วารสารวิทยาศาสตร์ คชสาส์น

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.ฒาลิศา ยุวอมรพิทักษ์	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
5. รองศาสตราจารย์ ดร.สำเนาว์ เสาวกูล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์
6. รองศาสตราจารย์ ดร.กฤติมา กษมาวุฒิ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน 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 อิศรานุวัฒน์	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
12. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประวรดา โภชนจันทร์	มหาวิทยาลัยสวนดุสิต
13. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วุฒิชัย กันนุฬา	มหาวิทยาลัยนครพนม
14. รองศาสตราจารย์ ดร.อำนวย วัฒนกรสิริ	มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์
15. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กชนิภา อุดมทวี	มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์
16. ผู้ช่วยศาสตราจารย์จีระเดช อินทเจริญศานต์	มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์
17. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยุพเยาว์ โตคีรี	มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์

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

วารสารวิทยาศาสตร์ คชสาส์น

Koch Cha Sarn Journal of Science

ปีที่ 46 ฉบับที่ 2 : กรกฎาคม – ธันวาคม 2567
Vol.46 No.2 July – December 2024

สำนักงานวารสาร

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

วัตถุประสงค์และขอบเขต

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

วารสารวิทยาศาสตร์ คชสาส์น 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 คชสาส์น **ปีที่ 46 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม 2567**

Koch Cha Sarn Journal of Science **Vol.46 No.2 July – December 2024**

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

วารสารวิทยาศาสตร์ คชสาส์น **ปีที่ 46 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม 2567**
Koch Cha Sarn Journal of Science **Vol.46 No.2 July – December 2024**

สารบัญ

การศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมีของสมุนไพรที่ใช้ปรุงยาตามหลักเภสัชกรรมไทย กรณีศึกษา: รากระย่อม
The Study of Physical and Chemical Characteristic of Herbal Used in Thai Pharmacy Principle Case Study: Rauwolfia Root
จินตนา นันต๊ะ นภาพร ณ อุโมงค์ กฤษดา ศรีหมตรี และศิวพงษ์ ตันสุวรรณวงค์
Jintana Nunta, Napaporn Na Umong, Kritsada Srihomtri & Siiwapong Tansuwanwong.....1

ปริมาณสารฟีนอลิกรวม การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย จากสารสกัดดอกแคหัวหมู
Phenolic Compounds, antioxidant and anti-bacterial activities from *Markhamia tipulate* Seem. Flowers extracts
ภรณ์ทิพย์ ชัยสว่าง ปาริชาติ อ้นองอาจ กัมปนาท คำสุข และณลิตา ไพบูลย์
Pornthip Chaisawang, Parichat Ononngarj, Kumpanat Khamsuk & Nalita Phaiboon.....6

กำลังอัดและความพรุนของมอร์ต้าร์ผสมหินบะซอลต์บด
Compressive strength and porosity of mortar containing ground basalt
กนิษฐา เหลืองงามขำ สำเริง รักซ้อน
Kanittha Luengngamkham & Sumrerng Rukzon.....13

พฤติกรรมการใช้สารเคมีของเกษตรกรกับการพัฒนาแนวทางลดการใช้สารเคมีในการผลิตทุเรียนเพื่อการส่งออก ตำบลกะหรอ อำเภอนบพิตำ จังหวัดนครศรีธรรมราช
Chemical Use Behavior of Farmers and the development of guidelines for reducing the use of chemicals in durian production for export, Karo Subdistrict, Nopphitam District, Nakhon Si Thammarat Province
เยาวมาลย์ เขียวสอาด สุพพัต เมืองศรีนุ่น และปิยะวรรณ เนื่องมัจฉา
Yaowamarn Keawsaard, Suppapat Muangsrinun & Piyawan Nuengmatcha.....19

ISSN 2985-0835

KOCH CHA SARN JOURNAL OF SCIENCE
Vol. 46 (2); July-December (2024), pp. 1-5
https://science.srru.ac.th/kochasarn

Research Article

The Study of Physical and Chemical Characteristic of Herbal Used in Thai Pharmacy Principle Case Study: Rauwolfia Root

การศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมีของสมุนไพรที่ใช้ปรุงยาตามหลักเภสัชกรรมไทย กรณีศึกษา: รากระย่อม

จินตนา นันต๊ะ[1], นภาพร ณ อุโมงค์[1] , กฤษดา ศรีหมตรี[1], ศิวพงษ์ ตันสุวรรณวงค์[1*]
Jintana Nunta[1], Napaporn Na Umong[1], Kritsada Srihomtri[1], Siwapong Tansuwanwong[1*]
[1]โปรแกรมวิชาการแพทย์แผนไทย วิทยาลัยการแพทย์พื้นบ้านและการแพทย์ทางเลือก มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
[1]Thai Traditional Medicine Program, School of Traditional and Alternative Medicine, Chiang Rai Rajabhat University, Chiang Rai

Article Info

Received 9 April 2024

Revised 19 July 2024

Accepted 6 November 2024

Abstract

This research was aimed to study the physical and chemical characteristic of *Rauvolfia serpentina* (L.) Benth. ex Kurz (Rauwolfia) root which used in Thai pharmacy principle. The rauwolfia roots were treated to toxic elimination by three methods based on Thai pharmacy process: 1. roasting, 2. soaking in washings uncooked rice water and roasting, 3. alcohol spraying and roasting. The physical characteristic was examined by knowledge of Thai traditional medicine and chemical characteristic was examined by high performance thin layer chromatography (HPTLC). The results revealed that physical characteristic of three samples of rauwolfia root were solid, light brown-yellow, roasted bean smell and bitter. When examined chemical characteristic of three samples by HPTLC, it showed slightly different of TLC pattern when detected under white light, UV light 254 and 366 nm, respectively. White light was not found any band in three samples. While under UV light 254 nm, TLC pattern of sample 1 and 2 found 8 bands but sample 3 found 7 bands. Moreover, under UV light 366 nm, three samples were found 8 bands but sample 3 showed mostly light intensive bands. The result from this study was able to confirm physical characteristic of rauwolfia root. It can be developed for quality control of raw material using for Thai pharmacy principle.

Keywords: Rauwolfia root, Physical characteristic, Chemical characteristic

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมีของรากระย่อมที่ใช้ปรุงยาตามหลักเภสัชกรรมไทย ที่ผ่านกระบวนการเตรียมเครื่องยาไทยด้วยการฆ่าฤทธิ์ 3 รูปแบบ คือ 1. การคั่ว 2. การแช่น้ำซาวข้าวและคั่ว 3. การพรมเหล้าและคั่ว โดยอาศัยองค์ความรู้ในการตรวจสอบทางกายภาพด้วยหลักการแพทย์แผนไทย และการตรวจสอบเอกลักษณ์ทางเคมีด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบบางสมรรถนะสูง ผลการศึกษาพบว่า ลักษณะ ทางกายภาพของรากระย่อมทั้ง 3 ตัวอย่าง มีลักษณะแข็ง สีน้ำตาลอ่อนอมเหลือง กลิ่นคล้ายถั่วลิสงคั่ว และมีรสขม เมื่อตรวจสอบทางเคมี พบว่าทั้ง 3 ตัวอย่าง มีลักษณะการแยกเป็นแถบสารแตกต่างกันเล็กน้อย โดยที่แสงขาว ตรวจไม่พบการแยกแถบสารทั้ง 3 ตัวอย่าง แต่เมื่อตรวจสอบด้วยแสงยูวี 254 นาโนเมตร พบว่าตัวอย่าง 1 และ 2 มีการแยกแถบสาร 8 แถบ ส่วนตัวอย่าง 3 พบเพียง 7 แถบ เมื่อตรวจสอบด้วยแสงยูวี 366 นาโนเมตร พบว่า ทั้ง 3 ตัวอย่าง มีการแยกแถบสาร 8 แถบเหมือนกันแตกต่างกันที่ความเข้มของแถบ โดยตัวอย่าง 3 มีความเข้มแถบน้อยที่สุด ซึ่งผลจากการศึกษาวิจัยนี้

*Corresponding Author. Email: siwapong201@hotmail.com

สามารถช่วยยืนยันลักษณะทางกายภาพและเคมีของรากระย่อม และมีโอกาสพัฒนาเป็นมาตรฐานสำหรับการควบคุมวัตถุดิบสมุนไพรใช้ปรุงยาตามหลักเภสัชกรรมไทยต่อไป

คำสำคัญ: รากระย่อม, ลักษณะทางกายภาพ, เอกลักษณ์ทางเคมี

1. บทนำ

ระย่อม (Rauwolfia) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Rauvolfia serpentina* (L.) Benth. ex Kurz เป็นพืชสมุนไพรที่ใช้ในส่วนของรากในการทำยารักษาอาการนอนไม่หลับ แก้คลุ้มคลั่งเนื่องจากดีและโลหิต ช่วยเจริญอาหารและแก้ปวดศีรษะเนื่องจากความดันโลหิตสูง จากการศึกษาข้อมูลทางเภสัชวิทยาของระย่อม สารสำคัญที่พบ ได้แก่ สารในกลุ่ม indole alkaloids ชนิดที่สำคัญ คือ reserpine และ alkaloids หลายชนิด เช่น sarpagine, serpentine และ yohimbine เป็นต้น [1] มีฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา ได้แก่ ลดความดันโลหิต ระงับประสาทและทำให้นอนหลับสบาย อย่างไรก็ตาม การใช้รากระย่อมในการทำยามีข้อควรระวัง เนื่องจากยาชนิดนี้ มีพิษเล็กน้อยจึงไม่ควรรับประทานยามากเกินกว่าปริมาณที่กำหนด และไม่ควรใช้ยาติดต่อกันเป็นเวลานานเกินไป เพราะอาจจะทำให้เกิดอาการความดันโลหิตต่ำ เป็นพิษต่อร่างกาย และทำให้มีอาการแทรกซ้อนได้ เช่น เป็นหวัด คัดจมูก หายใจไม่สะดวก เป็นต้น [2-5]

ในการปรุงยารักษาโรคให้กับผู้ป่วยตามหลักเภสัชกรรมไทย ผู้ปรุงยาต้องพิจารณาตัวยาว่าใช้ส่วนไหนของเภสัชวัตถุ การใช้ตัวยาอันตรายมีฤทธิ์แรง หากใช้เกินขนาดหรือใช้ไม่ถูกวิธีก็อาจทำอันตรายถึงแก่ชีวิตได้ ซึ่งวิธีการทำให้ฤทธิ์ของสมุนไพรอ่อนลงหรือวิธีการลดฤทธิ์สมุนไพรในตำรับยาไทยใช้วิธีการลดฤทธิ์ยาหลายวิธี ได้แก่ การสะตุ การประสะ และการฆ่าฤทธิ์ ซึ่งมีวิธีการแปรสภาพยาที่แตกต่างกันไป ดังนั้น การใช้รากระย่อมในการปรุงยาเพื่อรักษาโรคจึงต้องใช้ด้วยความระมัดระวัง หากใช้เกินขนาดหรือใช้ไม่ถูกวิธีก็จะมีอาการข้างเคียงดังที่กล่าวไปแล้วข้างต้น จากการสืบค้นคัมภีร์ ตำราและเอกสารด้านการแพทย์แผนไทย พบวิธีการเตรียมเครื่องยาไทยที่ทำให้พิษ ของรากระย่อมอ่อนลง โดยการฆ่าฤทธิ์ตามหลักเภสัชกรรมไทย มีทั้งหมด 3 วิธี ได้แก่ วิธีที่ 1 ก่อนใช้ต้องคั่วให้เหลืองเสียก่อนอาการแทรกซ้อนจะน้อยลง [6] วิธีที่ 2 ก่อนใช้แช่น้ำซาวข้าว 3 - 4 ชั่วโมง แล้วนำไปคั่วด้วยไฟอ่อน ๆ ให้สุกเหลืองไม่ให้ไหม้ [7] และวิธีที่ 3 ก่อนใช้ให้พรมด้วยเหล้าแล้วนำไปคั่วด้วยไฟอ่อน ๆ ให้สุกเหลืองไม่ให้ไหม้ [7] จะเห็นได้ว่าการเลือกใช้รากระย่อมก่อนนำมาใช้ในการปรุงยาตามหลักเภสัชกรรมไทยที่ได้มีการจดบันทึกในคัมภีร์ ตำราและเอกสาร ด้านการแพทย์แผนไทยนั้น เป็นความรู้และทักษะที่อาศัยประสบการณ์ความชำนาญในการพิจารณาการปรุงยาที่อยู่ในตัวบุคคลของ แพทย์แผนไทยในอดีต อย่างไรก็ตาม นอกจากกระบวนการเตรียมเครื่องยาไทยที่ผู้ปรุงยาตามหลักเภสัชกรรมไทย จำเป็นต้องรู้วิธีการแปรสภาพทำให้ฤทธิ์ของรากระย่อมอ่อนลงก่อนนำมาปรุงยารักษาโรคให้ลึกซึ้งแล้วในกระบวนการดังกล่าวผู้ปรุงยาก็ต้องทราบถึงรูปลักษณะพื้นฐานของสมุนไพรนั้น ๆ เพื่อประโยชน์ในการตรวจสอบเอกลักษณ์และควบคุมคุณภาพของสมุนไพร ซึ่งเป็นกระบวนการที่สำคัญอย่างยิ่งที่จะทำให้มั่นใจได้ว่าวัตถุดิบสมุนไพรมีคุณภาพตามมาตรฐาน เพื่อใช้ปรุงยาในการรักษาโรคต่อไป

ดังนั้น การที่จะนำภูมิปัญญาการแพทย์แผนไทยด้านยาสมุนไพรโดยการใช้รากระย่อมมาส่งเสริมดูแลและรักษาโรค/อาการเจ็บป่วยโดยเฉพาะอาการนอนไม่หลับให้กับประชาชนได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้น คณะผู้วิจัยจึงเล็งเห็นถึงความสำคัญในการศึกษาการตรวจสอบคุณลักษณะทางกายภาพและเอกลักษณ์ทางเคมีของรากระย่อมที่ผ่านกระบวนการเตรียมเครื่องยาไทยด้วยการฆ่าฤทธิ์ตามหลักเภสัชกรรมไทย ทั้ง 3 วิธี ดังที่กล่าวไปแล้วข้างต้น เพื่อเป็นการช่วยยืนยันเพิ่มเติมหลังการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพและมาตรฐานสำหรับการควบคุมวัตถุดิบสมุนไพรของรากระย่อมเพื่อใช้ปรุงยาไทยตามหลักเภสัชกรรมไทยและเพื่อใช้เป็นแนวทางในการจัดการเรียนการสอนให้แก่บัณฑิตแพทย์แผนไทยที่มีขีดความสามารถในการใช้ยาสมุนไพรสำหรับการประกอบวิชาชีพแพทย์แผนไทยในอนาคต

2. วัตถุประสงค์การศึกษา

เพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมีของรากระย่อมที่ใช้ปรุงยาตามหลักเภสัชกรรมไทย

3. วิธีการดำเนินการศึกษา

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงคุณภาพ โดยการรวบรวมองค์ความรู้ครอบคลุมประเด็นเกี่ยวกับวิธีการเตรียมเครื่องยาไทยของรากระย่อมที่ใช้ปรุงยาตามหลักเภสัชกรรมไทยด้วยวิธีฆ่าฤทธิ์ จากเอกสารตำราจากจารึกหรือคัมภีร์หรือ ตำราการแพทย์แผนไทยที่มีเนื้อหาทางด้านยาไทย ตั้งแต่สมัยอยุธยาจนถึงรัตนโกสินทร์ จำนวน 16 รายการ ได้แก่ คัมภีร์ธาตุพระนารายณ์, จารึกวัดราชโอรสารามราชวรวิหาร, ตำราพระโอสถครั้งรัชกาลที่ 2, จารึกวัดพระเชตุพนวิมลมังคลา, ตำราเวชศาสตร์ฉบับหลวงรัชกาลที่ 5, ตำราสรรพคุณยา, ตำรายาพระองค์เจ้าสาย, ตำราแพทย์ศาสตร์สงเคราะห์ (พระยาพิศณุประสาทเวช), ตำราเวชศึกษาแพทย์ศาสตร์สังเขป, ตำราแพทย์ศาสตร์สงเคราะห์ (โรงเรียนแพทย์แผนโบราณวัดโพธิ์), ตำราแพทย์ตำบล, ตำราหมอประจำบ้าน, ตำราคัมภีร์แพทย์ไทยแผนโบราณ (ขุนโสภิตบรรณลักษณ์), ประมวลสรรพคุณยาไทยว่าด้วยพฤกษชาติ วัตถุธาตุ และสัตว์วัตถุนานาชนิด, ตำราแพทย์แผนโบราณทั่วไป สาขาเภสัชกรรม (กองการประกอบโรคศิลปะ) และรายการตำรับยาแผนไทยแห่งชาติ ฉบับ พ.ศ. 2564 แล้วทำตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของรากระย่อม ที่ผ่านกระบวนการการฆ่าฤทธิ์ตามหลักเภสัชกรรมไทย โดยอาศัยองค์ความรู้ในการตรวจสอบด้วยการแพทย์แผนไทยและการตรวจสอบเอกลักษณ์ทางเคมีด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบบางสมรรถนะสูง มีขั้นตอนวิธีการดำเนินงานดังนี้

3.1 การเตรียมตัวอย่างรากระย่อม

จากการสืบค้นคัมภีร์ ตำรา และเอกสารด้านการแพทย์แผนไทย จำนวน 16 รายการ พบวิธีการเตรียมเครื่องยาไทยที่ทำให้พิษของรากระย่อมอ่อนลงโดยการฆ่าฤทธิ์ตามหลักเภสัชกรรมไทย มีทั้งหมด 3 วิธี ได้แก่

วิธีที่ 1 ก่อนใช้ต้องคั่วให้เหลืองเสียก่อนอาการแทรกซ้อนจะน้อยลง [6] วิธีที่ 2 ก่อนใช้แช่น้ำซาวข้าว 3 - 4 ชั่วโมง แล้วนำไปคั่วด้วยไฟอ่อน ๆ ให้สุกเหลืองไม่ให้ไหม้ [7] และวิธีที่ 3 ก่อนใช้ให้พรมด้วยเหล้าแล้วนำไปคั่วด้วยไฟอ่อน ๆ ให้สุกเหลืองไม่ให้ไหม้ [7] ซึ่งการเตรียมตัวอย่างรากระย่อมที่นำมาศึกษาในครั้งนี้ เป็นรากระย่อมที่ผ่านกระบวนการการฆ่าฤทธิ์ตามหลักเภสัชกรรมไทยเรียบร้อยแล้ว ของวิทยาลัยการแพทย์พื้นบ้านและการแพทย์เลือก จำนวน 3 ตัวอย่าง ได้แก่ ตัวอย่างที่ 1 รากระย่อมที่ผ่านกระบวนการฆ่าฤทธิ์ด้วยวิธีคั่วให้เหลือง ตัวอย่างที่ 2 รากระย่อมที่ผ่านกระบวนการฆ่าฤทธิ์ด้วยวิธีแช่น้ำซาวข้าวแล้วนำไปคั่วให้เหลือง และตัวอย่างที่ 3 รากระย่อมที่ผ่านกระบวนการฆ่าฤทธิ์ด้วยวิธีพรมด้วยเหล้าแล้วนำไปคั่วให้เหลือง

3.2 การตรวจสอบลักษณะทางกายภาพ

นำตัวอย่างรากระย่อมที่ผ่านกระบวนการเตรียมเครื่องยาไทยด้วยการฆ่าฤทธิ์ตามหลักเภสัชกรรมไทยแล้ว ทั้ง 3 ตัวอย่าง มาตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของรากระย่อม โดยอาศัยแพทย์แผนไทยที่มีความเชี่ยวชาญด้านพืชสมุนไพรของวิทยาลัยการแพทย์พื้นบ้านและการแพทย์ทางเลือก จำนวน 3 คน มาทำการตรวจสอบลักษณะสี กลิ่นและรส พร้อมกัน และตกลงหาข้อยุติร่วมกัน ตามหลักการของพรพรรณ ก้อใจ และคณะ [8]

3.3 การตรวจสอบเอกลักษณ์ทางเคมีด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบบางสมรรถนะสูง

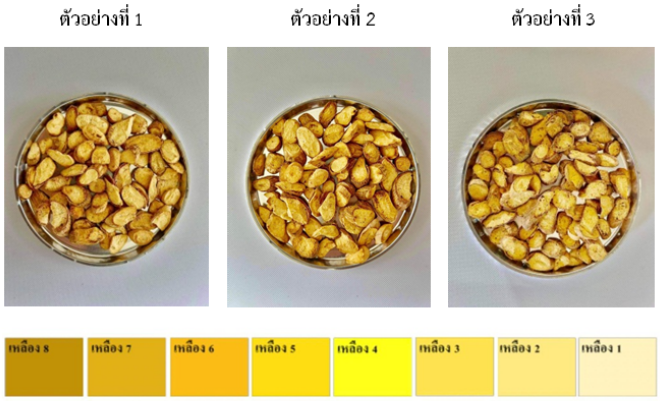
การตรวจสอบเอกลักษณ์ทางเคมีด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบบางสมรรถนะสูงดัดแปลงจากศิวพงษ์ ตันสุวรรณวงศ์ และคณะ [9-10] โดยการนำตัวอย่างรากระย่อมที่ผ่านกระบวนการเตรียมเครื่องยาไทยด้วยการฆ่าฤทธิ์ตามหลักเภสัชกรรมไทยแล้ว ทั้ง 3 ตัวอย่างมาตรวจสอบเอกลักษณ์ทางเคมีด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบบางสมรรถนะสูง โดยขั้นแรกจะนำรากระย่อมที่ผ่านกระบวนการเตรียมเครื่องยาไทยด้วยการฆ่าฤทธิ์ ทั้ง 3 ตัวอย่างมาบดเป็นผงละเอียดแล้วร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 60 แล้วสกัดสารจากผงละเอียด โดยชั่งผงของรากระย่อมหนัก 1 มิลลิกรัม เติม 80% เอทานอลปริมาตร 5 มิลลิลิตร ทำการเขย่าด้วยเครื่องเขย่า (Orbital shaker GS-20, MIULAB) ที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาที เพื่อสกัดสารเป็นเวลา 60 นาที จากนั้นกรองสารสกัดด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 เพื่อให้ได้สารสกัดจากรากระย่อม นำสารสกัดจากรากระย่อมที่ผ่านกระบวนการเตรียมเครื่องยาไทยด้วยการฆ่าฤทธิ์ ทั้ง 3 ตัวอย่าง มาทำการตรวจสอบเอกลักษณ์ทางเคมีโดยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบบางสมรรถนะสูง (High Performance Thin Layer Chromatography; HPTLC) โดยใช้เฟสคงที่ (Stationary phase) คือ แผ่นอะลูมิเนียมเคลือบด้วย Silica gel 60 F254 (Merck) ขนาด 10x10 เซนติเมตร โดยใช้เครื่องพ่นอัตโนมัติ (Linomat 5, CAMAG®) หลังจากพ่นสารสกัดลงบนแผ่น TLC แล้ว นำแผ่น TLC ไปผ่านกระบวนการแยกแถบสารโดยใส่ลงในถังแก้วที่มีเฟสเคลื่อนที่ (Mobile phase) อิ่มตัวคือ Toluene : Ethyl acetate : Formic acid ในอัตราส่วน 5 : 4 : 1 แล้วทำการตรวจสอบเอกลักษณ์ทางเคมีในรูปแบบลักษณะลายพิมพ์ (Fingerprint) ของสารสกัดรากระย่อม ที่ผ่านกระบวนการเตรียมเครื่องยาไทยด้วยการฆ่าฤทธิ์ ทั้ง 3 ตัวอย่าง ด้วยเครื่องวัดแสง (TLC Visuallizer, CAMAG®) ภายใต้แสงขาว แสงยูวี ที่ความยาวคลื่น 254 และ 366 นาโนเมตรตามลำดับ และคำนวณค่า Retention Factor (R_f) ของแถบสารที่แยกออกจากกัน (โครมาโทแกรม) และทำการเปรียบเทียบลักษณะ Fingerprint ของสารสกัดจากรากระย่อมที่ผ่านกระบวนการเตรียมเครื่องยาไทยด้วยการฆ่าฤทธิ์ทั้ง 3 ตัวอย่าง

4. ผลการวิจัย

4.1 การตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของรากระย่อม

จากการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของรากระย่อมที่ผ่านกระบวนการเตรียมเครื่องยาไทยด้วยการฆ่าฤทธิ์ตามหลักเภสัชกรรมไทยแล้ว ทั้ง 3 ตัวอย่าง โดยอาศัยแพทย์แผนไทยที่มีความเชี่ยวชาญด้านพืชสมุนไพรของวิทยาลัยการแพทย์พื้นบ้านและการแพทย์ทางเลือก จำนวน 3 คน มาทำการตรวจสอบลักษณะสี กลิ่นและรส พร้อมกันและตกลงหาข้อยุติร่วมกัน มีผลการตรวจสอบดังนี้

- การตรวจสอบสี



ภาพที่ 1 ตัวอย่างรากระย่อมและแถบสีที่ใช้ในการตรวจสอบลักษณะสี

จากการตรวจสอบรูปพรรณสัณฐานภายนอกของรากระย่อมที่ผ่านกระบวนการเตรียมเครื่องยาไทยด้วยการฆ่าฤทธิ์ ทั้ง 3 ตัวอย่าง พบว่า เนื้อในของรากระย่อมที่ผ่านกระบวนการเตรียมเครื่องยาไทย

ด้วยการฆ่าฤทธิ์ ทั้ง 3 ตัวอย่าง มีลักษณะแข็ง และเมื่อใช้แถบสีในการตรวจสอบลักษณะสี พบว่า มีสีที่ใกล้เคียงกัน คือ สามารถเทียบได้กับแถบสีในแถบที่ 2 ดังแสดงในภาพที่ 1

จากภาพที่ 1 รากระย่อมที่ผ่านกระบวนการเตรียมเครื่องยาไทยด้วยการฆ่าฤทธิ์ตามหลักเภสัชกรรมไทย จากวิทยาลัยการแพทย์พื้นบ้านและการแพทย์ทางเลือก ทั้ง 3 ตัวอย่าง เป็นลักษณะของรากระย่อมที่ผ่านกระบวนการฆ่าฤทธิ์ด้วยวิธีคั่วให้เหลือง ทำให้ผลการตรวจสอบเมื่อใช้แถบสีในการตรวจสอบลักษณะสี พบว่า ทั้ง 3 ตัวอย่างมีสีน้ำตาลอ่อนอมเหลืองซึ่งตรงกับในแถบสีที่ 2 ที่ใกล้เคียงกัน

- การตรวจสอบกลิ่น

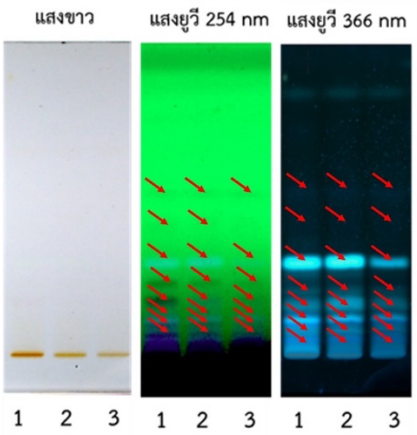
จากการตรวจสอบกลิ่นของรากระย่อมที่ผ่านกระบวนการเตรียมเครื่องยาไทยด้วยการฆ่าฤทธิ์ ทั้ง 3 ตัวอย่าง ด้วยการสูดดม พบว่า มีกลิ่นคล้ายถั่วลิสงคั่ว

- การตรวจสอบรส

จากการตรวจสอบรสของรากระย่อมที่ผ่านกระบวนการเตรียมเครื่องยาไทยด้วยการฆ่าฤทธิ์ ทั้ง 3 ตัวอย่าง ด้วยการชิมรส พบว่า ทั้ง 3 ตัวอย่าง มีรสขม

4.2 การตรวจสอบเอกลักษณ์ทางเคมีของรากระย่อม

การตรวจสอบเอกลักษณ์ทางเคมีของรากระย่อมที่ผ่านกระบวนการเตรียมเครื่องยาไทยด้วยการฆ่าฤทธิ์ตามหลักเภสัชกรรมไทยแล้ว ทั้ง 3 ตัวอย่าง โดยการตรวจสอบจากลักษณะลายพิมพ์ (Fingerprint) ด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบบางสมรรถนะสูง (HPTLC) ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า เอกลักษณ์ทางเคมีของสารสกัดจากรากระย่อมที่ผ่านกระบวนการเตรียมเครื่องยาไทยด้วยการฆ่าฤทธิ์ตามหลักเภสัชกรรมไทย ทั้ง 3 ตัวอย่าง มีลักษณะการแยกเป็นแถบสารที่แตกต่างกันเล็กน้อย เมื่อตรวจสอบแถบสารภายใต้แสงขาว แสงยูวี 254 นาโนเมตร และแสงยูวี 366 นาโนเมตร ตามลำดับ โดยเมื่อตรวจสอบภายใต้แสงขาว ตรวจไม่พบแถบการแยกสารทั้ง 3 ตัวอย่าง ซึ่งหมายถึงไม่มีแถบสาร ที่เป็นสีปรากฏในสารสกัดจากรากระย่อม แต่เมื่อนำไปตรวจสอบภายใต้แสงยูวี 254 นาโนเมตร พบว่าสารสกัดตัวอย่างที่ 1 และ 2 ปรากฏการแยกแถบสารออกเป็น 8 แถบดังนี้ ตัวอย่างที่ 1 มีค่า R_f เท่ากับ 0.07, 0.09, 0.10, 0.15, 0.20, 0.25, 0.35, 0.43 ตามลำดับ สำหรับตัวอย่างที่ 2 มีค่า R_f เท่ากับ 0.07, 0.09, 0.10, 0.15, 0.20, 0.24, 0.34, 0.42 ตามลำดับ และตัวอย่างที่ 3 พบแถบการแยกสาร 7 แถบ มีค่า R_f เท่ากับ 0.07, 0.09, 0.10, 0.16, 0.20, 0.25, 0.44 ตามลำดับ เมื่อนำไปตรวจสอบภายใต้แสงยูวี 366 นาโนเมตร พบว่าสารสกัดทั้ง 3 ตัวอย่างปรากฏการแยกแถบสารออกเป็น 8 แถบเหมือนกันดังนี้ ตัวอย่างที่ 1 มีค่า R_f เท่ากับ 0.05, 0.08, 0.10, 0.14, 0.17, 0.25, 0.42, 0.66 ตามลำดับ ตัวอย่างที่ 2 พบการแยกแถบสารที่มีค่า R_f เท่ากับ 0.05, 0.08, 0.10, 0.14, 0.17, 0.25, 0.42, 0.67 ตามลำดับ และตัวอย่างที่ 3 พบการแยกแถบสาร ที่มีค่า R_f เท่ากับ 0.05, 0.08, 0.10, 0.14, 0.17, 0.24, 0.42, 0.67 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 2 และตารางที่ 1



ภาพที่ 2 ทีแอลซีโครมาโทแกรมของสารสกัดรากระย่อมผ่านกระบวนการเตรียมเครื่องยาไทยทั้ง 3 ตัวอย่าง: 1. วิธีคั่ว, 2. วิธีน้ำซาวข้าวและคั่ว, 3. วิธีพรมเหล้าและคั่ว โดยการตรวจสอบภายใต้แสงขาว, แสงยูวี 254 นาโนเมตร และแสงยูวี 366 นาโนเมตร

ตารางที่ 1 การตรวจสอบค่า R_f ของโครมาโทแกรมของสารสกัดรากระย่อมที่ผ่านกระบวนการเตรียมเครื่องยาไทยทั้ง 3 ตัวอย่าง

การตรวจสอบ	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3
แสงขาว	-	-	-
แสงยูวี 254 นาโนเมตร	0.07, 0.09, 0.10, 0.15, 0.20, 0.25, 0.35, 0.43	0.07, 0.09, 0.10, 0.15, 0.20, 0.24, 0.34, 0.42	0.07, 0.09, 0.10, 0.16, 0.20, 0.25, 0.44
แสงยูวี 366 นาโนเมตร	0.05, 0.08, 0.10, 0.14, 0.17, 0.25, 0.42, 0.66	0.05, 0.08, 0.10, 0.14, 0.17, 0.25, 0.42, 0.66	0.05, 0.08, 0.10, 0.14, 0.17, 0.24, 0.42, 0.67

จากภาพที่ 2 จะพบว่าสารสกัดรากระย่อมที่ผ่านกระบวนการเตรียมเครื่องยาไทยทั้ง 3 วิธี ยังคงมีรูปแบบการแยกแถบสารคล้ายคลึงกัน ซึ่งแสดงโดยค่า R_f ของแต่ละแถบสารดังตารางที่ 1 โดยเอกลักษณ์ทางเคมีของรากระย่อมที่เตรียมด้วยวิธีการคั่วเพียงอย่างเดียว (ตัวอย่างที่ 1) แสดงความเข้มของแถบสารมากสุดภายใต้แสงยูวี 254 นาโนเมตร ส่วนรากระย่อมที่เตรียมด้วยวิธีพรมเหล้าและคั่ว (ตัวอย่างที่ 3)

แสดงจำนวนแถบและความเข้มของแถบสารน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับรากระย่อมที่เตรียมด้วยอีก 2 วิธี

5. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมีของสมุนไพรที่ใช้ปรุงยาตามหลักเภสัชกรรมไทยของรากระย่อม พบว่า รูปพรรณสัณฐานภายนอกของรากระย่อมที่ผ่านกระบวนการเตรียมเครื่องยาไทยด้วยการฆ่าฤทธิ์ ทั้ง 3 ตัวอย่าง เนื้อในของรากระย่อมมีลักษณะแข็ง มีสีน้ำตาลอ่อนอมเหลือง มีกลิ่นคล้ายถั่วลิสงคั่ว และมีรสขม ซึ่งลักษณะของสีและรสดังกล่าว สอดคล้องกับการตรวจสอบเอกลักษณ์พืชสมุนไพรภาคพิเศษ [11] ที่ระบุว่าระย่อม มีสีน้ำตาลอ่อนอมเหลือง รสขมเล็กน้อย และผลการตรวจสอบเอกลักษณ์ทางเคมีของรากระย่อมทั้ง 3 ตัวอย่าง โดยอาศัยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบบางสมรรถนะสูง ซึ่งเป็นเทคนิคสำคัญที่นำมาประยุกต์ใช้เพื่อช่วยในการประเมินคุณภาพของยาสมุนไพรอย่างแพร่หลาย [12] พบว่าทั้ง 3 ตัวอย่าง มีลักษณะการแยกเป็นแถบสารแตกต่างกันเล็กน้อย โดยที่แสงขาวตรวจไม่พบการแยกแถบสารทั้ง 3 ตัวอย่าง แต่เมื่อตรวจสอบด้วยแสงยูวี 254 นาโนเมตร พบว่าตัวอย่าง 1 และ 2 มีการแยกแถบสาร 8 แถบ ส่วนตัวอย่าง 3 พบเพียง 7 แถบ เมื่อตรวจสอบด้วยแสงยูวี 366 นาโนเมตร พบว่าทั้ง 3 ตัวอย่างมีการแยกแถบสาร 8 แถบเหมือนกัน แตกต่างกันที่ความเข้มของแถบ โดยตัวอย่างที่ 3 มีความเข้มแถบน้อยที่สุด ทั้งนี้ คาดว่ามีปัจจัยมาจากกระบวนการเตรียมเครื่องยาไทยที่แตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตาม ควรมีการศึกษาเปรียบเทียบเชิงปริมาณในงานวิจัยครั้งต่อไป ซึ่งผลจากการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ สามารถช่วยยืนยันลักษณะทางกายภาพและเคมีของรากระย่อมที่ผ่านกระบวนการเตรียมเครื่องยาไทยด้วยการฆ่าฤทธิ์ตามหลักเภสัชกรรมไทย และเป็นแนวทางสำหรับการพัฒนาวิธีตรวจสอบพืชสมุนไพรชนิดอื่น ๆ เพื่อให้แพทย์แผนไทยสามารถนำไปใช้ในการควบคุมวัตถุดิบสมุนไพรที่ใช้ปรุงยาที่ดีให้กับผู้ป่วยได้ต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ ได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากวิทยาลัยการแพทย์พื้นบ้านและการแพทย์ทางเลือก มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

เอกสารอ้างอิง

1. เมดไทย. (2020) .ระย่อม สรรพคุณและประโยชน์ของต้นระย่อมน้อย 22 ข้อ. ค้นเมื่อ 1 กรกฎาคม 2565, จาก https://medthai.com
2. วิทยา บุญวรพัฒน์. สารานุกรมสมุนไพรไทย-จีน ที่ใช้บ่อยในประเทศไทย, สมาคมศาสตร์การแพทย์แผนจีนในประเทศไทย. กรุงเทพฯ. 2554;1: 474.
3. สมาคมโรงเรียนแพทย์แผนโบราณ สำนักวัดพระเชตุพนฯ (วัดโพธิ์) ท่าเตียน พระนคร. ประมวลสรรพคุณยาไทย (ภาค 3) ว่าด้วยพฤกษชาติวัตถุธาตุ และสัตว์วัตถุนานาชนิด. กรุงเทพฯ: พิชัยการพิมพ์. 2516; 93-94.
4. สมพร ภูติยานันต์. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการแพทย์แผนไทยว่าด้วยสมุนไพรกับการแพทย์แผนไทย. กรุงเทพฯ : สถาบันการแพทย์แผนไทย กรมการแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข. 2542;3: 193-194.
5. พรรนิภา ชุมศรี. สวนนานาพฤกษสมุนไพร : ในสวนสมเด็จพระศรีนครินทราบรมราชชนนี ศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยทรายอันเนื่องมาจากพระราชดำริ. กรุงเทพฯ : คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. 2542;3: 193.
6. กองประกอบโรคศิลปะ สำนักงานปลัดกระทรวงสาธารณสุข. ตำราแพทย์แผนโบราณทั่วไป สาขาเภสัชกรรมไทย. กรุงเทพมหานคร: ชุมนุมสหกรณ์แห่งประเทศไทย. 2541; 46.
7. กระทรวงสาธารณสุข. รายการตำรับยาแผนไทยแห่งชาติ ฉบับ พ.ศ. 2564. กรุงเทพฯ: กองทุนภูมิปัญญาการแพทย์แผนไทย กรมการแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก. 2564;1: 450.
8. พรพรรณ ก้อใจ และคณะ. ภูมิปัญญาในการตรวจสอบพืชสมุนไพรอย่างร่วมสมัย. การประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 6 มหาวิทยาลัยภาคะวันออกเฉียงเหนือ. 2562; 20 กรกฎาคม 2562: 840-845.
9. ศิวพงษ์ ตันสุวรรณวงค์ และคณะ. การตรวจสอบมาตรฐานพืชสมุนไพรที่มีฤทธิ์ยาที่ดี กรณีศึกษาเมล็ดชุมเห็ดไทย. วารสารหมอยาไทยวิจัย. 2566; 9(1): 115-139.
10. ศิวพงษ์ ตันสุวรรณวงค์ และคณะ. การตรวจสอบคุณภาพทางจุลินทรีย์และเอกลักษณ์ทางเคมีของเครื่องดื่มนมกระชาย. วารสารสุขภาพและสิ่งแวดล้อมศึกษา. 2567; 9(1): 319-327.
11. สมพร ภูติยานนท์. การตรวจเอกลักษณ์พืชสมุนไพร ภาคพิเศษ. กรุงเทพฯ : โครงการพัฒนาตำรา สถาบันการแพทย์แผนไทย. 2542; 1: 714.
12. Agatonovic-Kustrin S, and Morton DW. Thin-layer chromatography I Fingerprint analysis of plant materials. Encyclopedia of Analytical Science (Third edition). 2019; 43-49.

ISSN 2985-0835

KOCH CHA SARN JOURNAL OF SCIENCE

Vol. 46 (2); July-December (2024), pp. 6-12

https://science.srru.ac.th/kochasarn

Research Article

ปริมาณสารฟีนอลิกรวม การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย จากสารสกัดดอกแคหัวหมู

Phenolic Compounds, antioxidant and anti-bacterial activities from *Markhamia stipulate* Seem. Flowers extracts

ภรณ์ทิพย์ ชัยสว่าง[1], ปาริชาติ อ้นองอาจ[1*], กัมปนาท คำสุข[1] และณลิตา ไพบูลย์[1]

Pornthip Chaisawang[1], Parichat Onongarj [1*], Kumpanat Khamsuk[1] and Nalita Phaiboon[1]

[1] สาขาวิทยาศาสตร์การแพทย์ คณะสหเวชศาสตร์ วิทยาลัยนครราชสีมา

[1] Department of Medical Science, Faculty of Allied Health Science, Nakhon Ratchasima College

Article Info

Received 16 May 2024

Revised 1 November 2024

Accepted 6 December 2024

Abstract

The edible flower of *Markhamia stipulate* Seem are widely used in Thai traditional medicine to treat a variety of health issues. The aims of this study were to investigate antioxidant activity and antibacterial of crude extracts from *M. stipulate*. In the present study, total phenolic compound, antioxidant activities and antibacterial activities of the 50%ethanolic extract from flower of *M. stipulate* were evaluated. The total phenolic contents was quantified based on the Folin–Ciocalteu method, and the antioxidant activities of the extract were assessed through the DPPH and FRAP assays. The broth dilution method, MIC and MBC were used to evaluate the antibacterial activity of the extract against *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus mutans*, *Bacillus subtilis* and *Escherichia coli*. The results revealed that the total phenolic contents of the extracts was 53.71±0.002 mg of gallic acid equivalent/g of extract. Additionally, the antioxidant activities in terms of IC_{50} value of the extracts were 43.56±0.044 mg/mL and 38.43±0.013 mg/mL, according to the DPPH and the FRAP assay. Crude extract of *M. stipulate* flower also demonstrated antibacterial activity against selected bacterial strains, with MIC and MBC values ranging from 1.56 to 200 mg/mL. In summary, the results suggest that flower extract of *M. stipulate* may serve as valuable sources of bioactive compounds with antioxidant and antibacterial properties.

