคราะห์การต้านแบคทีเรียของผลิตภัณฑ์และประเมินคุณสมบัติการยับยั้งกลิ่นเหงื่อ โดยการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงอนุมานทั้งหมดกำหนดระดับนัยสำคัญไว้ที่

($P < 0.05$) วิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Statistics Version 24

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์ลักษณะเส้นใยของผ้าไหม (S) และผ้าฝ้าย (C) เมื่อได้สัมผัสกับผลิตภัณฑ์สเปรย์และปล่อยให้ผืนผ้าแห้ง จากนั้นนำผ้าไปถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 20 เท่า พบว่าผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 สูตร (F1, F2 และ F3) ไม่เกิดคราบตะกอนของสารส่วนผสมบนผืนผ้าเมื่อเทียบกับน้ำกลั่นหรือชุดควบคุม (CT) ดังนั้นผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 สูตรมีความเหมาะสมที่สามารถใช้เป็นผลิตภัณฑ์สเปรย์ขจัดกลิ่นไม่พึงประสงค์สำหรับเสื้อผ้าได้ เหมาะแก่การใช้งานทั้งผ้าไหมและผ้าฝ้ายรวมไปถึงสามารถใช้ได้ในผ้าสีเข้ม (Figure 1)

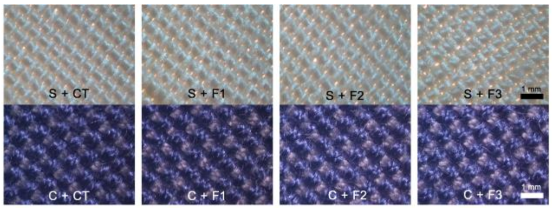


Figure 1 Microscopic observation of fabric at 20X; silk (S) cotton (C) in each treatment; distilled water (CT) and formulation F1–F3

ผลทดสอบประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียเชิงคุณภาพของผลิตภัณฑ์สเปรย์ขจัดกลิ่นไม่พึงประสงค์ พบว่าผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 สูตร (F1, F2 และ F3) มีคุณสมบัติต้านการเจริญของแบคทีเรียได้ดี โดยวิเคราะห์จากระยะวงรอบที่ยับยั้งแบคทีเรีย (inhibition zone) ที่เกิดขึ้นรอบผ้าไหม (S) และผ้าฝ้าย (C) มีขนาดในช่วง 7.33 ± 0.29 ถึง 10.00 ± 0.00 มิลลิเมตร ดังที่แสดงใน Table 2 และพบว่าผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 สูตร สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ทั้ง 2 ประเภท ได้แก่แบคทีเรียชนิดแกรมบวก คือสายพันธุ์ *Staphylococcus* aureus และแบคทีเรียชนิดแกรมลบสายพันธุ์ *Escherichia coli* (Figure 2)นอกจากนี้ยังพบว่าผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 สูตรมีประสิทธิภาพที่ไม่แตกต่างกันเมื่อทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของ inhibition zone ด้วยวิธีการทางสถิติ แต่เมื่อพิจารณาระยะเขตวงรอบชิ้นทดสอบที่ยับยั้งแบคทีเรีย *SA.* ของผ้าไหมกว้างกว่าของผ้าฝ้าย อาจเป็นเพราะว่าผ้าไหมมีความละเอียด (ค่าจำนวนเส้นด้ายต่อพื้นที่) มากกว่าผ้าฝ้าย เนื่องจากผ้าไหมทอจากเส้นด้ายที่มีขนาดเล็กกว่า (16.18 เทกซ์) ผ้าฝ้าย (39.5 เทกซ์) เมื่อวัสดุผ้ามีความละเอียดกว่าจึงมีพื้นที่ผิวมากกว่า ดังนั้นชิ้นผ้าจึงอาจจะสัมผัสกับวุ้นอาหารเลี้ยงเชื้อได้มากกว่าจึงเกิดการแพร่หรือกระจายของสารกันเสียได้ดีกว่า และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ในเชื้อ 2 ชนิดพบว่าสามารถยับยั้งเชื้อ *SA.* (7.50 ± 0.00 mm ถึง 10.00 ± 0.00 mm) ได้สูงกว่าเชื้อ *EC.* (7.33 ± 0.29 mm ถึง 7.83 ± 0.58 mm) ซึ่งสอดคล้องกับผลทดสอบของสารกันเสีย methylisothiazolinone คือผลทดสอบว่ามีค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่ยับยั้งเชื้อได้ร้อยละ 50 (Minimum Inhibitory Concentration; MIC) สำหรับเชื้อ *SA.* และ *EC.* เท่ากับร้อยละ 0.03 และ 0.04 ตามลำดับ ประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียของผลิตภัณฑ์เกิดจากสาร MicrocareMT (INCI: methylisothiazolinone) เนื่องจากเป็นสารวัตถุดิบที่มีคุณคุณสมบัติฆ่าเชื้อแบคทีเรียและอนุญาตให้ใช้ได้ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง (Michael & Irene, 2004) ในการศึกษาครั้งนี้ผลิตภัณฑ์ทุกสูตรมีปริมาณสาร Microcare MT เท่ากันคือร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก จึงส่งผลให้ประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียของผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 สูตร ไม่แตกต่างกัน และส่วนผสมชนิดอื่นที่มีปริมาณแตกต่างกันตามที่แสดงใน Table 1 ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียของผลิตภัณฑ์

Table 2 The anti–bacterial test in each formulation (qualitative evaluation)

Formulation	Inhibition zone (mm.)			
	Staphylococcus aureus (SA)		*Escherichia coli* (EC)	
	Silk (S)	Cotton (C)	Silk (S)	Cotton (C)
Water (CT)	0.00 ± 0.00 [b]	0.00 ± 0.00 [b]	0.00 ± 0.00 [b]	0.00 ± 0.00 [b]
Formulation F1	9.67 ± 0.29 [a]	8.67 ± 1.26 [a]	7.83 ± 0.58 [a]	7.83 ± 0.58 [a]
Formulation F2	9.83 ± 0.29 [a]	7.50 ± 0.00 [a]	7.83 ± 0.58 [a]	7.67 ± 0.29 [a]
Formulation F3	10.00 ± 0.00 [a]	8.33 ± 0.76 [a]	7.33 ± 0.29 [a]	7.33 ± 0.29 [a]

Data are means ± standard deviations of three replicates (n=3). a,b,c Difference letters in the same column indicate significant differences. ($p < 0.05$)

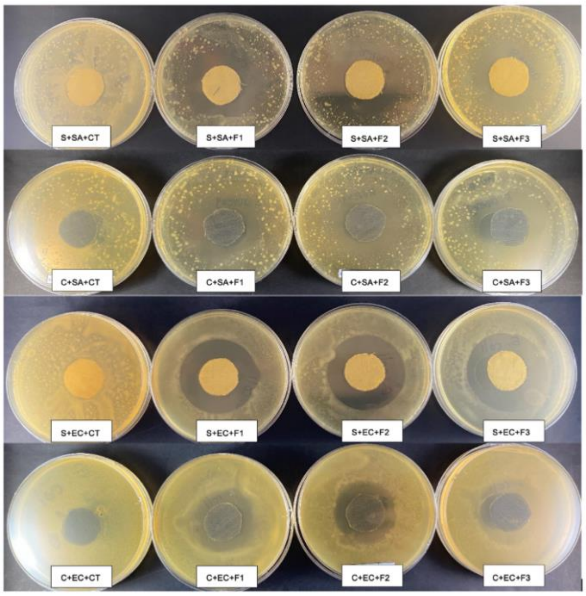


Figure 2 Inhibition zone of silk (S) and cotton (C) in each treatment; distilled water (CT) and formulation F1– F3 when test with *Staphylococcus aureus* (SA) and *Escherichia coli* (EC)

ผลทดสอบประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียเชิงปริมาณของผลิตภัณฑ์สเปรย์ขจัดกลิ่นไม่พึงประสงค์ พบว่าผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 สูตร มีคุณสมบัติยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียได้ทั้ง 2 ประเภท ได้แก่ แบคทีเรียชนิดแกรมบวก สายพันธุ์ *Staphylococcus aureus* และแบคทีเรียชนิดแกรมลบ สายพันธุ์ *Escherichia coli* เมื่อทำการทดสอบในผ้าไหมและผ้าฝ้าย (Figure 3) ผลจากการคำนวณค่าร้อยละการยับยั้งแบคทีเรีย (% inhibition) ของผลิตภัณฑ์เมื่อทดสอบด้วยผ้าไหม พบว่าผลิตภัณฑ์สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ร้อยละ 100 ส่วนการทดสอบในผ้าฝ้ายพบว่าผลิตภัณฑ์สามารถยับยั้งแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* ได้ร้อยละ 92.18 – 92.75 และยับยั้งแบคทีเรีย *Escherichia coli (EC)* ได้ร้อยละ 95.15 – 95.31 เมื่อพิจารณาที่ชนิดของผ้าพบว่าผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 สูตร สามารถยับยั้งเชื้อเมื่อทดสอบกับผ้าไหมได้ดีกว่าทดสอบในผ้าฝ้าย อาจเป็นเพราะว่าผ้าไหมมีความละเอียดมากกว่าผ้าฝ้าย เมื่อวัสดุผ้ามีความละเอียดมากกว่าจึงมีพื้นที่ผิวมากกว่า จึงน่าจะดูดซับผลิตภัณฑ์ได้มากกว่าเมื่อทำมาทดสอบจึงได้ประสิทธิภาพที่สูงกว่า

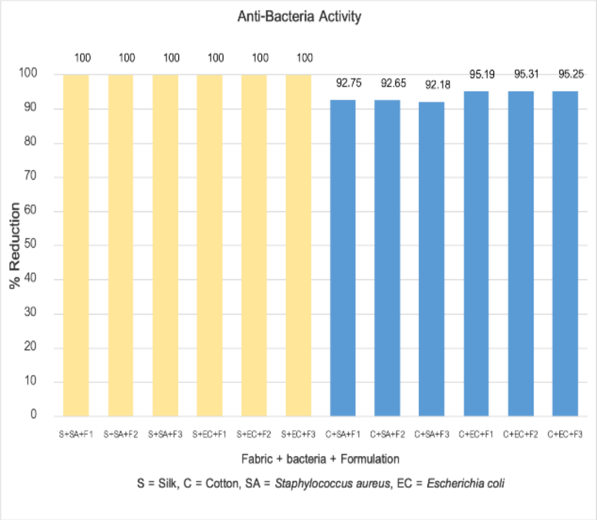


Figure 3 The anti–bacterial test in each formulation (quantitative evaluation)

การประเมินคุณสมบัติการยับยั้งกลิ่นเหงื่อ ใช้วิธีการประเมินทางประสาทสัมผัสของอาสาสมัคร (malodor sensory evaluation) ด้วยการให้คะแนนความเข้มของกลิ่นเหงื่อ 5 ระดับ (5 – point intensity scale) จำนวนอาสาสมัครเข้าร่วมการทดสอบทั้งสิ้น 20 คน แบ่งเป็นเพศชาย 5 คนและเพศหญิง 15 คน อายุในช่วง 24 – 54 ปี ค่าเฉลี่ยของระดับกลิ่นเหงื่อในผ้าไหมและผ้าฝ้าย แสดงใน Table 3 การทดสอบพบว่าเมื่อใช้ผลิตภัณฑ์กับผ้าไหม ผลิตภัณฑ์สูตรที่ F1, F2 และ F3 มีค่าเฉลี่ยระดับกลิ่นเหงื่อในผ้าไหมเท่ากับ 0.45, 0.15 และ 0.05 ตามลำดับ โดยที่ผลิตภัณฑ์สูตรที่ F1 สามารถลดกลิ่นเหงื่อได้ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับชุดควบคุม (ค่าเฉลี่ย 0.60) ส่วนผลิตภัณฑ์สูตรที่ F2 และ F3 สามารถลดกลิ่นเหงื่อผ้าได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับชุดควบคุม ผลการทดสอบในผ้าฝ้ายพบว่า ผลิตภัณฑ์สูตรที่ F1, F2 และ F3 มีค่าเฉลี่ยระดับกลิ่นเหงื่อเท่ากับ 0.40, 0.15 และ 0.05 ตามลำดับ และผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 สูตร สามารถลดกลิ่นเหงื่อในผ้าฝ้ายได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับชุดควบคุม (p < 0.05) แต่จากผลการประเมินระดับของกลิ่นเหงื่อของอาสาสมัคร พบว่าผลิตภัณฑ์ควบคุมให้ค่าระดับกลิ่นเหงื่อค่อนข้างต่ำ (0.9) การที่ระดับกลิ่นเหงื่อที่ต่ำ อาจเกิดจากกลุ่มอาสาสมัครที่ทดสอบส่วนใหญ่ทำงานและหรือมีกิจกรรมตามปกติที่เกิดการหลั่งเหงื่อระหว่างวันค่อนข้างต่ำจึงอาจส่งผลให้ค่าระดับกลิ่นเหงื่อต่ำลงด้วยเช่นกัน ผลการประเมินคุณสมบัติการยับยั้งกลิ่นเหงื่อในผ้าทั้งสองชนิดพบว่า ผลิตภัณฑ์สูตรที่ F3 มีประสิทธิภาพสูงสุด รองลงมาคือสูตรที่ F2 และสูตรที่ F1 ตามลำดับ จากผลการประเมินดังกล่าว สามารถอธิบายได้ดังนี้ ผลิตภัณฑ์สูตรที่ F1 มีสารยับยั้งแบคทีเรีย Microcare MT เพียงอย่างเดียว จึงมีกลไกยับยั้งไม่ให้แบคทีเรียสร้างกลิ่นเหงื่อบนผ้าจากเหงื่อที่หลั่งออกมาจากผิวหนัง ส่วนสูตรที่ F2 มีส่วนผสมเพิ่มเติมจากสูตรที่ F1 คือ Tego Cosmo P813 (INCI: polyglyceryl–3 caprylate) เป็นสารธรรมชาติที่มีคุณสมบัติระงับกลิ่น (natural deodorant) จึงสามารถช่วยระงับกลิ่นเหงื่อจากผ้าได้ (Cosmetic Ingredient Review, 2012). และสูตรที่ F3 มีส่วนผสมน้ำหอมเพิ่มเติมจากสูตร F2 โดยปกติแล้วน้ำหอมจะมีคุณสมบัติกลบกลิ่น (malodor masking) เหงื่อหรือกลิ่นไม่พึงประสงค์ที่แบคทีเรียสร้างขึ้น จึงทำให้ผลิตภัณฑ์สูตรที่ 3 มีประสิทธิภาพสูงสุด อย่างไรก็ตามหากผู้บริโภคไม่ต้องการหรือไม่ชอบกลิ่นน้ำหอม ผู้บริโภคสามารถเลือกสูตรที่ F2 ได้เพราะสามารถยับยั้งการเกิดกลิ่นเหงื่อในผ้าได้เช่นกัน

Table 3 malodor sensory evaluation

Formulation	Mean of malodor intensity scale	
	Silk (S)	Cotton (C)
Water (CT)	0.60 ± 0.50[a]	0.90 ± 0.31[a]
Formulation F1	0.45 ± 0.51[ab]	0.40 ± 0.50[b]
Formulation F2	0.15 ± 0.37[bc]	0.15 ± 0.37[b]
Formulation F3	0.05 ± 0.22[c]	0.05 ± 0.22[b]

Data are means ± SD and a,b,c Difference letters in the same column indicate significant differences. (p < 0.05), n=20

สรุปผลการวิจัย

ผลิตภัณฑ์สเปรย์ยับยั้งกลิ่นไม่พึงประสงค์สำหรับผ้าทั้ง 3 สูตร (F1, F2 และ F3) ไม่ทิ้งคราบตะกอนของสารวัตถุส่วนผสมตกค้างผืนผ้าเมื่อใช้งานในผ้าสีเข้ม ผลิตภัณฑ์ทุกสูตรสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ทั้ง 2 ประเภท คือ *Staphylococcus aureus* และ *Escherichia coli* เมื่อทดสอบด้วยวิธีเชิงคุณภาพ ส่วนการทดสอบด้วยวิธีเชิงปริมาณ พบว่าผลิตภัณฑ์สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้

ร้อยละ 100 เมื่อทดสอบในผ้าไหม ส่วนการทดสอบในผ้าฝ้ายพบว่าผลิตภัณฑ์สามารถยับยั้งแบคทีเรีย ได้ร้อยละ 92.18 – 100 ผลการประเมินประสิทธิภาพยับยั้งกลิ่นเหงื่อพบว่าผลิตภัณฑ์สูตรที่ F3 มีประสิทธิภาพสูงสุด รองลงมาคือสูตรที่ F2 และสูตรที่ F1 ตามลำดับ ผลิตภัณฑ์สูตรที่ F3 เกิดจากการผสมผสานสารส่วนประกอบที่ทำหน้าที่ต่าง ๆ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณสมบัติครบถ้วนทั้ง 3 ด้านตรงตามวัตถุประสงค์ ได้แก่ การยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย การทำให้โมเลกุลกลิ่นเป็นกลางและการใช้น้ำหอมกลบกลิ่นไม่พึงประสงค์ ซึ่งจะเป็นข้อได้เปรียบหรือจุดขายให้แก่ผลิตภัณฑ์ได้เมื่อนำสูตรออกมาผลิตออกจำหน่าย ซึ่งผลิตภัณฑ์สเปรย์ขจัดกลิ่นที่วางจำหน่ายทั่วไปมักมีสารส่วนผสมที่มีหน้าที่เพียง 2 ด้านคือ การยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย ร่วมกับการใช้น้ำหอมกลบกลิ่นไม่พึงประสงค์

กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณในการศึกษาวิจัยจากศูนย์ส่งเสริมอุตสาหกรรมภาคที่ 2 กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม และสนับสนุนการถ่ายทอดองค์ความรู้สู่กลุ่มผ้าทอจังหวัดสุโขทัย การพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์ได้รับการสนับสนุนจากสาขาพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพและเครื่องสำอาง คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

References

Ballarin, B., Mignani, A., Mogavero, F., Gabbanini, S. & Morigi, M. (2015). Hybrid material based on ZnAl hydrotalcite & silver nanoparticles for deodorant formulation. *Applied Clay Science*, 114, 303–308.

Callewaert, C., Maeseneire, D.E., Kerckhof, M.F., Verliefde, A., Wiele, V. T. & Boona, N. (2014). Microbial odor profile of polyester & cotton clothes after a fitness session. *Applied & Environmental Microbiology*, 80, p 6611–6619.

Cosmetic Ingredient Review. (2012). *Safety assessment of polyglyceryl fatty acid esters as used in cosmetics*. Retrieved from https://www.cir-safety.org/sites/default/files/PGlyFE032016TR%20-%20final.pdf

Gautschi, M., Natsch, A., & Schroder, F. (2007) Biochemistry of human axilla malodor & chemistry of deodorant ingredients. *Chemistry makes life easier,* 61 21–32.

Gulumser, T., Balpetek, F. & Demir, A. (2015). Durability of fabric softeners' odor used in home type of washings at cotton products during wearing. *Journal of Textile & Apparel*, 25(3), 263–269.

Michael, A. & Irene, A. (2004). Handbook of preservative. New York: Synapse Information Resources, Inc.

Nakashima, T. & Matsuo, M. (2001) Relationship between antimicrobial activity & deodorant efficacy for cotton socks treate with metal. *Biocontrol Science*, 6, 1–8.

Natsch, A., Derrer, S., Flachsmann, F. & Schmid, J. (2006). A Broad diversity of volatile carboxylic acids, released by a bacterial aminoacylase from axilla secretions, as candidate molecules for the determination of human–body odor type. *Chemistry & Biodiversity*,3, 1–20.

Thai Industrial Standards Institute. (2011). *TIS 121–2554 standard test methods for textiles part 29 determination of antibacterial activity of textile products (qualitative test)*. Bangkok: Ministry of Industry. (in Thai)

Thai Industrial Standards Institute. (2011). *TIS 121–2554 standard test methods for textiles part 30 determination of antibacterial activity of textile products (quantitative test)*. Bangkok: Ministry of Industry. (in Thai)

Research article

Antibacterial and Deodorizing Effect of Malodor Eliminator Spray for Cotton and Silk Fabric

Jirasit Inthorn[1*], Yanisa Chindaluang[1], Saranya Sornmanee[1] and Premnapa Sisopa[1]

[1]*Health and Cosmetic Product Development Department, Faculty of Food and Agricultural Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, Mueang, Phitsanulok 65000*

ARTICLE INFO

Article history
Received: 3 September 2021
Revised: 5 October 2021
Accepted: 7 October 2021
Online published: 26 November 2021

Keyword
anti–bacteria
Malodor
Eliminator Spray

ABSTRACT

This research aimed to study the effectiveness of inhibiting bacteria growth and the deodorant effect of three malodor eliminator spray formulations. The product has a different composition consist of Microcare MT (an antimicrobial agent), Cosmo P813 (deodorant) and perfume. The antibacterial test was conducted quantitatively and qualitatively according to the Thai industry standard's fabric standard testing method. *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* were used as the representative of bacteria by testing on cotton and silk fabrics. In addition, this research also investigated the deodorization efficiency through the sensory evaluation of consumers. The results revealed that the qualitative antibacterial activity of all formulations had a larger zone of the inhibition than that of the control product. The quantitative antimicrobial efficiency found that all formulas showed the inhibition percentage in the range of 92.75 – 100. The malodor elimination results showed that all formulas could reduce the unpleasant smell of cotton and silk by consumer preferences studying. From all efficacy results, it can be concluded that the malodor eliminator spray product can be further commercialized.

*Corresponding author
E-mail address: jirasit.i@psru.ac.th (J. Inthorn)
Online print: 26 November 2021 Copyright © 2021. This is an open access article, production and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. https://doi.org/10.14456/paj.2021.18

PRAWARUN AGRICULTURAL JOURNAL
https://li01.tci-thaijo.org/index.php/pajrmu/index

บทความวิจัย

ประสิทธิภาพของน้ำอิเล็กโทรไลต์ชนิดกรดในการฆ่าเชื้อโรค

นวลใย ญารักษา[1*] ชัดชัย แก้วตา[2] ศุภาวีร์ มากดี[2] และ ธีระ สารุพันธ์[2]

[1]สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี 34000

[2]สาขาวิชานวัตกรรมดิจิทัล คณะวิทยาการคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี 34000

ข้อมูลบทความ

Article history
รับ: 3 สิงหาคม 2564
แก้ไข: 30 กันยายน 2564
ตอบรับการตีพิมพ์: 5 ตุลาคม 2564
ตีพิมพ์ออนไลน์: 26 พฤศจิกายน 2564

คำสำคัญ
น้ำอิเล็กโทรไลต์ชนิดกรด
น้ำยาฆ่าเชื้อ
กรดไฮโปคลอรัส

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำอิเล็กโทรไลต์ชนิดกรด โดยใช้หลักการอิเล็กโทรลิซิส (electrolysis) ที่ใช้ขั้วที่ทำด้วยแกรไฟต์ ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของน้ำอิเล็กโทรไลต์ที่ผลิตได้แล้วทดสอบความสามารถในการฆ่าเชื้อแบคทีเรีย 2 สายพันธุ์ คือ (*S.* aureus) และ (*E. coli*) และทดสอบความคงตัวของน้ำอิเล็กโทรไลต์ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำอิเล็กโทรไลต์ชนิดกรด ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร คือ น้ำเกลือความเข้มข้น 3% เติมน้ำส้มสายชู 5% ปริมาตร 15 มิลลิลิตร กระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้า 12 โวลต์ เวลา 5 นาที น้ำอิเล็กโทรไลต์ที่ผลิตได้มีค่า pH อยู่ที่ 3.37±0.05 ค่าประสิทธิภาพการเกิดออกซิเดชัน–รีดักชัน (oxidation–reduction potential; ORP) เท่ากับ +1,280±2.00 มิลลิโวลต์ และมีปริมาณคลอรีนอิสระ เท่ากับ 80 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และน้ำอิเล็กโทรไลต์ชนิดกรดนี้สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* และ *E. coli* ได้ โดยพบว่า จำนวนเชื้อรอดชีวิตลดลงตั้งแต่ 15 วินาทีแรกของการสัมผัสเชื้อ และน้ำอิเล็กโทรไลต์ชนิดกรดที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องในภาชนะที่ปิดสนิท สามารถเก็บไว้ได้นานถึง 4 สัปดาห์ โดยน้ำอิเล็กโทรไลต์ยังมีความคงตัว pH ของน้ำอิเล็กโทรไลต์ยังคงความเป็นกรด ค่า ORP ยังมีค่าเป็นบวก (+) สูง

บทนำ

น้ำยาฆ่าเชื้อ (disinfectant) ใช้เรียกสารเคมีที่มีฤทธิ์ฆ่าเชื้อ ทำให้ปลอดเชื้อหรือทำลายเชื้อ โดยน้ำยาฆ่าเชื้อสามารถกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ได้หลากหลาย และไม่จำเพาะเจาะจง ใช้กำจัดเชื้อจุลินทรีย์บนพื้นผิวสิ่งของต่าง ๆ เพื่อยับยั้งการแพร่กระจายของเชื้อ น้ำยาฆ่าเชื้อแต่ละชนิดออกฤทธิ์ด้วยกลไกการทำงานที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับโครงสร้างแรงระหว่างโมเลกุล และหมู่ฟังก์ชัน (functional group) ของสารประกอบนั้น ๆ โดยมีผลกระทบต่อเซลล์ในด้านต่าง ๆ เช่น การแตกหรือรั่วออกของเซลล์ การรบกวนสมดุลภายในเซลล์ การรบกวนการทำงานของเยื่อหุ้มเซลล์ การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ การยับยั้งกระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอน เป็นต้น ทั้งนี้ส่วนต่าง ๆ ของเซลล์อาจถูกน้ำยาฆ่าเชื้อเข้าทำปฏิกิริยาได้ด้วยกลไกที่แตกต่างกัน ซึ่งสารเคมีเหล่านี้จะทำให้เกิดอันตรายต่อผิวหนังและเยื่อเมือกของร่างกายโดยตรง โดยการแบ่งชนิดของน้ำยาฆ่าเชื้อสามารถแบ่งได้หลายวิธี วิธีหนึ่งที่นิยมคือ การแบ่งตามคุณสมบัติทางเคมี โดยเฉพาะโครงสร้างทางเคมี สารที่นิยมนำมาเป็นน้ำยาฆ่าเชื้อที่ใช้กับเครื่องมือและพื้นผิวต่าง ๆ คือ สารประกอบคลอรีน (chlorine containing compounds) สารที่เป็นที่นิยมใช้เป็นมาตรฐานทั่วไป คือ โซเดียมไฮโปคลอไรต์ (sodium hypochlorite; NaOCl) สารนี้ออกฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อจากการละลายน้ำแล้วได้กรดไฮโปคลอรัส (hypochlorus; HOCl) เข้าทำปฏิกิริยากับโปรตีนภายในเซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์ หรืออาจเกิดการออกซิไดซ์ (oxidize) โซเดียมไฮโปคลอไรต์มีราคาถูก ฆ่าเชื้อได้ดีโดยขึ้นกับความเข้มข้นที่ใช้ ความเข้มข้น 0.5 – 1 % สามารถทำลายไวรัสตับอักเสบ และไวรัสเอชไอวีได้ (Garcia et al., 2010; Sehulster et al., 1981) นอกจากนี้ความเข้มข้น 0.5 % ที่เรียกว่า Dakin’s solution สามารถใช้เป็นสารฆ่าเชื้อ (antiseptic solution) ใช้ล้างแผลเพื่อละลายและดับกลิ่นเนื้อเยื่อที่ตายแล้ว อย่างไรก็ตามโซเดียมไฮโปคลอไรต์ มีข้อเสียหลาย

* Corresponding author
E-mail address: nualyai.y@ubru.ac.th (N. Yaraksa)
Online print: 26 November 2021 Copyright © 2021. This is an open access article, production and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. https://doi.org/10.14456/paj.2021.19

ประการ ได้แก่ เป็นน้ำยาฆ่าเชื้อที่มีความคงตัวต่ำ ต้องเตรียมผสมน้ำยาใหม่ทุกวัน ระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ เนื้อเยื่อและผิวหนัง มีกลิ่นฉุน มีฤทธิ์กัดกร่อนโลหะ (Levine, 2013; McCullough, 2014) ไม่สามารถฉีดพ่นบนร่างกาย และไม่เหมาะที่จะใช้ฆ่าเชื้อละอองไวรัสที่ติดตามของใช้ส่วนตัวหรือบรรจุภัณฑ์อาหารที่จะนำมาบริโภค

น้ำอิเล็กโทรไลต์ (electrolyzed oxidizing water; EO Water) เป็นน้ำที่ผลิตมาจากน้ำและเกลือ โดยใช้หลักการแยกสารด้วยประจุไฟฟ้า ให้เกิดการแตกตัวของไอออนได้สารไฮโปคลอรัสที่มีประสิทธิภาพดีกว่าไฮโปคลอไรต์ไอออน (OCl^-) ที่ได้จากการแตกตัวจากโซเดียมไฮโปคลอไรต์ และแคลเซียมไฮโปคลอไรต์ (calcium hypochlorite; $Ca(OCl)_2$) (Grech & Rijkenberg, 1992; Kim et al., 2000) ในปัจจุบันมีการผลิตน้ำอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งเป็นสารฆ่าเชื้อโรคที่มีคุณสมบัติเป็นสารฆ่าเชื้อโรคที่ไม่มีสารพิษ มีความเสถียร ราคาไม่แพง และมีความปลอดภัยต่อผู้ใช้งาน (Huang et al., 2006) น้ำอิเล็กโทรไลต์เกิดจากการแยกสลายสารด้วยขั้วไฟฟ้าบวกและลบ โดยเมื่อผ่านน้ำเกลือลงไป ทำให้เกิดปฏิกิริยาอิเล็กโทรไลซิส (electrolysis) ของสารละลายเกลือขึ้นเป็นสารประกอบที่มีไอออนคือ OH^- และ Cl^- ดังสมการ

NaCl + H2O →→→ $Na^+ + Cl^- + H^+ + OH^-$

2Cl- →→→→ Cl_2+2e^-

Anode: $Cl_2 + H_2O$ →→→ HOCl +HCl

Cathode: $2Na^+ + 2H_2O$ →→→ $2NaOH + H_2$

ซึ่งสารไฮโปคลอรัสที่ได้นี้ เป็นสารที่ออกซิไดซ์ได้แรงกว่าสารประกอบคลอรีนที่อยู่ในรูปแคลเซียมไฮโปคลอไรต์ และโซเดียมไฮโปคลอไรต์ นอกจากปัจจัยของกรดไฮโปคลอรัสที่เป็นองค์ประกอบในน้ำอิเล็กโทรไลต์ชนิดกรดแล้ว ค่าการเกิดออกซิเดชัน–รีดักชัน (oxidation–reduction potential; ORP) ที่สูงมากกว่า 1,100 mV ยังเป็นปัจจัยที่สำคัญในการสนับสนุนให้ประสิทธิภาพในการทำลายจุลินทรีย์ได้ดียิ่งขึ้น (Kim et al., 2000)

เนื่องจากสถานการณ์การแพร่ระบาดของไวรัสโควิด – 19 เพื่อป้องกันการแพร่เชื้อโรคไปยังผู้อื่น ต้องยึดหลัก กินร้อน ช้อนกลาง ล้างมือ กินอาหารที่ปรุงสุกใหม่ ซึ่งจากการเก็บข้อมูลในร้านอาหารในเขตพื้นที่ อ.เมือง จ.อุบลราชธานี เบื้องต้นพบว่า ร้านอาหารมีการป้องกันเชื้อไวรัสโควิด - 19 ยกตัวอย่างเช่น เจ้าของร้านการสวมหน้ากากอนามัย มีบริการเจลล้างมือที่หน้าร้าน หรือมีการจัดโต๊ะให้ห่างกัน 2 เมตร เป็นต้น แต่ในเรื่องการทำความสะอาดสิ่งของภายในร้านค้า เช่น ถ้วย จาน ช้อน เก้าอี้ หรือ โต๊ะ ยังเป็นคงใช้แนวทางแบบเดิม คือ การล้างถ้วย จาน ช้อน ด้วยน้ำยาล้างจาน แล้วล้างออกด้วยน้ำสะอาด และการเช็ดโต๊ะ เก้าอี้ ด้วยผ้าชุบน้ำธรรมดา ซึ่งอาจจะไม่เพียงพอที่จะทำให้ปลอดภัยจากเชื้อไวรัสโควิด–19 โดยงานวิจัยของ Sapcharoenkul (2007) ได้ทดสอบประสิทธิภาพของน้ำอิเล็กโทรไลต์ชนิดกรดในการทำลายฟิล์มชีวภาพบนพื้นผิวทดสอบ ได้แก่ สแตนเลสสตีล ยาง และพลาสติก ผลพบว่าน้ำอิเล็กโทรไลต์ชนิดความเข้มข้น 30 ppm สามารถทำลายฟิล์มชีวภาพได้ภายในเวลา 30 นาที

ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำอิเล็กโทรไลต์ชนิดกรด ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของน้ำอิเล็กโทรไลต์ที่ผลิตได้ จากนั้นทดสอบความสามารถในการฆ่าเชื้อแบคทีเรียของน้ำอิเล็กโทรไลต์ และทดสอบความคงตัวของน้ำอิเล็กโทรไลต์ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการพัฒนาเครื่องผลิตน้ำอิเล็กโทรไลต์อย่างง่ายสำหรับทำความสะอาดสิ่งของในร้านอาหารเพื่อป้องกันเชื้อไวรัสโควิด – 19 โดยการผลิตน้ำอิเล็กโทรไลต์นี้ใช้ต้นทุนต่ำ สามารถทำได้ง่าย และเป็นน้ำยาฆ่าเชื้อที่มีความปลอดภัยต่อผู้ใช้งาน

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

การหาความเข้มข้นของเกลือ และระยะเวลาที่เหมาะสมในการผลิตน้ำอิเล็กโทรไลต์

ผลิตน้ำอิเล็กโทรไลต์โดยใช้หลักการอิเล็กโทรลิซิส (electrolysis) โดยใช้ขั้วแกรไฟต์ ชั่งเกลือ 1, 30 และ 50 กรัม ละลายในน้ำกลั่นประมาณ 500 มิลลิลิตร (mL) ในขวดขนาด 1,000 mL จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 1,000 mL จะได้น้ำเกลือความเข้ม 0.1, 3 และ 5% ตามลำดับ นำสารละลายเกลือ (NaCl) ใส่ในแชมเบอร์ (chamber) แล้วกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้า 12 โวลต์ ใช้กระดาษวัด pH วัดค่าความเป็นกรด - เบส (pH) ของสารละลายที่ระยะเวลา 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 นาที ตามลำดับ

การผลิตน้ำอิเล็กโทรไลต์ชนิดกรด

เตรียมน้ำเกลือความเข้มข้น 3% ปริมาตร 1,000 mL จากนั้นเติมน้ำส้มสายชูกลั่น 5% ปริมาตร 15 mL คนสารละลายให้เข้ากัน แล้ววัดค่าความเป็นกรด–เบส ด้วยเครื่องพีเอชมิเตอร์ นำน้ำเกลือที่เติมน้ำส้มสายชูแล้วมาผลิตเป็นน้ำอิเล็กโทรไลต์ โดยให้ศักย์ไฟฟ้าที่ 12 โวลต์ เป็นเวลา 5 นาที

การวัดคุณสมบัติทางเคมีของน้ำอิเล็กโทรไลต์

วัดค่าความเป็นกรด–เบส ของน้ำอิเล็กโทรไลต์โดยใช้เครื่องพีเอชมิเตอร์ วัดประสิทธิภาพการเกิดออกซิเดชัน – รีดักชัน (oxidation –reduction potential; ORP) ของน้ำ อิเล็กโทรไลต์ โดยใช้เครื่อง ORP meter ตรวจวัดปริมาณคลอรีนอิสระ (available chlorine concentration; ACC) ของน้ำอิเล็กโทรไลต์ ด้วยชุดทดสอบคลอรีนอิสระคงเหลือในน้ำ (อ 31) สารควบคุมเชิงลบคือ

น้ำกลั่น และสารฆ่าเชื้อมาตรฐานโซเดียมไฮโปคลอไรต์ เพื่อใช้เปรียบเทียบคุณสมบัติกับน้ำอิเล็กโทรไลต์

เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดสอบ

S. aureus (clinical isolate) และ *E. coli* (clinical isolate) เป็นสายพันธุ์ที่แยกได้จากตัวอย่างทางคลินิกจากคณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ทดสอบฤทธิ์การฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ของน้ำอิเล็กโทรไลต์ชนิดกรด

เลี้ยงเชื้อทดสอบบนอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดแข็ง (nutrient Agar) นำเชื้อที่เตรียมไว้ใส่ในหลอดทดลอง ซึ่งผสมกับน้ำในอัตราส่วน 1/10 mL เทียบความขุ่นกับ 0.5 Mcfarland ≈ 108 cell จากนั้นเจือจางเชื้อลงอีก 10 เท่า แล้วนำไปทดสอบ โดยนำน้ำอิเล็กโทรไลต์ 5 mL ผสมกับเชื้อทดสอบ 5 mL ทดสอบที่เวลา 0 นาที 15 วินาที 5 นาที 10 นาที และ 15 นาที ตามลำดับ เมื่อครบเวลาเติมโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.5% (sodium thiosulphate, $Na_2S_2O_3$) 5 mL เพื่อหยุดปฏิกิริยา ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 5 นาทีจากนั้นนำเชื้อที่ผสมกับน้ำอิเล็กโทรไลต์ไปเจือจางเป็น 10 – 1, 10 – 2, 10 – 3 และ 10 – 4 และปิเปตน้ำตัวอย่าง 100 ไมโครลิตร (µl) ลงบนจานอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดแข็ง แล้วใช้แท่งแก้วเกลี่ยให้น้ำตัวอย่างกระจายทั่วผิวหน้าอาหาร (วิธี spread plate) จากนั้นนำจานอาหารเลี้ยงเชื้อไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลาข้ามคืน แล้วนับจำนวนเชื้อที่รอดชีวิตโดยคำนวณเชื้อจุลินทรีย์รอดชีวิตในหน่วย colony forming unit/mL (CFU/mL) เปรียบเทียบกับชุดควบคุมเชิงลบ (negative control) คือ น้ำเกลือความเข้มข้น 3% ที่ผสมกับน้ำส้มสายชู และชุดควบคุมเชิงบวก (positive control) คือ โซเดียมไฮโปคลอไรต์

การทดสอบความคงตัวของน้ำอิเล็กโทรไลต์ชนิดกรด

นำน้ำอิเล็กโทรไลต์ชนิดกรดที่ผลิตได้ เก็บใส่ในขวดแก้วสีชาและขวดแก้วใส แล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1, 2, 3 และ 4 สัปดาห์ เมื่อครบกำหนด 1, 2, 3 และ 4 สัปดาห์ จึงนำน้ำอิเล็กโทรไลต์มาวัดคุณสมบัติทางเคมีของน้ำอิเล็กโทรไลต์ ดังต่อไปนี้ วัดค่าความเป็นกรด – เบส ของน้ำอิเล็กโทรไลต์โดยใช้เครื่องพีเอชมิเตอร์ วัดประสิทธิภาพการเกิดออกซิเดชัน–รีดักชัน (ORP) ของน้ำอิเล็กโทรไลต์ โดยใช้เครื่อง ORP meter และทดสอบฤทธิ์การฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ของน้ำอิเล็กโทรไลต์หลังจากเก็บไว้ 1, 2, 3 และ 4 สัปดาห์ กับเชื้อแบคทีเรีย 2 สายพันธุ์ คือ *S. aureus* และ *E. coli* โดยให้เชื้อสัมผัสกับน้ำอิเล็กโทรไลต์เป็นเวลา 15 วินาที เมื่อครบเวลาเติม 0.5% sodium thiosulphate ($Na_2S_2O_3$) 5 mL เพื่อหยุดปฏิกิริยา ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 5 นาที แล้วทำวิธี spread plate

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ผลการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของน้ำอิเล็กโทรไลต์ชนิดกรดค่า pH, ORP, ACC และผลการศึกษาจำนวนเชื้อแบคทีเรียที่รอดชีวิตแสดงผลเป็นค่าเฉลี่ย (mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation; SD) คำนวณจากการทำการทดลอง 3 ซ้ำแบบอิสระต่อกัน

ผลการทดลองและอภิปรายผล

ผลการหาความเข้มข้นของเกลือ และระยะเวลาที่เหมาะสมในการผลิตน้ำอิเล็กโทรไลต์

ในการผลิตน้ำอิเล็กโทรไลต์จะใช้ความเข้มข้นของสารละลายเกลือ 0, 1, 3 และ 5% ปริมาตร 1,000 mL โดยกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้า 12 โวลต์ ในการผลิต ซึ่งในการผลิตน้ำจะใช้เวลา 30 นาที โดยทุก 5 นาที จะเก็บน้ำที่ขั้วแอโนดซึ่งเป็นขั้วบวก (Anode) และขั้วแคโทดซึ่งเป็นขั้วลบ (Cathode) มาวัดค่าความเป็นกรด–เบส (pH) เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตน้ำอิเล็กโทรไลต์ จากผลการทดลองเบื้องต้น พบว่า ที่ความเข้มข้นของสารละลายเกลือ 3% และ 5% ที่ขั้วแอโนด จะพบว่าสารละลายมีสภาพเป็นกรด โดยมีค่า pH อยู่ในช่วง 5 – 6 และที่ขั้วแคโทดสารละลายมีสภาพเป็นเบสโดยมีค่า pH อยู่ในช่วง 12 – 13 ส่วนสารละลายเกลือที่ความเข้มข้น 0.1% พบว่า ค่า pH ของสารละลายในขั้วแอโนดมีสภาพค่อนข้างเป็นกลาง ค่า pH อยู่ในช่วง 6 – 7 ส่วนในขั้วแคโทดสารละลายมีสภาพเป็นด่าง ค่า pH อยู่ในช่วง 8 – 9 โดยผลการทดลองแสดงดัง Table 1

Table 1 pH value of electrolyte water at variant times

Concentration of NaCl solution (%)	Production time (min)	pH	
		Anode (+)	Cathode (-)
0.1	5	7	8
	10	7	8
	15	6	9
	20	6	9
	25	6	9
	30	6	9
3	5	5	13
	10	6	12
	15	6	12
	20	6	12
	25	6	12
	30	6	12
5	5	6	12
	10	5	13

Concentration of NaCl solution (%)	Production time (min)	pH	
		Anode (+)	Cathode (-)
	15	5	13
	20	6	12
	25	5	13
	35	6	12

จากผลการทดลองนี้พบว่า ค่า pH จะลดลงตามปริมาณความเข้มข้นของเกลือ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ketika et al. (2009) ที่ศึกษาผลของน้ำอิเล็กโทรไลต์ต่อการเจริญเติบโตของเชื้อรา *Collectotrichum gloeosporioides* ที่เป็นสาเหตุโรคแอนแทรคโนสของมะม่วงหลังการเก็บเกี่ยว โดยการใช้น้ำอิเล็กโทรไลต์ที่เตรียมได้จากการแยกสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0.0125, 0.025, 0.05 และ 0.1% ที่กระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้า 110 โวลต์ เป็นเวลา 15 นาที ทำให้ได้สารละลายที่มีค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ระหว่าง 3.38 – 3.98 ซึ่งค่า pH นี้จะลดลงตามปริมาณความเข้มข้นของเกลือที่เพิ่มขึ้น

เนื่องจากน้ำอิเล็กโทรไลต์ที่ผลิตได้นี้ยังมีค่า pH ที่แตกต่างกันในขั้วแอโนดกับขั้วแคโทด กล่าวคือ น้ำอิเล็กโทรไลต์ที่ขั้วแอโนดมีสภาพเป็นกรดอ่อน (pH 5 – 6) ส่วนน้ำอิเล็กโทรไลต์ที่ขั้วแคโทดมีสภาพเป็นเบส และเมื่อวัดค่าความเป็นกรด–เบส (pH) ของน้ำอิเล็กโทรไลต์ที่ผลิตได้จะมีค่าความเป็น pH อยู่ที่ 11 ซึ่งจะเหลือกรดไฮโปคลอรัส (HOCl) ในระบบประมาณ 5 – 10 % เท่านั้น ที่เหลือคือไฮโปคลอไรท์ไอออน (OCl^-) ซึ่งอาจทำให้ระคายเคืองต่อผิวหนังหากนำไปใช้งาน กรดไฮโปคลอรัสจะเกิดขึ้นได้มากในสภาพกรดอ่อนที่ค่า pH ในช่วง 3.5 – 5.5 ซึ่งจะเกิดกรดไฮโปคลอรัสมากกว่า 70% จึงจะปลอดภัยและไม่ระคายเคืองต่อผิวหนัง ดังนั้น จึงต้องมีการเติมกรดอ่อนเข้าไปในสารละลายเกลือเพื่อให้ระบบมีสภาพเป็นกรดอ่อนก่อนที่จะนำไปกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้า เพื่อให้ได้น้ำอิเล็กโทรไลต์ที่มีฤทธิ์เป็นกรดอ่อน ในการผลิตน้ำอิเล็กโทรไลต์ชนิดกรดในขั้นตอนต่อไปจึงเลือกใช้กรดอะซิติก (น้ำส้มสายชูกลั่น) เติมเข้าไปในสารละลายเกลือเพื่อให้ระบบมีสภาพเป็นกรดอ่อน แล้วกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้า ซึ่งกรดอะซิติกหรือกรดน้ำส้มนี้เป็นกรดอินทรีย์ที่มีฤทธิ์เป็นกรดอ่อนหาซื้อได้ง่ายตามท้องตลาดและราคาไม่แพง โดยในการผลิตน้ำอิเล็กโทรไลต์ชนิดกรดในขั้นตอนต่อไปของงานวิจัยนี้ จะใช้สารละลายเกลือความเข้มข้น 3% เนื่องจากเป็นความเข้มข้นที่ทำให้ผลิตน้ำอิเล็กโทรไลต์ที่ขั้วแอโนดมีสภาพเป็นกรดอ่อน และใช้เกลือปริมาณน้อยกว่าสารละลายเกลือความเข้มข้น 5% ผสมกับน้ำส้มสายชูกลั่นเพื่อให้น้ำเกลือนี้มีค่า pH ประมาณ 3 – 4 ก่อนที่จะกระตุ้นด้วยไฟฟ้า จากนั้นกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้า 12 โวลต์ เป็นเวลา 5 นาที

การผลิตน้ำอิเล็กโทรไลต์ชนิดกรด

เตรียมสารละลายเกลือความเข้มข้น 3% ปริมาตร 1,000 mL จากนั้นเติมน้ำส้มสายชูกลั่น 5% ปริมาตร 15 mL จากนั้นคนให้เข้ากัน แล้ววัดค่าความเป็นกรด – เบส ด้วยเครื่องพีเอชมิเตอร์ พบว่า มีค่า pH เท่ากับ 3.39±0.08 นำสารละลายที่ได้ไปกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้า 12 โวลต์ เป็นเวลา 5 นาที แล้ววัดค่าความเป็นกรด–เบส ของน้ำอิเล็กโทรไลต์โดยใช้เครื่องพีเอชมิเตอร์ วัดประสิทธิภาพการเกิดออกซิเดชัน–รีดักชัน (oxidation–reduction potential; ORP) ของ น้ำอิเล็กโทรไลต์ โดยใช้เครื่อง ORP meter และตรวจวัดปริมาณคลอรีนอิสระ (available chlorine concentration; ACC) ด้วยชุดทดสอบคลอรีนอิสระคงเหลือในน้ำ (อ 31) เปรียบเทียบกับน้ำกลั่น และโซเดียมไฮเปอร์คลอไรต์ (NaOCl) ผลที่ได้แสดงดัง Table 2

Table 2 Physical and chemical properties of acidic electrolyte water, distilled water and NaOCl

Samples	pH	ORP (mV)	ACC (ppm)
Acidic electrolyte water	3.37±0.05	1280±2.00	80±0.00
Distilled water	7.05±0.02	443±3.00	0±0.00
NaOCl	12.41±0.00	486±2.00	>100

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เมื่อเติมน้ำส้มสายชู 5% ปริมาตร 15 mL ลงไปในการสารละลายเกลือเข้มข้น 3% ปริมาตร 1,000 mL แล้วนำไปกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้า 12 โวลต์ เป็นเวลา 5 นาที ทำให้สามารถผลิตน้ำอิเล็กโทรไลต์ที่มีค่า pH อยู่ที่ 3.37±0.05 มีค่า ORP เท่ากับ +1,280±2.00 mV ซึ่งมีค่าที่สูงกว่าค่า ORP ของโซเดียมไฮเปอร์คลอไรต์เกือบ 3 เท่า และปริมาณคลอรีนอิสระ (ACC) เท่ากับ 80±0.00 ppm คลอรีนอิสระ (Free chlorine) จะมี 3 ชนิด คือ Cl_2, HOCl และ OCl^- ซึ่งปริมาณคลอรีนอิสระชนิดใดจะมากหรือน้อยกว่ากันอยู่ที่สภาพ pH ของน้ำ หากค่า pH ของน้ำต่ำกว่า 1 คลอรีนอิสระจะอยู่ในรูปของแก๊สคลอรีน (Cl_2) ทั้งหมด และจะระเหยสู่บรรยากาศ ค่า pH 1 – 3.5 คลอรีนอิสระจะอยู่ในรูปของแก๊สและกรดไฮโปคลอรัส (HOCl) ค่า pH ในช่วง 3.5 – 5.5 คลอรีนอิสระจะอยู่ในรูป HOCl ทั้งหมด ค่า pH ในช่วง 5.5 – 9 จะอยู่ในรูปของ HOCl และ OCl^- และ pH ตั้งแต่ 9 ขึ้นไปจะอยู่ในรูป OCl^- (Figure 1)

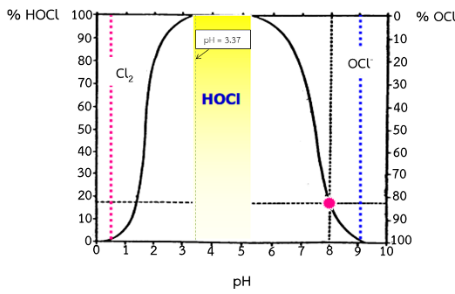


Figure 1 pH and variation of available chlorine concentration

ดังนั้น น้ำอิเล็กโทรไลต์ที่ผลิตได้จากการทดลองนี้ที่มีค่า pH เท่ากับ 3.37 จะมีคลอรีนอิสระในรูปของกรดไฮโปคลอรัสเป็นส่วนใหญ่ โดยน้ำอิเล็กโทรไลต์ที่มี pH เป็นกรด มีปริมาณคลอรีนอิสระ (ACC) อยู่ในช่วง 10 – 80 ppm และมีค่าประสิทธิภาพการเกิดออกซิเดชัน–รีดักชัน (ORP) มากกว่า 1000 mV จะสามารถทำลายเชื้อจุลินทรีย์ (แบคทีเรีย เชื้อรา และไวรัส) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Kim et al., 2000)

