



วารสารวิทยาศาสตร์ คชสาร

**เจ้าของ**

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์

<http://science.srru.ac.th/kochasarn>

**สำนักงาน**

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์

186 หมู่ 1 ถนนสุรินทร์-ปราสาท ตำบลนอกเมือง อำเภอเมืองสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์ 32000

โทรศัพท์/โทรสาร 0-4455-8344

**บรรณาธิการ**

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.น้องนุช สารภี

**รองบรรณาธิการ**

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธงชัย เจือจันทร์

**กองบรรณาธิการ**

- |  |  |
|--|--|
| 1. ศาสตราจารย์ ดร.สายัณห์ ทัดศรี                 | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน                |
| 2. ศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ประเทพา                  | มหาวิทยาลัยมหาสารคาม                                 |
| 3. ศาสตราจารย์ ดร.อลงกลด แทนออมทอง               | มหาวิทยาลัยขอนแก่น                                   |
| 4. รองศาสตราจารย์ ดร.ฉालิศา ยูวอมรพิทักษ์        | มหาวิทยาลัยมหาสารคาม                                 |
| 5. รองศาสตราจารย์ ดร.สำเนาวัล เสาวกุล            | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน<br>วิทยาเขตสุรินทร์ |
| 6. รองศาสตราจารย์ ดร.กฤติมา กษมาวุฒิ             | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน<br>วิทยาเขตสุรินทร์ |
| 7. รองศาสตราจารย์ ดร.กฤษณ์ ปิ่นทอง               | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ                |
| 8. รองศาสตราจารย์ ดร.สุรพล แสนสุข                | มหาวิทยาลัยมหาสารคาม                                 |
| 9. รองศาสตราจารย์ ดร.นิติพัฒน์ พัฒนฉัตรชัย       | มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์                            |
| 10. รองศาสตราจารย์ ดร.พัชรศักดิ์ อาลัย           | มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม                              |
| 11. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปริยาภรณ์ อิศรานูวัฒน์ | มหาวิทยาลัยมหาสารคาม                                 |
| 12. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประวรดา โภชนจันทร์     | มหาวิทยาลัยสวนดุสิต                                  |
| 13. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วุฒิชัย กันนุฬา        | มหาวิทยาลัยนครพนม                                    |
| 14. รองศาสตราจารย์ ดร.อำนาจ วัฒนกรสิริ           | มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์                            |
| 15. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กชนิภา อุดมทวี         | มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์                            |
| 16. ผู้ช่วยศาสตราจารย์จิระเดช อินทเจริญศานต์     | มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์                            |
| 17. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยุพเยาว์ โตศิริ        | มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์                            |



ISSN 3027-7299 (Print)  
ISSN 2985-0835 (Online)

วารสารวิทยาศาสตร์ คชสาร  
Koch Cha Sarn Journal of Science

ปีที่ 47 ฉบับที่ 2 : กรกฎาคม – ธันวาคม 2568  
Vol.47 No.2 July – December 2025

**สำนักงานวารสาร**

สำนักงานคณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์  
186 หมู่ 1 ถนนสุรินทร์-ปราสาท ต.นอกเมือง อ.เมืองสุรินทร์ จ.สุรินทร์ 32000  
โทรศัพท์/โทรสาร 0-4455-8344 <http://science.sru.ac.th/kochasarn>

**วัตถุประสงค์และขอบเขต**

วารสารวิทยาศาสตร์ คชสาร เป็นวารสารของคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ จัดทำขึ้นเพื่อตีพิมพ์เผยแพร่ผลงานทางวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีกลุ่ม Life Science (Agricultural and Biological Sciences) ในรูปแบบบทความวิจัยหรือบทความปริทัศน์ ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ โดยบทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่จะต้องผ่านการพิจารณาโดยผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer Review) ในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องอย่างน้อย 3 ท่าน แบบ Double Blind ที่มาจากหลากหลายสถาบัน และวารสารวิทยาศาสตร์ คชสาร ยึดมั่นในจริยธรรมการตีพิมพ์ และมุ่งเน้นที่จะเผยแพร่บทความที่มีคุณค่าทางวิชาการเป็นสำคัญ

วารสารวิทยาศาสตร์ คชสาร ได้รับการรับรองคุณภาพจาก TCI กลุ่ม 2 มีกำหนดตีพิมพ์ปีละ 2 ฉบับ ทั้งแบบรูปเล่มและออนไลน์บนเว็บไซต์ ผู้นิพนธ์สามารถส่งบทความเพื่อเข้าสู่กระบวนการพิจารณาตีพิมพ์เผยแพร่ได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย

**กำหนดตีพิมพ์ปีละ 2 ฉบับ**

- ฉบับที่ 1 เดือนมกราคม - มิถุนายน
- ฉบับที่ 2 เดือนกรกฎาคม - ธันวาคม



ISSN 3027-7299 (Print)  
ISSN 2985-0835 (Online)

วารสารวิทยาศาสตร์ คชสาร

ปีที่ 47 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2568

Koch Cha Sarn Journal of Science

Vol.47 No.2 July- December 2025

---



วารสารวิทยาศาสตร์ คชสารสัน

ปีที่ 47 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม 2568

Koch Cha Sarn Journal of Science

Vol.47 No.2 July – December 2025

## สารบัญ

ประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยที่เคลือบบนเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศต่อคุณภาพของเมล็ดพันธุ์

Efficacy of essential oil coating on tomato seeds on seed quality

ชนกเนตร ชัยวิชา นิศานาถ แก้ววินัด ลดาวัลย์ ปัญตะยัง และอุบลวรรณ สุวรรณภูสิทธิ์

Chanoknet Chaiwicha, Nisanath Keawwinud, Ladawan Puntayoung &

Ubonwan Suwannaputit.....1

ผลของสภาวะการเพาะเลี้ยงต่อการเจริญของเนื้อเยื่อในวุ้นสาขาสกเหล็ก (*Molinieria latifolia* (Drayand. Ex. W. T. Aiton) Herb ex. Kurz.)

Effect of cultural conditions on regeneration of *Molinieria latifolia* (Drayand. Ex. W. T. Aiton) Herb ex. Kurz.

วาสนา แผลติตะ สุจิตรา เจาะจง ภาวินี ท้าวเพชร และอินทร์ธวัช ศรีบุตต์

Wasana Phlaetita, Sujitar Jorjong, Pawinee Taopetch & Indhus Sributta.....6

ผลของการใช้ผงจมูกข้าวกล้องงอกหอมมะลิจังหวัดสุรินทร์ทดแทนแป้งสาลีต่อคุณภาพขนมปังกรอบ

Effect of Substituting Wheat Flour with Germinated Hom Mali Brown Rice Germ Powder from Surin Province on the Quality of Crispy Bread

ภัทธราภรณ์ แก้วกุล รัสรินทร์ ฉัตรทองพิศุทธิ์ และอภิชากร ดวงแขเพ็ญศิริกุล

Phattaraporn Kaewkool, Rassarin Chatthongpisut & Apichargorn Dangkhapensirikul.....14

การพัฒนาแอนตี้แบคทีเรียไมโครอิมัลชันจากน้ำมันเทียนยาวพาดณี

Development of Antibacterial Microemulsions from Ajowan Oil

ประภาพร บุญมี ชนาภา ธนอัครพล และนวพร โชติพิณฑุ

Prapaporn Boonme, Chanapa Thanawsawapol & Navaporn Chotipintu.....20



วารสารวิทยาศาสตร์ คชสาร์น

ปีที่ 47 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม 2568

Koch Cha Sarn Journal of Science

Vol.47 No.2 July – December 2025

### สารบัญ (ต่อ)

ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของแป้งผสมระหว่างแป้งสาลีและแป้งบัควีต เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ซาลาเปาเพื่อสุขภาพ  
Study the appropriate ratio of wheat flour and buckwheat flour to develop a healthy steamed bun product.

อรทัย ชุ่มเย็น รายวดี ผดุงกาญจน์ กิติภูมิ นิลจันทร์

*Orrathai Chumyen, Rayawadi Phadungkan & Kitipoom Nilchan*.....30

อิทธิพลของระยะการเจริญเติบโตต่อคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอลิกในใบพลู

The influence of growth stages on the antioxidant properties and phenolic compounds of *Piper betle* L. leaves

วิสิทธิ์ มันทอง ชลดา วรรณงูงา เนาวรัตน์ กองคำ

*Wisit Monthong, Chonlada Wanphunga & Naowarat Kongkum*.....40



## Research Article

### Efficacy of essential oil coating on tomato seeds on seed quality

#### ประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยที่เคลือบบนเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศต่อคุณภาพของเมล็ดพันธุ์

ชนกเนตร ชัยวิชา<sup>1\*</sup>, นิสานาถ แก้ววินัด<sup>2</sup>, ลดาวัลย์ ปัญตะยัง<sup>3</sup> และ อุบลวรรณ สุวรรณภูสิทธิ์<sup>4</sup>

Chanoknet Chaiwicha, Nisanath Keawwinud, Ladawan Puntayoung and Ubonwan Suwannaputit

<sup>1</sup>คณะเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ 186 หมู่ 1 ถนนสุรินทร์-ปราสาท ต.นอกเมือง อ.เมือง จ.สุรินทร์ 32000

Faculty of Agriculture and Agro-Industry, Surindra Rajabhat University, 186 Moo 1, Surin-Prasart Road, Nokmuang, Surin, 32000

<sup>2</sup>คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ 186 หมู่ 1 ถนนสุรินทร์-ปราสาท ต.นอกเมือง อ.เมือง จ.สุรินทร์ 32000

Faculty of Industrial Technology, Surindra Rajabhat University, 186 Moo 1, Surin-Prasart Road, Nokmuang, Surin, 32000

<sup>3</sup>คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ 186 หมู่ 1 ถนนสุรินทร์-ปราสาท ต.นอกเมือง อ.เมือง จ.สุรินทร์ 32000

Faculty of Humanities and Social Sciences, Surindra Rajabhat University, 186 Moo 1, Surin-Prasart Road, Nokmuang, Surin, 32000

<sup>4</sup>คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ 186 หมู่ 1 ถนนสุรินทร์-ปราสาท ต.นอกเมือง อ.เมือง จ.สุรินทร์ 32000

Faculty of Management Science, Surindra Rajabhat University, 186 Moo 1, Surin-Prasart Road, Nokmuang, Surin, 32000

#### Article Info

Received 27 June 2025

Revised 02 December  
2025

Accepted 11 December  
2025

#### Abstract

At present, an increasing number of farmers have begun producing various types of open-pollinated seeds for their own use due to the continuously rising cost of commercial seeds and the growing interest in organic farming. However, on-farm seed production often faces the problem of fungal contamination on seeds. Therefore, this study aimed to evaluate the efficacy of essential oils from clove, galangal, ginger, chili, and citronella in controlling seed-borne fungi in open-pollinated tomato seeds collected from farmers' fields in Yawuek Sub-district, Chumphonburi District, Surin Province. The experiment was conducted at the Seed Technology Laboratory, Faculty of Agriculture and Agricultural Industry, Surin Rajabhat University. A Completely Randomized Design (CRD) was employed, consisting of five treatments with four replications each. Tomato seeds were coated with 10 grams of Chitosan-Lignosulphonate polymer combined with each of the five essential oils at a concentration of 1%. Seed germination, germination index, and antifungal efficacy were evaluated. The results showed that seeds coated with essential oils of clove and galangal exhibited higher germination percentage, germination index, and fungal suppression compared with uncoated seeds and seeds coated with other essential oils.

**Key words:** essential oil, seed coating , tomato seeds

## บทคัดย่อ

ในปัจจุบันเกษตรกรเริ่มผลิตเมล็ดพันธุ์ผสมเปิดหลายชนิดไว้ใช้เองเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเมล็ดพันธุ์ในปัจจุบันมีราคาเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและเกษตรกรหันกลับมาทำเกษตรอินทรีย์กันเพิ่มมากขึ้น แต่ในการผลิตเมล็ดพันธุ์ไว้ใช้เองกลับพบปัญหาการเกิดเชื้อราติดมากับเมล็ดพันธุ์ ดังนั้นการทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยกานพลู ข่า ขิง พริก และตะไคร้หอม ในการป้องกันเชื้อราที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศผสมเปิดจากแปลงเกษตรกร ในตำบลยะวีก อำเภอชุมพลบุรี จังหวัดสุรินทร์ โดยทำการทดลองที่ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์ คณะเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) จำนวน 5 กรรมวิธี กรรมวิธีละ 4 ซ้ำ โดยเคลือบเมล็ดพันธุ์ด้วย Chitosan - Lignosulphonate Polymer 10 กรัมร่วมกับน้ำมันหอมระเหยทั้ง 5 ชนิดในอัตรา 1 % ตรวจสอบความงอก ดัชนีการงอก และตรวจสอบประสิทธิภาพในการควบคุมเชื้อรา พบว่า เมล็ดพันธุ์ที่เคลือบร่วมกับน้ำมันหอมระเหย กานพลู และข่า มีความงอก ดัชนีการงอก และการควบคุมเชื้อราได้สูงกว่าเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ได้เคลือบและเมล็ดพันธุ์ที่เคลือบร่วมกับน้ำมันหอมระเหยชนิดอื่น

**คำสำคัญ ;** น้ำมันหอมระเหย, การเคลือบเมล็ดพันธุ์, เมล็ดพันธุ์มะเขือเทศ

## 1. บทนำ

ในปี พ.ศ. 2566 มีมูลค่าการส่งออกเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศสูงถึง 1,457.84 ล้านบาท และมีเป้าหมายในการส่งออกในปี 2669 ถึง 15,000 จากการขยายตัวอย่างรวดเร็วในการผลิตเมล็ดพันธุ์ในเชิงอุตสาหกรรม ส่งผลทำให้ราคาการขยายเพิ่มขึ้นเช่นกัน ดังนั้นการส่งเสริมให้เกษตรกรผลิตเมล็ดพันธุ์ผสมเปิด (Open Pollinated Varieties) คือพันธุ์ที่มีการปลูกและการคัดเลือกลักษณะตามความต้องการ ปล่อยให้มีการผสมพันธุ์โดยสุ่มในกลุ่มของต้นที่ผ่านการคัดเลือกในแปลงที่ปลอดละอองเกสรจากพันธุ์อื่น มีการปรับตัวได้ดีเนื่องจากมีจีโนไทป์หลายแบบ เกษตรกรสามารถเก็บเมล็ดไว้ปลูกต่อไปได้โดยที่พันธุ์ยังคงที่ ซึ่งเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่จะช่วยสร้างความมั่นคงและยั่งยืนในการทำการเกษตรของเกษตรกรผู้ที่ปลูกผัก ซึ่งมะเขือเทศก็เป็นเมล็ดพันธุ์อีกชนิดหนึ่งที่เกษตรกรมีความสนใจในการปลูกเป็นจำนวนมาก และปลูกกันอย่างแพร่หลายซึ่งเมล็ดพันธุ์ที่อยู่ในท้องตลาดส่วนใหญ่เป็นพันธุ์ลูกผสม F1 (Hybrid Variety) เป็นเมล็ดที่เกิดในรุ่นแรกของการผสมระหว่างพ่อ แม่ในสายพันธุ์เดียวกัน ที่มีลักษณะแตกต่างกัน มีลักษณะที่ดีเด่นกว่าพ่อ แม่ ให้ผลผลิตมีคุณภาพและมีความสม่ำเสมอสูงแต่เกษตรกรไม่สามารถเก็บเมล็ดไว้ใช้ต่อไปได้ต้องซื้อเมล็ดพันธุ์ลูกผสมเสมอ และมีการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวด้วยสารเคมี ป้องกันโรคและแมลงที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์

ซึ่งเป็นการเพิ่มต้นทุนในการผลิตมากกว่าร้อยละ 50 ในกระบวนการผลิตพืช แต่ในกระบวนการผลิตเมล็ดพันธุ์ผสมเปิดอินทรีย์เกษตรกร

ยังคงพบปัญหาการเข้าทำลายของเชื้อราที่ติดมาที่ผิวของเมล็ดพันธุ์ซึ่งปัญหาดังกล่าวทำให้เกษตรกรหลายกลุ่มที่ผลิตเมล็ดพันธุ์ใช้เองยกเลิกการผลิตเนื่องจากคุณภาพไม่เทียบเท่าเมล็ดพันธุ์ที่ซื้อจากท้องตลาด

## 2. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาผลของการเคลือบเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศร่วมกับสารสกัดน้ำมันหอมระเหยจากธรรมชาติต่อคุณภาพด้านความงอก ดัชนีการงอก และเปอร์เซ็นต์การติดเชื้อและเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเชื้อในเมล็ดพันธุ์

## 3. วิธีดำเนินการวิจัย

### 3.1 แผนการทดลอง

โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ Completely Randomized Design (CRD) จำนวน 6 กรรมวิธี กรรมวิธีละ 4 ซ้ำ โดยการเตรียมน้ำมันหอมระเหยด้วยวิธีการกลั่นจะเป็นการผ่านไอน้ำจากเครื่องกำเนิดไอน้ำเข้าไปในหม้อควบคุมความดันที่บรรจุวัตถุดิบ จำนวน 20 กิโลกรัมของพืชที่นำมาถนายน้ำมันหอมระเหย เมื่อความร้อนจากไอน้ำกระทบกับวัตถุดิบ ไอน้ำก็จะนำพาน้ำมันหอมระเหยที่อยู่ในพืชชนิดนั้น ๆ ออกมาผ่านท่อเกลียวที่หล่อเลี้ยงด้วยน้ำเย็นเพื่อให้เกิดการลดอุณหภูมิและควบแน่นกลายเป็นของเหลว หลังจากนั้นของเหลวจากการควบแน่นที่ได้ก็จะไหลผ่านท่อควบแน่นเข้าสู่หลอดแก้ว ได้น้ำมันหอมระเหยที่แยกชั้นออกจากน้ำ จากนั้นนำมาผสมกับสารเคลือบในอัตรา 1% ร่วมกับสารเคลือบโพลิเมอร์ Chitosan-Lignosulphonate Polymer เป็นตัวผสม ดังต่อไปนี้

- T1 เมล็ดพันธุ์ควบคุม (เมล็ดพันธุ์ไม่ได้เคลือบ)
- T2 Chitosan-Lignosulphonate Polymer ในอัตรา 10 กรัม + น้ำมันหอมระเหยกานพลู ความเข้มข้น 1%
- T3 Chitosan-Lignosulphonate Polymer ในอัตรา 10 กรัม + น้ำ น้ำมันหอมระเหยขิง ความเข้มข้น 1%
- T4 Chitosan-Lignosulphonate Polymer ในอัตรา 10 กรัม + น้ำมันหอมระเหยชา ความเข้มข้น 1%
- T5 Chitosan-Lignosulphonate Polymer ในอัตรา 10 กรัม + น้ำมันหอมระเหยพริก ความเข้มข้น 1%
- T6 Chitosan-Lignosulphonate Polymer ในอัตรา 10 กรัม + น้ำมันหอมระเหยตะไคร้หอม ความเข้มข้น 1%

เคลือบเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศผสมเปิดด้วยเครื่องเคลือบระบบจานหมุน รุ่น AAISC -1/63 (นวัตกรรมสร้างเอง) โดยใช้สารเคลือบปริมาตร 100 มิลลิลิตร/กิโลกรัมเมล็ดพันธุ์ และนำเมล็ดพันธุ์ที่เคลือบมาลดความชื้นด้วยเครื่องลดความชื้นด้วยเครื่องลดความชื้นควบคุมอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส จนเมล็ดพันธุ์มีความชื้นใกล้เคียงกับเมล็ดพันธุ์ก่อนการเคลือบเมล็ดพันธุ์ (5 -7เปอร์เซ็นต์)

จากนั้นนำเมล็ดพันธุ์มาตรวจสอบคุณภาพหลังการเคลือบ โดยการตรวจสอบความงอก ดัชนีในการงอกตามวิธีมาตรฐานทางด้านเมล็ดพันธุ์ในสภาพห้องปฏิบัติการและเรือนทดลอง [5] ตรวจสอบเปอร์เซ็นต์การติดเชื้อรา และเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเชื้อรา *Fusarium oxysporum f. lycopersici* (Sacc.) Snyder and Hansen และ *Aspergillus flavus*

### 3.2 การตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์หลังการเคลือบ

หลังการเคลือบเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศผสมเปิดรวมกับน้ำมันหอมระเหยกานพลู ขิง ชา พริก ตะไคร้ จากนั้นนำมาตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดพันธุ์หลังการเคลือบ

- การตรวจสอบความงอกเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศในสภาพห้องปฏิบัติการสุ่มเมล็ดพันธุ์ในแต่ละกรรมวิธีจำนวน 4 ซ้ำ ๆ ละ 100 เมล็ดมาทดสอบความงอกโดยวิธี Top of Paper (TP) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ใช้แสง 12 ชั่วโมง แล้วตรวจนับความงอกหลังการเพาะที่ (First count) 7 วันหลังเพาะ และวันสุดท้ายที่ (Final count) 14 วันหลังเพาะ โดยประเมินผลการตรวจสอบ ความงอกตามวิธีของ (ISTA, 2019)

ความงอกของเมล็ดพันธุ์ในสภาพห้องปฏิบัติการ

$$(\%) = \frac{\text{จำนวนของเมล็ดที่งอกเป็นต้นกล้าปกติ}}{\text{จำนวนเมล็ดที่เพาะ}}$$

- ตรวจสอบดัชนีการงอกของเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศ ประเมินความเร็วในการงอกของเมล็ดตามกฎ ISTA (2019) โดยตรวจนับจำนวนเมล็ดที่งอกเป็น ต้นกล้าปกติและจำนวนวันที่งอกตั้งแต่เริ่มเพาะ (First count) 7 วัน จนถึงวันสุดท้าย (Final count) 14 วันจากการทดสอบความงอกห้องปฏิบัติการ จากนั้นนำผลการนับมาคำนวณหา

$$\text{ดัชนีในการงอกของเมล็ด} = \frac{\text{ผลรวมของจากสูตรความเร็วในการงอก (จำนวนต้นกล้าปกติที่งอกในแต่ละวัน)}}{\text{จำนวนวันหลังเพาะ}}$$

- ทดสอบประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยทั้ง 5 ชนิด ในการควบคุมเชื้อราโดยนำเมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการเคลือบมาตรวจสอบหาเชื้อ โดยวิธีการเพาะเลี้ยงบนกระดาษเพาะความงอกที่มีความชื้น [5] นำเมล็ดที่เพาะไปบ่มเชื้อที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วันจากนั้นนำไปตรวจสอบหาปริมาณเชื้อราที่เจริญบนเมล็ดภายใต้กล้องจุลทรรศน์ นับจำนวนเมล็ดที่ติดเชื้อรา คำนวณเปอร์เซ็นต์การติดเชื้อและเปอร์เซ็นต์การยับยั้ง

$$\text{เปอร์เซ็นต์การติดเชื้อ} (\%) = \frac{\text{จำนวนเมล็ดที่ติดเชื้อ} \times 100}{\text{จำนวนเมล็ดทั้งหมด}}$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์การยับยั้ง} (\%) = \frac{(\%) \text{เมล็ดที่ติดเชื้อ} - (\%) \text{เมล็ดที่ติดเชื้อชุดควบคุม}}{\text{ตัวอย่าง}}$$

$$(\%) \text{ เมล็ดที่ติดเชื้อ ชุดควบคุม} \times 100$$

### 3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้อมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) (ANOVA) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของวิธีการเคลือบโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Statistics 26 โดยกำหนดความเชื่อมั่นที่  $p < 0.05$

### 3.4 สถานที่ทำการวิจัย/เก็บข้อมูล/ระยะเวลา

ตั้งแต่ เมษายน 2566 – ธันวาคม 2567 ห้องปฏิบัติการเมล็ดพันธุ์ คณะเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์,

แปลงปลูกผักกลุ่มวิสาหกิจเกษตรอินทรีย์แก่จันทุมขมขะยวีก และกลุ่มวิสาหกิจเกษตรอินทรีย์อำเภอพนมดงรัก

#### 4. ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

Table 1 Germination and germination speed. of tomato seeds coated with different essential oils at a concentration of 1 percent.

Treatments	Germination (1%) <sup>1/</sup>	germination index
T1 <sup>2/</sup>	53.25±2.22 <sup>c1/</sup>	3.52±0.05 <sup>e</sup>
T2	94.25±1.71 <sup>a</sup>	9.30±0.22 <sup>b</sup>
T3	80.50±2.65 <sup>b</sup>	7.82±0.17 <sup>c</sup>
T4	94.50±0.58 <sup>a</sup>	10.02±0.17 <sup>a</sup>
T5	82.75±1.26 <sup>b</sup>	6.75±0.17 <sup>d</sup>
T6	82.00±0.82 <sup>b</sup>	3.52±0.1 <sup>e</sup>

Treatments	Germination (1%) <sup>1/</sup>	germination index
F-test	*	*
CV.(%)	2.09	2.11

1/a,b,c Means with different letters within a columns significantly different ta P < 0.05 according to DMRT

2/Data are transform by the asesine before statistical analysis

Table 2. Effects of essential oil coating on inhibiting pathogenic fungi in tomato seeds.

Treatments	Percent of fungi infection (%)	Percent of fungi inhibition (%)
T1 <sup>2/</sup>	75.50±2.65 <sup>a1/</sup>	24.50±2.65 <sup>e</sup>
T2	1.47±0.34 <sup>e</sup>	98.52±0.34 <sup>a</sup>
T3	5.57±0.4 <sup>d</sup>	94.42±0.4 <sup>b</sup>
T4	1.45±0.26 <sup>e</sup>	98.55±0.26 <sup>a</sup>
T5	10.27±0.1 <sup>b</sup>	89.72±0.1 <sup>d</sup>
T6	8.27±0.36 <sup>c</sup>	91.73±0.36 <sup>c</sup>

F-test	*	*
CV.(%)	6.53	1.34

1/a,b,c Means with different letters within a columns significantly different ta P < 0.05 according to DMRT

2/Data are transform by the asesine before statistical analysis

ผลจากการเคลือบเมล็ดพันธุ์ด้วยพอลิเมอร์ Chitosan-Lignosulphonate Polymer ในอัตรา 10 กรัม ร่วมกับน้ำมันหอมระเหยกานพลู ชิง ข่า พริก ตะไคร้ ที่ความเข้มข้น 1% ในเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศผสมเปิดพบว่า เมล็ดพันธุ์ที่ไม่ได้เคลือบมีความงอกและดัชนีการงอกที่ 53.25 % และ 3.52 ต้นต่อวันเนื่องจากมีการเข้าทำลายของเชื้อราทำให้มีความงอกและความเร็วในการงอกที่ต่ำกว่าเมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการเคลือบด้วยพอลิเมอร์ Chitosan-Lignosulphonate Polymer และน้ำมันหอมระเหยชนิดอื่นๆ ในความเข้มข้นที่แตกต่างกัน ซึ่งพบว่าเมล็ดพันธุ์ที่เคลือบร่วมกับน้ำมันหอมระเหยกานพลู และข่าความเข้มข้น 1% มีความงอกของเมล็ดสูงที่สุดคือ 94.25% และ 94.50% และมีดัชนีในการงอกที่ 9.30 และ 10.02 ต้นต่อวัน (Table 1) และพบมีการเข้าทำลายของเชื้อราเพียง 1.47 % และ 1.45% และยังสามารถยับยั้งเชื้อได้ถึง 98.52% และ 98.55 %

ส่วนเมล็ดพันธุ์ควบคุม มีเปอร์เซ็นต์การเข้าทำลายของเชื้อราสูงถึง 75.50% มีการยับยั้งเชื้อเพียง 24.50% (Table 2) เมล็ดพันธุ์ที่เคลือบร่วมกับน้ำมันหอมระเหยกานพลูสามารถยับยั้งเชื้อ *Aspergillus flavus* ได้สูงนั้นเนื่องจากในน้ำมันหอมระเหยกานพลูมีสาร Eugenol (60-95%) เป็นองค์ประกอบซึ่งเป็นสารจำพวก Phenolic compound ที่ประกอบไปด้วยกลุ่ม Hydroxyl (OH group) ซึ่งมีฤทธิ์ในการต้านเชื้อรา โดยจะไปยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่มีฤทธิ์ในการสร้างสารอะฟลาทอกซิน ของเชื้อรา *Aspergillus flavus* สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *Aspergillus flavus* ได้โดยมีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเท่ากับ 99.29% เมื่อทดสอบการยับยั้งการสร้างเชื้อรา *Aspergillus flavus* พบว่าสามารถยับยั้งการงอกของสปอร์ *Aspergillus flavus* ได้ 100 เปอร์เซ็นต์ [6] ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับ [1] ที่พบว่า น้ำมันหอมระเหยกานพลูสามารถยับยั้งเชื้อราดังกล่าวได้ และการเคลือบเมล็ดด้วยสารสกัดจากกานพลูที่ระดับความเข้มข้นตั้งแต่ 1.0 มิลลิกรัม ต่อเมล็ด 1 กิโลกรัม ขึ้นไปมีประสิทธิภาพในการควบคุมเชื้อรา *Aspergillus flavus* และ *Aspergillus niger* โดยมีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอยู่ในช่วง 63-68%และ 87-91% ตามลำดับ และจากงานทดลองของ [3] พบว่า แต่สารสกัดหยาบข่า และตะไคร้สามารถยับยั้งเชื้อราได้ และพบว่าสารสกัดหยาบข่าที่ความเข้มข้น 20,000 ppm สามารถยับยั้งการเกิดโรคแอนแทรกโนสนไบมะม่วงได้ 100% เมื่อใช้ก่อนการปลูกเชื้อ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ [3] พบว่าสารสกัดจากข่าที่ความเข้มข้น 25,000 ppm สามารถยับยั้งการงอกของสปอร์ของเชื้อรา *C. capsici* *C. gloeosporioides* และ *Pestalotiopsis sp.* ได้อย่างสมบูรณ์ ในขณะที่ [6] รายงานว่า น้ำมันหอมระเหยตะไคร้

ที่ระดับความเข้มข้น 500 ppm สามารถยับยั้งการงอกของสปอร์เชื้อรา *Colletotrichum coccodes*, *Botrytis cinerea*, *Cladosporium herbarum*, *Rhizopus stolonifer* และ *Aspergillus niger* ในห้องปฏิบัติการ ส่วนน้ำมันหอมระเหยจากข่า มีสาร 1'-acetoxychavicol acetate (ACAC) และสารในกลุ่มฟีนอลสารเหล่านี้พบมากในข่า และมีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา [6] ซึ่งจะเห็นได้จากงานทดลองของ [1] ที่ศึกษาใช้ทดสอบความสามารถในการ ยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *Colletotrichum gleosporioides* สาเหตุโรคแอนแทรกโนสที่แยกได้จากพริก องุ่น มะม่วง และมังคุด สารสกัดทั้งสองชนิดแสดงความสามารถในการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *Cladosporium herbarum* ด้วยวิธี bioautography บนแผ่น thin layer chromatography เมื่อทดสอบ ปริมาณสารสกัดหยาบข่าในการยับยั้งการงอกของสปอร์เชื้อรา *C. gleosporioides*.

## 5. สรุปผล

การเคลือบเมล็ดพันธุ์ด้วยพอลิเมอร์ Chitosan-Lignosulphonate Polymer เป็นวัสดุผสมร่วมกับสารน้ำมันหอมระเหย กานพลู ขิง ข่า พริก ตะไคร้ ในอัตรา 1 % พบว่า น้ำมันหอมระเหยจากกานพลูและข่ามีประสิทธิภาพยับยั้งเชื้อราได้ถึง 98.52% และ 98.55 % และยังมี ความงอกและดัชนีการงอกสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญยิ่งเมื่อเทียบกับเมล็ดพันธุ์ที่เคลือบร่วมกับสารชนิดอื่นและเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบ

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ หน่วยบริหารและจัดการทุนด้านการพัฒนาระดับพื้นที่ (บพท.) ที่สนับสนุนทุนวิจัยโครงการ “ดองแรกแก้วจน” เพื่อลดความเหลื่อมล้ำด้านรายได้และพัฒนาคุณภาพชีวิตสู่การขับเคลื่อนเศรษฐกิจชุมชนอย่างยั่งยืน ภายใต้ชุดโครงการที่สนับสนุน การบริหารจัดการเชิงยุทธศาสตร์เพื่อแก้ไขปัญหาความยากจนและลดความเหลื่อมล้ำพื้นที่ จังหวัดสุรินทร์ ด้วยวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ และกลุ่มวิสาหกิจชุมชนผักอินทรีย์แก้งจน ชุมชนยะวิ๊ก ตำบลยะวิ๊ก อำเภอชุมพลบุรี และกลุ่มวิสาหกิจชุมชน ในอำเภอพนมดงรัก จังหวัดสุรินทร์ ที่อนุเคราะห์พื้นที่ และเมล็ดพันธุ์ ในการทำวิจัย

## เอกสารอ้างอิง

1. เนตรนภิส เขียวขำ บัณฑิต โสภณ และ สมัครแก้วสุกแสง. (2553). การยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *Colletotrichum gleosporioides* จากผลไม้ 4 ชนิด ด้วยวารสารวิทยาศาสตร์เกษตร ปีที่ 41 ฉบับที่ 3/1 (พิเศษ).
2. มยุรี ปลายอด. (2549). ผลของน้ำมันหอมระเหยต่อเชื้อราที่ติดมากับเมล็ดและคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105. [วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
3. วราภรณ์ สุทธิสา, ภาณุวัฒน์ เทพคำราม, วัชรา กาญจนรัช และ พนิดา อริมัตส. (2557). ประสิทธิภาพของสารสกัดจากพืชสมุนไพรไทยในการควบคุมเชื้อรา *Colletotrichum sp.* สาเหตุโรคแอนแทรกโนสของมะม่วง. วารสารแก่นเกษตร ปีที่ 42 ฉบับพิเศษ 1 .
4. สุภัทรา จามกระโทก, ชัยณรงค์ รัตนกริชากุล, ชลิตา เล็กสมบูรณ์, นवलวรรณ พำรุ่งแสง และอุดม พำรุ่งแสง. ( 2553). ผลของสารสกัดหยาบจากพืชสมุนไพรวงศ์ขิงในการต่อ ต้านราสาเหตุโรคพืชหลังการเก็บเกี่ยว. ภาควิชาโรคพืช คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เขตกำแพงแสน นครปฐม.
5. ISTA. (2019). Seed science and technology. Glattbrugg international seed testing Association.
6. Sinha, K.K., Sinha, A.K., & Prasad, G. (1993). The effect of clove and cinnamon oils on growth of an aflatoxin production by *Aspergillus flavus*. Letters in Applied Microbiology 16, 114-117.
7. Smith L.G, B Greene, B Veit, S Hake. (1993). A dominant mutation in the maize homeobox gene, Knotted-1, causes its ectopic expression in leaf cells with altered fates. Development For advances in developmental biology and stem cells Volume 116, Issue 1
8. Tzortzakis, N.G. and C.D. Economakis. (2007). Antifungal activity of lemongrass ( *Cymbopogon citratus* L. ) essential oil against key postharvest pathogens. Innovative Food Science and Emerging Technologies. 8: 253-258.
9. Yu J, Fang H, Chen Y, Yao Z. (1988) Identification of the chemical components of two *Alpinia* species. Zhongyao Tongbao ;13(6):354-6.