Keywords: *M. stipulate*, Antioxidant activity, Antibacterial activity, phytochemical contains

บทคัดย่อ

ดอกแคหัวหมู (*Markhamia stipulate* Seem.) เป็นดอกไม้ที่นิยมนำมาบริโภคเป็นอาหารและใช้ประโยชน์ในการดูแลรักษาปัญหาสุขภาพต่างๆ ในทางการแพทย์แผนไทย งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียของสารสกัดจากดอกแคหัวหมูที่สกัดด้วยตัวทำละลาย 50% เอทานอล โดยการหาปริมาณฟีนอกลิกรวมด้วยวิธี Folin-Ciocalteu และวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี 2,2-diphenyl-1-picryl-hydrazyl-hydrate assay (DPPH assay) และ Ferric reducing antioxidant power assay (FRAP assay) และนอกจากนี้ยัง

*Corresponding Author E-mail: parichat@nmc.ac.th

ทำการศึกษาฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียด้วยวิธี Broth dilution เพื่อหาค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย (MIC) และค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่ฆ่าเชื้อแบคทีเรีย (MBC) โดยทำศึกษาการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus mutans*, *Bacillus subtilis* และ *Escherichia coli* จากผลการศึกษาพบว่าปริมาณสารฟีนอลิกรวมทั้งหมดเท่ากับ 53.71±0.002 ไมโครกรัมกรดแกลลิกต่อ 1 มิลลิลิตรของตัวอย่าง ผลการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ FRAP assay แสดงผลด้วยค่า IC_{50} มีค่าเท่ากับ 43.56±0.044 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และ 38.43±0.013 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ และจากผลการศึกษาฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียพบว่าสารสกัดจากดอกแคหัวหมูมีค่า MIC และ MBC อยู่ในช่วง 1.56 ถึง 200 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าสารสกัดจากดอกแคหัวหมูมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียก่อโรค อย่างไรก็ตามต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมด้วยการแยกองค์ประกอบของสารต่อไป

คำสำคัญ : แคหัวหมู, ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ, ความสามารถในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์

1.บทนำ

ปัจจุบันมีการใช้สมุนไพรและมีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและฤทธิ์ต้านจุลชีพอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากพบว่ามีศักยภาพในการป้องกันและฟื้นฟูสุขภาพหรือโรคเรื้อรังในมนุษย์ เช่น โรคมะเร็ง และโรคหลอดเลือดและหัวใจ [1,2] โดยพบว่ายารักษาโรคมะเร็งทั่วโลกจำนวนร้อยละ 60 โดยประมาณได้จากการพัฒนายาจากสารสำคัญที่พบในพืช [3] นอกจากนั้นยังพบว่าภาวะเครียดออกซิเดชัน (Oxidative stress) ที่เกิดจากความไม่สมดุลของการสร้างและการกำจัดอนุมูลอิสระ (Free radicals) ในร่างกาย ถือเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดโรคต่างๆ [4] หากมีปริมาณอนุมูลอิสระมากเกินไปจะสามารถเข้าทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) กับสารชีวโมเลกุลในร่างกาย เช่น ไขมัน โปรตีน และดีเอนเอ ส่งผลให้เซลล์และเนื้อเยื่อเสียหายและทำให้เกิดโรคต่างๆ เช่น โรคมะเร็ง โรคหลอดเลือดแข็ง โรคหลอดเลือดและหัวใจ โรคชราและโรคที่เกิดจากกระบวนการอักเสบ [5] โดยปกติร่างกายมีสารต้านอนุมูลอิสระในการกำจัดอนุมูลอิสระและยังพบว่าการได้รับสารต้านอนุมูลอิสระที่มีในพืชก็สามารถป้องกันการเกิดโรคที่มีสาเหตุจากอนุมูลอิสระได้ [6]

สารอนุมูลอิสระในร่างกาย มีปัจจัยที่เกิดขึ้นทั้งภายนอกและภายในร่างกาย สารที่นำมาใช้ต่อต้านหรือยับยั้งการเกิดอนุมูลอิสระเรียกว่า สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) [7] โดยสารต้านอนุมูลอิสระเหล่านี้ จะมีกลไกการทำงานต้านอนุมูลอิสระด้วยกันหลายแบบ ได้แก่ การดักจับอนุมูลอิสระ (Radical scavenging) การยับยั้งการทำงานของออกซิเจนที่ขาดอิเล็กตรอน (Singlet oxygen quenching) จับกับโลหะที่สามารถเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ (Metal chelation) หยุดปฏิกิริยาการสร้างอนุมูลอิสระ (Chain-breaking) เสริมฤทธิ์ (Synergism) และยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ (Enzyme inhibition) ที่เร่งปฏิกิริยาอนุมูลอิสระ เป็นต้น [8] จึงช่วยยับยั้งอนุมูลอิสระไม่ให้ทำลายองค์ประกอบของเซลล์ การใช้ชีวิตในปัจจุบันที่เปลี่ยนแปลงไป การไม่ใส่ใจสุขภาพ ไม่ว่าจะเป็นการคัดเลือกคุณค่า และปริมาณของอาหารที่รับประทานที่ไม่เหมาะสม พักผ่อนไม่เพียงพอ ไม่มีเวลาออกกำลังกายและมลภาวะรอบตัว ซึ่งล้วนเป็นปัจจัยที่เพิ่มอนุมูลอิสระในร่างกาย ซึ่งในทางการแพทย์พบว่าสาเหตุสำคัญที่ทำให้เซลล์เสื่อม และนำไปสู่การแก่ชราหรือความเสี่ยงต่อการเกิดโรคต่างๆ เช่น โรคหัวใจ โรคมะเร็ง โรคเบาหวาน และโรคความดันโลหิตสูง เป็นต้น [9] ทำให้พบปัญหาสุขภาพจากโรคเรื้อรังมากขึ้นในช่วงอายุที่น้อยลง ด้วยเหตุนี้จึงเป็นผลที่ทำให้ต้องใช้ยาในการรักษา แต่การใช้ยารักษาในปริมาณมากๆ เนเวลานาน อาจส่งผลเสียต่อร่างกายได้ แต่ในปัจจุบันมีอีกทางเลือกในการรักษา คือ การใช้พืชสมุนไพร การบริโภคผักและผลไม้ ซึ่งมีส่วนประกอบของสารต้านอนุมูลอิสระหลายชนิด พืชสมุนไพรยังสามารถนำมาใช้ในการรักษาโรคติดเชื้อมาตั้งแต่สมัยโบราณเนื่องจากในพืชมีสารประกอบอินทรีย์ที่มีคุณสมบัติต้านเชื้อจุลชีพก่อโรค เช่น แทนนิน อัลคาลอยด์ ฟลาโวนอยด์ ซาโปนินและสารประกอบฟีนอลิก และยังพบว่าการใช้พืชสมุนไพรในการต้านเชื้อจุลชีพยังมีผลข้างเคียงน้อย หาง่ายและราคาไม่แพง ด้วยเหตุผลดังกล่าวพืชสมุนไพรจึงมีความสำคัญในด้านเภสัชวิทยาในการพัฒนายาเพื่อใช้ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อไวรัสและแบคทีเรียก่อโรคในมนุษย์ [10,11]

แคหางค่าง หรือแคหัวหมู (*Markhamia stipulate* Seem.) วงศ์ Bignoniaceae เป็นไม้ยืนต้นขนาดกลาง สูง 10-20 เมตร ลักษณะใบแหลมโคนใบมน ขอบใบจักฟันเลื่อย ดอกเป็นช่อสีครีมหรือสีน้ำตาลเหลือง ค่อนข้างแดง ผลแห้งแตกเป็นสองซีก มีขนปุยหนานุ่ม และพบว่าแคหัวหมูมีสารสำคัญจำพวก quinones, phytosterols และ lignans เป็นส่วนมาก จากภูมิปัญญาท้องถิ่นพบว่าส่วนของใบและเปลือกข้องต้นแคหัวหมูมีคุณสมบัติช่วยในการรักษาโรคผิวหนัง และใช้ในการระงับอาการปวดต่างๆ [23] โดยจะพบพืชชนิดนี้ได้มากตามป่าเบญจพรรณ ป่าเต็งรัง ป่าหญ้า ทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคเหนือ ภาคใต้ และทางภาคตะวันออกเฉียงใต้ จากงานวิจัยก่อนหน้านี้พบว่า สารสกัดหยาบจากใบและเปลือกต้นแคหัวหมูที่สกัดด้วยเมทานอลและเอทานอล มีความสามารถในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *Vibrio cholerae* (clinical), *Staphylococcus aureus* ATCC25923, *Staphylococcus epidermidis* ATCC12228 และ *Escherichia coli* ATCC25922 [7] และเนื่องด้วยสรรพคุณทางยาและสรรพคุณทางด้านการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของดอกแคหัวหมู จึงมีความสนใจในการศึกษาถึงสารสำคัญและฤทธิ์ทางชีวภาพของดอกแคหัวหมู เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อให้ได้ใช้ในการประยุกต์ใช้สมุนไพรท้องถิ่นมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์สุขภาพต่อไป

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

- ศึกษาฤทธิ์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในสารสกัดจากดอกแคหัวหมู
- ศึกษาฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียก่อโรค ได้แก่ เชื้อแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus*

mutans, Bacillus subtilis และ *Escherichia coli* ของสารสกัดจากดอกแคหัวหมู

3. ระเบียบวิธีศึกษา

3.1 การเตรียมสารสกัดตัวอย่าง

ตัวอย่างพืชดอกแคหัวหมู เก็บจากตำบลคอกช้าง อำเภอสระใคร จังหวัดหนองคาย ช่วงเดือนพฤศจิกายน-ธันวาคม 2563 พิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยนักพฤกษศาสตร์ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น รหัส KKU No. 25789 ฝากไว้ที่หอพรรณไม้ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

นำดอกแคหัวหมูตัวอย่างมาล้างทำความสะอาด ผึ่งให้แห้ง หั่นเป็นชิ้นเล็กๆ **อบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส** เป็นเวลา 24 ชั่วโมงจากนั้นนำมาบดเป็นผง แล้วนำมาชั่ง 300 กรัม สกัดโดยวิธีการหมักด้วยสารละลายเอทานอลความเข้มข้น 50 % ในอัตราส่วน 1:10 w/v ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน และเขย่าเป็นระยะ ๆ หลังจากนั้นกรองสารสกัดด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 จากนั้นนำสารสกัดที่ได้ไประเหยเอทานอลออกด้วยเครื่องระเหยแบบสุญญากาศ (Rotary evaporator) เมื่อนำสารตัวอย่างออกจากเครื่อง Rotary evaporator แล้วจะนำตัวอย่างไปอบที่ 60 องศาเซลเซียสจนสารตัวอย่างมีลักษณะแห้งเป็นเกล็ด และเก็บสารตัวอย่างที่ได้ในภาชนะที่ป้องกันแสง และจัดเก็บที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส [13] และคำนวณหาร้อยละผลผลิตของสารสกัดที่ได้จากสูตร

3.2 ร้อยละผลผลิต = (น้ำหนักหลังสกัด/น้ำหนักผงสมุนไพรก่อนสกัด) × 100 การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี 2, 2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH radical scavenging activity) [14]

3.2.1 เตรียมสารละลายสารสกัดหยาบแคหัวหมูความเข้มข้น 1,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร มาเจือจางเพื่อเตรียมสารละลายตัวอย่างที่ความเข้มข้น 5, 10, 50, 100, 250, 500, 750 และ 1,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

3.2.2 เตรียมสารละลาย 0.1 mM DPPH โดยชั่ง DPPH (MW = 394.33) หนัก 0.0039 กรัม ละลายในเมทานอล 100 มิลลิลิตร เก็บไว้ในขวดสีชาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

3.2.3 เตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก ที่ความเข้มข้น 0 5 10 20 30 40 และ 50 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร เตรียมโดยการชั่งกรดแอสคอบิก 0.025 ละลายด้วยน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 25 มิลลิลิตร จะได้สารละลายที่มีความเข้มข้น 1000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร นำมาเจือจางเพื่อให้ได้ความเข้มข้นเป็น 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร จากนั้นนำมาเจือจางจนได้ความเข้มข้นตามที่กำหนด (0-50 มิลลิกรัมต่อลิตร)

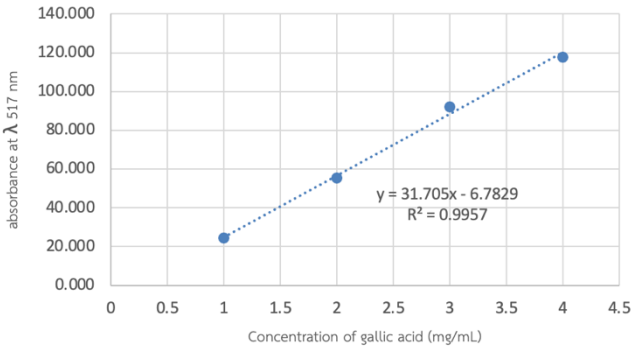
3.2.4 นำสารละลายสารสกัดตัวอย่างมา 1.35 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลาย DPPH ปริมาตร 125 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ 30 นาทีในที่มืดและอุณหภูมิห้อง นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ และนำค่าดูดกลืนแสงมาคำนวณเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ และศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระรายงานเป็น IC_{50} โดยการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง % inhibition $DPPH^+$ กับความเข้มข้นของสารตัวอย่าง

$$\% \text{ radical scavenging} = \left[1-(A_{sample}/A_{control})\right]x100$$

เมื่อ A_{sample} คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารตัวอย่าง

และ $A_{control}$ คือ ค่าการดูดกลืนแสงของ DPPH

และสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าการดูดกลืนแสง (แกน y) และความเข้มข้นของสารตัวอย่าง (แกน x) คำนวณค่า IC_{50} จากสมการเส้นตรง y = ax + b



3.3 การทดสอบปริมาณสารฟีนอลิกรวมด้วยวิธี Folin-Ciocalteau's reagent

3.3.1 เตรียมสารละลายจากสารสกัดหยาบแคหัวหมูความเข้มข้น 1,000 ไมโครกรัม ปริมาตร 10 มิลลิลิตร โดยชั่งสารสกัดแคหัวหมู 0.01 กรัม ละลายในน้ำกลั่นปริมาตรให้ได้ 10 มิลลิลิตร (ความเข้มข้นสารละลาย 1,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร)

3.3.2 เตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก ความเข้มข้น 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร โดยชั่งกรดแกลลิก 0.01 กรัม ละลายในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร นำมาเจือจางเพื่อเตรียมสารละลายมาตรฐานที่ความเข้มข้น 2, 6, 10, 20 และ 40 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

3.3.3 เตรียมสารละลาย 20% sodium carbonate โดยชั่ง Na_2CO_3 20 กรัม แล้วละลายในน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เตรียมสารมาตรฐาน 10% Folin-Ciocalteu phenol reagent โดยปิเปต Folin-Ciocalteu phenol มา 10 มิลลิลิตร ละลายในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร

3.3.4 นำสารละลายสกัดที่เตรียมไว้มา 1 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นปริมาตร 5 มิลลิลิตร จากนั้นเติม 10% Folin-Ciocalteu phenol ปริมาตร 100 ไมโครลิตร แล้วเติมสารละลาย 20% sodium carbonate 300 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำไปวัดด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร แล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณหาปริมาณฟีนอลิกรวม โดยเทียบผลกับกราฟของสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกความเข้มข้น 2-40 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร รายงานผลเป็นหน่วยมิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมสารสกัด [15]

3.4 Ferric reducing ability power (FRAP) assay

การทดสอบความสามารถในการรีดิวซ์ด้วยวิธี FRAP โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของสารละลายเฟอร์รัสซัลเฟต โดยวิธี [16] โดยเตรียมสารละลาย FRAP reagent ซึ่งมีอัตราส่วนผสมดังนี้ อะซีเตตบัฟเฟอร์เข้มข้น 300 มิลลิโมลาร์ สารละลาย 2,4,6-tri(2-pyridyl)- S-traizine (TPTZ) เข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ สารละลาย $FeCl_3$ 20 มิลลิโมลาร์ ผสมกันในอัตราส่วน 10:1:1 (v/v/v)

เตรียมตัวอย่างของสารสกัดเพื่อทดสอบ โดยชั่งตัวอย่าง 0.250 กรัม เติมตัวทำละลาย 4 มิลลิลิตร ปิเปตมา 0.1 มิลลิลิตร เติม FRAP reagent ปริมาตร 4.5 มิลลิลิตร นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร

3.5 การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ

เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลว (BHI Broth) ใช้อัตราส่วน BHI:DW = 3.7:100 ผสมให้เข้ากันจากนั้นนำ BHI Broth ที่ผสมเข้ากันดีแล้วแบ่งบรรจุใส่หลอดทดลอง นำไปทำให้ปราศจากเชื้อด้วยเครื่องนึ่งฆ่าเชื้อ (Autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที จัดเก็บอาหารเลี้ยงเชื้อที่เตรียมเสร็จเรียบร้อยแล้วที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส [17]

3.6 การเตรียมเชื้อแบคทีเรียที่ใช้ทดสอบ

นำ *S. mutans*, *S. aureus*, *B. subtilis* และ *E. coli* มาเพาะเลี้ยงใน BHI Broth ในหลอดทดลองปริมาตร 3 มิลลิลิตรนำไปบ่มภายใต้สภาวะเดียวกัน ลักษณะเชื้อที่ได้มีสีขาวขุ่นอยู่บริเวณก้นหลอดทดลองแยกชั้นกับ BHI Broth อย่างชัดเจน สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า แล้วนำเชื้อ ที่ได้มาปรับความขุ่นให้มีความขุ่นเท่ากับสารละลายแบเรียมซัลเฟต (McFarland no. 0.5) ซึ่งมีเชื้อประมาณ 1.5×10^{-8} ซีเอฟยูต่อมิลลิลิตร และทำการเจือจางต่อ โดยนำเชื้อที่ทำการปรับความขุ่นแล้ว เลือกดูดมาจำนวน 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในอาหารเหลว 9 มิลลิลิตร ปริมาณที่ทำการเจือจางจะมีเชื้ออยู่ประมาณ 1.0×10^{6} ซีเอฟยูต่อมิลลิลิตร เตรียมพักไว้ก่อนเพื่อนำไปทดสอบในขั้นตอนต่อไป [17]

3.7 การหาค่าความเข้มข้นต่ำสุดของสารสกัดแคหัวหมูที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย

ทดสอบหาความเข้มข้นที่ต่ำที่สุดของสารสกัดใบพลูที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียด้วยวิธี Broth dilution method โดยการเจือจางลดความเข้มข้นลงทีละครึ่งแบบ 2-Fold serial dilution ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 200 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร จากนั้นเตรียมเชื้อแบคทีเรียที่ใช้ในการทดสอบให้มีความขุ่นเท่ากับค่า McFarland no. 0.5 ซึ่งในแต่ละหลอดทดลองจะประกอบด้วยสารสกัดที่เจือจางแล้วปริมาตร 1 มิลลิลิตร และเชื้อแบคทีเรีย 1 มิลลิลิตร มีชุดควบคุมบวกประกอบด้วย Chlorhexidine (Antibiotic positive control) ชุดควบคุมลบประกอบด้วยอาหารเลี้ยงเชื้อเพียงอย่างเดียว (Negative control) และชุดควบคุมการเจริญผลบวกประกอบด้วยอาหารเลี้ยงเชื้อและเชื้อแบคทีเรีย (Positive growth control) ผสมให้เข้ากัน แล้วนำไปบ่มที่ 37 องศาเซลเซียส ในสภาวะที่มี 5-10% CO_2 เป็นเวลานาน 24 ชั่วโมง บันทึกผลค่าความเข้มข้นต่ำสุดของสารสกัดที่แบคทีเรียไม่สามารถเจริญเติบโตได้ โดยอ่านผลจากการเจริญเติบโตของเชื้อ หากสารสกัดสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตได้จะแสดงผลเป็นลบ คือจะไม่พบตะกอนของเชื้อเกิดขึ้น เปรียบเทียบกับชุดควบคุม จะได้ค่าความเข้มข้นต่ำที่สุดที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียคือค่า Minimum inhibitory concentrations (MIC) [18]

3.8 การวิเคราะห์ข้อมูล

ผลการตรวจวิเคราะห์ Total phenolic content และการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH จะแสดงผลเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean ± SD) ของการทดลอง 3 ครั้ง สถิติที่ใช้ในการทดสอบฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียด้วยการทดสอบหาค่าความเข้มข้น MIC และ MBC ในหน่วยมิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร การทดสอบกลไกต้านการก่อฟันผุด้วยผลของสารสกัดที่ต้องการทดสอบต่อการลดลงของ pH ใน bacterial suspension สถิติที่ใช้คือค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของค่า pH

4. ผลการศึกษา

การศึกษาทางเคมีและฤทธิ์ทางชีวภาพจากดอกแคหัวหมู โดยศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม (Total phenolic compounds), FRAP assay วัดความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระ และศึกษาฤทธิ์ทางชีวภาพ ได้แก่ การทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียก่อโรคได้แก่เชื้อแบคทีเรีย *S. aureus*, *S. mutans, B. subtilis* และ *E. coli* ของสารสกัดจากดอกแคหัวหมู ได้ผลการทดลองดังนี้

4.1 ผลการเตรียมสารสกัด

จากการนำตัวอย่างดอกแคหัวหมูที่สะอาดและบดให้แห้ง ชั่งน้ำหนักแล้วนำมาสกัดด้วยวิธีการหมักด้วยตัวทำละลาย ได้แก่ ตัวทำละลาย 50% เอทานอล แล้วนำสารละลายไประเหยให้แห้งด้วยเครื่องระเหยสารแบบหมุนภายใต้สุญญากาศ (Rotary evaporator) จะได้สารสกัดหยาบ (Crude extract) สีเหลืองน้ำตาล มีค่าร้อยละผลผลิตของสาสกัดหยาบ (%yield) คือ ร้อยละ 34.18

4.2 การศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/g) และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging activity (IC_{50} mg/mL) และ FRAP ของสารสกัดดอกแคหัวหมู