ทดสอบฤทธิ์การฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ของน้ำอิเล็กโทรไลต์

น้ำอิเล็กโทรไลต์ชนิดกรด และโซเดียมไฮโปคลอไรต์ สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรียทดสอบทั้งแกรมบวก *S. aureus* และแบคทีเรียแกรมลบ *E. coli* โดยพบว่า จำนวนเชื้อรอดชีวิตลดลงตั้งแต่ 15 วินาทีแรกของการสัมผัสเชื้อ เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำเกลือความเข้มข้น 3% ที่ผสมกับน้ำส้มสายชูที่เป็นตัวควบคุมเชิงลบ ผลการทดสอบแสดงดัง Figure 2 และ Figure 3 ตามลำดับ

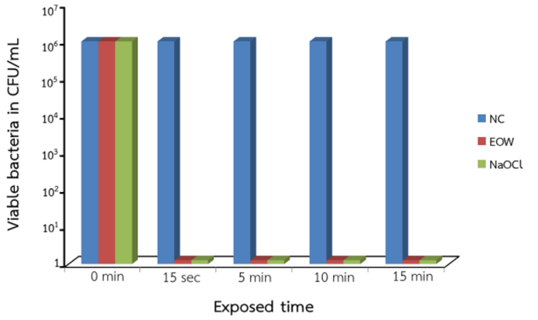


Figure 2 Antibacterial activity of acidic electrolyte water (EOW), NaOCl and 3% NaCl with acetic acid (NC) against Gram positive bacterial *Staphylococcus aureus*

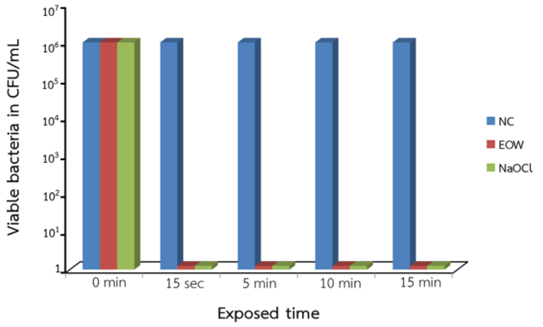


Figure 3 Antibacterial activity of acidic electrolyte water (EOW), NaOCl and 3% NaCl with acetic acid (NC) against Gram negative bacterial *Escherichia coli*

ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kwanhian et al. (2019) ที่ศึกษาคุณสมบัติการฆ่าเชื้อก่อโรคของน้ำออกซิไดซ์ โดยพบว่าน้ำออกซิไดซ์สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก *S. aureus* (ATCC 25922) แบคทีเรียแกรมลบ *Klebsiella pneumoniae* (ATCC 27853) และ *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC 700603) และยีสต์ *Candida albicans* โดยพบว่าจำนวนเชื้อรอดชีวิตลดลงอย่างมีนัยสำคัญตั้งแต่เวลา 30 วินาทีแรกของการสัมผัส

การทดสอบความคงตัวของน้ำอิเล็กโทรไลต์ชนิดกรด

เมื่อเปรียบเทียบค่าการเปลี่ยนแปลงของ pH และค่า ORP ของน้ำอิเล็กโทรไลต์ที่เก็บที่อุณหภูมิห้องในภาชนะปิดสนิท (ขวดสีชาและขวดใส) ในแต่ละสัปดาห์ เป็นเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า ค่า pH ของน้ำอิเล็กโทรไลต์ยังคงความเป็นกรด โดยมีการเปลี่ยนแปลงค่า pH ตั้งแต่ 3.21±0.03 ถึง 3.53±0.03 และค่า ORP เปลี่ยนแปลงตั้งแต่ +1193±1.00 mV ถึง +1280±2.00 mV โดยทั้งสองค่ามีการเปลี่ยนแปลงที่ต่ำ (Table 3)

Table 3 pH and ORP of acidic electrolyte water was stored at 0, 1, 2, 3 and 4 weeks

Weeks	pH		ORP (mV)	
	Amber glass bottle	Clear glass bottle	Amber glass bottle	Clear glass bottle
0	3.37±0.05	3.37±0.05	1280±2.00	1280±2.00
1	3.38±0.04	3.45±0.02	1211±3.00	1214±1.00
2	3.41±0.06	3.51±0.01	1203±4.00	1207±1.00
3	3.21±0.03	3.44±0.01	1208±1.00	1199±5.00
4	3.41±0.01	3.53±0.03	1197±1.00	1193±1.00

และเมื่อทดสอบความสามารถในการฆ่าเชื้อแบคทีเรีย 2 สายพันธุ์ คือ *S. aureus* และ *E. coli* ของน้ำอิเล็กโทรไลต์ที่เก็บในขวดสีชาและขวดสีใสในแต่ละสัปดาห์ พบว่า สัปดาห์ที่ 1 ถึง สัปดาห์ที่ 3 น้ำอิเล็กโทรไลต์มีความสามารถในการฆ่าเชื้อแบคทีเรียทดสอบได้ดีเช่นเดียวกับน้ำอิเล็กโทรไลต์ที่ผลิตในวันแรก ส่วนในสัปดาห์ที่ 4 พบว่า ความสามารถในการฆ่าเชื้อแบคทีเรียทดสอบของน้ำอิเล็กโทรไลต์จะลดลงจากวันแรกที่ผลิตเหลือประมาณ 67% (Figure 4 และ Figure 5)

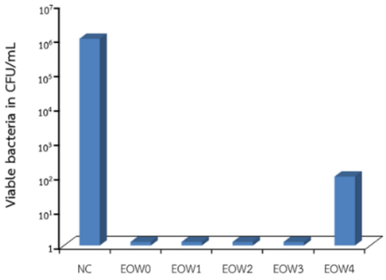


Figure 4 Antibacterial activity of acidic electrolyte water (EOW0–EOW4), NaOCl and 3% NaCl with acetic acid (NC) against Gram positive bacterial *Staphylococcus aureus*

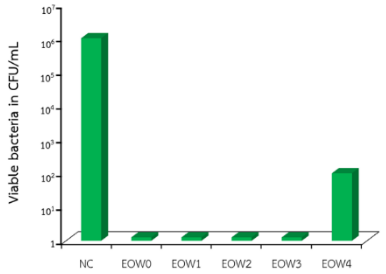


Figure 5 Antibacterial activity of acidic electrolyte water (EOW0–EOW4), NaOCl and 3% NaCl with acetic acid (NC) against Gram negative bacterial *Escherichia coli*

เนื่องจากค่า ORP ที่ลดลงของน้ำอิเล็กโทรไลต์ทำให้ความสามารถในการฆ่าเชื้อแบคทีเรียลดลงด้วย ซึ่งค่า ORP คือความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เมื่อเกิดการถ่ายเทอิเล็กตรอนจากสารชนิดหนึ่งไปยังสารอีกชนิดหนึ่ง จะเกิดความต่างศักย์ มีหน่วยเป็น มิลลิโวลต์ (mV) สารที่มีความสามารถเป็นตัวออกซิไดซ์ที่ดี จะมีค่า ORP เป็นบวกมาก ในทางตรงข้ามสารที่เป็นตัวรีดิวซ์ที่ดี จะมีค่า ORP เป็นลบมาก ผนังเซลล์ของเชื้อโรคส่วนใหญ่จะมีประจุลบ ดังนั้น น้ำอิเล็กโทรไลต์ที่มีค่า ORP สูง แสดงถึงความสามารถในการออกซิไดซ์สูง ค่า ORP ที่สูงจะทำให้เกิดการดึงอิเล็กตรอนจากแบคทีเรียหรือไวรัสที่น้ำได้สัมผัส ทำให้เชื้อโรคตาย

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การเก็บน้ำไว้ที่อุณหภูมิห้องในภาชนะที่ปิดสนิท ไม่ว่าจะเป็นขวดสีชาหรือขวดใสสามารถเก็บไว้ได้นานถึง 4 สัปดาห์ น้ำอิเล็กโทรไลต์ยังมีความคงตัว pH ของน้ำอิเล็กโทรไลต์ยังคงความเป็นกรด ค่า ORP ยังมีค่าเป็นบวกสูง และน้ำอิเล็กโทรไลต์ที่เก็บไว้นาน 3 สัปดาห์ยังมีความสามารถในการฆ่าเชื้อได้เช่นเดียวกับน้ำที่ผลิตวันแรก ส่วนในสัปดาห์ที่ 4 ความสามารถในการฆ่าเชื้อแบคทีเรียของน้ำอิเล็กโทรไลต์จะลดลงเมื่อเทียบกับสัปดาห์ที่ 0, 1, 2 และ 3 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kwanhian et al. (2019) ที่ศึกษาความคงตัวของน้ำออกซิไดซ์ที่เก็บที่อุณหภูมิห้องในภาชนะปิดสนิท แล้ววัดค่า pH และค่า ORP ต่อเนื่อง 7 วัน พบว่าเมื่อเปรียบเทียบค่าการเปลี่ยนแปลงของ pH และค่า ORP ในแต่ละวันของการเก็บรักษาเทียบกับวันแรกจะแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ทั้งสองค่ามีการเปลี่ยนแปลงต่ำ โดยค่า pH น้ำออกซิไดซ์ยังคงความเป็นกรดมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 2.32 ถึง 2.40 และค่า ORP เปลี่ยนแปลงตั้ง +1,080 ถึง +1,111 มิลลิโวลต์

สรุปผลและเสนอแนะ

สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำอิเล็กโทรไลต์ชนิดกรด ปริมาตร 1,000 mL คือ น้ำเกลือความเข้มข้น 3% เติมน้ำส้มสายชู 5% ปริมาตร 15 mL กระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้า 12 โวลต์ เวลา 5 นาที โดยน้ำอิเล็กโทรไลต์ที่ผลิตได้มีค่า pH เท่ากับ 3.37±0.05 ค่า ORP เท่ากับ +1,280±2.00 mV และมีปริมาณคลอรีนอิสระ (ACC) เท่ากับ 80±0.00 ppm และน้ำอิเล็กโทรไลต์ชนิดกรดที่ผลิตได้สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรียทดสอบทั้งแกรมบวก (*S. aureus)* และแบคทีเรียแกรมลบ *(E. coli)* ได้ โดยพบว่า จำนวนเชื้อรอดชีวิตลดลงตั้งแต่ 15 วินาทีแรกของการสัมผัสเชื้อ และน้ำอิเล็กโทรไลต์ชนิดกรด ที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องในภาชนะที่ปิดสนิท ไม่ว่าจะเป็นขวดสีชาหรือขวดใสสามารถเก็บไว้ได้นานถึง 4 สัปดาห์ โดยน้ำอิเล็กโทรไลต์ยังมีความคงตัวค่า pH เป็นกรด ค่า ORP ยังมีค่าเป็นบวกสูง และ น้ำอิเล็กโทรไลต์ที่เก็บไว้นาน 3 สัปดาห์ยังมีความสามารถในการฆ่าเชื้อได้เช่นเดียวกับน้ำที่ผลิตวันแรก ส่วนในสัปดาห์ที่ 4 ความสามารถในการฆ่าเชื้อแบคทีเรียลดลงเมื่อเทียบกับสัปดาห์ที่ 0, 1, 2 และ 3

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยสำหรับคณาจารย์และบุคลากร งบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2563 (เพิ่มเติม) ทุนวิจัยและนวัตกรรมการป้องกันและแก้ไขปัญหาการติดโรคโควิค–19 จากมหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

References

Sapcharoenkul, K. (2007). Efficacy of Chlorine Dioxide & Acidic Electrolyzed water to Eliminate Biofilms of *Bacillus cereus*, *Staphylococcus* aureus & Attached *Bacillus cereus* spores on Food Contact Surfaces. (Master's thesis). Kasetsart University, Faculty of Agro–Industry, Food Science. (in Thai)

Ketika, J., Kunasakdakul, K., Kumpoun, W. & Kumsupa, J. (2009). Effect of Electrolyzed Oxidizing (EO) Water on Growth of *Colletotrichum gloeosporioides* Pathogen of Anthracnose Post Harvest Disease of Mango. Industrial & research projects for undergraduate students (IRPUS) (in Thai)

Kwanhian, W., Taungsin, D. & Tanapakdee, S. (2019). The Pathogenic Inactivating Properties of Oxidizing Water. *Thai Journal of Toxicology*, 34(1), 53–69. (in Thai)

Grech, N.M. & Rijkenburg, F.H.J. (1992). Injection of electronically generated chlorine into citrus micro–irrigation

systems for the control of certain waterborne root pathogens. *Plant Disease*, 76, 457–461.

Garcia, E. G., Del P. G., Celadilla O., Castro, M. J., Martinez, V., Muñoz, I., Sanchez– Villanueva R., Guevara C. L., Selgas, R. & Bajo, M. A. (2010). Efficacy of sodium hypochlorite in eradicating hepatitis C virus (HCV)–RNA from the peritoneal effluent of PD *patients. Peritoneal Dialysis International*. 30(6), 644–646.

Huang, Y. R., Hsieh, H. S., Lin, S. Y., Lin, S. J., Hung, Y. C. & Hwang, D.F., (2006). Application of electrolyzed oxidizing water on the reduction of bacterial contamination for seafood. *Food Control*, 17, 987–993.

Kim, B.S., Lee, J.Y., & Hwang, B.K. (2000). In vivo control & in vitro antifungal activity of rhamnolipid, a glycolipid antibiotic, against *Phytophthora capsici* & *Colletotrichum orbiculare. Pest Management Science*, 56(12), 1029–1035.

Levine, J.M. (2013). Dakin’s Solution: Past, Present, & Future. Advanced Skin Wound Care, 26(9), 410–414.

McCullough, M. & Carlson, G.W. (2014). Dakin's solution: historical perspective & current practice. *Annals of Plastic Surgery*, 73, 254–256.

Sehulster, L. M, Hollinger, F. B., Dreesman, G. R. & Melnick, J. L. (1981). Immunological & biophysical alteration of hepatitis B virus antigens by sodium hypochlorite disinfection. Applied & *Environmental Microbiology*, 42(5), 762–767.

Research article

Efficacy of acidic electrolyte water to pathogen inactivation

Nualyai Yaraksa[1*], Chutchai Kaewta[2], Supawee Makdee[2] and Theera Sathupan[2]

[1]Faculty of Science, Ubon Ratchathani Rajabhat University, Mueang, Ubon Ratchathani 34000
[2]Faculty of Computer Science, Ubon Ratchathani Rajabhat University, Mueang, Ubon Ratchathani 34000

ARTICLE INFO

Article history
Received: 3 August 2021
Revised: 30 September 2021
Accepted: 5 October 2021
Online published: 26 November 2021

Keyword
Acidic electrolyte water
Disinfectant
Hypochlorous Acid

A B S T R A C T

The objective of this study was to optimize the conditions for producing the acidic electrolyte water by using electrolysis and to determine the chemical properties. Then, investigated the properties of acidic electrolyte water to disinfect pathogenic bacteria, including Gram positive bacterial *Staphylococcus aureus* and Gram negative bacteria *Escherichia coli* was performed. After that, the stability of the acidic electrolyte water was tested. The results showed that the optimum conditions for the production of the acidic electrolyte water were 1,000 mL of 3% NaCl added 15 mL of 5% vinegar and passed through electric current 12 volts for 5 min. The chemical properties of the acidic electrolyte water showed pH value of 3.37±0.05, strongly positive of oxidation reduction potential (ORP) of +1280±2.00 mV and available chlorine concentration (ACC) of 80±0.00 ppm. The results indicated that the acidic electrolyte water could be inactivated microbial due to its oxidizing properties. The acidic electrolyte water absolutely destroyed tested bacterial cells from the first 15 seconds. The stability tests indicated that the acidic electrolyte water were stable at room temperature in a sealed container for up to 4 weeks.

[*]Corresponding author
E-mail address: nualyai.y@ubru.ac.th (N. Yaraksa)
Online print: 26 November 2021 Copyright © 2021. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. https://doi.org/10.14456/paj.2021.19

วารสารเกษตรพระวรุณ (PRAWARUN AGRICULTURAL JOURNAL 2021) 18(2): 49 – 55

https://li01.tci-thaijo.org/index.php/pajrmu/index

บทความวิจัย

ผลของระยะเวลาและอุณหภูมิในการงอกต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและกรดแกมมา–อะมิโนบิวทิริกในข้าวไทยบางชนิด

พรพิษณุ ธรรมปัทม์[1*] กฤษฎา ไชยสิงห์[1] และ ชูทวีป ปาลกะวงศ์ ณ อยุธยา[1]

[1]สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม 44000

ข้อมูลบทความ

Article history

รับ: 21 สิงหาคม 2564

แก้ไข: 15 กันยายน 2564

ตอบรับการตีพิมพ์: 5 ตุลาคม 2564

ตีพิมพ์ออนไลน์: 15 ธันวาคม 2564

คำสำคัญ

สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ

เวลา

อุณหภูมิ

การงอก

บทคัดย่อ

ข้าวประกอบด้วยชั้นรำ เอนโดสเปิร์มและแกลบ ซึ่งมีส่วนประกอบทางโภชนาการและหน้าที่ทางชีวภาพที่หลากหลาย เช่น เส้นใยอาหาร แกมมา – โอริซานอล วิตามิน และแร่ธาตุ การงอกเป็นเทคนิคหนึ่งในการปรับปรุงเนื้อสัมผัสและคุณภาพทางโภชนาการของข้าว ในการศึกษาครั้งนี้ทำการศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงของระยะเวลาการงอกที่แตกต่างกัน (24, 48 และ 72 ชั่วโมง) และอุณหภูมิ (30, 35 และ 45 องศาเซลเซียส) ต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและกรดแกมมา–อะมิโนบิว ทิริก (GABA) ของข้าว กข 6 และข้าวหอมใบเตยเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ผ่านการงอก ผลการศึกษาพบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและกรดแกมมา–อะมิโนบิวทิริกของข้าว กข 6 และข้าวหอมใบเตยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาและอุณหภูมิในการงอกเพิ่มขึ้น ข้าว กข 6 และข้าวหอมใบเตยที่ผ่านการงอกที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 72 ชั่วโมง ทำให้มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุด (p < 0.05) อย่างไรก็ตามปริมาณกรดแกมมา–อะมิโนบิวทิริกของข้าว กข 6 และข้าวหอมใบเตยมีปริมาณสูงสุดเมื่อทำการงอกที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 72 ชั่วโมง (p < 0.05)

บทนำ

ข้าวเป็นพืชอาหารที่สำคัญของคนไทย เอเชีย รวมไปถึงประชากรอีกหลายชนชาติบนโลก ข้าวจัดเป็นผลิตผลทางการเกษตรของไทยที่มีปริมาณผลผลิตเป็นอันดับหนึ่งมาหลายทศวรรษติดต่อกัน การส่งออกข้าวของไทยในปี พ.ศ. 2563 มีปริมาณการส่งออกถึง 5.73 ล้านตัน โดยประเทศผู้นำเข้าข้าวไทย 5 อันดับแรกประกอบด้วย สหรัฐอเมริกา ฮ่องกง จีน แคนาดา สิงคโปร์ (Office of Agricultural Economics, 2020)

ข้าวกล้องงอกและข้าวกล้องงอกนึ่งเป็นผลิตภัณฑ์จากภูมิปัญญาท้องถิ่นของชาวภูไทที่อาศัยอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของไทย โดยในปัจจุบันกระบวนการผลิตข้าวกล้องงอกและข้าวกล้องงอกนึ่งได้มีการพัฒนามาโดยตลอด เพื่อปรับปรุงคุณภาพให้ดีขึ้นทั้งในระดับห้องปฏิบัติการและระดับอุตสาหกรรม ซึ่งแต่ละระดับการผลิตก็มีเทคนิคที่แตกต่างกันบางส่วน แต่กระบวนการผลิตส่วนใหญ่แล้วมีขั้นตอนการผลิตที่คล้ายกัน คือประกอบไปด้วย 4 ขั้นตอนหลักต่อเนื่องกัน ได้แก่ 1) การแช่และการงอก (soaking and germination) 2) การนึ่ง (steaming) 3) การอบแห้ง (drying) และ 4) การสี (hulling) หรือกะเทาะเปลือกออก (Oli et al., 2014) การแช่และการงอก (soaking and germination) เป็นกระบวนการที่สำคัญโดยการนำข้าวเปลือกแช่ในน้ำประมาณ 6 – 24 ชั่วโมง เพื่อให้น้ำที่แช่ซึมผ่านเปลือกเข้าไปสู่เนื้อในเมล็ดข้าวจนอิ่มตัว แล้วทำการงอกเป็นระยะเวลา 12 – 72 ชั่วโมง ส่วนการนึ่ง (steaming) คือ การนำข้าวเปลือกขึ้นจากการแช่และการงอกมานึ่งให้สุก เพื่อทำให้แป้งภายในเมล็ด

* Corresponding author
E-mail address: Thammapat.p@gmail.com (P. Thammapat)
Online print: 15 December 2021 Copyright 2021 © 2021. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. https://doi.org/10.14456/paj.2021.20

ข้าวเปลือกเกิดเป็นเจล (gelatinization) ซึ่งจะส่งผลทำให้ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดหลังการสีเพิ่มขึ้น รวมทั้งคุณภาพของข้าวกล้องงอกและข้าวกล้องงอกนึ่งจะดีขึ้น การอบแห้ง (drying) เป็นการนำข้าวนึ่งมาทำการอบแห้ง โดยการตากแดดหรืออบ เพื่อให้ข้าวเปลือกมีความชื้นเหมาะสมต่อการสีและการเก็บรักษา และการสี (hulling) หรือกะเทาะเปลือกออก คือ การแยกเปลือกออกไป เพื่อให้ได้ข้าวในลักษณะข้าวกล้อง (Kumar et al., 2018)

ข้าวกล้องงอกและข้าวกล้องงอกนึ่งเป็นสินค้าที่มีศักยภาพในการแข่งขันในตลาดสูง เพราะมีจุดเด่นหลายประการ อาทิ มีกลิ่นหอม สีสวย อุดมด้วยคุณค่าทางอาหาร เป็นที่ต้องการของตลาดและขายได้ราคาสูงกว่าข้าวขาวทั่วไป ซึ่งข้าวกล้องงอกยังอุดมไปด้วยวิตามินบี เกลือแร่ เส้นใย และมีองค์ประกอบที่สามารถนำไปใช้ในกิจกรรมทางชีวภาพของร่างกายได้ดีกว่าข้าวกล้องปกติ (Patil and Khan, 2011; Weng et al., 2019) เช่น กรดฟีนอลิก กรดแกมมา–อะมิโนบิวทิริก (GABA) วิตามินอี (tocopherol, tocotrienol) และแกมมา–ออริซานอล (gamma–oryzanol) (Thammapat et al., 2016) ปัจจุบันมีการศึกษาถึงผลของปัจจัยต่าง ๆ ในการงอกข้าวหลายชนิด เช่น ระยะเวลาในการงอกต่อปริมาณกรดแกมมา–อะมิโนบิวทิริก (Jannoey et al., 2010) การใช้สภาวะความเป็นกรด–ด่างต่อสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (Banchuen et al., 2009) แต่การใช้อุณหภูมิร่วมกับการใช้ระยะเวลาในการงอกยังมีน้อยมาก

จากปัญหาและความต้องการของผู้ประกอบการที่มีต่อกระบวนการผลิตข้าวกล้องงอกและข้าวกล้องงอกนึ่ง พบว่าปัญหาหลัก คือ ขาดองค์ความรู้ในการผลิต อัตราการผลิตข้าวต่อวันค่อนข้างต่ำ ส่งผลให้ผู้ประกอบการไม่สามารถผลิตได้ทันกับความต้องการของตลาดที่สั่งซื้อเข้ามาเป็นจำนวนมาก และพบว่ายังขาดข้อมูลเชิงคุณภาพด้านกายภาพและทางเคมีในสภาวะของกระบวนการผลิตที่เหมาะสมเพื่อให้ได้สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพสูงสุด ดังนั้นการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาผลของระยะเวลาและอุณหภูมิในการงอกต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและกรดแกมมา–อะมิโนบิวทิริกในข้าวหอมใบเตยซึ่งเป็นข้าวท้องถิ่นของจังหวัดมหาสารคามและข้าวเหนียว กข 6 โดยข้าวทั้งสองชนิดผู้ประกอบการมีการผลิตเพื่อจำหน่ายทางการค้า ซึ่งจะเป็นแหล่งสารสนเทศในการพัฒนากระบวนการผลิตข้าวกล้องงอกให้มีความสามารถในการแข่งขันในตลาดต่อไป

วิธีการวิจัย

1.วัตถุดิบ

ตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ ข้าวเจ้าหอมใบเตย และข้าวเหนียว กข 6 จากฟาร์มเกษตรกรในเขตอำเภอโกสุมพิสัย จังหวัดมหาสารคาม ทำการเก็บเกี่ยวในฤดูนาปีในช่วงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2563

2.การเตรียมตัวอย่างข้าวงอก

นำข้าวเจ้าหอมใบเตย และข้าวเหนียว กข 6 มาคัดแยกสิ่งปลอมปน ล้างน้ำให้สะอาด แล้วนำข้าวมาแช่น้ำโดยปริมาณข้าว : น้ำ คือ 1 : 3 ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง นำข้าวที่ผ่านการแช่แล้ว ทำการงอกโดยการใช้ผ้าขาวบางห่อไว้และวางไว้บนตะแกรงเพื่อไม่ให้ความชื้นระเหยออกไปเร็วเกินไปและเพื่อให้ความชื้นคงที่ ทำการงอกในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 30, 35 และ 45 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24, 48 และ 72 ชั่วโมง โดยประยุกต์ใช้ตามวิธีของ Thammapat et al. (2015) การศึกษานี้ทำการงอกเป็นระยะเวลาสูงสุด 72 ชั่วโมง เนื่องจากถ้าทำการงอกเป็นระยะเวลานานมากกว่านี้ ทำให้รากข้าวมีความยาวมากจึงไม่สามารถนำไปสีได้

หลังผ่านการงอก นำข้าวที่ผ่านการงอกไปนึ่งและอบให้แห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ให้ได้ปริมาณความชื้นต่ำกว่า 16 % d.b. (15 ± 0.46) นำมาสีด้วยเครื่องกะเทาะเปลือกเพื่อเอาเปลือกออก นำข้าวที่ได้ไปทำการบดให้ละเอียดและร่อนผ่านตะแกรงร่อน (Sieving) ขนาด 250 µm และเก็บตัวอย่างในถุงทึบแสง (Aluminum foil) ที่อุณหภูมิ – 20 องศาเซลเซียส

3.การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดวิเคราะห์โดยใช้ Folin–Ciocalteu method ตามวิธีของ Abootalebian et al. (2016) โดยนำตัวอย่างมา 500 มิลลิกรัม ทำการเติมสารละลายเมทานอล 80 % ทำการปั่นผสมและกรองเอาตัวอย่างมา 0.5 มิลลิลิตร ทำการเติมสารละลาย Folin–Ciocalteu reagent (0.2 N) ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร ทำการตั้งทิ้งไว้ 5 นาที แล้วทำการเติมสารละลาย sodium carbonate (7.5%, w/v) ปริมาตร 2 มิลลิลิตร แล้วตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 nm โดยใช้เครื่อง UV–Vis spectrophotometer ใช้สารละลาย gallic acid เป็นสารละลายมาตรฐานในช่วงความเข้มข้น 50 – 200 มิลลิกรัมต่อลิตร คำนวณปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในรูปมิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิก (mg GAE/g d.b.)

4.วิเคราะห์ปริมาณกรดแกมมา–อะมิโนบิวทิริก

การวิเคราะห์ปริมาณกรดแกมมา–อะมิโนบิวทิริก โดยนำตัวอย่างข้าวมาทำการสกัดด้วยกรดอะซิติก (4 % v/v) ใน เอทานอล ทำการเขย่าที่อุณหภูมิห้องที่ 150 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง และทำการปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 6,000 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 20 นาที ทำการกรองแล้วนำไปทำให้แห้งด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศ (Rotavapor R – 210, BUCHI) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ทำการเติมเมทานอลปริมาตร 2 มิลลิลิตร แล้วกรองผ่าน syringe filter membrane ขนาด 0.2 µm นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง LC – MS (HP 1100 Binary/G1946A) โดยใช้คอลัมน์

HP C18 ขนาด 2.1x150 มิลลิเมตรโดยใช้เมทานอลและกรดฟอร์มิก 1 % ที่ความเร็ว 0.2 มิลลิลิตร/นาที เป็นเฟสเคลื่อนที่

5.การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ CRD (Completely Randomized Design) วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย โดยวิธี DMRT (Duncan New Multiple Range Test) ที่ระดับนัยสำคัญ 95 %

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการวิจัย

1.ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาในกระบวนการงอกต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

จากการศึกษาผลของสภาวะในการงอกข้าวเหนียว กข 6 และข้าวเจ้าหอมใบเตย ที่อุณหภูมิและระยะเวลาในการงอกต่างกัน 3 ระดับ คือ 30, 35 และ 45 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24, 48 และ 72 ชั่วโมง ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่าสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อใช้อุณหภูมิในการงอกสูงขึ้นเช่นเดียวกับระยะเวลา กล่าวคือเมื่อใช้ระยะเวลาในการงอกนานขึ้นจะทำให้สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มขึ้นเช่นกัน ($p < 0.05$) (Figure 1 และ Figure 2)

เนื่องจากกระบวนการงอกจะทำให้เอนไซม์ต่าง ๆ (phosphoenolpyruvate, d–erythrose–4–phosphate) ภายในเมล็ดข้าวเริ่มทำงานและย่อยสลายสารประกอบโมเลกุลใหญ่เพื่อใช้ในกระบวนการสร้างอาหารให้กับต้นอ่อนของข้าว จึงทำให้สารประกอบฟีนอลิกดังกล่าวเพิ่มขึ้น (Thammapat et al., 2016) ข้าวประกอบด้วยกรดฟีนอลิกและไกลโคไซด์ทั้งที่ละลายน้ำได้และไม่ละลายน้ำ สารประกอบฟีนอลส่วนใหญ่อยู่ในรูปแบบที่ไม่ละลายน้ำ ซึ่งจะจับกับพอลิแซ็กคาไรด์ที่ผนังเซลล์ของพืช (Miller et al., 2000) ที่ระดับอุณหภูมิในการงอก 45 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมง มีปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุด การเพิ่มอุณหภูมิและระยะเวลาในการงอกที่ส่งผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มขึ้นนั้น เนื่องจากในระหว่างกระบวนการงอกเอนไซม์ในเมล็ดข้าวจะมีการย่อยสลายและสร้างสารต่าง ๆ เพื่อใช้ในกระบวนการเจริญของต้นอ่อนทำให้สารดังกล่าวมีปริมาณสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Tian et al. (2004) และ Yang et al. (2001) ที่รายงานไว้ว่ากระบวนการงอกกระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณค่าทางอาหารและสารประกอบฟีนอลิกในระหว่างกระบวนการงอก โดยระหว่างกระบวนการงอกผนังเซลล์ของพืชถูกย่อยทำให้ได้สารประกอบฟีนอลิกรูปอิสระเพิ่มขึ้น

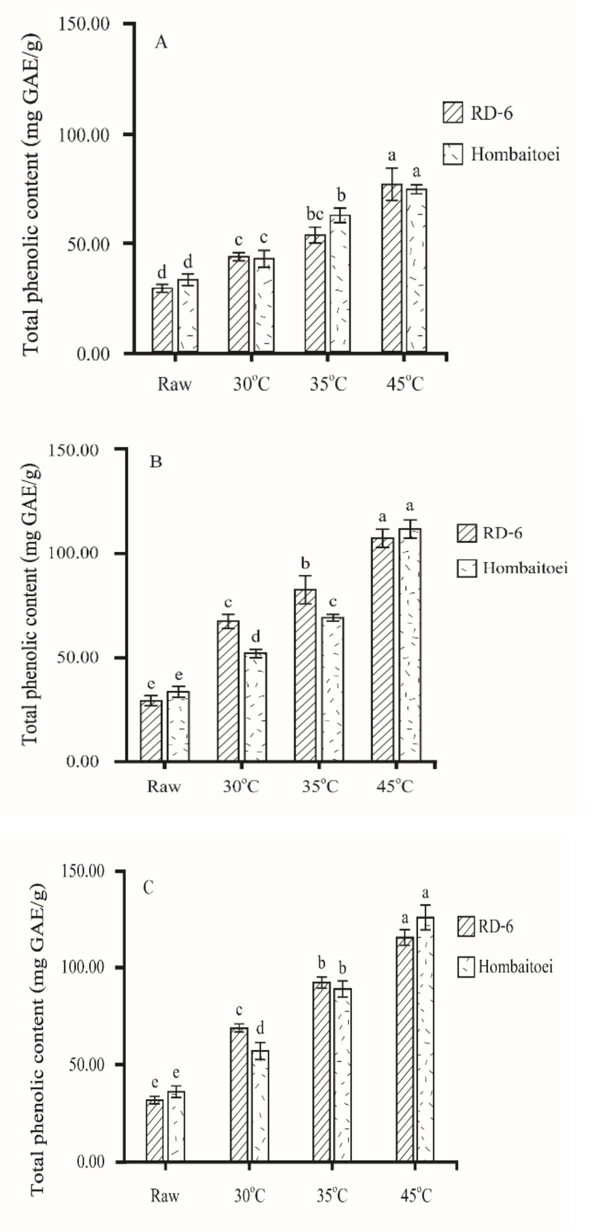


Figure 1 Total phenolic content of RD – 6 and hombaitoei rice at different germination temperature, (A) 24 h. ; (B) 48 h. ; (C) 72 h. Different letters above the bars indicate significant differences ($p < 0.05$

ส่งผลให้สารประกอบฟีนอลิกและกรดฟีนอลิกเพิ่มขึ้นได้ในระหว่างการงอกและยังสอดคล้องกับการทดลองของ Yang et al. (2001) ที่รายงานไว้ว่าในระหว่างกระบวนการงอกทำให้ปริมาณสารอาหารรวมทั้งสารต้านออกซิเดชันต่าง ๆ มีปริมาณเพิ่มขึ้นเช่นกัน

2.ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาในกระบวนการงอกต่อปริมาณกรดแกมมา–อะมิโนบิวทิริก

จากผลการศึกษาสภาวะในการงอกข้าวเหนียว กข 6 และข้าวเจ้าหอมใบเตย ที่อุณหภูมิและระยะเวลาในการงอกต่างกัน 3 ระดับ คือ 30, 35 และ 45 องศาเซลเซียส

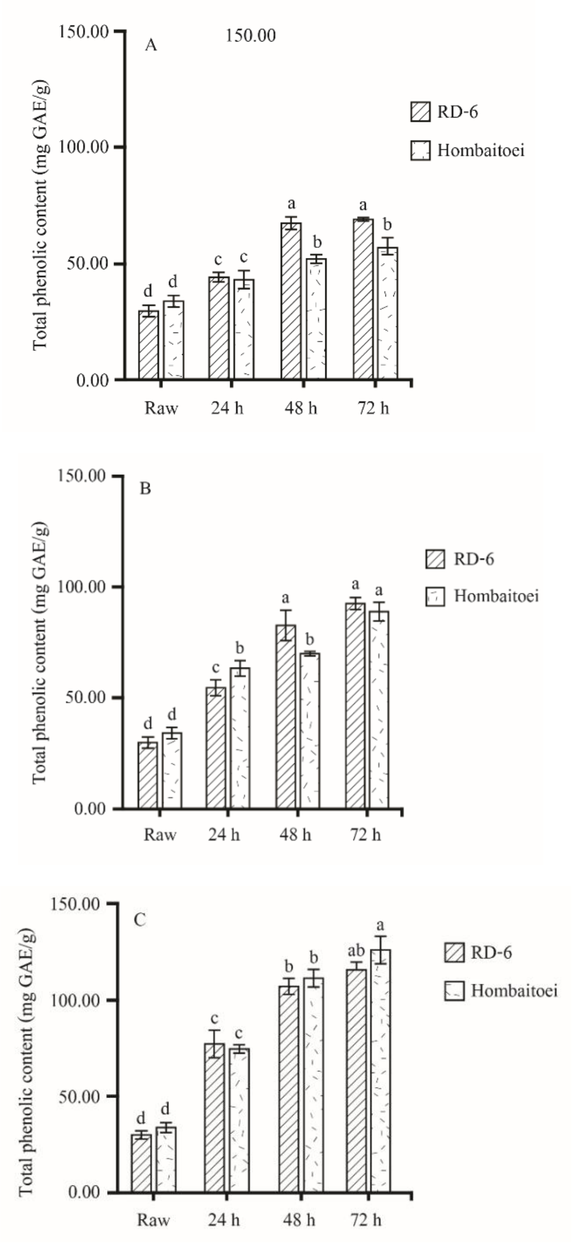


Figure 2 Total phenolic content of RD – 6 and hombaitoei rice at different germination time, (A) Room temperature ; (B) 35°C. ; (C) 45°C. Different letters above the bars indicate significant differences (p < 0.05)

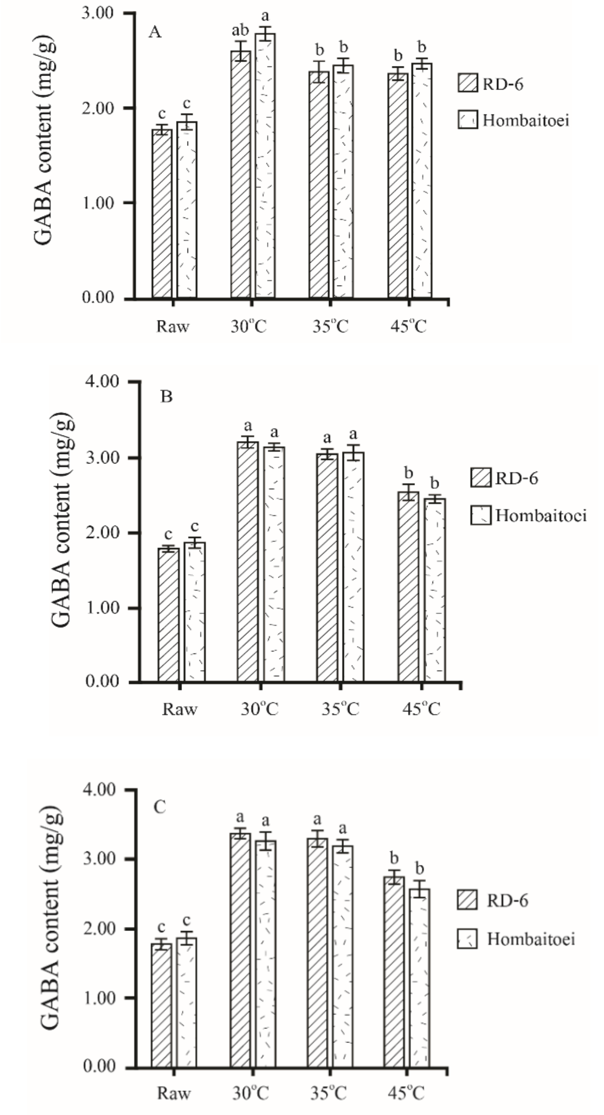


Figure 3 GABA content of RD – 6 and hombaitoei rice at different germination time, (A) Room temperature ; (B) 35°C. ; (C) 45°C. Different letters above the bars indicate significant differences (p < 0.05).

เป็นระยะเวลา 24, 48 และ 72 ชั่วโมง ตามลำดับ ที่มีต่อปริมาณกรดแกมมา–อะมิโนบิวทิริก พบว่าปริมาณกรดแกมมา–อะมิโนบิวทิริกจะลดลงเมื่อใช้อุณหภูมิในการงอกสูงกว่าอุณหภูมิห้องคือที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส และ 45 องศาเซลเซียส (Figure 3)

เนื่องจากที่ระดับอุณหภูมิที่สูงเกินไปดังกล่าวเอนไซม์ (glutamate decarboxylase) ในกระบวนการสร้างกรดแกมมา–อะมิโนบิวทิริกทำงานได้น้อยลง แต่ปริมาณกรดแกมมา–อะมิโนบิวทิริกจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ใช้ในการงอก (p < 0.05) (Figure 4)

ดังนั้นจึงพบว่าการงอกที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 72 ชั่วโมง จะทำให้ได้ปริมาณกรดแกมมา–อะมิโนบิวทิริกสูงที่สุด คือ ในข้าวเจ้าหอมใบเตยเท่ากับ 3.27 มิลลิกรัม/กรัม และข้าวเหนียว กข 6 เท่ากับ มิลลิกรัม/กรัม

ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Ohtsubo et al. (2005) ที่ได้รายงานไว้ว่าการแช่เมล็ดข้าวกล้องก่อนงอกในน้ำที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ทำให้ข้าวกล้องดังกล่าวมีใยอาหารรวม กรดเฟอร์รูริกรวม และกรดแกมมา–อะมิโนบิวทิริกสูงกว่าข้าวกล้องทั่วไปและข้าวขัดสี ซึ่งการสังเคราะห์กรดแกมมา–อะมิโนบิวทิริกเกิดขึ้นจากกระบวนการดีคาร์บอกซิเลชัน (decarboxylation) ของกรดอะมิโนแอล–กลูตาเมต ในระหว่างการงอกด้วยเอนไซม์กลูตาเมทดีคาร์บอกซิเลส (Komatsuzaki et al., 2007)

Vongsudin et al. (2012) ได้รายงานว่าการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีของข้าวกล้อง 3 ชนิด ได้แก่ ข้าวหอมนิล ข้าวขาวดอกมะลิ 105 และข้าวเหนียวดำ ที่ผ่านกระบวนการงอกที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และระยะเวลางอก 48 ชั่วโมง พบว่าข้าวทั้ง 3 พันธุ์ที่ผ่านกระบวนการงอกมีปริมาณวิตามินบี 1 สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

และกรดแกมมา–อะมิโนบิวทิริกเพิ่มขึ้น 1 – 4 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการงอก นอกจากนั้น Wichamanee & Teerarat (2012) ยังได้รายงานถึงการงอกข้าวหอมมะลิแดงที่อุณหภูมิ 5 – 35 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 8 – 24 ชั่วโมง พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิและระยะเวลาส่งผลให้ปริมาณกรดแกมมา–อะมิโนบิวทิริกเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

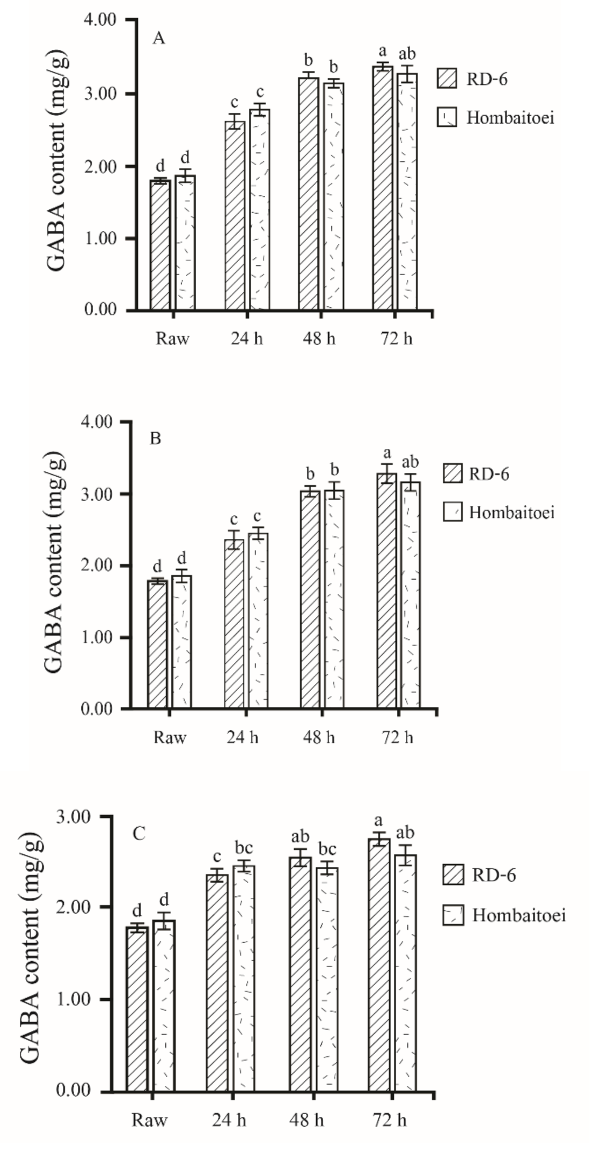


Figure 4 GABA content of RD–6 and hombaitoei rice at different germination temperature, (A) 24 h. ; (B) 48 h. ; (C) 72 h. Different letters above the bars indicate significant differences ($p < 0.05$).

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการงอกนั้นส่งผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด เมื่อเพิ่มอุณหภูมิและระยะเวลาในการงอกนานขึ้นทำให้สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงขึ้น โดยการงอกข้าวทั้งสองชนิดที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลา 72 ชั่วโมง จะมีปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุด ส่วนปริมาณสาร GABA ลดลงเมื่อใช้อุณหภูมิในการงอกสูงกว่าอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และจะลดลงมากที่สุดเมื่อใช้อุณหภูมิในการงอกที่ 45 องศาเซลเซียส แต่เมื่อใช้ระยะเวลาในการงอกเพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณกรดแกมมา–อะมิโนบิวทิริกเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการงอก การงอกที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 72 ชั่วโมงทำให้ได้กรดแกมมา–อะมิโนบิวทิริกสูงที่สุด

References

Abootalebian, M., Keramat, J., Kadivar, M., Ahmadi, F. & Abdinian, M. (2016). Comparison of total phenolic & antioxidant activity of different *Mentha spicata* & *M. longifolia* accessions. *Annals of Agricultural Sciences*, 61(2), 175–179.

Banchuen, J., Thammarutwasik, P., Ooraiku, B., Wuttijumnong, P. & Sirivongpaisal, P. (2009). Effect of germinating processes on bioactive component of Sangyod Muang Phatthalung rice. *Thai Journal of Agricultural Science*, 42(4), 191–199.

Jannoey, P., Niamsup, H., Lumyong, S., Tajima, S., Nomura, M. & Chairote, G. (2010). γ–aminobutyric acid (GABA) accumulations in rice during germination. *Chiang Mai Journal of Science*, 37(1), 124–133.

Komatsuzaki, N., Tsukahara, K., Toyoshima, H., Suzuki, T., Shimizu, N. & Kimura, T. (2007). Effect of soaking & gaseous treatment on GABA content in germinated brown rice. *Journal of Food Engineering*, 78, 556–560.

Kumar, V., Singh, J., Chauhan, N., Chandra, S., Kumar, V. & Yadav, M. K. (2018). Process of paddy parboiling & their effects on rice : A Review. *Journal of Pharmacognosy & Phytochemistry*, SP1, 1727–1734.

Miller, H. E., Rigelhof, F., Marquart, L., Prakash, A. & Kanter, M. (2000). Antioxidant content of whole grain breakfast cereals, fruits & vegetables. *Journal of the American College of Nutrition*, 19, 312S–319S.

Office of Agricultural Economics. (2020). *Agricultural economic information by product in 2020*. Bangkok : Ministry of agriculture & cooperatives. (In Thai)

Ohtsubo, K., Suzuki, K., Yasui, Y. & Kasumi, T. (2005). Bio–functional components in the processed pre–germinated brown rice by a twin–screw extruder. *Journal of Food Composition & Analysis*, 18(4), 303–316.

Oli, P., Ward, R., Adhikari, B. & Torley, P. (2014). Parboiled rice: Understanding from a materials science approach. *Journal of Food Engineering*, 124, 173–183.

Patil, S.B. & Khan, K. (2011). Germinated brown rice as a value added rice product : A review. *Journal of Food Science & Technology*, 48(6), 661–667.

Thammapat, P., Meeso, N. & Siriamornpun, S. (2015). Effects of NaCl & soaking temperature on the phenolic compounds, α–tocopherol, γ–oryzanol & fatty acids of glutinous rice. *Food Chemistry*, 175, 218–224.

Thammapat, P., Meeso, N. & Siriamornpun, S. (2016). Effects of the traditional method & an alternative parboiling process on the fatty acids, vitamin E, γ–oryzanol & phenolic acids of glutinous rice. Food Chemistry, 194, 230–236.

Tian, S., Nakamura, K. & Kayahara, H. (2004). Analysis of phenolic compounds in white rice, brown rice & germination brown rice. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 52, 4808–4813.

Vongsudin, W., Ratthanatham, P., Laohakunjit, N. & Kerdchoechuen, O. (2012). Change of bioactivecompounds in germinated rice. *Agricultural Science Journal,* 43(Suppl. 2*),* 553–556.

Weng, X., Sun, M., Gao, H., Liu, Z., Huang, J., Liao, X. & Shen, *G.X*. (2019). Germinated brown rice, a whole grain with health benefits for common chronic diseases. *Nutrition Food Science*, 2(1), 1–17.

Wichamanee, Y. & Teerarat, I. (2012). Production of germinated Red Jasmine brown rice & its physicochemical properties. *International Food Research Journal*, 19(4), 1649–1654.

Yang, F. Basu, T.K. & Ooraikul, B. (2001). Studies on germination conditions & antioxidant contents of wheat grain. *International Journal of Food Sciences & Nutrition*, 52(4), 319–330.

Research article

Effects of germination time and temperature on total phenolic content and gamma–aminobutyric acid of some thai rice varieties

Pornpisanu Thammapat[1*], Kitsada Chaiyasing[1] and Choothaweep Palakawong[1]

[1]*Department of Food Technology, Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University, Mueang, Maha Sarakham 44000*

ARTICLE INFO

Article history
Received: 21 August 2021
Revised: 15 September 2021
Accepted: 5 October 2021
Online published: 15 December 2021

Keyword
Bioactive Compound
Time
Temperature
Germination

ABSTRACT

Rice contains bran layers, endosperm and husk, where a variety of nutritional and biofunctional components, such as dietary fibers, gamma– oryzanol, vitamins, and minerals, exist. Germination is one of the techniques used to improve the texture and nutritional qualities of the rice. In this study, we investigated the effect of changes in different of germination time (24, 48 and 72 h) and temperature (30, 35 and 45oC) on the total phenolic content and gamma–aminobutyric acid (GABA) of RD–6 and Hombaitoei rice, compared with un–germinated samples. Overall, the total phenolic content and GABA of the RD–6 and Hombaitoei rice showed an increasing trend as germinated time and temperature increased. Germination at 45oC for 72 h provided the highest total phenolic content of RD–6 and Hombaitoei rice for the germination treatments tested (p < 0.05). Nevertheless, the amount of GABA of RD–6 and Hombaitoei rice was found to be the highest content at 30oC for 72 h of germination (p < 0.05).