## Research Article

# Effect of cultural conditions on regeneration of *Molineria latifolia* (Drayand. Ex. W. T. Aiton) Herb ex. Kurz.

## ผลของสภาวะการเพาะเลี้ยงต่อการเจริญของเนื้อเยื่อในวุ้นสาเกเหล็ก (*Molineria latifolia* (Drayand. Ex. W. T. Aiton) Herb ex. Kurz.)

วาสนา แผลติตะ<sup>1\*</sup>, สุจิตรา เจาะจง<sup>1</sup>, ภาวิณี ท้าวเพชร<sup>1</sup> และอินทร์ธวัช ศรีบุตต์<sup>1</sup>

Wasana Phlaetita<sup>1\*</sup>, Sujitar Jorjong<sup>1</sup>, Pawinee Taopetch<sup>1</sup> and Indhus Sributta<sup>1</sup>

<sup>1</sup>สาขาพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร 205 หมู่ 10 ต.แร่ อ.พังโคน จ.สกลนคร 47160

\*Department of Plant Science Faculty of Natural Resources Rajamangala University of Technology ISAN Sakon Nakhon campus, 205 Moo 10, Rae, Phangkon, Sakon Nakhon 47160

### Article Info

Received 3 April 2025

Revised 16 December 2025

Accepted 22 December 2025

### Abstract

The objective of this experiment was to study the effect of culture conditions on regeneration system of *Molineria latifolia* (Drayand. Ex W.T.Aiton) Herb ex. Kurz by tissue culture. The experiment was designed by factorial in CRD with 3 replications of 3 experiments, 1) Determination of antibiotics for sterilization 2) Examination of medium and light conditions for plant regeneration and 3. Effect of plant growth regulators on plant regeneration. The results showed that 1) MS medium with 10 mgL<sup>-1</sup> meropenem gave the survival explant and inhibited bacteria in explant. 2) Liquid medium gave the survival explants higher than solid medium at 78 and 67%, respectively and dark condition also gave the survival explant higher than light condition at 78 and 11%, respectively. 3) In the culture on medium that added only auxin or cytokinin any regenerated. However, in the medium that added auxin and cytokinin (0.1 mgL<sup>-1</sup>NAA and 1.0 mgL<sup>-1</sup>BA or TDZ) with activated charcoal gave survival and induced to calli higher than others condition. In these experiments, these conditions could be used to regenerate the calli for *Molineria latifolia* (Drayand. Ex W.T.Aiton) Herb ex. Kurz and Arecacae.

**Keywords:** *Molineria latifolia* (Drayand. Ex W.T.Aiton) Herb ex. Kurz, Plant Growth Regulators, tissue culture

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของปัจจัยการเพาะเลี้ยงและสารควบคุมการเจริญเติบโตที่มีผลต่อการพัฒนาชิ้นส่วนเนื้อเยื่อของวุ้นสาเกเหล็ก การทดลองถูกออกแบบโดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ในรูปแบบแฟกทอเรียล จำนวน 3 ชั้น ประกอบด้วย 3 งานทดลอง 1) การทดสอบการใช้สารปฏิชีวนะต่อการฟอกฆ่าเชื้อ

2) ชนิดของอาหารสังเคราะห์และปัจจัยการให้แสงต่อการพัฒนาขึ้นเนื้อเยื่อ และ 3) สารควบคุมการเจริญเติบโตที่มีผลต่อการพัฒนาขึ้นเนื้อเยื่อ ผลการทดลองพบว่า 1) อาหารสังเคราะห์ที่เติมสารปฏิชีวนะ (Meropenem) สามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียในอาหารเพาะเลี้ยงได้ 2) การเพาะเลี้ยงในอาหารเหลวมีอัตราการรอดมากกว่าอาหารกึ่งแข็งคิดเป็นร้อยละ 78 และ 67 ตามลำดับ และการเพาะเลี้ยงภายใต้สภาวะไม่มีแสงมีอัตราการรอดชีวิตสูงกว่าการให้แสงปกติคิดเป็นร้อยละ 78 และ 11 ตามลำดับ 3) การเพาะเลี้ยงขึ้นเนื้อเยื่อบนอาหารสังเคราะห์ที่มีเพียงออกซิน หรือไซโตไคนินเพียงอย่างใดอย่างหนึ่งไม่สามารถพัฒนาเป็นแคลลัสได้ แต่การเพาะเลี้ยงร่วมกันของ  $0.1 \text{ mgL}^{-1}$  NAA และ  $1.0 \text{ mgL}^{-1}$  BA หรือ TDZ ในอาหารกึ่งแข็งที่มีการเติม activated charcoal ร่วมด้วยสามารถทำให้อัตราการรอด และการพัฒนาเป็นแคลลัสได้

**คำสำคัญ:** วานสากเหล็ก, สารควบคุมการเจริญเติบโต, เพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ

## 1. บทนำ

วานสากเหล็กเป็นไม้ล้มลุก มีถิ่นกำเนิดในจังหวัดสระบุรี จัดเป็นไม้ป่าล้มลุกมากในทางตอนใต้ของประเทศไทย จนถึงเกาะบอร์เนียวมาเลเซีย แต่ในขณะที่ในภาคอื่นของประเทศไทยยังพบน้อย วานสากเหล็กเป็นสมุนไพรที่มีสรรพคุณหลากหลาย และช่วยในการถอนพิษไข้ กระจายโลหิต แก้ฟกช้ำ เนื่องจากมีสารแอลคาลอยด์เป็นส่วนประกอบหลัก ทั้งนี้ยังเป็นแหล่งต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญอีกแหล่งหนึ่งด้วย [2] [8] นอกจากนี้ยังมีฤทธิ์ต้านทานเชื้อแบคทีเรีย [2] ในการใช้ประโยชน์ด้านผิวพรรณและความงาม ด้วยการนำมาใช้ผสมกับเหล้าขาวเพื่อลดอาการผื่นบนใบหน้าและลอกผิวทำให้หน้าขาวได้อีกด้วย [5] ทั้งนี้ในประเทศไทยมีแนวโน้มในการใช้สมุนไพรสูงเพิ่มมากขึ้น ไม่ว่าจะเป็นทางเภสัชวิทยาที่นำมาใช้ร่วมกับการแพทย์แผนปัจจุบัน และผลิตภัณฑ์ความงาม อาหารเสริมบำรุงร่างกาย วานสากเหล็กยังมีการนำมาใช้ประโยชน์จากธรรมชาติ จึงควรศึกษาแหล่งขยายพันธุ์เพื่อให้ใช้ประโยชน์ในทางธุรกิจให้หลากหลายประเภทมากขึ้น และไม่เป็นการเบียดเบียนธรรมชาติยังเป็นการอนุรักษ์พันธุ์กรรมพืชไว้ได้อีกทางหนึ่ง

อนึ่งในภาคอีสานยังพบบานสากเหล็กมีปริมาณน้อย การเพิ่มปริมาณให้เพียงพอต่อการใช้งาน จึงเป็นสิ่งที่ควรจัดเตรียมไว้ ถึงแม้ว่าสามารถขยายพันธุ์โดยการแยกหน่อและเมล็ด แต่การขยายให้ได้ปริมาณมากและปราศจากโรคนั้น เป็นสิ่งจำเป็นต่อการเพาะปลูก การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อคือ การนำชิ้นส่วนหรือเนื้อเยื่อของพืชมาเพาะเลี้ยงในอาหารสังเคราะห์ มีการควบคุมปัจจัยที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตที่ต้องควบคุมให้มีความเหมาะสมในสภาพปลอดเชื้อ แต่การเพาะเลี้ยงพืชตระกูลปาล์มที่มีการเจริญเติบโตภายใต้สภาพความชื้นมีความเสี่ยงต่อการติดเชื้อกลุ่มแบคทีเรียตามลำต้นน้ำเลี้ยงจึงเป็นอุปสรรคกีดขวางการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ไม่ให้เจริญเติบโตจึงเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อในกระบวนการขั้นต้นคือ การฟอกฆ่าเชื้อ แต่การพบจุลินทรีย์ที่อยู่ในเนื้อเยื่อพืช (endophyte) ที่อยู่ตามราก ลำต้น หรือใบ [11] อาจจะมีผลต่อการนำเนื้อเยื่อเข้าสู่กระบวนการเพาะเลี้ยงการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียด้วยการใช้สารยับยั้ง เช่น meropenem [14] จากนั้นจึงนำเข้าสู่ปัจจัยการเพาะเลี้ยงจากสารควบคุมการเจริญเติบโต [15] ก่อนการชักนำให้เกิดเป็นต้นอ่อนและออกสู่กระบวนการเลี้ยงแบบธรรมชาติจึงเป็นการเพิ่มศักยภาพการเจริญเติบโตและขยายเพิ่มจำนวนได้ นอกจากนี้แล้วยังมีการชักนำต้นของ *Tupistra albiflora* K. Larsen ที่เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวด้วยการใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตระหว่างไซโตไคนินและออกซินร่วมกันจากต้นอ่อน [9] ซึ่งชี้ให้เห็นว่าสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชยังคงมีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาขึ้นเนื้อเยื่อพืช

ในงานวิจัยนี้จึงนำว่านสาเกเหล็กเป็นพืชตัวอย่างของกลุ่มสมุนไพรตระกูลปาล์มนำมาศึกษาปัจจัยการเพาะเลี้ยง สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชที่ส่งผลต่อการเจริญและพัฒนาเนื้อเยื่อของว่านสาเกเหล็ก เพื่อนำเป็นแนวทางในการขยายต้นพันธุ์และยังนำวิธีการที่สำเร็จครั้งนี้ไปปรับปรุงใช้ในพืชชนิดอื่นในตระกูลเดียวกันต่อไป

## 2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาสภาพการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ ได้แก่ การใช้สารยับยั้งแบคทีเรีย และสภาพการเพาะเลี้ยง
2. เพื่อศึกษาการเจริญและพัฒนาของเนื้อเยื่อจากสารควบคุมการเจริญเติบโตพืชต่อการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ

## 3. วิธีการศึกษา

**พืชศึกษา :** นำส่วนยอดอ่อน (ส่วนเจริญจากไหลของต้น) นำมาฟอกด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรท์ ความเข้มข้น 10% ร่วมกับ Tween 20 จำนวน 1-2 หยด แล้วตั้งบนเครื่อง magnetic stirrer เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำมาล้างด้วยน้ำกลั่นที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วจำนวน 3 ครั้ง แล้วนำกาบใบที่ติดมากับชิ้นส่วนออก ให้เหลือเพียงต้นอ่อนข้างใน นำมาตัดแบ่งขนาด 0.8 ซม. จากนั้นจึงนำไปวางบนอาหารวุ้นกึ่งแข็งสำหรับงานทดลอง

**อาหารเพาะเลี้ยง** จัดเตรียมอาหารสังเคราะห์สูตร Murashige and Skoog (MS) ประกอบด้วย น้ำตาลซูโครส  $30 \text{ gL}^{-1}$  ปรับค่า pH ที่ 5.7 เติมน้ำ  $8 \text{ gL}^{-1}$  เป็นอาหารสังเคราะห์พื้นฐานที่ใช้ในการทดลอง โดยไม่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโตใด ๆ จากนั้นเทลงในขวดทดลองขวดละ 40 ml แล้วนำไปนึ่งฆ่าเชื้อ  $121^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 15 นาที แล้วนำมาปล่อยให้เย็นจึงนำไปใช้สำหรับงานทดลอง

**การทดลอง** แบ่งออกเป็น 3 งานทดลองได้แก่

1) การทดสอบการใช้สารปฏิชีวนะต่อการฟอกฆ่าเชื้อ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) จำนวน 3 ซ้ำ โดยหลังจากการฟอกฆ่าเชื้อชิ้นส่วนเรียบร้อยแล้วและตัดให้ได้ตามขนาดที่กำหนด นำชิ้นส่วนมาวางบนอาหารสังเคราะห์ที่เติม  $10 \text{ mgL}^{-1}$  meropenem และไม่เติม เป็นชุดเปรียบเทียบที่จัดเตรียมไว้ นำไปวางในห้องเพาะเลี้ยงที่มีอุณหภูมิ  $25 \pm 2^\circ\text{C}$  ให้ให้แสงโดยมีความเข้มแสง  $1500 \text{ ลักซ์}$  12 ชม. ต่อวัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์ แล้วทำการเปลี่ยนอาหารทุก ๆ 2 สัปดาห์ และเก็บข้อมูลอัตราการรอดชีวิตเพื่อคำนวณร้อยละอัตราการรอดของชิ้นเนื้อเยื่อที่ทดสอบ

2) ชนิดของอาหารสังเคราะห์และปัจจัยการให้แสงต่อการพัฒนาชิ้นส่วน วางแผนการทดลองแบบ  $2 \times 2$  factorial in CRD จำนวน 3 ซ้ำ โดยหลังจากการฟอกฆ่าเชื้อชิ้นเนื้อเยื่อเรียบร้อยแล้วและตัดให้ได้ตาม

ขนาดที่กำหนด นำชิ้นส่วนมาวางบนอาหารสังเคราะห์ที่จัดเตรียมไว้จำนวน 2 ชุดทดลอง ได้แก่ อาหารแข็งและเหลว แล้วนำมาเลี้ยงในสภาวะรับแสงและไม่รับแสงด้วยการห่อด้วยกระดาษอะลูมิเนียมฟอยด์ ทั้งชุดทดลองแล้วนำผ้าคลุมสีดำมาคลุมทับอีกครั้ง แล้วนำไปวางในห้องเพาะเลี้ยงที่มีอุณหภูมิ  $25 \pm 2^\circ\text{C}$  ให้แสงโดยมีความเข้มแสง  $1500 \text{ ลักซ์}$  12 ชม.ต่อวัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์ โดยมีการย้ายอาหารทุก ๆ 2 สัปดาห์ และเก็บข้อมูลอัตราการรอดและการเจริญของเนื้อเยื่อ

3) สารควบคุมการเจริญเติบโตที่มีผลต่อการพัฒนาชิ้นส่วน แบ่งการทดสอบออกเป็น 3 ส่วน โดยส่วนที่ 1 การทดสอบผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตประเภทออกซิน วางแผนการทดลองแบบ  $2 \times 5$  factorial in CRD คือ Indole-3-acetic acid (IAA) และ 1-Naphthaleneacetic Acid (NAA) ที่ความเข้มข้น 5 ระดับคือ 0 0.1 0.5 1 และ  $2 \text{ mgL}^{-1}$  จากนั้นนำชิ้นส่วนที่เจริญจากการเลี้ยงบนอาหารสังเคราะห์สูตร MS นำมาตัดเป็นชิ้นขนาด  $0.6 \times 0.6$  ซม. วางบนอาหารทดสอบ แล้วนำไปวางในห้องเพาะเลี้ยงที่มีอุณหภูมิ  $25 \pm 2^\circ\text{C}$  ให้แสงโดยมีความเข้มแสง  $1500 \text{ ลักซ์}$  12 ชม.ต่อวัน เป็นเวลา 12 สัปดาห์ โดยมีการย้ายอาหารทุก ๆ 2 สัปดาห์ และเก็บข้อมูลอัตราการรอดและการเจริญของชิ้นเนื้อเยื่อ ส่วนที่ 2 การทดสอบผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตประเภทไซโตไคนิน วางแผนการทดลองแบบ  $2 \times 4$  factorial in CRD คือ 6-Benzylaminopurine (BA) และ Thidiazuron (TDZ) ที่ความเข้มข้น 4 ระดับคือ 0 1 2 และ  $4 \text{ mgL}^{-1}$  จากนั้นจัดการชิ้นเนื้อเยื่อและเลี้ยงเช่นเดียวกันกับงานส่วนที่ 1 ส่วนที่ 3 ผลของการทดสอบการใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตร่วมกันของออกซินและไซโตไคนิน วางแผนการทดลองแบบ  $4 \times 2$  factorial in CRD จำนวน 3 ซ้ำ โดยปัจจัย 4 เป็นจำนวนสูตรอาหาร ได้แก่  $1.0 \text{ mg L}^{-1}$  TDZ,  $3.0 \text{ mgL}^{-1}$  TDZ,  $1.0 \text{ mg L}^{-1}$  BA และ  $3.0 \text{ mgL}^{-1}$  BA โดยทุกวิธีหมั้นต์เติมร่วมกับ  $0.1 \text{ mgL}^{-1}$  NAA ในขณะที่ปัจจัย 2 เป็นการเติมและไม่เติม  $1.0 \text{ mgL}^{-1}$  activated charcoal จากนั้นจัดการชิ้นเนื้อเยื่อและเลี้ยงเช่นเดียวกันกับงานส่วนที่ 1

### การประเมินผลข้อมูล

$$\text{อัตราการรอด (\%)} = \frac{\text{ชิ้นส่วนที่มีการพัฒนา}}{\text{ชิ้นส่วนทั้งหมด}} \times 100$$

$$\text{การพัฒนาของชิ้นส่วน (\%)} = \frac{\text{ชิ้นส่วนที่มีการพัฒนา}}{\text{ชิ้นส่วนทั้งหมด}} \times 100$$

**ลักษณะการรอดของชิ้นเนื้อเยื่อ แทนด้วยสัญลักษณ์**

- 3 คือ ชิ้นส่วนมีสีเขียวเข้ม
- 2 คือ ชิ้นส่วนที่ไม่มีารเกิดสี
- 1 คือ ชิ้นส่วนเกิดสีน้ำตาลหรือดำเล็กน้อย
- 0 คือ ชิ้นส่วนเกิดสีดำทั้งชิ้น

**ลักษณะของการพัฒนาแคลลัส แทนด้วยสัญลักษณ์**

- 3 คือ ชิ้นส่วนที่แตกเป็นแคลลัสชัดเจนและมีสีเขียว
- 2 คือ ชิ้นส่วนที่แตกเป็นแคลลัสเล็กน้อยและมีขนขาวรอบชิ้นส่วน
- 1 คือ ชิ้นส่วนที่ไม่มีารเปลี่ยนแปลงพัฒนาใด ๆ
- 0 คือ ชิ้นส่วนตาย

**วิเคราะห์ข้อมูล** ใช้โปรแกรมวิเคราะห์สถิติ Statistix 10 คำนวณค่าเฉลี่ยความแปรปรวน เป็นแบบ one-sample t-test และ ANOVA โดยใช้ LSD

**ผลการทดลอง**

**ผลของการเติมสารปฏิชีวนะในอาหารเพาะเลี้ยงต่อการอัตราการรอดของชิ้นเนื้อเยื่อและปัจจัยต่อการเพาะเลี้ยงว่านสากเหล็กในกระบวนการฟอกฆ่าเชื้อ**

จากการนำชิ้นส่วนมาฟอกฆ่าเชื้อ แต่ไม่สามารถรอดชีวิตได้ตั้งแต่อาทิตย์ที่ 2 ที่เกิดจากแบคทีเรียที่มีอยู่ในท่อลำเลียงน้ำ จึงนำสารปฏิชีวนะ Meropenem ที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียในชิ้นส่วนเข้าเติมทำให้สามารถมีชีวิตรอดได้มากกว่าการไม่เติมสารปฏิชีวนะ โดยในสัปดาห์ที่ 2 อาหารที่ไม่เติมสารปฏิชีวนะเริ่มตายไปมากกว่าร้อยละ 50 และลดลงเรื่อย ๆ จนไปถึงสัปดาห์ที่ 4 โดยพบว่าอาหารที่เติมสารปฏิชีวนะมีอัตราการรอดชีวิตมากกว่าอาหารที่ไม่เติมสารปฏิชีวนะ คิดเป็นร้อยละ 66.67±0 และ 14.81±6.42 ตามลำดับ และชี้ให้เห็นว่าการเติมยาปฏิชีวนะมีประสิทธิภาพส่งเสริมให้เกิดอัตราการรอดชิ้นเนื้อเยื่อเพื่อนำไปทดสอบต่อไปได้ (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ร้อยละอัตราการรอดของจำนวนชิ้นเนื้อเยื่อจากการเพาะเลี้ยงบนอาหารที่เติมและไม่เติม 10 mgL<sup>-1</sup> meropenem เป็นเวลา 4 สัปดาห์

10 mgL <sup>-1</sup> meropenem	Percentage of survival for 4 weeks (%)			
	1	2	3	4
with	100	92.59 ± 6.42	77.78±6.42	66.67±0
without	100	48.15±6.42	40.74±6.42	14.81±6.42
t-test	ns	*	*	*

หมายเหตุ: \* แสดงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น P < 0.05 และ ns แสดงถึงไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

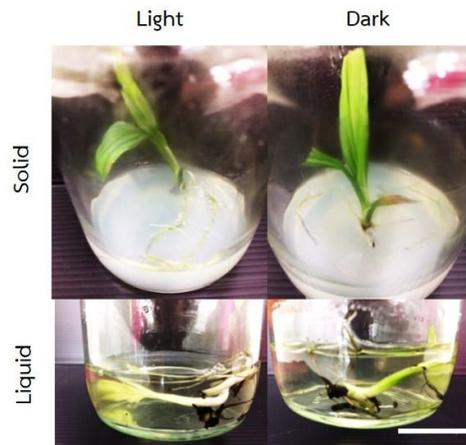
**ปัจจัยการเพาะเลี้ยงที่มีผลต่ออัตราการรอดและการพัฒนาของชิ้นส่วน**

การทดสอบปัจจัยระหว่างชนิดอาหารและปัจจัยการให้แสงของการเลี้ยงเนื้อเยื่อพบว่า อาหารแข็งมีความแตกต่างระหว่างการเพาะเลี้ยงภายใต้สภาวะการไม่มีแสงสามารถรอดชีวิตได้มากกว่าสภาวะให้แสงคิดเป็นร้อยละ 67 และ 11 ตามลำดับ ในขณะที่อาหารเหลว ภายใต้สภาวะการไม่มีแสง และการให้แสงไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ คิดเป็นร้อยละ 78 เท่ากัน (ตารางที่ 2) และต้นที่ผ่านการฟอกฆ่าเชื้อ และรอดชีวิตในอาหารชุดนี้ ภายใน 4 สัปดาห์มีความแข็งแรง (ภาพที่ 1) ซึ่งการทดสอบนี้จึงเลือกนำปัจจัยของอาหารกึ่งแข็งและภายใต้สภาวะการไม่มีแสงซึ่งจัดทำได้ง่ายและไม่เสี่ยงต่อการปนเปื้อนเป็นอาหารสำหรับการทดสอบในปัจจัยสารควบคุมการเจริญเติบโตในลำดับต่อไป

ตารางที่ 2 ร้อยละอัตราการรอดของจำนวนชิ้นเนื้อเยื่อจากการเพาะเลี้ยงภายใต้ปัจจัยการเพาะเลี้ยงของแสงและชนิดของอาหารเพาะเลี้ยง

Medium	Conditions	Percentage of survived explants
Solid	Dark	67a
	Light	11b
Liquid	Dark	78a
	Light	78a
C.V (%)		32.97
F-test		*

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่ต่างกันในกลุ่มเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น P < 0.05 (\*)



ภาพที่ 1 ชิ้นส่วนเนื้อเยื่อที่สามารถรอดชีวิตได้ในสภาวะการเลี้ยงของชนิดอาหารแบบกึ่งแข็งและเหลว ภายใต้สภาวะการรับแสงแบบมีแสงและไม่มีแสงเลี้ยงบนอาหารสังเคราะห์สูตร MS ที่เติม 10 mgL<sup>-1</sup> meropenem เป็นเวลา 8 สัปดาห์ (Bar=1.5 cm)

**ผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช (PGRs) ที่มีผลต่ออัตราการรอดและการพัฒนาของชิ้นเนื้อเยื่อว่านสากเหล็ก**

สารควบคุมการเจริญเติบโตประเภทออกซิน จากการนำชิ้นส่วนเนื้อเยื่อของว่านสากเหล็กมาทดสอบบนอาหารสังเคราะห์ MS ที่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโตประเภทออกซิน (IAA และ NAA) ที่ระดับความเข้มข้น 0, 0.1, 0.5, 1 และ 2 mgL<sup>-1</sup> พบว่าเมื่อเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อเป็นเวลา 4 สัปดาห์เนื้อเยื่อไม่มีการพัฒนาการใด ๆ มีเพียงการรอดชีวิตที่สามารถบ่งบอกการตอบสนองได้บนอาหารเพาะเลี้ยงที่เติมร่วมกับ IAA และ NAA ที่ระดับ 0.1 mgL<sup>-1</sup> ชิ้นส่วนมีสีเขียว และมีการรอดชีวิตสูงสุดที่สุดเท่ากับในระดับที่เติม 0.5 mgL<sup>-1</sup> แต่ชิ้นส่วนไม่มีสีเหลืองเช่นเดียวกับในระดับอื่น ๆ และเมื่อเปรียบเทียบระหว่าง IAA และ NAA พบว่าทั้ง 2 ประเภทนี้ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ แต่เมื่อพิจารณาระดับความเข้มข้น พบว่าระดับ 0.1 และ 0.5 mgL<sup>-1</sup> มีปริมาณการรอดชีวิตมากที่สุดเมื่อเทียบกับระดับอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ ในการทดลองครั้งนี้จึงนำความเข้มข้นระดับ 0.1 mgL<sup>-1</sup> NAA เป็นตัวแทนสำหรับการนำไปเตรียมอาหารทดสอบร่วมกับสารควบคุมการเจริญเติบโตประเภทไซโตไคนินสำหรับการเพาะเลี้ยงเพื่อชักนำให้เกิดแคลลัสในงานทดลองต่อไป (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 การรอดชีวิตของชิ้นส่วนและพัฒนาการว่านสากเหล็กที่เลี้ยงบนอาหารสังเคราะห์สูตร MS ร่วมกับสารควบคุมการเจริญเติบโตประเภทออกซิน

Auxin	Concentration (mgL <sup>-1</sup> )	survival explant (%)	Callus color
IAA	0	22.22 b	yellowish
	0.1	55.66 a	greenish
	0.5	55.56 a	yellowish
	1	33.33 ab	yellowish
	2	11.11 b	yellowish
C.V.%		48.42	
F-test		*	
NAA	0	33.33 ab	yellowish
	0.1	66.67 a	greenish
	0.5	55.56 ab	yellowish
	1	44.44 ab	yellowish
	2	22.22 b	yellowish

ตารางที่ 3 การรอดชีวิตของชิ้นส่วนและพัฒนาการว่านสากเหล็กที่เลี้ยงบนอาหารสังเคราะห์สูตร MS ร่วมกับสารควบคุมการเจริญเติบโตประเภทออกซิน (ต่อ)

Auxin	Concentration (mgL <sup>-1</sup> )	survival explant (%)	Callus color
C.V.%		33.54	
F-test		*	
PGRs			
IAA		35.56	
NAA		44.44	
C.V.%		55.16	
F-test		ns	
Concentration (mgL <sup>-1</sup> )			
0		27.78 cd	
0.1		61.11 a	
0.5		55.56 ab	
1.0		38.89 bc	
2.0		16.67 d	
C.V %		38.49	
F-test		*	

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละลันเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น P < 0.05 (\*) และ ns แสดงถึงไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

สารควบคุมการเจริญเติบโตประเภทไซโตไคนิน จากการนำชิ้นส่วนของว่านสากเหล็กมาทดสอบบนอาหารสังเคราะห์ MS ที่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโตประเภทไซโตไคนิน (BA และ TDZ) ในระดับ 0, 1, 2, และ 4 mgL<sup>-1</sup> พบว่าหลังเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อเป็นเวลา 4 สัปดาห์ชิ้นส่วนเนื้อเยื่อมีการรอดชีวิตบนอาหารเพาะเลี้ยงที่เติม BA และ TDZ ที่ระดับ 1.0, 2.0 และ 4.0 mgL<sup>-1</sup> ชิ้นส่วนมีสีเขียว มีการรอดชีวิต แต่ในสัปดาห์ที่ 8 พบว่าทุกระดับที่มีการรอดชีวิต และพัฒนาการสามารถพัฒนาการเป็นแคลลัส หรือต้นอ่อนได้ และเมื่อเปรียบเทียบระหว่าง BA และ TDZ ต่ออัตราการรอดของชิ้นส่วนพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และระดับความเข้มข้นที่มีร้อยละอัตราการรอดสูงสุดก็คือ 1.0, 2.0, 4.0 mgL<sup>-1</sup> และ ไม่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโต เป็นร้อยละ 70.37, 55.56, 25.92 และ 18.52 ตามลำดับ

โดยมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นอาหารสังเคราะห์ที่เติม 1.0 mgL<sup>-1</sup> มีความเหมาะสมต่อการนำไปเติมร่วมกับออกซินเพื่อกระตุ้นให้เกิดการชักนำแคลลัสและต้นอ่อน ทั้งนี้เนื่องจาก 2.0 และ 4.0 mgL<sup>-1</sup> ที่ยังคงรอดชีวิตสามารถเจริญเติบโตได้ (ตารางที่ 4)

การใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตร่วมกันระหว่างออกซินและไซโตไคนินเพื่อชักนำให้เกิดการพัฒนาขึ้นส่วนเป็นแคลลัสและต้นอ่อน จากการคัดเลือกระดับความเข้มข้นและชนิดที่ใช้สำหรับทดสอบจึงได้กำหนด 4 สูตรอาหาร และยังพบว่าระหว่างการเพาะเลี้ยงขึ้นส่วนได้ปลดปล่อยส่วนน้ำยางออกจนส่งผลให้ชิ้นส่วนตายจึงได้นำ activated charcoal ที่ช่วยในการดูดซับพิษต่าง ๆ เติมลงในส่วนของอาหารเตรียมอาหารสังเคราะห์ที่จัดเตรียมขึ้น จากการทดลองในครั้งนี้พบว่าสูตรอาหารสังเคราะห์ที่เติม 0.1 mgL<sup>-1</sup> NAA และ 1.0 mgL<sup>-1</sup> ทั้ง BA และ TDZ สามารถพัฒนาขึ้นเนื้อเยื่อเป็นแคลลัสและต้นอ่อนเล็ก ๆ ได้ (ตารางที่ 5) และนอกจากนี้แล้วชิ้นส่วนที่มีความอ่อนแอต่อสูตรอาหารสังเคราะห์ที่มีเพียงกลุ่มสารควบคุมการเจริญเติบโตแต่ไม่เติม activated charcoal นั้นจะไม่มีชีวิตรอดและตายเป็นสีดำภายในระยะเวลา 8 สัปดาห์ ในขณะที่อาหารที่มีการเติม activated charcoal จะคอยยับยั้งการปลดปล่อยจากชิ้นเนื้อเยื่อจนทำให้เสียหายและไม่สามารถเจริญเติบโตได้ (ภาพที่ 2)

ตารางที่ 4 อัตราการรอดของชิ้นเนื้อเยื่อและพัฒนาการเจริญเติบโตของวุ้นสาเกตเหล็กที่เลี้ยงบนอาหารสังเคราะห์สูตร MS ร่วมกับสารควบคุมการเจริญเติบโตประเภทไซโตไคนิน

Cytokinin	concentration mg/L	survival explant (%)	Callus color
BA	0	11.11 b	black
	1	59.26 a	Green
	2	51.86 a	Green
	4	29.63 b	yellowish
	C.V.%	43.09	
F-test		**	
TDZ	0	18.52 c	black
	1	81.48 a	Green
	2	59.26 b	Green
	4	25.92 c	yellowish
	C.V.%	34.98	
F-test		**	

ตารางที่ 5 อัตราการรอดของชิ้นเนื้อเยื่อและพัฒนาการเจริญเติบโตของวุ้นสาเกตเหล็กที่เลี้ยงบนอาหารสังเคราะห์สูตร MS ร่วมกับสารควบคุมการเจริญเติบโตประเภทไซโตไคนิน (ต่อ)

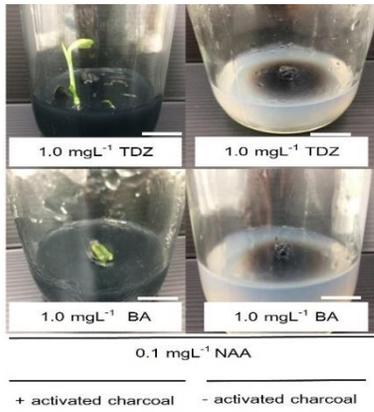
Cytokinin	concentration mg/L	survival explant (%)	Callus color
<b>PGRs</b>			
BA		37.04	
TDZ		46.30	
C.V.%		66.33	
F-test		ns	
<b>Concentration (mgL<sup>-1</sup>)</b>			
0		14.81 b	
1		70.37 a	
2		55.56 a	
4		25.92 b	
C.V.%		40.39	
F-test		**	