Total phenolic compounds	Antioxidant activity	
	DPPH	FRAP
mg GAE/g plant extract [a]	IC_{50}, mg/mL	IC_{50}, mg/mL [b]
53.71±0.002	43.56±0.044	38.43±0.013

[a]GAE : gallic acid equivalents, [b]Fe^{2+}: Fe^{2+} equivalents

การวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในสารสกัดดอกแคหัวหมู และการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในสารสกัดดอกแคหัวหมู เท่ากับ

53.71±0.002 มิลลิกรัมแกลลิกต่อกรัม และจากการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ เมื่อทดสอบความสามารถในการจับอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH พบว่ามีค่าความเข้มข้นของสารที่สามารถทำให้ความเข้มข้นของ DPPH ลดลงร้อยละ 50 เท่ากับ 43.56±0.044 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และพบว่าความสามารถในการให้อิเล็กตรอนเมื่อทดสอบด้วย FRAP assay มีค่า IC_{50} เท่ากับ 38.43±0.013 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ดังตารางที่ 1

4.3 การหาความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งเชื้อ (MIC) และความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถฆ่าเชื้อ (MBC) *S. mutans*, *S. aureus*, *B. subtilis* และ *E. coli*

ตารางที่ 2 ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียได้ (MIC) และค่าความเข้มข้นต่ำสุดของสารสกัดดอกแคหัวหมูที่สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรียได้ (MBC) ดอกแคหัวหมู ความเข้มข้น 200, 100, 50, 25, 12.5, 6.25, 3.12 และ 1.56 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

Bacterial strains/compound	Concentrations of flower extract (mg/mL)	
	MIC	MBC
S. mutans	25	> 200
S. aureus	50	> 200
B. subtilis	25	> 200
E. coli	50	> 200

**** Chlorhexidine (Positive control) MIC และ MBC < 0.78 (mg/mL) โดยใช้ทดสอบเชื้อทั้ง 4 ชนิด*

MIC = Minimum inhibitory concentration ความเข้มข้นต่ำสุดที่ยับยั้งเชื้อได้

MBC = Minimum bactericidal concentration ความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถฆ่าเชื้อได้

ผลการทดสอบฤทธิ์ของสารสกัดจากดอกแคหัวหมูในการต้านเชื้อ *S. mutans*, *S. aureus*, *B. subtilis* และ *E. coli* ด้วยการหาค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ (MIC) และค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถฆ่าเชื้อได้ (MBC) ของสารสกัดจากดอกแคหัวหมู ที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 1.56 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร จนถึง 200 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และมี Chlorhexidine เป็นตัวควบคุมบวก โดยสารสกัดดอกแคหัวหมู สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย *S. mutans*, *S. aureus*, *B. subtilis* และ *E. coli* ได้ในความเข้มข้นที่ต่ำที่สุด แต่ไม่สามารถฆ่าเชื้อได้ จากตารางผลการทดสอบฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรีย พบว่าสารสกัดดอกแคหัวหมูมีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้น ดังตารางที่ 2

5. อภิปรายผลการวิจัย

สำหรับการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากสารสกัดจากดอกแคหัวหมูที่สกัดด้วยตัวทำละลาย 50% เอทานอลในครั้งนี้ เลือกการทดสอบคุณสมบัติในการเป็นตัวขจัดอนุมูลอิสระ (Free radical scavenger) ด้วยวิธี 2,2-diphenyl-1-picryl-hydrazyl-hydrate assay (DPPH assay) ซึ่งเป็นวิธีที่ทำได้ง่าย สะดวก รวดเร็ว เนื่องจาก DPPH เป็นอนุมูลอิสระที่ค่อนข้างเสถียร โดยอนุมูล $DPPH^{+}$ เป็นอนุมูลไนโตรเจนคงตัว มีสีม่วงอยู่ในรูปอนุมูลอยู่แล้ว ไม่ต้องทำปฏิกิริยาเพื่อให้เกิดเป็นอนุมูลเหมือนกับกรณีอนุมูล ABTS $^{\bullet+}$ โดยเป็นการวัด ความสามารถของสารทดสอบในการกำจัดอนุมูลอิสระโดยวิธีให้ไฮโดรเจนอะตอม ซึ่งเป็นวิธีเบื้องต้นที่นิยมใช้ในการทดสอบการต้านอนุมูลอิสระโดยทั่วไป [19] โดยผลที่ได้จากการทดลองนี้ แสดงให้เห็นว่าสารสกัดจากดอกแคหัวหมู มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้ดี และยังสอดคล้องกับปริมาณสารฟีนอลิกรวม โดยพบว่าปริมาณสารฟีนอลิกรวมมีค่าเท่ากับ 53.71±0.002 ไมโครกรัมกรดแกลลิกต่อ 1 มิลลิลิตรของตัวอย่าง ซึ่งปริมาณสารฟีนอลิกที่สูงจะส่งผลให้มีศักยภาพในการกำจัดอนุมูลอิสระสูง ซึ่งสารประกอบฟีนอลิกในพืชมีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ โดยสารประกอบฟีนอลิกจะจับอนุมูลอิสระ ดังนั้นจะไปยับยั้งอนุมูลอิสระที่เกิดจากปฏิกิริยาลูกโซ่ของการเกิดออกซิเดชันของไขมันและโมเลกุลอื่นด้วย โดยสารประกอบฟีนอลิกจะทำหน้าที่กำจัดอนุมูลอิสระและไอออนของโลหะที่สามารถเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและโมเลกุลอื่นๆ ด้วย โดยการให้อะตอมไฮโดรเจนอย่างรวดเร็วและมีความเสถียร สารประกอบฟีนอลิกจึงมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ดีมาก [20] นอกจากนี้ยังได้ศึกษาคุณสมบัติในการเป็นตัวให้อิเล็กตรอนของสารสกัดจากดอกแคหัวหมูแก่อนุมูลอิระที่สังเคราะห์ขึ้น โดยวิธีการอาศัยการวัดปฏิกิริยา Reduction ของ Fe^{3+} -TPTZ ไปเป็น Fe^{2+} -TPTZ ด้วยวิธี FRAP assay ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับวิธี DPPH

ผลการศึกษายังพบว่าสารสกัดจากดอกแคหัวหมูมีฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียที่ก่อโรคในมนุษย์ได้ทั้งแกรมบวกและแกรมลบเมื่อทดสอบฤทธิ์ต้านแบคทีเรียด้วยวิธี Broth dilution โดยมีค่า MIC และ MBC อยู่ในช่วง 1.56 ถึง 200 mg/mL ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่าสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในดอกแคหัวหมูคือสารประกอบฟีนอลิก โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ที่พบมากในแคหัวหมูมีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียก่อโรค โดยสารประกอบฟีนอลิกประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group) ที่สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับเซลล์ของแบคทีเรีย โดยมีกลไกในการทำลายการสังเคราะห์เยื่อหุ้มเซลล์ของโปรตีน (Membrane protein) ส่งผลให้แบคทีเรียเจริญช้าลง นอกจากนั้นสารประกอบฟีนอลิกสามารถเข้าไปจับโปรตีนบนผนังเซลล์ รบกวนการขนส่งผ่านเมมเบรน (Membrane permeability) นอกจากนั้นยังแพร่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรียแล้วเข้าไปหยุดการทำงานของเอนไซม์ที่จำเป็นในการสังเคราะห์กรดอะมิโน ทำให้โปรตีนตกตะกอน สารในเซลล์รั่วไหลออกมาข้างนอกเซลล์ ส่งผลให้เซลล์แบคทีเรียแตกจึงทำลายเซลล์แบคทีเรียได้ [21,22] และจากงานวิจัยยังพบว่าสารสกัดหยาบจากส่วนของใบและเปลือกต้นแคหัวหมู ที่สกัดด้วยเอทานอลช่วยรักษาโรคผิวหนังบางชนิดและยังช่วยระงับความเจ็บปวดภายในได้ [23] อย่างไรก็ตามต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมด้วยการแยกองค์ประกอบของสารและการแยกเป็นสารบริสุทธิ์ เพื่อให้มีความเข้าใจถึงกลไกการออกฤทธิ์ของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพให้มากยิ่งขึ้น

6. สรุปผลการศึกษา

สารสกัดหยาบของดอกแคหัวหมูที่สกัดด้วยเอทานอลนั้น มีองค์ประกอบของสาระสำคัญกลุ่มฟีนอลิก ที่แสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

และสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียก่อโรคทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ *S. mutans*, *S. aureus*, *B. subtilis* และ *E.coli* สารสกัดดอกแคหัวหมูจึงน่าจะมีความเหมาะสำหรับนำไปใช้ประโยชน์ในการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพหรือเครื่องสำอางต่อไป เนื่องจากมีปริมาณสารฟีนอลิกรวมทั้งหมดเท่ากับ 53.71±0.002 ไมโครกรัมกรดแกลลิกต่อ 1 มิลลิลิตรของตัวอย่าง ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ FRAP assay มีค่าเท่ากับ 43.56±0.044 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และ 38.43±0.013 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย พบว่าสารสกัดจากดอกแคหัวหมูมีค่า MBC มากกว่า 200 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร แต่ควรต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมทั้งในหลอดทดลอง และในสัตว์ทดลองต่อไป เพื่อสามารถนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ทั้งในเชิงวิชาการเพื่อต่อยอดผลงานวิจัย และประยุกต์ใช้เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางหรือยาเพื่อรักษาโรคอันเกิดจากการเกิดอนุมูลอิสระและเชื้อแบคทีเรียได้ อันจะสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับพืชสมุนไพรท้องถิ่นต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักวิจัยและพัฒนา วิทยาลัยนครราชสีมา และสาขาวิทยาศาสตร์การแพทย์ คณะสหเวชศาสตร์ วิทยาลัยนครราชสีมา ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์สถานที่การทำวิจัย เครื่องมือ และอุปกรณ์ในการทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Zhang Y-J, Gan R-Y, Li S, Zhou Y, Li A-N, Xu D-P, et al. Antioxidant phytochemicals for the prevention and treatment of chronic diseases. Molecules. 2015;20(12):21138–56. Available from: http://dx.doi.org/10.3390/molecules201219753
2. Nowak D, Goslinski M, Kłebukowska L. Antioxidant and antimicrobial properties of selected fruit juices. Plant Foods Hum Nutr. 2022;77(3):427–35. Available from: http://dx.doi.org/10.1007/s11130-022-00983-2
3. Newman DJ, Cragg GM. Natural products as sources of new drugs over the last 25 years. J Nat Prod [Internet]. 2007;70(3):461–77. Available from: http://dx.doi.org/10.1021/np068054v
4. Abbasi S, Gharaghani S, Benvidi A, Latif A. Identifying the novel natural antioxidants by coupling different feature selection methods with nonlinear regressions and gas chromatography-mass spectroscopy. Microchem J [Internet]. 2018;139:372–9. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/j.microc.2018.03.012
5. Goswami N, Chatterjee S. Assessment of free radical scavenging potential and oxidative DNA damage preventive activity of Trachyspermum ammi L. (carom) and Foeniculum vulgare Mill. (fennel) seed extracts. Biomed Res Int. 2014;2014:582767. Available from: http://dx.doi.org/10.1155/2014/582767
6. Bardaweel SK, Tawaha KA, Hudaib MM. Antioxidant, antimicrobial and antiproliferative activities of Anthemis palestina essential oil. BMC Complement Altern Med. 2014;14(1):297. Available from: http://dx.doi.org/10.1186/1472-6882-14-297
7. Yaraksa N. Antioxidant Activity of Markhamia stipulate, Caryota maxima, Amphineurion marginatum Extracts and Cytotoxicity Effect on Human Dermal Fibroblast Cells. RMUTI Journal. 2019 [cited 2024 May 13];12(2):138–48. Available from: https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/rmutijo/article/view/212880
8. Ribeiro DB, Santos Silva G, Dos Santos DR, Castro Costa AR, Braga Ribeiro E, Badea M, et al. Determination of the antioxidant activity of samples of tea and commercial sources of vitamin C, using an enzymatic biosensor. Antioxidants (Basel). 2021;10(2):324. Available from: http://dx.doi.org/10.3390/antiox10020324
9. Papas AM. Other Antioxidants. In: Antioxidant Status, Diet, Nutrition, and Health. CRC Press; 2019. p. 231–48.
10. Devi WR, Singh SB, Singh CB. Antioxidant and anti-dermatophytic properties leaf and stem bark of Xylosma longifolium clos. BMC Complement Altern Med. 2013;13(1):155. Available from: http://dx.doi.org/10.1186/1472-6882-13-155
11. Afsar T, Khan MR, Razak S, Ullah S, Mirza B. Antipyretic, anti-inflammatory and analgesic activity of Acacia hydaspica R. Parker and its phytochemical analysis. BMC Complement Altern Med. 2015;15(1):136. Available from: http://dx.doi.org/10.1186/s12906-015-0658-8
12. Yaraksa N. Antibacterial activity against some human pathogenic bacteria and anti-inflammatory activity of five Thai medicinal plant extracts. CreSci. 2019 [cited 2024 May 14];11(1):1–10. Available from: https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/snru_journal/article/view/130373
13. Hoque MM, Rattila S, Shishir MA, Bari ML, Inatsu Y, Kawamoto S. Antibacterial activity of ethanol extract of betel leaf (Piper betle L.) against some food borne pathogens. Banglad J Microbiol [Internet]. 2012 [cited 2024 May 14];28(2):58–63. Available from: https://www.banglajol.info/index.php/BJM/article/view/11817
14. Nie J-Y, Zhang Y, Li R, Jiang Z-T, Wang Y, Tan J, et al. Screening of radical scavenging activity and chemical constituents of the essential oil from star anise by ultra-fast GC electronic nose coupled with DPPH, OH, and ABTS assays. J Food Process Preserv. 2021;45(1). Available from: http://dx.doi.org/10.1111/jfpp.15022
15. Kupina S, Fields C, Roman MC, Brunelle SL. Determination of total phenolic content using the folin-C assay: Single-laboratory validation, first action 2017.13. J AOAC Int. 2019;102(1):320–1. Available from: http://dx.doi.org/10.5740/jaoacint.18-0031
16. Kaisoon O, Siriamornpun S, Weerapreeyakul N, Meeso N. Phenolic compounds and antioxidant activities of edible flowers from Thailand. J Funct Foods. 2011;3(2):88–99. Availablefrom: http://dx.doi.org/10.1016/j.jff.2011.03.002
17. Phaiboon N, Pulbutr P, Sungthong B, Rattanakiat S. Effects of the ethanolic extracts of guava leaves, licorice roots and cloves on

the cariogenic properties of streptococcus mutans. Pharmacogn J. 2019;11(5):1029–36.Availablefrom:http://dx.doi.org/10.5530/pj.2019.11.162

18. Torrungruang K. Antibacterial activity of mangosteen pericarp extract against cariogenic Streptococcus mutans. Chulalongkorn University Dental Journal. 2007;30(1):1–10. Available from: https://digital.car.chula.ac.th/cudj/vol30/iss1/1/
19. Mahadlek J, Tuntarawongsa S, Phaechamud T. Antioxidant activity and total phenolic contents of some Thai traditional formulation. Isan J Pharm Sci. 2017;13(1):97–105. Available from: https://he01.tci-thaijo.org/index.php/IJPS/article/view/88553
20. Balasundram N, Sundram K, Samman S. Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. Food Chem. 2006;99(1):191–203. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.07.042
21. Boulekbache-Makhlouf L, Slimani S, Madani K. Total phenolic content, antioxidant and antibacterial activities of fruits of Eucalyptus globulus cultivated in Algeria. Ind Crops Prod [Internet]. 2013;41:85–9. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.04.019
22. Karnwal A. In vitro antibacterial activity of Hibiscus rosa sinensis, Chrysanthemum indicum, and Calendula officinalis flower extracts against Gram negative and Gram positive food poisoning bacteria. Advances in Traditional Medicine. 2022;22(3):607–19. Available from: http://dx.doi.org/10.1007/s13596-021-00562-x
23. Ibrahim MB, Kaushik N, Sowemimo AA, Odukoya OA. Review of the phytochemical and pharmacological studies of the genus Markhamia. Pharmacogn Rev. 2016;10(19):50–9.Available from: http://dx.doi.org/10.4103/0973-7847.176547

ISSN 2985-0835

KOCH CHA SARN JOURNAL OF SCIENCE
Vol. 46 (2); July-December (2024), pp. 13-18
https://science.srru.ac.th/kochasarn

Research Article

Compressive strength and porosity of mortar containing ground basalt

กำลังอัดและความพรุนของมอร์ต้าร์ผสมหินบะซอลต์บด

กนิษฐา เหลืองงามขำ[1], สำเริง รักซ้อน[1,*]

Kanittha Luengngamkham[1], Sumrerng Rukzon[1,*]

[1]สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ นครปฐม 73170

[1]Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Rattanakosin, Nakhon Pathom, 73170 Thailand

Article Info

Received 7 June 2024

Revised 29 October 2024

Accepted 6 November 2024

Abstract

This research presents a study of the compressive strength and porosity of mortar containing ground basalt (BS). Portland cement type 1 (OPC) was partially replaced at 0-40% of BS by weight of cementitious materials. Water to binder ratio (W/B) with constant of 0.43 was used. Superplasticizer (SP) was used to improve the workability of mortar. Test results found that the use of BS mixed in amounts of 10-20% as a partial cement replacement by weight of the cementitious material results in higher compressive strength and low porosity when compared to control mortar (CT) at 28 days. The ground basalt (BS) can be used as a pozzolanic material or cementitious materials. This is due to the strength activity index of the mortar that was replaced at 20% of BS by weight of cementitious materials is higher than 75% of the control mortar at the age of 7 and 28 days. The results of this research are a reduction in the amount of waste materials, reduce the burden of disposal and reduce environmental problems.

Keywords: Compressive strength, Porosity, Basalt, Pozzolanic material

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เสนอการศึกษากำลังอัดและความพรุนของมอร์ต้าร์ผสมหินบะซอลต์บด ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ชนิดที่ 1 (OPC) แทนที่ด้วยหินบะซอลต์บด (BS) ในปริมาณร้อยละ 0-40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (W/B) คงที่เท่ากับ 0.43 ส่วนผสมของมอร์ต้าร์ใช้สารลดน้ำพิเศษ (SP) เพื่อควบคุมการทำงานได้และการไหลแผ่ ผลการทดสอบพบว่า การใช้หินบะซอลต์บด (BS) แทนที่ปูนซีเมนต์ในปริมาณร้อยละ 10-20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ส่งผลให้กำลังอัดสูงขึ้นและความพรุนลดลงเมื่อเทียบกับมอร์ต้าร์ควบคุม (CT) ที่อายุ 28 วัน หินบะซอลต์บดสามารถใช้เป็นวัสดุปอซโซลานหรือวัสดุประสานสำหรับผลิตมอร์ต้าร์ได้เนื่องจากค่าร้อยละกำลังอัดของมอร์ต้าร์ที่แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย BS โดยน้ำหนักวัสดุประสาน มีค่าสูงกว่าร้อยละ 75 ของมอร์ต้าร์ CT ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถการลดปริมาณวัสดุเหลือทิ้ง ลดภาระในการกำจัดทิ้ง และลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม

คำสำคัญ: กำลังอัด ความพรุน บะซอลต์ วัสดุปอซโซลาน

*Corresponding Author. Email: sumrerng.ruk@rmutr.ac.th

1. บทนำ

มอร์ต้าร์คือส่วนประกอบหลักของคอนกรีต มอร์ต้าร์อาจใช้เป็นวัสดุซ่อมแซม งานก่อและงานฉาบ หรืองานอื่นๆ ตามวัตถุประสงค์ของโครงการก่อสร้างนั้น มอร์ต้าร์นิยมใช้ในอุตสาหกรรมการก่อสร้าง เช่น การก่อสร้างบ้านพักอาศัย อาคารสาธารณะ เนื่องจากคอนกรีตเป็นองค์อาคารสำคัญในการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ดังนั้น ปัจจุบันนักวิจัยพยายามศึกษาวัสดุอื่นนำมาใช้ทดแทนหรือแทนที่ซีเมนต์บางส่วนเพื่อลดการใช้ซีเมนต์เพื่อปรับปรุงความทนทานของคอนกรีตหรือมอร์ต้าร์ โดยวัสดุที่นิยมศึกษา คือ วัสดุปอซโซลาน (Pozzolanic Materials)

วัสดุปอซโซลาน (Pozzolanic Materials) แบ่งได้ 2 ประเภท คือ วัสดุปอซโซลานธรรมชาติ (Natural Pozzolan) และ วัสดุปอซโซลานสังเคราะห์ (Artificial Pozzolan) โดยวัสดุปอซโซลานธรรมชาติที่มีในประเทศไทย เช่น เถ้าลอย เถ้าก้นเตา เถ้าแกลบ เถ้าชานอ้อย และซิลิกาฟูม เป็นต้น วัสดุเหล่านี้มีสารจำพวกซิลิกา (Silica) หรือ ซิลิกาและอลูมินา (Silica and Alumina) ปนอยู่ [1-4] โดยองค์ประกอบทางเคมีหลัก SiO_2 ที่มีอยู่ในวัสดุปอซโซลานสามารถทำปฏิกิริยาเพิ่มเติมจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน และจากนั้นได้เป็นปฏิกิริยาปอซโซลาน ส่งผลให้เกิดเป็นแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรท (CSH) กระจายอยู่ในคอนกรีต ลดขนาดเฉลี่ยของโพรงในคอนกรีต คอนกรีตจึงมีเนื้อแน่นและแข็งแรงขึ้น [5-7]