[*]Corresponding author
E-mail address: Thammapat.p@gmail.com (P. Thammapat)
Online print: 15 December 2021 Copyright © 2021. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. https://doi.org/10.14456/paj.2021.20

PRAWARUN AGRICULTURAL JOURNAL
https://li01.tci-thaijo.org/index.php/pajrmu/index

บทความวิจัย

การเพิ่มประสิทธิภาพของปุ๋ยหมักก้อนเชื้อเห็ดเก่าด้วยแอคติโนมัยสีทต่อการเจริญและการเกิดโรคของต้นหอม (*Allium cepa var. aggregatum*) ที่เกิดจากเชื้อรา

วารีรัตน์ แสนมาโนช*

สาขาวิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี 34000

ข้อมูลบทความ

Article history

รับ: 23 กรกฎาคม 2564

แก้ไข: 5 ตุลาคม 2564

ตอบรับการตีพิมพ์: 1 พฤศจิกายน 2564

ตีพิมพ์ออนไลน์: 15 ธันวาคม 2564

คำสำคัญ

ปุ๋ยหมัก

ก้อนเชื้อเห็ดเก่า

แอคติโนมัยสีท

ราโรคพืช

ต้นหอม

บทคัดย่อ

การปรับปรุงคุณภาพของก้อนเชื้อเห็ดเก่าจากการเพาะเห็ดนางฟ้า (Pleurotus pulmonarius) โดยนำก้อนเชื้อเห็ดเก่ามาผ่านกระบวนการหมักแบบกองปุ๋ยร่วมกับเชื้อแอคติโนมัยสีท จำนวน 2 ไอโซเลท ที่แยกจากดินรอบรากต้นหอมในแปลงปลูกแบบอินทรีย์ พบว่ามีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อรา Sclerotium rolfsii และ Fusaruim oxysporum สาเหตุโรคพืชในดิน ร้อยละ 63 และ 80 ตามลำดับ หลังเสร็จสิ้นกระบวกการหมัก 45 วัน ปุ๋ยหมักจากก้อนเชื้อเห็ดเก่าที่ได้มีลักษณะทางกายภาพและมีปริมาณธาตุอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของต้นหอม ปุ๋ยหมักมีสีน้ำตาลดำร่วนซุย ค่าความเป็นกรด – ด่าง เท่ากับ 8.0 ค่าคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) เท่ากับ 16.5 ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม เท่ากับ 0.52, 0.19 และ 0.54 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่งผลที่ดีต่อการเจริญและการป้องกันกำจัดเชื้อราก่อโรคพืชของต้นหอมได้มากกว่าการใช้ก้อนเชื้อเห็ดเก่าที่ไม่ผ่านการหมักและไม่เติมแอคติโนมัยสีท ในสภาพโรงเรือนทดลอง

บทนำ

การเพาะเห็ดแบบใช้ก้อนเชื้อเห็ดจะมีการผสมส่วนประกอบของอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญของเส้นใยเห็ดและการออกดอกเห็ด โดยมีวัสดุในการเพาะเห็ด เช่น ฟางข้าว ขี้เลื่อย ขอนไม้ เป็นต้น และเมื่อสิ้นสุดกระบวนการออกดอกเห็ดจะได้ก้อนเชื้อเห็ดเก่า แม้ว่าสารอาหารที่สำคัญต่อการเจริญของเส้นใยเห็ดหมดไปแล้วแต่วัสดุเหลือทิ้งเหล่านั้นยังสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการเกษตรได้อีก แต่ต้องผ่านกระบวนการลดปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจนลงด้วยการหมักแบบชีวภาพเพื่อไม่ให้ส่งผลต่อพืช ปุ๋ยหมักชีวภาพจากก้อนเชื้อเห็ดเป็นการนำก้อนเห็ดเก่าที่หมดอายุการงอกของเห็ดจำนวนมากมาทำประโยชน์และช่วยกำจัดขยะจากก้อนเห็ด การหมักก้อนเชื้อเห็ดทำให้ได้ปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพดีมีธาตุอาหารสำหรับพืชได้มากกว่าปุ๋ยก้อนเห็ดที่ไม่ผ่านกระบวนการหมักด้วยจุลินทรีย์ (Meng et al., 2018; Nakatsuka et al., 2016) ซึ่งธาตุอาหารส่วนใหญ่เหลือมาจากก้อนเห็ดที่เติมลงไปในช่วงบ่มก้อนเห็ด มีทั้งธาตุอาหารหลัก ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ธาตุอาหารรอง แมกนีเซียม แคลเซียม และธาตุอาหารเสริมอีกหลายชนิด (Zhang et al., 2012) นอกจากนี้ยังได้ธาตุอาหารอินทรีย์จากปุ๋ยคอกที่นำมาผสมในการทำปุ๋ยหมักซึ่งเหมาะแก่การบำรุงดินได้ดี เหมาะสำหรับนำไปใช้กับพืชทั่วไปเพิ่มผลผลิตได้ดีไม่แพ้การใช้ปุ๋ยเคมี การหมักปุ๋ยก้อนเชื้อเห็ดทำได้โดยนำเอาก้อนเชื้อเห็ดเก่าไปหมักแบบอับอากาศร่วมกับมูลสัตว์และกากน้ำตาล และเร่งกระบวนการหมักโดยการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์

จุลินทรีย์เป็นอีกปัจจัยที่สำคัญในการหมักปุ๋ยชีวภาพ การเติมจุลินทรีย์ทำให้เกิดกระบวนการย่อยสลายวัสดุหมักได้ดี อีกทั้งจุลินทรีย์บางชนิดสามารถเพิ่มประสิทธิภาพคุณภาพของปุ๋ยหมักต่อการเจริญของพืชและเพิ่มความต้านทานโรคของพืชให้ดีขึ้น แอคติโนมัยสีท (*Actinomyces*) เป็นแบคทีเรียแกรมบวกที่มีลักษณะคล้ายเชื้อรา สมาชิกในกลุ่มแอคติโนมัยสีทมีความสำคัญต่อมนุษย์

*Corresponding author
E-mail address: wareerat.s@ubru.ac.th (W.Sanmanoch)
Online print: 15 December 2021 Copyright © 2021. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. https://doi.org/10.14456/paj.2021.21

ช่วยในการย่อยสลายซากพืชซากสัตว์ในดินทำให้ดินอุดมสมบูรณ์และสามารถสร้างสารเมตาบอไลท์ทุติยภูมิ (secondary metabolites) ที่มีคุณสมบัติเป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพโดยเฉพาะสกุล *Streptomyces* มีความสำคัญในการผลิตสารปฏิชีวนะที่ใช้ในทางการแพทย์ อาหารและการเกษตร (Malisorn, 2015) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาการทำปุ๋ยหมักชีวภาพจากก้อนเชื้อเห็ดเก่าและประเมินค่าปริมาณธาตุอาหารหลักที่ได้ โดยเพิ่มแบคทีเรียกลุ่มแอคติโนมัยสีทที่สามารถสร้างสารต้านเชื้อราก่อโรคพืช เพื่อสามารถนำไปใช้เป็นหัวเชื้อที่ใช้เพิ่มในกระบวนการหมักปุ๋ยชีวภาพช่วยให้เกษตรกรมั่นใจในการนำไปใช้ในการเพาะปลูกพืชได้ปุ๋ยอินทรีย์และอาจลดการใช้สารเคมีทางการเกษตรได้

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

1. การเก็บตัวอย่างและการแยกเชื้อแอคติโนมัยสีท

เก็บตัวอย่างดินบริเวณรอบรากต้นหอมและก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าที่ผ่านการเพาะเห็ด จากวิสาหกิจชุมชนกลุ่มสัมมาชีพ ชุมชนบ้านหนองทุ่ม อำเภอวังหิน จังหวัดศรีสะเกษ แยกเชื้อแอคติโนมัยสีทจากดินรอบรากต้นหอมด้วยวิธี spread plate ชั่งตัวอย่างดินจำนวน 10 กรัม เจือจางด้วยโซเดียมคลอไรด์ (sodium chloride) ความเข้มข้น 85 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 90 มิลลิลิตร เจือจางให้ความเข้มข้นอยู่ในช่วง 10^{-1} – 10^{-4} ดูดสารละลายในแต่ละความเจือจางปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ลงบนอาหาร 2 ชนิด ได้แก่ Sodium Caseinate Agar (SCA) และ McBeth Scale Agar (MBS) จากนั้นเกลี่ยตัวอย่างให้กระจายทั่วผิวหน้าอาหารจนแห้ง นำจานเพาะเชื้อไปบ่มเลี้ยงที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 – 7 วัน (Park et al., 2011) ตรวจสอบลักษณะโคโลนีของเชื้อแอคติโนมัยสีท เลือกเก็บโคโลนีเดี่ยวไปแยกให้ได้เชื้อบริสุทธิ์ เพื่อเก็บไว้ศึกษาในขั้นตอนถัดไป

2. ทดสอบความเป็นปฏิปักษ์ของแอคติโนมัยสีทต่อเชื้อก่อโรคพืช

ทดสอบการเป็นปฏิปักษ์ต่อเชื้อราก่อโรคพืชในดิน 2 ชนิด ได้แก่ *Sclerotium rolfsii* โรครากเน่า โคนเน่า และ *Fusaruim oxysporum* (โรคเหี่ยว) ด้วยวิธี dual culture นำเชื้อแอคติโนมัยสีทที่คัดเลือกได้ เมื่อเลี้ยงเชื้อมีอายุ 5 วัน นำมาวางบนอาหารเลี้ยงบนอาหาร Potato Dextrose Agar (PDA) ให้ค่อนไปทางหนึ่งห่างจากขอบจานอาหารเลี้ยงเชื้อ 2.5 เซนติเมตร บ่มที่อุณหภูมิห้อง (28 – 32 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 3 วัน เพื่อให้แอคติโนมัยสีทปรับตัวเจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อ จากนั้นนำเชื้อ *S. rolfsii* และ *F. oxysporum* ที่เลี้ยงบนอาหาร Potato Dextrose Agar (PDA) อายุ 5 วัน มาวางบนอาหารเลี้ยงเชื้อในทิศตรงข้ามกับแอคติโนมัยสีทห่างจากขอบจานอาหารเลี้ยงเชื้อ 2.5 เซนติเมตร บ่มต่อที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 5 วัน เปรียบเทียบกับชุดควบคุม คือการวางเชื้อสาเหตุโรคพืชห่างจากขอบอาหารเลี้ยงเชื้อ 2.5 เซนติเมตรเพียงอย่างเดียว เมื่อครบระยะเวลาการบ่ม 5 วัน วัดขนาดรัศมีของเชื้อราโรคพืช (Park et al., 2011) คำนวณค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งจากสูตร

$$\% \text{ การยับยั้ง} = [(R1 - R2)/R1] \times 100$$

เมื่อ

R1 = รัศมีเฉลี่ยของโคโลนีราสาเหตุโรคที่เจริญบนอาหารชุดควบคุม

R2 = รัศมีเฉลี่ยของโคโลนีราสาเหตุโรคที่เจริญบนอาหารชุดทดสอบ

3. การทำปุ๋ยจากก้อนเชื้อเก่า

การทำปุ๋ยหมักจากก้อนเชื้อเห็ดเก่า ประกอบด้วย ก้อนเห็ดนางฟ้าที่ผ่านการเพาะเห็ด จำนวน 70 กิโลกรัม มูลโค 25 กิโลกรัม น้ำหมักชีวภาพที่เติมหัวเชื้อแอคติโนมัยสีท 1 ลิตร และกากน้ำตาล 5 กิโลกรัม โดยมีขั้นตอนการเตรียมดังนี้

3.1 ทำการคัดเลือกก้อนเห็ดนางฟ้าที่ผ่านการเพาะเห็ดมาแล้ว ไม่เน่าเสีย ไม่มีสีดำหรือมีสีเขียว ไม่มีน้ำแฉะ และผึ่งตากแดดจนแห้ง จากนั้นแกะก้อนเชื้อเห็ดเก่าออกจากถุง ทำให้ร่วนซุยด้วยการทุบก้อนเห็ดให้แตกละเอียด ผสมกับมูลโคแห้ง คลุกเคล้าให้เข้ากัน

3.2 การเตรียมหัวเชื้อจุลินทรีย์ในการหมักปุ๋ยหัวเชื้อแอคติโนมัยสีทสำหรับหมักปุ๋ยก้อนเห็ด โดยเขี่ยเชื้อแอตติโนมัยสีทบนอาหารแข็ง Sodium Caseinate Agar แบบ simple streak บ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน จากนั้นเจาะชิ้นวุ้นแอคติโนมัยสีทด้วย cork borer ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร จำนวน 10 ชิ้น ลงในขวดรูปชมพู่ที่มีอาหาร modified sodium caseinate ที่ผสมกากน้ำตาล 5 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 250 มิลลิลิตร บ่มเขย่าที่ 150 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน หัวเชื้อจุลินทรีย์ทางการค้า โดยอยู่ในรูปแบบของน้ำหมักชีวภาพ Effective Microorganism (EM)

3.3 เตรียมปุ๋ยหมักก้อนเห็ด แบ่งการหมักปุ๋ยด้วยจุลินทรีย์เป็น 2 ชุดการทดลอง คือ ชุดที่ 1 ใช้เชื้อแอคติโนมัยสีทเป็นหัวเชื้อจุลินทรีย์ และ ชุดที่ 2 ใช้นำหมักชีวภาพ (EM) ทางการค้า โดยเติมหัวเชื้อจากข้อ 3.2 ปริมาตร 250 มิลลิลิตร และกากน้ำตาล 250 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันละลายในน้ำ 5 ลิตร นำน้ำหมักราดไปรดบนกองปุ๋ยปรับความชื้นของปุ๋ยหมักให้อยู่ในช่วงร้อยละ 60 – 70 ทดสอบโดยใช้มือกำส่วนผสม หากแบมือแล้วส่วนผสม ไม่ร่วนแตกก็ถือว่าได้ความชื้นที่ต้องการ จากนั้นใช้พลาสติกทึบแสงคลุมไว้กองปุ๋ยหมักเป็นระยะเวลา 45 วัน กองปุ๋ยจะเกิดกระบวนการหมักทำให้เกิดความร้อนเกิดขึ้นในกองปุ๋ย กลับกองปุ๋ยหมักทุก 7 วัน ตรวจสอบดูความชื้นให้มีค่าที่สม่ำเสมอ

4. การตรวจวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารของปุ๋ยหมัก

การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุอาหารที่สำคัญในปุ๋ยหมักโดยตรวจด้วยเครื่องตรวจวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ด้วยเครื่องวิเคราะห์หา

ปริมาณธาตุที่เป็นองค์ประกอบของสารอินทรีย์ CHNS/O และเครื่อง Atomic absorption spectroscopy คุณภาพของปุ๋ยหลังการหมัก และค่าความเป็นกรดด่าง

5. ทดสอบการยับยั้งเชื้อราโรคพืชและการเจริญของต้นหอมในระดับกระถาง

5.1 การเตรียมสารละลายสปอร์เชื้อรา การทดสอบการเกิดโรคจากราโรคพืช *S. rolfsii* และ *F. oxysporum* โดยเลี้ยงเชื้อราบนอาหาร Potato Dextrose Agar (PDA) บ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 5 วัน จากนั้นเตรียมสารละลายสปอร์เชื้อราทั้ง 2 ชนิด ด้วยการเขี่ยสปอร์เชื้อราจากอาหารแข็งลงในน้ำกลั่นปลอดเชื้อ ปรับความเข้มข้นของสารละลายสปอร์เท่ากับ OD 1.0 ที่ความยาวคลื่น 580 นาโนเมตร ซึ่งมีปริมาณสปอร์ประมาณ 10^8 CFU/ml

5.2 การเตรียมดินปลูกในระดับกระถาง ทดสอบการเจริญของต้นหอมและการเกิดโรคจากเชื้อราในระดับกระถาง โดยแบ่งชุดการทดลองเป็น 5 กรรมวิธี ประกอบด้วย กรรมวิธีที่ 1 ดินปลูก (ชุดควบคุม) กรรมวิธีที่ 2 ดินปลูกผสมก้อนเชื้อเห็ดเก่าที่ไม่ผ่านการหมัก อัตราส่วน 3:1 กรรมวิธีที่ 3 ดินปลูกผสมก้อนเชื้อเห็ดเก่าที่ไม่ผ่านการหมักและเติมสารละลายสปอร์เชื้อราก่อโรคพืช 100 มิลลิลิตรต่อดิน 5 กิโลกรัม กรรมวิธีที่ 4 ดินปลูกที่ผสมปุ๋ยหมักก้อนเห็ดที่ใช้เชื้อรวม *Streptomyces* spp. อัตราส่วน 3:1 และกรรมวิธีที่ 5 ดินปลูกที่ผสมปุ๋ยหมักก้อนเห็ดที่ใช้เชื้อรวม *Streptomyces* spp. และเติมสารละลายสปอร์เชื้อรา 100 มิลลิลิตรต่อดิน 5 กิโลกรัม

5.3 การเตรียมต้นหอมสำหรับเพาะปลูกในกระถางใช้ต้นหอมพันธุ์ลับแลสำหรับการทดลอง โดยคัดเลือกหัวพันธุ์ที่สมบูรณ์ ไม่มีรอยโรคและเชื้อรา นำหัวพันธุ์เพาะลงในกระถาง ๆ ละ 3 หัว วางตามแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design (CRD) ในโรงเรือนทดลองแบบปิด จำนวน 5 กรรมวิธี 5 ซ้ำ ให้น้ำ 100 มิลลิลิตรต่อกระถาง ตอนเช้าและเย็น เป็นระยะเวลา 45 วัน จากนั้นวัดการเจริญของต้นหอมและตรวจประเมินการเกิดโรค

ผลการทดลองและอภิปรายผล

1. การคัดแยกเชื้อแอคติโนมัยสีทและความเป็นปฏิปักษ์ต่อราโรคพืช

ผลการแยกเชื้อแอคติโนมัยสีทจากดินรอบรากต้นหอม พบเชื้อแอคติโนมัยสีทได้ทั้งหมด 65 ไอโซเลท เมื่อนำมาทดสอบความเป็นปฏิปักษ์ต่อเชื้อ *S. rolfsii* และ *F. oxysporum* พบว่าแอคติโนมัยสีทจำนวน 2 ไอโซเลท คือ SSB30 มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของรา *S. rolfsii* เท่ากับ 63 เปอร์เซ็นต์ และ SSB37 สามารถยับยั้งการเจริญของรา *F. oxysporum* เท่ากับ 80 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงใน (Figure 1) เมื่อศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาภายใต้กล้องจุลทรรศน์และทดสอบทางชีวเคมีพบว่า แอคติโนมัยสีททั้ง 2 ไอโซเลท มีลักษณะคล้ายกับ *Streptomyces* sp. มีงานวิจัยที่ศึกษาผลของแอคติโนมัยสีทต่อการยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคพืช เช่น เชื้อ *Colletotrichum capsici*, *Curvularia lunata* และ *Fusarium solani* (Khompun & Thabthim, 2016) นอกจากนี้ยังพบว่าสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากแอคติโนมัยสีท สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อ *Rhizoctonia solani* ซึ่งเป็นเชื้อราที่ก่อโรคในพืชหลายชนิด เช่น โรคเน่าคอดิน กล้าเน่า และโรคใบติด เป็นต้น (Niyomvong, 2018)

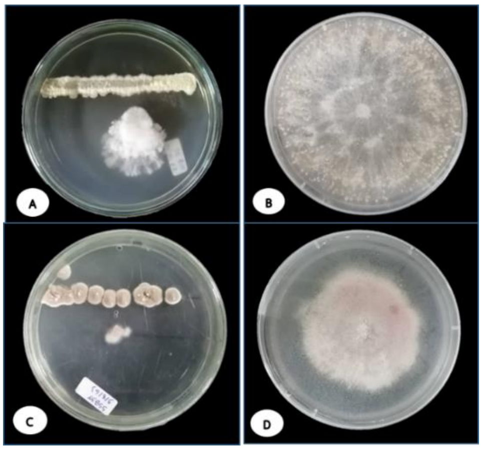


Figure1 Antagonistic of *Actinomyces* were isolated from soil surrounding green onion root, (A) growth inhibition of *S. rolfsii* by *Streptomyces* sp. SSB30 , (B) control plate of *S. rolfsii*, (C) growth inhibition of *F. oxysporum* by *Streptomyces* sp. SSB37, (D) control plate of *F. oxysporum*

2. ลักษณะทางกายภาพและสมบัติของปุ๋ยหมักจากก้อนเชื้อเห็ด

ลักษณะของปุ๋ยหมักจากก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าเก่า ที่ได้จากกระบวนการหมัก 45 วัน พบว่ามีลักษณะทางกายภาพแตกต่างกัน โดยปุ๋ยหมักก้อนเห็ดที่ไม่มีการเติมหัวเชื้อแอคติโนมัยสีทมีลักษณะสีน้ำตาล ยังคงมีการจับตัวกันเป็นก้อนเล็ก ไม่มีความร่วนของปุ๋ย ส่วนปุ๋ยหมักจากก้อนเชื้อเห็ดเก่าที่ผสมหัวเชื้อ *Streptomyces* sp. ไอโซเลต SSB30 และ SSB37 มีลักษณะดีที่สุด ปุ๋ยหมักที่ได้มีลักษณะร่วนซุย ไม่มีกลิ่นเหม็นและสีน้ำตาลดำ เมื่อนำไปตรวจวิเคราะห์คุณสมบัติบางประการและปริมาณธาตุอาหารที่สำคัญในปุ๋ยหมัก พบค่าความเป็นกรด – ด่าง เท่ากับ 8.09 ค่า C/N ratio เท่ากับ 16 ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม เท่ากับ 0.52, 0.185 และ 0.542 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สมบัติบางประการของปุ๋ยหมักที่ได้จากก้อนเชื้อเห็ดเก่าที่ผสมเชื้อ *Streptomyces* spp. เปรียบเทียบกับปุ๋ยหมักสูตรต่าง ๆ แสดงไว้ใน Table 1

จากผลการทดลองพบว่าปุ๋ยหมักจากก้อนเห็ดเก่าเมื่อผ่านกระบวนการหมักจะมีค่า pH ลดลง เท่ากับ 8.06 – 8.09 จากวัสดุเตรียมหมักเริ่มต้น (pH = 8.30) (Table 1) ทั้งนี้เนื่องจากในก้อนเชื้อเห็ดเก่ายังมีวัสดุผสมของยิปซัมเป็นส่วนผสม จึงทำให้ค่า pH มีค่าเป็นด่างอ่อน อย่างไรก็ตาม พบว่าค่า pH จะลดลง เมื่อผ่านกระบวนการหมักโดยจุลินทรีย์ จากงานวิจัยของ (Srithawirat, 2004) กล่าวว่าค่า pH เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการย่อยสลายเศษพืชเป็นอย่างมาก

โดยปุ๋ยหมักควรมีค่า pH อยู่ในช่วง 4.5 – 9.5 ซึ่งหากปุ๋ยหมักมีค่า pH ที่เป็นกรดมากเกินไปจุลินทรีย์จะหยุดการเจริญเติบโตในสภาวะการหมักแบบไร้อากาศ สำหรับค่า C/N ratio ของก้อนเชื้อเห็ดเก่ามีค่าเท่ากับ 40.05 ทั้งนี้ค่าคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่สูง ทำให้ยากต่อการย่อยสลายของจุลินทรีย์และการนำไปใช้ประโยชน์ของพืช อย่างไรก็ตามเมื่อผ่านกระบวนการหมักด้วยจุลินทรีย์ทำให้ค่า C/N ratio มีลดลงเหลือ 16 – 21 (Table 1) ซึ่งเหมาะสมสำหรับการเจริญของพืช จากรายงานของ Kiriratnikom et al. (2016) กล่าวว่า อัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัสดุ ที่ใช้ทำปุ๋ยหมักเป็นค่าที่บ่งบอกความยากหรือง่ายต่อการย่อยสลาย และใช้เป็นตัวกำหนดระดับการเป็นปุ๋ยหมักที่สมบูรณ์ ถ้าวัสดุที่ใช้ทำปุ๋ยหมักมีค่าอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงมาก ๆ อัตราการย่อยสลายจะเกิดช้า

จากผลการทดลองสามารถตรวจวัดปริมาณธาตุอาหารของปุ๋ยหมักจากก้อนเชื้อเห็ด มีปริมาณไนโตรเจน 0.52 กรัม ต่อปุ๋ย 100 กรัม (Table 1) อย่างไรก็ตามปุ๋ยหมักก้อนเห็ดแม้ว่าจะมีการเติมปุ๋ยมูลสัตว์ซึ่งเกิดจากการย่อยสลายของจุลินทรีย์ที่อยู่ในลำไส้และกระเพาะอาหารของสัตว์ (Tongtanee, 2018) ทำให้มีปริมาณไนโตรเจนสูงกว่าวัสดุหมักอื่น ๆ (Table 1) แต่เมื่อผ่านกระบวนการหมักกลับทำให้มีปริมาณไนโตรเจนลดลงจากปริมาณเริ่มต้น ทั้งนี้อาจเกิดจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่ดึงไนโตรเจนบางส่วนไปใช้ในการเจริญเติบโต นอกจากนี้ปริมาณฟอสฟอรัสของปุ๋ยหมักก้อนเชื้อเห็ดที่ใส่เชื้อ *Streptomyces* sp. ไอโซเลต SSB30 และ SSB37 พบว่ามีปริมาณฟอสฟอรัสร้อยละ 0.185 ซึ่งมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้น กว่าก้อนเชื้อเห็ดที่ไม่ผ่านการหมัก ทั้งนี้ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารองพืชที่ช่วยเสริมสร้างการออกดอก สร้างเมล็ด และการเจริญของรากพืช ช่วยให้รากพืชแข็งแรงและแผ่กระจายได้ ปกติแล้วธาตุฟอสฟอรัสจะมีอยู่ในดินหรือละลายน้ำได้ยากส่งผลทำให้พืชดูดเอาไปใช้ได้ยาก จึงต้องอาศัยจุลินทรีย์ในการเปลี่ยนให้อยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ (Tongtanee, 2018) ในขณะที่ปริมาณโพแทสเซียมของปุ๋ยหมักก้อนเชื้อเห็ดที่เติมแบคทีเรียกลุ่มแอคติโนมัยสีทมีปริมาณร้อยละ 0.542 เมื่อเทียบกับวัสดุผสมก่อนการหมัก ซึ่งมีปริมาณโพแทสเซียมเพียงร้อยละ 0.401 โพแทสเซียมมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชจะอยู่ในรูปเกลืออินทรีย์หรืออนินทรีย์ซึ่งละลายน้ำได้ โพแทสเซียมจำเป็นต่อกิจกรรมหรือกระบวนการสร้างส่วนต่างๆ ในเซลล์ที่มีชีวิต มีอิทธิพลต่อกระบวนการสร้างรวมทั้งการเคลื่อนย้ายแป้งและน้ำตาล กระบวนการสังเคราะห์แสง และการหายใจในพืช (Paula et al., 2017) จากผลการวิเคราะห์ธาตุอาหารในปุ๋ยหมัก (Table 1) ปุ๋ยหมักก้อนเชื้อเห็ดที่เติมแบคทีเรียกลุ่มแอคติโนมัยสีท มีปริมาณธาตุอาหารที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพต่อการเจริญของพืชมากกว่า การนำก้อนเชื้อเห็ดที่ไม่ผ่านการหมักไปใช้เป็นปุ๋ยโดยตรงต่อพืช

3. ผลของปุ๋ยหมักก้อนเห็ดต่อการเจริญของต้นหอมและความต้านทานโรค

ประสิทธิภาพของปุ๋ยหมักก้อนเชื้อเห็ดที่เติมหัวเชื้อจุลินทรีย์ *Streptomyces* sp. ไอโซเลท SSB30 และ SSB37 ต่อการเจริญของต้นหอมและความต้านทานต่อราโรคพืช *S. rolfsii* และ *F. oxysporum* พบว่ากรรมวิธีที่ 5 การปลูกต้นหอมโดยปุ๋ยหมักก้อนเห็ดที่หมักด้วยหัวเชื้อจุลินทรีย์รวม *Streptomyces* sp. ทำให้ต้นหอมเจริญเติบโตดีที่สุด ต้นหอมมีน้ำหนัก 4.0 กรัม และสูง 23.40 เซนติเมตร พบความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเทียบกับการปลูกต้นหอมในดินปลูกที่ผสมก้อนเชื้อเห็ดเก่าแต่ไม่ผ่านการหมักด้วยจุลินทรีย์ (Table 2)

อย่างไรก็ตามจากผลการศึกษา ไม่พบการเกิดโรคของต้นหอมที่เกิดจากเชื้อรา *F. oxysporum* และ *S. rolfsii* แต่พบว่าในกรรมวิธีการปลูกต้นหอมในดินที่ผสมก้อนเชื้อเห็ดที่ไม่ได้หมักและเติมราโรคพืชส่งผลให้ต้นหอมมีการเจริญที่ช้า มีน้ำหนักและความสูงน้อยกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ อย่างไรก็ตามเมื่อตรวจสอบการคงอยู่ของราโรคพืชในดินปลูกที่ผสมเชื้อราไว้ พบว่าเชื้อราโรคพืชยังมีการคงอยู่ในดินปลูกแต่ไม่ได้ทำให้ต้นหอมแสดงอาการของโรคออกมา ทั้งนี้อาจมีสาเหตุจากสภาวะภายในโรงเรือนเป็นสภาวะที่ต้องควบคุมแสงและปริมาณน้ำ จึงทำให้เชื้อราดังกล่าวอยู่ในสภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อการก่อโรคในต้นหอม จากรายงานของกรมวิชาการเกษตร (Department of Agriculture, 2010)

Table 1 Some chemical properties of the spent mushroom cultivation substrate–derived compost

Samples	pH	C/N ratio	Nitrogen (%)	Phosphorus (%)	Potassium (%)
1. Spent mushroom Compost	8.72	40.05	0.38	ND	ND
2. Manure (cow dung)	7.73	12.19	1.76	ND	ND
3. Mixed spent mushroom and manure (before fermented)	8.30	22.11	0.66	0.128	0.401
4. Spent mushroom compost with Bio–fermented (commercial)	8.06	21.67	0.54	0.137	0.500
5. Spent mushroom compost with *Streptomyces* sp.	8.09	16.5	0.52	0.185	0.542

ND = not detect

รายงานว่าโรคในต้นหอมที่เกิดจากเชื้อราสาเหตุโรคเหี่ยว (fusarium wilt) เชื้อสาเหตุจะเจริญและก่อโรคได้ดีในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมและพืชอาศัยอ่อนแอ โดยสปอร์เชื้อราจะงอกและแทงผ่านเข้าไปในเซลล์พืช เจริญและเพิ่มปริมาณจนทำให้พืชแสดงอาการของโรค ทำให้ระบบรากพืชจะถูกทำลายไม่สามารถลำเลียงน้ำและธาตุอาหารได้ จึงแสดงโรคเหี่ยว ต้นหอมจะเหลืองและแห้งตายในที่สุด

Table 2 The result of spent mushroom cultivation substrate–derived compost on growth of green onion in pot experiments.

Treatments	Height of green onion (cm)	Weight of green onion (g)
1. Soil (control)	$22.88^{b}\pm1.85$	$2.6^{c}\pm1.7$
2. Soil mixed with spent mushroom cultivation substrate	$21.70^{c}\pm2.26$	$2.6^{c}\pm1.7$
3. Soil mixed with spent mushroom cultivation substrate and fungal spore	$21.06^{d}\pm3.22$	$1.6^{d}\pm3.2$
4. Soil mixed with spent mushroom cultivation substrate derived–compost	$23.40^{a}\pm2.72$	$4.0^{a}\pm2.8$
5. Soil mixed with spent mushroom cultivation substrate derived–compost and fungal spore	$22.70^{b}\pm1.76$	$3.6^{b}\pm2.2$

Data are means of five replicates ± SE, standard error of means
Significant differences between each treatment for height and weight of green onion at $p < 0.05$, which were calculated by SPSS program

สรุปผลและเสนอแนะ

แอคติโนมัยสีทที่คัดแยกจากดินบริเวณแปลงปลูกต้นหอม คือ *Streptomyces* sp. ไอโซเลต SSB30 และ SSB37 ที่ประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อรา *S. rolfsii* และ *F. oxysporum* ได้ 60 – 80 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในห้องปฏิบัติการ และเมื่อนำไปใช้ในการทำปุ๋ยหมักจากก้อนเชื้อเห็ดเก่า พบว่าปุ๋ยหมักที่ได้มีคุณภาพดี ปุ๋ยหมักมีสีน้ำตาลดำ ร่วนซุย มีค่า pH เท่ากับ 8.0 ค่า C/N ratio เท่ากับ 16.5 มีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ร้อยละ 0.52, 0.19 และ 0.54 ตามลำดับ และเมื่อนำปุ๋ยหมักจากก้อนเชื้อเห็ดที่เติมเชื้อ *Streptomyces* sp. มาทดสอบประสิทธิภาพการเจริญของต้นหอมและยับยั้งการเกิดโรคจากเชื้อรา *S. rolfsii* และ *F. oxysporum* ในสภาพโรงเรือน พบว่าต้นหอมแตกกอได้ดี มีน้ำหนักและส่วนสูงดีกว่าการปลูกต้นหอมในดินปลูกผสมก้อนเชื้อเห็ดเก่าที่ไม่ผ่านการหมักและไม่พบอาการของโรค

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับเงินสนับสนุนจาก ทุนอุดหนุนการวิจัยหัวข้อการจัดการความรู้การวิจัยเพื่อการใช้ประโยชน์ในมิติเชิงชุมชนและสังคม สำหรับคณาจารย์และบุคคลากรของมหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี งบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2563

References

Department of Agriculture. (2010). Good agricultural practice (GAP) for onion. Accessed April 6, 2021. derived from: https://www.doa.go.th/share/attachment.php?aid=2880. (in Thai)

Khompun, W. & Thabthim, S. (2016). Effect of actinomycetes isolated from rhizospheric soil of chilli on growth inhibition of Colletotrichum capsici, *Curvularia lunata & Fusarium solani*. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 44 (1), 942–947. (in Thai)

Kiriratnikom, A., Kiriratnikom, S. & Sumpunthamit, T. (2016). Litter decomposition & nutrient release in Ban Nong–Tin community forest, Phapayom district, Phatthalung province. *Thaksin journal*, 19(2), 33–41. (in Thai)

Malisorn, K. (2015). Isolation & identification of soil Actinomycetes inhabiting Phulangka national park, Nakhonphanom. Naresuan Phayao Journal, 8(1), 21–24. (in Thai)

Meng, X., Dai, J., Zhang, Y., Wang, X., Wanbin, Z., Yuan, X., Yuan, H. & Cui, Z. (2018). Composted biogas residue & spent mushroom substrate as a growth medium for tomato & pepper seedlings. Journal of Environmental Management, 216(1), 62–69.

Nakatsuka, H., Oda, M., Hayashi, Y. & Tamura, K. (2016). Effects of fresh spent mushroom substrate of Pleurotus ostreatus on soil micromorphology in Brazil. *Geoderma*, 269(1), 54–60.

Niyomvong, N. (2018). Inhibition of Rhizoctonia solani by actinomycete isolate EH50–1. Songklanakarin Journal of Plant Science. 5(2). 69–77. (in Thai)

Park, S.B., Lee, I.A., Joo, W.S., Jeong, G.K. & Lee, H.W. (2011). Screening & identification of antimicrobial compounds from *Streptomyces bottropensis* suppressing rice bacterial blight. *Journal of Microbiology & Biotechnology*, 21(1), 1236–1242.

Paula, F.S., Tatti, E., Abram, F., Wilson, J. & Flaherty, V. (2017). Stabilization of spent mushroom substrate for application as a plant growth–promoting organic amendment. Journal of Environmental Management, 196(1), 476–486.

Srithawirat, T. (2004). The study on composting processes from food & agricultural waste. Research report: Pibulsongkram Rajabhat University. (in Thai)

Tongtanee, P. (2018). The effective of compost made from different agricultural residues on growth of Chinese kale under participatory action research at Pa–tan community, Mae Tha district, Lampang province. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 46 (6), 1045–1056. (in Thai)

Zhang, R.H., Duan, Z.Q. & Li, Z.G. (2012). Use of spent mushroom substrate as growing media for tomato & cucumber seedlings. Pedosphere, 22(3), 333–342.

Research article

Efficiency enhancing of spent mushroom cultivation substrate–derived compost by using actinomycetes to green onion (*Allium cepa var. aggregatum*) growth and increase defense against phytopathogenic fungi

Wareerat Sanmanoch *

Program of Microbiology, Faculty of Science, Ubon Ratchathani Rajabhat University, Mueang, Ubon Ratchathani 34000

ARTICLE INFO

Article history
Received: 23 July 2021
Revised: 5 October 2021
Accepted: 1 November 2021
Online published: 15 December 2021

Keyword
Compost
Spent mushroom cultivation substrate
Actinomycetes
Plant pathogenic fungi
Green onion

ABSTRACT

The quality improvement of the spent oyster mushroom cultivation substrate by compost fermentation with Actinomyces isolated from soil surrounding green onion grown on organic planting showed high efficiency on antagonistic to plant pathogenic fungi Sclerotium rolfsii and Fusaruim oxysporum, which were 63 % and 80 %, respectively. At 45 days after fermentation, the obtained compost had the optimum physical properties including dark brown, loosely, pH 8.0 and the optimum plant nutritional including C/N ratio were obtained 16.5, nitrogen, phosphorus and potassium were obtained 0.52, 0.19 and 0.54 %, respectively. In greenhouse experiment, this spent mushroom cultivation substrate derived compost showed more efficiency in plant growth promoting and phytopathogenic fungi defense than the other without the fermentation.

*Corresponding author
E-mail address: wareerat.s@ubru.ac.th (W.Sanmanoch)
Online print: 15 December 2021 Copyright © 2021. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. https://doi.org/10.14456/paj.2021.21

https://li01.tci-thaijo.org/index.php/pajrmu/index

บทความวิจัย

ประสิทธิภาพของการเสริมกล้วยน้ำว้าในอาหารต่อการตอบสนองทางภูมิคุ้มกันต้านเชื้อ *Aeromonas hydrophila* ในกบนา

พุทธชาติ อิ่มใจ[1*] จุฑารัตน์ แก่นจันทร์[1] อรอนงค์ ไชยรา[2] อนาวิล พรหมเทพ[2] และ นันท์นภัส ปาลินทร[3]

[1]สาขาวิชาเกษตรศาสตร์ (ประมง) คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม 44000

[2] สาขาวิชาการประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร 47000

[3]สาขาวิชาประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ 31000

ข้อมูลบทความ

Article history

รับ: 14 กุมภาพันธ์ 2564

แก้ไข: 10 สิงหาคม 2564

ตอบรับการตีพิมพ์: 10 ตุลาคม 2564

ตีพิมพ์ออนไลน์: 15 ธันวาคม 2564

คำสำคัญ

กล้วยน้ำว้า

กบ

ภูมิคุ้มกัน

บทคัดย่อ

การศึกษาประสิทธิภาพของการเสริมกล้วยน้ำว้าในอาหารต่อการตอบสนองทางภูมิคุ้มกันต้านเชื้อ *Aeromonas hydrophila* ในกบนา ที่มีน้ำหนักเฉลี่ย 62.134 ± 2.60 กรัม ได้รับอาหารเสริมกล้วยน้ำว้า 0, 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ (w/w) ของน้ำหนักอาหาร โดยให้อาหารอัตรา 5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว วันละ 2 ครั้ง เป็นเวลา 6 สัปดาห์ พบว่ากบนาที่ได้รับอาหารเสริมด้วยกล้วยน้ำว้ามีค่าปริมาณเม็ดเลือดแดงอัดแน่น (Hematocrit) ในครั้งที่ 1 (สัปดาห์ที่ 3) เท่ากับ 38.600 ± 0.200, 39.466 ± 1.501, 41.800 ± 0.058 และ 42.666 ± 0.461 เปอร์เซ็นต์ ครั้งที่ 2 (สัปดาห์ที่ 6) เท่ากับ 40.733 ± 0.416, 59.333 ± 0.503, 59.666 ± 0.416 และ 58.333 ± 0.230 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และค่าแอนติบอดีไตเตอร์ ครั้งที่ 1 มีค่าเท่ากับ 2.618 ± 0.137, 2.578 ± 0.152 และ 2.538 ± 0.192 ครั้งที่ 2 มีค่าเท่ากับ 3.230 ± 0.137, 3.210 ± 0.146 และ 3.170 ± 0.155 ตามลำดับ โดยกบที่อาหารเสริมกล้วยน้ำว้า 15 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักอาหาร มีอัตราการเจริญเติบโตต่อวันสูงสุด คือเท่ากับ 1.275 ± 0.007 กรัมต่อวัน

บทนำ

กบนา (*Rana rugulosa*) ถือเป็นสัตว์น้ำเศรษฐกิจที่สำคัญมีการนำมาเพาะเลี้ยง และนิยมบริโภค เนื่องจากเนื้อกบเป็นอาหารที่มีโปรตีนสูง ไขมันต่ำ โดยน่องกบมีโปรตีน 83 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 5.8 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง และยังมีกรดอะมิโนที่สำคัญสองชนิด คือ ไลซีน (Lysine) และเมทธัยโอนีน (Methionine) รวมทั้งยังมีวิตามินและแร่ธาตุ (Dani et al., 1966; Mualmuangsong et al., 2014) โดยมีผลผลิตการเลี้ยงกบนาจากสถิติกรมประมงในช่วงปี พ.ศ. 2560 มีปริมาณกบนาจากการเพาะเลี้ยงในประเทศไทย มีปริมาณการผลิต 3,898 ตัน โดยแบ่งประเภทการเลี้ยง ในบ่อ 3,645 ตัน และในกระชัง 253 ตัน ซึ่งมีการเพิ่มอย่างต่อเนื่องของปริมาณการผลิตและการบริโภคกบนาทั้งในประเทศไทยและส่งออกไปยังต่างประเทศ อาทิ ฮ่องกง จีน สิงคโปร์ ญี่ปุ่น สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว มาเลเซีย และสหรัฐอาหรับเอมิเรตส์ (Department of Fisheries, 2019) จากการเลี้ยงกบในปัจจุบันพบปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อผลผลิตไม่ว่าจะเป็นการเจริญเติบโตช้า มีระบบภูมิคุ้มกันต่ำ โรคที่เกิดขึ้นระหว่างการเลี้ยงที่ทำให้การเลี้ยงกบไม่ประสบความสำเร็จ โดยเฉพาะเชื้อแบคทีเรียที่เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดโรคขาแดง (Uppanunchai et al., 2017) โรคติดเชื้อแบคทีเรียที่สำคัญคือเชื้อ *Aeromonas hydrophila* (Glorioso et al., 1974) ซึ่งการแก้ไขปัญหาโรคติดเชื้อจากแบคทีเรียส่วนใหญ่มักจะใช้ยาปฏิชีวนะ แต่หากมีการใช้ไม่ถูกต้องจะทำให้เกิดความเสี่ยงเรื่องสารตกค้างในสัตว์น้ำ ซึ่งอาจส่งผลต่อผู้บริโภคตลอดจนสิ่งแวดล้อมด้วย นอกจากนี้ การใช้ยาปฏิชีวนะบางชนิดยังมีความผิดตาม

[*]Corresponding author
E-mail address: puttachat.im@rmu.ac.th (P. imjai)
Online print: 15 December 2021 Copyright © 2021. This is an open access article, production and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. https://doi.org/10.14456/paj.2021.22

พระราชบัญญัติการส่งออกและการนำเข้าสินค้าในราชอาณาจักร ปี 2522 ส่งผลให้เกษตรกรมีข้อจำกัดในการใช้ยา (Nilubol, 2002) การเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการจะส่งเสริมให้กบมีการเจริญเติบโตที่ดี (จามรี, 2561)

กล้วยน้ำว้า (*Musa* ABB CV. Kluai"Namwa") จัดเป็นพืชสมุนไพรที่ให้คุณค่าทางอาหารสูง และมีความจำเป็นต่อร่างกาย อาทิ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน วิตามินและแร่ธาตุ โดยมีสารอาหารสำคัญคือโพแทสเซียม ซึ่งช่วยให้การเต้นของหัวใจเป็นปกติ ปรับสมดุลน้ำและแร่ธาตุในร่างกาย มีสารต้านอนุมูลอิสระ ช่วยลดความเสี่ยงต่อโรคร้ายแรง ช่วยบำรุงสุขภาพร่างกายเสริมสร้างภูมิคุ้มกันร่างกายให้ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพและดำเนินไปตามปกติ (Pornpimol, 2010; Chensiri, 2011; Kornkan, 2011) นอกจากนี้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำกล้วยน้ำว้าถูกนำมาใช้เสริมในอาหารในการช่วยเพิ่มการเจริญเติบโต เสริมภูมิคุ้มกัน (Benyapha, 2007) สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบภูมิคุ้มกันและความสามารถในการต้านทานเชื้อ *Streptococcus agalactiae* ของปลานิล โดยมีปริมาณเซลล์เม็ดเลือดขาว hematocrit index lysozyme activity nitroblue tetrazolium activity และ superoxide dismutase สูงขึ้น (Palintorn et al., 2019) ดังนั้นการศึกษาประสิทธิภาพของการเสริมกล้วยน้ำว้าในอาหารต่อการตอบสนองทางภูมิคุ้มกันในกบนามีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นอีกทางเลือกในการเพิ่มภูมิคุ้มกันในกบนา โดยการเสริมกล้วยน้ำว้าในอาหาร ลดปัญหาการระบาดของโรคที่เกิดจากเชื้อ *A. hydrophila* และความเสียหายที่เกิดขึ้น ในการเลี้ยงกบนาอย่างยั่งยืนต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

ตัวอย่างกบ

กบนา (*Rana rugulosa*) ขนาดน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 62.134 ± 2.60 กรัม จำนวน 600 ตัว จากพ่อแม่พันธุ์ชุดเดียวกันนำมาปรับให้เข้ากับสภาพการทดลองและสภาพแวดล้อมเป็นเวลา 2 สัปดาห์ ในการทดลองให้อาหารอัตรา 5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว โดยให้วันละ 2 ครั้ง เช้าและเย็น เป็นเวลา 6 สัปดาห์ วัดค่าความเป็นกรด–ด่าง (pH) และอุณหภูมิของน้ำตลอดการทดลอง (เลขที่ใบอนุญาตการใช้สัตว์: U1–04501–2559)

การเตรียมวัคซีนและแอนติเจน

วัคซีนที่ใช้ในการทดลองเป็นวัคซีนเชื้อตายของเชื้อ *A. hydrophila* ที่แยกได้จากตัวอย่างกบป่วยใน อ.พยัคฆภูมิพิสัย จังหวัดมหาสารคาม ทำการแยกเชื้อโดยใช้อาหาร Brain Heart Infusion Agar (BHIA) เป็นเวลา 24 – 48 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส แล้วนำมาเลี้ยงในอาหาร Brain Heart Infusion Broth (BHIB) ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เพื่อเพิ่มจำนวนเชื้อแบคทีเรียเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จากนั้นนำแบคทีเรียที่ได้มาปั่นล้างด้วยเครื่อง centrifuge ที่ความเร็วประมาณ 2,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที แล้วล้างเชื้อที่ได้ด้วยน้ำเกลือเข้มข้น 0.85 เปอร์เซ็นต์ ที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว 3 ครั้ง หลังจากปรับความเข้มข้นของแบคทีเรียให้มีค่าประมาณ 1×10^8 เซลล์ต่อมิลลิลิตร นำไปฆ่าเชื้อด้วยความร้อนโดยใช้อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และทดสอบว่าเชื้อตายหรือไม่โดยการนำไปเลี้ยงบน BHIA เพื่อใช้เป็นวัคซีนให้กับกบทดลองในลำดับต่อไป

สำหรับการเตรียมแอนติเจนเพื่อใช้วัดแอนติบอดี้ไตเตอร์โดยวิธี direct agglutination มีวิธีการเตรียมเช่นเดียวกับการเตรียมวัคซีน แต่ใช้ปริมาณเชื้อแบคทีเรียที่มีค่าความเข้มข้นประมาณ 1×10^7 เซลล์ต่อมิลลิลิตร (Nilubol, 2002)

การให้วัคซีนและเก็บตัวอย่างเลือด

กบทดลองทุกกลุ่มได้รับวัคซีน โดยการฉีดเข้าทางช่องท้องตัวละ 0.1 มิลลิลิตรต่อน้ำหนักตัว 100 กรัม ทำการเจาะเลือดกบทดลองทั้งหมดหลังจากเริ่มให้อาหารเป็นเวลา 1 สัปดาห์ ให้วัคซีนในสัปดาห์ที่ 2 และ 4 ของการทดลอง และเก็บตัวอย่างเลือดในสัปดาห์ที่ 3 และ 6 ของการทดลอง นำมาทำการศึกษาองค์ประกอบเลือด

การศึกษาองค์ประกอบเลือด

การศึกษาองค์ประกอบเลือดของกบก่อนและหลัง ในระยะ 1 เดือน สุ่มตัวอย่างแต่ละชุดการทดลองละ 6 ตัว เจาะเลือดด้วยกระบอกฉีดยาที่เคลือบด้วยเฮปารินเพื่อป้องกันการแข็งตัวของเลือด แล้ววิเคราะห์หาค่าองค์ประกอบเลือด ปริมาณเม็ดเลือดแดงอัดแน่น (% Hematocrit, Hct) ใช้วิธีการที่ดัดแปลงจาก Blaxhall และ Daisley (1973) โดยบรรจุเลือดใน capillary tube 2 หลอด ปั่นด้วย hematocrit centrifuge ด้วยความเร็ว 11,000 รอบ/นาที เป็นเวลา 5 นาที นำเลือดที่ปั่นวัดค่าเปอร์เซ็นต์เม็ดเลือดแดงอัดแน่น

การหาค่าแอนติบอดี้ไตเตอร์

การตรวจหาค่าแอนติบอดี้ไตเตอร์ใช้วิธีการ direct agglutination โดยการเจือจางซีรั่มแบบ two-fold dilution ในน้ำเกลือ 0.85 เปอร์เซ็นต์ ให้ปริมาตรสุดท้ายในแต่ละหลุมเท่ากับ 50 ไมโครลิตร จากนั้นเติมแอนติเจนที่เตรียมไว้หลุมละ 50 ไมโครลิตร ให้ครบทุกหลุมจนถึงหลุมสุดท้าย ซึ่งมีความเข้มข้นของซีรั่มเป็น 1: 2,048 เขย่าให้เข้ากันบ่มไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วทำการบันทึกผลโดยเปรียบเทียบกับ negative control (Nilubol, 2002)