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น P < 0.01 (\*\*), P และ ns แสดงถึงไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 5 อัตราการรอดของชิ้นเนื้อเยื่อและพัฒนาการเจริญเติบโตของวุ้นสาเกตเหล็กที่เลี้ยงบนอาหารสังเคราะห์ MS ที่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโตประเภทออกซินและไซโตไคนินร่วมกันในระดับความเข้มข้นที่ต่างกัน และเติมร่วมกับ activated charcoal

Plant Growth Regulators (PGRs)		Percentage of regeneration (%)	
Auxin (mgL <sup>-1</sup> )	Cytokinin (mgL <sup>-1</sup> )	+ activated charcoal	- activated charcoal
0.1 NAA	1.0 BA	80 a	46.67 a
0.1 NAA	1.0 TDZ	80 a	46.67 a
0.1 NAA	3.0 BA	20.00 b	20.00 b
0.1 NAA	3.0 TDZ	26.66 b	13.33 b
C.V (%)		46.75	57.34
F-test		*	*
<b>Activated charcoal</b>			
+		55.00	
-		28.33	
C.V.%		70.01	
F-test		*	

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น P < 0.05 (\*) และ ns แสดงถึงไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ



ภาพที่ 2 ชิ้นส่วนแคลลัสและต้นอ่อนที่สามารถรอดชีวิตและเริ่มมีการพัฒนาในสูตรอาหารต่าง ๆ ได้ เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ (อาหารที่เติม activated charcoal ส่วนชิ้นส่วนที่เลี้ยงบนอาหารที่ไม่ได้เติม activated charcoal ชิ้นส่วนตายสมบูรณ์ในสัปดาห์ที่ 6 (Bar=0.5 cm)

### วิจารณ์ผลการทดลอง

การใช้สารปฏิชีวนะ Meropenem ด้วยการเติมในอาหารเพาะเลี้ยงชิ้นส่วนเนื้อเยื่อมีอัตราการรอดที่สูงกว่าการเติมไม่สารปฏิชีวนะซึ่งสอดคล้องกับรายงานวิจัยของ [14] ที่ได้ทำศึกษาคุณสมบัติของสารกำจัดเชื้อแบคทีเรียสำหรับการคัดเลือกชิ้นส่วนในการถ่ายยีนให้กับกลุ่มพืชใบเลี้ยงเดี่ยว และในขณะเดียวกันได้นำรูปแบบการพอกฆ่าเชื้อรูปแบบเดียวกันกับ [1] ที่ทำการพอกฆ่าเชื้อของมะพร้าวกลุ่ม (*Molinieria sp.*) แต่ว่านสากเหล็กมีพื้นที่การเจริญเติบโตที่ชิ้นมากกว่าจึงอาจส่งผลให้เชื้อจุลินทรีย์มีการปนเปื้อนในชิ้นเนื้อเยื่อที่จัดอยู่ประเภทของเอนโดไฟท์ที่อยู่รวมในพืชโดยไม่ทำลายการเจริญเติบโต [7] และพบมากในกลุ่มพืชสมุนไพรด้วย [11] แต่เมื่อเปลี่ยนสถานะการเจริญอาจส่งผลให้มีภาวะเครียดจึงทำให้เชื้อที่อยู่ภายในท่อน้ำเลี้ยงเจริญจนทำลายชิ้นส่วนหลักได้ [3] ดังนั้นเพื่อให้ชิ้นเนื้อเยื่อปลอดเชื้อและเจริญได้ การเติมสารปฏิชีวนะในอาหารจึงมีส่วนต่อการกำจัดเชื้อร่วมด้วยและส่งเสริมให้เชื้อจุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้

สถานะการเพาะเลี้ยงที่ได้เติม 1.0 mgL<sup>-1</sup> Activated Charcoal ร่วมในอาหารสังเคราะห์มีการเจริญของชิ้นเนื้อเยื่อได้ดีกว่าการไม่เติมซึ่งสอดคล้องกันกับ [4] รายงานว่าสูตรอาหาร MS ที่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโตประเภทออกซิน NAA ที่ระดับความเข้มข้น 15 ไมโครโมลาร์ต่อลิตร และมีการเติมผงถ่าน 0.5 กรัมต่อลิตร มีการพัฒนาเป็นส่วนยอดและรากได้ในการปรับปรุงพันธุ์ปาล์มได้ นอกจากนี้แล้วผงถ่านยังทำหน้าที่ดูดซับสารกลุ่ม flavonoid และส่งเสริมให้ชิ้นส่วนเกิดการพัฒนาดได้ [10] และพัฒนาเป็นต้นอ่อนได้ จึงมีความสอดคล้องกับ [6] ทำการศึกษาผลของออกซินต่อการชักนำให้เกิดไซมาติกเอ็มบริโอและ

การพัฒนาพืชต้นใหม่ และมีการเติม 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ต่อการเพาะเลี้ยงศักยภาพของปาล์มสามารถชักนำให้เกิดได้ทั้งแคลลัสและราก แต่อยู่ในระยะการเจริญเติบโตที่ต่างกัน และมีการใช้ร่วมกับสารอื่นโดยไม่ต้องมีกลุ่มของไซโตไคนินร่วม ดังนั้นอาจจะเป็นไปได้ว่าส่วนของชิ้นส่วนที่นำมาเพาะเลี้ยงอาจส่งผลให้ความต้องการต่อความจำเป็นของสารควบคุมการเจริญเติบโตที่มีส่วนเสริมให้เกิดการชักนำได้มีความแตกต่างกัน รวมถึงการลดความเข้มข้นของธาตุอาหารในสูตรอาหารสังเคราะห์ก็เป็นปัจจัยที่ส่งเสริมให้เกิดการชักนำให้เกิดแคลลัสได้เช่นกัน [12] แต่ในการศึกษาครั้งนี้การใช้เพียง 0.1 mgL<sup>-1</sup>NAA สามารถใช้ร่วมกับ Activated Charcoal เพื่อชักนำให้เกิดรากได้ และการเพาะเลี้ยงต้นอ่อนเพื่อให้สามารถออกปลูกภายใต้สภาวะธรรมชาติจึงเป็นสิ่งที่ควรดำเนินการในขั้นตอนลำดับต่อไป

### สรุปผลการทดลอง

อิทธิพลของปัจจัยการเพาะเลี้ยงและสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชที่มีผลต่อการพัฒนาชิ้นส่วนเนื้อเยื่อของว่านสากเหล็ก (*Molinieria latifolia* (Drayand. Ex W.T.Aiton) Herb ex. Kurz) โดยวิธีเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ โดยการเติมสารปฏิชีวนะ 10 mgL<sup>-1</sup> Meropenem สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียในชิ้นเนื้อเยื่อ ทำให้มีอัตราการรอดได้มากกว่าการไม่เติมสารปฏิชีวนะเป็น 6 เท่า แนวโน้มการชักนำให้เกิดการพัฒนาต้นอ่อนมีสภาวะที่เหมาะสมคือการเติมสารควบคุมการเจริญเติบโตออกซินร่วมกับไซโตไคนินที่ระดับ 0.1 mgL<sup>-1</sup> NAA และ 1.0 mgL<sup>-1</sup> BA หรือ TDZ ร่วมกับการเติม 1.0 mgL<sup>-1</sup> activate charcoal สามารถส่งเสริมให้เกิดการชักนำของแคลลัสและต้นอ่อนสำหรับการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อของว่านสากเหล็กคิดเป็นร้อยละ 55 หรือคิดเป็นมากกว่าการไม่เติมถึง 5 เท่า

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณแหล่งทุนจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสานงบประมาณแผ่นดินประจำปี 2561 (งบบูรณาการวิจัยและนวัตกรรม) ที่ได้สนับสนุนต่อการดำเนินการวิจัยจนสามารถเพิ่มทักษะและวิธีการเพาะเลี้ยงพืชสมุนไพรสำหรับการพัฒนาในด้านอื่น ๆ ต่อไป

## เอกสารอ้างอิง

1. กานต์ริตา บุญลอย จารุวัตร จันทร์ประดิษฐ์ และศุภชัย นิติพันธ์.(2559). อิทธิพลของสารละลายโคลชิซินต่อการเพิ่มจำนวน โครโมโซมของมะพร้าวานกุ่ม (*Molineria sp.*). วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ ปีที่ 9 ฉบับที่ 2 น. 81-88.
2. กองประชาสัมพันธ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. วิจัยฤทธิ์สารสกัดวานสากเหล็กต่อการ ตานอนุมูลอิสระ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, เว็บไซต์ประชาสัมพันธ์ คนเมื่อ 20 มิถุนายน 2559. <https://www.rmutt.ac.th/content/32079>.
3. นัตถรญา กันทะเรียน. (2559). การผลิตสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากเชื้อแบคทีเรียได้จากระบบเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. บัณฑิตวิทยาลัย
4. เตือนจิตร เพ็ชรธรรณ อรรถรัตน์ วงศ์ศรี สุวิมล กลศึก กษิตติดิษฐ์บรรจง ภูมิรินทร์ วณิชชนานันท์ ชยานิจ ดิษฐ์บรรจง สุรกิตติ ศรีกุล หทัยรัตน์ อุไรรงค์ และ นัยเนตร เจริญสันติ ทานากะ. (2558). กิจกรรมงานวิจัยการวิจัยเทคโนโลยีชีวภาพเพื่อการปรับปรุงพันธุ์ปาล์มน้ำมัน. กรมวิชาการ เกษตร หน้า 44 – 70.
5. รชพรธณ ฆารพันธ์. (2554). สมุนไพรความงาม: แนวทางการพัฒนาการใช้สมุนไพรพื้นบ้านของชาวผู้ไทยจังหวัดกาฬสินธุ์. ปริญญาศิลปศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวัฒนธรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย มหาสารคาม. (วิทยานิพนธ์)
6. วราภรณ์ หิตฉิม สมปอง เตชะโต และสุรรัตน์ เย็นซ้อน. (2563). ผลของออกซินต่อการชักนำให้เกิดไซมาติกเอ็มบริโอและการพัฒนาเป็นพืชต้นใหม่ของปาล์มน้ำมันลูกผสมพันธุ์ทรัพย์ ม.อ. วารสารแก่นเกษตร, 48(1), 67–78.
7. อนันต์ วงเจริญ. (2557). บทบาทของเชื้อราเอนโดไฟต์ต่อการควบคุมโรคพืช. วารสารแก่นเกษตร, 42(4), 623-634
8. Der J. O., K. W. Chan, N. Sarega, N. B. Alitheen, H. Ithnin, and M. Ismail. (2016). Bioprospecting the Curculigoside Cinnamic acid- rich fraction from *Molineria latifolia* rhizome as a potential antioxidant therapeutic agent. *Molecules* 26, 682; doi:10.3390/21060682
9. PALEE, J. (2018). In vitro Shoot Cultures of *Tupistra Albiflora* K. Larsen. *Walailak Journal of Science and Technology (WJST)*, 17(5), 405–411.
10. Kalina D., Jasmina P. S., Inn A., Kalina A. and Marina S.,(2023). Plant Growth Regulators and Activated Charcoal Selectively Affect Phenylethanoid And Flavone Glycoside Accumulation in *Sideritis scardica* Griseb. *Tissue Culture Plants* 2023, 12(13), 2541; <https://doi.org/10.3390/plants12132541>
11. Pranha T., Pooja J., Namita M., Rupan K., and Piyush M. (2024). Bioprotecting of fendophytic fungi from medicinal plant *Anisomeles indica* L. for their diverse role in agriculture and industrial sectors. *Scientific Reports* 2024 14:588
12. Supawadee T., T. Sompong. (2010). Effect of culture medium and genotype on germination of hybrid oil palm zygotic embryos. *Science Asia* 36; 26-32.
13. Thuruthiyil D. T., (2008) The role of activated charcoal in Plant tissue culture. *Biotechnology Advances*, Vol. 26, Issue 6, 2008, P 618-631.
14. Yoichi O. and Masahiro M. (2007). Meropenem and moxalactam: Novel  $\beta$ - lactam antibiotics for efficient *Agrobacterium*- mediated transformation. *Plant Science*, Volume 172, Issue 3, P. 564-572.
15. Zari H. T., N. J. Sidik, T. A. Hashim, and N. Ahmet. (2014). The effects of different concentration of NAA on oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) embryoid cultures and phytosterols production. *Australian Journal of crop science* 8(6); 840-847.



## Research Article

## Effect of Substituting Wheat Flour with Germinated Hom Mali Brown Rice Germ Powder from Surin Province on the Quality of Crispy Bread

## ผลของการใช้ผงจมูกข้าวกล้องงอกหอมมะลิจังหวัดสุรินทร์ทดแทนแป้งสาลีต่อคุณภาพขนมปังกรอบ

ภัทรารณณ์ แก้วกุล\*<sup>1</sup> รัสรินทร์ ฉัตรทองพิศุทธิ์<sup>1</sup> และ อภิชากร ดวงแขเพ็ญศิริกุล<sup>1</sup>Phattaraporn Kaewkool\*<sup>1</sup> Rassarin Chatthongpisut<sup>1</sup> and Apichargorn Dangkhapensirikul<sup>1</sup><sup>1</sup>คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ 186 หมู่ 1 ถนนสุรินทร์-ปราสาท ต.นอกเมือง อ.เมือง จ.สุรินทร์ 32000<sup>1</sup>Faculty of Science and Technology, Surindra Rajabhat University, 186 Moo 1, Surin-Prasart Road, Nokmuang, Surin, 32000

## Article Info

Received 29 September 2025

Revised 24 October 2025

Accepted 22 December 2025

## Abstract

This study aimed to investigate the effects of incorporating germinated Hom Mali brown rice germ powder from Surin Province, produced by the New Theory Agriculture Community Enterprise, Khokoh Sub-district, Mueang Surin District, Surin Province, as a partial substitute for wheat flour in crispy bread production. The chemical analysis of the germinated brown rice germ powder indicated moisture, ash, protein, fat, carbohydrate, and dietary fiber contents of 4.03%, 0.51%, 8.53%, 9.92%, 83.46%, and 0.34%, respectively, together with a GABA content of 9.54 mg/100 g and % DPPH radical scavenging activity of 5.86. The crispy bread formulations were developed by substituting wheat flour with germinated brown rice germ powder at five levels: 0%, 10%, 20%, 30%, and 40% by. Sensory evaluation was conducted with 30 untrained panelists. The results indicated that the 20% substitution level achieved the highest acceptance in appearance, color, aroma, taste, texture, and overall liking, with significant differences ( $p < 0.05$ ). The chemical properties of the 20% substitution sample showed increased protein (12.18%), fat (16.09%), and dietary fiber (5.27%), along with 1.03 mg/100 g of GABA and % DPPH radical scavenging activity of 0.72. Minor physical changes were observed, including a decrease in lightness ( $L^*$ ), an increase in hardness from 22.93 N to 25.17 N, and a slight increase in water activity ( $a_w$ ) from 0.52 to 0.58. Total microbial counts were  $0.23 \times 10^4$  CFU/g, which complied with the Community Product Standard (TIS 523/2547) requirement of not exceeding  $1 \times 10^4$  CFU/g. In conclusion, substituting 20% wheat flour with germinated Hom Mali brown rice germ powder from Surin improved the nutritional value of crispy bread and demonstrated potential for commercial development as a health-oriented functional food product.

**Keywords:** Crisp Bread, Germinated Brown Jasmine Rice Germ Powder, Wheat Flour Substitute

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้ผงจมูกข้าวกล้องงอกหอมมะลิจังหวัดสุรินทร์ ซึ่งผลิตโดยกลุ่มวิสาหกิจชุมชนเกษตรทฤษฎีใหม่ ตำบลคอโค อำเภอเมืองสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์ เป็นวัตถุดิบทดแทนแป้งสาลีบางส่วนในการผลิตขนมปังกรอบ ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะทางเคมีของผงจมูกข้าวกล้องงอกพบว่ามีความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และใยอาหาร ร้อยละ 4.03, 0.51, 8.53, 9.92, 83.46 และ 0.34 ตามลำดับ โดยมีปริมาณสารกาบา 9.54 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม และร้อยละการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (% DPPH radical scavenging activity) เท่ากับ 5.86 การพัฒนาสูตรขนมปังกรอบทำโดยการทดแทนแป้งสาลีด้วยผงจมูกข้าวกล้องงอก 5 ระดับ คือ ร้อยละ 0 10 20 30 และ 40 และทำการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน ผลการประเมินพบว่า การทดแทนแป้งสาลีร้อยละ 20 ได้รับการยอมรับสูงสุดในทุกด้าน ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) การวิเคราะห์คุณลักษณะทางเคมีของขนมปังกรอบสูตรดังกล่าวแสดงให้เห็นการเพิ่มขึ้นของโปรตีน (ร้อยละ 12.18) ไขมัน (ร้อยละ 16.09) และใยอาหาร (ร้อยละ 5.27) รวมทั้งพบปริมาณสารกาบา 1.03 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม และร้อยละการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (% DPPH radical scavenging activity) เท่ากับ 0.72 ส่วนคุณลักษณะทางกายภาพ พบค่าความสว่าง ( $L^*$ ) ลดลง ความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นจาก 22.93 N เป็น 25.17 N และค่าน้ำอิสระ ( $a_w$ ) เพิ่มขึ้นจาก 0.52 เป็น 0.58 ขณะที่ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดอยู่ที่  $2.30 \times 10^3$  โคโลนีต่อกรัม ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.523/2547) ที่กำหนดไม่เกิน  $1 \times 10^4$  โคโลนีต่อกรัม ดังนั้นการทดแทนแป้งสาลีด้วยผงจมูกข้าวกล้องงอกหอมมะลิจังหวัดสุรินทร์ในระดับร้อยละ 20 สามารถเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของขนมปังกรอบ และมีศักยภาพในการพัฒนาต่อยอดเชิงพาณิชย์เป็นผลิตภัณฑ์อาหารเชิงหน้าที่ได้

**คำสำคัญ:** ขนมปังกรอบ, ผงจมูกข้าวกล้องงอกหอมมะลิสุรินทร์, การทดแทนแป้งสาลี

## 1. บทนำ

ปัจจุบันพฤติกรรมการบริโภคของผู้บริโภคมีการเปลี่ยนแปลง โดยให้ความสำคัญกับผลิตภัณฑ์อาหารที่ส่งเสริมสุขภาพและใช้ส่วนผสมจากธรรมชาติมากขึ้น ผู้บริโภคไม่ได้มองหาเพียงขนมขบเคี้ยวเพื่อความเพลิดเพลินเท่านั้น แต่ยังคงคาดหวังผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงหรือเรียกว่า “อาหารเชิงหน้าที่” (functional foods) ซึ่งให้ประโยชน์ต่อสุขภาพมากกว่าการให้พลังงานพื้นฐาน [1] แนวโน้มดังกล่าวจึงเป็นโอกาสสำคัญในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมขนมอบและขนมขบเคี้ยว ซึ่งมีการเติบโตอย่างต่อเนื่อง จังหวัดสุรินทร์เป็นแหล่งผลิตข้าวหอมมะลิคุณภาพสูงของประเทศ มีปัจจัยด้านภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเพาะปลูก และได้รับการส่งเสริมให้พัฒนาการผลิตข้าวอินทรีย์อย่างต่อเนื่อง [2] กลุ่มวิสาหกิจชุมชนเกษตรทฤษฎีใหม่ ตำบลคอโค อำเภอเมืองสุรินทร์ ได้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกเพื่อเพิ่มมูลค่าให้แก่ผลผลิตทางการเกษตร ซึ่งก่อให้เกิดผลพลอยได้ที่สำคัญ ได้แก่ ผงจมูกข้าวกล้องงอกหอมมะลิสุรินทร์ที่มีศักยภาพในการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับ

ผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ ผงจมูกข้าวกล้องงอกหอมมะลิสุรินทร์ เป็นแหล่งสารอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง ประกอบด้วยโปรตีน วิตามินบี วิตามินอี กรดไขมันไม่อิ่มตัว และสารแกมมา-แอมิโนบิวทริก (γ-aminobutyric acid; GABA) ที่มีบทบาทสำคัญในการบำรุงระบบประสาทและสมอง [3,4] กระบวนการทำให้ข้าวเกิดการงอกสามารถช่วยเพิ่มปริมาณสารกาบา (GABA) และสารต้านอนุมูลอิสระได้อย่างมีนัยสำคัญ [5,6] ส่งผลให้จมูกข้าวกล้องงอกเป็นวัตถุดิบที่มีศักยภาพสูงสำหรับการพัฒนาอาหารเชิงหน้าที่ ด้วยคุณค่าทางโภชนาการและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ทำให้ผงจมูกข้าวกล้องงอกหอมมะลิสุรินทร์จึงเป็นวัตถุดิบที่น่าสนใจ สำหรับนำมาประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารเชิงหน้าที่ และจากการทบทวนวรรณกรรมยังไม่พบรายงานวิจัยที่นำผงจมูกข้าวกล้องงอกหอมมะลิสุรินทร์มาใช้ทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ขนมปังกรอบ แป้งสาลีเป็นวัตถุดิบหลักที่มีบทบาทในการสร้างโครงสร้างและเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมอบ [7] แต่มีข้อจำกัดด้านคุณค่าทางโภชนาการ และอาจก่อให้เกิดปัญหาสุขภาพในผู้บริโภคที่มีภาวะแพ้งูเลน [8] การใช้ผงจมูกข้าวกล้องงอกหอมมะลิสุรินทร์

ทดแทนแป้งสาลีบางส่วน จึงเป็นแนวทางที่สามารถเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ ลดการพึ่งพาวัตถุดิบนำเข้า เพิ่มมูลค่าให้แก่วัตถุดิบท้องถิ่น และส่งเสริมการใช้ทรัพยากรภายในประเทศอย่างยั่งยืน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเหมาะสมของการใช้ผงจมูกข้าวกล้องงอกหอมมะลิสุรินทร์ทดแทนแป้งสาลีในขนมปังกรอบ โดยประเมินคุณลักษณะทางกายภาพ ทางเคมี และทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ เพื่อสนับสนุนการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเชิงหน้าที่ เป็นนวัตกรรมอาหารที่ใช้ประโยชน์จากทรัพยากรท้องถิ่นอย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน

## 2. วิธีดำเนินการวิจัย

### 2.1 การศึกษาคุณลักษณะของผงจมูกข้าวกล้องงอกหอมมะลิจังหวัดสุรินทร์

ผงจมูกข้าวกล้องงอกหอมมะลิจังหวัดสุรินทร์ จากกลุ่มวิสาหกิจชุมชนเกษตรทฤษฎีใหม่ ตำบลคอโค อำเภอเมืองสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์ ทำการผลิตโดยดัดแปลงวิธีของ ภัทรภรณ์ แก้วกุล และคณะ [9] ผลิตไม่เกิน 1 สัปดาห์บรรจุในถุงพอลิเอทิลีนนำไปวิเคราะห์สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ คุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยา

### 2.2 การศึกษาคุณลักษณะขนมปังกรอบที่ใช้ผงจมูกข้าวกล้องงอกหอมมะลิจังหวัดสุรินทร์ทดแทนแป้งสาลีบางส่วน

- สูตรพื้นฐานของขนมปังกรอบเป็นสูตรที่ผ่านการคัดเลือกจากงานวิจัยของ ศุภิสรา ปราสาททอง [10] ซึ่งมีส่วนผสมประกอบด้วย แป้งสาลี (ตราห่าน) ร้อยละ 61.22 ยีสต์แห้งชนิดผง (ตราซาฟท์ อินสแตนท์ ฉลากสีทอง) ร้อยละ 0.92 เกลือ (ตราปรุngthิพย์) ร้อยละ 0.10 น้ำตาลทรายขาว (ตรามิตรผล) ร้อยละ 3.06 น้ำมันรำข้าว (ตราคิง) ร้อยละ 10.20 และนมข้นจืด (ตราคาร์เนชั่น) ร้อยละ 24.50
- การทดแทนแป้งสาลีบางส่วนด้วยผงจมูกข้าวกล้องงอกหอมมะลิจังหวัดสุรินทร์ 5 ระดับ คือ ร้อยละ 0 10 20 30 และ 40 ของน้ำหนักแป้งสาลี และวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) โดยส่วนผสมอื่นๆ คงที่ ได้สิ่งทดลองทั้งหมด 5 สิ่งทดลอง ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ส่วนผสมของขนมปังกรอบผงจมูกข้าวกล้องงอกหอมมะลิจังหวัดสุรินทร์ทดแทนแป้งสาลีบางส่วน

ส่วนผสม (กรัม)	ผงจมูกข้าวกล้องงอกหอมมะลิสุรินทร์ (ร้อยละ)				
	0	10	20	30	40
แป้งสาลี	61.22	55.10	48.98	42.85	36.73
ผงจมูกข้าวกล้องงอกหอมมะลิสุรินทร์	0	6.12	12.24	18.37	24.49
ยีสต์แห้งชนิดผง	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92
เกลือ	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
น้ำตาลทรายขาว	3.06	3.06	3.06	3.06	3.06
น้ำมันรำข้าว	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20
นมข้นจืด	24.50	24.50	24.50	24.50	24.50

- ขั้นตอนการผลิต: นวดส่วนผสมทั้งหมด จนได้โดเรียบเนียน คลึงรีด เป็นแผ่นบางใช้พิมพ์กดตัดเป็นชิ้น ขนาด 1 เซนติเมตร อบที่ 180 องศาเซลเซียส ประมาณ 20 นาที บรรจุในถุงพลาสติกปิดสนิท

### 2.3 การวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส (HE 682021)

การวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสขนมปังกรอบทำโดยใช้ผู้ทดสอบชิมไม่ได้รับการฝึกฝน (Untrained panel) จำนวน 30 คน อายุ 18 ปีขึ้นไป เป็นผู้ที่เคยบริโภคขนมปังกรอบและไม่เป็นผู้ที่มีอาการแพ้ส่วนผสมต่างๆ ในขนมปังกรอบ ด้วยวิธี 9 Point Hedonic Scale Scoring Test (9 หมายถึง ชอบมากที่สุด และ 1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด) ผู้ทดสอบชิมแต่ละคนจะได้ขนมปังกรอบ 5 ตัวอย่าง โดยผู้ทดสอบชิมประเมินการยอมรับตามคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส คือ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น (ผงจมูกข้าวกล้องงอกหอมมะลิสุรินทร์) รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม นำผลคะแนนที่ได้มาคัดเลือกหาสูตรที่ได้รับการยอมรับมากที่สุด และสูตรที่ได้รับการยอมรับมากที่สุดของการทดแทนแป้งสาลีด้วยผงจมูกข้าวกล้องงอกหอมมะลิสุรินทร์จะถูกนำมาวิเคราะห์สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ คุณภาพทางเคมี ทางกายภาพและจุลชีววิทยา

### 2.4 การวิเคราะห์สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และคุณภาพทางเคมี

การวิเคราะห์ปริมาณสารคาบาด้วยเครื่อง HPLC ตามวิธีของ Lee และคณะ [12] การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น ไขมัน โปรตีน และใยอาหาร ตามวิธีมาตรฐาน AOAC วิธีที่ 925.10, 923.03, 922.06, 981.10 และ 985.29 ตามลำดับ สำหรับปริมาณคาร์โบไฮเดรตคำนวณโดยวิธี by difference และค่าพลังงานคำนวณจาก Atwater factors [11]

- การทดสอบกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant activity) ด้วยวิธี DPPH ดัดแปลงจากวิธีของ Kwaw และคณะ [13]

## 2.5 การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

- ค่าสี วัดด้วยเครื่องวัดค่าสี (ยี่ห้อ Hunter Lab รุ่น Color Flex ประเทศสหรัฐอเมริกา)
- ค่าความแน่นเนื้อ (N) วัดด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (ยี่ห้อ KSP Lab รุ่น KSP-F505 ประเทศไทย)
- ค่าปริมาณน้ำอิสระ ( $a_w$ ) วัดด้วยเครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระในอาหาร (ยี่ห้อ Aqualab Series 3 TE ประเทศสหรัฐอเมริกา)

## 2.6 การวิเคราะห์คุณภาพทางจุลชีววิทยา

- ตรวจวิเคราะห์การปนเปื้อนจุลินทรีย์ทั้งหมด ด้วยวิธี total plate count โดยใช้เทคนิค spread plate [11]

## 2.7 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบทำการทดสอบ 3 ซ้ำ เปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนเฉลี่ยด้วย Least Significant Difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ

## 3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

### 3.1 ผลคุณลักษณะผงจมูกข้าวกล็องงอกหอมมะลิสุรินทร์

จากการวิเคราะห์สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ คุณลักษณะด้านคุณภาพทางเคมี ทางกายภาพและจุลชีววิทยา ผงจมูกข้าวกล็องงอกหอมมะลิสุรินทร์ ผลแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณลักษณะผงจมูกข้าวกล็องงอกหอมมะลิสุรินทร์

องค์ประกอบทางเคมี และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ	
ความชื้น (ร้อยละ)	4.03 ± 0.08
เถ้า (ร้อยละ)	0.51 ± 0.17
โปรตีน (ร้อยละ)	8.53 ± 0.07
ไขมัน (ร้อยละ)	3.47 ± 0.03
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)	83.46 ± 0.23
ใยอาหาร (ร้อยละ)	0.34 ± 0.13
ปริมาณสารกาบา (มิลลิกรัม/ 100 กรัม)	9.54 ± 0.48
กิจกรรมต้านอนุมูลอิสระ (DPPH; มิลลิกรัม/ กรัม)	5.86 ± 0.12
คุณภาพทางกายภาพ	
ค่าสี	
L*	65.0 ± 0.47
a*	3.0 ± 0.11
b*	17.0 ± 0.13
ค่า $a_w$	0.42 ± 0.21
คุณภาพทางจุลชีววิทยา	
จุลินทรีย์ทั้งหมด (โคโลนี ต่อ 1 กรัม)	$1.50 \times 10^3 \pm 0.16$

จากตารางที่ 2 พบว่าผงจมูกข้าวกล็องงอกหอมมะลิจังหวัดสุรินทร์มีปริมาณโปรตีน และ ใยอาหาร สูง ร้อยละ 8.53 และ 3.47 สอดคล้องกับงานของ Phanurat และคณะ [14] ที่รายงานว่าจมูกข้าวกล็องงอกมีปริมาณโปรตีนและใยอาหารสูง นอกจากนี้ยังมีสารกาบา 9.54 มิลลิกรัม/100 กรัม และร้อยละการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (% DPPH radical scavenging activity) เท่ากับ 5.86

### 3.2 ผลคุณลักษณะขนมปังกรอบที่ใช้ผงจมูกข้าวกล็องงอกหอมมะลิจังหวัดสุรินทร์ทดแทนแป้งสาลีบางส่วน

ผลการประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัสของขนมปังกรอบที่ใช้ผงจมูกข้าวกล็องงอกหอมมะลิจังหวัดสุรินทร์ทดแทนแป้งสาลีบางส่วน 5 ระดับ คือ ร้อยละ 0 ร้อยละ 10 ร้อยละ 20 ร้อยละ 30 และ ร้อยละ 40 ผลแสดงดังภาพที่ 1 และตารางที่ 3



ภาพที่ 1 ขนมปังกรอบที่ใช้ผงจมูกข้าวทดแทนแป้งสาลีบางส่วน

ตารางที่ 3 ผลคุณภาพทางประสาทสัมผัสขนมปังกรอบที่ใช้ผงจมูกข้าวกล็องงอกหอมมะลิจังหวัดสุรินทร์ทดแทนแป้งสาลีบางส่วน 5 ระดับ

คุณลักษณะ	ปริมาณผงจมูกข้าวกล็องงอกหอมมะลิจังหวัดสุรินทร์ (ร้อยละ)				
	0	10	20	30	40
ลักษณะ	7.83 <sup>a</sup> ±0.75	7.57 <sup>b</sup> ±0.41	7.81 <sup>a</sup> ±0.52	6.97 <sup>c</sup> ±0.75	6.95 <sup>c</sup> ±0.52
ปรากฏ					
สี	7.73 <sup>b</sup> ±0.63	7.70 <sup>b</sup> ±0.75	7.75 <sup>a</sup> ±1.03	6.25 <sup>c</sup> ±1.22	6.55 <sup>c</sup> ±1.23
กลิ่น	7.33 <sup>b</sup> ±0.52	7.43 <sup>b</sup> ±0.55	7.57 <sup>a</sup> ±1.63	6.73 <sup>c</sup> ±1.17	6.52 <sup>c</sup> ±1.03
รสชาติ	7.21 <sup>b</sup> ±1.33	7.18 <sup>b</sup> ±1.26	7.23 <sup>a</sup> ±1.34	6.93 <sup>c</sup> ±1.17	6.81 <sup>c</sup> ±1.75
เนื้อสัมผัส	7.17 <sup>b</sup> ±0.52	7.13 <sup>b</sup> ±0.55	7.15 <sup>a</sup> ±0.83	6.27 <sup>c</sup> ±0.75	6.19 <sup>c</sup> ±0.89
ความชอบ	7.09 <sup>b</sup> ±0.89	7.01 <sup>b</sup> ±0.75	7.13 <sup>a</sup> ±1.83	6.93 <sup>c</sup> ±1.47	6.54 <sup>c</sup> ±1.97
โดยรวม					