หินบะซอลต์ (Basalt) เป็นผลพลอยได้ของอุตสาหกรรมโรงโม่หินในประเทศไทยพบได้ทางตะวันออกเฉียงเหนือ ผลพลอยได้หินบะซอลต์อาจเป็นปัญหาด้านวัสดุเหลือทิ้ง การกองทิ้ง ซึ่งส่งผลกระทบต่อพื้นที่กำจัดทิ้ง การศึกษาที่ผ่านพบว่าหินบะซอลต์ มีองค์ประกอบทางเคมีประกอบด้วย SiO_2, Al_2O_3 และ Fe_2O_3 เป็นออกไซด์หลัก [8, 9] ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในการเกิดปฏิกิริยายาปอซโซลาน จึงน่าสนใจในการศึกษาเป็นวัสดุแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วน ซึ่งจากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาของ El-Didamony และคณะ [7] พบว่าการใช้หินฝุ่นบะซอลต์แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในปริมาณร้อยละ 20 ส่งผลให้กำลังอัดสูงกว่าซีเมนต์เพลต์ที่ใช้ปูนซีเมนต์เพียงอย่างเดียว การใช้หินฝุ่นบะซอลต์ส่งผลให้กำลังรับแรงอัดในช่วงเริ่มต้นน้อยกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วนแต่กำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอายุการทดสอบ [7] งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์พัฒนาหินบะซอลต์ในประเทศไทยเป็นวัสดุปอซโซลานเพื่อใช้แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วน จากนั้นศึกษาผลของปริมาณการแทนที่บางส่วนในปูนซีเมนต์ต่อกำลังอัดและร้อยละกำลังอัดและความพรุนของมอร์ต้าร์ เพื่อนำข้อมูลที่ได้ในการพัฒนาต่อยอดส่วนผสมคอนกรีตต่อไป

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากำลังอัดและความพรุนของมอร์ต้าร์ผสมหินบะซอลต์บดสำหรับแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดที่ 1 บางส่วน

3. วิธีการวิจัย

3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ใช้วัสดุประสานเป็น ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิด ที่ 1 (OPC) มีค่าความถ่วงจำเพาะ เท่ากับ 3.14 และใช้หินบะซอลต์บด (BS) ที่ได้จากโรงโม่หิน ในตำบลอิสาณ อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ โดยบดให้มีความละเอียดที่มีปริมาณสัดส่วนค้างบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 [10] ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก วัสดุมวลรวมละเอียดใช้ทรายเป็นวัสดุมวลรวมละเอียด โดยเป็นทรายสำหรับงานวิศวกรรมโครงสร้างซึ่งมีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.59 มีขนาดโมดูลัสความละเอียด (F.M.) เท่ากับ 2.85 และมีขนาดคละเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM [11-12] การศึกษานี้ใช้สารลดน้ำพิเศษ (Superplasticizer, SP) เพื่อปรับค่าการไหลแผ่และความสามารถทำงานได้ของมอร์ต้าร์ [13] ในภาพที่ 1 แสดงหินบะซอลต์ขนาดเดิมจากโรงโม่หิน

ภาพที่ 1 หินบะซอลต์ขนาดเดิมจากโรงโม่หิน

3.2 ส่วนผสมของมอร์ต้าร์และการบ่ม

ใช้อัตราส่วนวัสดุประสานต่อมวลรวมละเอียดของมอร์ต้าร์เท่ากับ 1:2.75 ใช้หินบะซอลต์บด (BS) แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดที่ 1 (OPC) ในปริมาณร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน การศึกษานี้ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานใช้ค่าคงที่เท่ากับ 0.43 ส่วนผสมของงานวิจัยนี้ใช้สารลดน้ำพิเศษเพื่อปรับค่าการไหลแผ่ให้มีความสามารถทำงานได้ ใช้สารลดน้ำพิเศษเพื่อควบคุมค่าการไหลแผ่ให้ได้เท่ากับร้อยละ 105-115 ตามมาตรฐานของ ASTM C230 [13] งานวิจัยนี้ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานคงที่เนื่องจากต้องการศึกษาความต้องการสารลดน้ำพิเศษเพื่อส่งผลให้มีค่ากำลังอัดที่สูงและลดความพรุน เนื่องจากปริมาณความต้องการน้ำที่มากอาจส่งผลกระทบ

ให้ความพรุนสูงขึ้นได้ นำส่วนผสมของมอร์ต้าร์ที่หล่อไว้ในแบบหล่อทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องควบคุมอุณหภูมิที่ 25 ± 3°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นถอดแบบและบ่มจนครบอายุการทดสอบที่ 7 และ 28 วัน จากนั้นนำไปทดสอบกำลังอัดและความพรุน ในตารางที่ 1 แสดงส่วนผสมของมอร์ต้าร์

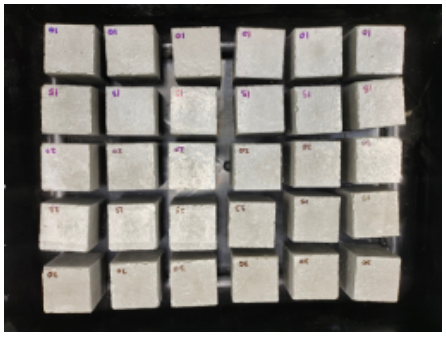
ตารางที่ 1 ส่วนผสมของมอร์ต้าร์ (% by weight)

Sample ID	W/B	Cement (OPC) (%)	BS (%)	Sand (%)	Flow (%)	SP (%)
CT	0.43	100	-	275	115	0.37
10%BS	0.43	90	10	275	105	0.36
20%BS	0.43	80	20	275	115	0.32
30%BS	0.43	70	30	275	108	0.31
40%BS	0.43	60	40	275	109	0.29

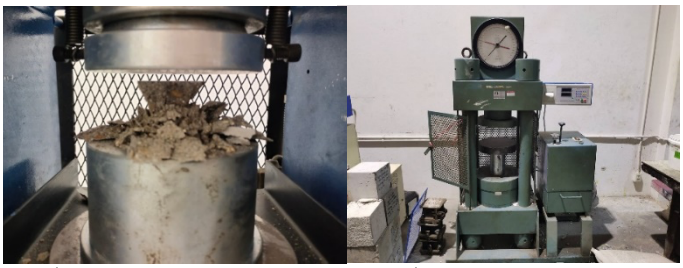
สัญลักษณ์: *OPC คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดที่ 1, BS คือ หินบะซอลต์บด, SP คือ สารลดน้ำพิเศษ และ XX%BS คือ ร้อยละของปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย BS*

3.3 การทดสอบกำลังอัดของมอร์ต้าร์

กำลังอัดของมอร์ต้าร์ใช้แบบหล่อทรงลูกบาศก์ขนาด 50 x 50 x 50 มิลลิเมตร ตามมาตรฐานของ ASTM C109 [14] เมื่อหล่อส่วนผสมของมอร์ต้าร์แล้วทิ้งไว้ที่ห้องอุณหภูมิปกติที่ 25 ± 3 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นแกะแบบและบ่มตัวอย่างในน้ำสะอาด เมื่อครบอายุที่ 7 และ 28 วัน นำไปทดสอบกำลังอัดโดยใช้ก้อนตัวอย่างการทดสอบมอร์ต้าร์จำนวน 6 ก้อน เพื่อคำนวณหาค่าเฉลี่ยกำลังอัด ในภาพที่ 2 และ 3 แสดงก้อนตัวอย่างทดสอบและการทดสอบกำลังอัดของมอร์ต้าร์ด้วยเครื่องทดสอบกำลังอัด



ภาพที่ 2 การทดสอบกำลังอัดของมอร์ต้าร์



ภาพที่ 3 การทดสอบกำลังอัดของมอร์ต้าร์ด้วยเครื่องทดสอบกำลังอัด

3.4 การทดสอบความพรุนของมอร์ต้าร์

การทดสอบความพรุนของมอร์ต้าร์ประยุกต์ใช้มอร์ต้าร์ขนาด 50 × 50 × 50 ลูกบาศก์มิลลิเมตร การทดสอบใช้วิธีของงานวิจัยที่ผ่านมาของ Makaratat และคณะ [1] กล่าวคือ ภายหลังจากการหล่อส่วนผสมของมอร์ต้าร์ในแบบหล่อและทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเท่ากับ 25 ± 3 ℃ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้น ดำเนินการถอดแบบและนำตัวอย่างมอร์ต้าร์บ่มในน้ำสะอาด ทดสอบความพรุนที่อายุการทดสอบ 7 และ 28 วัน โดยใช้ก้อนตัวอย่างมอร์ต้าร์เพื่อทดสอบจำนวน 6 ก้อน เพื่อหาค่าเฉลี่ย การคำนวณความพรุนแสดงไว้ในสมการที่ (1)

$$P = \left(\frac{W_a - W_d}{W_a - W_w}\right) \times 100 \qquad (1)$$

เมื่อ P คือ ร้อยละความพรุน (%), W_a คือ น้ำหนักมอร์ต้าร์ที่อิ่มตัว (กก.), W_d คือ น้ำหนักมอร์ต้าร์อบแห้ง (กก.) และ W_w คือ น้ำหนักมอร์ต้าร์ชั่งในน้ำ (กก.)

4. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุ

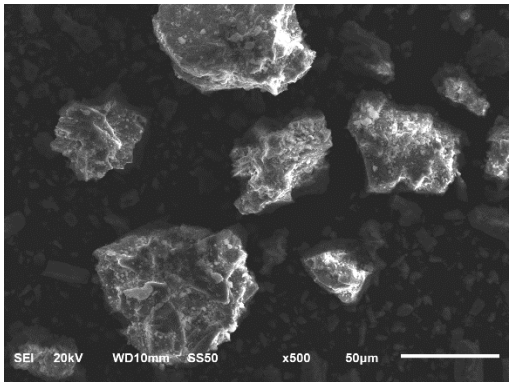
ตารางที่ 2 แสดงสมบัติพื้นฐานของวัสดุที่ใช้ในการศึกษา ประกอบด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ชนิดที่ 1 (OPC) และหินบะซอลต์บด (BS) ผลการทดสอบพบว่า หินบะซอลต์บด (BS) ที่ผ่านการบดมีค่าความถ่วงจำเพาะและพื้นที่ผิวที่มากขึ้น [15] ในตารางที่ 3 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของ BS ด้วยเครื่อง SEM-EDS microstructural analysis พบว่ามีปริมาณของ SiO_2 เท่ากับร้อยละ 54 และผลรวมของ SiO_2 , Al_2O_3 และ Fe_2O_3 กับ ร้อยละ 70 ซึ่งเป็นวัสดุปอซโซลานประเภททั่วไป [16] ภาพที่ 4 แสดงภาพขยายกำลังสูง (SEM photograph) ด้วยเครื่องทดสอบ SEM-EDS microstructural analysis ของหินบะซอลต์บด ซึ่งพบว่าผงบะซอลต์ที่ผ่านการบดมีรูปร่างมีลักษณะรูปร่างเป็นเหลี่ยมมุมไม่แน่นอน ส่วนในภาพที่ 5 แสดงผลการวิเคราะห์ BS ด้วย EDS pattern (SEM-EDS microstructural analysis) พบว่ามี BS ปริมาณของ SiO_2 เป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งงานวิจัยจะใช้องค์ประกอบทางเคมีนี้เพื่อวิเคราะห์การเกิดปฏิกิริยาปอซโซลาน ซึ่งจะส่งผลต่อกำลังอัด

ตารางที่ 2 สมบัติทางกายภาพของ OPC และ BS

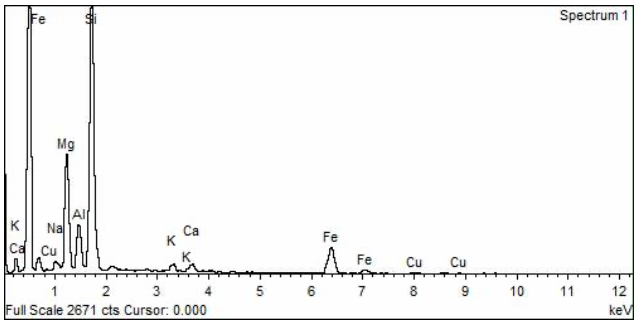
สมบัติทางกายภาพ	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 (OPC)	หินบะซอลต์บด (BS)
ค้างตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 (%)	-	20
ความถ่วงจำเพาะ	3.14	2.90
พื้นที่ผิวจำเพาะโดย Blaine Fineness (cm^2/gram)	3,400	7,400

ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางเคมีของ OPC และ BS

Oxides	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ชนิดที่ 1 (OPC)	หินบะซอลต์บด (BS)
SiO_2	17	54
Al_2O_3	5.5	14
Fe_2O_3	16.5	2
CaO	49	1.9
$SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$	-	70



ภาพที่ 4 SEM photograph ของ BS.



ภาพที่ 5 EDS patterns of BS.

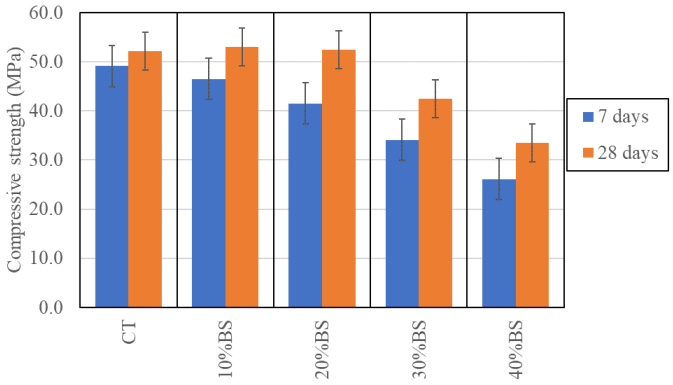
4.2 ผลการทดสอบกำลังอัดและร้อยละกำลังอัดของมอร์ต้าร์

ในภาพที่ 6 และ 7 แสดงผลการทดสอบกำลังอัดและค่าร้อยละกำลังอัดของมอร์ต้าร์แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย BS ในปริมาณร้อยละ 0-40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ผลการทดสอบพบว่า ที่อายุการทดสอบ 7 วัน กำลังอัดของมอร์ต้าร์ที่ใช้ BS แทนที่ปูนซีเมนต์มีค่ากำลังอัดลดลงเมื่อเทียบกับมอร์ต้าร์ปูนซีเมนต์ล้วน ดังนั้นการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าการใช้ BS ส่งผลให้กำลังอัดของมอร์ต้าร์ที่อายุต้นมีค่าต่ำ [7] ที่อายุเริ่มต้น

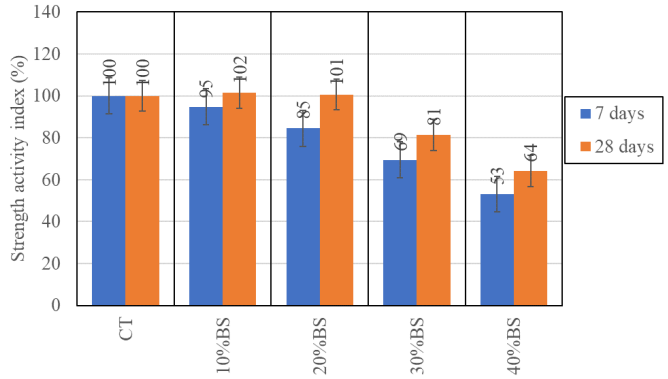
มอร์ต้าร์ที่ใช้ BS แทนที่ปูนซีเมนต์ในปริมาณร้อยละ 0-40 โดยน้ำหนักวัสดุประสานมีค่าร้อยละกำลังอัดเท่ากับ 53-95 ของมอร์ต้าร์ CT อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาร้อยละกำลังอัดที่อายุ 7 วัน พบว่า การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย BS ที่ร้อยละ 10 และ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน มีค่าร้อยละกำลังอัดเท่ากับ 95 และ 85 ของมอร์ต้าร์ CT เมื่อพิจารณาตามมาตรฐานของ ASTM C618 [16] พบว่า BS สามารถใช้เป็นวัสดุปอซโซลานแทนที่ปูนซีเมนต์ได้เนื่องจากมีค่าร้อยละกำลังอัดสูงกว่าร้อยละ 75 เมื่อเทียบกับมอร์ต้าร์ควบคุม CT อย่างไรก็ตาม เมื่อใช้ BS แทนที่ปูนซีเมนต์ในปริมาณร้อยละ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน กำลังอัดลดลงซึ่งมีค่าร้อยละกำลังอัดเท่ากับร้อยละ 53 ของมอร์ต้าร์ CT

ส่วนอายุการทดสอบที่ 28 วัน พบว่ามอร์ต้าร์ที่แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย BS ในปริมาณร้อยละ 10 และ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน มีค่ากำลังอัดสูงกว่ามอร์ต้าร์ CT เนื่องจากการใช้ BS แทนที่ปูนซีเมนต์ส่งผลให้กำลังอัดสูงขึ้นตามอายุการทดสอบที่มากขึ้น [7] กำลังอัดที่สูงขึ้นของมอร์ต้าร์เนื่องจากขนาดอนุภาคที่ผ่านการบดให้เล็กลงของ BS ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาปอซโซลานได้ดีในอายุที่สูงขึ้น [17] ร้อยละกำลังอัดของมอร์ต้าร์ที่ใช้ BS แทนที่ปูนซีเมนต์ในปริมาณร้อยละ 10 และ 20 มีค่าเท่ากับร้อยละ 102 และ 101 ของมอร์ต้าร์ CT การทดสอบครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่า การเพิ่มปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย BS ในปริมาณร้อยละ 30-40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ส่งผลให้กำลังอัดลดลง [18] ทั้งนี้เมื่อเพิ่มปริมาณการแทนที่ด้วย BS อาจเกิดการขัดกันของอนุภาคที่เป็นเหลี่ยมมุมจึงไม่สามารถแทรกตัวเข้าไปในโพรงได้ทั้งหมดและอาจศึกษาด้านโครงสร้างระดับจุลภาคต่อไป ดังนั้นในการใช้หินบะซอลต์บดสามารถใช้แทนที่ได้ในปริมาณร้อยละ 10-20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน เป็นปริมาณที่เหมาะสม

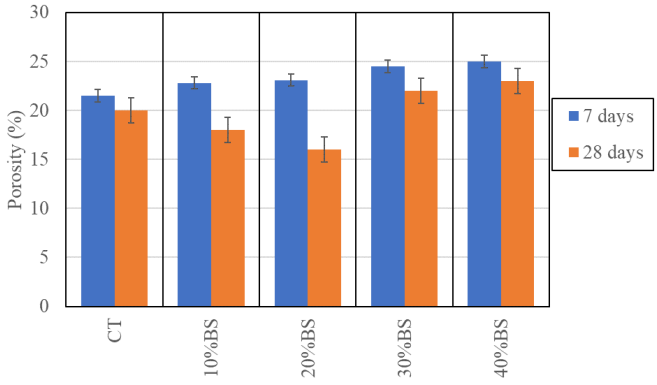
การใช้ประโยชน์หินบะซอลต์สำหรับแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนควรพิจารณาถึงผลของความละเอียดของวัสดุปอซโซลาน [18,20-21] เนื่องจากความละเอียดของวัสดุปอซโซลานส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาต่อจากปฏิกิริยาไฮเดรชันได้ดี กล่าวคือความละเอียดของวัสดุปอซโซลานที่สูงสามารถกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานได้ อย่างไรก็ตาม ยังมีสมบัติอย่างอื่นที่ต้องการการทดสอบเพื่อเป็นข้อมูลในการสร้างความมั่นใจในการใช้งานวัสดุหินบะซอลต์ที่เหลือทิ้ง เช่น สมบัติด้านความทนทานต่อสารเคมี และกลสมบัติทางวิศวกรรมด้านอื่น



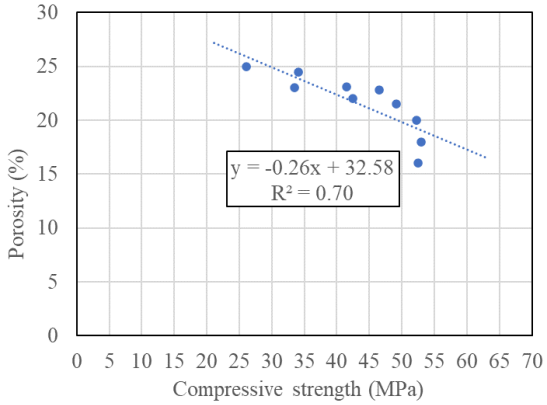
ภาพที่ 6 กำลังอัดของมอร์ต้าร์ที่อายุ 7 และ 28 วัน



