



มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์
UTTARADIT RAJABHAT UNIVERSITY



วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์
สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (เพื่อการพัฒนาท้องถิ่น)

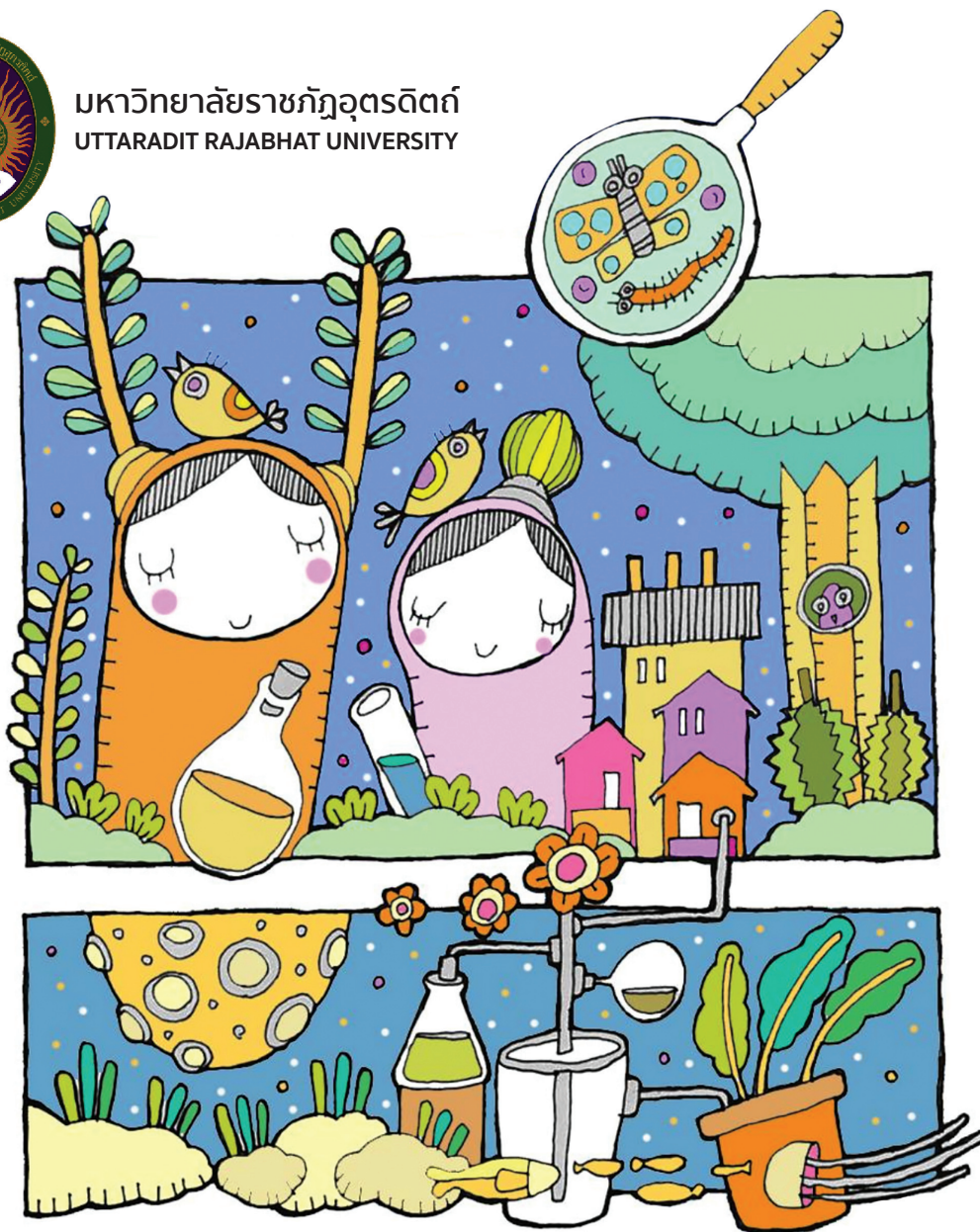
ACADEMIC JOURNAL UTTARADIT RAJABHAT UNIVERSITY
Science and Technology (for Local Development)

ปีที่ 18 ฉบับที่ 1 มกราคม-มิถุนายน 2566
Vol. 18 No. 1 January-June 2023

ISSN 1686 4409 (Print) ISSN 2651 1207 (Online)



มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์
UTTARADIT RAJABHAT UNIVERSITY



วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์
สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (เพื่อการพัฒนาท้องถิ่น)

ACADEMIC JOURNAL UTTARADIT RAJABHAT UNIVERSITY
Science and Technology (for Local Development)

ปีที่ 18 ฉบับที่ 1 มกราคม-มิถุนายน 2566
Vol. 18 No. 1 January-June 2023

ISSN 1686 4409 (Print) ISSN 2651 1207 (Online)

วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์

สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (เพื่อการพัฒนาท้องถิ่น)

ISSN 1686 4409 (Print)

ปีที่ 18 ฉบับที่ 1 (มกราคม-มิถุนายน)

ISSN 2651 1207 (Online)

เจ้าของ

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์

27 ถนนอินใจมี ตำบลท่าอิฐ อำเภอเมือง จังหวัดอุดรดิตถ์ 53000

โทรศัพท์ 0 5541 6601-20 ต่อ 1642, +66 5541 6601-20

กำหนดการพิมพ์

วารสารราย 6 เดือน (2 ฉบับ/ปี)

ฉบับที่ 1 มกราคม-มิถุนายน

ฉบับที่ 2 กรกฎาคม-ธันวาคม

ฉบับ (พิเศษ) อาจมีการตีพิมพ์เป็นกรณีพิเศษ

วัตถุประสงค์

วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ มีวัตถุประสงค์เพื่อตีพิมพ์และเผยแพร่บทความวิชาการ บทความวิจัย และผลงานวิจัยที่ใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่นำไปแก้ไขปัญหาและพัฒนาเชิงพื้นที่ทั้งในระดับประเทศ, กลุ่มจังหวัด, จังหวัด, ตำบล, หมู่บ้าน หรือชุมชนของนักวิชาการและบุคคลทั่วไป ส่งเสริมให้นักวิชาการในหน่วยงานราชการหรืออาจารย์ในมหาวิทยาลัยได้เสนอผลงานทางวิชาการสู่สาธารณะ

ที่ปรึกษา

อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์

รองอธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์

บรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ ดร.จักรกฤษณ์ พิญาพวงษ์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์

บรรณาธิการผู้พิมพ์และโฆษณา

ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพัตรา ตันติจริยาพันธ์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์
2. อาจารย์ ดร.ภาสกร รังษีสุนทรภรณ์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์
3. อาจารย์รัฐพล ทองแดง มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์

กองบรรณาธิการ

1. ศาสตราจารย์เกียรติคุณ ดร.อนุรักษ์ ปัญญาวัฒน์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
2. ศาสตราจารย์ ดร.นคร ทิพย์วงศ์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
3. ศาสตราจารย์ ดร.เสมอ ถาน้อย มหาวิทยาลัยพะเยา
4. รองศาสตราจารย์ ดร.อาวรณ์ โอภาสพัฒนกิจ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
5. รองศาสตราจารย์ ดร.วารินทร์ แก้วอุไร มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
6. รองศาสตราจารย์ ดร.สุรัช กังวล มหาวิทยาลัยแม่โจ้
7. รองศาสตราจารย์ ดร.อัมพวัน จุลเสวีวงศ์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
8. รองศาสตราจารย์ ดร.ไพโรจน์ เนียมมาศ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
9. รองศาสตราจารย์ ดร.สุภาภรณ์ สุดหนองบัว มหาวิทยาลัยนเรศวร
10. รองศาสตราจารย์ ดร.ภาณุวัฒน์ ภักดีอักษร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
11. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนตรี สังข์ทอง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล สุวรรณภูมิ

12. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณนันต์ ศุภศิริพงษ์ชัย มหาวิทยาลัยพะเยา
13. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.หญิงไทยสุชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
14. อาจารย์ ดร.ภคมน ปินตานา มหาวิทยาลัยแม่โจ้
15. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชัย ใจกล้า มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์
16. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาศิริ เขตปิยรัตน์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์
17. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วชิ ปัญญาไส มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์
18. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงษ์ศักดิ์ อ้นมอย มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์
19. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศิวัตม์ กมลคุณานนท์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์
20. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ปิยวรรณ ปาลาศ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์

คณะทำงาน

นางสาวธนาพร รักสัจจา

ผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความ

1. รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย ต่อสกุล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
2. รองศาสตราจารย์ ดร.อารีย์ อังฉวีวิริยะ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนิรุท ไชยจาวุธนิช มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
4. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรรณพร อุเอโนะ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
5. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุฬาลักษณ์ เขมาชีวกุล มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
6. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรุณ หล้าอุบ มหาวิทยาลัยมหิดล
7. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐดนัย สิ้นสมุทพวงศ์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง
8. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปริดา ธนสุกาญจน์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
9. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุพันธ์ กงบังเกิด มหาวิทยาลัยนเรศวร
10. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปริญ คงกระพันธ์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
11. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีระพล เสนพันธ์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
12. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัฐพงษ์ ปกแก้ว มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่
13. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยพงษ์ สุวรรณณีนิจดี มหาวิทยาลัยพะเยา
14. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิพรรณ จันทร์มะณี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
15. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติ ตันเรือน มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
16. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุทัยวรรณ ฉัตรธง มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
17. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วราคม วงศ์ชัย มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
18. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พัชรินทร์ วินยางค์กุล มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
19. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสถียร ฉันทะ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
20. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภวิ บุญธรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์
21. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรัณยู เรือนจันทร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์
22. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาพ พงศ์รพฤกษ์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์
23. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรทิพา พิญาพวงษ์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์
24. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปัทม์ธิ์ ถนอมพงษ์ชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์
25. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วชิระ จิระรัตนรังษี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
26. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชื่นกมล ปัญญาขย มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์
27. อาจารย์ ดร.อนัญญา คูอาริยะกุล วิทยาลัยพยาบาลบรมราชชนนีนครอุดรดิตถ์
28. อาจารย์ ดร.เชษฐา แก้วพรม วิทยาลัยพยาบาลบรมราชชนนีนครแพร่

หมายเหตุ : ทุกบทความที่ตีพิมพ์ได้ผ่านการประเมินบทความจากผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน

Owner

Uttaradit Rajabhat University
27 Injaime Rd. Ta-it Sub-district, Muang District, Uttaradit Province, 53000
Telephone 0 5541 6601-20 ext. 1642, +66 5541 6601-20

Publishing Schedule

Six monthly (2 issues/year)
1st issue January–June
2nd issue July–December
N.B. 3rd issue would be published on special occasion

Objectives

Journal of Uttaradit Rajabhat University is a journal that publishes academic articles, research articles and review articles. Published papers are focus on state of science and technology which base on area problems and spatial development for areas of national level, provincial groups level, provincial level, sub-districts level, villages or communities level and academics level. The authors may include researchers from government agencies and academies for presenting academic works to the public.

Advisors

President of Uttaradit Rajabhat University
Vice President of Uttaradit Rajabhat University

Editor

Assoc. Prof. Dr. Jakkrite Pinyaphong Uttaradit Rajabhat University

Publishing Editor

Director of Research and Development Institute Uttaradit Rajabhat University

Assistant Editors

- | | |
|--|-------------------------------|
| 1. Assist. Prof. Dr. Supattra Tantijariyapan | Uttaradit Rajabhat University |
| 2. Dr. Keowalee Rangisuttaporn | Uttaradit Rajabhat University |
| 3. Rathapol Thongtaeng | Uttaradit Rajabhat University |

Editorial Staffs

1. Emeritus Prof. Dr. Anurak Panyanuwat
Chiang Mai University
2. Prof. Dr. Nakorn Tippayawong
Chiang Mai University
3. Prof. Dr. Samur Thanoi
University of Phayao
4. Assoc. Prof. Dr. Avorn Opatpatanakit
Chiang Mai University
5. Assoc. Prof. Dr. Wareerat Kaewurai
Naresuan University
6. Assoc. Prof. Dr. Surachai Kungwon
Maejo University
7. Assoc. Prof. Dr. Amphawan Julsereewong
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
8. Assoc. Prof. Dr. Pairoj Neamnak
Kamphaeng Phet Rajabhat University
9. Assoc. Prof. Dr. Supaporn Sudnongbua
Naresuan University
10. Assoc. Prof. Dr. Panuwat Phakdee-auksorn
Prince of Songkla University, Phuket Campus
11. Assist. Prof. Dr. Montri Songthong
Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi
12. Assist. Prof. Dr. Noppanun Supasiripongchai
University of Phayao

13. Assist. Prof. Dr. Haruthai Thaisuchat
Lampang Rajabhat University
14. Dr. Pakamon Pintana
Maejo University
15. Assist. Prof. Dr. Phichai Chaikla
Uttaradit Rajabhat University
16. Assist. Prof. Dr. Pasiri Khetpiyarat
Uttaradit Rajabhat University
17. Assist. Prof. Dr. Vajee Panyasai
Uttaradit Rajabhat University
18. Assist. Prof. Dr. Pongsak Onmoy
Uttaradit Rajabhat University
19. Assist. Prof. Siwat Kamonkunanon
Uttaradit Rajabhat University
20. Assist. Prof. Piyawan Palas
Uttaradit Rajabhat University

Journal Producer Staff

Miss Thananuch Raksatja

Peer Reviewers

- | | |
|---|---|
| 1. Assoc. Prof. Dr. Sirichai Torsakul | Rajamangala University of Technology Thanyaburi |
| 2. Assoc. Prof. Dr. Aree Achariyaviriya | Chiang Mai University |
| 3. Assist. Prof. Dr. Anirut Chaijaruwanich | Chiang Mai University |
| 4. Assist. Prof. Dr. Wannaporn Ueno | Chiang Mai University |
| 5. Assist. Prof. Dr. Julaluk Khemacheewakul | Chiang Mai University |
| 6. Assist. Prof. Dr. Aroon La-up | Mahidol University Nakhonsawan Campus |
| 7. Assist. Prof. Dr. Natdanai Sinsamutpadung | King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang |
| 8. Assist. Prof. Dr. Parita Thanasukarn | Naresuan University |
| 9. Assist. Prof. Dr. Anupan Kongbangkerd | Naresuan University |
| 10. Assist. Prof. Dr. Parin Khongkrapan | Maejo University |
| 11. Assist. Prof. Dr. Theeraphol Senphan | Maejo University |
| 12. Assist. Prof. Dr. Rattaphong Pokkaew | Maejo University Phrae Campus |
| 13. Assist. Prof. Dr. Piyaong Suwanmaneechot | University of Phayao |
| 14. Assist. Prof. Dr. Rapiphun Chanthamani | Pibulsongkram Rajabhat University |
| 15. Assist. Prof. Dr. Keerati Tanruean | Pibulsongkram Rajabhat University |
| 16. Assist. Prof. Dr. Utaivan Chattong | Pibulsongkram Rajabhat University |
| 17. Assist. Prof. Dr. Warakhom Wongchai | Lampang Rajabhat University |
| 18. Assist. Prof. Dr. Phatcharin Winyangkul | Chiang Rai Rajabhat University |
| 19. Assist. Prof. Dr. Satian Chunta | Chiang Rai Rajabhat University |
| 20. Assist. Prof. Dr. Dussadee Buntam | Uttaradit Rajabhat University |
| 21. Assist. Prof. Dr. Saranyoo Ruanjan | Uttaradit Rajabhat University |
| 22. Assist. Prof. Dr. Supaporn Pongthompruek | Uttaradit Rajabhat University |
| 23. Assist. Prof. Dr. Porn Tippa Pinyaphong | Uttaradit Rajabhat University |
| 24. Assist. Prof. Dr. Patipat Thanompongchart | Uttaradit Rajabhat University |
| 25. Assist. Prof. Wachira Jirattananangsr | Chiang Mai University |
| 26. Assist. Prof. Chunkamol Panyayong | Uttaradit Rajabhat University |
| 27. Dr. Ananya Kooariyakul | Boromarajonani College of Nursing Uttaradit |
| 28. Dr. Chettha Kaewprom | Boromarajonani College of Nursing Phrae |

N.B. : Each published article was reviewed by 3 scholars

บทบรรณาธิการ

สวัสดีผู้อ่านทุกท่าน ช่วงนี้ประเทศไทยอยู่ในช่วงฤดูร้อนซึ่งเป็นอีกปีที่มีอากาศร้อนมากในทุกพื้นที่ อุณหภูมิในหลายพื้นที่สูงกว่า 40 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพอย่างมาก ขอให้ผู้อ่านทุกท่านรักษาสุขภาพด้วยนะครับ ส่วนสถานการณ์โควิด-19 ที่คลี่คลายลงทำให้สามารถทำกิจกรรมต่าง ๆ ได้ตามปกติ แต่เรายังคงต้องระวังตัวเพื่อป้องกันการติดเชื้อซ้ำ ผมขอเป็นกำลังใจให้ผู้อ่านทุกท่านผ่านสถานการณ์นี้อย่างราบรื่น อย่างไรก็ตามวารสารวิชาการมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (เพื่อการพัฒนาท้องถิ่น) ฉบับนี้เป็นฉบับที่ 1 ของปีที่ 18 ประจำปี 2566 ซึ่งในฉบับนี้ยังคงมีบทความวิจัยที่หลากหลายงานวิจัยดังกล่าวล้วนเป็นงานวิจัยเชิงพื้นที่ที่สามารถนำผลการวิจัยไปเป็นแนวทางการแก้ไขปัญหาในพื้นที่ที่มีบริบทใกล้เคียงกับพื้นที่ที่ทำการวิจัยเพื่อเป็นการต่อยอดขยายผลการวิจัยซึ่งเป็นวัตถุประสงค์สำคัญของวารสารฯ นี้

ฉบับนี้มีบทความที่น่าสนใจจากหลากหลายพื้นที่ จำนวน 10 เรื่อง ได้แก่ การประเมินความปลอดภัยจากการปนเปื้อนและการสะสมทางชีวภาพของแคดเมียมในส้มโอในจังหวัดพิจิตร, ผลของโปรแกรมการเรียนรู้แบบเกมดิจิทัลและการเรียนรู้ผ่านสื่อสังคมออนไลน์ต่อความรู้ทักษะการป้องกันการเกิดเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ทางคลินิก, การพัฒนาและทดลองใช้รูปแบบการจัดการมูลฝอยติดเชื้อในชุมชน: กรณีศึกษาผู้ป่วยที่รักษาตัวที่บ้าน อำเภอร่องทอง จังหวัดสุพรรณบุรี, การพัฒนาผลิตภัณฑ์ผักแผ่นอบกรอบ, องค์ประกอบทางเคมีของสารสกัดสำหรับสีย้อมน้ำจืดขนาดใหญ่ (*Oedogonium* sp.) และผลร่วมของสารสกัดกับปุ๋ยทางใบต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้วยไม้เอื้องสามปอยขุนตาล, การพัฒนาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตเสริมแป้งกล้วยจากแปลงใหญ่กล้วยหอมเขียวคาเวนดิช จังหวัดสิงห์บุรี, การออกแบบและสร้างเครื่องทอดกล้วยไส้มะขามกึ่งอัตโนมัติแบบควบคุมอุณหภูมิ, การพัฒนาต้นแบบเทคโนโลยีการลดความชื้นผลผลิตทางการเกษตรและวัสดุชีวภาพมูลค่าสูงด้วยอากาศร้อนที่เหมาะสมโดยใช้แหล่งพลังงานความร้อนร่วม, การพัฒนาคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักจากเก้าอี้ไฟฟ้าชีวมวล และงานวิจัยเรื่อง การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพจากผักเคลที่เหลือทิ้งของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนพอเพียงก็เพียงพอ จังหวัดเพชรบูรณ์

วารสารฯ ต้องขอขอบคุณ ผู้วิจัยและทีมงาน ที่ผลิตผลงานวิจัยเชิงพื้นที่มาแลกเปลี่ยนแบ่งปันองค์ความรู้ให้กับวงการวิชาการ เพื่อนำไปต่อยอดขยายผลการทำงาน ทางวารสารฯ หวังว่าคงได้รับการสนับสนุนจากนักวิจัยส่งผลงานดีดีมาเผยแพร่ต่อไปในอนาคต

แล้วพบกันใหม่ฉบับหน้าครับ

รองศาสตราจารย์ ดร.จักรกฤษณ์ พิญญาพงษ์

บรรณาธิการ

สารบัญ

บทความวิจัย

การประเมินความปลอดภัยจากการปนเปื้อนและการสะสมทางชีวภาพของแคดเมียม
ในส้มโอในจังหวัดพิจิตร

ปิยะดา วชิระวงศกร, สุพิณญา ภิรมย์ชม และ สาลินี จันรักษ์01

ผลของโปรแกรมการเรียนรู้แบบเกมดิจิทัลและการเรียนรู้ผ่านสื่อสังคมออนไลน์ต่อความรู้
ทักษะการป้องกันการเกิดเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ทางคลินิก

ยงยุทธ แก้วเต็ม, ณัฏฐ์ธรรณ ปัญญาจันทร์, สุชาติ เครื่องชัย และ วันวิสาข์ ชูจิตร21

การพัฒนาและทดลองใช้รูปแบบการจัดการมูลฝอยติดเชื้อในชุมชน: กรณีศึกษาผู้ป่วย
ที่รักษาตัวที่บ้าน อำเภออุ้มทอง จังหวัดสุพรรณบุรี

วนิดา จันทสวัสดิ์, มนพร วงศ์สุนทรชัย และ กำพล นันทพงษ์41

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ผักแผ่นอบกรอบ

ผกาวดี ภูจันทร์, ไพรวลัย ประมัย, ไสร์จรรย์ อิ่มเกิด และ อรุณลักษณ์ โชตินาครินทร์55

องค์ประกอบทางเคมีของสารสกัดสำหรับยีสี่เขี้ยวน้ำจืดขนาดใหญ่ (*Oedogonium* sp.)
และผลรวมของสารสกัดกับปุ๋ยทางใบต่อการเจริญเติบโต
ของต้นกล้วยไม้แฉ่องสามปอยขุนตาล

มณฑกา วีระพงศ์, สุภาวดี รามสูตร และ ดำรงค์พันธ์ ใจห้าววีระพงศ์69

การพัฒนาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตเสริมแป้งกล้วยจากแปลงใหญ่กล้วยหอมเขียวคาเวนดิช
จังหวัดสิงห์บุรี

วิจิตรา เหลียวตระกูล, นวรัตน์ ทรงสุภาพ และ รุ่งนภา ประไพพงษ์87

การออกแบบและสร้างเครื่องทอดกล้วยไส้มะขามกึ่งอัตโนมัติแบบควบคุมอุณหภูมิ

ยศวรธรณ์ จันทนา และ นรุตว์ รัตนวัย105

การพัฒนาต้นแบบเทคโนโลยีการลดความชื้นผลผลิตทางการเกษตรและวัสดุชีวภาพ มูลค่าสูงด้วยอากาศร้อนที่เหมาะสมโดยใช้แหล่งพลังงานความร้อนร่วม วศินวีโรตม์ เนติศักดิ์, พงษ์ศักดิ์ อยู่มัน, จักรกฤษณ์ ฮั่นยะลา, ปฐมพงศ์ พรหมมาบุญ, ธิดิมา คุณยศยิ่ง และ ณิชานภาพร จงกะสิกิจ	123
การพัฒนาคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักจากเสาโรงไฟฟ้าชีวมวล จรรยพร หลู่จิ่ง, ภคมน ปินตานา, นิกราน หอมดวง และ ธเนศ ไชยชนะ	139
การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพจากผักเคลที่เหลือทิ้งของกลุ่มวิสาหกิจ ชุมชนพอเพียงก็เพียงพอ จังหวัดเพชรบูรณ์ รัตนกร แสนทำพล, อภิชาติ สุวรรณชื่น และ ธรรมศาสตร์ จันทรัตน์	157

การประเมินความปลอดภัยจากการปนเปื้อนและการสะสมทางชีวภาพ ของแคดเมียมในส้มโอในจังหวัดพิจิตร

SAFETY EVALUATION ON CADMIUM CONTAMINATION AND BIOACCUMULATION IN POMELO (*CITRUS MAXIMA* (BURM.F.) MERR.) IN PHICHIT PROVINCE

วันที่รับ: 19 พฤษภาคม 2565

วันที่แก้ไข: 4 สิงหาคม 2565

วันที่ตอบรับ: 15 สิงหาคม 2565

ปิยะดา วชิระวงศกร^{1*},

สุพิญญา ภิรมย์ชม¹ และ สาลินี จันรัักษ์¹

Piyada Wachirawongsakorn^{1*},

Suphinya Phiromchom¹ and Salinee Junrak¹

¹คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม จังหวัดพิษณุโลก 65000

¹Faculty of Science and Technology, Pibulsongkram Rajabhat University,
Phitsanulok 65000

*Corresponding author e-mail: piyada333@hotmail.com



บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์และประเมินปริมาณการปนเปื้อนแคดเมียมในดินและผลส้มโอ 3 สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ขาวแตงกวา พันธุ์ทองดี และพันธุ์ท่าข่อย ในพื้นที่ตำบลโพธิ์ประทับช้าง อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร รวมถึงประเมินค่าดัชนีมลพิษและประเมินการสะสมทางชีวภาพของแคดเมียมในส้มโอ โดยเก็บตัวอย่างดินและส้มโอในสวนเดียวกันจากการสุ่มแปลงตัวอย่าง จำนวนสายพันธุ์ละ 10 สวน รวมทั้งหมด 30 สวน และเก็บตัวอย่างส้มโอ 2 ผลต่อสวน ปริมาณแคดเมียมในตัวอย่างดินและส้มโอวิเคราะห์โดยใช้เครื่องอะตอมมิกแอปซอบชั่น สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ผลการวิจัย พบว่าการปนเปื้อนแคดเมียมในดินของสวนส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวา พันธุ์ท่าข่อย และพันธุ์ทองดี มีค่าเฉลี่ย 1.28 ± 0.25 , 0.54 ± 0.15 และ 0.42 ± 0.19 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพดินของกรมพัฒนาที่ดินที่กำหนดไว้ การปนเปื้อนแคดเมียมในเนื้อส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวา พันธุ์ทองดี และพันธุ์ท่าข่อย มีค่าเฉลี่ย 0.40 ± 0.07 , 2.32 ± 0.17 และ 2.37 ± 0.34 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ ปริมาณแคดเมียมในเนื้อพันธุ์ทองดีและพันธุ์ท่าข่อยเกินค่ามาตรฐานของ The Prevention of Food Adulteration Rules ส่วนการปนเปื้อนแคดเมียมในเปลือกส้มโอมีปริมาณน้อยกว่าส่วนเนื้อ ซึ่งไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ สำหรับค่าดัชนีมลพิษและ

การสะสมทางชีวภาพของแคดเมียมในส้มโอพันธุ์ทองดีและพันธุ์ท่าข่อยมีค่าเฉลี่ยมากกว่า 1 มีความเป็นไปได้ว่าส้มโอพันธุ์ทองดีและพันธุ์ท่าข่อยจะมีความสามารถในการดูดซับแคดเมียมสูง ดังนั้นต้องมีความระมัดระวังในการใช้สารเคมีทางการเกษตรที่มีแคดเมียมเป็นองค์ประกอบ ในกระบวนการปลูก

คำสำคัญ: ส้มโอ, แคดเมียม, การปนเปื้อน, การสะสมทางชีวภาพ, ค่าดัชนีมลพิษ



Abstract

This study aimed to analyze and assess the contents of cadmium contamination in the soils and three pomelo varieties; namely, Kaotangkwa, Thongdee, and Thakoi varieties in the area of Pho Prathap Chang Sub-District, Pho Prathap Chang District, Phichit Province, and also examine the pollution index and bioaccumulation of cadmium in pomelos. Soil and pomelo samples were collected from the same gardens by random sampling of 10 gardens of each variety, with a total of 30 gardens. Soil samplings were collected 15 sampling sites per garden and pomelo samplings were collected 2 samples per garden. Cadmium contents in soil and pomelo samples were analyzed by using atomic absorption spectrophotometer (AAS). The results showed that cadmium contaminated soils in the pomelo gardens of Kaotangkwa, Thakoi and Thongdee varieties averaged 1.28 ± 0.25 , 0.54 ± 0.15 , and 0.42 ± 0.19 mg/kg, respectively, which did not exceed the soil quality standard of the Ministry of land development. The cadmium contaminations in Kaotangkwa, Thongdee and Thakoi pulp averaged at 0.40 ± 0.07 , 2.32 ± 0.17 , and 2.37 ± 0.34 mg/kg, respectively, which exceeded The Prevention of Food Adulteration Rules Standard. For cadmium contamination in pomelo peels were less than in pulp, which were considered not exceeded the standard. The values of pollution index and bioaccumulation factor of Thongdee and Thakoi varieties were averaged more than 1, which meant it was possible for the plants to absorb high cadmium. Therefore, agro-chemicals containing cadmium should be aware of impending use in planting process.

Keywords: Pomelo, Cadmium, Contamination, Bioaccumulation, Pollution Index



บทนำ

ส้มโอ (Pomelo, *Citrus maxima* (Burm.f.) MERR.) เป็นไม้ยืนต้นขนาดกลางตระกูลเดียวกับส้ม แหล่งกำเนิดอยู่ในเขตเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ส้มโอจัดว่าเป็นไม้ผลเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของไทย นิยมปลูกทางภาคตะวันตกของประเทศ ปัจจุบันส้มโอพันธุ์ที่เป็นที่นิยมปลูกทางการค้า ได้แก่ พันธุ์ทับทิมสยามปลูกมากที่จังหวัดนครศรีธรรมราช พันธุ์ทองดีเป็นพันธุ์ที่นิยมปลูกที่จังหวัดนครปฐม พันธุ์ขาวน้ำผึ้งและพันธุ์ขาวใหญ่นิยมปลูกที่จังหวัดสมุทรสงคราม พันธุ์ขาวพวง และพันธุ์ขาวแตงกวานิยมปลูกที่จังหวัดชัยนาท พันธุ์ท่าซ้อยเป็นพันธุ์ที่ปลูกมากที่จังหวัดพิจิตร และพันธุ์ปัตตาเวียปลูกมากทางภาคใต้ ซึ่งส้มโอเป็นผลไม้ชนิดหนึ่งที่หารายได้อย่างมากให้แก่ประเทศไทย โดยในปี 2563 มีการส่งออกส้มโอในปริมาณถึง 20,288,096 กิโลกรัม สามารถทำรายได้ให้กับประเทศเท่ากับ 669,669,471 บาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2564)

จังหวัดพิจิตรเป็นจังหวัดหนึ่งที่ตั้งอยู่ทางภาคกลางตอนบนระหว่างจังหวัดนครสวรรค์ กับจังหวัดพิษณุโลก มีพื้นที่ประมาณ 4,531 ตารางกิโลเมตร สภาพภูมิประเทศส่วนใหญ่เป็นที่ราบลุ่ม มีแม่น้ำที่สำคัญ 3 สาย คือ แม่น้ำน่าน แม่น้ำยม และแม่น้ำพิจิตร (จังหวัดพิจิตร, 2555) โดยสภาพพื้นที่ 2 ผังตัวเมืองอยู่ริมฝั่งแม่น้ำมีการปลูกส้มโอมากที่สุด เนื่องจากคุณภาพของน้ำดีเหมาะสมกับการนำมาใช้ในสวนผลไม้ รวมถึงอุณหภูมิ แสงแดด ปริมาณน้ำฝนที่มีความเหมาะสม ซึ่งสิ่งเหล่านี้เป็นส่วนสำคัญของการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตที่มีคุณภาพดี ผลผลิตส้มโอได้ถูกนำไปขายทั้งในประเทศและส่งออกต่างประเทศเป็นจำนวนมากในแต่ละปี จังหวัดพิจิตรเองมีชื่อเสียงเรื่องของส้มโอ 3 สายพันธุ์ คือ พันธุ์ทองดี พันธุ์ท่าซ้อย และพันธุ์ขาวแตงกวา มีพื้นที่ปลูกส้มโอรวมมากถึง 12,000 ไร่ และมีจำนวนผลผลิตมากพอที่จะขายป้อนตลาดส่งออกโดยเฉพาะตลาดประเทศจีนที่มีความต้องการส้มโอจากประเทศไทยเป็นจำนวนมากและราคารับซื้อจากสวนเกษตรกรค่อนข้างดีกว่าราคาซื้อขายในประเทศ โดยเฉพาะส้มโอของอำเภอโพธิ์ประทับช้าง ปัจจุบันถือว่าเป็นแหล่งปลูกที่สำคัญของประเทศไทย (ทวีศักดิ์ชัยเรืองยศ, 2560) ซึ่งสามารถสร้างรายได้ให้กับเกษตรกรในพื้นที่ปีละไม่ต่ำกว่า 600 ล้านบาท (วิฑูร ไตรยุทธรงค์, 2563) เพื่อให้ได้ผลผลิตส้มโอที่ดีพร้อมทั้งเชิงปริมาณและคุณภาพจึงต้องมีการดูแลส้มโออย่างตลอดกระบวนการเพาะปลูก โดยทั่วไปจะมีการใส่ปุ๋ยคอกผสมกับปุ๋ยเคมีเพื่อบำรุงต้น บำรุงผล และเพื่อเพิ่มความหวาน และใช้สารเคมีกำจัดแมลงเพื่อดูแลรักษาไม่ให้แมลงเข้าทำลายผลก่อนการเก็บเกี่ยว เนื่องจากมีการใช้ปุ๋ยเคมีและสารเคมีกำจัดแมลงจากกระบวนการเพาะปลูก อาจทำให้ดินและผลส้มโอมีการปนเปื้อนด้วยโลหะหนักหรือสารเคมีที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพได้ ทั้งนี้ได้มีรายงานที่แสดงให้เห็นว่าการใช้สารเคมีทางการเกษตรสามารถส่งผลทำให้เกิดการสะสมโลหะหนักในดินและในผลผลิตได้ โดยเฉพาะแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินสามารถเพิ่มขึ้นได้จากการใช้ปุ๋ยฟอสเฟต (Lugon-Moulin et al., 2006)

ซึ่งหากมีการสะสมในดินก็จะส่งผลกระทบต่อคุณภาพดินและสามารถถ่ายทอดไปยังผลผลิตได้ อันจะนำไปสู่ผลกระทบในด้านการส่งออก รวมถึงความเสี่ยงสุขภาพของกลุ่มผู้บริโภค เนื่องจากความเป็นพิษจากแคดเมียมที่เกิดกับคนส่วนใหญ่มักเป็นแบบชนิดเรื้อรังซึ่งเกิดจากการที่ร่างกายได้รับแคดเมียมเข้าไปเป็นเวลานานติดต่อกัน ทำให้เกิดโรคพิษแคดเมียม หรือโรคอิไต อิไต อาการเรื้อรังจะทำลายกระดูก ปวดกระดูก ทำลายปอด ตับและไต เป็นโรคโลหิตจาง และเป็นสารก่อมะเร็งได้ (เขมชิต ธนาภิชาญเจริญ และคนอื่น ๆ, 2551)

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงได้ดำเนินการวิเคราะห์และประเมินการปนเปื้อนแคดเมียมในดินและผลส้มโอในสวนส้มโอพันธุ์ทองดี พันธุ์ท่าข่อย และพันธุ์ขาวแตงกวา รวมถึงการประเมินดัชนีมลพิษและการสะสมทางชีวภาพของแคดเมียมในผลส้มโอทั้ง 3 พันธุ์ดังกล่าว ในพื้นที่ตำบลโพธิ์ประทับช้าง อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร ซึ่งผลจากการศึกษารั้งนี้สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อวางแผนงานในการช่วยลดการปนเปื้อนแคดเมียมในดินและผลส้มโอ ควบคุมปริมาณการใช้สารเคมีให้มีความเหมาะสม ลดความเสี่ยงของสุขภาพต่อผู้บริโภค และยืนยันคุณภาพของส้มโอส่งออกที่ผลิตจากพื้นที่อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร ต่อไป



วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อวิเคราะห์และประเมินปริมาณการปนเปื้อนแคดเมียมในดินและผลส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวา พันธุ์ท่าข่อย และพันธุ์ทองดีที่ปลูกในพื้นที่อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร
2. เพื่อประเมินค่าดัชนีมลพิษของแคดเมียมในดินและผลส้มโอในสวนส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวา พันธุ์ท่าข่อย และพันธุ์ทองดีที่ปลูกในพื้นที่ศึกษา
3. เพื่อประเมินการสะสมทางชีวภาพของแคดเมียมในผลส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวา พันธุ์ท่าข่อย และพันธุ์ทองดีที่ปลูกในพื้นที่ศึกษา



วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเก็บตัวอย่าง

1.1 การเก็บตัวอย่างดิน

การเก็บตัวอย่างดินในสวนส้มโอ ตำบลโพธิ์ประทับช้าง อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร แบ่งตามจำนวนพันธุ์ที่นิยมปลูก 3 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ขาวแตงกวา พันธุ์ท่าข่อย และพันธุ์ทองดี จำนวนพันธุ์ละ 10 สวน รวมสวนตัวอย่างทั้งหมด 30 สวน การสุ่มเก็บตัวอย่างดินรอบทรงพุ่มต้นละ 3 จุด จำนวน 15 ต้น กระจายจนทั่วแปลง เก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึกประมาณ 15 เซนติเมตร จากนั้นนำตัวอย่างดินทั้งหมดมาคลุกเคล้ารวมกัน กองดินให้เป็น

รูปฝาชี้แล้วแบ่งแยกเป็น 4 ส่วน แล้วทำการเก็บตัวอย่างดินจากกองดินนี้เพียง 1 ส่วน ให้ได้ดินหนักประมาณ 1 กิโลกรัม ใส่ถุงพลาสติกเขียนรายละเอียดติดไว้ แล้วนำไปวิเคราะห์ (ปิยะดา วชิระวงศกร และคนอื่น ๆ, 2564)

1.2 การเก็บตัวอย่างส้มโอ

การเก็บตัวอย่างส้มโอ 3 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ขาวแตงกวา พันธุ์ทองดี และพันธุ์ท่าข่อย จากสวนส้มโอทั้ง 3 สวน สวนละ 2 ตัวอย่าง รวมจำนวนตัวอย่างทั้งหมด 60 ตัวอย่าง โดยจะเก็บส้มโอในระยะที่มีความสุก ร้อยละ 70-90 หรือพร้อมสำหรับการเก็บเพื่อนำมาจำหน่าย โดยงานวิจัยนี้ได้เก็บตัวอย่างส้มโอในช่วงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2564

2. การเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียม

2.1 การเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมในดิน

อบดินให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง บดดินด้วยครกกระเบื้อง แล้วร่อนดินผ่านตะแกรงขนาด 2 mesh ในการเตรียมตัวอย่างดินก่อนนำไปวิเคราะห์โลหะหนัก ย่อยตัวอย่างดินโดยการเติมกรดไนตริก (HNO_3) และกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ในอัตราส่วน 3:1 มิลลิลิตร และหยดกรดไฮโดรฟลูออริก (HF) 1 หยด (พรณิภา แต้มดี และปิยะดา วชิระวงศกร, 2564) นำไปใส่ในเครื่อง High Performance Microwave Digestion System ยี่ห้อ Milestone รุ่น ETHOS UP ประเทศอิตาลี ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จนสารละลายเป็นสีใส ปรับปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร ด้วยกรดไนตริก 1 เปอร์เซ็นต์ กรองด้วยกระดาษกรอง (Whatman) เบอร์ 42 แล้วนำไปวิเคราะห์โลหะหนักด้วยเครื่องอะตอมมิกแอปซอบชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrophotometer: AAS) ยี่ห้อ SHIMADZU รุ่น AA-6200 ประเทศญี่ปุ่น จากนั้นนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณโลหะหนัก

2.2 การเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมในส้มโอ

นำตัวอย่างส้มโอมาล้างและปอกเปลือกโดยจะแยกส่วนของเนื้อและเปลือกล้างด้วยน้ำเปล่า 3 ครั้ง จากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่นจนสะอาด นำตัวอย่างที่ทำความสะดวกแล้วมาอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง บดเนื้อส้มโอและเปลือกให้ละเอียดเป็นเนื้อเดียวกัน และร่อนด้วยตะแกรงขนาด 1 mesh ชั่งตัวอย่างส้มโอที่เตรียมไว้ในแต่ละส่วนจำนวน 0.25 กรัม นำตัวอย่างใส่ Vessel แล้วเติมกรดไนตริก 9 มิลลิลิตร และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปย่อยด้วยเครื่อง Microwave Digestion ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จนสารละลายใส ปรับปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร ด้วยกรดไนตริก 1 เปอร์เซ็นต์ กรองด้วยกระดาษกรอง (Whatman) เบอร์ 42 (ศิริวรรณ จินตา

และปิยะดา วชิระวงศกร, 2564) แล้วนำไปวิเคราะห์โลหะหนักด้วยเครื่องอะตอมมิกแอปซอบชั่นสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (AAS) ยี่ห้อ SHIMADZU รุ่น AA-6200 ประเทศญี่ปุ่น จากนั้นนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณโลหะหนัก

3. การประเมินดัชนีมลพิษของแคดเมียมในดินและส้มโอ

ดัชนีมลพิษ (Pollution Index: PI) ในการศึกษานี้จะแสดงถึงอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของแคดเมียมในดินและส้มโอที่ได้รับการรับรองความปลอดภัยในเชิงมลพิษตามมาตรฐานการกำกับดูแลของหน่วยงานระหว่างประเทศ เช่น องค์การอนามัยโลก และสำนักงานคุ้มครองสิ่งแวดล้อมของประเทศสหรัฐอเมริกา รัฐบาลกลางสำนักงานคุ้มครองสิ่งแวดล้อมของประเทศไนจีเรีย (FEPA) (U.S.-Environmental Protection Agency, 1999; Jamali et al., 2007) โดยค่า $PI > 1$ หมายถึงดินหรือพืชมีการปนเปื้อนโลหะหนักสูงกว่าค่ามาตรฐาน แต่ในทางกลับกัน เมื่อค่า $PI < 1$ แสดงถึงดินหรือพืชมีการปนเปื้อนโลหะหนักไม่เกินค่ามาตรฐาน และค่า PI เท่ากับ 1 แสดงถึงอยู่ในสถานะวิกฤต ซึ่งทำให้เห็นถึงความสามารถในการเป็นตัวชี้วัดหรือใช้ในการติดตามตรวจสอบที่สำคัญในทางสิ่งแวดล้อม (Chukwuma, 1994) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (1) (Chukwuma, 1994) และ (2) (Liang et al., 2011) ดังต่อไปนี้

$$PI_{indi} = \frac{C_{soil \text{ or } plant}}{C_{standard}} \quad (1)$$

$$PI_{soil/pomelo} = \sqrt{\frac{(average PI)^2 + (maximum PI)^2}{2}} \quad (2)$$

โดยที่

PI_{indi}	หมายถึง ค่าดัชนีมลพิษของแต่ละตัวอย่าง
$C_{soil \text{ or } plant}$	หมายถึง ปริมาณโลหะหนักในดินหรือส้มโอ
$C_{standard}$	หมายถึง ค่ามาตรฐานของแคดเมียมที่สามารถยอมรับได้
$P_{soil/pomelo}$	หมายถึง ค่าดัชนีมลพิษของดินหรือส้มโอ ณ ที่หนึ่งในภาพรวม
$average PI$	หมายถึง ค่าเฉลี่ยของ P_{indi}
$maximum PI$	หมายถึง ค่าดัชนีมลพิษที่มีค่าสูงสุด

4. การประเมินการสะสมทางชีวภาพของแคดเมียมในส้มโอ

การสะสมทางชีวภาพ (Bioaccumulation Factors: BAF) เป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถของพืชในการดูดซับแคดเมียมจากดินที่เจริญเติบโต โดยจะนำค่าความเข้มข้นของแคดเมียมในผลมะม่วงต่ออัตราส่วนของความเข้มข้นของแคดเมียมในดินที่เจริญเติบโต โดยค่า BAF สามารถนำมาประเมินการสะสมทางชีวภาพของแคดเมียมในส้มโอได้ โดยส้มโอที่มีความสามารถในการดูดซับแคดเมียมสูงจะต้องมีค่า BAF มากกว่า 1 แต่ถ้ามีค่า BAF น้อยกว่า 1 แสดงว่าส้มโอมีความสามารถในการดูดซับแคดเมียมได้น้อย จึงสามารถนำมาบริโภคได้ (Fitz & Wenzel, 2002) โดยสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (3)

$$BAF = \frac{\text{Concentration of cadmium in plants}}{\text{Concentration of cadmium in soil}} \quad (3)$$

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

การประเมินผลของข้อมูลด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรม SPSS Statistics 23 ซึ่งสถิติที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และเปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูลโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธี Analysis of variance (ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05



ผลการวิจัย

1. การปนเปื้อนแคดเมียมในดินของสวนส้มโอ

ปริมาณแคดเมียมในดินของสวนส้มโอในพื้นที่ตำบลโพธิ์ประทับช้าง อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร มีค่าอยู่ในช่วงตรวจไม่พบ (Non detected: ND) –2.21 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อพิจารณาปริมาณแคดเมียมในดินแบ่งแยกตามชนิดพันธุ์ พบว่าดินในสวนส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวามีการปนเปื้อนของแคดเมียมเฉลี่ยสูงสุด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.28 ± 0.25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (อยู่ในช่วง 0.50–2.21 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) รองลงมา ได้แก่ ดินในสวนส้มโอพันธุ์ท่าข่อย และพันธุ์ทองดี โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.54 ± 0.15 (อยู่ในช่วง ND–1.50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และ 0.42 ± 0.19 (อยู่ในช่วง ND–1.43 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ซึ่งดินในสวนส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวามีการปนเปื้อนของแคดเมียมแตกต่างจากดินในสวนส้มโอพันธุ์ท่าข่อย และพันธุ์ทองดี อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแคดเมียมในดินของสวนส้มโอกับเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพดินของกรมพัฒนาที่ดิน สำหรับใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัย และเกษตรกรรมที่กำหนดไว้ให้มีค่าไม่เกิน 1.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (กรมพัฒนาที่ดิน, 2564) นั้น พบว่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ร้อยละ 99.99 (ตาราง 1 และภาพ 1)

2. การปนเปื้อนแคดเมียมในส้มโอ

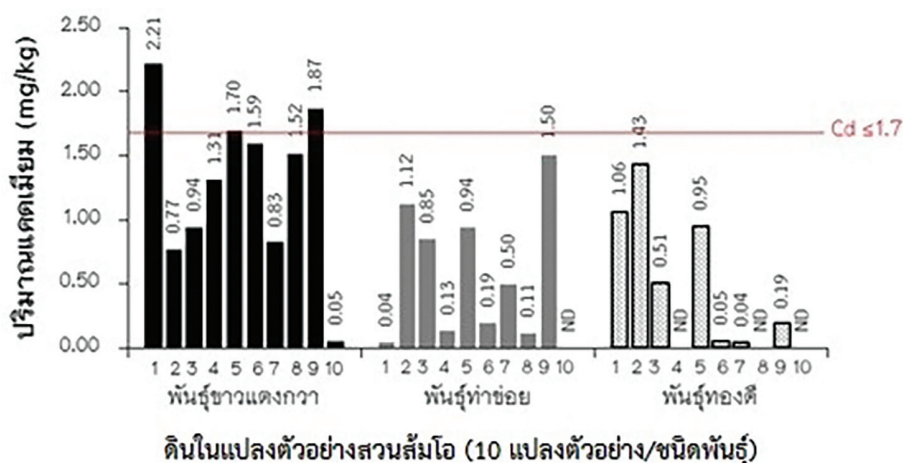
ปริมาณการสะสมแคดเมียมในส้มโอแต่ละสายพันธุ์มีความแตกต่างกันในแต่ละชนิดพันธุ์ โดยมีการสะสมแคดเมียมในเนื้อส้มโอมากกว่าเปลือกส้มโอ สำหรับการปนเปื้อนแคดเมียมในเนื้อส้มโอพันธุ์ท่าซ่วยมีค่าเฉลี่ยสูงสุด โดยมีค่าเท่ากับ 2.37 ± 0.34 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (อยู่ในช่วง $1.39\text{--}3.10$ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) รองลงมา คือ เนื้อส้มโอพันธุ์ทองดี และเนื้อส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวา มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.32 ± 0.17 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (อยู่ในช่วง $0.82\text{--}3.24$ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และ 0.40 ± 0.07 มิลลิกรัม (อยู่ในช่วง $0.11\text{--}0.85$ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ตามลำดับ ซึ่งปริมาณแคดเมียมในเนื้อส้มโอพันธุ์ท่าซ่วยมีค่าแตกต่างจากส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวาอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 แต่มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติจากพันธุ์ทองดี เมื่อพิจารณาปริมาณแคดเมียมที่สะสมในเปลือกส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวามีปริมาณการปนเปื้อนแคดเมียมเท่ากับ 0.25 ± 0.13 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (อยู่ในช่วง ND–1.78 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ซึ่งมีค่าสูงกว่าในส้มโอพันธุ์ทองดี และพันธุ์ท่าซ่วยอย่างมีระดับนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 โดยเปลือกส้มโอพันธุ์ทองดีมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.06 ± 0.02 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (อยู่ในช่วง ND–0.35 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และไม่พบการปนเปื้อนแคดเมียมในเปลือกส้มโอพันธุ์ท่าซ่วย (ภาพ 2-3) เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการปนเปื้อนแคดเมียมในเนื้อและเปลือกของส้มโอกับค่ามาตรฐานของ The Prevention of Food Adulteration Rules (2004) ที่กำหนดให้มีปริมาณแคดเมียมในผลไม้ได้ไม่เกิน 1.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พบว่าเปลือกส้มโอทุกชนิด และเนื้อส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวามีปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมไม่เกินมาตรฐานที่กำหนดไว้ ส่วนเนื้อส้มโอพันธุ์ทองดีและพันธุ์ท่าซ่วย มีปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมเกินมาตรฐานที่กำหนดไว้ร้อยละ 85 และ 95 ของจำนวนตัวอย่างทั้งหมด ตามลำดับ (ตาราง 1)

ตาราง 1 ปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมในดินและส้มโอ ในตำบลโพธิ์ประทับช้าง อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

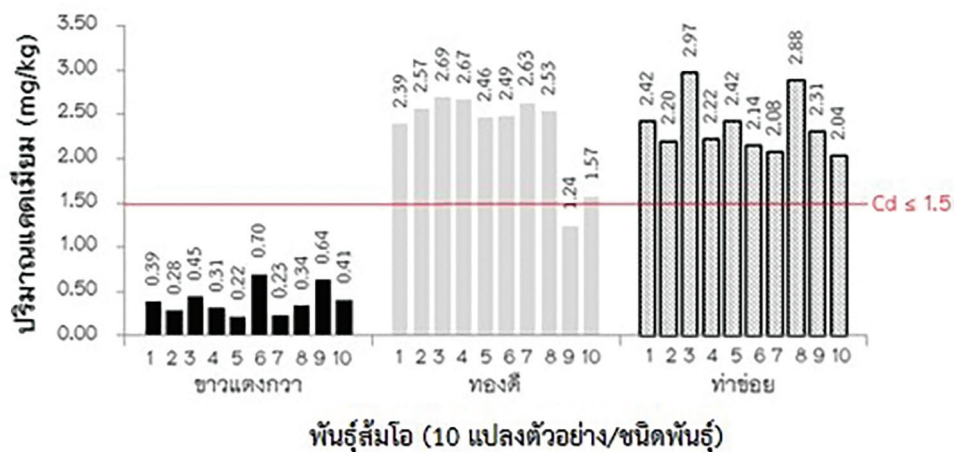
สายพันธุ์ส้มโอ	ปริมาณการปนเปื้อนแคดเมียม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)		
	ดินสวนส้มโอ	เนื้อส้มโอ	เปลือกส้มโอ
พันธุ์ขาวแตงกวา	1.28 ± 0.25 ^a (0.50–2.21)	0.40 ± 0.07 ^a (0.11–0.85)	0.25 ± 0.13 ^a (ND–1.78)
%ผ่านมาตรฐาน	99.99	100	99.99
พันธุ์ท่าข่อย	0.54 ± 0.15 ^b (ND–1.50)	2.37 ± 0.34 ^b (1.39–3.10)	ND ^b (ND)
%ผ่านมาตรฐาน	100	5	100
พันธุ์ทองดี	0.42 ± 0.19 ^b (ND–1.43)	2.32 ± 0.17 ^b (0.82–3.24)	0.06 ± 0.02 ^b (ND–0.35)
%ผ่านมาตรฐาน	100	15	100
มาตรฐานแคดเมียม	≤ 1.7*	≤ 1.5**	≤ 1.5**
ผ่านมาตรฐานรวม	99.99%	40%	99.99%

หมายเหตุ: ตัวอักษรยกกำลังที่แตกต่างกัน (a, b) แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างกันระหว่างสายพันธุ์ส้มโอ, ND = ตรวจไม่พบ

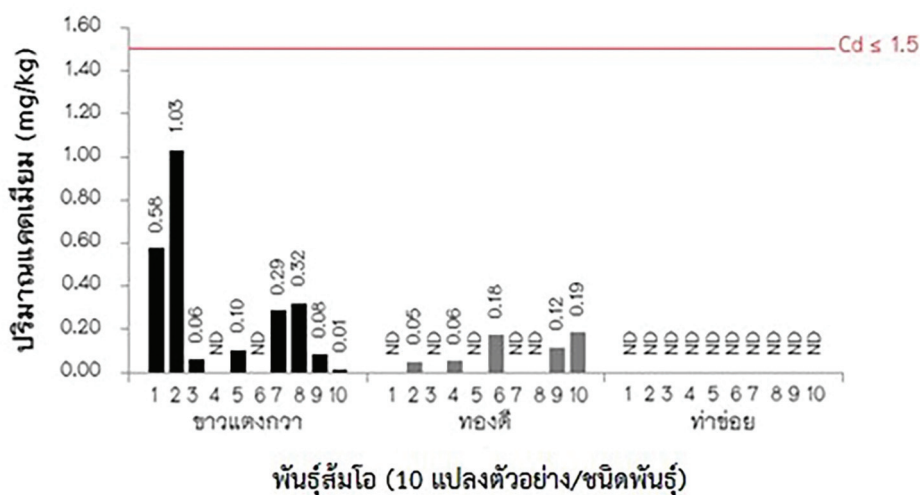
(กรมพัฒนาที่ดิน, 2564; The Prevention of Food Adulteration Act & Rules, 2004)



ภาพ 1 ปริมาณการปนเปื้อนแคดเมียมเฉลี่ยในดินของสวนส้มโอ 3 สายพันธุ์ จำนวน 30 แปลงตัวอย่างในตำบลโพธิ์ประทับช้าง อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร



ภาพ 2 ปริมาณการปนเปื้อนแคดเมียมในเนื้อส้มโอ 3 สายพันธุ์ จำนวน 30 แปลงตัวอย่าง
ในตำบลโพธิ์ประทับช้าง อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร



ภาพ 3 ปริมาณการปนเปื้อนแคดเมียมในเปลือกส้มโอ 3 สายพันธุ์ จำนวน 30 แปลงตัวอย่าง
ในตำบลโพธิ์ประทับช้าง อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

3. การประเมินดัชนีมลพิษของแคดเมียมในดินและส้มโอ

ดัชนีมลพิษของแคดเมียมในดินบนพื้นที่สวนส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวามีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 1.52 (ดัชนีมลพิษของแต่ละตัวอย่างอยู่ในช่วง 0.29–1.30) รองลงมา ได้แก่ ดินพันธุ์ท่าช้อย และทองดี มีค่าเท่ากับ 0.94 (ดัชนีมลพิษของแต่ละตัวอย่างอยู่ในช่วง 0–0.88) และ 0.88 (ดัชนีมลพิษของแต่ละตัวอย่างอยู่ในช่วง 0–0.84) ตามลำดับ โดยดัชนีมลพิษของแคดเมียม

ในดินสวนส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวาส่งสูงกว่าพันธุ์อื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 และจัดว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ถือได้ว่ามีการปนเปื้อนของแคดเมียมสูงกว่ามาตรฐานสามารถก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมได้ สำหรับค่าดัชนีมลพิษในเนื้อส้มโอแต่ละตัวอย่างมีค่าอยู่ในช่วง 0.15–1.98 โดยเมื่อพิจารณาค่าดัชนีมลพิษของส้มโอแต่ละพันธุ์ พบว่าดัชนีมลพิษของเนื้อส้มโอพันธุ์ทองดีและท่าข่อยมีค่ามากกว่า 1 ซึ่งจัดว่ามีค่าเกินมาตรฐานที่ดัชนีมลพิษกำหนดไว้โดยมีค่าเท่ากับ 2.37 และ 2.53 ตามลำดับ ในขณะที่ส่วนของเปลือกส้มโอมีเพียงพันธุ์ขาวแตงกวาที่มีค่าดัชนีมลพิษมากกว่า 1 (ตาราง 2)

4. การประเมินศักยภาพการสะสมทางชีวภาพของแคดเมียมในส้มโอ

การสะสมทางชีวภาพของแคดเมียมในส้มโอมีค่าอยู่ในช่วง 0–26.18 โดยค่าการสะสมทางชีวภาพของแคดเมียมเฉลี่ยของส้มโอพันธุ์ท่าข่อยมีค่าสูงที่สุด รองลงมา ได้แก่ พันธุ์ทองดี และพันธุ์ขาวแตงกวา โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.43, 3.00 และ 0.35 ตามลำดับ โดยค่าดังกล่าวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 จากค่าดังกล่าวสามารถบ่งชี้ได้ว่าส้มโอพันธุ์ทองดีและพันธุ์ท่าข่อยเป็นพันธุ์ส้มโอที่มีศักยภาพในการสะสมแคดเมียมในปริมาณสูง (Cd-hyperaccumulator) เนื่องจากมีค่าศักยภาพการสะสมทางชีวภาพมากกว่า 1 (ตาราง 2)

ตาราง 2 ค่าดัชนีมลพิษและค่าศักยภาพการสะสมทางชีวภาพของแคดเมียมของส้มโอ 3 พันธุ์ในพื้นที่ตำบลโพธิ์ประทับช้าง อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

พันธุ์ส้มโอ	ดัชนีมลพิษของแคดเมียม (PI) ($PI_{indi} = \text{ต่ำสุด-สูงสุด}$)			BAF
	ดิน	ส้มโอ	เปลือกส้มโอ	
ขาวแตงกวา	1.52 ($PI_{indi} = 0.29\text{--}1.30$)	0.54 ($PI_{indi} = 0.15\text{--}0.47$)	1.06 ($PI_{indi} = 0\text{--}1.03$)	0.35 ± 0.20^c (0.13–0.48)
ทองดี	0.88 ($PI_{indi} = 0\text{--}0.84$)	2.37 ($PI_{indi} = 0.83\text{--}1.79$)	0.20 ($PI_{indi} = 0\text{--}0.19$)	3.00 ± 2.66^b (0–6.53)
ท่าข่อย	0.94 ($PI_{indi} = 0\text{--}0.88$)	2.53 ($PI_{indi} = 1.36\text{--}1.98$)	0 ($PI_{indi} = 0$)	7.43 ± 8.37^a (0–26.18)

หมายเหตุ: PI คือ ดัชนีมลพิษของดิน/ส้มโอแต่ละพันธุ์, PI_{indi} คือ ค่าดัชนีมลพิษของตัวอย่างที่มีค่าต่ำสุด–สูงสุด

ตัวอักษรยกกำลังที่แตกต่างกัน (a, b, c) แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างกันระหว่างสายพันธุ์ส้มโอ



อภิปรายผลการวิจัย

ดินในสวนส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวา พันธุ์ท่าซ้อย และพันธุ์ทองดี ของพื้นที่ตำบลโพธิ์ประทับช้าง อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร มีปริมาณการปนเปื้อนแคดเมียมในดินอยู่ในช่วง ND-2.21 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดินของสวนส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวามีการปนเปื้อนสูงที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.28 ± 0.25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมา คือ ดินสวนส้มโอพันธุ์ท่าซ้อย และดินสวนส้มโอพันธุ์ทองดี มีค่าเฉลี่ยของแคดเมียมเท่ากับ 0.54 ± 0.15 และ 0.42 ± 0.19 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ตัวอย่างดินในสวนส้มโอเกือบทั้งหมดมีปริมาณการปนเปื้อนแคดเมียมอยู่ในเกณฑ์ค่ามาตรฐานที่กรมพัฒนาที่ดินกำหนด (≤ 1.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) (ร้อยละ 99.99) การปนเปื้อนแคดเมียมในดินที่แตกต่างกันนั้นมีหลายสาเหตุ โดยกรมพัฒนาที่ดิน (2564) รายงานว่าการปนเปื้อนของโลหะหนักในดินจะแตกต่างกันตามชนิดของวัตถุต้นกำเนิดดิน นอกจากนั้นโลหะหนักในดินอาจมาจากการใช้น้ำในระบบชลประทาน สารหรือวัสดุต่าง ๆ ที่ใส่ลงไปในดิน เช่น ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก วัสดุปรับปรุงดิน และสารกำจัดศัตรูพืช เป็นต้น ในดินสวนส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวามีปริมาณแคดเมียมสูงกว่าดินในสวนส้มโอนิดอื่น ซึ่งความแตกต่างของการปนเปื้อนแคดเมียมในแต่ละพื้นที่อาจจะเป็นผลมาจากสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน น้ำที่นำมาใช้ในการเพาะปลูก ระดับความเป็นมลพิษของดิน การใช้ปุ๋ยและสารเคมีทางการเกษตรที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ (Rahimzadeh & Rastegar, 2017) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของธีรนนท์ วรรณศิริ (2561) ที่พบว่าเกษตรกรชาวสวนส้มโอในอำเภอนครชัยศรีใช้ปุ๋ยและสารเคมีมากในช่วงออกดอก โดยใส่ปุ๋ยตั้งแต่เริ่มปลูก ต่อมาใส่ทุกเดือนหรือ 2 เดือน ใช้ปุ๋ยแบบที่เคยใช้หรือใช้ตาม ๆ กัน ทั้งปุ๋ยเคมีและชีวภาพ เมื่อต้นส้มโอมีอายุได้ 4 ปี ใกล้จะออกดอกจะพ่นสารเคมีทุกอาทิตย์ แม้สาเหตุการปนเปื้อนแคดเมียมอาจมีหลายสาเหตุ แต่ปัจจัยหลักที่สำคัญ นั่นคือดินที่ปนเปื้อนมีผลต่อการสะสมของแคดเมียมในพืชที่ปลูกในพื้นที่นั้นด้วย (เพชรกวินท์ เนื่องสมศรี, 2561)

สำหรับปริมาณการปนเปื้อนแคดเมียมในเนื้อส้มโอแตกต่างกันไปตามชนิดพันธุ์ โดยส้มโอพันธุ์ท่าซ้อยมีความแตกต่างกับพันธุ์ขาวแตงกวาอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 โดยพันธุ์ท่าซ้อยมีปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมปนเปื้อนสูงที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.37 ± 0.34 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (อยู่ในช่วง 1.39-3.10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) รองลงมา ได้แก่ เนื้อส้มโอพันธุ์ทองดี และเนื้อส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวา มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.32 ± 0.17 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 0.40 ± 0.07 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งปริมาณแคดเมียมในส่วนเนื้อส้มโอมีมากกว่าในส่วนของเปลือกส้มโออย่างมีนัยสำคัญ โดยเปลือกส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวามีปริมาณการปนเปื้อนแคดเมียมเท่ากับ 0.25 ± 0.13 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมา คือ เปลือกส้มโอพันธุ์ทองดี และเปลือกส้มโอพันธุ์ท่าซ้อย มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ

0.06 ± 0.02 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และไม่พบการปนเปื้อน ตามลำดับ ในขณะที่ เช็ก และคนอื่น ๆ (Czech et al., 2021) พบว่า ส้มโอที่สำรวจจากซูเปอร์มาร์เก็ตในประเทศโปแลนด์ มีการสะสมของแคดเมียมในเปลือกส้มโอกมากกว่าส่วนเนื้อของส้มโอ โดยมีปริมาณแคดเมียมเฉลี่ยในส่วนเปลือกเท่ากับ 0.136 ± 0.015 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในเนื้อส้มโอมีค่าเท่ากับ 0.039 ± 0.007 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งปริมาณแคดเมียมที่สะสมในเปลือกส้มโอมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ตรวจพบในส้มโอในจังหวัดพิจิตรนี้ แต่ส่วนของเนื้อส้มโอนั้นมีการปนเปื้อนแคดเมียมที่น้อยกว่ามาก แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของ The Prevention of Food Adulteration Rules พบว่าเปลือกส้มโอทุกชนิด และเนื้อส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวามีปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมไม่เกินมาตรฐานที่กำหนดไว้ (≤ 1.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ส่วนเนื้อส้มโอพันธุ์ทองดีและพันธุ์ท่าข่อย มีปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมเกินมาตรฐานที่กำหนดไว้ร้อยละ 85 และ 95 ตามลำดับ ซึ่งการปนเปื้อนแคดเมียมที่เกินมาตรฐานนี้อาจจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพผู้บริโภคได้ เช่น ส่งผลทำให้กระดูกเปราะแตกง่าย อาเจียนรุนแรง ปวดท้อง ทำให้ระบบสืบพันธุ์เกิดความผิดปกติ ระบบประสาทส่วนกลางเกิดความเสียหาย และยังสามารถก่อให้เกิดโรคมะเร็งได้ (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 1990; Assunção et al., 2003) สำหรับประเทศไทยส้มโอถูกจัดให้เป็นผลไม้ประเภทสินค้าที่ผู้ส่งออกต้องมีหนังสือรับรองสารตกค้างจากกรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ไปแสดงต่อกรมศุลกากรประกอบพิธีการส่งออกไปนอกราชอาณาจักร (กรมวิชาการเกษตร, 2560) โดยแคดเมียมยังไม่มีมาตรฐานการส่งออกในส้มโอ แต่พบในผักและผลไม้แปรรูป ซึ่งส่วนมากจะเป็นการปนเปื้อนจากวัตถุดิบที่ใช้หรือจากภาชนะบรรจุ (สำนักงานที่ปรึกษาการเกษตรต่างประเทศ ประจำสหภาพยุโรป, 2563) อย่างไรก็ตาม หากผลผลิตส้มโอมีปริมาณการสะสมแคดเมียมสูง อาจทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของผู้บริโภคที่นิยมบริโภคส้มโออย่างต่อเนื่องได้ ถึงแม้โลหะหนักไม่ได้ถูกระบุเป็นค่ามาตรฐาน GAP ของการส่งออกผลไม้ไทย แต่เพื่อลดความเสี่ยงต่อสุขภาพ และมาตรฐานการส่งออกผลไม้ไทยในอนาคตที่อาจมีการเพิ่มมาตรฐานโลหะหนักในการส่งออกเพื่อนำไปสู่การผลิตส้มโอที่มีคุณภาพเพื่อจำหน่ายทั้งในและต่างประเทศได้อย่างยั่งยืน ทั้งนี้ความแตกต่างของการปนเปื้อนแคดเมียมในแต่ละพื้นที่อาจจะเป็นผลมาจากสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน น้ำที่นำมาใช้ในการเพาะปลูก ระดับความเป็นมลพิษของดินการใช้ปุ๋ยและสารเคมีทางการเกษตรที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ (สิทธิชัย อินทร์ปนาม, 2558) อย่างไรก็ตามการปนเปื้อนของแคดเมียมในส้มโอแต่ละสายพันธุ์ก็มีความแตกต่างกัน ด้วยพืชแต่ละชนิดจะมีการสะสมของโลหะหนักที่แตกต่างกันเนื่องจากพืชแต่ละชนิดมีความสามารถในการดูดซับและความต้องการโลหะหนักที่แตกต่างกัน รวมไปถึงความทนทานต่อโลหะหนักที่แตกต่างกันด้วย (ยศเวท สิริจามร และคนอื่น ๆ, 2560)

ดัชนีมลพิษของแคดเมียมในดินของสวนส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวา พันธุ์ท่าซ้อย และ พันธุ์ทองดี มีค่าเท่ากับ 1.52, 0.94 และ 0.88 ตามลำดับ ส่วนดัชนีมลพิษของแคดเมียม ในเนื้อส้มโอมีค่าเท่ากับ 0.54, 2.53 และ 2.37 ตามลำดับ ในขณะที่ดัชนีมลพิษของแคดเมียม ในเปลือกส้มโอมีค่าเท่ากับ 1.06, 0.20 และ 0 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าดินในสวนส้มโอ ของพันธุ์ขาวแตงกวามีค่าดัชนีมลพิษของแคดเมียมมากกว่า 1 ซึ่งจัดว่าอยู่ในสภาวะมลพิษ แต่ในทางกลับกันส่วนเนื้อของพันธุ์ขาวแตงกวาจัดว่ายังไม่เป็นมลพิษ ซึ่งสอดคล้องกับ ค่าศักยภาพการสะสมแคดเมียมในส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวาที่มีค่าน้อยกว่า 1 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวามีศักยภาพในการเคลื่อนที่ของแคดเมียมจากดินไปสะสมในเนื้อส้มโอ ได้ต่ำ จัดว่าเป็นพันธุ์ที่สามารถปลูกเพื่อการบริโภคได้อย่างปลอดภัย ในขณะที่ดินในสวนส้มโอ ของพันธุ์ท่าซ้อยและพันธุ์ทองดีมีค่าดัชนีมลพิษของแคดเมียมต่ำกว่า 1 จัดว่าอยู่ในระดับ ที่ยอมรับได้ แต่ดัชนีมลพิษในส่วนเนื้อนั้นกลับพบว่ามีค่าสูงกว่าค่าที่ยอมรับได้ ซึ่งสอดคล้องกับ ค่า BAF ของส้มโอทั้งสองพันธุ์ดังกล่าวที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.00 และ 7.43 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าศักยภาพในการสะสมแคดเมียมมากกว่า 1 นั้นแสดงให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ว่าส้มโอ ทั้งสองพันธุ์นี้มีแนวโน้มจะเป็นพืชที่มีความสามารถในการสะสมแคดเมียมในปริมาณสูง โดยเรซวานีและซาฟาเรียน (Rezvani & Zaefarian, 2011) ได้สรุปว่า *Aeluropus littoralis* ซึ่งเป็นพืชชนิดหนึ่งที่พบได้ในประเทศอิหร่านมีการสะสมทางชีวภาพมากกว่า 1 สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการบำบัดดินที่ปนเปื้อนแคดเมียมได้ อย่างไรก็ตาม ยังไม่พบว่ามีการศึกษา เกี่ยวกับดัชนีมลพิษและศักยภาพในการสะสมทางชีวภาพของแคดเมียมในส้มโอ แต่ได้มีรายงาน วิจัยว่ามีการนำใบของส้มโอมาทำเป็นสารดูดซับเพื่อใช้ในการดูดซับตะกั่วในน้ำ (Lim et al., 2019) หรือใช้ส่วนของเปลือกส้มโอมาเป็นสารดูดซับทางธรรมชาติในการดูดซับแคดเมียม และตะกั่ว (Dinh et al., 2020) ทั้งนี้ การที่ส้มโอแต่ละพันธุ์มีศักยภาพในการสะสมแคดเมียม ที่ต่างกันนั้นประกอบด้วยหลายปัจจัย โดยยศเวท สิริจามร และคนอื่น ๆ (2560) กล่าวว่า พืชถึงแม้จะอยู่ในวงศ์เดียวกัน หรือแม้แต่จะเป็นพืชชนิดเดียวกัน หากแต่ขึ้นในสภาวะแวดล้อม ที่แตกต่างกัน เช่น คุณสมบัติของดิน ภูมิประเทศ ภูมิอากาศ เป็นต้น ก็อาจจะส่งผลทำให้ ศักยภาพในการดูดซับและสะสมโลหะหนักที่แตกต่างกันได้

ทั้งนี้ จะเห็นได้ว่าเกษตรกรผู้ปลูกส้มโอต้องระมัดระวังเรื่องการใช้สารเคมี ปุ๋ย และ ยาฆ่าแมลงอันเป็นแหล่งที่ทำให้เกิดการปนเปื้อนโลหะหนักในดินและส้มโอที่มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่น เช่น น้ำจากแหล่งน้ำทางการเกษตรที่อาจมีการปนเปื้อนสารเคมี ร่วมด้วย ดังนั้น ทางภาครัฐโดยเฉพาะองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น เกษตรตำบล ควรเข้ามามี ส่วนช่วยผลักดันให้เกิดนโยบายการรวมกลุ่มเพื่อทำเกษตรปลอดภัย เกษตรอินทรีย์หรือ เกษตรปลอดภัย การลดการใช้สารเคมีและให้ความช่วยเหลือในรูปแบบต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็น

การให้ความรู้เกษตรกรเกี่ยวกับความสำคัญของการลดการใช้สารเคมี การสร้างความร่วมมือ และการมีส่วนร่วมของชุมชน ตลอดจนส่งเสริมให้ผลผลิตส้มโออำเภอโพธิ์ประทับช้างได้รับมาตรฐาน GAP คือแนวทางในการทำการเกษตรเพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพดีและปลอดภัย ตามมาตรฐานที่กำหนด โดยขบวนการผลิตจะต้องปลอดภัยต่อเกษตรกรและผู้บริโภค ปราศจากการปนเปื้อนของสารเคมีไม่ทำให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมก่อให้เกิดความยั่งยืนทางการเกษตรต่อไป (กรมวิชาการเกษตร, 2561)



สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

การปนเปื้อนแคดเมียมในตัวอย่างดินของสวนส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวาเกือบทั้งหมดในพื้นที่ตำบลโพธิ์ประทับช้าง อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร มีปริมาณอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานกำหนดไว้ มีเพียงดินในสวนส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวาที่มีเพียงร้อยละ 0.01 เท่านั้นที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน สำหรับปริมาณการปนเปื้อนแคดเมียมในผลส้มโอ จะเห็นว่ามีการปนเปื้อนแคดเมียมในเนื้อส้มโอกมากกว่าในส่วนเปลือกส้มโอ โดยส่วนของเนื้อส้มโอพันธุ์ท่าข่อยมีปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมปนเปื้อนสูงที่สุด รองลงมา คือ เนื้อส้มโอพันธุ์ทองดี และเนื้อส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวา ส่วนของเปลือกส้มโอจะมีปริมาณแคดเมียมสูงที่สุดในพันธุ์ขาวแตงกวา รองลงมา คือ พันธุ์ทองดี และพันธุ์ท่าข่อย ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของ The Prevention of Food Adulteration Act & Rules ที่กำหนดให้มีปริมาณแคดเมียมในผลไม้ได้ไม่เกิน 1.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พบว่าเปลือกส้มโอทุกชนิด และเนื้อส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวามีปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมไม่เกินมาตรฐานที่กำหนดไว้ ส่วนเนื้อส้มโอพันธุ์ทองดีและพันธุ์ท่าข่อยมีปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมเกินมาตรฐานที่กำหนดไว้ ร้อยละ 85 และ 95 ตามลำดับ ดินในสวนส้มโอของพันธุ์ขาวแตงกวามีค่าดัชนีมลพิษของแคดเมียมมากกว่า 1 ซึ่งจัดว่าอยู่ในสภาวะมลพิษ แต่ในทางกลับกันส่วนเนื้อของพันธุ์ขาวแตงกวาจัดว่ายังไม่เป็นมลพิษ ในขณะที่ดัชนีมลพิษของเนื้อส้มโอพันธุ์ทองดีและพันธุ์ท่าข่อยมีค่ามากกว่า 1 ซึ่งจัดว่ามีค่าเกินมาตรฐานที่ดัชนีมลพิษกำหนดไว้ รวมถึงส้มโอพันธุ์ทองดีและพันธุ์ท่าข่อยเป็นพันธุ์ส้มโอที่มีศักยภาพในการสะสมแคดเมียมในปริมาณสูง (Cd-hyperaccumulator) เนื่องจากมีค่าศักยภาพการสะสมทางชีวภาพมากกว่า 1

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

1. มีความเป็นไปได้ว่าส้มโอพันธุ์ทองดีและพันธุ์ท่าข่อยมีแนวโน้มจะเป็นพืชที่มีความสามารถในการสะสมแคดเมียมในปริมาณสูง เกษตรกรผู้ปลูกส้มโอจึงควรให้ความระมัดระวังในกระบวนการปลูกจากการใช้สารเคมีทางการเกษตรและปุ๋ยเคมีที่มีแคดเมียมเป็นองค์ประกอบ อันเป็นแหล่งที่ทำให้เกิดการปนเปื้อนแคดเมียมในดินและผลส้มโอ

ให้มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นได้ รวมถึงมีปัจจัยอื่น ๆ เช่น น้ำจากแหล่งน้ำทางการเกษตรที่อาจมีการปนเปื้อนสารเคมีร่วมด้วย ดังนั้น หากมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการปลูกเป็นแบบอินทรีย์หรือตามมาตรฐาน GAP จะสามารถช่วยให้เกิดการสะสมแคดเมียมในผลผลิตอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ปลอดภัยได้

2. อาจมีการใช้ส้มโอพันธุ์ทองดีและพันธุ์ท่าข่อยไปใช้เป็นพืชในการบำบัดดินที่มีการปนเปื้อนแคดเมียมได้ เนื่องจากมีค่าศักยภาพการสะสมทางชีวภาพสูง

3. เจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรหรือผู้ที่เกี่ยวข้องในการส่งเสริมการเกษตรในเชิงพื้นที่ ควรมีการนำข้อมูลเหล่านี้ไปถ่ายทอดและให้ความรู้แก่เกษตรกรในการผลิตส้มโอ เพื่อให้เกษตรกรได้ทราบว่าในกระบวนการผลิตที่มีการใช้สารเคมีทางการเกษตรจำนวนมากนั้นสามารถทำให้เกิดการสะสมสารพิษในดินและผลผลิต อันจะนำไปสู่ผลกระทบในด้านการส่งออกและสุขภาพของผู้บริโภคได้ พร้อมทั้งแนะนำการผลิตส้มโอในแนวทางที่สามารถลดการใช้สารเคมีทางการเกษตรและทำให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพปลอดภัยแก่เกษตรกร

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรมีการศึกษาศักยภาพการสะสมทางชีวภาพของโลหะหนักชนิดอื่น ๆ ในส้มโอพันธุ์ต่าง ๆ เพิ่มเติม เช่น ตะกั่ว สังกะสี ทองแดง แมงกานีส โครเมียม หรืออาร์เซนิก เป็นต้น เพื่อใช้เป็นแนวทางในการวางแผนการลดการปนเปื้อนโลหะหนักในผลผลิตส้มโอ รวมถึงนำไปเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับใช้เป็นพืชในการบำบัดพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนโลหะหนักได้

2. จากในการศึกษานี้ทำให้ทราบว่าส้มโอมีแนวโน้มการสะสมแคดเมียมในปริมาณสูง (Cd-hyperaccumulator) ดังนั้น จึงมีความเป็นไปได้ที่จะมีการศึกษาการใช้ส้มโอในการบำบัดหรือดูดซับโลหะหนักชนิดต่าง ๆ ในดินได้ แต่อย่างไรก็ตาม ส้มโอเป็นพืชยืนต้นที่ใช้ระยะการปลูกนานอาจส่งผลให้เกิดข้อจำกัดในการทดลอง

3. เพื่อให้เกิดความยั่งยืนในการใช้ที่ดินสำหรับทำสวนส้มโอให้ได้ผลผลิตที่ดีมีคุณภาพต่อไปอย่างยั่งยืน ควรมีการให้เกษตรกรมีส่วนร่วมในการดำเนินงานวิจัย โดยการร่วมในการศึกษาความสัมพันธ์ในการใช้สารเคมีทางการเกษตรและปุ๋ยเคมีกับคุณภาพของดิน ซึ่งเกษตรกรสามารถมีส่วนร่วมในการเก็บข้อมูลการใช้สารเคมีในแต่ละรอบการปลูก พร้อมกับการเก็บตัวอย่างดินในแต่ละช่วงเวลาของรอบการผลิตเพื่อนำมาศึกษาวิเคราะห์คุณสมบัติของดิน เพื่อให้เป็นข้อมูลนำไปแก้ไขปัญาและพัฒนาคุณภาพของดิน รวมถึงวางแผนทางในการใช้สารเคมีทางการเกษตรเพื่อลดการปนเปื้อนสารพิษในดินได้ต่อไป



เอกสารอ้างอิง

- กรมพัฒนาที่ดิน. (2564). *ดินปนเปื้อน*. สืบค้น 1 พฤศจิกายน 2564, จาก https://www.ddd.go.th/Web_Soil/polluted.htm
- กรมวิชาการเกษตร. (2560). *การจัดทะเบียนผู้ส่งออก และกฎ ระเบียบ และเงื่อนไขการส่งออกสินค้าเกษตร ออกนอกราชอาณาจักร*. นนทบุรี : ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.
- _____. (2561). *Good Agricultural Practice/GAP*. สืบค้น 2 มีนาคม 2565, จาก <http://www.foodnetwork solution.com/wiki/word/1637/good-agricultural-practice-gap>.
- เชมชิต ธนาภิชาตเจริญ, นงนาถ เมฆรังสิมันต์, และสุรัชย์ ศิลาภรณ์โชติ. (2551). *ประโยชน์และความเป็นพิษของโลหะหนักแคดเมียม*. สืบค้น 20 ธันวาคม 2564, จาก https://www.dss.go.th/images/st-article/cp_4_2551_Cadmium.pdf
- จังหวัดพิจิตร. (2555, 9 พฤศจิกายน). *ภูมิประเทศจังหวัดพิจิตร*. สืบค้น 2 มีนาคม 2564, จาก <http://www.phichit.go.th/phichit/index.php/about/place>
- ทวีศักดิ์ ชัยเรืองยศ. (2560, 2 พฤษภาคม). *ผลิตส้มโอขาวแตงกวาให้ได้คุณภาพ สร้างรายได้ดีหลักแสนถึงหลักล้าน ตลาดนิยมบริโภค ผิวไม่สวยก็ยังขายได้ดีในประเทศ*. สืบค้น 28 ธันวาคม 2563, จาก https://www.technologychaoban.com/agricultural-technology/article_17908
- ธีรนนท์ วรรณศิริ. (2561). ประสพการณ์การใช้สารเคมีของเกษตรกรชาวสวนส้มโอจังหวัดนครปฐม. *วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ในพระบรมราชูปถัมภ์*, 13(1), 199–209.
- ปิยะดา วชิระวงศกร, เทียมจันทร์ นิลสนธิ, มุกตภา อ้ายคำ, เกสรา เผือกขาวนา, ธมนวรรณ ฉวยกระโทก, และอรอนงค์ จันทคุณ. (2564). การประเมินความปลอดภัยจากการสะสมแคดเมียมของมะม่วงส่งออกในจังหวัดพิษณุโลก. *วารสารพิษวิทยาไทย*, 36(1), 1–17.
- พรธนิภา แต่มดี และปิยะดา วชิระวงศกร. (2564). การปนเปื้อนโลหะหนักในดินของพื้นที่ผลิตผักเศรษฐกิจในจังหวัดพิษณุโลก. *PSRU Journal of Science and Technology*, 6(2), 98–108.
- เพชรกวินท์ เนื่องสมศรี. (2561). *อันตรายภายในดิน*. สืบค้น 2 มีนาคม 2565, จาก <https://www.nsm.or.th/nsm/th/node/6303>
- ยศเวท สิริจามร, ปราบธนา เผือกวิไล, และณิมนารักษ์ อยู่คงแก้ว. (2560). ศักยภาพในการดูดซับและสะสมโลหะหนักของพืชล้มลุกชนิดเด่นบริเวณพื้นที่รอบเหมืองแร่ทองคำ จังหวัดพิจิตร. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 25(1), 110–123.