หมายเหตุ <sup>a-c</sup> หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแนวอนเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากภาพที่ 1 และตารางที่ 3 ผลการประเมินทางประสาทสัมผัสแสดงให้เห็นว่า การทดแทนแป้งสาลีด้วยผงจมูกข้าวกล็องงอกหอมมะลิจังหวัดสุรินทร์ในระดับร้อยละ 20 ทำให้คุณลักษณะด้านสี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวมแตกต่างจากสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) อย่างไรก็ตาม คะแนนการยอมรับในทุกคุณลักษณะยังคงอยู่ในระดับสูง สะท้อนให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวไม่ส่งผลเชิงลบต่อการยอมรับของผู้บริโภค ทั้งนี้อาจเนื่องจาก

ความสมดุลของกลิ่นหอมเฉพาะ รสชาติที่กลมกล่อม และการเปลี่ยนแปลงของสีและเนื้อสัมผัสไม่มากเกินไป ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ นิภาพร กุลณา และคณะ [15] และ Choi และคณะ [16] ที่พบว่าการใช้ข้าวกล้องงอกหรือจมูกข้าวงอกในระดับปานกลางช่วยให้ผลิตภัณฑ์ขนมบอวยยังคงได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสในระดับดี ดังนั้น ผงจมูกข้าวกล้องงอกหอมมะลิจังหวัดสุรินทร์ในระดับ ร้อยละ 20 จึงถือเป็นระดับที่เหมาะสมต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมปังกรอบ และเมื่อทำการศึกษาคุณภาพทางเคมี กายภาพ และจุลชีววิทยา ผลแสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลคุณลักษณะทางเคมี กายภาพ และจุลชีววิทยา ที่ผ่านการยอมรับจากผู้บริโภค

คุณลักษณะ	ร้อยละ 0	ร้อยละ 20
<b>ทางเคมี</b>		
ความชื้น (ร้อยละ)	6.27 <sup>b</sup> ± 0.20	6.72 <sup>a</sup> ± 0.25
โปรตีน (ร้อยละ)	11.73 <sup>b</sup> ± 0.11	12.18 <sup>a</sup> ± 0.12
ไขมัน (ร้อยละ)	15.58 <sup>b</sup> ± 0.17	16.09 <sup>a</sup> ± 0.18
เถ้า (ร้อยละ)	0.72 <sup>b</sup> ± 0.05	0.80 <sup>a</sup> ± 0.10
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)	65.30 <sup>a</sup> ± 0.14	64.21 <sup>b</sup> ± 0.15
ใยอาหาร (ร้อยละ)	5.16 <sup>b</sup> ± 0.25	5.27 <sup>a</sup> ± 0.15
พลังงาน (กิโลแคลอรี)	450.5 <sup>a</sup> ± 0.17	447.8 <sup>b</sup> ± 0.13
ปริมาณสารกาบา (มิลลิกรัม/ 100 กรัม)	ND	1.03 ± 0.11
กิจกรรมต้านอนุมูลอิสระ (DPPH; มิลลิกรัม/ กรัม)	ND	0.72 ± 0.16
<b>ทางกายภาพ</b>		
ค่าสี L*	70.79 <sup>a</sup> ± 0.25	65.84 <sup>b</sup> ± 0.49
a*	11.07 <sup>a</sup> ± 0.10	10.53 <sup>b</sup> ± 0.12
b*	30.51 <sup>a</sup> ± 0.39	29.18 <sup>b</sup> ± 0.05
ค่า a <sub>w</sub>	0.52 <sup>b</sup> ± 0.02	0.58 <sup>a</sup> ± 0.01
ค่าความแน่นเนื้อ (Hardness ; N)	22.93 <sup>b</sup> ± 1.32	25.17 <sup>a</sup> ± 1.12
<b>ทางจุลชีววิทยา</b>		
ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (โคโลนี/ กรัม)	2.30×10 <sup>3b</sup>	2.70×10 <sup>3a</sup>

**หมายเหตุ** <sup>a-b</sup> หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแนวนอนเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

<sup>ND</sup> หมายถึง ไม่สามารถตรวจพบ

จากตารางที่ 4 ผลคุณลักษณะของขนมปังกรอบที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยผงจมูกข้าวกล้องงอกหอมมะลิจังหวัดสุรินทร์ในระดับ ร้อยละ 20 พบว่า คุณภาพทางเคมี มีคุณค่าทางโภชนาการสูงขึ้น ได้แก่ โปรตีน ไขมัน เถ้า และใยอาหาร ร้อยละ 12.18 16.09 0.80 และ 5.27 ตามลำดับ นอกจากนี้ พบปริมาณสารกาบา 1.03 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม และร้อยละการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (% DPPH radical scavenging activity) เท่ากับ 0.72 ซึ่งไม่พบในสูตรควบคุม แสดงให้

เห็นว่าขนมปังกรอบที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยผงจมูกข้าวกล้องงอกหอมมะลิจังหวัดสุรินทร์ ในระดับร้อยละ 20 สามารถเพิ่มปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและคุณค่าทางโภชนาการได้อย่างชัดเจน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Xu และคณะ [17] และ Yang และคณะ [18] ที่พบว่าผงจมูกข้าวกล้องงอกช่วยเพิ่มสารต้านอนุมูลอิสระและสารกาบาในผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูป จากการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ พบว่า ค่าสี (L\*) ค่าความสว่าง (a\*) ค่าสีแดง (b\*) และค่าสีเหลืองของขนมปังกรอบที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยผงจมูกข้าวกล้องงอกหอมมะลิจังหวัดสุรินทร์ในระดับ ร้อยละ 20 มีค่าความสว่างลดลง ผลิตภัณฑ์มีสีเข้มเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม เป็นผลจากการใส่ผงจมูกข้าวกล้องงอกในการทำขนมปังกรอบ เนื่องจากผงจมูกข้าวกล้องงอกมีลักษณะที่เป็นผงละเอียด มีสีเหลืองจนถึงสีน้ำตาลอ่อน [16] จึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีเข้มเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับสูตรควบคุม ลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมปังกรอบถูกวัดด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัสพบว่า เมื่อปริมาณผงจมูกข้าวกล้องงอกหอมมะลิสุรินทร์เพิ่มขึ้นส่งผลให้ขนมปังกรอบมีค่าความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น (Hardness = 25.17 N) และค่า a<sub>w</sub> (0.58) เพิ่มขึ้นเล็กน้อย อาจเป็นผลจากผงจมูกข้าวกล้องงอกมีส่วนประกอบของน้ำมันและใยอาหารจึงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำเพิ่มขึ้น [19] สำหรับคุณภาพทางจุลชีววิทยานั้น ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของขนมปังกรอบผงจมูกข้าวกล้องงอกหอมมะลิสุรินทร์ในระดับ ร้อยละ 20 มีค่าเท่ากับ 2.70 × 10<sup>3</sup> โคโลนีต่อกรัม สูงกว่าสูตรควบคุมเล็กน้อย แต่อย่างไรก็ตาม ค่าที่ได้ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน [20]

#### 4. สรุปผลการวิจัย

การใช้ผงจมูกข้าวกล้องงอกหอมมะลิจังหวัดสุรินทร์ทดแทนแป้งสาลีบางส่วนในการผลิตขนมปังกรอบทำให้ผู้บริโภคยอมรับผลิตภัณฑ์ได้ดีที่สุดที่ระดับการทดแทนร้อยละ 20 โดยให้คะแนนสูงสุดในด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม นอกจากนี้ สูตรดังกล่าวยังช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพให้กับผลิตภัณฑ์ ขณะเดียวกันคุณสมบัติทางกายภาพ และจุลชีววิทยายังคงอยู่ในเกณฑ์ที่สอดคล้องกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน จึงถือได้ว่าเป็นระดับการทดแทนที่เหมาะสมสำหรับการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเชิงหน้าที่ ที่ให้ความสำคัญทั้งคุณภาพและความปลอดภัย

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณนักวิทยาศาสตร์ชุมชนเกษตรทฤษฎีใหม่ ตำบลคอคอด อำเภอมะลิสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ส่งจมูกข้างกลองงอกหอมมะลิสุรินทร์มาใช้ในการงานวิจัยครั้งนี้ และหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาธุรกิจการแปรรูปอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และอุปกรณ์ในการทำวิจัย

## เอกสารอ้างอิง

- Kwak NS, Jukes DJ. Functional foods. Part 1: The development of a regulatory concept. *Food Control*. 2001;12(2):99–107.
- กรมการข้าว. รายงานสถานการณ์การผลิตและการตลาดข้าวหอมมะลิไทย. กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์; 2560.
- Wu F, Yang N, Touré A, Jin Z, Xu X. Germinated brown rice and its role in human health. *Crit Rev Food Sci Nutr*. 2009;49(5):459–73.
- Patil SB, Khan MK. Germinated brown rice as a value added rice product: A review. *J Food Sci Technol*. 2011; 48(6):661–7.
- Oh CH, Oh SH. Effects of germinated brown rice extracts with enhanced levels of GABA on cancer cell proliferation and apoptosis. *J Med Food*. 2004;7(1):19–23.
- Tian S, Nakamura K, Kayahara H. Analysis of phenolic compounds in white rice, brown rice, and germinated brown rice. *J Agric Food Chem*. 2004; 52(15): 4808–13.
- Wang S, Li C, Copeland L, Niu Q, Wang S. Starch retrogradation: A comprehensive review. *Compr Rev Food Sci Food Saf*. 2017;14(5):568–85.
- Shewry PR, Hey SJ. The contribution of wheat to human diet and health. *Food Energy Secur*. 2016;5(3):178–202.
- ภัทรภรณ์ แก้วกุล ประดับ เรียงประยูร วรธนะชัย ปฐมสิริวงศ์ จุริมาศ ฉลาดมาก และนักสิทธิ์ อุ่นจิต. การพัฒนาและปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์จมูกข้าวเพาะกลางอกมะลิหอมอินทรีสุรินทร์. สุรินทร์: มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์; 2559. 52 หน้า.
- ศุภิสรา ปราสาททอง. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมปังจากแป้งข้าวปกออำปีล. สุรินทร์: มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์; 2563. 102 หน้า.
- AOAC. *Official methods of analysis of AOAC International*. 19<sup>th</sup> ed. Gaithersburg, MD: AOAC International;2016.
- Lee MH, Han YJ, Oh SH. Effect of germination on the chemical composition and antioxidant activity of brown rice. *J Food Sci*. 2010;75(6):C394–8.
- Kwaw E, Ma Y, Tchabo W, Apaliya MT, Wu M, Sackey AS, Xiao L. Effect of lactobacillus strains on phenolic profile, color attributes and antioxidant activities of lactic acid fermented mulberry juice. *Food Chem*. 2018; 250:148–54.
- Phanurat T, Kijroongrojana K, Wanchaitanawong P. Physicochemical properties and bioactive compounds of germinated rice. *J Cereal Sci*. 2021;99:103190.
- นิภาพร กุลณา สุรีย์ ทองกร พยุงค์ศักดิ์ บุญศิริ รัศมี ตาหลวง รมิตา เรือนสังข์ และพัชรินทร์ กุลณา. การทดแทนแป้งสาลีด้วยข้าวกลองงอก (มะลินิลสุรินทร์) ในขนมปังข้าวไร้. *วารสารวิจัยและนวัตกรรมการอาชีวศึกษา*. 2065;6(2):68–77.
- Choi YH, Kim JH, Lee SY. Quality characteristics of bread added with germinated rice flour. *Food Sci Biotechnol*. 2021;30(3):395–402.
- Xu Z, Sun W, Zhou R. Nutritional and bioactive components of germinated brown rice. *Food Chem*. 2019;278:426–33.
- Yang Y, Chen L, Zhang H. Effect of germinated rice bran on antioxidant activity and physicochemical properties of baked products. *J Cereal Sci*. 2021;101:103–10.
- Gunstone F. Fatty Acid and Lipid Chemistry. New York, N.Y. Chapman and Hall Company; 1996.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน: ขนมปังกรอบ 523/2547. กรุงเทพฯ: มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน; 2547.



## Research Article

# Development of Antibacterial Microemulsions from Ajowan Oil

## การพัฒนาแอนตี้แบคทีเรียไมโครอิมัลชันจากน้ำมันเทียนเหาวพาดิ

ประภาพร บุญมี<sup>1\*</sup>, ชนาภา ธนอัสวพล<sup>1</sup>, นวพร โชติพิณฑุ<sup>1</sup>

Prapaporn Boonme<sup>1\*</sup>, Chanapa Thanausawapol<sup>1</sup>, Navaporn Chotipintu<sup>1</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาเทคโนโลยีเภสัชกรรม คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90112

<sup>1</sup>Department of Pharmaceutical Technology, Faculty of Pharmaceutical Sciences, Prince of Songkla University, Songkhla, 90112

### Article Info

Received 15 May 2025

Revised 22 December 2025

Accepted 23 December 2025

### Abstract

Acne and body odor caused by bacteria disturb persons' confidence in daily life. Therefore, cosmetics containing an antibacterial agent are one option for solving these problems. This research aimed to develop antibacterial microemulsions using ajowan oil as an oil phase and an active ingredient. A mixture of water and polyethylene glycol 400 in a ratio of 1:1 was used as an aqueous phase. In addition, a mixture of Tween-80 and propylene glycol in 3 different ratios, including 1:1, 2:1 and 3:1, was used as a surfactant mixture. Microemulsion regions from 3 systems were obtained. Then, two formulations from each system were prepared to obtain 6 formulations. The prepared formulations were investigated physical properties and stability when being stored under normal condition at ambient temperature for 60 days. Additionally, antibacterial activity against *Staphylococcus aureus* was evaluated. In the physical property tests, the results showed that all formulations were transparent yellow liquids and they were oil-in-water microemulsions. During the storage of 60 days, their pH values were 6.74 to 7.43 which is in an acceptable range for skin-care cosmetics. They had Newtonian flow. Their viscosity values implied for ease of skin application. Data of quantitative analysis of ajowan oil using UV-visible spectroscopy technique at the wavelength of 275 nanometers exhibited that all formulations were chemically stable. The selected formulations for studying the antibacterial activity could present inhibition zones. Therefore, antibacterial microemulsions from ajowan oil had potential for use as anti-acne and deodorant cosmetics.

**Keywords:** Ajowan oil, Microemulsion, Bacteria, Acne, Body odor

\*Corresponding Author. Email: [prapaporn@pharmacy.psu.ac.th](mailto:prapaporn@pharmacy.psu.ac.th)

## บทคัดย่อ

สิวและกลิ่นกายซึ่งเกิดจากเชื้อแบคทีเรียรบกวนความมั่นใจในการใช้ชีวิตประจำวัน ดังนั้น เครื่องสำอางที่มีสารยับยั้งแบคทีเรียจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถช่วยแก้ปัญหาดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแอนตี้แบคทีเรียไมโครอิมัลชันโดยใช้น้ำมันเทียนยาวพาดิเป็นวัฏภาคน้ำมันและสารสำคัญ ของผสมระหว่างน้ำกับพอลิเอทิลีนไกลคอล 400 ในอัตราส่วน 1:1 เป็นวัฏภาคน้ำ นอกจากนี้ ของผสมระหว่างทวิน-80 กับโพรพิลีนไกลคอล ใน 3 อัตราส่วนที่แตกต่างกัน คือ 1:1 2:1 และ 3:1 เป็นสารลดแรงตึงผิวผสม ส่งผลให้ได้พื้นที่ไมโครอิมัลชัน 3 ระบบ จากนั้นเตรียมสองตำรับจากแต่ละระบบ รวมเป็น 6 ตำรับ ศึกษาสมบัติทางกายภาพและความคงตัวของตำรับที่เตรียมได้เมื่อเก็บภายใต้สภาวะปกติที่อุณหภูมิโดยรอบ นาน 60 วัน รวมถึงศึกษาประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อสแตปทีโลคอคคัส ออเรียส ในการศึกษาสมบัติทางกายภาพ ผลที่ได้พบว่าทุกตำรับมีลักษณะเป็นของเหลวใส สีเหลือง และเป็นไมโครอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ ในระหว่างการเก็บนาน 60 วัน ตำรับมีความเป็นกรดต่าง 6.74 ถึง 7.43 ซึ่งอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ในเครื่องสำอางสำหรับผิวพรรณ ไทลแบบนิวโตเนียน ค่าความหนืดแสดงนัยยะถึงความง่ายในการทำผิวหน้า ผลการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำมันเทียนยาวพาดิด้วยเทคนิคอัลตราไวโอเลตและวิสิเบิลสเปกโทรสโคปีที่มีความยาวคลื่น 275 นาโนเมตร พบว่าทุกตำรับคงตัวทางเคมี และตำรับที่เลือกไปศึกษาฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียสามารถแสดงพื้นที่ยับยั้งเชื้อ ดังนั้น แอนตี้แบคทีเรียไมโครอิมัลชันจากน้ำมันเทียนยาวพาดิจึงมีแนวโน้มในการใช้เป็นเครื่องสำอางแอนตี้แอคเน่และระงับกลิ่นกาย

**คำสำคัญ:** น้ำมันเทียนยาวพาดิ, ไมโครอิมัลชัน, แบคทีเรีย, สิว, กลิ่นกาย

## 1. บทนำ

แบคทีเรียหลายชนิดก่อให้เกิดปัญหาต่อผิวหนัง เช่น สิวและกลิ่นกายที่บริเวณต่างๆ โดยบริเวณที่พบสิ่ว ได้แก่ ใบหน้า หน้าอก หลังคานบน และแขนคานบน [1] ส่วนกลิ่นกายที่เหม็นฉุน (malodor) มักพบที่รักแร้และเท้า [2] ซึ่งปัญหาเหล่านี้พบได้ในทุกเพศและทุกช่วงวัย ส่งผลรบกวนความมั่นใจในการใช้ชีวิตประจำวันและการเข้าสังคม ในกรณีที่อาการไม่รุนแรง คนส่วนใหญ่มักเลือกใช้เครื่องสำอางที่ผสมสารซึ่งมีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย (antibacterial activity) เพื่อลดความรุนแรงของปัญหาดังกล่าว Grand View Research รายงานว่า เครื่องสำอางแอนตี้แอคเน่ (anti-acne cosmetics) มีมูลค่า 5.2 พันล้านเหรียญสหรัฐ (USD Billion) ใน ค.ศ. 2024 และคาดว่าจะในช่วง ค.ศ. 2025-2030 จะมีมูลค่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 9.4 [3] ส่วนเครื่องสำอางที่จัดเป็นระบบควบคุมกลิ่น (odor control system) มีมูลค่า 5.7 พันล้านเหรียญสหรัฐใน ค.ศ. 2024 และคาดว่าจะในช่วง ค.ศ. 2025-2030 จะมีมูลค่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 5.9 [4] นอกจากนี้ เครื่องสำอางที่มีสารจากธรรมชาติเป็นส่วนประกอบหลักได้รับความนิยมจากผู้บริโภค

น้ำมันเทียนยาวพาดิ (ajowan oil หรือ ajwain oil) เป็นน้ำมันหอมระเหยที่สกัดจากเทียนยาวพาดิ (*Trachyspermum ammi*) ซึ่งมีการรายงานการวิจัยว่าประกอบด้วยองค์ประกอบทางเคมีหลายชนิดที่มีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์และต้านอนุมูลอิสระ โดยองค์ประกอบหลัก

ในน้ำมันเทียนยาวพาดิ คือ thymol [5-7] นอกจากนี้ องค์ประกอบรอง ได้แก่ oleic acid, linoleic acid,  $\gamma$ -terpinene, *p*-cymene, palmitic acid และ xylene [5] อย่างไรก็ตาม องค์ประกอบรองในน้ำมันเทียนยาวพาดิจากแหล่งที่มาต่างกัน มีความแตกต่างกัน [6] รายงานการศึกษาเปรียบเทียบฤทธิ์ยับยั้งเชื้อ *Propionibacterium acnes* (ปัจจุบันเปลี่ยนชื่อเป็น *Cutibacterium acnes*) ของสมุนไพร 5 ชนิด คือ เทียนตาตักแต่น เทียนขาว เทียนยาวพาดิ มะเขว่น และหอมแดง พบว่าน้ำมันหอมระเหยจากเทียนยาวพาดิ มีฤทธิ์ดีที่สุด [8] น้ำมันเทียนยาวพาดิยังได้รับการยืนยันว่ามีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์หลายชนิดที่ส่งผลเสียต่อสุขภาพผิวพรรณและหนังศีรษะ เช่น *Candida albicans*, *Malassezia furfur*, *Propionibacterium acnes*, *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis* เป็นต้น [9] จากรายงานก่อนหน้านี้นี้พบว่าองค์ประกอบทางเคมีในน้ำมันเทียนยาวพาดิที่มีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียสูง คือ thymol ซึ่งรบกวนความสมบูรณ์ของผนังเซลล์แบคทีเรียส่งผลให้เชื้อตาย [10] น้ำมันเทียนยาวพาดิจึงมีความน่าสนใจในการนำไปพัฒนาเป็นเครื่องสำอางแอนตี้แบคทีเรีย โดยมีการศึกษาในรูปเจลแต้มสิ่ว [11] และสบู [12] อย่างไรก็ตาม การพัฒนาตำรับเครื่องสำอางโดยใช้น้ำมันเทียนยาวพาดิเป็นสารสำคัญให้อยู่ในรูปแบบใหม่ๆ จะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีประสิทธิภาพเชิงประจักษ์และตอบสนองต่อความพึงพอใจในการใช้ของผู้บริโภค

ไมโครอิมัลชันเป็นรูปแบบตำรับหนึ่งที่มีความน่าสนใจในการพัฒนาเภสัชภัณฑ์และผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางสำหรับใช้ทางผิวหนัง เนื่องจากมีข้อดีหลายประการ เช่น มีลักษณะเป็นของเหลวใสซึ่งดูน่าใช้และแพร่กระจายบนบริเวณผิวหนังที่ทาได้ดี ผลิตได้ง่ายด้วยการผสมส่วนประกอบต่างๆ ในชนิดและปริมาณซึ่งอยู่ภายในพื้นที่ไมโครอิมัลชัน (microemulsion region) ของแผนภาพวัฏภาคไตรภาคเทียม (pseudoternary phase diagram) เข้าด้วยกันด้วยการผสมธรรมดา (simple mixing) โดยไม่ต้องใช้พลังงานสูงหรือเครื่องมือที่ซับซ้อน เนื่องจากไมโครอิมัลชันเป็นระบบที่สามารถเกิดขึ้นได้เอง (spontaneous system) เมื่อมีชนิดและปริมาณของส่วนประกอบที่เหมาะสม มีความคงตัวทางอุณหพลวัต (thermodynamic stability) สามารถเพิ่มการซึมผ่านของสารสำคัญเข้าสู่ผิวหนังกำพร้าชั้นนอกสุด (stratum corneum) รวมถึงสามารถเพิ่มความคงตัวของสารสำคัญบางชนิด [13-15] ระบบไมโครอิมัลชันจึงถูกนำไปใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางหลากหลายประเภทรวมทั้งผลิตภัณฑ์สำหรับผิว [16] และผลิตภัณฑ์ระงับกลิ่นกาย [17] จากการสืบค้นข้อมูล ยังไม่พบรายงานเกี่ยวกับแอนตี้แบคทีเรียไมโครอิมัลชันจากน้ำมันเทียนเยวพาณี

ดังนั้น การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแอนตี้แบคทีเรียไมโครอิมัลชันจากน้ำมันเทียนเยวพาณี โดยใช้ น้ำมันเทียนเยวพาณี เป็นทั้งสารสำคัญและวัฏภาคน้ำมัน รวมถึงใช้สารที่ได้รับการยอมรับโดยทั่วไปว่าปลอดภัย (generally recognized as safe; GRAS) เป็นส่วนประกอบอื่นๆ ในตำรับ ได้แก่ ทวิน-80 (Tween-80) ซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวไม่มีประจุ (nonionic surfactant) โพรโพลีน ไกลคอล (propylene glycol) และพอลิเอทิลีน ไกลคอล 400 (polyethylene glycol 400) ซึ่งเป็นสารที่ช่วยให้พื้นที่ไมโครอิมัลชันมีขนาดใหญ่ขึ้น โดยสารดังกล่าวเป็นสารที่มีการใช้เป็นส่วนประกอบในตำรับเครื่องสำอาง จากนั้นศึกษาสมบัติต่างๆ ความคงตัว และประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อ *S. aureus* ของตำรับที่เตรียมได้

## 2. วิธีการดำเนินการวิจัย

### 2.1 สารเคมี

น้ำมันเทียนเยวพาณี ซึ่งเป็นทั้งสารสำคัญและวัฏภาคน้ำมันในตำรับซื้อจาก บริษัท จันทร์เจ้า ล่องจิวตี้ จำกัด ประเทศไทย สารเคมีที่เป็นส่วนประกอบในตำรับเป็นสารเกรดเครื่องสำอางหรือยา (cosmetic or pharmaceutical grade) ซื้อจาก บริษัท เคมีภัณฑ์ คอร์ปอเรชั่น จำกัด ประเทศไทย สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็นสารเกรดงานวิเคราะห์ (analytical grade) ซื้อจาก บริษัท อาร์ซีไอ แล็บสแกน

จำกัด ประเทศไทย และน้ำที่ใช้ คือ น้ำขจัดไอออน (deionized water) ผลิตโดยคณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

### 2.2 การสร้างแผนภาพวัฏภาคไตรภาคเทียมเพื่อหาพื้นที่ไมโครอิมัลชัน

สร้างแผนภาพวัฏภาคไตรภาคเทียมด้วยวิธีไทเทรต (titration method) ที่อุณหภูมิโดยรอบ (ambient temperature;  $28 \pm 2$  องศาเซลเซียส ( $^{\circ}\text{C}$ )) โดยผสมวัฏภาคน้ำมันกับของผสมระหว่างสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวรวม ในอัตราส่วน 1:9 2:8 3:7 4:6 5:5 6:4 7:3 8:2 และ 9:1 โดยน้ำหนัก จากนั้นไทเทรตแต่ละของผสมด้วยวัฏภาคน้ำ หลังการเติมวัฏภาคน้ำทุกครั้ง เขย่าแรงๆ ด้วย vortex mixer (G560E, Scientific Industries, Inc., USA) เพื่อให้ของผสมทั้งหมดเข้ากันดีและรอจนกระทั่งระบบเข้าสู่สมดุล (equilibrium) ก่อนไทเทรตต่อ จนถึงจุดที่สังเกตเห็นว่าระบบมีลักษณะขุ่นหรือเริ่มเกิดการแยกชั้น ซึ่งเป็นจุดสิ้นสุดการเกิดไมโครอิมัลชัน จากนั้นจึงนำปริมาณร้อยละโดยน้ำหนักของส่วนประกอบต่างๆ ที่ผสมกันแล้วได้ไมโครอิมัลชันที่มีลักษณะเป็นของเหลวใสไปเขียนกราฟสามเหลี่ยมเพื่อหาพื้นที่ไมโครอิมัลชันบนแผนภาพวัฏภาคไตรภาคเทียม [15] ในงานวิจัยนี้วัฏภาคน้ำมันที่ศึกษา คือ น้ำมันเทียนเยวพาณี (ajowan oil; AO) ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารสำคัญในตำรับด้วย ของผสมระหว่างสารลดแรงตึงผิวกับสารลดแรงตึงผิวรวมที่ศึกษา คือ ของผสมระหว่างทวิน-80 (Tween-80; T80) กับโพรโพลีน ไกลคอล (propylene glycol; PG) ใน 3 อัตราส่วน คือ 1:1 2:1 และ 3:1 โดยน้ำหนัก และวัฏภาคน้ำที่ศึกษา คือ ของผสมระหว่างน้ำ (water; W) กับพอลิเอทิลีน ไกลคอล 400 (polyethylene glycol 400; PEG400) ในอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก

### 2.3 การเตรียมตำรับแอนตี้แบคทีเรียไมโครอิมัลชันจากน้ำมันเทียนเยวพาณี

เมื่อได้พื้นที่ไมโครอิมัลชันจากทั้ง 3 ระบบซึ่งมีของผสมระหว่างสารลดแรงตึงผิวกับสารลดแรงตึงผิวรวมที่ต่างกันแล้ว เลือกจุดที่มีสัดส่วนของวัฏภาคน้ำมันต่ำกว่าวัฏภาคน้ำ เพื่อให้ได้ไมโครอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ และมีปริมาณสารลดแรงตึงผิวต่ำ เพื่อลดความเสี่ยงในการเกิดความระคายเคืองต่อผิวหนัง โดยเลือกจากระบบละ 2 จุด เพื่อเป็นตัวแทนของแต่ละระบบ ซึ่งรวมเป็น 6 ตำรับ จากนั้นเตรียมตำรับด้วยการคนผสมส่วนประกอบทั้งหมดให้เข้ากัน โดยเตรียม 3 ซ้ำ (triplicate) ที่อุณหภูมิโดยรอบ

## 2.4 การศึกษาสมบัติและความคงตัวของแอนตี้แบคทีเรียไมโครอิมัลชันจากน้ำมันเทียนเยาพาณี

สังเกตลักษณะที่มองเห็นด้วยตาเปล่าของตำรับที่เตรียมได้ ได้แก่ ความใส และสี ศึกษาชนิดของไมโครอิมัลชันโดยสังเกตการผสมเข้ากันได้เมื่อเจือจาง (drop dilution test) ด้วยการหยดตัวอย่างลงในตัวกลางซึ่งเป็นสารละลายสี brilliant blue ในน้ำและสารละลายสี Sudan III ในน้ำมัน รวมถึงวัดค่าการนำไฟฟ้า (conductivity) ของตัวอย่างด้วย electrical conductivity meter (Mettler Toledo, Switzerland) วัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ด้วย pH meter (a-AB33PH, Ohaus Corporation, USA) วัดความหนืด (viscosity) และศึกษารูปแบบการไหล (rheological characteristics) ด้วย rheometer (DV-III Ultra, Brookfield Engineering Laboratories, USA) โดยใช้ spindle No. 31 ที่หมุนด้วยความเร็วรอบ 30 50 70 100 และ 120 รอบต่อนาที (rpm) แล้วนำข้อมูลที่ได้ไปเขียน rheograms ระหว่างความเค้นเฉือน (shear stress) กับอัตราเฉือน (shear rate) โดยวัดทุกสมบัติ 3 ชั่วโมงโดยรอบ

ศึกษาความคงตัวของตัวอย่างที่สภาวะปกติ โดยเก็บตำรับในขวดแก้วใส วางที่อุณหภูมิโดยรอบ เป็นระยะเวลา 60 วัน จากนั้นสังเกตและศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสมบัติต่างๆ ทางกายภาพ รวมถึงวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันเทียนเยาพาณีในตำรับที่เวลา 30 และ 60 วัน เปรียบเทียบกับเมื่อเริ่มต้น (เวลา 0 วัน) ยกเว้น สมบัติด้านความหนืดที่ศึกษาที่เวลา 0 และ 30 วัน

## 2.5 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันเทียนเยาพาณี

วิเคราะห์ปริมาณน้ำมันเทียนเยาพาณีด้วยเทคนิคอัลตราไวโอเลตและวิธีเปิลสเปกโทรสโคปี (UV-visible spectroscopy) โดยสแกนการดูดกลืนแสง (absorbance) ของสารละลายน้ำมันเทียนเยาพาณี ความเข้มข้น 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ( $\mu\text{g}/\text{mL}$ ) ในเอทานอลร้อยละ 95 ในช่วงความยาวคลื่น 200-400 นาโนเมตร (nm) โดยใช้เอทานอลร้อยละ 95 เป็นแบลนด์ (blank) เพื่อหาความยาวคลื่นที่ดูดกลืนแสงได้สูงสุด (maximum wavelength) ของน้ำมันเทียนเยาพาณีด้วย UV-VIS spectrophotometer (UV-1280, Shimadzu, Japan) จากนั้นสร้างกราฟมาตรฐาน (calibration curve) ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายน้ำมันเทียนเยาพาณีในช่วงความเข้มข้น 20-100  $\mu\text{g}/\text{mL}$  ในเอทานอลร้อยละ 95 และค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นที่สารละลายน้ำมันเทียนเยาพาณีในเอทานอลร้อยละ 95 ดูดกลืนแสงได้สูงสุด ซึ่งมีเกณฑ์ว่าต้องมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (linearity) โดยมี

ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination,  $r^2$ ) สูงกว่า 0.999

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันเทียนเยาพาณีในตำรับ มีขั้นตอนดังนี้ ชั่งตำรับแอนตี้แบคทีเรียไมโครอิมัลชันจากน้ำมันเทียนเยาพาณี 0.0200 กรัม ด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (Sartorius BP 300 S Analytical balance, Sartorius AG, Germany) จากนั้นละลายและปรับปริมาตรให้ครบ 25 มิลลิลิตร (mL) ด้วยเอทานอลร้อยละ 95 ในขวดวัดปริมาตร (volumetric flask) ขนาด 25 mL จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นที่ดูดกลืนแสงได้สูงสุดตามที่สแกนไว้ โดยใช้เอทานอลร้อยละ 95 เป็นแบลนด์ นำค่าการดูดกลืนแสงของส่วนประกอบอื่นๆ ในตำรับซึ่งเตรียมโดยผสมในชนิดและปริมาณเดียวกันกับตำรับที่ศึกษา ยกเว้นใช้น้ำมันเทียนเยาพาณี ไปหักลบกับค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างแอนตี้แบคทีเรียไมโครอิมัลชัน และเทียบกับกราฟมาตรฐาน วิเคราะห์แต่ละตัวอย่าง 3 ชั่วโมง