การศึกษาการเสริมภูมิคุ้มกันโดยการเสริมกล้วยน้ำว้าในอาหารที่มีผลต่อการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันในกบนา

ศึกษาในบ่อซีเมนต์โดยอัตราความหนาแน่น 50 ตัวต่อตารางเมตร วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ประกอบด้วย 4 กลุ่มการทดลอง (treatment) จำนวน 3 ซ้ำ (triplicate) ได้รับอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่เสริม

กล้วยน้ำว้าในอัตรา 0, 5 ,10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ (w/w) ของน้ำหนักอาหาร แล้วนำไปวิเคราะห์หาค่า ปริมาณเม็ดเลือดแดงอัดแน่น ค่าแอนติบอดี้ไตเตอร์ บันทึกผลการทดลอง อัตราการเจริญเติบโตระหว่างการทดลองชั่งน้ำหนัก ขณะเริ่มการทดลอง และอัตราการเจริญเติบโตต่อวันเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (Imjai et al., 2021)

$$\text{Average daily growth (ADG)} = \frac{\text{Mean weight gained}}{\text{Length of feeding trial (days)}}$$

การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

การเปรียบเทียบความแตกต่างอัตราการเจริญเติบโตต่อวันและค่าแอนติบอดี้ไตเตอร์แต่ละกลุ่มทดลอง ทำการวิเคราะห์หาค่าความแปรปรวน ตามแผนการทดลอง Completely Randomized Design (CRD) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วย Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป (SPSS 17)

ผลการวิจัย

ผลของการศึกษาการเสริมภูมิคุ้มกันโดยการเสริมกล้วยน้ำว้าในอาหารที่มีผลต่อการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันในกบนา

จากการศึกษาการเสริมภูมิคุ้มกันโดยการเสริมกล้วยน้ำว้าในอาหาร ภายหลังได้รับการเสริมภูมิคุ้มกันโดยการเสริมกล้วยน้ำว้าในอาหารมีค่าอัตราการเจริญเติบโตต่อวันเท่ากับ 0.877 ± 0.026, 1.051 ± 0.026, 1.192 ± 0.014 และ 1.275 ± 0.007 กรัมต่อวัน ตามลำดับ โดยพบว่า ในกลุ่มทดลองความเข้มข้น 15 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการเจริญเติบโตต่อวันสูงที่สุด (Table 1) เช่นเดียวกับการศึกษาผลของการใช้กล้วยน้ำว้าเสริมในอาหารต่อการตอบสนองทางภูมิคุ้มกันและความต้านทานโรคจากการติดเชื้อ *Streptococcus agalactiae* ในปลานิล โดยกลุ่มที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมกล้วยน้ำว้ามีอัตราการรอดและเปอร์เซ็นต์การรอดตายสัมพัทธ์สูงกว่าปลานิลกลุ่มควบคุม (Palintorn et al., 2019)

การศึกษาองค์ประกอบเลือดของกบ โดยสุ่มตัวอย่างกบแต่ละการทดลอง ทำการวิเคราะห์หาค่าปริมาณเม็ดเลือดแดงอัดแน่นก่อนการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติของทุกความเข้มข้น วัดครั้งที่ 1 หลังจากการทดลองสัปดาห์ที่ 3 พบว่า กลุ่มการทดลองอาหารสำเร็จอย่างเดียวกับอาหารสำเร็จรูปร่วมกับกล้วยน้ำว้า 5 เปอร์เซ็นต์อาหาร และอาหารสำเร็จรูปร่วมกับกล้วย 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์อาหาร ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) โดยมีค่า เท่ากับ 38.600 ± 0.200, 39.466 ± 1.501, 41.800 ± 1.058 และ 42.666 ± 0.461 เปอร์เซ็นต์ และค่าปริมาณเม็ดเลือดแดงอัดแน่นมีการเพิ่มขึ้นเมื่อมีการวัดในครั้งที่ 2 ในสัปดาห์ที่ 6 โดยมีค่าเท่ากับ 40.733 ± 0.416, 59.333 ± 0.503, 59.666 ± 0.416 และ 58.333 ± 0.230 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Table 2) โดยมีค่าสูงสุดที่ 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์อาหาร ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ซึ่งขนาดของเม็ดเลือดและจำนวนเม็ดเลือดจะขึ้นอยู่กับ ขนาด สายพันธุ์ เพศ อายุ สรีรวิทยา ส่งผลต่อพารามิเตอร์ของเลือด (Mahapatra et al., 2012; Lajmanovicha et al. 2014; Wei *et al*., 2015)

Table 1. ADG of *Rana rugulosa* after exposure to various dosage of *Musa* ABB CV. Kluai"Namwa"

Concentration (feed %)	Average Daily Growth (g/day) (ADG) Means ± SD
0	0.877 ± 0.026[d]
5	1.051 ± 0.026[c]
10	1.192 ± 0.014[b]
15	1.275 ± 0.007[a]

* Means in each column followed by different letters are significantly different at $p < 0.05$

Table 2. Hematocrit of *Rana rugulosa* after exposure to various dosage of *Musa* ABB CV. Kluai"Namwa"

Concentration (feed %)	Haematocrit, Hct % (Means ± SD)	
	weeks 3	weeks 6
0	38.600 ± 0.200[b]	40.733 ± 0.416[c]
5	39.466 ± 1.501[b]	59.333 ± 0.503[a]
10	41.800 ± 0.058[a]	59.666 ± 0.416[a]
15	42.666 ± 0.461[a]	58.333 ± 0.230[b]

* Means in each column followed by different letters are significantly different at $p < 0.05$

ผลของค่าแอนติบอดี้ไตเตอร์ด้วยการเสริมกล้วยน้ำว้าในอาหารพบว่าแอนติบอดี้ไตเตอร์เฉลี่ยมีค่า ครั้งที่ 1 (สัปดาห์ที่ 3) เท่ากับ 0.541 ± 0.233, 2.618 ± 0.137, 2.578 ± 0.152 และ 2.538 ± 0.192 และครั้งที่ 2 (สัปดาห์ที่ 6) เท่ากับ 0.581 ± 0.178, 3.230 ± 0.137, 3.210 ± 0.146 และ 3.170 ± 0.155 ตามลำดับ (Table 3) กล้วยสามารถเพิ่มค่าแอนติบอดี้ไตเตอร์ได้ (Wu & Su, 2008) ทุกกลุ่มการทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นในสัปดาห์ที่ 6 หลังจากการฉีดวัคซีนในสัปดาห์ที่ 3 และ 6 มีค่าแอนติบอดี้ไตเตอร์ในความเข้มข้นของกล้วยน้ำว้า 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์อาหาร ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับกลุ่มควบคุม

จากการศึกษาการเสริมภูมิคุ้มกันโดยการเสริมกล้วยน้ำว้าในอาหารพบว่า อัตราการเจริญเติบโต ค่าปริมาณเม็ดเลือดแดงอัดแน่น และค่าแอนติบอดี้ไตเตอร์เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่ากล้วยน้ำว้าส่งผลต่อระบบภูมิคุ้มกันเนื่องจากกล้วยน้ำว้าประกอบด้วยวิตามินและ แร่ธาตุ โดยเฉพาะวิตามินซี แคลเซียม แมกนีเซียม ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม (Wall, 2006; Palintorn et al., 2019) นอกจากนี้

Table 3. Antibody titer of *Rana rugulosa* after exposure to various dosage of *Musa* ABB CV. Kluai “Namwa”

Concentration (feed %)	Antibody titer (log_{10}) (Means ± SD)	
	weeks 3	weeks 6
0	0.541 ± 0.233^{b}	0.581 ± 0.178^{b}
5	2.618 ± 0.137^{a}	3.230 ± 0.137^{a}
10	2.588 ± 0.152^{a}	3.210 ± 0.146^{a}
15	2.548 ± 0.192^{a}	3.170 ± 0.155^{a}

* Means in each column followed by different letters are significantly different at $p < 0.05$

กล้วยน้ำว้ายังประกอบไปด้วย ฟีนอล แคโรทีนอยด์ และพอลิแซ็กคาไรด์ เป็นองค์ประกอบสำคัญ โดยสารพอลิแซ็กคาไรด์ เป็นสารกระตุ้นภูมิคุ้มกัน และการเจริญเติบโตได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Pereira & Maraschin, 2015; Singh et al., 2016) เช่นเดียวกับการศึกษาของ Karaket et al. (2021) ด้วยการเสริมกล้วยน้ำว้าในอาหารต้านเชื้อ *Streptococcus agalactiae* ในปลานิลแดง พบว่ากล้วยน้ำว้าช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเจริญเติบโต และเพิ่มภูมิคุ้มกันโดยธรรมชาติ

สรุปผลการวิจัย

การเสริมภูมิคุ้มกันโดยการเสริมกล้วยน้ำว้าในอาหาร มีผลต่อการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันในกบ พบว่าในกลุ่มทดลอง อาหารสำเร็จรูปร่วมกับกล้วยน้ำว้า 15 เปอร์เซ็นต์อาหาร มีอัตราการเจริญเติบโตสูงที่สุด และกบมีค่าปริมาณเม็ดเลือดแดงอัดแน่นมีค่าสูงสุด เมื่อได้รับอาหารผสมกล้วยน้ำว้าที่ระดับ 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์อาหาร โดยผลของค่าแอนติบอดี้ไตเตอร์ด้วยการเสริมกล้วยน้ำว้าในอาหาร พบว่าทุกกลุ่มการทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นจากครั้งที่ 1 ไปครั้งที่ 2 ดังนั้นกล้วยที่เสริมในอาหารมีส่วนช่วยในการกระตุ้นการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันได้ดี

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สาขาวิชาเกษตรศาสตร์ (ประมง) สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร และสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ เครื่องมืออุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้เป็นประโยชน์ตลอดจนงานวิจัยครั้งนี้เสร็จสิ้นอย่างสมบูรณ์ และได้รับการสนับสนุนทุนเพื่อทำการวิจัยครั้งนี้จากการพิจารณาทุนอุดหนุนของสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

References

Benyapha, S. (2007). Effect of Dietary Supplemention of Row Banana Whole Fruit & Guava Leaf Power on Health & Immune in Broilers. master’s thesis. KhonKean University, Khon Kaen. (in Thai)

Blaxhall, P.C, & K.W. Daisley. (1973). Routine Hematological Methods for Use with Fish Blood. *Fish Biology*, 5, 771–781.

Chensiri, R. (2011). Herbs Eat not sick. 1st edition. My best Books Publishing: Samutprakarn. 176 pp. (in Thai)

Department of Fisheries. (2019). Statistics of fisheries in Thailand 2017. The center of informationand communication, Department of Fisheries, Ministry of Agriculture & Co–operatives. Document Number 9/2019.

Dani, N.P., B. Baliga, S.B. Kadkol & N.Z. Lahiry. 1966. Proximate composition & nutritive value of leg meat of two edible spicies of frogs, *Rana hexadactyla & R. tigerina*. *Food science & technology*, 3(2), 109–110.

Glorioso, J.C., Amborski, R.L., Amborski, G.F. & Culley, D.D. 1974. Microbiological studies on septicemia bullfrogs (*Rana catesbeiana*). *American journal veterinary research*, 35(9), 1241–1245.

Imjai, P., Rujinanont, N., Gawborisut, S. & Srisakultiew, P. (2021). Anesthetic efficiency of Spilanthes acmella on anesthesia, haematocrit & histopathology of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation–International Journal of the Bioflux Society, 14(2), 695–703.

Karaket, T., Somtua, C., Ponza, P. & Areechon, N. (2021). Potential Benefits of Ripe Cultivated Banana (*Musa sapientum* Linn.) in Practical Diet on Growth Performance, Feed Utilization & Disease Resistance of Hybrid Tilapia (*Oreochromis niloticus x O. mossambicus*). Turkish *Journal Fish. & Aquatic* Sciences, 21(10), 501–508.

KornKan, P. (2011). Amazing fruits & vegetables against disease. Book 1. 1st edition. Local people Publishing: Bangkok. (in Thai)

Lajmanovicha, R.C, Cabagna–Zenklusen, M.C., Attademo, A.M., Junges, C.M., Peltzer, P.M., Bassó, A. & Lorenzatti E. (2014). Induction of micronuclei & nuclear abnormalities in tadpoles of the common toad (*Rhinella arenarum*) treated with the herbicides Liberty(r) & glufosinate–ammonium. Mutation *Research/Genetic Toxicology & Environmental Mutagenesis*, 769, 7–12.

Mahapatra, B.B., Das, M., Dutta, S.K., Mahapatra, P.K. (2012). Hematology of Indian rhacophorid tree frog Polypedates maculatus Gray, 1833 (*Anura: Rhacophoridae*). *Comparative Clinical Pathology*, 21, 453–460.

Mualmuangsong, P., Aditto, S., & Suriya, P. (2014). Frog production & marketing in Muang distric, Loei province. *Prawarun Agricultural Journal*, 11(1), 65–72.

Nilubol, U. (2002). Developing of Prevention & Treatment for Diseases Occurring in Cage–cultured Tilapia in the Northeast Area. *Research Report*. Khon Kean University, Khon Kaen. (in Thai)

Palintorn, N., Srisathaporn, A., Gawborisutand, S. & Rujinanont, N. (2019). Effect of Dietary Supplemented with *Musa ABB* CV. Kluai "Namwa" on Immune Response & Disease ResistanceAgainst *Streptococcus agalactiae* in Nile Tilapia. *Prawarun Agricultural Journal*, 16(2), 307–323. (in Thai)

Pereira, A., & Maraschin, M. (2015). Banana (*Musa* spp) from peel to pulp: ethnopharmacology, source of bioactive compounds & its relevance for human health. *Journal of Ethnopharmacology*, 160, 149–163.

Pornpimol, S. (2010). Banana increase brain power. Restore youthfulness.^{1st} edition. Get idea Publishing: Bangkok. (in Thai)

Singh, B., Singh, J. P., Kaur, A., & Singh, N. (2016). Bioactive compounds in banana & their associated health benefits–A review. *Food Chemistry*, 206, 1–11.

Uppanunchai, A. Sripat, S.,Nakvijit, P., & Sritananan, P. (2017). The Optimal Temperature for Nursing Tadpoles to Produce Female Common Lowland Frog, *Rana rugulosa* (Wiegmann, 1935). *Agricultural Research & Extension*, 34(3), 31–40 (in Thai)

Wall, M.M. (2006). Ascorbic acid, vitamin A, & mineral composition of banana (*Musa* sp.) & papaya (*Carica papaya*) cultivars grown in Hawaii. Journal of Food Composition & analysis, 19(5), 434–445.

Wei, J., Li, Y.Y., Wei, L., Ding, G.H., Fan, X.L. & Lin, ZH. (2015). Evolution of erythrocyte morphology in amphibians (Amphibia: *Anura*). Zoologia (Curitiba), 32(5), 360–370.

Wu, R.Y. & Su, H.J. (2008). Production of Monoclonal Antibodies Against Banana Bunchy Top Virus & Their Use in Enzyme Linked Immunosorbent Assay. Journal of Phytopathology, 128(3), 203–208.

Research article

The effective of banana (*Musa* ABB CV. Kluai "Namwa") supplementary diets on immune response against *aeromonas hydrophila* in lowland frog

Puttachat Imjai [1*], Chutharat Kanchan[1], Aonanong Chaiyara[2], Anavil Phrom thep[2] and Nannapat Palintorn[3]

[1]*Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University, Mueang, Mahasarakham 44000*
[2]*Faculty of Agricultural Technology, Sakon Nakhon Rajabhat University, Mueang, Sakon Nakhon 47000*
[3]*Faculty of Agricultural Technology, Buriram Rajabhat University, Mueang, Buriram 31000*

ARTICLE INFO

Article history
Received: 14 February 2021
Revised: 10 August 2021
Accepted: 10 October 2021
Online published: 15 December 2021

Keyword
Musa ABB CV. Kluai "Namwa"
Rana rugulosa
Immune Response

ABSTRACT

The effective of banana (Musa ABB CV. Kluai "Namwa") supplementary diets on immune response against Aeromonas hydrophila in lowland frog, Rana rugulosa, having an average body weight of 62.134 ± 2.60 g was studied. The frogs were daily fed at 5% body weight for 6 weeks with banana supplemented diets containing 0, 5.0, 10.0 and 15 % (w/w). The first hematocrit values (week 3) of dietary supplementation of banana in various groups mentioned above were 38.600 ± 0.200, 39.466 ± 1.501, 41.800 ± 0.058 and 42.666 ± 0.461%, respectively. The second hematocrit value (week 6) were 40.733 ± 0.416, 59.333 ± 0.503, 59.666 ± 0.416 and 58.333 ± 0.230 %, respectively. In addition, the first antibody titer values were 2.618 ± 0.137, 2.578 ± 0.152 and 2.538 ± 0.192, respectively. The second antibody titer values were 3.230 ± 0.137, 3.210 ± 0.146 and 3.170 ± 0.155, respectively. The frogs fed diets containing 15 % w/w had highest average daily growth at 1.275 ± 0.007 g/day.

[*]Corresponding author E-mail address: puttachat.im@rmu.ac.th (P. imjai)
Online print: 15 December 2021 Copyright © 2021. This is an open access article, production and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. https://doi.org/10.14456/paj.2021.22

วารสารเกษตรพระวรุณ (PRAWARUN AGRICULTURAL JOURNAL 2021) 18(2): 69 – 79

PRAWARUN AGRICULTURAL JOURNAL
https://li01.tci-thaijo.org/index.php/pajrmu/index

บทความวิจัย

ผลของความเข้มข้นเอนไซม์ฟลาโวไซม์และเวลาย่อยสลายต่อสมบัติทางเคมี – กายภาพของโปรตีน ไฮโดรไลเซทจากกากถั่วดาวอินคา

พัฒสุภา ธีรการุณวงศ์[1] พร้อมลักษณ์ สรรพ่อค้า[1*] ฉัตรภา หัตถโกศล[1] และ ณัฏฐา เลาหกุลจิตต์[2]

[1]คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ภาควิชาโภชนวิทยา 420/1 ถนนราชวิถี แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี กรุงเทพมหานคร 10400

[2]คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี สาขาเทคโนโลยีชีวเคมี 49 ซอยเทียนทะเล 25 ถนนบางขุนเทียน – ชายทะเล แขวงท่าข้าม เขตบางขุนเทียน กรุงเทพมหานคร 10150

ข้อมูลบทความ

Article history

รับ: 1 ตุลาคม 2564

แก้ไข: 11 ตุลาคม 2564

ตอบรับการตีพิมพ์: 3 พฤศจิกายน 2564

ตีพิมพ์ออนไลน์: 15 ธันวาคม 2564

คำสำคัญ

กากถั่วดาวอินคา

โปรตีนไฮโดรไลเซท

ฟลาโวไซม์

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นเอนไซม์ฟลาโวไซม์และเวลาย่อยสลายต่อสมบัติทางเคมี – กายภาพของโปรตีนไฮโดรไลเซทจากกากถั่วดาวอินคา กากถั่วดาวอินคาหลังการสกัดน้ำมันมีความชื้น โปรตีน ไขมัน เส้นใยหยาบ เถ้า และ คาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 4.09, 74.19, 0.48, 7.56, 5.03, และ 8.64 ตามลำดับ ศึกษาภาวะการย่อยสลายของกากถั่วดาวอินคาที่ความเข้มข้นเอนไซม์ร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 (น้ำหนัก/น้ำหนัก) และเวลาย่อยสลายเป็น 0.5, 3, 6, และ 12 ชั่วโมง โดยภาวะที่เหมาะสมของการผลิตโปรตีนไฮโดรไลเซทกากถั่วดาวอินคา คือ ความเข้มข้นของเอนไซม์ฟลาโวไซม์ร้อยละ 20 (น้ำหนัก/น้ำหนัก) และเวลาย่อยสลายเป็น 6 ชั่วโมง ที่ภาวะของการย่อยสลายนี้โปรตีนไฮโดรไลเซทมีค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) และ ค่าสีเหลือง (b*) เท่ากับ 87.60 – 1.36 และ 5.84 ตามลำดับ รวมถึงมีระดับการย่อยสลาย ปริมาณผลผลิต ความสามารถในการละลายของโปรตีนและความสามารถในการย่อยสลายโปรตีนเท่ากับร้อยละ 43.7, 62.8, 69.9 และ 96.2 ตามลำดับ นอกจากนี้ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP และ DPPH ของโปรตีนไฮโดรไลเซทกากถั่วดาวอินคามีค่าเท่ากับ 340.79 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อ 100 กรัม, 2,834.46 ไมโครโมลโทรลอกซ์ต่อ 100 กรัม และ 808.16 ไมโครโมลโทรลอกซ์ต่อ 100 กรัม ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่ากากถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการย่อยสลาย ดังนั้นโปรตีนไฮโดรไลเซทจากกากถั่วดาวอินคาจึงสามารถนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์โปรตีนผงชงดื่มในอนาคตต่อไป

บทนำ

ถั่วดาวอินคาเป็นพืชชนิดเดียวกันกับยางพารา สบู่ดำ และมันสำปะหลัง อยู่ในวงศ์ Euphorbiaceae และมีชื่อทางวิทยาศาสตร์คือ *Plukenetia volubilis* L. ชื่อสามัญคือ Sacha inchi, Mountain peanut หรือ Inca peanut ปัจจุบันมีการนำมาปลูกและแปรรูปน้ำมันจากถั่วดาวอินคามากขึ้น กากถั่วดาวอินคาที่เป็นผลพลอยได้จากการสกัดน้ำมันของถั่วดาวอินคามักนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ ปุ๋ยหมักหรือทิ้งไปโดยไม่ได้นำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งจากงานวิจัยที่ศึกษาองค์ประกอบในกากถั่วดาวอินคาที่เหลือจากการบีบน้ำมัน พบว่าในกากถั่วดาวอินคายังคงมีคุณค่าทางโภชนาการที่สำคัญ ได้แก่ กรดไขมันที่จำเป็น (โอเมก้า 3, 6 และ 9 ปริมาณร้อยละ 2.66, 2.44 และ 0.57 ตามลำดับ) กรดอะมิโนจำเป็น (ไลซีน, ลิวซีน, ฮีสทิดีน และ ฟีนิลอะลานีน ปริมาณร้อยละ 17.85, 7.22, 9.33 และ 3.18 ตามลำดับ) ใยอาหารและโปรตีนปริมาณร้อยละ 11.06 และ 56.6 ตามลำดับ (Rawdkuen et al., 2018) ดังนั้นการนำกากถั่วดาวอินคาจากกระบวนการสกัดน้ำมันนี้มาเพิ่มมูลค่าให้เกิดประโยชน์จึงเป็นที่สนใจในกลุ่มอุตสาหกรรมอาหาร เนื่องจากยังคงมีสารอาหารที่จำเป็นและคุณค่าทางโภชนาการสูง

*Corresponding author
E-mail address: promluck@yahoo.com (P. Sanporkha)
Online print: 15 December 2021 Copyright © 2021. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. https://doi.org/10.14456/paj.2021.23

สามารถนำไปพัฒนาเป็นอาหารฟังก์ชันที่มีมูลค่าเพิ่มขึ้น แต่การรับประทานอาหารประเภทถั่วอาจทำให้เกิดอาการท้องอืดดูดซึมได้ยากในลำไส้เล็ก การนำโปรตีนไปผ่านกระบวนการย่อยสลายเป็นไดเพปไทด์และไตรเพปไทด์จะทำให้ร่างกายสามารถดูดซึมโปรตีนได้ดีขึ้น (Borges et al., 2015)

การย่อยสลายโปรตีนด้วยเอนไซม์โปรตีเอสเป็นการใช้ภาวะการย่อยสลายที่ไม่รุนแรง และไม่ทำให้เกิดสารก่อมะเร็ง 3–chloropropane–1, 2–diol (3–MCPD) เมื่อเทียบกับการย่อยสลายด้วยกรด และยังสามารถกำหนดขอบเขตของการย่อยสลายได้เพื่อให้ได้สมบัติเชิงหน้าที่เหมาะสมต่อการพัฒนาเป็นอาหารฟังก์ชัน (Lee et al., 2015) ซึ่งเอนไซม์ฟลาโวไซม์เป็นหนึ่งในทางเลือกที่ดีสำหรับการย่อยสลายโปรตีน เนื่องจากฟลาโวไซม์ประกอบด้วยเอนไซม์โปรติเอสสองชนิด คือ เอนโดเพปทิเดส (Endopeptidases) และ เอกโซเพปทิเดส (Exopeptidases) ซึ่งสามารถย่อยสลายพันธะเพปไทด์ได้ทั้งภายในสายและปลายสายของโปรตีน นิยมนำมาใช้ลดความขมของโปรตีนไฮโดรไลเซท เอนไซม์นี้จะให้โปรตีนที่มีเพปไทด์ขนาดเล็กและกรดอะมิโนอิสระในปริมาณสูงสุด เนื่องจากเอนไซม์นี้มีความจำเพาะต่อสารตั้งต้นและพีเอชที่ใช้ผลิตโปรตีนไฮโดรไลเซทการเลือกใช้ชนิดของเอนไซม์และภาวะการย่อยสลายที่เหมาะสมจะทำให้ได้โปรตีนไฮโดรไลเซทที่มีคุณภาพ (Clare et al., 2000) ซึ่งการผลิตโปรตีนไฮโดรไลเซทด้วยการใช้เอนไซม์เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากเนื่องจากทำให้ได้โปรตีนที่มีเพปไทด์ขนาดเล็กและกรดอะมิโนอิสระในปริมาณสูง สามารถดูดซึมโปรตีนเข้าสู่ร่างกายได้อย่างรวดเร็ว อีกทั้งมีงานวิจัยพบว่าจากกากถั่วดาวอินคาที่ย่อยสลายด้วยเอนไซม์ฟลาโวไซม์ทำให้โปรตีนไฮโดรไลเซทมีความสามารถในการย่อยโปรตีนเพิ่มขึ้นร้อยละ 51.8 และมีปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำเพิ่มขึ้นร้อยละ 23.9 เมื่อเปรียบเทียบกับกากดาวอินคาที่ไม่ผ่านการย่อยสลาย (Limjutitham et al., 2021) ดังนั้นการวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาผลของความเข้มข้นของเอนไซม์ฟลาโวไซม์และเวลาย่อยสลายต่อสมบัติทางเคมี – กายภาพของโปรตีนไฮโดรไลเซทจากกากถั่วดาวอินคาและการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์โปรตีนผงชงดื่ม

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

การเตรียมกากถั่วดาวอินคาและวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

นำกากถั่วดาวอินคาจากบริษัท นิเคโอะ คอร์ปอเรชั่น จำกัด จังหวัดเชียงใหม่ มาต้มในน้ำเดือด 20 นาที และอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง เพื่อกำจัดกลิ่น Yuenyongputthakarn et al. (2017) บดให้ละเอียดด้วยเครื่องบด (รุ่น SG – 400 – 03, Dxfill Machine, China) และสกัดโดยการแช่ในสารละลายเฮกเซน (Food grade 30 – 50%, STN Chemical Co.,Ltd., Thailand) อัตราส่วนกากถั่วดาวอินคาต่อสารละลายเฮกเซน 1:10 (กรัม/มิลลิลิตร) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง กรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 ภายใต้ภาวะสุญญากาศ (สกัดซ้ำอีก 1 ครั้ง หรือจนกระทั่งมีไขมันเหลือร้อยละ 1) และระเหยสารละลายเฮกเซนออกจากกากถั่วดาวอินคาเป็นเวลา 24 ชั่วโมง (Laohakunjit et al., 2011) จากนั้นนำกากถั่วดาวอินคาที่ผ่านการสกัดน้ำมันมาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 80 เมช บรรจุใส่ถุงอลูมิเนียมฟอยล์ภายใต้ภาวะสุญญากาศและเก็บไว้ที่อุณหภูมิ – 20 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เส้นใยหยาบ เถ้า และ คาร์โบไฮเดรต โดยวิธี AOAC (1)

การย่อยสลายโปรตีนไฮโดรไลเซทกากถั่วดาวอินคาด้วยเอนไซม์ฟลาโวไซม์

วิธีการย่อยสลายโปรตีนไฮโดรไลเซทดัดแปลงมาจาก Laohakunjit et al. (2011) โดยนำกากถั่วดาวอินคาที่ผ่านการสกัดน้ำมัน 10 กรัม เติมน้ำกลั่นที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อด้วยเครื่องนึ่งความดันไอน้ำ (ความดัน 15 – 20 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 25 นาที) ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ปรับพีเอชเป็น 7 (รุ่น CyberScan pH 510, Eutech Instruments Pte Ltd., Singapore) ด้วยกรดไฮโดรคลอริก 0.1 โมลาร์ และย่อยสลายในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที เพื่อให้พร้อมต่อการทำงานของเอนไซม์ฟลาโวไซม์ (Flavourzyme® ยี่ห้อ Sigma จากบริษัท Sigma – Aldrich) จากนั้นเตรียมเอนไซม์ฟลาโวไซม์ความเข้มข้นร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 (โดยน้ำหนักของเอนไซม์ต่อน้ำหนักกากถั่วดาวอินคา) ลงในขวดรูปชมพู่ ปิดฝาขวดและตั้งในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส แปรเวลาในการย่อยสลายที่ 0.5, 3, 6 และ 12 ชั่วโมง หยุดปฏิกิริยาของเอนไซม์ด้วยความร้อน (95 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 15 นาที ปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง (รุ่น UNIVERSAL 320 / 320R, Hettich Singapore (S.E.A.) Pte Ltd., Singapore) ที่ความเร็ว 6000 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที กรองสารละลายที่ได้ด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 เก็บรักษาที่ – 20 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำไปวิเคราะห์สมบัติทางทางเคมี – กายภาพต่อไป

วิเคราะห์สมบัติทางเคมี – กายภาพ

1. ค่าสี (The color value)

นำโปรตีนไฮโดรไลเซทจากกากถั่วดาวอินคาใส่ถ้วยแก้วประมาณ 1/4 ของถ้วย หรือจนกว่าตัวอย่างครอบคลุม ก้นถ้วย วัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสี Colorimeter (Hunter Lab รุ่น ColorFlex EZ, Hunter Associates Laboratory, Inc., USA) ในระบบ CIE L*a*b* และ hue angle โดยค่า L* คือ ค่าความสว่าง มีค่าอยู่ระหว่าง 0 (มืดดำ) ถึง 100 (สว่างขาว) ค่า a* คือ ค่าระหว่างสีแดง (+) และเขียว (-) ส่วนค่า b* คือ ค่าระหว่างสีเหลือง (+) และน้ำเงิน (-) แล้วนำค่าที่ได้

คำนวณหาค่าความแตกต่างของสี (ΔE) เทียบกับโปรตีนไฮโดรไลเซทที่ไม่ได้ย่อยสลายด้วยเอนไซม์เป็นตัวอย่างควบคุมดังสมการ

$$\Delta E = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

2. ระดับการย่อยสลาย (Degree of hydrolysis)

นำโปรตีนไฮโดรไลเซทจากกากถั่วดาวอินคาจากทุกภาวะการย่อยสลายมาวิเคราะห์ร้อยละระดับการย่อยสลายโดยดัดแปลงจากวิธีของ Kaewka et al. (2009) โดยนำโปรตีนไฮโดรไลเซทจากกากถั่วดาวอินคาจากทุกภาวะการย่อยสลายมาอย่างละ 1 มิลลิลิตร ใส่หลอดปั่นเหวี่ยง ตกตะกอนโปรตีนโดยเติมร้อยละ 20 ของกรดไตรคลอโรอะซิติก (Trichloroacitic acid: TCA) 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันประมาณ 2 นาที ปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 10,000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที นำส่วนของเหลวใสด้านบนมาวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดด้วยวิธี Kjeldahl method และนำค่าที่ได้มาคำนวณตามสูตรดังนี้

ระดับการย่อยสลาย (ร้อยละ) = ร้อยละ 20 TCA soluble – N x 100 Total – N

โดยที่ TCA soluble – N คือ ร้อยละไนโตรเจนที่ละลายได้ใน ร้อยละ 20 TCA และ Total – N คือร้อยละไนโตรเจนในวัตถุดิบ

3. ผลผลิต (Yield)

การวิเคราะห์ปริมาณร้อยละของผลผลิตโปรตีนไฮโดรไลเซทจากกากถั่วดาวอินคา โดยดัดแปลงจากวิธีของ Songsaeng (2007) โดยคำนวณปริมาณร้อยละของผลผลิตจากน้ำหนักของโปรตีนไฮโดรไลเซทจากกากถั่วดาวอินคาที่ได้ จากการระเหยแห้งโดยใช้เครื่องกลั่นระเหยสารแบบหมุน (รุ่น R100, BÜCHI Labortechnik AG., Switzerland) เทียบกับน้ำหนักกากถั่วดาวอินคาเริ่มต้นตามสูตรดังนี้

ปริมาณร้อยละผลผลิต= (น้ำหนักโปรตีนไฮโดรไลเซทข้นหนืดที่ได้/น้ำหนักของกากถั่วดาวอินคาเริ่มต้น) x 100

4. ความสามารถในการละลายโปรตีน (Protein solubility)

วิเคราะห์ร้อยละความสามารถในการละลายโปรตีนของโปรตีนไฮโดรไลเซทจากกากถั่วดาวอินคาโดยดัดแปลงวิธีของ Laohakunjit et al. (2011) และคำนวณจากอัตราส่วนระหว่างปริมาณโปรตีนทั้งหมดที่ละลายในร้อยละ 20 ของกรดไตรคลอโรอะซิติก และปริมาณโปรตีนทั้งหมดในแต่ละตัวอย่าง สามารถคำนวณความสามารถในการละลายโปรตีน โดยใช้สูตรดังนี้ ร้อยละความสามารถในการละลายโปรตีน = (ปริมาณโปรตีนละลายในร้อยละ 20 TCA/ปริมาณโปรตีนทั้งหมดในตัวอย่าง) × 100

5.ความสามารถในการย่อยโปรตีน (Protein digestibility)

วิเคราะห์ร้อยละความสามารถในการย่อยโปรตีนจากการจำลองการย่อยในหลอดทดลอง (จำลองการย่อยส่วนลำไส้เล็ก) ด้วยการใช้เอนไซม์เพปซินและทริปซิน โดยการวิเคราะห์ดัดแปลงจากวิธีของ Xia et al. (2012) โดยนำโปรตีนไฮโดรไลเซทจากกาก ถั่วดาวอินคา 1 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ เติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ปรับพีเอชเป็น 1.5 และเติมเอนไซม์เพปซินต่อโปรตีนไฮโดรไลเซทที่อัตราส่วน 1:100 (โดยน้ำหนัก) ใส่ลงในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 นาที หลังจากนั้นหยุดปฏิกิริยาเอนไซม์ด้วยความร้อน 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที และคำนวณโปรตีนด้วยวิธี Kjeldahl method (ร้อยละโปรตีนคำนวณจากร้อยละไนโตรเจน × 6.25)

6.ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic content)

การตรวจสอบหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมดดัดแปลงจากวิธีของ Faller et al. (2009) โดยนำสารสกัดตัวอย่างปริมาตร 30 ไมโครลิตร กับสารละลายโฟลินซิโอ–เคาทูรีเอเจนต์ซึ่งเจือจางด้วยน้ำกลั่น (อัตราส่วนโฟลินต่อน้ำเท่ากับ 50 : 50) ปริมาตร 10 ไมโครลิตร หลังจากนั้นเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้นร้อยละ 20 ปริมาตร 75 ไมโครลิตร ตั้งสารละลายไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที ก่อนจะนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV microplate spectrophotometer (EPOCH2, BioTek Instruments, USA) ที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร โดยใช้สารละลายกรดแกลลิก (Gallic acid) เป็นสารมาตรฐาน ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดหาได้จากการนำค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดตัวอย่าง เปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน ปริมาณที่ได้แสดงหน่วยมิลลิกรัมของกรดแกลลิกในน้ำหนักตัวอย่างแห้งปริมาณ 1 กรัม

7.ประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant efficacy)

การตรวจประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ดัดแปลงจากวิธีของ Fukumoto et al. (2000) โดยนำตัวอย่างปริมาตร 22 ไมโครลิตร ผสมกับสารละลาย DPPH (DPPH ละลายในเมทานอลร้อยละ 80) ความเข้มข้น 150 ไมโครโมล ปริมาตร 200 ไมโครลิตร แล้วนำสารผสมที่ได้เก็บไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV microplate spectrophotometer (EPOCH2, BioTek Instruments, USA) ที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาคำนวณหาร้อยละการยับยั้งเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของสารละลายโทรลอกซ์ ที่ความเข้มข้น 0.01 – 1.28 มิลลิโมล รายงานผลเป็นมิลลิโมลของโทรลอกซ์ ในตัวอย่างน้ำหนักแห้ง 100 กรัม

การตรวจประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP ดัดแปลงจากวิธี ของ Benzie et al. (1999) โดยเตรียมสารละลาย

FRAP reagent ด้วยการผสมโซเดียมอะซีเตตบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 300 มิลลิโมล ที่มีค่าพีเอช 3.6 สารละลายทีพีทีแซด (TPTZ) ความเข้มข้น 10 มิลลิโมล กับสารละลายไอรอน (II) คลอไรด์ความเข้มข้น 20 มิลลิโมล ในอัตราส่วน 10:1:1 (ปริมาตรต่อปริมาตร) ตามลำดับ จากนั้นนำสารผสมที่ได้ปริมาตร 150 ไมโครลิตร เติมลงในสารสกัดตัวอย่าง ปริมาตร 20 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากัน นำไปเก็บในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 8 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV microplate spectrophotometer (EPOCH2, BioTek Instruments, USA) ที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดตัวอย่างมาคำนวณหาค่า FRAP โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของสารละลายโทรลอกซ์ (Trolox) ที่ความเข้มข้น 6.25 – 1000 ไมโครโมล ปริมาณที่ได้แสดงหน่วยไมโครโมลของโทรลอกซ์ ในตัวอย่างน้ำหนักแห้ง 1 กรัม

การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของกากถั่วดาวอินคาและสมบัติทางเคมี – กายภาพของโปรตีนไฮโดรไลเซทตามแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ทดลอง 3 ซ้ำ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าความแปรปรวน (ANOVA) คำนวณโดยใช้โปรแกรม SPSS 18.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's Multiple Range Test ที่ระดับนัยสำคัญร้อยละ 95 การทดสอบ T – test ใช้สำหรับการวิเคราะห์การต้านอนุมูลอิสระของกากถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการย่อยสลายและโปรตีนไฮโดรไลเซทจากกากถั่วดาวอินคา โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อ $p < 0.05$

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของกากถั่วดาวอินคาที่ผ่านกระบวนการสกัดไขมันออกด้วยเฮกเซน (Table 1) พบว่ากากถั่วดาวอินคาประกอบด้วยความชื้น โปรตีน ไขมัน เส้นใยหยาบ เถ้า และคาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 4.09, 74.19, 0.48 7.56, 5.03 และ 8.64 (โดยน้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ โดยกากถั่วดาวอินคาที่ได้มีปริมาณโปรตีนสูง เหมาะสำหรับการนำไปใช้เป็นแหล่งโปรตีนตั้งต้นในการผลิตโปรตีนไฮโดรไลเซท เนื่องจากแหล่งโปรตีนตั้งต้นที่เหมาะสมที่สุดในการนำมาผลิตเป็นโปรตีนไฮโดรไลเซทควรมีองค์ประกอบโปรตีนไม่ต่ำกว่าร้อยละ 30 ประกอบกับมีปริมาณไขมันต่ำ (ประมาณร้อยละ 1) เนื่องจากไขมันสามารถทำปฏิกิริยากับเพปไทด์สายสั้น เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนและตกตะกอนได้ นอกจากนี้ไขมันยังสามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งทำให้เกิดกลิ่นหืนได้ (Zheng et al., 2015)

Table 1 Proximate compositions of defatted Sacha inchi pressed cake

Compositions (%)	Defatted Sacha inchi pressed cake
Moisture	4.09±0.05
Protein	74.19±0.59
Fat	0.48±0.06
Crude fiber	7.56±0.17
Ash	5.03±0.10
Carbohydrate	8.64±0.79

These results were expressed as mean ± standard deviation (SD) from triplicatedetermination.

ลักษณะปรากฏและค่าสีของโปรตีนไฮโดรไลเซทกากถั่วดาวอินคาที่ย่อยสลายด้วยเอนไซม์ฟลาโวไซม์

เมื่อวิเคราะห์ค่าสีของโปรตีนไฮโดรไลเซทกากถั่วดาวอินคาที่ย่อยสลายด้วยเอนไซม์ฟลาโวไซม์ (Table 2) พบว่าค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) มีค่าอยู่ระหว่าง 84.66, ถึง 89.97 – 0.88 ถึง – 1.57 และ 1.89 ถึง 7.17 ตามลำดับ ซึ่งความเข้มข้นของเอนไซม์ฟลาโวไซม์และเวลาในการย่อยสลายส่งผลต่อค่าความสว่าง ค่าสีแดง และค่าสีเหลืองอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยค่าความสว่างและค่าสีเหลืองจะเพิ่มขึ้นแต่ค่าสีแดงจะลดลงเมื่อเวลาการย่อยสลายนานขึ้น เมื่อนำค่า L*, a* และ b* มาคำนวณค่าการเปลี่ยนแปลงของสี (ΔE) โดยเทียบจากกากถั่วดาวอินคาที่ไม่ย่อยสลายด้วยเอนไซม์ (No enzyme hydrolysis) พบว่าความเข้มข้นของเอนไซม์ฟลาโวไซม์และเวลาในการย่อยสลายส่งผลต่อค่าการเปลี่ยนแปลงของสี และค่าเฉดสี (Hue angle) อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ซึ่งเมื่อเวลาการย่อยสลายนานขึ้นแสดงให้เห็นถึงค่าการเปลี่ยนแปลงของสีที่เพิ่มขึ้นแต่ค่าเฉดสีลดลง จึงสามารถแสดงสีที่ปรากฏโดยแท้จริงจากค่าเฉดสี ที่อยู่ในช่วงระหว่าง 97.75 – 116.56 แสดงถึงเฉดสีของโปรตีนไฮโดรไลเซทจากกากถั่วดาวอินคาตรงกับช่วงสีเหลือง ทั้งนี้การย่อยสลายด้วยเอนไซม์ส่งผลให้โปรตีนไฮโดรไลเซทกากถั่วดาวอินคามีสีเหลืองเข้มกว่ากากถั่วดาวอินคาที่ไม่ย่อยสลายด้วยเอนไซม์ ทั้งนี้เนื่องจากผลของการตัดพันธะเพปไทด์ของเอนไซม์ฟลาโวไซม์ที่สามารถตัดได้ทั้งภายในและปลายสายของโปรตีน ทำให้ได้กรดอะมิโนอิสระ (ไลซีน ไกลซีน ทริปโตเฟน และไทโรซีน) ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีน้ำตาลของโปรตีนไฮโดรไลเซท (Hellwig et al., 2014) หรืออาจเกิดจากปฏิกิริยา Maillard reaction กับน้ำตาลรีดิวซ์ที่เป็นองค์ประกอบในกากถั่วดาวอินคาส่งผลให้ได้สารที่มีสีน้ำตาลเข้มขึ้น (Eskin et al., 2013)

ระดับการย่อยสลายและปริมาณผลผลิตของโปรตีนไฮโดรไลเซทกากถั่วดาวอินคาด้วยเอนไซม์ฟลาโวไซม์

ระดับการย่อยสลายแสดงถึงสัดส่วนร้อยละของเพปไทด์ที่ได้รับจากการย่อยสลายต่อปริมาณโปรตีนทั้งหมดในโปรตีนไฮโดรไลเซท ความเข้มข้นของเอนไซม์และระยะเวลาในการย่อยสลายส่งผลต่อการ

เพิ่มขึ้นของระดับการย่อยสลายและปริมาณผลผลิตอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ฟลาโวไซม์ในช่วง 0.5 ถึง 6 ชั่วโมง ส่งผลให้ระดับการย่อยสลายเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วดังแสดงใน Figure 1 และ Figure 2 เนื่องจากถั่วดาวอินคามีโปรตีนอัลบูมินซึ่งเป็นโปรตีนประเภทที่ละลายน้ำได้ดี ซึ่งโปรตีนที่ละลายน้ำได้มีปริมาณ 1 ใน 3 ของโปรตีนในถั่วดาวอินคาทั้งหมด ดังนั้นกากถั่วดาวอินคาจึงย่อยสลายได้อย่างรวดเร็วในช่วงระยะเวลาแรก ๆ ของการเกิดปฏิกิริยา (Su et al., 2011) โดยที่ภาวะความเข้มข้นของเอนไซม์ฟลาโวไซม์ร้อยละ 20 มีค่าระดับการย่อยสลายและปริมาณผลผลิตสูงที่สุด คือ ร้อยละ 43.7 และ 62.8 ตามลำดับ นอกจากนี้เมื่อใช้เอนไซม์ฟลาโวไซม์ความเข้มข้นร้อยละ 20 ย่อยสลายกากถั่วดาวอินคาเป็นเวลา 6 ชั่วโมง จนถึง 12 ชั่วโมง พบว่าค่าปริมาณผลผลิตของโปรตีนไฮโดรไลเซทเริ่มมีแนวโน้มคงที่ เนื่องจากกลุ่มของโปรตีนที่ละลายน้ำได้ดีที่เป็นสารตั้งต้นในปฏิกิริยาถูกย่อยสลายด้วยเอนไซม์จนหมด ดังนั้นเอนไซม์จึงไม่สามารถย่อยสลายได้อีกทำให้สารตั้งต้นในปฏิกิริยาไม่เพียงพอต่อเอนไซม์หรือเกิดการยับยั้งผลิตภัณฑ์ (Product inhibition) ส่งผลให้ค่าระดับการย่อยสลายคงที่ (Haslaniza et al., 2014) การย่อยสลายโปรตีนกากถั่วดาวอินคาด้วยเอนไซม์ฟลาโวไซม์ที่ภาวะความเข้มข้นร้อยละ 20 เป็นเวลา 6 ชั่วโมง มีค่าร้อยละการย่อยสลายและปริมาณผลผลิตที่สูง เนื่องจากเอนไซม์ฟลาโวไซม์เป็นเอนไซม์ชนิดผสมระหว่าง Endo – exo peptidases ซึ่งสามารถย่อยสลายพันธะเพปไทด์ได้ทั้งภายในสายและปลายสายของโปรตีน ทำให้มีระดับการย่อยสลาย เพปไทด์สายสั้นๆหรือกรดอะมิโนอิสระสูงกว่าเอนไซม์ที่เป็น Endopeptidases ที่ย่อยสลายภายในสายเพียงอย่างเดียว สอดคล้องกับงานวิจัยของ Thongimpong et al. (2016) ที่ศึกษาการย่อยสลายกากทานตะวันด้วยเอนไซม์ฟลาโวไซม์ พบว่าในช่วงเวลาการย่อยที่ 0 ถึง 6 ชั่วโมง ค่าระดับการย่อยสลายและปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และเริ่มคงที่หลังจาก 6 ชั่วโมง ไปจนถึง 18 ชั่วโมง ดังนั้นภาวะความเข้มข้นร้อยละ 20 เป็นเวลา 6 ชั่วโมงจึงเหมาะสมสำหรับการย่อยสลายโปรตีนจากกากถั่วดาวอินคาด้วยเอนไซม์ฟลาโวไซม

Table 2 Color values of Sacha inchi pressed cake hydrolysate from various enzymatic hydrolysis conditions

Concentration of Flavourzyme enzyme (%)	Time (h.)	Color				
		L*	a*	b*	ΔE	h*
0 (No enzyme hydrolysis)	0.5	89.94 ± 0.06^{a}	-0.89 ± 0.02^{a}	1.89 ± 0.16^{f}	-	115.50 ± 1.26^{a}
	3	89.94 ± 0.05^{a}	-0.88 ± 0.03^{a}	1.91 ± 0.15^{f}	-	114.49 ± 2.90^{a}
	6	89.95 ± 0.08^{a}	-0.90 ± 0.03^{a}	1.89 ± 0.14^{f}	-	116.56 ± 0.70^{a}
	12	89.97 ± 0.04^{a}	-0.89 ± 0.02^{a}	1.91 ± 0.22^{f}	-	114.71 ± 2.51^{a}
5	0.5	87.52 ± 0.23^{c}	-1.10 ± 0.15^{b}	3.45 ± 0.07^{d}	2.97 ± 0.52^{f}	108.92 ± 0.07^{a}
	3	86.62 ± 0.29^{d}	-1.34 ± 0.04^{c}	3.26 ± 0.02^{d}	3.66 ± 0.70^{b}	114.11 ± 0.21^{a}
	6	85.70 ± 0.31^{e}	-1.40 ± 0.01^{d}	4.55 ± 0.03^{c}	5.10 ± 0.14^{d}	107.16 ± 0.01^{ab}
	12	84.72 ± 0.17^{f}	-1.40 ± 0.02^{d}	4.96 ± 0.03^{c}	6.21 ± 0.10^{b}	105.58 ± 0.01^{b}
10	0.5	88.15 ± 0.18^{b}	-1.17 ± 0.10^{b}	2.75 ± 0.13^{e}	2.06 ± 0.52^{g}	111.29 ± 0.03^{a}
	3	87.46 ± 0.26^{c}	-1.25 ± 0.04^{bc}	4.73 ± 0.03^{c}	3.88 ± 0.42^{e}	107.11 ± 0.06^{ab}
	6	86.65 ± 0.11^{d}	-1.36 ± 0.02^{c}	4.63 ± 0.02^{c}	4.39 ± 0.14^{d}	106.14 ± 0.06^{b}
	12	85.72 ± 0.12^{e}	-1.57 ± 0.04^{e}	4.92 ± 0.06^{c}	5.38 ± 0.22^{d}	105.52 ± 0.06^{b}
15	0.5	87.32 ± 0.21^{c}	-1.17 ± 0.12^{b}	2.91 ± 0.01^{e}	2.87 ± 0.52^{f}	110.38 ± 0.02^{a}
	3	86.35 ± 0.08^{d}	-1.17 ± 0.01^{b}	3.74 ± 0.03^{d}	4.09 ± 0.51^{e}	107.51 ± 0.01^{ab}
	6	85.84 ± 0.10^{e}	-1.38 ± 0.03^{c}	5.75 ± 0.03^{b}	5.75 ± 0.19^{c}	103.47 ± 0.05^{c}
	12	85.25 ± 0.09^{e}	-1.47 ± 0.11^{d}	7.17 ± 0.03^{a}	7.25 ± 0.21^{a}	97.75 ± 0.06^{d}
20	0.5	87.52 ± 0.32^{c}	-1.19 ± 0.04^{b}	4.45 ± 0.11^{c}	2.87 ± 0.52^{f}	104.93 ± 0.05^{b}
	3	87.23 ± 0.16^{c}	-1.25 ± 0.03^{bc}	5.45 ± 0.02^{b}	4.09 ± 0.51^{e}	102.83 ± 0.04^{c}
	6	85.60 ± 0.23^{e}	-1.36 ± 0.02^{c}	5.84 ± 0.05^{b}	5.75 ± 0.19^{c}	103.80 ± 0.46^{c}
	12	84.66 ± 0.29^{f}	-1.53 ± 0.05^{e}	5.27 ± 0.05^{b}	7.25 ± 0.21^{a}	98.74 ± 0.07^{d}

The results are given as mean ± SD from triplicate determination. $^{a-g}$ Means followed by different letters within the same column indicate means significant differences ($p \leq 0.05$).