- วิฑูร ไตรยุทธรงค์. (2563, 5 กรกฎาคม). สัมโอพันธุ์ทำช้อยพิจิตรดีตลาดส่งออกกว่า 600 ล้านบาทต่อปี. สืบค้น 11 ธันวาคม 2563, จาก <https://www.thethaipress.com/2020/12584/>
- ศิริวรรณ จินตา และปิยะดา วชิระวงศกร. (2564). การประเมินปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อนในผักเศรษฐกิจ: กรณีศึกษาในตำบลบึงพระ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก. *PSRU Journal of Science and Technology*, 6(1), 28–38.
- สำนักงานที่ปรึกษาการเกษตรต่างประเทศ ประจำสหภาพยุโรป. (2563). *ข่าวสารด้านการเกษตร สหภาพยุโรป: กฎระเบียบและเงื่อนไขในการส่งออก ผัก/ผลไม้แปรรูปไปยังสหภาพยุโรป*. สืบค้น 8 มีนาคม 2564, จาก https://appdb.tisi.go.th/tis_devs/regulate/eu/pdf/Import_Regulation_EU.pdf
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2564). *สถิติการส่งออก (Export)*. สืบค้น 8 มีนาคม 2564, จาก http://impexp.oae.go.th/service/export.php?S_YEAR=2562&E_YEAR=2563&PRODUCT_GROUP=5252&PRODUCT_ID=5032&wf_search=&WF_SEARCH=Y
- สิทธิชัย อินทร์ปนาม. (2558). *รูปของโลหะหนักตามความเข้มข้นของโลหะหนักในดินที่สกัดด้วยวิธี sequential extraction* (รายงานการวิจัย). มหาวิทยาลัยนเรศวร. https://www.agi.nu.ac.th/nred/Document/is-PDF/2558/nre_2558_027_Abstract.pdf
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (1990). *Toxicological profile for lead*. U.S. Department of Health and Human Services.
- Assunção, A. G. L., Bookum, W. M., Nelissen, H. J. M., Vooijs, R., Schat, H., & Ernst, W. H. O. (2003). Differential metal-specific tolerance and accumulation patterns among *Thlaspi caerulescens* populations originating from different soil types. *New Phytologist*, 159(2), 411–419. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2003.00819.x>
- Chukwuma, Chrysanthus, Sr. (1994). Evaluating baseline data for lead (Pb) and cadmium (Cd) in rice, yam, cassava, and guinea grass from cultivated soils in Nigeria. *Toxicological & Environmental Chemistry*, 45(1–2), 45–56. <https://doi.org/10.1080/02772249409358069>
- Czech, A., Malik, A., Sosnowska, B., & Domaradzki, P. (2021). Bioactive substances, heavy metals, and antioxidant activity in whole fruit, peel, and pulp of citrus fruits. *International Journal of Food Science*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/6662259>

- Dinh, V.-P., Xuan, T. D., Hung, N. Q., Luu, T.-T., Do, T.-T.-T., Nguyen, T. D., Nguyen, V.-D., Anh, T. T. K., & Tran, N. Q. (2020). Primary biosorption mechanism of lead (II) and cadmium (II) cations from aqueous solution by pomelo (*Citrus maxima*) fruit peels. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(45), 63504–63515. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10176-6>
- Fitz, W. J. & Wenzel, W. W. (2002). Arsenic transformations in the soil–rhizosphere–plant system: fundamentals and potential application to phytoremediation. *Journal of Biotechnology*, 99(3), 259–278. [https://doi.org/10.1016/S0168-1656\(02\)00218-3](https://doi.org/10.1016/S0168-1656(02)00218-3)
- Jamali, M. K., Kazi, T. G., & Arian, M. B. (2007). Determination of pollution indices. *Environmental pollution handbook* (pp. 209–218). China.
- Liang, J., Chen, C., Song, X., Han, Y., & Liang, Z. (2011). Assessment of heavy metal pollution in soil and plants from Dunhua sewage irrigation area. *International Journal of Electrochemical Science*, 6(1), 5314–5324.
- Lim, L. B. L., Priyantha, N., Lu, Y. C., & Zaidi, N. A. H. M. (2019). Adsorption of heavy metal lead using *Citrus grandis* (pomelo) leaves as low-cost adsorbent. *Desalination and Water Treatment*, 166, 44–52. <https://doi.org/10.5004/dwt.2019.24620>
- Lugon-Moulin, N., Ryan, L., Donini, P., & Rossi, L. (2006). Cadmium content of phosphate fertilizers used for tobacco production. *Agronomy for Sustainable Development*, 26, 151–155. <https://doi.org/10.1051/agro:2006010>
- Rahimzadeh, M. & Rastegar, S. (2017). Heavy metals residue in cultivated mango samples from Iran. *Journal of Food Quality and Hazards Control*, 4, 29–31.
- Rezvani, M. & Zaefarian, F. (2011). Bioaccumulation and translocation factors of cadmium and lead in *Aeluropus littoralis*. *Australian Journal of Agricultural Engineering*, 2(4), 114–119.
- The Prevention of Food Adulteration Act & Rules*. (2004). Retrieved on March 6, 2022, from <https://fssai.gov.in/upload/uploadfiles/files/pfa-acts-and-rules.pdf>
- U.S.-Environmental Protection Agency. (1999). *Integrated Risk Information System (IRIS) on Cadmium*. Office of Research and Development National Center for Environmental Assessment.



ACADEMIC JOURNAL
UTTARADIT RAJABHAT
UNIVERSITY

ผลของโปรแกรมการเรียนรู้แบบเกมดิจิทัลและการเรียนรู้ผ่านสื่อสังคมออนไลน์
ต่อความรู้ ทักษะการป้องกันการเกิดเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ทางคลินิก
EFFECTIVENESS OF DIGITAL GAME-BASED LEARNING AND LEARNING
VIA SOCIAL MEDIA PROGRAM ON KNOWLEDGE AND SKILLS IN
CLINICAL RISK PREVENTION

วันที่รับ: 31 พฤษภาคม 2565
วันที่แก้ไข: 4 สิงหาคม 2565
วันที่ตอบรับ: 15 สิงหาคม 2565

ยงยุทธ แก้วเต็ม^{1*}, ณัฐฐรณ์ ปัญจพันธ์¹,
สุชาติ เครือข่าย¹ และ วันวิสาข์ ชูจิต¹
Yongyuth Kaewtem^{1*}, Nutthaporn Panchakhan¹,
Suchart Kreuangchai¹ and Wanwisa Chujit¹

¹วิทยาลัยพยาบาลบรมราชชนนีนครลำปาง จังหวัดลำปาง 52000

¹Boromarajjonnani College of Nursing, Nakhon Lampang, Lampang 52000

*Corresponding author e-mail: thun716@gmail.com



บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของโปรแกรมการเรียนรู้แบบเกมดิจิทัลและการเรียนรู้ผ่านสื่อสังคมออนไลน์ของนักศึกษาพยาบาลศาสตรบัณฑิตชั้นปีที่ 4 วิทยาลัยพยาบาลบรมราชชนนีนครลำปาง ต่อความรู้ ทักษะการป้องกันการเกิดเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ทางคลินิก และผลลัพธ์ของนักศึกษาหลังใช้โปรแกรมการเรียนรู้ โดยแบ่งการศึกษาเป็น 2 ระยะ ระยะที่ 1 การวิจัยกึ่งทดลองกลุ่มเดียววัดสองครั้ง ระยะที่ 2 วิจัยเชิงคุณภาพ ด้วยการประชุมระดมความคิดเห็นหลังการเรียนรู้เสร็จสิ้น กลุ่มตัวอย่าง คือนักศึกษาพยาบาลศาสตรบัณฑิตชั้นปีที่ 4 เลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเฉพาะเจาะจง จำนวน 64 คน เชิงคุณภาพ จำนวน 20 คน เครื่องมือวิจัย ประกอบด้วย โปรแกรมการเรียนรู้แบบเกมดิจิทัลและการเรียนรู้ผ่านสื่อสังคมออนไลน์ แบบประเมินความรู้การป้องกันตนเองและเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ แบบประเมินทักษะการป้องกันเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ แนวคำถามในการประชุมระดมความคิดเห็น วิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณด้วยสถิติเชิงพรรณนา ทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่มที่ไม่เป็นอิสระต่อกัน วิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพด้วยการวิเคราะห์ประเด็นร่วม ผลการวิจัยพบว่า ผลของโปรแกรมการเรียนรู้แบบเกมดิจิทัลและการเรียนรู้ผ่านสื่อสังคมออนไลน์ต่อความรู้ ทักษะการป้องกันการเกิดเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์

ทางคลินิกสูงกว่าก่อนการทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .001$) ไม่พบอุบัติการณ์การเกิดเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ทางคลินิก โดยผลลัพธ์หลังใช้โปรแกรมสนับสนุนให้นักศึกษามีทักษะด้านความคล่องตัว ด้านอารมณ์และการบริหารจัดการความคิดในการป้องกันความเสี่ยงทางคลินิก ดังนั้นโปรแกรมการเรียนรู้ดังกล่าวจึงส่งเสริมการป้องกันการเกิดเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ทางคลินิกในการฝึกภาคปฏิบัติได้

คำสำคัญ: โปรแกรมการเรียนรู้แบบเกมดิจิทัล, ประสิทธิภาพ, การเรียนรู้ผ่านสื่อสังคมออนไลน์, เหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ทางคลินิก



Abstract

The objectives of this mixed methods research were to study the effectiveness of digital game-based learning and learning via social media program on knowledge, skills in clinical risk prevention of fourth-year nursing students from Boromarajonani College of Nursing Nakhon Lampang, and outcomes by the students after using the learning program. The study was divided into 2 phases. The first phase was quasi experimental research with the one-group pretest-posttest design, and the second phase was qualitative research with brainstorming after the practical skill. The samples were the fourth-year nursing students in the primary medical care practicum, all samples were selected by purposive sampling of 64 students and for qualitative samples of 20 students. The instruments for data collection were the digital game-based learning and learning via social media program, self-defense and adverse event knowledge assessment form, the adverse event prevention skills assessment form, and question guideline in the post practical skill brainstorming. Quantitative data were analyzed with descriptive statistics, and Dependent Pair t-test. Qualitative data were analyzed by thematic analysis. The findings of the effectiveness of digital game-based learning and learning via social media program on knowledge, skills in clinical risk prevention revealed that knowledge and skill in preventing clinical risk were significantly higher than before received the program ($p < .001$), and there was no incidence of clinical risk from practical skills. The results also showed that after the nursing students received the intervention program,

the learners had skills in developing agility and soft skills for clinical risk prevention. Hence, these learning program could encourage the prevention of clinical risk in practice.

Keywords: Digital Game-Based Learning Program, Effectiveness, Learning via Social Media, Clinical Risk



บทนำ

การจัดการเรียนการสอนในวิชาชีพการพยาบาล มุ่งเน้นให้นักศึกษาเป็นผู้มีความสามารถ และทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณ มีกระบวนการคิดวิเคราะห์และตัดสินใจอย่างถูกต้องกับ ชีวิตผู้ป่วย ซึ่งผู้สอนทางการพยาบาลจำเป็นต้องปรับเปลี่ยนรูปแบบการเรียนการสอน และ มีการเตรียมความพร้อมในการฝึกภาคปฏิบัติที่เน้นเนื้อหาความรู้และทักษะภายใต้การคิด อย่างมีวิจารณญาณ โดยหลักสูตรพยาบาลศาสตรบัณฑิตได้กำหนดสมรรถนะให้นักศึกษา มีทักษะทางปัญญา มีความสัมพันธ์ระหว่างบุคคล การสื่อสารและการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ และทักษะการปฏิบัติทางวิชาชีพที่จะต้องปฏิบัติทักษะการพยาบาลอย่างถูกต้อง (วิทยาลัย พยาบาลบรมราชชนนี นครลำปาง, 2560) มีความสามารถในการป้องกันตนเองจากความเสี่ยง ในการฝึกปฏิบัติอย่างเหมาะสมโดยใช้ศาสตร์และศิลปะทางการพยาบาล โดยเน้นการจัด การเรียนการสอนที่เน้นผู้เรียนเป็นศูนย์กลาง และเน้นการจัดการเรียนการสอนแบบผสมผสาน ที่เกิดจากการใช้กระบวนการเรียนรู้ต่าง ๆ ที่หลากหลายเข้าด้วยกัน เช่น การเรียนการสอนด้วย การใช้เกม การเรียนการสอนด้วยสื่อออนไลน์ร่วมกับการสอนแบบดั้งเดิม เพื่อช่วยให้ผู้เรียน เกิดการเรียนรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งการประยุกต์ใช้กระบวนการจัดการเรียนการสอนและ แหล่งเรียนรู้ ระบบการติดต่อสื่อสาร ระบบเครือข่ายเทคโนโลยีสารสนเทศ การวัดและ การประเมินผล รูปแบบการเรียนการสอนที่หลากหลายวิธีทำให้ผู้สอนและผู้เรียนมีปฏิสัมพันธ์ ร่วมกันได้ดี (วิทยา วาโย และคนอื่น ๆ, 2563) ซึ่งการเรียนการสอนที่ใช้กระบวนการเรียนรู้ ต่าง ๆ ที่หลากหลายเข้าด้วยกันก็เพื่อมุ่งหวังให้นักศึกษาสามารถผสมผสานความรู้เชิงทฤษฎี กับการปฏิบัติได้มากขึ้นผ่านการใช้สารสนเทศที่ทันสมัยและสื่อสังคมออนไลน์ที่เป็นประโยชน์ เพื่อพัฒนาศักยภาพนักศึกษาให้มีสมรรถนะของพยาบาลที่พึงประสงค์ได้

การศึกษาในวิชาชีพทางการพยาบาลต้องมีการศึกษาเรียนรู้ทั้งภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติ เพื่อให้นักศึกษามีความพร้อมทั้งด้านความรู้ ทักษะในการปฏิบัติการพยาบาลและไม่เกิด ความเสี่ยงทางคลินิกในระหว่างที่ให้การพยาบาล แต่เนื่องด้วยนักศึกษายังเป็นบุคคลที่ย่อย นความสามารถในเรื่องประสบการณ์ในการทำงานในคลินิก แม้จะได้รับการเรียนรู้ในภาคทฤษฎี

มาอย่างครบถ้วนสมบูรณ์ แต่ก็พบว่าในการฝึกภาคปฏิบัติของนักศึกษาพยาบาลยังมียุบัติการณ์ ความเสี่ยงหรือเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ทางคลินิกมากมาย จากการทบทวนวรรณกรรมจาก สถาบันการศึกษาทางการพยาบาลพบความเสี่ยงต่าง ๆ อาทิเช่น การถูกของมีคมที่มิดำ การถูกสารคัดหลั่งกระเด็นเข้าสู่ร่างกายทั้งในขณะที่ทำหัตถการและการช่วยเหลือผู้ป่วย ในสถานการณ์ฉุกเฉินต่าง ๆ (มาลี คำคง และจิระภา นะแสง, 2563) ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็น การรายงานสถานการณ์หรือเหตุการณ์ที่เกิดความเสี่ยงในภาพรวมเท่านั้น ด้วยเหตุที่ข้อมูล ดังกล่าวเป็นข้อมูลเชิงลึก เป็นความลับและความปลอดภัยของนักศึกษาและผู้รับบริการ จากการเกิดเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์นั้น ๆ

วิทยาลัยพยาบาลบรมราชชนนีนครลำปาง คณะพยาบาลศาสตร์ สถาบันพระบรมราชชนก เป็นสถาบันการศึกษาทางการพยาบาลที่มีความพยายามในการเสริมสร้างการปฏิบัติ อย่างปลอดภัย มีการวางแผนและกระตุ้นให้นักศึกษาสามารถนำสิ่งที่อยู่รอบตัวมาใช้เป็น สื่อการเรียนรู้ได้ โดยเฉพาะการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัยประเภทเกมผ่านแอปพลิเคชัน ต่าง ๆ ที่มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็วและมีรูปแบบที่หลากหลาย ซึ่งการใช้ประโยชน์จากเกม ในการพัฒนาการเรียนรู้เป็นการสร้างความรู้สึกที่แปลกใหม่ในการเรียน ทำให้มีความสนุก น่าสนใจ และได้ทดลองลงมือทำ ผู้สอนสามารถออกแบบเกมให้เหมาะสมกับการเรียนการสอนนั้น ๆ การใช้เกมเพื่อการสอนจะทำให้เกิดการเรียนรู้ได้จากความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในเกม และสามารถ นำไปปรับใช้ในชีวิตจริงได้อย่างเหมาะสม การเรียนรู้แบบเกมดิจิทัลเป็นนวัตกรรมสื่อการเรียนรู้ ที่สอดแทรกเนื้อหาลงไปในเกมและให้นักศึกษามีส่วนร่วมในการเรียนและฝึกปฏิบัติในการเรียนรู้ ด้วยตนเอง ในขณะที่เล่นผู้เรียนจะได้รับทักษะ ความรู้จากเนื้อหาบทเรียนไปด้วยขณะที่เล่น (Oblinger, 2006) ซึ่งเกมจะมีสถานการณ์จำลองเพื่อดึงดูดความสนใจและกระตุ้นให้นักศึกษา รู้สึกท้าทายอยากที่จะเล่นและพร้อมจะเรียนรู้โดยในรายวิชาปฏิบัติการรักษาพยาบาลเบื้องต้น เป็นอีกรายวิชาหนึ่งในชั้นปีที่ 4 ที่ให้ความสำคัญกับการจัดการเรียนการสอนลักษณะนี้ โดยเฉพาะการมุ่งให้นักศึกษามีสมรรถนะของการนำตนเองเพื่อการตัดสินใจให้เหตุผลทางคลินิก อีกทั้งเน้นให้นักศึกษาผสมผสานความรู้ภาคทฤษฎีที่เรียนมาทั้งหมดตั้งแต่ชั้นปีที่ 1 จนถึง ชั้นปีที่ 4 เพื่อดึงศักยภาพการตัดสินใจของนักศึกษาในการรักษาพยาบาลเบื้องต้น รวมถึง ความสามารถในการป้องกันความเสี่ยงทางคลินิก ดังนั้นการใช้โปรแกรมการเรียนรู้แบบเกมดิจิทัล และการเรียนรู้ผ่านสื่อสังคมออนไลน์ตั้งแต่ในระยะเวลาเตรียมความพร้อมจนถึงช่วงระยะที่ฝึก ภาคปฏิบัติจึงมีความสำคัญและสอดคล้องกับลักษณะของรายวิชา จากการทบทวนผลการ ฝึกภาคปฏิบัติในรายวิชาที่ผ่านมาพบจำนวนอุบัติเหตุการณ์ความเสี่ยง เหตุการณ์ที่ไม่พึงประสงค์ จากการฝึกเกิดขึ้นทุกปี เช่น การถูกเข็มตำขณะฉีดยาเข้าทางหลอดเลือด หรือทางกล้ามเนื้อ หรือในระหว่างการให้สารน้ำทางหลอดเลือดดำ การถูกสารคัดหลั่งกระเด็นเข้าตาขณะทำหัตถการ

ต่าง ๆ และพบว่าในรอบ 3 ปีย้อนหลัง ปี 2563 2562 2561 มีเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ทางคลินิกจากการฝึกภาคปฏิบัติ จำนวน 7, 3 และ 5 ครั้งต่อปี (วิทยาลัยพยาบาลบรมราชชนนีนครลำปาง, 2564) ซึ่งสถานการณ์ดังกล่าวแม้จะเกิดขึ้นไม่บ่อยหรือจำนวนน้อยแต่ก็ถือเป็นความเสี่ยงและเหตุการณ์ที่น่าจะป้องกันได้หรือไม่ควรเกิดขึ้นเลย เนื่องจากเป็นความปลอดภัยของตัวนักศึกษาและตัวผู้รับบริการ ซึ่งแม้จะมีการประชุมชี้แจงอธิบายถึงความเสี่ยงในปีที่ผ่านมาแต่ก็ยังไม่สามารถช่วยลดจำนวนอุบัติการณ์ความเสี่ยงจากการฝึกภาคปฏิบัติลงได้ จึงมีการวางแผนนำแนวทางการเรียนรู้แบบเกมดิจิทัลและการเรียนรู้ผ่านสื่อสังคมออนไลน์มาใช้เพื่อส่งเสริมและกระตุ้นให้นักศึกษามีความรู้ ทักษะในการป้องกันความเสี่ยงมากยิ่งขึ้น และเพื่อวางแผนพัฒนาไปสู่การป้องกันและลดความเสี่ยงในการฝึกภาคปฏิบัติในอนาคตต่อไป



วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลของโปรแกรมการเรียนรู้แบบเกมดิจิทัลและการเรียนรู้ผ่านสื่อสังคมออนไลน์ของนักศึกษาพยาบาลศาสตรบัณฑิตชั้นปีที่ 4 วิทยาลัยพยาบาลบรมราชชนนีนครลำปาง ต่อความรู้ ทักษะการป้องกันการเกิดเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ทางคลินิก
2. เพื่อศึกษาผลลัพธ์ของนักศึกษาหลังใช้โปรแกรมการเรียนรู้แบบเกมดิจิทัลและการเรียนรู้ผ่านสื่อสังคมออนไลน์ในการป้องกันการเกิดเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ทางคลินิก



สมมติฐานการวิจัย

หลังการทดลองใช้โปรแกรมการเรียนรู้แบบเกมดิจิทัลและการเรียนรู้ผ่านสื่อสังคมออนไลน์ กลุ่มตัวอย่างมีความรู้ ทักษะการป้องกันการเกิดเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ทางคลินิก สูงกว่าก่อนการทดลอง



วิธีดำเนินการวิจัย

รูปแบบการวิจัย เป็นวิจัยแบบผสมผสาน โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ระยะ คือ ระยะที่ 1 วิจัยกึ่งทดลองแบบศึกษากลุ่มเดียววัดสองครั้ง กลุ่มตัวอย่างเป็นนักศึกษาพยาบาลศาสตรบัณฑิตชั้นปีที่ 4 ที่ฝึกภาคปฏิบัติรายวิชาปฏิบัติการรักษาพยาบาลเบื้องต้น ระยะที่ 2 วิจัยเชิงคุณภาพ โดยใช้การประชุมระดมความคิดเห็นหลังการฝึกปฏิบัติ จำนวน 20 คน เพื่อศึกษาผลลัพธ์ของการใช้โปรแกรมและนำผลการศึกษามาสนับสนุนผลการวิจัยกึ่งทดลอง ระยะที่ 1 โดยนำข้อมูลเชิงคุณภาพมาใช้เสริมและสนับสนุนข้อมูลเชิงปริมาณเป็นการวิจัยแบบผสมผสานในเชิงอธิบายเป็นลำดับ (The Explanatory Sequential Design)

เชิงปริมาณ: ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง คือ นักศึกษาพยาบาลศาสตรบัณฑิตชั้นปีที่ 4 ที่ฝึกภาคปฏิบัติรายวิชาปฏิบัติการรักษาพยาบาลเบื้องต้น ปีการศึกษา 2564 จำนวน 158 คน โดยขนาดกลุ่มตัวอย่างในการศึกษานี้ใช้วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ G*Power ที่สร้างจากสูตรของโคเฮน (Cohen, 1977) กำหนดให้มีค่าระดับความเชื่อมั่น = .05 กำหนดค่าขนาดอิทธิพล = .50 (จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องมีค่าอิทธิพลอยู่ในระดับปานกลาง) อำนาจการทดสอบ = .9 ได้ขนาดกลุ่มตัวอย่าง 54 คน แต่การศึกษานี้ต้องการผลการศึกษาที่น่าเชื่อถือมากขึ้นจึงกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างมากกว่าที่ได้จากโปรแกรมคำนวณให้โดยมีกลุ่มตัวอย่างตามเกณฑ์ที่กำหนด 64 คน เลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเฉพาะเจาะจงตามคุณสมบัติ ดังนี้

เกณฑ์ในการคัดเข้า (Inclusion Criteria) 1) นักศึกษาที่อยู่ภายใต้การนิเทศของอาจารย์ที่สามารถประเมินความรู้ ทักษะของนักศึกษาได้ครบถ้วนตามวัตถุประสงค์ (เพราะมีบางกลุ่มที่นักศึกษาต้องอยู่ภายใต้การดูแลของครูพี่เลี้ยงแหล่งฝึกภายนอกสถาบัน) 2) มีความสามารถในการใช้และเข้าถึงสื่อสังคมออนไลน์ผ่านแอปพลิเคชันต่าง ๆ ตามที่กำหนด

เกณฑ์ในการคัดออก (Exclusion Criteria) นักศึกษาที่ไม่สามารถเข้ารับการฝึกภาคปฏิบัติได้ตลอดระยะที่ศึกษาด้วยเหตุจำเป็นต่าง ๆ เช่น เจ็บป่วย ลาภิจ หรือประสบอุบัติเหตุระหว่างการฝึก

เชิงคุณภาพ: ผู้วิจัยใช้วิจัยเชิงคุณภาพแบบปรากฏการณ์วิทยา (Phenomenology Study) โดยมุ่งศึกษาและทำความเข้าใจประสบการณ์ของนักศึกษาตามการรับรู้และให้ความหมายกับประสบการณ์ที่กระทำตามแนวคิดของฮัสเซล (Husserl, 1965) ซึ่งเป็นการศึกษาและทำความเข้าใจประสบการณ์ การดำเนินชีวิต และบรรยายปรากฏการณ์ที่เป็นอิสระโดยปราศจากการทดสอบสมมติฐานที่กำหนดไว้ล่วงหน้า โดยกลุ่มตัวอย่าง คือ นักศึกษาพยาบาลศาสตรบัณฑิตชั้นปีที่ 4 วิทยาลัยพยาบาลบรมราชชนนีนครลำปาง จำนวน 20 คน ที่ฝึกภาคปฏิบัติเสร็จสิ้น โดยคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเฉพาะเจาะจง

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย

1. เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง โปรแกรมการเรียนรู้แบบเกมดิจิทัลและการเรียนรู้ผ่านสื่อสังคมออนไลน์ ได้ประยุกต์ใช้แนวคิดการศึกษาเรียนรู้ด้วยตนเองและการกำกับตนเองใช้เทคโนโลยีประเภทเกมผ่านแอปพลิเคชันต่าง ๆ ในรูปแบบที่หลากหลายเป็นสื่อการจัดการเรียนรู้โดยมีกิจกรรมต่าง ๆ ได้แก่ กิจกรรมที่ 1 กิจกรรมเตรียมความพร้อมก่อนฝึกภาคปฏิบัติ ประกอบด้วย การตอบคำถามผ่านเว็บไซต์ที่ให้บริการเกมที่มีการตอบสนองกับผู้เล่นเกมได้ผ่านแอปพลิเคชัน การเรียนรู้จากข้อผิดพลาดผ่านการใช้คลิปปวีดีโอเป็นฐานการเรียนรู้ การสาธิตย้อนกลับในการสร้างทักษะการป้องกันตนเอง การเรียนรู้ด้วยการสอนแบบกรณีศึกษา การฝึกอภิปรายกลุ่มโดยเชื่อมโยงสู่การป้องกันข้อผิดพลาดต่าง ๆ กิจกรรมที่ 2 การใช้สื่อสังคม

ออนไลน์และคลิปวิดีโอการป้องกันเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ กระตุ้นกลุ่มตัวอย่างเป็นระยะ ระหว่างการฝึกผ่านไลน์แอปพลิเคชัน วิดีโอคอลด้วยกูเกิลมีท ตั้งแต่เริ่มฝึกภาคปฏิบัติจนกระทั่ง นักศึกษาฝึกเสร็จสิ้นโดยใช้วิดีโอคอลทางกูเกิลมีท คณะผู้วิจัยใช้เวลาครั้งละ 15–20 นาที จำนวน 1 ครั้งต่อสัปดาห์ ในช่วงเย็นของการฝึกช่วงเวลา 17.00–17.15 น. เพื่อทบทวนปัญหา อุปสรรคที่พบในเบื้องต้นและนำมาทบทวนพูดคุยชี้แจงกับนักศึกษาในวันที่อาจารย์นิเทศได้ออก นิเทศแบบเผชิญหน้ากับนักศึกษาอีกครั้ง กิจกรรมที่ 3 กระตุ้นทักษะการป้องกันตนเอง ด้วยการเรียนรู้แบบเผชิญหน้าผ่านอาจารย์นิเทศประจำกลุ่มในทุกวันที่อาจารย์นิเทศ ตั้งแต่ เริ่มฝึกภาคปฏิบัติจนกระทั่งฝึกเสร็จสิ้น

2. เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ได้แก่

2.1 แบบสอบถามข้อมูลส่วนบุคคล

2.2 ผลการเรียนรู้วิชาการรักษาพยาบาลเบื้องต้น (ภาคทฤษฎี) แบบประเมินความรู้ การป้องกันตนเองและเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ สร้างขึ้นจากการทบทวนความเสี่ยงการฝึกภาคปฏิบัติ ที่ผ่านมา ข้อคำถามเป็นลักษณะเลือกตอบ 2 ตัวเลือก คือ ใช่ และไม่ใช่ จำนวน 10 ข้อ เกณฑ์การให้คะแนน ถ้าตอบ “ถูก” ให้ 1 คะแนน ตอบ “ผิด” ให้ 0 คะแนน เกณฑ์การแปล ผลคะแนนใช้การพิจารณาแบ่งระดับคะแนนอิงเกณฑ์ประยุกต์ตามหลักเกณฑ์ของบลูม (Bloom et al., 1971) มีเกณฑ์แบ่งคะแนน คือ ความรู้ระดับสูง ได้คะแนนตั้งแต่ร้อยละ 80 ขึ้นไป (ช่วงคะแนน 8–10 คะแนน) ความรู้ระดับปานกลาง ได้คะแนนตั้งแต่ร้อยละ 60–79.99 (ช่วงคะแนน 6–7 คะแนน) ความรู้ระดับต่ำ ได้คะแนนน้อยกว่า ร้อยละ 60 (ช่วงคะแนน 0–5 คะแนน)

2.3 แบบประเมินทักษะการป้องกันเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ สร้างขึ้นตามหัวข้อและ เนื้อหาการฝึกภาคปฏิบัติและจากการทบทวนเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่นักศึกษาต้องปฏิบัติและมีความเสี่ยง ข้อคำถามเป็นลักษณะมาตราส่วนประเมินค่า จำนวน 5 ระดับ แยกเป็นรายด้าน ได้แก่ ด้านการป้องกันการติดเชื้อในสถานการณ์ COVID-19 7 ข้อ ด้านการทำหัตถการและความฉลาด ในการใช้เทคโนโลยีทางการแพทย์ 15 ข้อ ด้านการระบุตัวผู้ป่วยถูกต้อง 4 ข้อ ด้านการดูแล สุขภาพตนเองของนักศึกษา 4 ข้อ ด้านการบริหารยาที่เป็นยากลุ่มเสี่ยง 4 ข้อ รวมทั้งสิ้น 34 ข้อ แต่ละข้อคำถามเป็นลักษณะเลือกตอบ 5 ตัวเลือก เกณฑ์การแปลความหมายค่าเฉลี่ยตามเกณฑ์ วิเคราะห์ตามแนวคิดของเบสท์ (Best, 1977) คือ 4.50–5.00 หมายถึง มีความคิดเห็นว่าตนเอง มีทักษะในการป้องกันความเสี่ยงฯ ในระดับมากที่สุด 3.50–4.49 หมายถึง มีความคิดเห็นว่า ตนเองมีทักษะในการป้องกันความเสี่ยงฯ ในระดับมาก 2.50–3.49 หมายถึง มีความคิดเห็นว่า ตนเองมีทักษะในการป้องกันความเสี่ยงฯ ในระดับปานกลาง 1.50–2.49 หมายถึง มีความคิดเห็น ว่าตนเองมีทักษะในการป้องกันความเสี่ยงฯ ในระดับน้อย 1.00–1.49 หมายถึง มีความคิดเห็น ว่าตนเองมีทักษะในการป้องกันความเสี่ยงฯ ในระดับน้อยที่สุด

2.4 แบบบันทึกเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ รายละเอียดเหตุการณ์ สาเหตุความเสี่ยง และแนวทางแก้ไข

2.5 แนวประเด็นคำถามในการประชุมระดมความคิดเห็น หลังการฝึกภาคปฏิบัติเสร็จสิ้น (เชิงคุณภาพ)

การตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือ ได้แก่ โปรแกรมการเรียนรู้แบบเกมดิจิทัลและการเรียนรู้ผ่านสื่อสังคมออนไลน์ แบบประเมินความรู้ ทักษะการป้องกันการเกิดเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ทางคลินิก แนวประเด็นคำถามในการประชุมระดมความคิดเห็น ให้ผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน ได้แก่ อาจารย์พยาบาลที่มีความเชี่ยวชาญในการสอนและนิเทศรายวิชาปฏิบัติการรักษาพยาบาลเบื้องต้นในสถาบันการศึกษาอื่น ๆ 2 ท่าน พยาบาลวิชาชีพที่ผ่านการอบรมเฉพาะทางการรักษาโรคเบื้องต้นที่ปฏิบัติงานในแหล่งฝึกภาคปฏิบัติที่ทำหน้าที่พิเศษ 1 ท่าน ตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา วิเคราะห์ด้วยค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ซึ่งแบบประเมินความรู้การป้องกันตนเองและเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ และแบบประเมินทักษะการป้องกันเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ โดยข้อคำถามมีค่าดัชนีความสอดคล้องอยู่ระหว่าง 0.60–1.00 จะคัดเลือกเอาไว้ การตรวจสอบความเที่ยงของแบบประเมินความรู้การป้องกันตนเองและเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ โดยค่าความเชื่อมั่นของความรู้ ใช้วิธีคูเดอร์-ริชาร์ดสัน (Kuder–Richardson’s method) ได้ค่า KR21 = 0.89 ส่วนการตรวจสอบความเที่ยงของแบบประเมินทักษะการป้องกันเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ใช้ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค ได้ค่าความเที่ยง 0.92 แนวประเด็นคำถามให้ผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบความเหมาะสมตามวัตถุประสงค์และความถูกต้องในด้านภาษา

การวิเคราะห์ข้อมูล ข้อมูลส่วนบุคคลโดยใช้ร้อยละ วิเคราะห์เปรียบเทียบคะแนนความรู้ ทักษะการป้องกันการเกิดเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ทางคลินิกของนักศึกษาพยาบาลก่อนและหลังการใช้โปรแกรมการเรียนรู้ฯ ด้วยการทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่มที่ไม่เป็นอิสระต่อกัน วิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพจากการประชุมระดมความคิดเห็น หลังการฝึกภาคปฏิบัติด้วยการวิเคราะห์ประเด็นร่วม สำหรับเชิงคุณภาพผู้วิจัยให้ความสำคัญในเรื่องความน่าไว้วางใจของข้อมูล โดยข้อมูลที่ได้จากการประชุมระดมความคิดเห็นได้มีการทวนสอบข้อมูลเพื่อให้ได้มาซึ่งความเชื่อมั่นของข้อมูล โดยก่อนจะเก็บรวบรวมข้อมูล คณะผู้วิจัยสรุปบทวนประเด็นที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลให้ผู้ให้ข้อมูลรับทราบก่อนวิเคราะห์ข้อมูล และทำการตรวจสอบความถูกต้องครบถ้วนของข้อมูลก่อนวิเคราะห์ เพื่อช่วยในการลงรหัสและตีความหมายข้อมูลได้ถูกต้อง เมื่อได้ผลการวิเคราะห์ที่เป็นข้อสรุปได้นำเสนอให้กลุ่มผู้ให้ข้อมูลทราบอีกครั้งเพื่อยืนยันความถูกต้องเป็นการตรวจสอบความถูกต้องโดยผู้ให้ข้อมูล (Member Check)

การพิทักษ์สิทธิ์กลุ่มตัวอย่างในการวิจัย คณะผู้วิจัยชี้แจงวัตถุประสงค์การวิจัย แจ้งการพิทักษ์สิทธิ์กลุ่มตัวอย่างให้ทราบว่าโครงการวิจัยนี้ได้ผ่านการพิจารณารับรองจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ วิทยาลัยพยาบาลบรมราชชนนีนครลำปาง E 2564-055 ลงวันที่ 14 กรกฎาคม 2564 ผู้วิจัยได้ชี้แจงขั้นตอนการวิจัยให้กลุ่มตัวอย่างทราบข้อมูลที่ได้จะเก็บเป็นความลับและไม่สามารถระบุถึงตัวบุคคลได้ โดยจะนำเสนอข้อมูลเป็นภาพรวมเท่านั้น การเข้าร่วมวิจัยขึ้นอยู่กับความสมัครใจ สามารถถอนตัวได้ตลอดเวลาโดยไม่มีผลกระทบใด ๆ กับการเรียนการสอน โดยคะแนนที่ได้จากแบบประเมินไม่มีผลต่อคะแนนการฝึกภาคปฏิบัติ ในรายวิชาปฏิบัติการรักษาพยาบาลเบื้องต้น



ผลการวิจัย

1. ข้อมูลส่วนบุคคล ส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง 60 คน ชาย 4 คน คิดเป็นร้อยละ 93.75, 6.25 ตามลำดับ อายุ 20, 21, 22 ปี จำนวน 3 คน (ร้อยละ 4.69), 20 คน (ร้อยละ 31.25) และ 41 คน (ร้อยละ 64.06) ตามลำดับ มีผลการเรียนอยู่ในระดับ A = 10 คน, B+ = 37 คน, B = 17 คน คิดเป็นร้อยละ 15.63, 57.81 และ 26.56 ตามลำดับ

2. ผลการศึกษาเปรียบเทียบ ความรู้ ทักษะการป้องกันการเกิดเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ทางคลินิก ก่อนและหลังการใช้โปรแกรมการเรียนรู้แบบเกมดิจิทัลและการเรียนรู้ผ่านสื่อสังคมออนไลน์ พบว่าความรู้ ทักษะการป้องกันการเกิดเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ทางคลินิกก่อนและหลังการใช้โปรแกรมฯ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .001$) (ตาราง 1)

ตาราง 1 การเปรียบเทียบความรู้ ทักษะ การป้องกันการเกิดเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ทางคลินิก ก่อนและหลังการใช้โปรแกรมการเรียนรู้แบบเกมดิจิทัลและการเรียนรู้ผ่านสื่อสังคมออนไลน์ (n = 64)

ความรู้การป้องกันการเกิดเหตุการณ์ ไม่พึงประสงค์	Mean	S.D.	ระดับ	t	p-value
ก่อนใช้โปรแกรม	6.94	1.05	ปานกลาง	-10.755	< .001
หลังใช้โปรแกรม	8.78	1.03	สูง		
ทักษะการป้องกันการเกิดเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์					
ด้านการป้องกันการติดเชื้อในสถานการณ์ COVID-19					
ก่อนใช้โปรแกรม	3.17	.78	ปานกลาง	-11.396	< .001
หลังใช้โปรแกรม	4.52	.38	มากที่สุด		
ด้านการทำหัตถการความฉลาดในการใช้เทคโนโลยี					
ก่อนใช้โปรแกรม	3.27	.79	ปานกลาง	-13.270	< .001
หลังใช้โปรแกรม	4.62	.36	มากที่สุด		
ด้านการระบุตัวผู้ป่วยถูกต้อง					
ก่อนใช้โปรแกรม	2.95	.80	ปานกลาง	-12.121	< .001
หลังใช้โปรแกรม	4.53	.36	มากที่สุด		
ด้านการดูแลสุขภาพตนเองของนักศึกษา					
ก่อนใช้โปรแกรม	2.71	.06	ปานกลาง	-13.156	< .001
หลังใช้โปรแกรม	4.55	.52	มากที่สุด		
ด้านการบริหารยากลุ่มเสี่ยง (High alert drug)					
ก่อนใช้โปรแกรม	2.4	.91	น้อย	-14.290	< .001
หลังใช้โปรแกรม	4.43	.46	มาก		

3. ผลลัพธ์ของนักศึกษาหลังใช้โปรแกรมการเรียนรู้แบบเกมดิจิทัลและการเรียนรู้ผ่านสื่อสังคมออนไลน์ ในการป้องกันการเกิดเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ทางคลินิก จากการศึกษาวิจัยเชิงคุณภาพ พบว่านักศึกษาเกิดผลลัพธ์ในการป้องกันความเสี่ยงทางคลินิก ดังนี้

3.1 ทักษะความคล่องตัว (Agility Skill) เป็นทักษะที่เกิดจากการตระหนักรู้ จุดอ่อนจุดแข็งตนเอง การนำประสบการณ์ต่าง ๆ จากการเรียนรู้มาประยุกต์ใช้เกิดการเรียนรู้ตลอดเวลา มีทักษะในการเรียนรู้การป้องกันตนเอง และเกิดการปรับวิธีการทำงาน

เพื่อลดความเสี่ยง โดยแยกเป็นแต่ละประเด็น คือ ความสามารถและความกระตือรือร้นของแต่ละบุคคลในการศึกษาปัญหาใหม่ในสถานการณ์ใหม่ ๆ อย่างรวดเร็ว และใช้กระบวนการเรียนรู้ของตนเองเพื่อทำความเข้าใจอย่างลึกซึ้งในการตัดสินใจและแก้ปัญหาใหม่ ๆ ในงาน ด้วยการปรับเปลี่ยนวิธีการทำงานที่ต้องใช้ทักษะทางเทคโนโลยีการสื่อสารใหม่ ๆ โดยทักษะความคล่องตัว ประกอบด้วย การตระหนักรู้จุดอ่อนจุดแข็งตนเอง การเรียนรู้ตลอดเวลา การมีทักษะในการป้องกันตนเอง การปรับวิธีการทำงานเพื่อลดความเสี่ยง ดังนี้

3.1.1 การตระหนักรู้จุดอ่อนจุดแข็งตนเอง จากผลการศึกษาพบว่า นักศึกษาได้ทบทวนตนเองในประเด็นข้อผิดพลาดต่าง ๆ จากสิ่งที่ได้เรียนรู้จากโปรแกรมการเรียนรู้แบบเกมดิจิทัลและการเรียนรู้ผ่านสื่อสังคมออนไลน์ โดยนำตัวอย่างเหตุการณ์ที่ไม่พึงประสงค์ในโปรแกรมมาสะท้อนคิดกับตนเอง ทำให้ทราบถึงข้อผิดพลาด จุดบกพร่องที่ตนเองต้องพึงระมัดระวังขณะฝึกปฏิบัติงาน เกิดการตระหนักรู้จุดอ่อนจุดแข็งของตนเอง ดังมีผู้ให้ข้อมูลว่า “ทำให้นักศึกษาป้องกันตนเองในช่วงสถานการณ์การแพร่ระบาดโควิด ตระหนักในการดูแลป้องกันตนเองขณะฝึกงาน” (นักศึกษาคนที่ 1) “การใช้สื่อสังคมออนไลน์ โดยเฉพาะ Line Application ร่วมกับการใช้ Google Meeting ในการสอนกระตุ้นบ่อย ๆ ทำให้ตระหนักและเตือนตนเองให้มีความระมัดระวังความเสี่ยงต่าง ๆ มากขึ้น” (นักศึกษาคนที่ 3) “ได้รู้จุดบกพร่องของตนเองหลังจากได้ทบทวนเรื่องความเสี่ยงในการในการฝึกงาน” (นักศึกษาคนที่ 6) “ได้ทบทวนทักษะต่าง ๆ เช่น การสวมอุปกรณ์ในการป้องกันตนเองเพื่อลดความเสี่ยง” (นักศึกษาคนที่ 3) “เป็นการทบทวนประสบการณ์เดิมเพิ่มประสบการณ์ใหม่ในการฝึกใส่ PPE ในการปฏิบัติจริง” (นักศึกษาคนที่ 19) “ทราบข้อผิดพลาดตนเองเกี่ยวกับทักษะและขั้นตอนการใส่ชุด PPE และรู้ข้อผิดพลาดของตนเองในอดีตที่เคยฝึกงาน ทำให้สามารถป้องกันตนเองอย่างปลอดภัย” (นักศึกษาคนที่ 20)

3.1.2 การเรียนรู้ตลอดเวลา จากผลการศึกษาพบว่า นักศึกษาได้รับการกระตุ้นเตือนผ่านสื่อสังคมออนไลน์ การส่งต่อข้อมูลความเสี่ยงต่าง ๆ ในขณะที่ฝึกปฏิบัติงานจากอาจารย์นิเทศประจำกลุ่มอยู่ตลอดเวลา เกิดการทบทวนทักษะการป้องกันความเสี่ยงจากการเปิดคลิปวิดีโอย้อนหลัง รวมถึงมีการสืบค้นข้อมูลเพิ่มเติมจากสื่อออนไลน์ที่อาจารย์ส่งไว้ในเรื่องความเสี่ยงต่าง ๆ ทำให้เกิดการเรียนรู้ตลอดเวลา ดังมีผู้ให้ข้อมูลว่า “อาจารย์ส่งคลิปวิดีโอความเสี่ยงต่าง ๆ และแนวทางในการป้องกันตนเองขณะฝึกปฏิบัติ สามารถทำหัตถการได้ถูกต้อง ไม่เกิดความเสี่ยง” (นักศึกษาคนที่ 2) “ได้ประสบการณ์ในการใส่ชุด PPE เตรียมตัวก่อนฝึก และขณะฝึกอาจารย์ก็ส่งแหล่งสืบค้นความเสี่ยงต่าง ๆ ให้ศึกษาเพิ่มเติม” (นักศึกษาคนที่ 4) “ได้เรียนรู้ตลอดเวลาจากที่อาจารย์กระตุ้นเตือนผ่านสื่อออนไลน์ต่าง ๆ ในการป้องกันตัวเองจากการทำหัตถการที่มีความเสี่ยง” (นักศึกษาคนที่ 5) “ได้เรียนรู้และ

ฝึกการใส่ชุด PPE ในการป้องกันตัวจากผู้ป่วย COVID-19” (นักศึกษาคนที่ 8) “ได้เรียนรู้ลักษณะวิธีการปฏิบัติการป้องกันตัวเองจากความเสี่ยงต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นได้ เช่น โควิด-19” (นักศึกษาคนที่ 13) “การใช้ Line Application ช่วยสอนและเตือนให้มีความระมัดระวังเกี่ยวกับความเสี่ยงต่าง ๆ เป็นสิ่งที่ดี เกิดการเรียนรู้และระวังตัวอยู่ตลอดเวลา” (นักศึกษาคนที่ 16) “เกิดการเรียนรู้เพื่อป้องกันตนเองได้ถูกต้อง ไม่มีความเสี่ยงเมื่อลงมือปฏิบัติ” (นักศึกษาคนที่ 19)

3.1.3 การมีทักษะในการป้องกันตนเอง จากผลการศึกษาพบว่า นักศึกษาได้ทดลองฝึกปฏิบัติจริง ได้เห็นภาพการป้องกันความเสี่ยงในสถานการณ์ที่เกิดขึ้นจริงขณะฝึกงาน ได้ฝึกปฏิบัติเพิ่มมากขึ้นจนนำไปสู่ทักษะในการป้องกันตนเอง ดังมีผู้ให้ข้อมูลว่า “ได้ฝึกได้ทำกิจกรรมต่าง ๆ ที่ช่วยในการป้องกันความเสี่ยง รวมถึงการใส่ชุด PPE สามารถนำไปปฏิบัติทำงานด้วยความถูกต้องและปลอดภัย” (นักศึกษาคนที่ 3) “ได้ฝึกแนวทางในการป้องกันความเสี่ยง ได้ฝึกวิธีการในการใส่ชุด PPE” (นักศึกษาคนที่ 7) “ได้ฝึกทักษะการป้องกันตนเองจากผู้ป่วย และสามารถใส่ชุด PPE ได้ถูกต้อง” (นักศึกษาคนที่ 9) “ได้ฝึกการทำหัตถการที่ถูกต้องและไม่เกิดความเสี่ยงกับตนเองและเพื่อน ๆ ลดความเสี่ยงในการฝึก” (นักศึกษาคนที่ 10) “ได้เทคนิคที่นำไปสอบสภา และเป็นวิชาติดตัวเพื่อนำไปปฏิบัติงานได้ในอนาคต” (นักศึกษาคนที่ 11)

3.1.4 ปรับวิธีการทำงานเพื่อลดความเสี่ยง จากผลการศึกษาพบว่า นักศึกษาได้นำความรู้ที่ได้จากโปรแกรม ทั้งตัวอย่างเหตุการณ์ที่ไม่พึงประสงค์ ตัวอย่างข้อผิดพลาดจากการฝึกงานมาเป็นแนวทางในการป้องกันความเสี่ยงให้กับตนเอง เกิดการปรับวิธีการทำงานเพื่อลดความเสี่ยง ดังมีผู้ให้ข้อมูลว่า “สามารถนำสิ่งที่ได้เรียนรู้และเข้ากิจกรรมไปปฏิบัติงานได้อย่างราบรื่น ไม่เกิดความเสี่ยงทางคลินิก” (นักศึกษาคนที่ 6) “นำสิ่งที่ได้เรียนรู้มาปรับช่วยให้เรามีการดูแลผู้ป่วยฉุกเฉินได้ดี ลดความเสี่ยงที่จะเกิดกับตัวเองและผู้ป่วย” (นักศึกษาคนที่ 7) “ได้ปรับใช้เพื่อลดความเสี่ยงทางคลินิก ต่อยอดในการทำข้อสอบสภาในอนาคตได้” (นักศึกษาคนที่ 12) “นำความรู้ที่ได้จากการฝึกไปใช้ในการทำงานจริง และลดความเสี่ยงในอนาคต” (นักศึกษาคนที่ 14) “นำความรู้ที่ได้ไปใช้ในการสอบสภาการพยาบาล” (นักศึกษาคนที่ 15) “การเรียนรู้ครั้งนี้จะทำให้เราปลอดภัยจากโรคร้าย ไม่ติดเชื้อจากการฝึกงาน และมีสุขภาพจิตที่ดี” (นักศึกษาคนที่ 18) “นำความรู้ที่ได้ไปสอบสภาฯ และไปทำงาน สามารถนำความรู้ไปต่อยอดในอนาคตขณะปฏิบัติงานได้ ไม่เกิดความเสี่ยง” (นักศึกษาคนที่ 19) “มีประโยชน์ต่อการฝึกมาก ทำให้ได้ทั้งความรู้ ทักษะ มาปรับใช้ในการลดความเสี่ยงจากการฝึกภาคปฏิบัติ” (นักศึกษาคนที่ 20)

3.2 ทักษะด้านอารมณ์และการบริหารจัดการความคิด (Soft Skill) ทักษะด้านอารมณ์ การมีวุฒิภาวะในการควบคุมอารมณ์ ความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับบุคคลอื่น ซึ่งเป็นทักษะด้านพฤติกรรมที่มีความจำเป็นในการพัฒนาตนเอง ทำให้การทำงานมีประสิทธิภาพ

และนำไปสู่เป้าหมายและความสำเร็จในการทำงาน โดยทักษะด้านอารมณ์และการบริหารจัดการความคิด ประกอบด้วย ความมั่นใจ การทำงานร่วมกับผู้อื่น การตัดสินใจ การคิดวิเคราะห์ แก้ไขปัญหา ดังนี้

3.2.1 ความมั่นใจในการฝึกงาน จากผลการศึกษาพบว่า นักศึกษาได้ทบทวนความรู้เดิม เรียนรู้จากข้อผิดพลาดต่าง ๆ รับทราบแนวทางปฏิบัติและแนวทางป้องกันตนเอง จากความเสี่ยง มีการทบทวนขั้นตอนการทำหัตถการ รับทราบเทคนิคต่าง ๆ ในการปฏิบัติตน ในการป้องกันความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้น จนนำไปสู่ความมั่นใจในการฝึกงาน ดังมีผู้ให้ข้อมูลว่า “มั่นใจในการป้องกันความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นขณะปฏิบัติงาน” (นักศึกษาคนที่ 1) “มีความมั่นใจ และมีความพร้อมในการลงฝึกปฏิบัติมากขึ้น” (นักศึกษาคนที่ 2) “มั่นใจมากขึ้น ปฏิบัติได้อย่าง คล่องตัวและถูกต้อง” (นักศึกษาคนที่ 5) “มีความมั่นใจในการทำหัตถการมากขึ้น มีทักษะที่ชำนาญขึ้นกว่าเดิม” (นักศึกษาคนที่ 13) “มีความมั่นใจก่อนไปฝึกภาคปฏิบัติมากขึ้น ได้ความรู้ ได้ทบทวนสิ่งที่จะต้องทำได้อย่างสมบูรณ์ เช่น สามารถบริหารยาได้ถูกต้อง และทำหัตถการ ต่าง ๆ ได้ดี มั่นใจมากขึ้น” (นักศึกษาคนที่ 14) “มีความรู้ มั่นใจมาก และพร้อมสำหรับการฝึก ได้ทราบการเตรียมความพร้อมในการป้องกันจากโรคระบาด และวิธีป้องกันการเกิดอุบัติเหตุ ที่เสี่ยง” (นักศึกษาคนที่ 16) “ได้ทบทวนความรู้โรค เทคนิคต่าง ๆ ความเสี่ยงจากการฝึกที่ต้อง ควรระมัดระวัง” (นักศึกษาคนที่ 17) “ได้มีการเตรียมตัวก่อนการขึ้นฝึก มีความรู้ความเข้าใจ เพิ่มเติมจากเดิม มีความพร้อมในการลงฝึกจริง” (นักศึกษาคนที่ 19) “การได้รับการกระตุ้น เตือนจากอาจารย์นิเทศเป็นระยะ ๆ ในขณะที่ฝึกภาคปฏิบัติทำให้เรามีความตื่นตัวและเฝ้าระวัง ตนเองตลอดเวลา” (นักศึกษาคนที่ 19) “เข้าใจในการฝึก ทราบรู้วิธีการปฏิบัติตัวต่าง ๆ ในการป้องกันความเสี่ยงขณะฝึกมากขึ้น” (นักศึกษาคนที่ 20) “เข้าใจรูปแบบการฝึกงาน ทำให้ลดความกลัว มีการเตรียมตัวก่อนการฝึกปฏิบัติ” (นักศึกษาคนที่ 20)

3.2.2 ทำงานร่วมกับผู้อื่น จากผลการศึกษาพบว่า นักศึกษาได้เรียนรู้สภาพ บริบทในสถานการณ์จริงจากการทำงานและจากกิจกรรมความเสี่ยงที่อาจารย์นิเทศได้กระตุ้นเตือน มีการปรับตัวและยอมรับสิ่งที่บุคคลรอบข้างกระตุ้นเตือนให้มองเห็นถึงความเสี่ยงต่าง ๆ และ ยอมรับคำแนะนำจากเพื่อนและอาจารย์นิเทศประจำกลุ่มและสามารถทำงานร่วมกับผู้อื่นได้ ดังมีผู้ให้ข้อมูลว่า “ได้ความรู้จากการฝึก เข้าใจบริบทของงาน และการทำงานแบบเป็นทีม” (นักศึกษาคนที่ 4) “ได้ฝึกบทบาทการทำงานร่วมกับคนอื่น การระวังความเสี่ยงทั้งต่อเพื่อน และต่อผู้อื่น” (นักศึกษาคนที่ 6) “และเตรียมความพร้อมก่อนฝึกการฝึกใส่ชุด PPE ภายในกลุ่ม ของตนทำให้พวกเรามองเห็นการช่วยเหลือ การแนะนำซึ่งกันและกัน” (นักศึกษาคนที่ 8) “การฝึกภาคปฏิบัติมีเพื่อน ๆ ฝึกด้วยกันหลายคน มีเพื่อนคอยเตือนให้ระมัดระวัง ทำให้เรารู้สึก ว่ามีเพื่อน มีสมาชิกในทีมช่วยกระตุ้นเตือนซึ่งกันและกัน ทำให้พวกเราปลอดภัยจากความเสี่ยง”

(นักศึกษาคนที่ 11) “การกระตุ้นเตือนจากอาจารย์นิเทศ การมีส่วนร่วมของเพื่อนในทีม ในการช่วยเหลือ ทำงานร่วมกัน กระตุ้นเตือนกันทุกวันให้รู้จักป้องกันตนเองจากความเสี่ยง จากการฝึกงานรู้สึกดีมากเลย” (นักศึกษาคนที่ 15)

3.2.3 การตัดสินใจ จากผลการศึกษาพบว่า นักศึกษามีการใช้ข้อมูลความเสี่ยงต่าง ๆ มีการทบทวนเหตุการณ์ที่ไม่พึงประสงค์ที่ได้จากการเรียนรู้ในภาคทฤษฎีและจากกิจกรรมต่าง ๆ ผ่านอาจารย์นิเทศประจำกลุ่มมาประกอบการตัดสินใจในการให้บริการผู้ป่วยอย่างปลอดภัย ดังนั้นนักศึกษาให้ข้อมูลว่า “ได้ตัดสินใจในการให้การพยาบาลผู้ป่วย ได้ทบทวนความรู้การทำหัตถการต่าง ๆ” (นักศึกษาคนที่ 3) “ได้เรียนรู้การตัดสินใจในเรื่องของการทำงาน การดูแลผู้ป่วยฉุกเฉินมากขึ้น ตัดสินใจในการให้การพยาบาลที่มีความเสี่ยงก่อนการให้การพยาบาล” (นักศึกษาคนที่ 4) “การจัดการเตรียมความพร้อมที่อาจารย์เตรียมให้ และสื่อการเรียนรู้ต่าง ๆ เกี่ยวกับเรื่องความเสี่ยงจากการทำงานที่ส่งกระตุ้นพวกเราตลอดระยะเวลาการฝึก ทำให้พวกเราตัดสินใจในการทำหัตถการต่าง ๆ ด้วยความระมัดระวังมากยิ่งขึ้น” (นักศึกษาคนที่ 9) “ทราบการบริหารจัดการตนเอง สามารถตัดสินใจระทำการพยาบาลเพื่อเลี่ยงความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้นระหว่างการฝึกได้” (นักศึกษาคนที่ 15)

3.2.4 การคิดวิเคราะห์แก้ไขปัญหา จากผลการศึกษาพบว่า นักศึกษามีการคิดวิเคราะห์แก้ไขปัญหาในการทำหัตถการต่าง ๆ โดยใช้สติเป็นจุดเริ่มต้นทั้งในการทำหัตถการและการรักษาโรคเบื้องต้น มีการวางแผนการทำงานเป็นลำดับขั้นตอนก่อนที่จะให้การพยาบาลกับผู้ป่วย ดังมีผู้ให้ข้อมูลว่า “ทำหัตถการกับผู้ป่วยได้ถูกต้องและปลอดภัย ทั้งตัวนักศึกษาและผู้ป่วย มีสติมากขึ้น” (นักศึกษาคนที่ 2) “การใช้สื่อสังคมออนไลน์ โดยเฉพาะ Line Application ร่วมกับการใช้ Google Meeting ในการชี้แจง เตือนให้มีความระมัดระวังเกี่ยวกับความเสี่ยงต่าง ๆ เป็นสิ่งที่ดี” (นักศึกษาคนที่ 7) “ได้การคิดวิเคราะห์โรคที่จะอาจจะเป็นแนวทางในการรักษาและการให้คำแนะนำแก่ผู้ป่วย ซึ่งจากการฝึกทำให้ได้เห็นอาการหลากหลาย และโรคต่าง ๆ ซึ่งเป็นพื้นฐานของโรคที่พบเจอได้ทั่วไป” (นักศึกษาคนที่ 8) “การเตรียมความพร้อมด้วยโปรแกรมนี้มีความเหมาะสม ทำให้พวกเราได้คิดตลอดเวลา ระวังตัวตลอดเวลา เกิดการวิเคราะห์การทำงานต่าง ๆ ให้ปลอดภัยมากขึ้น” (นักศึกษาคนที่ 14)



อภิปรายผลการวิจัย

ผู้วิจัยอภิปรายผลตามวัตถุประสงค์การวิจัย ดังนี้

1. หลังการทดลองใช้โปรแกรมการเรียนรู้แบบเกมดิจิทัลและการเรียนรู้ผ่านสื่อสังคมออนไลน์ กลุ่มตัวอย่างมีความรู้และทักษะการป้องกันการเกิดเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ทางคลินิก ในการฝึกภาคปฏิบัติสูงกว่าก่อนการทดลอง ทั้งด้านการป้องกันการติดเชื้อในสถานการณ์

การแพร่ระบาดของไวรัสโคโรนา 2019 ด้านการทำหัตถการ/ความฉลาดในการใช้เทคโนโลยีฯ ด้านการระบุตัวผู้ป่วยถูกต้อง ด้านการดูแลสุขภาพตนเองของนักศึกษา โดยเฉพาะด้านทักษะการบริหารยากลุ่มเสี่ยง ซึ่งจากเดิมที่มีทักษะในการบริหารยาในระดับน้อย แต่หลังใช้โปรแกรมพบว่ามีความรู้เพิ่มขึ้นอยู่ในระดับมาก (ตาราง 1) แสดงให้เห็นว่าโปรแกรมการเรียนรู้ที่ประกอบด้วยกิจกรรมเตรียมความพร้อมก่อนฝึกฯ ส่งผลให้นักศึกษาเกิดการเรียนรู้จากข้อผิดพลาด เช่น การผสมยาที่มีความเสี่ยงต่าง ๆ ควรผสมอย่างไร ในขนาดเท่าใด การมีวิธีโอประกอบเกี่ยวกับการใช้อุปกรณ์ที่มีความเสี่ยง เช่น การใส่และถอดด้ามใบมีดที่ถูกต้องและที่ไม่ถูกต้องนั้นควรทำอย่างไร ซึ่งการดูแลปฏิบัติโอเรียนรู้ ร่วมกับการสาธิตย้อนกลับเกี่ยวกับการสร้างทักษะการป้องกัน มีประโยชน์ต่อการเสริมสร้างความรู้และทักษะ ดังที่ตั้งสมมติฐานไว้ ซึ่งการเรียนรู้แบบเกมดิจิทัลเป็นการเรียนรู้รูปแบบหนึ่งที่ทำให้ผู้เรียนมีความสุขสนุกสนานไปพร้อม ๆ กับการได้รับความรู้ โดยสอดแทรกเนื้อหาของสิ่งที่เรียนรู้นั้น ๆ เอาไว้ในเกม และให้ผู้เรียนได้ลงมือเล่นเกม โดยจะได้รับความรู้ต่าง ๆ ของเนื้อหานั้นผ่านการเล่นเกมไปด้วย (Oblinger, 2006) เป็นสื่อการเรียนรู้ที่จะช่วยให้เกิดการเรียนรู้ได้ทั้งในระดับความจำ ความเข้าใจ และนำไปสู่การประยุกต์ใช้ในการปฏิบัติ สอดคล้องกับการศึกษาในเรื่องการพัฒนาสื่อการเรียนรู้ประเภทเกม เพื่อให้ความรู้ในเรื่องกฎ ระเบียบและข้อปฏิบัติในศูนย์ฝึกและอบรมเด็กและเยาวชน ที่พบว่าการใช้สื่อการเรียนรู้ประเภทเกมเป็นการเพิ่มทักษะเพื่อการเรียนรู้ โดยเฉพาะการเรียนรู้ผ่านสื่อต่าง ๆ เช่น เกมคอมพิวเตอร์เป็นกิจกรรมที่ส่งเสริมที่เกิดจากความมั่นใจในตนเองของผู้เรียน คือ ขณะที่กำลังเรียนรู้จะทราบว่าคุณเองกำลังทำอะไรอยู่ เกิดความมั่นใจในสมรรถนะตนเอง มีการใช้สัญลักษณ์และมีอิสระในการตัดสินใจ และช่วยให้ผู้เรียนมีแรงใจในการเรียนรู้มากขึ้นนำไปสู่ทักษะการเรียนรู้ด้วยตนเองที่ยั่งยืน เพราะการเรียนรู้ในจุดเล็ก ๆ จะเปลี่ยนพฤติกรรมการเรียนรู้ในระยะสั้นเป็นการเรียนรู้อย่างยั่งยืนต่อไป (วิลาวัลย์ อินทร์ชำนาญ, 2561) สอดคล้องกับการศึกษาเรื่องผลการศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนิสิตที่ใช้สื่อสังคมร่วมกับการเกมออนไลน์เพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ สำหรับนิสิตระดับปริญญาตรี คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ ที่พบว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนิสิตหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และความพึงพอใจของนิสิตที่มีต่อการใช้สื่อสังคมร่วมกับการเกมออนไลน์ พบว่า ความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด (ราชการ สังขวดี และทิพรัตน์ สิทธิวงศ์, 2565)

การเรียนรู้แบบเกมดิจิทัลและการเรียนรู้ผ่านสื่อสังคมออนไลน์นอกจากจะช่วยส่งเสริมให้เกิดความรู้และทักษะที่เป็นประโยชน์แล้ว ยังสามารถสร้างแรงจูงใจให้ผู้เรียนอยากเรียนรู้ ส่งผลให้เกิดการเรียนรู้ที่มีความหมาย ซึ่งการใช้ประโยชน์จากเกมในการพัฒนาการเรียนรู้ที่มีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัยประเภทเกมผ่านแอปพลิเคชันต่าง ๆ

มาเป็นสื่อในการจัดการเรียนรู้ยังเป็นการสร้างความรู้สึกที่แปลกใหม่ในการเรียน มีความน่าสนใจ ได้ทดลองและลงมือทำ ส่งผลให้ผู้เรียนสามารถนำไปปรับใช้ในการฝึกภาคปฏิบัติได้อย่างเหมาะสม การเรียนรู้โดยใช้เกมเป็นฐานเป็นวิธีการที่ช่วยให้ผู้เรียนได้เรียนรู้เนื้อหาสามารถ สอดแทรกเนื้อหาสาระของรายวิชาให้กับผู้เรียนผ่านเกมได้ ซึ่งจะเป็นการช่วยพัฒนาผู้เรียน ทำให้ผู้เรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูง สามารถนำมาใช้ได้ทั้งการเรียนการสอนในห้องเรียน ตามปกติและการสอนออนไลน์ได้ (ณัฐฐา ผิวมา, 2564) นอกจากนี้การใช้โปรแกรมการเรียนรู้ แบบเกมดิจิทัลและการเรียนรู้ผ่านสื่อสังคมออนไลน์ ยังสอดคล้องกับแนวคิดเรื่องการเรียนรู้ แบบนำตนเอง ประกอบด้วย การเปิดโอกาสต่อการเรียนรู้ พอใจที่จะได้เรียนรู้ มีความมั่นใจ ในการเรียนรู้ของตนเอง เชื่อว่าตนเองสามารถจัดเวลาเพื่อการเรียนรู้ได้อย่างเหมาะสม กระตือรือร้นในการติดตามซักถามเพื่อให้ได้ความรู้ ชอบมีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนรู้ และเชื่อมั่นในความสามารถของตนและสนุกสนานกับการแสวงหาความรู้ มีการกระตุ้น เตือนตนเองอยู่เสมอ ๆ (Guglielmino, 1977) สอดคล้องกับทิศทางการเรียนรู้ด้วยตนเอง ตามนโยบายประเทศไทย 4.0 ที่พบว่า แนวคิดการเรียนรู้ด้วยตนเองที่เน้นผู้เรียนเป็นศูนย์กลาง ซึ่งผู้เรียนจะต้องมีความรับผิดชอบในการวางแผน การปฏิบัติ และการประเมินผลความก้าวหน้า ของตนเองเป็นการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ โดยการเรียนรู้ด้วยตนเองเป็นการเรียนรู้ ที่ผู้เรียนสามารถวางแผนการเรียน เลือกวิธีการเรียน พร้อมทั้งกำหนดระยะเวลาในการเรียนได้ ตามความสะดวกและความสนใจของผู้เรียนโดยอาศัยเทคโนโลยีสารสนเทศต่าง ๆ เพื่อช่วย ส่งเสริมให้การเรียนรู้มีประสิทธิภาพที่เพิ่มมากยิ่งขึ้น (ชนวรรต ศรีลาคำ และพัฒนา สอดทรัพย์, 2562)

2. ผลลัพธ์ของนักศึกษาหลังใช้โปรแกรมฯ พบว่า โปรแกรมมีส่วนในการส่งเสริมและ สนับสนุนให้นักศึกษามีทักษะความคล่องตัว และทักษะด้านอารมณ์และการบริหารจัดการความคิด เกิดขึ้นในการป้องกันความเสี่ยงทางคลินิกนักศึกษาและให้ผลการศึกษาที่สนับสนุนและ สอดคล้องไปในทิศทางเดียวกับผลการวิจัยถึงทดลองระยะที่ 1 กล่าวคือ โปรแกรมการเรียนรู้ แบบเกมดิจิทัลและการเรียนรู้ผ่านสื่อสังคมออนไลน์ช่วยส่งเสริมให้ผู้เรียนสามารถเข้าถึงอุปกรณ์ การสื่อสารและมีทักษะในการใช้เทคโนโลยี ส่งเสริมให้ผู้เรียนตระหนักรู้จุดอ่อนจุดแข็งตนเอง เกิดประสบการณ์ต่าง ๆ จากการเรียน เกิดการเรียนรู้ตลอดเวลา การมีทักษะในการเรียนรู้ การป้องกันตนเอง ปรับวิธีการทำงานเพื่อลดความเสี่ยงซึ่งเป็นทักษะที่เรียกว่า ทักษะความคล่องตัว (Learning Agility) โดยทักษะความคล่องตัวได้แสดงให้เห็นจากการที่นักศึกษามีการเรียนรู้ ที่รวดเร็ว เป็นทักษะที่เกิดจากการตระหนักรู้จุดอ่อนจุดแข็งตนเอง การนำประสบการณ์ต่าง ๆ จากการเรียนรู้มาประยุกต์ใช้เกิดการเรียนรู้ตลอดเวลา มีทักษะในการเรียนรู้การป้องกันตนเอง และเกิดการปรับวิธีการทำงานเพื่อลดความเสี่ยง เป็นความสามารถและความกระตือรือร้น