## 2.6 การทดสอบประสิทธิภาพของแอนตี้แบคทีเรียไมโครอิมัลชัน

จากน้ำมันเทียนเยาพาณีในการยับยั้งเชื้อ *S. aureus*

ศึกษาประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อ *S. aureus* ด้วยวิธี agar well diffusion [18] โดยเลี้ยงเชื้อ *S. aureus* ATCC 25923 (DMST 8840, กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ ประเทศไทย) ใน Tryptic Soy Agar ที่อุณหภูมิ 35-37 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นหั่นหน้าอาหารเลี้ยงเชื้อด้วย 0.9% Normal Saline และปรับความขุ่นของเชื้อโดยปรับค่าดูดกลืนแสงให้ได้เท่ากับ 0.1 เมื่อวัดด้วย spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 625 nm ซึ่งจะได้ความเข้มข้นเชื้อเท่ากับ  $10^8$  cfu/mL จากนั้นใช้ sterile cotton swab จุ่มลงในหลอดเชื้อ *S. aureus* แล้วบดกับข้างหลอดเหนือระดับของของเหลวให้หมาดๆ นำไปขีดเชื้อ (streak) บนผิวหน้าของ Mueller-Hinton Agar โดยทำซ้ำ 3 ครั้ง แต่ครั้งละหมุนจาน 60 องศา เพื่อให้เชื้อกระจายอย่างสม่ำเสมอ เจาะหลุมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.0 มิลลิเมตร (mm) บนอาหารเลี้ยงเชื้อด้วย cork borer เพื่อหยดตัวอย่างที่ต้องการทดสอบลงไปหลุมละ 50 ไมโครลิตร จากนั้นนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 35-37 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และอ่านผลโดยวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของพื้นที่ยับยั้งเชื้อ (diameter of inhibition zone) ด้วย antibiotic zone reader เลือกศึกษา 4 ตำรับ คือ ME-1 และ ME-2 ซึ่งอยู่ในระบบ 1:1 T80:PG ME-4 ซึ่งอยู่ในระบบ 2:1 T80:PG และ ME-5 ซึ่งอยู่ในระบบ 3:1 T80:PG โดยใช้ยา Clinda-M<sup>®</sup> ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้าในรูปแบบสารละลายที่ประกอบด้วยยา clindamycin

ตำรับ	อัตราส่วน T80:PG	ปริมาณ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)		
		T80:PG	W:PEG400	AO
ME-1	1:1	53	40	7
ME-2	1:1	49	44	7
ME-3	2:1	50	42	8
ME-4	2:1	40	54	6
ME-5	3:1	47	46	7
ME-6	3:1	38	57	5

hydrochloride เทียบเท่ากับ clindamycin base 1.0 กรัม/100 มิลลิลิตร เป็นกลุ่มควบคุมแบบบวก (positive control) และ sterile normal saline เป็นกลุ่มควบคุมแบบลบ (negative control) ศึกษาตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

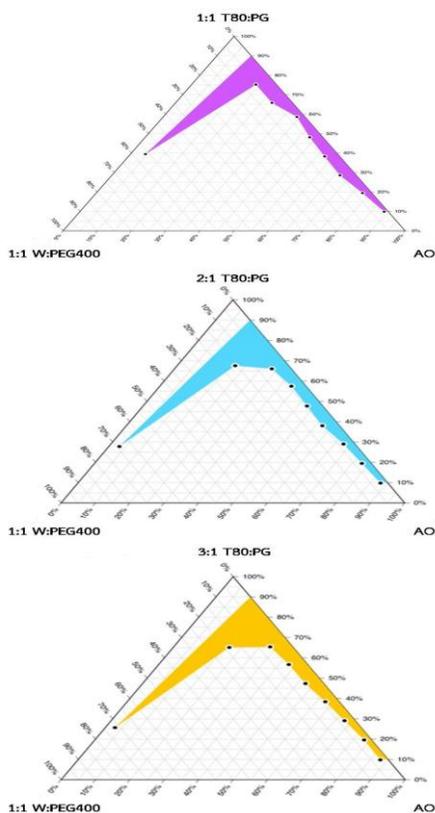
### 2.7 การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (one-way ANOVA) และทดสอบรายคู่ภายหลัง (post-hoc test)

## 3. ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

### 3.1 พื้นที่ไมโครอิมัลชันในแผนภาพสามเหลี่ยม

ผลการศึกษาพฤติกรรมของระบบที่ไมโครอิมัลชันที่เกิดขึ้นใน 3 ระบบ ดังภาพที่ 1 โดยระบบที่มีปริมาณทวิน-80 สูงขึ้นมีแนวโน้มที่จะทำให้เกิดพื้นที่ไมโครอิมัลชันขนาดใหญ่ขึ้น จากนั้นเลือกจุดในพื้นที่ไมโครอิมัลชันตามเกณฑ์ที่กำหนด ซึ่งมีส่วนประกอบดังตารางที่ 1



ภาพที่ 1 แผนภาพสามเหลี่ยมของระบบที่ศึกษา โดยบริเวณที่แรเงาแสดงพื้นที่ไมโครอิมัลชัน

### 3.2 สมบัติและความคงตัวของแอนตี้แบคทีเรียไมโครอิมัลชันจากน้ำมันเทียนยาวพาดิ

แอนตี้แบคทีเรียไมโครอิมัลชันจากน้ำมันเทียนยาวพาดิที่เตรียมได้ทั้ง 6 ตำรับ (ME-1–ME-6) มีลักษณะเป็นของเหลวใสเหลืองอ่อน ผลการสังเกตลักษณะที่มองเห็นด้วยตาเปล่าของตำรับหลังเก็บ ME-1–ME-6 ในขวดแก้วใส ที่อุณหภูมิโดยรอบ เป็นระยะเวลา 30 วัน พบว่าทุกตำรับเป็นของเหลวใส ไม่เกิดการแยกชั้น แต่มีสีเหลืองเข้มกว่าเมื่อเริ่มต้น และหลังเก็บ 60 วัน ทุกตำรับมีลักษณะเช่นเดียวกับหลังเก็บ 30 วัน ดังภาพที่ 2 แต่ไม่พบการเปลี่ยนสีของน้ำมันเทียนยาวพาดิเดี่ยวๆ ที่เก็บภายใต้สภาวะเดียวกัน ซึ่งไม่ทราบสาเหตุที่แน่ชัด แต่คาดว่าอาจเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันขององค์ประกอบบางชนิด เช่น กรดไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acids) ในน้ำมันพืชเมื่ออยู่ในสภาวะที่มีน้ำ โดยก่อนหน้านี้ มีรายงานว่าไมโครอิมัลชันที่เตรียมจากน้ำมันมะพร้าวและไมโครอิมัลชันที่เตรียมจากน้ำมันมะกอกมีสีเข้มขึ้นเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 45 °C นาน 3 เดือน ขณะที่น้ำมันมะพร้าวและน้ำมันมะกอกที่เก็บภายใต้สภาวะเดียวกันไม่เกิดการเปลี่ยนสี [19] ดังนั้น ควรเก็บแอนตี้แบคทีเรียไมโครอิมัลชันจากน้ำมันเทียนยาวพาดิในภาชนะกันแสงที่อุณหภูมิต่ำ หรือเติมสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) ลงในตำรับ เพื่อชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน



ภาพที่ 2 ลักษณะที่มองเห็นด้วยตาเปล่าของแอนตี้แบคทีเรียไมโครอิมัลชันจากน้ำมันเทียนยาวพาดิ หลังเตรียม (Day 0) และหลังเก็บที่อุณหภูมิโดยรอบนาน 30 วัน (Day 30) และ 60 วัน (Day 60) (n=3)

ทุกตำรับผสมเข้ากันได้ (miscible) กับ brilliant blue aqueous solution แต่ไม่ผสมเข้ากัน (immiscible) กับ Sudan III oily solution (ข้อมูลไม่แสดง) และทุกตำรับมีค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ยหลังเตรียม 15.73-31.36 ไมโครซีเมนส์/เซนติเมตร ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) ซึ่งจัดเป็นค่าที่สูงในกรณีที่ส่วนประกอบในตำรับเป็นสารที่ไม่มีประจุ ดังนั้นทุกตำรับเป็นไมโครอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ เนื่องจากมีปริมาณวัฏภาคน้ำสูงกว่าวัฏภาคน้ำมัน นอกจากนี้ พบว่าการเก็บตำรับ 60 วัน ไม่มีผลต่อชนิดของไมโครอิมัลชัน ดังตารางที่ 2

ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของทุกตำรับอยู่ในช่วงที่เป็นกลาง ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางสำหรับผิวพรรณ การเก็บตำรับนาน 60 วัน ไม่มีผลต่อความเป็นกรด-ด่าง ดังตารางที่ 3 ผลการศึกษารูปแบบการไหลของตำรับหลังเตรียม และหลังเก็บที่อุณหภูมิโดยรอบนาน 30 วัน พบว่า rheograms ระหว่างความเค้นเฉือนกับอัตราเฉือนของทุกตำรับมีลักษณะเป็นเส้นตรงที่มีความชันคงที่ (ข้อมูลไม่แสดง) ดังนั้น ทุกตำรับไหลแบบนิวโตเนียน (Newtonian flow) [20] ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะอย่างหนึ่งของไมโครอิมัลชัน [13] ทุกตำรับมีความหนืดเฉลี่ยหลังเตรียม 123.1-219.0 เซนติพอยส์ (cP) เมื่อวัดที่ความเร็วรอบ spindle 120 rpm ดังแสดงในตารางที่ 4 ซึ่งเป็นความหนืดในช่วงที่หาบนิวหนิงได้ง่าย หลังเก็บตำรับ 30 วัน ความหนืดลดลง อย่างไรก็ตาม มีการเปลี่ยนแปลงน้อย ซึ่งคาดว่าไม่ส่งผลกระทบต่อความรู้สึกในการทาผิวหน้

ตารางที่ 2 ค่าการนำไฟฟ้าของแอนตี้แบคทีเรียไมโครอิมัลชันจากน้ำมันเทียนยาวพาดิ หลังเตรียม (Day 0) และหลังเก็บที่อุณหภูมิโดยรอบนาน 30 วัน (Day 30) และ 60 วัน (Day 60) (mean $\pm$ SD, n=3)

ตำรับ	ค่าการนำไฟฟ้า ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )		
	Day 0	Day 30	Day 60
ME-1	15.73 $\pm$ 0.80	16.10 $\pm$ 0.89	19.46 $\pm$ 1.85
ME-2	18.47 $\pm$ 1.24	21.42 $\pm$ 1.50	20.30 $\pm$ 1.99
ME-3	18.64 $\pm$ 2.41	17.32 $\pm$ 1.12	18.37 $\pm$ 1.63
ME-4	23.89 $\pm$ 0.75	27.67 $\pm$ 1.79	27.50 $\pm$ 0.65
ME-5	17.41 $\pm$ 0.63	21.02 $\pm$ 0.69	21.58 $\pm$ 0.99
ME-6	31.36 $\pm$ 0.83	29.94 $\pm$ 0.47	29.19 $\pm$ 1.24

ตารางที่ 3 pH ของแอนตี้แบคทีเรียไมโครอิมัลชันจากน้ำมันเทียนยาวพาดิ หลังเตรียม (Day 0) และหลังเก็บที่อุณหภูมิโดยรอบนาน 30 วัน (Day 30) และ 60 วัน (Day 60) (mean $\pm$ SD, n=3)

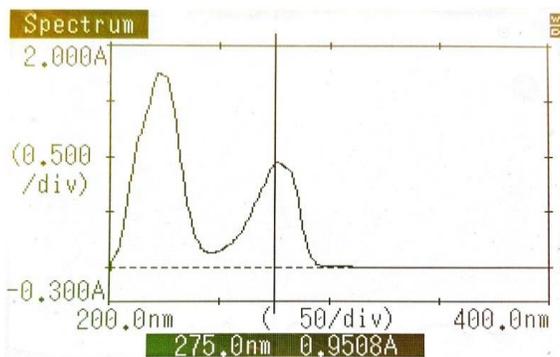
ตำรับ	pH		
	Day 0	Day 30	Day 60
ME-1	7.27 $\pm$ 0.06	7.03 $\pm$ 0.06	7.02 $\pm$ 0.19
ME-2	7.40 $\pm$ 0.04	6.99 $\pm$ 0.08	6.92 $\pm$ 0.04
ME-3	7.40 $\pm$ 0.05	7.14 $\pm$ 0.04	7.03 $\pm$ 0.08
ME-4	7.43 $\pm$ 0.06	7.01 $\pm$ 0.06	6.84 $\pm$ 0.07
ME-5	7.41 $\pm$ 0.03	7.19 $\pm$ 0.02	6.95 $\pm$ 0.03
ME-6	7.41 $\pm$ 0.01	7.04 $\pm$ 0.07	6.74 $\pm$ 0.06

ตารางที่ 4 ความหนืดที่ความเร็วรอบในการหมุน spindle 120 rpm ของแอนตี้แบคทีเรียไมโครอิมัลชันจากน้ำมันเทียนยาวพาดิ หลังเตรียม (Day 0) และหลังเก็บที่อุณหภูมิโดยรอบนาน 30 วัน (Day 30) (mean $\pm$ SD, n=3)

ตำรับ	ความหนืด (cP)	
	Day 0	Day 30
ME-1	127.5 $\pm$ 0.5	123.4 $\pm$ 0.5
ME-2	123.1 $\pm$ 2.0	117.9 $\pm$ 1.4
ME-3	187.0 $\pm$ 2.7	168.2 $\pm$ 2.4
ME-4	174.0 $\pm$ 2.8	157.6 $\pm$ 0.5
ME-5	219.0 $\pm$ 3.4	198.4 $\pm$ 0.8
ME-6	214.1 $\pm$ 1.1	195.2 $\pm$ 2.3

### 3.3 ความคงตัวของเคมีของแอนตี้แบคทีเรียไมโครอิมัลชันจากน้ำมันเทียนยาวพาดิ

จากการสแกนค่าการดูดกลืนแสง พบว่าสารละลายน้ำมันเทียนยาวพาดิในเอทานอลร้อยละ 95 ดูดกลืนแสงได้สูงที่ความยาวคลื่น 220 และ 275 nm ดังภาพที่ 3 อย่างไรก็ตาม มีความเป็นไปได้ว่าพีค (peak) ที่ 220 nm เกิดจากตัวทำละลาย ในการศึกษานี้ จึงเลือกวิเคราะห์ที่ความยาวคลื่น 275 nm ซึ่งสอดคล้องกับความยาวคลื่นในการดูดกลืนแสงของ thymol ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในน้ำมันเทียนยาวพาดิที่มีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย [21] ผลการสร้างกราฟมาตรฐาน พบว่าความเข้มข้นของสารละลายน้ำมันเทียนยาวพาดิในเอทานอลร้อยละ 95 ในช่วงความเข้มข้น 20-100 µg/mL และค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 275 nm มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง โดยมีค่า  $r^2 = 0.9996$  และอธิบายด้วยสมการ  $y = 0.0092x - 0.0059$  เมื่อ  $y$  คือ ค่าการดูดกลืนแสง และ  $x$  คือ ความเข้มข้นของสารละลายน้ำมันเทียนยาวพาดิในเอทานอลร้อยละ 95 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันเทียนยาวพาดิในตำรับไมโครอิมัลชันซึ่งอยู่ในรูปสารที่ละลายได้ในเอทานอลร้อยละ 95 และสามารถดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 275 nm แสดงในตารางที่ 5 ซึ่งพบว่าปริมาณหลังเตรียมและหลังเก็บ 30 วัน รวมถึง 60 วัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) นั่นคือ ทุกตำรับมีความคงตัวทางเคมีภายใต้สภาวะที่ศึกษา เมื่อวิเคราะห์ในรูปของ thymol อย่างไรก็ตาม พบการเปลี่ยนสีซึ่งคาดว่าอาจเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว



ภาพที่ 3 การดูดกลืนแสงของสารละลายน้ำมันเทียนยาวพาดิความเข้มข้น 100 µg/mL ในเอทานอลร้อยละ 95 ในช่วงความยาวคลื่น 200-400 nm

ตารางที่ 5 ปริมาณน้ำมันเทียนยาวพาดิในตำรับไมโครอิมัลชันซึ่งอยู่ในรูปสารที่ละลายได้ในเอทานอลร้อยละ 95 และสามารถดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 275 nm หลังเตรียม (Day 0) และหลังเก็บที่อุณหภูมิโดยรอบนาน 30 วัน (Day 30) และ 60 วัน (Day 60) (mean ± SD, n=3)

ตำรับ	ปริมาณน้ำมันเทียนยาวพาดิ (กรัม/ตำรับ 0.0200 กรัม)		
	Day 0	Day 30	Day 60
ME-1	0.0013±0.0001	0.0013±0.0000	0.0013±0.0001
ME-2	0.0014±0.0001	0.0014±0.0001	0.0014±0.0001
ME-3	0.0016±0.0001	0.0016±0.0000	0.0016±0.0000
ME-4	0.0012±0.0000	0.0013±0.0000	0.0013±0.0001
ME-5	0.0013±0.0001	0.0015±0.0000	0.0014±0.0001
ME-6	0.0011±0.0001	0.0010±0.0000	0.0011±0.0000

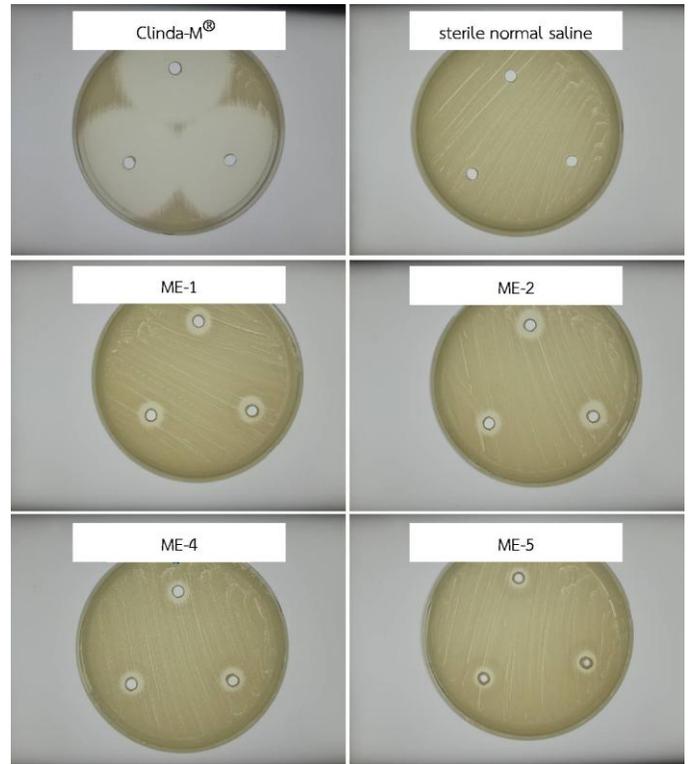
### 3.4 ประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อ S. aureus ของแอนตี้แบคทีเรียไมโครอิมัลชันจากน้ำมันเทียนยาวพาดิ

ผลการทดสอบประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อ *S. aureus* ดังภาพที่ 4 และขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของพื้นที่ยับยั้งเชื้อ *S. aureus* ในตารางที่ 6 พบว่ายา Clinda-M<sup>®</sup> ซึ่งเป็นกลุ่มควบคุมแบบบวกสามารถยับยั้งเชื้อได้ดี โดยให้ผลเส้นผ่านศูนย์กลางของพื้นที่ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียที่มีขนาดใหญ่ ขณะที่ sterile normal saline ซึ่งเป็นกลุ่มควบคุมแบบลบ ไม่สามารถยับยั้งเชื้อ แสดงว่าวิธีทดสอบที่ใช้มีความถูกต้อง แอนตี้แบคทีเรียไมโครอิมัลชันจากน้ำมันเทียนยาวพาดิที่เลือกมาศึกษา 4 ตำรับ คือ ME-1 ME-2 ME-4 และ ME-5 ทำให้เกิดพื้นที่ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ ถึงแม้ว่าทั้ง 4 ตำรับนี้ให้ผลเส้นผ่านศูนย์กลางของพื้นที่ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียต่ำกว่ายา Clinda-M<sup>®</sup> มาก แต่มีค่าใกล้เคียงกับผลการยับยั้งเชื้อ *S. aureus* ของผลิตภัณฑ์ผลผสมสารสกัดหยาบจากลำต้นโนราในรายงานวิจัยก่อนหน้านี้ [22] ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการยับยั้งเชื้อ *S. aureus* ของ ME-1 ME-2 ME-4 และ ME-5 ด้วย one-way ANOVA ได้ค่า  $p=0.026$  แสดงว่ามีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างน้อยหนึ่งคู่ระหว่างกลุ่ม ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และเมื่อทำ post-hoc test ด้วยวิธี least significant difference (LSD) พบว่าคู่ ME-1 กับ ME-2 และคู่ ME-4 กับ ME-5 มีผลการยับยั้งเชื้อ *S. aureus* ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) แต่ ME-1 และ ME-2 มีผลนี้แตกต่างจาก ME-4 และ ME-5 อย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) ดังนั้น แอนตี้แบคทีเรียไมโครอิมัลชันจากน้ำมันเทียนยาวพาดิทั้ง 4 ตำรับนี้จึงมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อ *S.*

*aureus* โดยลำดับค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางของพื้นที่ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียจากสูงไปต่ำ คือ ME-2 ≈ ME-1 > ME-5 ≈ ME-4

การศึกษานี้ ไม่สามารถประเมินความเกี่ยวข้องระหว่างประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อ *S. aureus* กับชนิดและปริมาณของส่วนประกอบในตำรับได้อย่างชัดเจน เนื่องจากระบบไมโครอิมัลชันที่ศึกษา ทำให้เกิดพื้นที่ไมโครอิมัลชันขนาดเล็กและมีลักษณะใกล้เคียงกัน ตำรับที่เลือกจากพื้นที่ไมโครอิมัลชันจึงมีความใกล้เคียงกันด้วย อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อ *S. aureus* ของ ME-2 และ ME-5 ซึ่งมีน้ำมันเทียนยาวพาดิในปริมาณร้อยละ 7 โดยน้ำหนักเท่ากัน แต่มีทวิน-80 ในปริมาณต่ำสุด (คิดเป็นทวิน-80 ร้อยละ 24.5 โดยน้ำหนัก) และสูงสุด (คิดเป็นทวิน-80 ร้อยละ 35.25 โดยน้ำหนัก) ตามลำดับ พบว่า ME-2 มีฤทธิ์สูงกว่า ME-5 อย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) ขณะที่ ME-4 ซึ่งมีน้ำมันเทียนยาวพาดิในปริมาณต่ำ มีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อ *S. aureus* ต่ำด้วย ดังนั้น ประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อ *S. aureus* ของตำรับในการศึกษานี้ เป็นผลจากน้ำมันเทียนยาวพาดิซึ่งทำหน้าที่เป็นทั้งสารสำคัญที่มีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียและตัวพาหะน้ำมันในตำรับ นอกจากนี้ พบว่า ME-4 และ ME-5 ซึ่งมีน้ำมันเทียนยาวพาดิในปริมาณร้อยละ 6 และ 7 โดยน้ำหนักตามลำดับ มีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) เนื่องจากผลของปริมาณทวิน-80 ที่ต่างกัน

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางของพื้นที่ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของตำรับ ME-1 ME-2 และ ME-5 ซึ่งมีปริมาณน้ำมันเทียนยาวพาดิร้อยละ 7 โดยน้ำหนักเท่ากัน แต่มีปริมาณทวิน-80 ต่างกัน ซึ่งคิดเป็นทวิน-80 ร้อยละ 26.5 24.5 และ 35.25 โดยน้ำหนักตามลำดับ พบว่า ME-5 มีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อต่ำกว่า ME-1 และ ME-2 อย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) แสดงว่าตำรับที่มีปริมาณทวิน-80 สูงขึ้น มีแนวโน้มยับยั้งเชื้อ *S. aureus* ลดลง สอดคล้องกับรายงานก่อนหน้านี้ซึ่งพบว่าของผสมระหว่างทวิน-80 กับน้ำมันหอมระเหย 3 ชนิด คือ cinnamon bark oil, eugenol และ thyme oil ที่มีปริมาณทวิน-80 สูงขึ้น มีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อ *Listeria monocytogenes* ลดลง เพราะการจับกันระหว่างโครงสร้างทางเคมีในส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic binding) ของทวิน-80 กับน้ำมันหอมระเหย [23]



ภาพที่ 4 พื้นที่ยับยั้งเชื้อ *S. aureus* ของยา Clinda-M® (กลุ่มควบคุมแบบบวก) sterile normal saline (กลุ่มควบคุมแบบลบ) และแอนตี้แบคทีเรียไมโครอิมัลชันจากน้ำมันเทียนยาวพาดิ 4 ตำรับ คือ ME-1 ME-2 ME-4 และ ME-5 (n=3)

ตารางที่ 6 เส้นผ่านศูนย์กลางของพื้นที่ยับยั้งเชื้อ *S. aureus* ของกลุ่มควบคุมและแอนตี้แบคทีเรียไมโครอิมัลชันจากน้ำมันเทียนยาวพาดิ (mean ± SD, n=3)

ตำรับ	เส้นผ่านศูนย์กลางของพื้นที่ยับยั้งเชื้อ (mm)
กลุ่มควบคุมแบบบวก	46.2 ± 3.4
กลุ่มควบคุมแบบลบ	No inhibition zone
ME-1	9.6 ± 0.2 <sup>a</sup>
ME-2	9.7 ± 0.9 <sup>a</sup>
ME-4	8.2 ± 0.5 <sup>b</sup>
ME-5	8.3 ± 0.6 <sup>b</sup>

หมายเหตุ เมื่อเปรียบเทียบผลยับยั้งเชื้อ *S. aureus* ของแอนตี้แบคทีเรียไมโครอิมัลชันจากน้ำมันเทียนยาวพาดิ: ตัวอักษรที่ต่างกัน (a และ b) แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

ถึงแม้ว่าโดยภาพรวม ทุกตำรับในการศึกษานี้มีสมบัติใกล้เคียงกัน ตำรับที่น่าสนใจในการนำไปพัฒนาต่อ คือ ME-2 ซึ่งประกอบด้วย น้ำมันเทียนยาวพาดิร้อยละ 7 ของผสมระหว่างน้ำกับพอลิเอทิลีน ไกลคอล 400 ในอัตราส่วน 1:1 ร้อยละ 44 และของผสมระหว่างทวิน-80 กับโพรพิลีน ไกลคอล ในอัตราส่วน 1:1 ร้อยละ 49 โดยน้ำหนัก เนื่องจากทำให้เกิดพื้นที่ที่ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียขนาดใหญ่ จึงมีแนวโน้มในการใช้เป็นเครื่องสำอางแอนตี้แอคเน่และเครื่องสำอางระงับกลิ่นกายได้ นอกจากนี้ ME-2 มีทวิน-80 ซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวในปริมาณน้อย (คิดเป็นทวิน-80 ร้อยละ 24.5 โดยน้ำหนัก) จึงมีความเสี่ยงในการเกิด ความระคายเคืองต่อผิวหนังต่ำ

#### 4. สรุปผลการวิจัย

ผลการศึกษานี้พบว่าน้ำมันเทียนยาวพาดิถูกเตรียมให้อยู่ในรูปแบบ ไมโครอิมัลชันได้ เมื่อระบบประกอบด้วยของผสมระหว่างน้ำกับพอลิเอทิลีน ไกลคอล 400 ในอัตราส่วน 1:1 เป็นวัฏภาคน้ำ และของผสมระหว่างทวิน-80 กับโพรพิลีน ไกลคอล ในอัตราส่วน 1:1 2:1 และ 3:1 เป็นสารลดแรงตึงผิวผสม อย่างไรก็ตาม พื้นที่ไมโครอิมัลชันมีขนาดเล็ก จึงเป็นข้อจำกัดในการตั้งสูตรตำรับ แอนตี้แบคทีเรียไมโครอิมัลชันจาก น้ำมันเทียนยาวพาดิที่เตรียมได้ในการศึกษานี้ เป็นไมโครอิมัลชันชนิด น้ำมันในน้ำที่มีลักษณะเป็นของเหลวใสสีเหลือง มีสมบัติ ความคงตัว และประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อ *S. aureus* ที่สามารถนำไปใช้เป็นเครื่องสำอางแอนตี้แอคเน่และเครื่องสำอางระงับกลิ่นกายได้ โดยมีข้อเสนอแนะว่าควรเก็บในภาชนะกันแสงและหลีกเลี่ยงอุณหภูมิสูง หรือ ปรับสูตรตำรับโดยเติมสารต้านอนุมูลอิสระ เพื่อป้องกันปัญหาการ เปลี่ยนสีจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว

โดยตำรับที่พบว่ามีที่น่าสนใจในการนำไปศึกษาต่อ คือ ME-2 ซึ่งประกอบด้วยน้ำมันเทียนยาวพาดิร้อยละ 7 ของผสมระหว่างน้ำกับพอลิเอทิลีน ไกลคอล 400 ในอัตราส่วน 1:1 ร้อยละ 44 และของผสมระหว่างทวิน-80 กับโพรพิลีน ไกลคอล ในอัตราส่วน 1:1 ร้อยละ 49 โดยน้ำหนัก เนื่องจากมีสมบัติด้านความเป็นกรด-ด่าง ความหนืด และความคงตัว ที่น่าพอใจ รวมถึงมีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อ *S. aureus* สูง และมีปริมาณสารลดแรงตึงผิวต่ำกว่าตำรับอื่นๆ ที่เลือกมาศึกษา สมบัตินี้ จึงควรศึกษาต่อด้านประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิดอื่นๆ ที่ก่อให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพของผิวพรรณ ได้แก่ *C. acnes* ซึ่งเป็นสาเหตุหลักของสิว และ *S. epidermidis* ซึ่งเป็นสาเหตุหลักของกลิ่นกาย รวมถึงความคงตัวในระยะยาว และความปลอดภัยต่อผิวหนัง

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับบสนับสนุนจากคณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ประเภทโครงการนักศึกษา ประจำปีงบประมาณ 2568 (PHA6804057S)

#### เอกสารอ้างอิง

1. Fox L, Csongradi C, Aucamp M, du Plessis J, Gerber M. Treatment modalities for acne. *Molecules*. 2016;21:1063.
2. Khuntayaporn P, Suksiriworapong J. Efficacy of essential oil formulations against malodor causing bacteria. *Pharm Sci Asia*. 2017;44:209-216.
3. Grand View Research. Anti-acne cosmetics market size & trends. [cited 2025 Apr 29]. Available from: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/anti-acne-cosmetics-market>.
4. Grand View Research. Odor control system market size & trends. [cited 2025 Apr 29]. Available from: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/odor-control-system-market>.
5. Singh G, Maurya S, Catalan C, Lampasona MP. Chemical constituents, antifungal and antioxidative effects of ajwain essential oil and its acetone extract. *J Agric Food Chem*. 2004;52:3292-3296.
6. Subramaniyan P, Jeeva Jothi L, Sundharaiya K, Shoba N, Murugesan S. Extraction of essential oil and thymol from different ajowan (*Trachyspermum ammi* L.) genotypes using gas chromatography. *Pharma Innovation J*. 2019;8: 548-552.
7. Mirniyam G, Rahimmalek M, Arzani A, Matkowski A, Gharibi S, Szumny A. Changes in essential oil composition, polyphenolic compounds and antioxidant capacity of ajowan (*Trachyspermum ammi* L.) populations in response to water deficit. *Foods*. 2022;11:3084
8. วันวิสาข์ คุณะวัฒนกุล, วณิดา ไทรชมภู, ศัทธิตยา เมฆจรัสกุล, อมรรัตน์ เจริญมิตร, ชิตชนก เหล็กดี, ณีฐภากานต์ ศรีจันทร์. ฤทธิ์ต้านเชื้อสิว (*Propionibacterium acnes*) จากสมุนไพรไทย. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยมหาสารคาม*. 2560;36(5):607-613.

9. Misar K, Kulkarni S, Chandak A. Study of ajowan oil as antimicrobial agent against cosmetically important microorganisms. *Materials Today: Proceedings*. 2020;29: 1179-1184.
10. Wongkattiya N, Sanguansermisri P, Assawatheptawee K, Niomsup PR, Fraser IH, Sanguansermisri D. Antibacterial activity of ajwain oil on multidrug-resistant enterobacteriaceae isolated from human faeces. *Songklanakarin J Sci Technol*. 2022;44:785-793.
11. Talebi Z, Afshari GK, Nasrollahi SA, Firooz A, Ghovvati M, Samadi A, Karimi M, Kolahdooz S, Vazirian M. Potential of *Trachyspermum ammi* (ajwain) gel for treatment of facial acne vulgaris: a pilot study with skin biophysical profile assessment and red fluorescence photography. *Res J Pharmacogn*. 2020;7:61-69
12. Tandekar AR, Khursam AA, Sarve A, Somkuwar PA, Dhawade AG. Formulation and evaluation of ajwain soap for antibacterial and antifungal activity. *Int J of Pharm Sci*. 2024;2:2629-2639.
13. Boonme P. Applications of microemulsions in cosmetics. *J Cosmet Dermatol*. 2007;6:223-228.
14. Azeem A, Rizwan M, Ahmad FJ, Khan ZI, Khar RK, Aqil M, Talegaonkar S Emerging role of microemulsions in cosmetics, *Recent Pat Drug Deliv Formul*. 2008;2:275-289.
15. ณัฐธิดา ภัคพัตต์, ทรงวุฒิ ยศวิมลวัฒน์, ประภาพร บุญมี. กรีน-ไมโครอิมัลชันสำหรับเครื่องสำอาง. *วารสารไทยเภสัชศาสตร์และวิทยาการสุขภาพ* 2554;6(4):290-298.
16. Talianu MT, Dinu-Pirvu CE, Violeta GM, Anuta V, Jinga V, Popa L. Foray into concepts of design and evaluation of microemulsions as a modern approach for topical applications in acne pathology. *Nanomaterials*. 2020;10: 2292.
17. Boonme P, Songkro S. Antiperspirants and deodorants: active ingredients and novel formulations. *J Clin Dermatol*. 2010;1(2):67-72.
18. ปิยนุช พรหมภมร, นภััสสร ราชรินทร์. การประเมินฤทธิ์ต้านแบคทีเรียและการพัฒนาตำรับเจลจากสารสกัดสมอไทย. *วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยสวนดุสิต*. 2559;9:51-63.
19. Hlaing NHE, Pakpayat N, Boonme P. Stability and release kinetics of natural oil microemulsions containing nicotinamide. *J Cosmet Sci*. 2020;71(1):23-35.
20. Sinko PJ., editor. Chapter 19: Rheology. In: *Martin's Physical Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*. 6th Edition. Lippincott Williams & Wilkins, USA, 2011, pp. 469-491.
21. Gaba J, Sharma S, Kaur P, Joshi S. Essential oil and thymol extracted from ajwain as effective antioxidant agents. *J Spices Aromatic Crops*. 2019;28:141-146.
22. จีติมา ละอองจีติรัตน์, ศศมล ผาสุก, ปุณยบุษ นิลแสง. ประสิทธิภาพของเจลผสมสารสกัดหยาบโนราในการยับยั้งแบคทีเรียก่อโรค. *วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์*. 2563;15:99-113.
23. Ma Q, Davidson PM, Zhong Q. Antimicrobial properties of microemulsions formulated with essential oils, soybean oil, and Tween 80. *Int J Food Microbiol*. 2016; 226:20-25.