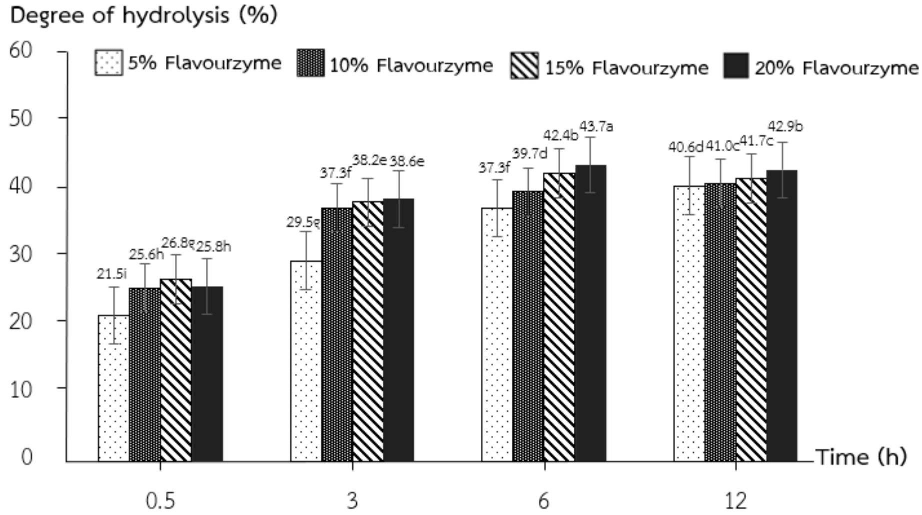


Figure 1 Effect of Flavourzyme enzyme concentration & hydrolysis time on degree of hydrolysis of Sacha inchi pressed cake protein hydrolysate. Line on data bars show SE of the mean while data bars with different letters show significant difference ($p \leq 0.05$) as determined by DMRT.

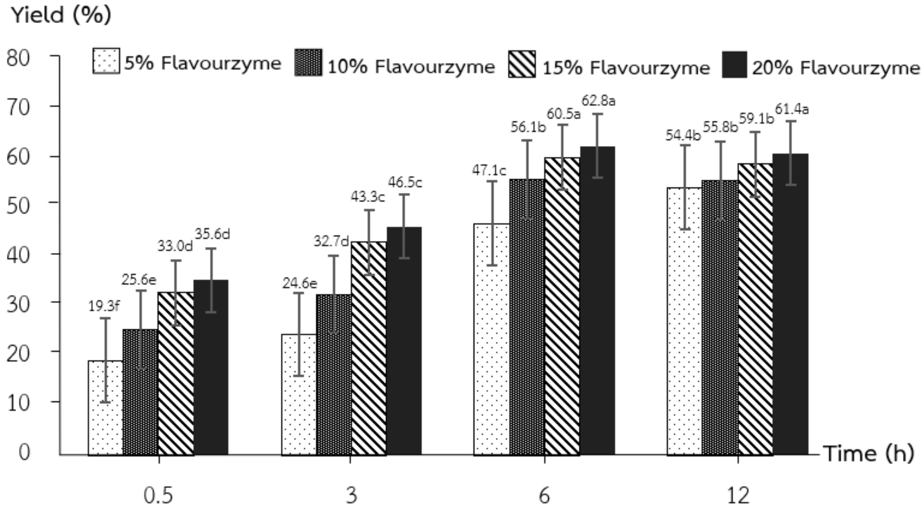


Figure 2 Effect of Flavourzyme enzyme concentration & hydrolysis time on yield of Sacha inchi pressed cake protein hydrolysate. Line on data bars show SE of the mean while data bars with different letters show significant difference ($p \leq 0.05$) as determined by DMRT.

ความสามารถในการละลายโปรตีนของโปรตีนไฮโดรไลเซทกากถั่วดาวอินคา

ความสามารถในการละลายเป็นสมบัติการทำงานที่สำคัญที่สุดของโปรตีนไฮโดรไลเซท เนื่องจากสมบัติเชิงหน้าที่ส่วนใหญ่สัมพันธ์กับความสามารถในการละลาย การเปรียบเทียบการละลายสำหรับโปรตีนไฮโดรไลเซทกากถั่วดาวอินคาที่ความเข้มข้นของเอนไซม์ระหว่างร้อยละ 5 ถึง 20 และเวลาในการย่อยสลายช่วง 0.5 ถึง 12 ชั่วโมง (Figure 3) แสดงค่าความสามารถในการละลายสูงขึ้นเมื่อความเข้มข้นของเอนไซม์และเวลาเพิ่มขึ้น โดยที่ภาวะความเข้มข้นของเอนไซม์ฟลาโวไซม์ที่ร้อยละ 20 และเวลา 6 ชั่วโมง มีค่าการละลายโปรตีนสูงสุด คือ ร้อยละ 69.9 ซึ่งแตกต่างภาวะอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ความสามารถในการละลายโปรตีนของโปรตีนไฮโดรไลเซทกากถั่วดาวอินคาที่เพิ่มขึ้นอาจเป็นสาเหตุมาจากการย่อยสลายของเอนไซม์ทำให้โมเลกุลโปรตีนคลี่ออกและอาจสร้างพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้ดีขึ้น (Paraman et al., 2007) โดยเมื่อความเข้มข้นของเอนไซม์และเวลาการย่อยสลายเพิ่มขึ้น ระดับของการย่อยสลายและปริมาณผลผลิตจะเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความสามารถในการละลายโปรตีนสูงขึ้น ซึ่งผลมีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Yuwanti et al. (2020) ที่มีค่าการละลายโปรตีนจากการย่อยสลายกากถั่วเขียวร้อยละ 69 ที่ภาวะเหมาะสม คือ ความเข้มข้นเอนไซม์ฟลาโวไซม์ร้อยละ 20 เวลา 6 ชั่วโมง เนื่องจากกระบวนการย่อยสลายโปรตีนสามารถลดสารต้านโภชนาการ เช่น แทนนิน, ซาโปนิน และกรด

ไฟติก เป็นต้น โดยมักจะมีอยู่ในอาหารประเภทถั่วและ ธัญชาติชนิดต่างๆ ซึ่งส่งผลต่อการละลายโปรตีนในน้ำและความสามารถในการย่อยโปรตีนในลำไส้ ดังนั้นความสามารถในการละลายโปรตีนของเอนไซม์ฟลาโวไซม์ที่ร้อยละ 20 เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จึงเป็นภาวะที่เหมาะสมที่สุด

ความสามารถในการย่อยโปรตีนในหลอดทดลองของโปรตีนไฮโดรไลเซทจากกากถั่วดาวอินคา

ความสามารถในการย่อยได้ในหลอดทดลองของกากถั่วดาวอินคาและโปรตีนไฮโดรไลเซทกากถั่วดาวอินคาวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนตามวิธีของ Kjeldahl ดังผลที่แสดงไว้ใน Figure 4 ค่าความสามารถในการย่อยโปรตีนของโปรตีนไฮโดรไลเซท กากถั่วดาวอินคาจากความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเอนไซม์ที่ร้อยละ 5 ถึง 20 และเวลาในการย่อยสลายที่ 0.5 ถึง 12 ชั่วโมง พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน (p > 0.05) โดยภาวะที่เหมาะสมของโปรตีนไฮโดรไลเซทจากกากถั่วดาวอินคา คือ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 20 เวลา 6 ชั่วโมง ซึ่งให้ค่าความสามารถในการย่อยโปรตีนสูงสุด (ร้อยละ 96.2) ในขณะที่ช่วงเวลาการย่อยโปรตีนในหลอดทดลองของกากถั่วดาวอินคา พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน (p > 0.05) และมีค่าสูงสุดที่ร้อยละ 52.7

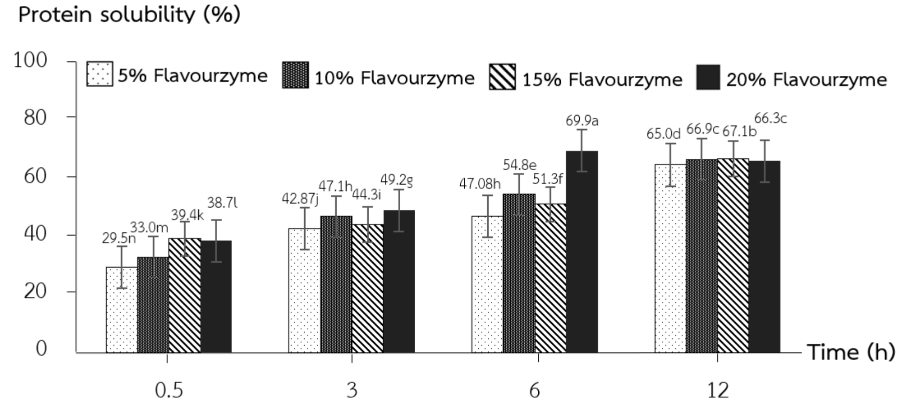


Figure 3 Effect of Flavourzyme enzyme concentration & hydrolysis time on protein solubility of Sacha inchi pressed cake hydrolysate. Line on data bars show SE of the mean while data bars with different letters show significant difference (p ≤ 0.05) as determined by DMRT.

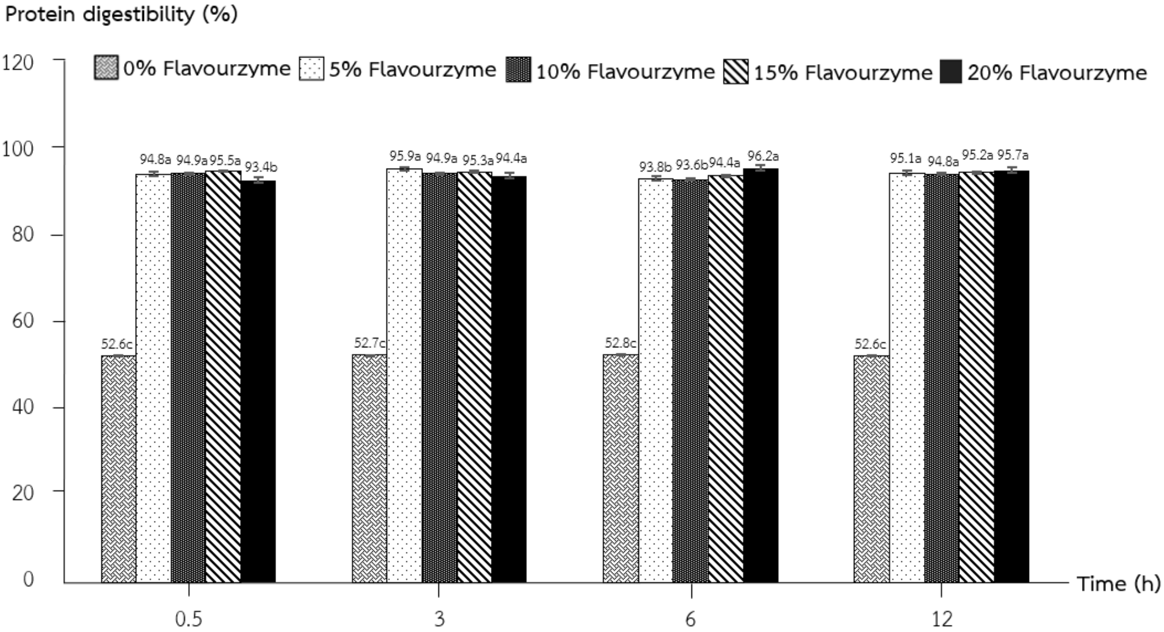


Figure 4 Effect of Flavourzyme enzyme concentration & hydrolysis time on protein digestibility of Sacha inchi pressed cake & Sacha inchi pressed cake hydrolysate. Line on data bars show SE of the mean while data bars with different letters show significant difference (p ≤ 0.05) as determined by DMRT.

ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Rawdkuen et al. (2018) ที่รายงานค่าความสามารถในการย่อยโปรตีนของกากถั่วดาวอินคา โดยใช้เอนไซม์ทริปซินและเพปซิน พบว่าจะช่วยให้ความสามารถในการย่อยเพิ่มขึ้นมากกว่าร้อยละ 50 การย่อยสลายโปรตีนจากกากถั่วดาวอินคาส่งผลให้คุณค่าทางโภชนาการของกากถั่วดาวอินคาเพิ่มขึ้น (Chinsan et al., 2017) โปรตีนไฮโดรไลเซทจากกากถั่วดาวอินคามีความสามารถในการย่อยและดูดซึมได้เพิ่มขึ้น มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกากถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการย่อยสลาย

ประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระและปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดระหว่างโปรตีนไฮโดรไลเซทกากถั่วดาวอินคาและกากดาวอินคาที่ไม่ผ่านการย่อยสลาย

การประเมินฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระและปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดระหว่างโปรตีนไฮโดรไลเซทจากกากถั่วดาวอินคาและกากถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการย่อยสลายแสดงใน Table 3 โดยโปรตีนไฮโดรไลเซทจากกากถั่วดาวอินคาที่ย่อยสลายด้วยเอนไซม์ฟลาโวไซม์เข้มข้น ร้อยละ 20 เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ซึ่งให้ค่าระดับการย่อยสลาย ปริมาณผลผลิต ความสามารถในการละลายของโปรตีนและความสามารถในการย่อยโปรตีนสูงสุด ค่าการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH ของโปรตีนไฮโดรไลเซทกากถั่วดาวอินคา (808.16 ไมโครโมลโทรลอกซ์ต่อ 100 กรัม) สูงกว่ากากถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการย่อยสลาย (246.93 ไมโครโมลโทรลอกซ์ต่อ 100 กรัม) จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าโปรตีนไฮโดรไลเซทกากถั่วดาวอินคามีความสามารถในการทำหน้าที่เป็นตัวให้ไฮโดรเจนมากกว่ากากถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการย่อยสลาย และพบว่ากิจกรรมการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH มีความสัมพันธ์กับระดับการย่อยสลาย เนื่องจากความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH จะเพิ่มขึ้นตามระดับการย่อยสลายที่เพิ่มขึ้นหรือที่ระดับการย่อยสลายสูงสุด (Jamdar et al., 2010) ซึ่งสอดคล้องกับจากงานวิจัยของ Li et al., (2008) ที่ศึกษากิจกรรมการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH พบว่าความสามารถกำจัดสารอนุมูลอิสระขึ้นอยู่กับขนาดโมเลกุลของ เพปไทด์ เมื่อเพปไทด์ที่มีขนาดเล็กความสามารถในการกำจัดสารอนุมูลอิสระจะเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ Ajibola et al. (2011) ได้รายงานว่าการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH ยังเกี่ยวข้องกับเพปไทด์ส่วนที่ไม่ชอบน้ำโดยตรงอีกด้วย ในการตรวจสอบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP เป็นการวัดความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระในการลดเฟอร์ริก (Fe^{3+}) เป็นเฟอร์รัส (Fe^{2+}) ผ่านการบริจาคอิเล็กตรอน จากผลการทดลองพบว่าโปรตีนไฮโดรไลเซทกากถั่วดาวอินคา (794.89 ไมโครโมลโทรลอกซ์ต่อ 100 กรัม) มีค่าการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่ากากถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการย่อยสลาย (2,834.46 ไมโครโมลโทรลอกซ์ต่อ 100 กรัม) เนื่องจากการผลิตโปรตีนไฮโดรเซทในช่วงระหว่างกระบวนการย่อยสลายจะมีการผลิตเพปไทด์ขนาดเล็กและกรดอะมิโนอิสระมากมาย ซึ่งปริมาณเพปไทด์สูงจะมีสมบัติต้านอนุมูลอิสระ รวมถึงเกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดระดับ และองค์ประกอบของกรดอะมิโนอิสระและเพปไทด์ขนาดเล็ก ซึ่งส่งผลต่อฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (Wu et al., 2003) การหาสารประกอบฟีนอลซึ่งมีฤทธิ์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระสามารถหาได้จากปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด จากผลการทดลองพบว่าโปรตีนไฮโดรไลเซทกากถั่วดาวอินคามีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 340.79 มิลลิกรัมกรดแกลลิก ต่อ 100 กรัม ซึ่งมากกว่ากากถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการย่อย (117.53 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อ 100 กรัม) เนื่องจากปริมาณสารประกอบ ฟีนอลิกทั้งหมดเกิดจากการคลี่ออกของโปรตีนจากการย่อยด้วยเอนไซม์ ทำให้สารประกอบฟีนอลิกหลุดออกมาได้มากขึ้น และจากรายงานการวิจัยของ Rawdkuen et al. (2018) พบว่ากากถั่วดาวอินคาเป็นแหล่งที่ดีของสารต้านอนุมูลอิสระ โดยพบสารประกอบฟีนอลิกอยู่ที่เนื้อเยื่อชั้นนอกของเมล็ดมากกว่าชั้นของเอนโดสเปิร์ม นอกจากนี้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมีความสัมพันธ์กับค่าระดับการย่อยสลายและความเข้มข้นของเอนไซม์ที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้การย่อยสลายกากถั่วดาวอินคาเกิดกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระจำนวนมาก

Table 3 Total phenolic contents & antioxidant activities of Sacha inchi pressed cake & Sacha inchi pressed cake protein hydrolysate

Antioxidants values	Sacha inchi pressed cake	Sacha inchi pressed cake protein hydrolysate
TPC (mg GAE/100g)	117.53±1.17[b]	340.79±1.70[a]
DPPH (μmolTE/100g)	246.93±1.32[b]	808.16±3.19[a]
FRAP (μmol TE/100g)	794.89±0.88[b]	2,834.46±2.78[a]

The results showed mean ± standard deviations of triplicate determination.
[a – b]Means followed by different letters within the same row indicate means significant differences ($p \le 0.05$).

จากผลการทดลองข้างต้นพบว่าโปรตีนไฮโดรไลเซทจากกากถั่วดาวอินคาที่ผ่านการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ฟลาโวไซม์ความเข้มข้นร้อยละ 20 เป็นเวลา 6 ชั่วโมง มีความสามารถในการละลายของโปรตีนและความสามารถในการย่อยของโปรตีนที่สูง ซึ่งแสดงถึงความสามารถในดูดซึมโปรตีนเข้าสู่ร่างกายได้สูงด้วยเช่นกัน ดังนั้นโปรตีนไฮโดรไลเซทจากกากถั่วดาวอินคาจึงสามารถนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเสริมโปรตีนชนิดต่าง ๆ ได้

สรุปผลการวิจัย

ภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการย่อยสลายกากถั่วดาวอินคาโดยใช้เอนไซม์ฟลาโวไซม์ คือ การใช้ความเข้มข้นของเอนไซม์ร้อยละ 20 และเวลาสำหรับการย่อยสลาย 6 ชั่วโมง ซึ่งที่ภาวะนี้ให้ค่าร้อยละระดับการย่อยสลาย ปริมาณผลผลิต ความสามารถในการละลายของโปรตีน และความสามารถในการย่อยของโปรตีนสูงสุด โปรตีนไฮโดรไลเซทจากกากถั่วดาวอินคา มีค่าร้อยละความสามารถในการย่อยโปรตีนและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูงกว่ากากถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการย่อยสลาย ดังนั้นโปรตีนไฮโดรไลเซทจากกากถั่วดาวอินคาจึงมีโอกาสในการนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์โปรตีนผงชงดื่มที่ร่างกายสามารถดูดซึมได้ดียิ่งขึ้นต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยและนักวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (RRi) ปี 2562 และ บริษัท นิเคโอะ คอร์ปอเรชั่น จำกัด ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย การศึกษานี้ได้รับการสนับสนุนจากคณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล และคณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (บางขุนเทียน) สำหรับการเข้าใช้สถานที่และปฏิบัติงานการเพื่อศึกษาวิจัยและทดลอง

References

Ajibola, C.F., Fashakin, J.B., Fagbemi, T.N., & Aluko, R.E. (2011). Effect of peptide size on antioxidant properties of African yam bean seed (Sphenostylis stenocarpa) protein hydrolysate fractions. *International Journal of Molecular Sciences*, 12(10), 6685–6702.

AOAC, G. (2016). Official methods of analysis of AOAC International. *Rockville, MD: AOAC International*, ISBN: 978–0–935584–87–5.

Benzie, I.F., & Strain, J.J. (1999). Ferric reducing/antioxidant power assay: direct measure of total antioxidant activity of biological fluids & modified version for simultaneous measurement of total antioxidant power & ascorbic acid concentration. *Methods in Enzymology*, 299, 15–27.

Borges, F., & Martienssen, R. A. (2015). The expanding world of small RNAs in plants. *Nature reviews Molecular cell biology*, 16(12), 727–741.

Chinsan, S., Yunyonputtakarn, V., & Krasaerchon, N. (2017). Value added of Sacha inchi by using nut meal & leaf to produce valuable products. (Master's thesis). *Burapha University, Faculty of Science*.

Clare, D.A., & Swaisgood, H.E. (2000). Bioactive milk peptides: a prospectus. *Journal of Dairy science*, 83(6), 1187–1195.

Eskin, N.A.M., Shahidi, F. (2013). Browning reaction in foods. In. *Biochemistry of Foods*, *3rd ed*, 245–287.

Faller, A.L.K., & Fialho, E. (2009). The antioxidant capacity & polyphenol content of organic & conventional retail vegetables after domestic cooking. *Food Research International*, 42(1), 210–215.

Fukumoto, L.R., & Mazza, G. (2000). Assessing antioxidant & prooxidant activities of phenolic compounds. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 48(8), 3597–3604.

Haslaniza, H., Maskat, M. Y., Aida, W., & Mamot, S. (2014). Process development for the production of protein hydrolysate from cockle (Anadara granosa) meat wash water. *Sains Malaysiana*, 43(1), 53–63.

Hellwig, M., Henle, T. (2014). Baking, ageing, diabetes: A short history of the Maillard reaction. *Angewandte Chemie International Edition*, 53(39), 10316–10329.

Jamdar, S. N., Rajalakshmi, V., Pednekar, M. D., Juan, F., Yardi, V., & Sharma, A. (2010). Influence of degree of hydrolysis on functional properties, antioxidant activity & ACE inhibitory activity of peanut protein hydrolysate. *Food Chemistry*, 121(1), 178–184.

Kaewka, K., Therakulkait, C., & Cadwallader, K. R. (2009). Effect of preparation conditions on composition & sensory aroma characteristics of acid hydrolyzed rice bran protein concentrate. *Journal of Cereal Science*, 50(1), 56–60.

Laohakunjit, N., Phetaveeporndet, P., Kerdchoechuen, O., & Ratanakhanokchai, K. (2011). Flavoring Agent Produced from Mungbean Meal by Protease. *KMUTT Research & Development Journal*, 34(2), 128–145.

Lee, B.Q., & Khor, S.M. (2015). 3–Chloropropane–1, 2–diol (3–MCPD) in soy sauce: A review on the formation, reduction, & detection of this potential carcinogen. *Comprehensive Reviews in Food Science & Food Safety*, 14(1), 48–66.

Li, Y., Jiang, B., Zhang, T., Mu, W., & Liu, J. (2008). Antioxidant & free radical–scavenging activities of chickpea protein hydrolysate (CPH). *Food Chemistry*, 106(2), 444–450.

Limjutitham, N, Tantanarat, K. (2021). Effects of Protein Hydrolysate from Sacha Inchi (Plukenetia Volubilis L.) on Enzyme Inhibition of Angiotensin–Converting Enzyme & Dipeptidyl–Peptidase 4. *The National Graduate Research Conference 22nd*, 22(9), 429–436.

Paraman, I., Hettiarachchy, N. S., Schaefer, C., & Beck, M. I. (2007). Hydrophobicity, solubility, & emulsifying properties of enzyme–modified rice endosperm protein. *Cereal Chemistry*, 84(4), 343–349.

Rawdkuen, S., Rodzi, N., & Pinijsuwan, S. (2018). Characterization of sacha inchi protein hydrolysates produced by crude papain & Calotropis proteases. *LWT–Food Science & Technology Journal*, 98, 18–24.

Selamassakul O. (2017). Characterization of Bioactive & Flavor Peptides from Cereal Protein Hydrolysate Fractions with Proteolytic Enzymes. *(Master's thesis). King Mongkut's University of Technology Thonburi, Division of Biochemical Technology*.

Songsaeng, N. (2007). Production of seafood flavoring from protein from mung bean meal by protease enzyme. (Master's thesis). *King Mongkut's University of Technology Thonburi, Division of Biochemical Technology*.

Su, G., Cui, C., Zheng, L., Yang, B., Ren, J. & Zhao, M. (2012). Isolation & Identification of Two Novel Umami & Umami–Enhancing Peptides from *Peanut Hydrolysate by Consecutive Chromatography & MALDI–TOF/TOF MS, Food Chemistry*, 135(2), 479–485.

Thongimpong, P., Laohakunjit, N. & Kerdchoechuen, O. (2 0 1 6). Antioxidant & Functional Properties of Extracted Sunflower Proteins by *Bromelain & Flavourzyme®. KMUTT Research & Development Journal*, 39(4), 565–582.

Wu, H.C., Chen, H.M., & Shiau, C.Y. (2003). Free amino acids & peptides as related to antioxidant properties in protein hydrolysates of mackerel (Scomber austriasicus). *Food Research International*, 36(9–10), 949–957.

Xia, N., Wang, J. M., Gong, Q., Yang, X. Q., Yin, S. W., & Qi, J. R. (2012). Characterization & In Vitro digestibility of rice protein prepared by enzyme–assisted microfluidization: Comparison to alkaline extraction. *Journal of Cereal Science*, 56(2), 482–489.

Yuenyongputthakarn, W, Chinsan, S, Kranchol, N. (2017). A Study on Potential Application of Sacha Inchi Oil Extraction By–product in Functional Food Product Development. *Food Chemistry*, 140, 1–99.

Yuwanti, S., Ahmadi M.B., Afsari Y.L. (2020). The anti hypertensive nutraceuticals of Vigna sp bean protein hydrolized by alcalase & Flavourzyme. *Journal of Functional Food & Nutraceutical*, 31, 63–73.

Zheng, L., Zhao, Y., Xiao, C., Sun–Waterhouse, D., Zhao, M., & Su, G. (2015). Mechanism of the discrepancy in the enzymatic hydrolysis efficiency between defatted peanut flour & peanut protein isolate by *Flavorzyme. Food Chemistry*, 168, 100–106.

Research article

Effect of flavourzyme concen tration & hydrolysis time on physico –chemical properties of sacha inchi pressed cake protein hydrolysate

Patsupa Teeragaroonwong[1], Promluck Sanporkha[1*], Chatrapa Hudthagosol[1] and Natta Laohakunjit[2]

[1*]*Department of Nutrition, Faculty of Public Health, Mahidol University, Ratchawithi Road, Thung Phayathai Sub – district, Ratchathewi District, Bangkok 10400*
[2]*School of Bioresources & Technology, King Mongkut's University of Technology, Soi Thian Thale 25, Bang Khun Thian Chai Thale Road, Tha Kham, Bang Khun Thian, Bangkok 10150*

ARTICLE INFO

Article history
Received: 1 October 2021
Revised: 11 October 2021
Accepted: 3 November 2021
Online published: 15 December 2021

Keyword
Sacha inchi pressed cake
Protein hydrolysate
Flavourzyme

ABSTRACT

The objective of this research was to study the effect of Flavourzyme concentration and hydrolysis time on physico–chemical properties of Sacha inchi pressed cake protein hydrolysate. The moisture, protein, fat, crude fiber, ash and carbohydrate of Sacha inchi pressed cake after oil extraction were 4.09%, 74.19%, 0.48%, 7.56%, 5.03% and 8.64%, respectively. The enzyme concentration for hydrolysis of Sacha inchi pressed cake was varied at 5, 10, 15 and 20% (w/w) & hydrolysis time was varied at 0.5, 3, 6 and 12 h. The optimal condition for producing protein hydrolysate from Sacha inchi pressed cake was 20% Flavourzyme concentration (w/w) and hydrolysis time of 6 h. The Sacha inchi pressed cake protein hydrolysate at this hydrolysis condition showed the lightness (L*) redness (a*) & yellowness (b*) of 87.60 – 1.36, & 5.84, respectively. Including the degree of hydrolysis, yield, protein solubility and protein digestibility were 43.7%, 62.8%, 69.9% and 96.2%, respectively. Moreover, the total phenolic content and antioxidant activity by FRAP and DPPH of the Sacha inchi pressed cake protein hydrolysate were 340.79 mg GAE/100g, 2,834.46 µmolTE/100g and 808.16 µmolTE/100g, respectively. In addition, the antioxidant activity of the Sacha inchi pressed cake protein hydrolysate was higher than Sacha inchi pressed cake. Thus, the Sacha inchi pressed cake protein hydrolysates will be developed to protein drink mix products in the future.

*Corresponding author
E-mail address: promluck@yahoo.com (P. Sanporkha)
Online print: 15 December 2021 Copyright 2021 © 2021. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. https://doi.org/10.14456/paj.2021.23

PRAWARUN AGRICULTURAL JOURNAL
https://li01.tci-thaijo.org/index.php/pajrmu/index

บทความวิจัย

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ใบมะเขือแผ่นอบกรอบเสริมโปรตีนจากแมลง

พรพิษณุ ธรรมปัทม์[1*] นวลอนงค์ องค์นาม[1] อนุศาสน์ โยธะวงษ์[1] ศราวุฒ รักษาราช[2] และ ชูทวีป ปาละกะวงศ์ ณ อยุธยา[1]

[1]*สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม 44000*

[2]*สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม 44000*

ข้อมูลบทความ

Article history
รับ: 1 สิงหาคม 2564
แก้ไข: 17 กันยายน 2564
ตอบรับการตีพิมพ์: 24 กันยายน 2564
ตีพิมพ์ออนไลน์: 24 ธันวาคม 2564

คำสำคัญ
ขนมขบเคี้ยว
แมลง
การพัฒนาผลิตภัณฑ์
จิ้งหรีดทองแดงลาย
มะเขือกินใบ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ใบมะเขือแผ่นอบกรอบเสริมโปรตีนจากแมลง โดยทำการศึกษาสัดส่วนของส่วนผสม 3 ชนิด ได้แก่ ปริมาณใบมะเขือ (*Solanum melongena* L.; 30 – 50%) จิ้งหรีดทองแดงลาย (*Acheta domestica*; 30 – 50%) และสารยึดเกาะ (แป้งมันสำปะหลัง; 20 – 40%) ต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ใบมะเขือแผ่นอบกรอบ วางแผนการทดลองแบบ mixture design เพื่อศึกษาปริมาณของใบมะเขือ จิ้งหรีดทองแดงลายและสารยึดเกาะต่อความชอบรวมของผลิตภัณฑ์ใบมะเขือแผ่นอบกรอบ ผลการศึกษาพบว่าปริมาณสัดส่วนที่เหมาะสมต่อการผลิตผลิตภัณฑ์ใบมะเขือแผ่นอบกรอบ คือ การใช้ปริมาณใบมะเขือ จิ้งหรีดทองแดงลาย และสารยึดเกาะ ร้อยละ 50.00, 30.00 และ 20.00 ตามลำดับ ทำให้ได้ค่าความชอบรวมของผลิตภัณฑ์สูงสุดเท่ากับ 7.70 สำหรับผลิตภัณฑ์ใบมะเขือแผ่นอบกรอบที่พัฒนาขึ้นมีลักษณะสีเขียว โดยมีค่าสี L* a* b* เท่ากับ 22.82 – 3.21 และ 11.53 ตามลำดับ มีปริมาณโปรตีน ไขมัน เถ้า ความชื้น ใยอาหาร และคาร์โบไฮเดรต เท่ากับ 16.24, 7.13, 4.07, 5.89, 6.79 และ 59.88 กรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ และมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH radical scavenging assay เท่ากับ 64.82%

บทนำ

ปัจจุบันความเจริญก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเปลี่ยนแปลงอย่างไม่หยุดยั้ง สังคมเต็มไปด้วยการแข่งขัน ทำให้ชีวิตต้องตกอยู่ในความเร่งรีบจนลืมสนใจดูแลสุขภาพตนเอง ซึ่งเป็นปัจจัยเสี่ยงต่อการเกิดโรคต่าง ๆ รวมทั้งปัญหาที่เข้ามารุมเร้า ความเครียดสูง ส่งผลต่อคุณภาพชีวิตของบุคคลนั้น ๆ เป็นอย่างมาก อาหารเป็นหนึ่งในปัจจัยสี่ที่มีความสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่งต่อการดำรงชีวิต การพัฒนาทั้งทางด้านร่างกาย จิตใจและสติปัญญาให้มีศักยภาพ การที่คนเรามีพฤติกรรมบริโภคที่เหมาะสม จะส่งผลให้มีภาวะโภชนาการที่ดีจึงนับได้ว่าเป็นปัจจัยสำคัญปัจจัยหนึ่งที่จะนำไปสู่สุขภาวะที่สมบูรณ์ ซึ่งจะเกิดผลดีต่อการดำรงชีวิตทั้งต่อตนเอง ครอบครัวและประเทศชาติ ทั้งในด้านเศรษฐกิจและสังคม (Thai Health Promotion Foundation, 2014) ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าการมีสุขภาวะที่สมบูรณ์ของคนไทยคือการสร้างทรัพยากรที่มีคุณค่ายิ่งใหญ่เหนือทรัพยากรอื่นใด และเป็นการเพิ่มทุนอันมีค่ามหาศาลให้สังคมไทยแบบยั่งยืน

ปัจจุบันพบว่าเด็กไทยนิยมบริโภคขนมขบเคี้ยวเพิ่มขึ้นมีมูลค่าเป็นตัวเลขถึง 170,000 ล้านบาทต่อปี (The national food institute, 2019) การที่เด็กได้รับประทานของขบเคี้ยวมากเกินไปทำให้ทานอาหารมื้อหลักได้น้อย หรืออาจถึงขั้นปฏิเสธอาหารมื้อหลักทำให้เกิดภาวะขาดสารอาหารส่งผลต่อการเจริญเติบโตของร่างกาย นอกจากนี้ยังมีการบริโภคขนมขบเคี้ยวเพิ่มขึ้นในประชาชนทุกกลุ่ม การบริโภคขนมที่มีแป้งและน้ำตาลเกินจำเป็นมีความเสี่ยงทำให้เกิดโรคอ้วนได้ ปัจจุบันประเทศไทยกำลังเผชิญปัญหาทุพโภชนาการ

[*] Corresponding author
E-mail address: Thammapat.p@gmail.com (P. Thammapat)
Online print: 24 December 2021 Copyright © 2021. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. https://doi.org/10.14456/paj.2021.24

สองด้าน โดยเฉพาะคนไทยที่มีภาวะโภชนาการเกินและเป็นโรคอ้วนมากขึ้น ในขณะที่อีกส่วนหนึ่งยังมีปัญหาขาดสารอาหารในรูปแบบต่ำกว่าเกณฑ์ เพื่อป้องกันปัญหาทั้ง 2 ด้าน ดังนั้นเด็กต้องได้รับการดูแลจากครอบครัวให้ได้รับอาหารที่มีคุณค่าโภชนาการครบถ้วนและปริมาณเหมาะสมตามวัย เพื่อให้มีพื้นฐานทางชีวภาพพร้อมที่จะพัฒนาด้านสติปัญญาได้เต็มศักยภาพ ภายใต้การสนับสนุนจากนโยบายของรัฐ เพื่อสร้างปัจจัยแวดล้อมที่เอื้อให้ครอบครัวสามารถทำหน้าที่ดังกล่าวได้สมบูรณ์ เด็กไทยในอนาคตจึงจะเป็นเด็กที่พึงประสงค์ เติบโตแข็งแรงมีสุขภาพดีและมีเชาวน์ปัญญาที่พร้อมจะเรียนรู้ ฝึกฝนทักษะ สะสมประสบการณ์ และพัฒนาศักยภาพของตนเองเพื่อเติบโตเป็นผู้ใหญ่ที่มีคุณภาพ เป็นพลังขับเคลื่อนสร้างสรรค์สังคมไทยให้เจริญก้าวหน้าต่อไป (Bureau of Nutrition, 2014) ซึ่งโปรตีนมีส่วนสำคัญอย่างมากในการเจริญเติบโตของวัยเด็กและวัยรุ่น ดังนั้นการเสริมโปรตีนในผลิตภัณฑ์อาหารจึงเป็นผลิตภัณฑ์ทางเลือกในการบริโภคขนมขบเคี้ยวที่มีปริมาณสูงได้

มะเขือกินใบ (*Solanum melongena* L.) เป็นพืชพื้นเมืองของประเทศบราซิล นิยมปลูกมากทั้งในเขตร้อนและเขตอบอุ่น โดยเฉพาะในประเทศไทยที่สามารถปลูกได้ทุกภาค แต่มีการปลูกมากในบริเวณภาคใต้ของไทย มะเขือกินใบอุดมไปด้วยสารอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการ เช่น เส้นใย โปรตีน โฟเลต แคลเซียม ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียม เหล็ก วิตามินเอ วิตามินบี 1 วิตามินบี 2 และวิตามินซี นอกจากนั้นยังอุดมไปด้วยสารประกอบฟีนอลและสารต้านอนุมูลอิสระในร่างกาย ทำปฏิกิริยาขจัดสารพิษที่เกิดในร่างกาย และช่วยต้านมะเร็งได้เป็นอย่างดี สารประกอบฟีนอลที่พบในมะเขือกินใบประกอบด้วยหลายชนิด เช่น กรดฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ กลูตาไธโอน แทนนิน และอื่น ๆ (Nadeeshani et al., 2021) สารเหล่านี้มีความสำคัญต่อสุขภาพของมนุษย์ (Knapp et al., 2013) ปัจจุบันทั่วโลกให้การยอมรับการใช้สารประกอบฟีนอลในธรรมชาติเพื่อเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Gutiérrez–Grijalva et al., 2016) ซึ่งมะเขือกินใบอุดมไปด้วยสารประกอบฟีนอลและสารต้านอนุมูลอิสระชนิดต่าง ๆ

จิ้งหรีดทองแดงลาย (*Acheta domestica*) จัดเป็นแมลงชนิดหนึ่งที่พบได้ในทุกภูมิภาคของโลก โดยเฉพาะในเขตร้อนอย่างประเทศไทย กินพืชเป็นอาหารได้หลายชนิดวงจรชีวิตจากไข่ถึงตัวเต็มวัยใช้เวลาสั้น ๆ คนไทยนิยมบริโภคจิ้งหรีดทองแดงลายเป็นอาหาร เพราะมีโปรตีนสูง ราคาถูก สามารถเพาะเลี้ยงได้ง่าย (Department of Livestock Development, 2012) ปัจจุบันมีการเพาะเลี้ยงในลักษณะเกษตรแปลงใหญ่ สามารถส่งจำหน่ายทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมุ่งทำการศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์มะเขือกินใบแผ่นอบกรอบเสริมโปรตีนจากแมลง ซึ่งเป็นแหล่งโปรตีนที่หาง่ายและราคาถูก เพื่อเป็นผลิตภัณฑ์ทางเลือกสำหรับเด็กและผู้บริโภคในการรับประทานขนมขบเคี้ยวที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพต่อไป

วิธีการวิจัย

1. วัตถุดิบ

วัตถุดิบที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ มะเขือกินใบและจิ้งหรีดทองแดงลาย ได้จากตลาดในท้องถิ่น อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม

2. การเตรียมวัตถุดิบ

2.1 การเตรียมมะเขือกินใบ

2.1.1 นำมะเขือกินใบที่ซื้อมาจากตลาดในท้องถิ่น อำเภอ เมือง จังหวัด มหาสารคาม ทำการตัดแต่งและล้างทำความสะอาดด้วยน้ำประปา

2.1.2 ทำการลวกด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 5 นาที

2.1.3 นำมะเขือกินใบที่ผ่านการลวกแช่ในน้ำเย็นทันที และทำการปั่นให้ละเอียด เพื่อเตรียมสำหรับเป็นส่วนผสมต่อไป

2.2 การเตรียมโปรตีนจากจิ้งหรีดทองแดงลาย

2.2.1 นำจิ้งหรีดทองแดงลายที่ซื้อมาจากตลาดในท้องถิ่น อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม แช่เย็นที่อุณหภูมิ 6 – 8 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 5 นาที ล้างด้วยน้ำประปาและทำความสะอาด

2.2.2 นำจิ้งหรีดทองแดงลายมาอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง หรือจนกว่าจิ้งหรีดทองแดงลายจะมีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 8 มาตรฐานน้ำหนักแห้ง

2.2.3 ทำการบดจิ้งหรีดทองแดงลายที่ผ่านการอบให้ละเอียดด้วยเครื่องบด (TY – 1000) และร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 150 mesh เพื่อเตรียมสำหรับเป็นส่วนผสมต่อไป

2.3 การเตรียมสารยึดเกาะหรือสารช่วยให้ความคงตัว

2.3.1 สารยึดเกาะหรือสารช่วยให้ความคงตัวในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ใช้แป้งมันสำปะหลัง (ตรานกนางแอ่น)

2.3.2 ทำการละลายแป้งมันสำปะหลังในน้ำสะอาดที่อัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลังต่อน้ำที่อัตราส่วน 1 : 3 หลังจากนั้นนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 5 นาที เพื่อเตรียมสำหรับเป็นส่วนผสมต่อไป

3. การหาสูตรผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสม

การศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมต่อความชอบของผลิตภัณฑ์ใบมะเขือแผ่นอบกรอบเสริมโปรตีนจากแมลง จาก 3 ปัจจัย คือ ปริมาณของใบมะเขือร้อยละ 30 – 50 ปริมาณจากจิ้งหรีดทองแดงลายร้อยละ 30 – 50 และปริมาณสารยึดเกาะหรือสารช่วยให้ความคงตัว (แป้งมันสำปะหลัง) ร้อยละ 20 – 40 ตามลำดับ

จัดกรรมวิธีการทดลองแบบ Mixture design (Table 1) หลังจากนั้นนำไปขึ้นรูปเป็นแผ่นขนาด 7 x 15 x 0.1 เซนติเมตร และอบแห้งที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง

การทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัส โดยศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ใบมะเขือแผ่นอบกรอบเสริมโปรตีนจากแมลงเพื่อหาสูตรที่ดีที่สุด ใช้ผู้บริโภคทั่วไปอายุตั้งแต่ 18 – 60 ปี จำนวน 100 คน โดยใช้ 9–point Hedonic Scale วัดค่าคะแนนความชอบคุณลักษณะต่างๆ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวม ค่าคะแนนความชอบ 9 ระดับ (9–point hedonic scale) ดังนี้ (Nicolas et al., 2010)

9	หมายถึง	ชอบมากที่สุด
8	หมายถึง	ชอบมาก
7	หมายถึง	ชอบปานกลาง
6	หมายถึง	ชอบเล็กน้อย
5	หมายถึง	เฉยๆ
4	หมายถึง	ไม่ชอบเล็กน้อย
3	หมายถึง	ไม่ชอบปานกลาง
2	หมายถึง	ไม่ชอบมาก
1	หมายถึง	ไม่ชอบมากที่สุด

สร้างสมการถดถอย quadratic canonical polynomial แบบ Scheffe ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ Design expert version 6 จากนั้นคัดเลือกสูตรที่เหมาะสมโดยสร้างกราฟ contour plot ของค่าความชอบทางประสาทสัมผัสโดยเลือกสูตรที่เหมาะสมที่สุดของผลิตภัณฑ์

Table 1 Variables (factors) used for mixture design

Coded– variable levels			Natural–variable levels		
Z_1	Z_2	Z_3	X_1 (Eggplant leave, %)	X_2 (Cricket, %)	X_3 (Binder, %)
0.00	0.50	0.50	30.00	40.00	30.00
1.00	0.00	0.00	50.00	30.00	20.00
0.00	0.00	1.00	30.00	30.00	40.00
0.67	0.17	0.17	43.30	33.40	23.40
0.50	0.00	0.50	40.00	30.00	30.00
0.17	0.17	0.67	33.40	33.40	33.40
0.33	0.33	0.33	36.60	36.60	26.60
1.00	0.00	0.00	50.00	30.00	20.00
0.00	0.00	1.00	30.00	30.00	40.00
0.50	0.50	0.00	40.00	40.00	20.00
0.00	1.00	0.00	30.00	50.00	20.00
0.00	0.50	0.50	50.00	40.00	30.00
0.00	0.67	0.17	30.00	43.40	23.40
0.00	1.00	0.00	30.00	50.00	20.00

4. การหาคุณภาพของผลิตภัณฑ์สูตรที่ดีที่สุด

4.1 การวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ

การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging assay โดยดูดสารละลาย DPPH (2, 2–diphenyl–l–1–picrylhydrazil) ความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 3 มิลลิลิตร กับสารสกัดจากผลิตภัณฑ์ใบมะเขือแผ่นอบกรอบเสริมโปรตีนจากแมลงปริมาตร 150 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันและบ่มที่อุณหภูมิห้องในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV–visible spectrophotometer) ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร (Mokbel Hashinaga, 2005) คำนวณหา % radical scavenging จากสมการ

% radical scavenging = [1–(Asample/Acontrol)] x 100

เมื่อ Asample คือ ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง
Acontrol คือ ค่าการดูดกลืนแสงของ DPPH

4.2 วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

การวิเคราะห์ค่าสีด้วยเครื่องวัดสี ยี่ห้อ Hunter lab รุ่น CQXE/SAV–2 วัดในระบบ CIE L*, a* และ b* ซึ่งค่า L* คือ ค่าความสว่างมีค่าตั้งแต่ 0 – 100 ค่า +a* คือ ค่าสีแดง ค่า –a* คือ ค่าสีเขียว ค่า +b* คือ ค่าสีเหลือง ค่า –b* คือ ค่าสีน้ำเงิน โดยทำการสุ่มตัวอย่างมา 3 ซ้ำ และทำการวิเคราะห์ค่าสีแผ่นละ 3 ตำแหน่ง (Pathare et al., 2013)

4.3 การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี โดยทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีพื้นฐาน (Proximate) ได้แก่ ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า คาร์โบไฮเดรต และใยอาหาร (AOAC, 2002)

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

การศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใบมะเขือแผ่นอบกรอบเสริมโปรตีนจากแมลง สรุปผลการวิจัยได้ดังต่อไปนี้

1. การศึกษาสูตรที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์ใบมะเขือแผ่นอบกรอบเสริมโปรตีนจากแมลง

การศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมต่อความชอบของผลิตภัณฑ์ใบมะเขือแผ่นอบกรอบเสริมโปรตีนจากแมลง โดยใช้ใบมะเขือร้อยละ 30 – 50 ปริมาณจากจิ้งหรีดทองแดงลายร้อยละ 30 – 50 และปริมาณสารยึดเกาะหรือสารช่วยให้ความคงตัวร้อยละ 20 – 40 ตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณโปรตีนจากจิ้งหรีดทองแดงลายและลดปริมาณใบมะเขือจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความชอบโดยรวมสูงขึ้น ส่วนการเติมปริมาณสารยึดเกาะหรือสารช่วยให้ความคงตัวเพิ่มขึ้นจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีความกรอบเพิ่มขึ้น เห็นได้จากค่าความชอบทางด้านเนื้อสัมผัสที่มีค่าสูงเมื่อเติมปริมาณสารยึดเกาะหรือสารช่วยให้ความคงตัว (Table 2 และ Figure 1) สอดคล้องกับการศึกษาของ Deepunya (2012) ที่ได้ทำการศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์ไข่น้ำแผ่น ผลการศึกษาพบว่าเมื่อมีการเติมสารยึดเกาะเพิ่มขึ้นจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความกรอบเพิ่มมากขึ้น

Table 2 Organoleptic test of baked crispy snack of eggplant leaves fortified with protein from insects

Coded–variable levels			Organoleptic test					
			Appearance	Color	Flavor	Taste	Texture	Overall
0.00	0.50	0.50	6.06 ± 0.84	5.46 ± 0.76	6.33 ± 0.64	5.63 ± 0.90	6.53 ± 0.74	6.63 ± 0.68
1.00	0.00	0.00	7.56 ± 1.02	7.12 ± 0.82	6.98 ± 0.88	7.37 ± 0.66	7.40 ± 0.96	7.65 ± 1.14
0.00	0.00	1.00	6.12 ± 0.96	5.87 ± 0.75	5.93 ± 1.06	5.40 ± 1.04	5.27 ± 0.70	5.73 ± 1.06
0.67	0.17	0.17	7.15 ± 0.72	6.89 ± 0.92	6.98 ± 0.94	6.98 ± 0.80	6.27 ± 0.88	7.45 ± 0.94
0.50	0.00	0.50	6.93 ± 0.80	6.97 ± 0.98	6.63 ± 0.96	6.61 ± 0.72	6.67 ± 0.92	6.78 ± 0.64
0.17	0.17	0.67	6.35 ± 0.78	6.78±0.76	6.94 ± 0.82	6.32 ± 0.98	6.72 ± 0.98	6.65 ± 0.92
0.33	0.33	0.33	7.02 ± 0.90	7.14 ± 0.72	6.94 ± 0.78	7.02 ± 0.88	6.76 ± 1.02	6.83 ± 0.86
1.00	0.00	0.00	7.64 ± 1.10	7.34 ± 0.94	7.34 ± 0.86	7.24 ± 0.76	7.35 ± 0.90	7.72 ± 0.98
0.00	0.00	1.00	5.54 ± 0.64	6.23 ± 0.88	5.85 ± 1.04	5.36 ± 0.82	5.36 ± 0.82	5.87 ± 0.88
0.50	0.50	0.00	6.82 ± 0.85	6.98 ± 1.04	6.82 ± 0.98	7.92 ± 1.12	6.28 ± 0.78	7.15 ± 1.02
0.00	1.00	0.00	6.23 ± 0.70	6.03 ± 0.82	5.83 ± 0.74	5.53 ± 1.04	5.43 ± 0.96	6.82 ± 0.76
0.00	0.50	0.50	6.77 ± 0.98	7.07 ± 0.96	7.06 ± 0.82	7.74 ± 0.96	6.03 ± 1.06	7.12 ± 0.80
0.00	0.67	0.17	6.10 ± 0.90	6.72 ± 0.84	6.67 ± 0.98	6.12 ± 0.78	5.73 ± 0.84	6.93 ± 1.06
0.00	1.00	0.00	6.34 ± 0.86	6.26 ± 1.05	5.94 ± 1.12	5.65 ± 0.98	5.48 ± 0.90	6.12 ± 0.82