ภาพที่ 7 ร้อยละกำลังอัดของมอร์ต้าร์ที่อายุ 7 และ 28 วัน



ภาพที่ 8 ความพรุนของมอร์ต้าร์ที่อายุ 7 และ 28 วัน



ภาพที่ 9 กำลังอัดและความพรุนของมอร์ต้าร์ที่อายุ 7 และ 28 วัน

4.3 ผลการทดสอบความพรุนของมอร์ต้าร์

ภาพที่ 8 แสดงผลการทดสอบความพรุนของมอร์ต้าร์ พบว่า ที่อายุ 7 วัน มอร์ต้าร์ที่แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย BS ในปริมาณร้อยละ 10-40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน มีค่าร้อยละความพรุนเพิ่มขึ้นตามปริมาณการแทนที่ที่เพิ่มขึ้นในทุกส่วนผสมเมื่อเทียบกับมอร์ต้าร์ CT เนื่องจากในช่วงอายุต้นการใช้ BS เกิดปฏิกิริยาช้า มอร์ต้าร์จึงยังไม่มีความทึบแน่น [7] การทดสอบที่อายุ 28 วัน พบว่า มอร์ต้าร์ที่แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย BS ในปริมาณร้อยละ 10 และ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน มีค่าร้อยละความพรุนลดลงเมื่อเทียบกับมอร์ต้าร์ CT อย่างไรก็ตาม เมื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย BS ในปริมาณร้อยละ 30-40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน มีค่าร้อยละความพรุนเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับมอร์ต้าร์ CT การทดสอบครั้งนี้พบว่า ร้อยละความพรุนของมอร์ต้าร์ลดลงตามอายุการทดสอบที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากปฏิกิริยาปอซโซลานของ BS เกิดได้ดีเมื่ออายุมากขึ้น คล้ายงานวิจัยที่ผ่านบางชิ้น [19] ในภาพที่ 9 แสดงให้เห็นว่าในการออกแบบส่วนผสมมอร์ต้าร์ควรพิจารณาถึงความพรุนเป็นสำคัญเนื่องจากมีผลต่อกำลังอัด ในอนาคตจะได้มีการศึกษาให้มีอายุการทดสอบที่สูงขึ้น เช่น ที่อายุ 90, 180 วัน เป็นต้น ซึ่งอาจได้ผลการทดสอบในด้านของกำลังอัดและความพรุนที่มากขึ้น ซึ่งโดยปกติแล้วเมื่ออายุการทดสอบเพิ่มขึ้น กำลังอัดอาจสูงขึ้นและความพรุนอาจลดลงเนื่องจากปฏิกิริยายาปอซโซลานและปฏิกิริยาไฮเดรชันส่งผลต่อความทึบแน่นของมอร์ต้าร์ [7,18-21]

5. สรุปผลการวิจัย

ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้ใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการพิจารณาศักยภาพหินบะซอลต์เพื่อเป็นวัสดุก่อสร้าง ผลที่ได้จากงานนี้แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มในทางที่ดีสำหรับการใช้วัสดุเหลือทิ้ง กล่าวคือ มอร์ต้าร์ที่ใช้หินบะซอลต์แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนให้ค่ากำลังอัดที่สามารถใช้งานได้จริงเนื่องจากมีกำลังอัดที่สูงแต่ต้องผ่านการบดละเอียด การใช้หินบะซอลต์บดสามารถใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ได้ในปริมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ส่งผลให้ประหยัดการใช้ปูนซีเมนต์ในงานผลิตมอร์ต้าร์ อีกทั้งการนำหินบะซอลต์บดมาใช้ประโยชน์เป็นการสร้างมูลค่าให้กับของเหลือทิ้งให้มีมูลค่า และสามารถสร้างวิสาหกิจในชุมชนได้อย่างยั่งยืน เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีอยู่ในประเทศและต้องการบริหารจัดการของเสียเพื่อสังคมและสิ่งแวดล้อมที่ดี เป็นทางเลือกสำหรับผู้ประกอบการด้านวัสดุก่อสร้างในการนำของเสียมาใช้ประโยชน์ได้จริง อย่างไรก็ตาม ควรมีการศึกษาด้านความทนทานของมอร์ต้าร์เพิ่มเติมเพื่อพิจารณาการใช้งานในระยะยาวต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ และกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรมแผนปฏิบัติการด้านวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (ววน. 66 FRB6612/2566) ที่สนับสนุนทุนวิจัย สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่สนับสนุนห้องปฏิบัติการ ในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Makaratat N, S. Rukzon, P. Chindaprasirt, Effects of delay ime and curing temperature on compressive strength and porosity of ground bottom ash geopolymer mortar, J. Metal, Mater. Miner. 31(3) (2021) 134-142
2. Posi P, Kasemsiri P, Lertnimoolchai P, Chindaprasirt P. Effect of fly ash fineness on compressive, flexural and shear strengths of high strength-high volume fly ash jointing mortar. International Journal of GEOMATE. 2019; 16(54): 36-41.
3. Rukzon S, Chindaprasirt P. Strength, Chloride Penetration and Corrosion Resistance of Ternary Blends of Portland Cement Self-Compacting Concrete Containing Bagasse Ash and Rice Husk-bark Ash. Chiang Mai Journal Science. 2018; 5(4): 1863-1874.
4. Mardani-Aghabaglou A, Inan Sezer G, Ramyar K. Comparison of fly ash, silica fume and metakaolin from mechanical properties and durability performance of mortar mixtures view point. Construction and Building Materials. 2014; 70(15): 17-25.
5. Chindaprasirt P, Sujumnongtokulb P, Posi P. Durability and mechanical properties of pavement concrete containing bagasse ash. Materials Today: Proceedings. 2019; 17: 1612-1626.
6. Rukzon S, Chindaprasirt P. Use of ternary blend of Portland cement and two pozzolans to improve durability of high-strength concrete. KSCE Journal of in Civil Engineering, 2014; 18(6): 1745-1752.
7. El-Didamony H, Helmy IM, Randa M. Osman, Habboud AM. Basalt as pozzolana and filler in Ordinary Portland cement. American Journal of Engineering and Applied Sciences. 2015; 8 (2): 263.274.
8. Sayed Mohamed Moawad M, EL-Rahman Ragab A, Younis S. Effect of the natural pozzolanic basalt on high-strength concrete. Mansoura Engineering Journal. 2023; 48: 1e16
9. Yu L, Zhou S, Dong J. Investigation into Pozzolanic Activity Component of Basalt and Pumice. Journal of Materials in Civil Engineering. 2020; 32(6): 04020135.
10. ASTM C430. Standard Method for Fineness of Hydraulic Cement by the 45 μm (No. 325) Sieve. ASTM Standard. 2005; 04.01: 242-244.
11. ASTM C33. Standard Specification Concrete Aggregates. Annual Book of ASTM Standards. 2005; 04.02: 10-20.
12. ASTM C136. Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates. Annual Book of ASTM Standards. 2005; 04.02: 88-92.
13. ASTM C230. Standard Specification for Flow Table for use in Tests of Hydraulic Cement. Annual Book of ASTM Standard. 2005; 04.01: 206- 211.
14. ASTM C109. Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2–in or [50 mm] Cube Specimens). Annual Book of ASTM Standards. 2005; 04.01: 76-81.
15. Rukzon S, Chindaprasirt P, Mahachai R. Effect of grinding on chemical and physical properties of rice husk ash. International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials. 2009; 16(2): 242-247.
16. ASTM C618, Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Concrete, Annual Book of ASTM Standard, West Conshohocken, Pennsylvania, United States. 04.02(2005) 323-325.
17. Hassan KE, Cabrera JG, Maliehe RS. The effect of mineral admixtures on the properties of high-performance. Concrete Cement and Concrete Composites. 2000; 22: 267-271.
18. AminM, Sudibyo, Ordiana A, Karo Karo P. Effect of basalt mineral concentration as PCC cement substitution material on mortar products. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2020; 483: 012009.
19. Chindaprasirt P, Rukzon S. Strength, porosity and corrosion resistance of blended Portland cement, rice husk ash and fly ash mortar. Construction and Building Materials. 2008; 22(8): 1601-1606.
20. Moawad MS, Younis S, Ragab AER. Assessment of the optimal level of basalt pozzolana blended cement replacement against concrete performance. Journal of Materials in Civil Engineering. 2021; 68(42): 1-16.
21. Khan K, Amin MN, Muhammad Saleem MU, Qureshi HJ, Al-Faiad MA, Qadir MG. Effect of fineness of basaltic volcanic ash on pozzolanic reactivity, ASR expansion and drying shrinkage of blended cement mortars. Materials. 2019; 12(16): 2603: 1-21

KOCH CHA SARN JOURNAL OF SCIENCE
Vol. 46 (2); July-December (2024), pp. 19-32
https://science.srru.ac.th/kochasarn

Research Article

Chemical Use Behavior of Farmers and the development of guidelines for reducing the use of chemicals in durian production for export, Karo Subdistrict, Nopphitam District, Nakhon Si Thammarat Province

พฤติกรรมการใช้สารเคมีของเกษตรกรกับการพัฒนาแนวทางลดการใช้สารเคมีในการผลิตทุเรียนเพื่อการส่งออกตำบลกะหรอ อำเภอนบพิตำ จังหวัดนครศรีธรรมราช

เยาวมาลย์ เขียวสอาด[1*], สุพพัต เมืองศรีนุ่น[1], ปิยะวรรณ เนื่องมัจฉา[1]

Yaowamarn Keawsaard[1*], Suppapat Muangsrinun[1], Piyawan Nuengmatcha[1]

[1] คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช หมู่ 1 ต.ท่างิ้ว อ.เมือง จ.นครศรีธรรมราช 80280

*Faculty of Science and Technology, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University Moo 4, Tha Ngio, Mueang Nakhon Si Thammarat Nakhon Si Thammarat Province, 80280

Article Info

Received 11 November 2023

Revised 4 November 2024

Accepted 6 December 2024

Abstract

Nowadays, some agriculturists still have incorrect behavior of using agriculturally chemical substances with no proper protection. Thus, this is absolutely risky to directly contact and being jeopardized from such chemical substances. The objective of this participatory research was to develop an approach for encouraging more farmers to use Good Agricultural Practices (GAP) and reduce their chemical use. Data were collected from 32 farmers in Nopphitam District using the in-depth interview method. The majority of farmers said that they always followed the recommended procedures before, during, and after using agricultural chemicals. Some farmers were selected by purposive sampling to create an export quality durian producing model orchard patch for the research. The patch was divided into two zones, one in which agricultural chemicals were used, and one in which no chemicals were used. The soil had a medium level of organic matter content and low levels of major and minor plant nutrients. The nutrient with the lowest measurement was phosphorus and the highest was sulfur. Because the area was characterized by uneven elevation, the distribution of chemical fertilizers was uneven. When GC-MS/MS method was used to measure organophosphate, carbamate, organochlorine, and pyrethroid groups of pesticide residues in the soil, water and durian fruits from both zones of the model orchard patch, no residues were detected. We can conclude that the farmers in this area have a good level of knowledge about how to use agricultural chemicals properly. Farmers should pass GAP certification to create sustainability in their production from the point of view of the farmers themselves, consumers, the environment, and foreign export customers.

Keywords: GAP, Durian, Pesticide

บทคัดย่อ

ปัจจุบันเกษตรกรมีการใช้สารเคมีทางการเกษตรจำนวนมาก จึงมีโอกาสสัมผัสและได้รับอันตรายจากสารเคมีกำจัดศัตรูพืชการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแนวทางลดการใช้สารเคมีของเกษตรกรด้วยกระบวนการวิจัยแบบมีส่วน

*Corresponding Author. Email: yaowamarn_kea@nstru.ac.th

ร่วม โดยใช้มาตรฐานการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีของเกษตรกร ใช้แบบสัมภาษณ์เป็นเครื่องมือในเก็บรวบรวมข้อมูลจากเกษตรกรในอำเภอนบพิตำจำนวน 32 คน ผลการศึกษาพบว่าเกษตรกรส่วนใหญ่ได้ปฏิบัติตนทุกครั้ง ก่อนการฉีดพ่นสารเคมี ขณะฉีดพ่นสารเคมี และหลังการฉีดพ่นสารเคมี และคัดเลือกเกษตรกรแบบเฉพาะเจาะจงเพื่อสร้างแปลงตัวอย่างตามมาตรฐานคุณภาพทุเรียนเพื่อการส่งออก โดยแบ่งพื้นที่เก็บตัวอย่าง 2 โซน คือจุดเก็บตัวอย่างพื้นที่ปลูกทุเรียนซึ่งไม่ใช่สารเคมีและจุดเก็บตัวอย่างพื้นที่ปลูกทุเรียนซึ่งมีการใช้สารเคมี ผลการศึกษาปริมาณธาตุอาหารพืชในพื้นที่เก็บตัวอย่าง 2 โซน มีอินทรียวัตถุอยู่ในระดับปานกลาง ธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองอยู่ในระดับต่ำ สำหรับฟอสฟอรัสและซัลเฟอร์มีค่าต่ำสุดและสูงสุดห่างกันมากเนื่องจากพื้นที่ปลูกไม่เสมอทำให้การกระจายของปุ๋ยไม่ทั่วถึง สำหรับปริมาณสารเคมีตกค้างในดิน น้ำ และทุเรียนทั้ง 4 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต กลุ่มคาร์บาเมต กลุ่มออร์กาโนคลอรีน และกลุ่มไพรีทรอยด์ ด้วยเทคนิค GC-MS/MS ผลการศึกษาพบว่าไม่พบการตกค้างของสารเคมีกำจัดแมลงทั้ง 4 กลุ่ม แสดงให้เห็นว่าเกษตรกรมีความรู้ในการใช้สารเคมี ดังนั้นการทำสวนทุเรียนตามมาตรการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีของเกษตรกรเป็นการสร้างความยั่งยืนทั้งเกษตรกร ผู้บริโภค สิ่งแวดล้อมและการส่งออกไปยังต่างประเทศ

คำสำคัญ: มาตรฐานการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี, ทุเรียน, สารเคมีกำจัดแมลง

1. บทนำ

ทุเรียน (*Durio zibethinus* Merr.) มีถิ่นกำเนิดในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยมีแหล่งผลิตที่สำคัญในประเทศไทย อินโดนีเซีย มาเลเซีย เวียดนาม ฟิลิปปินส์ และตอนเหนือของออสเตรเลีย [1] ในแต่ละประเทศจะมีสายพันธุ์ทุเรียนซึ่งเป็นไม้ผลท้องถิ่นที่แตกต่างกันไป รวมแล้วหลายร้อยพันธุ์แต่พันธุ์ที่นิยมทางการค้ามีไม่มากนัก รัฐบาลไทยกำหนดให้ทุเรียนเป็นผลไม้เศรษฐกิจภายใต้ยุทธศาสตร์การพัฒนาผลไม้ไทย พ.ศ. 2565-2570 และพันธุ์ทุเรียนที่นิยมทางการค้าได้แก่ หมอนทอง ชะนี ก้านยาว และกระดุม เป็นต้น [2] โดยประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกทุเรียนสูงสุดประมาณร้อยละ 33.36 รองลงมาได้แก่ อินโดนีเซียร้อยละ 27.88 สำหรับประเทศที่มีการเพาะปลูกทุเรียนเชิงการค้าและมีการลงทุนวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาสายพันธุ์ทุเรียนเพื่อให้ตอบสนองกับความต้องการของผู้บริโภคอย่างต่อเนื่อง ได้แก่ ไทย มาเลเซีย และเวียดนาม สำหรับในอินโดนีเซียและฟิลิปปินส์จะมีความแปรปรวนของผลผลิตค่อนข้างสูง มีระบบการจัดการฟาร์มในระดับต่ำ เกษตรกรขาดองค์ความรู้และส่วนมากปล่อยไปตามธรรมชาติ ผลผลิตมีจำนวนน้อยและคุณภาพของเนื้อทุเรียนยังไม่สามารถแข่งขันในตลาดส่งออกได้ ส่วนใหญ่เป็นการจำหน่ายให้กับผู้บริโภคภายในประเทศ ทุเรียน “หมอนทอง” เป็นทุเรียนที่โด่งดังที่สุดในประเทศไทย และแต่ละพื้นที่ปลูกมีรสชาติ เนื้อสัมผัส และสีแตกต่างกันขึ้นกับอิทธิพลของสภาพแวดล้อม หมอนทองเป็นทุเรียนไทยที่มีการส่งออกมากที่สุดไปยังประเทศจีน ประเทศไทยยังเป็นประเทศที่ส่งออกทุเรียนเป็นอันดับ 1 ของโลกโดยมีสัดส่วนของการส่งออกสูงถึง 70% และเพื่อการบริโภคภายในประเทศมีสัดส่วนเพียง 30% [3] ในปี 2563 สำหรับภาคใต้จังหวัดนครศรีธรรมราชมีพื้นที่ปลูกทุเรียนจำนวน 53,670 ไร่ รองจากชุมพรที่มีพื้นที่ปลูกทุเรียนจำนวน 196,158 ไร่ [4] และอำเภอนบพิตำมีพื้นที่ปลูกทุเรียนจำนวน 6,442 ไร่ รองจากอำเภอท่าศาลาและอำเภอสิชล ตามลำดับ [5] ปัจจุบันการขยายพื้นที่ปลูกมีมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากราคาผลผลิตทุเรียนมีราคาสูงแต่ยังพบจุดอ่อนของสวนทุเรียนไทยคือบางสวนยังไม่ได้ผ่านการรับรองการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี (Good Agricultural Practices: GAP) ทำให้ไม่สามารถส่งออกไปยังต่างประเทศได้ กรมวิชาการเกษตรจึงได้กำหนดให้ผู้ประกอบการที่ต้องการส่งออกทุเรียนไปยังต่างประเทศจะต้องขึ้นทะเบียนเป็นผู้ส่งออก โดยผลผลิตทุเรียนสดจะต้องออกมาจากแปลงปลูกที่มีการปฏิบัติเพื่อป้องกันหรือลดความเสี่ยงของอันตรายที่เกิดขึ้นระหว่างการเพาะปลูก เก็บเกี่ยว และการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพปลอดภัยและเหมาะต่อการบริโภค ตามวิธีการและขั้นตอนการผลิตที่ได้รับรองคุณภาพมาตรฐานตามระบบการผลิตที่ดี GAP และมาจากโรงคัดบรรจุที่ผ่านการรับรองคุณภาพและมาตรฐานตามระบบการปฏิบัติที่ดีในการผลิตอาหารที่ดี (Good Manufacturing Practice: GMP) เพื่อสร้างความมั่นใจให้กับผู้บริโภคที่ต้องการคุณภาพและผลิตภัณฑ์อาหารที่ปลอดภัย [6]

ระบบ GAP ที่เหมาะสมสำหรับการผลิตทุเรียนมีข้อกำหนดในการปฏิบัติ 8 ประการ ได้แก่ แหล่งน้ำ พื้นที่ปลูก การใช้วัตถุอันตรายทางการเกษตร การเก็บรักษาและการขนย้ายผลผลิตในฟาร์ม การบันทึกข้อมูล ผลผลิตผิวสวยปลอดจากศัตรูพืช การจัดการกระบวนการผลิตเพื่อให้ได้ผลผลิตคุณภาพ และการเก็บเกี่ยวและปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว [7] ผลิตทุเรียนแก่ตามอายุเก็บเกี่ยว ปราศจากอาการแกนไส้ซึม เต่าเผาและไส้ซึม ผลทุเรียนปลอดจากศัตรูพืช และมีสารพิษตกค้างไม่เกินมาตรฐาน [8-9] งานวิจัยนี้มุ่งหวังผลักดันเกษตรกรปลูกทุเรียนตาม GAP เพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐานการส่งออก [10] และพัฒนาเกษตรกรผู้เป็นเจ้าของสวนทุเรียนให้มีความรู้ ทักษะและความเชี่ยวชาญในการผลิตที่มีคุณภาพและความปลอดภัยตามมาตรฐานของระบบการผลิต [11-12] ในการปลูกทุเรียนเกษตรกรมักประสบปัญหาเรื่องคุณภาพผลผลิตจากการจัดการธาตุอาหารและศัตรูพืช เช่น โรคและแมลง การแก้ปัญหาจะใช้ต้นทุนการผลิตที่สูง เพราะสารเคมีและยาปราบศัตรูพืชและปุ๋ยชนิดต่าง ๆ มีราคาสูง การระบาดของศัตรูพืชทวีความรุนแรงมากขึ้น เนื่องจากเกษตรกรมีการใช้สารเคมีและยาปราบศัตรูพืชเกินความจำเป็นส่งผลต่อการดื้อยาและการตกค้างอยู่ในสภาพแวดล้อมและผลทุเรียน [13] สารเคมีที่มีการใช้ในปริมาณมากและมักทำให้ผู้ใช้เกิดอาการเจ็บป่วย มี 3 กลุ่มใหญ่ คือ กลุ่มออร์แกโนฟอสเฟต คาร์บาเมต และไพรีทรอยด์ ซึ่งสารเคมีเหล่านี้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เดวิด พิเมนเทลแห่งคอร์แนลประเทศสหรัฐอเมริกาอธิบายว่า ร้อยละ 99.9 สารกำจัดศัตรูพืชจะปนเปื้อนอยู่ในสิ่งแวดล้อม มีเพียงร้อยละ 0.1 ที่จะไปถึงศัตรูพืชที่เป็นเป้าหมาย ภายหลังการฉีดพ่น หยอด หรือหว่าน สารเคมีกำจัดศัตรูพืชจะถูกดูดซึมเข้าไปในพืชและอยู่บนต้นพืชบางส่วน และที่เหลือจะปลิวไปในอากาศหรือรอเวลาที่น้ำจากแปลงเกษตรจะชะสารเคมีลงสู่ดินหรือแหล่งน้ำใกล้เคียง หาก