## Research Article

## Study the appropriate ratio of wheat flour and buckwheat flour to develop a healthy steamed bun product.

### ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของแป้งผสมระหว่างแป้งสาลีและแป้งบัควีท เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ซาลาเปาเพื่อสุขภาพ

อรรถัย ชุ่มเย็น<sup>1</sup>, รાયวดี ผดุงกาญจน์<sup>1</sup>, กิติภูมิ นิลจันทร์<sup>1\*</sup>

Orrathai Chumyen<sup>1</sup>, Rayawadi Phadungkan<sup>1</sup>, Kitipoom Nilchan<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ, กรุงเทพมหานคร, 10120

<sup>1</sup>Faculty of Liberal Arts Rajamangala University of Technology Krungthep, Bangkok, 10120

#### Article Info

Received 22 October  
2025

Revised 24 December  
2025

Accepted 26 December  
2025

#### Abstract

This study investigated the effects of wheat flour substitution with buckwheat flour at different ratios on the quality of steamed buns (salapao). A control sample prepared with 100% wheat flour was compared with composite flour samples containing wheat flour to buckwheat flour ratios of 60:40, 70:30, and 80:20. Sensory evaluation was performed by 30 untrained panelists using a 9-point hedonic scale. The data were analyzed using analysis of variance (ANOVA) at a significance level of  $p \leq 0.05$ . The control sample exhibited significantly higher lightness ( $L^*$ ) values and volume than all composite samples, while increasing the proportion of buckwheat flour resulted in reduced lightness and volume. In contrast, hardness and chewiness increased significantly with higher levels of buckwheat flour, whereas springiness and cohesiveness decreased. The sample containing the highest proportion of buckwheat flour (60:40) showed the greatest hardness and chewiness values. No significant differences in overall acceptability were observed among the samples ( $p > 0.05$ ); nevertheless, the 60:40 sample received the highest mean overall liking score. Chemical analysis revealed that buckwheat flour incorporation significantly increased protein, dietary fiber, ash, and fat contents, while carbohydrate content decreased. The 60:40 sample contained the highest protein (6.57%) and dietary fiber (7.81%) levels. These results indicate that partial substitution of wheat flour with buckwheat flour at a ratio of 60:40 can enhance the nutritional profile of steamed buns without adversely affecting consumer acceptability, despite changes in physical and textural properties.

**Keywords:** Buckwheat flour, Steamed bun, Health products

## บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของอัตราส่วนแป้งผสมระหว่างแป้งสาลีและแป้งบัควีตต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ซาลาเปา โดยเปรียบเทียบสูตรควบคุม (แป้งสาลี 100%) กับสูตรผสมแป้งสาลีต่อแป้งบัควีตในอัตราส่วน 60:40, 70:30 และ 80:20 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสดำเนินการโดยผู้ทดสอบจำนวน 30 คน ใช้วิธี 9-point hedonic scale และวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธี ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ  $p \leq 0.05$  ผลการศึกษาพบว่า สูตรควบคุมมีความสว่าง ( $L^*$ ) และปริมาตรสูงสุด ขณะที่การเพิ่มแป้งบัควีตส่งผลให้ค่าความสว่างและปริมาตรลดลงอย่างมีนัยสำคัญ พร้อมทั้งทำให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้น และค่าความยืดหยุ่นและความยืดเกาะภายในลดลง โดยสูตรที่ใช้แป้งบัควีตในสัดส่วนสูงสุด (60:40) ให้ค่าความแข็งและความเคี้ยวได้สูงที่สุด ด้านคุณภาพทางประสาทสัมผัส คะแนนความชอบโดยรวมของซาลาเปาทุกสูตรไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) อย่างไรก็ตาม สูตรที่ 1 (60:40) ให้คะแนนเฉลี่ยความชอบโดยรวมสูงที่สุด ด้านคุณสมบัติทางเคมี การเติมแป้งบัควีตช่วยเพิ่มปริมาณโปรตีน โยอาหาร ไขมัน และคาร์โบไฮเดรตอย่างมีนัยสำคัญ โดยสูตรที่ 1 มีโปรตีน (6.57%) และโยอาหาร (7.81%) สูงที่สุด จากผลการศึกษาสรุปได้ว่า การใช้แป้งบัควีตในอัตราส่วน 60:40 สามารถเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของซาลาเปาได้ โดยยังคงการยอมรับของผู้บริโภคในระดับที่ดี แม้คุณสมบัติทางกายภาพและเนื้อสัมผัสจะเปลี่ยนแปลงไปจากสูตรควบคุม

**คำสำคัญ:** แป้งบัควีต, ซาลาเปา, ผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพ

## 1. บทนำ

ในปัจจุบัน ผู้บริโภคให้ความสำคัญกับการบริโภคอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการและส่งเสริมสุขภาพมากขึ้น ส่งผลให้เกิดการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารดั้งเดิมให้มีคุณสมบัติด้านโภชนาการที่ดีขึ้นโดยไม่ลดทอนการยอมรับของผู้บริโภค ซาลาเปาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารหนึ่งได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในกลุ่มผู้บริโภคชาวเอเชีย เนื่องจากมีลักษณะเนื้อนุ่ม รับประทานง่าย และสามารถพัฒนาสูตรได้หลากหลาย [1,2] อย่างไรก็ตาม ซาลาเปาโดยทั่วไปผลิตจากแป้งสาลีเป็นส่วนประกอบหลัก ซึ่งมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูง แต่มีโยอาหารและคุณค่าทางโภชนาการอื่น ๆ ค่อนข้างต่ำ จึงเป็นข้อจำกัดสำคัญต่อการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพ

บัควีต มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Fagopyrum esculentum* Moench อยู่ในวงศ์ Polygonaceae เป็นธัญพืชเทียมที่ได้รับความนิยมสูงมากในอุตสาหกรรมอาหาร เนื่องจากมีปริมาณโปรตีนสูง มีกรดอะมิโนจำเป็นที่ครบถ้วน และเป็นแหล่งของแร่ธาตุหลายชนิด เช่น ทองแดง แมงกานีส เหล็ก โพแทสเซียม โซเดียม และสังกะสี [3-6] นอกจากนี้ บัควีตยังเป็นแหล่งของวิตามินบี 1 วิตามินบี 2 วิตามินบี 6 และวิตามินอี รวมถึงมีโยอาหารสูง และมีสารประกอบชีวภาพ เช่น กรดฟีนอลิก และฟลาโวนอยด์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งรูตินและเคอร์ซีติน ซึ่งมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและมีศักยภาพในการส่งเสริมสุขภาพ [7-10] ด้วยคุณสมบัติ

ดังกล่าว แป้งบัควีตจึงถูกนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารหลากหลายประเภท เช่น ขนมปัง บะหมี่ และผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ [4,7] โดยองค์ประกอบทางโภชนาการของแป้งบัควีตต่อ 100 กรัม ประกอบด้วยโปรตีน 16.66 กรัม ไขมัน 3.42 กรัม คาร์โบไฮเดรต 72.19 กรัม โยอาหาร 0.58 กรัม และเถ้า 1.68 กรัม [11]

อย่างไรก็ตาม แป้งบัควีตไม่มีโปรตีนกลูเตน ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญต่อการสร้างโครงสร้างของผลิตภัณฑ์แป้ง โดยเฉพาะในผลิตภัณฑ์แป้งนึ่งที่ต้องอาศัยโครงข่ายกลูเตน (gluten network) ในการกักเก็บก๊าซและให้เนื้อสัมผัสที่นุ่มฟู [9,12] การทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งบัควีตจึงอาจส่งผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของซาลาเปา เช่น การขึ้นฟู ปริมาตร สี และลักษณะเนื้อสัมผัส รวมถึงความแข็ง ความยืดหยุ่น และความเคี้ยวได้ ซึ่งล้วนเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการรับรู้และการยอมรับของผู้บริโภค

แม้ว่าจะมีรายงานการใช้แป้งบัควีตในผลิตภัณฑ์แป้งอบและผลิตภัณฑ์อาหารประเภทอื่นอย่างแพร่หลาย [4,7,11] แต่ข้อมูลเกี่ยวกับการใช้แป้งบัควีตในผลิตภัณฑ์แป้งนึ่ง เช่น ซาลาเปา ยังมีอยู่อย่างจำกัด โดยเฉพาะในประเด็นของอัตราส่วนการทดแทนที่เหมาะสมซึ่งสามารถเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสและโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ การประเมินคุณภาพทาง

ประสาทสัมผัสร่วมกับการคุณสมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีจึงมีความจำเป็น เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างของผลิตภัณฑ์กับการรับรู้ของผู้บริโภคอย่างเป็นระบบ

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งบัควีตในผลิตภัณฑ์ซาลาเปา โดยเปรียบเทียบสูตรควบคุมกับสูตรที่มีการเติมแป้งบัควีตในระดับที่แตกต่างกัน และประเมินผลกระทบต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส คุณสมบัติทางกายภาพ และองค์ประกอบทางเคมี เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาซาลาเปาที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงขึ้นและยังคงการยอมรับของผู้บริโภค

## 2. วิธีดำเนินการวิจัย

### 2.1 วัตถุประสงค์ในการทำซาลาเปา

แป้งสาลี ตราบัวแดง แป้งบัควีต ตราเพื่อนครัว ยีสต์ ตราเฟอร์มิแพน ผงฟู ตราเบสทูปัส น้ำตาลทราย ตรามิตรผล เนยขาว ตราโอพีครีม

ตารางที่ 1 ซาลาเปาสูตรควบคุม และอัตราส่วนผสมของแป้งบัควีตที่ใช้ทดแทนแป้งสาลีในซาลาเปาที่ระดับต่างกัน

วัตถุดิบ	ส่วนผสม แป้งสาลี : แป้งบัควีต (กรัม)			
	สูตรควบคุม	สูตรที่ 1 (60 : 40)	สูตรที่ 2 (70 : 30)	สูตรที่ 3 (80 : 20)
แป้งสาลี ตราบัวแดง	650	390	455	520
แป้งบัควีต	0	260	195	130
ยีสต์	15	15	15	15
ผงฟู	5	5	5	5
น้ำตาลทราย	150	150	150	150
น้ำเปล่า	380	380	380	380
เนยขาว	40	40	40	40

### 2.3 การทดสอบคุณภาพด้านสี

นำส่วนของผิวหน้าของซาลาเปา นำไปวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสีระบบ L\* a\* และ b\* โดยใช้เครื่องวัดสี Hunter Lab รุ่น Color Quest XE โดยค่า L\* หมายถึงค่าความสว่างมีค่าตั้งแต่ 0 (ดำ) จนถึง 100 (ขาว) +a\* หมายถึงค่าความเป็นสีแดง และ -a\* หมายถึงค่าความเป็นสีเขียว +b\* หมายถึงค่าความเป็นสีเหลือง และ -b\* หมายถึงค่าความเป็นสีน้ำเงิน จากนั้นคำนวณค่า ΔE โดยคำนวณจากสมการ  $\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$

### 2.2 การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของแป้งผสมระหว่างแป้งสาลีและแป้งบัควีตต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ซาลาเปาเพื่อสุขภาพ

ดวงส่วนผสมของแป้งสำหรับทำซาลาเปา จากนั้น นำส่วนผสมทั้งหมดได้แก่ แป้งสาลี ยีสต์ ผงฟู และน้ำตาล ลงในโถตี ใส่น้ำ และเนยขาว ตีให้เข้ากันจนแป้งล่อนไม่ติดอ่าง โดยใช้เวลาในการตี 30 นาที พักแป้งไว้ 10 นาที ตัดแป้งเป็นก้อน ก้อนละ 25 กรัม คลึงแป้งเป็นก้อนกลม พักไว้ในตู้หมัก 45 นาที นำไปนึ่งในลังถึง ด้วยไฟแรง นาน 10 นาที

ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของแป้งผสมระหว่างแป้งสาลี และแป้งบัควีต ต่อคุณภาพของซาลาเปา ทั้งหมด 3 สูตร โดยการชั่งตวงส่วนผสมของแป้งสาลี และแป้งบัควีต ตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้ในอัตราส่วนตามตารางที่ 1 และทำตามขั้นตอนต่าง ๆ เหมือนการทำซาลาเปาข้างต้น

### 2.4 ปริมาตร ปริมาตรจำเพาะ และความหนาแน่นของซาลาเปา

1) ปริมาตรของซาลาเปา ด้วยการแทนที่ของเมล็ดงา ทำการหาปริมาตรของซาลาเปาโดยการนำซาลาเปาใส่ลงในภาชนะที่ทราบปริมาตรที่แน่นอน จากนั้นนำปริมาตรของภาชนะเป็นตัวตั้ง แล้วลบออกด้วยปริมาตรของเมล็ดงาที่ตวงได้จากกระบอกตวง จะเท่ากับปริมาตรของซาลาเปา

2) ปริมาตรของซาลาเปา คำนวณโดยใช้สูตร

ปริมาตรจำเพาะของซาลาเปา (cm<sup>3</sup>/g) = ปริมาตรของซาลาเปา / น้ำหนักของซาลาเปา

3) ความหนาแน่นของซาลาเปา คำนวณโดยใช้สูตร

ความหนาแน่นของซาลาเปา (g/cm<sup>3</sup>) = น้ำหนักของซาลาเปา/ ปริมาตรของซาลาเปา

### 2.5 การวัดค่าเนื้อสัมผัส (Texture Profile Analysis, TPA)

การวัดค่าเนื้อสัมผัสของซาลาเปาด้วยเครื่องวัดค่าลักษณะเนื้อสัมผัสอาหาร ได้แก่ ค่าความแข็ง (hardness) ค่ายึดเกาะภายใน (cohesiveness) ค่าความยืดหยุ่น (springiness) และค่าความเคี้ยวได้ (Chewiness) โดยเครื่อง Texture Analyzer ผู้ผลิต Stable Micro Systems รุ่น TA.XTplusC ด้วยหัววัด Cylindrical probe (P/25) เส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร เตรียมตัวอย่างแป้งซาลาเปาหนึ่งใหม่ แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที และนำตัวอย่างมาวางบนกึ่งกลางของเครื่องวิเคราะห์ โดยสภาวะของการวัดมีดังต่อไปนี้ ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัววัด (test speed) 5 mm/s, trigger force (10 g) และ ระดับการกดหัววัดลงไปในตัวอย่าง (strain) 75 % ทำการวัดทั้งหมด 12 ซ้ำ จากนั้นเปรียบเทียบลักษณะดังกล่าวระหว่างผลิตภัณฑ์แป้งซาลาเปาสตรควบคุมกับสูตรที่ใช้แป้งบัวควิตทดแทนแป้งสาลี ที่ร้อยละ 20, 30 และ 40

### 2.6 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของซาลาเปา ได้แก่ ความชื้น ด้วยวิธี AOAC. (2023) 925.10 โปรตีน ด้วยวิธี In-house method TM-CH0017 based on AOAC. (2023) 992.23 ไขมัน ด้วยวิธี AOAC. (2023) 922.06 เถ้า ด้วยวิธี AOAC. (2023) 923.03 โยอาหาร ด้วยวิธี AOAC. (2023) 985.29 สำหรับคาร์โบไฮเดรตใช้การคำนวณ ดังสมการ คาร์โบไฮเดรต (%) = 100 - (ความชื้น (%) + โปรตีน (%) + ไขมัน (%) + โยอาหาร (%) + เถ้า(%))

### 2.7 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ทำการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของซาลาเปา โดยใช้วิธีให้คะแนนความชอบแบบ 9-point hedonic scale ในด้านสี กลิ่นรส ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยมีผู้ประเมินจำนวน 30 คน ประกอบด้วยอาจารย์ บุคลากร และนักศึกษาคณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ทั้งนี้ มีการจัดลำดับการเสิร์ฟตัวอย่างแบบสุ่ม และนำคะแนนที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธี ANOVA โดยทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT (Duncan's Multiple Range Test)

### 2.8 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลด้วย ANOVA และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test โดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely randomized design; CRD) และการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสใช้แผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomize complete block design; RCBD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (p ≤ 0.05)

### 2.9 การขอจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์

การวิจัยครั้งนี้ได้รับการพิจารณาและอนุมัติจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ของ มหาวิทยาลัยนเรศวร โดยมีเลขที่โครงการจริยธรรมวิจัย หมายเลขโครงการ 0011/2568 เมื่อวันที่ 27 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2568

### 3. ผลการศึกษา

จากการศึกษาวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของแป้งผสมระหว่างแป้งสาลีและแป้งบัวควิต เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ซาลาเปาเพื่อสุขภาพ โดยการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของแป้งผสมระหว่างแป้งสาลีและแป้งบัวควิตที่ส่งผลต่อคุณภาพของซาลาเปาเพื่อสุขภาพ ได้แก่ สูตรควบคุม (แป้งสาลี 100%) สูตรที่ 1 (แป้งสาลี : แป้งบัวควิต = 60 : 40) สูตรที่ 2 (แป้งสาลี : แป้งบัวควิต = 70 : 30) และสูตรที่ 3 (แป้งสาลี : แป้งบัวควิต = 80 : 20) และเพื่อวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส ภายนอก เคมี และการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ซาลาเปาเพื่อสุขภาพ ผู้วิจัยสามารถวิเคราะห์ผลการศึกษาได้ดังนี้

ตารางที่ 2 แสดงผลการประเมินการยอมรับของผู้บริโภค ด้านคุณภาพทางประสาทสัมผัส ของอัตราส่วนที่เหมาะสมของแป้งผสมระหว่างแป้งสาลี และแป้งบัวควิต ต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ซาลาเปาเพื่อสุขภาพ

คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส	ส่วนผสม แป้งสาลี : แป้งบัวควิต			
	สูตรควบคุม	สูตรที่ 1 (60 : 40)	สูตรที่ 2 (70 : 30)	สูตรที่ 3 (80 : 20)
สี <sup>ns</sup>	6.77±2.05	6.67±2.01	6.73±1.55	6.20±1.56
กลิ่น (จากการดมกลิ่น)	7.50±1.17 <sup>a</sup>	6.97±1.40 <sup>ab</sup>	7.43±1.41 <sup>a</sup>	6.77±1.16 <sup>b</sup>
กลิ่นรส (กลิ่นที่เกิดขึ้นระหว่างการเคี้ยวในปาก) <sup>ns</sup>	7.47±1.53	7.50±0.97	7.07±1.68	6.77±2.10
รสชาติ	7.60±1.61 <sup>a</sup>	7.43±1.28 <sup>ab</sup>	6.60±1.25 <sup>c</sup>	6.57±1.65 <sup>cd</sup>
เนื้อสัมผัส	7.90±1.15 <sup>a</sup>	7.30±1.15 <sup>ab</sup>	6.93±1.99 <sup>b</sup>	7.20±1.27 <sup>ab</sup>
ความชอบโดยรวม <sup>ns</sup>	7.23±1.74	7.53±1.28	7.27±1.36	6.87±1.20

ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ที่มีตัวอักษร<sup>a-d</sup> ในแนวนอนต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ), <sup>ns</sup> ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

### 3.1 ผลการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของแป้งผสมระหว่างแป้งสาลี และแป้งบัวควิตต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ซาลาเปาเพื่อสุขภาพ โดยการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของซาลาเปาที่ผลิตจากอัตราส่วนแป้งสาลีและแป้งบัวควิตที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 2) พบว่าคุณลักษณะด้านสี กลิ่นรส และความชอบโดยรวมของซาลาเปาทุกสูตรไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) โดยมีคะแนนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 6.20–6.77, 6.77–7.50 และ 6.87–7.53 ตามลำดับ

สำหรับคุณลักษณะด้านกลิ่น พบว่าซาลาเปาสูตรควบคุมและสูตรที่ 2 ให้คะแนนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) แต่มีคะแนนสูงกว่าสูตรที่ 3 อย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) ขณะที่สูตรที่ 1 ไม่แตกต่างจากสูตรอื่น ในด้านรสชาติ ซาลาเปาสูตรควบคุมและสูตรที่ 1 ให้คะแนนเฉลี่ยสูงกว่าสูตรที่ 2 และสูตรที่ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

สำหรับคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัส พบว่าซาลาเปาสูตรควบคุมมีคะแนนเฉลี่ยสูงที่สุด และแตกต่างจากซาลาเปาสูตรที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ขณะที่สูตรที่ 1 และสูตรที่ 3 ไม่แตกต่างจากสูตรควบคุม

ตารางที่ 3 แสดงผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ของอัตราส่วนที่เหมาะสมของแป้งผสมระหว่างแป้งสาลี และแป้งบัวควิตต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ซาลาเปาเพื่อสุขภาพ

คุณภาพ	ส่วนผสม แป้งสาลี : แป้งบัวควิต			
	สูตรควบคุม	สูตรที่ 1 (60 : 40)	สูตรที่ 2 (70 : 30)	สูตรที่ 3 (80 : 20)
คุณภาพทางกายภาพ				
การวัดค่าสี				
ค่าสี L*	84.97±0.23 <sup>a</sup>	75.35±0.44 <sup>b</sup>	77.89±0.72 <sup>c</sup>	79.16±0.24 <sup>d</sup>
ค่าสี a*	-0.22±0.23 <sup>a</sup>	2.10±0.12 <sup>b</sup>	1.73±0.07 <sup>c</sup>	1.03±0.05 <sup>d</sup>
ค่าสี b*	12.17±0.16 <sup>a</sup>	15.73±0.31 <sup>b</sup>	14.70±1.17 <sup>bc</sup>	14.32±0.08 <sup>c</sup>
ปริมาตร (cm <sup>3</sup> )	85.00±3.33 <sup>a</sup>	70.00±3.33 <sup>b</sup>	75.67±0.89 <sup>b</sup>	70.00±3.33 <sup>b</sup>
ปริมาตรจำเพาะ (cm <sup>3</sup> / g)	0.35±0.01 <sup>a</sup>	0.43±0.02 <sup>b</sup>	0.40±0.00 <sup>ba</sup>	0.43±0.02 <sup>bc</sup>
ความหนาแน่น (g / cm <sup>3</sup> )	2.83±0.11 <sup>a</sup>	2.33±0.11 <sup>b</sup>	2.52±0.03 <sup>bc</sup>	2.33±0.11 <sup>bd</sup>
Hardness (N)	51.23±8.69 <sup>a</sup>	140.00±14.73 <sup>b</sup>	125.96±9.143 <sup>c</sup>	124.46±7.64 <sup>cd</sup>
Springiness	0.95±0.02 <sup>a</sup>	0.68±0.18 <sup>b</sup>	0.56±0.21 <sup>bc</sup>	0.53±0.15 <sup>cd</sup>
Cohesiveness	0.26±0.02 <sup>a</sup>	0.22±0.02 <sup>b</sup>	0.19±0.01 <sup>c</sup>	0.19±0.01 <sup>cd</sup>
Chewiness	12.75±3.24 <sup>a</sup>	20.89±5.93 <sup>b</sup>	13.58±5.84 <sup>ac</sup>	12.20±3.25 <sup>ad</sup>

ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ที่มีตัวอักษร<sup>a-d</sup> ในแนวนอนต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

### 3.2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ของอัตราส่วนที่เหมาะสมของแป้งผสมระหว่างแป้งสาลี และแป้งบัวควิตต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ซาลาเปาเพื่อสุขภาพ

จากผลการศึกษาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ของอัตราส่วนที่เหมาะสมของแป้งผสมระหว่างแป้งสาลี และแป้งบัวควิต ต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ซาลาเปาเพื่อสุขภาพ ดังแสดงในตารางที่ 3 การประเมินคุณสมบัติทางกายภาพประกอบด้วย การวัดค่าสี ปริมาตร ปริมาตรจำเพาะ ความหนาแน่น และการวัดค่าเนื้อสัมผัส ได้แก่ ค่าความแข็ง (Hardness) ค่ายึดเกาะภายใน (Cohesiveness) ค่าความยืดหยุ่น (Springiness) และค่าความเคี้ยวได้ (Chewiness) มีรายละเอียดดังนี้

#### 3.2.1 ผลของการวัดค่าสีของซาลาเปา

ซาลาเปาสูตรควบคุมมีค่าความสว่าง ( $L^*$ ) สูงที่สุด ( $84.97 \pm 0.23$ ) ซึ่งแสดงถึงความสว่างที่มากกว่าเมื่อเทียบกับซาลาเปาทั้งสามสูตรที่มีการเติมแป้งบัวควิต ในทางตรงกันข้าม ซาลาเปาสูตรที่ 1 ซึ่งมีอัตราส่วนของแป้งบัวควิตสูงที่สุด มีค่าความสว่างลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ( $75.35 \pm 0.44$ )

ซาลาเปาสูตรควบคุมแสดงค่าความเป็นสีเขียวมากกว่าซาลาเปาทุกสูตรที่มีการเติมแป้งบัวควิต ( $-0.22 \pm 0.23$ ) สำหรับซาลาเปาสูตรที่ 1 ซึ่งมีอัตราส่วนของแป้งบัวควิตสูงสุด พบว่ามีค่าความเป็นสีแดงมากกว่าซาลาเปาสูตรที่มีอัตราส่วนของแป้งบัวควิตน้อยกว่า ( $2.10 \pm 0.12$ )

ซาลาเปาที่มีการเติมแป้งบัวควิตทุกสูตรให้ค่าความเป็นสีเหลืองสูงกว่าสูตรควบคุม โดยสูตรควบคุมมีค่าความเป็นสีเหลืองต่ำที่สุด ( $12.17 \pm 0.16$ ) ทั้งนี้พบว่าซาลาเปาสูตรที่มีการเติมแป้งบัวควิตในอัตราส่วนสูงสุด (ซาลาเปาสูตรที่ 1) ให้ค่าความเป็นสีเหลืองสูงที่สุด ( $15.73 \pm 0.31$ ) และเมื่อปริมาณแป้งบัวควิตลดลง ค่าความเป็นสีเหลืองมีแนวโน้มลดลงตามลำดับ

จากข้อมูลดังกล่าว เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน และความแตกต่างทางสถิติ พบว่า ค่าสี  $L^*$   $a^*$   $b^*$  ของซาลาเปาสูตรควบคุม ซาลาเปาสูตรที่ 1 ซาลาเปาสูตรที่ 2 และซาลาเปาสูตรที่ 3 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

#### 3.2.2 ปริมาตร ปริมาตรจำเพาะ และความหนาแน่น

อัตราส่วนแป้งสาลีและแป้งบัวควิตมีผลต่อปริมาตรของซาลาเปาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยซาลาเปาสูตรควบคุมมีค่าปริมาตรสูงที่สุด ( $85.00 \pm 3.33$ ) และแตกต่างจากซาลาเปาทุกสูตรที่มีการเติม

แป้งบัวควิต ซึ่งมีค่าปริมาตรอยู่ในช่วง  $70.00-75.67 \text{ cm}^3$  ทั้งนี้ ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าปริมาตรระหว่างสูตรที่มีการเติมแป้งบัวควิตด้วยกัน ( $p > 0.05$ )

ในด้านปริมาตรจำเพาะ ซาลาเปาสูตรควบคุมมีค่าปริมาตรจำเพาะต่ำที่สุด ( $0.35 \pm 0.01$ ) และแตกต่างจากสูตรที่มีการเติมแป้งบัวควิตบางสูตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยสูตรที่มีการเติมแป้งบัวควิตให้ค่าปริมาตรจำเพาะอยู่ในช่วง  $0.40-0.43 \text{ cm}^3/\text{g}$  อย่างไรก็ตาม ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าปริมาตรจำเพาะระหว่างสูตรผสมแป้งบัวควิตบางคู่

สำหรับค่าความหนาแน่น พบว่าซาลาเปาสูตรควบคุมมีค่าความหนาแน่นสูงที่สุด ( $2.83 \pm 0.11$ ) และแตกต่างจากซาลาเปาสูตรที่มีการเติมแป้งบัวควิตทุกสูตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ขณะที่ซาลาเปาสูตรที่มีการเติมแป้งบัวควิตมีค่าความหนาแน่นลดลง อยู่ในช่วง  $2.33-2.52 \text{ g/cm}^3$  และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบระหว่างสูตรที่มีการเติมแป้งบัวควิต ( $p > 0.05$ )

#### 3.2.3 การวัดค่าเนื้อสัมผัส (Texture Profile Analysis; TPA) มีรายละเอียดดังนี้

ค่าความแข็ง (Hardness) ซาลาเปาสูตรควบคุมมีค่าต่ำที่สุด ( $51.23 \pm 8.69$ ) และแตกต่างจากสูตรที่มีการเติมแป้งบัวควิตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยซาลาเปาสูตรที่ 1 ให้ค่าความแข็งสูงที่สุด ( $140.00 \pm 14.73$ )

ค่าความยืดหยุ่น (Springiness) ซาลาเปาสูตรควบคุมมีค่าสูงที่สุด ( $0.95 \pm 0.02$ ) และแตกต่างจากสูตรที่มีการเติมแป้งบัวควิตทุกสูตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยสูตรที่ 3 ให้ค่าความยืดหยุ่นต่ำที่สุด ( $0.53 \pm 0.15$ )

ค่ายึดเกาะภายใน (Cohesiveness) ซาลาเปาสูตรควบคุมมีค่าสูงที่สุด ( $0.26 \pm 0.02$ ) และแตกต่างจากซาลาเปาสูตรที่มีการเติมแป้งบัวควิตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยสูตรที่มีการเติมแป้งบัวควิตมีค่ายึดเกาะภายใน อยู่ในช่วง  $0.19-0.22$

ค่าความเคี้ยวได้ (Chewiness) พบว่าซาลาเปาสูตรที่ 1 มีค่าสูงที่สุด ( $20.89 \pm 5.93$ ) และแตกต่างจากสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ในขณะที่สูตรที่ 2 และสูตรที่ 3 ไม่แตกต่างจากสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

ตารางที่ 4 แสดงผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ของอัตราส่วนที่เหมาะสมของแป้งผสมระหว่างแป้งสาลี และแป้งข้าวจ้าวต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซาลาเปาเพื่อสุขภาพ

คุณภาพ	ส่วนผสม แป้งสาลี : แป้งข้าวจ้าว			
	สูตรควบคุม	สูตรที่ 1 (60 : 40)	สูตรที่ 2 (70 : 30)	สูตรที่ 3 (80 : 20)
คุณภาพทางเคมี				
ความชื้น (%)	36.30±0.04 <sup>a</sup>	36.16±0.02 <sup>b</sup>	36.85±0.07 <sup>c</sup>	35.40±0.04 <sup>d</sup>
โปรตีน	5.60±0.03 <sup>a</sup>	6.57±0.04 <sup>b</sup>	6.26±0.02 <sup>c</sup>	6.10±0.02 <sup>d</sup>
เถ้า	0.53±0.02 <sup>a</sup>	0.77±0.02 <sup>b</sup>	0.68±0.02 <sup>c</sup>	0.65±0.03 <sup>cd</sup>
ไขมัน	3.57±0.02 <sup>a</sup>	4.49±0.03 <sup>b</sup>	4.05±0.04 <sup>c</sup>	4.20±0.03 <sup>d</sup>
ใยอาหาร	5.82±0.04 <sup>a</sup>	7.81±0.02 <sup>b</sup>	6.91±0.10 <sup>c</sup>	6.13±0.02 <sup>d</sup>
คาร์โบไฮเดรต	48.18±0.12 <sup>a</sup>	44.20±0.10 <sup>b</sup>	45.25±0.02 <sup>c</sup>	47.52±0.08 <sup>d</sup>

ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ที่มีตัวอักษร<sup>a-d</sup> ในแนวนอนต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

### 3.3 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ของอัตราส่วนที่เหมาะสมของแป้งผสมระหว่างแป้งสาลี และแป้งข้าวจ้าวต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซาลาเปาเพื่อสุขภาพ

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของซาลาเปาที่ผลิตจากอัตราส่วนแป้งสาลีและแป้งข้าวจ้าวที่แตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ 4 พบว่าค่าความชื้นของซาลาเปาอยู่ในช่วง 35.40–36.85% โดยสูตรที่ 2 (70:30) มีค่าความชื้นสูงที่สุด (36.85±0.07) และแตกต่างจากสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ปริมาณโปรตีนของซาลาเปาเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเติมแป้งข้าวจ้าว โดยสูตรที่ 1 ให้ค่าปริมาณโปรตีนสูงที่สุด (6.57±0.04) ขณะที่สูตรควบคุมมีค่าต่ำที่สุด (5.60±0.03) และค่าปริมาณโปรตีนของแต่ละสูตรแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