ของแต่ละบุคคลในการศึกษาปัญหาใหม่ในสถานการณ์ใหม่ ๆ อย่างรวดเร็วที่ต้องใช้ทักษะทางเทคโนโลยีการสื่อสารใหม่ ๆ สอดคล้องกับแนวคิดการเรียนรู้แบบคล่องตัว (Learning Agility) คือการใช้ทักษะในการเรียนรู้จากประสบการณ์ที่ผ่านมาแล้วนำมาปรับใช้ ปรับเปลี่ยน ปรับปรุงแก้ไข เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับสถานการณ์ใหม่ (Mitchinson & Morris, 2014) ซึ่งทักษะความคล่องตัวเป็นทักษะจำเป็นในโลกยุคใหม่ที่มีการเปลี่ยนแปลงเร็ว ที่มีสถานการณ์เกิดขึ้นแบบไม่คาดหมาย เช่น สถานการณ์โรคโควิด-19 การพบเจอปัญหาใหม่ ๆ แล้วผู้เรียนสามารถปรับวิธีคิด เปลี่ยนวิธีการทำงานโดยไม่หยุดชะงัก ควบคู่ไปกับการสร้างโอกาสจากสถานการณ์ใหม่ได้จึงเป็นสิ่งที่จำเป็นที่ต้องถูกฝึกฝนอยู่ตลอดเวลา (Dunne, 2019)

นอกจากทักษะความคล่องตัวแล้ว นักศึกษาส่วนใหญ่ยังมีความมั่นใจในการฝึกภาคปฏิบัติมากยิ่งขึ้น สามารถทำงานร่วมกับผู้อื่นได้ ตัดสินใจในการให้การพยาบาลผู้ป่วยได้อย่างมั่นใจและปลอดภัย มีการคิดวิเคราะห์แก้ไขปัญหาความเสี่ยงต่าง ๆ จากการพบเห็นข้อผิดพลาดในโปรแกรมฯ ซึ่งสิ่งต่าง ๆ เหล่านี้ล้วนเป็นทักษะที่เรียกว่า ทักษะด้านอารมณ์และการบริหารจัดการความคิด (Soft Skill) เป็นทักษะที่จำเป็นและส่งเสริมต่อการเรียนรู้และการฝึกปฏิบัติงานสำหรับวิชาชีพพยาบาล สอดคล้องกับบทความวิชาการเรื่อง ซอฟท์สกีล: ทักษะที่จำเป็นสำหรับวิชาชีพพยาบาล ที่ระบุว่าทักษะด้านอารมณ์และสังคมจะทำให้การปฏิบัติงานนั้นสำเร็จ เกิดการดูแลผู้รับบริการด้วยหัวใจความเป็นมนุษย์ ทักษะด้านอารมณ์และสังคมเป็นทักษะที่มีความเป็นนามธรรมสูง วัดและประเมินผลได้ยากกว่าทักษะด้านวิชาการ แต่เกิดขึ้นได้จากการเรียนรู้จากประสบการณ์การทำงาน จากการฝึกฝน และจากการทำงานร่วมกับผู้อื่น โดยเป็นคุณลักษณะเฉพาะตัวที่จำเป็นสำหรับวิชาชีพพยาบาล เช่น ทักษะในการสื่อสาร ทักษะการมีปฏิสัมพันธ์กับผู้อื่น ทักษะการทำงานเป็นทีม ทักษะการคิดวิเคราะห์ ทักษะความคิดสร้างสรรค์ และทักษะการแก้ปัญหา เป็นต้น (ภารดี ขาวนรินทร์ และคนอื่น ๆ, 2565) ซึ่งทักษะดังกล่าวมีความจำเป็นและมีผลต่อการป้องกันการเกิดเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ทางคลินิก ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้โปรแกรมการเรียนรู้แบบเกมดิจิทัลและการเรียนรู้ผ่านสื่อสังคมออนไลน์ คือ การที่นักศึกษามีทั้งทักษะความคล่องตัวและทักษะด้านอารมณ์และการบริหารจัดการความคิดในครั้งนี้อย่างสะท้อนและสนับสนุนให้มีความชัดเจนว่าการสร้างเกมเพื่อการเรียนรู้ทางการศึกษา เป็นการนำเนื้อหาที่ต้องการให้นักศึกษาได้เรียนรู้ส่งผ่านไปยังผู้เรียนและเกิดการเรียนรู้ได้เป็นอย่างดี โดยโปรแกรมได้เน้นให้ผู้เรียนได้เรียนรู้จากข้อผิดพลาดต่าง ๆ จากเกม และสามารถใช้ทักษะของผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นดังกล่าวไปสู่การป้องกันตนเองเมื่อขึ้นฝึกภาคปฏิบัติได้ ทำให้มองเห็นภาพของผู้เรียนที่สามารถถ่ายทอดการเรียนรู้และทักษะที่เกิดจากการเรียนจากสถานการณ์หนึ่งไปยังอีกสถานการณ์หนึ่ง ซึ่งส่งผลให้ผู้เรียนมีสมรรถนะของการตัดสินใจให้เหตุผลทางคลินิกและความสามารถในการป้องกันความเสี่ยงทางคลินิก ดังนั้น

การวางแผนการจัดการเรียนการสอนและการเตรียมความพร้อมทางคลินิกที่เน้นการใช้โปรแกรมการเรียนรู้แบบเกมดิจิทัลและการเรียนรู้ผ่านสื่อสังคมออนไลน์ในรายวิชาภาคปฏิบัติจึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง

ข้อจำกัดของงานวิจัย

กลุ่มตัวอย่างที่คัดเลือกเข้าเป็นกลุ่มนักศึกษาที่มีระดับผลการเรียนค่อนข้างดีถึงดีมาก ซึ่งกลุ่มตัวอย่างของการศึกษาในครั้งนี้ผู้วิจัยไม่ได้มีการเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มตัวอย่าง อาจทำให้ผลวิจัยที่ได้ผลการศึกษาค่อนไปทางบวกซึ่งจะต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมซึ่งเป็นข้อจำกัดของการวิจัยในครั้งนี้



สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

โปรแกรมการเรียนรู้แบบเกมดิจิทัลและการเรียนรู้ผ่านสื่อสังคมออนไลน์ช่วยส่งเสริมความรู้ ทักษะการป้องกัน และลดการเกิดเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ทางคลินิก โดยผลของการใช้ประโยชน์จากเกมต่าง ๆ เป็นการพัฒนาการเรียนรู้ที่เกิดจากการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัยผ่านแอปพลิเคชันต่าง ๆ มาเป็นสื่อในการจัดการเรียนรู้ เป็นการสร้างความรู้สึกที่แปลกใหม่ในการเรียน มีความน่าสนใจ ส่งเสริมให้ผู้เรียนได้ทดลองและลงมือทำด้วยตนเอง และสามารถนำไปปรับใช้ในการฝึกภาคปฏิบัติได้อย่างเหมาะสม นอกจากนี้ยังส่งผลให้เกิดการเรียนรู้ที่มีความหมาย สามารถเข้าใจสิ่งที่เรียนรู้ได้ดียิ่งขึ้น สนับสนุนให้ผู้เรียนมีทักษะความคล่องตัว มีทักษะด้านอารมณ์และการบริหารจัดการความคิด อันเป็นทักษะที่จำเป็นสำหรับการเรียนรู้ของนักศึกษาในศตวรรษที่ 21

ข้อเสนอแนะในการผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

1. นำผลการศึกษาไปปรับใช้ในการเตรียมความพร้อมนักศึกษารุ่นต่อไป ทั้งการกำหนดและวางแผนการเรียนรู้ในภาคทฤษฎีสู่ภาคปฏิบัติ ซึ่งจะช่วยให้นักศึกษาเกิดทักษะการป้องกันความเสี่ยงอย่างต่อเนื่อง
2. ผลลัพธ์การศึกษาเป็นเพียงแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมไปสู่ทักษะความคล่องตัว และทักษะอารมณ์และการบริหารจัดการความคิด จึงควรส่งเสริมให้นักศึกษามีทักษะดังกล่าวอย่างต่อเนื่อง อาทิเช่น การกระตุ้นด้วยคำถาม การสะท้อนคิดตลอดเวลาเพราะเป็นทักษะที่จำเป็นในการประกอบวิชาชีพในอนาคต
3. ควรนำโปรแกรมไปส่งเสริมในรายวิชาอื่นที่มีความเสี่ยงในการฝึกทางคลินิก เช่นเดียวกันในการเรียนการสอนทางการพยาบาล เช่น รายวิชาปฏิบัติการพยาบาลและมารดา ทารก และผดุงครรภ์ เพื่อลดความเสี่ยงในการฝึกภาคปฏิบัติให้กับนักศึกษาพยาบาล

ข้อเสนอแนะในการศึกษาครั้งต่อไป

1. ควรศึกษาเปรียบเทียบผลของโปรแกรมการเรียนรู้แบบเกมดิจิทัลและการเรียนรู้ผ่านสื่อสังคมออนไลน์ ระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มเปรียบเทียบเพื่อการศึกษาที่มีประสิทธิภาพที่ชัดเจนขึ้น
2. ควรมีการพัฒนาสร้างรูปแบบการเตรียมความพร้อมนักศึกษาในการป้องกันความเสี่ยงทางคลินิกก่อนการขึ้นฝึกให้เป็นแนวทางที่ชัดเจนโดยให้นักศึกษาเข้ามามีส่วนร่วมในการวางแผนพัฒนาที่เป็นรูปธรรมมากขึ้น
3. ควรขยายผลการใช้โปรแกรมการเรียนรู้แบบเกมดิจิทัลและการเรียนรู้ผ่านสื่อสังคมออนไลน์ในรายวิชาอื่น โดยเฉพาะในรายวิชาภาคทฤษฎีเพื่อให้นักศึกษาเกิดการเรียนรู้ที่หลากหลายและเป็นประโยชน์ต่อไป



เอกสารอ้างอิง

- ชนวรรต ศรีลาคำ และพัฒนา สอดทรัพย์. (2562). ทิศทางการเรียนรู้ด้วยตนเองตามนโยบายประเทศไทย 4.0. *วารสารมนุษยศาสตร์ ฉบับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยรามคำแหง*, 8(1), 49–62.
- ณัฐฐา ผิวมา. (2564). การจัดการเรียนรู้โดยใช้เกมเป็นฐานด้วยบูรณาการเทคโนโลยีเกมคอมพิวเตอร์. *วารสารมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชพฤกษ์*, 7(ฉบับพิเศษ), 1–15.
- ภารดี ขาวรินทร์, สมฤดี กิรตวนิชเสถียร, มยุรี กมลบุตร, และปราชญา ศุภฤกษ์โยธิน. (2565). ซอฟต์แวร์: ทักษะที่จำเป็นสำหรับวิชาชีพพยาบาล. *วารสารวิชาการสุขภาพภาคเหนือ*, 9(1), 1–17.
- มาลี คำคง และจีระภา นະແສ. (2563). การบริหารความเสี่ยงในการฝึกปฏิบัติการพยาบาล. *วารสารเครือข่ายวิทยาลัยพยาบาลและการสาธารณสุขภาคใต้*, 7(3), 10–22.
- ราชการ สังขวดี และทิพรัตน์ สิทธิวงศ์. (2565). ผลการใช้สื่อสังคมร่วมกับการเกมออนไลน์เพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ สำหรับนิสิตระดับปริญญาตรี คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร. *วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร*, 24(1), 236–245.
- วิทยา วาโย, อภิรดี เจริญกุล, ฉัตรสุตา กานกายนต์, และจรรยา คนใหญ่. (2563). การเรียนการสอนแบบออนไลน์ ภายใต้สถานการณ์แพร่ระบาดของไวรัส COVID-19: แนวคิดและการประยุกต์ใช้จัดการเรียนการสอน. *วารสารศูนย์อนามัยที่ 9*, 14(34), 285–298.

วิทยาลัยพยาบาลบรมราชชนนี นครลำปาง. (2560). *มคอ. 2 หลักสูตรพยาบาลศาสตรบัณฑิต (หลักสูตรปรับปรุง พ.ศ. 2560) และมาตรฐานการเรียนรู้*. วิทยาลัยพยาบาลบรมราชชนนี นครลำปาง.

_____. (2564). *สถิติข้อมูลความเสี่ยงทางคลินิกและเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์จากการฝึกภาคปฏิบัติ กลุ่มงานวิชาการ*. วิทยาลัยพยาบาลบรมราชชนนี นครลำปาง.

วิลาวลัย อินทร์ชำนาญ. (2561). *การพัฒนาสื่อการเรียนรู้ประเภทเกมเพื่อให้ความรู้ในเรื่องกฎระเบียบและข้อปฏิบัติในศูนย์ฝึกและอบรมเด็กและเยาวชน* (รายงานผลการวิจัย). มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต.

Best, J. W. (1977). *Research in education* (3rd ed.). Prentice Hall.

Bloom, B. S., Hastings, J. T., & Madaus, G. F. (1971). *Handbook on formative and summative evaluation of student learning*. McGraw-Hill.

Cohen, J. (1997). *Statistical power for the behavioral sciences* (2nd ed.). Lawrence Erlbaum Associates. Retrieved on May 8, 2022, from <https://www.utstat.toronto.edu/~brunner/oldclass/378f16/readings/CohenPower.pdf>

Dunne, S. (2019, 31 July). *Research preview: Unlocking organizational agility to drive digital growth*. Workday. Retrieved on May 8, 2022, from <https://blogs.workday.com/research-preview-unlocking-organizational-agility-to-drive-digital-growth/>

Guglielmino, L. M. (1977). *Development of the self-directed learning readiness scale*. [Unpublished doctoral dissertation]. University of Georgia.

Husserl, E. (1965). *Phenomenology and the crisis of philosophy* (Lauer Q., trans.). Harper & Row.

Mitchinson, A. & Morris, R. (2014). *Learning about learning agility center for creative leadership*. Center for Creative Leadership. Retrieved on May 8, 2022, from <https://cclinnovation.org/wp-content/uploads/2020/02/learningagility.pdf>

Oblinger, D. G. (2006, 27 July). *Games and learning: digital games have the potential to bring play back to the learning experience*. Educause. Retrieved on May 8, 2022, from <https://er.educause.edu/-/media/files/article-downloads/eqm0630.pdf>

การพัฒนาและทดลองใช้รูปแบบการจัดการมูลฝอยติดเชื้อในชุมชน:
กรณีศึกษาผู้ป่วยที่รักษาตัวที่บ้าน อำเภ่อูทอง จังหวัดสุพรรณบุรี
DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF INFECTIOUS WASTE
MANAGEMENT MODEL IN COMMUNITY: A CASE STUDY OF
HOME HEALTHCARE IN U-THONG DISTRICT,
SUPHAN BURI PROVINCE

วันที่รับ: 20 พฤษภาคม 2565

วันที่แก้ไข: 8 สิงหาคม 2565

วันที่ตอบรับ: 2 กันยายน 2565

วนิดา จันทร์สวัสดิ์¹,

มนพร วงศ์สุนทรชัย^{1*} และ กำพล นันทพงษ์¹

Wanida Chansawat¹,

Manaporn Wongsoonthornchai^{1*} and Kampol Nanthapong¹

¹คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (ศูนย์รังสิต) จังหวัดปทุมธานี 12121

¹Faculty of Public Health, Thammasat University (Rangsit Campus),

Pathumthani 12121

*Corresponding author e-mail: manaporn.w@fph.tu.ac.th



บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์สถานการณ์มูลฝอยติดเชื้อที่เกิดจากผู้ป่วยในชุมชน และพัฒนารูปแบบการจัดการมูลฝอยติดเชื้อในชุมชน อำเภ่อูทอง จังหวัดสุพรรณบุรี รูปแบบเป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการแบ่งการศึกษาเป็น 3 ระยะ คือ ศึกษาข้อมูลสถานการณ์ พัฒนา และทดลองใช้รูปแบบการจัดการมูลฝอยติดเชื้อในผู้ป่วยที่รักษาตัวที่บ้าน และประเมินผล หลังการทดลองใช้ในผู้ป่วย 3 กลุ่ม คือ ผู้ป่วยติดเชื้อที่มีแผลเรื้อรัง ผู้ป่วยล้างไตทางหน้าท้อง และผู้ป่วยเบาหวานที่ฉีดอินซูลิน จำนวน 189 คน เก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้แบบสำรวจและการสังเกต วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนาและสถิติทดสอบ McNemar's test วิเคราะห์ ช่องว่าง (Gap Analysis) และพัฒนารูปแบบการจัดการมูลฝอยติดเชื้อชุมชน ผลการวิจัย พบว่า อัตราการเกิดมูลฝอยติดเชื้อจากผู้ป่วยที่รักษาตัวที่บ้านในกลุ่มผู้ป่วยติดเชื้อที่มี แผลเรื้อรัง ผู้ป่วยล้างไตทางหน้าท้อง และผู้ป่วยเบาหวานฉีดอินซูลิน มีค่าเท่ากับ 1.44 ± 0.70 , 2.90 ± 2.70 และ 0.16 ± 0.03 กก./คน/วัน ตามลำดับ พบปริมาณมูลฝอยติดเชืวก่อน การกำหนดรูปแบบเข้าสู่ระบบการกำจัดอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการเพียงร้อยละ 4.13 พัฒนารูปแบบการจัดการโดยกำหนดให้ผู้ป่วยแยกมูลฝอยติดเชื้อเพื่อส่งไปกำจัดที่สถานบริการ สาธารณสุขใกล้บ้านหรือนำไปรีไซเคิล และหลังทดลองใช้รูปแบบการจัดการส่งผลให้มี

การจัดการถูกต้องเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 22.5 ผลการทดสอบ McNemar's test ที่ระดับ Level of Sig (p) < 0.001 พบว่าการกำจัดมูลฝอยติดเชื้อที่ถูกต้องในชุมชนระยะหลังกำหนดรูปแบบเพิ่มขึ้นจากระยะก่อนกำหนดรูปแบบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

คำสำคัญ: การจัดการมูลฝอยติดเชื้อ, มูลฝอยติดเชื้อในชุมชน, ผู้ป่วยรักษาตัวที่บ้าน



Abstract

The objective of this research is to analyze the situations and develop a community infectious waste management model in U-Thong District in Suphan Buri Province. This action research was divided into three phases: situation analysis, development and trial of the infectious waste management model for cancer patients who received care at home, and post-trial evaluation of the results. The 189 cases in the study population were categorized into three patient groups: patients receiving peritoneal dialysis, patients with insulin-dependent diabetes, and bed-bound patients with chronic wounds. The data were collected via survey form and observation and analyzed using descriptive statistics and McNemar's test statistics; the gap was analyzed using Gap analysis and the community infectious waste management model was created. The results revealed that the infectious waste generation rates from home health care, bed-bound patients with chronic wounds, peritoneal dialysis patients, and diabetic patients were 1.44 ± 0.70 , 2.90 ± 2.70 , and 0.16 ± 0.03 kg/patient/day, respectively. In the first phase (before developing the infection waste management pattern), only 4.13% of total infectious waste was collected for the infectious waste management system. The community infectious waste management pattern was developed by promoting waste separation and either transporting it to local hospitals or recycling it. Following the implementation, the amount of infectious waste properly collected in the infectious waste management system increased by 22.5%. The comparative analysis was done by testing the McNemar's test at a Level of Sig (p) < 0.001. It was found that the proper disposal of infectious waste in the community during the post-modulation period significantly improved from the pre-modulation period.

Keywords: Infectious Waste Management, Infectious Waste in Community, Home Healthcare



บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยกำลังเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุ ซึ่งผู้สูงอายุประมาณร้อยละ 21 มีภาวะติดบ้าน ติดเตียง ต้องพึ่งพิงบุคคลอื่นในการดูแลและมีแนวโน้มที่มีภาวะโรคเรื้อรังเพิ่มขึ้น ผู้ป่วยบางส่วนไปรักษาตัวที่บ้านหรือการดูแลสุขภาพที่บ้าน (Home Health Care) ซึ่งก่อให้เกิดมูลฝอยติดเชื้อประเภทแหล่งกำเนิดรอง (Minor Source) ตามการจำแนกขององค์การอนามัยโลก กรมควบคุมมลพิษ (2562) รายงานว่าปริมาณมูลฝอยติดเชื้อในประเทศไทยเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยในปี พ.ศ. 2560 มีปริมาณ 57,954 ตัน ซึ่งเพิ่มจากปี พ.ศ. 2556 ร้อยละ 12 และการจัดการมูลฝอยติดเชื้อในชุมชนของประเทศไทยนั้นยังประสบปัญหาหลายด้าน เช่น การขาดรูปแบบการจัดการมูลฝอยติดเชื้อที่ชัดเจน รวมถึงขาดความตระหนักเกี่ยวกับการจัดการมูลฝอยติดเชื้อ (ประชุมพร กวีกรณ์ และคนอื่น ๆ, 2560, น. 703–728) ซึ่งสอดคล้องกับประจวบ แสงดาว (2563) ที่พบว่าปัญหาการจัดการมูลฝอยติดเชื้อในชุมชนเกิดจากประชาชนขาดความรู้ ความตระหนักในการคัดแยก รวมถึงท้องถิ่นไม่มีเทศบัญญัติเพื่อบังคับใช้และแก้ปัญหาในการดำเนินงานจัดการมูลฝอยติดเชื้อในชุมชน ในขณะที่ตรัสตะโกพร (2558) พบว่าผู้ป่วยและผู้ดูแลผู้ป่วยส่วนใหญ่มีความรู้ในด้านการจัดการมูลฝอยติดเชื้อในระดับปานกลาง และยังพบว่าไม่มีแนวปฏิบัติที่ชัดเจนด้านการจัดการมูลฝอยติดเชื้อในชุมชน และท้องถิ่นเองมีความพร้อมในการดำเนินการด้านมูลฝอยติดเชื้อเพียงร้อยละ 2.3 เท่านั้น นอกจากนี้แล้ว กรมอนามัย (2562, น. 2) ยังรายงานว่าปัญหาที่พบในการจัดการมูลฝอยติดเชื้อในชุมชน คือขาดมาตรฐานและเกณฑ์ปฏิบัติที่ชัดเจนในการดำเนินงาน ตั้งแต่การคัดแยก การบำบัด การเก็บขน และการกำจัด ทำให้พบมูลฝอยติดเชื้อปะปนร่วมกับมูลฝอยทั่วไป ส่งผลให้มีความเสี่ยงต่อการแพร่กระจายของเชื้อโรคต่อสภาพแวดล้อม ผลจากการจัดการมูลฝอยติดเชื้อในชุมชนที่ไม่มีประสิทธิภาพนั้นก่อให้เกิดผลกระทบโดยตรงต่อพนักงานเก็บขยะโดยเฉพาะอย่างยิ่งของมีคมที่มแทง (นริศรา เลิศพรสวรรค์ และคนอื่น ๆ, 2560)

จังหวัดสุพรรณบุรีเป็นจังหวัดหนึ่งที่มีปัญหาด้านการจัดการมูลฝอยติดเชื้อจากชุมชน พบปัญหาขยะตกค้างและมีการกำจัดขยะไม่ถูกหลักสุขาภิบาล เป็นแหล่งเพาะเชื้อโรคซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน (สมัชชาสุขภาพจังหวัดสุพรรณบุรี, 2559, น. 2–3) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอำเภออุ้มทอง ที่พบว่าจำนวนผู้ป่วยติดบ้าน ติดเตียง มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในปี พ.ศ. 2560–2562 มีปริมาณมูลฝอยติดเชื้อเกิดขึ้น 50.66, 54.68 และ 57.39 ตัน ตามลำดับ กรมอนามัย (2560) และสุทธิยา ทรัพย์สงเสริม (สัมภาษณ์, 17 มีนาคม 2563) ให้ความเห็นว่าองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นของอำเภออุ้มทอง ยังขาดความพร้อมในการจัดการมูลฝอยติดเชื้อเนื่องจากยังไม่มีระบบการจัดการมูลฝอยติดเชื้อที่ถูกต้องตามหลักสุขาภิบาล ผู้วิจัยจึงได้ดำเนินการวิจัยเพื่อพัฒนารูปแบบการจัดการมูลฝอยติดเชื้อในชุมชน โดยศึกษา

สถานการณ์ ปริมาณ อัตราการเกิด และองค์ประกอบของมูลฝอยติดเชื้อที่เกิดจากผู้ป่วยในชุมชน คือ ผู้ป่วยติดเชื้อที่มีแผลเรื้อรัง ผู้ป่วยที่ต้องล้างไตทางช่องท้อง และผู้ป่วยฉีดยาเสพติด ร่วมกับภาวะหอบหืดของชุมชน เพื่อพัฒนารูปแบบการจัดการมูลฝอยติดเชื้อในชุมชน และสามารถจัดการมูลฝอยติดเชื้อได้อย่างถูกต้องตามหลักวิชาการและนำรูปแบบที่ได้จากการศึกษาไปประยุกต์ใช้อย่างเหมาะสมต่อไป



วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อวิเคราะห์สถานการณ์มูลฝอยติดเชื้อที่เกิดจากผู้ป่วยในชุมชน อำเภออุ้มทอง จังหวัดสุพรรณบุรี
2. เพื่อพัฒนารูปแบบการจัดการมูลฝอยติดเชื้อในชุมชน อำเภออุ้มทอง จังหวัดสุพรรณบุรี



วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษานี้ใช้รูปแบบการวิจัยเชิงปฏิบัติการ (Action Research) โดยมีวิธีการดำเนินการวิจัยดังนี้

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่างการวิจัย

ศึกษาประชากร เป็นผู้ป่วย ญาติหรือผู้ดูแลผู้ป่วยที่อาศัยอยู่ในหลังคาเรือนเดียวกับผู้ป่วย มีอายุ 18 ปีขึ้นไป จำนวน 189 ราย โดยมีเกณฑ์การคัดเลือก คือ เป็นผู้ป่วย ญาติผู้ป่วย หรือผู้ดูแลผู้ป่วยที่รักษาตัวที่บ้าน แบ่งกลุ่มประชากรที่ศึกษาเป็น 3 กลุ่ม คือ ผู้ป่วยที่ต้องทำแผลเรื้อรัง 17 ราย (ร้อยละ 8.99) ผู้ป่วยที่ต้องล้างไตทางช่องท้อง 30 ราย (ร้อยละ 15.87) และผู้ป่วยโรคเบาหวานที่ต้องฉีดยาเสพติด 142 ราย (ร้อยละ 75.13) ที่พักอาศัยอยู่ในพื้นที่อำเภออุ้มทอง จังหวัดสุพรรณบุรี

2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ในการศึกษานี้ใช้แบบบันทึกปริมาณและแบบสังเกต เป็นเครื่องมือในการศึกษาระยะที่ 1 และ 3 ดังนี้

2.1 แบบบันทึกปริมาณมูลฝอยติดเชื้อ เป็นชุดของข้อรายการของข้อมูลทั่วไป ประกอบด้วย ปริมาณ อัตราการเกิด องค์ประกอบของมูลฝอยติดเชื้อที่เกิดขึ้น ซึ่งมีการตรวจสอบความตรงของเนื้อหาโดยผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน ผลการตรวจประเมินค่าความตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) โดยใช้ค่าดัชนีความสอดคล้อง (Index of Consistency) ระหว่างข้อคำถามกับวัตถุประสงค์มีค่าอยู่ระหว่าง 0.5–1.00

2.2 แบบสังเกต เป็นชุดของข้อรายการของปรากฏการณ์ หรือพฤติกรรมที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในระหว่างที่ทำการสังเกต เพื่อใช้บันทึกว่ามีสิ่งใดเกิดขึ้นบ้าง มากน้อยเพียงใด

3. การเก็บข้อมูล

ระยะที่ 1 ศึกษาข้อมูลสถานการณ์และปัญหาอุปสรรคในการจัดการมูลฝอยติดเชื้อ โดยลงพื้นที่สำรวจสถานการณ์การจัดการมูลฝอยติดเชื้อในชุมชน เก็บรวบรวม ปริมาณ อัตราการเกิด ในพื้นที่ศึกษา โดยใช้แบบบันทึกปริมาณมูลฝอยติดเชื้อ แบบสังเกต และการชั่งน้ำหนักมูลฝอยติดเชื้อที่เกิดขึ้น

ระยะที่ 2 พัฒนารูปแบบและทดลองใช้รูปแบบการจัดการมูลฝอยติดเชื้อในชุมชน นำข้อมูลสถานการณ์จากระยะที่ 1 มากำหนดรูปแบบการจัดการมูลฝอยติดเชื้อตามบริบทของพื้นที่ ประกอบด้วย ขั้นตอนมาตรฐานในการจัดการมูลฝอยในชุมชน ขั้นตอนและกระบวนการมาตรฐานในการเก็บรวบรวม การขนส่ง และการกำจัดมูลฝอยติดเชื้อ

ระยะที่ 3 ประเมินผลการทดลองใช้รูปแบบการจัดการมูลฝอยติดเชื้อที่พัฒนาขึ้นในชุมชน โดยทำการทดลองใช้รูปแบบการจัดการมูลฝอยติดเชื้อที่พัฒนาขึ้นในชุมชน เป็นระยะเวลา 30 วัน และเปรียบเทียบผลการจัดการมูลฝอยติดเชื้อในช่วงก่อนและหลังการทดลองการใช้รูปแบบใหม่

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

ระยะที่ 1 วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ร้อยละและค่าเฉลี่ย และประเมินปริมาณมูลฝอยติดเชื้อจากอัตราการเกิดมูลฝอย วิเคราะห์ช่องว่าง (Gap Analysis) ซึ่งเป็นเทคนิคที่นำมาใช้เพื่อให้เข้าใจถึงประสิทธิภาพในการจัดการมูลฝอยติดเชื้อในชุมชน รวมถึงสามารถใช้ประเมินช่องว่างและโอกาสเพื่อนำไปสู่การพัฒนารูปแบบจัดการมูลฝอยติดเชื้อในชุมชน

ระยะที่ 2 นำข้อมูลจากระยะที่ 1 เพื่อกำหนดรูปแบบการจัดการมูลฝอยติดเชื้อที่เหมาะสมตามบริบทของพื้นที่ ประกอบด้วย ขั้นตอนมาตรฐานในการจัดการมูลฝอยในการเก็บรวบรวม การขนส่ง และการกำจัดมูลฝอยติดเชื้อจากชุมชน

ระยะที่ 3 วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ร้อยละและค่าเฉลี่ย และอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างก่อนและหลังการดำเนินการรูปแบบการจัดการมูลฝอยติดเชื้อ โดยใช้การทดสอบ McNemar's test ที่ระดับ Level of Sig (p) <0.001

5. การพิทักษ์สิทธิกลุ่มตัวอย่าง

งานวิจัยนี้ได้ผ่านการพิจารณาจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในคน มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ตามเลขที่โครงการวิจัย 040/2562 โดยผู้วิจัยแจ้งแก่ผู้เข้าร่วมการวิจัยว่า ข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้รับ ผู้วิจัยจะเก็บเป็นความลับ ไม่มีการระบุชื่อ และการเสนอบทความวิจัยจะแสดงข้อมูลในภาพรวมเท่านั้น ซึ่งกลุ่มตัวอย่างมีสิทธิ์ที่จะออกจากการวิจัยได้ตลอดเวลาโดยไม่มีผลกระทบใด ๆ



ผลการวิจัย

ผลการรวบรวมข้อมูลพบว่าอำเภ่อูทอง จังหวัดสุพรรณบุรี มีผู้ป่วยรักษาตัวที่บ้านจำนวน 189 ราย ซึ่งพบกระจายตัวอยู่ในทุกตำบลของอำเภ่อูทอง โดยส่วนใหญ่เป็นผู้สูงอายุ (ร้อยละ 74.1) และเป็นเพศหญิง (ร้อยละ 69.8) ซึ่งมีผลการศึกษาดังนี้

ระยะที่ 1 ศึกษาข้อมูลสถานการณ์และปัญหาอุปสรรคในการจัดการมูลฝอยติดเชื้อ

ผลการศึกษาพบว่า องค์ประกอบมูลฝอยติดเชื้อในพื้นที่อำเภ่อูทอง ที่พบมากที่สุดคือ สำลีเปื้อนสารคัดหลั่ง ผ้าก๊อชเปื้อนสารคัดหลั่ง จุก ท่อ และถุงพลาสติกที่เปื้อนสารคัดหลั่ง และพบว่าผู้ป่วยทั้ง 3 กลุ่ม มีอัตราการเกิดมูลฝอยติดเชื้อที่แตกต่างกัน ซึ่งเมื่อพิจารณาแยกรายกลุ่มแล้วจะพบว่า ผู้ป่วยโรคไตมีอัตราการเกิดมูลฝอยติดเชื้อสูงที่สุด รองลงมาคือผู้ป่วยที่มีแผลเรื้อรัง และผู้ป่วยโรคเบาหวาน นอกจากนี้แล้วผลจากการลงพื้นที่สำรวจพบว่าผู้ป่วยโรคเบาหวานและผู้ป่วยโรคแผลเรื้อรังส่วนใหญ่จะไม่ส่งมูลฝอยติดเชื้อไปยังสถานบริการสาธารณสุข มีการส่งมูลฝอยติดเชื้อไปกำจัดอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการเพียง ร้อยละ 0.31 และ 4.31 ตามลำดับ ในขณะที่ผู้ป่วยล้างไตทางช่องท้องนั้น จะส่งมูลฝอยติดเชื้อไปกำจัดอย่างถูกต้อง ร้อยละ 8.21 โดยองค์ประกอบ มูลฝอยติดเชื้อ และอัตราการเกิดมูลฝอยติดเชื้อได้แสดงดังตาราง 1

ตาราง 1 องค์ประกอบ อัตราการเกิดมูลฝอยติดเชื้อ และปริมาณมูลฝอยติดเชื้อที่ได้รับการจัดการอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการ

กลุ่มผู้ป่วย	องค์ประกอบมูลฝอยติดเชื้อ	อัตราการเกิด (กก./คน/วัน)	ร้อยละ ที่กำจัดถูกต้อง
แผลเรื้อรัง	- ผ้าอ้อมสำเร็จรูปเปื้อนสารคัดหลั่ง - ผ้าก๊อชเปื้อนสารคัดหลั่ง - สำลีเปื้อนสารคัดหลั่ง	1.44 ± 0.70	4.31
ล้างไตทางช่องท้อง	- สำลีเปื้อนสารคัดหลั่ง - ผ้าก๊อชเปื้อนสารคัดหลั่ง - จุก ท่อ ถุงพลาสติกเปื้อนสารคัดหลั่ง	2.90 ± 2.70	8.21
เบาหวานที่ฉีดอินซูลิน	- สำลีเปื้อนสารคัดหลั่ง - เข็มฉีดยาเปื้อนสารคัดหลั่ง - กระบอกฉีดยาเปื้อนสารคัดหลั่ง	0.16 ± 0.03	0.31

ปริมาณมูลฝอยติดเชื้อของผู้ป่วยที่รักษาตัวที่บ้านใน 3 กลุ่มผู้ป่วยของอำเภออุ้มผาง จังหวัดสุพรรณบุรี พบว่ามีปริมาณมูลฝอยติดเชื้อที่เกิดขึ้นจากผู้ป่วยรักษาตัวที่บ้านประมาณ 4,026 กิโลกรัมต่อเดือน โดยผลจากการสำรวจจากแบบบันทึก พบว่ามูลฝอยติดเชื้อส่วนใหญ่ ร้อยละ 94.13 (3,790 กิโลกรัมต่อเดือน) กำจัดโดยการเผากลางแจ้ง และร้อยละ 1.74 (70 กิโลกรัมต่อเดือน) ที่รวมกันกับมูลฝอยทั่วไป และที่เหลือ (166 กิโลกรัมต่อเดือน) ส่งไปยังสถานบริการสาธารณสุขเพื่อกำจัดอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการ

ผลการวิเคราะห์หาช่องว่าง (Gap Analysis) พบว่าสถานการณ์การจัดการมูลฝอยติดเชื้อในพื้นที่อำเภออุ้มผางนั้นยังไม่สอดคล้องกับเป้าหมายการจัดการมูลฝอยติดเชื้อตามกฎหมายกระทรวง ว่าด้วยการจัดการมูลฝอยติดเชื้อ พ.ศ. 2545 เนื่องจากประชาชนมีการคัดแยกมูลฝอยติดเชื้อเพียงร้อยละ 24.9 และยังขาดแคลนวัสดุอุปกรณ์รองรับการจัดเก็บและรวบรวมมูลฝอยติดเชื้อ เช่น ถุงขยะสีแดงมาตรฐานตามกฎหมายกำหนด การขนส่งมูลฝอยติดเชื้อ ณ แหล่งกำเนิดไปยังสถานที่พักมูลฝอยติดเชื้อที่ไม่รวมกับมูลฝอยประเภทอื่นเพียงร้อยละ 10.6 และมีการส่งกำจัดอย่างถูกต้องเพียงร้อยละ 4.12 ของผู้ป่วยรักษาตัวที่บ้านทั้งหมด ดังตาราง 2

ตาราง 2 การวิเคราะห์ช่องว่าง Gap Analysis

เป้าหมาย (Goal)	ช่องว่าง (Gaps)	ความต้องการ (Needs)
การคัดแยก		
- แยกมูลฝอยติดเชื้อออกจากมูลฝอยประเภทอื่น	- มีการคัดแยก ร้อยละ 24.9	- การให้ความรู้แก่ผู้ป่วย
- แยกมูลฝอยติดเชื้อออกจากมูลฝอยมีคม	- มีการคัดแยก ร้อยละ 24.9	- ในเรื่องการคัดแยกมูลฝอยติดเชื้อออกจากมูลฝอยทั่วไป และแยกมูลฝอยติดเชื้อมีคมออกจากมูลฝอยติดเชื้อไม่มีคม
การรวบรวม		
- เก็บรวบรวมมูลฝอยติดเชื้อมีคมไว้ในภาชนะบรรจุมูลฝอยติดเชื้อมีคม	- ใส่ในภาชนะถูกต้อง ร้อยละ 24.9	- การให้คำแนะนำด้านภาชนะที่ใช้ทดแทนกล่องใส่มูลฝอยติดเชื้อมีคม
- เก็บไม่เกิน 3 ใน 4 ส่วนของกล่อง และใช้ครั้งเดียว	- ปฏิบัติถูกต้อง ร้อยละ 24.9	- การให้คำแนะนำด้านถุงที่ใช้ทดแทนถุงขยะสีแดง
- เก็บรวบรวมมูลฝอยติดเชื้อไม่มีคมไว้ในภาชนะที่มีลักษณะเป็นถุงสีแดงทึบแสง	- ปฏิบัติถูกต้อง ร้อยละ 6.3 (ขาดแคลนวัสดุอุปกรณ์รองรับการจัดเก็บ เช่น ถุงขยะสีแดงมาตรฐาน)	- การให้ความรู้วิธีการทำความสะอาด การป้องกันตนเองภายหลังการเก็บรวบรวมมูลฝอยติดเชื้อ
- ทำจากพลาสติกหรือวัสดุอื่นที่มีความทนทาน เหนียว ไม่ฉีกขาดง่าย	- ปฏิบัติถูกต้อง ร้อยละ 6.3	
- ทั้งมูลฝอยติดเชื้อไม่มีคมไม่เกิน 2 ใน 3 ส่วนของถุง และมัดปากถุงให้แน่น		

เป้าหมาย (Goal)	ช่องว่าง (Gaps)	ความต้องการ (Needs)
การขนส่ง		
- ขนส่งมูลฝอยติดเชื้อในกล่องที่มีฝาปิด	- ปฏิบัติถูกต้อง ร้อยละ 10.6	- การให้คำแนะนำเรื่อง การขนส่งมูลฝอยติดเชื้อ โดยปลอดภัย
- กำหนดเวลาที่แน่นอนในการขนส่งมูลฝอยติดเชื้อ	- มีการกำหนดเวลา ร้อยละ 8.5	- การแจ้งวันเวลาที่ชัดเจน ในการส่งมูลฝอยติดเชื้อไปกำจัด
การกำจัด		
- กำจัดด้วยวิธีที่ถูกต้องตามหลักวิชาการ	- ส่งไปกำจัดที่ รพช. และ รพ.สต. ร้อยละ 4.12	- การกระตุ้นให้ผู้ป่วย ส่งมูลฝอยติดเชื้อไปกำจัดยัง รพช. และ รพ.สต.

ระยะที่ 2 พัฒนารูปแบบและทดลองใช้รูปแบบการจัดการมูลฝอยติดเชื้อที่เหมาะสม

ข้อมูลจากระยะที่ 1 บ่งชี้ว่าปัญหาหลักของการจัดการมูลฝอยติดเชื้อในชุมชน คือ ผู้ป่วยไม่คัดแยกมูลฝอยติดเชื้อออกจากมูลฝอยทั่วไป เนื่องมาจากผู้ป่วยส่วนใหญ่ไม่ทราบว่า มูลฝอยติดเชื้อมีอันตรายและไม่สามารถทิ้งรวมกับมูลฝอยทั่วไปได้ นอกจากนี้ยังพบว่าผู้ป่วย ไม่ส่งมูลฝอยไปกำจัดยังโรงพยาบาลชุมชน (รพช.) หรือโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล (รพ.สต.) ซึ่งทาง รพช. และ รพ.สต. มีศักยภาพในการรับมูลฝอยติดเชื้อทั้งหมดเข้าสู่ระบบ เพื่อนำไปกำจัดอย่างถูกต้อง ผู้วิจัยจึงได้นำเสนอรูปแบบการจัดการมูลฝอยติดเชื้อในชุมชน ที่เน้นการสร้างความรู้และความเข้าใจเรื่องอันตรายจากมูลฝอยติดเชื้อ และการยืดหยุ่น มาตรการที่สามารถยืดหยุ่นได้ เช่น การใช้ถุงประเภทใดก็ได้ที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับถุงแดง แทนการใช้ถุงแดง และเมื่อนำส่งยัง รพ.สต. แล้วจะใส่ขยะดังกล่าวลงในถุงแดงของทาง หน่วยงาน หรือแจกถุงแดงให้ผู้ป่วย รวมถึงแนะนำให้ใส่มูลฝอยติดเชื้อมีคมในขวดที่สามารถ ป้องกันการแทงทะลุได้ เช่น ขวดน้ำอัดลม แล้วใส่กล่องที่มีฝาปิดมิดชิดในขณะขนส่งไปยัง สถานบริการสาธารณสุขใกล้บ้านภายในวันเวลาที่พื้นที่กำหนด ซึ่งในพื้นที่อำเภออุ้มผาง จะกำหนดเป็นวันศุกร์ก่อน 12.00 น. เพื่อนำไปกำจัดอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการ สำหรับ ถุงล้างไตนั้นสามารถนำไปล้างทำความสะอาดและตากให้แห้งเพื่อขายเป็นมูลฝอยรีไซเคิล ซึ่งรูปแบบการจัดการมูลฝอยติดเชื้อที่กำหนดขึ้น เป็นดังภาพ 1



```

graph LR
    subgraph "ผู้ป่วยแผลเรื้อรัง"
        direction TB
        A1(ผ้าอ้อมสำเร็จรูป)
        A2(ผ้าก๊อช)
        A3(สำลี)
    end
    subgraph "ผู้ป่วยโรคไต"
        direction TB
        B1(สำลี)
        B2(ผ้าก๊อช)
        B3(จุก ท่อ)
        B4(ถุงน้ำยาล้างไต)
    end
    subgraph "ผู้ป่วยโรคเบาหวาน"
        direction TB
        C1(สำลี)
        C2(เข็มฉีดยา)
    end

    A1 --> D[ใส่ถุงแดง/ถุงอื่นๆ]
    A2 --> D
    A3 --> D
    B1 --> D
    B2 --> D
    B3 --> D
    B4 --> D
    C1 --> E[ใส่ขวดน้ำ/กระป๋อง]
    C2 --> E

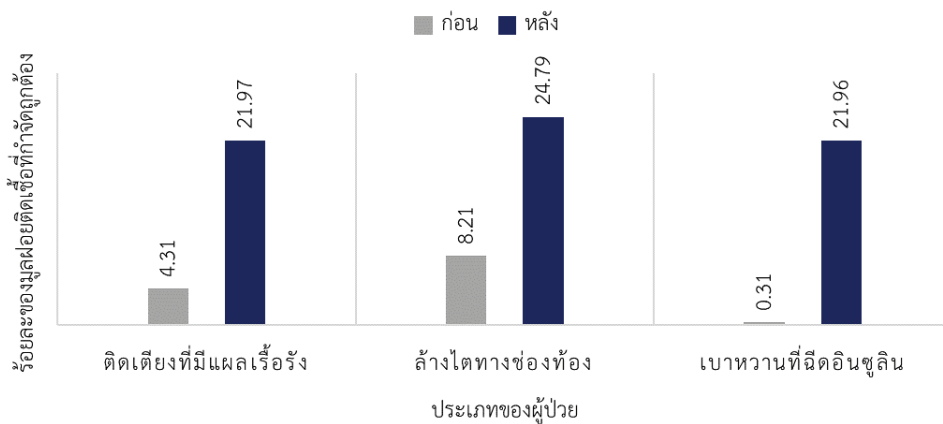
    D -- "ส่งไป รพ.สต. ทุกวันศุกร์ ก่อนเที่ยง" --> F[รพ.สต./รพ.ช.]
    E -- "ส่งขาย" --> G[บ.เอกชน (วิไลเซลล์)]
    F --> H[กำจัดโดย บริษัท เอกชน]
    G --> H
  
```

→ การไหลของมูลฝอยติดเชื้อ
 □ กระบวนการ
 ○ ประเภทของมูลฝอยติดเชื้อ

ภาพที่ 2 รูปแบบการคัดแยกมูลฝอยติดเชื้อในชุมชน

ระยะที่ 3 ประเมินผลหลังการทดลองใช้รูปแบบการจัดการมูลฝอยติดเชื้อที่พัฒนาขึ้น ในชุมชน

เมื่อทดลองใช้รูปแบบการจัดการมูลฝอยติดเชื้อในชุมชนเป็นระยะเวลา 30 วัน และนำไปเปรียบเทียบกับระยะก่อนกำหนดรูปแบบการจัดการมูลฝอยติดเชื้อของชุมชน พบว่าปริมาณมูลฝอยติดเชื้อได้รับการจัดการถูกต้องเพิ่มมากขึ้น โดยกลุ่มที่เพิ่มขึ้นมากที่สุด คือ ผู้ป่วยเบาหวานที่ฉีดอินซูลิน (เพิ่มขึ้นร้อยละ 21.65) รองลงมาคือผู้ป่วยติดเชื้อที่มีแผลเรื้อรัง (เพิ่มขึ้นร้อยละ 17.66) และผู้ป่วยล้างไตทางช่องท้อง (เพิ่มขึ้นร้อยละ 16.58) ดังภาพ 3 เมื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบการกำจัดมูลฝอยติดเชื้อในระยะก่อนและหลังการกำหนดรูปแบบการจัดการมูลฝอยติดเชื้อในชุมชน โดยทดสอบค่าสถิติ McNemar's test ที่ระดับ Level of Sig (p) < 0.001 พบว่าการกำจัดมูลฝอยติดเชื้อที่ถูกต้องในชุมชนระยะหลังกำหนดรูปแบบเพิ่มขึ้นจากระยะก่อนกำหนดรูปแบบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังตาราง 3



ภาพ 3 ปริมาณมูลฝอยติดเชื้อที่มีการจัดการถูกต้องในระยะก่อนและหลังการกำหนดรูปแบบ

ตาราง 3 ความแตกต่างระหว่างก่อนและหลังการกำหนดรูปแบบการจัดการมูลฝอยติดเชื้อ
ในชุมชน โดยทดสอบด้วยสถิติ McNemar's test

ก่อนการใช้รูปแบบ	หลังการใช้รูปแบบ		p-value
	ถูกต้อง	ไม่ถูกต้อง	
ถูกต้อง	19 (100.0)	0 (0)	< 0.001
ไม่ถูกต้อง	37 (19.6)	133 (70.4)	



อภิปรายผลการวิจัย

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่ามูลฝอยติดเชื้อที่เกิดขึ้นในชุมชนของอำเภออุ้มผาง จังหวัดสุพรรณบุรี นั้น เข้าระบบการกำจัดอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการเพียงร้อยละ 4.13 ของมูลฝอยติดเชื้อทั้งหมดที่เกิดจากผู้ป่วยรักษาตัวที่บ้านใน 3 กลุ่มโรค ซึ่งผลจากการศึกษาสถานการณ์ทั่วไปและการวิเคราะห์ช่องว่างทำให้สามารถกำหนดรูปแบบการจัดการมูลฝอยติดเชื้อที่สามารถดำเนินการได้ในทันที คือ ให้ความรู้แก่ผู้ป่วยด้านการคัดแยก ส่งเสริมการคัดแยกมูลฝอยติดเชื้อออกจากมูลฝอยไม่ติดเชื้อ และหาแนวทางหรือมาตรการให้ผู้ป้อนำมูลฝอยติดเชื้อเข้าสู่ระบบการจัดการของสถานบริการการสาธารณสุขที่มีในท้องถิ่น ผลจากการทดลองใช้รูปแบบการจัดการมูลฝอยติดเชื้อในชุมชนแสดงให้เห็นว่าปริมาณมูลฝอยติดเชื้อที่เข้าสู่ระบบการกำจัดอย่างถูกต้องเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตามพบว่ามีมูลฝอยติดเชื้อเข้าสู่ระบบเพียงร้อยละ 22.5 เท่านั้น ซึ่งเพิ่มขึ้นร้อยละ 18.3 โดยกลุ่มที่เพิ่มขึ้นมากที่สุดคือผู้ป่วยเบาหวานที่ฉีดอินซูลิน เพิ่มขึ้นร้อยละ 21.65 เนื่องจากผู้ป่วยกลุ่มนี้ไม่ทราบว่ามูลฝอยที่เกิดจากการฉีดอินซูลินเป็นมูลฝอยติดเชื้อ ดังจะเห็นว่ามีปริมาณมูลฝอยติดเชื้อที่มีการจัดการถูกต้องก่อนการกำหนดรูปแบบเพียงร้อยละ 0.31 ซึ่งเมื่อให้ความรู้และกำหนดรูปแบบการจัดการมูลฝอยติดเชื้อที่สามารถปฏิบัติได้และมีความยืดหยุ่น เช่น ใช้ขวดน้ำที่ป้องกันการแทงทะลุได้และสามารถหาได้ง่ายเป็นภาชนะรองรับมูลฝอยติดเชื้อมีคม หรือใช้ถุงบรรจุมูลฝอยติดเชื้อไม่มีคมที่สามารถหาได้ง่าย และส่งไปกำจัดยัง รพ.สต. และ รพช. ใกล้บ้าน ส่งผลให้เกิดการปฏิบัติที่ถูกต้องเพิ่มขึ้นสูงที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับณัฐฉิมา ผดุงเพียร (2560) ที่กล่าวว่า การมีระบบการสนับสนุนการจัดการมูลฝอยที่ดีในระดับชุมชน เช่น การให้ความรู้ สนับสนุนวัสดุอุปกรณ์ จะเอื้อให้ประชาชนในชุมชนดังกล่าวเกิดพฤติกรรมการจัดการมูลฝอยในครัวเรือนของตนเองเพิ่มขึ้น นอกจากนี้แล้ว เมื่อวิเคราะห์ถึงปัจจัยที่นำจะมีผลต่อการจัดการมูลฝอยติดเชื้อในทั้ง 3 กลุ่มโรค ยังคงพบว่าผู้ป่วยส่วนใหญ่ไม่ทราบว่ามูลฝอยติดเชื้อที่เกิดจากการรักษาตัวที่บ้าน จัดเป็นมูลฝอยติดเชื้อที่ต้องมีวิธีการกำจัดโดยเฉพาะ และยังพบว่าผู้ป่วยไม่ทราบว่ามูลฝอยติดเชื้อที่เกิดขึ้นมีอันตราย ซึ่งสอดคล้องกับสกุศลรัตน์ โทนมิ และคนอื่น ๆ (2563) ที่พบว่าประชาชนส่วนใหญ่ในชุมชนยังขาดความรู้เกี่ยวกับอันตรายต่าง ๆ ที่เกิดจากมูลฝอย โดยซุริโยและซิชิค (Suryo & Cicik, 2017) และ ลาโซและกัสปาราทอส (Lazo & Gasparatos, 2022) อธิบายว่า การให้ความรู้ด้านมูลฝอยแก่ประชาชนนั้นส่งผลต่อความร่วมมือในการจัดการมูลฝอย ดังนั้นรูปแบบการจัดการมูลฝอยติดเชื้อในชุมชนที่กำหนดขึ้นจากการศึกษานี้มีศักยภาพในการเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการมูลฝอยติดเชื้อในชุมชนได้ อย่างไรก็ตามอุปสรรคที่สำคัญในการจัดการมูลฝอยติดเชื้อในชุมชนที่พบ คือ ผู้ป่วยบางส่วนไม่สะดวกในการเดินทางนำมูลฝอยติดเชื้อไปที่สถานบริการการสาธารณสุขใกล้บ้าน และการจัดการมูลฝอยขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น

ในอำเภออุ้มผางยังไม่ครอบคลุมถึงเรื่องของการจัดการมูลฝอยติดเชื้อ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของจันทนา มณีอินทร์ (2556) ที่พบว่าองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นส่วนใหญ่ไม่มีนโยบายการจัดการมูลฝอยติดเชื้อ ดังนั้นเพื่อให้เกิดการจัดการมูลฝอยติดเชื้อในชุมชนที่มีประสิทธิภาพ องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นควรร่วมมือกับสถานบริการสาธารณสุขในท้องถิ่นเพื่อให้บริการประชาชนในการกำจัดมูลฝอยติดเชื้อที่เกิดจากการรักษาตัวที่บ้าน



สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

ผลจากการศึกษา พบว่ามีมูลฝอยติดเชื้อที่เกิดจากผู้ป่วยที่รักษาตัวที่บ้านยังไม่มี การจัดการที่ถูกต้อง มีการทิ้งมูลฝอยติดเชื้อรวมกับมูลฝอยทั่วไป และไม่มี การกำจัดอย่างถูกวิธี เช่น การเผาที่บ้านบริเวณบ้านซึ่งอยู่ในชุมชนอาจส่งผลให้เกิดการแพร่กระจายเชื้อโรคได้ ส่งผลกระทบท ต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นของอำเภออุ้มผางยังไม่มี ความพร้อม ในการจัดการมูลฝอยติดเชื้อ และยังไม่มียุทธศาสตร์การจัดการมูลฝอยติดเชื้อที่ถูกต้องตามหลัก สุขาภิบาล ยังพบว่าอัตราการเกิดมูลฝอยติดเชื้อจากผู้ป่วยที่รักษาตัวที่บ้านในกลุ่มผู้ป่วยติดเชื้อ ที่มีแผลเรื้อรัง ผู้ป่วยล้างไตทางหน้าท้อง และผู้ป่วยเบาหวานมีค่าเท่ากับ 1.44 ± 0.70 , 2.9 ± 2.7 และ 0.16 ± 0.03 กก./คน/วัน ตามลำดับ โดยปริมาณมูลฝอยติดเชื้อก่อนการกำหนด รูปแบบการจัดการมูลฝอยติดเชื้อเข้าสู่ระบบการกำจัดอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการเพียง ร้อยละ 4.13 และหลังการทดลองใช้ ซึ่งกำหนดให้ผู้ป่วยแยกมูลฝอยติดเชื้อเพื่อส่งไปกำจัด ที่สถานบริการสาธารณสุขใกล้บ้านหรือนำไปรีไซเคิล ส่งผลให้มีการจัดการถูกต้องเพิ่มขึ้น เป็นร้อยละ 22.5 โดยมีข้อเสนอแนะดังนี้

ข้อเสนอแนะการนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

สามารถนำผลการศึกษาไปใช้คาดการณ์การเกิดมูลฝอยติดเชื้อในชุมชนจากการรักษาตัวที่บ้าน และใช้เป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจในการกำหนดรูปแบบการจัดการมูลฝอยติดเชื้อ ของชุมชน โดยหน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรให้ความรู้แก่ประชาชน และอำนวยความสะดวก ในการเก็บขนมูลฝอยติดเชื้อจากบ้านเรือน

ข้อเสนอแนะในการจัดทำวิจัยครั้งต่อไป

ควรทำการศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อการจัดการมูลฝอยติดเชื้อจากการรักษาตัวที่บ้าน เช่น ปัจจัยด้านความรู้ ความเข้าใจถึงอันตรายของมูลฝอยติดเชื้อ ปัจจัยด้านระยะทางและ การเข้าถึงสถานบริการสาธารณสุข เป็นต้น เพื่อเพิ่มปริมาณมูลฝอยติดเชื้อที่เข้าสู่ระบบ การจัดการอย่างถูกต้อง



กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณเจ้าหน้าที่สำนักงานสาธารณสุขอำเภอ เจ้าหน้าที่โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพประจำตำบล (รพ.สต.) อาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน (อสม.) ผู้ป่วยและญาติทุกท่านในอำเภออุ้มผาง จังหวัดสุพรรณบุรี ที่อำนวยความสะดวกในการลงพื้นที่จัดเก็บข้อมูล ขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่าน งานวิจัยนี้เป็นผลงานวิจัยที่ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยประเภททุนวิจัยทั่วไปสำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ตามสัญญาเลขที่ TUGG 130/2562



เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. (2562). รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทยปี พ.ศ. 2561. ใน กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (บ.ก.), สถานการณ์ขยะมูลฝอยและของเสียอันตรายและการบริหารจัดการขยะมูลฝอยและของเสียอันตราย (น. 41). ส. มงคลการพิมพ์.
- กรมอนามัย. (2560). ภาพรวมสถานการณ์การจัดการมูลฝอยติดเชื้อของประเทศไทย. https://envmanifest.anamai.moph.go.th/?summary_hosp&id=72
- _____. (2562). แนวทางการจัดการมูลฝอยติดเชื้อ โดยเทคโนโลยีการทำลายเชื้อด้วยไอน้ำ ณ แหล่งกำเนิด. สำนักงานกิจการโรงพิมพ์ องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึก.
- จันทนา มณีอินทร์. (2556). การจัดการมูลฝอยติดเชื้อขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น [วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์]. <http://libdcms.nida.ac.th/thesis6/2556/b180561.pdf>
- ณัฐวุฒิ ผดุงเพียร. (2560). ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบริหารจัดการขยะของเทศบาลพระนครศรีอยุธยา [สารนิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยสยาม]. <https://e-research.siam.edu/kb/factors-affected-to-effectiveness-of-waste-management-of-phra-nakon-si-ayutthaya-city-municipality-phra-nakon-si-ayutthaya-province/>
- นริศรา เลิศพรสวรรค์, ชวพรพรรณ จันทร์ประสิทธิ์, และธานี แก้วธรรมานุกุล. (2560). ปัจจัยคุณภาพจากการทำงานและภาวะสุขภาพตามความเสี่ยงของพนักงานเก็บขยะ. *พยาบาลสาร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่*, 44(2), 138–150.
- ประจวบ แสงดาว. (2563, 15 กุมภาพันธ์). การจัดการมูลฝอยติดเชื้อในชุมชน ในเขตสุขภาพที่ 4 สระบุรี. ศูนย์อนามัยที่ 4 สระบุรี. <http://203.157.71.115/knowledge/academic/category/view?id=64>

- ประชุมพร กวีกรณ์, นารฤทธิ กุลวิเศษณ์, และอำนาจ เหมลา. (2560). การพัฒนารูปแบบการจัดการมูลฝอยติดเชื้อจังหวัดยโสธร. *วารสารการพัฒนาสุขภาพชุมชน มหาวิทยาลัยขอนแก่น*, 5(4), 703–728.
- รติรส ตะโกพร. (2558). *พฤติกรรมจัดการมูลฝอยติดเชื้อในบ้านเรือน กรณีศึกษา: อำเภอจอมบึง จังหวัดราชบุรี*. [วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยศิลปากร]. <http://ithesis-ir.su.ac.th/dspace/bitstream/123456789/321/1/รติรส.pdf>
- สกุลรัตน์ โทนมี่, รัชนิกร จันสน, วิภาดา ศรีเจริญ, พิสมัย กลอนกลาง, และนางลักษณ์ เจริญไพบูลย์ลาภ. (2563). ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมจัดการขยะมูลฝอยในครัวเรือนของประชาชน ตำบลตะเบาะ อำเภอมือง จังหวัดเพชรบูรณ์. *วารสารความปลอดภัยและสุขภาพ*, 13(2), 32–44.
- สมัชชาสุขภาพจังหวัดสุพรรณบุรี. (2559). การจัดการขยะแบบมีส่วนร่วมโดยชุมชนท้องถิ่น. ใน *การประชุมสมัชชาสุขภาพจังหวัดสุพรรณบุรี พ.ศ. 2559*. สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดสุพรรณบุรี.
- Lazo, Denise P Lozano & Gasparatos, Alexandros. (2022). Factors influencing household-level positive and negative solid waste management practices in rapidly urbanizing cities: insights from Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. *Environmental Research Infrastructure and Sustainability*, 2. <https://doi.org/10.1088/2634-4505/ac44da>
- Suryo, P. Y. & Cicik, S. (2017). Push factors of community participation in the management of waste bank in the city of Surakarta, Central Java province, Indonesia. *Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences*, 8(68), 34–40. <https://doi.org/10.18551/rjoas.2017-08.06>

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ผักแผ่นอบกรอบ DEVELOPMENT OF VEGETABLE CRISPS

วันที่รับ: 18 พฤษภาคม 2565
วันที่แก้ไข: 26 สิงหาคม 2565
วันที่ตอบรับ: 5 กันยายน 2565

ผกาวดี ภูจันทร์^{1*}, ไพรวลัย ประมัย¹,
โสรัจวรชুম อินเกต¹ และ อรุณลักษณ์ โชตินาครินทร์¹

Pakawadee Phugan^{1*}, Praiwan Pramai¹,
Soratworachum Inket¹ and Arunluk Chodnakarin¹

¹คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
จังหวัดพิษณุโลก 65000

¹Faculty of Science and Technology, Pibulsongkram Rajabhat University,
Phitsanulok 6500

*Corresponding author e-mail: Pakawadee@psru.ac.th



บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาตำรับผลิตภัณฑ์ผักแผ่นอบกรอบและศึกษาการยอมรับของผู้บริโภค ศึกษาคุณค่าทางโภชนาการ และศึกษาปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ ค่าสี และคุณภาพมาตรฐานด้านจุลินทรีย์ จากการพัฒนาตำรับผลิตภัณฑ์ผักแผ่นอบกรอบ โดยการนำผักและสมุนไพรพื้นบ้าน 5 ชนิด ได้แก่ ใบกะเพรา ใบโหระพา ใบคหะน้ำ ใบตำลึง และใบแมงลัก นำมาปรุงรส ศึกษาการยอมรับของผู้บริโภค จำนวน 100 คน พบว่าผู้บริโภคให้คะแนนความชอบตำรับผลิตภัณฑ์ใบกะเพราแผ่นอบกรอบมากที่สุด จากการทดสอบคุณค่าทางโภชนาการ พบว่าผลิตภัณฑ์ใบกะเพราแผ่นอบกรอบมีโปรตีน ร้อยละ 11.87 คาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 71.79 ไขมัน ร้อยละ 4.23 ความชื้น ร้อยละ 4.95 เถ้า ร้อยละ 7.16 ไฟเบอร์ 8.46 กรัม พลังงาน 372.71 กิโลแคลอรีต่อ 100 กรัม และฤทธิ์การต้านออกซิเดชัน 327.68 ไมโครโมลโทรล็อก (μmole Trolox) และคุณภาพทางกายภาพ พบว่าผลิตภัณฑ์ใบกะเพราแผ่นอบกรอบมีค่า L^* a^* b^* เท่ากับ 44.06, 15.16 และ 3.15 ตามลำดับ และผลิตภัณฑ์ใบกะเพราแผ่นอบกรอบมีคุณภาพทางจุลินทรีย์เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน เป็นการเพิ่มทางเลือกแก่ผู้บริโภค

คำสำคัญ: การพัฒนาผลิตภัณฑ์, ผักแผ่นอบกรอบ, การต้านอนุมูลอิสระ



Abstract

This study aimed to develop vegetable crisps recipe and examine their consumer acceptance, nutritional values, Moisture content values, Water Activity (a_w), color values and microbial properties. To develop vegetable crisps, five local vegetables and herbs including holy basil, sweet basil, Chinese kale, ivy gourd leaves and lemon basil, were chosen as study samples. The finished products were tested for the acceptance by 100 consumers. The result revealed that the consumers liked holy basil crisps the most. Based upon the analysis of nutritional test, it was found that the holy basil crisps contained 11.87% protein, 71.79% carbohydrate, 4.23% fat, 4.95% moisture, 7.16% ash, 8.46 g fiber, 372.71 kcal per 100 g and 327.68 μ mole Trolox oxidation resistance. The physical characteristic analysis showed that crispy holy basil had $L^* a^* b^*$ of 44.06, 15.16, and 3.15, respectively. In addition, the microbial quality of the crispy holy basil product in accordance with the Thai Community Product Standard. Therefore, this product could be an additional choice for consumers.