Note: Data is shown as mean values ± standard deviation and was obtained from one hundred panelists

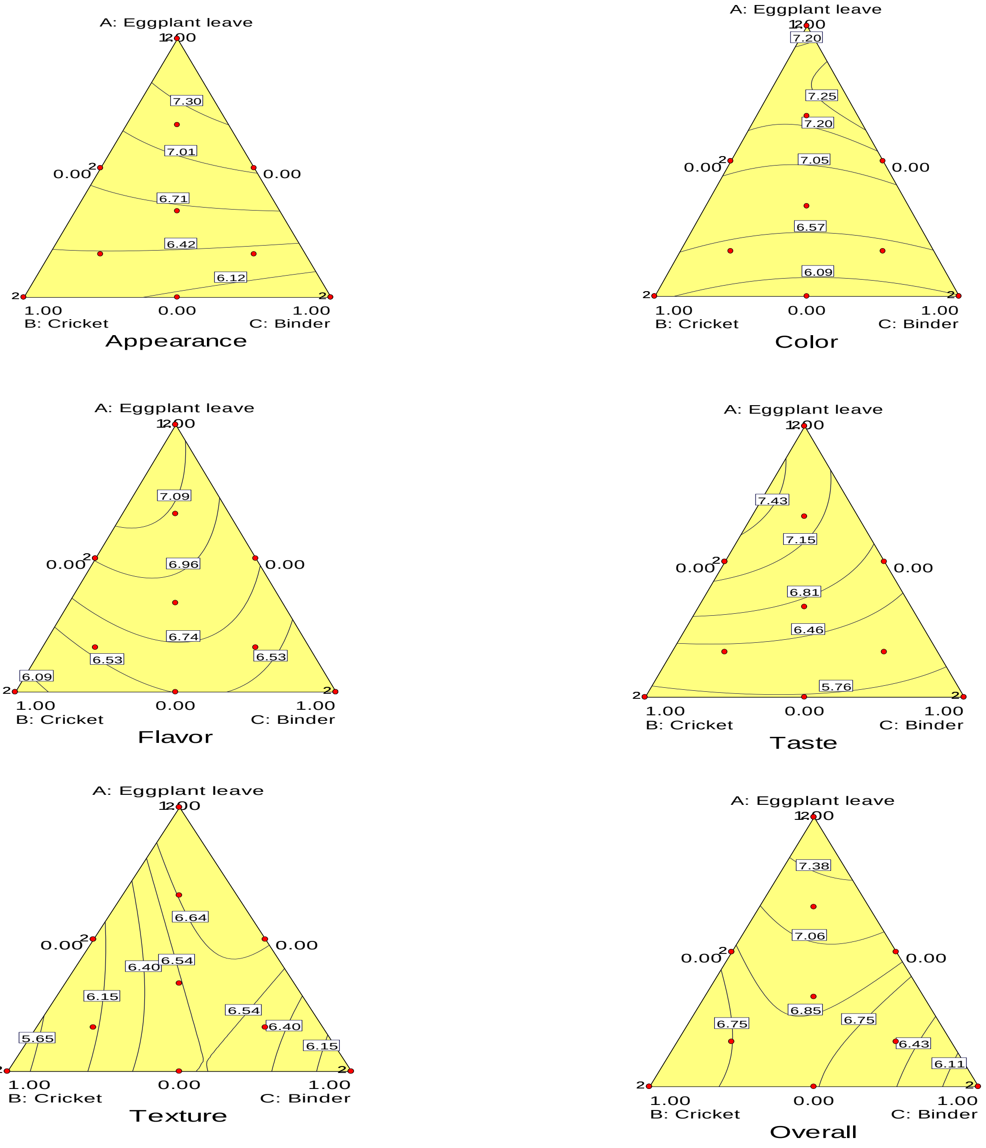


Figure 1 Contour plot of organoleptic test of baked crispy snack of eggplant leaves fortified with protein from insect

การหาสัดส่วนองค์ประกอบที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์ใบมะเขือแผ่นอบกรอบเสริมโปรตีนจากแมลง จากการทดลองใช้ 3 ปัจจัย (องค์ประกอบ 3 ชนิด) ในการหาพื้นผิวตอบสนองของสภาวะที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ค่าความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ใบมะเขือแผ่นอบกรอบเสริมโปรตีนจากแมลงสูงสุด (Figure 1) ภายใต้จุดสูงสุดของแกนในการทำนายค่าสูงสุดค่าความชอบรวมของผลิตภัณฑ์ใบมะเขือแผ่นอบกรอบเสริมโปรตีนจากแมลงได้สูงสุดเท่ากับ 7.70 จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าโมเดลที่ใช้ในการทำนายมีความเหมาะสม เนื่องจากผลที่ได้จากสมการทำนายสูตรที่ดีที่สุดและผลจากการประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสจากผู้ทดสอบสูตรที่ดีที่สุดมีค่าใกล้เคียงกัน (Table 3) และสามารถนำไปใช้ในการทำนายสัดส่วนที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ค่าการยอมรับรวมของผลิตภัณฑ์ใบมะเขือแผ่นอบกรอบเสริมโปรตีนจากแมลงสูงสุด (Table 4) เมื่อพิจารณาสัดส่วนที่เหมาะสมต่อความชอบของผลิตภัณฑ์ใบมะเขือแผ่นอบกรอบเสริมโปรตีนจากแมลง โดยการประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสใช้วิธี 9 – point hedonic scale ในการพิจารณาสูตรที่เหมาะสมเพื่อนำไปผลิตต่อไป ผลการศึกษาพบว่าเมื่อใช้ปริมาณของใบมะเขือร้อยละ 50 ปริมาณโปรตีนจากจิ้งหรีดทองแดงลายร้อยละ 30 และปริมาณสารยึดเกาะหรือสารช่วยให้ความคงตัวร้อยละ 20 ตามลำดับ จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าความชอบรวมสูงสุดเท่ากับ 7.70

2. คุณภาพของผลิตภัณฑ์สูตรที่ดีที่สุด

ผลิตภัณฑ์ใบมะเขือแผ่นอบกรอบเสริมโปรตีนจากแมลงจากสูตรที่ดีที่สุด คือ การใช้ปริมาณของใบมะเขือร้อยละ 50 ปริมาณจิ้งหรีดทองแดงลายร้อยละ 30 และปริมาณสารยึดเกาะหรือสารช่วยให้ความคงตัวร้อยละ 20 ตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่า ผลิตภัณฑ์ใบมะเขือแผ่นอบกรอบเสริมโปรตีนมีค่าความสว่าง (L) เท่ากับ 22.82 ค่า a* เท่ากับ –3.21 และค่า b* เท่ากับ 11.53 ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีสีค่อนข้างคล้ำ เนื่องจากสีของจิ้งหรีดทองแดงลายที่เติมเข้าไปและการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในระหว่างกระบวนการผลิต (Yu et al., 2018) และผลิตภัณฑ์มีสีออกไปทางสีเขียว – เหลือง ส่วนคุณค่าทางโภชนาการพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณโปรตีน ไขมัน เถ้า ความชื้น ใยอาหาร และคาร์โบไฮเดรต เท่ากับ 16.24, 7.13, 4.07, 5.89, 6.79 และ 59.88 กรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ (Table 5) ในขณะที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH radical scavenging เท่ากับ 64.82% ซึ่งสามารถยับยั้งอนุมูลอิสระได้สูงกว่า 50% นับว่ามีบทบาทสำคัญในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันทั้งในระบบของอาหาร (food system) และร่างกายมนุษย์ (human body) ในระบบของอาหารนั้นจะช่วยชะลอการเกิดออกซิเดชันของไขมันในอาหารและลดหรือกำจัดอนุมูลอิสระจากปฏิกิริยาออกซิเดชันในขั้นทุติยภูมิ ซึ่งจะช่วยรักษาคุณภาพของอาหารด้านต่าง ๆ เช่น กลิ่นรส เนื้อสัมผัส คุณค่าทางโภชนาการและสีของอาหารในระหว่างการแปรรูปและเก็บรักษา นอกจากนี้ยังช่วยลดการเกิดออกซิเดชันของโปรตีนและอันตรกิริยา (interaction) ระหว่างหมู่คาร์บอนิลของอนุพันธ์ลิพิดกับโปรตีน (Elias et al., 2008) สำหรับในร่างกายมนุษย์นั้นจะทำหน้าที่ป้องกันความเสียหายของเซลล์ต่าง ๆ จากการเกิดออกซิเดชันโดยอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในร่างกายซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดโรคต่าง ๆ และความแก่ชรา จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์สูตรที่ดีที่สุดมีปริมาณโปรตีนค่อนข้างสูง (16.24 กรัมต่อ 100 กรัม) เมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อสัตว์ เช่น ปลาเผาะมีปริมาณโปรตีน 16.54 กรัมต่อ 100 กรัม (Thammapat et al., 2010) เนื้อหมูมีปริมาณโปรตีน 18.10 กรัมต่อ 100 กรัม (Ahmad et al., 2018) เป็นต้น ส่วนปริมาณคาร์โบไฮเดรตมีปริมาณค่อนข้างสูง (59.88 กรัมต่อ 100 กรัม) แต่ยังมีปริมาณต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวในท้องตลาดที่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงกว่า 60% เช่น ขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวสินเหล็กและแป้งข้าวฟ่างดำมีปริมาณคาร์โบไฮเดรต 68 – 87% (Kunna et al., 2018)

Table 3 Predicted and observed values for response variables of the suitable formula of baked crispy snack of eggplant leaves fortified with protein from insects

Response variable	Critical values of independent variables			Stationary point	Predicted value	Observed value[a]
	X_1 (Eggplant leave, %)	X_2 (Cricket, %)	X_3 (Binder, %)			
Overall	50	30	20	Maximum	7.70	7.74 ± 0.68

Note: [a]Data is shown as mean values ± standard deviation and was obtained from one hundred panelists

Table 4 Regression coefficients of predicted polynomial model for response variable

Organoleptic test	Equation	R^2
Appearance	Y = 7.60X1 + 6.24X2 + 5.84X3 – 0.68X1X2 + 0.91X1X3 – 0.21X2X3 + 0.64X1X2X3	0.9243
Color	Y = 7.16X1 + 6.17X2 + 6.09X3 + 1.26X1X2 + 1.15X1X3 – 2.13X2X3 + 16.73X1X2X3	0.9111
Flavor	Y = 7.13X1 + 5.88X2 + 5.94X3 + 1.60X1X2 + 0.54X1X3 + 2.07X2X3 + 6.93X1X2X3	0.9177
Taste	Y = 7.25X1 + 5.55X2 + 5.44X3 + 5.34X1X2 + 1.11X1X3 + 0.65X2X3 – 2.18X1X2X3	0.9566
Texture	Y = 7.30X1 + 5.40X2 + 5.40X3 – 0.89X1X2 + 1.35X1X3 + 4.76X2X3 – 3.06X1X2X3	0.9087
Overall	Y = 7.70X1 + 6.47X2 + 5.81X3 – 0.26X1X2 + 0.29X1X3 + 2.07X2X3 – 1.13X1X2X3	0.9313

Note: X1 (eggplant leave), X2 (Cricket), X3 (Binder)

Table 5 Physical, chemical and antioxidant properties of the suitable formula of baked crispy snack of eggplant leaves fortified with protein from insects

Physical, chemical and antioxidant properties	Content
Physical properties	
Color	
L	22.82 ± 1.12
a*	–3.21 ± 0.31
b*	11.53 ± 1.30
Chemical properties	
Protein (g/100g)	16.24 ± 0.72
Lipid (g/100g)	7.13 ± 1.45
Ash (g/100g)	4.07 ± 0.76
Moisture (g/100g)	5.89 ± 0.26
Fiber (g/100g)	6.79 ± 1.05
Carbohydrate (g/100g)	59.88 ± 1.36
Antioxidant activity	
DPPH radical scavenging (% inhibition)	64.82±3.61

Note: Data is shown as mean values ± standard deviation and was obtained from triplicate samples

สรุปผลการวิจัย

ผลิตภัณฑ์ใบมะเขือแผ่นอบกรอบเสริมโปรตีนสูตรที่ดีที่สุดที่ผู้บริโภคให้การยอมรับคือ เมื่อใช้ปริมาณของใบมะเขือร้อยละ 50 ปริมาณจิ้งหรีดทองแดงลายร้อยละ 30 และปริมาณสารยึดเกาะหรือสารช่วยให้ความคงตัวร้อยละ 20 จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าความชอบรวมสูงสุดเท่ากับ 7.70 โดยมีค่าความสว่าง (L) เท่ากับ 22.82 ค่า a* เท่ากับ –3.21 และค่า b* เท่ากับ 11.53 มีปริมาณโปรตีน ไขมัน เถ้า ความชื้น ใยอาหาร และคาร์โบไฮเดรต เท่ากับ 16.24, 7.13, 4.07, 5.89, 6.79 และ 59.88 กรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ ในขณะที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH radical scavenging assay เท่ากับ 64.82% ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตค่อนข้างสูง ดังนั้นในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขั้นต่อไปควรมีการใช้สารยึดเกาะชนิดอื่นที่สามารถลดปริมาณคาร์โบไฮเดรตลงเพื่อเป็นผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพต่อไป

References

Ahmad, R.S., Imran, A. Hussain, M.B. (2018). *Meat science nutritional*. London: IntechOpen.

AOAC. (2002). *Official methods of analysis of AOAC International*. Maryland: Gaithersburg.

Bureau of Nutrition. (2014). *Approaches to food management for school–age children*. Bangkok: Ministry of Public Health. (in Thai)

Deepunya, W. (2012). *Development of products water meal (Wolffia arrhiza (L.) Wimm.) leather*. Phetchabun: Phetchabun Rajabhat University. (in Thai).

Department of Livestock Development. (2012). *Cricket farming guide for citizens.* Bangkok: Livestock Promotion Development Division. (in Thai)

Elias, R.J., Kellerby, S.S. Decker, E.A. (2008). *Antioxidant activity of proteins peptides.* Crit Rev Food Sci Nutr, 48, 430–41.

Gutiérrez–Grijalva, E.P., Ambriz–Pére, D.L., Leyva–López, N., Castillo–López, R.I. Heredia, J.B. (2016). *Review: dietary phenolic compounds, health benefits bioaccessibility*. Arch Latinoam Nutr, 66(2), 87–100.

Knapp, S., Vorontsova, M.S. Prohens, J. (2013). *Wild relatives of the eggplant (Solanum melongena L.: Solanaceae): New understanding of species names in a complex group.* PLOS One, 8(2), 1–12.

Kunna, N., Chalermchaiwat, P., Siriwong, N. Chanput, W. (2018). *Nutritional, physical properties sensory acceptance of snack affected by different Ratios of sinlek rice flour to black sorghum flour*. Thai Sci Tech, 28(3), 419–428. (in Thai).

Mokbel, M.S. Hashinaga, F. (2005). *Antibacterial Antioxidant Activities of Banana (Musa, AAA cv. Cavendish) Fruits Pee.* Am. J. Biochem. Biotechnol, 1(3), 125–131.

Nadeeshani, H., Samarasinghe, G., Wimalasiri, S., Silva, R., Hunter, D. Madhujith, T. (2021). *Comparative analysis of the nutritional profiles of selected Solanum species grown in Sri Lanka*. J Food Compost Anal, 99, 1–6.

Nicolas, L., Marquilly, C. O'Mahony, M. (2010). *The 9–point hedonic scale: Are words numbers compatible?.* Food Qual Prefer, 21, 1008–1015.

Pathare, P.B., Opara, U.L. Al–Said, F.A. (2013). *Colour measurement analysis in fresh processed foods: A review*. Food Bioprocess Technol, 6, 36–60.

Thai Health Promotion Foundation. (2014). *Knowledge food consumption behavior of Phasi Charoen district*. Bangkok: Thai Health. (in Thai)

Thammapat, P., Raviyan, P. Siriamornpun, S. (2010). *Proximate fatty acids composition of the muscles viscera of Asiancatfish (Pangasius bocourti).* Food Chem, 122, 223–227.

The national food institute. (2019). *Marketing of snacks in Thailand.* Bangkok: Food intelligence center. (in Thai)

Yu, M., He, S., Tang, M., Zhang, Z., Zhu, Y. Sun, H. (2018). *Antioxidant activity sensory characteristics of Maillard reaction products derived from different peptide fractions of soybean meal hydrolysate*. Food Chem, 243, 248–257.

Research article

Development of baked crispy snack of eggplant leaves fortified with protein from insects

Pornpisanu Thammapat[1*], Nuan–anong Ongnarm[1], Anusart Yothawong[1], Sarawut Raksarad[2] and Choothaweep Palakawong Na Ayudhya[1]

[1] *Faculty of Food Technology, Rajabhat Maha Sarakham University, Mueang, Maha sarakham 44000*
[2] *Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University, Mueang, Maha sarakham 44000*

ARTICLE INFO

Article history
Received: 1 August 2021
Revised: 17 September 2021
Accepted: 24 September 2021
Online published: 24 December 2021

Keyword
Snack
Insect
Product development
House cricket
Solanum melongena L.

ABSTRACT

The aim of this study was to develop the baked crispy edible eggplant leaves fortified with protein from insects. The effects of 3 ingredient ratios including edible eggplant leaves (*Solanum melongena* L.; 30–50%), crickets (*Acheta domestica*; 30–50%) and a binder (Tapioca flour; 20–40%) on the qualities of baked crispy edible eggplant leave product were studied. A mixture design was applied to examine the amount of edible eggplant leaves, crickets and the binder on the overall preference of baked crispy edible eggplant leaves. The results showed that the appropriate ratio for the production of baked crispy edible eggplant leaves was the mixture of edible eggplant leaves, cricket and binder at 50.00:30.00:20.00 ratio, respectively. This ratio gave the highest overall preference with the value of 7.70. The final product, baked crispy edible eggplant leaves showed the greenish color with L* a* b* value of 22.82, –3.21 and 11.53, respectively. The protein, fat, ash, moisture, fiber, and carbohydrate content in the product were 16.24, 7.13, 4.07, 5.89, 6.79, and 59.88 g/100g, respectively. The antioxidant activity measured by DPPH radical scavenging assay was 64.82%.

[*]Corresponding author
E-mail address: Thammapat.p@gmail.com (P. Thammapat)
Online print: 24 December 2021 Copyright © 2021. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. https://doi.org/10.14456/paj.2021.24

https://li01.tci-thaijo.org/index.php/pajrmu/index

บทความวิจัย

การศึกษาการอบแห้งขมิ้นชันด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

พัชราภรณ์ อินริราย* ธวัลรัตน์ สัมฤทธิ์ วรลักษณ์ สุริวงษ์ และ สุรินทราพร ชั่งไชย

คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000

ข้อมูลบทความ

Article history

รับ: 3 สิงหาคม 2564

แก้ไข: 6 กันยายน 2564

ตอบรับการตีพิมพ์: 29 กันยายน 2564

ตีพิมพ์ออนไลน์: 24 ธันวาคม 2564

คำสำคัญ

การอบแห้ง

ขมิ้นชัน

พลังงานแสงอาทิตย์

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ศึกษาการอบแห้งขมิ้นชันด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ โดยเครื่องอบแห้งมีขนาด 1 x 0.8 ตารางเมตร ที่สามารถทำงานได้ 2 ระบบ คือ ระบบ Passive และ ระบบ Active และทำการเปรียบเทียบกับการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด ขมิ้นชันเตรียมที่ความหนาเท่ากับ 2 มิลลิเมตร โดยการทดสอบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ในกรณีไม่มีผลิตภัณฑ์พบว่า สามารถทำอุณหภูมิเฉลี่ยภายในเครื่องเท่ากับ 47.8 ± 3.9 องศาเซลเซียส และ 49.0 ± 3.5 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสำหรับการอบแห้งขมิ้นชัน สำหรับการศึกษาระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งพบว่า เครื่องอบแห้งทั้ง 3 ประเภท (เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ทั้ง 2 ระบบ และเครื่องอบแห้งแบบถาด) มีระยะเวลาในการอบแห้งเท่ากันที่ 7 ชั่วโมง ที่ทำให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์แห้งเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์สมุนไพรแห้ง โดยร้อยละความชื้นฐานแห้งเท่ากับ 10.60 ± 0.85, 11.43 ± 0.82 และ 11.61 ± 1.07 ตามลำดับ และจากการศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งพบว่า เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระบบ Passive มีประสิทธิภาพการอบแห้งสูงสุดเท่ากับร้อยละ 8.77 ± 0.22 ทั้งนี้ร้อยละของผลิตภัณฑ์แห้งที่ได้มีค่าเท่ากับ 20.72 ± 0.04, 25.99 ± 0.63 และ 21.50 ± 0.50 ตามลำดับ นอกจากนั้นจากการศึกษาคุณภาพผลิตภัณฑ์แห้งพบว่า สำหรับค่าปริมาณน้ำอิสระ (water activity, a_w) ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งทั้ง 3 ประเภท มีค่าน้อยกว่า 0.60 ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน และสำหรับค่าสี โดยขมิ้นชันทั้ง 4 ตัวอย่าง มีเฉดสีเหลืองส้ม ทั้งนี้การใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระบบ Active สามารถอบแห้งได้ผลิตภัณฑ์ที่คุณภาพด้านสี ค่า L* และ C ไม่แตกต่างจากผลิตภัณฑ์ที่จำหน่ายในท้องตลาด

บทนำ

สมุนไพร เป็นผลิตผลธรรมชาติ ได้จาก พืช สัตว์ และ แร่ธาตุ ที่ใช้เป็นยา หรือผสมกับสารอื่นตามตำรับยา เพื่อบำบัดโรค บำรุงร่างกาย หรือใช้เป็นยาพิษหากนำเอาสมุนไพรตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปมาผสมรวมกันซึ่งจะเรียกว่า ยา ในตำรับยา (Ramkhamhaeng University, 2007) โดยสมุนไพรในประเทศไทยมีอยู่หลายชนิดมีการนำมาใช้งานได้หลายส่วนไม่ว่าจะเป็น ใบ ลำต้น ดอก ผล รากและเหง้า เป็นต้น การใช้งานสมุนไพรนอกจากจะใช้ผลิตภัณฑ์สดที่ได้จากการเก็บเกี่ยวแล้วยังมีการนำมาทำให้แห้งเพื่อความสะดวกในการเก็บรักษา และการนำมาใช้งาน

การอบแห้ง เป็นกระบวนการในการแปรสภาพของเหลว กึ่งของแข็ง หรือแม้กระทั่งของแข็ง ให้กลายเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายในรูปของแข็งโดยการระเหยเอาของเหลวออกไปจากวัสดุด้วยการให้ความร้อน โดยวัตถุประสงค์ของการอบแห้งก็คือ เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ เนื่องจากการอบแห้งนั้นเป็นกระบวนการลดความชื้น ทำให้น้ำในผลิตภัณฑ์ลดลง ซึ่งมีผลให้จุลินทรีย์ที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เน่าเสียไม่สามารถเจริญเติบโตได้ การอบแห้งพืชสมุนไพรจะใช้อุณหภูมิและระยะเวลาในการอบแตกต่างกันไปตามส่วนของพืชสมุนไพรการใช้เครื่องอบแห้งเป็นวิธีที่สะดวกและประหยัดเวลาและได้วัตถุดิบที่มีคุณภาพดีแต่จะต้องมีการใช้ความร้อนในการอบสมุนไพรให้เหมาะสมกับส่วนของสมุนไพรที่นำมาใช้ เช่น สมุนไพรส่วนดอก ใบ ต้นควรใช้อุณหภูมิในการอบไม่เกิน 55 องศาเซลเซียส

* Corresponding author
E-mail address: patcharaporn.in@psru.ac.th (P. Inrirai)
Online print: 24 December 2021 Copyright © 2021. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. https://doi.org/10.14456/paj.2021.25

สมุนไพรส่วนราก กึ่งราก ผิว ควรใช้อุณหภูมิในการอบไม่เกิน 65 องศาเซลเซียส เป็นต้น (Chiangmai Provincial Public Health Office, 2013) มีการศึกษาการใช้เทคโนโลยีในการอบแห้งหลายแบบในการอบแห้งขมิ้นชัน ได้แก่ การตากแดดโดยตรง การตากแบบมีการบังเงา เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งแบบลมร้อน เครื่องอบแห้งแบบถาด เครื่องอบแห้งระบบสุญญากาศ–อินฟราเรด เครื่องอบแห้งไมโครเวฟ และเครื่องทำแห้งโดยการแช่เยือกแข็ง เป็นต้น โดยแต่ละวิธีส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขมิ้นชันแห้งแตกต่างกัน ซึ่งปัจจัยที่มีผลคุณภาพของขมิ้นชัน คือ วิธีการเตรียมวัตถุดิบ อุณหภูมิในการอบแห้ง โดยจากงานวิจัยของ Singh et al. (2010) ที่ศึกษาการอบแห้งขมิ้นชันด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดพบว่า ปริมาณสาร Oleoresin ในผลิตภัณฑ์แห้งมีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่ช่วงอุณหภูมิอบแห้ง 40 – 55 องศาเซลเซียส ทั้งนี้หากเพิ่มอุณหภูมิเกิน 55 องศาเซลเซียส ปริมาณสาร Oleoresin มีแนวโน้มที่ลดลงไป รวมทั้งจากงานวิจัยของ Ratmanee et al. (2021) ศึกษาการอบแห้งขมิ้นชันด้วยลมร้อนพบว่า อุณหภูมิในการอบแห้งที่สูงขึ้นมีผลต่อค่าสีของผลิตภัณฑ์ขมิ้นชันที่ได้ ซึ่งอุณหภูมิอบแห้งที่ 50 องศาเซลเซียส ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความเป็นสีเหลืองไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับขมิ้นสด สำหรับการประยุกต์ใช้วิธีอบแห้งโดยใช้แสงอาทิตย์ เป็นวิธีการที่มีความสะดวกและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายน้อยเนื่องจากการใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดความร้อน โดยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สามารถแบ่งออกเป็น 2 ระบบการทำงาน คือ เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิด Passive System และเครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์ชนิด Active System มีหลักการการอบแห้งที่แตกต่างกันโดยการไหลของอากาศแบบธรรมชาติและแบบบังคับตามลำดับ จากการศึกษาของ Taikhao & Teekasap (2013) พบว่าเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิด Passive System สามารถทำอุณหภูมิได้ต่ำกว่าเครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์แบบ Active System โดยที่อุณหภูมิภายในห้องอบแห้ง 30 – 40 องศาเซลเซียส และ 45 – 65 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยจากงานวิจัยของ Hirko et al. (2021) ที่ศึกษาการอบแห้งแบบตากแดดโดยตรง และการใช้เครื่องอบแห้งอุโมงค์ลมพบว่า การเตรียมผลิตภัณฑ์ด้วยการลวกน้ำร้อน 15 นาที แล้วนำไปอบแห้ง ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องอบแห้งอุโมงค์ลมมีร้อยละของสารสำคัญ (Oleoresin, Essential Oil และ Curcumin) สูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งด้วยการตากแดดโดยตรง

ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาการอบแห้งขมิ้นชัน โดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่สามารถทำงานได้ 2 ระบบ คือ Passive system และ Active system นอกจากนั้นทำการศึกษาประสิทธิภาพทางความร้อนของเครื่องอบแห้งที่ และศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์อบแห้งที่ได้ เปรียบเทียบกับการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด (Tray dryer) เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ที่มีต้นทุนทางพลังงานต่ำมาใช้ประโยชน์และสามารถทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพเป็นไปตามมาตรฐาน

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

การเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์ความชื้นเริ่มต้น

เตรียมผลิตภัณฑ์ที่ใช้การอบแห้งในงานวิจัยคือ ขมิ้นชัน (Turmeric) โดยตัวอย่างขมิ้นชันถูกเก็บเกี่ยวช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนธันวาคม ในพื้นที่จังหวัดพิษณุโลก จากนั้นทำการคัดแยกหัวและแง่งออกจากกัน ตัดรากและส่วนต่าง ๆ ที่ไม่ต้องการทิ้ง คัดเลือกส่วนที่สมบูรณ์ปราศจากโรคและแมลง นำมาล้างด้วยน้ำสะอาดหลาย ๆ ครั้งเนื่องจากขมิ้นชันเป็นพืชหัวอยู่ใต้ดิน การล้างทำความสะอาดจึงเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุด หลังจากนั้นควรใส่ตะกร้าทิ้งไว้ประมาณ 1 คืน แล้วนำขมิ้นที่ล้างแล้วมาหั่นเป็นชิ้นบางให้มีความหนาสม่ำเสมอประมาณ 2 มิลลิเมตร ดังแสดงใน Figure 1

Figure 1 Preparing turmeric sample

นำตัวอย่างขมิ้นชันหาความชื้นเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์ตามมาตรฐาน AOAC (2010) โดยนำตัวอย่างขมิ้นชัน 1 กรัม ใส่ลงในถ้วยอะลูมิเนียมขนาด 3 ออนซ์ ที่ผ่านการอบไล่ความชื้น แล้วนำไปอบด้วยตู้อบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยนำข้อมูลผลต่างของน้ำหนักก่อนและหลังอบแห้งมาคำนวณหาค่าความชื้น (ร้อยละฐานแห้ง) ของขมิ้นชัน โดยมีสมการความสัมพันธ์ดังสมการที่ 1

$$MC = \frac{W_i - W_f}{W_f} \times 100 \qquad (1)$$

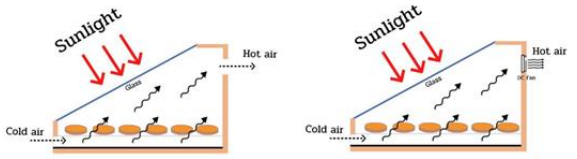
โดยที่ MC คือ ความชื้น (ร้อยละฐานแห้ง)

W_i คือ น้ำหนักขมิ้นชันก่อนอบ, กรัม

W_f คือ น้ำหนักขมิ้นชันหลังอบ, กรัม

การศึกษาอุณหภูมิอากาศภายในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์กรณีไม่มีผลิตภัณฑ์

เครื่องอบแห้งที่ใช้ในการศึกษาวิจัย โครงสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ทำจากกระจก และอลูมิเนียม ขนาดของเครื่องอบแห้งประกอบด้วยตะแกรง 1 ชั้น ที่ใช้ในการวางผลิตภัณฑ์ ขนาด 75×95 ตารางเซนติเมตร โดยสามารถทำงานได้ 2 ระบบ คือ Passive system และ Active system ซึ่งกรณีการทำงานระบบ Active System จะติดตั้งพัดลม ยี่ห้อ Superred ที่ DC 12 โวล์ท 0.12 แอมแปร์ ขนาดของพัดลม 6 × 6 ตารางเซนติเมตร มีความเร็วลม 2.23 เมตรต่อวินาที โดยระบบการทำงานของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ดังแสดงใน Figure 2



(a) Passive system (b) Active system

Figure 2 Operating system of solar dryer

ทำการติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือทดสอบเพื่อวัดค่าอุณหภูมิอากาศภายในเครื่อง อุณหภูมิอากาศแวดล้อม ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในเครื่องและอากาศแวดล้อม โดยติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลชนิด K (ทำจากโลหะนิกเกิลโครเนียม–นิกเกิล ช่วงการวัดอุณหภูมิ –200 องศาเซลเซียส ถึง 1350 องศาเซลเซียส) ไว้บริเวณ 4 ตำแหน่ง ได้แก่ ตรงบริเวณทางออก ที่ระยะ 50 เซนติเมตร และติดตั้งทั้งสามสายกึ่งกลางเครื่อง ระยะห่างระหว่างกัน 29 เซนติเมตร ห่างจากกระจกด้านข้าง 13 เซนติเมตร ดังแสดงใน Figure 3

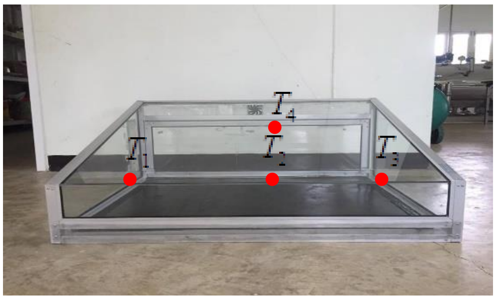


Figure 3 The position of type K thermocouple in solar dryer

แล้วทำการบันทึกค่าอุณภูมิอากาศภายในเครื่องด้วยเครื่องมือวัดอุณหภูมิ (Channel Temperature Meter/Data logger รุ่น TM–947SD) และบันทึกค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ ด้วยเครื่อง Solarimeters รุ่น SL200 ทุกๆ 30 นาที ซึ่งทำการทดลองเป็นระยะเวลา 7 ชั่วโมง (เวลา 09:30 – 16:30 น.) ทำการทดลองระบบละ 3 ซ้ำ แล้วทำการหาค่าเฉลี่ยและเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการทำงานระบบ Passive system และระบบ Active System โดยวิธี Paired Sample T–Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) ด้วยโปรแกรม SPSS เวอร์ชั่น 11.0

การศึกษาการอบแห้ง

เครื่องอบแห้งที่ใช้ในการศึกษามีจำนวน 3 ประเภท ได้แก่ เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระบบ Passive เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระบบ Active และเครื่องอบแห้งแบบถาด โดยสำหรับเครื่องอบแห้งแบบถาด ตัวเครื่องอบ กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 100 x 165 x 60 เมตร กำลังไฟขนาด 3 กิโลวัตต์ สามารถปรับความเร็วลมได้ 3 ระดับ โดยพัดลมแบบไหลตัดแนวแกน การศึกษาการอบแห้งโดยนำตัวอย่างขมิ้นชันจำนวน 700 กรัม ที่เตรียมไว้มาวางเรียงบนตะแกรงอบแห้งโดยเว้นระยะของชิ้นขมิ้นชันไม่ให้ทับกัน ทำติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือทดสอบ โดยจะทำการสุ่มตัวอย่างประมาณ 3 กรัม เพื่อทดสอบหาค่าความชื้นตามวิธีทดสอบตาม AOAC ทุก ๆ 1 ชั่วโมง จนผลิตภัณฑ์อบแห้งมีความชื้นร้อยละฐานแห้งไม่เกิน 12 ซึ่งมีความชื้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนสมุนไพรอบแห้ง

การศึกษาจลศาสตร์การอบแห้งของขมิ้นชัน ศึกษาในรูปของอัตราส่วนความชื้น (Moisture ratio, MR) โดยสามารถหาได้จากสมการที่ 2

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_{in} - M_e} \tag{2}$$

โดยที่ M_{in} คือ ความชื้นเริ่มต้น (ร้อยละฐานแห้ง)

M_t คือ ความชื้นที่เวลาใดๆ (ร้อยละฐานแห้ง)

M_e คือ ความชื้นสมดุล (ร้อยละฐานแห้ง)

โดยค่าความชื้นสมดุล เป็นค่าที่บอกปริมาณน้ำที่ยังหลงเหลือในผลิตภัณฑ์ภายใต้อุณหภูมิต่าง ๆ ที่เกิดภาวะสมดุลระหว่างไอน้ำในอากาศกับไอน้ำในผลิตภัณฑ์ หรือเป็นสภาวะที่ไอน้ำไม่ระเหยออกจากวัสดุเนื่องจากมีภาวะสมดุลกับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่อยู่รอบ ๆ ผลิตภัณฑ์นั้น ทั้งนี้ความชื้นสมดุลจะมีค่าแตกต่างกันเมื่อสภาพอากาศที่ใช้อบแห้งแตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตามสำหรับกรณีขมิ้นชันกรณีที่ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งนาน ค่าความชื้นในตอนเริ่มต้นจะมีค่ามากกว่าค่าความชื้นสมดุลมาก ๆ ทำให้สามารถหาอัตราส่วนความชื้นได้จากสมการที่ 3 (Ratmanee et al., 2021)

$$MR = \frac{M_t}{M_{in}} \tag{3}$$

การศึกษาอัตราการอบแห้ง (Drying rate, DR) โดยคิดจากความชื้นที่ออกจากวัสดุต่อระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง สามารถหาได้จากสมการที่ 4

$$DR = \frac{\left(M_{in} - M_f\right)W_f}{t} \quad (4)$$

โดยที่ M_f คือ ความชื้นหลังอบแห้ง (ร้อยละฐานแห้ง)

t คือ เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการอบแห้ง, ชั่วโมง

W_f คือ น้ำหนักขมิ้นชันหลังอบ, กรัม

การศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องแห้ง

สำหรับการหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยทำการติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือทดสอบเพื่อวัดค่าอุณหภูมิอากาศภายในเครื่อง อุณหภูมิอากาศแวดล้อม ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในเครื่องและอากาศแวดล้อม ระหว่างการทดสอบเป็นระยะเวลา 7 ชั่วโมง (เวลา 09:30 – 16:30 น.) ซึ่งประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีสมการความสัมพันธ์ดังสมการที่ 5 (Borah et al., 2015)

$$\eta_{sys} = \frac{m_w h_{fg}}{G_I A} \times 100 \quad (5)$$

โดยที่ η_{sys} คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้ง

m_w คือ อัตราการระเหยน้ำ, กิโลกรัมต่อวินาที

h_{fg} คือ ค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำ, กิโลจูลต่อกิโลกรัม

G_I คือ ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ยระยะเวลา 7 ชั่วโมงที่ทำการทดลอง, กิโลจูลต่อตารางเมตร

A คือ พื้นที่หน้าตัดของเครื่องอบแห้ง, ตารางเมตร

นอกจากนั้นทำการคำนวณค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption, SEC) โดยสามารถหาได้จากสมการความสัมพันธ์ดังสมการที่ 6

$$SEC = \frac{E}{m_w} \quad (6)$$

โดยที่ E คือ ค่าพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในการทดลอง, เมกะจูล

โดยสำหรับกรณีเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ค่าพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในการทดลองคำนวณจากค่าความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ยระยะเวลา 7 ชั่วโมง ที่ตกกระทบพื้นที่ในการรับแสงอาทิตย์ สำหรับเครื่องอบแห้งแบบถาดคิดจากระยะเวลาในการใช้งานเครื่องที่กำลังไฟขนาด 3 กิโลวัตต์

จากการศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งและค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะทำการวิเคราะห์ทางด้านสถิติ โดยหาค่าเฉลี่ยและเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างประเภทของเครื่องอบแห้ง โดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) ด้วยโปรแกรม SPSS เวอร์ชั่น 11.0

การศึกษาร้อยละของผลผลิตที่ได้

สำหรับการหาร้อยละของผลิตภัณฑ์อบแห้งที่ได้ โดยนำขมิ้นชันปริมาณ 700 กรัม ไปทำการอบแห้งตามระยะเวลา 7 ชั่วโมง จนผลิตภัณฑ์อบแห้งมีความชื้นร้อยละฐานแห้งไม่เกิน 12 ซึ่งมีความชื้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนสมุนไพรอบแห้ง แล้วทำการชั่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์อบแห้งที่ได้ โดยทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง ซึ่งร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสมการความสัมพันธ์ดังสมการที่ 6

$$\%Yield = \frac{W_f}{W_i} \times 100 \quad (6)$$

จากการศึกษาร้อยละของผลิตภัณฑ์อบแห้งที่ได้ทำการวิเคราะห์ทางด้านสถิติ โดยหาค่าเฉลี่ยและเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างประเภทของเครื่องอบแห้ง โดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) ด้วยโปรแกรม SPSS เวอร์ชั่น 11.0

การศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์อบแห้ง

ในการศึกษาครั้งนี้ตัวแปรที่ทำการศึกษาได้แก่ ค่าสี และปริมาณน้ำอิสระ โดยวิธีในการทดสอบมีดังต่อไปนี้

การทดสอบค่าสีของผลิตภัณฑ์ขมิ้นอบแห้ง โดยนำผลิตภัณฑ์ขมิ้นชันอบแห้งจำนวน 10 กรัม มาปั่น เป็นเวลา 30 วินาที ทำการวัดค่าสี รุ่น Chroma meter CR–400/410 โดยโหมดของเครื่องวัดสีที่ใช้คือ CIE L*a*b* จากนั้นทำการคำนวณหาค่าเฉดสี (Hue, h) และความบริสุทธิ์ของสี (Chroma, C) ได้จากสมการที่ 7 และ 8 ตามลำดับ

$$h = \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (7)$$

$$C = \sqrt{\left(a^*\right)^2 + \left(b^*\right)^2} \quad (8)$$

โดยที่ a^* คือ ค่าความเป็นสีแดง (+ a^*) และสีเขียว (– a^*)

b^* คือ ค่าความเป็นสีเหลือง (+ b^*) และสีน้ำเงิน (– b^*)

การหาปริมาณน้ำอิสระ (water activity, a_w) ด้วยเครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ รุ่น AquaLab PRE โดยนำผลิตภัณฑ์ขมิ้นชันอบแห้งจำนวน 10 กรัม มาปั่น เป็นเวลา 30 วินาที แล้วทำการวัดค่า a_w ของตัวอย่างด้วยเครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ

จากการศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์อบแห้งทำการวิเคราะห์

ทางด้านสถิติ โดยหาค่าเฉลี่ยและเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างผลิตภัณฑ์ที่อบแห้ง โดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p < 0.05) ด้วยโปรแกรม SPSS เวอร์ชั่น 11.0

ผลการวิจัย

จากการทดสอบการทำงานของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์กรณีไม่มีผลิตภัณฑ์เป็นระยะเวลา 7 ชั่วโมง (เวลา 09:30 – 16:30 น.) สำหรับการศึกษาการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ พบว่า เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระบบ Passive มีอุณหภูมิอากาศภายในเครื่องมีค่าเพิ่มขึ้นตามเวลาโดยมีค่าสูงสุดที่ 57.96 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลา 5 ชั่วโมง ของการทดลอง ทั้งนี้อุณหภูมิของอากาศภายในเครื่องเฉลี่ยทั้งวันมีค่าเท่ากับ 47.8 ± 3.9 องศาเซลเซียส นอกจากนั้นเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สามารถทำให้อุณหภูมิภายในเครื่องมีความแตกต่างจากอุณหภูมิแวดล้อมมีค่าอยู่ในช่วง 3.0 – 10.7 องศาเซลเซียส โดยที่การทดสอบมีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ย เท่ากับ 684.58 ± 56.26 วัตต์ต่อตารางเมตร สำหรับเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระบบ Active ที่ใช้ในการศึกษาความชื้นของผลิตภัณฑ์อบแห้ง อุณหภูมิอากาศภายในเครื่องมีค่าเพิ่มขึ้นตามเวลาโดยมีค่าสูงสุดที่ 58.71 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลา 3 ชั่วโมง ของการทดลอง ทั้งนี้อุณหภูมิของอากาศภายในเครื่องเฉลี่ยทั้งวันมีค่าเท่ากับ 49.0 ± 3.5 องศาเซลเซียส นอกจากนั้นเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สามารถทำให้อุณหภูมิภายในเครื่องมีความแตกต่างจากอุณหภูมิแวดล้อมมีค่าอยู่ในช่วง 5.2 – 11.5 องศาเซลเซียส โดยการทดสอบมีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ย เท่ากับ 693.21 ± 82.09 วัตต์ต่อตารางเมตร ทั้งนี้พบว่าอุณหภูมิอากาศภายในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระบบ Active มีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p < 0.05) จากเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระบบ Passive ซึ่งค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่วัดได้ในสภาวะที่ทดลองทั้งสองระบบมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p > 0.05) ดังแสดงใน Table 1

จากการทดสอบเปรียบเทียบการอบแห้งของขมิ้นชันที่เวลาต่าง ๆ ด้วยเครื่องอบแห้งที่แตกต่างกัน 3 ประเภท คือ เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระบบ Passive เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระบบ Active และเครื่องอบแห้งแบบถาด ตัวอย่างขมิ้นชันที่ใช้ในการศึกษาการอบแห้งแต่ละเครื่องมีค่าความชื้น (ร้อยละฐานแห้ง) ซึ่งค่าความชื้นของตัวอย่างเริ่มต้นไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต (p > 0.05) ดังแสดงใน Table 2 โดยการศึกษาอัตราส่วนความชื้นที่เปลี่ยนไปตามเวลา ดังแสดงใน Figure 4 พบว่า เครื่องอบแห้งแบบถาดมีการลดลงของค่าความชื้นที่รวดเร็วที่ระยะเวลาการอบ 2 ชั่วโมงแรกโดยมีค่าอัตราส่วนความชื้นต่ำกว่าเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ทั้ง 2 ระบบ เนื่องจากเครื่องจากเครื่องอบแห้งแบบถาดที่ตั้งอุณหภูมิในการอบแห้งเท่ากับ 50 องศาเซลเซียส สามารถทำให้อุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งมีค่าสม่ำเสมอตลอดการอบแห้งรวมทั้งการไหลเวียนของอากาศภายในเครื่องอบแห้งแบบถาดที่มีการช่วยให้มีการลดลงของความชื้นลงอย่างรวดเร็ว ในขณะที่การอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อุณหภูมิภายในเครื่องจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิประมาณ 40 องศาเซลเซียส จนมีอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ในระยะเวลา 2 ชั่วโมงแรก ดังแสดงใน Figure 5 ซึ่งอุณหภูมิในการอบแห้งมีผลต่อการลดลงของความชื้น และเมื่อเปรียบเทียบการลดลงของความชื้นของเครื่องอบแห้งระบบ Passive และระบบ Active พบว่า อัตราส่วนความชื้นที่เปลี่ยนไปตามเวลาของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ทั้ง 2 ระบบ มีการลดลงเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ทั้งนี้เมื่อเวลาอบแห้งผ่านไป 4 ชั่วโมง อัตราส่วนความชื้นที่เปลี่ยนไปตามเวลาของเครื่องอบแห้งทั้ง 3 เครื่องมีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกัน

Table 1 Effect of inside air temperature ($T_{in,avg}$) solar intensity ($G_{I,avg}$) and differential between inside air temperature and ambient temperature (ΔT) of 2 systems solar dryer

Type of solar heater	$T_{in,avg}$ (°C)	$G_{I,avg}$ (W/m^2)	ΔT (°C)
Passive system	47.8 ± 3.9	684.58 ± 56.26	3.0 – 10.7
Active System	49.0 ± 3.5	693.21 ± 82.09	5.2 – 11.5
t	0.0001	0.0001	–
p–value	0.001	0.792	–

Note: The mean difference is significant at p–value < 0.05

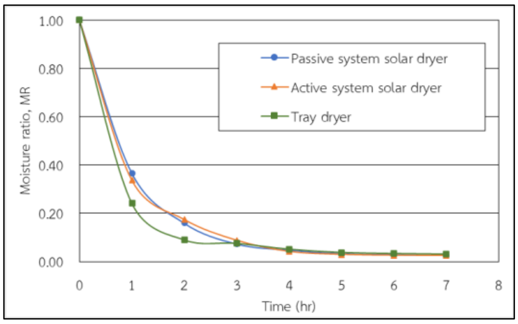


Figure 4 Drying curve during drying with passive system solar dryer, active s system solar dryer and tray dryer

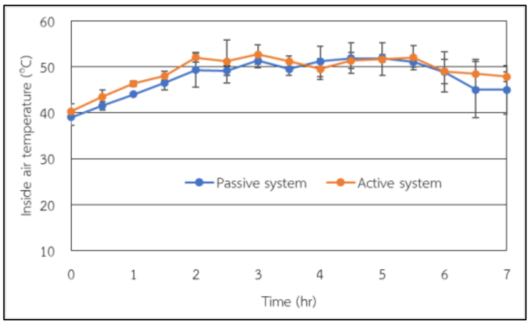


Figure 5 The inside air temperature changes with time of the solar dryer operating on both systems.

ซึ่งลดลงอย่างคงที่ ซึ่งใช้ระยะเวลาในการอบเท่ากับ 7 ชั่วโมง ที่ทำให้ค่าความชื้น (ร้อยละฐานแห้ง) ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระบบ Passive ระบบ Active และเครื่องอบแห้งแบบถาด เท่ากับ 10.60 ± 0.85, 11.43 ± 0.82 และ 11.61 ± 1.07 ตามลำดับ ซึ่งทำให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์อบแห้งเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนสมุนไพรอบแห้ง ที่กำหนดว่าความชื้น (ร้อยละฐานแห้ง) ไม่เกิน 12

สำหรับการศึกษาอัตราการอบแห้งของเครื่องอบแห้งทั้ง 3 เครื่อง ที่เปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลาในการอบแห้ง ดังแสดงใน Figure 6 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระบบ Active มีอัตราการอบแห้งสูงกว่าเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระบบ Passive และเครื่องอบแห้งอบบถาด ตลอดระยะเวลาการอบแห้ง 7 ชั่วโมง ทั้งนี้ที่ระยะเวลาการอบแห้ง 2 ชั่วโมงแรกพบว่า เครื่องอบแห้งแบบถาดมีอัตราการอบแห้งสูงกว่าเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระบบ Passive จนกระทั่งระยะเวลาในการอบแห้ง 3 ชั่วโมง พบว่าอัตราการอบแห้งมีค่าต่ำที่สุดในทั้ง 3 เครื่อง ทั้งนี้จากกราฟอัตราการอบแห้งที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาของเครื่องอบแห้งทั้ง 3 เครื่อง พบว่าความชื้นวิกฤต (critical moisture content) อยู่ที่ระยะเวลาการอบแห้งเท่ากับ 4 ชั่วโมง

จากการศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ และเครื่องอบแห้งแบบถาดในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ขมิ้นชัน เพื่อให้มีค่าความชื้นเป็นไปตามมาตรฐานซึ่งระยะเวลาในการทดสอบเท่ากันคือ 7 ชั่วโมง ในการอบแห้งซึ่งผลการศึกษาแสดงดัง Table 2

พบว่า เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระบบ Passive มีประสิทธิภาพสูงสุด มีค่าประสิทธิภาพของการอบแห้งเท่ากับ 8.77 ± 0.22 ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระบบ Active และเครื่องอบแห้งแบบถาด เนื่องจากระบบสามารถทำอุณหภูมิได้สูงจากพลังงานหมุนเวียนและไม่ต้องสิ้นเปลืองพัดลมในการดูดอากาศ และเครื่องอบแห้งแบบถาดมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำที่สุด เนื่องจากจำเป็นต้องใช้พลังงานสูงจากระบบทำความร้อนและการทำงานของพัดลม โดยประสิทธิภาพของระบบอบแห้งที่ได้มีค่าเท่ากับ 1.45 ± 0.60 ซึ่งยังมีค่าน้อยกว่าประสิทธิภาพการอบแห้งของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ทั้ง 2 ระบบ นอกจากนั้นเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระบบ Passive และ เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระบบ Active มีการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเท่ากับ 3.86 ± 0.11 เมกะจูลต่อกิโลกรัม และ 4.25 ± 0.21 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ โดยแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับเครื่องอบแห้งแบบถาด ($p < 0.05$) และเมื่อทำการศึกษาร้อยละของผลิตภัณฑ์อบแห้ง พบว่า เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระบบ Active มีค่าร้อยละของผลิตภัณฑ์อบแห้งเท่ากับ 25.99 ± 0.63 ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับ เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระบบ Passive และเครื่องอบแห้งแบบถาด

จากการศึกษาค่าปริมาณน้ำอิสระ (Water activity, a_w) ของขมิ้นชันที่ผ่านการอบแห้ง แสดงดัง Figure 7 พบว่า ค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งทั้ง 3 แบบ มีค่าน้อยกว่า 0.60 ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานอาหารแห้งที่กำหนดไว้ ทั้งนี้การอบแห้งขมิ้นชันด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ทั้ง 2 ระบบ พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่มีค่า a_w ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

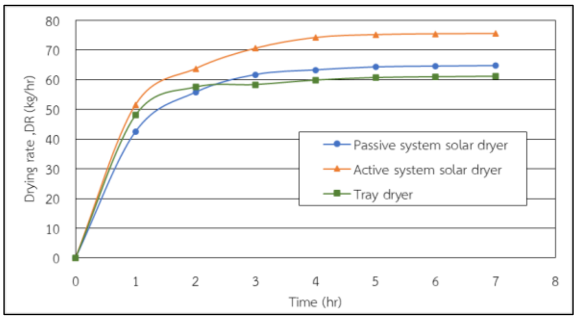


Figure 6 Drying rate during drying with passive system solar dryer, active system solar dryer and tray dryer

Table 2 The comparison of thermal efficiency, specific energy consumption and %yield in different operating dryer.