สารกำจัดศัตรูพืชสลายตัวได้รวดเร็วปัญหาสิ่งแวดล้อมอาจจะลดลง [14] จากการศึกษาของ [15] เกี่ยวกับการใช้สารกำจัดศัตรูพืชภายใต้หลักปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี GAP โดยเก็บข้อมูลเปรียบเทียบใน 2 จังหวัด คือจังหวัดนครศรีธรรมราช (เกษตรกร 100 ราย ได้รับการรับรอง GAP 50 รายและไม่ได้รับการรับรอง GAP 50 ราย) และจังหวัดจันทบุรีซึ่งเป็นจังหวัดที่มีการปลูกทุเรียนมากที่สุดของประเทศไทย (เกษตรกร 98 ราย ได้รับการรับรอง GAP 48 รายและไม่ได้รับการรับรอง GAP 50 ราย) จากการเปรียบเทียบพบความแตกต่างของขนาดสวนทุเรียนการตลาด และความรู้และความเข้าใจการใช้สารกำจัดศัตรูพืช (pesticide) ตามมาตรฐาน GAP ในจังหวัดจันทบุรีสวนทุเรียนจะมีขนาดใหญ่กว่าและมุ่งเน้นการตลาดส่งออกมากกว่า สำหรับความรู้และความเข้าใจการใช้สารกำจัดศัตรูพืชตามมาตรฐาน GAP พบความความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติในการนำสารกำจัดศัตรูพืชในผู้ที่ได้รับการรับรองและไม่ได้การรับรอง GAPจากความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาดังกล่าวจึงทำให้ผู้ทำวิจัยมีความสนใจศึกษาพัฒนาแนวทางการลดการใช้สารเคมีและส่งเสริมสุขภาพของเกษตรกรด้วยกระบวนการวิจัยแบบมีส่วนร่วม โดยที่ผู้วิจัยจะใช้มาตรฐาน GAP โดยเลือกแปลงตัวอย่างของเกษตรกรที่สนใจสร้างมาตรฐานคุณภาพทุเรียนเพื่อการส่งออก และลดผลกระทบจากการใช้สารเคมีทั้งต่อเกษตรกร ผู้บริโภค และสิ่งแวดล้อม โดยการศึกษาปริมาณสารเคมีตกค้างในดิน น้ำ และทุเรียน ตำบลกรุงชิงอำเภอนบพิตำ จังหวัดนครศรีธรรมราชในแปลงตัวอย่าง เพื่อเป็นแนวทางการลดการใช้สารเคมีให้เป็นไปตามมาตรฐานการส่งออก ส่งเสริมสุขภาพของเกษตรกร และไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

การวิจัยครั้งนี้แบ่งเป็น 2 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1. สภาพทางสังคม เศรษฐกิจและความรู้ของเกษตรกร ความเข้าใจเกี่ยวกับการผลิตทุเรียนตามมาตรฐานการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี เป็นการวิจัยเชิงสำรวจ (Survey research) ประชากรที่ใช้ศึกษาคือเกษตรกรผู้ปลูกทุเรียนในอำเภอนบพิตำ จังหวัดนครสรีธรรมราช จำนวน 32 คน สุ่มตัวอย่างแบบง่าย เครื่องมือการวิจัยคือแบบสัมภาษณ์แบบมีโครงสร้าง ประกอบด้วย 4 ตอน ได้แก่ 1) ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม ได้แก่ เพศ อายุ สถานภาพ ระดับการศึกษา รายได้ 2) ข้อมูลความรู้ ความเข้าใจของเกษตรกรเกี่ยวกับการผลิตทุเรียนตามมาตรฐานการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี 3) ข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมของเกษตรกรในการใช้สารเคมีในการทำสวนทุเรียน และ 4) แนวทางการส่งเสริมการผลิตทุเรียนคุณภาพตามมาตรฐานการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี เมื่อได้รับแบบสอบถามผู้วิจัยทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยโปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อทำการวิจัยทางสังคมศาสตร์ (SPSS) แล้วนำมาแปลผลดังนี้ 1) ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม ได้แก่ เพศ อายุ สถานภาพ ระดับการศึกษา รายได้ การวิเคราะห์ด้วยค่าร้อยละ 2) ข้อมูลความรู้ ความเข้าใจของเกษตรกรเกี่ยวกับการผลิตทุเรียนตามมาตรฐานการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี วิเคราะห์ข้อมูลด้วยค่าร้อยละ 3) ข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมของเกษตรกรในการใช้สารเคมีในการทำสวนทุเรียน วิเคราะห์ด้วยค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ส่วนที่ 2 การศึกษามาตรฐานการส่งออกตามมาตรฐานระเบียบปฏิบัติ GAP

2.1 สำรวจและคัดเลือกพื้นที่พิจารณาคัดเลือกพื้นที่โดยดำเนินการ วิเคราะห์และสรุปข้อมูลการผลิตทุเรียนจากการสัมภาษณ์เกษตรกรและคัดเลือกเกษตรกรที่จะทำการศึกษา โดยเกษตรกรจะต้องมีแปลงปลูกทุเรียน 2 แบบ ในพื้นที่เดียวกัน คือแปลงที่มีการใช้สารเคมีและแปลงที่ไม่มีการใช้สารเคมี และเก็บตัวอย่างดินในแปลงของ นายอรรณพ ขำขาว พื้นที่ ตำบลกะหรอ อำเภอนบพิตำ จังหวัดนครศรีธรรมราช ขนาดพื้นที่ 21 ไร่ กลุ่มชุดดินที่ 34 ชุดดินฉลอง โดยเก็บตัวอย่างดินก่อนการให้ผลผลิต เพื่อส่งวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในดิน โดยเก็บตัวอย่างดิน 2 โซน คือ โซนที่ไม่มีการใช้สารเคมีปราบศัตรูพืชและโซนที่มีการใช้สารเคมีปราบศัตรูพืชแต่ทั้ง 2 โซนมีการใส่ปุ๋ยตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร โซนละ 5 จุด จุดละ 15 ตัวอย่างจากนั้นมาดินมาผสมกันก่อน วิธีการเก็บตามแบบสลับฟันปลาของ [16] ขุดหลุมลึกประมาณ 20-30 เซนติเมตร จากผิวดินแล้วนำตัวอย่างดินมาผึ่งให้แห้งในที่ร่ม จากนั้นส่งตัวอย่างดินไปวิเคราะห์ที่ศูนย์วิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ เพื่อวิเคราะห์หาค่าสมบัติทางเคมีของดิน ได้แก่ 1) ปฏิกิริยาดิน (Soil Reaction หรือค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน, pH) วัดโดยใช้ pH Meter ในอัตราส่วนดินต่อน้ำ 1:2 [17-18] 2) อินทรียวัตถุและคาร์บอนใช้วิธี Wet Oxidation ของ Walkley และ Black [19] 3) ไนโตรเจนทั้งหมด (total N) โดยวิธี Micro Kjedahl Method [20] 4) ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ใช้วิธี Bray II และ Colorimetric Method [21] 5) ความเข้มข้นของโพแทสเซียมที่สกัดได้ใช้วิธี การสกัดด้วยสารละลาย Ammonium Acetate 1N, pH 7.0 และอ่านค่าด้วยเครื่อง Flame Photometer [22] 6) ความเข้มข้นของแคลเซียมและแมกนีเซียมที่สกัดได้ใช้วิธีการสกัดด้วยสารละลาย ammonium acetate 1N, pH 7.0 อ่านค่าด้วยเครื่อง Atomic Absorption ในห้องปฏิบัติการ [23] และวิเคราะห์ความเข้มข้นของกำมะถันโดยสกัดด้วยสารละลาย 0.01 M KH_2PO_4 แล้ววิเคราะห์ความเข้มข้นด้วยวิธีวัดความขุ่น (Turbiditry) [24] จากนั้นนำข้อมูลมาวางแผนการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน

2.2 เก็บข้อมูลแหล่งน้ำใช้ของสวนทุเรียน ดำเนินการเก็บตัวอย่างน้ำ ในแหล่งน้ำบริเวณสวนทุเรียนของแปลงที่ศึกษาทั้ง 2 โซน คือพื้นที่ที่มีการใช้สารเคมีกำจัดแมลง และพื้นที่ที่ไม่มีการใช้สารเคมีกำจัดแมลง จำนวน 2 ครั้ง โดยมีพารามิเตอร์ที่ศึกษาได้แก่ ความเป็นกรดด่าง (pH) ความขุ่น ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ปริมาณฟอสเฟตฟอสฟอรัส ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน และปริมาณสารเคมีกำจัดแมลง

2.3 การเก็บตัวอย่างดินเพื่อวิเคราะห์สารเคมีกำจัดแมลง ดำเนินการเก็บตัวอย่างโดยการสุ่ม (random sampling) เก็บตัวอย่างดินจากจุดต่างๆ ในสวนทุเรียนทั้ง 2 โซน คือพื้นที่ที่มีการใช้สารเคมีกำจัดแมลง และพื้นที่ที่ไม่มีการใช้สารเคมีกำจัดแมลง โดยในแต่ละโซนได้แบ่งแปลงย่อยกระจายทั่วพื้นที่เป็น 5 แปลง ในแต่ละแปลงสุ่มเก็บตัวอย่างประมาณ 10 จุดรวมเป็น 1 ตัวอย่าง ในแต่ละโซนจะได้กลุ่มตัวอย่างเป็น 5 กลุ่มตัวอย่าง

2.4 การเก็บตัวอย่างทุเรียน ดำเนินการเก็บตัวอย่างโดยการสุ่ม (random sampling) เก็บตัวอย่างทุเรียนจากสวนทุเรียนทั้ง 2 โซน คือพื้นที่ที่มีการใช้สารเคมีกำจัดแมลง และพื้นที่ที่ไม่มีการใช้สารเคมีกำจัดแมลง โดยในแต่ละโซนได้แบ่งเก็บตัวอย่างโซนละ 5 ผล รวมทั้งสิ้น 10 ผล

2.1 การวิเคราะห์ตัวอย่างเพื่อหาปริมาณสารเคมีกำจัดแมลง

นำตัวอย่างดิน น้ำ และผลทุเรียนมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ เพื่อให้การผลิตทุเรียนมีคุณภาพ ไม่มีสารตกค้าง ส่งผลดีต่อการส่งออกผลผลิตทุเรียนในอำเภอนบพิตำ จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยแบ่งขั้นตอนการทดสอบเป็น 2 ขั้นตอนดังนี้

1. ขั้นทดสอบเบื้องต้น ดำเนินการศึกษาโดยการเก็บตัวอย่างดิน น้ำ และผลทุเรียน มาตรวจวิเคราะห์เบื้องต้นโดยใช้ชุดทดสอบสารเคมีกำจัดแมลง MJPK Test Kit for Screening Pesticide Residues เพื่อทดสอบสารเคมีกำจัดแมลง 4 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต กลุ่มคาร์บาเมต กลุ่มออร์กาโนคลอรีน และกลุ่มไพรีทรอยด์

2. ขั้นทดสอบยืนยันผล ดำเนินการศึกษาต่อเนื่องโดยการเก็บตัวอย่างดิน น้ำ และผลทุเรียน และนำไปตรวจวิเคราะห์สารเคมีกำจัดแมลง ด้วยเทคนิค GC-MS/MS เพื่อเป็นการยืนยันผล และทดสอบผลในเชิงปริมาณเพื่อหาปริมาณสารเคมีกำจัดแมลงที่ตกค้างทั้ง 4 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต กลุ่มคาร์บาเมต กลุ่มออร์กาโนคลอรีน และกลุ่มไพรีทรอยด์ ว่าเกินเกณฑ์มาตรฐานหรือไม่ [25]

3. ผลและการอภิปราย

3.1 สภาพทางสังคม เศรษฐกิจและความรู้ของเกษตรกรความเข้าใจเกี่ยวกับการผลิตทุเรียนตามมาตรฐานการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี

1. ผลการศึกษาข้อมูลทั่วไปของเกษตรกร พบว่า เกษตรกรส่วนใหญ่เป็นเพศชาย คิดเป็นร้อยละ 71.88 อยู่ในช่วงอายุ 41-50 ปี คิดเป็นร้อยละ 50.00 มีสถานภาพสมรส คิดเป็นร้อยละ 56.25 นับถือศาสนาพุทธ คิดเป็นร้อยละ 96.88 การศึกษาระดับประถมศึกษา คิดเป็นร้อยละ 46.88 มีจำนวนสมาชิกในครัวเรือน มากกว่า 5 คนขึ้นไป คิดเป็นร้อยละ 40.63 รายได้/ปี 100,001-150,000 บาท/ปี คิดเป็นร้อยละ 43.75 การถือครองที่ดินของครัวเรือนของตนเอง คิดเป็นร้อยละ 78.13 กรรมสิทธิ์ที่ดินเป็นโฉนด คิดเป็นร้อยละ 71.88 มีประสบการณ์ในการทำสวนทุเรียน 5-10 ปี คิดเป็นร้อยละ 43.75 การพ่นสารเคมีโดยการฉีดพ่นเองและว่าจ้าง คิดเป็นร้อยละ 53.13 ระยะเวลาในการใช้สารเคมีระยะเวลา 1-5 ปี คิดเป็นร้อยละ 46.88 เกษตรกรไม่เคยได้รับการอบรมเกี่ยวกับความปลอดภัยในการใช้สารเคมี คิดเป็นร้อยละ 62.50 เกษตรกรทุกรายปลูกทุเรียนพันธุ์หมอนทอง สภาพดินที่ปลูกเป็นดินร่วน มีการกำหนดระยะปลูก (ระยะระหว่างต้น) มีการปรับพื้นที่ภายในแปลง ต้นพันธุ์ที่นำมาใช้ปลูกเกิดจากการขยายพันธุ์ด้วยวิธีการเสียบยอด ให้น้ำด้วยระบบน้ำแบบสปริงเกอร์การเก็บเกี่ยวผลผลิตทุเรียนเป็นการเคาะเปลือกหรือกรีดหนาม มีการตัดแต่งกิ่ง ตัดแต่งช่อดอก และตัดแต่งผล จำหน่ายผ่านพ่อค้าคนกลาง

2. ข้อมูลความรู้ ความเข้าใจของเกษตรกรเกี่ยวกับการผลิตทุเรียนตามมาตรฐานการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี พบว่า ความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับการใช้สารเคมีของเกษตรกรในการทำสวนทุเรียน มีความรู้อยู่ในระดับมาก ได้แก่ สารเคมีสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ 3 ทาง คือ หายใจ ปาก ผิวหนัง ขณะเตรียมสารเคมีใส่เครื่องฉีดพ่น ควรให้เด็กและสัตว์เลี้ยงออกจากบริเวณ และไม่ควรฉีดพ่นสารเคมีในขณะลมแรงหรือฝนตก คิดเป็นร้อยละ 100 การผสมสารเคมีจำเป็นต้องปฏิบัติตามฉลากที่กำหนด และภาชนะที่ใช้ในการฉีดพ่นหรือผสมสารกำจัดศัตรูพืช ต้องแยกเก็บเฉพาะ คิดเป็นร้อยละ 96.88 การใช้สารเคมีควรอ่านฉลากก่อนใช้งาน คิดเป็นร้อยละ 93.75 หลังการฉีดพ่นสารเคมีเสร็จแล้วควรรีบอาบน้ำทำความสะอาดร่างกายทันที คิดเป็นร้อยละ 90.63 การได้รับสารเคมีเข้าไปในร่างกายจะแสดงอาการ 2 แบบ คือ แบบเรื้อรัง และแบบเฉียบพลัน คิดเป็นร้อยละ 90.63 วิธีที่ดีที่สุดหากสารเคมีเข้าตา คือ ล้างน้ำด้วยน้ำสะอาด คิดเป็นร้อยละ 84.38 การสูบบุหรี่และการกินอาหารในขณะทำการฉีดพ่นสารเคมีจะทำให้ร่างกายได้รับอันตรายจากสารเคมี คิดเป็นร้อยละ 81.25 เกษตรกรความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับการใช้สารเคมีในการทำสวนทุเรียน มีความรู้อยู่ในระดับปานกลาง ได้แก่ หากหัวฉีดเครื่องฉีดพ่นสารเคมีอุดตัน ควรใช้ไม้เขี่ยหัวฉีดเครื่องฉีดพ่นสารเคมี คิดเป็นร้อยละ 68.75 และเกษตรกรความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการใช้สารเคมีในการทำสวนทุเรียน มีความรู้อยู่ในระดับน้อย ได้แก่ ควรเก็บและรักษาสารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่เก็บสารเคมีที่มีแสงส่องถึง คิดเป็นร้อยละ 53.13 การฉีดพ่นสารเคมีควรยืนฉีดใต้ทิศทางลม และสามารถรับประทานอาหารได้ทันที หลังจากฉีดพ่นสารเคมี คิดเป็นร้อยละ 46.88 การทำลายภาชนะที่ใส่สารเคมีใช้หมดแล้วควรกำจัดโดยการเผากลางแจ้ง และขณะที่ฉีดพ่นสารเคมีไม่จำเป็นต้องแต่งกายที่ปกปิด ร่างกายมิดชิด คิดเป็นร้อยละ 43.75 การจัดเก็บสารเคมีกำจัดศัตรูพืช สามารถเก็บรวมกับของอื่น ๆ ภายในบ้านได้ คิดเป็นร้อยละ 40.63 เสื้อผ้าที่ใช้ใส่ในการฉีดพ่นสารเคมีสามารถซักรวมกับเสื้อผ้าอื่นได้ และหลังจากฉีดพ่นสารเคมีแล้วสามารถเข้าไปในแปลงเพาะปลูกได้ทันที คิดเป็นร้อยละ 37.50 ตามลำดับ

3. ข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมของเกษตรกรในการใช้สารเคมีในการทำสวนทุเรียน พบว่าระดับความรู้ ความเข้าใจของเกษตรกรเกี่ยวกับการใช้สารเคมีในทำสวนปลูกทุเรียนอยู่ในระดับมาก คิดเป็นร้อยละ 56.25 รองลงมาคือ ความรู้ ความเข้าใจของเกษตรกรเกี่ยวกับการใช้สารเคมีในการทำสวนทุเรียน อยู่ในระดับน้อย คิดเป็นร้อยละ 40.63 และความรู้ ความเข้าใจของเกษตรกรเกี่ยวกับการใช้สารเคมีในการทำ

สวนทุเรียนอยู่ในระดับปานกลาง คิดเป็นร้อยละ 3.12 ตามลำดับ (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมของเกษตรกรในการใช้สารเคมีในการทำสวนทุเรียน

ระดับความรู้	ความถี่	ร้อยละ
ความรู้มาก	18	56.25
ความรู้ปานกลาง	1	3.12
ความรู้น้อย	13	40.63
รวม	32	100

พฤติกรรมในการใช้สารเคมีก่อนฉีดพ่นของเกษตรกรในการทำสวนทุเรียน โดยภาพรวม คือ ปฏิบัติทุกครั้ง เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อพบว่า เกษตรกรปฏิบัติตามคำแนะนำที่ฉลากกำหนดไว้ และเกษตรกรใส่ถุงมือยางเมื่อผสมสารเคมี คิดเป็นร้อยละ 71.90 อยู่ในระดับดีมาก ค่าเฉลี่ย 2.72 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.48 รองลงมาเกษตรกรอ่านรายละเอียดที่ฉลากภาชนะบรรจุสารเคมีก่อนซื้อ และตรวจสอบอุปกรณ์เครื่องมือก่อนการฉีดพ่นสารเคมี คิดเป็นร้อยละ 68.80 ค่าเฉลี่ย 2.69 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.47 และเกษตรกรใช้วัสดุหรือไม้คนสารเคมี คิดเป็นร้อยละ 65.60 มีค่าเฉลี่ย 2.66 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.46 ตามลำดับ พฤติกรรมในการใช้สารเคมีขณะฉีดพ่นของเกษตรกรในการทำสวนทุเรียน โดยภาพรวม คือ ปฏิบัติทุกครั้ง เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อพบว่า เกษตรกรไม่กินอาหาร/ดื่มน้ำในบริเวณที่ฉีดพ่นสารเคมี คิดเป็นร้อยละ 87.50 ค่าเฉลี่ย 2.88 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.34 รองลงมาเกษตรกรอยู่เหนือทิศทางลม คิดเป็นร้อยละ 81.30 ค่าเฉลี่ย 2.81 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.40 เกษตรกรไม่สูบบุหรี่ มีค่าเฉลี่ย คิดเป็นร้อยละ 81.30 ค่าเฉลี่ย 2.78 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.49 เกษตรกรสวมเสื้อแขนยาว/กางเกงขายาวมีคิดเป็นร้อยละ75.00 ค่าเฉลี่ย 2.75 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.44 เกษตรกรสวมใส่รองเท้าบูทยางและสวมใส่หมวกมีคิดเป็นร้อยละ 71.90 ค่าเฉลี่ย 2.72 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.46 สวมใส่แว่นตา คิดเป็นร้อยละ 71.90 ค่าเฉลี่ย 2.69 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.54 เกษตรกรสวมหน้ากาก/ผ้าปิดจมูก และ มีค่าเฉลี่ย 2.69 ท่านสวมถุงมือยางตลอดเวลา คิดเป็นร้อยละ มีค่าเฉลี่ย 2.66 ตามลำดับพฤติกรรมในการใช้สารเคมีขณะฉีดพ่นของเกษตรกรในการทำสวนทุเรียน โดยภาพรวม คือ ปฏิบัติทุกครั้ง เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อพบว่า เกษตรกรแยกเก็บภาชนะและอุปกรณ์ฉีดพ่นสารเคมีไม่ปะปนกับของใช้ภายในบ้าน คิดเป็นร้อยละ 81.30 มีค่าเฉลี่ย 2.81 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.40 รองลงมา เมื่อถึงบ้านเกษตรกรอาบน้ำทำความสะอาดร่างกายทันทีและแยกซักเสื้อผ้า คิดเป็นร้อยละ 75.00 ค่าเฉลี่ย 2.75 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.44 เกษตรกรล้างมือทันทีก่อนพักกินอาหาร/ดื่มน้ำ คิดเป็นร้อยละ 71.90 ค่าเฉลี่ย 2.72 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.46 ท่านฝังกลบภาชนะบรรจุสารเคมีที่มีใช้หมดแล้ว คิดเป็นร้อยละ 68.80 ค่าเฉลี่ย 2.63 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.61 และเมื่อเกษตรกรเจ็บป่วยหรือไม่สบาย เกษตรกรไปพบแพทย์ค่าเฉลี่ย คิดเป็นร้อยละ 15.60 ค่าเฉลี่ย 2.84 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.37 ตามลำดับ (ตารางที่ 2) พฤติกรรมของเกษตรกรในการใช้สารเคมีทำสวนทุเรียน พบว่า เกษตรกรได้ปฏิบัติตนทุกครั้ง ก่อนการฉีดพ่นสารเคมี ขณะฉีดพ่นสารเคมี และหลังการฉีดพ่นสารเคมี สอดคล้องกับ [26] ศึกษาความรู้ความ เข้าใจ ทัศนคติ และพฤติกรรมการใช้สารเคมีกำจัดแมลงอย่างปลอดภัยในเกษตรกรที่ปลูกข้าวโพด พบว่า เกษตรกรมีความรู้ความเข้าใจอยู่ในระดับดีมาก คิดเป็นร้อยละ 92.00 และพฤติกรรมส่วนใหญ่อยู่ในระดับดีมาก คิดเป็นร้อยละ 98.00 และสอดคล้องกับ [27] ศึกษาความรู้และพฤติกรรมการใช้สารเคมีในการกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกร ตำบลซับสมบูรณ์ อำเภอวิเชียรบุรี จังหวัดเพชรบูรณ์ พบว่า ความรู้ของเกษตรกรในการใช้สารเคมีในการกำจัดศัตรูพืชในภาพรวมเฉลี่ย มีค่าร้อยละ 74.30 สำหรับพฤติกรรมการใช้สารเคมีในการกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรในภาพรวมอยู่ในระดับเหมาะสมมาก [28] ศึกษาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อระดับเอ็นไซม์โคลีนเอสเตอเรสในเกษตรกรผู้ปลูกทุเรียน กรณีศึกษา: จังหวัดชุมพร พบว่า เกษตรกรส่วนใหญ่มีพฤติกรรมการปฏิบัติงานในการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชอยู่ในระดับถูกต้องมาก ร้อยละ 84.1 แต่ไม่สอดคล้องกับ [29] ศึกษาพฤติกรรมการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกร อำเภอสามพราน จังหวัดนครปฐม พบว่า เกษตรกรส่วนใหญ่ มีพฤติกรรมการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชถูกต้องปานกลาง