Keywords: Product Development, Vegetable Crisps, Antioxidan



บทนำ

ผักสวนครัวและผักพื้นบ้าน เป็นพืชสมุนไพรที่อยู่คู่กับคนไทยมานาน จะเห็นได้ว่าคนไทยในสมัยก่อนมีการนำสมุนไพรมาบริโภคและใช้เป็นยารักษาโรคต่าง ๆ จนเกิดเป็นภูมิปัญญาท้องถิ่นที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิต ผักพื้นบ้านและสมุนไพรมีคุณสมบัติมากมาย อาทิเช่น นำมาบริโภคเป็นอาหาร ใช้เป็นยาในการรักษาโรค และบรรเทาอาการเจ็บป่วยต่าง ๆ จึงได้มีการอนุรักษ์และสนับสนุนให้คนไทยเห็นถึงความสำคัญของพืชสมุนไพรมากยิ่งขึ้น (พิมลพรรณ อนันต์กิจไพศาล, 2559) นอกจากนี้ ผักพื้นบ้านยังมีคุณสมบัติต่าง ๆ มีสารต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ สารประกอบฟีนอลิก แคโรทีนอยด์ ฟลาโวนอยด์ และวิตามินต่าง ๆ (Shahidi, 1997) ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระที่พบได้ในผักพื้นบ้านและสมุนไพร นอกจากมีหน้าที่ในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันในอาหารแล้ว ยังมีบทบาทในการป้องกันโรคต่าง ๆ ที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันในร่างกาย เช่น โรคหัวใจ โรคหลอดเลือดหัวใจ และโรคมะเร็ง เป็นต้น นอกจากนี้ ฟลาโวนอยด์จัดเป็นสารประกอบฟีนอลิกที่สำคัญอีกชนิดหนึ่ง

สารกลุ่มดังกล่าวเป็นสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติจึงมีความปลอดภัยกว่าสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ (ศิริธร ศิริอมรพรรณ, 2557) จากคุณสมบัติดังกล่าว ปัจจุบันจึงมีการส่งเสริมให้ประชากรปลูกพืชสมุนไพรในครัวเรือนเพื่อการบริโภค ผักพื้นบ้านและสมุนไพรจึงได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย เนื่องจากผักพื้นบ้านและสมุนไพรมีสรรพคุณในการป้องกันและรักษาโรค ไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ และยังมีราคาถูก สามารถหาได้ง่ายในท้องถิ่น จึงทำให้มีการนำเอาสมุนไพรมาใช้ในการรักษาโรคร่วมกับยาแผนปัจจุบัน เพื่อก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด (สุรชาติพ ภูมิประวดี, 2551) จากการส่งเสริมให้ประชาชนมีการปลูกผักพื้นบ้านและสมุนไพรในครัวเรือนเพื่อการบริโภคมีมากขึ้น จึงส่งผลให้ในพื้นที่อำเภอบางกระทุ่มและอำเภอลำทะเมนชัย จังหวัดพิษณุโลก มีการปลูกพืชผักพื้นบ้านและสมุนไพรมากขึ้น แต่การนำสมุนไพรไปใช้ประโยชน์ยังมีจำกัด มีเพียงการใช้เป็นวัตถุดิบในการประกอบอาหารเท่านั้น การแปรรูปผักพื้นบ้านและสมุนไพรแบบอื่น ๆ ยังมีน้อย การแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่มีความหลากหลายจึงมีความจำเป็น เพื่อเป็นการขยายตลาดและโอกาสในการจำหน่ายผักพื้นบ้านและสมุนไพร เพิ่มรูปแบบของผลิตภัณฑ์อาหารหรืออาหารว่างให้มีทางเลือกในการบริโภคมากขึ้น และเป็นการช่วยส่งเสริมการรับประทานผักพื้นบ้านและสมุนไพรสำหรับผู้ที่ไม่นิยมรับประทานผักพื้นบ้านและสมุนไพรแบบสด ด้วยเหตุผลดังกล่าวทางผู้วิจัยจึงคิดพัฒนาผลิตภัณฑ์ผักแผ่นอบกรอบ ศึกษาคุณค่าทางโภชนาการและคุณภาพด้านจุลินทรีย์ เพื่อพัฒนาตำรับผลิตภัณฑ์ผักแผ่นอบกรอบและศึกษาการยอมรับของผู้บริโภค เป็นการส่งเสริมการใช้ประโยชน์จากผักพื้นบ้านในท้องถิ่น



วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาตำรับผลิตภัณฑ์ผักแผ่นอบกรอบและการยอมรับของผู้บริโภค
2. เพื่อศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ผักแผ่นอบกรอบ
3. เพื่อศึกษาปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ ค่าสี และคุณภาพมาตรฐานด้านจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์ผักแผ่นอบกรอบ



วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการพัฒนาตำรับผลิตภัณฑ์ผักแผ่นอบกรอบ ศึกษาการยอมรับของผู้บริโภค ศึกษาคุณค่าทางโภชนาการ ลักษณะทางเคมีและกายภาพ ศึกษาคุณภาพมาตรฐานด้านจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์ผักแผ่นอบกรอบ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ผักแผ่นอบกรอบที่ผู้บริโภคให้การยอมรับ โดยกำหนดวิธีการดำเนินการทดลองดังนี้

1. พัฒนารับผลิตภัณฑ์ผักแผ่นอบกรอบและการยอมรับของผู้บริโภค

ทำการผลิตผลิตภัณฑ์ผักแผ่นอบกรอบตำรับต้นแบบ ทั้งหมด 5 ตำรับ โดยใช้ผักพื้นบ้าน 5 ชนิด ได้แก่ ใบโหระพา ใบแมงลัก ใบกะเพรา ใบคะน้า และใบตำลึง นำมาลวกในน้ำที่ต้มให้เดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ผสมโซเดียมคลอไรด์ (เกลือแกง) ร้อยละ 1 ลวกนาน 3 นาที นำแช่ในน้ำเย็น ตักขึ้นพักให้สะเด็ดน้ำ บดให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่นยี่ห้อ Panasonic รุ่น MX-GM1011 ปั่นรสด้วยน้ำตาลทราย พริกไทยป่น น้ำมันงา ซีอิ๊วขาว ผสมกับแป้งสาลีอเนกประสงค์ ในอัตราส่วน คือ ร้อยละ 25 ของน้ำหนักผัก ผสมให้เข้ากัน นำมาตั้งไฟให้ร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส อีกครั้ง เทใส่ถาดอบที่รองด้วยแผ่นรองอบเทฟลอนเพื่อขึ้นรูปเกลี่ยให้ผักเสมอกันเป็นแผ่นหนาประมาณ 5 มิลลิเมตร อบด้วยเตาอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 4-5 ชั่วโมง จนกระทั่งแห้งดีและมีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 10 (วันเพ็ญ แสงทองพินิจ และคนอื่น ๆ, 2558; ญัฐธัญชา รัตนจันทร์ และคนอื่น ๆ, 2561) จากนั้นทำให้สุกด้วยการอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ทำการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคโดยใช้ผู้ทดสอบทั่วไป จำนวน 100 คน ทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการทดสอบ 9-Point Hedonic Test พิจารณาทางด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ให้คะแนนความชอบผลิตภัณฑ์จากค่า 1-9 (1 = ไม่ชอบมากที่สุด, 9 = ชอบมากที่สุด) (Chambers & Wolf, 1996) โดยการคัดเลือกผู้ทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ผู้ทดสอบได้รับการคัดเลือกและฝึกฝนให้มีความสามารถในการจับความแตกต่างที่ระดับความแตกต่างเล็กน้อยที่ผู้บริโภคทั่วไปไม่สามารถจับได้ และเป็นผู้ที่มีความสามารถในการแยกแยะคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสได้อย่างถูกต้อง มีความสามารถในการทดสอบด้วยประสาทสัมผัสทั้งห้าด้านได้อย่างปกติ และเป็นผู้มีบุคลิกกระตือรือร้น สนใจในการทดสอบผลิตภัณฑ์ มีสุขภาพดีไม่มีโรคประจำตัว และเป็นผู้ไม่มีประวัติการแพ้อาหาร คัดเลือกบุคคลที่มีคุณสมบัติครบถ้วนหรือมีคุณสมบัติตรงมากที่สุด หลังจากทดสอบตัวอย่างให้ผู้ทดสอบชิมนั่งพักดูอาการ ณ ห้องที่จัดไว้เป็นเวลา 30 นาที เพื่อสังเกตอาการแพ้หรืออาการผิดปกติ เมื่อกลับบ้านพักสังเกตอาการต่ออีก 24 ชั่วโมง แสดงส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ผักแผ่นอบกรอบ (ตาราง 1)

ตาราง 1 ส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ผักแผ่นอบกรอบตำรับต้นแบบ

วัตถุดิบ	ผลิตภัณฑ์ผักแผ่นอบกรอบตำรับต้นแบบ				
	ตำรับที่ 1 ใบโหระพา	ตำรับที่ 2 ใบแมงลัก	ตำรับที่ 3 ใบกะเพรา	ตำรับที่ 4 ใบคะน้า	ตำรับที่ 5 ใบตำลึง
ผักลวกสุก (ร้อยละ)	61.36	61.36	61.36	61.36	61.36
แป้งสาลี (ร้อยละ)	15.33	15.33	15.33	15.33	15.33
น้ำตาลทราย (ร้อยละ)	12.26	12.26	12.26	12.26	12.26
พริกไทยป่น (ร้อยละ)	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25
น้ำมันงา (ร้อยละ)	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22
ซีอิ๊วขาว (ร้อยละ)	8.58	8.58	8.58	8.58	8.58

ที่มา: ณีภรณ์ธัญญา รัตนจันทร์ และคนอื่น ๆ (2561)

2. การศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ผักแผ่นอบกรอบ

วิเคราะห์ปริมาณความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต พลังงาน ตามวิธีของ ลาติเมอร์ (Latimer, 2016) โยอาหาร (Dietary fiber) ตามวิธีของ AOAC International et al. (2010) เปรียบเทียบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (Total Antioxidant) และค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) รายงานเป็นค่าความชื้นที่มีผลต่ออัตราการเจริญของจุลินทรีย์ โดยใช้เครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระในอาหาร ยี่ห้อ Aqua Lab รุ่น Series 3 (Decagon, USA)

3. ศึกษาปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ ค่าสี และคุณภาพมาตรฐานด้านจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์ผักแผ่นอบกรอบ

3.1 ปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระ

ค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) รายงานเป็นค่าความชื้นที่มีผลต่ออัตราการเจริญของจุลินทรีย์ วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Aqua Lab รุ่น Series 3 (Decagon, USA)

3.2 ค่าสี $L^* a^* b^*$

ทำการวัดค่าสีของผักแผ่นอบกรอบ โดยการวัดค่า $L^* a^* b^*$ ด้วยเครื่องวัดค่าสี Hunter Lab รุ่น CR-10 Japan รายงานเป็น L^* คือ ค่าความสว่าง $+a^*$ คือ ค่าสีแดง $-a^*$ คือ ค่าสีเขียว $+b^*$ คือ สีเหลือง และ $-b^*$ คือ ค่าสีน้ำเงิน ทำการทดลอง 6 ซ้ำ

3.3 การศึกษาคุณภาพมาตรฐานด้านจุลินทรีย์

ศึกษาคุณภาพทางจุลินทรีย์ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผักและผลไม้ทอดกรอบ เลขที่ มผช. 1038/2554 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2554) ได้แก่

- 3.3.1 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ต้องไม่เกิน 1×10^6 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม
- 3.3.2 ซาลโมเนลลา ต้องไม่พบในตัวอย่าง 25 กรัม
- 3.3.3 สตาฟิโลค็อกคัส ต้องน้อยกว่า 10 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม
- 3.3.4 บาซิลลัสซีเรียส ต้องไม่เกิน 1×10^3 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม
- 3.3.5 คลอสทริเดียม เพอร์ฟริงเจนส์ ต้องไม่เกิน 1×10^3 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม
- 3.3.6 เอสเชอริเชีย โคไล โดยวิธีเอ็มพีเอ็น ต้องน้อยกว่า 3 ต่อตัวอย่าง 1 กรัม
- 3.3.7 ยีสต์และรา ต้องไม่เกิน 100 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม

4. การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมีมาวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยการวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) และการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ Randomized Complete Block Design (RCBD) ทำการแปลผลข้อมูลที่ได้โดยวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-way ANOVA) และความแตกต่างของค่าเฉลี่ยทางสถิติโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (Steel & Torrie, 1980) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป



ผลการวิจัย

1. ผลการพัฒนาตำรับผลิตภัณฑ์ผักแผ่นอบกรอบและการยอมรับของผู้บริโภค

จากการคัดเลือกผลิตภัณฑ์ต้นแบบโดยนำผลิตภัณฑ์ทั้ง 5 ตำรับ ทดสอบความชอบของผู้บริโภค จำนวน 100 คน พิจารณาทางด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ความกรอบ และการยอมรับโดยรวม พบว่าผลิตภัณฑ์ผักแผ่นอบกรอบตำรับที่ 3 (ใบกะเพรา) ได้รับความชอบทุกคุณลักษณะมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ผักแผ่นอบกรอบตำรับอื่น ๆ ($p \leq 0.05$) ตามลำดับ (ตาราง 2)

ตาราง 2 คะแนนการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ผักแผ่นอบกรอบ (100 คน)

คุณลักษณะ	ผลิตภัณฑ์ผักแผ่นอบกรอบ				
	ตำรับที่ 1 ใบโหระพา	ตำรับที่ 2 ใบแมงลัก	ตำรับที่ 3 ใบกะเพรา	ตำรับที่ 4 ใบคะน้า	ตำรับที่ 5 ใบตำลึง
ลักษณะที่ปรากฏ	7.44 ± 0.07 ^b	7.10 ± 0.05 ^c	7.80 ± 0.05 ^a	6.71 ± 0.16 ^e	7.02 ± 0.06 ^{dc}
สี	7.60 ± 0.05 ^b	7.20 ± 0.07 ^c	7.81 ± 0.04 ^a	6.75 ± 0.13 ^e	7.09 ± 0.07 ^d
กลิ่น	8.01 ± 0.06 ^b	7.66 ± 0.05 ^c	8.77 ± 0.05 ^a	6.42 ± 0.16 ^e	7.14 ± 0.06 ^d
รสชาติ	7.43 ± 0.05 ^b	7.05 ± 0.05 ^c	8.18 ± 0.05 ^a	6.35 ± 0.15 ^e	6.80 ± 0.05 ^d
ความกรอบ	7.52 ± 0.03 ^b	7.12 ± 0.03 ^c	8.16 ± 0.04 ^a	6.24 ± 0.17 ^e	7.04 ± 0.17 ^{dc}
การยอมรับโดยรวม	7.61 ± 0.12 ^b	7.43 ± 0.04 ^c	8.46 ± 0.06 ^a	6.48 ± 0.15 ^e	7.08 ± 0.15 ^d

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคจำนวน 100 คน ตัวอักษรในแนวนอนที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

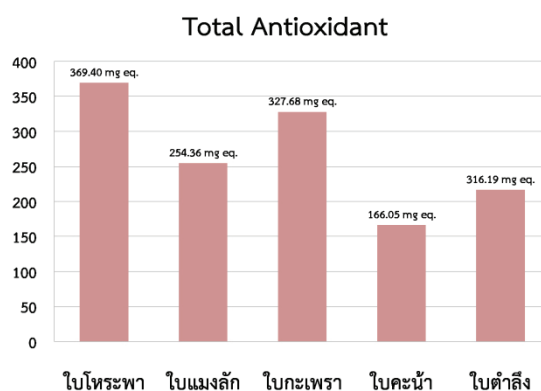
2. ผลการศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ผักแผ่นอบกรอบ

จากการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต โยอาหาร (Dietary fiber) พลังงาน พบว่าผลิตภัณฑ์ใบกะเพราแผ่นอบกรอบ มีปริมาณโปรตีน 11.87 กรัม ไขมัน 4.23 กรัม คาร์โบไฮเดรต 71.79 กรัม โยอาหาร 8.46 กรัม และมีพลังงานทั้งหมด 372.71 กิโลแคลอรีต่อผลิตภัณฑ์ใบกะเพราแผ่นอบกรอบ 100 กรัม จากปริมาณสารอาหารที่แนะนำให้บริโภคในหนึ่งวันสำหรับคนไทยอายุ 6 ปีขึ้นไป ของกองโภชนาการ กรมอนามัย แนะนำให้คนไทยได้รับโยอาหาร คือ 25 กรัม (กรมอนามัย กองโภชนาการ, 2546) จากการศึกษาพบว่าการบริโภคผลิตภัณฑ์ใบกะเพราแผ่นอบกรอบ 100 กรัม จะได้รับโยอาหาร (Dietary fiber) 8.46 กรัม คิดเป็นร้อยละ 33.84 ของปริมาณที่ควรได้รับแต่ละวัน นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ใบกะเพราแผ่นอบกรอบยังเป็นผลิตภัณฑ์ที่ให้พลังงาน มีไขมันต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (Total Antioxidant) ของใบกะเพราแผ่นอบกรอบ พบว่ามีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 327.68 mg eq. Trolox/g ซึ่งมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าใบแมงลัก ใบตำลึง และใบคะน้าแผ่นอบกรอบ ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 3 และภาพ 1

ตาราง 3 คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ผักแผ่นอบกรอบใน 100 กรัม

คุณค่าทาง โภชนาการ	ปริมาณ				
	ใบโหระพา	ใบแมงลัก	ใบกะเพรา	ใบคะน้า	ใบตำลึง
ความชื้น (กรัม)	3.63 ± 0.05 ^e	7.27 ± 0.04 ^b	4.95 ± 0.03 ^d	5.41 ± 0.03 ^c	7.57 ± 0.04 ^a
เถ้า (กรัม)	7.63 ± 0.04 ^a	5.14 ± 0.03 ^d	7.16 ± 0.01 ^b	6.46 ± 0.05 ^c	3.68 ± 0.02 ^e
โปรตีน (กรัม)	12.67 ± 0.02 ^b	12.62 ± 0.02 ^b	11.87 ± 0.03 ^c	11.71 ± 0.02 ^c	13.87 ± 0.04 ^a
ไขมัน (กรัม)	4.17 ± 0.03 ^c	4.50 ± 0.05 ^b	4.23 ± 0.02 ^c	4.85 ± 0.04 ^a	4.99 ± 0.03 ^a
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	71.90 ± 0.02 ^a	70.47 ± 0.02 ^c	71.79 ± 0.04 ^a	71.59 ± 0.02 ^b	69.89 ± 0.02 ^c
พลังงาน (Kcal)	375.81 ± 0.04 ^{ab}	372.86 ± 0.04 ^b	372.71 ± 0.01 ^b	376.77 ± 0.03 ^{ab}	379.95 ± 0.01 ^a
ใยอาหาร (กรัม)	8.83 ± 0.02 ^a	7.06 ± 0.02 ^d	8.46 ± 0.03 ^b	7.21 ± 0.02 ^c	7.33 ± 0.04 ^c
Total					
Antioxidant (mg eq Trolox)	369.40 ± 0.01	254.36 ± 0.02	327.68 ± 0.02	166.05 ± 0.02	216.19 ± 0.02

หมายเหตุ: ตัวอักษรในแนวนอนที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)



ภาพ 1 แสดงปริมาณฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ผักแผ่นอบกรอบใน 100 กรัม

3. ผลการศึกษาปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ค่าสี และคุณภาพมาตรฐานด้านจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์ผักแผ่นอบกรอบ

3.1 ปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระ

คุณภาพผลิตภัณฑ์ใบกะเพราแผ่นอบกรอบ (ตาราง 4) พบว่าใบกะเพราแผ่นอบกรอบมีความชื้น ร้อยละ 4.95 ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผักและผลไม้ทอดกรอบแผ่น เลขที่ 1038/2554 ที่กำหนดให้มีความชื้นได้ไม่เกินร้อยละ 6 โดยน้ำหนัก

นอกจากนี้ใบกะเพราแผ่นอบกรอบยังมีปริมาณน้ำอิสระ (a_w) เท่ากับ 0.322 ซึ่ง ค่า a_w เป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการควบคุมการเจริญของจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของการเสื่อมเสียของอาหาร (Seman et al., 1980) ปฏิกริยาทางชีวเคมีและกิจกรรมของจุลินทรีย์ส่วนใหญ่จะถูกยับยั้งที่ a_w ต่ำกว่า 0.6 เชื้อราส่วนใหญ่ถูกยับยั้งการเจริญที่ค่า a_w ต่ำกว่า 0.7 (วิลโลว์ รังสาตทอง, 2552) ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ใบกะเพราแผ่นอบกรอบ มีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.32 ซึ่งเป็นสภาพที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ จากการทดสอบผลิตภัณฑ์ผักแผ่นอบกรอบทั้ง 5 ตัวอย่าง พบว่ามีคุณภาพทางด้านความชื้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผักและผลไม้ทอดกรอบแผ่น

ตาราง 4 ปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ของผลิตภัณฑ์ผักแผ่นอบกรอบ

คุณภาพทางเคมี	ปริมาณ (ร้อยละ)				
	สูตรที่ 1 ใบโหระพา	สูตรที่ 2 ใบแมงลัก	สูตรที่ 3 ใบกะเพรา	สูตรที่ 4 ใบคะน้า	สูตรที่ 5 ใบตำลึง
ความชื้น	3.63 ± 0.03^d	7.27 ± 0.02^a	4.95 ± 0.02^c	5.41 ± 0.04^b	7.57 ± 0.03^a
ปริมาณน้ำอิสระ	0.251 ± 0.02^d	0.420 ± 0.01^b	0.322 ± 0.01^c	0.402 ± 0.02^b	0.51 ± 0.02^a

หมายเหตุ: ตัวอักษรในแนวนอนที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

3.2 ผลการวิเคราะห์ค่าสี $L^* a^* b^*$

จากการศึกษาคุณภาพค่าสีของผลิตภัณฑ์ผักแผ่นอบกรอบ พบว่าด้านค่าสี (L^*) ค่าความสว่าง (a^*) ค่าความเป็นสีแดง (b^*) ค่าความเป็นสีเหลือง ของผลิตภัณฑ์ผลิตภัณฑ์ผักแผ่นอบกรอบทั้ง 5 ตำรับ มีคุณภาพทางค่าสีไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) (ตาราง 5)

ตาราง 5 ค่าสี $L^* a^* b^*$ ของผลิตภัณฑ์ผักแผ่นอบกรอบ

ผลิตภัณฑ์ผักแผ่นอบกรอบ	ค่าความสว่าง (L^*)	ค่าสีแดง (a^*)	ค่าสีเหลือง (b^*)
ตำรับที่ 1 ใบโหระพา	44.06 ± 0.06^a	15.16 ± 0.06^a	3.15 ± 0.05^a
ตำรับที่ 2 ใบแมงลัก	43.23 ± 0.07^a	15.18 ± 0.05^a	3.30 ± 0.04^a
ตำรับที่ 3 ใบกะเพรา	42.48 ± 0.04^a	15.32 ± 0.05^a	2.20 ± 0.05^a
ตำรับที่ 4 ใบคะน้า	44.84 ± 0.06^a	15.18 ± 0.10^a	5.58 ± 0.04^a
ตำรับที่ 5 ใบตำลึง	45.05 ± 0.09^a	14.80 ± 0.07^a	4.23 ± 0.07^a

หมายเหตุ: ตัวอักษรในแนวนอนที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

3.3 ผลการศึกษาคุณภาพมาตรฐานด้านจุลินทรีย์

จากการศึกษาคุณภาพทางจุลินทรีย์ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผักและผลไม้ทอดกรอบ เลขที่ มผช. 1038/2554 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2554) พบว่าหลังจากเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ใบกะเพราแผ่นอบกรอบที่อุณหภูมิห้อง โดยใส่ภาชนะบรรจุพลาสติกชนิด PP (Polypropylene) เก็บเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ ผลิตภัณฑ์ยังคงมีคุณภาพทางจุลินทรีย์เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (ตาราง 6) อาจเป็นเพราะขบวนการผลิตมีขั้นตอนการนำวัตถุดิบต้มให้เดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ก่อนที่จะนำมาสู่ขบวนการขึ้นรูป นอกจากนั้นยังผ่านขั้นตอนการอบให้สุกซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้ายของขบวนการผลิตก่อนที่จะบรรจุ การอบเป็นการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ เนื่องจากช่วยลดค่าออกเอด์ของอาหารได้ระดับหนึ่ง (วิไล รังสาทอง, 2552) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ใบกะเพราแผ่นอบกรอบมีความปลอดภัยในการบริโภค

ตาราง 6 คุณภาพจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์ใบกะเพราแผ่นอบกรอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน โดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

รายการทดสอบ	จำนวนจุลินทรีย์ (เก็บรักษา 1 สัปดาห์)	จำนวนจุลินทรีย์ (เก็บรักษา 4 สัปดาห์)
Total Plate Count	1.1×10^3 Cfug	1.2×10^3 Cfug
<i>Salmonella</i> spp.	Not Detected	Not Detected
<i>Staphylococcus Aureus</i>	< 10 est. Cfug	< 10 est. Cfug
<i>Bacillus Cereus</i>	1.2×10^2 Cfug	1.3×10^2 Cfug
<i>Clostridium Perfringens</i>	< 10 Cfug	< 10 Cfug
<i>Escherichia Coli</i>	< 2 MPN/g	< 2 MPN/g
Yeast and Mold	< 10 Cfug	< 10 Cfug

ที่มา: ทำการวิเคราะห์โดย Central Laboratory (Thailand) Co., Ltd. (2565)



อภิปรายผลการวิจัย

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ผักแผ่นอบกรอบ พบว่าผลิตภัณฑ์ใบกะเพราแผ่นอบกรอบได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคมากที่สุด โดยได้คะแนนความชอบคุณลักษณะด้านกลิ่นมากที่สุด อาจเป็นผลมาจากใบกะเพราประกอบด้วยน้ำมันหอมระเหยหลายชนิด เช่น α -thujene, (Z)-3-hexanol, ethyl-2-methylbutyrate, α -pinene, β -pinene, camphene, sabinene, myrecene, limonene, 1,8-cineole, cis- β -ocimene, p-cymene, terpinolene,

allo-ocimene, α -cubebene, γ -terpene, trans-linalool oxide, geraniol, α -copaene, β -bourbonene, linalool, β -farnesene, β -elemene, β -caryophyllene ซึ่งสารเคมีดังกล่าวเป็นสารที่ให้กลิ่นหอม ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ใบกะเพราแผ่นอบกรอบมีกลิ่นหอมที่เป็นเอกลักษณ์ (Mondal et al., 2009; Vani et al., 2009; Rahmari et al., 2011) ดังนั้น อาจเป็นเหตุผลให้ผลิตภัณฑ์ใบกะเพราอบกรอบได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคมากที่สุด ผลิตภัณฑ์ใบกะเพราแผ่นอบกรอบมีคุณค่าทางโภชนาการเนื่องจากมีใยอาหาร (Dietary fiber) สูง 8.22 กรัม หรือคิดเป็นร้อยละ 32.88 ของปริมาณที่ควรได้รับแต่ละวัน นอกจากนี้ ใบกะเพราแผ่นอบกรอบยังเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (Total Antioxidant) เท่ากับ 327.68 mg eq. Trolox/100 g ซึ่งมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าใบแมงลัก ใบตำลึง และ ใบคะน้าแผ่นอบกรอบ ตามลำดับ สอดคล้องกับอคิล และคนอื่น ๆ (Aqil et al., 2006) ได้ศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH พบว่าสารสกัดเมทานอลของกะเพรามีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าพืช เช่น ชา และกระเทียม นอกจากนี้มีรายงานว่าในใบกะเพรามีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระจากสารฟีนอลิก 6 ชนิด คือ cirsilineol, cirsimaritin, isothymusin, isothymonin, apigenin และ rosmarinic acid (Kelm et al., 2000) กะเพราเป็นผักสวนครัวที่มีสรรพคุณทางยาใช้รักษาโรคหลายชนิด เป็นแหล่งของวิตามินซี เบตาแคโรทีน และ สารประกอบฟีนอลิกรวมถึงสารฟลาโวนอยด์หลายชนิด ซึ่งสารเหล่านี้มีบทบาทสำคัญในการต้านอนุมูลอิสระ (สุกัญญา เขียวสะอาด, 2555)



สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ผักแผ่นอบกรอบพบว่า ผลิตภัณฑ์ใบกะเพราแผ่นอบกรอบได้รับการยอมรับมากที่สุด อาจเป็นเพราะใบกะเพราเป็นพืชสมุนไพรที่มีกลิ่นหอมเป็นเอกลักษณ์และมีการใช้บริโภคในครัวเรือนอยู่เป็นประจำ นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ใบกะเพราแผ่นอบกรอบยังมีคุณค่าทางโภชนาการ มีใยอาหารสูง สามารถเก็บรักษาได้นาน 4 สัปดาห์ โดยมีคุณภาพทางจุลินทรีย์เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน จึงสามารถรับประทานได้อย่างปลอดภัย ดังนั้นผลิตภัณฑ์ใบกะเพราแผ่นอบกรอบจึงเหมาะสำหรับเป็นอาหารทางเลือกของผู้ที่สนใจบริโภคผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ และเป็นทางเลือกสำหรับผู้บริโภคที่ไม่ชื่นชอบในการบริโภคพืชผักสมุนไพรแบบสด

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

1. ถ่ายทอดองค์ความรู้สู่กลุ่มแม่บ้าน กลุ่มวิสาหกิจชุมชน หรือผู้ที่สนใจเพื่อการผลิตไว้บริโภคในครัวเรือน

2. ถ่ายทอดองค์ความรู้ และส่งเสริมการผลิตเพื่อเป็นการสร้างรายได้เสริมในครัวเรือน หรือชุมชน

ข้อเสนอแนะการวิจัยครั้งต่อไป

1. ทำการศึกษาความคงอยู่ของฤทธิ์การต้านออกซิเดชันในผลิตภัณฑ์ผักแผ่นที่มีกระบวนการผลิตในรูปแบบอื่น ๆ



กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ที่เอื้อเฟื้อสถานที่สำหรับการทำงานวิจัย ผู้วิจัยขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้



เอกสารอ้างอิง

- กรมอนามัย กองโภชนาการ. (2546). *ปริมาณสารอาหารอ้างอิงที่ควรได้รับประจำวัน สำหรับคนไทย พ.ศ.2546*. โรงพิมพ์องค์การรับส่งสินค้าและพัสดุภัณฑ์.
- ณัฐธินิชา รัตนจันทร์, ศิริลักษณ์ บุญแก้ว, ไพศาล คงสวัสดิ์, โสรัจวรชุม อินเกต, และผกาดี ภูจันทร์. (2561). การพัฒนาผลิตภัณฑ์สมุนไพรแผ่นอบกรอบ. ใน *การประชุมวิชาการระดับชาติพิบูลสงครามวิจัย ครั้งที่ 4 พ.ศ. 2561*. (น. 87–93.) พิษณุโลก: มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม.
- พิมลพรรณ อนันต์กิจไพศาล. (2559). *สุดยอด 108 สมุนไพรไทย ใช้เป็น หายป่วย*. เกท ไอเดีย.
- วันเพ็ญ แสงทองพินิจ, ศิริญา ทาคำ, พรทิพย์ เทพทับทิม, และปรีดา เพื่องฟู. (2558). การพัฒนาผลิตภัณฑ์ผักแผ่นเพื่อสุขภาพจากกระเจี๊ยบเขียวและผักบั้งจีน. ใน *การประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ครั้งที่ 7 ประจำปี พ.ศ. 2558* (น. 771–780). มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม.
- วีไล รังสาดทอง. (2552). *เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร*. เท็กซ์แอนด์เจอร์นัล พับลิเคชั่น.
- ศิริธร ศิริอมรพรรณ. (2557). *สารต้านอนุมูลอิสระในอาหาร*. โอเดียนสโตร์.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2554). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผักและผลไม้ทอดกรอบ*. สืบค้น 13 ตุลาคม 2564, จาก https://tcps.tisi.go.th/pub/tcps1038_54.pdf
- สุกัญญา เขียวสะอาด. (2555). กะเพรากับการต้านอนุมูลอิสระ. *วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง*, 21(2), 54–65.
- สุรชาติพ ภมรประวดี. (2551). กะเพราจัดเป็นราชินีสมุนไพรใช้ทั้งด้านร่างกายและจิตวิญญาณ กะเพรา. *นิตยสารหมอชาวบ้าน*, ฉบับที่ 355.
- AOAC International, Horwitz W., & Latimer G. W. (2010). *Official methods of analysis of AOAC international* (18th ed.). AOAC International Gaithersburg, MD.

- Aqil, F., Ahmad, I., & Mehmood, Z. (2006). Antioxidant and free radical scavenging properties of twelve traditionally used Indian medicinal plants. *Turkish Journal of Biology*, 30(3), 177–183.
- Central Laboratory (Thailand) Co., Ltd. (2565). *คุณภาพจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์ใบกะเพราแผ่นอบกรอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน โดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง*. กรุงเทพฯ.
- Chambers, Edgar, IV. & Wolf, M. (1996). *Sensory testing methods*. (2nd ed.). Micro & Nano Letters.
- Kelm, M. A., Nair, M. G., Strasbury, G. M., & Dewitt, P. L. (2000). Antioxidant and cyclooxygenase inhibitory phenolic compounds from *Ocimum sanctum* Linn. *Phytomedicine: International Journal of Phytotherapy and Phytopharmacology*, 7(1), 7–13. [https://doi.org/10.1016/S0944-7113\(00\)80015-X](https://doi.org/10.1016/S0944-7113(00)80015-X)
- Latimer, George W., Jr. (Ed.). (2016). *Official methods of analysis of AOAC international* (20th ed.). AOAC International.
- Mondal, S., Mirdha, B. R., & Mahapatra, S. C. (2009). The science behind sacredness of tulsi (*Ocimum sanctum* Linn.). *Indian Journal of Physiology and Pharmacology*, 53(4), 291–306.
- Rahmari, S., Islarn, R., Kamruzzaman, M., Alarn, K., & Jamal, H. M. (2011). *Ocimum sanctum* L.: A review of phytochemical and pharmacological profile. *American Journal of Drug Discovery and Development*, 1–15.
- Seman, D. L., Olson, D. G., & Mandigo, R. W. (1980). Effect of reduction and partial replacement of sodium on bologna characteristics and acceptability. *Journal of Food Science*, 45(5), 1116–1121. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1980.tb06500.x>
- Shahidi, F. (1997). Natural Antioxidants: An Overview. In F. Shahidi (Ed.), *Natural Antioxidants: Chemistry, Health Effects and Applications* (pp. 1–7). AOCS Press.
- Steel, R. G. D. & Torrie, J. H. (1980). *Principle and procedures of statistics*. (2nd ed.). McGraw Hill.
- Vani, S. R., Cheng, S. F., & Chuah, C. H. (2009). Comparative study of volatile compounds from Genus *Ocimum*. *American Journal of Applied Sciences*, 6(3), 523–528. <https://doi.org/10.3844/ajassp.2009.523.528>



ACADEMIC JOURNAL
UTTARADIT RAJABHAT
UNIVERSITY

องค์ประกอบทางเคมีของสารสกัดสาหร่ายสีเขียวขนาดใหญ่
(*Oedogonium* sp.) และผลรวมของสารสกัดกับปุ๋ยทางใบต่อการเจริญเติบโต
ของต้นกล้วยไม้เอื้องสามปอยขุนตาล

CHEMICAL COMPOSITIONS OF FRESHWATER GREEN MACROALGAE
EXTRACT (*OEDOGONIUM* SP.) AND COMBINATION OF FOLIAR
FERTILIZER ON GROWTH OF *VANDA DENISONIANA* BENSON & RCHB.F.

วันที่รับ: 7 มิถุนายน 2565

วันที่แก้ไข: 6 กันยายน 2565

วันที่ตอบรับ: 12 กันยายน 2565

มันทกา วีระพงศ์^{1*}, สุภาวดี รามสูตร¹

และ ดำรงค์พันธ์ ใจหาวีระพงศ์²

Manthaka Weeraphong^{1*}, Supawadee Ramasoot¹

and Damrongphun Jaihowweerapong²

¹คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

จังหวัดนครศรีธรรมราช 80000

¹Faculty of Science and Technology, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University,

Nakhon Si Thammarat 80000

²คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

จังหวัดนครศรีธรรมราช 80000

²Faculty of Humanities and Social Sciences,

Nakhon Si Thammarat Rajabhat University, Nakhon Si Thammarat 80000

*Corresponding author e-mail: mantaka_wer@nstru.ac.th



บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีในสารสกัดสาหร่ายสีเขียวขนาดใหญ่ *Oedogonium* sp. ที่เก็บจากแหล่งน้ำสายหลักในจังหวัดนครศรีธรรมราช และศึกษาผลของสารสกัดสาหร่ายร่วมกับปุ๋ยทางใบต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้วยไม้เอื้องสามปอยขุนตาลจากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ โดยสุ่มเก็บตัวอย่างสาหร่าย 3 ชั่วในพื้นที่แปลงใหญ่ รักษาสภาพด้วยกลูทาราลดีไฮด์ 2 เปอร์เซ็นต์ และวิเคราะห์ปริมาณกรดอะมิโนและธาตุอาหารหลักของพืช ทดลองฉีดพ่นสารสกัดสาหร่ายเข้มข้น 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตรที่สกัดได้ร่วมกับปุ๋ยทางใบ (สูตร 21-21-21) เข้มข้น 90, 80 และ 70 เปอร์เซ็นต์ ให้กับต้นกล้วยไม้ที่อายุ 60 วัน ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี พบว่าสารสกัดสาหร่าย

มีปริมาณกรดอะมิโนรวม และกรดอะมิโนอิสระ เท่ากับ 4287.98 ± 33.21 และ 2248.6 ± 21.09 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และปริมาณไนโตรเจนรวม ฟอสฟอรัส และ โพแทสเซียม เท่ากับ 0.89 ± 0.04 , 0.06 ± 0.01 และ 2.29 ± 0.12 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ผลการใช้สารสกัดสาหร่ายความเข้มข้นต่าง ๆ ร่วมกับปุ๋ยทางใบ เปรียบเทียบกับการใช้น้ำกลั่น และปุ๋ยทางใบเพียงอย่างเดียว พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยด้านเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิต ความสูงต้นที่เพิ่มขึ้น และเส้นรอบวงลำต้น โดยเฉพาะการใช้สารสกัดสาหร่ายสีเขียวเข้มข้น 10–20 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยทางใบ พบว่า ความสูงต้นเฉลี่ย (1.06–1.08) อัตราการเจริญเติบโต (0.54–0.61) และจำนวนใบเฉลี่ย (4.00–4.06) ไม่แตกต่างกับการใช้ปุ๋ยทางใบอย่างเดียว ขณะที่ฉีดพ่นด้วยน้ำกลั่นอย่างเดียว มีค่าเฉลี่ยด้านความสูงต้น และจำนวนใบต่ำที่สุด เท่ากับ 0.88 และ 3.64 งานวิจัยนี้เป็นแนวทางส่งเสริมการใช้สารสกัดสาหร่ายในการปลูกเลี้ยงกล้วยไม้อย่างมีประสิทธิภาพ และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาว

คำสำคัญ: *Oedogonium* sp., กล้วยไม้เอื้องสามปอยขุนตาล, สารสกัดสาหร่ายสีเขียว, องค์ประกอบทางเคมี



Abstract

Objectives of this research were to study chemical compositions of *Oedogonium* sp. extract collected from main rivers in Nakhon Si Thammarat, and investigate the combination effect of extract and fertilizer on growth of micro-propagated plantlets of orchid (*Vanda denisoniana* Benson & Rchb.f.). Macroalgae samples were collected within large square PVC sampling frame by 3 replicates for each area, preserved with 2% glutaraldehyde, and profiled of amino acid as well as macronutrients were analyzed. The extraction of *Oedogonium* sp. at 10, 20 and 30% combined with foliar fertilizer (21–21–21, N–P–K) was sprayed on 60-day-old *V. denisoniana* seedlings. The chemical compositions analysis results revealed that chemical compositions consisting of total amino acid and free amino acid were 4287.98 ± 33.21 and 2248.6 ± 21.09 mg/100 g dried weight, respectively. Total nitrogen, phosphorus and potassium were 0.89 ± 0.04 , 0.06 ± 0.01 and 2.29 ± 0.12 g/100 g dried weight, respectively. The combination effect of extract combined with foliar fertilize (at 90, 80, 70%)

on growth of seedlings showed the significant differences in survival percentage, height, and stem diameter over distilled water and foliar fertilizers alone. While there was non-significant difference in leaf number and growth rate. Especially, spraying of the 10–20% extract combined with foliar fertilizer yielded as same as the foliar fertilizers alone in an average shoot height (1.06–1.08 cm) growth rate (0.54–0.61) and leaf number (4.00–4.06 leaf) but distilled water gave the lowest average shoot height and leaf number at 0.88 cm and 3.64 leaf. This research could promote algae extract on cash crop like orchid and long-term ecofriendly.

Keywords: *Oedogonium* sp., *Vanda denisoniana* Benson & Rchb. F., Freshwater Green Macroalgae Extract, Chemical Compositions



บทนำ

สาหร่ายเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีทั้งขนาดเล็กมากจนไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าจนไปถึงขนาดใหญ่ที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า มีหลายรูปร่างทั้งเป็นเซลล์เดี่ยว รวมกลุ่มเป็นโคโลนี เส้นสายทั้งแตกแขนงและไม่แตกแขนง ทัลลัสที่คล้ายราก ลำต้น และใบคล้ายพืชชั้นสูง แต่ไม่มีระบบท่อลำเลียง ส่วนใหญ่จะมีคลอโรฟิลล์ช่วยในการสังเคราะห์แสง สาหร่ายมีหลากหลายชนิด ทั้งสาหร่ายสีแดง สาหร่ายสีน้ำตาล สาหร่ายสีทอง และสาหร่ายชนิดอื่น ๆ จากความหลากหลายนี้เองทำให้เกิดการจัดหมวดหมู่ของสาหร่ายและตั้งชื่อสาหร่ายแต่ละชนิดตามลักษณะของรงควัตถุองค์ประกอบของผนังเซลล์อาหารสะสม จำนวนและตำแหน่งของแฟลกเจลลัม เป็นต้น (ยูวดี พืชรพพิศาล, 2558) สาหร่ายมีความสำคัญหลายด้าน ได้แก่ ด้านระบบนิเวศ จัดเป็นผู้ผลิตและเป็นส่วนหนึ่งของห่วงโซ่อาหารขั้นต้น ๆ ของสิ่งมีชีวิตในน้ำ (Zheng et al., 2020) ด้านอาหาร ใช้เป็นอาหารของคนและสัตว์ที่มีการใช้ประโยชน์มาอย่างยาวนาน ทั้งในประเทศแถบเอเชียและแถบยุโรป (ฐิรรัตน์ แก้วจำนง และคนอื่น ๆ, 2564; Pereira, 2021) ด้านการเกษตรที่ช่วยในการตรึงไนโตรเจนเพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช (Raut & Capone, 2021) ใช้เป็นต้นแบบสิ่งมีชีวิตด้านการศึกษาและทดลองทางวิทยาศาสตร์ เป็นต้น สาหร่ายสีเขียวมีจำนวน 6,000–8,000 สปีชีส์ มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ เป็นสาหร่ายน้ำจืด และส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นเส้นสาย มีรายงานว่าสามารถเจริญเติบโตได้ในสภาพคุณภาพน้ำที่หลากหลาย มีรายงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้สารออกฤทธิ์ชีวภาพของสาหร่ายสีเขียวขนาดใหญ่ ได้แก่ สารโพลีฟีนอลิกซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) และลดริ้วรอยที่เกิดจากการเสื่อมสภาพของเซลล์ จึงเป็นที่สนใจนำสารออกฤทธิ์มาใช้เป็นส่วนผสมของอุตสาหกรรม

เครื่องสำอาง (Pimentel et al., 2018) และฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์
ทั้งแบคทีเรีย เชื้อรา และไวรัสที่เป็นสาเหตุการเกิดโรคในพืช อันนำมาใช้เป็นสารควบคุมชีวภาพ
ในการเพาะปลูกได้ในสภาวะแวดล้อมที่หลากหลาย (สุทธวรรณ สุพรรณ และคนอื่น ๆ, 2564)

นอกจากนี้ มีรายงานองค์ประกอบสารอาหารของสารสกัดสาหร่ายที่มีประโยชน์ต่อพืช
มากมาย ได้แก่ ธาตุอาหารต่าง ๆ ที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช ปริมาณกรดอะมิโนอิสระ
(Free Amino Acids) ที่ช่วยเพิ่มธาตุไนโตรเจนให้พืช โดยกรดอะมิโนยังทำหน้าที่คล้ายเป็น
สารคีเลต ที่ทำให้ธาตุอาหารมาเกิดการตกตะกอนและละลายได้ดีในน้ำ ส่งผลให้พืชสามารถ
ดูดใช้ผ่านทางรากหรือใบได้ดียิ่งขึ้น โดยประไพ ทองระอา และคนอื่น ๆ (2560) และรายงาน
ของเขมมีการ์ โชมพัตร และคนอื่น ๆ (2561) กล่าวถึงสารสกัดสาหร่ายมีผลต่อการเปลี่ยนแปลง
ของสารประกอบฟีนอลิกที่เกี่ยวข้องในระบบภูมิคุ้มกันในพืช ได้แก่ สคอพอเลติน ซึ่งเป็น
สารไฟโตเอเล็กซิน กรดซาลิซิลิก ซึ่งเป็นโมเลกุลส่งสัญญาณในระบบภูมิคุ้มกันของพืช โดยชักนำ
ให้ยางพาราทนต่อการรุกรานของเชื้อไฟทอปธอราผ่านการเพิ่มขึ้นของสคอพอเลติน
ซึ่งส่งสัญญาณในระบบ Systemic Acquired Resistance (SAR) และยังมีรายงานว่าพบ
สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช (Plant Growth Regulator) อีกหลายชนิด ได้แก่ ออกซิน
ไซโตไคนิน และจิบเบอเรลลิน (Tan et al., 2021) เป็นองค์ประกอบร่วมด้วย

กล้วยไม้เป็นไม้ดอกเศรษฐกิจที่สำคัญอีกชนิดหนึ่งของประเทศ ประเทศไทยมีการส่งออก
ดอกกล้วยไม้เป็นอันดับ 1 ของโลก โดยในปี 2561 มีการผลิตดอกกล้วยไม้จำนวน 48,960 ตัน
และปี 2562 มีการคาดการณ์ผลิตจำนวน 53,780 ตัน อัตราการขยายตัว 9.84 เปอร์เซ็นต์
(ปรานนุช เลิศหิรัญย์, 2562) เนื่องจากดอกกล้วยไม้มีสีสันที่สวยงาม และมีลักษณะดอกแตกต่าง
เฉพาะตัวในแต่ละสายพันธุ์ จึงทำให้เป็นที่สนใจและต้องการของตลาดทั้งในประเทศและส่งออก
ไปยังต่างประเทศอย่างต่อเนื่อง มีรายงานเกี่ยวกับปริมาณความเสี่ยงของกล้วยไม้บางชนิด
ที่ใกล้สูญพันธุ์ อันเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ อาทิเช่น การตัดต้นไม้ทำลายป่าเพื่อเปลี่ยนเป็น
พื้นที่เพาะปลูก มีการเก็บกล้วยไม้ป่าเพื่อการค้า และการเปลี่ยนแปลงทางสภาพภูมิอากาศโลก
(Climate Change) ที่รุนแรงมากขึ้นทำให้ฝนตกหนักรุนแรงจนเกิดน้ำท่วม หรืออุณหภูมิโลกสูงขึ้น
ระหว่างวันจนทำให้เกิดสภาพอากาศแห้งแล้งที่ยาวนานกว่าปกติ เหล่านี้ล้วนส่งผลต่อจำนวน
ประชากรกล้วยไม้ลดลงอย่างรวดเร็วและมีความเสี่ยงต่อการสูญพันธุ์สูง (พุกษ์ คงสวัสดิ์, 2558)

กล้วยไม้พันธุ์สามปอยขุนตาล มีชื่อวิทยาศาสตร์ *Vanda denisoniana* Benson &
Rchb.f. มีชื่อไทยว่า สามปอยหลวง สามปอยขุนตาล สามปอยดง สามปอยขาว เป็นพันธุ์ที่มี
ต้นกำเนิดมาจากอุทยานแห่งชาติดอยขุนตาล ตั้งอยู่ทางภาคเหนือของประเทศไทย มีพื้นที่
ครอบคลุมอยู่ในพื้นที่อำเภอแม่ทา จังหวัดลำพูน และอำเภอห้างฉัตร จังหวัดลำปาง กล้วยไม้
พันธุ์สามปอยขุนตาล ลักษณะรากมีขนาดใหญ่มาก ลำต้นค่อนข้างยาว ใบรูปแถบขนาด

2 x 15 เซนติเมตร ปลายใบเว้าจนถึงเว้าหยัก ช่อดอกมีมากกว่า 1 ช่อ ก้านช่อดอกยาวใกล้เคียงกับแกนช่อ ดอกขนาด 4 เซนติเมตร กลีบเลี้ยงบนรูปรีแกมรูปไข่กลับ กลีบเลี้ยงคู่ข้างรูปทรงเกือบกลม มีขนาดใหญ่กว่ากลีบเลี้ยงบน กลีบเลี้ยงดอกรูปช้อน ทั้งห้ากลีบสีเหลืองครีม ปลายกลีบมน ขอบกลีบบิดเป็นคลื่น กลีบปากสีขาว ปลายกลีบเว้าลึกจนเป็น 2 แฉก กลีบกลีบมีสันเดี่ยว ๆ 5 สัน โคนกลีบมีหูปากรูปครึ่งวงกลมขนาดใหญ่ กลีบมีเดือยดอกสั้น ๆ รูปกรวย เส้าเกสรอ้วนสั้น สีขาว (สลิล สิทธิสัจธรรม, 2551; ยุพิน กลินเกษมพงษ์, 2558) มีช่อดอกที่สวยงามและมีกลิ่นหอม ทำให้เป็นที่ต้องการของตลาดและส่งผลให้ปริมาณกล้วยไม้สามปอยขุนตาลลดจำนวนลงอย่างรวดเร็ว อนึ่งกล้วยไม้ชนิดนี้มีการเจริญเติบโตทางยอด ไม่แตกกอ ทำให้การขยายพันธุ์ด้วยวิธีการปกติทำได้ยาก และบางชนิดใกล้สูญพันธุ์ (ไชนตะ สะมาลา และคนอื่น ๆ, 2557) การเพาะปลูกกล้วยไม้มีทั้งเพาะโดยเมล็ดและให้เจริญเติบโตตามธรรมชาติ แต่ใช้ระยะเวลากว่าที่จะได้ดอกและต้นที่มีลักษณะสวยงามสมบูรณ์ การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อเป็นแนวทางหนึ่งในการเพิ่มปริมาณต้นกล้วยไม้ และการปรับสภาพสิ่งแวดล้อมหลังจากนำต้นกล้วยไม้ออกจากอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อมาเพาะปลูกในแปลงก็เป็นขั้นตอนที่สำคัญมากยิ่งขึ้นเนื่องจากลำต้นที่มีขนาดเล็กและอาจมีความอ่อนแอจึงต้องมีการใช้สารอาหารเร่งเพื่อส่งเสริมต่ออัตราการเจริญเติบโตและอัตราการสูงมากขึ้น วัสดุทางการเกษตรที่นิยมนำมาใช้ปลูกกล้วยไม้ ได้แก่ กาบมะพร้าว ถ่านแกลบ ซึ่งมีปริมาณธาตุอาหารน้อยอาจมีผลต่อการเจริญเติบโตของกล้วยไม้ในด้านระยะเวลาและผลผลิต นอกจากนี้ขั้นตอนการดูแลกล้วยไม้อาจมีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ ยาฆ่าแมลงต่าง ๆ ที่อาจทำให้เกิดการตกค้างในพืชและระบบนิเวศใกล้เคียงในระยะยาว (ประไพ ทองระอา และคนอื่น ๆ, 2560; Akila et al., 2019)

ดังนั้น การใช้สารสกัดสารห่วยสีเขียรร่วมกับปุ๋ยทางใบฉีดพ่นเพื่อเร่งการเจริญเติบโตให้แก่ต้นกล้วยไม้ จึงเป็นแนวทางหนึ่งในการประยุกต์ใช้สารห่วยสีเขียวน้ำจืดขนาดใหญ่ *Oedogonium* sp. ที่เจริญมากมายในแหล่งน้ำสายหลักในจังหวัดนครศรีธรรมราช และมีแนวโน้มในการช่วยเร่งการเจริญเติบโตและเพิ่มโอกาสการดูดใช้ธาตุอาหารให้แก่ต้นกล้วยไม้ซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจของไทย ทำให้ลดระยะเวลาการเจริญเติบโตและเพิ่มผลผลิตได้มากยิ่งขึ้น



วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของสารสกัดสารห่วยสีเขียวน้ำจืดขนาดใหญ่ *Oedogonium* sp. ที่เก็บได้จากแหล่งน้ำสายหลักในจังหวัดนครศรีธรรมราช ที่เกี่ยวข้องกับ การเจริญเติบโตของพืช
2. เพื่อศึกษาผลของสารสกัดสารห่วยสีเขียวน้ำจืดขนาดใหญ่ *Oedogonium* sp. ร่วมกับปุ๋ยทางใบต่อการเจริญเติบโตของกล้วยไม้สามปอยขุนตาลจากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ



วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเก็บตัวอย่างสาหร่าย

เก็บรวบรวมสาหร่ายสีเขียวน้ำจืดขนาดใหญ่ในแหล่งน้ำสายหลัก จำนวน 8 แหล่ง โดยแต่ละแหล่งเป็นแหล่งน้ำสายหลักที่ไหลผ่านในพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราช มีการใช้ในการอุปโภคบริโภค การสัณจรร การประมง เลี้ยงสัตว์ และการเกษตรของคนในแต่ละพื้นที่ ลักษณะมีทั้งน้ำใส จนกระทั่งน้ำขุ่นสีน้ำตาล มีก้อนหิน เศษใบไม้ปะปนในแหล่งน้ำ ซึ่งแสดงตำแหน่งพิกัดทางภูมิศาสตร์ดังตาราง 1 และบันทึกลักษณะของวัตถุที่ให้อาศัยเกาะ (Substrate) ได้แก่ ก้อนหิน พืชน้ำ และพื้นดิน ทำการสุ่มตัวอย่างขนาดแปลงย่อย 3 ซ้ำ ภายในพื้นที่แปลงใหญ่ 1.25×1.25 เมตร โดยสุ่มตัวอย่าง 3 ซ้ำ ขนาดพื้นที่ 25×25 เซนติเมตร เก็บตัวอย่างในกล่องพลาสติกและรักษาสภาพด้วยกลูทาราลดีไฮด์ 2 เปอร์เซ็นต์ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิประมาณ 20 องศาเซลเซียส นำไปพิสูจน์เอกลักษณ์ของสาหร่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงที่ห้องปฏิบัติการชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

ตาราง 1 ตำแหน่งพิกัดทางภูมิศาสตร์ของแหล่งน้ำสายหลักในจังหวัดนครศรีธรรมราช

แหล่งน้ำสายหลัก	ตำแหน่งพิกัดทางภูมิศาสตร์
จุดที่ 1 คลองกลาย อ.ท่าศาลา	$8^{\circ}47'12.7''\text{N } 99^{\circ}54'15.8''\text{E}$
จุดที่ 2 แม่น้ำปากพนัง อ.ปากพนัง	$8^{\circ}21'02.6''\text{N } 100^{\circ}11'51.7''\text{E}$
จุดที่ 3 คลองท่าดี อ.ลานสกา	$8^{\circ}26'00.9''\text{N } 99^{\circ}46'59.6''\text{E}$
จุดที่ 4 คลองน้ำตกโยง อ.ทุ่งสง	$8^{\circ}10'24.4''\text{N } 99^{\circ}44'01.5''\text{E}$
จุดที่ 5 คลองท่าแพ อ.เมือง	$8^{\circ}30'59.1''\text{N } 99^{\circ}57'33.0''\text{E}$
จุดที่ 6 แม่น้ำหลวง อ.ทุ่งใหญ่	$8^{\circ}24'45.4''\text{N } 99^{\circ}25'09.7''\text{E}$
จุดที่ 7 คลองเสาธง อ.ร่อนพิบูลย์	$8^{\circ}16'51.5''\text{N } 99^{\circ}54'20.4''\text{E}$
จุดที่ 8 คลองนอกท่า อ.พรหมคีรี	$8^{\circ}31'49.6''\text{N } 99^{\circ}49'11.9''\text{E}$

2. การเตรียมสาหร่าย

นำสาหร่ายที่เก็บได้มาล้างด้วยน้ำสะอาดหลายครั้ง จากนั้นนำมาผึ่งลมให้หมาด แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จนกว่าสาหร่ายจะแห้ง นำสาหร่ายที่อบแห้งแล้ว มาบดให้ละเอียด เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำมาสกัด (ยุวดี พิรพรพิศาล และคนอื่น ๆ, 2552)

3. การสกัดสาหร่าย

การสกัดสาหร่ายสีเขียวดัดแปลงจากงานวิจัยของยูวดี พิรพรพิศาล และคนอื่น ๆ (2552) และอภิญา สโมสร และคนอื่น ๆ (2553) และราโมลา และคนอื่น ๆ (Ramola et al., 2019) โดยนำสาหร่ายสีเขียวที่บดละเอียด 100 กรัม สกัดด้วยคลอโรฟอร์ม:เมทานอล (อัตราส่วน 2:1) 250 มิลลิลิตร ในขวดรูปชมพู่ เพื่อนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบสารสกัดสาหร่าย นำไปสกัดในเครื่องเขย่าด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24–48 ชั่วโมง กรองเอาส่วนของสารสกัด และนำไปกลั่นระเหยด้วยเครื่องกลั่นระเหย สารแบบหมุน ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ภายใต้สุญญากาศและทำให้แห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze Dry) บันทึกลักษณะและน้ำหนักของสารสกัด

4. การวิเคราะห์องค์ประกอบสารสกัดสาหร่ายสีเขียวน้ำจืดขนาดใหญ่สกัดสารชีวภาพ

ได้แก่ กรดอะมิโน ทั้งในรูปแบบกรดอะมิโนรวม กรดอะมิโนอิสระ โดยกรดอะมิโนรวม ใช้วิธี In-house method based on AOAC (1989) และกรดอะมิโนอิสระใช้วิธี In-house method based on Official Journal of the European Communities (1998) รวมถึง วิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารพืชที่เป็นประโยชน์ ได้แก่ Total Nitrogen (Total N) โดยวิธี In-house method TE-CH-042 (AOAC International, 2019) Phosphorus (P) และ Potassium (K) โดยวิธี US EPA (1996)

5. การทดสอบการใช้สารสกัดสาหร่ายสีเขียวน้ำจืดขนาดใหญ่ร่วมกับปุ๋ยทางใบ

นำกล้วยไม้สามปอยขุนตาลที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อที่มีขนาดต้นสูงเริ่มต้น ประมาณ 5 เซนติเมตร อายุประมาณ 2 เดือน มาปลูกในวัสดุปลูก (กาบมะพร้าว:ถ่านกลบ 1:1 โดยปริมาตร) บรรจุในกระถางพลาสติกสีดำ ปากกว้าง 1.5 นิ้ว สูง 2 นิ้ว เจาะรูที่ก้นกระถาง โดยแบ่งอัตราการให้สารสกัดสาหร่ายที่ระดับความเข้มข้น 0, 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยทางใบ (สูตร 21-21-21 (N-P-K)) ในอัตรา 50 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร (100, 90, 80 และ 70 เปอร์เซ็นต์) แบ่งออกเป็น 5 ทรีตเมนต์ ทรีตเมนต์ละ 3 ซ้ำ ซ้ำละ 10 ต้น ดังนี้

ทรีตเมนต์ที่ 1 น้ำกลั่น (ชุดควบคุม)

ทรีตเมนต์ที่ 2 ปุ๋ยทางใบ (สูตร 21-21-21 (N-P-K)) ในอัตรา 50 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร

ทรีตเมนต์ที่ 3 สารสกัดสาหร่ายสีเขียวน้ำจืดขนาดใหญ่ เข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยทางใบเข้มข้น 90 เปอร์เซ็นต์

ทรีตเมนต์ที่ 4 สารสกัดสาหร่ายสีเขียวน้ำจืดขนาดใหญ่ เข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยทางใบเข้มข้น 80 เปอร์เซ็นต์

ทรีตเมนต์ที่ 5 สารสกัดสาหร่ายสีเขียวน้ำจืดขนาดใหญ่ เข้มข้น 30 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยทางใบเข้มข้น 70 เปอร์เซ็นต์

โดยฉีดพ่นปุ๋ยทางใบและสารสกัดสาหร่ายสีเขียวน้ำจืดขนาดใหญ่ วันละ 1 ครั้ง
ห่างกันทุก 3 วัน เป็นเวลา 3 เดือน บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตของต้นกล้วยไม้
สามปอยขุนตาล ได้แก่ เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิต และความสูงต้น เส้นรอบวงลำต้น จำนวนใบ
และอัตราการเจริญเติบโตด้านความสูงโดยใช้สูตร

$$\text{Growth rate} = \frac{\text{ความสูงหลังการทดลอง} - \text{ความสูงก่อนการทดลอง}}{\text{ความสูงก่อนการทดลอง}}$$

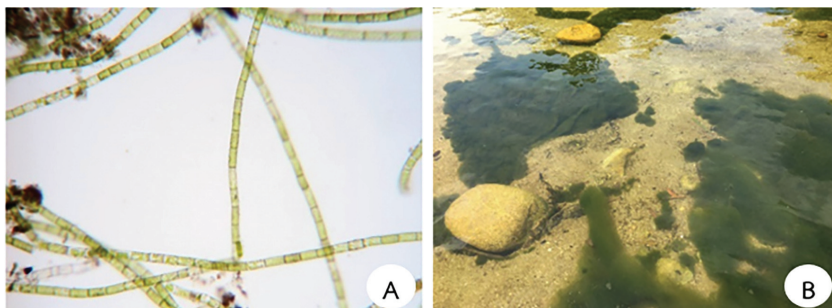
หลังจากนำออกปลูกเป็นเวลา 2 เดือน วางแผนการทดลองแบบ CRD วิเคราะห์
ความแปรปรวนและเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของแต่ละกรรมวิธีโดยวิธี Duncan's
Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05



ผลการวิจัย

การพิสูจน์เอกลักษณ์ของสาหร่ายสกุล *Oedogonium*

สาหร่ายสกุล *Oedogonium* เป็นสาหร่ายสีเขียวที่มีลักษณะเป็นเส้นสายไม่แตกแขนง
เซลล์รูปทรงกระบอก บริเวณปลายเซลล์บางเซลล์จะซ้อนทับกันเรียกว่า อะพิคอลแคพ
มีคลอโรพลาสต์อยู่ข้างเซลล์ และมีรูปร่างสานกันคล้ายตาข่ายจึงทำให้มีสีเขียวเข้ม มีไทรินอยด์
หลายอัน พบในแหล่งน้ำจืดที่มีสภาพน้ำนิ่งและไหลเอื่อย มีส่วนที่ยึดติดกับพื้นดิน ก้อนหิน
เศษกิ่งไม้ที่อยู่ในน้ำ และส่วนเส้นสายด้านบนมีลักษณะเป็นเส้นสายที่มีการเจริญเติบโตแผ่ขยาย
คล้ายพรมใต้ผิวน้ำ (ดังภาพ 1) นำมาอบแห้ง สกัดด้วยตัวทำละลาย และเมื่อนำมาอบแห้ง
และผ่านกระบวนการสกัดโดยตัวทำละลายได้ปริมาณของสารสกัดเท่ากับ 2 กรัมต่อ 100 กรัม
น้ำหนักแห้ง ลักษณะของสารสกัดที่ได้มีสีเขียวเข้มหนืด



ภาพ 1 สาหร่ายสีเขียว *Oedogonium* sp.

A ลักษณะเซลล์ และ B ลักษณะการเจริญของสาหร่ายที่พบในแหล่งน้ำ

องค์ประกอบทางเคมีของสารสกัดสาหร่ายสีเขียวขนาดใหญ่ *Oedogonium* sp. ที่เก็บได้จากแหล่งน้ำสายหลักในจังหวัดนครศรีธรรมราช ที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืช

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในสารสกัดสาหร่ายสีเขียวเข้มข้น มีกรดอะมิโนรวม (Total Amino Acid) (ตาราง 2) เท่ากับ 4287.98 ± 33.21 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้งของสารสกัด และในรูปของกรดอะมิโนอิสระ (Free Amino Acid) เท่ากับ 2248.6 ± 21.09 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้งของสารสกัด ซึ่งเมื่อคำนวณเป็นกรดอะมิโนจำเป็น (Essential Amino Acids: EAA) และกรดอะมิโนไม่จำเป็น (Non-Essential Amino Acids: EAA) ในรูปของกรดอะมิโนรวม จะมีค่าเท่ากับ 1774.04 ± 16.92 และ 2513.94 ± 16.29 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้งของสารสกัด ตามลำดับ คิดเป็นอัตราส่วนของกรดอะมิโนจำเป็นและกรดอะมิโนไม่จำเป็น เท่ากับ 0.71 ส่วนกรดอะมิโนจำเป็น (Essential Amino Acids: EAA) และกรดอะมิโนไม่จำเป็น (Non-Essential Amino Acids: EAA) ในรูปของกรดอะมิโนอิสระ มีค่าเท่ากับ 692.38 ± 11.51 และ 1556.22 ± 9.58 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้งของสารสกัด ตามลำดับ คิดเป็นอัตราส่วนของกรดอะมิโนจำเป็นและกรดอะมิโนไม่จำเป็น เท่ากับ 0.44 ส่วนในด้านความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหาร พบว่าในสารสกัดสาหร่ายมีปริมาณธาตุอาหารหลักไนโตรเจนรวม (Total N) ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) เท่ากับ 0.89 ± 0.04 , 0.06 ± 0.01 และ 2.29 ± 0.12 กรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้งของสารสกัด ตามลำดับ (ตาราง 3)

ตาราง 2 ปริมาณกรดอะมิโนจำเป็น (EAA) และกรดอะมิโนไม่จำเป็น (NEAA) ทั้งรูปกรดอะมิโนรวมและกรดอะมิโนอิสระของสารสกัดสาหร่ายสีเขียว

กรดอะมิโน	กรดอะมิโนรวม (มิลลิกรัม/ 100 กรัม น้ำหนักแห้งของสารสกัด)	กรดอะมิโนอิสระ (มิลลิกรัม/ 100 กรัม น้ำหนักแห้งของสารสกัด)
กรดอะมิโนจำเป็น (Essential Amino Acids: EAA)		
Histidine	ND	ND
Threonine	79.38 ± 2.01	24.17 ± 2.51
Lysine	164.35 ± 3.03	64.81 ± 1.50
Methionine	348.53 ± 2.16	159.04 ± 1.19
Valine	284.65 ± 1.43	134.95 ± 1.40
Isoleucine	219.40 ± 2.31	91.41 ± 0.51
Leucine	419.83 ± 1.07	119.46 ± 2.86
Phenylalanine	192.75 ± 3.29	64.55 ± 0.97
Tryptophan	65.15 ± 1.62	33.99 ± 0.57
Σ EAA	1774.04 ± 16.92	692.38 ± 11.51

กรดอะมิโน	กรดอะมิโนรวม (มิลลิกรัม/ 100 กรัมน้ำหนักแห้งของสารสกัด)	กรดอะมิโนอิสระ (มิลลิกรัม/ 100 กรัมน้ำหนักแห้งของสารสกัด)
กรดอะมิโนไม่จำเป็น (Non-Essential Amino Acids: EAA)		
Alanine	136.44 ± 2.79	77.76 ± 2.01
Arginine	1443.48 ± 2.00	1220.42 ± 2.08
Aspartic acid	187.68 ± 1.86	ND
Cystine	ND	ND
Glutamic acid	ND	ND
Glycine	61.27 ± 1.36	25 ± 1.54
Hydroxylysine	ND	ND
Hydroxyproline	ND	ND
Proline	174.79 ± 3.79	67.93 ± 1.72
Serine	109.54 ± 1.17	45.67 ± 1.07
Tyrosine	244.3 ± 1.79	119.44 ± 1.16
Asparagine	ND	ND
Cysteine	ND	ND
Glutamine	156.44 ± 1.53	ND
ΣNEAA	2513.94 ± 16.29	1556.22 ± 9.58
Ratio EAA/NEAA	0.71	0.44
ΣAA	4287.98 ± 33.21	2248.6 ± 21.09

หมายเหตุ: ND = Not Detected
ตัวเลขแสดงค่าในรูป Mean ± S.D.

ตาราง 3 ปริมาณธาตุอาหารพืชที่เป็นประโยชน์ ได้แก่ Total Nitrogen (Total N) Phosphorus (P) และ Potassium (K) ของสารสกัดสาหร่ายสีเขียว

ธาตุอาหารหลักของพืช	ปริมาณ (กรัม/100 กรัมน้ำหนักแห้งของสารสกัด)
Total Nitrogen (Total N)	0.89 ± 0.04
Phosphorus (P)	0.06 ± 0.01
Potassium (K)	2.29 ± 0.12

หมายเหตุ: ตัวเลขแสดงค่าในรูป Mean ± S.D.

การทดสอบการใช้สารสกัดสาหร่ายสีเขียวร่วมกับปุ๋ยทางใบต่อการเจริญเติบโตของกล้วยไม้

การทดสอบการใช้สารสกัดสาหร่ายร่วมกับปุ๋ยทางใบฉีดพ่นต้นกล้ากล้วยไม้เอื้องสามปอยขุนตาล เพื่อศึกษาผลต่อการเจริญและพัฒนาของต้นกล้ากล้วยไม้ดังกล่าว พบว่าการฉีดพ่นด้วยสูตรปุ๋ยทางใบเพียงอย่างเดียวจะให้เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 90.00 รองลงมาคือการใช้สารสกัดสาหร่ายสีเขียวเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ผสมกับปุ๋ยทางใบเข้มข้น 90 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะให้เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตเฉลี่ยเท่ากับ 86.67 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อพิจารณาด้านความสูงเฉลี่ยของต้นกล้ากล้วยไม้เอื้องสามปอยขุนตาล ที่ฉีดพ่นด้วยสารผสมระหว่างสารสกัดสาหร่ายกับปุ๋ยทางใบอัตราส่วนต่าง ๆ พบว่าการฉีดพ่นด้วยน้ำกลั่นอย่างเดียวทำให้ความสูงต้นเฉลี่ยของต้นกล้าที่เพิ่มขึ้นมีค่าต่ำที่สุด (0.88 เซนติเมตร) และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับการฉีดพ่นด้วยสารสกัดสาหร่ายร่วมกับปุ๋ยทางใบที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ ในขณะที่การเติมสารสกัดสาหร่ายลงไปปุ๋ยทางใบในความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้เส้นรอบวงเฉลี่ยของลำต้นกล้าเอื้องสามปอยขุนตาลลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับการฉีดพ่นด้วยปุ๋ยทางใบเพียงอย่างเดียว ที่พบว่าให้ค่าเฉลี่ยสูงที่สุด (0.91 เซนติเมตร) รองลงมาคือการใช้สารสกัดสาหร่ายสีเขียวเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยทางใบ 90 เปอร์เซ็นต์ (0.87 เซนติเมตร) และมีค่าเฉลี่ยต่ำสุดในสารสกัดสาหร่ายสีเขียวเข้มข้น 30 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยทางใบ 70 เปอร์เซ็นต์ (0.75 เซนติเมตร) และพบว่ามีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างการใช้ปุ๋ยทางใบฉีดพ่นเพียงอย่างเดียวกับการใช้สารสกัดสาหร่ายสีเขียวเข้มข้น 30 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยทางใบ 70 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้การพัฒนาการสร้างใบใหม่ในต้นกล้ากล้วยไม้เอื้องสามปอยขุนตาลที่ได้รับการฉีดพ่นด้วยสารสกัดสาหร่ายความเข้มข้นระหว่าง 10–20 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยทางใบนั้น มีแนวโน้มทำให้ต้นกล้ากล้วยไม้เอื้องสามปอยขุนตาลมีการสร้างใบใหม่ได้ดีไม่แตกต่างกัน และดีกว่าต้นกล้าที่ฉีดพ่นด้วยน้ำกลั่นเพียงอย่างเดียวที่ให้ค่าเฉลี่ยจำนวนใบที่สร้างขึ้นใหม่ต่ำที่สุด เมื่อพิจารณาถึงอัตราการเจริญเติบโตด้านความสูง พบว่าการใช้ปุ๋ยทางใบเพียงอย่างเดียวมีแนวโน้มที่ดีกว่าการใช้ปุ๋ยทางใบร่วมกับสารสกัด และการใช้น้ำกลั่นฉีดพ่นต้นกล้ากล้วยไม้เอื้องสามปอยขุนตาล อย่างไรก็ตาม มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติในอัตราการเจริญเติบโตด้านความสูงของต้นกล้าเอื้องสามปอยขุนตาลในทุกทรีตเมนต์ และเมื่อวิเคราะห์ค่าทางสถิติในภาพรวมของการใช้สารสกัดสาหร่ายความเข้มข้นต่าง ๆ ร่วมกับปุ๋ยทางใบเปรียบเทียบกับการใช้ น้ำกลั่น และปุ๋ยทางใบเพียงอย่างเดียว พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิต ความสูงต้นเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น (เซนติเมตร) และเส้นรอบวงลำต้นเฉลี่ย (เซนติเมตร) ในขณะที่จำนวนใบเฉลี่ย และอัตราการเจริญเติบโตด้านความสูงไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตาราง 4)

ตาราง 4 การทดสอบการใช้สารสกัดสาหร่ายสีเขียวขนาดใหญ่ *Oedogonium* sp. ร่วมกับปุ๋ยทางใบ

ทรีตเมนต์	เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิต	ความสูงต้นเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น (เซนติเมตร)	เส้นรอบวงลำต้นเฉลี่ย (เซนติเมตร)	จำนวนใบเฉลี่ย	อัตราการเจริญเติบโตด้านความสูง
1	73.33b	0.88b	0.78ab	3.64	0.52
2	90.00a	1.10a	0.91a	4.04	0.66
3	86.67a	1.06a	0.87ab	4.00	0.54
4	53.33c	1.08a	0.81ab	4.06	0.61
5	73.33b	1.06a	0.75b	3.77	0.42
F-test	*	*	*	ns	ns

หมายเหตุ:

ทรีตเมนต์ที่ 1 น้ำกลั่น (ชุดควบคุม)

ทรีตเมนต์ที่ 2 ปุ๋ยทางใบ (สูตร 21-21-21 (N-P-K)) ในอัตรา 50 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร

ทรีตเมนต์ที่ 3 สารสกัดสาหร่ายสีเขียวขนาดใหญ่ เข้มข้น 10% ร่วมกับปุ๋ยทางใบเข้มข้น 90%

ทรีตเมนต์ที่ 4 สารสกัดสาหร่ายสีเขียวขนาดใหญ่ เข้มข้น 20% ร่วมกับปุ๋ยทางใบเข้มข้น 80%

ทรีตเมนต์ที่ 5 สารสกัดสาหร่ายสีเขียวขนาดใหญ่ เข้มข้น 30% ร่วมกับปุ๋ยทางใบเข้มข้น 70%

a b c คือ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรเหมือนกันในแนวตั้งต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

* มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.05$

ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ $p \leq 0.05$

อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในสารสกัดสาหร่ายสีเขียว พบว่ามีกรดอะมิโนรวม (Total Amino Acid) เท่ากับ 4287.98 ± 33.21 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้งของสารสกัด และในรูปของกรดอะมิโนอิสระ (Free Amino Acid) เท่ากับ 2248.6 ± 21.09 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้งของสารสกัด ซึ่งปริมาณกรดอะมิโนในรูปกรดอะมิโนอิสระนี้สามารถใช้เป็นแหล่งอินทรีย์ไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์แก่พืชได้ และกรดอะมิโนนี้ยังทำหน้าที่คล้ายเป็นสารเคเลต โดยสามารถรวมตัวกับธาตุอาหารพืชที่มีประจุบวกต่าง ๆ ทำให้ธาตุอาหารไม่ตกตะกอนละลายน้ำได้ดี พืชสามารถดูดใช้ผ่านทางรากหรือใบได้สะดวกมากขึ้น ซึ่งชนิดและปริมาณกรดอะมิโนชนิดที่เป็นองค์ประกอบในสารสกัดสาหร่าย พบว่ามีปริมาณและองค์ประกอบคล้ายกันกับงานวิจัยของประไพ ทองระอา และคนอื่น ๆ (2560) ที่ศึกษาสารสกัดเซลล์ของสาหร่าย

สีเขียวแกมน้ำเงิน *Hapalosiphon* sp. DASH05101 สาหร่ายสีเขียว *Chlorella vulgaris* และสารสกัดจากสาหร่ายทะเล ส่วนในด้านความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหาร พบว่า ในสารสกัดสาหร่ายมีปริมาณธาตุอาหารหลักไนโตรเจนรวม (Total N) ฟอสฟอรัส (P) และ โพแทสเซียม (K) เท่ากับ 0.89 ± 0.04 , 0.06 ± 0.01 และ 2.29 ± 0.12 กรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้งของสารสกัด ตามลำดับ ซึ่งสารดังกล่าวมีคุณสมบัติในการส่งเสริมการเจริญเติบโต และพัฒนาการของพืช หากมีการนำไปใช้ในระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมอาจช่วยส่งเสริม การเจริญเติบโตให้แก่พืชได้ ซึ่งมีปริมาณมากกว่าเมื่อเทียบกับสารสกัดเซลล์ของสาหร่าย สีเขียวแกมน้ำเงิน *Hapalosiphon* sp. DASH05101

ผลการใช้สารสกัดสาหร่ายที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ร่วมกับปุ๋ยทางใบ เทียบกับปุ๋ย อย่างเดียว และน้ำกลั่น พบว่าการฉีดพ่นด้วยสารสกัดร่วมกับปุ๋ยทางใบ และปุ๋ยทางใบจะให้ เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตเฉลี่ยสูงสุด ความสูงเฉลี่ย เส้นรอบวงเฉลี่ย การสร้างใบใหม่ และอัตราการ เจริญเติบโตด้านความสูงเฉลี่ยดีกว่าฉีดพ่นด้วยน้ำกลั่นเพียงอย่างเดียว เนื่องจากในสารสกัด สาหร่ายมีธาตุอาหารกลุ่มอะมิโนและธาตุอาหารหลักอย่าง N-P-K ที่พืชสามารถดูดใช้ผ่าน ทางรากหรือใบส่งเสริมการเจริญเติบโตยิ่งขึ้น สอดคล้องกับรายงานของเกรซซิก และคนอื่น ๆ (Grzesik et al., 2017) กล่าวถึงประสิทธิภาพของสารสกัดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน และ สาหร่ายสีเขียวร่วมกับปุ๋ยสังเคราะห์ช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตในพืชมากขึ้นในด้านความคงตัว ของเยื่อหุ้มเซลล์ ปริมาณคลอโรฟิลล์ อัตราการสังเคราะห์แสง การคายน้ำ การเปิด-ปิดปากใบ เป็นต้น เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ใช้น้ำกลั่นเพียงอย่างเดียว และเมื่อศึกษาผลการใช้สารสกัด ที่ระดับความเข้มข้นร่วมกับปุ๋ยทางใบ เทียบกับการใช้ปุ๋ยทางใบอย่างเดียว พบว่าการใช้สารสกัด สาหร่ายที่ระดับความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ให้ประสิทธิภาพที่ไม่แตกต่างจากการให้ปุ๋ยทางใบ อย่างเดียวในด้านอัตราการรอดชีวิต ความสูงต้นเฉลี่ย เส้นรอบวงลำต้น จำนวนใบ และอัตราการ เจริญเติบโตด้านความสูง ส่วนการใช้สารสกัดสาหร่ายที่ระดับความเข้มข้น 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ ให้ประสิทธิภาพในการเจริญเติบโตด้านต่าง ๆ ดีเช่นกัน ยกเว้นด้านอัตราการรอดชีวิต ต่ำกว่าการให้ปุ๋ยทางใบ และน้ำกลั่นอย่างเดียว ซึ่งแตกต่างจากรายงานการศึกษาของประไพ ทองระอา และคนอื่น ๆ (2560) ที่ใช้สารสกัดสาหร่าย *Hapalosiphon* sp. และที่ระดับความ เข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ ในต้นกล้วยน้ำว้า “ปากช่อง 50” ทำให้ต้นกล้วยน้ำว้ามีความสูง เส้นรอบวงลำต้น น้ำหนักสดต้น และขนาดพื้นที่ใบสูงกว่าการฉีดพ่นปุ๋ยทางใบอย่างเดียว ทุกอัตราอย่างมีนัยสำคัญ รวมไปถึงการศึกษาของดีปิกาและมูบารัค อาลี (Deepika & Mubarak Ali, 2020) ที่ใช้สารสกัด *Chorococcum* sp. ที่ระดับความเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ ในพืช 4 ชนิด คือ *Cucumis sativus*, *Solanum lycopersicum*, *Capsicum annum* และ *Vigna radiata* ทำให้ความยาวรากและลำต้น จำนวนใบ และความกว้างของรากมีการเจริญเติบโต

สูงสุดในพืชทั้ง 4 ชนิด นอกจากนี้ยังมีรายงานการวิจัยอื่น ๆ ที่ศึกษาผลการใช้สารสกัดสาหร่าย ที่ความเข้มข้นต่ำต่อการเจริญเติบโตของพืช อาทิ รายงานการวิจัยของวสันตราชา และคนอื่น ๆ (Vasantharaja et al., 2019) ที่ศึกษาผลของความเข้มข้นสารสกัดสาหร่าย *Sargassum swartzii* (SSE) และสาหร่ายสีแดง *Kappaphycus alvarezii* (KAE) ต่อการสร้างผลผลิตของ *Vigna unguiculata* และพบว่าการใช้สารสกัดสาหร่ายที่ความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้ *Vigna unguiculata* มีค่าความยาวราก จำนวนใบ ผลผลิตเฉลี่ยดีที่สุดเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม และรายงานของเกรซซิค และคนอื่น ๆ (Grzesik et al., 2017) ที่ศึกษาประสิทธิภาพของ สารสกัดสาหร่าย *Microcystis aeruginosa* MKR 0105, *Anabaena* sp. PCC 7120 และ *Chlorella* sp. ร่วมกับปุ๋ยสังเคราะห์ ที่ระดับความเข้มข้น 1.0, 0.5, และ 0.0 กรัม ต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการของต้นหลิว willow พบว่าสารสกัดจากสาหร่ายสามารถช่วยเพิ่ม การเจริญเติบโตในพืชโดยเพิ่มความคงตัวของเยื่อหุ้มเซลล์ (Cytomembranes) ปริมาณ คลอโรฟิลล์ อัตราการสังเคราะห์แสง การคายน้ำ การเปิด-ปิดปากใบ และช่วยลดปริมาณ CO_2 ภายในเซลล์ นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตมากขึ้น ส่งผลให้การใช้ปุ๋ยเคมีลดลง



สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

การศึกษาในครั้งนี้ทำให้ทราบว่า องค์ประกอบทางเคมีในสารสกัดสาหร่ายสีเขียวน้ำจืด *Oedogonium* sp. มีปริมาณกรดอะมิโนรวมและในรูปของกรดอะมิโนอิสระ (Free Amino Acid) และมีปริมาณธาตุอาหารหลัก ไนโตรเจนรวม (Total N) ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) ตามลำดับ ที่แสดงให้เห็นว่าสามารถนำสารสกัดสาหร่ายดังกล่าวมาใช้เป็นสารเสริมช่วย ในการเจริญเติบโตของพืชต่าง ๆ ได้ และในการทดสอบผลการใช้สารสกัดสาหร่ายชนิดร่วมกับ ปุ๋ยทางใบต่อการเจริญและพัฒนาของต้นกล้ากล้วยไม้เอื้องสามปอยขุนตาลนั้น พบว่ามีผลทำให้ การเจริญเติบโตมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากการใช้น้ำกลั่นฉีดพ่นในต้นกล้า กล้วยไม้เอื้องสามปอยขุนตาล แสดงให้เห็นว่าสามารถใช้สารสกัดสาหร่ายสีเขียรร่วมกับ ปุ๋ยทางใบฉีดพ่นเพื่อเร่งการเจริญเติบโตให้แก่ต้นกล้ากล้วยไม้ได้

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

1. จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าสารสกัดสาหร่ายสีเขียรร่วมกับปุ๋ยทางใบฉีดพ่น เพื่อเร่งการเจริญเติบโตให้แก่ต้นกล้ากล้วยไม้ได้ อันเป็นแนวทางในการลดปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมี ที่มีผลต่อความสามารถในการดูดธาตุอาหารและการเจริญเติบโตของกล้วยไม้ และลดต้นทุน การเพาะปลูก

2. งานวิจัยนี้ส่งเสริมการนำทรัพยากรสาหร่ายที่เจริญได้ดีในท้องถิ่นมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ในด้านการเกษตร โดยชุมชนสามารถใช้เป็นปุ๋ยชีวภาพในการเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจท้องถิ่นอื่น ๆ

ข้อเสนอแนะการวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรมีการศึกษาการเจริญเติบโตในระยะอื่น ๆ ของกล้วยไม้เพิ่มเติม เพื่อข้อมูลที่ครบถ้วนในการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

2. ความน่าสนใจของสารสกัดสาหร่ายในแง่ของแหล่งสารโปรตีน สารออกฤทธิ์ชีวภาพ และสารต้านอนุมูลอิสระที่จะสามารถนำมาเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องสำอาง เป็นแนวทางต่อยอดของการเพิ่มมูลค่าทรัพยากร และสร้างรายได้ให้แก่ชุมชนได้ในอนาคต



กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ประจำปีงบประมาณ 2564 มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช



เอกสารอ้างอิง

เขมมีการ์ โชมพัตร, นุรอมาลี ดีนามอ, และนันทา เชิงเขาว์. (2561). ผลของสารสกัดจากสาหร่ายฟุนต่อการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบฟีนอลิกในยางพาราและการประยุกต์ใช้เพื่อสร้างความต้านทานต่อเชื้อไฟทอปธอรา. *วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์*, 10(3), 218–230.

ไชนตะ สะมาลา, สมปอง เตชะโต, และสุรรัตน์ เย็นซ้อน. (2557). ผลของสูตรอาหารและสารควบคุมการเจริญเติบโตต่อการพัฒนาเป็นพืชต้นใหม่ในกล้วยไม้สามปอยขุนตาล. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 45(3), 309–314.

ฐิรรัตน์ แก้วจำนง, สมรักษ์ รอดเจริญ, อำนวยโชค เวชกุล, ธัชชา สามพิมพ์, การุณ ทองประจุแก้ว, นันทน์ นันทพงศ์, มานพ อาดำ, และเสาวลักษณ์ มาลาวะ. (2564). ผลของการเสริมสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Nostoc commune* Vaucher TISTR 8870 ต่อการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และการสร้างสีของปลากัด (*Betta splendens* Regan, 1910). *วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*, 40(1), 106–120.