Parameters	Passive system solar dryer	Active system solar dryer	Tray dryer
Initial Moisture content (%d.b.)	459.14 ± 70.16^{ns}	444.05 ± 60.15^{ns}	420.90 ± 39.02^{ns}
Final Moisture content (%d.b.)	10.60 ± 0.85^{ns}	11.43 ± 0.82^{ns}	11.61 ± 1.07^{ns}
Drying time (hr)	7	7	7
Thermal efficiency (η_{sys})	8.77 ± 0.22^{a}	7.96 ± 0.15^{b}	1.45 ± 0.60^{c}
Specific energy consumption (MJ/kg)	3.86 ± 0.11^{b}	4.25 ± 0.21^{b}	23.34 ± 1.04^{a}
%Yield	20.72 ± 0.04^{b}	25.99 ± 0.63^{a}	21.50 ± 0.50^{b}

Note: a – c difference letter in same raw were significant difference ($p < 0.05$) ns in same raw was not statistically significant ($p > 0.05$)

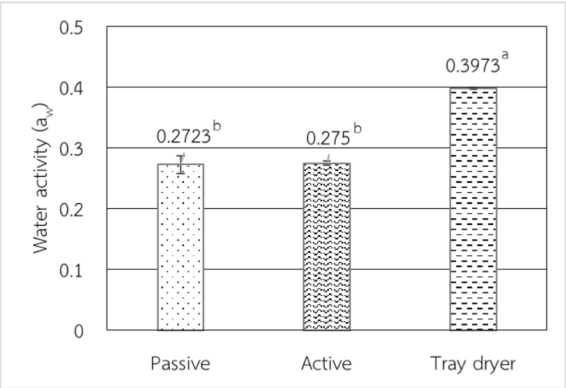


Figure 7 Water activity (aw) of dried product from in different operating dryer (a – b difference letters were significant difference ($p < 0.05$))

จากการทดสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยการทดสอบวัดค่าสีของผลิตภัณฑ์อบแห้งและทำการเปรียบเทียบความแตกต่างจากผลิตภัณฑ์ขมิ้นผงอบแห้งที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด ดังแสดงใน Table 3 และ Figure 8 พบว่า

สำหรับค่าความสว่าง (L*) การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดทำให้สีของขมิ้นมีความสว่างมากที่สุด โดยแตกต่างจากเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และแตกต่างจากท้องตลาดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งแสดงว่าการที่ผลิตภัณฑ์ได้รับแสงโดยตรงมีผลต่อความสว่างของผลิตภัณฑ์ แต่ทั้งนี้ค่าความสว่างของขมิ้นชันแห้งที่ได้จากเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระบบ Active ไม่มีความแตกต่างจากท้องตลาดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) สำหรับค่า h (Hue) ที่แสดงถึงเฉดสีของขมิ้นชัน พบว่า ขมิ้นชันทั้ง 4 ตัวอย่างมีเฉดสีเหลืองส้ม โดยการอบแห้งทั้ง 3 วิธี ค่าเฉดสีของขมิ้นชันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่มีความแตกต่างกับผลิตภัณฑ์ขมิ้นชันจากท้องตลาดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) สำหรับค่า C (Chroma) ซึ่งแสดงถึงค่าแสดงความบริสุทธิ์ของสี พบว่า การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดทำให้สีของขมิ้นมีความบริสุทธิ์ของสีมากที่สุด โดยแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) จากเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และผลิตภัณฑ์ขมิ้นชันจากท้องตลาด ทั้งนี้ขมิ้นชันที่ได้จากเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ทั้ง 2 ระบบ มีความบริสุทธิ์ของสีไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) จากผลิตภัณฑ์ขมิ้นชันท้องตลาด

Table 3 The color comparison in L* h and C parameter of dried product between different operating dryer and control (dried product from market)

Type	Color value		
	L*	h	C
Passive	62.10 ± 0.46^{b}	65.70 ± 0.20^{b}	41.16 ± 0.07^{b}
Active	61.28 ± 0.56^{bc}	66.05 ± 0.21^{b}	41.27 ± 0.43^{b}
Tray dryer	63.24 ± 0.67^{a}	66.18 ± 1.01^{b}	46.87 ± 2.61^{a}
Control	60.83 ± 0.30^{c}	71.00 ± 0.26^{a}	39.44 ± 0.96^{b}

Note: a – c difference letter in same column were significant difference ($p < 0.05$)

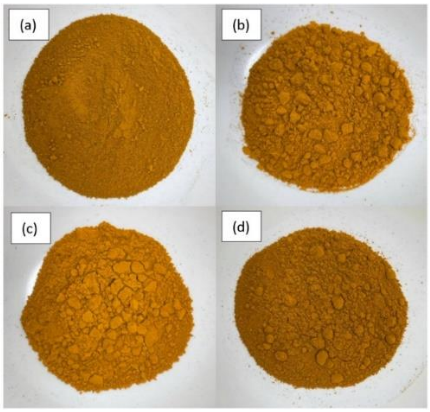


Figure 8 Dried turmeric product (a) Passive system solar dryer (b) Active system solar dryer (c) Tray dryer and (d) Dried product from market

วิจารณ์ผลการวิจัย

ขมิ้นชันมีสารประกอบทางเคมีอยู่ 2 ชนิด คือ น้ำมันหอมระเหย (Essential Oil) และ สารเคอร์คิวมินอยด์ (Curcuminoids) ซึ่งมีสมบัติเป็นสารออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ฤทธิ์ต้านการอักเสบ ฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ ฤทธิ์ต้านมะเร็ง และอื่น ๆ โดยจากข้อมูลของสำนักงานสาธารณสุขเชียงใหม่ (Chiangmai Provincial Public Health Office, 2013) สมุนไพรส่วนราก กึ่งราก ผิว ควรใช้อุณหภูมิในการอบไม่เกิน 65 องศาเซลเซียส โดยจากงานวิจัยของ Jampafuang et al. (2018) พบว่า วิธีการอบแห้งแบบระเหิดและการอบแห้งด้วยตู้พลังงานแสงอาทิตย์ทำให้มีปริมาณน้ำมันหอมระเหยสูงสุด รวมทั้งจากงานวิจัยของ Ratmanee et al. (2021) พบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้งเพิ่มขึ้น ส่งผลต่อปริมาณสารเคอร์คูมินในขมิ้นชันโดยที่อุณหภูมิอบแห้งที่ 40 องศาเซลเซียส มีปริมาณเคอร์คูมินมากที่สุด ซึ่งเห็นว่าวิธีการที่ใช้ในการอบแห้งและอุณหภูมิในการอบแห้งมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้าย นอกจากนั้นการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ถือว่าเป็นวิธีการอบแห้งที่มีต้นทุนและการใช้พลังงานต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับการอบแห้งวิธีอื่น โดยจากเครื่องแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลอง สามารถทำให้อากาศภายในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 47.8 ± 3.9 องศาเซลเซียส สำหรับระบบแบบ Passive และ 49.0 ± 3.5 องศาเซลเซียส สำหรับระบบแบบ Active ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการอบแห้งขมิ้นชันให้มีคุณภาพได้ โดยอัตราการอบแห้งที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาของขมิ้นชันเกิดขึ้นตามกราฟการอบแห้งใน Figure 6 สามารถแบ่งขั้นตอนของกระบวนการออกแห้งตามเวลาได้ดังต่อไปนี้คือที่เวลาการอบแห้ง 1 – 3 ชั่วโมง เป็นช่วงการปรับสภาวะเบื้องต้นของการอบแห้ง ซึ่งบริเวณผิวของวัสดุมีลักษณะเปียกชื้นมาก ส่งผลให้มีอัตราการทำแห้งเพิ่มมากขึ้น ที่มีการลดลงของความชื้นของผลิตภัณฑ์ลงอย่างรวดเร็ว และในช่วงการอบแห้งที่เวลา 4 – 5 ชั่วโมง เป็นช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ ความชื้นเฉลี่ยของวัสดุจะลดลงเป็นสัดส่วนกับเวลาในการอบแห้ง ซึ่งอัตราเร็วในการอบแห้งจะเริ่มลดลง และความชื้นวิกฤต (critical moisture content) อยู่ที่ระยะเวลาการอบแห้งเท่ากับ 4 ชั่วโมง และในช่วงการอบแห้งที่เวลา 6 – 7 ชั่วโมง เป็นช่วงอัตราการอบแห้งลดลง เป็นช่วงที่ความชื้นในวัสดุเหลือน้อยจนแพร่ไปยังผิวหน้าวัสดุอย่างไม่ต่อเนื่อง ผิวหน้าของวัสดุเริ่มแห้ง ทำให้อุณหภูมิที่ผิวของวัสดุสูงขึ้นเรื่อย ๆ และอัตราการทำแห้งมีค่าคงที่ ซึ่งน้ำในวัสดุไม่สามารถระเหยออกมาได้อีก โดยหลังจากช่วงเวลาดังกล่าวค่าความชื้นจะมีค่าคงที่ ถึงแม้ว่าระยะเวลาการอบแห้งมีค่าเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้ระยะเวลาในการอบแห้งเพื่อทำให้ค่าความชื้นขมิ้นชันจากการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ทั้ง 2 ระบบ และเครื่องอบแห้งแบบถาดเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนสมุนไพรอบแห้ง เท่ากับ 7 ชั่วโมง (มีความชื้นร้อยละฐานแห้งไม่เกิน 12) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ

Seanmeema et al. (2013) พบว่าเวลาที่เหมาะสมกับการอบแห้งขมิ้นชันด้วยปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิเท่ากับ 50 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 0.5 m/s ใช้เวลาในการอบแห้งเท่ากับ 400 นาที ที่ทำให้ความชื้นผลิตภัณฑ์อบแห้งเท่ากับ 10.13 (ร้อยละฐานแห้ง)

สำหรับคุณภาพของผลิตภัณฑ์อบแห้งพบว่า ค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งทั้ง 3 แบบ มีค่าน้อยกว่า 0.60 ทั้งนี้หลังอบแห้งระยะเวลา 7 ชั่วโมง ผลิตภัณฑ์จากเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีค่า aw น้อยกว่าเครื่องอบแห้งแบบถาด เนื่องจากผลของความชื้นผลิตภัณฑ์เริ่มต้นของการอบแห้งแบบถาดที่มากกว่าที่ระยะเวลาการอบแห้งเท่ากัน รวมทั้งการที่ผลิตภัณฑ์ได้รับแสงอาทิตย์โดยตรงอาจส่งผลต่ออัตราการลดลงความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์ โดยจากงานวิจัยของ Parinyanat (2016) ได้ศึกษาอัตราการอบแห้งฟักข้าวผสมมะม่วงแบบแผ่นด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ และเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาด พบว่า ที่เวลาการอบแห้งผลิตภัณฑ์เท่ากับ 7.7 ชั่วโมง ความเร็วลม 0.5 เมตรต่อวินาที อัตราการอบแห้งของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เท่ากับ 191.3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร – ชั่วโมง ในขณะที่เครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาด มีอัตราการอบแห้ง เท่ากับ 101.9 กิโลกรัมต่อตารางเมตร – ชั่วโมง ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการลดลดของปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์ คืออุณหภูมิและความเร็วลม โดยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์นั้นอุณหภูมิภายในเครื่องเพิ่มขึ้นตามปริมาณความเข้มรังสีอาทิตย์ รวมทั้งอุณหภูมิที่ผิวของผลิตภัณฑ์นอกจากเพิ่มขึ้นด้วยลมร้อนภายในเครื่อง ยังเนื่องจากดูดซับรังสีอาทิตย์เนื่องจากตัวผลิตภัณฑ์เอง สำหรับคุณภาพด้านสีของผลิตภัณฑ์ พบว่า วิธีการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์มีผลต่อค่าสีของผลิตภัณฑ์อบแห้ง โดยพบว่าค่า L* และ C มีค่าน้อยกว่าการอบแห้งแบบถาดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยค่าความสว่างของขมิ้นชันมีผลเนื่องมาจากอุณหภูมิในการอบแห้ง ซึ่งจากงานวิจัยของ Ratmanee et al. (2021) พบว่า เมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะส่งผลต่อคุณภาพค่าสีของขมิ้นชัน เนื่องจากการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง จะส่งผลทำให้รงควัตถุหรือสารให้สีถูกทำลายและสลายตัวได้ รวมทั้งมีการสลายตัวและการรวมตัวของกรดอะมิโนกับสารประกอบรีดิวส์ซิง ซึ่งความร้อนจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้เกิดเป็นปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ได้ ซึ่งการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์จะมีความผันผวนของอุณหภูมิภายในเครื่องเกิดขึ้นได้ในระหว่างวัน จึงอาจส่งผลให้มีอุณหภูมิบางช่วงเวลามีค่าสูง เมื่อเทียบกับการอบแห้งแบบถาดที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้คงที่อยู่ตลอดเวลา จึงทำให้คุณภาพค่าสีของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบแห้งด้วยเครื่อง 2 ชนิด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้การใช้เครื่องอบแห้พลังงานแสงอาทิตย์ระบบ Active ยังสามารถอบแห้งได้ผลิตภัณฑ์ที่คุณภาพด้านสี ค่า L* และ C ไม่แตกต่างจากผลิตภัณฑ์ที่จำหน่ายในท้องตลาด

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาการอบแห้งขมิ้นชันด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยเครื่องที่สร้างสามารถทำงานได้ 2 ระบบ คือระบบ Passive และระบบ Active ซึ่งสามารถทำอุณหภูมิอากาศภายในเครื่องเฉลี่ยได้ไม่เกิน 50 องศาเซลเซียส ซึ่งเหมาะสำหรับใช้ในการอบขมิ้นชัน หรือพืชจำพวกสมุนไพร ทั้งนี้ในที่ระยะเวลาในการอบแห้งเท่ากับ 7 ชั่วโมง ของเครื่องอบแห้งทั้ง 3 เครื่อง ทำให้ค่าความชื้น (ร้อยละฐานแห้ง) ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระบบ Passive ระบบ Active และเครื่องอบแห้งแบบถาด เท่ากับ 10.60 ± 0.85, 11.43 ± 0.82 และ 11.61 ± 1.07 ตามลำดับ ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน รวมทั้งเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ทั้ง 2 ระบบ ได้ผลิตภัณฑ์ขมิ้นชันอบแห้งที่มีค่า a_w ค่าน้อยกว่า 0.60 ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานอาหารแห้งที่กำหนดและมีสีเฉดสีเหลืองส้ม ซึ่งการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาประยุกต์ใช้ในการอบแห้งขมิ้นชันนั้น นอกจากเป็นการใช้ต้นทุนทางด้านพลังงานต่ำสำหรับกระบวนการอบแห้งแล้ว ยังสามารถทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพซึ่งถือว่าเป็นแนวทางหนึ่งในการเพิ่มมูลค่าและการยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์จำพวกพืชสมุนไพรได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงผ่านไปได้ด้วยดี ทีมผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณะเทคโนโลยีการเกษตรและอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงครามทุกท่าน ที่ให้ความกรุณาและช่วยเหลืออำนวยความสะดวกในการดำเนินงานวิจัยนี้เป็นอย่างดี

References

Borah, A., Hazarika, K. & Khayer, S.M. (2015). *Drying Kinetics of Whole & Sliced Turmeric Rhizomes (Curcuma longa L.) in a Solar Conduction Dryer*. Information Processing in Agriculture, 2(2), 85–92. https://doi.org/10.1016/j.inpa.2015.06.002

Chiangmai Provincial Public Health Office. (2013). *Processing manual: Thai Herb*. Accessed June 17, 2021. Retrieved from: URL:http://www.osmnorthn1.moi.go.th/it3/resource/re_pdf_file/000623_02.pdf (in Thai)

Hirko, B., Abera, S. & Mitiku, H. (2021). *Effect of Curing & Drying Methods on the Biochemical Quality of Turmeric (Curcuma longa L.) Rhizome Grown in South Western Ethiopia.* Medicinal & Aromatic Plants, 9(5), 1–8.

Jampafuang, Y., Waiprib, Y., & Tongta, A. (2018). *Effects of Drying Method on Quality of Dried Turmeric Products*. Agricultural Science Journal, 49(2), 145–148. (in Thai)

Montero, I., Blanco, J., Miranda, T., Rojas, S. & Celma, A.R., (2010). *Design, construction & performance testing of a solar dryer for agro-industrial by–products*. Energy Conversion & Management. 51(7), 1510–1521. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2010.02.009

Parinyanat, S. (2016). *Drying process of Gac–Mango fruit leather using solar dryer & tray dryer.* Accessed June 17, 2021. Availablefrom:URL:https://library.cmu.ac.th/digital_collection/etheses/fulltext.php?id=34333&word=%E0%A4%C3%D7%E8%CD%A7%CD%BA%E1%CB%E9%A7%BE%C5%D1%A7%A7%D2%B9%E1%CA%A7%CD%D2%B7%D4%B5%C2%EC&check_field=SUBJECT&select_study=&condition=2&search=9&philosophy=&master=. (in Thai)

Ramkhamhaeng University. (2007). *Herb*. Accessed June 17, 2021. Retrieved from: URL: http://old–book.ru.ac.th/e–book/b/BO216(H)/BO216–H6(H).pdf. (in Thai)

Ratmanee, P., Phitakwinai, S., Nilnont, W., & Buakaew, W. (2021). *Thin Layer Drying Kinetics of Turmeric using Hot Air Dryer*. The Journal of Industrial Technology, 17(2), 32–45. (in Thai)

Seanmeema, N., Nattapol, P., & Lamul, W. (2013). *Curcumin Drying by Heat Pump Dryer.* Journal of Science & Technology Mahasarakham University, 32(5), 631–635. (in Thai)

Singh, G., Arora, S. & Kumar, S. (2021). *Effect of Mechanical Drying Air Conditions on Quality of Turmeric Powder*. Journal of Food Science & Technology, 47, 347–350. https://doi.org/10.1007/s13197–010–0057–6

Taikhao, A., & Teekasap, S. (2013). *Natural Convection & Forced Convection Solar Dryers*. EAU Heritage Journal Science & Technology, 7(1), 23–31. (in Thai)

Thai Industrial Standard Institute. (2013). *Community Product Standard: Dried herb*. Accessed June 17, 2021. Retrieved from: URL: http://tcps.tisi.go.th/pub%5Ctcps480_47.pdf. (in Thai)

Research article

Study on Drying Turmeric by a Solar Dryer

Patcharaporn Inrirai*, Thawanrat Sumrit, Voraluck Suriwong and Surintraporn Changchai

*Faculty of Food and Agricultural Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, Muang, Phitsanulok 65000

ARTICLE INFO

Article history
Received: 3 August 2021
Revised: 6 September 2021
Accepted: 29 September 2021
Online published: 24 December 2021

Keyword
Drying,
Turmeric
Solar Energy
Solar Dryer

ABSTRACT

This research aims to study turmeric drying by solar energy. The dimension of dryer was 1×0.8 m^2, which has 2 systems were a passive system and an active system, compare with tray dryer. The turmeric was prepared in 2 mm of thickness for drying. By no products operation testing found that, an average inside air temperature in dryer were 47.8 ± 3.9°C and 49.0 ± 3.5°C, respectively. So, this temperature was suitable for turmeric drying. From the study of drying time found that the drying time was 7 hours in all types of dryers (2 systems solar dryer, tray dryer), which a moisture content of the product is according to a dried herb standard. The moisture content of dried product was 10.60 ± 0.85, 11.43 ± 0.82 and 11.61 ± 1.07 dry basis, respectively. and a thermal efficiency of drying system was investigated. The passive solar dryer had high thermal efficiency at 8.77 ± 0.22, so that, yield of drying product of all drying types were 20.72 ± 0.04, 25.99 ± 0.63 and 21.50 ± 0.50, respectively. Moreover, a quality of drying product was studied. For aw parameter. The value was less than 0.60 in all drying types and was according to the standard. For a color value found that all four samples of dried turmeric were shades of yellow orange. However, using an active system solar dryer can dry products with color L* and C values are not different from products in the market.

*Corresponding author
E-mail address: patcharaporn.in@psru.ac.th (P. Inrirai)
Online print: 24 December 2021 Copyright © 2021. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. https://doi.org/10.14456/paj.2021.25

PRAWARUN AGRICULTURAL JOURNAL

https://li01.tci-thaijo.org/index.php/pajrmu/index

บทความวิจัย

ผลของความเข้มข้นสูตรอาหารและสารควบคุมการเจริญเติบโตต่อการขยายพันธุ์กาบหอยแครง (*Dionaea muscipula*) ในสภาพปลอดเชื้อ

โสภา ชูเพ็ง[1*] มนทิรา ไชยตะญาภูร[1] และ สุวรรณษา ชูเชิด[2]

[1]สาขาวิชานวัตกรรมเกษตรเพื่อความยั่งยืน คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต อำเภอเมือง จังหวัดภูเก็ต 83000

[2]สาขาวิทยาศาสตร์การเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อำเภอทุ่งสง จังหวัดนครศรีธรรมราช 80110

ข้อมูลบทความ

Article history

รับ: 7 กรกฎาคม 2564

แก้ไข: 5 ตุลาคม 2564

ตอบรับการตีพิมพ์: 2 ธันวาคม 2564

ตีพิมพ์ออนไลน์: 24 ธันวาคม 2564

คำสำคัญ

กาบหอยแครง

สารควบคุมการเจริญเติบโต

การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ

บทคัดย่อ

กาบหอยแครง (*Dionaea muscipula*) เป็นพืชกินแมลงที่มีลักษณะเฉพาะตัวโดดเด่น ทำให้ได้รับความนิยมจากผู้ปลูกเลี้ยง และมีสารสำคัญ plumbagin มีคุณสมบัติเป็นสารต้านมะเร็ง การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อกาบหอยแครง เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการเพิ่มปริมาณต้นกาบหอยแครง การวิจัยนี้จึงศึกษาความเข้มข้นของอาหาร และสารควบคุมการเจริญเติบโตที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงกาบหอยแครงในสภาพปลอดเชื้อ โดยเพาะเลี้ยงต้นกล้ากาบหอยแครงบนอาหารสูตร $^1/_2$ Murashige and Skoog (MS) $^1/_3$ MS และ $^1/_4$ MS ร่วมกับสารควบคุมการเจริญเติบโต benzyl adenine (BA) ความเข้มข้น 0 และ 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร Naphthalene acetic (NAA) ความเข้มข้น 0 และ 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังจากเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า การเพาะเลี้ยงบนอาหาร สูตร $^1/_4$ MS เติม BA 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร มีแนวโน้มเพิ่มน้ำหนักสด ขนาดทรงพุ่ม และความยาวใบได้มากที่สุด ในขณะที่ อาหารสูตร $^1/_3$ MS เติม BA 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร มีแนวโน้มเพิ่มจำนวนยอดได้มากที่สุด ต้นกล้ากาบหอยแครงมีอัตรารอด 88.88 เปอร์เซ็นต์ หลังอนุบาล 1 เดือน

บทนำ

กาบหอยแครง (venus flytrap) ชื่อวิทยาศาสตร์ *Dionaea muscipula* เป็นพืชกินแมลงที่ใกล้สูญพันธุ์ชนิดหนึ่ง มีถิ่นกำเนิดในสหรัฐอเมริกา (Slack, 1981) จัดอยู่ในวงศ์ Droseraceae เป็นพืชล้มลุกขนาดเล็ก ทรงพุ่มเตี้ย ลำต้นเป็นกาบอยู่เหนือดิน กาบกลมคล้ายกาบหอยคู่มีสีสันแตกต่างกันไปตามแต่ละสายพันธุ์และปริมาณแสงแดดที่ได้รับ ที่ส่วนปลายกาบจะมีซี่แบบฟันปลาประมาณ 15 – 20 ซี่ บริเวณขอบแถวซี่ฟันมีแถบเล็กๆ ผลิตน้ำหวานไว้ดึงดูดแมลง และด้านในกาบจะมี trigger hairs เมื่อมีเหยื่อมาสัมผัสทำให้กาบหุบกักเหยื่อไว้ ด้วยลักษณะเฉพาะตัวที่โดดเด่น ทำให้ได้รับความนิยมในหมู่ผู้ปลูกเลี้ยงพืชกินแมลง มีรายงานว่า กาบหอยแครงมีสาร plumbagin ที่เป็นประโยชน์ในด้านเป็นยาต้านมะเร็ง (Pakulski & Budzianowski, 1996; Gaascht et al., 2013) ในธรรมชาติกาบหอยแครงเจริญเติบโตในสภาพดินกรด ที่ลุ่ม และมีสภาพดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ การขยายพันธุ์เพื่อการค้าทำได้โดยวิธีการเพาะเมล็ด ปักชำใบ ต้องใช้ระยะเวลานานและได้ปริมาณน้อย ตลอดจนบางพันธุ์ปลูกเลี้ยงยากในสภาพอากาศร้อน ดังนั้นการใช้เทคนิคเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช จึงเป็นทางเลือกที่ดีอย่างหนึ่งในการขยายพันธุ์ ปรับปรุงพันธุ์ และอนุรักษ์พันธุกรรมพืช ในการเพิ่มปริมาณต้นกาบหอยแครงเพื่อใช้ในการผลิตยาต้านมะเร็ง ต้องผ่านกระบวนการปรับปรุงพันธุ์เพื่อให้ได้ต้นที่มีสารสำคัญในปริมาณสูง หรือปรับปรุงพันธุ์ให้สามารถปลูกเลี้ยงและเจริญเติบโตได้ในประเทศไทย Makowski et al., (2021) การปลูกถ่ายยีนกาบหอยแครงเพื่อเพิ่มปริมาณสารประกอบฟีโนลิก Hook (2001) รายงานว่ากาบหอยแครงที่เลี้ยงบนอาหารปราศจากสารควบคุมการเจริญเติบโต ผลิตสาร plumbagin 5.3% และเซลล์แขวนลอยสีแดงของกาบหอยแครง

[*] Corresponding author
E-mail address: sopa.c@pkru.ac.th (S. Choopeng)
Online print: 24 December 2021 Copyright © 2021. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. https://doi.org/10.14456/paj.2021.26

ที่เลี้ยงในอาหารสูตร McCown Woody Plant (McC) ผลิต plumbagin 2.59% หลังเลี้ยงเป็นเวลา 30 วัน นอกจากนี้ มีรายงานเกี่ยวกับเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อกาบหอยแครงโดยใช้ชิ้นส่วนต่าง ๆ เช่น ชิ้นส่วนใบ (Beebe, 1980; Parliman et al., 1982a; Minocha, 1985; Jala & Paitoon 2013; Khamrit & Kanpoo, 2018) ไรโซม (Paliman et al., 1982b) ปลายยอด (Hutchison, 1984; Jang et al., 2003) และก้านช่อดอก (Teng, 1999) เป็นต้น สำหรับการศึกษานี้เป็นการศึกษาผลของการลดปริมาณธาตุอาหารหลักของอาหารสูตร Murashige & Skoog (MS) และการเติมหรือไม่เติม benzyl adenine (BA) ร่วมกับ Naphthalene acetic (NAA) ต่อการเจริญเติบโตของกาบหอยแครงในสภาพปลอดเชื้อ และอัตรารอดชีวิตภายหลังการอนุบาลเป็นเวลา 1 เดือน

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

การศึกษาผลการลดปริมาณธาตุอาหารหลักต่อการเจริญเติบโตของกาบหอยแครง

นำต้นกล้ากาบหอยแครงในสภาพปลอดเชื้อ ได้จากการเลี้ยงชิ้นส่วนยอดบนอาหารสูตร $^1/_2$ Murashige and Skoog medium (MS) ไม่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโต เป็นเวลา 2 เดือน คัดเลือกต้นที่มีขนาดความสูง 1 เซนติเมตร วางเลี้ยงเพื่อหาสูตรอาหารที่เหมาะสมดังนี้ คือ สูตรอาหารที่ลดปริมาณธาตุอาหารหลักสูตร $^1/_2$ MS, $^1/_3$ MS และ $^1/_4$ MS ที่ปราศจากสารควบคุมการเจริญเติบโต และสูตรอาหารเติม Benzyl adenine (BA) เข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือเติม BA เข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ Naphthalene acetic (NAA) เข้มข้น 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร อาหารทุกสูตรเติม Glycine 2 มิลลิกรัมต่อลิตร Nicotinic acid 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร Pyridoxine HCl 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร Thiamine HCl 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร Myo–inositol 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ซูโครส 30 กรัมต่อลิตร ปรับค่าความเป็นกรด – ด่าง เป็น 5.70 เติม phytagel 1.8 กรัมต่อลิตร นึ่งฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งอัดไอน้ำ อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ๆ ละ 10 ขวด ๆ ละ 1 ต้น วางเลี้ยงที่อุณหภูมิ 26 ± 2 องศาเซลเซียส ความเข้มแสงประมาณ 2,500 ลักซ์ ให้แสง 18 ชั่วโมงต่อวัน เป็นเวลา 8 สัปดาห์ บันทึกผลน้ำหนักสด ขนาดทรงพุ่ม จำนวนยอด จำนวนใบ ความยาวใบ จำนวนราก และความยาวราก วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) วิเคราะห์ค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan’s New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) ด้วยโปรแกรม Sirichai statistics 2014 เวอร์ชัน 7.0

การศึกษาผลการลดปริมาณธาตุอาหารหลักต่ออัตรารอดชีวิตของกาบหอยแครง

นำต้นกล้ากาบหอยแครงที่ได้จากการศึกษาที่ 1 ออกอนุบาลในตะกร้าพลาสติกด้วยวัสดุปลูก ประกอบด้วย เพอร์ไลท์ : สแฟกนัมมอส : พีทมอส อัตราส่วน 4 : 2 : 1 ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ๆ ละ 3 ต้น วางไว้ในโรงเรือนอนุบาล อุณหภูมิประมาณ 28 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ ให้น้ำแบบพ่นหมอก วันละ 3 ครั้ง เป็นเวลา 1 เดือน บันทึกผลอัตรารอดชีวิต วิเคราะห์ค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) ด้วยโปรแกรม Sirichai statistics 2014 เวอร์ชัน 7.0

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

การศึกษาผลการลดปริมาณธาตุอาหารหลักต่อการเจริญเติบโตของกาบหอยแครง

จากการเพาะเลี้ยงต้นกล้ากาบหอยแครงบนอาหารสูตร $^1/_2$ MS, $^1/_3$ MS, $^1/_4$ MS และการเติมหรือไม่เติม BA และ NAA เป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า กาบหอยแครงมีน้ำหนักสดและขนาดทรงพุ่ม 2,707.78 มิลลิกรัม และ 4.78 เซนติเมตร ตามลำดับ มีแนวโน้มให้ค่าสูงสุดเมื่อวางเลี้ยงบนอาหารสูตร $^1/_4$ MS เติม BA เข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร นอกจากนี้ พบว่า การเติม BA เข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร เพียงอย่างเดียวในทุกสูตรอาหาร ส่งเสริมการเพิ่มขึ้นของจำนวนยอด น้ำหนักสด และขนาดทรงพุ่มของกาบหอยแครง เมื่อเปรียบเทียบค่าที่ได้ทางสถิติ พบว่า ไม่มีความแตกต่างกัน ดัง Table 1 และ Figure 1 ในทำนองเดียวกัน Wongchaochant & Phumphothong (2015) รายงานว่า กาบหอยแครงที่เพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร $^1/_2$ MS เติม BA 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร มีความสูงต้นที่เพิ่มขึ้น Jala & Paitoon (2013) เพิ่มจำนวนกาบหอยแครงด้วยการเพาะเลี้ยงชิ้นส่วนกาบและใบอ่อนบนอาหารสูตร $^1/_2$ MS ร่วมกับ BA เข้มข้น 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ค่าเฉลี่ยปริมาณแคลลัสสูงที่สุด และเมื่อย้ายลงอาหารสูตรเดิมอีก 3 ครั้ง ทุก 3 สัปดาห์ พบว่า อาหารสูตร $^1/_2$ MS เติม BA เข้มข้น 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่งเสริมให้แคลลัสพัฒนาเกิดเป็นต้นและรากได้สูงสุด ในขณะที่ Jang et al. (2003) รายงานว่า สามารถเพิ่มปริมาณยอดกาบหอยแครงได้มากที่สุดบนอาหารสูตร $^1/_3$ MS เติมไคเนติน เข้มข้น 2.3 ไมโครโมลาร์ ค่า pH 5.5 และอาหารสูตร $^1/_3$ MS เติม IBA 0.5 ไมโครโมลาร์ เหมาะสำหรับการชักนำราก เกิดรากหลังวางเลี้ยงเป็นเวลา 5 – 6 สัปดาห์

จากการศึกษานี้ พบว่า กาบหอยแครงมีแนวโน้มจำนวนใบต่อกอมากที่สุดเมื่อวางเลี้ยงบนอาหารสูตร $^1/_2$ MS, $^1/_3$ MS และ $^1/_4$ MS ปราศจากสารควบคุมการเจริญเติบโต ทำนองเดียวกับ Jang et al. (2003) ศึกษาเปรียบเทียบอาหารสูตร MS และการลดปริมาณธาตุอาหารหลักสูตร $^1/_3$ MS, $^1/_6$ MS และ $^1/_9$ MS พบว่าสามารถเพิ่มจำนวนใบและความยาวใบของกาบหอยแครงได้ดีที่สุดเมื่อวางเลี้ยงยอดกาบหอยแครงบนอาหารสูตร $^1/_3$ MS Hutchison (1984) รายงานการเพิ่มปริมาณต้นกาบหอยแครงบนอาหารสูตร Linsmaier & Skoog (1965) เติมไคเนติน เข้มข้น 10 ไมโครโมลาร์

และ NAA เข้มข้น 0.5 ไมโครโมลาร์ และรายงานเพิ่มเติมว่า ไคเนตินมีประสิทธิภาพในการเพิ่มปริมาณยอดกาบหอยแครงได้ดีกว่า benzyl aminopurine (BAP) รวมทั้ง ค่าความเป็นกรด – ด่างของอาหารที่เหมาะสม คือ 5.7 การลดปริมาณไนโตรเจนในอาหารลง โดยการลดปริมาณธาตุอาหารหลักลงครึ่งหนึ่งหรือหนึ่งต่อสี่ ทำให้ปริมาณต้นใหม่ที่จะได้ลดลง ซึ่งสามารถทดแทนด้วยการเติมเคซีนไฮโดรไลเสท

จากการศึกษาผลของสูตรอาหารต่อการเกิดราก พบว่า ต้นกาบหอยแครงที่เลี้ยงบนอาหารสูตร $^{1}/_{2}$ MS, $^{1}/_{3}$ MS และ $^{1}/_{4}$ MS ปราศจากสารควบคุมการเจริญเติบโต มีอัตราการเกิดรากมากกว่ายอดที่เลี้ยงในสูตรอาหารที่มีการเติม BA หรือเติม BA ร่วมกับ NAA สอดคล้องกับ Wongchaochant & Phumphothong (2015) รายงานการชักนำให้เกิดรากของยอดที่เลี้ยงในอาหารสูตร MS และ $^{1}/_{2}$ MS ปราศจากสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช มีอัตราการเกิดรากมากกว่ายอดที่เลี้ยงในสูตรอาหารที่มีการเติม BA ในขณะที่ Khamrit & Kanpoo (2018) เพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อกาบหอยแครงจากชิ้นส่วนใบอ่อน เป็นเวลา 90 วัน พบว่า ชิ้นส่วนใบอ่อนของกาบหอยแครงเกิดต้นสูงสุดบนสูตรอาหาร $^{1}/_{2}$ MS ที่ปราศจากสารควบคุมการเจริญเติบโต มีเปอร์เซ็นต์การเกิดต้น 100 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำต้นกาบหอยแครงมาเพาะเลี้ยงบนสูตรอาหาร $^{1}/_{2}$ MS เติม NAA ความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 30 วัน พบว่าต้นกาบหอยแครงเกิดรากได้ดีที่สุด มีเปอร์เซ็นต์การเกิดรากเท่ากับ 88.89 เปอร์เซ็นต์ จำนวนรากเฉลี่ย 6.22 ± 0.22 รากต่อต้น

การศึกษาผลการลดปริมาณธาตุอาหารหลักต่ออัตรารอดชีวิตของกาบหอยแครง

จากการศึกษานี้ พบว่า หลังจากนำต้นกล้ากาบหอยแครงออกอนุบาลด้วยวัสดุปลูก ประกอบด้วยเพอร์ไลท์ : สแฟกนัมมอส : พีทมอส อัตราส่วน 4 : 2 : 1 เป็นเวลา 1 เดือน พบว่า อัตรารอดชีวิตของต้นกล้าจากการวางเลี้ยงบนอาหารสูตร $^{1}/_{3}$ MS และ $^{1}/_{4}$ MS เติมหรือไม่เติม BA และ NAA ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ต้นกล้าจากการวางเลี้ยงบนอาหารสูตร $^{1}/_{3}$ MS ปราศจากสารควบคุมการเจริญเติบโต มีแนวโน้มอัตรารอดชีวิตสูงสุดเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ดัง Table 2 และ Figure 2 ในขณะที่ Jang et al. (2003) รายงานว่า อาหารที่เหมาะสำหรับการชักนำรากกาบหอยแครง คือ สูตร $^{1}/_{3}$ MS เติม IBA เข้มข้น 0.5 ไมโครโมลาร์ เกิดรากหลังวางเลี้ยงเป็นเวลา 5 – 6 สัปดาห์ ย้ายต้นกล้าออกอนุบาลด้วยพีทมอสและทราย อัตราส่วน 1 ต่อ 1 มีอัตรารอด 100 เปอร์เซ็นต์

Table 1 Effect of medium supplemented with BA and NAA on growth and development of venus flytraps after 8 weeks culture

Medium	BA (mg/L)	NAA (mg/L)	Fresh weight (mg)	Shoot size (cm)	Shoot number (shoots/ explant)	Leaf number (leaves/ explant)	Leaf length (cm)	Root number roots/ explant)	Root length (cm)
$^{1}/_{2}$MS	–	–	1,321.1^{C}	2.96^{AB}	12.78^{B}	82.56^{A}	1.32^{C}	13.89^{A}	1.11^{B}
$^{1}/_{2}$MS	0.5	–	1,877.78^{ABC}	3.50^{AB}	16.00^{A}	45.55^{B}	2.02^{ABC}	0.78^{D}	0.23^{CD}
$^{1}/_{2}$MS	0.5	0.1	982.22^{C}	2.87^{AB}	4.11^{D}	20.11^{C}	1.33^{C}	2.00^{CD}	0.39^{C}
$^{1}/_{3}$MS	–	–	1,534.45^{BC}	3.25^{AB}	9.44^{C}	75.89^{A}	1.71^{BC}	7.85^{B}	1.63^{A}
$^{1}/_{3}$MS	0.5	–	2,454.44^{AB}	4.64^{A}	16.56^{A}	52.00^{B}	2.58^{AB}	2.11^{CD}	0.54^{C}
$^{1}/_{3}$MS	0.5	0.1	971.11^{C}	2.33^{B}	4.55^{D}	17.78^{C}	1.22^{C}	4.33^{C}	1.27^{B}
$^{1}/_{4}$MS	–	–	1,755.83^{ABC}	3.40^{AB}	9.11^{C}	74.28^{A}	1.78^{BC}	11.47^{A}	1.61^{A}
$^{1}/_{4}$MS	0.5	–	2,707.78^{A}	4.78^{A}	13.67^{AB}	56.00^{B}	2.88^{A}	0.33^{D}	0.00^{D}
$^{1}/_{4}$MS	0.5	0.1	1,694.45^{BC}	3.83^{AB}	5.67^{D}	21.55^{C}	1.85^{ABC}	0.89^{D}	0.00^{D}
C.V.(%)			22.24	22.04	17.48	22.03	30.96	33.35	25.12
F–Test			*	*	*	*	*	*	*

* Significant difference at $p < 0.05$.

Means followed by the same letter within each column are not significantly different according to DMRT.

Figure 1 Venus flytrap at 8 weeks after cultured on different medium

Table 2 Survival rate of venus flytrap plantlets from micropropagation after 1 month acclimatization

Medium	BA (mg/L)	NAA (mg/L)	Seedling	Survival Number	Survival rate (%)
$^{1}/_{2}$MS	–	–	9	5	55.33^{B}
$^{1}/_{2}$MS	0.5	–	9	3	33.33^{B}
$^{1}/_{2}$MS	0.5	0.1	9	5	55.55^{B}
$^{1}/_{3}$MS	–	–	9	9	100.00^{A}
$^{1}/_{3}$MS	0.5	–	9	8	88.88^{A}
$^{1}/_{3}$MS	0.5	0.1	9	8	88.88^{A}
$^{1}/_{4}$MS	–	–	9	8	88.88^{A}
$^{1}/_{4}$MS	0.5	–	9	8	88.88^{A}
$^{1}/_{4}$MS	0.5	0.1	9	8	88.88^{A}
C.V.(%)					22.17
F–Test					*

* Significant difference at $p < 0.05$.

Means followed by the same letter within each column are not significantly different according to DMRT.

Figure 2 Venus flytrap plantlets from micropropagation after 1 month acclimatization

สรุป

จำนวนใบต่อกอของกาบหอยแครงมีแนวโน้มให้ค่าสูงที่สุดเมื่อวางเลี้ยงบนอาหารสูตร $^{1}/_{2}$ MS $^{1}/_{3}$ MS และ $^{1}/_{4}$ MS ปราศจากสารควบคุมการเจริญเติบโต และมีอัตราการเกิดรากมากกว่ายอดที่เลี้ยงในสูตรอาหารที่มีการเติม BA หรือเติม BA ร่วมกับ NAA การเติม BA เข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร เพียงอย่างเดียวในทุกสูตรอาหาร ส่งผลให้มีแนวโน้มจำนวนยอด น้ำหนักสด และขนาดทรงพุ่มของกาบหอยแครงเพิ่มสูงที่สุด อาหารที่เหมาะสำหรับการเพิ่มปริมาณต้นกาบหอยแครงในสภาพปลอดเชื้อ คือ สูตร $^{1}/_{3}$ MS เติม BA เข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถเพิ่มจำนวนยอด น้ำหนักสด ขนาดทรงพุ่ม และความยาวใบได้ดี และต้นมีอัตรารอดชีวิต 88.88 เปอร์เซ็นต์หลังอนุบาล 1 เดือน

กิตติกรรมประกาศ

ขอบคุณ คุณเสาวรส วงษ์ใหญ่ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการกลาง คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต ที่อนุเคราะห์เครื่องมือและอุปกรณ์ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้

References

Beebe J.D. (1980). Morphogenetic responses of seedlings & adventitious buds of the carnivorous plant *Dionea muscipula* in aseptic culture. *Botanical Gazette*, 141, 396–400.

Gaascht, F., Dicato, M. & Diederich, M. (2013). Venus Flytrap (*Dionaea muscipula* Solander ex Ellis) Contains Powerful Compounds that Prevent & Cure Cancer. *Frontiers in oncology*, 3, 202, 1–18.

Hook, I.L. (2001). Naphthoquinone contents of in vitro cultured plants & cell suspensions of *Dionaea muscipula* & *Drosera* species. *Plant Cell, Tissue & Organ Culture*, 67, 281–285.

Hutchinson, J.F. (1984). *In vitro* propagation of *Dionaea muscipula* Ellis (venus flytrap). *Scientia horticulturae*, 22(1–2), 189–194.

Jala, A. & S, Paitoon. (2013). Micropropagation of *Dionaea muscipula* by Tissue Culture. *Thai Journal of Science & Technology*, 2(2), 134–139. (in Thai)

Jang, G.W., Kim, K.S., & Park, R.D. (2003). Micropropagation of venus flytrap by shoot culture. *Plant Cell, Tissue & Organ Culture*, 72(1), 95–98.

Khamrit, R. & Kanpoo, N. (2018). Shoot & Root Induction in Venus flytrap (*Dionaea muscipula* Soland. ex Ellis) Under Sterile Conditions. *Agricultural Science Journal*, 49, 3 (Suppl.), 154–159. (in Thai)

Linsmaier E.M. & Skoog F. (1965). Organic growth factor requirements of tobacco tissue culture. *Physiologia Plantarum*, 18, 100–127.

Makowski, W., Królicka, A., Nowicka, A. Zwyrtková, J., Tokarz, B., Pecinka, A., Banasiuk , R. & Tokarz, K.M. (2021). Transformed tissue of *Dionaea muscipula* J. Ellis as a source of biologically active phenolic compounds with bactericidal properties. *Applied Microbiology & Biotechnology*, 105, 1215–1226.

Minocha S.C. (1985). *In Vitro* propagation of *Dionaea muscipula*. *Journal American Society for Horticultural Science*, 20, 216–217.

Pakulski G. & Budzianowski J. (1996). Ellagic acid derivatives & naphthoquinones of *Dionaea muscipula* from in vitro cultures. *Phytochemistry*, 41, 775–778.

Parliman B.J., Evans P.T. & Mazur A.R. (1982a). Adventitious bud differentiation & development in leaf culture of *Dionaea muscipula* Ellis ex. L. (venus flytrap) cultured *in vitro*. *Journal American Society for Horticultural Science*, 107, 310–316.

Parliman B.J., Evans P.T. & Rupert E.A. (1982b). Tissue culture of single rhizome explant of *Dionaea muscipula* Ellis ex. L., the venus Flytrap, for rapid asexual propagation. *Journal American Society for Horticultural Science*, 107, 305–310.

Slack A. (1981). Carnivorous Plants. Massachusetts: MIT Press.

Teng W.L. (1999) Source, etiolation & orientation of explants affect *in vitro* regeneration of venus flytrap (*Dionaea muscipula*). *Plant Cell Reports*, 18, 363–368.

Wongchaochant, S. & Phumphothong, S. (2015). In vitro Micropropagation of Venus Flytrap (*Dionaea muscipula* Soland. ex Ellis). *In Proceedings of 53rd Kasetsart University Annual Conference: Plants, Animals, Veterinary Medicine, Fisheries, Agricultural Extension & Home Economics* : Vol. 38 (pp. 598–605). Bangkok (Thailand): The Thailand Research Fund, Bangkok (Thailand). (in Thai)

Research article

Effect of Medium Strength and Plant Growth Regulators on Micropropagation of Venus Flytrap (*Dionaea muscipula*)

Sopa Choopeng[1*], Montira Chaitayakoon[1] and Suwansa Chuchert[2]

[1]*Program in Sustainable Agricultural Innovation, Faculty of Agricultural Technology, Phuket Rajabhat University, Mueang, Phuket 83000*

[2]*Department of Agricultural Science, Faculty of Agriculture, Rajamangala University of Technology Srivijaya Nakhon Si Thammarat campus, Thung Song, Nakhon Si Thammarat 80110*

ARTICLE INFO

Article history
Received: 7 July 2021
Revised: 5 October 2021
Accepted: 2 December 2021
Online published: 24 December 2021

Keyword
Venus flytrap
Plant growth regulators
Micropropagation

ABSTRACT

Venus flytrap (*Dionaea muscipula*) is a popular carnivorous plant among growers because of special characteristics and effective plumbagin preventing emergence and development of cancer. Micropropagation of venus flytrap is considered as useful method to produce large amount of venus flytrap population. In this research, effect of medium strength and plant growth regulators concentration on micropropagation of venus flytrap were investigated to specify the optimum of them. The venus flytrap plantlets were cultured on $^1/_2$ Murashige and Skoog medium (MS), $^1/_3$ MS, and $^1/_4$ MS medium supplemented with benzyl adenine (BA) at concentrations of 0 and 0.5 mg/L including Naphthalene acetic (NAA) at concentrations of 0 and 0.1 mg/L. After 8 weeks culture, the results showed that the plantlets cultured on $^1/_4$ MS medium supplemented with 0.5 benzyl adenine (BA) have a tendency to produce the highest fresh weight, shoot size, and leaf length. Besides, the plantlets cultured on $^1/_3$ MS medium supplemented with 0.5 mg/L of benzyl adenine (BA) have a tendency to produce the highest shoot number. The plantlets have a survival rate at 88.88% after 1 month acclimatization.