สำหรับปริมาณเถ้า พบว่าสูตรที่ 1 มีค่าปริมาณเถ้าสูงที่สุด (0.77±0.02) ขณะที่สูตรควบคุมมีค่าต่ำที่สุด (0.53±0.02) โดยค่าปริมาณเถ้ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนแป้งข้าวจ้าว และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ปริมาณไขมันของซาลาเปามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเติมแป้งข้าวจ้าว โดยสูตรที่ 1 มีค่าปริมาณไขมันสูงที่สุด (4.49±0.03) และแตกต่างจากสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ปริมาณใยอาหารเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนในสูตรที่มีการเติมแป้งข้าวจ้าว โดยสูตรที่ 1 มีค่าปริมาณใยอาหารสูงที่สุด (7.81±0.02) ขณะที่สูตรควบคุมมีค่าต่ำที่สุด (5.82±0.04) และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

สำหรับปริมาณคาร์โบไฮเดรต พบว่าซาลาเปาแต่ละสูตรมีค่าปริมาณคาร์โบไฮเดรตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยสูตรควบคุมมีค่าสูงที่สุด (48.18±0.12) ขณะที่สูตรที่ 1 มีค่าต่ำที่สุด (44.20±0.10)

## 4. อภิปรายผล

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้แป้งสาลีผสมกับแป้งข้าวจ้าว ในสัดส่วนต่าง ๆ ต่อคุณภาพของซาลาเปาเพื่อสุขภาพ ทั้งในด้านคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมี เพื่อพัฒนาซาลาเปาให้มีลักษณะที่เหมาะสมต่อผู้บริโภคกลุ่มที่ใส่ใจสุขภาพ โดยผลการวิจัยสามารถอภิปรายได้ดังนี้

### 4.1 ด้านการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสการยอมรับของผู้บริโภค

จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของซาลาเปาที่ผลิตจากอัตราส่วนแป้งสาลีและแป้งข้าวจ้าวที่แตกต่างกัน พบว่า คะแนนด้านสี กลิ่นรส และความชอบโดยรวมของซาลาเปาทุกสูตรไม่แตกต่างกัน

อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) แม้ว่าซาลาเปาสูตที่ 1 จะให้ค่าคะแนนความชอบโดยรวมเฉลี่ยสูงที่สุดก็ตาม ผลดังกล่าวสะท้อนว่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยคะแนนไม่จำเป็นต้องแสดงถึงความแตกต่างเชิงสถิติของการยอมรับโดยรวมของผู้บริโภค ซึ่งเป็นลักษณะที่พบได้ทั่วไปในการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์แป้งผสมที่มีการปรับสูตรในระดับปานกลาง [13]

เมื่อพิจารณาในรายคุณลักษณะ พบว่า สูตรควบคุมให้คะแนนด้านรสชาติและเนื้อสัมผัสสูงกว่าสูตรที่มีการเติมแป้งบัวตองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) อย่างไรก็ตาม ซาลาเปาสูตที่ 1 ไม่แตกต่างจากสูตรควบคุมในหลายคุณลักษณะสำคัญ แสดงให้เห็นว่าแม้การเติมแป้งบัวตองจะส่งผลต่อการรับรู้ด้านรสชาติและเนื้อสัมผัสในบางระดับ แต่ยังไม่รุนแรงเพียงพอที่จะลดการยอมรับของผู้บริโภคโดยรวม ผลดังกล่าวสอดคล้องกับรายงานของ Brites et al. [13] ซึ่งพบว่าผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ที่มีการใช้แป้งบัวตองผสมสามารถรักษาระดับการยอมรับโดยรวมไว้ได้ แม้ว่าคุณลักษณะเชิงประสาทสัมผัสบางด้านจะเปลี่ยนแปลงไปจากสูตรที่ใช้แป้งสาลีเพียงอย่างเดียว

ที่น่าสังเกตคือ การที่ซาลาเปาสูตที่ 1 ให้คะแนนความชอบโดยรวมเฉลี่ยสูงที่สุด ไม่ได้เกิดจากการที่ทุกคุณลักษณะได้รับการประเมินสูงกว่าสูตรควบคุมอย่างสม่ำเสมอ แต่เป็นผลจากการที่คะแนนของหลายคุณลักษณะยังอยู่ในช่วงที่ผู้บริโภคยอมรับได้ และไม่แตกต่างจากสูตรควบคุมในเชิงสถิติ ลักษณะดังกล่าวสอดคล้องกับแนวคิดที่ว่า การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพที่ตรวจวัดได้ด้วยเครื่องมือ ไม่จำเป็นต้องสะท้อนความแตกต่างในการรับรู้และการยอมรับโดยรวมของผู้บริโภคอย่างเป็นสัดส่วนหรือโดยตรงเสมอไป [14]

ดังนั้น ผลการทดลองในงานวิจัยนี้ไม่สามารถสรุปเชิงสาเหตุได้ว่าความชอบโดยรวมที่สูงขึ้นของซาลาเปาสูตที่ 1 เกิดจากคุณลักษณะใดคุณลักษณะหนึ่งโดยเฉพาะ เช่น กลิ่นเฉพาะของแป้งบัวตอง เนื่องจากคะแนนด้านกลิ่นและกลิ่นรสไม่แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตาม ผลลัพธ์โดยรวมชี้ให้เห็นว่า การเติมแป้งบัวตองในสัดส่วนที่เหมาะสมสามารถคงระดับการยอมรับของผู้บริโภคไว้ได้ โดยไม่ส่งผลเชิงลบต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของซาลาเปา

## 4.2 ด้านคุณภาพทางกายภาพ

### 4.2.1 การวัดค่าสี

ผลการศึกษาพบว่า การเพิ่มปริมาณแป้งบัวตองส่งผลให้ค่า  $L^*$  ของซาลาเปาลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยสูตรที่มีแป้งบัวตองในสัดส่วนสูงให้ค่า

ความสว่างต่ำที่สุด ขณะที่สูตรที่มีแป้งบัวตองในสัดส่วนต่ำให้ค่า  $L^*$  สูงกว่า แสดงให้เห็นว่าปริมาณแป้งบัวตองมีอิทธิพลต่อความสว่างของซาลาเปาอย่างชัดเจน สำหรับค่าสีแดง-เขียว ( $a^*$ ) พบว่าซาลาเปาสูตควบคุมให้ค่า  $a^*$  เป็นค่าติดลบ ขณะที่ซาลาเปาทุกสูตรที่มีการเติมแป้งบัวตองให้ค่า  $a^*$  เป็นค่าบวก แสดงถึงการเปลี่ยนเฉดสีจากโทนเขียวไปสู่โทนแดงมากขึ้น โดยค่า  $a^*$  มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อปริมาณแป้งบัวตองลดลง กล่าวคือ ซาลาเปาสูตที่ 1 ให้ค่า  $a^*$  สูงที่สุด รองลงมาคือซาลาเปาสูตที่ 2 และซาลาเปาสูตที่ 3 ตามลำดับ สะท้อนให้เห็นว่าปริมาณแป้งบัวตองมีบทบาทต่อความเข้มของเฉดสีแดงของซาลาเปาอย่างชัดเจน ในด้านค่าสีเหลือง-น้ำเงิน ( $b^*$ ) พบว่าซาลาเปาสูตควบคุมมีค่า  $b^*$  ต่ำกว่าซาลาเปาทุกสูตรที่มีการเติมแป้งบัวตอง แสดงให้เห็นว่าการใช้แป้งบัวตองมีผลทำให้เฉดสีเหลืองของซาลาเปาเด่นชัดขึ้น โดยซาลาเปาสูตที่มีแป้งบัวตองในสัดส่วนสูงให้ค่า  $b^*$  สูงกว่า ซาลาเปาสูตที่มีปริมาณแป้งบัวตองต่ำ สะท้อนถึงอิทธิพลของปริมาณแป้งบัวตองต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีของผลิตภัณฑ์

แนวโน้มดังกล่าวสอดคล้องกับรายงานของ Olcay และ Ozulku [15] ที่ระบุว่า การใช้แป้งผสมจากธัญพืชทางเลือก เช่น บัควีต ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่มีความสว่างลดลง และมีเฉดสีแดง-เหลืองเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่ใช้แป้งสาลีเพียงอย่างเดียว ทั้งนี้ ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า ปริมาณแป้งบัวตองมีบทบาทสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีของซาลาเปา โดยการเพิ่มสัดส่วนแป้งบัวตองส่งผลให้สีของผลิตภัณฑ์มีความเข้มและเด่นชัดมากขึ้น ซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับสีตามธรรมชาติของแป้งบัวตองและลักษณะของแป้งผสมในสูตร

### 4.2.2 ปริมาตร ปริมาตรจำเพาะ และความหนาแน่น

ผลการศึกษาพบว่า สูตรควบคุมซึ่งใช้แป้งสาลี 100% ให้ค่าปริมาตรสูงที่สุด และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากสูตรที่มีการเติมแป้งบัวตอง ( $p \leq 0.05$ ) ผลดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่าการแทนที่แป้งสาลีด้วยแป้งบัวตองส่งผลให้ความสามารถในการขึ้นฟูของซาลาเปาลดลง ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Koehler และ Wieser [16] ที่ระบุว่าผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ที่ใช้แป้งจากธัญพืชที่ไม่มีกลูเตนมักให้ปริมาตรลดลงเนื่องจากการขาดโครงสร้างกลูเตนในการกักเก็บก๊าซ

เมื่อพิจารณาเฉพาะซาลาเปาสูตที่มีการเติมแป้งบัวตอง พบว่าค่าปริมาตรไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างสูตร แสดงให้เห็นว่าภายในช่วงอัตราส่วนแป้งบัวตองที่ศึกษา ระดับสัดส่วนของแป้งบัวตองยังไม่ส่งผลให้เกิดความแตกต่างของปริมาตรอย่างชัดเจน

ในด้านปริมาตรจำเพาะและความหนาแน่น พบว่าซาลาเปาสูตที่มี การเติมแป้งบัวตึงให้ค่าปริมาตรจำเพาะสูงกว่า และมีค่าความหนาแน่นต่ำกว่าสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งสะท้อนถึงการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในของผลิตภัณฑ์อันเป็นผลจากการแทนที่แป้งสาลีด้วยแป้งที่ไม่มีกลูเตน อย่างไรก็ตาม ภายในกลุ่มสูตรที่มีการเติมแป้งบัวตึง ความแตกต่างของค่าปริมาตรจำเพาะและความหนาแน่นยังไม่เด่นชัด ซึ่งควรพิจารณาพร้อมกับปัจจัยด้านโครงสร้างของแป้งผสมและความแปรปรวนในกระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์

#### 4.2.3 การวัดค่าเนื้อสัมผัส (Texture Profile Analysis)

จากผลการศึกษาพบว่า การเติมแป้งบัวตึงส่งผลต่อสมบัติเนื้อสัมผัสของซาลาเปาอย่างมีนัยสำคัญ โดยซาลาเปาสูตที่มีแป้งบัวตึงให้ค่าความแข็งสูงกว่าสูตรควบคุม ( $p \leq 0.05$ ) โดยเฉพาะซาลาเปาสูตที่ 1 ซึ่งมีค่าความแข็ง (Hardness) เพิ่มขึ้นเกือบ 3 เท่า สะท้อนถึงการสูญเสียโครงสร้างกลูเตนและการเกิดโครงสร้างเนื้อที่แน่นขึ้น ขณะเดียวกัน ค่าความยืดหยุ่น (Springiness) และ ความเหนียวแน่นของโครงสร้าง (Cohesiveness) ลดลงอย่างเด่นชัดในสูตรที่มีแป้งบัวตึง โดยซาลาเปาสูตที่ 2 และซาลาเปาสูตที่ 3 ให้ค่าความยืดหยุ่น (Springiness) ต่ำกว่า 0.6 แสดงถึงความสามารถในการคืนรูปของเนื้อผลิตภัณฑ์ที่ลดลงอย่างมาก ผลดังกล่าวสอดคล้องกับรายงานของ Zhu [17] ที่ระบุว่าแป้งบัวตึงไม่สามารถสร้างโครงสร้างเส้นใยต่อเนื่องแบบกลูเตน ส่งผลให้เนื้อผลิตภัณฑ์มีความแข็งและความยืดหยุ่นลดลง นอกจากนี้ ค่าความเหนียวขณะเคี้ยว (Chewiness) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในสูตรที่มีแป้งบัวตึง โดยเฉพาะซาลาเปาสูตที่ 1 ซึ่งสะท้อนถึงลักษณะเนื้อสัมผัสที่แน่นและต้องใช้แรงในการเคี้ยวมากขึ้น สอดคล้องกับรายงานของ Coda et al. [18] เกี่ยวกับผลของแป้งธัญพืชที่ไม่ผ่านการขัดสีต่อการเพิ่มความแน่นและความเคี้ยวของผลิตภัณฑ์เบเกอรี่

#### 4.3 อภิปรายผลด้านคุณภาพทางเคมี

4.3.1 ความชื้น ซาลาเปาสูตที่ 2 มีค่าความชื้นสูงที่สุด (36.85%) และแตกต่างจากสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) อย่างไรก็ตาม ความชื้นที่เพิ่มขึ้นดังกล่าวไม่ได้สะท้อนถึงความนุ่มของเนื้อผลิตภัณฑ์ เนื่องจากผลการวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (TPA) พบว่าสูตรที่มีความชื้นสูงยังคงให้ค่าความแข็งสูงกว่าสูตรควบคุมอย่างชัดเจน ผลดังกล่าวบ่งชี้ว่าความชื้นเพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอในการกำหนดลักษณะเนื้อสัมผัสของซาลาเปา แต่โครงสร้างของแป้งผสมและการขาดโครงสร้างกลูเตนมีบทบาทสำคัญต่อคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์

4.3.2 โปรตีน สูตรที่มีการเติมแป้งบัวตึงทุกสูตรให้ปริมาณโปรตีนสูงกว่าสูตรควบคุม โดยซาลาเปาสูตที่ 1 มีปริมาณโปรตีนสูงที่สุด (6.57%) เมื่อเทียบกับซาลาเปาสูตควบคุม (5.60%) แสดงให้เห็นว่าแป้งบัวตึงสามารถเสริมคุณค่าทางโปรตีนของผลิตภัณฑ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับรายงานของ Bonafaccia et al. [19] ที่ระบุว่าแป้งบัวตึงมีกรดอะมิโนจำเป็นสูง โดยเฉพาะไลซีน ซึ่งพบในแป้งสาลีในปริมาณจำกัด

4.3.3 โยอาอาหาร ปริมาณโยอาอาหารเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในสูตรที่มีการเติมแป้งบัวตึง โดยซาลาเปาสูตที่ 1 ให้ค่าโยอาอาหารสูงที่สุด (7.81%) สะท้อนศักยภาพของแป้งบัวตึงในฐานะแหล่งโยอาอาหาร ซึ่งเป็นคุณลักษณะสำคัญของธัญพืชเทียมที่นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารเชิงหน้าที่

4.3.4 ไขมัน ปริมาณไขมันเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนในสูตรที่มีแป้งบัวตึง โดยซาลาเปาสูตที่ 1 ให้ค่าไขมันสูงที่สุด (0.77%) แสดงถึงปริมาณ แร่ธาตุที่เพิ่มขึ้นในผลิตภัณฑ์ เช่น แมกนีเซียม เหล็ก และสังกะสี ซึ่งเป็นลักษณะเด่นของแป้งบัวตึง ผลดังกล่าวสอดคล้องกับรายงานของ Alvarez-Jubete et al. [20] ที่ระบุว่าแป้งบัวตึงมีแร่ธาตุสูงและช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์แป้ง

4.3.5 ไขมันและคาร์โบไฮเดรต การเติมแป้งบัวตึงส่งผลให้ปริมาณไขมันเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับสูตรควบคุม ซึ่งสอดคล้องกับองค์ประกอบของแป้งบัวตึงที่มีไขมันสูงกว่าแป้งสาลี อย่างไรก็ตาม การเพิ่มขึ้นของไขมันดังกล่าวไม่ได้ส่งผลให้เนื้อผลิตภัณฑ์มีความนุ่มขึ้นตามทฤษฎี เนื่องจากผลการวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (TPA) แสดงให้เห็นว่าโครงสร้างเนื้อสัมผัสยังคงแข็งขึ้น อันเป็นผลจากการขาดโครงสร้างกลูเตนและการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในของแป้งผสม ในขณะเดียวกัน ปริมาณคาร์โบไฮเดรตมีแนวโน้มลดลงตามสัดส่วนการแทนที่แป้งสาลีด้วยแป้งบัวตึง

#### กิติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการเสร็จได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ประจำปีงบประมาณเงินรายได้ 2568

## เอกสารอ้างอิง

1. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2004). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน: ซาลาเปา (มผช. 505/2547)*. กรุงเทพฯ: สมอ.
2. สำนักพิมพ์แสงแดด. (2013). *ต้มข้าห้องแถวเป็นอาชีพ*. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์พิมพ์ดี จำกัด.
3. Singh, M., Malhotra, N., & Sharma, K. (2020). Buckwheat (*Fagopyrum sp.*) genetic resources: What can they contribute towards nutritional security of a changing world? *Genetic Resources and Crop Evolution*, 67(7), 1639–1658.
4. Stamatovska, V., Nakov, G., Uzunoska, Z., Kalevska, T., & Menkinoska, M. (2018). Potential use of some pseudocereals in the food industry. *ARTTE*, 6, 54–61.
5. Khan, F., Arif, M., Khan, T. U., Khan, M. I., & Bangash, J. A. (2013). Nutritional evaluation of common buckwheat of four different villages of Gilgit- Baltistan. *ARPN Journal of Agricultural and Biological Science*, 8, 264–266.
6. Golob, A., Stibilj, V., Kreft, I., & Germ, M. (2015). The feasibility of using Tartary buckwheat as a Se-containing food material. *Journal of Chemistry*, 2015, Article 246042.
7. Mir, N. A., Riar, C. S., & Singh, S. (2018). Nutritional constituents of pseudocereals and their potential use in food systems: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 75, 170–180.
8. Fabjan, N., Rode, J., Košir, I. J., Wang, Z., Zhang, Z., & Kreft, I. (2003). Tartary buckwheat (*Fagopyrum tataricum* Gaertn.) as a source of dietary rutin and quercetin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 6452–6455.
9. Wijngaard, H. H., & Arendt, E. K. (2006). Buckwheat—Review. *Cereal Chemistry*, 83, 391–401.
10. Frutos, M. J., Rincón-Frutos, L., & Valero-Cases, E. (2019). Rutin. In *Nonvitamin and nonmineral nutritional supplements* (pp. 111–117). Academic Press.
11. Mohajan, S., Munna, M. M., Orchy, T. N., Hoque, M. M., & Farzana, T. (2019). Buckwheat flour fortified bread. *Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research*, 54(4), 347–356.
12. Békés, F., Schoenlechner, R., & Tömösközi, S. (n.d.). Ancient wheats and pseudocereals for possible use in cereal-grain dietary intolerances. In C. Wrigley et al. (Eds.), *Cereal grains: Assessing and managing quality* (2nd ed.).
13. Brites, L. T., Rebellato, A. P., Meinhart, A. D., Godoy, H. T., Pallone, J. A., & Steel, C. J. (2022). Technological, sensory, nutritional and bioactive potential of pan breads produced with refined and whole grain buckwheat flours. *Food Chemistry: X*, 13, 100243.
14. Torbica, A., Hadnadev, M., & Dapčević, T. (2010). Rheological, textural and sensory properties of gluten-free bread formulations based on rice and buckwheat flour. *Food Hydrocolloids*, 24(6–7), 626–632.
15. Olcay, H. S., & Ozulku, G. (2025). Improvement of storage stability of barley, buckwheat and lupin composite flour by microwave treatment and its influence on functional properties of bread. *Food Chemistry: X. Advance Trends in Food Science & Technology* online publication.
16. Koehler, P., Wieser, H., & Konitzer, K. (Eds.). (2014). *Celiac disease and gluten: Multidisciplinary challenges and opportunities*. Academic Press.
17. Zhu, F. (2021). Buckwheat proteins and peptides: Biological functions and food applications. *Trends in Food Science & Technology*, 110, 155–167.
18. Coda, R., Rizzello, C. G., & Gobbetti, M. (2010). Use of sourdough fermentation and pseudo- cereals and leguminous flours for the making of a functional bread enriched of  $\gamma$ -aminobutyric acid (GABA). *International Journal of Food Microbiology*, 137(2–3), 236–245.
19. Bonafaccia, G., Marocchini, M., & Kreft, I. (2003). Composition and technological properties of the flour and bran from common and Tartary buckwheat. *Food Chemistry*, 80(1), 9–15.
20. Alvarez-Jubete, L., Arendt, E. K., & Gallagher, E. (2010). Nutritive value of pseudocereals and their increasing use as functional gluten-free ingredients. *Trends in Food Science & Technology*, 21(2), 106–113.



## Research Article

## The influence of growth stages on the antioxidant properties and phenolic compounds of *Piper betle* L. leaves

### อิทธิพลของระยะการเจริญเติบโตต่อคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอลิกในใบพลู

วิสิทธิ์ มนทอง<sup>1</sup>, ชลดา วรรณงูงา<sup>1</sup>, เนาวรัตน์ กองคำ<sup>1\*</sup>

Wisit Monthong<sup>1</sup>, Chonlada Wanphunga<sup>1</sup>, Naowarat Kongkum<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ 186 หมู่ 1 ถนนสุรินทร์-ปราสาท ต.นอกเมือง อ.เมือง จ.สุรินทร์ 32000

<sup>1</sup>Faculty of Science and Technology, Surindra Rajabhat University, 186 Moo 1, Surin-Prasart Road, Nokmuang, Surin, 32000

#### Article Info

Received 28 August 2025

Revised 25 December 2025

Accepted 26 December 2025

#### Abstract

This study aimed to evaluate the effect of different growth stages on the total phenolic content (TPC) and antioxidant activities of *Piper betle* L. leaves. Leaf samples were categorized into young, mature, and old stages. The crude 95% ethanolic extracts were analyzed for TPC (Folin-Ciocalteu) and antioxidant activities (DPPH and ABTS). The results showed that young leaves exhibited the highest TPC ( $437.67 \pm 8.98$  mg GAE/g extract) and the lowest half-maximal inhibitory concentration ( $IC_{50}$ ) values in both DPPH ( $15.73 \pm 0.39$  mg/L) and ABTS ( $13.42 \pm 0.24$  mg/L) assays, indicating stronger antioxidant potential compared to mature and old leaves. A strong negative correlation was observed between TPC and  $IC_{50}$  values, with high coefficients of determination ( $R^2 = 1.000$  for DPPH and  $R^2 = 0.999$  for ABTS), suggesting that higher phenolic content is closely associated with lower  $IC_{50}$  values. These findings indicate that young *P. betle* leaves have the highest potential as a natural source of antioxidants.

**Keywords:** *Piper betle* leaves, phenolic compound, antioxidant activity, growth stages

#### บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลของระยะการเจริญเติบโตต่อปริมาณสารฟีนอลิกรวม (TPC) และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของใบพลู (*Piper betle* L.) โดยจำแนกตัวอย่างเป็นใบอ่อน ใบเพสลาด และใบแก่ สารสกัดหยาบเอทานอล 95% ถูกนำมาวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกรวม (Folin-Ciocalteu) และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (DPPH และ ABTS) ผลการทดลองพบว่าใบอ่อนมีค่า TPC สูงที่สุด ( $437.67 \pm 8.98$  mg GAE/g extract) และมีค่าความเข้มข้นที่ยับยั้งอนุมูลอิสระได้ครึ่งหนึ่ง ( $IC_{50}$ ) ต่ำที่สุด ทั้งในวิธี DPPH ( $15.73 \pm 0.39$  mg/L) และ ABTS ( $13.42 \pm 0.24$  mg/L) แสดงถึงประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระที่ดีกว่าใบเพสลาดและใบแก่ การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่า TPC และค่า  $IC_{50}$  พบความสัมพันธ์เชิงลบที่มีค่าสัมประสิทธิ์การกำหนดสูง ( $R^2 = 1.000$  สำหรับ DPPH และ  $R^2 = 0.999$ )

สำหรับ ABTS) บ่งชี้ว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณฟีนอลิกรวมมีความสัมพันธ์กับการลดลงของค่า IC<sub>50</sub> อย่างชัดเจน ผลการศึกษาชี้ว่าใบพลูในระยะอ่อนมีศักยภาพสูงสุดในการใช้เป็นแหล่งสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ

**คำสำคัญ:** ใบพลู, สารประกอบฟีนอลิก, ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ, ระยะการเจริญเติบโต

## 1. บทนำ

พืชในสกุล *Piper* ซึ่งอยู่ในวงศ์ Piperaceae เป็นกลุ่มพืชที่มีความหลากหลายทางชีวภาพสูง โดยมีรายงานการค้นพบมากกว่า 1,000 ชนิดทั่วโลก และพบมากในภูมิภาคเขตร้อนและกึ่งเขตร้อนของเอเชีย อเมริกาใต้ และแอฟริกา [1] พืชในสกุลนี้มีความสำคัญทางเศรษฐกิจและการแพทย์แผนโบราณมาอย่างยาวนาน เนื่องจากมีองค์ประกอบทางเคมีเฉพาะที่ให้สรรพคุณทางยาหลากหลาย ตัวอย่างเช่น *Piper nigrum* (พริกไทย) ที่เป็นเครื่องเทศเศรษฐกิจสำคัญระดับโลก, *Piper sarmentosum* (ชะพลู) ที่นิยมนำมาประกอบอาหารและมีสารต้านอนุมูลอิสระสูง, *Piper auritum* (พลูเม็กชิกัน) ใช้บรรเทาอาการโรคตับ และ *Piper betle* (พลู) มีการใช้ในตำรับยาและการบริโภคเพื่อสุขภาพ [2] บทความวิจัยของ Salehi et al. (2019) [2] รายงานว่าพืชในสกุล *Piper* มีฤทธิ์ทางชีวภาพที่หลากหลาย เช่น ด้านการอักเสบ สมานแผล ต้านเชื้อจุลชีพ ต้านเชื้อรา และออกฤทธิ์ต่อระบบประสาท ซึ่งปัจจุบันศักยภาพเหล่านี้ได้ถูกนำไปต่อยอดในเชิงพาณิชย์อย่างกว้างขวาง ทั้งในอุตสาหกรรมยา ผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร และสารสกัดกำจัดศัตรูพืชจากธรรมชาติ

เมื่อพิจารณาเฉพาะใบพลู (*P. betle*) มีรายงานวิจัยระบุว่าเป็นหนึ่งในพืชสกุล *Piper* ที่มีความโดดเด่นด้านฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ เนื่องจากอุดมด้วยสารฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์หลากหลายชนิด ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการป้องกันความเสียหายของเซลล์จากกระบวนการออกซิเดชัน ลดความเสี่ยงของโรคเรื้อรังที่เกี่ยวข้องกับภาวะความเครียดออกซิเดชัน เช่น มะเร็ง โรคหัวใจ โรคเบาหวาน และโรคหลอดเลือดสมอง [3-4] ด้วยคุณสมบัติทางเภสัชวิทยาที่โดดเด่นนี้ ปัจจุบันใบพลูจึงไม่ได้จำกัดอยู่เพียงการใช้ในครัวเรือน แต่ได้ก้าวสู่อุตสาหกรรมสุขภาพและความงามเชิงพาณิชย์ โดยมีการนำสารสกัดไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์มูลค่าสูงหลากหลายรูปแบบ เช่น ยาสีฟัน สมุนไพรลดกลิ่นปาก สบู่ยับยั้งแบคทีเรีย เวชสำอางชะลอวัย และผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร ซึ่งกำลังเป็นที่ต้องการของตลาดผู้บริโภคที่ใส่ใจสุขภาพ [5] ความต้องการผลิตภัณฑ์เหล่านี้ เป็นผลมาจากความตื่นตัวเรื่องอันตรายของอนุมูลอิสระ ซึ่งในทางทฤษฎีนั้น อนุมูลอิสระเป็นโมเลกุลที่มีอิเล็กตรอนที่โดดเดี่ยว (unpaired electron) อยู่ในวงจรรอบนอก ทำให้โครงสร้างโมเลกุลไม่เสถียร และเกิดปฏิกิริยาทางเคมีง่าย

เมื่อสะสมในร่างกายมากเกินไปจะสามารถทำลายโครงสร้างชีวโมเลกุลที่สำคัญ เช่น โปรตีน ลิพิด และดีเอ็นเอ ส่งผลให้เกิดความผิดปกติของเซลล์และเนื้อเยื่อ และนำไปสู่การเกิดโรคเรื้อรังหลายชนิด แม้ว่าร่างกายจะสามารถสร้างสารต้านอนุมูลอิสระภายใน (endogenous antioxidants) เช่น เอนไซม์ซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเทส (SOD) แคทาเลส (CAT) และกลูตาไธโอนเปอร์ออกซิเดส (GSHPx) ได้แต่ปัจจัยกระตุ้นจากภายนอก เช่น มลภาวะ สิ่งแวดล้อม ความเครียดเรื้อรัง และอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการต่ำ อาจทำให้สมดุลของระบบต้านอนุมูลอิสระเสียไป [6] ดังนั้น การได้รับสารต้านอนุมูลอิสระจากภายนอก (exogenous antioxidants) โดยเฉพาะจากพืชสมุนไพรที่มีสารฟีนอลิกสูง จึงมีความสำคัญต่อการเสริมสร้างกลไกป้องกันของร่างกาย

การศึกษาทางเคมีพบว่าใบพลูเป็นแหล่งสำคัญของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพหลายชนิด โดยเฉพาะสารในกลุ่มฟีนอลิก เช่น eugenol, hydroxychavicol, chavicol และ allyl pyrocatechol ซึ่งมีฤทธิ์ต้านจุลชีพ ต้านการอักเสบ และต้านอนุมูลอิสระที่โดดเด่น [7-9] กลไกการออกฤทธิ์ของสารฟีนอลิกเหล่านี้เกี่ยวข้องกับความสามารถในการบริจาคอะตอมไฮโดรเจนหรืออิเล็กตรอน เพื่อทำให้อนุมูลอิสระมีความเสถียร ลดปฏิกิริยาลูกโซ่ของการเกิดออกซิเดชันในเซลล์ และยังสามารถยับยั้งเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดอนุมูลอิสระและกระบวนการทำงานของเอนไซม์ต้านออกซิเดชันภายในร่างกาย [8] คุณสมบัติเหล่านี้สะท้อนให้เห็นถึงศักยภาพสูงของใบพลูในการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพและยาสมุนไพรที่มีประสิทธิภาพ

อย่างไรก็ตาม ปริมาณสารฟีนอลิกและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในพืชสมุนไพร รวมถึงใบพลู อาจแปรผันตามปัจจัยหลายประการ เช่น ความแตกต่างของสายพันธุ์ วิธีการเพาะปลูก และสภาพแวดล้อมการเจริญเติบโต รวมถึงวิธีการสกัดที่ใช้ในการเตรียมสารสกัด [10-11] นอกจากนี้ ปัจจัยทางสรีรวิทยาของพืชเอง เช่น การเปลี่ยนแปลงตามระยะการพัฒนาและการเจริญเติบโตของใบ อาจมีผลต่อกระบวนการสังเคราะห์และการสะสมของสารฟีนอลิก ซึ่งสัมพันธ์โดยตรงกับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัด [12] งานวิจัยในพืชสมุนไพรชนิดอื่นยังชี้ให้เห็นว่าความแตกต่างของอายุใบสามารถทำให้ปริมาณสารฟีนอลิกและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเปลี่ยนแปลงไปอย่างมี

นัยสำคัญ [13] แต่สำหรับใบพลูยังขาดข้อมูลการวิเคราะห์เชิงปริมาณที่ชัดเจนและเป็นระบบ

ดังนั้น จึงมีความจำเป็นในการศึกษาเชิงลึกเพื่อทำความเข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเจริญเติบโตของใบพลู กับปริมาณสารฟีนอลิกและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ข้อมูลดังกล่าวจะช่วยระบุช่วงเวลาเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมซึ่งให้คุณภาพสารออกฤทธิ์สูงสุด และเป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากใบพลูที่มีคุณภาพและประสิทธิภาพสูงขึ้น

## 2. วิธีดำเนินการวิจัย

### 2.1 เครื่องมือและสารเคมี

เครื่อง UV-Visible Spectrophotometer (Perkin Elmer Lambda 365) สารเคมีที่สำคัญ ได้แก่ DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (Sigma-Aldrich, USA), ABTS (2,2'-azino-bis (3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acid) (SRL, India), Folin-Ciocalteu (SRL, India), Gallic acid (Sigma-Aldrich, USA), Ascorbic acid (Loba, India)

### 2.2 การสกัดและการเตรียมตัวอย่าง

ใบพลู (*P. betle*) ในสามระยะช่วงการเจริญเติบโต คือ ใบอ่อน (ใบลำดับที่ 1-3 จากยอดและมีสีเขียวอ่อน) ใบเปสลาด (ใบลำดับที่ 4-5 จากยอดและมีสีเขียวเข้มขึ้น) และใบแก่ (ใบลำดับที่ 6 เป็นต้นไปจากปลายยอดและมีสีเขียวเข้ม) เก็บจากตำบลทุ่งศรีเมือง อำเภอสุวรรณภูมิ จังหวัดร้อยเอ็ด ในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2566 หลังจากล้างทำความสะอาด ใบพลูจะถูกทำให้แห้งในที่ร่มมีลมโกรก จากนั้นบดละเอียดและนำตัวอย่างละ 20 กรัม ไปหมักด้วยเอทานอล 95% (v/v) ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 7 วัน ของเหลวที่สกัดได้ถูกกรองออกจากกากและระเหยตัวทำละลายเอทานอลออกด้วยเครื่องระเหยแบบสุญญากาศ (Rotary evaporator) ส่วนกากที่เหลือทำการสกัดซ้ำอีกสองครั้ง สารสกัดที่ได้แต่ละครั้งถูกรวมกัน และทำให้แห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze dryer) ภายใต้สภาวะอุณหภูมิ -50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จะได้สารสกัดหยาบซึ่งถูกเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส ในภาชนะปิดสนิทป้องกันแสงจนกว่าจะใช้ทดสอบในขั้นตอนต่อไป