- ประไพ ทองระอา, ศิริลักษณ์ แก้วสุริยิต, กานดา ฉัตรไชยศิริ, กัลยาณี สุวิทวัส, พิมพ์นิภา เพ็ญช่าง, นิศารัตน์ ทวีนุต, และภาสันต์ ศารทูลทัต. (2560). การใช้สารสกัดสาหร่ายสีเขียว
แกมน้ำเงินร่วมกับปุ๋ยทางใบต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้วยไม้ ‘ปากช่อง 50’
จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ. *วารสารพืชศาสตร์สงขลานครินทร์*, 4(4), 16–21.
- ปรานนุช เลิศหิรัณย์. (2562). *สินค้ากล้วยไม้*. สำนักส่งเสริมการค้าสินค้าเกษตรและอุตสาหกรรม
กรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ.
- พฤกษ์ คงสวัสดิ์. (2558). *โครงการวิจัยและพัฒนาอนุรักษ์เชื้อพันธุกรรมกล้วยไม้เพื่อใช้
ประโยชน์*. กรมวิชาการเกษตร.
- ยุพิน กลิ่นเกษมพงษ์. (2558). *วิจัยและพัฒนากล้วยไม้* (รายงานการวิจัย). กรมวิชาการเกษตร.
- ยุวดี พิรพรพิศาล. (2558). *สาหร่ายน้ำจืดในประเทศไทย* (พิมพ์ครั้งที่ 3). ภาควิชาชีววิทยา
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ยุวดี พิรพรพิศาล, ดวงพร อมรเลิศพิศาล, ดวงตา กาญจนโพธิ์, ธวัช แท้โสติกุล, ญาณิ
พงษ์ไพบูลย์, และสุดพร ตงศิริ. (2552). *ศักยภาพของสาหร่ายน้ำจืดขนาดใหญ่
ในการเป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหารและเวชสำอาง* (รายงานการวิจัย). สำนักงาน
คณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.
- สลิล สิทธิสัจธรรม. (2551). *กล้วยไม้ป่าเมืองไทย*. อัมรินทร์พรินติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง.
- สุทธวรรณ สุพรรณ, พลอยไพลิน สดมณี, ปัทมาภรณ์ คุ่มกัน, ศราวุธ ราชสี, และประดับรัฐ
ประจันเขตต์. (2564). ฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสกัดหยาบจากสาหร่ายเตา. *วารสาร
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี*, 9(2), 49–67.
- อภิญา สโมสร, สุนิรัตน์ เรืองสมบุรณ์, อามร อินทร์สังข์, และจรงค์ศักดิ์ พุ่มนวน. (2553).
ประสิทธิภาพของสารสกัดหยาบจากสาหร่ายขนาดใหญ่ต่อไรฝุ่น *Dermatophagoides
pteronyssinus* (Trouessart) โดยวิธีสัมผัส. ใน *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัย
เกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48* (น. 184–192). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Akila, V., Manikandan, A., Sukeetha, D. S., Balakrishnan, S., Ayyasamy, P. M.,
& Rajakumar, S. (2019). Biogas and biofertilizer production of marine
macroalgae: An effective anaerobic digestion of *Ulva* sp. *Biocatalysis and
Agricultural Biotechnology*, 18, 101035. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101035>
- AOAC International. (2019). *Official Methods of Analysis of AOAC International*
(21st ed.). AOAC International.

- AOAC. (1989). *Official methods of analysis* (4th ed.). Association of Official Analytical Chemists.
- Deepika, P. & Mubarak Ali, D. (2020). Production and assessment of microalgal liquid fertilizer for the enhanced growth of four crop plants. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 28, 101701. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101701>
- Grzesik, M., Romanowska-Duda, Z., & Kalaji, H. M. (2017). Effectiveness of cyanobacteria and green algae in enhancing the photosynthetic performance and growth of willow (*Salix viminalis* L.) plants under limited synthetic fertilizers application. *Photosynthetica*, 55(3), 510–521. <https://doi.org/10.1007/s11099-017-0716-1>
- Official Journal of the European Communities. (1998). *Determination of amino acids*. Retrieved on July 18, 2021, from <https://eur-lex.europa.eu/legalcontent/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:31998L0064&from=HU>
- Pereira, L. (2021). Macroalgae. *Encyclopedia*, 1, 177–188. <https://doi.org/10.3390/encyclopedia1010017>
- Pimentel, F. B., Alves, R. C., Rodrigues, F., & Oliveira, M. B. P. P. (2018). Macroalgae-Derived Ingredients for Cosmetic Industry – An Update. *Cosmetics*, 5(1), 2. <https://doi.org/10.3390/cosmetics5010002>
- Ramola, B., Kumar, V., Nanda, M., Mishra, Y., Tyagi, T., Gupta, A., & Sharma, N. (2019). Evaluation, comparison of different solvent extraction, cell disruption methods and hydrothermal liquefaction of *Oedogonium* macroalgae for biofuel production. *Biotechnology Reports*, 22, e00340. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2019.e00340>
- Raut, Y. & Capone, D. G. (2021). Macroalgal detrital systems: an overlooked ecological niche for heterotrophic nitrogen fixation. *Environmental Microbiology*, 23(8), 4372–4388. <https://doi.org/10.1111/1462-2920.15622>
- Tan, C.-Y., Dodd, I. C., Chen, J. E., Phang, S.-M., Chin, C. F., Yow, Y.-Y., & Ratnayeke, S. (2021). Regulation of algal and cyanobacterial auxin production, physiology, and application in agriculture: an overview. *Journal of Applied Phycology*, 33(5), 2995–3023. <https://doi.org/10.1007/s10811-021-02475-3>

- US EPA. (1996). *SW-846 Test method 3052: Microwave Assisted Acid Digestion of Siliceous and Organically Based Matrices*. Retrieved on July 20, 2021, from <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-12/documents/3052.pdf>
- Vasantharaja, R., Abraham, L. S., Inbakandan, D., Thirugnanasambandam, R., Senthilvelan, T., Jabeen, S. K. A., & Prakash, P. (2019). Influence of seaweed extracts on growth, phytochemical contents and antioxidant capacity of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp). *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 17, 589–594. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.01.021>
- Zheng, X., Como, S., Huang, L., & Magni, P. (2020). Temporal changes of a food web structure driven by different primary producers in a subtropical eutrophic lagoon. *Marine Environmental Research*, 161, 105128. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2020.105128>

การพัฒนาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตเสริมแป้งกล้วยจากแปลงใหญ่กล้วยหอมเขียวคาเวนดิช
จังหวัดสิงห์บุรี

PRODUCT DEVELOPMENT OF YOGURT SUPPLEMENTED WITH
BANANA FLOUR FROM LARGE SCALE OF CAVENDISH BANANA FIELD
IN SINGBURI PROVINCE

วันที่รับ: 10 มิถุนายน 2565

วันที่แก้ไข: 8 กันยายน 2565

วันที่ตอบรับ: 12 กันยายน 2565

วิจิตรา เหลียวตระกุล^{1*},

นวรรตน์ ทรงสุภาพ¹ และ รุ่งนภา ประไพพงษ์¹

Wijitra Liaotrakoon^{1*},

Nawarat Songsuphap¹ and Rungnapha Prapaiphong¹

¹คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 13000

¹Faculty of Agricultural Technology and Agro-Industry, Rajamangala University
of Technology Suvarnabhumi, Phra Nakhon Si Ayutthaya 13000

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



บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตเสริมแป้งกล้วยหอมเขียวจากแปลงใหญ่กล้วยหอมเขียวคาเวนดิช จังหวัดสิงห์บุรี และเพื่อศึกษาผลของการเสริมแป้งกล้วยหอมเขียวในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตต่อคุณภาพทางเคมีกายภาพ การยอมรับของผู้บริโภค และความสามารถในการอยู่รอดของโพรไบโอติกในโยเกิร์ต ที่ผ่านการบ่มที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 5 ชั่วโมง จากการทดลองพบว่า การเสริมแป้งกล้วยหอมเขียวร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ทำให้โยเกิร์ตมีความหนืดเพิ่มขึ้นจาก 712.35 เป็น 2,122.57 เซนติพอยส์ (cP) มีการแยกตัวของน้ำหางนมลดลงจากร้อยละ 15.92 เป็นร้อยละ 5.37 และมีปริมาณกรดแลคติกเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 1 เป็นร้อยละ 1.35 เมื่อเทียบกับชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โยเกิร์ตเสริมแป้งกล้วยหอมเขียวทำให้ความสามารถในการอยู่รอดของโพรไบโอติกมากขึ้น โดยมีจำนวนเชื้อ *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus acidophilus* และ *Bifidobacterium* spp. มากกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าโยเกิร์ตเสริม

แป้งกล้วยหอมเขียวได้รับการยอมรับจากผู้บริโภค โดยลักษณะปรากฏรสชาติและความชอบโดยรวมของชุดควบคุมและโยเกิร์ตที่เสริมแป้งกล้วยหอมเขียวร้อยละ 2.5 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ในขณะที่โยเกิร์ตเสริมแป้งกล้วยหอมเขียวได้คะแนนด้านเนื้อสัมผัสสูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังนั้น ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตเสริมแป้งกล้วยหอมเขียวเป็นการใช้ประโยชน์จากแป้งกล้วยหอมเขียวคาเวนดิชของกลุ่มแปลงใหญ่กล้วยหอมเขียวคาเวนดิช จังหวัดสิงห์บุรี และอาจขยายผลสู่กลุ่มอื่นได้

คำสำคัญ: แป้งกล้วย, โยเกิร์ต, กล้วยหอมเขียวคาเวนดิช, 프리ไบโอติก



Abstract

This research aimed to develop yogurt supplemented with banana flour from large scale Cavendish banana field in Singburi Province, and to examine the effect of green banana flour supplementation in yogurt products on physicochemical, sensory acceptability and probiotic survival after fermentation at 45°C for 5 hours. It was found that yogurt supplemented with 2.5% (w/v) of green banana flour increased viscosity values from 712.35 to 2,122.57 cP, decreased % syneresis from 15.92% to 5.37%, and increased lactic acid content from 1.00% to 1.35%, as comparing with the control sample ($p \leq 0.05$). The yogurt supplemented with green banana flour enhanced probiotic survival, showing higher amounts of *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus acidophilus* and *Bifidobacterium* spp. than those of the control ($p \leq 0.05$). According to the sensorial results, panelists accepted yogurt supplemented with green banana flour in terms of overall characteristics of taste and liking appearances between the control sample and the yogurt supplemented with green banana flour was at 2.5%. However, it was not statistically different between the yogurt supplemented with green banana flour and the control ($p > 0.05$), while the textural liking score of the yogurt supplemented with green banana flour was higher than the control ($p \leq 0.05$). Therefore, the yogurt supplemented with green banana flour could be further utilization of Cavendish green banana of large scale of Cavendish banana field in Singburi Province, and it could be extended to other relating groups.

Keywords: Banana Flour, Yogurt, Green Cavendish Banana, Prebiotic



บทนำ

กล้วยหอมเขียวคาเวนดิช (*Musa cavendishii*) เป็นพืชเศรษฐกิจของโลกที่มีปริมาณการบริโภคกว่า 100–120 ล้านตันต่อปี คิดเป็นมูลค่าเศรษฐกิจกว่าล้านล้านบาท ลักษณะเด่นของกล้วยหอมเขียวคาเวนดิชจะมีรสชาติหวานน้อยและมีเปลือกหนาทนต่อการขนส่ง (เก นันทะเสน และวราภรณ์ นันทะเสน, 2563) ลูกใหญ่น้ำหนักมาก และอุดมด้วยคุณค่าทางโภชนาการ เกษตรกรในพื้นที่ตำบลโพประทับชัยและตำบลถอนสมอ อำเภอท่าช้าง จังหวัดสิงห์บุรี รวมกลุ่มเป็นเกษตรแปลงใหญ่กล้วยหอมเขียวคาเวนดิช มีพื้นที่รวมประมาณ 200 ไร่ กล้วยหอมเขียวคาเวนดิช ขนาดเครือใหญ่มี 7–12 หวี อาจมีผลผลิตกล้วยตากเกรดที่มีขนาดเล็กที่ไม่เป็นที่ต้องการของตลาด บางครั้งมีผลผลิตล้นตลาด ทางชุมชนจึงร่วมกันจัดตั้งกลุ่มแปรรูปกล้วยและถนอมอาหารทำซังเพื่อทำการแปรรูปกล้วยเป็นแป้งกล้วยและผลิตภัณฑ์จากกล้วย แป้งกล้วย มีปริมาณเยื่อใยอาหาร วิตามินเอ วิตามินบี 6 แร่ธาตุโพแทสเซียม ฟอสฟอรัส แมกนีเซียมและสังกะสี และสารประกอบฟีนอลิก รวมทั้งประกอบไปด้วยแป้งทนย่อย (Resistance Starch) อยู่ระหว่างร้อยละ 40.9–58.5 (ฐานน้ำหนักแห้ง) (Tribess et al., 2009) แป้งกล้วยเป็นแป้งที่ปราศจากกลูเตน (Gluten Free) และมีสมบัติเป็นพรีไบโอติก (Prebiotic) สามารถนำแป้งกล้วยไปพัฒนาเป็นนวัตกรรมอาหารที่หลากหลาย แป้งกล้วยยังมีแป้งทนย่อยที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ เนื่องจากจะไม่ถูกย่อยในทางเดินอาหาร แต่จะถูกย่อยโดยแบคทีเรียโพรไบโอติก (Probiotic) ในลำไส้ใหญ่ ได้ผลิตภัณฑ์เป็นกรดไขมันสายสั้น ๆ ที่เอื้อต่อการเจริญของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ต่อลำไส้ นอกจากนี้ยังทำหน้าที่คล้ายกับเยื่อใยอาหารโดยช่วยลดระดับน้ำตาลในเลือด ช่วยป้องกันโรคเบาหวาน ลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือดและการดูดซึมแร่ธาตุ ปรับปรุงการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันและการป้องกันการเกิดมะเร็งในลำไส้ และแป้งกล้วยดิบจะช่วยสนับสนุนการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์โพรไบโอติก (สุชาติ สุขสถิตย์ และผุสดี ตั้งวัชรินทร์, 2558; Mahore & Shirolkar, 2018) โดยแป้งกล้วยดิบสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ไอศกรีม (Yangilar, 2015; Prashanth et al., 2018) และในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่ช่วยเป็นแหล่งอาหารให้กับแบคทีเรียโพรไบโอติกถือเป็นผลิตภัณฑ์ซินไบโอติก (Synbiotic) (Batista et al., 2017; Da Costa et al., 2017; Vogado et al., 2018)

ตลาดผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์โพรไบโอติก และพรีไบโอติก โดยเฉพาะอุตสาหกรรมอาหารและผลิตภัณฑ์นมมีแนวโน้มความต้องการที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากเป็นอาหารเพื่อสุขภาพที่มีจุลินทรีย์ที่ให้ประโยชน์ ช่วยในการปรับสมดุลลำไส้ ทำให้จุลินทรีย์ที่ดีมีจำนวนมากขึ้น จึงทำให้ระบบทางเดินอาหารทำงานได้ดีขึ้นและสามารถเสริมสร้างภูมิคุ้มกันให้แข็งแรง (Vodnar et al., 2020; Precup et al., 2022) อาหารประเภทนมหมักหรือโยเกิร์ตเป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ (Tadesse, 2011) แบคทีเรียกรดแลคติก (Lactic

Acid Bacteria, LAB) เช่น แบคทีเรียกลุ่ม *Bifidobacteria*, *Lactobacilli* และ *Enterococci* จัดเป็นโพรไบโอติกที่ช่วยทำให้มีสุขภาพที่ดีได้ เช่น สามารถย่อยสลายน้ำตาลแลคโตส ในโยเกิร์ต สามารถผลิตสารยับยั้งจุลชีพ สารยับยั้งการเกิดมะเร็งและกระตุ้นการสร้างภูมิคุ้มกันด้วย (Guarner & Schaafsma, 1998) ตัวอย่างโพรไบโอติกที่นิยมเสริมในผลิตภัณฑ์อาหาร อาทิเช่น สารประกอบโอลิโกแซคคาไรด์และโพลีแซคคาไรด์ รวมทั้งเยื่อใยอาหาร นอกจากนี้ โยอาหารยังช่วยในการต้านมะเร็งลำไส้ใหญ่ ช่วยในการดูดซึมแร่ธาตุบางชนิดได้ ช่วยลดความเสี่ยงต่อโรคกระดูกพรุน ช่วยย่อยสลายคอเลสเตอรอลและยับยั้งการดูดซึมไขมันผ่านผนังลำไส้ สามารถนำมาประยุกต์ใช้และเสริมในผลิตภัณฑ์อาหารต่าง ๆ เป็นอาหารเพื่อสุขภาพ เช่น เครื่องดื่ม ซอสปรุงรส ขนมอบ ซุป เค้ก ขนมหวาน น้ำสลัด และผลิตภัณฑ์นม (Gibson & Roberfroid, 1995; Manning & Gibson, 2004) ดังนั้น การพัฒนาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตเสริมแบงก์กล้วยหอมเขียวจากแปลงใหญ่กล้วยหอมเขียวคาเวนดิช จังหวัดสิงห์บุรี นั้น จะส่งผลให้นำไปต่อยอดเชิงพาณิชย์ โดยใช้ผลผลิตเกษตรในพื้นที่มาแปรรูปสร้างมูลค่าเพิ่มและสร้างความหลากหลายในการประยุกต์ใช้แบงก์กล้วยได้ ซึ่งสอดคล้องกับนโยบายรัฐบาลที่ต้องการให้มีการขับเคลื่อนเศรษฐกิจฐานรากให้มีความเข้มแข็งอันเป็นการส่งเสริมให้เกิดการพัฒนาทั้งในด้านองค์ความรู้ การพัฒนาด้านอาชีพ อันนำไปสู่การสร้างงานและสร้างรายได้ให้แก่ชุมชนต่อไป



วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตเสริมแบงก์กล้วยหอมเขียวจากแปลงใหญ่กล้วยหอมเขียวคาเวนดิช จังหวัดสิงห์บุรี
2. เพื่อศึกษาผลของการเสริมแบงก์กล้วยหอมเขียวในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตต่อคุณภาพทางเคมีกายภาพ การยอมรับของผู้บริโภค และความสามารถในการอยู่รอดของโพรไบโอติก



วิธีดำเนินการวิจัย

การเตรียมแบงก์กล้วยหอมเขียว

การเตรียมแบงก์กล้วยหอมเขียวตามวิธีของวิจิตรา เหลียวตระกูล และคนอื่น ๆ (2564) โดยนำผลกล้วยหอมเขียวสายพันธุ์คาเวนดิชในระยะออกปลีจนถึงตัดเครือ 58–60 วัน จากแปลงใหญ่กล้วยหอมเขียวคาเวนดิช จังหวัดสิงห์บุรี นำกล้วยมาปอกเปลือก หั่นเนื้อกล้วยเป็นชิ้นหนา 0.2 เซนติเมตร นำไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนกระทั่งกล้วยอบแห้งมีปริมาณความชื้นร้อยละ 4.50–5.00 จากนั้นนำมาบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดละเอียด (รุ่น IKA'MF10 basic, Germany) และร่อนผ่านตะแกรง (Retsch,

Germany) ขนาด 250 ไมครอน เก็บแบ็กกล้วยในถุงพลาสติกใส (Polypropylene) ปิดสนิทในอุณหภูมิห้องที่ไม่มีแสงแดด

การเตรียมโยเกิร์ตเสริมแบ็กกล้วยหอมเขียว

เตรียมโยเกิร์ตโดยนำนมวัว (ปริมาณไขมันร้อยละ 0) มาพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส นาน 30 วินาที ทิ้งไว้ให้เย็นลงจนถึงอุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เติมหั้วเชื้อโยเกิร์ตที่อยู่ในรูปผงแห้ง ซึ่งประกอบไปด้วยเชื้อผสมของ *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus acidophilus* และ *Bifidobacterium animalis* ssp. *lactis* (Lyofast SAB 442 B, Sacco srl, Italy) ปริมาณร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และเติมแบ็กกล้วยหอมเขียวร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ทำการกวนอย่างต่อเนื่อง แล้วทำการบ่มที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 5 ชั่วโมง ส่วนโยเกิร์ตชุดควบคุม (Control) เตรียมโดยไม่เสริมแบ็กกล้วยหอมเขียว หลังจากนั้นนำตัวอย่างโยเกิร์ตทุกชุดการทดลองไปวิเคราะห์คุณภาพต่อไป

การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีกายภาพ

วิเคราะห์ความหนืดของตัวอย่างผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตไม่เสริม (ชุดควบคุม) และเสริมแบ็กกล้วยหอมเขียว โดยใช้เครื่อง Brookfield Viscometer (Cole-Parmer รุ่น ML-98965-40, USA) โดยใช้หัววัดเบอร์ 3 ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (Santillán-Urquiza et al., 2017) วัดค่าสีของตัวอย่าง ได้แก่ ค่าความสว่าง (Lightness, L^*) ค่าความเป็นสีแดง (Redness, a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (Yellowish, b^*) ด้วยเครื่องวัดสี Hunter Lab (Color QuestXE, HunterLab, USA) และวิเคราะห์การแยกตัวของน้ำหางนม (% Syneresis) ตามวิธีของตาลและโคเรล (Tan & Korel, 2007) โดยนำตัวอย่างโยเกิร์ต 10 กรัม มาปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่อง Centrifuge (รุ่น Universal 320R, Germany) ด้วยความเร็วรอบ 5,000 rpm ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 20 นาที วัดปริมาตรส่วนใสที่ได้หลังจากการหมุนเหวี่ยง จากนั้นคำนวณเป็นร้อยละของการแยกตัวของน้ำหางนมตามสมการที่ (1) ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

$$\text{ร้อยละการแยกตัวของน้ำหางนม} = \frac{\text{ปริมาตรของส่วนใส (ml)}}{\text{ปริมาตรโยเกิร์ต (ml)}} \quad (1)$$

วิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (Total Soluble Solids) โดยใช้ Hand refractometer (ATAGO รุ่น PAL-1, Japan) วิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ด้วยเครื่อง pH meter (HORIBA รุ่น LAQUAtwin-ph-22, Japan) และวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมด

ด้วยวิธี Total Titratable Acidity ไตเตรทโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล รายงานผลเทียบกับกรดแลคติก คำนวณหาปริมาณกรดแลคติกเป็นร้อยละจากการทำปฏิกิริยาสมมูลกับกรดแลคติก ตามสมการที่ (2) (Chatterjee et al., 2016) วิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

$$\text{ร้อยละการแยกตัวของน้ำทางนม} = \frac{\text{ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์} \times \text{ที่ใช้ในการไตเตรท (ml)} \times 0.1 \times 90.08 \times 100}{\text{ปริมาตรของตัวอย่าง (ml)} \times 1000} \quad (2)$$

การวิเคราะห์ปริมาณเชื้อโพรไบโอติก และยีสต์และรา

วิเคราะห์หาจำนวนโพรไบโอติกในตัวอย่างโยเกิร์ต โดยวิเคราะห์หาจำนวนเชื้อ *Streptococcus thermophilus* ด้วยอาหารเลี้ยงเชื้อ M17 ทำการเจือจางตัวอย่างโยเกิร์ต (Serial Dilution) จากนั้นนำไปเลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ M17 ด้วยวิธี Pour Plate Technique และบ่มที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะไร้อากาศ เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง (Ashraf & Shah, 2011) และวิเคราะห์หาจำนวนเชื้อ *Lactobacillus acidophilus* และ *Bifidobacterium animalis* ssp. *lactis* ทำการเจือจางตัวอย่าง นำไปเลี้ยงเชื้อบนอาหารเลี้ยงเชื้อ De Man Rogosa and Sharpe (MRS) ที่ผสมน้ำตาลมอลโตส (Maltose) ด้วยวิธี Pour Plate Technique และบ่มที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะไร้อากาศ เป็นระยะเวลา 72 ชั่วโมง (ดัดแปลงจาก Ashraf & Shah, 2011) นับจำนวนโคโลนีที่เจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีโคโลนีขึ้นอยู่ระหว่าง 25–250 โคโลนี และรายงานเป็น Colony Forming Unit ต่อกรัมตัวอย่าง (CFU/g)

วิเคราะห์หาจำนวนยีสต์และรา โดยทำการเจือจางตัวอย่างเลี้ยงเชื้อบนอาหารเลี้ยงเชื้อ Potato Dextrose Agar (PDA) ด้วยวิธี Pour Plate Technique และนำจานอาหารเลี้ยงเชื้อไปบ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4 วัน นับจำนวนโคโลนีที่เจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีโคโลนีขึ้นอยู่ระหว่าง 25–250 โคโลนี และรายงานเป็น CFU/g (Horwitz, 2000)

การทดสอบทางประสาทสัมผัส

ทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตไม่เสริม (ชุดควบคุม) และเสริมแบคทีเรียกล้วยหอมเขียว ด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9-Points Hedonic Scale) โดยมีค่าคะแนนในการทดสอบ คือ 1 = ไม่ชอบมากที่สุด 2 = ไม่ชอบมาก 3 = ไม่ชอบปานกลาง 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย 5 = เฉย ๆ 6 = ชอบเล็กน้อย 7 = ชอบปานกลาง 8 = ชอบมาก และ 9 = ชอบมากที่สุด ใช้ผู้ทดสอบชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 30 คน

การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยรายงานเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และเปรียบเทียบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยวิเคราะห์ Paired Sample *t*-test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ทางสถิติสำเร็จรูป SPSS for Windows



ผลการวิจัย

คุณภาพทางเคมีกายภาพของโยเกิร์ตเสริมแป้งกล้วยหอมเขียว

จากกล้วยหอมเขียวคาเวนดิชจากแปลงใหญ่จังหวัดสิงห์บุรี มาแปรรูปเป็นแป้งกล้วยหอมเขียว และนำแป้งกล้วยหอมเขียวคาเวนดิชมาพัฒนาผลิตภัณฑ์ต่อยอดเป็นโยเกิร์ตเสริมแป้งกล้วยหอมเขียว (ภาพ 1) พบว่าคุณภาพทางเคมีกายภาพของโยเกิร์ตเสริมแป้งกล้วยหอมเขียวร้อยละ 2.5 เทียบกับชุดควบคุม ได้ผลดังตาราง 1 การเสริมแป้งกล้วยหอมเขียวทำให้โยเกิร์ตมีความหนืด 2,122.57 เซนติพอยส์ (cP) มากกว่าชุดควบคุมที่มีความหนืด 712.35 เซนติพอยส์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และหลังจากบ่มนาน 5 ชั่วโมง มีค่าร้อยละการแยกตัวของน้ำทางนมลดลงจากร้อยละ 15.92 (ชุดควบคุม) ลดลงเป็นร้อยละ 5.37 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โยเกิร์ตเสริมแป้งกล้วยหอมเขียวมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดน้อยกว่าชุดควบคุม แต่โยเกิร์ตเสริมแป้งกล้วยหอมเขียวมีปริมาณกรดแลคติก (ร้อยละ 1.35) มากกว่าชุดควบคุม (ร้อยละ 1.00) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับค่า pH ของตัวอย่างโยเกิร์ตเสริมแป้งกล้วยหอมเขียวที่น้อยกว่าชุดควบคุม (ตาราง 1)



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพ 1 (ก) กล้วยหอมเขียวคาเวนดิชจากแปลงใหญ่ อำเภอบางบาล จังหวัดสิงห์บุรี

(ข) แป้งกล้วยหอมเขียว และ (ค) ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตเสริมแป้งกล้วยหอมเขียว

สำหรับค่าสีของตัวอย่างโยเกิร์ตนั้น พบว่าชุดควบคุมมีค่าความสว่าง L^* (94.03) สูงกว่าโยเกิร์ตเสริมแบ็กกล้วยหอมเขียว (81.99) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ค่าสีแดง a^* (2.24–2.75) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และโยเกิร์ตเสริมแบ็กกล้วยหอมเขียวมีค่าสีเหลือง b^* (8.84) สูงกว่าชุดควบคุม (3.48) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากแบ็กกล้วยที่เป็นส่วนผสมในโยเกิร์ตมีสีขาวออกน้ำตาล และการใส่แบ็กกล้วยทำให้จุลินทรีย์โพรไบโอติกในโยเกิร์ตเจริญได้ดีขึ้น จึงทำให้โยเกิร์ตมีความชุ่มเพิ่มขึ้น

ตาราง 1 สมบัติทางเคมีกายภาพของโยเกิร์ตเสริมแบ็กกล้วยหอมเขียว

คุณภาพ	โยเกิร์ต	
	ชุดควบคุม	เสริมแบ็กกล้วยหอมเขียว
สมบัติทางเคมีกายภาพ		
ความหนืด (cP)	712.35 ± 23.11^b	$2,122.57 \pm 20.70^a$
การแยกตัวของน้ำหางนม (ร้อยละ)	15.92 ± 0.15^a	5.37 ± 0.09^b
ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (ร้อยละ)	13.14 ± 0.45^a	10.60 ± 0.65^b
pH	3.99 ± 0.02^a	3.77 ± 0.02^b
ปริมาณกรดแลคติก (ร้อยละ)	1.00 ± 0.01^b	1.35 ± 0.00^a
ค่าสี L^*	94.03 ± 0.5^a	81.99 ± 0.10^b
ค่าสี a^* ^{ns}	2.24 ± 0.27	2.75 ± 0.23
ค่าสี b^*	3.48 ± 0.61^b	8.84 ± 0.31^a

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอน แสดงถึง ค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และ ns (Non-significant) แสดงถึง ค่าเฉลี่ยในแนวนอนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ปริมาณเชื้อโพรไบโอติก ยีสต์และราในโยเกิร์ตเสริมแบ็กกล้วยหอมเขียว

ในการบ่มโยเกิร์ตใช้หัวเชื้อโยเกิร์ตที่อยู่ในรูปผงแห้งที่ประกอบด้วยเชื้อจุลินทรีย์โพรไบโอติก *S. thermophilus*, *L. acidophilus* และ *B. animalis* ssp. *lactis* จึงทำการวิเคราะห์หาปริมาณเชื้อกลุ่มดังกล่าวเพื่อติดตามการเจริญเติบโตหลังจากการบ่มโยเกิร์ต ได้ผลดังแสดงในตาราง 2

ตาราง 2 จำนวนโพรไบโอติก ยีสต์และราในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต

เชื้อจุลินทรีย์ (CFU/g)	โยเกิร์ต	
	ชุดควบคุม	เสริมแบคทีเรียกล้วยหอมเขียว
<i>S. thermophilus</i>	1.71×10^{9b}	3.23×10^{9a}
<i>L. acidophilus</i> และ <i>B. animalis</i> ssp. <i>lactis</i>	8.33×10^{8b}	1.48×10^{9a}
ยีสต์และรา ^{ns}	< 10	< 10

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอน แสดงถึง ค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และ ns (Non-significant) แสดงถึง ค่าเฉลี่ยในแนวนอนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากตาราง 2 พบว่าโยเกิร์ตเสริมแบคทีเรียกล้วยหอมเขียวมีจำนวน *S. thermophilus* (3.23×10^9 CFU/g), *L. acidophilus* และ *B. animalis* ssp. *lactis* (1.48×10^9 CFU/g) มากกว่าชุดควบคุม (1.71×10^9 และ 8.33×10^8 CFU/g ตามลำดับ) ($p \leq 0.05$) แสดงว่าแบคทีเรียกล้วยหอมเขียวมีคุณสมบัติเป็นโพรไบโอติก ช่วยให้จุลินทรีย์โพรไบโอติกมีการเจริญเติบโตดีขึ้นหลังจากบ่มนาน 5 ชั่วโมง ทำให้โยเกิร์ตเสริมแบคทีเรียกล้วยหอมเขียวมีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ *L. acidophilus* และ *B. animalis* ssp. *lactis* มากกว่าชุดควบคุมอยู่ 1 log CFU และตัวอย่างโยเกิร์ตเสริมแบคทีเรียกล้วยหอมเขียวและชุดควบคุมมีจำนวนยีสต์และรา < 10 CFU/g

การยอมรับทางประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตเสริมแบคทีเรียกล้วยหอมเขียว

จากตาราง 3 พบว่าผู้ทดสอบชิมให้คะแนนในภาพรวมของโยเกิร์ตเสริมแบคทีเรียกล้วยหอมเขียวอยู่ในช่วง 6.10–7.17 คะแนน ในขณะที่ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนในภาพรวมของโยเกิร์ตชุดควบคุมอยู่ในช่วง 6.07–7.57 คะแนน ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนด้านลักษณะปรากฏ รสชาติ และความชอบโดยรวมของชุดควบคุมและโยเกิร์ตเสริมแบคทีเรียกล้วยหอมเขียวร้อยละ 2.5 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 6.75–7.00, 6.13–6.28 และ 6.65–6.67 คะแนน ตามลำดับ ส่วนคุณลักษณะด้านสีและกลิ่นรสของชุดควบคุม ได้รับคะแนนการยอมรับในระดับชอบปานกลาง (7.57 และ 7.23 คะแนน) มากกว่าโยเกิร์ตเสริมแบคทีเรียกล้วยหอมเขียวในระดับชอบเล็กน้อย (6.30 และ 6.10 คะแนน) ตามลำดับ ในขณะที่ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนด้านเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตเสริมแบคทีเรียกล้วยหอมเขียวในระดับชอบปานกลาง (7.17 คะแนน) สูงกว่าชุดควบคุมในระดับชอบเล็กน้อย (6.07 คะแนน) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตาราง 3 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตเสริมแป้งกล้วยหอมเขียว

ลักษณะ	โยเกิร์ต	
	ชุดควบคุม	เสริมแป้งกล้วยหอมเขียว
ลักษณะปรากฏ ^{ns}	7.00±0.93	6.75±0.83
สี	7.57±0.57 ^a	6.30±0.44 ^b
กลิ่นรส	7.23±0.45 ^a	6.10±0.78 ^b
รสชาติ ^{ns}	6.13±0.93	6.28±0.72
เนื้อสัมผัส	6.07±0.36 ^b	7.17±0.43 ^a
ความชอบโดยรวม ^{ns}	6.65±0.85	6.67±0.60

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอน แสดงถึง ค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และ ns (Non-significant) แสดงถึง ค่าเฉลี่ยในแนวนอนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

การถ่ายทอดเทคโนโลยีแก่กลุ่มเป้าหมาย

ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตเสริมแป้งกล้วยหอมเขียวที่พัฒนาได้นำไปถ่ายทอดให้แก่กลุ่มเป้าหมาย คือ ประธานและสมาชิกกลุ่มแปรรูปกล้วยและถนอมอาหารทำซ้าง ผู้จัดการและประธานกลุ่มสหกรณ์การเกษตรอำเภอท่าช้าง จำกัด อำเภอท่าช้าง จังหวัดสิงห์บุรี และผู้สนใจ จำนวน 32 คน ณ สหกรณ์การเกษตรอำเภอท่าช้าง จำกัด อำเภอท่าช้าง จังหวัดสิงห์บุรี เมื่อเดือน สิงหาคม พ.ศ. 2565 พบว่าผู้เข้าร่วมอบรมสามารถแปรรูปแป้งกล้วยหอมเขียวจากกล้วยหอมเขียวคาเวนดิชของแปลงใหญ่กล้วยหอมเขียวคาเวนดิช จังหวัดสิงห์บุรี และนำแป้งกล้วยหอมเขียวมาประยุกต์ใช้เป็นส่วนผสมในการแปรรูปโยเกิร์ตได้ เป็นการเพิ่มความหลากหลายในการใช้ประโยชน์ของแป้งกล้วยของกลุ่ม นอกจากนี้ยังสามารถพัฒนาต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโยเกิร์ตเสริมแป้งกล้วยหอมเขียวได้



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

ภาพ 2 การถ่ายทอดการแปรรูปผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตเสริมแป้งกล้วยหอมเขียว (ก) การอบรมร่วมกับกลุ่มเป้าหมาย (ข) การผสมแป้งกล้วยหอมเขียวลงในส่วนผสมโยเกิร์ตก่อนนำไปปั่น (ค) โยเกิร์ตเสริมแป้งกล้วยหอมเขียวที่ปั่นแล้ว และ (ง) โยเกิร์ตเสริมแป้งกล้วยหอมเขียวและผลไม้อบแห้งพร้อมจำหน่าย

อภิปรายผลการวิจัย

คุณภาพทางเคมีกายภาพของโยเกิร์ตเสริมแป้งกล้วยหอมเขียว

จากการพัฒนาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตเสริมแป้งกล้วยหอมเขียว เป็นการนำแป้งกล้วยหอมเขียว มาสร้างมูลค่าเพิ่มเป็นอาหารเพื่อสุขภาพหรืออาหารฟังก์ชัน (Functional Food) ในงานวิจัยนี้พบว่า เมื่อเสริมแป้งกล้วยหอมเขียวร้อยละ 2.5 ในโยเกิร์ต ทำให้โยเกิร์ตมีความหนืดเพิ่มขึ้น และมีการแยกตัวของน้ำทางนมลดลง เนื่องจากแป้งกล้วยหอมเขียวทำหน้าที่เป็นสารยึดเกาะ (Binder) หรือสารทำให้คงตัว (Stabilizer) มีความสามารถในการอุ้มน้ำ ส่งผลทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นและส่งผลช่วยให้น้ำไม่แยกชั้นออกมาจากนม จึงทำให้มีการแยกตัวของน้ำทางนมลดลง เช่นเดียวกันกับการใช้กัม วัณ และสารที่ทำให้เกิดเจลอื่น ๆ (Gelling Agents) (Bierzunska et al., 2019) แป้งกล้วยเกิดการสร้างพันธะ Hydrophobic Interaction กับน้ำภายใน

โครงสร้างสามมิติของเคซีนไมเซลล์ (Casein Micelles) ในผลิตภัณฑ์นมหมัก (Sebayang et al., 2019) และแบคทีเรียมีความหนืดจากการสร้างเจลแบ่งและมีความสามารถในการจับกับน้ำ ทำให้มีประโยชน์ในการแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหารหลากหลายประเภท (Fuentes-Zaragoza et al., 2010) โดยจะช่วยเพิ่มความหนืด เนื้อสัมผัสเนียน จึงช่วยปรับปรุงลักษณะปรากฏ และเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ (Tamime & Robinson, 1985) และการเสริมแบคทีเรียกล้วยหอมเขียว ในโยเกิร์ต จะทำให้มีปริมาณธาตุเหล็กและเยื่อใยสูงขึ้นด้วย (Abdalla & Ahmed, 2019) จากประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่อง นมเปรี้ยว ระบุว่า โยเกิร์ต หมายถึง นมเปรี้ยวที่ได้จากการหมักด้วยแบคทีเรีย *S. thermophilus* และ *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus* หรือ *Lactobacillus* ssp. อื่น และต้องมีค่าปริมาณกรดแลคติก ไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.6 ของน้ำหนัก (กระทรวงสาธารณสุข, 2556) ซึ่งโยเกิร์ตในการทดลองนี้มีปริมาณกรดแลคติก ในโยเกิร์ตชุดควบคุมและเสริมแบคทีเรียกล้วยหอมเขียวเป็นไปตามเกณฑ์กำหนด

เมื่อบ่มครบ 5 ชั่วโมง โยเกิร์ตเสริมแบคทีเรียกล้วยหอมเขียวจะมีปริมาณกรดแลคติกมากกว่าชุดควบคุม เนื่องจากแบคทีเรียกล้วยหอมเขียวมีแบคทีเรียบางส่วนที่มีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติกที่ทำให้จุลินทรีย์โพรไบโอติกเจริญได้ดี ซึ่งแบคทีเรียดิบเป็นพรีไบโอติกชนิดเม็ดแบคทีเรียที่ทนทานต่อการทำงานของเอนไซม์ (Raw Starch Granules: RS2) สามารถส่งเสริมการเจริญของจุลินทรีย์โพรไบโอติกได้ดี (Topping et al., 2003) จึงเกิดกรดแลคติกมากกว่าชุดควบคุม แบคทีเรียสามารถเสริมคุณค่าทางโภชนาการให้แก่ผลิตภัณฑ์อาหารได้ เนื่องจากมีเยื่อใยและแบคทีเรียที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพที่จะไม่ถูกดูดซึมในลำไส้เล็ก และมีสารประกอบฟีนอลิก (Sarawong et al., 2014; Yangilar, 2015; Vogado et al., 2018) นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาโยเกิร์ตเสริมเยื่อใย แร่ธาตุ และสารอาหารอื่น ๆ (Santillán-Urquiza et al., 2017) รวมถึงการเสริมพรีไบโอติกจากแป้งควินัวและแป้งจากผักผลไม้ เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางโภชนาการของโยเกิร์ต (Gahruie et al., 2015; Vogado et al., 2018)

ปริมาณเชื้อโพรไบโอติก ยีสต์และราในโยเกิร์ตเสริมแบคทีเรียกล้วยหอมเขียว

ตัวอย่างมีจำนวนจุลินทรีย์ที่มีในโยเกิร์ต ยีสต์และราเป็นไปตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 353 (พ.ศ. 2556) ที่ระบุว่า จุลินทรีย์ที่มีในโยเกิร์ตจะต้องมีไม่น้อยกว่า 1×10^7 โคโลนีต่อกรัม ส่วนยีสต์และราไม่เกิน 100 โคโลนีต่อกรัม และพบว่าแบคทีเรียกล้วยหอมเขียวช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่มีในโยเกิร์ตได้ แบคทีเรียอาจจัดเป็นพรีไบโอติกอีกชนิดหนึ่งที่มีประสิทธิภาพในการผลิตโยเกิร์ต ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ประเภทซินไบโอติก (synbiotic) (Da Costa et al., 2017; Vogado et al., 2018)

บลานเชตต์ (Blanchette et al., 1996) รายงานว่า จำนวนโพรไบโอติกที่ก่อให้เกิดผลลัพธ์ที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายควรมีปริมาณไม่น้อยกว่า 10^6 viable cells/g (หรือ ml)

และควรบริโภคโพรไบโอติก 10^8 – 10^9 เซลล์ต่อวัน เพื่อประโยชน์เชิงสุขภาพ (Mohammadi et al., 2011) โยเกิร์ตที่ใช้โพรไบโอติกเป็นวัตถุดิบ และใช้จุลินทรีย์โพรไบโอติกในกระบวนการแปรรูป เป็นการปรับปรุงการรอดชีวิตของโพรไบโอติกซึ่งอาศัยอยู่ในระบบลำไส้ใหญ่ส่วนบน (Roberfroid, 2002) ทำให้จุลินทรีย์ที่มีชีวิตเข้าไปในรูปของผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร (Dietary Supplements) ในทางเดินอาหารและลำไส้ได้ (Prashanth et al., 2018) โดยแบคทีเรียแสดงคุณสมบัติเป็นโพรไบโอติกในระหว่างการบ่มโยเกิร์ต โดยทำให้ปริมาณของ *L. acidophilus* และ *B. animalis* ssp. *lactis* เพิ่มขึ้น ค่า pH ลดลง และเพิ่มความเป็นกรด และการบ่มด้วยการเสริมโพรไบโอติกจะทำให้เกิดสภาวะที่ไม่เอื้ออำนวยต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ที่ไม่พึงประสงค์ได้ (Mahore & Shirolkar, 2018)

การยอมรับทางประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตเสริมแบคทีเรียกล้วยหอมเขียว

โยเกิร์ตเสริมแบคทีเรียกล้วยหอมเขียวร้อยละ 2.5 มีคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตที่ได้รับการยอมรับมากกว่าชุดควบคุม อาจเป็นเพราะแบคทีเรียที่มีคาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนประกอบมีคุณสมบัติเป็นเจล ช่วยทำให้เกิดความหนืดสำหรับผลิตภัณฑ์ มีความเนียนเป็นเนื้อเดียวกัน (Mastro et al., 2007) ในขณะที่การเสริมแบคทีเรียกล้วยหอมเขียวมีผลต่อสีและกลิ่นรสของโยเกิร์ต โดยทำให้ได้รับระดับความชอบน้อยกว่าชุดควบคุม เนื่องจากแบคทีเรียกล้วยหอมเขียวมีสีขาวออกน้ำตาล และมีกลิ่นแบ่งที่อาจส่งผลต่อความชอบของสีและกลิ่นของโยเกิร์ต การเสริมแบคทีเรียดิบไม่เกินร้อยละ 3 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมในการทำโยเกิร์ตซินโอบีโอติกโดยไม่มีผลกับลักษณะทางเคมีกายภาพหรือทางประสาทสัมผัสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และโยเกิร์ตจะมีอายุการเก็บรักษาอย่างน้อย 21 วัน ที่อุณหภูมิแช่เย็น (Batista et al., 2017) โยเกิร์ตที่ทำการศึกษาในครั้งนี้เป็นประเภทโยเกิร์ตชนิดกวน (Stirred Yogurt) เป็นผลิตภัณฑ์นมที่หมักด้วยแบคทีเรียกลุ่มที่ผลิตกรดแลคติก (Lactic Acid Bacteria: LAB) ทำให้ผลิตภัณฑ์ได้มีรสเปรี้ยว ซึ่ง pH ที่เป็นกรดนี้จะทำให้โปรตีนเสียสภาพและจับตัวตกตะกอน เรียกว่า เคิร์ด (Curd) ทำให้ได้โยเกิร์ตที่มีลักษณะข้น การเลือกใช้เชื้อแบคทีเรียส่งผลต่อรสชาติและกลิ่น รวมทั้งเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ต ทำให้ลักษณะของโยเกิร์ตที่ได้มีลักษณะแตกต่างกัน (Herbel et al., 2013) จุลินทรีย์ *Bifidobacterium lactis*, *Bifidobacterium longum*, *Lactobacillus* spp., *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus bulgaricus*, *L. acidophilus* และ *S. thermophilus* เป็นกลุ่มของจุลินทรีย์ที่มีชีวิตและมีประโยชน์ต่อร่างกาย ช่วยป้องกันไม่ให้เกิดการติดเชื้อจากแบคทีเรียที่ก่อโรคต่าง ๆ เช่น แบคทีเรียที่เป็นสาเหตุของโรคท้องร่วง ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อสุขภาพ ช่วยปรับสมดุลของสภาพแวดล้อมในลำไส้เป็นต้น (Da Costa et al., 2017)



สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้พบว่า แบคทีเรียกล้วยหอมเขียวเป็นแบคทีเรียที่มีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติก สามารถช่วยเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตของโพไบโอติกได้อย่างชัดเจน แบคทีเรียกล้วยหอมเขียวทำให้ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตมีความหนืดเพิ่มขึ้นและมีการแยกตัวของน้ำหางนมน้อยลง โยเกิร์ตเสริมแบคทีเรียกล้วยหอมเขียวมีจำนวน *S. thermophilus*, *L. acidophilus* และ *B. animalis* ssp. *lactis* มากกว่าชุดควบคุม และจากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าลักษณะปรากฏ รสชาติ และความชอบโดยรวมของโยเกิร์ตที่เสริมแบคทีเรียกล้วยหอมเขียวร้อยละ 2.5 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับชุดควบคุม ($p > 0.05$) ดังนั้น สรุปได้ว่าผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตเสริมแบคทีเรียกล้วยหอมเขียวได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบชิมและเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ชีนไบโอติกที่มีทั้งจุลินทรีย์โพไบโอติกและมีพรีไบโอติกจากแบคทีเรียกล้วยหอมเขียวที่ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์โพไบโอติก

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

1. ผลการวิจัยถือเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มกล้วยหอมเขียวคาเวนดิชและสร้างรายได้ให้แก่กลุ่มผู้ผลิตเกษตรกรแปลงใหญ่กล้วยหอมเขียวคาเวนดิช อำเภوتاซ่าง จังหวัดสิงห์บุรี และกลุ่มแปรรูปและถนอมอาหารทำซ่าง อำเภوتاซ่าง จังหวัดสิงห์บุรี

ข้อเสนอแนะการวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรมีการศึกษาอายุการเก็บรักษาและคุณภาพของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตเสริมแบคทีเรียกล้วยหอมเขียวในระหว่างการเก็บรักษา เพื่อนำไปต่อยอดในเชิงพาณิชย์ได้ต่อไป
2. สามารถขยายผลสู่กลุ่มอื่นที่เพาะปลูกหรือแปรรูปกล้วย รวมทั้งนำไปสู่การประยุกต์กับกล้วยสายพันธุ์อื่น ๆ ได้



กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณการสนับสนุนงบประมาณจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ประเภทยุทธศาสตร์สนับสนุนงานพื้นฐาน (Fundamental Fund) ภายใต้คำรับรองเลขที่ FRB650085/0173-4 และขอขอบคุณกลุ่มเกษตรกรแปลงใหญ่กล้วยหอมเขียวคาเวนดิช และสหกรณ์การเกษตรอำเภوتاซ่าง จำกัด จังหวัดสิงห์บุรี



เอกสารอ้างอิง

- กระทรวงสาธารณสุข. (2556). *ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 353 พ.ศ. 2556 เรื่อง นมเปรี้ยว*. กระทรวงสาธารณสุข.
- เก นันทะเสน และวราภรณ์ นันทะเสน. (2563). ความเต็มใจจ่ายต่อกล้วยหอมเขียวคาเวนดิชอินทรีย์ในบรรจุภัณฑ์ฉลากอัจฉริยะของผู้บริโภคชาวไทยในจังหวัดเชียงใหม่. *วารสารมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์มหาวิทยาลัยธนบุรี*, 15(1), 70–79.
- วิจิตรา เหลียวตระกูล, วชิรญา เหลียวตระกูล, วรภา วงศ์แสงธรรม, รัตนา หงษ์บุญเรือง, และสรวิศ สิงห์ท้วม. (2564). ผลของปริมาณแป้งกล้วยหอมเขียวทดแทนแป้งสาลีที่มีต่อคุณลักษณะของขนมปัง. *วารสารวิชาการและวิจัย มทร. พระนคร*, 15(1), 1–13.
- สุชาติ สุขสถิตย์ และมุสตี ตั้งวัชรินทร์. (2558). องค์ประกอบทางเคมี สมบัติทางกายภาพ และสมบัติด้านพรีไบโอติกเบื้องต้นของโยอาหารและรีชีสแทนด์สตาร์ชสกัดจากเปลือกและเนื้อกล้วยไข่ดิบ. *วารสารเกษตรพระจอมเกล้า*, 33(2), 49–60.
- Abdalla, A. K. & Ahmed, Z. F. R. (2019). Physicochemical and sensory properties of yoghurt supplemented with green banana flour. *Egyptian Journal of Dairy Science*, 47(1), 1–9.
- Ashraf, R. & Shah N. P. (2011). Selective and differential enumerations of *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus casei* and *Bifidobacterium* spp. in yoghurt – A review. *International Journal of Food Microbiology*, 149(3), 194–208. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2011.07.008>
- Batista, A. L. D., Silva, R., Cappato, L. P., Ferreira, M. V. S., Nascimento, K. O., Schmieles, M., Esmerino, E. A., Balthazar, C. F., Silva, H. L. A., Moraes, J., Pimentel, T. C., Freitas, M. Q., Raices, R. S. L., Silva, M. C., & Cruz, A. G. (2017). Developing a synbiotic fermented milk using probiotic bacteria and organic green banana flour. *Journal of Functional Foods*, 38, 242–250. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.09.037>
- Bierzunska, P., Cais-Sokolinska, D., & Yigit, A. (2019). Storage stability of texture and sensory properties of yogurt with the addition of polymerized whey proteins. *Foods*, 8, 548. <https://doi.org/10.3390/foods8110548>
- Blanchette, L., Roy, D., Belanger, G., & Gauthier, S. F. (1996). Production of cottage cheese using dressing fermented by *Bifidobacteria*. *Journal of Dairy Science*, 79(1), 8–15. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(96\)76327-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(96)76327-0)

- Chatterjee, M., Manuel, G. A. S., & Hassan, S. S. (2016). Effect of fruit pectin on growth of lactic acid bacteria. *Journal of Probiotics and Health*, 4(2). 1000147. <https://doi.org/10.4172/2329-8901.1000147>
- Da Costa, E. L., Alencar, N. M. M., Rullo, B. G. Dos S., & Taralo, R. L. (2017). Effect of green banana pulp on physicochemical and sensory properties of probiotic yoghurt. *Food Science and Technology International*, 37, 363–368. <https://doi.org/10.1590/1678-457x.01016>
- Fuentes-Zaragoza, E., Riquelme-Navarrete, M. J., Sánchez-Zapata, E., & Pérez-Álvarez, J. A. (2010). Resistant starch as functional ingredient: A review. *Food Research International*, 43(4), 931–942. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.02.004>
- Gahrue, H. H., Eskandari, M. H., Mesbahi, G., & Hanifpour, M. A. (2015). Scientific and technical aspects of yogurt fortification: A review. *Food Science and Human Wellness*, 4(1), 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2015.03.002>
- Gibson, G. R. & Roberfroid, M. B. (1995). Dietary modulation of the human colonic microbiota: introducing the concept of prebiotics. *The Journal of nutrition*, 125(6), 1401–1412. <https://doi.org/10.1093/jn/125.6.1401>
- Guarner, F. & Schaafsma, G. J. (1998). Probiotics. *International Journal of Food Microbiology*, 39(3), 237–238. [https://doi.org/10.1016/s0168-1605\(97\)00136-0](https://doi.org/10.1016/s0168-1605(97)00136-0)
- Herbel, S. R., Lauzat, B., von Nickisch-Rosenegk, M., Kuhn, M., Murugaiyan, J., Wieler, L. H., & Guenther, S. (2013). Species-specific quantification of probiotic lactobacilli in yoghurt by quantitative real-time PCR. *Journal of Applied Microbiology*, 115(6), 1402–1410. <https://doi.org/10.1111/jam.12341>
- Horwitz, W. (2000). *Official methods of analysis of AOAC international* (17th ed.). AOAC International.
- Mahore, J. G. & Shirolkar, S. V. (2018). Investigation of effect of ripening and processing on prebiotic potential of banana. *Journal of Young Pharmacists*, 10(4), 409–413. <https://doi.org/10.5530/jyp.2018.10.90>
- Manning, T. S. & Gibson, G. R. (2004). Prebiotics. *Best Practice & Research Clinical Gastroenterology*, 18, 287–298. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bpg.2003.10.008>

- Mastro, N. L., Taipina, M. S., Cohen, V. H., Rodas, M. A. B., & Garbelotti, M. L. (2007). Critical evaluation of the green banana pulp (*Musa spp.*). *Revista Higiene Alimentar*, 21(153), 39–45.
- Mohammadi, R., Mortazavian, A. M., Khosrokhavar, R., & Da Cruz, A. G. (2011). Probiotic ice cream: viability of probiotic bacteria and sensory properties. *Annals of Microbiology*, 61, 411–424. <https://doi.org/10.1007/s13213-010-0188-z>
- Prashanth, P., Singh, J. K., Maloo, S., & Bhaskar, V. (2018). Enrichment of probiotic ice-cream with prebiotic green banana flour (resistant starch). *International Journal of Food Science and Nutrition*, 3(6), 190–193.
- Precup, G., Pocol, C. B., Teleky, B.-E., & Vodnar, D. C. (2022). Awareness, knowledge, and interest about prebiotics – A study among Romanian consumers. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(3), 1208. <https://doi.org/10.3390/ijerph19031208>
- Roberfroid, M. B. (2002). Functional food concept and its application to prebiotics. *Digest Liver Disease*, 34(1), 105–110. [https://doi.org/10.1016/s1590-8658\(02\)80176-1](https://doi.org/10.1016/s1590-8658(02)80176-1)
- Santillán-Urquiza, E., Méndez-Rojas, M. Á., & Vélez-Ruiz, J. F. (2017). Fortification of yoghurt with nano and micro sized calcium, iron and zinc, effect on the physicochemical and rheological properties. *LWT – Food Science and Technology*, 80, 462–469. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.03.025>
- Sarawong, C., Schoenlechner, R., Sekiguchi, K., Berghofer, E., & Ng, P. K. W. (2014). Effect of extrusion cooking on the physicochemical properties, resistant starch, phenolic content and antioxidant capacities of green banana flour. *Food Chemistry*, 143, 33–39. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.07.081>
- Sebayang, F., Bulan, R., & Wahyuni, W. (2019). The utilization of carboxymethyl cellulose (CMC) from groundnut (*Arachis Hypogaea* L.) cellulose as stabilizer for cow milk yoghurt. *Journal of Chemical Natural Resources*, 1(2), 38–51. <https://doi.org/10.32734/jcnar.v1i2.1252>

- Tadesse, S. (2011). Probiotics, prebiotics and synbiotics as functional food ingredients: Production, health benefits and safety. *Journal of Biologically Active Products from Nature*, 2(3), 124–134. <https://doi.org/10.1080/22311866.2012.10719119>
- Tamime, A. Y. & Robinson, R. K. (1985). *Yoghurt science and technology*. Pergamon Press.
- Tan, G. & Korel, F. (2007). Quality of flavored yogurt containing added coffee and sugar. *Journal of Food Quality*, 30, 342–356. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.2007.00125.x>
- Topping, D. L., Fukushima, M., & Bird, A. R. (2003). *Resistant starch as a prebiotic and synbiotic: state of the art. The Proceedings of the Nutrition Society*, 62(1), 171–176. <https://doi.org/10.1079/pns2002224>
- Tribess, T. B., Hernández-Urbe, J. P., Méndez-Montevalvo, M. G. C., Menezes, E. W., Bello-Perez, L. A., & Tadini, C. C. (2009). Thermal properties and resistant starch content of green banana flour (*Musa cavendishii*) produced at different drying conditions. *LWT – Food Science and Technology*, 42(5), 1022–1025. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2008.12.017>
- Vodnar, D. C., Mitrea, L., Teleky, B. E., Szabo, K., Călinoiu, L. F., Nemeş, S. A., & Martău, G. A. (2020). Coronavirus disease (COVID-19) caused by (SARS-CoV-2) infections: A real challenge for human gut microbiota. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 10, 575559. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2020.575559>
- Vogado, C. O., Leandro, E. D. S., Zandonadi, R. P., de Alencar, E. R., Ginani, V. C., Nakano, E. Y., Habú, S., & Aguiar, P. A. (2018). Enrichment of Probiotic Fermented Milk with Green Banana Pulp: Characterization Microbiological, Physicochemical and Sensory. *Nutrients*, 10(4), 427. <https://doi.org/10.3390/nu10040427>
- Yangilar, F. (2015). Effects of green banana flour on the physical, chemical and sensory properties of ice cream. *Food Technology and Biotechnology*, 53(3), 315–323. <https://doi.org/10.17113/ftb.53.03.15.3851>

การออกแบบและสร้างเครื่องทอดกล้วยไส้มะขามกึ่งอัตโนมัติแบบควบคุมอุณหภูมิ DESIGN AND DEVELOPMENT OF BANANA FILLED WITH TAMARIND SEMI-AUTOMATIC FRYING MACHINE WITH TEMPERATURE CONTROL

วันที่รับ: 27 พฤษภาคม 2565

วันที่แก้ไข: 6 กันยายน 2565

วันที่ตอบรับ: 29 กันยายน 2565

ยศวรรธน์ จันทนา^{1*} และ นรตว์ รัตนวัย¹

Yotsawat Jantana^{1*} and Narat Rattanawai¹

¹คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ จังหวัดเพชรบูรณ์ 67000

¹Faculty of Agricultural Technology and industrial Technology,

Phetchabun Rajabhat University, Phetchabun 67000

*Corresponding author e-mail: yotsawat.j@pcru.ac.th



บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการออกแบบและสร้างเครื่องทอดกล้วยไส้มะขามกึ่งอัตโนมัติแบบควบคุมอุณหภูมิเพื่อหาอุณหภูมิและเวลาที่มีความเหมาะสมในกระบวนการทอดกล้วย สำหรับวิสาหกิจชุมชนผู้ผลิตกล้วยไส้มะขามในจังหวัดเพชรบูรณ์ โดยการวัดค่าสีและความกรอบของกล้วยไส้มะขามหลังผ่านกระบวนการทอด ซึ่งทำการออกแบบการทดลองจำนวน 9 ทดลอง และวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมทางสถิติ ผลการวิจัยพบว่า เครื่องทอดกล้วยไส้มะขามกึ่งอัตโนมัติแบบควบคุมอุณหภูมิ ใช้ความร้อนจากฮีตเตอร์ ขนาด 2.8 กิโลวัตต์ ในการให้ความร้อนที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ ชุดใบพัดกวนใช้มอเตอร์ขนาด 25 วัตต์ และชุดยกกระทะใช้มอเตอร์ 60 วัตต์ ผลการทดสอบหาค่าอุณหภูมิที่มีความเหมาะสมในการทอดกล้วย โดยกำหนดอุณหภูมิ 3 ค่า ได้แก่ 140, 150 และ 160 องศาเซลเซียส ผลการวัดค่าสีของกล้วยหลังการทอดที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ต่ำที่สุดในการทดลองทอดกล้วยมีค่าสีสว่างมากกว่า แต่มีน้ำมันที่อุณหภูมิ 150 และ 160 องศาเซลเซียส และผลการวัดค่าความกรอบของกล้วยหลังการทอดที่อุณหภูมิ 140 และ 150 องศาเซลเซียส ใช้เวลามากกว่า ไม่กรอบและนุ่มน้ำมัน ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส ใช้เวลาน้อยและมีความกรอบที่เหมาะสม ไม่มน้ำมัน โดยการทอดกล้วยไส้มะขามที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่มีความเหมาะสมที่มีความสัมพันธ์ต่อค่าความกรอบของกล้วยหลังการทอด ซึ่งสามารถลดของเสียได้มากถึง 20 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับการทอดกล้วยไส้มะขามแบบเดิม

คำสำคัญ: กล้วยไส้มะขาม, กึ่งอัตโนมัติ, ควบคุมอุณหภูมิ



Abstract

This research aimed to design and develop the banana filled with tamarind semi-automatic frying machine with temperature control, and to find the appropriate temperature and time for banana frying process by the Banana Filled with Tamarind Community Enterprise in Phetchabun Province. In this research, the color and the crispness of a banana with tamarind-stuffed after the frying process was measured. The study was designed to have nine experiments and analyzed the data with a statistical program. The results showed that the banana filled with tamarind semi-automatic fryer used 2.8 kW heater to generate heat that could control the temperatures. The stirring blade used a 25 W motor and the pan lifting unit used a 60 W motor as a driving force. There were three ranges of temperature sets: 140, 150, and 160 degrees Celsius. The result of banana crisps color measurement after fried at 140 degrees Celsius, that was the lowest temperature in this experiment, the color was brighter but oily than fried at 150 and 160 degrees Celsius. Moreover, the test on banana crispness after being fried at 140 and 150 degrees Celsius revealed that they took more time, had less crisps, and were oily. However, the test at 160 degrees Celsius consumed less time with more perfect crisps and the product was not oily. In addition, frying banana filled with tamarind at 160 degrees Celsius was the appropriate temperature that was related to the crispness of the banana after frying which also could reduce the waste by up to 20 percent compared to the other two temperature sets.

Keywords: Tamarind Filled Banana, Semi-Automatic, Temperature Control



บทนำ

กล้วยหิน (Saba Banana) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Musa sapientum* Linn หรือ *Musa* (ABB group) “Kluai Hin” จัดอยู่ในวงศ์ Musaceae ปลูกมากในบริเวณภาคใต้ พบครั้งแรกประมาณปี พ.ศ. 2488 ที่ตำบลบาเจาะ อำเภอบ้านนั้งस्ता จังหวัดยะลา โดยจะพบทั่วไปตามธรรมชาติที่เป็นบริเวณหินกรวด (การยางแห่งประเทศไทย, 2560) มีลำต้นสูงประมาณ 3–4 เมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นประมาณ 15 เซนติเมตร ผลขนาดกลางถึงใหญ่มีลักษณะป้อมสั้น

กล้วยดอกบัวตูม ผิวด้านนอกจะมีสีแดงอมม่วง ส่วนด้านในมีสีแดง ผลกล้วยหีนในเครือหนึ่ง ๆ จะมีประมาณ 7–10 หวี โดยในหวีจะมีผลประมาณ 10–15 ผล ลักษณะเปลือกหนา ผลเรียงกันแน่นเป็นระเบียบ ปลายจุกป้าน ช่องว่างระหว่างหวีน้อย เมื่อผลสุกจะมีสีเหลือง กล้วยหีนใช้ประโยชน์ได้เกือบทุกส่วน ซึ่งผลของกล้วยหีนใช้ประกอบอาหารได้หลายชนิด เช่น ผลอ่อนใช้ประกอบอาหารจำพวกแกง ผลแก่ใช้เชื่อม ทอด ปิ้ง ต้ม ตาก ฉาบ โดยเฉพาะกล้วยหีนทอดเป็นที่นิยมเป็นอย่างมาก (ราฮีมา วาแมดีชา และสละมะแอ ดือราแม, 2554, น. 47–59)

จังหวัดเพชรบูรณ์ปลูกกล้วยหีนในพื้นที่ 4 อำเภอ ได้แก่ อำเภอหนองไผ่ อำเภอวังโป่ง อำเภอชนแดน และอำเภอเมืองเพชรบูรณ์ ซึ่งวิสาหกิจชุมชนในจังหวัดเพชรบูรณ์มีความต้องการกล้วยหีนเป็นอย่างมาก เนื่องจากวิสาหกิจชุมชนต่าง ๆ นิยมนำผลของกล้วยหีนมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์กล้วยไส้มะขาม เป็นที่นิยมของผู้บริโภคและนักท่องเที่ยว จนผลิตไม่ทันต่อความต้องการของตลาด (กล้วยหีนแดนใต้ไปได้ดีที่เพชรบูรณ์...แปลงร่างเป็น “กล้วยหีนไส้มะขามหวาน-บัวโฮม”, 2563) จากการลงพื้นที่สัมภาษณ์ประธานกลุ่มวิสาหกิจชุมชน OTOP ไส้เมี่ยงสมุนไพร พบว่าทางกลุ่มมีผลิตภัณฑ์มากมาย ผลิตภัณฑ์ที่มีความโดดเด่นมากที่สุดของกลุ่ม คือ กล้วยไส้มะขาม เพราะมีรสชาติที่อร่อยเป็นที่ต้องการของตลาด ซึ่งทางกลุ่มไม่สามารถที่จะผลิตได้ทันตามความต้องการของตลาดได้ เนื่องจากขาดแรงงานคนที่มีความชำนาญในกระบวนการทอดกล้วย ยังไม่มีเวลามาตรฐานและอุณหภูมิที่เหมาะสมในกระบวนการทอดกล้วยทำให้เกิดของเสียจำนวนมาก น้ำมันกระเด็นโดนผิวหนังแก่ผู้ปฏิบัติงาน และมีความเมื่อยล้าในการปฏิบัติงาน จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทอด มีงานวิจัยของ จงกล สุภารัตน์ และคนอื่น ๆ (2560) ออกแบบและพัฒนาเครื่องทอดหอมเจียวให้มีคุณภาพเพื่อลดการใช้แรงงานและลดต้นทุนในการทอดหอมเจียว สำหรับใช้ในวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม พบว่าเครื่องต้นแบบสามารถทำงานได้ดีที่อุณหภูมิในการทอด 170 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วรอบของใบกว 45 รอบต่อนาที มีความสามารถในการทอดหอมเจียว 3 กิโลกรัม ด้วยเวลา 28.4 นาที สามารถใช้น้ำมันทอดซ้ำได้ถึง 6 ครั้ง โดยที่ปริมาณสารโพลาร์ไม่เกิน 25 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ผลิตหอมเจียวที่มีคุณภาพ และปลอดภัยต่อผู้บริโภค (สุชาสินี พานทอง และอัษฎางค์ พลนอก, 2561, น. 130–139) ปีต่อมา ประสงค์ ศิริวงศ์วิไลชาติ และเพชรรัตน์ วิยะแก้ว (2562) ได้ศึกษาวิธีการทอดต่อต้านเนื้อสัมผัสและประสาทสัมผัสของถั่วทองทอดกรอบ ผลการทดลองพบว่า ระยะเวลาการต้มส่งผลต่ออัตราการขยายตัวและความแข็งของผลิตภัณฑ์ ไพศาล ทองสงค์ และคนอื่น ๆ (2561) ได้ออกแบบและพัฒนาเครื่องทอดหมูฝอยต้นแบบ มีวัตถุประสงค์เพื่อลดการใช้แรงงาน มีคุณภาพ และลดต้นทุนในการทอดหมูฝอยโดยใช้ความร้อนจากเตาแก๊ส LPG เป็นเชื้อเพลิง ผลการทดลองพบว่าเครื่องต้นแบบสามารถทำงานได้ดีที่อุณหภูมิ 121–130 องศาเซลเซียส โดยการทอดแบบน้ำมันที่ผ่านการกรอง มีความ

สามารถในการทอดหมูฝอย 3 กิโลกรัม ด้วยเวลา 16 นาที สามารถใช้น้ำมันทอดซ้ำได้ถึง 13 ครั้ง โดยที่ปริมาณสารโพลาร์ไม่เกิน 25 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ได้หมูฝอยที่มีคุณภาพและปลอดภัยต่อผู้บริโภค (ไพศาล ทองสงค์ และคนอื่น ๆ, 2561, น. 117–131; Goh et al., 2021) และยุทธชัย เกียรติสันเทียะ (2564) ได้ออกแบบและทดสอบตู้อบกล้วยพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดพาสซีฟ ที่มีปริมาณความชื้น 11.28 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีความเหมาะสมในเก็บรักษา อีกทั้งยังสามารถลดเวลากระบวนการอบกล้วยเมื่อเทียบกับวิธีการตากกล้วยแบบเดิม

ดังนั้น คณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดนำงานวิจัยข้างต้นมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบและสร้างเครื่องทอดกล้วยไส้มะขามแบบกึ่งอัตโนมัติที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ เพื่อให้กระบวนการทอดมีคุณภาพ อำนวยความสะดวก มีความปลอดภัยและลดความเมื่อยล้าในการปฏิบัติงาน ลดต้นทุนในการผลิตและเพิ่มผลผลิตให้เพียงพอต่อความต้องการของตลาด เพื่อปรับปรุงและพัฒนายกระดับขีดความสามารถของวิสาหกิจชุมชนผู้ผลิตกล้วยไส้มะขามในจังหวัดเพชรบูรณ์



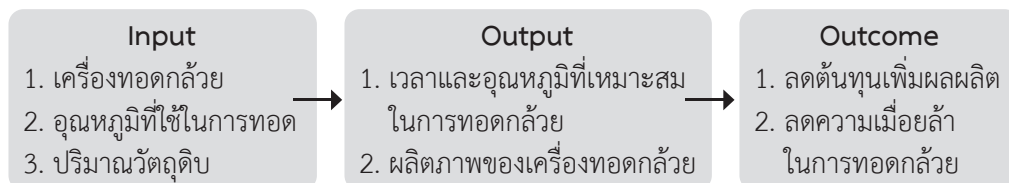
วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องทอดกล้วยไส้มะขามกึ่งอัตโนมัติแบบควบคุมอุณหภูมิ
2. เพื่อหาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในกระบวนการทอดกล้วย



กรอบแนวคิดในการวิจัย

การออกแบบและสร้างเครื่องทอดกล้วยไส้มะขามกึ่งอัตโนมัติแบบควบคุมอุณหภูมิ ได้มุ่งเน้นไปยังความต้องการของตลาด ซึ่งเป็นข้อมูลจากการสัมภาษณ์ประธานกลุ่มวิสาหกิจชุมชน และได้สอบถามถึงกระบวนการทอดเดิมที่ทำให้เกิดปัญหา จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาทำการออกแบบและสร้างเครื่องทอดกล้วยไส้มะขามที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ลดความเมื่อยล้าและมีความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน ซึ่งเครื่องทอดกล้วยที่พัฒนาขึ้นต้องมีผลผลิตที่ดีกว่ากระบวนการทอดแบบเดิม โดยที่ค่าของความกรอบของกล้วยหลังการทอดต้องมีค่าอยู่ระหว่าง $450.00 \pm 15.00 - 500.00 \pm 15.00$ g ตามเงื่อนไขและข้อกำหนดของผู้บริโภค ดังภาพ 1



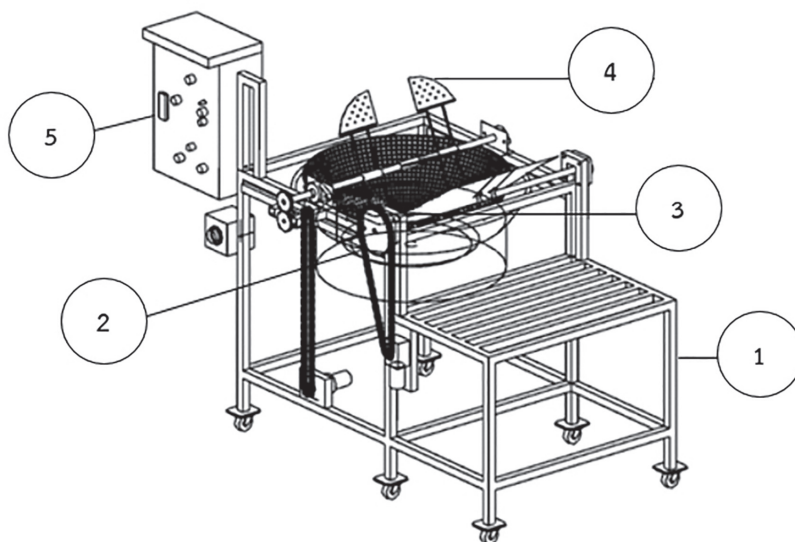
ภาพ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย



วิธีดำเนินการวิจัย

1. ออกแบบและสร้างเครื่องทอดกล้วยไส้มะขามกึ่งอัตโนมัติแบบควบคุมอุณหภูมิ

1.1 การออกแบบเครื่องทอดกล้วยไส้มะขามกึ่งอัตโนมัติแบบควบคุมอุณหภูมิ เลือกใช้สแตนเลส 304 ทั้งหมด เนื่องจากมีความปลอดภัยในการประกอบอาหาร เนื้อสแตนเลส ไม่ทำปฏิกิริยากับสารใด ๆ ในอาหาร (รัฐพล ดุลยะลา, 2563, น. 121) โดยการออกแบบและ ส่วนประกอบของเครื่องทอดกล้วยไส้มะขามกึ่งอัตโนมัติแบบควบคุมอุณหภูมิ มีส่วนประกอบ ดังนี้ หมายเลข 1 โครงสร้างเครื่อง ขนาดความกว้าง 700 มิลลิเมตร ความยาว 1,346 มิลลิเมตร ความสูง 1,261 มิลลิเมตร หมายเลข 2 ชุดกระทะ ขนาดความกว้าง 680 มิลลิเมตร ความสูง 200 มิลลิเมตร ความหนา 2 มิลลิเมตร หมายเลข 3 ชุดตะแกรงยก ขนาดความกว้าง 600 มิลลิเมตร ความสูง 200 มิลลิเมตร สามารถยกขึ้นและลงได้ หมายเลข 4 ชุดใบพัดกวน ขนาดความกว้าง 62 มิลลิเมตร ความหนา 20 มิลลิเมตร หมายเลข 5 ชุดควบคุมอุณหภูมิ ขนาดความกว้าง 100 มิลลิเมตร ความยาว 100 มิลลิเมตร ความสูง 100 มิลลิเมตร ดังภาพ 2



ภาพ 2 แบบเครื่องทอดกล้วยไส้มะขามกึ่งอัตโนมัติแบบควบคุมอุณหภูมิ

1.2 หลักการทำงานของเครื่องทอดกล้วยไส้มะขามกึ่งอัตโนมัติแบบควบคุมอุณหภูมิ ใช้พลังงานไฟฟ้าแบบ 220 โวลต์ ในการควบคุมการทำงานของเครื่อง โดยการให้ความร้อน จากฮีตเตอร์ ขนาด 2.8 กิโลวัตต์ ใช้มอเตอร์ขนาด 25 วัตต์ ทำหน้าที่ส่งกำลังให้ชุดใบพัดกวน และใช้มอเตอร์ขนาด 60 วัตต์ ทำหน้าที่ขับเคลื่อนชุดตะแกรงยกขึ้นและลง

2. วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- 2.1 กล้วยดิบที่ผ่านแล้ว จำนวน 9 กิโลกรัม ความหนาประมาณ 2 มิลลิเมตร
- 2.2 น้ำมันปาล์ม จำนวน 20 ลิตร
- 2.3 เครื่องทอดกล้วยไส้มะขามกึ่งอัตโนมัติแบบควบคุมอุณหภูมิ
- 2.4 เครื่องวัดค่าสี (Color Meter) รุ่น WR10 ยี่ห้อ FRU
- 2.5 เครื่องวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer) รุ่น XT Plus
- 2.6 เครื่องวัดอุณหภูมิ รุ่น TP330
- 2.7 นาฬิกาจับเวลา (Stop Watch) รุ่น ZSD-009