*Corresponding author
E-mail address: sopa.c@pkru.ac.th (S. Choopeng)
Online print: 24 December 2021 Copyright © 2021. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. https://doi.org/10.14456/paj.2021.26

PRAWARUN AGRICULTURAL JOURNAL
https://li01.tci-thaijo.org/index.php/pajrmu/index

บทความวิจัย

ผลของปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์–ทรี ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโต ผลผลิตและคุณภาพในการผลิตมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 และเกษตรศาสตร์ 50 ในชุดดินโคราช

นิมิตร วงศ์สุวรรณ* พีระยศ แข็งขัน และ นริศ สินศิริ

**ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150*

ข้อมูลบทความ

Article history
รับ: 1 พฤศจิกายน 2564
แก้ไข: 12 พฤศจิกายน 2564
ตอบรับการตีพิมพ์: 5 ธันวาคม 2564
ตีพิมพ์ออนไลน์: 24 ธันวาคม 2564

คำสำคัญ
ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์ – ทรี
ปุ๋ยอินทรีย์
ปุ๋ยเคมี
มันสำปะหลัง
ชุดดินโคราช

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีการจัดการปุ๋ยแบบผสมผสานที่เหมาะสมกับการผลิตมันสำปะหลังในชุดดินโคราช วางแผนการทดลองแบบ Split split plot design มี 3 ซ้ำ ปัจจัยหลัก (Main plot) คือ ไม่ใส่และใส่ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์–ทรี ปัจจัยรอง (Sub plot) คือ มันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 และเกษตรศาสตร์ 50 และปัจจัยย่อย (Sub sub plot) เป็นปุ๋ย 6 ตำรับ ผลการศึกษาพบว่า การใส่ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์–ทรี ทำให้มันสำปะหลังมีผลผลิตหัวมันสดเพิ่มขึ้นร้อยละ 13.89 เมื่อเทียบกับการไม่ใส่ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์–ทรีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (p < 0.01) มันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 มีผลผลิตหัวมันสดมากกว่าพันธุ์ระยอง 9 ร้อยละ 18.06 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (p < 0.01) ตำรับปุ๋ยมีผลทำให้ผลผลิตหัวมันสดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (p < 0.01) โดยการใส่ปุ๋ยอินทรีย์มูลไก่แกลบ 500 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับปุ๋ยเคมี 16 – 8 – 16 กิโลกรัมต่อไร่ของ N – P_2O_5 – K_2O ให้ผลผลิตหัวมันสดสูงสุด 6,794 กิโลกรัมต่อไร่ และพบอิทธิพลร่วมระหว่างปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์–ทรีกับตำรับปุ๋ยต่อผลผลิตหัวมันสด โดยการใส่ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์–ทรีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์มูลไก่แกลบ 500 กิโลกรัมต่อไร่และปุ๋ยเคมี 8 – 4 – 8 กิโลกรัมต่อไร่ของ N – P_2O_5 – K_2O ให้ผลผลิตหัวมันสดสูงสุด 7,470 กิโลกรัมต่อไร่ จากผลการศึกษานี้การใส่ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์–ทรี ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์มูลไก่แกลบอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ในชุดดินโคราชช่วยลดปุ๋ยเคมีได้ร้อยละ 50 ของอัตราแนะนำ

บทนำ

มันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศ สามารถทำรายได้จากการส่งออกไปยังประเทศต่างๆ ทั่วโลก คิดเป็นมูลค่าไม่น้อยกว่า 40,000 ล้านบาทต่อปี จากการสำรวจภาวะการผลิตและการค้ามันสำปะหลังปี 2560/2561 ของสมาคมที่เกี่ยวข้องกับการค้ามันสำปะหลังร่วมกับหน่วยงานราชการกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ในพื้นที่ที่เป็นแหล่งปลูกมันสำปะหลัง 50 จังหวัดทั่วประเทศ พบว่ามีพื้นที่เก็บเกี่ยว 8.07 ล้านไร่ ลดลงจากปีที่แล้ว 9.39% และมีผลผลิตรวม 28.57 ล้านตัน ลดลง 7.66% จากปีก่อนที่มีผลผลิต 30.93 ล้านตัน และมีผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่เพิ่มขึ้นจาก 3.47 ตันต่อไร่ เป็น 3.54 ตันต่อไร่ (Prachachat Business, 2017) ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ของประเทศจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่เกษตรกรยังขาดทุนเนื่องจากราคาผลผลิตมันสำปะหลังตกต่ำ ต้นทุนการผลิตสูง ในปัจจุบันการปลูกมันสำปะหลังในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นการผลิตที่พึ่งพาการใช้ปุ๋ยเคมีเพื่อให้ได้ผลผลิตเพียงพอกับความต้องการของตลาดที่เพิ่มขึ้นทั้งในและต่างประเทศ จึงทำให้เกษตรกรมีพฤติกรรมการใช้ปุ๋ยเคมีในปริมาณมากเกินความต้องการของพืชและใช้อย่างต่อเนื่องเพื่อเร่งการเจริญเติบโต (Department of Agriculture, 2012) ซึ่งการใช้ปุ๋ยในลักษณะดังกล่าวนี้ นอกจากจะทำให้ต้นทุนการผลิตสูงแล้ว ยังก่อให้เกิดปัญหาดินเสื่อมโทรมในระยะยาว อาทิ ดินมีความเป็นกรดมากขึ้น โครงสร้างของดินเสื่อมสภาพ ซึ่งแนวทางที่จะแก้ไขปัญหาดังกล่าว จำเป็นต้องให้เกษตรกรเพิ่มผลผลิตต่อไร่ให้สูงขึ้นเพื่อลดต้นทุนการผลิตต่อหน่วยลง ด้วยวิธีการใช้ปุ๋ยแบบผสมผสานเพื่อปรับปรุงดินให้ดี มีธาตุอาหารเพียงพอ เช่น การใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับ

* Corresponding author
E-mail address: nimit2524@hotmail.com (N. Wongsuwan)
Online print: 24 December 2021 Copyright © 2021. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. https://doi.org/10.14456/paj.2021.27

ปุ๋ยอินทรีย์ในปริมาณที่เหมาะสม หรือตามค่าวิเคราะห์ธาตุอาหารพืชในดินของแปลงนั้น (Duangpatra et al., 1999) ในมันสำปะหลังความต้องการปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และ โพแทสเซียม สัดส่วนของธาตุอาหารเท่ากับ 2 : 1 : 2 (Howeler & Cadavid, 1983) ส่วนการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ให้แก่ดินมีผลช่วยให้ลดความหนาแน่นรวมของดิน ทำให้ดินเกิดเม็ดดิน และเพิ่มความจุในการอุ้มน้ำแต่ต้องใช้เป็นจำนวนมาก (Im–emkamol & Krutkun, 1977) และปัจจุบันมีการพัฒนาปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์ที่ใช้กับมันสำปะหลัง โดยปุ๋ยชนิดนี้ประกอบด้วยแบคทีเรียที่สามารถตรึงไนโตรเจนละลายธาตุอาหารพืชที่ถูกตรึงอยู่ในดินและสร้างสารกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชคล้ายไอเอเอ (IAA) จึงสามารถช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวราก ทำให้เพิ่มการดูดน้ำและปุ๋ย การทดลองครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้เทคโนโลยีปุ๋ยแบบผสมผสาน (การใช้ปุ๋ยชีวภาพร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมี) ต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต คุณภาพ และผลตอบแทนทางเศรษฐกิจต่อการผลิตมันสำปะหลังในสภาพดินชุดโคราช เพื่อให้ได้เทคโนโลยีการผลิตมันสำปะหลังที่เหมาะสมกับดินชุดโคราชและขยายผลเทคโนโลยีดังกล่าวไปสู่เกษตรกรหรือผู้ที่สนใจต่อไป

วิธีการวิจัย

แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ Split split plot design จัด Main plot แบบ Randomized complete block design จำนวน 3 ซ้ำ โดยปัจจัยหลัก (Main plot) ประกอบด้วย 2 กรรมวิธี คือ ไม่ใส่ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์–ทรี และใส่ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์–ทรี อัตรา 1 กิโลกรัมต่อไร่ ปัจจัยรอง (Sub plot) ประกอบด้วย 2 กรรมวิธี คือ มันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 และพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 และปัจจัยย่อย (Sub sub plot) ประกอบด้วยปุ๋ย 6 ตำรับ ได้แก่ ตำรับที่ 1 ไม่ใส่ปุ๋ย ตำรับที่ 2 ปุ๋ยอินทรีย์มูลไก่แกลบอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ ตำรับที่ 3 ปุ๋ยเคมีอัตรา 16 – 8 – 16 กิโลกรัมต่อไร่ของ N – P_2O_5 – K_2O ตำรับที่ 4 ปุ๋ยเคมีอัตรา 8 – 4 – 8 กิโลกรัมต่อไร่ของ N – P_2O_5 – K_2O ตำรับที่ 5 ปุ๋ยอินทรีย์มูลไก่แกลบอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับปุ๋ยเคมีอัตรา 16 – 8 – 16 กิโลกรัมต่อไร่ของ N – P_2O_5 – K_2O และ ตำรับที่ 6 ปุ๋ยอินทรีย์มูลไก่แกลบอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับปุ๋ยเคมีอัตรา 8 – 4 – 8 กิโลกรัมต่อไร่ของ N – P_2O_5 – K_2O

การดำเนินการทดลอง

ทำการทดลองในช่วงเดือนกันยายน พ.ศ. 2561 ถึง ตุลาคม พ.ศ. 2562 ในชุดดินโคราชของศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรกาฬสินธุ์ ตำบลยางตลาด อำเภอยางตลาด จังหวัดกาฬสินธุ์ โดยไถเตรียมดินด้วยผาล 3 จำนวน 1 ครั้ง ตากดินไว้ 14 วัน ไถพรวนด้วยผาล 7 จำนวน 2 ครั้ง จากนั้นเตรียมท่อนพันธุ์มันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 และเกษตรศาสตร์ 50 อายุ 10 – 12 เดือน โดยตัดให้มีความยาว 25 เซนติเมตร นำไปแช่ด้วยปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์–ทรีที่ละลายกับน้ำสะอาดอัตรา 1 กิโลกรัมต่อน้ำ 20 ลิตรต่อ 1 ไร่ ส่วนกรรมวิธีไม่ใส่ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์–ทรี แช่ด้วยน้ำสะอาด โดยแช่เป็นเวลา 30 นาที เท่ากันทั้งสองกรรมวิธี หลังจากนั้นจึงนำไปปลูก ด้วยวิธีปักท่อนพันธุ์บนสันร่องให้ตรง 90 องศา ลึกลงไปในดิน 1 ใน 3 ของความยาวท่อนพันธุ์ โดยใช้ระยะปลูก 1 x 1 เมตร แปลงย่อยละ 6 แถวๆ ละ 10 ต้น การใส่ปุ๋ยใส่ตามกรรมวิธีของปัจจัยที่ 3 โดยปุ๋ยอินทรีย์ใส่รองพื้นก่อนปลูก ส่วนปุ๋ยเคมีใส่เมื่อมันสำปะหลังอายุ 2 เดือนหลังปลูก ดูแลรักษาสำรวจโรคและแมลงศัตรูมันสำปะหลังถ้าพบการเข้าทำลายให้ป้องกันกำจัดตามคำแนะนำของสถาบันวิจัยพืชไร่ และเก็บเกี่ยวผลผลิตมันสำปะหลังเมื่ออายุได้ 12 เดือน (Field Crops Research Institute, 2011)

การบันทึกข้อมูล

1. คุณสมบัติทางเคมีของดินก่อนการทดลอง ด้วยการเก็บตัวอย่างดินรวม (Composite Sample) ที่ระดับ 0–20 เซนติเมตร นำมาวิเคราะห์หาค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) วัดโดย pH meter ใช้อัตราส่วนดิน : น้ำ เท่ากับ 1 : 1 ปริมาณอินทรียวัตถุวิเคราะห์ด้วยวิธีการ Wet Oxidation (Walkley & Black, 1934) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สกัดดินด้วยน้ำยาสกัด Bray II และวัดการเกิดสีตามวิธี molybdenum blue โดยใช้ Spectrophotometer และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ สกัดดินด้วย 1N Ammonium Acetate, pH 7 และ วัดด้วย Flame Spectrophotometer

2. การเจริญเติบโตของมันสำปะหลังที่อายุ 9 เดือน บันทึกข้อมูลดังนี้ 1) ความสูง สุ่มวัดความสูงโดยวัดจากโคนต้นถึงยอดมันสำปะหลังจำนวน 10 ต้นต่อแปลงย่อย แล้วนำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยความสูงของต้น 2) พื้นที่ใบ วัดด้วยเครื่องวัดพื้นที่ใบ (Handheld laser leaf Area Meter (CI 203)) โดยวัดใบที่ 4, 5 และ 6 นับจากยอดของแต่ละต้น จำนวน 4 ต้นต่อแปลงย่อย นำค่าที่วัดได้ไปหาค่าเฉลี่ย แล้วนำไปคูณกับจำนวนใบเฉลี่ยที่คงเหลืออยู่บนต้น และ 3) การสะสมน้ำหนักแห้ง สุ่มตัวอย่างมันสำปะหลังจำนวน 4 ต้นต่อแปลงย่อย ชั่งน้ำหนักใบสด ต้นสด เหง้าสด และหัวมันสด จากนั้นสุ่มตัวอย่างใบสด ต้นสด เหง้าสด และหัวมันสดอย่างละ 250 กรัม นำไปสับให้ละเอียด แล้วนำไปอบในตู้อบที่มีอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง นำมาชั่งแล้วบันทึกน้ำหนักแห้ง จากนั้นนำไปคำนวณหาน้ำหนักแห้งต่อต้นจากน้ำหนักสดที่ชั่งได้ (Jutunka, 2008)

3. ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต เก็บเกี่ยวมันสำปะหลังอายุ 12 เดือน บันทึกข้อมูลดังนี้ 1) ผลผลิตหัวมันสด เก็บเกี่ยวในแปลงย่อยขนาดพื้นที่ 16 ตารางเมตร จำนวน 16 ต้น เว้นแถวริม โดยขุดเอาหัวมันสำปะหลังแยกออกจากต้น นำผลผลิตหัวมันสดที่ได้ไปชั่งหาน้ำหนักรวมต่อพื้นที่เก็บเกี่ยวแล้วนำไปคำนวณหาผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ และ 2) เปอร์เซ็นต์แป้ง สุ่มเก็บหัวมันสำปะหลังจากแปลงย่อยของแต่ละกรรมวิธีมาชั่งน้ำหนักให้ได้ 5 กิโลกรัม นำมาวัดเปอร์เซ็นต์แป้ง

โดยใช้เครื่องวัด Reman Scale แล้วนำไปคำนวณหาค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์แป้ง (Bainbridge et al., 1996)

4. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ นำข้อมูลต่าง ๆ มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) เปรียบเทียบความความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกรรมวิธีด้วยวิธี DMRT

5. วิเคราะห์ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ โดยวิธีหามูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value Method: NPV) (Piputsitee, 1997)

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

คุณสมบัติทางเคมีของดินก่อนการทดลอง พบว่า มีปฏิกิริยาเป็นกรดอ่อน มีค่า pH 6.62 ซึ่งอยู่ในระดับที่เหมาะสมสำหรับการปลูกมันสำปะหลัง ส่วนปริมาณอินทรียวัตถุ 0.49 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และโพแทสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ 26 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จัดอยู่ในระดับต่ำกว่าค่าวิกฤตซึ่งต้องมีอินทรียวัตถุเท่ากับ 0.65 เปอร์เซ็นต์ ระดับของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้เท่ากับ 6 และ 40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (Sittibusaya, 1996) เมื่อนำค่าวิเคราะห์ดินดังกล่าวมาหาปริมาณความต้องการปุ๋ยของมันสำปะหลังตามคำแนะนำการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน พบว่า อินทรียวัตถุอยู่ในระดับต่ำกว่าค่าวิกฤตแนะนำให้ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 16 กิโลกรัม N ต่อไร่ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำกว่าค่าวิกฤตแนะนำให้ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ และโพแทสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับต่ำกว่าค่าวิกฤตแนะนำให้ใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมอัตรา 16 กิโลกรัม K_2O ต่อไร่ (Department of Agriculture, 2021)

ผลของปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์–ทรี ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของมันสำปะหลังในดินชุดโคราช พบว่า การใช้ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์–ทรี ไม่มีผลทำให้เปอร์เซ็นต์แป้งของมันสำปะหลังแตกต่างกัน เนื่องจากช่วงระยะที่เก็บเกี่ยวมันสำปะหลังยังได้รับน้ำฝนทำให้มีการสร้างใบและลำต้น แต่มีผลให้ค่าเฉลี่ยความสูง พื้นที่ใบ การสะสมน้ำหนักแห้ง และผลผลิตหัวมันสดเฉลี่ยต่อไร่เพิ่มขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ เมื่อเทียบกับการไม่ใส่ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์–ทรี โดยการใส่ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์–ทรี มีผลให้มันสำปะหลังมีผลผลิตหัวมันสดเฉลี่ย 5,946 กิโลกรัมต่อไร่มากกว่าไม่ใส่ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์–ทรี ที่ให้ผลผลิตหัวมันสดเฉลี่ย 5,221 กิโลกรัมต่อไร่ หรือผลผลิตมากกว่าร้อยละ 13.89 (Table 1) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาการใช้ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์–ทรี ร่วมกับปุ๋ยเคมีไนโตรเจนอัตราต่าง ๆ ในการปลูกมันสำปะหลังในดินทราย พบว่า การใส่ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์–ทรี มีผลให้มันสำปะหลังมีผลผลิตหัวมันสดแตกต่างกับกรรมวิธีไม่ใส่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผลผลิตหัวมันสดเพิ่มขึ้น 16.2 เปอร์เซ็นต์ ส่วนความสูง น้ำหนักใบ และเหง้าของมันสำปะหลังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (Amawan, 2012) แสดงให้เห็นว่าการใส่ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์–ทรี ทำให้การเจริญเติบโตและผลผลิตของมันสำปะหลังเพิ่มขึ้น เนื่องจากปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์ (Plant Growth Promoting Rhizobacteria or PGPR) เป็นปุ๋ยชีวภาพที่ประกอบด้วยแบคทีเรียที่สามารถตรึงไนโตรเจน ช่วยละลายฟอสเฟต และผลิตฮอร์โมนส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช

ผลของพันธุ์มันสำปะหลัง พบว่า มันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 และเกษตรศาสตร์ 50 มีค่าเฉลี่ยความสูง การสะสมน้ำหนักแห้ง และเปอร์เซ็นต์แป้งไม่แตกต่างกัน แต่มีค่าเฉลี่ยพื้นที่ใบและผลผลิตหัวมันสดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญและนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 มีพื้นที่ใบมากกว่าพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ส่วนผลผลิตมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 มีผลผลิตหัวมันสดเฉลี่ยต่อไร่ 6,046 กิโลกรัมมากกว่ามันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 ที่มีผลผลิตหัวมันสดเฉลี่ย 5,121 กิโลกรัมต่อไร่ หรือผลผลิตหัวมันสดมากกว่าร้อยละ 18.06 (Table 1) จากข้อมูลดังกล่าวถึงแม้มันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 จะมีพื้นที่ใบต่อต้นมากกว่าพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 แต่มันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 มีผลผลิตหัวมันสดเฉลี่ยมากกว่าเนื่องจากมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 มีฐานพันธุกรรมกว้าง ทำให้สามารถปรับตัวได้ดีกับหลายสภาพแวดล้อม โดยเฉพาะในดินทรายหรือดินทรายปนร่วนที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาการปลูกมันสำปะหลังพันธุ์ต่าง ๆ ในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ พบว่า มันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ให้ผลผลิตหัวมันสดและหัวมันแห้งมากกว่ามันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 72 ระยอง 9 และระยอง 5 ตามลำดับ (Masari et al., 2007)

ผลของตำรับปุ๋ย พบว่า การใส่ตำรับปุ๋ยที่ต่างกันไม่มีผลทำให้เปอร์เซ็นต์แป้งของมันสำปะหลังแตกต่างกัน แต่มีผลทำให้ความสูง พื้นที่ใบ การสะสมน้ำหนักแห้ง และผลผลิตหัวมันสดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยการใส่ปุ๋ยตำรับที่ 5 ปุ๋ยอินทรีย์มูลไก่แกลบอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับปุ๋ยเคมีอัตรา 16 – 8 – 16 กิโลกรัมต่อไร่ของ N – P_2O_5 – K_2O มีผลให้ผลผลิตหัวมันสดเฉลี่ยมากที่สุด 6,794 กิโลกรัมต่อไร่ แต่ไม่แตกต่างกันกับปุ๋ยตำรับที่ 6 ปุ๋ยอินทรีย์มูลไก่แกลบอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับปุ๋ยเคมีอัตรา 8 – 4 – 8 กิโลกรัมต่อไร่ของ N – P_2O_5 – K_2O (Table 1) ซึ่งจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมีทำให้การเจริญเติบโตและผลผลิตของมันสำปะหลังมากกว่าการไม่ใส่ปุ๋ย การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ หรือการใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว ซึ่งสอดคล้องกับรายงานผลทดลองที่พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมี 50 และ 75 เปอร์เซ็นต์ของอัตรา 16 – 8 – 16 กิโลกรัมต่อไร่ของ N – P_2O_5 – K_2O ร่วมกับปุ๋ยมูลไก่แกลบ 1 ตันต่อไร่ในดินทรายปนร่วนและดินทราย ทำให้มันสำปะหลังมีผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่มากที่สุด (Amonpon et al., 2014) และการใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 16 – 8 – 16 กิโลกรัมต่อไร่ของ N – P_2O_5 – K_2O ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์อัตรา 1 ตันต่อไร่ในชุดดินโคราช ทำให้มันสำปะหลังเจริญเติบโตดี

และผลผลิตให้ 5 – 7 ตันต่อไร่มากกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยหรือใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว (Klongchang et al., 2014) แสดงให้เห็นว่าการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดในการเพิ่มผลผลิตมันสำปะหลัง เนื่องจากปุ๋ยเคมีมีธาตุอาหารหลักที่มันสำปะหลังสามารถนำไปใช้ได้ทันที ส่วนปุ๋ยอินทรีย์มูลไก่แกลบเมื่อเกิดการย่อยสลายจะปลดปล่อยธาตุอาหารออกมา ทั้งธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรองและจุลธาตุ ซึ่งมันสำปะหลังสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้อย่างต่อเนื่องในระยะยาว อีกทั้งปริมาณอินทรียวัตถุที่ได้จากปุ๋ยอินทรีย์มูลไก่แกลบยังช่วยเพิ่มความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก ทำให้ธาตุอาหารในดินถูกดูดซับเอาไว้ไม่ให้เกิดการสูญเสียไปกับการชะล้าง นอกจากนี้ปุ๋ยอินทรีย์ มูลไก่แกลบยังทำให้ดินมีปริมาณอินทรียวัตถุที่เพิ่มขึ้น มีความร่วนซุย สามารถระบายน้ำและถ่ายเทอากาศได้ดีขึ้น และยังเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของจุลินทรีย์ในดินซึ่งส่วนใหญ่ต้องการพลังงานและธาตุอาหารจากการย่อยสลายอินทรียวัตถุ จึงเป็นการเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ในดินที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังอีกด้วย

ผลของอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย พบว่า ไม่พบอิทธิพลร่วมระหว่างปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์–ทรี กับพันธุ์มันสำปะหลัง ที่มีผลให้การเจริญเติบโตและผลผลิตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 1) ส่วนอิทธิพลร่วมระหว่างพันธุ์มันสำปะหลังกับตำรับปุ๋ย ไม่มีผลให้ค่าเฉลี่ยความสูง การสะสมน้ำหนักแห้ง เปอร์เซ็นต์แป้ง และผลผลิตหัวมันสดของมันสำปะหลังแตกต่างกัน แต่มีผลให้พื้นที่ใบของมันสำปะหลังแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 1) อิทธิพลร่วมระหว่างปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์–ทรี กับตำรับปุ๋ย ไม่มีผลให้ค่าเฉลี่ยความสูง การสะสมน้ำหนักแห้ง และเปอร์เซ็นต์แป้งแตกต่างกัน แต่มีผลให้พื้นที่ใบ และผลผลิตหัวมันสดเฉลี่ยต่อไร่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 1) โดยการใส่ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์–ทรี ร่วมกับปุ๋ยตำรับที่ 2 ปุ๋ยอินทรีย์มูลไก่แกลบอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ ทำให้มันสำปะหลังมีผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการใส่ปุ๋ยตำรับที่ 2 เพียงอย่างเดียวร้อยละ 5.79 การใส่ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์–ทรี ร่วมกับปุ๋ยตำรับที่ 3 ปุ๋ยเคมีอัตรา 16 – 8 – 16 กิโลกรัมต่อไร่ของ N – P_2O_5 – K_2O ทำให้มันสำปะหลังมีผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการใส่ปุ๋ยตำรับที่ 3 เพียงอย่างเดียวร้อยละ 11.42 การใส่ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์ – ทรี ร่วมกับปุ๋ยเคมีอัตรา 8 – 4 – 8 กิโลกรัมต่อไร่ของ N – P_2O_5 – K_2O ทำให้มันสำปะหลังมีผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการใส่ปุ๋ยตำรับที่ 4 เพียงอย่างเดียวร้อยละ 14.80 การใส่ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์–ทรี ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์มูลไก่แกลบอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่และปุ๋ยเคมีอัตรา 16 – 8 – 16 กิโลกรัมต่อไร่ของ N – P_2O_5 – K_2O ทำให้มันสำปะหลังมีผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการใส่ปุ๋ยตำรับที่ 5 เพียงอย่างเดียวร้อยละ 20.32 และการใส่ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์–ทรี ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์มูลไก่แกลบ 500 กิโลกรัมต่อไร่และปุ๋ยเคมีอัตรา 8 – 4 – 8 กิโลกรัมต่อไร่ของ N – P_2O_5 – K_2O ทำให้มันสำปะหลังมีผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการใส่ปุ๋ยตำรับที่ 6 เพียงอย่างเดียวร้อยละ 25.80 เมื่อพิจารณาจะเห็นได้ว่าการใส่ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมี เป็นวิธีการที่ทำให้มันสำปะหลังมีผลผลิตเพิ่มขึ้นมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการไม่ใส่ปุ๋ย การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ หรือการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว โดยการใส่ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์–ทรี ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์มูลไก่แกลบอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่และปุ๋ยเคมีอัตรา 8 – 4 – 8 กิโลกรัมต่อไร่ของ N – P_2O_5 – K_2O ให้ผลผลิตสูงสุด แต่ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์–ทรี ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์มูลไก่แกลบอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ และปุ๋ยเคมีอัตรา 16 – 8 – 16 กิโลกรัมต่อไร่ของ N – P_2O_5 – K_2O แสดงให้เห็นว่าการใส่ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์–ทรี ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์มูลไก่แกลบอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ สามารถช่วยลดอัตราการใส่ปุ๋ยเคมีไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมได้ร้อยละ 50 ของคำแนะนำกรมวิชาการเกษตร (Table 1, 2) เนื่องจากปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์–ทรี ประกอบด้วยแบคทีเรีย 2 ชนิด ได้แก่ อะโซสไปริลลัม บราซิลเลน (*Azospirillum brasilense*) และ กลูคอนอะซิโตแบคเตอร์ ไดอะโซโทรฟิคัส(*Gluconacetobacter diazotrophicus*) ซึ่งแบคทีเรียทั้งสองชนิดนี้มีคุณสมบัติที่สามารถตรึงไนโตรเจน ช่วยละลายฟอสเฟต และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซึมธาตุอาหาร ทำให้สามารถลดการใช้ปุ๋ยเคมีในมันสำปะหลังได้อย่างน้อย 25 เปอร์เซ็นต์ (Department of Agriculture, 2016) ส่วนปุ๋ยอินทรีย์มูลไก่แกลบถูกย่อยสลายจะปลดปล่อยธาตุอาหารหลักที่สำคัญ ได้แก่ ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมให้กับมันสำปะหลัง เมื่อมีการใส่ต่อเนื่องในอัตรา 500 – 2,000 กิโลกรัมต่อไร่จะส่งผลให้ดินที่ระดับความลึก 0 – 30 ซม. มีไนโตรเจน และโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้นกว่าการไม่ใส่ และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์มูลไก่แกลบอัตรา 1,000 – 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ทำให้มีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงสุด (Klongtham et al., 2020) นอกจากนี้มูลไก่แกลบจะช่วยลดความหนาแน่นรวมของดิน เพิ่มความพรุนรวมของดิน อัตราการซาบซึมน้ำ ความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน (Amanullah et al., 2010) เพิ่มอินทรียวัตถุในดิน ธาตุอาหารรองที่จำเป็น (Agbede et al., 2008) และยังเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของจุลินทรีย์ในดินที่มีประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง จากคุณสมบัติดังกล่าวเมื่อนำปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์มาใช้ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์จะส่งผลให้สามารถลดการใส่ปุ๋ยเคมี เพิ่มผลผลิตได้

และอิทธิพลร่วมระหว่าง 3 ปัจจัย คือ การใส่ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์–ทรี ร่วมกับพันธุ์มันสำปะหลัง และตำรับปุ๋ย มีผลทำให้พื้นที่ใบ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่ทำให้ความสูง การสะสมน้ำหนักแห้ง เปอร์เซ็นต์แป้ง และผลผลิตหัวมันสดของมันสำปะหลังแตกต่างกัน (Table 1) โดยมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์–ทรี ร่วมกับปุ๋ยตำรับที่ 6 ปุ๋ยอินทรีย์มูลไก่แกลบอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่และปุ๋ยเคมีอัตรา 8 – 4 – 8 กิโลกรัมต่อไร่

ของ N – P_2O_5 – K_2O ให้ผลผลิตหัวมันสดเฉลี่ยสูงที่สุด

ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจจากการใช้ปุ๋ย โดยวิเคราะห์หามูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value Method: NPV) จากการเก็บเกี่ยวผลผลิตหัวมันสดและคำนวณรายได้ต่อไร่ พบว่า การใส่ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์–ทรี ร่วมกับการใส่ปุ๋ยตำรับที่ 6 ปุ๋ยอินทรีย์มูลไก่แกลบอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่และปุ๋ยเคมีอัตรา 8 – 4 – 8 กิโลกรัมต่อไร่ของ N – P_2O_5 – K_2O ในมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ทำให้มีกำไรสุทธิสูงสุด 8,861 บาท ซึ่งเมื่อพิจารณาจะพบอีกว่าการใส่ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์–ทรี ร่วมกับตำรับปุ๋ยต่าง ๆ ในมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 และเกษตรศาสตร์ 50 ให้ผลกำไรสุทธิต่อไร่มากกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์–ทรี ในทุกตำรับ ยกเว้นตำรับที่ไม่มีการใส่ปุ๋ย (Table 3)

Table 1 Effect of PGPR – 3 – BF, Cassava and fertilizer formula toward growth and yield of cassava on Korat soil, series

Treatment	Height (cm.)	LAI (cm^2./plant)	Dry weight (g./plant)	Starch (%)	Yield (kg./rai)
A. PGPR bio–fertilizer					
A1=Non PGPR – 3	175.80^{b}	162.84^{b}	$4,017^{b}$	20.91	$5,221^{b}$
A2=PGPR – 3	183.00^{a}	213.23^{a}	$4,579^{a}$	21.67	$5,946^{a}$
F–test	**	**	**	ns	**
CV (%)	6.67	4.68	34.21	10.61	9.41
B. Cassava Varieties					
B1=Rayong 9	180.34	193.11^{a}	4,271	21.11	$5,121^{b}$
B2=Kasetsart 50	178.46	182.96^{b}	4,325	21.47	$6,046^{a}$
F–test	ns	*	ns	ns	**
CV (%)	7.49	29.28	22.25	8.14	19.21
C. Fertilizer					
C1=Control	166.53^{c}	132.76^{d}	$3,756^{d}$	21.52	$4,490^{c}$
C2=Organic fertilizer 500 kg./rai	177.83^{b}	152.14^{c}	$3,868^{cd}$	21.54	$5,050^{b}$
C3= N – P_2O_5 – K_2O 16 – 8 – 16 kg./rai	180.03^{b}	187.76^{b}	$4,393^{bc}$	20.88	$5,259^{b}$
C4= N – P_2O_5 – K_2O 8 – 4 – 8 kg./rai	169.20^{c}	174.49^{b}	$3,867^{cd}$	21.03	$5,203^{b}$
C5=Organic fertilizer 500 kg./rai+ N – P_2O_5 – K_2O 16 – 8 – 16 kg./rai	192.83^{a}	245.14^{a}	$5,114^{a}$	21.50	$6,794^{a}$
C6=Organic fertilizer 500 kg./rai+ N – P_2O_5 – K_2O 8 – 4 – 8 kg./rai	189.97^{a}	235.93^{a}	$4,790^{ab}$	21.27	$6,704^{a}$
F–test	**	**	**	ns	**
CV (%)	5.29	19.97	19.23	8.33	14.37
D. Interaction					
F–test Ax B	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	6.43	8.99	26.87	16.75	7.39
F–test A x C	ns	**	ns	ns	**
CV (%)	4.78	12.17	17.75	8.39	12.24
F–test B x C	ns	*	ns	ns	ns
CV (%)	5.21	20.16	19.68	11.93	8.60
F–test A x B x C	ns	*	ns	ns	ns
CV (%)	5.21	20.16	19.68	11.93	8.60

***=** Significantly different at $p < 0.05$ by DMRT, ** = Significantly different at $p < 0.01$ by DMRT,

ns =Non Significantly different at $p < 0.05$ by DMRT, LAI: Leaf Area Index

Table 2 Effect of the interaction between PGPR – 3 – BF and fertilizer formula toward Growth and Yield of cassava on Korat soil, series

Treatment	Height (cm.)	LAI (cm^2./plant)	Dry weight (g./plant)	Starch (%)	Yield (kg./rai)
PGPR – 3 + Fertilizer					
Non PGPR – 3 + Control	158.87	121.64^{g}	3,830	21.40	$4,490^{f}$

Treatment	Height (cm.)	LAI (cm^2./plant)	Dry weight (g./plant)	Starch (%)	Yield (kg./rai)
Non PGPR – 3 + Organic fertilizer 500 kg./rai	179.33	140.57[fg]	3,756	21.45	4,908[ef]
Non PGPR – 3 + N – P_2O_5 – K_2O 16 – 8 – 16 kg./rai	178.17	175.07[cd]	3,962	20.27	4,975[def]
Non PGPR – 3 + N – P_2O_5 – K_2O 8 – 4 – 8 kg./rai	164.83	148.68[ef]	3,498	20.78	4,845[ef]
Non PGPR – 3 + Organic fertilizer 500 kg./rai + N – P_2O_5 – K_2O 16 – 8 – 16 kg./rai	187.32	201.02[b]	4,417	20.62	6,167[b]
Non PGPR – 3 + Organic fertilizer 500 kg./rai + N – P_2O_5 – K_2O 8 – 4 – 8 kg./rai	186.27	190.08[bc]	4,640	20.95	5,938[bc]
PGPR – 3 + Control	174.20	143.88[ef]	3,684	21.63	4,489[f]
PGPR – 3 + Organic fertilizer 500 kg./rai	176.33	150.33[de]	3,982	21.63	5,192[de]
PGPR – 3 + N – P_2O_5 – K_2O 16 – 8 – 16 kg./rai	181.88	200.45[b]	4,824	21.48	5,543[cd]
PGPR – 3 + N – P_2O_5 – K_2O 8 – 4 – 8 kg./rai	173.57	200.30[b]	4,237	21.28	5,562[cd]
PGPR – 3 + Organic fertilizer 500 kg./rai + N – P_2O_5 – K_2O 16 – 8 – 16 kg./rai	198.33	289.27[a]	5,812	22.38	7,420[a]
PGPR – 3 + Organic fertilizer 500 kg./rai + N – P_2O_5 – K_2O 8 – 4 – 8 kg./rai	193.67	281.78[a]	4,940	21.58	7,470[a]
F-test	ns	**	ns	ns	**
CV (%)	4.78	12.17	17.75	8.39	12.24

Significantly different at $p < 0.05$ by DMRT, ** = Significantly different at $p < 0.01$ by DMRT,

ns =Non Significantly different at $p < 0.05$ by DMRT, LAI: Leaf Area Index

Table 3 Beneficially Economic for PGPR – 3 – BF implementing with Cassava varieties and fertilizer formula on Korat Soil Series

Treatment	Yield (kg./rai)	Fertilizer cost[1] (bath/rai)	Total cost[2] (bath/rai)	In come[3] (bath/rai)	Net profit (bath/rai)
PGPR – 3 (A) + Varieties (B) + Fertilizer (C)					
A1B1C1	4,173	0	4,704	9,181	4,477
A1B1C2	4,423	1,000	5,954	9,731	3,777
A1B1C3	4,427	886	5,842	9,739	3,897
A1B1C4	4,377	443	5,369	9,629	4,260
A1B1C5	5,921	1,886	7,839	13,026	5,188
A1B1C6	5,613	1,443	7,211	12,349	5,138
A1B2C1	4,807	0	5,084	10,575	5,491
A1B2C2	5,393	1,000	6,536	11,865	5,329
A1B2C3	5,522	886	6,499	12,148	5,649
A1B2C4	5,313	443	5,931	11,689	5,758
A1B2C5	6,413	1,886	8,134	14,109	5,975
A1B2C6	6,263	1,443	7,601	13,779	6,178

Treatment	Yield	Fertilizer cost[1]	Total cost[2]	In come[3]	Net profit
	(kg./rai)	(bath/rai)	(bath/rai)	(bath/rai)	(bath/rai)
A2B1C1	4,155	80	4,773	9,141	4,368
A2B1C2	4,670	1,080	6,182	10,274	4,092
A2B1C3	4,962	966	6,243	10,916	4,673
A2B1C4	4,967	523	5,803	10,927	5,124
A2B1C5	6,810	1,966	8,452	14,982	6,530
A2B1C6	6,949	1,523	8,092	15,288	7,195
A2B2C1	4,823	80	5,174	10,611	5,437
A2B2C2	5,715	1,080	6,809	12,573	5,764
A2B2C3	6,123	966	6,940	13,471	6,531
A2B2C4	6,157	523	6,517	13,545	7,028
A2B2C5	8,030	1,966	9,184	17,666	8,482
A2B2C6	7,990	1,523	8,717	17,578	8,861

Significantly different at $p < 0.05$ by DMRT, ** = Significantly different at $p < 0.01$ by DMRT,

ns = Non Significantly different at $p < 0.05$ by DMRT A1=Non PGPR3, A2=PGPR3, B_1=Rayong 9, B_2=Kasetsart 50, C1= Control, C2= Organic fertilizer 500 kg. /rai, C3= N – P_2O_5 – K_2O 16 – 8 – 16 kg./rai, C4= N – P_2O_5 – K_2O 8 – 4 – 8 kg. /rai, C5= Organic fertilizer 500 kg./rai+ N – P_2O_5 – K_2O 16 – 8 – 16 kg./rai, C6= Organic fertilizer 500 kg./rai+ N – P_2O_5 – K_2O 8 – 4 – 8 kg./rai

[1] Price of chemical fertilizer; formula 46–0–0 = 10 baht/kg., formula 18–46–0=15 baht/kg., formula 0–0–60=13 baht/kg., chicken manure = 2 baht/kg. and PGPR – 3 = 40 baht/bag. (2 bags/rai)

[2] Total cost is calculated from plot preparation cost 750 baht/rai, cassava stem cost 500 baht/rai, cassava stem preparation cost 150 baht/rai, labor cost for planting 200 baht/rai, labor cost organic fertilizer application 100 baht/rai, labor cost for chemical fertilizer application 100 baht/rai, cost of weeding 2 times 600 baht/rai and the cost of harvesting and transportation 600 baht/ton.

[3] Income is calculated from the yield multiplied with the price of cassava per kilogram 2.20 baht. (price at October, 2019)

สรุปผลการวิจัย

ผลการศึกษาในชุดดินโคราชมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ให้ผลผลิตสูงกว่าพันธุ์ระยอง 9 ร้อยละ 18.06 การใส่ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์–ทรี ทำให้มันสำปะหลังมีผลผลิตมากกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์–ทรี ร้อยละ 13.89 มันสำปะหลังที่ใส่ปุ๋ยตำรับที่ 5 มูลไก่แกลบอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับปุ๋ยเคมี 16 – 8 – 16 กิโลกรัมต่อไร่ของ N – P_2O_5 – K_2O ให้ผลผลิตสูงสุด 6,794 กิโลกรัมต่อไร่ แต่ไม่แตกต่างกันกับปุ๋ยตำรับที่ 6 ปุ๋ยอินทรีย์มูลไก่แกลบอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับปุ๋ยเคมี 8 – 4 – 8 กิโลกรัมต่อไร่ของ N – P_2O_5 – K_2O ที่ให้ผลผลิต 6,704 กิโลกรัมต่อไร่ การใส่ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์–ทรี ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์มูลไก่แกลบอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ จะช่วยลดปุ๋ยเคมีไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ได้ร้อยละ 50 ของคำแนะนำกรมวิชาการเกษตร ดังนั้น การปลูกมันสำปะหลังในชุดดินโคราช ด้วยวิธีการใส่ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์–ทรี ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์มูลไก่แกลบอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่และปุ๋ยเคมีอัตรา 8 – 4 – 8 กิโลกรัมต่อไร่ของ N – P_2O_5 – K_2O ในมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 เป็นวิธีที่ให้ผลผลิตและผลตอบแทนคุ้มค่าต่อการลงทุนมากที่สุด

References

Agbede, T.M., Ojeniyi, S.O., & Adeyemo A.J. (2008). Effect of Poultry Manure on Soil Physical & Chemical Properties, Growth & Grain Yield of Sorghum in Southwest, Nigeria. *American–Eurasian Journal of Sustainable Agriculture, 2*(1), 72–77.

Amawan, S. (2012). *Effect of Plant Growth Promoting Rhizobacteria on Quality & Quantity Increasing of Cassava Yield.* (Master's thesis). (pp. 33–46). Environmental Management, School of Social & Environmental Development, National Institute of Development Administration. (in Thai)

Amanullah, M. M., Sekar, S., & Muthukrishnan, P. (2010). Prospects & potential of poultry manure. *Asian Journal of Plant Sciences, 9*(4), 172–182.

Amonpon, W., Thippayarugs, S., Paisancharoen, K., Luanmanee, S., Phengkhem, S., & Boontung, R. (2014) . *Research & Development on Cassava Cultural Practice Management 2011 & 2012,* (Use of fertilizers Integrated on yield & quality of Cassava in the loamy sand & sand Soil). (pp. 273–280). Bangkok, Thailand: Department of Agriculture. Ministry of Agriculture & Cooperatives. (in Thai)

Bainbridge, Z., Tomlins, K., Wellings, K., & Westby, A. (1996). *Methods for assessing quality characteristics of non–grain starch staples. (Part 2 Field Methods).* Chantham, UK: Natural Resources Institute.

Department of Agriculture. (2012). *PGPR bio–fertilizer.* [Brochure]. Bangkok, Thailand: Soil Science Research Group, Agricultural Production Sciences Research & Development Office, Department of Agriculture. Ministry of Agriculture & Cooperatives. (in Thai)

Department of Agriculture. (2016). *PGPR 3 bio–fertilizer.* [Academic paper]. Bangkok, Thailand: Science Research Group, Agricultural Production Sciences Research & Development Division, Department of Agriculture. Ministry of Agriculture & Cooperatives. (in Thai)

Department of Agriculture. (2021). *Recommendations for the Application of Chemical Fertilizer Based on Soil Analysis in Economic Field Crops.* (pp. 45–46). Bangkok, Thailand: Agricultural Production Sciences Research & Development Division, Department of Agriculture. Ministry of Agriculture & Cooperatives. (in Thai)

Duangpatra, P., Vichukit, V., Rojanaridpiched, C., Poolsanguan, P., Jiamjumnanja, J., Sarobol, E., & Lertmongkol, V. (1999). *Soil & Cassava Fertilizer Academic publication of Projects to Mitigate Social Impacts due to Economic Crises (2nd Issue).* (pp. 1–6). Bangkok, Thailand: Department of Agronomy. Faculty of Agriculture, Kasetsart University. (in thai)

Field Crops Research Institute. (2011). *Cassava production technology.* (pp. 12–20). Bangkok: Department of Agriculture. Ministry of Agriculture & Cooperatives. (in Thai)

Howeler, R.H., & Cadavid, L.F. (1983). Accumulation & Distribution of Dry Matter & Nutrients During a 12–Month Growth Cycle of Cassava. *Field Crops Research*, 7, 123–139.

Im–emkamol, J., & Krutkun, T. (1977). Soil Aggregation of the kamphaeng Saen Soil Series. *The Kasetsart Journal,* 10(1), 42–50.

Jutunka, S. (2008). *Cassava specimen collection of bio–dry cumulative for stem, leaf, rhizome, & tuber, Manual of soil data research record & water of plant product (2nd edition).* [Participatory work shop for soil & water management of planting Research (2nd training)]. (pp. 37–38). Bangkok, Thailand: Department of Agriculture. Ministry of Agriculture & Cooperatives. (in Thai)

Klongchang, S., Paisancharoen, K., bumrung, S., Amonpon, W., & Soommart, A., (2014). *Research & Development on Cassava Cultural Practice Management 2011 & 2012.* (cassava Long–Term Fertility Trials in 3 Soils Series). (pp. 311–326). Bangkok, Thailand: Department of Agriculture. Ministry of Agriculture & Cooperatives. (in Thai)

Klongtham, R., Anusontpornperm, S., Thanachit, S., & Kheoruenromne, I. (2020). Cumulative Effect of Chicken Manure, Cassava Starch Manufacturing Wastes & Chemical Fertilizer on Cassava Grown in Yasothon Soil Series. *Khon Kaen Agriculture Journal.* 48(6), 1292–1303.

Masari, A., Thanomsub, W., Phoomthaisong, J., & Phruetthithep, C. (2007). Yields & Starch Qualities of 4 Cassava Varieties on Roiet Soil Series in Uthaithani Province. *Khon Kaen Agriculture Journal,* 35(Suppl.), 57–63.

Piputsitee, C. (1997). *Economics of project analysis. (3rd ed.).* Bangkok, Thailand: Department of Economics. Faculty of Economics. (pp. 99–101). Kasetsart University. (in Thai)

Prachachat Business. (2017). *Domestic Economy.* Accessed April 7, 2020. Retrieved from http://www.prachachat.net/economy/news–40287. (in Thai)

Sittibusaya, C., (1996). *Guidelines for System Development of Advice on the use of Fertilizers for Field Crops.Department of Agriculture.* (pp. 47). Bangkok, Thailand: Ministry of Agriculture & Cooperatives. (in Thai)

Walkley, A., & Black, I.A. (1934). An Examination of the Degtjareff Method for Determining Soil Organic Matter & a Proposed Modification of the Chromic Acid Titration Method. *Soil Science*, 37, 29–38.

Research article

Effect of Biofertilizer (PGPR – 3) Organic and Chemical Fertilizers on Growth Yield and Quality of Rayong 9 and Kasetsart 50 Cassava Varieties on Korat Soil Series

Nimit Wongsuwan*, Phirayot Khaengkhan and Naris Sinsiri

*Department of Agricultural Technology, Faculty of Technology, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha Sarakham 44150

ARTICLE INFO

Article history
Received: 1 November 2021
Revised: 12 November 2021
Accepted: 5 December 2021
Online published: 24 December 2021

Keyword
PGPR – 3 Bio – Fertilizer
Organic Fertilizers
Chemical Fertilizers
Cassava
Korat soil series

ABSTRACT

This research objective is aimed at technological development appropriated fertilizer management for cassava cultivation in Korat soil series (Kt). A split-split plot design was carried out with 3 replications. Main – plot consists of non-applied PGPR – 3 bio – fertilizer (PGPR – 3 – BF) cassava cultivars: Rayong – 9 and Kasetsart – 50 assigned as sub – plot. The sub – sub plot comprises of 6 fertilizer formulas (FR). Results found that PGPR – 3 – BF application treatment increased the tuber yield by 13.89% in comparison with non – PGPR – 3 – BF application treatment were statistically significant ($p < 0.01$). The cassava cultivars Rayong 9 and Kasetsart 50 exhibited significant difference ($p < 0.01$) in the tuber yield. Kasetsart 50 produced the higher tuber yield (18.06%) than Rayong 9. Fertilizer formulas gave a significant difference ($p < 0.01$) in tuber yield. In addition, the organic fertilizers (OF) mixed with chicken manure and husk (OF–mix–CH) at 500 kg/rai with chemical fertilizer (CF) grade 16 – 8 – 16 kg/rai of N – P_2O_5 – K_2O gave the highest tuber yield 6,794 kg/rai. There were combination factors effects between PGPR – 3 – BF and FR, in the present study fertilizer application of PGPR – 3 – BF with OF–mix–CH at 500 kg/rai with CF grade 8 – 4 – 8 kg/rai of N – P_2O_5 – K_2O gave tuber yield as 7,470 kg/rai. This study indicates that fertilizing of PGPR – 3 – BF with organic fertilizers (OF) combined with chicken manure and husk (OF – mix – CH) at 500 kg/rai can be reduced chemical fertilizer (CF) by 50% of the recommendation in Korat soil series.

*Corresponding author
E-mail address: nimit2524@hotmail.com (N. Wongsuwan)
Online print: 24 December 2021 Copyright © 2021. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. https://doi.org/10.14456/paj.2021.27

AgT RAJABHAT MAHA SARAKHAM UNIVERSITY AGRICULTURAL TECH.

PRAWARUN
AGRICULTURAL JOURNAL

- ผลของการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกลและลมร้อนต่อคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของขมิ้นชัน
- การผลิตเซลล์ตรึงไซยาโนแบคทีเรียออสซิลลาทอเรีย ในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำเสียสังเคราะห์
- การสกัดเซลลูโลสจากไซยาโนแบคทีเรียนอสตอกเพื่อเป็นแหล่งพลังงานทางเลือก
- ฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรียและขจัดกลิ่นของสเปรย์ขจัดกลิ่นไม่พึงประสงค์สำหรับผ้าฝ้ายและผ้าไหม
- ประสิทธิภาพของน้ำอิเล็กโทรไลต์ชนิดกรดในการฆ่าเชื้อโรค
- ผลของระยะเวลาและอุณหภูมิในการงอกต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและกรดแกมมา–อะมิโนบิวทิริกในข้าวไทยบางชนิด
- การเพิ่มประสิทธิภาพของปุ๋ยหมักก้อนเชื้อเห็ดเก่าด้วยแอคติโนมัยสีทต่อการเจริญ และการเกิดโรคของต้นหอม (*Allium cepa var. aggregatum*) ที่เกิดจากเชื้อรา
- ประสิทธิภาพของการเสริมกล้วยน้ำว้าในอาหารต่อการตอบสนองทางภูมิคุ้มกันต้านเชื้อ *Aeromonas hydrophila* ในกบนา
- ผลของความเข้มข้นเอนไซม์ฟลาโวไซม์และเวลาย่อยสลายต่อสมบัติทางเคมี – กายภาพของโปรตีนไฮโดรไลเซทจากกากถั่วดาวอินคา
- การพัฒนาผลิตภัณฑ์ใบมะเขือแผ่นอบกรอบเสริมโปรตีนจากแมลง
- การศึกษาการอบแห้งขมิ้นชันด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์
- ผลของความเข้มข้นสูตรอาหารและสารควบคุมการเจริญเติบโตต่อการขยายพันธุ์กาบหอยแครง (*Dionaea muscipula*) ในสภาพปลอดเชื้อ
- ผลของปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์–ทรี ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโต ผลผลิตและคุณภาพในการผลิตมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 และเกษตรศาสตร์ 50 ในชุดดินโคราช