### 2.3 วิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิก

การวิเคราะห์หาปริมาณฟีนอลิกรวม (Total phenolic content, TPC) ใช้วิธี Folin-Ciocalteu colorimetric assay [14] โดยเตรียมสารสกัดใบพลู ที่ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร นำมาชนิดละ

1 มิลลิลิตร เติมน้ำละลาย Folin-Ciocalteu (เจือจาง 10 เท่า) 5 มิลลิลิตร และสารละลาย Sodium carbonate (เข้มข้น 7.5%) 4 มิลลิลิตร ผสมและเขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร ในการทดลองนี้ใช้กรดแกลลิก (Gallic acid) เป็นสารมาตรฐาน (กรดแกลลิกเตรียมที่ความเข้มข้น 25, 50, 75, 100, 125, 150, 175 และ 200 mg/L) จากนั้นคำนวณหาปริมาณฟีนอลิกรวม จากสมการเส้นตรง  $y=0.0049x-0.0799$  ( $r^2=0.9938$ ) และคำนวณให้อยู่ในหน่วยมิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิก ต่อน้ำหนักกรัมสารสกัด (mgGAE/g extract) การทดลองทั้งหมดทำซ้ำ 3 ครั้ง

### 2.4 วิเคราะห์หาปริมาณสารออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

2.4.1 วิเคราะห์หาปริมาณสารออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH [15] เตรียมสารสกัดหยาบจากใบพลูและสารมาตรฐาน Ascorbic acid ใน 4 ระดับความเข้มข้น (25, 12.5, 6.25 และ 3.125 mg/L) เจือจางในเอทานอล นำสารสกัดแต่ละระดับความเข้มข้นมาอย่างละ 0.2 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลาย DPPH (เข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์) 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 30 นาทีในที่มืด วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร การทดลองทั้งหมดทำซ้ำ 3 ครั้ง จากนั้นคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH (% DPPH Radical Scavenging) ได้จากสมการ 1 และคำนวณค่า  $IC_{50}$  ซึ่งได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นกับเปอร์เซ็นต์การออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

$$\% \text{ DPPH Radical scavenging} = (A_{\text{DPPH}} - A_{\text{test}}) / A_{\text{DPPH}} \times 100 \dots (1)$$

เมื่อ  $A_{\text{DPPH}}$  คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย DPPH ที่ไม่มีตัวอย่าง และ  $A_{\text{test}}$  คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย DPPH หลังทำปฏิกิริยากับตัวอย่าง

2.4.2 วิเคราะห์หาปริมาณสารออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS [15] เตรียมสารละลายอนุมูล ABTS โดยใช้สารละลาย ABTS ความเข้มข้น 7 มิลลิโมลาร์ ปริมาณ 1 มิลลิลิตร มาทำปฏิกิริยากับโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต ( $K_2S_2O_8$ ) ความเข้มข้น 2.4 มิลลิโมลาร์ ปริมาณ 1 มิลลิลิตร บ่มไว้ในที่มืด 12-16 ชั่วโมง ก่อนทำการทดสอบเจือจางด้วยเอทานอลให้ได้ค่าการดูดกลืนของสารละลายอนุมูล ABTS เท่ากับ  $0.700 \pm 0.02$  ที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร สารสกัดหยาบจากใบพลูและสารมาตรฐาน Ascorbic acid เตรียม 4 ระดับความเข้มข้น (25, 12.5, 6.25 และ 3.125 มิลลิกรัมต่อลิตร) นำสารสกัด

แต่ละระดับความเข้มข้นปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลายอนุมูล ABTS 0.9 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 6 นาที จากนั้นวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร การทดลองทั้งหมดทำซ้ำ 3 ครั้ง จากนั้นคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ ABTS (% ABTS radical scavenging) ด้วยสมการที่ 2 และคำนวณหาค่า IC<sub>50</sub> ซึ่งได้จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นกับเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ

$$\% \text{ ABTS radical scavenging} = (A_{\text{ABTS}} - A_{\text{test}}) / A_{\text{ABTS}} \times 100 \dots(2)$$

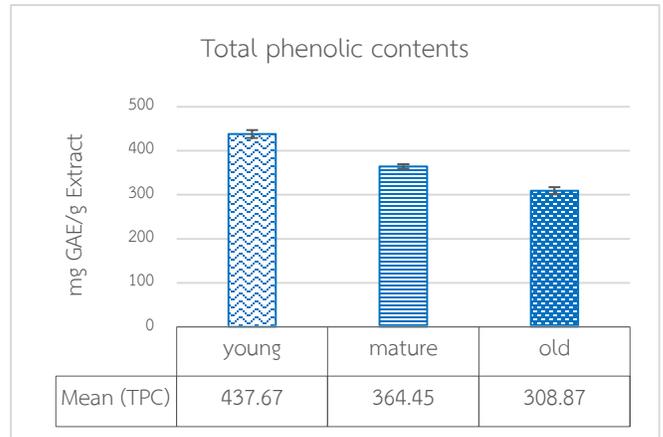
เมื่อ A<sub>ABTS</sub> คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุมูล ABTS ที่ไม่มีตัวอย่าง และ A<sub>test</sub> คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุมูล ABTS หลังทำปฏิกิริยากับตัวอย่าง

### 2.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

ผลการทดลองนำเสนอในรูปแบบค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean ± SD) จากการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง เพื่อแสดงค่าปริมาณฟีนอลิกรวม (TPC) และค่าความเข้มข้นที่ยับยั้งอนุมูลอิสระได้ครึ่งหนึ่ง (IC<sub>50</sub>) ของตัวอย่างแต่ละระยะการเจริญเติบโต การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มทำโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ p < 0.05 ส่วนการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่า TPC และค่า IC<sub>50</sub> จากการทดสอบ DPPH และ ABTS ใช้วิธีการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) และรายงานในรูปแบบสมการเส้นตรงและ ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด (R<sup>2</sup>)

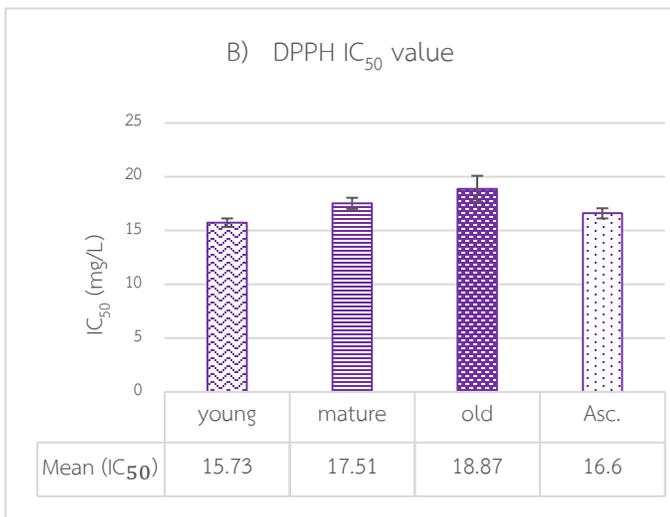
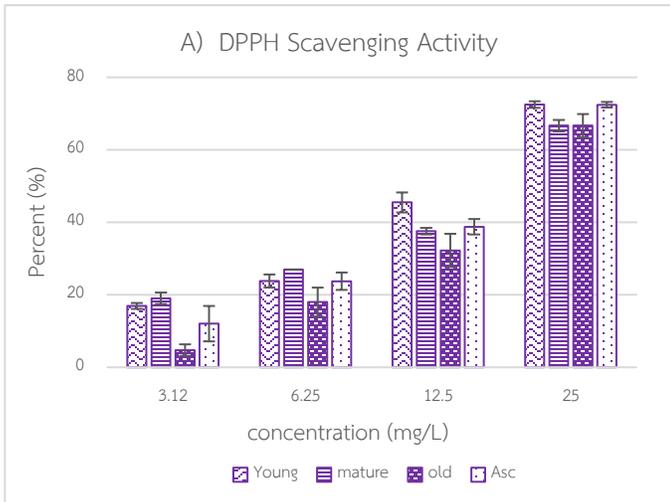
### 3. ผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารฟีนอลิกรวม (TPC) ในสารสกัดใบพลูในแต่ละระยะการเจริญเติบโตพบว่า มีแนวโน้มลดลงเมื่ออายุใบเพิ่มขึ้น (แสดงในภาพที่ 1) โดยใบอ่อนมีปริมาณ TPC สูงที่สุด (437.67 ± 8.98 mg GAE/g extract) รองลงมาคือใบเปสลาด (364.45 ± 4.66 mg GAE/g extract) และต่ำสุดในใบแก่ (308.87 ± 8.13 mg GAE/g extract) ผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วย One-way ANOVA พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p < 0.001) ระหว่างกลุ่มตัวอย่างทั้งสาม แสดงให้เห็นว่าใบอ่อนมีปริมาณสารฟีนอลิกสูงกว่าใบระยะอื่นอย่างมีนัยสำคัญ



ภาพที่ 1 ปริมาณสารฟีนอลิกรวม (TPC) ของสารสกัดใบในระยะต่าง ๆ (อ่อน เปสลาด และแก่) แสดงค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3) ในหน่วย มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อน้ำหนักแห้งของสารสกัด (mg GAE/g extract) ผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วย One-way ANOVA พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (p < 0.001)

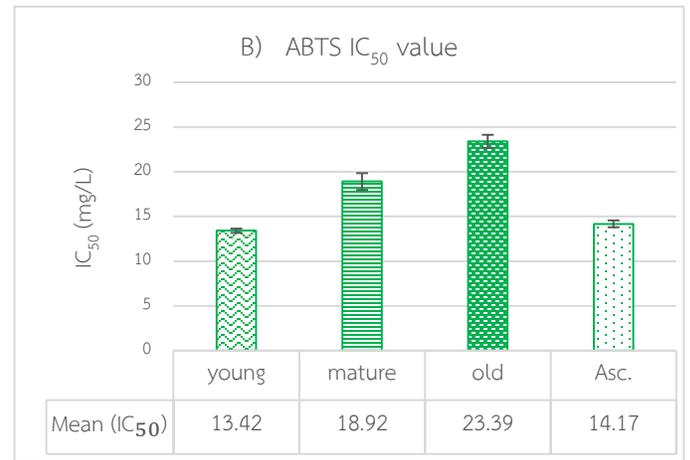
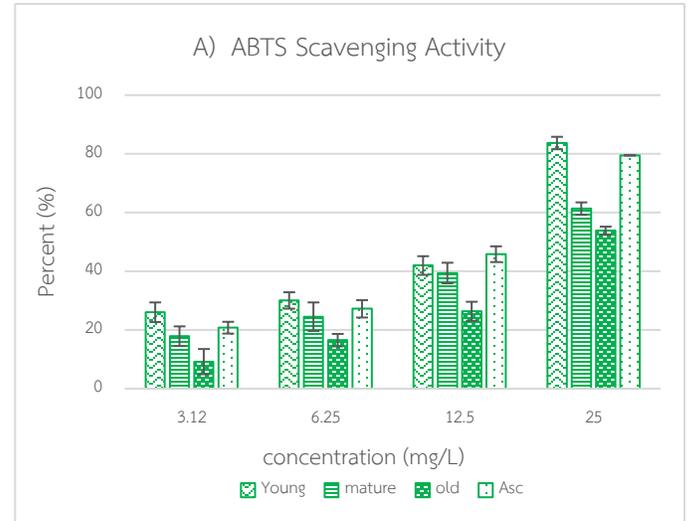
ผลการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH (ภาพที่ 2 (A)) พบว่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งของสารสกัดใบพลูเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญตามความเข้มข้นของสารสกัด (3.12–25 mg/L) ในทุกกลุ่มตัวอย่างทั้งนี้ ใบอ่อน แสดงค่า %inhibition สูงกว่ากลุ่มใบเปสลาดและใบแก่ ในทุกระดับความเข้มข้น โดยที่ Ascorbic acid (สารมาตรฐาน) มีประสิทธิภาพสูงสุดหรือใกล้เคียงกับใบอ่อนในทุกช่วงความเข้มข้นที่ทดสอบ ที่ความเข้มข้น 25 mg/L ใบอ่อนมีค่า %inhibition สูงสุด 72.49 ± 0.92% ใกล้เคียงกับ Ascorbic acid (72.45 ± 0.78%) ใบเปสลาดและใบแก่มีค่า %inhibition ต่ำกว่า (66.67 ± 1.59% และ 66.67 ± 3.18% ตามลำดับ) จากภาพที่ 2 (B) พบว่าใบอ่อนมีค่า IC<sub>50</sub> ต่ำที่สุด (15.73 ± 0.39 mg/L) แสดงถึงความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่สูงที่สุด รองลงมาคือ Ascorbic acid (16.60 ± 0.48 mg/L), ใบเปสลาด (17.51 ± 0.52 mg/L) และใบแก่ (18.87 ± 1.21 mg/L) ตามลำดับ การวิเคราะห์ทางสถิติ (one-way ANOVA) ชี้ให้เห็นว่าค่าความแตกต่างระหว่างกลุ่มมีนัยสำคัญ (p < 0.05) ยืนยันว่าระยะการเจริญเติบโตของใบมีผลต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ โดยใบอ่อนมีสารออกฤทธิ์ที่สามารถกำจัดอนุมูลอิสระได้ดีกว่าใบแก่



ภาพที่ 2 ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดใบพลูในระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ เทียบกับสารมาตรฐานแอสคอร์บิกแอซิด (A) ร้อยละการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ (3.12–25 mg/L) แสดงผลเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3) (B) ค่า IC<sub>50</sub> (mg/L) ของสารสกัดและสารมาตรฐาน

ผลการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดใบพลูด้วยวิธี ABTS (ภาพ A) พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารสกัดในทุกกลุ่มตัวอย่าง (3.12–25 mg/L) โดย ใบอ่อน แสดงเปอร์เซ็นต์การกำจัดอนุมูลอิสระสูงกว่ากลุ่มใบเพสลาดและใบแก่ ทุกระดับความเข้มข้น และใกล้เคียงกับ สารมาตรฐาน Ascorbic acid ที่ความเข้มข้น 25 mg/L ใบอ่อนมีค่า %inhibition สูงสุด 83.68 ± 2.13% รองลงมาคือ Ascorbic acid (79.53 ± 0.08%) ขณะที่ใบเพสลาดและใบแก่มีค่า 61.31 ± 2.14% และ 53.85 ± 1.40% ตามลำดับจากกราฟ B ใบอ่อนมีค่า IC<sub>50</sub> ต่ำที่สุด (13.42 ± 0.24 mg/L) แสดงถึงความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระสูงสุด รองลงมาคือ Ascorbic acid (14.17 ± 0.38 mg/L), ใบเพสลาด (18.92 ± 0.94 mg/L) และใบแก่ (23.39 ± 0.73 mg/L) ตามลำดับการวิเคราะห์

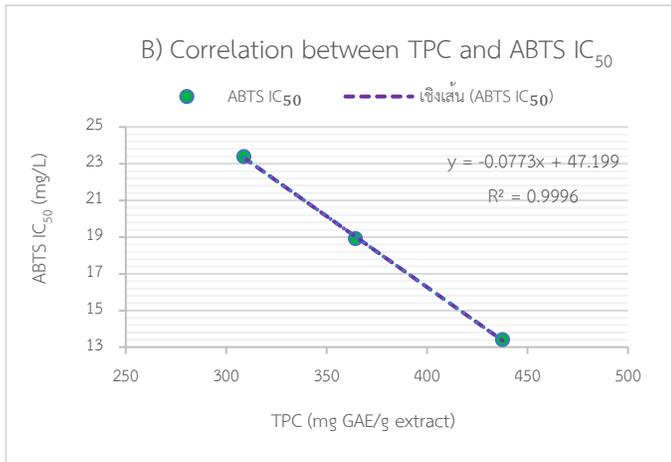
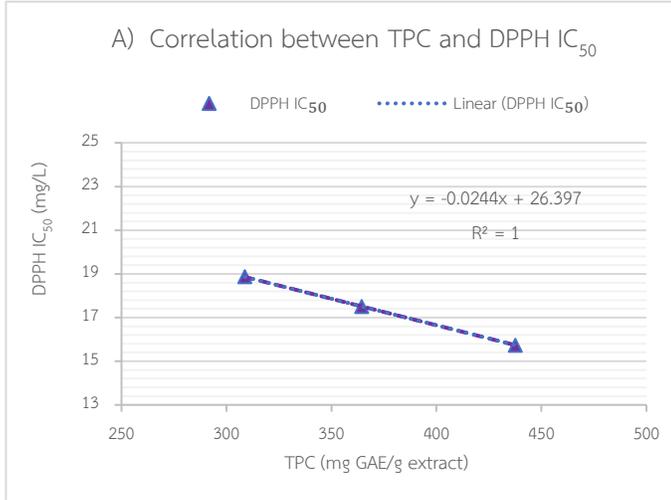
ทางสถิติ (one-way ANOVA) แสดงให้เห็นว่าค่าความแตกต่างระหว่างกลุ่มมีนัยสำคัญ (p < 0.05) ยืนยันว่า ระยะการเจริญเติบโตของใบพลู มีผลชัดเจนต่อความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS โดยใบอ่อนมีฤทธิ์สูงสุด และใบแก่มีฤทธิ์ต่ำที่สุด



ภาพที่ 3 ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ ABTS ของสารสกัดใบพลูในระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ เมื่อเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานแอสคอร์บิกแอซิด (A) ร้อยละการกำจัดอนุมูลอิสระ ABTS ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ (3.12–25 mg/L) แสดงผลเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3) (B) ค่า IC<sub>50</sub> (mg/L) ของสารสกัดและสารมาตรฐาน

ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟีนอลิกรวมและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระพบว่าปริมาณฟีนอลิกรวม (TPC) ของสารสกัดใบพลูมีความสัมพันธ์เชิงลบกับค่าความเข้มข้นที่สามารถยับยั้งอนุมูลอิสระได้ครึ่งหนึ่ง (IC<sub>50</sub>) จากการทดสอบด้วยวิธี DPPH และ ABTS (ภาพที่ 4) โดยสมการถดถอยเชิงเส้นของการทดสอบ DPPH มีค่า  $y = -0.0244x + 26.397$  ( $R^2 = 1.0$ ) ส่วนการทดสอบ ABTS มีค่า  $y = -0.0773x + 47.199$  ( $R^2 = 0.9996$ ) ผลดังกล่าวแสดงแนวโน้มค่า IC<sub>50</sub> ลดลง

เมื่อปริมาณฟีนอลิกเพิ่มขึ้น โดยสารสกัดจากใบอ่อนมีค่า TPC สูงสุดให้ค่า IC<sub>50</sub> ต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสารสกัดจากใบผลสดและใบแก่



ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟีนอลิกรวม (TPC) และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดใบพลูในระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ (ใบอ่อน ใบผลสด และใบแก่) จุดข้อมูลแทนระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ แสดงผลเป็นค่าเฉลี่ย (n = 3) (A) การวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นระหว่าง TPC และค่า IC<sub>50</sub> จากการทดสอบ DPPH (B) การวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นระหว่าง TPC และค่า IC<sub>50</sub> จากการทดสอบ ABTS

#### 4. อภิปรายและสรุปผลการทดลอง

จากผลการศึกษาพบว่า ระยะการเจริญเติบโตของใบพลู (*P. betle*) มีผลต่อปริมาณสารฟีนอลิกรวม (TPC) และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ โดยใบอ่อนมีค่า TPC สูงที่สุด (437.67 ± 8.98 mg GAE/g extract) และแสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดีที่สุดในค่า IC<sub>50</sub> จากการทดสอบ DPPH และ ABTS เท่ากับ 15.73 ± 0.39 และ 13.42 ± 0.24 mg/L ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับใบผลสดและใบแก่พบว่าสารสกัดจากใบอ่อนใช้ความเข้มข้นต่ำกว่าสำหรับการยับยั้งอนุมูลอิสระ 50%

เมื่อเทียบกับสารมาตรฐาน ascorbic acid (IC<sub>50</sub> จาก DPPH = 16.60 ± 0.48 mg/L, ABTS = 14.17 ± 0.38 mg/L) พบว่าสารสกัดจากใบอ่อนมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระใกล้เคียงกับสารมาตรฐาน โดยเฉพาะผลการทดสอบ ABTS ที่ค่า IC<sub>50</sub> ของสารสกัดใบอ่อนต่ำกว่าเล็กน้อย แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของใบพลูในระยะอ่อนที่จะใช้เป็นแหล่งสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติทดแทนสารสังเคราะห์ได้

ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่า TPC และค่า IC<sub>50</sub> พบความสัมพันธ์เชิงลบอย่างชัดเจน โดยจากสมการถดถอยเชิงเส้นค่า IC<sub>50</sub> ลดลงตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณฟีนอลิก (DPPH:  $y = -0.0244x + 26.397$ ,  $R^2 = 1.0$ ; ABTS:  $y = -0.0773x + 47.199$ ,  $R^2 = 0.9996$ ) แสดงให้เห็นว่าการมีปริมาณฟีนอลิกสูงในสารสกัดช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดอนุมูลอิสระ ซึ่งสอดคล้องกับกลไกของสารฟีนอลิกที่สามารถบริจาคอะตอมหรืออิเล็กตรอนจากหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) เพื่อลดปฏิกิริยาลูกโซ่ของการเกิดออกซิเดชันและจำกัดความเสียหายต่อเซลล์ [6] ผลลัพธ์นี้ยังสอดคล้องกับแนวคิดที่ว่าสารต้านอนุมูลอิสระจากแหล่งธรรมชาติมีบทบาทสำคัญต่อการปกป้องโครงสร้างชีวโมเลกุล เช่น ลิพิดและโปรตีน ช่วยลดความเสี่ยงของโรคเรื้อรังที่เกี่ยวข้องกับภาวะเครียดออกซิเดชัน [16]

แม้ว่าผลการทดลองนี้จะได้เพียงค่าปริมาณฟีนอลิกรวม โดยยังไม่สามารถจำแนกชนิดของสารที่แน่ชัด แต่ก็สะท้อนให้เห็นว่าใบพลูมีศักยภาพด้านฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่น่าสนใจ รายงานการศึกษาก่อนหน้านี้พบว่าสามารถแยกสารฟีนอลิกที่มีโครงสร้างทราบแล้ว ได้แก่ eugenol, hydroxychavicol, chavibetol และ methyl eugenol ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นตัวดักจับอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพสูง [8,11] นอกจากนี้ หลักฐานจากการศึกษาที่ผ่านมาได้แสดงให้เห็นว่า eugenol และ hydroxychavicol มีความสามารถในการบริจาคอิเล็กตรอนเพื่อลดการเกิด reactive oxygen species (ROS) และยับยั้งปฏิกิริยา lipid peroxidation ซึ่งเป็นกลไกสำคัญที่นำไปสู่ความเสียหายต่อเซลล์และการเสื่อมสภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ [13,10]

ข้อมูลที่ได้ยังชี้ให้เห็นว่าใบอ่อนมีศักยภาพสูงกว่าระยะการเจริญเติบโตอื่นๆ ซึ่งอาจเนื่องมาจากกลไกการป้องกันทางธรรมชาติที่กระตุ้นการสังเคราะห์สารฟีนอลิกในช่วงที่เนื้อเยื่อยังอ่อนไหวต่อปัจจัยแวดล้อม งานวิจัยหลายฉบับยืนยันว่าพืชสามารถเพิ่มการผลิตสารฟีนอลิกเพื่อตอบสนองต่อสภาวะเครียด เช่น แสง UV ความร้อน ความเค็ม และการคุกคามจากจุลชีพ [17-18] สอดคล้องกับการศึกษาของ Karageorgou และ Manetas (2006) [19] ที่รายงานว่าใบอ่อนของ *Quercus coccifera* มีการสะสมแอนโทไซยานินในระดับสูง

เพื่อป้องกันความเสียหายจากสิ่งแวดล้อม และยังสอดคล้องกับข้อมูลจากพืชสมุนไพรอื่นๆ เช่น ใบชา (*Camellia sinensis*), ใบมะรุม (*Moringa oleifera*) และใบหม่อน (*Morus alba*) ที่รายงานว่าใบอ่อนมีปริมาณฟีนอลิกและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าในใบแก่ [20–22] ข้อมูลเหล่านี้สนับสนุนข้อสันนิษฐานว่าการสังเคราะห์สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในระยะใบอ่อนเป็นกลไกการป้องกันตามธรรมชาติที่พบได้ทั่วไปในพืชเพื่อรับมือกับสิ่งกระตุ้นจากสิ่งแวดล้อม

ดังนั้น ผลการศึกษานี้ชี้ชัดว่า ระยะการเจริญเติบโตมีผลโดยตรงต่อคุณสมบัติทางชีวภาพของใบพลู โดยเฉพาะใบอ่อนซึ่งเป็นแหล่งสำคัญของสารต้านอนุมูลอิสระตามธรรมชาติที่มีศักยภาพสูง และเหมาะสมต่อการนำไปใช้ประโยชน์ในเชิงอุตสาหกรรมเพื่อสุขภาพ อย่างไรก็ตาม ในแง่การจัดการวัตถุดิบเพื่อความยั่งยืน (Sustainability) การเก็บเกี่ยวเฉพาะใบอ่อนในปริมาณมากอาจส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจและการเจริญเติบโตของทรงพุ่มพืชในระยะยาว จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการจัดการแปลงปลูกและกำหนดรอบการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม เพื่อรักษาสมดุลระหว่างปริมาณผลผลิตและคุณภาพสารออกฤทธิ์ อีกทั้งงานวิจัยนี้ยังมีข้อจำกัดด้านจำนวนแหล่งเก็บตัวอย่างและการควบคุมปัจจัยสิ่งแวดล้อม จึงควรมีการศึกษาต่อยอดเพื่อเพิ่มความหลากหลายของตัวอย่าง รวมถึงการศึกษาอิทธิพลของความแปรปรวนตามฤดูกาล (Seasonal variation) ซึ่งอาจส่งผลต่อการสะสมสารทุติยภูมิ และขยายขอบเขตการประเมินฤทธิ์ทางชีวภาพอื่นๆ เช่น ต้านการอักเสบ ต้านจุลชีพ และต้านเซลล์มะเร็ง เพื่อสร้างองค์ความรู้ที่ครอบคลุมและสนับสนุนการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากใบพลูได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ สำหรับการสนับสนุนการวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณสาขาวิชาเคมีและศูนย์วิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ ที่เอื้อเฟื้อสารเคมี ห้องปฏิบัติการ และเครื่องมือในการทำวิจัย

### เอกสารอ้างอิง

1. Quijano-Abril MA, Callejas-Posada R, Miranda-Esquivel DR. Areas of endemism and distribution patterns for Neotropical species of *Piper* (Piperaceae). *Journal of Biogeography*, 2006;33(7):1266–1278.

2. Salehi B, Zakaria ZA, Gyawali R, Ibrahim SA, Rajkovic J, Shinwari ZK, Khan T, Sharifi-Rad J, Ozleyen A, Turkdonmez E, et al. Piper Species: A Comprehensive Review on Their Phytochemistry, Biological Activities and Applications. *Molecules*. 2019;24(7):1364. <https://doi.org/10.3390/molecules24071364>
3. Singh T, Singh P, Pandey VK, Singh R, Dar AH. A literature review on bioactive properties of betel leaf (*Piper betel* L.) and its applications in food industry. *Food Chemistry Advances*. 2023;3:100536 <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100536>.
4. Carsono N, Tumilaar SG, Kurnia D, Latipudin D, Satari MH. A Review of Bioactive Compounds and Antioxidant Activity Properties of Piper Species. *Molecules*. 2022;27(19):6774. <https://doi.org/10.3390/molecules27196774>
5. Madhumita M, Guha P, Nag A. Bio-actives of betel leaf (*Piper betel* L.): A comprehensive review on extraction, isolation, characterization, and biological activity. *Phytother Res*. 2020;34(10):2609–27. doi: 10.1002/ptr.6715.
6. Poprac P, Jomova K, Simunkova, M, Kollar V, Rhodes CJ, Valko M. Targeting free radicals in oxidative stress-related human diseases. *Trends Pharmacol. Sci*. 2017; 38:592–607.
7. Rai MP, Thilakchand KR, Palatty PL, Rao P, Rao S, Bhat HP, et al. Piper betel Linn (betel vine), the maligned Southeast Asian medicinal plant possesses cancer-preventive effects: Time to reconsider the wrong opinion. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention: APJCP*. 2011;12(9):2149–2156.
8. Singh D, Narayanamoorthy S, Gamre S, Majumdar AG, Goswami M, Gami U, et al. Hydroxychavicol, a key ingredient of Piper betel induces bacterial cell death by DNA damage and inhibition of cell division. *Free Radical Biology and Medicine*. 2018;120:62–71. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2018.03.021>

9. Patra B, Deep SK, Rosalin R, Pradhan SN. Flavored food additives on the leaves of piper betle L.: A human health perspective. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 2022;194(10), 4439–4461.  
<https://doi.org/10.1007/s12010-022-03912-w>
10. Uddin, M.F.; Uddin, S.A.; Hossain, M.D.; Manchur, M.A. Antioxidant, cytotoxic and phytochemical properties of the ethanol extract of Piper betle leaf. *Int. J. Pharm. Sci. Res.* 2015;6:4252–4258.
11. Jaiswal S, Patel M, Saxena D, Naik S. Antioxidant properties of Piper betel (L.) leaf extracts from six different geographical domain of India. *J. Bioresour. Eng. Technol.* 2014;1:18–26.
12. Subramani K, Shanmugam BK, Rangaraj S, Murugan V, Srinivasan S, Awitor OK, et al. Functional and antimicrobial properties of herbal nanocomposites from Piper betle plant leaves for enhanced cotton fabrics. *Journal of Coatings Technology and Research.* 2020;17:1363–1375.
13. Baliga MS, Dsouza JJ. Piper betle L. (Betel leaf): A review of its traditional uses, phytochemistry, pharmacology, and toxicology. *International Journal of Applied Research in Natural Products.* 2011;4(4):1-15.
14. Yingngam B, Monschein M, Brantner A. “Ultrasound-assisted extraction of phenolic compounds from *Cratogeomys formosum* ssp. *formosum* leaves using central composite design and evaluation of its protective ability against H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-induced cell death.” *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine.* 2014;7(1): S497-S505.
15. Veeru P, Kishor, MP, Meenakshi M. Screening of medicinal plant extracts for antioxidant activity. *Journal of Medicinal Plants Research.* 2009;3(8): 608-12.
16. Rice-Evans C, Miller N, Paganga G. Antioxidant properties of phenolic compounds, *Trends in Plant Science.* 1997;2(4):152-159,  
[https://doi.org/10.1016/S1360-1385\(97\)01018-2](https://doi.org/10.1016/S1360-1385(97)01018-2).
17. Salunke P, Koche D. Role of Phenolic compounds in plant defense mechanism: An updated review *Indian J. Applied & Pure Bio.* 2023;38(3);1199-1215.
18. Zagoskina NV, Zubova MY, Nechaeva TL, Kazantseva VV, Goncharuk EA, Katanskaya VM, Baranova EN, Aksenova MA. Polyphenols in Plants: Structure, Biosynthesis, Abiotic Stress Regulation, and Practical Applications (Review). *International Journal of Molecular Sciences.* 2023;24(18):13874.  
<https://doi.org/10.3390/ijms241813874>
19. Karageorgou P, Manetas Y. The importance of being red when young: anthocyanins and the protection of young leaves of *Quercus coccifera* from insect herbivory and excess light. *Tree Physiol.* 2006;26(5):613-21.  
doi: 10.1093/treephys/26.5.613. PMID: 16452075.
20. Wang SY, Lin HS. Antioxidant activity in fruits and leaves of blackberry, raspberry, and strawberry varies with cultivar and developmental stage. *J Agric Food Chem.* 2000;48(2):140-6.  
doi: 10.1021/jf9908345. PMID: 10691606.
21. Sreelatha S, Padma PR. Antioxidant Activity and Total Phenolic Content of *Moringa oleifera* Leaves in Two Stages of Maturity. *Plant Foods for Human Nutrition.* 2009;64;303-311. <http://dx.doi.org/10.1007/s11130-009-0141-0>
22. Chen C, Mokhtar RAM, Sani MSA, Noor NQIM. The Effect of Maturity and Extraction Solvents on Bioactive Compounds and Antioxidant Activity of Mulberry (*Morus alba*) Fruits and Leaves. *Molecules.* 2022;27: 2406. <https://doi.org/10.3390/molecules27082406>



## คณะผู้จัดทำ

### กองจัดการและพิสูจน์อักษร

ผศ.ดร.น้องนุช สารภี

ผศ.ดร.ธงชัย เจือจันทร์

ผศ.ดร.ยุพเยาว์ โตคีรี

นางยุริรัตน์ ดวงแก้ว

### ฝ่ายออกแบบและสารสนเทศ

นายกฤษฎา นวลนาง

นางยุริรัตน์ ดวงแก้ว

นายชัยรัตน์ งามงอน

### โรงพิมพ์

บริษัท 253 พรีนซ์ ไซน์ จำกัด

253, 253/1 ถ.เทศบาล3 ต.ในเมือง อ.เมืองสุรินทร์ จ.สุรินทร์ โทรศัพท์ 0-4451-2128