3. กระบวนการในการทอดกล้วยโดยใช้เครื่องทอดกล้วยไส้มะขามแบบควบคุมอุณหภูมิ

การทอดกล้วยเริ่มต้นจากการเปิดเครื่องการใช้งานเครื่องทอดกล้วย เทน้ำมันปาล์มจำนวน 20 ลิตร ลงในชุดกระทะ โดยไม่เปลี่ยนน้ำมันปาล์มที่ใช้ในการทดลอง ทำการทดลองทั้งหมด 9 ครั้ง ครั้งละ 1 กิโลกรัม แบ่งเป็นกำหนดอุณหภูมิ 3 ค่า คือ 140, 150 และ 160 องศาเซลเซียส โดยทำการทดลองทุกช่วงอุณหภูมิ อุณหภูมิละ 3 ครั้ง ทำการปรับตั้งค่าอุณหภูมิที่ต้องการในการทดลอง ใช้เครื่องวัดอุณหภูมิวัดค่าความร้อนของน้ำมันปาล์มจนถึงอุณหภูมิค่าที่ตั้งไว้ เมื่อได้ค่าอุณหภูมิที่ต้องการในการทำการทดลองแล้ว นำกล้วยดิบจำนวน 1 กิโลกรัม เทลงในชุดกระทะ เริ่มทำการจับเวลาและทอดกล้วย ปฏิบัติงานด้วยผู้เชี่ยวชาญทอดกล้วยจนได้กล้วยตามเงื่อนไขและข้อกำหนดของผู้บริโภค หลังจากนั้นยกชุดตะแกรงขึ้นให้พ้นน้ำมันหยุดเวลาพร้อมทั้งบันทึกเวลาที่ใช้ในการทอดกล้วย และทำการสุ่มตัวอย่างในการวัดค่าสีและความกรอบของกล้วยหลังกระบวนการทอด กลุ่มตัวอย่างได้จากการสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling) โดยทำการสุ่ม จำนวน 20 ชิ้นต่อ 1 ครั้งในการทดลอง ทำการวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดค่าสีและค่าความกรอบด้วยเครื่องวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส หาค่าเฉลี่ยเวลาและอุณหภูมิของการทดลองในแต่ละครั้งเพื่อหาค่าเวลามาตรฐานและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทอดกล้วย

4. วิเคราะห์ความถดถอยอย่างง่าย (Simple Regression Analysis)

ได้ทำการวิเคราะห์ความถดถอยอย่างง่าย (Simple Regression Analysis) บนโปรแกรม Minitab เวอร์ชัน 17 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ทำการทดสอบที่อุณหภูมิ 140, 150 และ 160 องศาเซลเซียส โดยทำการทดลองทุกช่วงอุณหภูมิ อุณหภูมิละ 3 ครั้ง เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิมีผลต่อค่าความกรอบของกล้วยหรือไม่ ซึ่งผลการทดสอบดังตาราง 1

ตาราง 1 ผลการทดสอบ

อุณหภูมิ	ค่าความกรอบ
140	316 ± 25.50
140	370 ± 12.45
140	390 ± 13.80
150	420 ± 14.27
150	450 ± 12.38
150	427 ± 13.45
160	472 ± 11.74
160	485 ± 12.72
160	483 ± 11.35

จากผลการทดสอบบนโปรแกรม Minitab เวอร์ชัน 17 ได้ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน ดังตาราง 2

ตาราง 2 วิเคราะห์ความแปรปรวน

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	2	20930	10464.8	18.61	0.003
Linear	6	3375	562.4		
Total	8	24304			

จากตาราง 2 ค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.003 น้อยกว่า 0.05 ซึ่งหมายความว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการทอดกล้วยส่งผลต่อค่าความกรอบ จึงทำการศึกษาอุณหภูมิที่มีความเหมาะสมในการทอดกล้วยที่มีความสัมพันธ์กับค่าความกรอบ

5. การทดสอบสมมติฐาน

การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing) คือ การทดสอบเพื่อยืนยันค่าที่ได้จากการปรับตั้งอุณหภูมิเครื่องทอดกล้วยไส้มะขามกึ่งอัตโนมัติแบบควบคุมอุณหภูมิ และการตั้งเวลาในการทอดเฉลี่ยที่ได้ผลจากการทดลอง โดยการสุ่มจำนวนตัวอย่างและสร้างสถิติทดสอบเกี่ยวกับพารามิเตอร์นั้น ๆ ว่ามีความถูกต้องทางสถิติหรือไม่ ซึ่งจะแบ่งสมมติฐานเป็นสองส่วนหลัก ดังนี้

5.1 สมมติฐานหลัก (Null Hypothesis) แทนด้วย H_0

5.2 สมมติฐานรอง (Alternative Hypothesis) ซึ่งแทนด้วย H_1 หรือ H_a
หากผลการทดสอบสมมติฐานปฏิเสธการยอมรับสมมติฐานหลัก หรือ H_0 การทดสอบสมมติฐานจะต้องยอมรับสมมติฐานรอง หรือ H_1 โดยปริยาย (ปรัชญา พละพันธ์, 2560)

6. วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

การทอดกล้วยไส้มะขามนั้นสามารถนำผลดังกล่าวมาทำการวิเคราะห์เพื่อหาจุดคุ้มทุนและระยะเวลาคืนทุนด้วยอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ 8.00 เปอร์เซ็นต์ต่อปี สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (1) (ไพบูลย์ แยมเพื่อน, 2548) ซึ่งรายละเอียดรายการค่าใช้จ่ายแสดงดังตาราง 3

ตาราง 3 รายการค่าใช้จ่าย

รายการค่าใช้จ่าย	การทอดกล้วยไส้มะขามแบบเดิม	เครื่องทอดกล้วยไส้มะขาม
ราคาอุปกรณ์ & เครื่องจักร (บาท)	5,000	50,000
ค่าใช้จ่ายต่อปี (บาท)	120,000	6,000
มูลค่าซาก	50	3,000
อายุ (ปี)	10	10

$$\begin{aligned} \text{ผลรวมของเงินในอนาคต (F)} = \\ -\text{ราคาเครื่อง} - \text{ค่าใช้จ่ายต่อปี (P/A, i, n)} + \text{มูลค่าซาก (P/F, i, n)} \end{aligned} \quad (1)$$

โดยที่ P = มูลค่าหรือผลรวมของเงินในช่วงเวลาที่กำหนดให้เป็นปัจจุบัน
หรือที่เวลา $t = 0$
 F = มูลค่าหรือผลรวมของเงินในอนาคต
 A = มูลค่าของเงินรายเดือนหรือรายปี ที่มีค่าสม่ำเสมอเท่ากัน
 i = อัตราดอกเบี้ย หรืออัตราผลตอบแทนต่อช่วงเวลา หน่วย เปอร์เซ็นต์ต่อปี
 n = จำนวนช่วงเวลาสำหรับการวิเคราะห์ หน่วย ปี เดือน หรือวัน

$$\begin{aligned} \text{การทอดกล้วยไส้มะขามแบบเดิม} &= -5,000 - 120,000 (6.710) + 50(0.4632) \\ &= -810,176.84 \text{ บาท} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{เครื่องทอดกล้วยไส้มะขาม} &= -50,000 - 6,000 (6.710) + 3,000(0.4632) \\ &= -88,870 \text{ บาท} \end{aligned}$$

จากการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุน พบว่าเครื่องทอดกล้วยไส้มะขามกึ่งอัตโนมัติแบบควบคุมอุณหภูมิ มีความคุ้มค่าในการลงทุนมากกว่าการทอดกล้วยไส้มะขามแบบเดิม เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนที่ต่ำกว่า

ผลการวิจัย

1. ผลการออกแบบและสร้างเครื่องทอดกล้วยไส้มะขามกึ่งอัตโนมัติแบบควบคุมอุณหภูมิ

การทำงานของเครื่องจะเป็นตัวคอนโทรลในการสั่งการทำงานทั้งหมดของเครื่อง โดยมีเซฟตี้เบรกเกอร์ เปิด-ปิดการทำงานของเครื่อง ออกแบบพิเศษให้เหมาะสมต่อการใช้งาน การใช้งานเครื่องให้ยกเซฟตี้เบรกเกอร์ขึ้น โดยจะมีไฟสีแดงขึ้นมาแสดงสถานะเครื่องพร้อมเริ่มใช้งาน ในขั้นตอนแรกเทน้ำมันปาล์มลงกระทะ หลังจากนั้นปรับอุณหภูมิตามที่เรากำหนดไว้ เมื่อปรับอุณหภูมิได้ตามที่ต้องการแล้วจะมีไฟสีส้มแสดงขึ้น คือการเริ่มทำงานของฮีตเตอร์ ในการปรับอุณหภูมิน้ำมันเพื่อทำการทอด พอน้ำมันร้อนได้ที่ตามต้องการจึงเปิดชุดใบพัดกวน โดยกดสวิตช์ให้ไฟสีเหลืองขึ้นและไปที่ตัวหมุนปรับความเร็วใบพัดกวน และมีสวิตช์ขึ้น-ลง เพื่อให้ใบพัดกวนหมุนไปหน้าและหมุนกลับ พอกล้วยสุกพอดีแล้ว กดสวิตช์ขึ้นสีดำ เพื่อยกตะแกรงทอดกล้วย และกดสวิตช์ลงเพื่อให้ตะแกรงลงมายังกระทะที่เดิม พร้อมจะทำการทอดในครั้งต่อไป ดังภาพ 3 เครื่องทอดกล้วยไส้มะขาม ดังภาพ 4



ภาพ 3 ตัวคอนโทรลเครื่อง



ภาพ 4 เครื่องทอดกล้วยไส้มะขามกึ่งอัตโนมัติแบบควบคุมอุณหภูมิ

2. ผลการทดลองทอดกล้วยที่อุณหภูมิแตกต่างกัน

ผลการวัดค่าสีของกล้วยหลังผ่านการทอดจากเครื่องทอดกล้วย โดยปัจจัยที่ใช้ในการทดสอบคืออุณหภูมิที่แตกต่างกัน ได้แก่ 140, 150 และ 160 องศาเซลเซียส กล้วยดิบที่ผ่านแล้ว จำนวน 9 กิโลกรัม ปฏิบัติงานโดยผู้เชี่ยวชาญ ทำการจับเวลาตอนทอดกล้วยลงในชุดกระทะเมื่ออุณหภูมิของน้ำมันปาล์มมีความร้อนตามที่ตั้งไว้ในกาทดลอง ทำการทอดกล้วยจนสีของกล้วยเปลี่ยนเป็นเหลืองทอง โดยสังเกตจากผู้เชี่ยวชาญในการทอดกล้วย (Ayustaningwarno et al., 2021) และทำการหยุดเวลาพร้อมบันทึกเวลาที่ใช้ในการทอดแต่ละครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ยของเวลามาตรฐานในการทอดกล้วย ทำการวัดสีด้วยเครื่องวัดค่าสี ซึ่งผลของการทอดที่อุณหภูมิที่ 140 องศาเซลเซียส สีจะมีความสว่างมากกว่าอุณหภูมิที่ 150 องศาเซลเซียส และ 160 องศาเซลเซียส แต่จะอมน้ำมันมากกว่า ดังตาราง 4

ตาราง 4 ผลการวัดค่าสีของกล้วยหลังการทอด

อุณหภูมิ (°C)	ครั้งที่	เวลา (วินาที)	L*	a*	b*
140	1	538	56.57 ± 3.22	2.87 ± 1.31	21.26 ± 2.95
	2	523	57.26 ± 5.60	3.59 ± 1.25	20.49 ± 5.00
	3	556	49.76 ± 2.00	2.02 ± 0.58	15.93 ± 2.77
ค่าเฉลี่ย		539	54.53 ± 3.61	2.83 ± 1.05	19.23 ± 3.57
150	1	465	55.35 ± 5.20	2.05 ± 0.95	19.12 ± 8.00
	2	461	53.22 ± 2.50	2.66 ± 1.13	21.06 ± 3.67
	3	453	52.50 ± 2.16	4.12 ± 0.62	22.27 ± 3.67
ค่าเฉลี่ย		460	53.69 ± 3.29	2.94 ± 0.90	20.82 ± 5.11
160	1	448	47.11 ± 1.65	4.73 ± 1.42	27.56 ± 4.17
	2	460	48.58 ± 3.98	3.22 ± 1.47	22.12 ± 4.47
	3	433	50.53 ± 4.64	3.51 ± 1.05	20.61 ± 1.62
ค่าเฉลี่ย		447	48.74 ± 3.42	3.82 ± 1.31	23.43 ± 3.42

หมายเหตุ: L* คือ ใช้กำหนดค่าความสว่าง (lightness) ได้แก่ L = 0 สีที่ได้จะมีมืดเป็นสีดำ,

L = 100 สีที่ได้จะสว่างเป็นสีขาว

a* คือ ใช้กำหนดสีแดงหรือสีเขียว ได้แก่ a เป็น + วัดภูมิสีออกแดง,

a เป็น - วัดภูมิสีออกเขียว

b* คือ ใช้กำหนดสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน ได้แก่ b เป็น + วัดภูมิสีออกเหลือง,

b เป็น - วัดภูมิสีออกน้ำเงิน

จากตาราง 4 ผลการวัดค่าสีของกล้วยหลังการทอด พบว่ามีค่า L^* ลดลง จากอุณหภูมิที่ 140 องศาเซลเซียส ไปอุณหภูมิที่ 150 องศาเซลเซียส ลดลง 0.84 และอุณหภูมิที่ 150 องศาเซลเซียส ไปอุณหภูมิที่ 160 องศาเซลเซียส ลดลง 4.95 อุณหภูมิที่น้อยสีจะสว่างกว่าอุณหภูมิที่มาก กล้วยมีค่า a^* เพิ่มขึ้น จากอุณหภูมิที่ 140 องศาเซลเซียส ไปอุณหภูมิที่ 150 องศาเซลเซียส เพิ่มขึ้น 0.11 และอุณหภูมิที่ 150 องศาเซลเซียส ไปอุณหภูมิที่ 160 องศาเซลเซียส เพิ่มขึ้น 0.88 และกล้วยมีค่า b^* เพิ่มขึ้น จากอุณหภูมิที่ 140 องศาเซลเซียส ไปอุณหภูมิที่ 150 องศาเซลเซียส เพิ่มขึ้น 1.59 และอุณหภูมิที่ 150 องศาเซลเซียส ไปอุณหภูมิที่ 160 องศาเซลเซียส เพิ่มขึ้น 2.61 แสดงว่าอุณหภูมิที่ 140 องศาเซลเซียส ที่ต่ำที่สุดในการทอดกล้วยมีค่าสีที่สว่างมากกว่าอุณหภูมิที่ 160 องศาเซลเซียส แต่อ่อนนุ่มนวล ดังภาพ 5



อุณหภูมิที่ 140°C



อุณหภูมิที่ 150°C



อุณหภูมิที่ 160°C

ภาพ 5 กล้วยหลังผ่านกระบวนการทอดที่อุณหภูมิแตกต่างกัน

ผลการวัดค่าความกรอบของกล้วยหลังการทอด ทำการวัดค่าความกรอบด้วยเครื่องวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส หาค่าเฉลี่ยเวลาของการทดลองในแต่ละครั้งเพื่อหาค่าเวลามาตรฐานและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทอดกล้วย ทำการวัดสีด้วยเครื่องวัดค่าสี โดยที่วัดค่าความกรอบของกล้วยหลังการทอดต้องมีค่าอยู่ระหว่าง 450.00 ± 15.00 – 500.00 ± 15.00 g ตามเงื่อนไขและข้อกำหนดของผู้บริโภค ดังตาราง 5

ตาราง 5 ผลการวัดค่าความกรอบกล้วยหลังการทอด

อุณหภูมิ (°C)	ครั้งที่	เวลา (วินาที)	ความแข็ง (g)
140	1	538	310.00 ± 26.55
	2	523	408.35 ± 10.65
	3	556	423.36 ± 13.70
ค่าเฉลี่ย		539	380.57 ± 16.93
150	1	465	403.37 ± 14.28
	2	461	417.50 ± 11.39
	3	453	443.54 ± 13.64
ค่าเฉลี่ย		460	421.47 ± 13.05
160	1	448	462.94 ± 10.03
	2	460	490.93 ± 10.80
	3	433	480.98 ± 13.31
ค่าเฉลี่ย		447	478.28 ± 11.38

จากตาราง 5 ผลการวัดค่าความกรอบของกล้วยหลังการทอด พบว่ากล้วยมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิที่ 140 องศาเซลเซียส ไปอุณหภูมิที่ 150 องศาเซลเซียส เพิ่มขึ้น 40.90 และอุณหภูมิที่ 150 องศาเซลเซียส ไปอุณหภูมิที่ 160 องศาเซลเซียส เพิ่มขึ้น 56.81 แสดงว่าอุณหภูมิที่ 140 องศาเซลเซียส ใช้เวลามากและไม่กรอบ อมน้ำมัน ส่วนอุณหภูมิที่ 160 องศาเซลเซียส ใช้เวลาน้อยและมีความกรอบที่ 478.28 ± 11.38 อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ 450.00 ± 15.00 – 500.00 ± 15.00 g และไม่อมน้ำมัน

ผลของการทดสอบการใช้เครื่องทอดกล้วยเมื่อเทียบกับกระบวนการทอดกล้วยแบบเดิม ทำการปรับตั้งค่าควบคุมอุณหภูมิที่ 160 องศาเซลเซียส จับเวลา 447 วินาที ในกระบวนการทอด พบว่าเครื่องทอดกล้วยสามารถทอดกล้วยได้โดยไม่เกิดของเสียเนื่องจากการปรับตั้งค่าอุณหภูมิและเวลาในการทอดที่ได้จากการทดลอง และสามารถลดเวลาใน 1 รอบของการทดลองลง 11 นาที 47 วินาที โดยใช้กล้วยดิบที่ผ่านแล้ว 9 กิโลกรัม ดังตาราง 6

ตาราง 6 เปรียบเทียบกระบวนการทอดกล้วยแบบเดิมกับเครื่องทอดกล้วย

	ทอดกล้วยแบบเดิม	เครื่องทอดกล้วย	ความแตกต่าง
เวลาที่ใช้ (นาที)	36:13	24:26	11:47
ผลผลิตที่ได้ (กิโลกรัม)	7.2	9	20 เปอร์เซ็นต์

3. ผลของการทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing) คือ การทดสอบเพื่อยืนยันผลที่ได้จากการทดลอง ซึ่งเมื่อทำการทอดกล้วยโดยใช้เครื่องทอดกล้วยไส้มะขามกึ่งอัตโนมัติแบบควบคุมอุณหภูมิ ทำการปรับตั้งค่าควบคุมอุณหภูมิที่ 160 องศาเซลเซียส เริ่มใส่กล้วยที่ผ่านแล้วลงกระทะที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส จับเวลา 447 วินาที โดยการสุ่มจำนวนตัวอย่างและตั้งค่าสมมติฐานแบบสองหาง (Two Tail Test, Not equal) ตั้งค่าเป้าหมาย (ค่าความกรอบ) ไว้ที่ 475.00 ± 15.00 g การทอด 1 กิโลกรัมต่อ 1 ครั้งในการทดสอบ

ทำการทดสอบโดยทำการทดลองแบบ 1-Sample t-test ด้วยการทดสอบสมมติฐานจากการสุ่มได้จำนวน Sample Size เท่ากับ 13 ครั้ง ครั้งละ 1 กิโลกรัม ซึ่งการทอดกล้วยที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส จะทำให้กล้วยมีความกรอบใกล้เคียง 475.00 ± 15.00 g อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ทดสอบบนโปรแกรม Minitab เวอร์ชัน 17 ได้ค่า P-Value เท่ากับ 0.435 มีค่ามากกว่า 0.05 ซึ่งสรุปได้ว่าข้อมูลที่ได้จากการทดสอบชุดนี้ไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ ดังตาราง 7

ตาราง 7 ผลการทดสอบสมมติฐาน

Test	
Null hypothesis	$H_0: \mu = 475$
Alternative hypothesis	$H_1: \mu \neq 475$
T-Value	0.81
P-Value	0.435

4. ถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่วิสาหกิจชุมชน

คณะผู้วิจัยได้ลงพื้นที่ถ่ายทอดเทคโนโลยีเครื่องทอดกล้วยไส้มะขามกึ่งอัตโนมัติแบบควบคุมอุณหภูมิ ที่วิสาหกิจชุมชน OTOP ไส้เมี่ยงสมุนไพร อำเภอเมืองเพชรบูรณ์ จังหวัดเพชรบูรณ์ วันที่ 17 ตุลาคม พ.ศ. 2564 พร้อมทั้งอธิบายระบบการทำงานของเครื่องทอดกล้วยไส้มะขามกึ่งอัตโนมัติแบบควบคุมอุณหภูมิ โดยให้ความรู้เกี่ยวกับการใช้งาน ขั้นตอน

ในการปฏิบัติงานและความปลอดภัยในการใช้งานเครื่องทอดกล้วยไส้มะขามกึ่งอัตโนมัติแบบควบคุมอุณหภูมิ และประเมินความพึงพอใจในการใช้งานของผู้ปฏิบัติงาน ดังภาพ 6



ภาพ 6 ถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่วิสาหกิจชุมชน



อภิปรายผลการวิจัย

การออกแบบและสร้างเครื่องทอดกล้วยไส้มะขามกึ่งอัตโนมัติแบบควบคุมอุณหภูมิสามารถใช้ในการทอดกล้วยไส้มะขามได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากคณะผู้วิจัยได้ลงพื้นที่เก็บข้อมูล ปัญหา และความต้องการของกลุ่มวิสาหกิจชุมชน OTOP ไส้เมี่ยงสมุนไพร แล้วจึงนำข้อมูลที่ได้มาออกแบบและสร้างเครื่องทอดกล้วยไส้มะขามกึ่งอัตโนมัติแบบควบคุมอุณหภูมิที่สามารถใช้งานได้จริงตรงความต้องการของผู้ใช้งาน คณะผู้วิจัยได้ศึกษางานวิจัยการออกแบบและพัฒนาเครื่องทอดหอมเจียว (จงกล สุภารัตน์ และคนอื่น ๆ, 2560, น. 51–57) การทอดหอมเจียวนั้นใช้แก๊สทุ้มในการทอดซึ่งแตกต่างจากเครื่องทอดกล้วยไส้มะขามกึ่งอัตโนมัติแบบควบคุมอุณหภูมิที่ใช้พลังงานไฟฟ้า จึงสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ตามความต้องการที่แม่นยำกว่า ซึ่งเมื่อเครื่องเสร็จสมบูรณ์ได้นำเครื่องไปทดสอบจริงกับผู้ใช้งาน ได้รับคำแนะนำในการปรับปรุงเล็กน้อยในเรื่องของชุดใบพัดกวน ทางคณะผู้วิจัยจึงกลับมาพัฒนาปรับปรุงตามคำแนะนำ ซึ่งหลังจากพัฒนาเสร็จได้นำเครื่องไปทดสอบยังผู้ใช้งานอีกครั้ง พบว่าเครื่องทอดกล้วยไส้มะขามกึ่งอัตโนมัติแบบควบคุมอุณหภูมิ มีความสะดวกสบายในการใช้งาน ใช้งานง่าย สามารถตั้งอุณหภูมิตามที่ต้องการได้เนื่องจากในปัจจุบันวิสาหกิจชุมชนยังใช้เตาผืนในการทอดกล้วยไส้มะขามจึงไม่สามารถควบคุมไฟได้ ผู้ใช้งานมีความพอใจในการใช้งานเครื่องเป็นอย่างมาก

ผลของการวัดค่าสีและค่าความกรอบของกล้วยหลังจากกระบวนการทอดกล้วยด้วยเครื่องทอดกล้วยไส้มะขาม พบว่าค่าสีของกล้วยหลังจากทอดอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ทุกอุณหภูมิในการทอด เนื่องจากสีของกล้วยมาจากหลายปัจจัย เช่น น้ำมันที่ใช้ในการทอด น้ำมันเก่า เพราะความเป็นจริงแล้วน้ำมันในการทอดจะเติมน้ำมันใหม่ลงไปน้ำมันทอดที่ใช้แล้วซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของสุชาสินี พานทอง และอัมภาวศ์ พลนอก (2561, น. 130–139)

ผลจากการวัดค่าสีที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส จะมีค่าความสว่างมากกว่าที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส และ 160 องศาเซลเซียส ตามลำดับ แต่อาจเป็นผลมาจากการทอดที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นการทอดน้ำมันใหม่ในครั้งแรกซึ่งอาจเป็นปัจจัยร่วมที่ส่งผลต่อค่าสีของกล้วยหลังการทอด ผลจากการวัดค่าความกรอบที่ 140 องศาเซลเซียส และ 150 องศาเซลเซียส ค่าความกรอบไม่ได้ตามเงื่อนไขและข้อกำหนดของผู้บริโภค ซึ่งที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส มีค่าความกรอบเฉลี่ย 478.28 ± 11.38 g เป็นค่าที่ยอมรับได้ เพราะช่วงค่าความกรอบที่เหมาะสมอยู่ช่วง 450.00 ± 15.00 – 500.00 ± 15.00 g ตรงกับความต้องการของกลุ่มวิสาหกิจชุมชน เพื่อที่จะนำกล้วยที่ผ่านการทอดทำเป็นผลิตภัณฑ์กล้วยไส้มะขามในกระบวนการถัดไป

ผลการวิเคราะห์เพื่อหาอุณหภูมิที่มีความเหมาะสมในการเครื่องทอดกล้วยไส้มะขามกึ่งอัตโนมัติแบบควบคุมอุณหภูมิ สามารถลดของเสียได้ 20 เปอร์เซ็นต์ และลดเวลาใน 1 รอบการทำงานได้ประมาณ 1.5 เท่า ซึ่งการใช้อุณหภูมิในการทอดที่ 160 องศาเซลเซียส มีการทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลองโดยใช้ 1-Sample t-test ด้วยการทดสอบสมมติฐานจากการสุ่มได้จำนวน Sample Size ได้ค่า P-Value เท่ากับ 0.435 มีค่ามากกว่า 0.05 สรุปได้ว่าข้อมูลที่ได้จากการทดสอบชุดนี้ไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ ซึ่งการทอดกล้วยไส้มะขามแบบดั้งเดิมไม่สามารถควบคุมไฟได้ทำให้มีของเสีย เนื่องจากการทอดที่อุณหภูมิที่สูงเกินไปทำให้กล้วยไส้มะขามไหม้หรือดำเกินไปส่งผลให้กล้วยอมน้ำมันและไม่กรอบ จึงไม่สามารถนำมาใช้ได้ ซึ่งเครื่องทอดกล้วยไส้มะขามกึ่งอัตโนมัติแบบควบคุมอุณหภูมิมีความปลอดภัยในการใช้งาน ใช้แรงงานคนในการควบคุมในการทอดน้อยลง สีและความกรอบของกล้วยไส้มะขามตรงตามความต้องการของตลาด



สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

จากการทดสอบการหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการใช้งานเครื่องทอดกล้วยไส้มะขามกึ่งอัตโนมัติแบบควบคุมอุณหภูมิ คือ สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน พบว่าผลการทดสอบโดยกำหนดอุณหภูมิ 3 ค่า ได้แก่ 140, 150 และ 160 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่กำหนดแต่ละค่าทำการทดสอบ 3 ครั้ง โดยใช้กล้วยหินที่ผ่านแล้วจำนวน 1 กิโลกรัมต่อครั้ง และใช้น้ำมันปาล์มใหม่ จำนวน 20 ลิตร พบว่าอุณหภูมิที่ 160 องศาเซลเซียส มีความเหมาะสมในการทอดมากที่สุด เพราะมีค่าความกรอบที่อยู่ในช่วง 450.00 ± 15.00 – 500.00 ± 15.00 g ตรงกับความต้องการของผู้บริโภค ซึ่งผลการวัดค่าสีของกล้วยหลังการทอดที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่ต่ำที่สุดในการทดลองทอดกล้วยมีค่าสีที่สว่างมากกว่าอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส แต่อมน้ำมันมากกว่า ค่าสีที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส มีค่าสีที่สว่างมากกว่าอุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส อมน้ำมันน้อยกว่าอุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส

ซึ่งอุณหภูมิที่ 160 องศาเซลเซียส กล้วยไม่ม่น้ำมัน และผลการวัดค่าความกรอบของกล้วย หลังการทอดที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ใช้เวลามากกว่า ไม่กรอบและม่น้ำมัน ส่วนอุณหภูมิที่ 160 องศาเซลเซียส ใช้เวลาน้อยและมีความกรอบที่เหมาะสม ไม่ม่น้ำมัน การทอดที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส สามารถลดของเสียได้ 20 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับการทอดกล้วยไส้มะขามแบบเดิมและผลิตผลที่ได้ยังตรงความต้องการของตลาด ซึ่งเครื่องทอดกล้วยไส้มะขามสามารถทอดผลิตภัณฑ์ได้อย่างหลากหลาย เช่น ทอดมัน เผือก ข้าวเกรียบ เป็นต้น ซึ่งในประเทศไทยมีผลิตภัณฑ์มากมายที่เกิดจากกระบวนการทอดในธุรกิจขนาดกลางและขนาดเล็ก สามารถนำเครื่องทอดกล้วยไส้มะขามไปใช้ในกระบวนการทอดเพื่อลดต้นทุนและเพิ่มผลผลิตได้

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

1. เครื่องทอดกล้วยไส้มะขามกึ่งอัตโนมัติแบบควบคุมอุณหภูมิ ยังมีข้อจำกัดในการใช้งานด้านความสามารถในการทอดกล้วยไส้มะขามได้สูงสุดเพียงครั้งละ 3 กิโลกรัมต่อครั้ง เท่านั้น
2. เครื่องทอดกล้วยไส้มะขามกึ่งอัตโนมัติแบบควบคุมอุณหภูมิ ใช้พลังงานไฟฟ้าได้เพียงชนิดเดียว

ข้อเสนอแนะการวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรออกแบบกระทะให้มีขนาดใหญ่มากขึ้นเพื่อรองรับปริมาณในการทอดกล้วยไส้มะขามได้ต่อครั้งมากกว่าเครื่องดังกล่าว
2. ควรทำการศึกษาปัจจัยของน้ำมันในการทอดซ้ำต่อการเกิดสารโพลาร์
3. การใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการใช้ไฟฟ้า
4. ออกแบบและพัฒนาเครื่องที่สามารถผ่านและทอดกล้วยได้



กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ที่ให้การสนับสนุนทุนในการวิจัย และขอขอบคุณกลุ่มวิสาหกิจชุมชน OTOP ไส้เมี่ยงสมุนไพรร ที่ได้ให้ความร่วมมือในการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้



เอกสารอ้างอิง

- กล้วยหินแดนใต้ไปได้ดีที่เพชรบูรณ์...แปลงร่างเป็น “กล้วยหินไส้มะขามหวาน-บัวโฮม”. (2563, 7 กรกฎาคม). ฟาร์ม แชนเนล. <https://farmchannelthailand.com/main/กล้วยหินแดนใต้ไปได้ดีที่/>
- การยางแห่งประเทศไทย. (2560, 7 ธันวาคม). *อาชีพเสริมเพิ่มรายได้ให้สวนยาง*. การจัดการองค์ความรู้ กยท. <https://km.raot.co.th/km-knowledge/detail/378>

- จกมล สุภารัตน์, ขวลิต อินปัญญา, และศิริชัย ต่อสกุล. (2560). การออกแบบและพัฒนาเครื่องทอดหอมเจียว. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชภัฏธนบุรี*, 15(2), 51–57.
- ประสงค์ ศิริวงศ์วิไลชาติ และเพชรรัตน์ วียะแก้ว. (2562). ผลของการเตรียมก่อนทอดและวิธีการทอดต่อสมบัติด้านเนื้อสัมผัสและประสาทสัมผัสของถั่วทองทอดกรอบ. *วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)*, 11(21), 141–152.
- ปรัชญา พละพันธ์. (2560). *คู่มือวิเคราะห์และจัดการข้อมูลสถิติด้วย Minitab ฉบับมืออาชีพ*. ไอตซี พรีเมอร์.
- ไพบูลย์ แยมเผื่อน. (2548). *เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม*. ซีเอ็ดดูเคชั่น.
- ไพศาล ทองสงค์, สญชัย เข้มเจริญ, และศิริชัย ต่อสกุล. (2561). การออกแบบและพัฒนาเครื่องสกัดน้ำมันหมูฝอยต้นแบบสำหรับ OTOP กลุ่มสตรีอาสาพัฒนาบ้านหนองหลวงเพื่อการส่งออกสู่ประชาคมอาเซียน. *วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต*, 8(3), 89–100.
- ยุทธชัย เกี้ยวสันเทียะ. (2564). การออกแบบและทดสอบตู้อบกล้วยพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดพาสซีฟ. *วารสารมหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล*, 34(1), 60–74.
- รัฐพล ดุลยะลา. (2563). การออกแบบและพัฒนาเครื่องตัดกระยาสารทแบบกึ่งอัตโนมัติ. *วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์*, 15(2), 117–131.
- ราธิมา วาแมตชีชา และสะมะแอ ดือราแม. (2554). การเพิ่มจำนวนกล้วยหินโดยวิธีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ. *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์*, 3(3), 47–59.
- สุชาสนี พานทอง และอัษฎางค์ พลนอก. (2561). การศึกษาวิธีการทอดอาหารของร้านขายกล้วยทอดและการเกิดสารโพลาร์. *วารสารเภสัชศาสตร์อีสาน*, 14(3), 130–139.
- Ayustaningwarno, F., Fogliano, V., Verkerk, R., & Dekker, M. (2021). Surface color distribution analysis by computer vision compared to sensory testing: Vacuum fried fruits as a case study. *Food Research International*, 143, 110230. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110230>
- Goh, K. M., Wong, Y. H., Tan, C. P., & Nyam, K. L. (2021). A Summary of 2-, 3-MCDP esters and glycidyl ester occurrence during frying and baking processes. *Current Research in Food Science*, 4, 460–469. <https://doi.org/10.1016/j.crf.2021.07.002>



ACADEMIC JOURNAL
UTTARADIT RAJABHAT
UNIVERSITY

การพัฒนาต้นแบบเทคโนโลยีการลดความชื้นผลผลิตทางการเกษตร
และวัสดุชีวภาพมูลค่าสูงด้วยอากาศร้อนที่เหมาะสม
โดยใช้แหล่งพลังงานความร้อนร่วม

DEVELOPMENT OF A PROTOTYPE DEHUMIDIFICATION TECHNOLOGY
PROTOTYPE FOR AGRICULTURAL PRODUCTS AND HIGH-VALUE
BIOLOGICAL MATERIALS WITH APPROPRIATE HOT AIR
BY USING COMBINED HEAT SOURCES

วันที่รับ: 4 มิถุนายน 2565

วันที่แก้ไข: 11 พฤศจิกายน 2565

วันที่ตอบรับ: 16 พฤศจิกายน 2565

วศินวิโรตม์ เนติศักดิ์^{1*}, พงษ์ศักดิ์ อยู่มัน¹,

จักรกรฤษณ์ อ้นยะลา¹, ปฐมพงศ์ พรหมมาบุญ¹,

ธิติมา คุณยศยิ่ง¹ และ นิชา นภาพร จงกะสิกิจ¹

Wasiviroth Netisak^{1*}, Pongsak Youmune¹,

Jakkrit Hanyala¹, Pathompong Phommaboon¹,

Thitima Khunyotying¹ and Nicha Napaporn Jongkasikit¹

¹คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง จังหวัดลำปาง 52100

¹Industrial Technology Faculty, Lampang Rajabhat University, Lampang 52100

*Corresponding author e-mail: wasiviroth@gmail.com



บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อพัฒนาต้นแบบเทคโนโลยีการลดความชื้นผลผลิตทางการเกษตรและวัสดุชีวภาพมูลค่าสูงด้วยอากาศร้อนที่เหมาะสมโดยใช้แหล่งพลังงานความร้อนร่วมที่เหมาะสมกับพื้นที่ และเพื่อหาแนวทางการควบคุมปัจจัยการเพิ่มอัตราการลดความชื้นและลดปัจจัยเสี่ยงที่ส่งผลเสียต่อคุณภาพที่ไม่เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์แห้ง จากการทดลองอบแห้งเมล็ดแมคคาเดเมียปริมาณ 400 กิโลกรัม ที่มีความชื้นเริ่มต้นประมาณร้อยละ 16-17 มาตรฐานแห้ง ได้เป็นผลิตภัณฑ์อบแห้งที่มีความชื้นตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อบแห้งด้วยเทคโนโลยีโรงเรือนอบแห้งใช้หลักการเรือนกระจกและเตาชีวมวล ใช้เชื้อเพลิงจากเศษกะลาแมคคาเดเมีย โดยใช้หลักการ Hot Air Tube พลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จ่ายให้กับขดลวดสร้างความร้อนขนาด 1 Kwh. เพื่อเพิ่มอุณหภูมิร่วมด้วยซึ่งหลักการทำงาน คือ การแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างท่อเหล็กกับลมร้อน พบว่าการใช้เทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นมีสภาวะการทำงานที่เหมาะสมเมื่ออุณหภูมิภายในห้องอบเท่ากับ 70 องศาเซลเซียส

สามารถลดเวลาในการอบแห้งจากเดิม 72 ถึง 96 ชั่วโมง เหลือเพียง 48 ชั่วโมง ประสิทธิภาพของระบบอบแห้งเพิ่มขึ้นราวร้อยละ 50 โดยระยะเวลาต้นทุนของการใช้เทคโนโลยีอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเทคโนโลยีความร้อนจากเชื้อเพลิงชีวมวลต้นแบบของงานวิจัยนี้มีค่าประมาณ 1.37 ปี ในส่วนของแนวทางการควบคุมปัจจัย พบว่าปัจจัยด้านความสว่างมีผลต่อคุณสมบัติผลิตภัณฑ์ ดังนั้น จึงต้องจำกัดค่าความสว่างอยู่ที่ 73.63 ± 0.72 ซึ่งทำให้เมล็ดแมคคาเดเมียมีค่าสี (a^*) เป็น -2.28 ± 0.35 โดยเมล็ดแมคคาเดเมียที่ผ่านการลดความชื้นทุกเงื่อนไขการทดลอง มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า 25 โคโลนีต่อตัวอย่างอาหาร 1 กรัม (1:10 dilution factor) ผลการตรวจสอบไม่พบยีสต์และรา และสำหรับการวิเคราะห์การปนเปื้อนของอะฟลาทอกซินในผลิตภัณฑ์ แมคคาเดเมียที่ผ่านการลดความชื้นหลังจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 เดือน ตรวจไม่พบสารพิษอะฟลาทอกซินชนิด Aflatoxin B1, Aflatoxin B2, Aflatoxin G1 และ Aflatoxin G2 ทำให้ผลิตภัณฑ์แมคคาเดเมียอบแห้งมีคุณสมบัติเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนเมล็ดแมคคาเดเมีย มพช. 1145/2549

คำสำคัญ: เทคโนโลยีอบแห้ง, พลังงานแสงอาทิตย์, ความร้อนร่วม, พลังงานทดแทน, ชีวมวล, อบแห้งแมคคาเดเมีย



Abstract

The objectives of this research were to develop a moisture reduction prototype for agricultural produces and biomass-based material combined with heat technology suitable for the area to increase the production rate with a solar dryer, and to reduce the risk factors affecting the quality of dehydrated products caused by moisture accumulation during cloudy periods or nights. From the drying experiments of 400 kg of macadamia seeds with an initial moisture content of approximately 16–17% wb until, it became a dehydrated good with a moisture content according to the standard of drying products. Drying house with greenhouse principal technology combined with a biomass stove using fuel from macadamia shells was used with hot air tube principle by using energy from the solar cell power generation system which supplied to the 1 Kwh. and heat generating coil to increase the temperature as well. It was found that the working conditions were suitable when the temperature inside

the incubator was 70 and the drying time was reduced from 72 to 96 hours to only 48 hours. System performance increases about 50%. The payback period of solar drying technology combined with a prototype of biomass-based heat technology in this study was about 1.37 years. Furthermore, the lightness solution of the macadamia was 73.63 ± 0.72 in drying process was most effective for product quality. The result of color measuring of the macadamia passed moist reduction process found that a^* is -2.28 ± 0.35 . All the macadamia which passed the moist reduction process accordingly to the experimental condition contained microbes less than 25 colonies per 1 gram of sample (1:10 dilution factor). In addition to the test, the sample does'nt infect with mold or yeast. In terms of the containment of the alpha-toxin, the sample was kept for a month at 35 degrees Celsius and did not contaminate the Aflatoxin B1, Aflatoxin B2, Aflatoxin G1, and Aflatoxin G2. Therefore, the macadamia product met the qualifications of the Community Macadamia Product Standard of 2549 [1145/2549]

Keywords: Drying Technology, Solar Energy, Combined Heat, Renewable Energy, Biomass, Macadamia Drying



บทนำ

จากปัญหาภาคการเกษตรของภาคเหนือ พบว่าเศรษฐกิจภาคมีขนาดเล็กโดยมีมูลค่าผลิตภัณฑ์ระดับภาค (GRP) คิดเป็นร้อยละ 7.8 เมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ และมีการขยายตัวต่ำกว่าประเทศร้อยละ 1.8 เหตุจากพื้นที่เศรษฐกิจค่อนข้างกระจุกตัวในจังหวัดใหญ่ (มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ภาควิชาพัฒนาเศรษฐกิจการเกษตร, ม.ป.ป.) ซึ่งภาคการเกษตรในพื้นที่ภาคเหนือตอนบน ได้แก่ พืชผัก ไม้ผล และสมุนไพร เป็นต้น เกษตรกรมีการปรับตัวเป็นเกษตรกรอินทรีย์มากขึ้นแต่ยังเป็นอินทรีย์วิถีพื้นบ้านอยู่ โดยมีแนวโน้มเป็นเชิงพาณิชย์เพิ่มขึ้น แต่ปัจจุบันมีการแปรรูปสินค้าเกษตรขั้นต้นต่ำ ประกอบกับภาคอุตสาหกรรมที่มีอยู่ร้อยละ 19.2 ยังมีบทบาทน้อยเมื่อเทียบกับระดับประเทศ โครงสร้างสัดส่วนสูงสุด คือ ผลิตภัณฑ์อาหาร คิดเป็นร้อยละ 49.7 (สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดลำปาง, 2563)

สำหรับผลิตภัณฑ์เกษตรมูลค่าสูงที่กล่าวถึงในงานวิจัยนี้ ได้แก่ เมล็ดแมคคาเดเมีย โดยประเทศไทยมีการนำเข้าแมคคาเดเมียทั้งเปลือกในปี 2562 ถึง 1,404.82 ตัน ในขณะที่ในปี 2558 มีการนำเข้าเพียง 5 ตัน (กรมวิชาการเกษตร สถาบันวิจัยพืชสวน, 2564) ซึ่งจะเห็น

ได้ว่า ขนาดตลาดความต้องการของแมคคาเดเมียในประเทศไทยมีปริมาณเพิ่มขึ้นมาก ประกอบกับการดำเนินงานวิจัยและการบริการวิชาการของคณะวิจัยที่ผ่านมา พบว่าเกษตรกรผู้ปลูกแมคคาเดเมียในพื้นที่สูงมีปัญหาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไม่เป็นไปตามมาตรฐาน โดยพื้นที่วิจัยในงานวิจัยนี้คือบ้านแม่แจ่ม ตำบลแจ้ซ้อน อำเภอเมืองปาน จังหวัดลำปาง เนื่องจากสภาพภูมิประเทศไม่เอื้อต่อการลดความชื้นของผลผลิตทางการเกษตร เนื่องจากมีร้อยละความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อมสูง โดยเฉพาะพื้นที่วิจัยเป็นเขตป่าชั้น ส่งผลให้อากาศโดยเฉลี่ยมีอุณหภูมิต่ำ และมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศสูงกว่าพื้นที่ราบ ส่งผลทำให้การแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรในกระบวนการลดความชื้นขั้นต้นก่อนการจำหน่ายไม่มีคุณภาพเท่าที่ควร (สุรัชย์ เหมหิรัญ และประชา บุญยานิชกุล, 2560, น. 60–68) จึงทำให้ราคาขายไม่สูงเท่าที่ควร ซึ่งมีความจำเป็นในการนำเทคโนโลยีที่เหมาะสมมาใช้ในกระบวนการลดความชื้นของผลผลิตในพื้นที่อย่างเร่งด่วน (สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง, 2562)

ดังนั้น คณะวิจัยจึงมีความสนใจและเกิดแนวความคิดในการแก้ไขปัญหาการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรและวัสดุชีวภาพมูลค่าสูง ในขั้นตอนการลดความชื้นด้วยอากาศร้อนที่ผลิตขึ้นจากแหล่งพลังงานทดแทนในพื้นที่ขั้นต้น การใช้กระบวนการอบแห้งที่เหมาะสมจึงเป็นสิ่งจำเป็นในการยืดระยะเวลาในการเก็บรักษา (อณัฐธิชา จันทะพันธ์ และคนอื่น ๆ, 2564, น. 53–64) เพื่อเป็นการพัฒนาประสิทธิภาพเทคโนโลยีลดความชื้นวัสดุทางการเกษตรชีวภาพคุณภาพต้นแบบ สำหรับการสังเคราะห์ห้องค์ความรู้และพัฒนาแนวทางการใช้เทคโนโลยีการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรที่สำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศ และผลผลิตทางการเกษตรที่เกิดขึ้นใหม่ของภาคเหนือตอนบนให้เหมาะสมและมีความคุ้มค่ามากที่สุด ทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้ตรงตามมาตรฐานและราคาขายที่สูงขึ้น จนนำไปสู่การเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันให้กับประเทศในระยะยาวต่อไป และด้วยระบบการอบแห้งที่ใช้อยู่ในปัจจุบันนั้นเป็นวิธีการผลิตความร้อนจากรางรวมแสงพลาโบลิก ซึ่งเป็นกลไกแมคคาณิกมีการเคลื่อนไหวอยู่ตลอดเวลาที่ทำงาน ซึ่งจำเป็นต้องมีการบำรุงรักษาระบบเป็นประจำเพื่อไม่ให้เกิดการทำงานที่สะดุดหรือติดขัด จึงทำให้ไม่สะดวกในการใช้งานแก่เกษตรกรที่ไม่สามารถบำรุงรักษาระบบเองได้ ประกอบกับการสำรวจพบว่ามิเชซวีสดูชีวมวลเหลือทิ้งทางการเกษตรในพื้นที่ ได้แก่ กะลาแมคคาเดเมียเป็นจำนวนมาก จึงเกิดเป็นแนวความคิดการนำเอาเศษวัสดุชีวมวลเหลือทิ้งเหล่านั้นมาใช้ให้เกิดประโยชน์ทางด้านพลังงานที่คุ้มค่ามากที่สุด



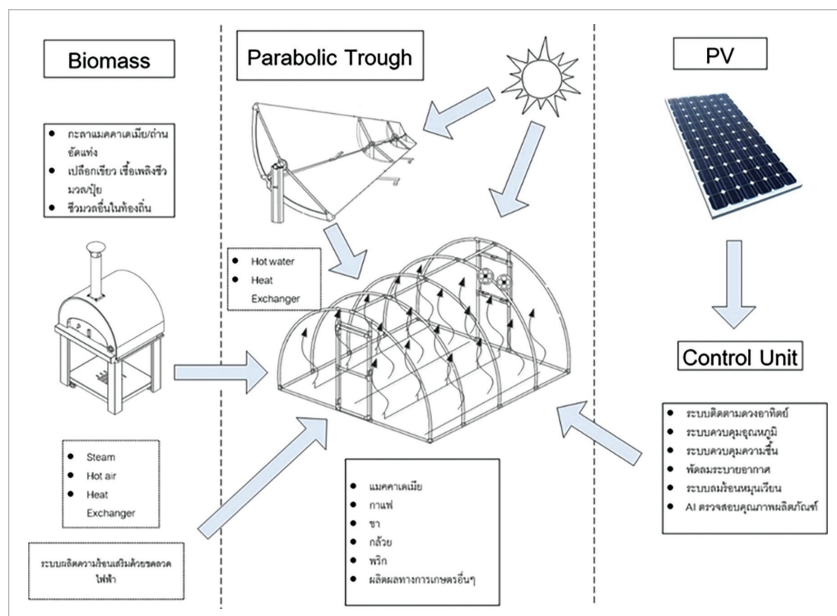
วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อพัฒนาต้นแบบเทคโนโลยีการลดความชื้นผลผลิตทางการเกษตรและวัสดุชีวภาพมูลค่าสูงด้วยอากาศร้อนที่เหมาะสมโดยใช้แหล่งพลังงานความร้อนร่วมที่เหมาะสมกับพื้นที่
2. เพื่อหาแนวทางการควบคุมปัจจัยการเพิ่มอัตราการลดความชื้นและลดปัจจัยเสี่ยงที่ส่งผลเสียต่อคุณภาพ ที่ไม่เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์แห้ง

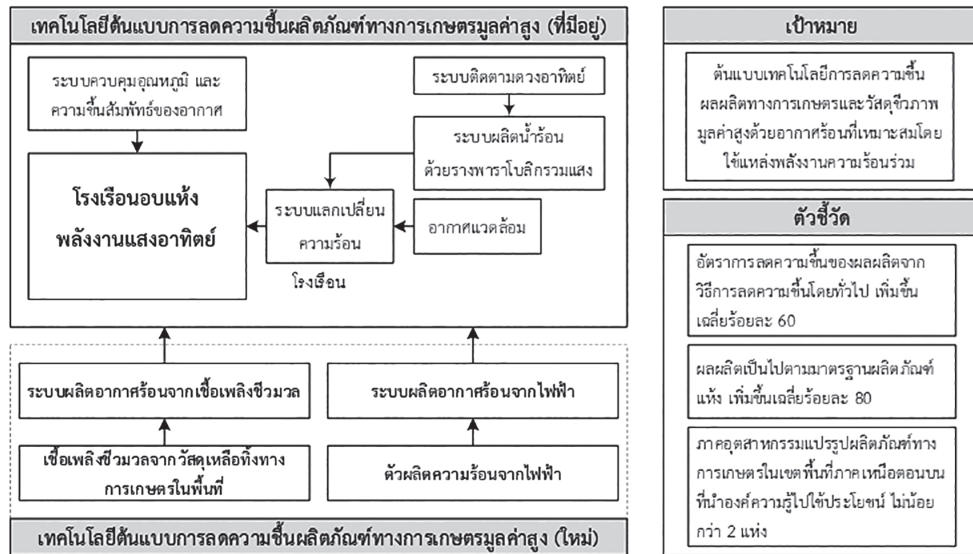


กรอบแนวความคิดในการวิจัย

โครงการวิจัยนี้เป็นการพัฒนาต่อยอดองค์ความรู้ที่ได้จากงานวิจัยที่ผ่านมา โดยจากระบบเดิมที่เป็นการใช้ความร้อนจากรางรวมแสงพลาโบลิกมาผลิตความร้อนสำหรับโรงเรือนอบแห้งนั้น พบปัญหาการบำรุงรักษาระบบของเกษตรกรไม่สามารถทำได้ ประกอบกับสำรวจพบศักยภาพของชีวมวลในพื้นที่ สามารถนำมาเป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตความร้อนให้กับระบบโรงเรือนอบแห้งได้ จึงได้เกิดแนวคิดนำชีวมวลมาใช้เป็นความร้อนเสริม โดยออกแบบให้ทำงานร่วมกับระบบเดิม ซึ่งคณะวิจัยได้รวบรวมระบบผลิตความร้อนจากแหล่งพลังงานทดแทนที่หาได้จากในพื้นที่เข้ากับเทคโนโลยีอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อลดความชื้นของผลผลิตทางการเกษตร โดยกระบวนการวิจัยจะทำการทดสอบสมรรถนะและประสิทธิภาพของเทคโนโลยีต้นแบบ และทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรมูลค่าสูงเพื่อใช้เป็นแนวทางในการขยายผลสู่ภาคอุตสาหกรรมแปรรูปในพื้นที่ต่อไป โดยสมมติฐานงานวิจัยแสดงในภาพ 1 และกรอบแนวความคิดในการวิจัยแสดงในภาพ 2



ภาพ 1 สมมติฐานการวิจัย



ภาพ 2 กรอบการวิจัย เป้าหมาย และตัวชี้วัด

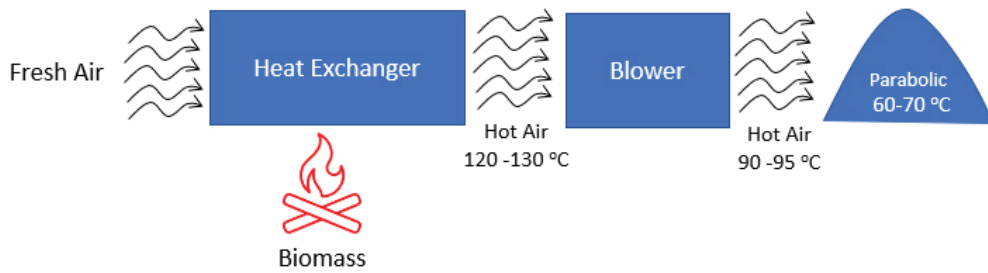


วิธีการดำเนินการวิจัย

ในการพัฒนาต้นแบบเทคโนโลยี เน้นการนำศักยภาพทางด้านพลังงานที่มีอยู่ในพื้นที่มาใช้ประโยชน์ให้มากที่สุด สำหรับขั้นตอนในการพัฒนานั้น รายละเอียดมีดังนี้

1. ตัวโรงเรือนอบแห้งใช้หลักการเรือนกระจก มีโครงสร้างเป็นเหล็กเส้นดัดโค้ง ขนาด $360 \times 480 \times 290$ เซนติเมตร ผนังคลุมด้วยแผ่นโพลีคาร์บอเนตโปร่งแสง สามารถอบแห้งผลิตภัณฑ์แมคคาเดเมียได้ประมาณ 400 กิโลกรัมต่อครั้ง

2. เตาชีวมวลใช้เชื้อเพลิงจากเศษกะลาแมคคาเดเมีย โดยใช้หลักการ Hot Air Tube เพื่อผลิตอากาศร้อนสำหรับเพิ่มอุณหภูมิภายในโรงเรือนอบแห้งในกรณีที่ความชื้นรังสีอาทิตย์มีไม่เพียงพอ ประกอบกับการใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จ่ายให้กับขดลวดสร้างความร้อนขนาด 1 Kwh เพื่อเพิ่มอุณหภูมิร่วมด้วย โดยระบบจะเป็นการให้ความร้อนโดยตรง (Direct Dryer) และให้ความร้อนแบบพาความร้อน (Convection Dryer) โดยใช้อากาศร้อนเป็นตัวกลางในการอบแห้ง ซึ่งหลักการทำงาน คือ การแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างท่อเหล็กกับลมร้อน โดยให้ความร้อนกับท่อเหล็กด้วยชีวมวล และใช้เครื่องเป่าลมไฟฟ้า (Blower) เพื่อเป่าให้อากาศพัดผ่านเข้าไปสัมผัสกับเปลือกจนกลายเป็นลมร้อนและปล่อยเข้าสู่ห้องอบต่อไป โดยแนวคิดระบบผลิตอากาศร้อนจากเชื้อเพลิงแสดงดังภาพ 3



ภาพ 3 แนวคิดระบบผลิตอากาศร้อนจากเชื้อเพลิง

สำหรับการออกแบบเตาเผาชีวมวล ใช้สมการการหาอัตราการไหลเชิงมวลเพื่อคำนวณหาพื้นที่หน้าตัดของการนำความร้อนดังสมการ (1)

$$\dot{m} = \rho_1 v_1 A_1 = \rho_2 v_2 A_2 \quad (1)$$

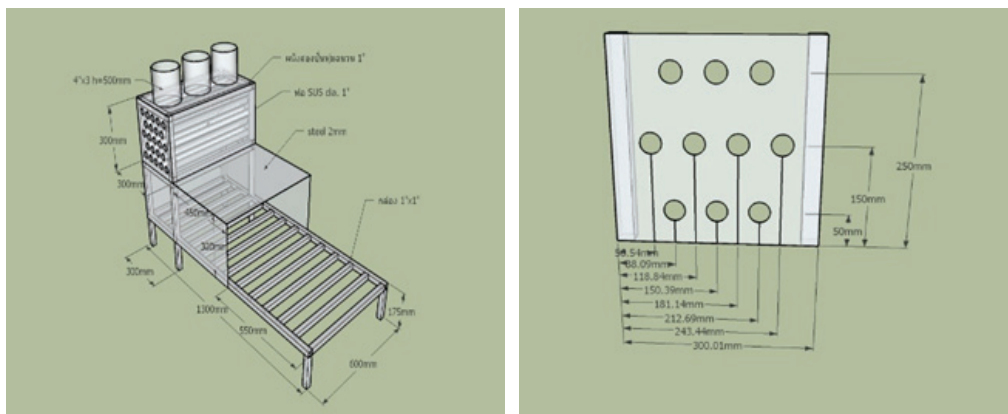
โดย $\dot{m}$ = อัตราการไหลเชิงมวล
 ρ = ความหนาแน่นมวลของไหล
 v = ความเร็วในการไหล
 A = พื้นที่เวกเตอร์หน้าตัด / พื้นที่ผิว

จากการคำนวณได้ผลดังตาราง 1

ตาราง 1 ผลการคำนวณอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

CASE	Te = อุณหภูมิ ด้านออก ของท่อ (°C)	Ts = อุณหภูมิ ที่ ผิวท่อ (°C)	Ti = อุณหภูมิ ด้านเข้า ของท่อ (°C)	H = สัมประสิทธิ์ การพา ความร้อน (W/m ² ·°K)	D = เส้นผ่าน ศูนย์กลาง ท่อ (m)	N = จำนวน ท่อ	$\dot{m}$ = อัตรา การไหล เชิงมวล (kg/s)	ρ = ค่าความ หนาแน่น จำเพาะ ของอากาศ (kg/m ³)	As = พื้นที่ผิว การถ่ายเท ความร้อน (m ²)	L = ความยาว ของท่อ (m)
A	118	400	116	66.0	0.0254	10	0.69	1010.8	0.08	0.10
B	120	400	116	66.0	0.0254	10	0.77	1011.0	0.18	0.23
C	122	400	116	66.0	0.0254	10	0.86	1011.2	0.27	0.34
D	124	400	116	66.0	0.0254	10	0.94	1011.4	0.40	0.50
E	125	400	116	66.0	0.0254	10	1.03	1011.5	0.48	0.60
F	126	400	116	66.0	0.0254	10	1.12	1011.6	0.61	0.76
G	128	400	116	66.0	0.0254	10	1.20	1011.8	0.79	0.99
H	130	400	116	66.0	0.0254	10	1.29	1012.0	1.00	1.25

จากตาราง 1 คณะวิจัยเลือกใช้ผลการคำนวณจากกรณี E เนื่องจากมีค่าอัตราการไหลเชิงมวลใกล้เคียง 1 มากที่สุด จะได้ค่าพื้นที่ผิวการถ่ายเทความร้อนอยู่ 0.48 ตารางเมตรและมีค่าความยาวท่ออยู่ที่ 0.6 เมตร



ภาพ 4 การออกแบบเตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวล

3. การทดลองลดความชื้นของเมล็ดแมคคาเดเมีย โดยมีรูปแบบเงื่อนไขการทดลองดังนี้
 - 3.1 ใช้โรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว (SD: Solar Dry)
 - 3.2 ใช้โรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรางรวมแสงพาราโบลา (SPD: Solar + Parabolic Dry)
 - 3.3 ใช้โรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับระบบผลิตความร้อนด้วยพลังงานชีวมวล (SBD: Solar + Bio Dry)
 - 3.4 ใช้โรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับระบบผลิตความร้อนโดยใช้ไฟฟ้า (SED: Solar + Electric Dry)
 - 3.5 ใช้ระบบผลิตความร้อนร่วมทุกระบบร่วมกัน (CPD: Combined Process Dry)
4. ทำการวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิภายในโรงเรือนอบแห้งตามจุดต่าง ๆ ด้วยเทอร์โมคัพเบิลและดาต้าล็อกเกอร์
5. วิเคราะห์และประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์แห้งตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์แมคคาเดเมียชุมชน (มผช. 1145/2549) ด้วยการส่งทดสอบที่ห้องปฏิบัติการตามวิธีมาตรฐานทางเคมีและวิธีมาตรฐานทางจุลชีววิทยา ได้แก่ ค่าสี ความชื้น และเชื้อรา โดยมีการสุ่มตรวจตัวอย่างร้อยละ 25 สุ่มตัวอย่างซ้ำ 4 รอบ จากผลิตภัณฑ์แมคคาเดเมียอบแห้งที่ได้จากกระบวนการอบแห้งที่ทำการทดลองจากทุกระบวนการ



ผลการวิจัย

คณะวิจัยได้สร้างและพัฒนาระบบอบแห้งให้สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด ให้เหมาะสมกับพื้นที่เป้าหมาย คือ บ้านแม่แจ่ม ตำบลแจ้ซ้อน อำเภอเมืองปาน จังหวัดลำปาง ซึ่งผลการดำเนินโครงการวิจัยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

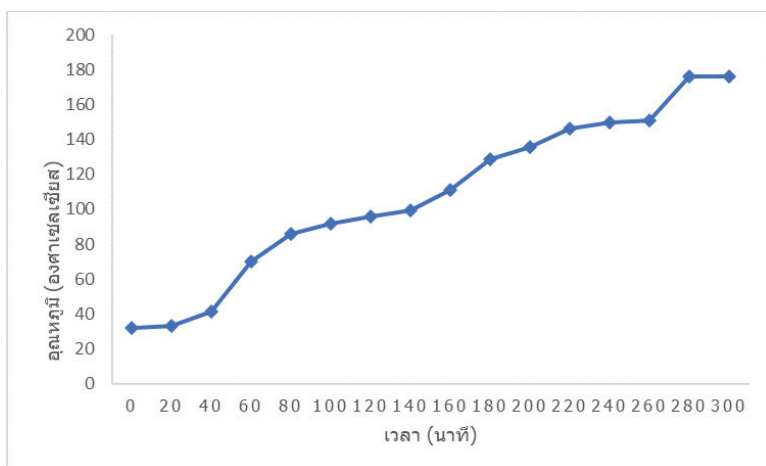
1. โรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับความร้อนเสริมนี้ถูกออกแบบให้สามารถใช้แหล่งพลังงานได้ทั้งจากพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานความร้อนจากชีวมวลในพื้นที่ ซึ่งการใช้พลังงานร่วมกันนี้จะทำให้ยังลดความชื้นได้ดียิ่งขึ้นและลดข้อจำกัดของพลังงานแสงอาทิตย์ด้านเวลาลงได้

ผลการวิจัยสามารถตอบสนองความต้องการของกลุ่มวิสาหกิจทั้งในเชิงเทคนิคที่พบว่าระบบอบแห้งผลิตภัณฑ์แมคคาเดเมียนี้สามารถใช้งานได้ตามขอบเขตเงื่อนไขการใช้งานได้แก่ สามารถลดเวลาในการอบแห้งได้จาก 3-4 วัน เหลือเพียง 2 วันเท่านั้น อีกทั้งยังสามารถเพิ่มกำลังการผลิตจากเดิมปีละประมาณ 12 ตัน เพิ่มเป็นปีละมากกว่า 20 ตัน

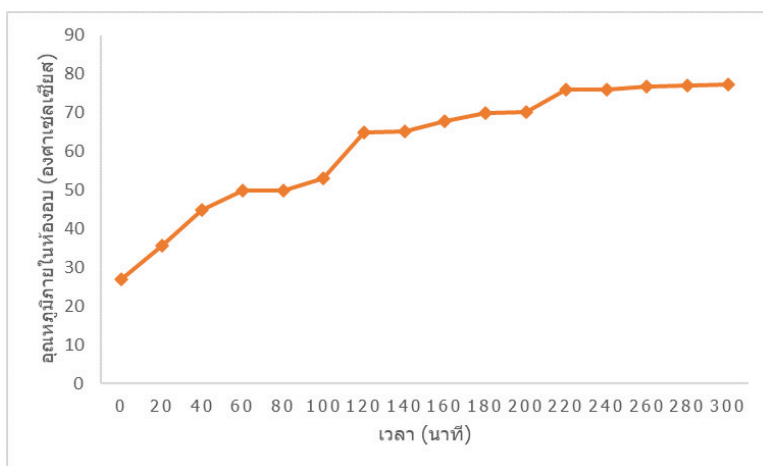
2. ผลการศึกษาอุณหภูมิห้องเผาไหม้ของห้องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับความร้อนเสริม พบว่ามีค่าค่อนข้างสูง เนื่องจากค่าความร้อนของเปลือกแมคคาเดเมียมีความร้อนสูง ทำให้อุณหภูมิเผาไหม้สูง ดังแสดงในภาพ 5

ในส่วนของอุณหภูมิในห้องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับความร้อนเสริมมีการกระจายตัวค่อนข้างดี อยู่ในช่วง 70 องศาเซลเซียส ดังภาพ 6

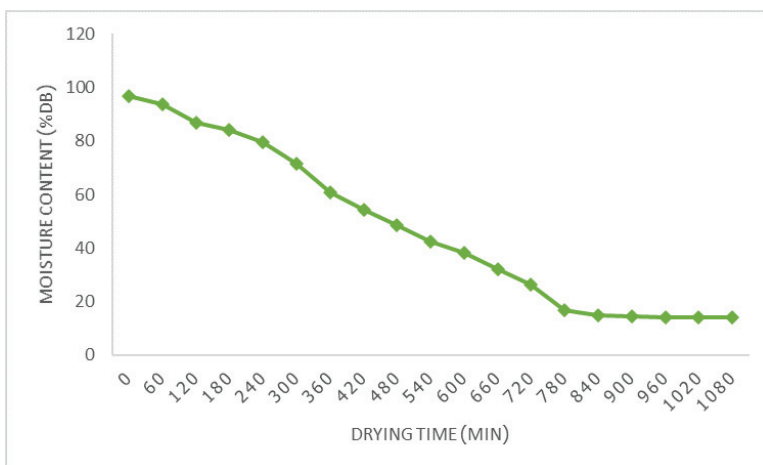
อัตราการอบแห้ง พบว่าทั้งห้องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับความร้อนสามารถอบแห้งแมคคาเดเมียน้ำหนัก 400 กิโลกรัม ให้แห้งตามมาตรฐาน มผช. 1145/2549 ได้ภายในระยะเวลา 48 ชั่วโมง ดังแสดงในภาพ 7 โดยมีการใช้เชื้อเพลิงชีวมวล คิดเป็น 50 กิโลกรัมต่อรอบการอบแห้ง



ภาพ 5 กราฟค่าความร้อนของเปลือกแมคคาเดเมีย



ภาพ 6 กราฟอุณหภูมิในหีบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับความร้อนเสริม



ภาพ 7 กราฟอัตราการอบแห้ง

ผลการศึกษาคูณภาพผลิตภัณฑ์แมคคาเดเมีย

เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ตามมาตรฐาน มพช. 1145/2549 นั้น จำเป็นต้องตรวจสอบค่าสี ปริมาณความชื้น ค่าวอเตอร์แอกติวิตี ค่าเปอร์ออกไซด์ และปริมาณจุลินทรีย์ที่พบในตัว แมคคาเดเมียอบแห้ง ซึ่งจากการทดสอบได้ผลการทดสอบดังนี้

1. ด้านค่าสี

การวัดค่าสีของเมล็ดแมคคาเดเมียที่ได้หลังจากผ่านกระบวนการลดความชื้นโดยใช้ โรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว (SD), พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับราง

รวมแสงพาราโบลา (SPD), พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับระบบผลิตความร้อนด้วยพลังงานชีวมวล (SBD), พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับระบบผลิตความร้อนโดยใช้ไฟฟ้า (SED) และใช้ระบบผลิตความร้อนรวมทุกระบบร่วมกัน (CPD) ใช้วิธีการนำเมล็ดที่สิ้นสุดการอบแห้งที่มีความชื้นประมาณไม่เกินร้อยละ 1.50 ฐานแห้ง มากะเทาะเปลือกกะลาออกและจะได้น้ำมันแล้วนำไปวัดค่าสี ซึ่งผลการทดลองที่ได้แสดงในตาราง 2

ตาราง 2 ค่าสีของเมล็ดแมคคาเดเมียที่ได้หลังจากผ่านกระบวนการลดความชื้นทั้ง 5 กระบวนการ

สิ่งทดลอง	เวลาในการลดความชื้น (ชั่วโมง)	ค่าสี		
		L*	a*	b*
SD	48	71.32 ± 0.51	3.76 ± 0.32	24.50 ± 1.55
SPD	48	73.54 ± 0.81	-2.82 ± 0.82	26.56 ± 1.14
SBD	48	73.16 ± 0.85	-2.80 ± 0.64	26.18 ± 1.17
SED	48	73.76 ± 1.60	-2.98 ± 1.34	26.47 ± 1.43
CPD	48	73.63 ± 0.72	-2.28 ± 0.35	26.26 ± 0.20



SP



SPD



SBD



SED



CPD

ภาพ 8 ลักษณะของเมล็ดแมคคาเดเมียที่ได้หลังจากผ่านกระบวนการลดความชื้น
โดยใช้โรงเรือนอบแห้ง

2. ปริมาณความชื้น

เมล็ดแมคคาเดเมียที่ผ่านการลดความชื้นทุกเงื่อนไขการทดลองมีความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 0.91–1.14 ฐานแห้ง สามารถเก็บรักษาได้นาน การเปลี่ยนแปลงรสชาติและคุณภาพทางเคมีลดลง เนื่องจากความชื้นต่ำทำให้การเสื่อมสภาพของกรดไขมันอิสระและน้ำตาลรีดิวซ์ที่สะสมในเนื้อในของเมล็ดแมคคาเดเมียเกิดได้ช้า ซึ่งความชื้นที่สูงจะเพิ่มสัดส่วนของสีน้ำตาลในเนื้อในของเมล็ดแมคคาเดเมีย เนื่องจากน้ำมีบทบาทสำคัญต่อการทำงานของเอนไซม์ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการเสื่อมสภาพของเนื้อใน การอบแห้งเป็นหนึ่งในขั้นตอนที่สำคัญที่สุดในการแปรรูปของเมล็ดแมคคาเดเมีย การดำเนินการอบแห้งจะเริ่มหลังจากการเก็บเกี่ยว ดังนั้นเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่น ควรอบแห้งเมล็ดแมคคาเดเมียให้มีความชื้นประมาณร้อยละ 1.5 ฐานแห้ง จึงจะสามารถเก็บไว้ได้ถึงหนึ่งปี โดยไม่สูญเสียคุณภาพ

3. วอเตอร์แอกทิวิตี (a_w)

ค่า a_w หรือปริมาณน้ำอิสระของเมล็ดแมคคาเดเมียเป็นตัวชี้วัดของน้ำที่มีอยู่ได้อย่างอิสระและตอบสนองสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ที่สามารถที่เกี่ยวข้องโดยตรงหรือโดยอ้อมกับความชื้น ซึ่งค่า a_w จะเป็นประโยชน์ในการทำนายการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีหลายอย่างที่สามารถเกิดขึ้นได้ นอกจากนี้ยังพบว่าค่า a_w มีผลต่อคุณภาพของเมล็ดแมคคาเดเมียจากการทดลองนี้ เมล็ดแมคคาเดเมียที่ผ่านการลดความชื้นทุกเงื่อนไขการทดลอง มีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.2520–0.3127 (ดังตาราง 3) ซึ่งหากพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่าง a_w กับอัตราการเสื่อมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ จะเห็นได้ว่าค่า a_w อยู่ในระดับที่การเจริญของจุลินทรีย์และการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีค่อนข้างต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากจุลินทรีย์ทุกชนิดจะหยุดการเจริญเมื่อมีค่า a_w เท่ากับ 0.6 หรือต่ำกว่า เชื้อราจะหยุดการเจริญเมื่อ a_w มีค่าเท่ากับ 0.7 หรือต่ำกว่า และยีสต์จะเริ่มเจริญเติบโตได้เมื่อผลิตภัณฑ์มีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.7–0.8 ส่วนแบคทีเรียจะเริ่มเจริญเมื่อค่า a_w มากกว่า 0.8 นับได้ว่าค่า a_w เป็นปัจจัยสำคัญที่สุดที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อคุณภาพและการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์อาหาร

4. ค่าเปอร์ออกไซด์

เมล็ดแมคคาเดเมียที่ผ่านการลดความชื้นทุกเงื่อนไขการทดลอง มีค่าเปอร์ออกไซด์อยู่ในช่วง 3.44–3.78 meq O_2 /kg oil (ดังตาราง 3) ซึ่งตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช. 1145/2549) กำหนดไว้ว่าเมล็ดแมคคาเดเมียอบแห้ง ต้องมีค่าเปอร์ออกไซด์ไม่เกิน 30 meq O_2 /kg oil จึงไม่สูญเสียคุณภาพ แสดงให้เห็นว่าทุกเงื่อนไขการทดลองมีประสิทธิภาพเพียงพอที่จะไม่ทำให้เมล็ดแมคคาเดเมียเสื่อมคุณภาพทางเคมีและคุณค่าทางโภชนาการ

อย่างไรก็ตามการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงและระยะเวลานาน จะส่งผลให้มีการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันให้มีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงมากขึ้น ทำให้ค่าเปอร์ออกไซด์สูง เนื่องจากย่อยสลายไขมันไม่อิ่มตัวและเกิดการหืนโดยออกซิเดชัน ดังนั้นหากต้องการลดการสูญเสียคุณภาพและสารสำคัญในเมล็ดแมคาเดเมียไว้ให้มากที่สุด ต้องใช้ระยะเวลาในการทำแห้งที่สั้น เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ

ตาราง 3 ปริมาณความชื้น ค่า a_w และค่าเปอร์ออกไซด์ของเมล็ดแมคาเดเมียที่ได้หลังจากผ่านกระบวนการลดความชื้นทั้ง 5 กระบวนการ

สิ่งทดลอง	เวลาในการลดความชื้น (ชั่วโมง)	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	วอเตอร์แอคทีวิตี้ (a_w)	Peroxide value (meq O ₂ /kg oil)
SD	48	1.14 ± 0.11	0.3127 ± 0.01	3.72 ± 0.58
SPD	48	1.05 ± 0.08	0.2888 ± 0.03	3.78 ± 0.97
SBD	48	0.91 ± 0.06	0.2494 ± 0.01	3.67 ± 0.67
SED	48	0.95 ± 0.05	0.2544 ± 0.01	3.78 ± 0.34
CPD	48	0.98 ± 0.03	0.2520 ± 0.01	3.44 ± 0.28

5. ปริมาณจุลินทรีย์

เมล็ดแมคาเดเมียที่ผ่านการลดความชื้นทุกเงื่อนไขการทดลอง มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า 25 โคโลนีต่อตัวอย่างอาหาร 1 กรัม (1:10 dilution factor) และตรวจไม่พบยีสต์และรา (ดังตาราง 4) ซึ่งอยู่ในมาตรฐาน มพข. 1145/2549 ที่กำหนดไว้ว่าจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดต้องไม่เกิน 1×10^6 โคโลนีต่อตัวอย่างอาหาร 1 กรัม ยีสต์และราต้องไม่เกิน 100 โคโลนีต่อตัวอย่างอาหาร 1 กรัม แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างที่ได้จากการทดลองปลอดภัยจากการเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ ทั้งนี้เนื่องจากการเจริญของจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์อาหารจะแปรผันโดยตรงกับปริมาณน้ำในอาหาร ซึ่งเมล็ดแมคาเดเมียที่ผ่านการลดความชื้นทุกเงื่อนไขการทดลอง มีค่า a_w ต่ำกว่า 0.6 และมีปริมาณความชื้นน้อยกว่าร้อยละ 1.5 ฐานแห้ง จึงเป็นการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ทุกชนิด

ตาราง 4 ปริมาณจุลินทรีย์ในเมล็ดแมคคาเดเมียที่ได้หลังจากผ่านกระบวนการลดความชื้น
ทั้ง 5 กระบวนการ

สิ่งทดลอง	เวลา ในการลดความชื้น (ชั่วโมง)	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (โคโลนีต่อตัวอย่างอาหาร 1 กรัม)	ยีสต์และรา (โคโลนีต่อตัวอย่างอาหาร 1 กรัม)
SD	48	< 25	ไม่พบ
SPD	48	< 25	ไม่พบ
SBD	48	< 25	ไม่พบ
SED	48	< 25	ไม่พบ
CPD	48	< 25	ไม่พบ



อภิปรายผลการวิจัย

การลดเวลาในกระบวนการลดความชื้นของผลิตภัณฑ์จากเดิมใช้เวลา 3-4 วัน เหลือ 2 วัน โดยคงคุณภาพได้ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนเมล็ดแมคคาเดเมีย มพช. 1145/2549 ซึ่งถ้าการทำให้แห้งไม่เร็วพอจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพต่ำลง ดังนั้นจำเป็นต้องมีการอบแห้งช่วงแรกด้วยเครื่องอบแห้งเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา เพื่อรอกระบวนการทำแห้งด้วยแสงอาทิตย์ต่อไป (นิชาภัทร มุลรัตน์ และคนอื่น ๆ, 2564, น. 199-200) ทำให้สามารถลดขั้นตอนและเวลาที่ใช้ในการผลิต การระบายความชื้นที่เหมาะสม ทำให้ความชื้นภายในวัสดุและอัตราการอบแห้งลดลงได้เร็วขึ้น (สุหัตถิ นิเช็ง และคนอื่น ๆ, 2562, น. 158-168) ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการผลิตของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนบ้านแม่แจ่มเพิ่มสูงขึ้น โดยมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำลง เนื่องจากไม่ต้องเสียค่าไฟฟ้าและค่าแก๊ส LPG ในขั้นตอนการอบแห้งทำให้ผลกำไรเพิ่มมากขึ้น อีกทั้งยังสามารถนำเอากะลาแมคคาเดเมียซึ่งเป็นขยะเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตมาใช้ให้เกิดประโยชน์อีกด้วย แต่ขั้นตอนในการใช้งานระบบจำเป็นต้องใช้แรงงานคนในการเติมเชื้อเพลิงให้กับเตาชีวมวลผลิตรถความร้อน ทำให้ไม่สะดวกในการใช้งาน และเกิดควันมากตอนเริ่มจุดเตาเนื่องจากเชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้มีความชื้นสูงและมีน้ำมันแมคคาเดเมียตกค้างอยู่ อาจส่งผลกระทบต่อบริเวณใกล้เคียงและรบกวนนักท่องเที่ยว โดยทางคณะวิจัยต้องมีการปรับปรุงระบบการป้อนเชื้อเพลิงและคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวลที่จะนำมาใช้งานกับระบบต่อไป เพื่อเป็นการลดข้อเสียและผลกระทบดังที่กล่าวข้างต้น



สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

จากการพัฒนาด้านแบบเทคโนโลยีการลดความชื้นผลผลิตทางการเกษตรและชีวภาพมูลค่าสูงด้วยอากาศร้อนที่เหมาะสมโดยใช้แหล่งพลังงานความร้อนร่วม มีความเหมาะสมกับการใช้งานในพื้นที่บ้านแม่แจ่ม เพราะเป็นการนำเศษชีวมวลเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถลดเวลาในการอบแห้งเมล็ดแมคคาเดเมียจาก 3-4 วัน เหลือเพียง 2 วัน จากการใช้งานพบว่าเทคโนโลยีอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับความร้อนเสริม ใช้เวลาในการอบแห้ง 48 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส อัตราการอบแห้งแมคคาเดเมียปริมาณ 400 กิโลกรัม ในการผลิตแมคคาเดเมีย 1 ครั้ง มีต้นทุนการผลิตทั้งหมด รวมค่าแรง ค่าไฟฟ้า ค่าเชื้อเพลิง เท่ากับ 275,000 บาท โดยเฉลี่ยทำการผลิต 20 ครั้ง/ปี ราคา 100 บาท/100 กรัม ดังนั้นใน 1 ปี จะสามารถขายได้เป็นเงิน 200,000 บาท ต้นทุนประมาณ 7 เปอร์เซ็นต์ คิดเป็นเงิน 275,000 บาท คิดเป็นกำไรเท่ากับ 200,000 บาท/ปี ดังนั้นระยะคืนทุนของเทคโนโลยีอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับความร้อนเสริม เท่ากับ 1.37 ปี

สำหรับแนวทางการควบคุมปัจจัยการเพิ่มอัตราการลดความชื้นและลดปัจจัยเสี่ยงที่ส่งผลเสียต่อคุณภาพที่ไม่เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์แห่งนั้น คือ กระบวนการในการตากแห้งผลิตภัณฑ์ ที่ทำให้สูญเสียความร้อนที่ใช้ในการอบแห้งไปโดยเปล่าประโยชน์ ซึ่งจากการวิจัยพบว่าประสิทธิภาพของระบบลดความชื้นของผลิตภัณฑ์แมคคาเดเมียในพื้นที่วิจัยซึ่งเป็นเขตป่าชื้น ส่งผลให้สภาพอากาศโดยเฉลี่ยมีอุณหภูมิที่ต่ำ และมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่สูงกว่าพื้นที่ราบ จำเป็นต้องมีการปรับปรุงกระบวนการทำงานของผู้ใช้งานบ้าง

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

1. พิจารณาคุณสมบัติของชีวมวลที่จะนำมาเป็นเชื้อเพลิง
2. ควบคุมการเผาไหม้ไม่ให้เกิดควันมากจนรบกวนบริเวณใกล้เคียง

ข้อเสนอแนะในการวิจัยทำครั้งต่อไป

1. ปรับรูปแบบการนำผลิตภัณฑ์เข้าและออกจากโรงเรือนโดยลดจำนวนการเปิดประตูโรงเรือน และจัดให้มีผ้าตาข่ายรองผลิตภัณฑ์ในแต่ละรอบ
2. ปรับปรุงระบบการป้อนเชื้อเพลิงให้สะดวกมากขึ้น
3. ลดระยะเวลาในการเปิดประตูเพื่อลดการสูญเสียความร้อนภายในโรงเรือน



กิตติกรรมประกาศ

คณะวิจัยขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง และสำนักงาน
กองทุนสนับสนุนงานวิจัย (สกว.) ที่สนับสนุนทุนวิจัย และให้คำแนะนำในกระบวนการ
ดำเนินงานวิจัยตั้งแต่ต้นทางจนกระทั่งปลายทาง ขอขอบคุณกลุ่มวิสาหกิจชุมชนบ้านแม่แจ่ม
และไร่สุวรรณ์ ในการเอื้อเฟื้อข้อมูล สถานที่ และให้ความร่วมมือไปได้ด้วยดี



เอกสารอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร สถาบันวิจัยพืชสวน. (2564). *สถานการณ์การผลิตมะคาเดเมีย*. https://www.doa.go.th/hort/wp-content/uploads/2021/01/สถานการณ์การผลิตมะคาเดเมีย_มกราคม64.pdf
- ณิชาภัทร มุลรัตน์, อารีย์ อัจฉริยวิริยะ, และศิระ อัจฉริยวิริยะ. (2564). การพัฒนาการทำแห้ง
เมล็ดคาแฟโดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานชีวมวลสำหรับการทำแห้งช่วงแรก. *วารสาร
วิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, 31(2), 191–200.
- มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ภาควิชาพัฒนาเศรษฐกิจการเกษตร. (ม.ป.ป.). *การพัฒนาการเกษตร
บนพื้นที่สูง*. [https://agecon-extens.agri.cmu.ac.th/Course_online/
Course/352103/352103%20\(section%20002\)%20หลักการเกษตรทั่วไป/
บทที่%2010%20การพัฒนาการเกษตรบนพื้นที่สูง.pdf](https://agecon-extens.agri.cmu.ac.th/Course_online/Course/352103/352103%20(section%20002)%20หลักการเกษตรทั่วไป/บทที่%2010%20การพัฒนาการเกษตรบนพื้นที่สูง.pdf)
- สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง. (2562, 25 ตุลาคม). *เกี่ยวกับสภาพพื้นที่สูง*. [https://www.
hrdi.or.th/About/Highland](https://www.hrdi.or.th/About/Highland)
- สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดลำปาง. (2563, 25 ตุลาคม). *ข้อมูลพื้นฐานของจังหวัด
ลำปาง*. <https://www.opsmoac.go.th/lampang-dwl-files-421691791027>
- สุรัชย์ เหมหิรัญ และประชา บุญยานิชกุล. (2560). การทบทวนวิธีการควบคุมการลดความชื้น
ข้าวเปลือกในเครื่องอบแห้งแบบต่าง ๆ. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่*,
24(1), 60–68.
- สุหทัย นิเซ็ง, ภาณุมาศ สุยบางคำ, กฤษณพงศ์ สังขวาสี, และสุพัตรา เพ็งเกลี้ยง. (2562).
การศึกษาผลของขนาดช่องระบายความชื้นสำหรับการอบแห้งพริก ด้วยเครื่องอบแห้ง
พลังงานผสมผสาน. *วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย*, 11(1),
158–168.
- อณัฐธิชา จันทะพันธ์, สุมล แสงเือง พิสิษฐ์สังฆการ, และธนิต สวัสดิ์เสวี. (2564). การอบแห้ง
ใบกะเพราด้วยเครื่องอบแห้งไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนแบบสายพานลำเลียง. *วารสาร
วิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม*, 17(1), 53–64.

การพัฒนาคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักจากเถ้าโรงไฟฟ้าชีวมวล DEVELOPMENT OF NON-BEARING HOLLOW CONCRETE BLOCK FROM THE BIOMASS POWER PLANT ASH

วันที่รับ: 24 มิถุนายน 2565

วันที่แก้ไข: 11 พฤศจิกายน 2565

วันที่ตอบรับ: 16 พฤศจิกายน 2565

จรรยพร หลู่จิง¹, ภคมน ปินตานา^{1*},

นิกราน หอมดวง¹ และ ธเนศ ไชยชนะ¹

Janyaporn Lujing¹, Pakamon Pintana^{1*},

Nigran Homdoun¹ and Tanate Chaichana¹

¹วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ 50290

¹School of Renewable Energy, Maejo University, Chiang Mai 50290

*Corresponding author e-mail: p.pintana@gmail.com



บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการใช้เถ้าจากการเผาไหม้ในโรงไฟฟ้าชีวมวล มาทดแทนสัดส่วนปูนซีเมนต์และทดแทนสัดส่วนทรายในการนำมาเป็นคอนกรีตบล็อก เพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางเชิงกล และค่าการนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกที่ผลิตได้ และเพื่อวิเคราะห์ต้นทุนในการผลิตคอนกรีตบล็อกที่มีส่วนผสมของเถ้าชีวมวลเปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกที่จำหน่ายเชิงพาณิชย์ โดยศึกษาอัตราส่วน 0, 20, 40 และ 60 เปอร์เซ็นต์ ในการแทนที่ปูนซีเมนต์และแทนที่ทราย ตามลำดับ ตัวอย่างมอร์ตาร์ ขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ขนาด 5 x 5 x 5 เซนติเมตร อายุการบ่ม 28 วัน ผลการวิจัยพบว่า อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการใช้เถ้าชีวมวลแทนปูนซีเมนต์ คือ 40 เปอร์เซ็นต์ มีค่าการไหลผ่าน 114.17 เปอร์เซ็นต์ หน่วยน้ำหนัก 222 กรัม การดูดซึมน้ำ 16.21 เปอร์เซ็นต์ ความหนาแน่น 2.19 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร การนำความร้อน 0.436 W/m·K และกำลังรับแรงอัด 2.53 เมกะปาสกาล และอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการใช้เถ้าชีวมวลแทนทราย คือ 40 เปอร์เซ็นต์ มีค่าการไหลผ่าน 112.72 เปอร์เซ็นต์ หน่วยน้ำหนัก 236 กรัม การดูดซึมน้ำ 16.87 เปอร์เซ็นต์ ความหนาแน่น 2.29 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร การนำความร้อน 0.427 W/m·K และกำลังรับแรงอัด 2.61 เมกะปาสกาล โดยคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักที่ผลิตได้มีคุณสมบัติที่สามารถนำมาใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง ต้นทุนวัสดุผลิตคอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนักโดยผสมเถ้าชีวมวลแทนที่ปูนซีเมนต์และแทนที่ทรายต่อก้อน 1.02 บาท และ 1.14 บาท ตามลำดับ ประโยชน์ของการแทนที่ด้วยเถ้าชีวมวลเหลือทิ้ง

ทั้งปูนซีเมนต์และทราย เป็นการนำวัสดุเหลือทิ้งมาทำให้เกิดมูลค่าเพิ่ม และเป็นวิธีการกำจัดที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมด้วยการลดปูนซีเมนต์และลดทราย

คำสำคัญ: คอนกรีตบล็อก, เถ้าชีวมวล, คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก



Abstract

The objectives of this research were 1) to study the optimal ratio of ash from combustion in biomass power plants to replace the cement proportion and replace the proportion of sand in concrete blocks, 2) to analyze the physical properties, mechanical properties, and thermal conductivity of the concrete blocks produced, 3) to analyze the cost of producing concrete blocks containing biomass ash compared to commercially sold concrete blocks. The ratios of 0, 20, 40, and 60% were examined by replacing cement and sand, respectively. The samples of mortar were molded with molds of 5 x 5 x 5 cm in size with curing age of 28 days. The results showed that the optimal mix rate for using biomass ash instead of cement was 40%, with a flow test of 114.17%, a unit weight of 222 g, a water absorption of 16.21%, a density of 2.19 g/cm³, a thermal conductivity of 0.436 W/m·K, and a compressive strength of 2.53 MPa. The optimal mixing rate for biomass ash instead of sand was 40%, with a flow test of 112.72%, a unit weight of 236 g, a water absorption of 16.87%, a density of 2.29 g/cm³, a thermal conductivity of 0.427 W/m·K, and a compressive strength of 2.61 MPa. The non-weight hollow concrete blocks had properties that could be used in the construction industry. The material cost producing non-weight hollow concrete blocks by mixing biomass ash instead of cement and replacing sand were 1.02 Baht and 1.14 Baht respectively. The benefits of replacing waste biomass ash in both cement and sand were the use of waste materials in order to create added values and it was an environmentally friendly disposal method by reducing cement and sand.

Keywords: Concrete Block, Biomass Ash, Non-weight Bearing Concrete Block.



บทนำ

ปัจจุบันพลังงานมีความจำเป็นต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ และมีแนวโน้มความต้องการที่จะใช้พลังงานมากขึ้นตามการขยายตัวของประชากรและการขยายตัวของเศรษฐกิจ การใช้พลังงานไฟฟ้าในปี 2562 สูงถึง 192,960 MW_h เพิ่มขึ้นเป็น 2.7 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ เนื่องจากมีการเข้าสู่ฤดูร้อนเร็วขึ้น และมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงกว่าปีก่อนประมาณ 1-2 องศาเซลเซียส การประหยัดพลังงานเป็นสิ่งที่สำคัญมากทั้งด้านสิ่งแวดล้อมและเศรษฐศาสตร์ พลังงานที่ถูกใช้มากที่สุดในปัจจุบันนี้ เป็นการถูกใช้ในอาคารสำหรับการทำความร้อนและทำความเย็น สิ่งที่สำคัญที่สุด คือ การปรับคุณสมบัติของผนัง โดยการลดการนำความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคาร ซึ่งประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตร้อนชื้นที่มีอุณหภูมิสูงเฉลี่ยค่อนข้างสูง ทำให้ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าในการปรับสภาพอากาศเพื่อให้เหมาะสมแก่การพักอาศัย และการก่อสร้างผนังยังคงนิยมใช้เป็นคอนกรีตบล็อก ส่วนมากเป็นวัสดุที่ใช้ในการผลิตคอนกรีตบล็อกเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าการนำความร้อน จึงต้องให้ความสนใจกับวัสดุที่ใช้ในการผสมของการผลิตคอนกรีตบล็อก (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), 2562) ด้วยความต้องการไฟฟ้าที่มากขึ้น และการสนับสนุนให้เกิดโรงไฟฟ้าชีวมวลเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมากทั่วประเทศ จากการทำเกษตรเพื่อตอบสนองต่อความต้องการที่มากขึ้น เศษซากที่เหลือทิ้ง เช่น แกลบ ฟางข้าว เศษไม้ และซังข้าวโพด เป็นต้น (อาภาพร สินธุสาร, 2552) ถูกนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยนำมาเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า ช่วยลดการกำจัดทำลายเผาซึ่งผิดวิธีที่ทำให้เกิดมลพิษทางอากาศ เกิดความเสื่อมโทรมของดิน ซึ่งผลกระทบเหล่านี้มีผลโดยตรงกับมนุษย์ทั้งด้านสุขภาพร่างกาย ด้านการเกษตร และด้านสิ่งแวดล้อม เป็นต้น โรงไฟฟ้าชีวมวลของบริษัท สหโคเจน กรีน จำกัด สร้างขึ้นภายในสวนอุตสาหกรรมเครือสหพัฒน์ จังหวัดลำพูน ด้วยเทคโนโลยีการผลิตพลังงานความร้อนที่ทันสมัยและขบวนการผลิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยปัจจุบันสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 9.6 เมกะวัตต์ (รายงานประจำปี (56-1 One Report) 2564, 2565) และพลังงานไอน้ำ 25 ton/h โดยใช้เชื้อเพลิงชีวมวลประมาณ 97,976 ton/y ได้แก่ เศษไม้ แกลบ ซังข้าวโพด เป็นต้น การนำเศษวัสดุเหลือทิ้งใช้ทางการเกษตรมาใช้ประโยชน์แทนการกำจัดโดยการเผาซึ่งช่วยลดปัญหาหมอกควันและ PM 2.5 ในพื้นที่ได้ อย่างไรก็ตามเมื่อมีความต้องการพลังงานเพิ่มขึ้น ทำให้การเผาไหม้จากโรงไฟฟ้ามากขึ้น สิ่งที่ได้จากการเผาไหม้ในโรงไฟฟ้าชีวมวลคือ ถ้ำ ด้วยคุณสมบัติมีน้ำหนักเบาและนำความร้อนต่ำ (วีระศักดิ์ ละอองจันทร์ และหมิง จิง, 2552)

ปัจจุบันมีการผลิตคอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก (Hollow Non-Load-Bearing Concrete Masonry Units) ที่ผลิตจากปูนซีเมนต์ ทราย และน้ำ โดยเพิ่มถ้ำชีวมวล (Biomass Ash) เป็นส่วนผสม (จิรวัดน์ วิมุตติสุขวิริยา, 2565) คุณสมบัติของถ้ำล่อยมีศักยภาพที่จะนำไปใช้เป็นส่วนผสมของคอนกรีตแทนปูนซีเมนต์ได้ เมื่อองค์ประกอบทางเคมีไปทำปฏิกิริยากับ

ต่างที่มีอยู่ในปูนซีเมนต์จะทำให้เกิดการยึดประสาน ที่เรียกว่า “ปฏิกิริยาปอซโซลาน” หรือ “วัสดุปอซโซลาน” ซึ่งเพิ่มคุณสมบัติในด้านการยึดประสาน และคุณสมบัติด้านกำลังอัด ความคงทน (เพ็ญพิชชา คงเพิ่มโกศล และคนอื่น ๆ, 2559) อย่างไรก็ตามงานวิจัยที่ได้กล่าวมา เป็นการศึกษาการใช้ถ้ำลอย และใช้ในการแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนไม่เกิน 40 เปอร์เซ็นต์ แต่จากการเปรียบเทียบคุณสมบัติแล้ว พบว่ามีความเป็นไปได้ในการใช้ถ้ำชีวมวลหนักซึ่งเป็น ถ้ำอีกชนิดหนึ่งจากการเผาไหม้ในโรงไฟฟ้าชีวมวลมาใช้งาน โดยศึกษาทั้งการแทนที่ปูนซีเมนต์ และการแทนที่ทราย ที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพ ทางกล และค่าการนำความร้อน เพื่อเป็นแนวทางในการช่วยนำของเหลือทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์มากขึ้น สามารถลดต้นทุน ในการผลิตคอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก ได้แนวทางในการพัฒนาคุณสมบัติด้านการลด การนำความร้อนช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับถ้ำชีวมวลเหลือทิ้ง สามารถส่งเสริมนโยบายโรงไฟฟ้าชีวมวล ระดับชุมชนเพื่อเศรษฐกิจฐานรากได้อย่างครบวงจร



วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการใช้ถ้ำจากการเผาไหม้ในโรงไฟฟ้าชีวมวล มาทดแทนสัดส่วนปูนซีเมนต์ และทดแทนสัดส่วนทรายในการนำมาเป็นคอนกรีตบล็อก
2. เพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางเชิงกล และค่าการนำความร้อน ของคอนกรีตบล็อกที่ผลิตได้
3. เพื่อวิเคราะห์ต้นทุนในการผลิตคอนกรีตบล็อกที่มีส่วนผสมของถ้ำชีวมวลเปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกที่จำหน่ายเชิงพาณิชย์



วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาคุณสมบัติของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตคอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก

1.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

ปูนซีเมนต์ในการทดลองนี้เลือกใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 15-2547 มีความถ่วงจำเพาะ 3.15 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มีปริมาณองค์ประกอบเคมีหลัก คือ CaO 66.73 เปอร์เซ็นต์ และ SiO_2 20.12 เปอร์เซ็นต์ (สำนักมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, 2547) ดังตาราง 1

1.2 น้ำ

น้ำที่ใช้ในการทดลอง ต้องเป็นน้ำสะอาด ปราศจากสารเจือปน หรือสารอินทรีย์ ต่าง ๆ ไม่มีความเป็นกรดหรือด่าง หรือคราบน้ำมัน ถ้าในน้ำมีสารอินทรีย์ หรือมีสภาพ เป็นกรด ด่าง หรือคราบน้ำมัน ก็จะทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้ไม่เต็มที่ ทำให้ได้กำลังไม่สูงเท่า ที่ต้องการ ส่งผลให้บล็อกที่ผลิตออกมาไม่ได้มาตรฐาน (ฐิติพร พันธุ์ท่าช้าง และคนอื่น ๆ, 2563)

1.3 ทราย

ทรายที่ใช้ในการทดลองมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2–5 มิลลิเมตร ซึ่งเหมาะสำหรับใช้เป็นส่วนผสมของคอนกรีตในงานก่อสร้าง (ประชุม คำพุดม, 2559) ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ทรายมีปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีหลัก คือ SiO_2 90.14 เปอร์เซ็นต์ และ Fe_2O_3 5.89 เปอร์เซ็นต์ ดังตาราง 1 ทรายมีลักษณะรูปร่างอนุภาคไม่แน่นอน ผิวค่อนข้างเรียบ มีความถ่วงจำเพาะ 2.63 ไม่มีความเหนียว (Non-Plastic) และสามารถดูดซึมน้ำ 0.70 เปอร์เซ็นต์ (ฐิติพร พันธุ์ทำช้าง และคนอื่น ๆ, 2563)

1.4 ถ้ำชีวมวล

วัตถุดิบถ้ำชีวมวลได้จากโรงไฟฟ้าสหโคเจน กรีน อำเภอลำพูน จังหวัดลำพูน ที่ใช้ขี้เถ้าขี้เถ้าแกลบ เปลือกข้าวโพด ขี้เถ้า และไม้ลำไย เป็นต้น ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 8 และถ้ำชีวมวลมีความถ่วงจำเพาะ 2.19 และมีปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีหลัก คือ SiO_2 70.40 เปอร์เซ็นต์ และ CaO 7.87 เปอร์เซ็นต์ มีผลรวมของปริมาณ $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ 81.8 เปอร์เซ็นต์ มีลักษณะรูปร่างอนุภาคไม่แน่นอน ผิวขรุขระ และมีรูพรุน (วีระศักดิ์ ละอองจันทร์ และหมิง จิ่ง, 2552)

ตาราง 1 องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ถ้ำชีวมวล และทราย (สำนักมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, 2547)

องค์ประกอบทางเคมี	ถ้ำชีวมวล (%)	ปูนซีเมนต์ (%)	ทราย (%)
SiO_2	70.40	20.12	90.14
Al_2O_3	6.72	5.22	ND
CaO	7.87	66.73	1.09
Fe_2O_3	4.68	3.26	5.89
MgO	1.64	0.53	ND
TiO_2	0.26	0.23	1.34
MnO_2	0.21	0.01	ND
K_2O	6.80	0.44	ND
SO_2	0.09	2.30	ND
P_2O_5	1.33	0.12	ND

หมายเหตุ: ND คือ ไม่พบข้อมูล

2. การผลิตมอร์ตาร์ผสมเถ้าชีวมวล

อัตราส่วนที่ใช้ปูนซีเมนต์ต่อทรายต่อน้ำ 1:2:1 เป็นอัตราส่วนทั่วไปที่ทำให้มีกำลังรับแรงอัดผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อก จากนั้นแทนที่ปูนซีเมนต์และแทนที่ทรายด้วยเถ้าชีวมวล ในอัตราส่วน 0, 20, 40 และ 60 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และปริมาณน้ำที่ผสมไม่มีการเปลี่ยนแปลง โดยตัวอย่างควบคุมที่ไม่มีเถ้าชีวมวล แทนด้วยสัญลักษณ์ CS00 ตัวอย่างที่มีการลดสัดส่วนปูนซีเมนต์แทนที่ด้วยเถ้าชีวมวลในอัตราส่วน 20, 40 และ 60 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ แทนสัญลักษณ์ CSB20, CSB40 และ CSB60 ตามลำดับ และตัวอย่างที่มีการลดสัดส่วนทรายแทนที่ด้วยเถ้าชีวมวลในอัตราส่วน 20, 40 และ 60 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ แทนสัญลักษณ์ CSS20, CSS40 และ CSS60 ตามลำดับ ดังตาราง 2

ผสมวัตถุดิบตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้ นำลงเทบนแม่พิมพ์ขนาด 5 x 5 x 5 cm จำนวนอัตราส่วนละ 5 ก้อน (วีระศักดิ์ ละอองจันทร์ และหมิง จิ่ง, 2552) ทิ้งให้แห้งสนิทระยะเวลา 5 ชั่วโมง แล้วทำการบ่มจนถึงอายุ 28 วัน การบ่มในอุณหภูมิสูงก็จะทำให้อัตราการเพิ่มกำลังของคอนกรีตถูกเร่งให้เร็วขึ้น ทำให้คอนกรีตมีกำลังสูงกว่าคอนกรีตที่ได้รับการบ่มด้วยความชื้นทันที (อัมพรพรณี ยูโษะ, 2552) เวลาที่ใช้ในการบ่มคอนกรีตให้ขึ้นอยู่ตลอดเวลาได้ยาวนานเท่าใดก็จะยังได้กำลังของคอนกรีตเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย เมื่อครบกำหนดแล้วจึงนำขึ้นการทดสอบไปทดสอบคุณสมบัติ และวิเคราะห์ข้อมูลความแปรปรวน โดยกำหนดนัยสำคัญที่ 0.05

ตาราง 2 อัตราส่วนผสมของมอร์ตาร์ผสมเถ้าชีวมวล

สัญลักษณ์	อัตราส่วน การแทนที่ (%)	อัตราส่วนผสม (โดยน้ำหนัก)			
		ปูนซีเมนต์ (g)	ทราย (g)	น้ำ (g)	เถ้าชีวมวล (g)
CS00 (ควบคุม)	0	100	200	100	0
CSB20	20	80	200	100	20
CSB40	40	60	200	100	40
CSB60	60	40	200	100	60
CSS20	20	100	180	100	20
CSS40	40	100	160	100	40
CSS60	60	100	140	100	60

3. การทดสอบคุณสมบัติมอร์ตาร์

3.1 การทดสอบคุณสมบัติไหลแผ่ปูนซีเมนต์

การทดสอบคุณสมบัติไหลแผ่ปูนซีเมนต์ เป็นการทดสอบขั้นตอนแรกของการสร้างตัวอย่าง ซึ่งจะบ่งชี้สภาพของคอนกรีตสด โดยทำการวัดการกระจายของคอนกรีตภายใต้แรงกระทำที่ชุดทดสอบการไหลตัวของคอนกรีต (Flow Table) แบบหมุนมือ (มีค่า 110 ± 5 เปอร์เซ็นต์) ตามมาตรฐาน ASTM C109 (American Society for Testing and Materials, 1999)

3.2 การทดสอบคุณสมบัติดูดซึมน้ำ และหน่วยน้ำหนักของมอร์ตาร์ผสมเถ้าชีวมวล

การทดสอบคุณสมบัติดูดซึมน้ำ โดยเปรียบเทียบน้ำหนักของน้ำที่คอนกรีตบล็อกดูดซึมน้ำได้หลังจากการแช่เป็นเวลา 24 ชั่วโมง กับคอนกรีตบล็อกแห้ง ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน และนำมาชั่งน้ำหนักอีกครั้ง ซึ่งมีค่าเฉลี่ยการดูดซึมน้ำได้ 5–25 เปอร์เซ็นต์ (ขึ้นอยู่กับน้ำหนักและขนาด) ตามมาตรฐาน ASTM C20 (American Society for Testing and Materials, 2010; กระทรวงอุตสาหกรรม, 2533)

3.3 การทดสอบคุณสมบัติความหนาแน่น

การทดสอบคุณสมบัติความหนาแน่น คำนวณหาราคาความหนาแน่นจากมวลต่อปริมาตรของตัวอย่างมอร์ตาร์ ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน ตามมาตรฐาน ASTM C139 (American Society for Testing and Materials, 2003)

3.4 การนำความร้อน

มีทิศทางการเคลื่อนที่ของพลังงานความร้อนจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ และมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน การทดสอบคุณสมบัติการนำความร้อน ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน ด้วยเครื่อง Hot Disk Thermal Constant Analyses ตามมาตรฐาน ASTM C518 (American Society for Testing and Materials, 2015)

3.5 กำลังรับแรงอัด

มอร์ตาร์อายุการบ่ม 28 วัน จำนวนอัตราส่วนละ 5 ก้อน หาค่าความต้านแรงอัดด้วยเครื่องทดสอบความต้านแรงอัดเครื่อง Compression Testing Machine ตามมาตรฐาน ASTM C39 และมีค่าไม่ต่ำกว่า 2.5 MPa (American Society for Testing and Materials, 2014)

4. วิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์

เมื่อวิเคราะห์อัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตคอนกรีตจากคุณสมบัติการไหลแผ่ปูนซีเมนต์ การดูดซึมน้ำ หน่วยน้ำหนัก ความหนาแน่น กำลังรับแรงอัด และการนำความร้อน นำอัตราส่วนที่ดีที่สุดของการใช้เถ้าชีวมวลแทนที่ปูนซีเมนต์ และแทนที่ทรายไปผลิตคอนกรีตบล็อก

ชนิดไม่รับน้ำหนัก และพิจารณาตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก 58-2533 นำข้อมูลปริมาณการใช้วัตถุดิบประเมินต้นทุนการผลิตเทียบกับการผลิตโดยอัตราส่วนผสมปกติ

ผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการใช้ถ้ำจากการเผาไหม้ในโรงไฟฟ้าชีวมวลมาทดแทนสัดส่วนปูนซีเมนต์ และทดแทนสัดส่วนทรายในการนำมาเป็นบล็อก

จากการเตรียมมอร์ตาร์ผสมถ้ำชีวมวลในอัตราส่วน 0, 20, 40 และ 60 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ในระยะเวลาการบ่ม 28 วัน มอร์ตาร์ที่ผลิตได้มีรูปทรงตามต้องการ ปราศจากรอยบิ่น รอยร้าว ผิวหน้ามีความหยาบพอเหมาะสม ดังภาพ 1 และได้ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางเชิงกล และค่าการนำความร้อนของมอร์ตาร์ขนาด $5 \times 5 \times 5$ เซนติเมตร (ตาราง 3) ดังนี้



ภาพ 1 มอร์ตาร์ผสมถ้ำชีวมวลแทนที่ปูนซีเมนต์ (CSB) และแทนที่ทราย (CSS)

ตาราง 3 ผลการทดสอบคุณสมบัติสมบัติมอร์ตาร์

อัตราส่วนผสม	การไหลแผ่ (%)	การดูดซึมน้ำ (%)	กำลังรับแรงอัด (Mpa)	หน่วยน้ำหนัก (g)	ความหนาแน่น (g/cm^3)	การนำความร้อน ($\text{W/m}\cdot\text{K}$)
CS00	111.81 ± 1.81	16.9 ± 8.10	2.79 ± 0.29	246 ± 37	2.33 ± 0.17	0.467 ± 0.520
CSB20	105.904 ± 10	14.89 ± 10.11	2.49 ± 0.01	216 ± 7	2.14 ± 0.02	0.446 ± 0.541
CSB40	114.17 ± 4.17	16.21 ± 8.79	2.53 ± 0.03	222 ± 13	2.19 ± 0.03	0.436 ± 0.551
CSB60	116.54 ± 6.54	18.69 ± 6.31	2.44 ± 0.06	201 ± 8	2.09 ± 0.07	0.421 ± 0.566
CSS20	109.65 ± 0.35	17.64 ± 7.36	2.38 ± 0.12	218 ± 9	2.11 ± 0.05	0.438 ± 0.549
CSS40	112.72 ± 2.72	16.87 ± 8.13	2.61 ± 0.12	236 ± 27	2.29 ± 0.13	0.427 ± 0.560
CSS60	117.53 ± 7.53	19.53 ± 5.47	2.52 ± 0.06	203 ± 6	2.05 ± 0.11	0.419 ± 0.568
พงษ์ศักดิ์ จิตตบุตร (2562)	NA	15.6	2.77	209	2.16	0.987
พัชร อ่อนพรม (2560)	NA	28	2.20	257	2.43	NA
สายสุนีย์ จำรัส และบุรฉัตร ฉัตรวีระ (2553)	112	14	NA	226	2.21	NA

2. ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางเชิงกล และค่าการนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกที่ผลิตได้

2.1 ผลการทดสอบการไหลแผ่ของปูนซีเมนต์ตามมาตรฐาน ASTM C109 ซึ่งค่ามาตรฐานอยู่ที่ $110 \pm 5\%$ โดยค่าการไหลแผ่ที่อยู่ในค่ามาตรฐาน คือ CS00 มีค่า $111.81 \pm 1.81\%$, CSB40 มีค่า $114.17 \pm 4.17\%$ และ CSS40 มีค่า $112.72 \pm 2.72\%$

2.2 ผลการทดสอบหน่วยน้ำหนักของมอร์ตาร์ผสมถ้ำชีวมวลแทนที่ปูนซีเมนต์และแทนที่ทราย มีค่าตามมาตรฐานทุกอัตราส่วนผสมถ้ำชีวมวลที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน

2.3 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำตามมาตรฐาน ASTM C20 ซึ่งค่ามาตรฐานเฉลี่ยการดูดซึมน้ำได้ 5–25% โดย CS00 มีค่าการดูดซึมน้ำ $16.9 \pm 8.10\%$ คอนกรีตบล็อกผสมถ้ำชีวมวลแทนที่ปูนซีเมนต์และแทนที่ทราย มีค่าตามมาตรฐานทุกอัตราส่วนผสมถ้ำชีวมวลไม่เกิน 25% ดังนี้ CSB60 มีค่า $18.69 \pm 6.31\%$ และ CSS60 มีค่า $19.53 \pm 5.47\%$ และการดูดซึมน้ำใกล้เคียง CS00 ที่สุด คือ CSB40 มีค่า $16.21 \pm 8.79\%$ และ CSS40 มีค่า $16.87 \pm 8.13\%$

2.4 ผลการทดสอบความหนาแน่นพบว่า CS00 มีค่าความหนาแน่น $2.33 \pm 0.17 \text{ g/cm}^3$ มอร์ตาร์ผสมเถ้าชีวมวลแทนที่ปูนซีเมนต์มีความหนาแน่น ที่มีค่าความหนาแน่นสูงสุดและใกล้เคียงกับ CS00 คือ CSB40 มีค่า $2.19 \pm 0.03 \text{ g/cm}^3$ และมอร์ตาร์ผสมเถ้าชีวมวลแทนที่ทราย ที่มีค่าความหนาแน่นสูงสุดและใกล้เคียงกับ CS00 คือ CSS40 มีค่า $2.29 \pm 0.13 \text{ g/cm}^3$

2.5 ผลการทดสอบการนำความร้อนตามมาตรฐาน ASTM C518 โดย CS00 มีค่า $0.467 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ในขณะมอร์ตาร์ผสมเถ้าชีวมวลแทนที่ปูนซีเมนต์ CSB20 มีค่า $0.446 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, CSB40 มีค่า $0.436 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ และ CSB60 มีค่าการนำความร้อนต่ำที่สุดของการแทนปูนด้วยเถ้าชีวมวล คือ $0.421 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ และมอร์ตาร์ผสมเถ้าชีวมวลแทนที่ทราย โดย CSS20 มีค่า $0.438 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, CSS40 มีค่า $0.427 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ และ CSS60 มีค่าการนำความร้อนต่ำที่สุดของการแทนปูนด้วยเถ้าชีวมวล $0.419 \text{ W/m}\cdot\text{K}$

2.6 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดตามมาตรฐาน ASTM C109 โดย CS00 มีค่ากำลังรับแรงอัด 2.79 MPa และอัตราส่วนที่มีค่าใกล้เคียง CS00 กับ คือ CSB40 มีค่ากำลังรับแรงอัดสูงที่สุด 2.53 MPa และ CSS40 มีค่ากำลังรับแรงอัด 2.61 MPa

3. ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ ต้นทุนในการผลิตบล็อกที่มีส่วนผสมของเถ้าชีวมวลเปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกที่กำหนดเชิงพาณิชย์

จากการวิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์ พิจารณาเฉพาะราคาต้นทุนวัสดุ เมื่อประเมินต้นทุนค่าวัตถุดิบแต่ละชนิด ดังนี้ เถ้าชีวมวลได้มาจากโรงไฟฟ้าชีวมวลสหโคเจน กรีน จำกัด จึงไม่มีค่าต้นทุนวัสดุทรายหยาบ ราคา 493 บาทต่อลูกบาศก์เมตร ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ราคา 199 บาทต่อถุง และน้ำ 10 บาทต่อลูกบาศก์เมตร (สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน, 2564) เมื่อคำนวณจากการผลิตจำนวน 500 ก้อนต่อวัน ดังตาราง 4 ผลการวิเคราะห์ต้นทุน พบว่าเมื่อนำสัดส่วนที่เลือกมาผลิตคอนกรีตบล็อก ดังแสดงในภาพ 2 ขนาดความหนา $\times$ ความสูง $\times$ ความยาว คือ $7 \times 19 \times 14$ เซนติเมตร ตามลำดับ และความหนาของเปลือก 1.2 เซนติเมตร คอนกรีตที่ผลิตได้รูปทรงตามต้องการ ปราศจากรอยบิ่น รอยร้าว ผิวหน้าคอนกรีตทั้งสองก่อนมีความหยาบพอเหมาะแก่การนำไปฉาบปูนหรือแต่งปูน (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2533) ทั้งนี้ต้นทุนการผลิตของ CSB40 คือ 1.02 บาทต่อก้อน และ CSS40 คือ 1.14 บาทต่อก้อน ซึ่งต้นทุนถูกลงจาก CS00 และเมื่อนำเปรียบเทียบกับราคาขายของคอนกรีตบล็อกทั่วไปตามท้องตลาด คือ 3.5 บาทต่อก้อน (อัปเดต ราคาวัสดุก่อสร้างปลายปี 2565, 2566) จะเห็นส่วนต่างของราคาขายกับต้นทุนคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าชีวมวลแทนที่ปูนซีเมนต์ คือ 2.48 บาทต่อก้อน และคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าชีวมวลแทนที่ทราย คือ 2.36 บาทต่อก้อน



(ก)



(ข)

ภาพ 2 (ก) คอนกรีตบล็อกผสมเถ้าชีวมวลแทนที่ปูนซีเมนต์

(ข) คอนกรีตบล็อกผสมเถ้าชีวมวลแทนที่ทราย

ตาราง 4 ต้นทุนการผลิตคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก

รายละเอียด	CS00	CSB40	CSS40
	ค่าใช้จ่าย (บาท)	ค่าใช้จ่าย (บาท)	ค่าใช้จ่าย (บาท)
ปูน	199.00	119.40	199.00
ทราย	38.00	38.00	22.80
น้ำ	0.75	0.75	0.75
ค่าแรง	350.00	350.00	350.00
รวมต้นทุนต่อวันในการผลิต 500 ก้อน	587.75	508.15	572.55
ต้นทุนต่อ 1 ก้อน	1.18	1.02	1.14



อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเชิงกลของมอร์ตาร์ผสมเถ้าชีวมวลแทนที่ปูนซีเมนต์และแทนที่ทราย พบว่าการแทนที่เถ้าชีวมวลของวัตถุดิบทั้ง 2 ชนิด ในอัตราส่วน 20 และ 40 เปอร์เซ็นต์ มีค่าการไหลแผ่ใกล้เคียงค่าของปูนซีเมนต์ที่ไม่ผสมเถ้าชีวมวล และการแทนทรายจะมีอัตราการไหลมากกว่าแทนปูนซีเมนต์ เมื่อเพิ่มปริมาณอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้น (บุรฉัตร ฉัตรวิระ และวินัย หอมศรีประเสริฐ, 2558) คุณสมบัติหน่วยน้ำหนักของ CSS นั้น เมื่ออัตราส่วนที่ผสมเถ้าชีวมวลมากขึ้นทำให้หน่วยน้ำหนักลดลงแปรผกผันกับ CSB ที่อัตราส่วนที่เถ้าชีวมวลเพิ่มขึ้นมีแนวโน้มทำให้หน่วยน้ำหนักมากขึ้น

ในการแทนที่ด้วยเสาชีวมวลเหลือทิ้ง ทำให้มอร์ตาร์มีน้ำหนักลดลง ช่วยให้น้ำหนักของงานก่อสร้างลดลง ดังนั้นในการประยุกต์ใช้งานโดยใช้คอนกรีตบล็อกผสมเถ้าชีวมวลไปใช้เป็นส่วนประกอบในงานผนัง จะช่วยลดน้ำหนักถาวรที่กระจายสู่โครงสร้างได้ (ฐิติพร พันธุ์ท่าช้าง และคนอื่น ๆ, 2563) การทดสอบการดูดซึมน้ำ พบว่าการใช้เถ้าชีวมวลเป็นส่วนผสมทุกอัตราส่วน มีผลค่าการดูดซึมน้ำอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 15 เล่ม 1-2547 (สำนักมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, 2547) ทั้งนี้อัตรา การแทนที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น เนื่องจากเถ้าชีวมวลมีความชื้นตามธรรมชาติน้อย และมีความพรุนมาก พบว่าปริมาณของการผสมเถ้าชีวมวล (วีระศักดิ์ ละอองจันทร์ และหมิง จิ่ง, 2552) และด้วยคุณสมบัติของเถ้าชีวมวลที่มีรูพรุน ทำให้อากาศเข้าไปแทนที่ในรูพรุนทำให้ ความหนาแน่นน้อยลง และความหนาแน่นของมอร์ตาร์ผสมเถ้าชีวมวลแทนที่ปูนซีเมนต์ น้อยกว่ามอร์ตาร์ผสมเถ้าชีวมวลแทนที่ทราย (ประชุม คำพุด และกิตติพงษ์ สุวิโร, 2553) ในส่วนค่าการนำความร้อน ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าปริมาณเถ้าชีวมวลที่เพิ่มขึ้นทำให้ การนำความร้อนของอิฐบล็อกมีค่าลดลง ในกลุ่มคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าชีวมวลแทนที่ทราย ทั้งนี้ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าการนำความร้อนของคอนกรีตมวลเบา $0.087 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ จะพบว่า ยังมีค่าสูงกว่ามาก แต่เมื่อเทียบกับอิฐมวลเบา $1.15 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ก็ยังมีค่าน้อยกว่า (กานต์ สุขสงญาติ และคนอื่น ๆ, 2550) และเมื่อมีส่วนชีวมวลเพิ่มขึ้นก็ทำให้ค่าการนำความร้อนลดลง โดยเฉพาะเมื่อนำไปแทนที่ทราย ซึ่งมีค่าการนำความร้อนใกล้เคียงกับคอนกรีตมวลเบา ซึ่งเป็น คุณสมบัติของการเป็นฉนวนให้กับตัวอาคาร ในขณะที่ผลของค่ากำลังรับแรงอัดเมื่อพิจารณา คุณสมบัติการมีรูพรุนสูงมาก และรูปร่างที่ไม่แน่นอนของเถ้าชีวมวล โดยปกติแล้วคอนกรีต ที่มีส่วนผสมจากเถ้าชีวมวลต้องใส่น้ำผสมเพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้กำลังอัดของคอนกรีตมีค่าต่ำลง การนำเถ้าชีวมวลมาบดให้ละเอียดขึ้น จะช่วยลดอายุการเสื่อมของเถ้าชีวมวลได้ และใช้สารลดน้ำ เข้าช่วยเพื่อให้คอนกรีตยังมีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่าเดิม มีความสามารถในการเท ตามต้องการ เวลาการก่อตัวระยะต้นและระยะปลายของเพสต์ที่ใช้เถ้าชีวมวลแทนที่ปูนซีเมนต์ บางส่วนจะนานกว่าซีเมนต์เพสต์ ระยะเวลาการก่อตัวต้นจะเพิ่มขึ้นไม่มาก แต่ระยะเวลาการ ก่อตัวปลายเพิ่มขึ้นค่อนข้างมาก ทำให้การเย็นตัวของคอนกรีตลดลง เนื่องจากเถ้าชีวมวลมีพื้นที่ ผิวสูง นอกจากนี้ยังสามารถใช้เถ้าชีวมวลผสมร่วมกับวัสดุปอซีโซลานอื่น เช่น เถ้าถ่านหิน ซึ่งทำให้วัสดุประสานมีคุณสมบัติดีขึ้นตามมาตรฐาน (วีระศักดิ์ ละอองจันทร์ และหมิง จิ่ง, 2552) การผสมเถ้าชีวมวลที่ไม่มากเกินไปช่วยให้คอนกรีตมีคุณภาพดีขึ้น (ชูเกียรติ ชูสกุล และ ขวัญชีวา หยงสตาร์, 2561) กำลังรับแรงอัดอยู่ในเกณฑ์ดี การหดตัวแห้งเพิ่มขึ้น แต่การทน การกัดกร่อนเนื่องจากสารเคมีของคอนกรีตดีขึ้น คุณสมบัติด้านอื่นจะมีความสัมพันธ์โดยตรง กับกำลังรับแรงของคอนกรีตที่ผสมเถ้าชีวมวล (สำนักมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, 2547)

จากผลการศึกษาการทดสอบคุณสมบัติของมอร์ตาร์ผสมเถ้าชีวมวลแทนที่ปูนซีเมนต์และแทนที่ทราย อัตราส่วน 20, 40 และ 60 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ พบว่าการใช้เถ้าชีวมวลผสมแทนที่ปูนซีเมนต์และแทนที่ทราย ในอัตราส่วนผสมส่งผลให้กำลังแรงอัดและความหนาแน่นมีแนวโน้มลดลง และการดูดซึมน้ำมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตามปริมาณอัตราส่วนการผสมเถ้าชีวมวล แต่การใช้เถ้าชีวมวลผสมในปริมาณที่เหมาะสมในงานนี้ ได้แก่ อัตราส่วน 40 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ส่งผลให้กำลังแรงอัดการดูดซึมน้ำและความหนาแน่นดีกว่าอัตราส่วน 20 และ 60 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับคอนกรีตบล็อกที่ไม่ผสมเถ้าชีวมวล (CS00) (พัชร อ่อนพรม, 2560) ในส่วนของอัตราส่วน 20 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับคอนกรีตบล็อกที่ไม่ผสมเถ้าชีวมวล (CS00) แล้วมีค่าน้อยเพราะมีช่องว่างอากาศเล็กหรือรูพรุนน้อยตามปริมาณการผสมเถ้าชีวมวล จึงส่งผลเสียต่อกำลังแรงอัด การดูดซึมน้ำ และความหนาแน่นน้อยตามปริมาณการผสมเถ้าชีวมวล และอัตราส่วน 60 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับมอร์ตาร์ที่ไม่ผสมเถ้าชีวมวล (CS00) แล้วมีค่ามากกว่า เพราะมีการผสมเถ้าชีวมวลมากที่สุดจากอัตราส่วนอื่น ๆ ทำให้เกิดช่องว่างอากาศหรือรูพรุนมากกว่า อัตราส่วน 20 และ 40 เปอร์เซ็นต์ จึงส่งผลให้ค่ากำลังแรงอัด การดูดซึมน้ำ และความหนาแน่นมาก ตามปริมาณการผสมเถ้าชีวมวล (ณัฐวัตร ตันติกุลวิจิตร และวินัย อวยพรประเสริฐ, 2564) ทั้งนี้ ผลวิเคราะห์ข้อมูลความแปรปรวนพบว่า เมื่อใช้เถ้าชีวมวลแทนที่ปูนซีเมนต์และแทนที่ทราย ในอัตราส่วน 20, 40 และ 60 เปอร์เซ็นต์ มีผลกับค่าการไหลผ่าน การดูดซึมน้ำ และกำลังรับแรงอัด ที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 แต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 ต่อคุณสมบัติด้านความหนาแน่นและค่าการนำความร้อน และเมื่อพิจารณาจากคุณสมบัติของคอนกรีตบล็อกและผลทางเศรษฐศาสตร์ พบว่าคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักที่ใช้ส่วนผสมเถ้าชีวมวลแทนที่ปูน 40 เปอร์เซ็นต์ และแทนที่ทราย 40 เปอร์เซ็นต์ เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่มีแนวโน้มในการพัฒนาเพื่อผลิตในเชิงพาณิชย์ได้ ค่าการนำความร้อนต่ำ และมีต้นทุนที่ถูกลง จึงเป็นทางเลือกให้กับธุรกิจการผลิตคอนกรีตบล็อกให้สามารถผลิตได้ราคาต้นทุนต่ำกว่าเดิม และได้คุณภาพมาตรฐาน (ศราวุธ ปัญญาศักดิ์, 2560)



สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาผลคุณสมบัติของมอร์ตาร์ผสมเถ้าชีวมวลแทนที่ปูนซีเมนต์และแทนที่ทราย พบว่าเถ้าชีวมวลสามารถใช้ทดแทนปูนซีเมนต์และทรายได้ในบางส่วนของงานคอนกรีต เมื่อใช้เถ้าชีวมวลทดแทนปูนซีเมนต์จะมีความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ และค่ากำลังแรงอัดน้อย และใช้เถ้าชีวมวลทดแทนทรายบางส่วนทำให้มีความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ และกำลังแรงอัดมีค่าที่ดีขึ้น แต่เมื่อมีการผสมเถ้าชีวมวลในอัตราส่วนที่เพิ่มมากขึ้นทำให้ค่ากำลังแรงอัดลดลง

โดยอัตราส่วนในการใช้เถ้าชีวมวลแทนปูนซีเมนต์และแทนทรายที่ อัตราส่วน 40 เปอร์เซ็นต์ อายุ 28 วัน มีค่าดีที่สุดในงานวิจัยนี้ ในขณะที่ค่าการนำความร้อนมีแนวโน้มลดลงเมื่อมีสัดส่วนการแทนที่ด้วยเถ้าชีวมวลที่เพิ่มขึ้น

ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้ประโยชน์

1. การนำไปใช้งานจริงควรทดสอบคุณสมบัติของอิฐบล็อกด้วยขนาดมาตรฐาน มอก. 58-2533 ต่อไป
2. การทดสอบนี้ใช้วัตถุดิบเถ้าชีวมวลจากแหล่งโรงไฟฟ้าเดียว ซึ่งใช้วัตถุดิบได้แก่ เศษไม้ แกลบ ชังข้าวโพด เป็นต้น ดังนั้นการจะนำผลการทดสอบไปใช้อ้างอิงเพื่อผลิตคอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนักจากเถ้าชีวมวลจากแหล่งโรงไฟฟ้าอื่น ควรทดสอบคุณสมบัติทางเคมีของเถ้าชีวมวลก่อนนำมาผลิต

ข้อเสนอแนะการวิจัยครั้งต่อไป

แม้ว่าเถ้าชีวมวลที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับคุณสมบัติของเถ้าชีวมวลในงานนี้มีความเป็นไปได้อย่างมากที่จะสามารถใช้อัตราส่วนที่เหมาะสมตามข้อสรุป แต่ควรมีการศึกษาผลของน้ำที่มีต่อค่ากำลังอัดและคุณสมบัติอื่น ๆ เพื่อหาอัตราส่วนน้ำที่เหมาะสมต่อไป



กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ขอขอบคุณ ทูสนันสนุนงานวิจัยจากโครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทนในกลุ่มประเทศอาเซียนสำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ และโรงไฟฟ้าชีวมวล สหโคเจน กรีน จำกัด สำหรับข้อมูลและตัวอย่างเถ้าชีวมวลในการดำเนินงานวิจัยนี้



เอกสารอ้างอิง

- กระทรวงอุตสาหกรรม. (2533). *ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1619 (พ.ศ. 2533)*. สืบค้น 7 มิถุนายน 2565, จาก <http://ptg.co.th/TIS/TIS58-2533.pdf>
- กานต์ สุขสงญาติ, อิทธิพงศ์ ชัยสายัณห์, อำนาจ จันทร์กะพ้อ, ปรีดา จันทวงศ์, วิชานู วิมานจันทร์, และพิชัย นามประกาย. (2550). การศึกษาเปรียบเทียบเชิงเศรษฐศาสตร์ระหว่างบ้านที่ใช้ผนังอิฐมอญกับผนังมวลเบาด้านการถ่ายเทความร้อนและคุณสมบัติทางความร้อน. *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, 17(2), 34–42.
- จิรวัดน์ วิมุตติสุขวิริยา. (2565). การศึกษาคุณสมบัติบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนักผสมเถ้าลอยชีวมวลในพื้นที่จังหวัดบุรีรัมย์. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี*, 10(1), 1–15.

- ชูเกียรติ ชูสกุล และขวัญชีวา หยงสตาร์. (2561). กำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ใช้หินฝุ่นแทนทราย. *วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย*, 10(2), 324–332.
- ฐิติพร พันธุ์ท่าช้าง, วีระชาติ อินตา, จีรวัฒน์ คำใจ, และเศวตสุนทร ชินะกุล. (2563). กำลังแรงอัดของอิฐบล็อกประสานจากดินลูกรังผสมซีเมนต์ด้วยเถ้าหินและเถ้าชีวมวล. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่*, 5(1), 15–24. <https://doi.org/10.14456/rmutlengj.2020.3>
- ณัฐวัตร ตันติกุลวิจิตร และวินัย อวยพรประเสริฐ. (2564). ผลกระทบของสารลดน้ำอย่างมากที่มีผลต่อการไหลแผ่ กำลังอัด และกำลังดึงของมอร์ตาร์. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 26* (น. 1–8). สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- บุรฉัตร ฉัตรวีระ และวินัย หอมศรีประเสริฐ. (2558). กำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์เถ้าลอยระยะบ่มด้วยเตาอบไฟฟ้าภายใต้การกระทำของโซเดียมซัลเฟตและแมกนีเซียมซัลเฟต. *วิศวกรรมสารธรรมศาสตร์*, 3(1), 25–33.
- ประชุม คำพุม. (2559). ความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตผสมเถ้าปาล์มน้ำมันแทนซีเมนต์และหินฝุ่นแทนทรายบางส่วน. *วารสารการพัฒนาชุมชนและคุณภาพชีวิต*, 4(3), 461–470.
- ประชุม คำพุม และกิตติพงษ์ สุวีโร. (2553). *การศึกษาคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้ากลบเสริมแผ่นยางธรรมชาติ* (รายงานการวิจัย). คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- พงษ์ศักดิ์ จิตตบุตร. (2562). สมบัติเชิงกลและการนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร. *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, 29(2), 342–351.
- พัชร อ่อนพรม. (2560). การใช้เถ้ากลบแทนที่ทรายบางส่วนในคอนกรีตมวลเบา. *บทความวิจัยและนวัตกรรมอาชีวศึกษา*, 1(1), 37–54.
- เพ็ญพิชชา คงเพิ่มโกศล, อรรคเดช อับดุลมาติน, วีระชาติ ตั้งจิรภัทร, และชัย จาตุรพิทักษ์กุล. (2559). การพัฒนากำลังอัดคอนกรีตโดยใช้วัสดุประสานจากเถ้าก้นเตาและกากแคลเซียมคาร์ไบด์. *วารสารวิชาการสมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย*, 4(1), 11–19.
- รายงานประจำปี (56-1 One Report) 2564. (2565). สหโคเจน. สืบค้น 7 มิถุนายน 2565, จาก https://sahacogen.com/?page_id=343

- วีระศักดิ์ ละอองจันทร์ และหมิง จิ่ง. (2552). การใช้เถ้าชีวมวลในการพัฒนานวัตกรรมผนังคอนกรีตมวลเบาเพื่อเป็นฉนวนกันความร้อนสำหรับอาคาร (รายงานการวิจัย). คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- ศราวุธ ปริญญาศักดิ์. (2560). การพัฒนาคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักโดยมีส่วนผสมเพิ่มของเถ้าลอย [วิทยานิพนธ์ปริญญาโท]. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- สายสุนีย์ จำรัส และบุรฉัตร ฉัตรวีระ. (2553). อิทธิพลของสัดส่วนผสมที่มีต่อคุณสมบัติทางกายภาพและสมบัติไดอิเล็กตริกของจีโอโพลีเมอร์มอร์ตาร์เถ้าลอย. วารสารวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 33(2), 145–162.
- สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน. (2564, 8 พฤศจิกายน). บัญชีราคาค่าวัสดุและค่าแรง ปีงบประมาณ 2665. โยธาไทย. สืบค้น 7 มิถุนายน 2565, จาก <https://www.yotathai.com/yotanews/cost-build-65>
- สำนักมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. (2547). มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เล่ม 1 ข้อกำหนดคุณภาพ มอก. 15-2547. กระทรวงอุตสาหกรรม.
- องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). (2562, 5 พฤศจิกายน). บ้านประหยัดพลังงาน อยู่สู้ภาวะโลกร้อน. สืบค้น 7 มิถุนายน 2565, จาก <http://www.tgo.or.th/2020/index.php/th/post/บ้านประหยัดพลังงาน-อยู่สู้>
- อัปเดต ราคาวัสดุก่อสร้าง ปลายปี 2565. (2566, 10 มกราคม). บ้านและสวน. สืบค้น 16 มิถุนายน 2565, จาก <https://www.baanlaesuan.com/221417/maintenance/material-cost>
- อัมพรณดี ยูโษะ. (2552). ผลกระทบของอุณหภูมิน้ำผสมคอนกรีตต่อการรับกำลังอัดของคอนกรีต. วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์, 1(2), 62–71.
- อาภาพร สินธุสาร. (2552). เถ้าแกลบ: วัสดุเหลือทิ้ง (ไม่) ไร้ค่า. สำนักเทคโนโลยีชุมชน. สืบค้น 20 มิถุนายน 2563, จาก https://www.dss.go.th/images/st-article/ct_6_2552_Husk.pdf
- American Society for Testing and Materials. (1999). Annual Book ASTM Standards. ASTM C109: Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens. สืบค้น 2 มิถุนายน 2565, จาก https://kupdf.net/download/astm-c109_5c2baac7e2b6f5c14d04844c_pdf

- American Society for Testing and Materials. (2003). Annual Book of ASTM Standards. *ASTM C139: Standard Specification for Concrete Masonry Units for Construction of Catch Basins and Manholes*. สืบค้น 2 มิถุนายน 2565, จาก <https://civilfield.co/2021/08/22/astm-c-139-03-pdf-free-download/>
- _____. (2010). Annual Book ASTM Standards. *ASTM C20: Standard Test Methods for Apparent Porosity, Water Absorption, Apparent Specific Gravity, and Bulk Density of Burned Refractory Brick and Shapes by Boiling Water*. สืบค้น 2 มิถุนายน 2565, จาก https://www.researchgate.net/publication/334307526_Standard_Test_Methods_for_Apparent_Porosity_Water_Absorption_Apparent_Specific_Gravity_and_Bulk_Density_of_Burned_Refractory_Brick_and_Shapes_by_Boiling_Water_1
- _____. (2014). Annual Book ASTM Standards. *ASTM C39: Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. สืบค้น 2 มิถุนายน 2565, จาก https://kupdf.net/download/astm-c39-c39m-standard-test-method-for-compressive-strength-of-cylindrical-concrete-specimens-pdf_58e6abe4dc0d609541da9821_pdf
- _____. (2015). Annual Book of ASTM Standards. *ASTM C518: Standard Test Method for Steady-State Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus*. สืบค้น 2 มิถุนายน 2565, จาก https://kupdf.net/download/c-518-15pdf_5c2a3d12e2b6f56a70ac8249_pdf



ACADEMIC JOURNAL
UTTARADIT RAJABHAT
UNIVERSITY

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพจากผักเคลที่เหลือทิ้ง
ของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนพอเพียงก็เพียงพอ จังหวัดเพชรบูรณ์
DEVELOPMENT OF HEALTHY SNACK PRODUCTS FROM KALE
LEFTOVERS OF SUFFICIENCY COMMUNITY ENTERPRISE GROUP
IN PHETCHABUN PROVINCE

วันที่รับ: 6 กรกฎาคม 2565

วันที่แก้ไข: 21 พฤศจิกายน 2565

วันที่ตอบรับ: 25 พฤศจิกายน 2565

รัตนกร แสนท่าพล^{1*},

อภิชาติ สุวรรณชื่น¹ และ ธรรมศาสตร์ จันทรัตน์¹

Rattanakorn Saenthumpol^{1*},

Apiachart Suwanachuen¹ and Thammasart Chantarart¹

¹คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
จังหวัดเพชรบูรณ์ 67000

¹Faculty of Agricultural and Industrial Technology, Phetchabun Rajabhat University,
Phetchabun 67000

*Corresponding author e-mail: rattanakorn.sae@pcru.ac.th



บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพจากผักเคลที่เหลือจากการตัดแต่งคุณภาพ ศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์และการยอมรับของผู้บริโภค และถ่ายทอดเทคโนโลยีการพัฒนาขนมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพจากผักเคลให้เกิดมูลค่าเชิงพาณิชย์สู่ชุมชน วิจัยดำเนินการวิจัยแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่ การพัฒนาสูตรขนมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพจากผักเคลเป็นข้าวเกรียบเคล ศึกษาคุณภาพทางกายภาพ เคมี และประเมินทางประสาทสัมผัส (9-point hedonic scale) วิเคราะห์ข้อมูลโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) และถ่ายทอดเทคโนโลยีการพัฒนาขนมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพจากผักเคลที่เหลือทิ้งจากการตัดแต่งคุณภาพให้เกิดมูลค่าเชิงพาณิชย์สู่ชุมชน ผลการวิจัยพบว่า การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพจากผักเคลจำนวน 3 สูตร ได้แก่ สูตรที่ 1 เคลสด 100 เปอร์เซ็นต์ สูตรที่ 2 เคลผง 100 เปอร์เซ็นต์ และสูตรที่ 3 เคลสด:เคลผง (50:50) คุณภาพทางกายภาพ ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี ค่าสี L^* a^* b^* และคุณภาพทางเคมี ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต เถ้า และพลังงานของข้าวเกรียบเคล ทั้ง 3 สูตร ($p > 0.05$) ผลประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส จากคะแนนความพึงพอใจของผู้บริโภค พบว่าลักษณะปรากฏ สี รสชาติ

ความกรอบ ของทั้ง 3 สูตร ($p > 0.05$) แตกต่างและการยอมรับโดยรวม พบว่าผู้บริโภคให้คะแนนความพึงพอใจข้าวเกรียบเคล สูตรที่ 1 มากที่สุด เท่ากับ 8.01 ± 0.76 รองลงมาสูตรที่ 3 และ 2 เท่ากับ 7.95 ± 0.55 และ 7.60 ± 0.68 ($p < 0.05$) ส่วนในการถ่ายทอดเทคโนโลยี กระบวนการพัฒนาขนมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพจากผักเคลที่เหลือทิ้งจากการตัดแต่งคุณภาพ ให้เกิดมูลค่าเชิงพาณิชย์แก่ชุมชน พบว่าผู้เข้าร่วมโครงการให้คะแนนความพึงพอใจในภาพรวม ทั้งหมดอยู่ในเกณฑ์มากที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.80 ± 0.41

คำสำคัญ: อาหารสุขภาพ, ขนมขบเคี้ยว, ผักเคล, เศษตัดแต่งเหลือทิ้ง



Abstract

The objectives of this study were to develop healthy snack products from kale, investigate product quality, consumer acceptance, and transfer knowledge in developing healthy snack products from kale to create commercial values for the community. The study was divided into 3 stages: 1) development of healthy snack recipes from kale, 2) examining the physical quality, chemical quality, and sensory evaluation (9-point hedonic scale) which was analyzed with Duncan's New Multiple Range Test (DMRT), and 3) technology transfer of snack development process from kale left over from quality cuts, to create commercial value for the community. Data were analyzed by Duncan's New Multiple Range Test (DMRT). The results showed that 3 formulas of healthy snack products from kale were developed: formula 1 using 100 percent fresh kale, formula 2 using 100 percent kale powder, and formula 3 using fresh kale and kale powder (50:50). As for the physical properties, the value of water activity, color value L^* a^* b^* and chemical quality such as moisture, protein, fat, carbohydrate, ash and energy of the 3 formulas of kale crackers were not significantly different ($p > 0.05$). By looking at the consumer satisfaction scores, it was found that the appearances, color, taste, and crispness of the three formulas were not different ($p > 0.05$). But the smell and overall acceptance showed that consumers rated their satisfaction with kale crackers for Formula 1 as the best, equal to 8.01 ± 0.76 , followed by formula 3 and the formula 2 equal to 7.95 ± 0.55 and 7.60 ± 0.68 , respectively, which was statistically different ($p < 0.05$). As for the technology

transfer in the process of developing healthy snacks from kale left over from cutting quality to create commercial values for the community, it was found that the participants rated overall satisfaction as the highest level with an average 4.80 ± 0.41 .

Keywords: Healthy Food, Snack, Kale, Trimming Waste



บทนำ

ผักเคล (Kale: *Brassica oleracea*) เป็นผักใบวงศ์กะหล่ำ (Brassicaceae) ปัจจุบันได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก เนื่องจากอุดมไปด้วยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (Bioactive) เช่น วิตามินซี โพรวิตามินเอ กลูโคซิโนเลต สารประกอบฟีนอล โยอาหาร ธาตุอาหารรอง (ธาตุเหล็ก, สังกะสี และแมงกานีส) และธาตุอาหารหลัก (แคลเซียม และแมกนีเซียม) (Khachik et al., 1991, p. 71–80) จากงานวิจัยพบว่าผักเคลช่วยยับยั้งการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจ (Kahlon et al., 2007, p. 1531) และมะเร็ง (Chung et al., 2002, p. 3) เนื่องจากผักเคลมีสารประกอบฟีนอลสูงและมีสารออกฤทธิ์ที่มีส่วนช่วยในการส่งเสริมสุขภาพจากการวิจัยของคิม (Kim, 2017, p. 231) พบว่าในผักเคลมีสารอาหารหลายอย่างที่จะช่วยป้องกันการเสื่อมสภาพของดวงตา โดยเฉพาะลูทีนและซีแซนทีน และจากงานวิจัยของคาร์เธีย และคนอื่น ๆ (Cartea et al., 2008, p. 405) พบว่าการดื่มน้ำเคลทุกวันเป็นเวลาติดต่อกัน 12 สัปดาห์ จะช่วยเพิ่มระดับ HDL หรือไขมันดีถึง 27 เปอร์เซ็นต์ และยังช่วยลดระดับไขมันเลว LDL ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ อีกทั้งผักเคลมีปริมาณวิตามินซีสูงกว่าผักโขมถึง 4.5 เท่า และผักเคลสด 1 ถ้วย มีวิตามินซีสูงกว่าส้ม 1 ลูก (Ayaz et al., 2006) นอกจากนั้นแล้วในการรับประทานผักเคล ผักต้นอ่อน (Baby Vegetables) เป็นผักที่เก็บเกี่ยวในช่วง 15 ถึง 35 วัน ผักเคลต้นอ่อนและผักเคลต้นเต็มวัย เก็บเกี่ยวอายุระหว่าง 40–65 วัน จะมีสารอาหารเหมือนกัน (Satheesh & Fanta, 2020) แต่ต้นอ่อนจะมีรสชาติอ่อนกว่า นุ่มนวลกว่า และรับประทานสดได้ง่ายกว่า ส่วนผักโตเต็มวัย (Mature Greens) เหมาะกับการทำอาหารหรืออบได้ดีกว่า ดังนั้น ผักเคลจึงเริ่มได้รับความนิยมและรู้จักมากขึ้น และถือได้ว่าเป็นซูเปอร์ฟู้ด (Super Food) ซึ่งในประเทศไทยได้เริ่มมีการปลูกผักเคลเพื่อบริโภคมากขึ้น สามารถรับประทานในรูปแบบผักสดและแปรรูป จากการที่ผักเคลอุดมไปด้วยคุณค่าทางโภชนาการจึงทำให้มีมูลค่าสูงและเป็นที่ต้องการของตลาด (Korus & Lisiewska, 2011)

ในปัจจุบันผู้บริโภคหันมาใส่ใจดูแลสุขภาพของตัวเองมากขึ้น ซึ่งอาหารสุขภาพกำลังได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะผลผลิตทางการเกษตรที่เป็นปัจจัยหลักในการประกอบ

อาหาร โดยจะเน้นเลือกซื้อสินค้าเกี่ยวกับสุขภาพ ปู่ออาหารรับประทานเอง ซึ่งสินค้าที่มี
แนวโน้มเติบโตดีจะเป็นกลุ่มอาหารที่เรียกว่า ซูเปอร์ฟู้ด (Super Food) อาหารที่มีคุณค่า
โภชนาการสูง อุดมไปด้วยวิตามิน และมีประโยชน์ต่อร่างกาย เช่น กลุ่มอาหารฟังก์ชัน
หรือผลิตภัณฑ์ที่ทำหน้าที่ให้คุณค่าทางอาหารที่จำเป็นกับร่างกาย นอกจากอาหารฟังก์ชันแล้ว
ผู้บริโภคยังจะมองหาวัตถุดิบหรือผลิตภัณฑ์การเกษตรที่ปลอดภัยจากสารเคมี เช่น อาหาร
เกษตรอินทรีย์ (Organic Foods) อาหารทางการแพทย์ (Medical Foods) รวมถึงอาหารจาก
พืชหรือสัตว์ที่ไม่ได้ใช้เทคโนโลยีการผลิตแบบดั้งเดิม แต่เป็นอาหารที่ได้รับการปรับแต่ง
โดยกระบวนการผลิตแบบใหม่ (Novel Foods) เช่น การใช้นาโนเทคโนโลยีในการผลิต รวมถึง
แหล่งอาหารใหม่ เช่น แมลง สาหร่าย ยีสต์ เป็นต้น และขนมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพก็เป็น
ทางเลือกหนึ่งในการบริโภคอาหาร ประกอบกับวิถีการใช้ชีวิตของมนุษย์ที่เร่งรีบและต้องการ
ความสะดวกสบาย ทำให้ขนมขบเคี้ยว เช่น ข้าวเกรียบ ถือเป็นอาหารสำเร็จรูปที่ได้รับความนิยม
ในการบริโภคในทุกเพศทุกวัย โดยเฉพาะกลุ่มวัยรุ่น เนื่องจากสินค้าขนมขบเคี้ยว
มีรูปแบบ รสชาติที่หลากหลาย พกพาสะดวก อีกทั้งยังมีการโฆษณาและส่งเสริมการขาย
เป็นการสร้างแรงจูงใจให้ผู้บริโภคเลือกซื้อมารับประทานได้เป็นอย่างมาก จากการสำรวจ
พฤติกรรมโดยสำนักงานสถิติแห่งชาติในปี 2564 พบว่าคนไทยรับประทานขนมทานเล่นและ
ขนมกรุบกรอบต่อสัปดาห์เพิ่มขึ้น จากร้อยละ 44.6 เป็นร้อยละ 51.0 จึงทำให้อุตสาหกรรม
ขนมขบเคี้ยวมีการขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง (สำนักงานสถิติแห่งชาติ, 2564)

กลุ่มวิสาหกิจชุมชนพอเพียงก็เพียงพอ เป็นกลุ่มเกษตรกรที่มีการรวมตัวกันทำเกษตร
อินทรีย์แบบผสมผสาน สมาชิกในกลุ่มจะนำผลผลิตในไร่หรือฟาร์มของตนเองมาจำหน่าย
ที่ตลาดในชุมชนเพื่อสร้างรายได้ เนื่องจากเป็นผักผลไม้อินทรีย์และผักเคลก็เป็นผักที่ขายดีที่สุด
ในกลุ่มของคนรักสุขภาพ จากการลงพื้นที่ของผู้วิจัย พบว่าผักเคลกำลังได้รับความนิยมสูง
ในกลุ่มผู้รักสุขภาพภายในจังหวัดเพชรบูรณ์ สร้างรายได้ดีให้กับสมาชิกกลุ่ม แต่ปัญหาของ
กลุ่มคือผักเคลที่เหลือจากการตัดแต่งมีปริมาณมาก ประมาณร้อยละ 20 เนื่องจากมีตำหนิและ
ใบแก่เกินไป ซึ่งผักเคลไม่ว่าจะแก่หรืออ่อนจะมีสารอาหารที่เท่ากัน ซึ่งผักเหล่านี้มีคุณภาพดี
และปลอดภัยต่อผู้บริโภค สมาชิกในกลุ่มวิสาหกิจชุมชนจึงต้องนำผักเคลไปทิ้งหรือทำปุ๋ยหมัก
ซึ่งไม่สามารถสร้างมูลค่าหรือเพิ่มรายได้ให้กับสมาชิกเท่าไรนัก ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการหาวิธี
การนำผักเคลที่เหลือจากการตัดแต่งคุณภาพมาเพิ่มมูลค่า สร้างผลิตภัณฑ์ใหม่ให้กับกลุ่ม
ผู้รักสุขภาพ ผู้สูงอายุ หรือเด็กและเยาวชน ที่ชอบและไม่ชอบทานผัก เนื่องจากผักเคลเป็นพืช
ที่มีประโยชน์มาก มีธาตุโพแทสเซียมและแคลเซียมสูง และสามารถเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกร
อีกช่องทางหนึ่ง



วัตถุประสงค์การวิจัย

1. พัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพจากผักเคลที่เหลือทิ้งจากการตัดแต่งคุณภาพของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนพอเพียงก็เพียงพอ จังหวัดเพชรบูรณ์
2. ศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์และการยอมรับของผู้บริโภค
3. ถ่ายทอดเทคโนโลยีการพัฒนาขนมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพจากผักเคลให้เกิดมูลค่าเชิงพาณิชย์สู่ชุมชน



วิธีการดำเนินการวิจัย

1. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพจากผักเคล

1.1 การเตรียมผงผักเคล โดยนำผักเคลสดที่เหลือจากการตัดแต่งคุณภาพ เช่น ใบแก่ ใบที่ถูกแมลงกัด หรือใบที่ไม่ได้รูปทรง ล้างทำความสะอาด ผึ่งให้สะเด็ดน้ำ นำมาหั่นเป็นชิ้นที่เล็กลง แล้วนำไปอบให้แห้งกรอบด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (ยี่ห้อ JSR รุ่น JSOF-Series Dual Chamber Oven) โดยใช้เวลา 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เพื่อให้ความชื้นสุดท้ายเหลือ 8–10 เปอร์เซ็นต์ และนำไปบดละเอียดด้วยเครื่องปั่น ยี่ห้อ Panasonic รุ่น MX-1561

1.2 เตรียมข้าวเกรียบดิบ และข้าวเกรียบผักเคลพร้อมบริโภค โดยพัฒนาสูตรข้าวเกรียบผักเคล จำนวน 3 สูตร ได้แก่ ผักเคลสด (สูตรที่ 1) ผักเคลผง (สูตรที่ 2) และผักเคลสดผสมผักเคลผง (อัตราส่วน 1:1, 50:50 กรัม) (สูตรที่ 3) โดยนำผักเคลที่เหลือจากการตัดแต่งคุณภาพแบบสด ล้างทำความสะอาด ผึ่งให้สะเด็ดน้ำ หั่นเป็นชิ้นที่เล็กลง จากนั้นนำมาบดละเอียดโดยผสมกับน้ำ ในอัตราส่วนของผักเคลสดและน้ำ 1:1.5 (100:150 กรัม) ด้วยเครื่องปั่นผสมยี่ห้อ Panasonic รุ่น MX-1561 โดยใช้เวลา 3 นาที รายละเอียดส่วนผสมของข้าวเกรียบผักเคลดังแสดงในตาราง 1 และวิธีการทำข้าวเกรียบผักเคล ดังภาพ 1

ตาราง 1 แสดงส่วนผสมของข้าวเกรียบผักเคลสูตรต่าง ๆ

ส่วนผสม	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3
ผักเคลที่เหลือจากการตัดแต่งคุณภาพ	ผักเคลสด 100 กรัม	ผักเคลผง 50 กรัม	ผักเคลสด 50 กรัม และ ผักเคลผง 50 กรัม
แป้งมันสำปะหลัง	200 กรัม	200 กรัม	200 กรัม
น้ำตาลทราย	50 กรัม	50 กรัม	50 กรัม
พริกไทยป่น	5 กรัม	5 กรัม	5 กรัม
กระเทียมสดบดละเอียด	5 กรัม	5 กรัม	5 กรัม
เกลือ	2 กรัม	2 กรัม	2 กรัม
น้ำเปล่า	150 มิลลิลิตร	150 มิลลิลิตร	150 มิลลิลิตร



ภาพ 1 แสดงวิธีการทำผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบผักเคล

2. การศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบผักเคล

2.1 คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ วัดค่าทางกายภาพ คือ ค่าสี $L^* a^* b^*$ โดยใช้เครื่อง Spectrophotometer รุ่น CM - 3500d, วัดความหนาโดยใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์ และวัดค่า a_w โดยใช้เครื่องวัดค่าออสโมมิเตอร์แอคทีวิตี้ (a_w) รุ่น Pawkit

2.2 คุณภาพทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน และเถ้า ตามวิธีการของฮอว์วิทซ์ (Horwitz, 2000)

2.3 ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ (9-point hedonic scale) ด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และการยอมรับโดยรวม (1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด จนถึง 9 หมายถึงชอบมากที่สุด) ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 50 คน ที่มีตั้งแต่อายุ 19 ปีขึ้นไป

3. การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมี มาวิเคราะห์ผลทางสถิติ วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของข้อมูลตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ได้ของแต่ละสิ่งทดลองโดยวิธี Duncan's new Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป

4. การถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชน

ถ่ายทอดกระบวนการพัฒนาขนมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพจากผักเคลที่เหลือทิ้งจากการตัดแต่งคุณภาพให้เกิดมูลค่าเชิงพาณิชย์ โดยจัดฝึกอบรมในรูปแบบการจัดการองค์ความรู้สู่ชุมชน การสร้างความเข้าใจภาคบรรยายและกระบวนการเรียนรู้ภาคปฏิบัติ รวมถึงการประเมินความพึงพอใจจากผู้เข้าร่วมอบรม วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้การแจกแจงความถี่ (Frequency) และค่าร้อยละ (Percentage) และค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic Mean) โดยพื้นที่ดำเนินการ ณ วิสาหกิจชุมชนพอเพียงก็เพียงพอ ตำบลห้วยสะแก อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์ วันที่ 26-27 พฤศจิกายน 2564 กลุ่มเป้าหมาย 20 คน



ผลการวิจัย

1. ผลการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพจากผักเคล

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพจากผักเคล มีจำนวน 3 สูตร ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบที่ใช้ผักเคลสด 100 เปอร์เซ็นต์ เป็นส่วนผสม (สูตรที่ 1) ผักเคลผง 100 เปอร์เซ็นต์ (สูตรที่ 2) และผักเคลสดผสมกับผักเคลผง อัตราส่วน 1:1 (สูตรที่ 3) ดังภาพ 2



ภาพ 2 ผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบผักเคลทั้ง 3 สูตร

2. ผลการศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์และการยอมรับของผู้บริโภค

2.1 คุณภาพทางกายภาพ

คุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบผักเคลทั้ง 3 สูตร ได้แก่ ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี (a_w) มีค่าที่ไม่แตกต่างกัน ส่วนความหนาสูตรที่ 2 มีความหนามากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.63 ± 0.013 ซึ่งมีความแตกต่างกันของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และค่าสี L^* a^* b^* โดยมีค่าเฉลี่ยของข้อมูลไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ของทั้ง 3 สูตร ดังแสดงในตาราง 2 และภาพ 2 ลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบผักเคลทั้ง 3 สูตร

ตาราง 2 แสดงคุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบผักเคล

สูตร	ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี (a_w) ^{ns}	ความหนา	ค่าสี		
			L^* ^{ns}	a^* ^{ns}	b^* ^{ns}
1	0.25 ± 0.06	$0.56^c \pm 0.012$	28.8 ± 1.49	-10.5 ± 0.61	14.8 ± 1.03
2	0.26 ± 0.010	$0.63^a \pm 0.013$	29.4 ± 0.89	-11.3 ± 0.58	15.3 ± 0.98
3	0.27 ± 0.010	$0.60^b \pm 0.012$	29.7 ± 0.67	-12.2 ± 0.60	16.4 ± 0.97

หมายเหตุ: ตัวอักษร a, b, c ในแต่ละคอลัมน์ แสดงค่าความแตกต่างกันของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตัวอักษร ns ในแต่ละคอลัมน์ แสดงค่าความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

2.2 คุณภาพทางเคมี

คุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบผักเคลของทั้ง 3 สูตร ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และเถ้า มีค่าเฉลี่ยของข้อมูลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ซึ่งแสดงรายละเอียดในตาราง 3

ตาราง 3 แสดงองค์ประกอบทางด้านเคมีของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบผักเคล

องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละ)	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3
ความชื้น ^{ns}	4.53 ± 0.01	4.12 ± 0.03	4.38 ± 0.02
โปรตีน ^{ns}	0.90 ± 0.02	0.84 ± 0.02	0.89 ± 0.01
ไขมัน ^{ns}	23.50 ± 0.01	20.13 ± 0.02	22.84 ± 0.01
คาร์โบไฮเดรต ^{ns}	68.35 ± 0.03	72.75 ± 0.02	70.36 ± 0.02
เถ้า ^{ns}	2.75 ± 0.02	2.35 ± 0.02	2.58 ± 0.01
พลังงาน ^{ns}	485 ± 0.01	490 ± 0.01	493 ± 0.03

หมายเหตุ: ตัวอักษร ns ในแนวนอน แสดงค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

2.3 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสและการยอมรับของผู้บริโภค

ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสและการยอมรับของผู้บริโภค ด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ (9-point hedonic scale) พบว่าผู้บริโภคให้คะแนนความพึงพอใจ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี รสชาติ และความกรอบ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยของข้อมูลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ส่วนกลิ่นและการยอมรับโดยรวมของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบผักเคล พบว่าผู้บริโภคให้คะแนนความพึงพอใจมากที่สุด ได้แก่ ในสูตรที่ 1, สูตรที่ 3 และสูตรที่ 2 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.05 ± 0.76 , 7.44 ± 0.99 และ 6.00 ± 1.21 ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังแสดงในตาราง 4 ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ (อรนุช สีหามาลา และคนอื่น ๆ, 2546, น. 22) ศึกษาสูตรที่เหมาะสมของข้าวเกรียบใบหม่อนในสูตรที่แตกต่างกัน พบว่ามีความกรอบในแต่ละสูตรไม่แตกต่างกัน เนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในการทอดข้าวเกรียบในแต่ละสูตรใช้อุณหภูมิเท่ากัน 180 องศาเซลเซียส จึงทำให้ผลด้านความกรอบไม่แตกต่างกันมากนัก

ตาราง 4 คะแนนความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบผักเคล

คุณลักษณะ	ผลิตภัณฑ์ต้นแบบข้าวเกรียบผักเคล		
	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3
ลักษณะปรากฏ ^{ns}	7.45 ± 1.09	7.05 ± 0.61	7.40 ± 0.82
สี ^{ns}	7.85 ± 0.93	6.90 ± 0.64	7.35 ± 0.59
กลิ่น	8.05 ^a ± 0.76	6.00 ^c ± 1.21	7.44 ^b ± 0.99
รสชาติ ^{ns}	7.80 ± 0.77	7.10 ± 0.72	7.75 ± 0.64
ความกรอบ ^{ns}	7.70 ± 0.80	7.50 ± 0.69	8.05 ± 0.61
การยอมรับโดยรวม	8.01 ^a ± 0.76	7.60 ^c ± 0.68	7.95 ^b ± 0.55

หมายเหตุ: ตัวอักษร a, b, c ในแนวนอน แสดงค่าความแตกต่างกันของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตัวอักษร ns ในแนวนอน แสดงค่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

3. การถ่ายทอดเทคโนโลยีกระบวนการพัฒนาขนมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพจากผักเคลที่เหลือทิ้งจากการตัดแต่งคุณภาพให้เกิดมูลค่าเชิงพาณิชย์แก่ชุมชน

จัดอบรมเชิงปฏิบัติการและการถ่ายทอดกระบวนการพัฒนาขนมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพจากผักเคลที่เหลือทิ้งจากการตัดแต่งคุณภาพให้เกิดมูลค่าเชิงพาณิชย์ ได้แก่ ข้าวเกรียบเคล และผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ที่สามารถเพิ่มมูลค่าได้ เช่น ผักเคลอบกรอบ คัพเค้กเคลแบบนึ่ง และชาผักเคล โดยจัดฝึกอบรมในรูปแบบการจัดการองค์ความรู้สู่ชุมชน การสร้างความเข้าใจภาคบรรยาย และกระบวนการเรียนรู้ภาคปฏิบัติ ดังภาพ 3 รวมถึงประเมินความพึงพอใจจากผู้เข้าร่วมอบรม โดยใช้แบบสอบถามประเมินความพึงพอใจ (ตาราง 5) โดยผู้เข้าร่วมโครงการให้คะแนนความพึงพอใจในหัวข้อความรู้ความเข้าใจก่อนเข้าอบรม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.15 ± 0.68 ซึ่งมีระดับอยู่ในเกณฑ์ปานกลาง และหลังเข้าอบรม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.53 ± 0.46 ซึ่งมีระดับอยู่ในเกณฑ์มากที่สุด และการประเมินความพึงพอใจในภาพรวมทั้งหมด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.80 ± 0.41 พบว่ากลุ่มวิสาหกิจชุมชนพอเพียงก็เพียงพอ มีความพึงพอใจมากที่สุดที่ทางคณะผู้วิจัยได้มีการจัดโครงการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพจากผักเคลที่เหลือทิ้งจากการตัดแต่งคุณภาพ

ตาราง 5 ระดับความพึงพอใจของผู้เข้าร่วมอบรม

ประเด็นที่ประเมิน	ระดับความพึงพอใจ	
	ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	สรุปผล ความพึงพอใจ
1. ความรู้ความเข้าใจ ก่อน เข้าอบรม	3.15 $\pm$ 0.68	ปานกลาง
2. ความรู้ความเข้าใจ หลัง เข้าอบรม	4.53 $\pm$ 0.46	มากที่สุด
3. ความรู้จากการอบรม และเนื้อหาที่ได้รับ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวัน และการทำงานได้	4.79 $\pm$ 0.46	มากที่สุด
4. ความพึงพอใจในภาพรวมทั้งหมด	4.81 $\pm$ 0.41	มากที่สุด

หมายเหตุ: เกณฑ์ที่ใช้วัดระดับความพึงพอใจมีดังนี้

คะแนน 1.00–1.80 หมายถึง ระดับความพึงพอใจน้อยที่สุด,
คะแนน 1.81–2.61 หมายถึง ระดับความพึงพอใจน้อย,
คะแนน 2.62–3.42 หมายถึง ระดับความพึงพอใจปานกลาง,
คะแนน 3.43–4.23 หมายถึง ระดับความพึงพอใจมาก,
คะแนน 4.24–5.00 หมายถึง ระดับความพึงพอใจมากที่สุด



ภาพ 3 รวมภาพกิจกรรมการอบรมถ่ายทอดเทคโนโลยี
การพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบผักเคล



อภิปรายผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้นำผักเคลมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบผักเคล ซึ่งเป็นทางเลือกสำหรับผู้บริโภคที่สนใจที่จะรับประทานขนมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพ จากคะแนนผู้ทดสอบจำนวน 50 คน โดยพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบผักเคลสูตรที่ใช้ผักเคลสด (สูตรที่ 1) ผักเคลผง (สูตรที่ 2) และผักเคลสดผสมผักเคลผง (สูตรที่ 3) โดยศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคโดยให้คะแนนความชอบ ด้านลักษณะที่ปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และการยอมรับโดยรวม พบว่าผู้บริโภคให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบผักเคลสูตรที่ใช้ผักเคลสดมากที่สุด ในเรื่องของกลิ่น และการยอมรับโดยรวม อาจเนื่องมาจากกลิ่นของผักเคลสดมีความหอมมากกว่าการใช้ผักเคลผง เพราะกรรมวิธีการทำผักผงโดยผ่านความร้อน จะสามารถกำจัดสารที่ให้กลิ่นรสในวัตถุดิบ เช่น รสฝาดขมของแทนนินออกไปได้ (Jiang & Adhikari, 2013) มีผลทำให้ผักเคลผงมีกลิ่นที่ลดลง และเมื่อนำผักเคลผงมาเป็นส่วนผสมในข้าวเกรียบจึงทำให้ได้รับกลิ่นน้อยลง ซึ่งผลการยอมรับในด้านกลิ่นที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการได้รับความร้อนสูงของผิวอาหาร ทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลระหว่างน้ำตาลและกรดอะมิโน มีผู้วิจัยหลายท่านได้ศึกษารายละเอียดทางเคมีของปฏิกิริยาเมลลาร์ดและ Streaker Dehydration พบว่าอุณหภูมิสูงและความชื้นต่ำในชั้นผิวของอาหารทำให้น้ำตาลกลายเป็นคาราเมล กรดไขมันเกิดออกซิเดชันและเปลี่ยนไปเป็นแอลดีไฮด์ แลคโตน คีโตน แอลกอฮอล์ และเอสเทอร์ ได้ปฏิกิริยาเมลลาร์ดและ Streaker Dehydration ทำให้เกิดกลิ่นต่าง ๆ เนื่องจากการรวมตัวกันของกรดอะมิโนอิสระและน้ำตาลที่อยู่ในอาหารบางชนิด กรดอะมิโนแต่ละชนิดจะผลิตกลิ่นเฉพาะตัว เมื่อได้รับความร้อนร่วมกับน้ำตาลและเปลี่ยนไปเป็นแอลดีไฮด์ นอกจากนี้ การให้ความร้อนต่อไปจะทำให้สารหอมระเหยที่เกิดจากกลไกดังกล่าวเกิดการเสื่อมสภาพและกลายเป็นสารที่ให้กลิ่นไหม้แทน (วิไล รังสาทอง, 2552) โดยส่งผลทำให้ผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบผักเคลสดมีกลิ่นที่หอมกว่าผักเคลผง และทำให้ผู้บริโภคให้การยอมรับผักเคลสดมากกว่า ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของสลักจิต สืบพงษ์ศิริ และ ศิวาพร ศิวเวช (2536) รายงานว่าการทอดข้าวเกรียบที่อุณหภูมิเท่ากัน 180 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 วินาที จะทำให้ข้าวเกรียบมีคุณลักษณะดีที่สุด มีการขยายตัวและให้ความกรอบดีที่สุด และมีกลิ่นไหม้หรือกลิ่นของวัตถุดิบที่ส่งผลต่อการรับกลิ่นของผู้ประเมินความพึงพอใจได้ ส่วนผลการยอมรับโดยรวมมีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 8.01 7.60 และ 7.95 ตามลำดับ เรียงจากสูตรที่ 1 ถึงสูตรที่ 3 ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

การศึกษาทางด้านคุณภาพทางกายภาพ ค่าสี L^* a^* b^* โดยมีค่าเฉลี่ยของข้อมูล ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ของทั้ง 3 สูตร ค่าวอเตอร์แอคติวิตี (a_w) มีค่าที่ไม่แตกต่างกัน ซึ่งมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนข้าวเกรียบมาตรฐานเลขที่ 107/2554 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2554) กำหนดความชื้นของผลิตภัณฑ์ต้องไม่เกินร้อยละ 12

โดยน้ำหนัก และปริมาณน้ำอิสระ (a_w) น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.6 ซึ่งช่วยในการประเมินอายุการเก็บรักษาอาหารและเป็นตัวบ่งชี้ถึงความปลอดภัยต่อผู้บริโภค ซึ่งปริมาณความชื้นของข้าวเกรียบมีผลต่ออัตราการขยายตัวและความกรอบของข้าวเกรียบ โดยความชื้นของข้าวเกรียบก่อนทอด ร้อยละ 8.7 เมื่อนำมาทอดจะทำให้ข้าวเกรียบที่มีอัตราการขยายตัวและความกรอบดีที่สุด (โซเฟีย เมฆารัฐ และคนอื่น ๆ, 2562, น. 131) และคุณภาพทางเคมี ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และเถ้า ของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบผักเคล ทั้ง 3 สูตร มีค่าเฉลี่ยของข้อมูลไม่มีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)



ภาพ 4 ผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบผักเคลที่กลุ่มวิสาหกิจชุมชนจำหน่ายในตลาดชุมชน



สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบผักเคล สูตรที่ 1 สูตร 2 และสูตร 3 พบว่าคุณภาพทางกายภาพและคุณภาพทางเคมี ไม่แตกต่างกันทั้ง 3 สูตร ส่วนการยอมรับของผู้บริโภค พบว่าลักษณะปรากฏ สี รสชาติ และความกรอบไม่แตกต่างกัน ส่วนกลิ่นและการยอมรับโดยรวมของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบผักเคล พบว่าผู้บริโภคชอบสูตรที่ 1 มากที่สุด จากผลการดำเนินงานตลอดโครงการ พบว่ากลุ่มวิสาหกิจชุมชนพอเพียงก็เพียงพอ มีความพึงพอใจมากที่สุดที่ทางคณะผู้วิจัยได้มีการจัดโครงการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพจากผักเคลที่เหลือทิ้งจากการตัดแต่งคุณภาพ เนื่องจากสามารถช่วยแก้ปัญหาของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนได้ และสามารถนำเศษวัสดุเหลือทางการเกษตรมาเพิ่มมูลค่าเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบผักเคลเพื่อสุขภาพได้ (ภาพ 4) โดยกลุ่มเกษตรกรสามารถนำไปปฏิบัติได้จริง เพิ่มรายได้ให้ครัวเรือนและชุมชนมากขึ้น จากการสอบถามทางกลุ่มวิสาหกิจชุมชนการขายผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบผักเคลเพื่อสุขภาพ มีรายได้เพิ่มขึ้นเดือนละ 800–1,000 บาท คิดเป็นร้อยละ 10

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

1. การนำผลการวิจัยไปขยายผลต่อโดยผู้วิจัยเอง กลุ่มวิสาหกิจชุมชน เกษตรกรหรือผู้ที่สนใจ สามารถนำองค์ความรู้การพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบผักเคลไปใช้ประโยชน์ได้ในท้องถิ่นหรือชุมชนของตนเอง ในการเพิ่มมูลค่าของผักเคลที่เหลือจากการตัดแต่งคุณภาพ ซึ่งพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ ๆ หรือนำไปสู่การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตได้ต่อไป

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรมีการศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบผักเคลและวิธีการเก็บรักษาที่เหมาะสม เพื่อให้ผลิตภัณฑ์สามารถวางจำหน่ายได้เป็นเวลานาน
2. ควรมีการศึกษาพืชผักหรือผลไม้ที่เหมาะสม ในการเสริมลงในข้าวเกรียบหรือเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น คื่นห่อ ผักโขม ลองกอง เป็นต้น เพื่อเพิ่มทางเลือกให้กับผู้บริโภค
3. ในการวิจัยครั้งต่อไปอาจมีการเพิ่มรสชาติของข้าวเกรียบผักเคลให้มีความหลากหลายมากขึ้น เพื่อให้ตรงกับความต้องการของกลุ่มตลาดเป้าหมายและกลุ่มเด็กที่ไม่ชอบกินผัก และเพิ่มช่องทางการจำหน่ายมากขึ้น



กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัย โครงการการศึกษาศักยภาพเพื่อยกระดับการพัฒนาเชิงพื้นที่ของเครือข่าย (Preliminary Research) โครงการพัฒนาเครือข่ายสถาบันอุดมศึกษาเพื่อการวิจัยและพัฒนาภาครัฐร่วมเอกชนในเชิงพาณิชย์ สำนักงานปลัดกระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ประจำปีงบประมาณ 2564 มหาวิทยาลัยนเรศวร เกษตรกรกลุ่มวิสาหกิจชุมชนพอเพียงก็เพียงพอ และนักศึกษาสาขาเกษตรศาสตร์ที่ให้ความร่วมมือในงานวิจัยนี้เป็นอย่างดี



เอกสารอ้างอิง

- โซเฟีย เมฆารัฐ, รอมลี เจดอเลาะ, รักชนก ภูพัฒน์, และอาสสัน ทิล. (2562). การพัฒนาผลิตภัณฑ์สูตรข้าวเกรียบปลาทุยเสริมไบโอด้วยดาวอินคา. *วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์*, 11(1), 125–134.
- วิไล รังสาดทอง. (2552). *เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร* (พิมพ์ครั้งที่ 5). เท็กซ์แอนด์เจอร์นัลพับลิเคชั่น.
- สลักจิต สืบพงษ์ศิริ และศิวาพร ศิวเวช. (2536). ข้าวเกรียบข้าวฟ่าง. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 26(4–6), 80–87.

- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2554). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนข้าวเกรียบ* มผช. 107/2554. สืบค้น 1 ตุลาคม 2565, จาก https://tcps.tisi.go.th/pub/tcps107_54.pdf
- สำนักงานสถิติแห่งชาติ. (2564). *การสำรวจพฤติกรรมการด้านสุขภาพของประชากร พ.ศ. 2564*. สืบค้น 10 ตุลาคม 2565, จาก http://www.nso.go.th/sites/2014/DocLib13/ด้านสังคม/สาขาสุภาพ/สำรวจพฤติกรรมการด้านสุขภาพของประชากร/2564/report_2501_64.pdf
- อรนุช สีหามาลา, ศุภชัย ภูลายดอก, และพนอจิต ชองศิริ. (2546). *การศึกษาดูสูตรที่เหมาะสมของข้าวเกรียบใบหม่อน* (รายงานการวิจัย). คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตกาฬสินธุ์.
- Ayaz, F. A., Glew, R. H., Millson M., Huang, H. S., Chuang, L. T., Sanz, C., & Hayirlioglu-Ayaz, S. (2006). Nutrient contents of kale (*Brassica oleracea* L. var. *acephala* DC.). *Food Chemistry*, 96(4), 572–579. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.03.011>
- Cartea, M. E., Velasco, P., Obregón, S., Padilla, G., & de Haro, A. (2008). Seasonal variation in glucosinolate content in *Brassica oleracea* crops grown in northwestern Spain. *Phytochemistry*, 69(2), 403–410. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2007.08.014>
- Chung, M. J., Lee, S. H., & Sung, N. J. (2002). Inhibitory effect of whole strawberries, garlic juice or kale juice on endogenous formation of N-nitrosodimethylamine in humans. *Cancer letters*, 182(1), 1–10. [https://doi.org/10.1016/s0304-3835\(02\)00076-9](https://doi.org/10.1016/s0304-3835(02)00076-9)
- Horwitz, W. (2000). *Official methods of analysis of AOAC international* (17th ed.). AOAC International.
- Jiang, H. & Adhikari, B. (2013). Handbook of Food Powders. In B. Bhandari, N. Bansal, M. Zhang, & P. Schuck (Eds.), *Fruit and vegetable powders* (pp. 532–552). Woodhead. <http://doi.org/10.1533/9780857098672.3.532>
- Kahlon, T. S., Chapman, M. H., & Smith, G. H. (2007). In vitro binding of bile acids by spinach, kale, brussels sprouts, broccoli, mustard greens, green bell pepper, cabbage and collards. *Food Chemistry*, 100(4), 1531–1536. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.12.020>

- Khachik, F., Beecher, G. R., Goli, M. B., & Lusby, W. R. (1991). Separation, identification, and quantification of carotenoids in fruits, vegetables and human plasma by high performance liquid chromatography. *Pure and Applied Chemistry*, 63(1), 71–80. <https://doi.org/10.1351/pac199163010071>
- Kim, S. Y. (2017). Production of Fermented Kale Juices with Lactobacillus Strains and Nutritional Composition. *Preventive Nutrition and Food Science*, 22(3), 231–236. <https://doi.org/10.3746/pnf.2017.22.3.231>
- Korus, A. & Lisiewska Z. (2011). Effect of preliminary processing and method of preservation on the content of selected antioxidative compounds in kale (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*) leaves. *Food Chemistry*, 129(1), 149–154. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.04.048>
- Satheesh, N. & Fanta, S. W. (2020). Kale: Review on nutritional composition, bio-active compounds, anti-nutrition factor, health beneficial properties and value-added products. *Cogent Food & Agriculture*, 6, 1. <https://doi.org/10.1080/23311932.2020.1811048>

คำแนะนำสำหรับผู้เขียนบทความส่งตีพิมพ์วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (เพื่อการพัฒนาท้องถิ่น)

วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (เพื่อการพัฒนาท้องถิ่น) Academic Journal Uttaradit Rajabhat University, Science and Technology (for Local Development) ISSN 1686-4409 (Print), ISSN 2651-1207 (Online) เว็บไซต์ <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/uruj/index> เป็นวารสารของสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ มีวัตถุประสงค์เพื่อตีพิมพ์และเผยแพร่บทความวิชาการ บทความวิจัย และผลงานวิจัยที่ใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่นำไปแก้ไขปัญหาและพัฒนาเชิงพื้นที่ ทั้งในระดับจังหวัด กลุ่มจังหวัด ตำบล หมู่บ้าน หรือชุมชน เผยแพร่องค์ความรู้แก่นักวิชาการและบุคคลทั่วไป และส่งเสริมให้นักวิชาการในหน่วยงานราชการ หรืออาจารย์ในมหาวิทยาลัยได้เสนอผลงานทางวิชาการสู่สาธารณะ โดยตีพิมพ์เผยแพร่รูปเล่ม ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 เป็นต้นมา และดำเนินการเผยแพร่ในรูปแบบออนไลน์ในระบบ Thai Journal Online System ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2560 เป็นต้นมา ซึ่งมีกำหนดการออกเผยแพร่ราย 6 เดือน ปีละ 2 ฉบับ ได้แก่ ฉบับที่ 1 ประจำเดือนมกราคม-มิถุนายน ฉบับที่ 2 ประจำเดือนกรกฎาคม-ธันวาคม ทั้งนี้บทความทุกฉบับจะได้รับการประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิทั้งจากภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย จำนวน 3 ท่าน ในลักษณะการประเมินแบบ Double-blind เพื่อให้ผู้เขียนสามารถเตรียมต้นฉบับได้ถูกต้องและได้มาตรฐานตามรูปแบบของวารสาร จึงขอชี้แจงดังนี้



รายการตรวจสอบการเตรียมบทความ

ในขั้นตอนการส่งบทความ ผู้เขียนจะต้องตรวจสอบการปฏิบัติตามรายการต่อไปนี้

1. ผลงานที่ส่งตีพิมพ์จะต้องไม่เคยเผยแพร่ในสิ่งพิมพ์อื่นใดมาก่อน และต้องไม่อยู่ในระหว่างการพิจารณาของวารสารอื่น การละเมิดลิขสิทธิ์ถือเป็นการละเมิดลิขสิทธิ์ของผู้ส่งบทความโดยตรง
2. ผลงานที่ส่งตีพิมพ์ในลักษณะบทความวิจัยต้องรายงานข้อเท็จจริงที่เกิดขึ้นจากการทำวิจัย ไม่บิดเบือนข้อมูล หรือให้ข้อมูลที่เกินจริง
3. ผู้นิพนธ์ต้องอ้างอิงผลงานของผู้อื่น หากมีการนำผลงาน หรือข้อความในลักษณะอื่นใดมาใช้ในบทความ รวมทั้งจัดทำรายการอ้างอิงท้ายบทความ

4. ผู้นิพนธ์ต้องเขียนบทความให้ถูกต้องตามรูปแบบที่กำหนดไว้ใน “คำแนะนำสำหรับผู้เขียน”
5. ผู้นิพนธ์ที่มีชื่อปรากฏในบทความทุกคน ต้องเป็นผู้มีส่วนร่วมในการดำเนินการวิจัยจริง
6. ผู้นิพนธ์ต้องระบุแหล่งทุนที่สนับสนุนในการทำวิจัย (ถ้ามี)
7. ผู้นิพนธ์ต้องระบุผลประโยชน์ทับซ้อน (ถ้ามี)
8. สามารถส่งต้นฉบับบทความวิชาการ (Academic Article) และบทความวิจัย (Research Article) ได้ทั้งภาษาอังกฤษ และภาษาไทย
9. ต้นฉบับต้องผ่านการกลั่นกรองโดยผู้ทรงคุณวุฒิและได้รับความเห็นชอบจากกองบรรณาธิการ
10. ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์ถือเป็นลิขสิทธิ์ของวารสาร



นโยบายการดำเนินงานของวารสาร

1. กองบรรณาธิการจะตรวจสอบหัวข้อและเนื้อหาของบทความถึงความเหมาะสม และสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของวารสารฯ รวมถึงประโยชน์ในเชิงทฤษฎีและเชิงปฏิบัติ
2. บทความที่ส่งเข้าระบบเพื่อตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ จะผ่านการตรวจสอบการคัดลอกผลงานวิชาการโดยใช้ระบบอักขราวิสุทธิ์ หรือระบบ CopyCatch หรือระบบ Turnitin อย่างใดอย่างหนึ่ง ทั้งนี้ผลงานวิชาการที่มีเนื้อหาคล้ายกัน สามารถยอมรับได้ต้องไม่เกินร้อยละ 25 ของผลงานทั้งหมด
3. กรณีที่กองบรรณาธิการพิจารณาเห็นควรรับบทความไว้สำหรับพิจารณาตีพิมพ์ กองบรรณาธิการจะส่งบทความเพื่อทำการกลั่นกรองต่อไป โดยส่งให้ผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาที่เกี่ยวข้องเพื่อตรวจสอบคุณภาพของบทความว่าอยู่ในระดับที่เหมาะสมที่จะตีพิมพ์หรือไม่ สำหรับกระบวนการพิจารณากลั่นกรองนี้ เป็นการประเมินบทความแบบสองทาง (Double-Blind Process) กล่าวคือ จะไม่เปิดเผยชื่อผู้ส่งบทความให้ผู้ทรงคุณวุฒิทราบ และจะไม่เปิดเผยชื่อผู้ทรงคุณวุฒิให้ผู้ส่งบทความทราบ รวมถึงกองบรรณาธิการจะไม่เปิดเผยทั้งชื่อผู้ส่งบทความ และชื่อผู้ทรงคุณวุฒิให้บุคคลอื่นทราบด้วยเช่นกัน
4. ทั้งนี้เมื่อผู้ทรงคุณวุฒิได้พิจารณากลั่นกรองบทความแล้ว กองบรรณาธิการจะพิจารณาตัดสินโดยอิงตามคำตัดสิน และข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิว่าบทความนั้น ๆ ควรได้รับการตีพิมพ์ หรือควรส่งกลับให้กับผู้ส่งบทความเพื่อทำการแก้ไข ก่อนพิจารณาอีกครั้งหนึ่ง หรือปฏิเสธการตีพิมพ์

5. ผู้พิมพ์ต้องยินยอมปฏิบัติตามเงื่อนไขที่กองบรรณาธิการวารสารกำหนด และยินยอมให้บรรณาธิการแก้ไขความสมบูรณ์ของบทความได้ในขั้นตอนสุดท้ายก่อนเผยแพร่

6. การอนุมัติให้ลงตีพิมพ์ได้หรือไม่นั้น ผลการพิจารณาจากกองบรรณาธิการวารสารถือเป็นที่สุด



การเตรียมต้นฉบับบทความ

แนะนำให้ผู้พิมพ์ คำนึงโหลดเทมเพลต Research Article Template (บทความวิจัย) หรือ Academic Article Template (บทความวิชาการ) ที่ เอกสารดาวน์โหลด สำหรับวารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์

1. ความยาวของบทความไม่เกิน 10 หน้ากระดาษ ขนาด A4 พิมพ์หน้าเดียว (นับรวมภาพ ตาราง และเอกสารอ้างอิง) พื้นที่ของกระดาษที่ใช้พิมพ์ ให้เว้นขอบบน 3.81 เซนติเมตร ขอบล่าง 2.54 เซนติเมตร ขอบซ้าย 3.81 เซนติเมตร และขอบขวา 2.54 เซนติเมตร

2. รูปแบบตัวอักษร จัดพิมพ์ด้วยแบบตัวอักษร TH SarabunPSK โดยเนื้อความขนาดตัวอักษร 14 pt. (ตัวธรรมดา)

3. ชื่อเรื่องบทความภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ขนาดตัวอักษร 16 pt. (ตัวหนา) จัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ

4. ชื่อผู้เขียนภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ขนาดตัวอักษร 14 pt. (ตัวอักษรปกติ) จัดชิดขวา

5. ชื่อสังกัดหน่วยงานหรือมหาวิทยาลัยภาษาไทยและภาษาอังกฤษ และ Corresponding Author, E-mail: ขนาดตัวอักษร 14 pt. (ตัวอักษรปกติ) จัดชิดขวา

6. หัวข้อ ได้แก่ บทคัดย่อ Abstract บทนำ วัตถุประสงค์การวิจัย สมมติฐานการวิจัย วิธีดำเนินการวิจัย ผลการวิจัย อภิปรายผลการวิจัย สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ เอกสารอ้างอิง ขนาดตัวอักษร 14 pt. (ตัวหนา) จัดชิดซ้าย ไม่ใส่เลขลำดับที่

7. การใช้เครื่องหมายจุลภาค (,) ทวิภาค (:) และอฒภาค (;) ให้พิมพ์ต่อเนื่องกับอักษรตัวหน้า และเว้น 1 วรรคตัวอักษร ก่อนข้อความต่อไป เช่น

Community engagement in higher education: Policy reforms and practice (ไพฑูรย์ สีนลรัตน์, 2562; ศรเนตร อารีโสภณพิเชฐ, 2564)

8. ภาพ หมายเลขภาพ ขนาดตัวอักษร 14 pt. (ตัวหนา) ให้ระบุไว้ได้ภาพ จัดกึ่งกลางหน้ากระดาษใต้ภาพ

9. รายการของเอกสารอ้างอิงภาษาไทยที่แปลเป็นภาษาอังกฤษ ต้องเดิมคำว่า “(in Thai)” ต่อท้ายทุกรายการของเอกสารอ้างอิงภาษาไทยที่แปลเป็นภาษาอังกฤษ



ส่วนประกอบของบทความ

1. ชื่อเรื่องบทความ (ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ) ควรกะทัดรัดไม่ยาวจนเกินไป มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ

2. ชื่อผู้เขียนและหน่วยงานที่สังกัด (ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ) ระบุเฉพาะชื่อ และสกุล โดยใส่เครื่องหมายดอกจัน (*) เฉพาะผู้รับผิดชอบบทความ สถานที่ทำงาน (Affiliation) ระบุหน่วยงาน จังหวัด รหัสไปรษณีย์ ทั้งนี้ให้สอดคล้องกับผู้แต่ง อีเมล (E-mail Address) ระบุเฉพาะผู้รับผิดชอบบทความ

3. บทคัดย่อ (Abstract) ความยาวไม่เกิน 250 คำ คำสำคัญ (Keywords) 3–5 คำ (ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ)

4. ส่วนเนื้อหา

4.1 บทความวิจัย ควรเป็นการนำเสนอผลการศึกษาค้นคว้า ข้อค้นพบ องค์ความรู้ที่ได้จากการวิจัย ซึ่งผู้วิจัยได้ดำเนินการมาอย่างเป็นระบบตามขั้นตอนของการวิจัย โดยควรมีองค์ประกอบดังต่อไปนี้ (สามารถมีหัวข้อหรือองค์ประกอบที่แตกต่างได้)

4.1.1 บทนำ (Introduction) ครอบคลุมความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

4.1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย (Research Objective) ข้อความที่แสดงให้เห็นถึงสิ่งที่นักวิจัยต้องการศึกษา ที่มีลักษณะเฉพาะเจาะจง และรายงานผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ที่ระบุไว้

4.1.3 วิธีดำเนินการวิจัย (Research Methodology) ให้ระบุรูปแบบวิจัย (Research Design) อธิบายเครื่องมือและวิธีการดำเนินการวิจัยให้กระชับและชัดเจน ให้บอกรายละเอียดสิ่งที่นำมาศึกษา สูตรและการคำนวณกลุ่มตัวอย่าง ลักษณะเฉพาะของตัวอย่างที่ศึกษา (เกณฑ์การคัดเข้า คัดออก) การสุ่มตัวอย่าง ตลอดจนเครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการศึกษา คุณภาพของเครื่องมือ วิธีหรือมาตรที่ใช้ในการวัด วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล และวิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1.4 ผลการวิจัย (Results) บรรยายสรุปผลการวิจัยอย่างกระชับโดยให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์การวิจัย หากการวิจัยเป็นข้อมูลเชิงปริมาณที่ต้องนำเสนอด้วยตารางหรือแผนภูมิ ควรมีคำอธิบายประกอบ การเรียงลำดับภาพ ตาราง หรือแผนภูมิ ควรเรียงลำดับตามเนื้อหาของงานวิจัย และต้องมีการแปลความหมายของผลที่ค้นพบหรือวิเคราะห์

4.1.5 อภิปรายผลการวิจัย (Discussion) เขียนสอดคล้องกับลำดับของการนำเสนอสรุปผลการวิจัย เป็นการวิพากษ์วิจารณ์ผลการวิจัยที่ได้สอดคล้องหรือขัดแย้งกับสมมติฐาน มีการอ้างอิงข้อเท็จจริง ทฤษฎี และผลการวิจัยอื่นอธิบายอย่างเป็นเหตุเป็นผลถึงแนวความคิดของผู้วิจัยต่อผลการวิจัยที่ได้

4.1.6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ (Conclusion and Suggestions) ควรสรุปสาระสำคัญที่ไม่คลุมเครือ และสรุปผลว่าตรงกับวัตถุประสงค์ของการวิจัยหรือไม่อย่างไร รวมถึงการแสดงข้อเสนอแนะและความเห็นเพิ่มเติมเพื่อนำผลการวิจัยไปประยุกต์ใช้ในพื้นที่และการพัฒนางานต่อไปในอนาคต หรือเป็นแนวทางในการศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมต่อไปในอนาคต

4.1.7 กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement) เป็นการแสดงคำขอบคุณสำหรับแหล่งทุนสนับสนุน หรือผู้ช่วยเหลืองานวิจัย

4.1.8 เอกสารอ้างอิง (Reference) การแสดงถึงแหล่งที่มาของข้อมูลที่ถูกนำมาอ้างอิงขึ้นมาใช้ในการวิจัย เพื่อเป็นการแสดงเจตนาว่าไม่นำผลงานของผู้อื่นมาเป็นของตนเอง การเขียนอ้างอิงให้เป็นไปตามรูปแบบที่วารสารกำหนดแบบ APA (American Psychological Association) ฉบับพิมพ์ครั้งที่ 7

4.2 บทความวิชาการ ควรมีการกำหนดประเด็นที่ต้องการอธิบายหรือวิเคราะห์อย่างชัดเจน โดยมีการวิเคราะห์ประเด็นที่ต้องการนำเสนอตามหลักวิชาการ โดยมีการสำรวจวรรณกรรมเพื่อสนับสนุนจนสามารถสรุปผลการวิเคราะห์ประเด็นนั้นได้ อาจเป็นการนำความรู้จากแหล่งต่าง ๆ มาประมวลร้อยเรียงเพื่อวิเคราะห์อย่างเป็นระบบ โดยที่ผู้ส่งบทความแสดงทัศนะทางวิชาการของตนไว้อย่างชัดเจน มีลำดับเนื้อหาและบทสรุปที่เหมาะสมเพื่อให้ผู้อ่านสามารถเข้าใจได้ชัดเจน ประกอบด้วย

4.2.1 บทนำ (Introduction) หลักการและเหตุผล (Rationale) ความเป็นมา หรือภูมิหลัง (Background) ความสำคัญของเรื่องที่เขียน (Justification) วัตถุประสงค์ของการเขียนในการที่จะสื่อไปยังผู้อ่าน คำจำกัดความ หรือนิยามต่าง ๆ ที่ผู้เขียนเห็นว่ามีมีความสำคัญและเป็นประโยชน์ต่อผู้อ่าน

4.2.2 เนื้อเรื่อง (Body) การจัดลำดับเนื้อหาสาระ การเรียบเรียงเนื้อหา การวิเคราะห์ วิพากษ์วิจารณ์ การใช้ภาษา วิธีการนำเสนอ

4.2.3 ส่วนสรุป (Conclusions) บทความทางวิชาการที่ดีควรมีการสรุปประเด็นสำคัญ ๆ ของบทความนั้น ซึ่งอาจกระทำในลักษณะการย่อโดยการเลือกประเด็นสำคัญ ๆ ของบทความมานำเสนออย่างกระชับท้ายบทความ



การเขียนเอกสารอ้างอิง

การอ้างอิงเอกสาร ควรอ้างอิงจากผลงานวิชาการต่าง ๆ ที่มาจากแหล่งที่น่าเชื่อถือ ตรวจสอบได้ ในการเขียนเอกสารอ้างอิงนี้ใช้รูปแบบการเขียนอ้างอิงตามรูปแบบของ The American Psychological Association (APA, 7th Edition) ประกอบด้วย การอ้างอิงในเนื้อหา (In-text citation) และการอ้างอิงท้ายบทความ (Reference) โดยมีรูปแบบดังนี้

การอ้างอิงในเนื้อหา (In-text citation)

การอ้างอิงแบบแทรกในเนื้อหา ระบุชื่อผู้แต่ง ปีพิมพ์ และหมายเลขหน้า (การอ้างอิงผลงานจากสื่ออิเล็กทรอนิกส์ไม่ต้องระบุหมายเลขหน้า) ในกรณีที่เป็นการอ้างอิงเนื้อหาโดยตรง หรือแนวคิดบางส่วน หรือเป็นการคัดลอกข้อความบางส่วนมาโดยตรง สำหรับรูปแบบการอ้างอิงแบบแทรกในเนื้อหาสามารถกระทำได้หลายรูปแบบ ดังนี้

1. กรณีอ้างอิงท้ายข้อความ (ผู้แต่ง, ปีพิมพ์, เลขหน้า)

(สุนีย์ มัลลิกะมาลย์, 2549, น. 27)

(McCartney & Phillips, 2006, p. 204)

(Murphy, 2021, pp. 152–153)

(Martin et al., 2020) ***กรณีที่มีผู้แต่ง 3 คน หรือมากกว่า***

ตัวอย่างประโยค

จากการเปลี่ยนแปลงของบริบทโลกและสภาพของปัจจุบันนี้นั้น ทำให้สภาพแวดล้อมของการพัฒนาประเทศไทยในปัจจุบัน และในอนาคต 20 ปีข้างหน้าเปลี่ยนไป ในส่วนบริบทของประเทศไทยได้มีการกำหนดยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี (พ.ศ. 2560–2579) โดยมีเป้าหมายที่จะพัฒนาคนไทยในอนาคตให้เป็นมนุษย์ที่สมบูรณ์ เป็นพลเมืองที่สามารถเรียนรู้ได้ด้วยตนเอง เป็นพลเมืองที่ตื่นรู้ มีจิตสาธารณะ และทำประโยชน์ต่อส่วนรวม (ปรเมธี วิมลศิริ, 2559, น. 3)

2. กรณีมีการระบุชื่อผู้แต่งในเนื้อหา ผู้แต่ง (ปีพิมพ์)

ลดาพร บุญฤทธิ์ (2559) ได้ศึกษาถึง

Boonsarnsuk (2020) studied

ตัวอย่างประโยค

เบล (Bell, 2016, p. 55) กล่าวถึงการจัดศึกษาในศตวรรษที่ 21 ในมุมมองของการพัฒนาพลเมืองที่มีความรับผิดชอบอย่างยั่งยืนนั้น ต้องมีทักษะสำหรับการใช้ชีวิตในยุคปัจจุบัน (Skills for living in the world) ได้แก่

3. การอ้างอิงรายการเดียวกันแต่ที่มีผู้แต่งแตกต่างกัน ให้เรียงตามอักษรของผู้แต่ง
ค้นด้วยเครื่องหมายอัฒภาค (;) กรณีที่งานทั้งภาษาไทยและภาษาต่างประเทศถูกอ้างพร้อมกัน
ให้เริ่มทำงานเขียนภาษาไทยก่อน

Several studies (Kozak & Elliott, 2014, p. 5; Miller, 1999)

(อุษพงศ์ โนดไธสง, 2560; อำนวย วีรวรรณ, 2540)

(อนุชาติ บุณนาค, 2549; Digital Citizenship for College Students, 2016)

4. กรณีการอ้างอิงเอกสารที่ไม่ใช่เอกสารต้นฉบับ ให้ระบุชื่อเอกสารต้นฉบับ และคำว่า
“อ้างอิงใน” สำหรับภาษาไทย หรือ “as cited in” สำหรับภาษาอังกฤษ ตามด้วยชื่อผู้แต่ง
เอกสารทุติยภูมิ และปีพิมพ์ สำหรับการลงรายการอ้างอิงท้ายเล่ม ลงชื่อผู้แต่งเอกสารทุติยภูมิ
เท่านั้น

(นิพัทธ์ เลิศนรงค์, 2531, น. 53–75, อ้างถึงใน พัทธวีภา โพธิ์ศรี, 2551, น. 94–95)

(Miller, 1988, as cited in Kozak & Elliott, 2014, p. 8)

Bridget’s diary (as cited in Rahnama, 2017)

5. การอ้างอิงการสัมภาษณ์ ซึ่งอาจเป็นบันทึก บทสนทนาทางโทรศัพท์ หรือ
เอกสารอื่น ๆ รวมทั้งการสัมภาษณ์ที่ไม่ได้อ้างอิงมาจากแหล่งอื่น (สัมภาษณ์เอง) ไม่ต้องระบุ
ในเอกสารอ้างอิงท้ายเล่ม แต่ให้ระบุในเนื้อหา โดยระบุชื่อสกุลของ เจ้าของเอกสาร หรือ
ผู้ถูกสัมภาษณ์ และวันที่ให้สัมภาษณ์ให้ถูกต้อง เช่น

เจษฎา มิ่งฉาย (สัมภาษณ์, 18 เมษายน 2563) ให้ความเห็นว่า

คาฟท์ (Karft, สัมภาษณ์, 28 กันยายน 2564) กล่าวว่า

6. การอ้างอิงบางส่วนของเอกสาร ให้ระบุชื่อผู้แต่ง ปี และข้อมูลเกี่ยวกับเอกสาร เช่น
ย่อหน้า บท ตาราง ภาพ หมายเลขสไลด์ เช่น

(ภาสุตา ภาคาผล, 2556, ย่อหน้า 4)

(Delve & Mintz, 2019, Table 1)

(National Council for the Social Studies, 2000, Slide 8)

(Kauffman, 2000, paras. 2–3)

การอ้างอิงท้ายบทความ (Reference)

ข้อกำหนดในการเขียนเอกสารอ้างอิง

1. ชื่อผู้แต่ง

1.1 ผู้แต่งคนไทย ไม่ต้องระบุค่านำหน้านาม ตำแหน่งทางวิชาการ คำเรียกทางวิชาชีพ และตำแหน่งยศต่าง ๆ

ศาสตราจารย์ ดร.ไพฑูรย์ สินลารัตน์	ลงรายการเป็น	ไพฑูรย์ สินลารัตน์.
ร้อยตำรวจเอก วินัย ชื่อสัตย์	ลงรายการเป็น	วินัย ชื่อสัตย์.
แพทย์หญิงลดาพร บุญฤทธิ์	ลงรายการเป็น	ลดาพร บุญฤทธิ์.

1.2 ผู้แต่งชาวต่างประเทศ ให้ลงนามสกุลตามด้วยเครื่องหมายจุลภาค และต่อด้วยอักษรย่อของชื่อต้น และชื่อรอง

A. W. Chickering	ลงรายการเป็น	Chickering, A. W.
Prairie Leigh Burgess	ลงรายการเป็น	Burgess, Prairie Leigh.
Cecilia I. Delve	ลงรายการเป็น	Delve, Cecilia I.

1.3 ผู้แต่งชาวไทยที่เขียนหนังสือเป็นภาษาอังกฤษ จะลงรายการผู้แต่งโดยใช้นามสกุลขึ้นต้นเหมือนผู้แต่งชาวต่างประเทศ

Chanokphat Phadungath	ลงรายการเป็น	Phadungath, C.
-----------------------	--------------	----------------

1.4 ผู้แต่งมีฐานันดรศักดิ์และบรรดาศักดิ์ ให้กลับฐานันดรศักดิ์หรือบรรดาศักดิ์ไว้หลังชื่อ โดยมีเครื่องหมายจุลภาคคั่น

กรมสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดา เจ้าฟ้ามหาดจรัสสิรินธร	ลงรายการเป็น	เทพรัตนราชสุดาเจ้าฟ้ามหาจักรีสิรินธร, กรมสมเด็จพระ
หม่อมราชวงศ์เสนีย์ ปราโมช	ลงรายการเป็น	เสนีย์ ปราโมช, ม.ร.ว.
คุณหญิงพรทิพย์ โรจนสุนันท์	ลงรายการเป็น	พรทิพย์ โรจนสุนันท์, คุณหญิง

1.5 ผู้แต่งมีสมณศักดิ์ ให้ลงชื่อสมณศักดิ์ และถ้าทราบชื่อเดิมให้ใส่ไว้ในวงเล็บ
ต่อจากชื่อสมณศักดิ์

พระธรรมวิสุทธิมงคล (หลวงตาพระมหาบัว ญาณสัมปันโน).
พระราชรัตนรังสี (วีรยุทธ์ วีรยุทธ).

1.6 ผู้แต่งคนเดียวกัน แต่งหนังสือหลายชื่อเรื่องและพิมพ์ในปีเดียวกัน ถ้าเป็น
ภาษาไทย ให้ใส่ อักษร ก, ข, ค, ง ไว้ท้ายปีที่พิมพ์ตามลำดับ ส่วนภาษาอังกฤษ ให้ใส่อักษร
a, b, c, d ไว้ท้ายปีที่พิมพ์

ทิตินา แคมมณี. (2557ก).
(Oxford University, 2019b)

1.7 จำนวน และประเภทผู้แต่ง

รูปแบบ	การอ้างอิงในเนื้อหา	การอ้างอิงท้ายบทความ
ผู้แต่ง 1 คน	(สำนักงานเลขาธิการสภา การศึกษา, 2560, น. 17) (Biech, 2015)	สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา. (2560). <i>กรอบคุณวุฒิ แห่งชาติฉบับปรับปรุง</i> . สำนักงานฯ. Biech, Elaine. (2015). <i>101 Ways to make learning active beyond the classroom</i> . John Wiley & Sons.
ผู้แต่ง 2 คน	(สมสิทธิ์ อัสตรนิจี และ กาญจนา ภูครองนาค, 2555, น. 22–23) (Chickering & Reisser, 1993) หรือ Chickering and Reisser (1993)	สมสิทธิ์ อัสตรนิจี และกาญจนา ภูครองนาค. (2555). <i>การศึกษาวเคราะห์ความรู้เกี่ยวกับการเรียนรู้สู่การ เปลี่ยนแปลงตามแนวคิดปรัชญาศึกษาเพื่อการ บ่มเพาะความซื่อตรง</i> . สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยมหิดล. Chickering, A. W. & Reisser, L. (1993). <i>Educational and identity</i> (2nd ed.). Jossey-Bass.

รูปแบบ	การอ้างอิงในเนื้อหา	การอ้างอิงท้ายบทความ
ผู้แต่ง 1-20 คน ระบุชื่อทุกคน ***ใช้เครื่องหมาย จุลภาคคั่น และคำว่า และ ก่อนคนสุดท้าย	(ภาสกร เนตรทิพย์วัลย์ และคนอื่น ๆ, 2563) หรือ (Jacob et al., 2015)	ภาสกร เนตรทิพย์วัลย์, พรพรรณ ภูสาหัส, สมสุข ภาณุรัตน์, สุขฤดี ธัชศฤงคารสกุล, พิชรี กระจำงโพธิ์, และ วิถี ชุระธรรม. (2563). <i>การประเมินภาวะสุขภาพ สำหรับพยาบาล: การตรวจร่างกาย</i> (พิมพ์ครั้งที่ 3). พิมพ์ดีการพิมพ์.
ผู้แต่ง 21 คน ขึ้นไป ระบุชื่อ 19 คนแรก และใช้ ... ตามด้วยชื่อ คนสุดท้าย โดยหน้าและ หลังแต่ละจุด ต้องเว้นวรรค 1 ระยะ	ขนิษฐา นันทบุตร และ คนอื่น ๆ (2563, น. 25) หรือ (ขนิษฐา นันทบุตร และคนอื่น ๆ, 2563, น. 25) Miller et al. (2018, p. 10) หรือ (Miller et al., 2018, p. 10)	ขนิษฐา นันทบุตร, พิศพงษ์ บุญสวัสดิ์กุลชัย, จงกลณี จันทร์ศิริ, นิลภา จิระรัตนวรรณะ, สุคนธ์ วรธนะอมร, แสงเดือน แห่งทองคำ, กชพร สิงห์หล้า, กติกา นวพันธุ์, กนกพร จิรัฐติกาลวงศ์, กนกพร จิวประสาท, กนกพร แจ่มสมบูรณ์, กนกพร อัสวเมธิกางค์, กมลวรรณ จุติวรกุล, กมลวรรณ ดงชนกานนท์, กรรณิกา ชำธรรม, กรรณิการ มุรธาธร, กรรทอง วงศ์ศรีตรัง, กรวิรุ อัสวคุปตานนท์, กฤติน กุลเพ็ง, . . . พัฒนา นาคทอง. (2563). <i>ชุดความรู้ การพัฒนาไกลและการพัฒนาระบบสุขภาพชุมชน โดยชุมชนเพื่อชุมชน</i> . ดีดี.
ผู้แต่งที่เป็น สถาบัน	สำนักงานคณะกรรมการ ดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและ สังคม (2562)	Miller, T. C., Brown, M. J., Wilson, G. L., Evans, B. B., Kelly, R. S., Turner, S. T., Lewis, F., Lee, L. H., Cox, G., Harris, H. L., Martin, P., Gonzalez, W. L., Hughes, W., Carter, D., Campbell, C., Baker, A. B., Flores, T., Gray, W. E., Green, G., . . . Nelson, T. P. (2018).
ผู้รับผิดชอบเป็น บรรณาธิการ	(วิชัย วงษ์ใหญ่ (บ.ก.), 2553) (McKinney et al. (Eds.), 2018)	สำนักงานคณะกรรมการดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม. (2562). <i>การรู้ดิจิทัล</i> . สำนักงานฯ. วิชัย วงษ์ใหญ่ (บ.ก.). (2553). <i>กระบวนการค้นคว้าใหม่ในการ พัฒนาหลักสูตร</i> . โอเดียนสโตร์. McKinney, E. S., Nelson, K. A., & Ashwill, J. W. (Eds.). (2018). <i>Maternal-child nursing</i> (5th ed.). Elsevier.

2. ปีพิมพ์

2.1 ระบุปีพิมพ์ในเครื่องหมายวงเล็บตามหลังชื่อผู้แต่ง และปิดด้วยเครื่องหมายมหัพภาค (.)

สุภาภรณ์ เกียรติสิน. (2562).
Sherman, Chad D. (2011).

2.2 หนังสือที่อยู่ในระหว่างการพิมพ์ ให้ลงคำว่า กำลังจัดพิมพ์ หรือ in press ในเครื่องหมายวงเล็บแทนปีพิมพ์

(กำลังจัดพิมพ์).
(in press).

2.3 หนังสือที่ไม่ปรากฏปีพิมพ์ ใส่อักษรย่อในเครื่องหมายวงเล็บแทนปีพิมพ์

(ม.ป.ป.).	แทนคำเต็มจาก	ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์
(n.d.).	แทนคำเต็มจาก	no date

3. ครั้งที่พิมพ์

3.1 หนังสือที่พิมพ์ครั้งที่ 1 หรือพิมพ์ครั้งแรก ไม่ต้องระบุในรายการอ้างอิง

3.2 หนังสือที่พิมพ์ครั้งที่ 2 เป็นต้นไป ใส่ครั้งที่พิมพ์ต่อจากชื่อเรื่อง โดยระบุครั้งที่พิมพ์ในเครื่องหมายวงเล็บ และตามด้วยเครื่องหมายมหัพภาค

(พิมพ์ครั้งที่ 2).
(2nd ed.).
(พิมพ์ครั้งที่ 4).
(4th ed.).

4. สำนักพิมพ์

4.1 ระบุชื่อสำนักพิมพ์ที่ปรากฏบนผลงาน พิจารณาให้สอดคล้องกับปีพิมพ์และครั้งที่พิมพ์ โดยไม่ใช่ชื่อย่อ ให้ตัดคำว่า สำนักพิมพ์ ห้างหุ้นส่วน จำกัด บริษัท หรือ คำว่า Publishers, Co., และ Inc. ซึ่งไม่จำเป็นต้องระบุ แต่ให้คงคำว่า Books คำว่า Press ในชื่อของสำนักพิมพ์ไว้

สำนักพิมพ์สารคดี	ลงรายการเป็น	สารคดี.
สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	ลงรายการเป็น	สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด (มหาชน)	ลงรายการเป็น	ซีเอ็ดดูเคชั่น.
John Wiley & Sons., Inc.	ลงรายการเป็น	John Wiley & Sons.
Oxford University Press	ลงรายการเป็น	Oxford University Press.
SAGE Publishing	ลงรายการเป็น	SAGE.

4.2 กรณีไม่ปรากฏชื่อสำนักพิมพ์ ให้ใส่โรงพิมพ์แทนโดยให้คงคำว่าโรงพิมพ์ไว้

โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
Cambridge University Press.

4.3 หากไม่ปรากฏทั้งชื่อสำนักพิมพ์ และโรงพิมพ์ ให้ใช้อักษรย่อดังนี้

ม.ป.พ.	แทนคำเต็มจาก	ไม่ปรากฏสำนักพิมพ์
n.p.	แทนคำเต็มจาก	no publisher

การอ้างอิงทรัพยากรสารสนเทศประเภทต่าง ๆ

1. หนังสือ

ผู้แต่ง./ (ปีที่พิมพ์)./ ชื่อเรื่อง./ (ครั้งที่พิมพ์ พิมพ์ครั้งที่ 2 เป็นต้นไป)./ สำนักพิมพ์.

ตัวอย่าง

ปริญญา เทวานฤมิตรกุล. (2559). *การศึกษาเพื่อสร้างพลเมือง = Civic education* (พิมพ์ครั้งที่ 2).

สถาบันสัญญา ธรรมศักดิ์ เพื่อประชาธิปไตย มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

พระธรรมวิสุทธิมงคล (หลวงตาพระมหาบัว ญาณสัมปันโน). (2554). *นิพพานคือนิพพาน*. การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย.

วิมลทิพย์ มุสิกพันธ์ และศิวพร ปกป้อง. (2553). *ปัจจัยที่มีผลต่อทัศนคติและพฤติกรรม การกระทำความรุนแรงทั้งทางกายภาพและการข่มเหงรังแกผ่านโลกโซเชียลของ เยาวชนไทย*. ปัญญาสมาคมเพื่อการวิจัยความเห็นสาธารณะแห่งประเทศไทย.

สุภาภรณ์ เกียรติสิน. (2562). *การเข้าใจดิจิทัลกับพลเมืองไทย (Digital literacy in 21st)*. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยมหิดล.

Douglass, Paul, & McMahon, Alice. (1960). *How to be an active citizen*. University of Florida Press.

Munck, Ronaldo, McIlrath, Lorraine, Hall, Budd, & Tandon, Rajesh (Eds.). (2014). *Higher education and community-based research: Creating a global vision*. Palgrave Macmillan.

2. หนังสือแปล

ชื่อผู้แต่งต้นฉบับ./ (ปีพิมพ์)./ ชื่อเรื่องที่แปล/ [ชื่อต้นฉบับ]/
 (ชื่อผู้แปล./ ผู้แปล)./ สำนักพิมพ์./ (ต้นฉบับพิมพ์ ปี ค.ศ. หรือ พ.ศ.).

ตัวอย่าง

เกรย์, เจ. (2552). *ผู้ชายมาจากดาวอังคาร ผู้หญิงมาจากดาวศุกร์* [Men are from mars, women are from venus] (สงกรานต์ จิตสุทธิภากร, ผู้แปลและเรียบเรียง) (พิมพ์ครั้งที่ 26). ซีเอ็ดยูเคชั่น.

บริกแฮม, อี. เอฟ. และฮุสตัน, เจ. เอฟ. (2544). *การจัดการการเงิน* [Fundamentals of financial management] (เรจรัก จำปาเงิน, ผู้แปลและเรียบเรียง) (พิมพ์ครั้งที่ 2). บิ๊คเน็ต. (ต้นฉบับพิมพ์ ปี ค.ศ. 2001).

3. หนังสือที่ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์ และสำนักพิมพ์

ผู้แต่ง./ (ม.ป.ป. หรือ n.d.)./ ชื่อเรื่อง./ (ครั้งที่พิมพ์ พิมพ์ครั้งที่ 2 เป็นต้นไป)./
 ม.ป.พ. หรือ n.p.

ตัวอย่าง

วิจารณ์ พานิช. (2558). *การเรียนรู้สู่การเปลี่ยนแปลง = Transformative learning*. ม.ป.พ.
วิจิตร ศรีสอ้าน. (ม.ป.ป.). *หลักการอุดมศึกษา*. วัฒนาพานิช.

Astin, Alexander W. (1993). *What matters in college*. n.p.

Kolb, D. A. (n.d.). *Experiential learning: Experience as the source of learning and development*. SAGE.

4. รายงานการวิจัย

ผู้แต่ง./ (ปีพิมพ์)./ ชื่อเรื่อง/ (รายงานการวิจัย)./ สำนักพิมพ์.

ตัวอย่าง

ศักดิ์ชัย นิธิภูทิว. (2564). *การเรียนรู้ด้วยการรับใช้สังคม (Service learning)* (รายงานการวิจัย). สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาแห่งชาติ สำนักงานกฤษฎีกา.

Hoechsmann, Michael, & Dewaard, Helen. (2015). *Mapping digital literacy policy and practice in the Canadian education* (Research report). University of Toronto Press.

5. บทความในหนังสือ

ชื่อผู้เขียนบทความ./ (ปีพิมพ์)./ ชื่อบทความ./ ใน หรือ In/ ชื่อบรรณาธิการ (บ.ก. หรือ Ed. หรือ Eds.)./ ชื่อเรื่อง/ (น. หรือ p. หรือ pp./ เลขหน้า)./ สำนักพิมพ์.

ตัวอย่าง

ณัฐพล ปัญญาโสภณ. (2554). มุมมองของนักศึกษานิเทศศาสตร์ต่อกระบวนการผลิตละครเพื่อการสื่อสาร. ใน ชนัญชี ภักคานนท์ (บ.ก.), *กระบวนการทัศน์มหาวิทยาลัยไทยบนความท้าทายของเอเชียแปซิฟิก* (น. 23–24). มหาวิทยาลัยกรุงเทพ.

สุรพันธ์ สิทธิสุข. (2563). การสัมภาษณ์ประวัติ. ใน วิทยา ศรีตามา (บ.ก.), *การสัมภาษณ์ประวัติและตรวจร่างกาย* (พิมพ์ครั้งที่ 12, น. 1–7). โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- Gray, J. R. (2021). Discovering the world of nursing. In R. G. Jennifer, K. G. Susan (Eds.), *Burns & Grove's the practice of nursing research: Appraisal, synthesis, and generation of evidence* (9th ed., pp. 1–18). Elsevier.
- Sinnaeve, G. (2010). Use of near infrared spectroscopy for the determination of internal quality of entire apples. In S. Saranwong, S. Kasemumran, W. Thanapase, & P. Williams (Eds.), *Near infrared spectroscopy: Proceedings of the 14th international conference* (pp. 255–259). IMP.

6. วารสาร

ชื่อผู้เขียนบทความ./ (ปีพิมพ์)/ ชื่อบทความ./ ชื่อวารสาร./ เลขของปีที่ (เลขของฉบับที่)/ เลขหน้า.

ตัวอย่าง

- ปิยะวิทย์ ทิพรส. (2553). การจัดการป้องกันและลดสารให้กลิ่นโคลน Geosmin ในผลิตภัณฑ์แปรรูปสัตว์น้ำ. *วารสารสุทธิปริทัศน์*, 24(72), 103–119.
- Plows, J. F., Stanley, J. L., Baker, P. N., Reynolds, C. M., & Vickers, M. H. (2018). The pathophysiology of gestational diabetes mellitus. *International journal of molecular sciences*, 19(11), 3342. <https://doi.org/10.3390/ijms19113342>
- Siriwongworawat, S. (2003). Use of ICT in Thai libraries: An overview. *Program: Electronic Library and Information Systems*, 37(1), 38–43.
- Tandra, R., Sahai, A., & Veeralli, V. (2011). Unified space-time metrics to evaluate spectrum sensing. *IEEE Communication Magazine*, 49(3), 54–61

7. หนังสือพิมพ์

ผู้แต่ง./ (ปีพิมพ์./ วัน/เดือน)./ ชื่อบทความ./ ชื่อหนังสือพิมพ์./ น. หรือ p. หรือ pp./ เลขหน้า.

ตัวอย่าง

- เฉลิมพล พลมุข. (2557, 20 ตุลาคม). จุดยืนของมหาวิทยาลัยราชภัฏ. *มติชน*, น. 21.
- ปรัชญเศรษฐศาสตร์ “ราชภัฏ” สู่การพัฒนาท้องถิ่น. (2560, 4 สิงหาคม). *กรุงเทพธุรกิจ*, น. 15.
- อว. ชู “วิศวกรสังคม” ทำงานในชุมชนได้ทุกมิติ. (2563, 20 กรกฎาคม). *เดลินิวส์*. <https://www.dailynews.co.th/education/785949>
- Boonnoon, J. (2011, April 28). Manufacturers flood Thai market. *The Nation*, p. 11.

8. วิทยานิพนธ์และปริญญาานิพนธ์

ผู้แต่ง./ (ปีพิมพ์)./ชื่อเรื่อง/[ระดับวิทยานิพนธ์]./ชื่อสถาบัน.

ตัวอย่าง

- จอย ทองกล่อมสี. (2555). *การพัฒนาตัวบ่งชี้ความรับผิดชอบต่อสังคมของสถาบันอุดมศึกษาไทยตามหลักธรรมาภิบาล* [วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย]. <http://cuir.car.chula.ac.th/handle/123456789/35693>
- เสาวนีย์ คงนิรันดร์. (2559). *ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูแลของผู้ดูแลผู้ป่วยจิตเวช* [วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยบูรพา]. ฐานข้อมูลงานวิจัย (ThaiLis).
- Burgess, Prairie Leigh. (2011). *Understanding how institutional leadership affects civic engagement on university campuses* [Doctoral dissertation, University of Arkansas]. <https://scholarworks.uark.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1079&context=etd&httpsredir=1&referer>
- Harris, L. (2014). *Instructional leadership perceptions and practices of elementary school leaders* [Unpublished doctoral dissertation]. University of Virginia.
- Worawalai, W. (2014). *α -Glucosidase inhibitors from N-substituted aminocyclitol derivatives and total synthesis of CJ-16,264* [Doctoral dissertation, Chulalongkorn University]. <https://bit.ly/3sGuBFh>

9. เอกสารการประชุมวิชาการ

ผู้แต่ง./ (ปีพิมพ์)./ ชื่อบทความหรือชื่อเรื่องของบท. ใน หรือ In/ ชื่อบรรณาธิการ (บ.ก. หรือ Ed. หรือ Eds.)/ ชื่อการประชุม/ (น. หรือ p. หรือ pp. เลขหน้า)./ สำนักพิมพ์.

ตัวอย่าง

- ทิตินา แคมมณี. (2557). พลุกโลกการสอนให้มีชีวิตสู่ห้องเรียนแห่งศตวรรษใหม่. ใน *การประชุมสู่จุดเปลี่ยนประเทศไทยอภิวินัยการเรียนรู้* (น. 58). สำนักงานส่งเสริมสังคมแห่งการเรียนรู้และคุณภาพเยาวชน (สสค.).
- พัชรภา ตันติชูเวช. (2553). การศึกษาทั่วไปกับคุณลักษณะบัณฑิตที่พึงประสงค์ในประเทศมาเลเซียและสิงคโปร์ ศึกษาโดยเปรียบเทียบกับประเทศไทย. ใน ศิริชัย กาญจนวาสี (บ.ก.), *การขับเคลื่อนคุณภาพการศึกษาไทย การประชุมวิชาการและเผยแพร่ผลงานวิจัยระดับชาติ* (น. 97–102). คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- Katz, I., Gabayan, K., & Aghajan, H. (2007). A multi-touch surface using multiple cameras. In J. Blanc–Talon, W. Philips, D. Popescu, & P. Scheunders (Eds.), *Lecture notes in computer science: Vol. 4678. Advanced concepts for intelligent vision systems* (pp. 97–108). Springer–Verlag.

10. กรณีไม่ปรากฏชื่อผู้แต่งหรือผู้รับผิดชอบ

ให้นำชื่อบทความ หรือชื่อเรื่องแทนตำแหน่งของผู้แต่งหรือผู้รับผิดชอบ
จากนั้นเรียงตามรูปแบบของเอกสารที่อ้างอิง

ตัวอย่าง

- ICDL ยกระดับไอทีไทย สู่มาตรฐานสากล. (2559). *นิตยสารดิจิทัล เอเชีย*. 207, 38–40.
- ย้อนคดีเซอร์ไอแอน “แพะในตำนาน” 17 ปี คดีประวัติศาสตร์ จ่าย 26 ล้านไถ่บาป “ตำรวจ” ย้อนสุดทาง. (2560, มกราคม 12). *มติชนสุดสัปดาห์ออนไลน์*. https://www.matichonweekly.com/scoop/article_20990
- The bluebook: A uniform system of citation* (20th ed.). (2015). Harvard Law Review Association.

Researchers replicate famous marshmallow test, make new observations. (2018, May 25). Medical Xpress. https://medicalxpress.com/news/2018-05-replicate-famous-marshmallow.html?utm_source=tabs&utm_medium=link&utm_campaign=story-tabs

11. เว็บไซต์

ผู้แต่ง./ (ปี./วัน/เดือนที่เผยแพร่)./ชื่อเรื่อง./ชื่อเว็บไซต์./URL

ตัวอย่าง

ชัชวาล วงศ์สารี. (2561). มโนทัศน์เกี่ยวกับผู้สูงอายุและหลักการพยาบาลผู้สูงอายุ [PowerPoint slides]. SlideShare. <https://bit.ly/3ok6Voz>

ไทยรัฐสู้โควิด. (2564, 14 พฤษภาคม). เหตุการณ์ไม่พึงประสงค์จากการฉีดวัคซีนโควิด-19. Facebook. <https://bit.ly/2RVJnKm>

एमओชमा วัฒนบูรานนท์. (2554, 27 เมษายน). การจัดการเรียนรู้สุขศึกษา. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (Chulapedia). <http://www.chulapedia.chula.ac.th=การจัดการเรียนรู้สุขศึกษา>
American Psychological Association. (n.d.). *APA style: Learning APA style*. <https://apastyle.apa.org/learn/index?tab=2>

Forbes, Scott H. (n.d.). *Socially responsible education*. <http://holistic-education.net/articles/soc-resp.pdf>

Hoechsmann, Michael, & Dewaard, Helen. (2015). *Mapping digital literacy policy and practice in the Canadian education*. Retrieved November 10, 2019, from <https://mediasmarts.ca/sites/mediasmarts/files/publication-report/full/mapping-digital-literacy.pdf>

Science. (2018, December 31). *First footage of deep-sea anglerfish pair* [Video]. Facebook. <https://bit.ly/3uOGOZl>

Stafford, T. (2018, January 3). The backfire effect is elusive. *Mind Hacks*. <https://mindhacks.com/2018/01/03/the-backfire-effect-is-elusive/>

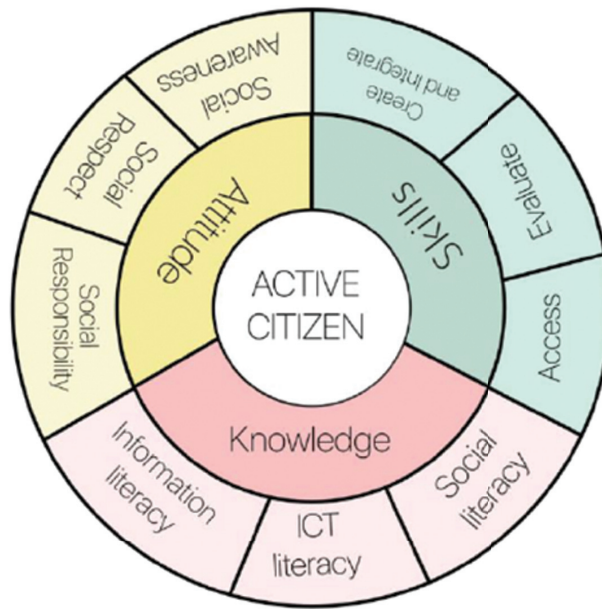


การนำเสนอภาพและตาราง

ภาพ

ผู้เขียนบทความสามารถนำเสนอภาพที่มีความสอดคล้องกับเนื้อหาของบทความ โดยภาพควรมีความคมชัด ความละเอียดขั้นต่ำ 600 dpi ควรเป็นภาพที่มีนามสกุลไฟล์ .jpg หรือ .png พร้อมระบุหมายเลขกำกับรูปภาพ ชื่อภาพ และอ้างอิงภาพโดยไม่เป็นการละเมิดลิขสิทธิ์เจ้าของผลงาน ซึ่งผู้เขียนต้องตรวจสอบสิทธิ์ของภาพก่อนระบุในบทความให้เรียบร้อย

ตัวอย่าง



ภาพ 1 คุณลักษณะของพลเมืองวิวัฒน์

ที่มา: Rangsisuttaporn et al. (2020, p. 2552)

ตาราง

หัวข้อตารางให้เริ่มที่มุมซ้ายด้านบนของเส้นตาราง ตามลำดับเลขที่ปรากฏในต้นฉบับ พร้อมชื่อของตาราง ข้อมูลที่นำเสนอในตารางควรมีความสอดคล้องกับข้อมูลในส่วนของเนื้อความ สามารถใช้คำย่อในตารางได้ แต่ควรอธิบายคำย่อที่ไม่ใช่คำมาตรฐานในเชิงบรรณารักษศาสตร์ที่สร้างขึ้นไม่ต้องมีเส้นส้อม มีแต่เส้นแนวนอน และตารางที่นำเสนอจะต้องเป็นตารางที่มีสัดส่วนพอเหมาะกับบทความ

ตัวอย่าง

ตาราง 1 เปรียบเทียบคุณลักษณะความเป็นพลเมืองวิวัฒน์ของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏ
ก่อนทดลองและหลังทดลอง

คุณลักษณะความเป็นพลเมืองวิวัฒน์	ก่อนเรียน			หลังเรียน		
	$\bar{X}$	S.D.	แปลความ	$\bar{X}$	S.D.	แปลความ
มิติความรู้	4.23	0.57	มาก	4.63	0.30	มากที่สุด
มิติทักษะ	4.14	0.57	มาก	4.68	0.33	มากที่สุด
มิติทัศนคติ	4.26	0.58	มาก	4.67	0.33	มากที่สุด



คำชี้แจงสิทธิส่วนบุคคล

ชื่อและที่อยู่อีเมลที่ปรากฏในเว็บไซต์ หรือวารสารนี้จะถูกใช้เพื่อวัตถุประสงค์ที่ระบุไว้
ของวารสารนี้โดยเฉพาะ และจะไม่ถูกนำไปใช้เพื่อวัตถุประสงค์อื่นใดหรือให้กับบุคคลอื่นใด



ความรับผิดชอบในเนื้อหา

ผลการวิจัยและข้อคิดเห็นใด ๆ ที่ตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์
สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (เพื่อการพัฒนาท้องถิ่น) เป็นความรับผิดชอบของผู้เขียน
กองบรรณาธิการวารสาร และมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ ไม่จำเป็นต้องรับผิดชอบหรือเห็นด้วย

เรื่องเล่าภาพปกวารสาร จากอาจารย์ศิลปะสู่นักวิจัยเชิงพื้นที่...

"งานวิจัย งานวิชาการ คงเหมือนกับนิทานหรือเรื่องเล่า
หลายต่อหลายครั้ง เราจะค้นพบว่า มีทั้งความสุข เรื่องตื่นเต้น
และสิ่งที่ไม่คาดคิดจากการลงพื้นที่วิจัยกับชุมชนอยู่เสมอ :
อยากให้งานวิจัย สร้างความสุขได้จริง เหมือนอ่านนิทาน"

อ.จาตุรนต์ จริยรัตน์กุล, ผู้วาดภาพประกอบ



สถาบันวิจัยและพัฒนา
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์
<http://research.uru.ac.th>