ตารางที่ 2 ร้อยละของประชาชนเกี่ยวกับพฤติกรรม ก่อนฉีด ขณะฉีดและหลังฉีดพ่นสารเคมีของการเกษตรในการใช้สารเคมีทำสวนทุเรียน (n=32)

พฤติกรรมในการใช้สารเคมี	ปฏิบัติทุกครั้ง	ปฏิบัติบางครั้ง	ไม่เคยปฏิบัติ	$\bar{x}$	S.D.	ระดับ
ก่อนการฉีดพ่น						
1. อ่านรายละเอียดที่ฉลากภาชนะบรรจุสารเคมีก่อนซื้อ	68.80	31.20	0.00	2.69	0.47	ปฏิบัติทุกครั้ง
2. ปฏิบัติตามคำแนะนำที่ฉลากกำหนดไว้	71.90	28.10	0.00	2.72	0.48	ปฏิบัติทุกครั้ง
3. ตรวจสอบอุปกรณ์เครื่องมือก่อนการฉีดพ่นสารเคมี	68.80	31.20	0.00	2.69	0.47	ปฏิบัติทุกครั้ง
4. ใส่ถุงมือยางเมื่อผสมสารเคมี	71.90	28.10	0.00	2.72	0.48	ปฏิบัติทุกครั้ง
5. ใช้วัสดุหรือไม้คนสารเคมี	65.60	34.40	0.00	2.66	0.46	ปฏิบัติทุกครั้ง
รวม				2.70	0.32	ปฏิบัติทุกครั้ง
ขณะฉีดพ่น						
1. สวมถุงมือยางตลอดเวลา	65.60	34.40	0.00	2.66	0.48	ปฏิบัติทุกครั้ง
2. สวมเสื้อแขนยาว/กางเกงขายาว	75.00	25.00	0.00	2.75	0.44	ปฏิบัติทุกครั้ง
3. สวมใส่รองเท้าบูทยาง	71.90	28.10	0.00	2.72	0.46	ปฏิบัติทุกครั้ง
4. สวมใส่หมวก	71.90	28.10	0.00	2.72	0.46	ปฏิบัติทุกครั้ง
5. สวมหน้ากาก/ผ้าปิดจมูก	75.00	18.80	6.30	2.69	0.59	ปฏิบัติทุกครั้ง
6. สวมใส่แว่นตา	71.90	25.00	3.10	2.69	0.54	ปฏิบัติทุกครั้ง
7. อยู่เหนือทิศทางลม	81.30	18.70	0.00	2.81	0.40	ปฏิบัติทุกครั้ง
8. ไม่กินอาหาร/ดื่มน้ำในบริเวณที่ฉีดพ่นสารเคมี	87.50	12.50	0.00	2.88	0.34	ปฏิบัติทุกครั้ง
9. ไม่สูบบุหรี่	81.30	15.60	3.10	2.78	0.49	ปฏิบัติทุกครั้ง
รวม				2.74	0.27	ปฏิบัติทุกครั้ง
หลังฉีดพ่น						
1. ล้างมือทันทีก่อนกินอาหาร/ดื่มน้ำ	71.90	28.10	0.00	2.72	0.46	ปฏิบัติทุกครั้ง
2. เมื่อถึงบ้านอาบน้ำทำความสะอาดร่างกายทันที	75.00	25.00	0.00	2.75	0.44	ปฏิบัติทุกครั้ง
3. แยกซักเสื้อผ้า	75.00	25.00	0.00	2.75	0.44	ปฏิบัติทุกครั้ง
4. แยกเก็บภาชนะและอุปกรณ์ฉีดพ่นสารเคมีไม่ปะปนกับของใช้ภายในบ้าน	81.30	18.80	0.00	2.81	0.40	ปฏิบัติทุกครั้ง
5. ฝังกลบภาชนะบรรจุสารเคมีที่มีใช้หมดแล้ว	68.80	25.00	6.30	2.63	0.61	ปฏิบัติทุกครั้ง
6. เมื่อเจ็บป่วยหรือไม่สบายไปพบแพทย์	15.60	84.40	0.00	2.84	0.37	ปฏิบัติทุกครั้ง
รวม				2.75	0.31	ปฏิบัติทุกครั้ง

3.2 การศึกษามาตรฐานส่งออกตามมาตรฐานระเบียบปฏิบัติ GAP

1. จากการสำรวจและคัดเลือกพื้นที่โดยการสัมภาษณ์เกษตรกร พิจารณาคัดเลือกพื้นที่โดยดำเนินการเป็นพื้นที่ของ นายอรรณพ ขำขาว ตำบลกะหรอ อำเภอนบพิตำ จังหวัดนครศรีธรรมราช ขนาดพื้นที่ 21 ไร่ กลุ่มชุดดินที่ 34 ชุดดินฉลอง (พิกัดทางภูมิศาสตร์ ละติจูด 7.9° ถึง 9.3° เหนือ ลองจิจูด 99.3° ถึง 100.3° ตะวันออก) (ภาพที่ 1) มีปริมาณฝนเฉลี่ยเท่ากับ 2,701.1 มิลลิเมตร อุณหภูมิเฉลี่ย ตลอดทั้งปี 27.3 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย 23.2 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย 32.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศเฉลี่ย 73 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณน้ำระเหย 1,891.4 มิลลิเมตร [30] เกษตรกรในพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นการใช้ปุ๋ยตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตรและคำแนะนำของร้านขายเคมีการเกษตร ไม่ได้มีการวิเคราะห์ธาตุอาหารในดินเพื่อใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินจากการสุ่มตัวอย่างดิน 2 โซน พื้นที่ปลูกทุเรียนซึ่งไม่ใช้สารเคมี และพื้นที่ปลูกทุเรียนซึ่งมีการใช้สารเคมี โซนละ 3 จุด จุดละ 15 ตัวอย่าง แล้วนำตัวอย่างดินมาผสมกัน ผลการวิเคราะห์ดินบริเวณพื้นที่ปลูกทุเรียนซึ่งไม่ใช้สารเคมีมีปริมาณอินทรีย์วัตถุ 1.52-1.96 ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) 4.85-5.41 มีสภาพเป็นดินกรดปานกลางต้องแก้ไขด้วยการใส่ปูนเป็นครั้งคราว ค่าการนำไฟฟ้าอยู่ระหว่าง0.029-0.043 dS/m เปอร์เซ็นต์ซึ่งมีค่าปานกลางแนะนำให้ใส่อินทรียวัตถุทดแทนอย่างสม่ำเสมอ [31]

ภาพที่ 1 พื้นที่ดำเนินการพื้นที่ของนายอรรณพ ขำขาว

การวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลัก ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม พบว่ามีปริมาณไนโตรเจน 0.22-0.23 % ซึ่งอยู่ในระดับต่ำมาก ปริมาณฟอสฟอรัสในดิน 13.46-120.09 mg/kg ปริมาณโพแทสเซียม 47.09-67.80 mg/kg สำหรับธาตุอาหารรอง พบว่ามีปริมาณแมกนีเซียม 19.01-38.77 mg/kg แคลเซียม 62.51-78.36 mg/kg ปริมาณซัลเฟอร์ 6.81-27.42 mg/kg ปริมาณฟอสฟอรัสและซัลเฟอร์อยู่ในช่วงกว้างตั้งแต่ระดับปานกลางจนถึงสูง เนื่องจากพื้นที่ปลูกมีความแตกต่างกัน เช่น วัตถุต้นกำเนิดดิน สภาพพื้นที่ สภาพภูมิอากาศ ระยะเวลาในการสลายตัวของหิน และแร่ ที่ส่งผลทำให้ดินมีสภาพตาม ธรรมชาติที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับวิธีปฏิบัติของ เกษตรกรด้วย เช่น การไถพรวน การใส่ปุ๋ย การใช้สารป้องกันและกำจัดศัตรูพืช เป็นต้น [32] สำหรับตัวอย่างดินบริเวณพื้นที่ปลูกทุเรียนซึ่งใช้สารเคมีมีปริมาณอินทรีย์วัตถุ 1.17-1.62 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอยู่ในระดับปานกลาง ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) 4.70-4.82 ซึ่งมีสภาพเป็นดินกรด กรมส่งเสริมการเกษตรได้ให้คำแนะนำแก่เกษตรกรผู้ปลูกทุเรียนเกี่ยวกับค่าความเป็นกรดด่างที่เหมาะสมแก่การปลูกทุเรียนอยู่ระหว่าง 5.5-6.5 ดังนั้นต้องมีการปรับปรุงดินโดยใส่ปูนขาวหรือดินมาร์ลเพื่อปรับสภาพความเป็นกรดให้ลดน้อยลง ค่าการนำไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 0.022-0.042 dS/m ซึ่งทั้งสองพื้นที่อยู่ในเกณฑ์ที่ไม่ทำให้ผลผลิตลดลง เนื่องจากมีค่าการนำไฟฟ้าต่ำกว่า 2 dS/m ซึ่งบ่งบอกถึงปริมาณเกลือที่ต่ำมาก ไม่ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืช [33] ในการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลัก ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม พบว่าปริมาณไนโตรเจน 0.20-0.22 % ซึ่งอยู่ในระดับต่ำมาก ปริมาณฟอสฟอรัสในดินปริมาณฟอสฟอรัส 9.17-19.81 mg/kg ปริมาณโพแทสเซียม 26.08-34.88 mg/kg ปริมาณโพแทสเซียมทั้ง 2 โซนอยู่ในระดับต่ำ ต้องมีการเพิ่มโพแทสเซียมเพราะเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นของทุเรียน สำหรับธาตุอาหารรองพบปริมาณแคลเซียม 52.68-62.74 mg/kg ปริมาณแคลเซียมทั้ง 2 โซนอยู่ในระดับที่เหมาะสม ปริมาณซัลเฟอร์ 11.75-30.48 mg/kg ปริมาณแมกนีเซียม 5.91-8.92 mg/kg ปริมาณแมกนีเซียมทั้ง 2 โซนอยู่ในระดับต่ำ ผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารสามารถนำไปใช้ในการจัดการปุ๋ยในแปลงปลูกทุเรียนที่ถูกต้องตามหลักวิชาการ เพราะหากใส่ในปริมาณน้อยไปจะส่งผลให้ทุเรียนเจริญเติบโตได้ช้าผลผลิตไม่ได้คุณภาพ ในทางกลับกันถ้าใส่ในปริมาณมากเกินไปจะเกิดความเป็นพิษแก่พืช และสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายของเกษตรกร [34]

ตารางที่ 3 ปริมาณอินทรียวัตถุ กรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่พบในดินสวนทุเรียน

ตัวอย่าง	ผลการทดสอบ			
	ปริมาณอินทรียวัตถุ (%)	กรด-ด่าง (pH)	ค่าการนำไฟฟ้า (dS/m)	ไนโตรเจน (%)
C1	1.17	4.72	0.034	0.21
C2	1.71	4.82	0.022	0.22
C3	1.62	4.70	0.042	0.20
เฉลี่ย	1.50	4.75	0.033	0.21
NC1	1.82	5.41	0.029	0.23
NC2	1.52	5.34	0.031	0.22
NC3	1.96	4.85	0.043	0.22
เฉลี่ย	1.77	5.20	0.034	0.22

หมายเหตุ NC คือ จุดเก็บตัวอย่างพื้นที่ปลูกทุเรียนซึ่งไม่ใช่สารเคมี
C คือ จุดเก็บตัวอย่างพื้นที่ปลูกทุเรียนซึ่งมีการใช้สารเคมี

ตารางที่ 4 ธาตุอาหารพืช; ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียม แคลเซียม ซัลเฟอร์ และแมกนีเซียมที่พบในดินสวนทุเรียน

ตัวอย่าง	ผลการทดสอบ (mg/kg)				
	ฟอสฟอรัส	โพแทสเซียม	แคลเซียม	ซัลเฟอร์ (mg/kg)	แมกนีเซียม (mg/kg)
C1	12.96	34.88	52.68	30.48	8.21
C2	9.17	29.66	62.74	11.75	8.92
C3	19.81	26.08	59.41	23.78	5.91
เฉลี่ย	13.98	30.21	58.28	22.00	7.68
NC1	120.09	67.80	62.51	6.81	38.77
NC2	13.46	47.09	78.36	12.23	35.86
NC3	56.91	62.94	70.89	27.42	19.01
เฉลี่ย	63.49	59.28	70.59	15.49	31.21

หมายเหตุ NC คือ จุดเก็บตัวอย่างพื้นที่ปลูกทุเรียนซึ่งไม่ใช่สารเคมี และ
C คือ จุดเก็บตัวอย่างพื้นที่ปลูกทุเรียนซึ่งมีการใช้สารเคม

2. การศึกษาปริมาณสารเคมีตกค้างในดิน

การทดสอบ 2 ขั้นตอน คือ การศึกษาปริมาณสารเคมีตกค้างในดินโดยใช้ชุดทดสอบสารเคมีกำจัดแมลงเบื้องต้น และการศึกษาปริมาณสารเคมีตกค้างในดินด้วยเทคนิค GC-MS/MS เพื่อเป็นการยืนยันผล ได้ผลการศึกษาดังนี้

2.1 การศึกษาปริมาณสารเคมีตกค้างในดินโดยใช้ชุดทดสอบสารเคมีกำจัดแมลงเบื้องต้น

เก็บตัวอย่างดินจากพื้นที่แปลงปลูกทุเรียน ในตำบลกะหรอ อำเภอนบพิตำ จังหวัดนครศรีธรรมราช แบ่งพื้นที่เก็บตัวอย่าง 2 โซน ได้แก่ พื้นที่ที่มีการใช้สารเคมี และพื้นที่ที่ไม่มีการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช โดยการเก็บตัวอย่างดินมาตรวจวิเคราะห์เบื้องต้นโดยใช้ชุดทดสอบสารเคมีกำจัดแมลง MJPK Test Kit ได้ผลดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการศึกษาปริมาณสารเคมีตกค้างในดินเบื้องต้น

พื้นที่ปลูกไม่ใช้สารเคมี		พื้นที่ปลูกใช้สารเคมี	
จุดเก็บตัวอย่าง	ผลการทดสอบ	จุดเก็บตัวอย่าง	ผลการทดสอบ
NC1	ตรวจไม่พบ	C1	ตรวจไม่พบ
NC2	ตรวจไม่พบ	C2	ตรวจไม่พบ
NC3	ตรวจไม่พบ	C3	ตรวจไม่พบ
NC4	ตรวจไม่พบ	C4	ตรวจไม่พบ
NC5	ตรวจไม่พบ	C5	ตรวจไม่พบ

จากตารางที่ 5 พบว่า ไม่พบการตกค้างของสารเคมีกำจัดแมลงทั้ง 4 กลุ่มในดินของพื้นที่เก็บตัวอย่างดินทั้ง 2 โซน ทั้งพื้นที่ที่มีการใช้สารเคมีกำจัดแมลง และพื้นที่ที่ไม่มีการใช้สารเคมีกำจัดแมลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างเป็นช่วงปลายฤดูเก็บเกี่ยว ทำให้เกษตรกรยังไม่ได้ใช้สารเคมีกำจัดแมลง และอาจเป็นไปได้ว่าสารเคมีตกค้างเดิมอาจมีการสลายตัวตามระยะเวลา หรือเกิดการชะลงแหล่งน้ำใกล้เคียงทำให้ไม่สามารถตรวจพบได้ แต่อย่างไรก็ตาม ผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บตัวอย่างเพิ่มเติมในช่วงเวลาที่มีการเก็บเกี่ยว และนำไปตรวจวิเคราะห์ในเชิงปริมาณต่อไปด้วยเทคนิค GC-MS/MS

2.2 การศึกษาปริมาณสารเคมีกำจัดแมลงตกค้างในดินด้วยเทคนิค GC-MS/MS

จากผลการศึกษาปริมาณสารเคมีตกค้างในดินโดยใช้ชุดทดสอบสารเคมีกำจัดแมลงเบื้องต้น ซึ่งพบว่าไม่พบการตกค้างของสารเคมีกำจัดแมลงทั้ง 4 กลุ่มในดินของพื้นที่เก็บตัวอย่างดินทั้ง 2 โซน ทั้งพื้นที่ที่มีการใช้สารเคมีกำจัดแมลง และพื้นที่ที่ไม่มีการใช้สารเคมีกำจัดแมลง ผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บตัวอย่างเพิ่มเติมในช่วงเวลาที่มีการเก็บเกี่ยว และนำไปตรวจวิเคราะห์ในเชิงปริมาณต่อไปด้วยเทคนิค GC-MS/MS ซึ่งได้ผลการศึกษาดังตารางที่ 6

จากตารางที่ 6 จะเห็นได้ว่า ไม่พบการตกค้างของสารเคมีกำจัดแมลงทั้ง 4 กลุ่มในดินของพื้นที่เก็บตัวอย่างดินทั้ง 2 โซน ทั้งพื้นที่ที่มีการใช้สารเคมีกำจัดแมลง และพื้นที่ที่ไม่มีการใช้สารเคมีกำจัดแมลงเช่นเดียวกับการทดสอบเบื้องต้นโดยใช้ชุดทดสอบสารเคมีกำจัดแมลง MJPK Test Kit แสดงให้เห็นว่าเกษตรกรอาจมีการใช้สารเคมีกำจัดแมลงในปริมาณน้อย หรือระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างเป็นช่วงหลังเก็บผลผลิต ซึ่งอาจทำให้สารเคมีกำจัดแมลงบางส่วนสลายไปจนไม่สามารถตรวจพบ และจากการสอบถามเกษตรกรพบว่า สารเคมีที่เกษตรกรเลือกใช้คือ คาร์บาริล (Carbaryl) จัดอยู่ในกลุ่มคาร์บาเมต ซึ่งสารเคมีในกลุ่มนี้จะมีความเป็นพิษต่อสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมน้อยกว่ากลุ่มอื่นๆ และสลายตัวได้เร็วกว่า [1]

ตารางที่ 6 ผลการศึกษาปริมาณสารเคมีตกค้างในดินด้วยเทคนิค GC-MS/MS

พื้นที่ปลูกไม่ใช้สารเคมี			พื้นที่ปลูกใช้สารเคมี		
ตัวอย่าง	รายการทดสอบ	ผลการทดสอบ	ตัวอย่าง	รายการทดสอบ	ผลการทดสอบ
NC1	Carbamate Group	ตรวจไม่พบ	C1	Carbamate Group	ตรวจไม่พบ
	Organochlorine Group	ตรวจไม่พบ		Organochlorine Group	ตรวจไม่พบ
	Organophosphate Group	ตรวจไม่พบ		Organophosphate Group	ตรวจไม่พบ
	Pyrethroid Group	ตรวจไม่พบ		Carbamate Group	ตรวจไม่พบ
NC2	Carbamate Group	ตรวจไม่พบ	C2	Carbamate Group	ตรวจไม่พบ
	Organochlorine Group	ตรวจไม่พบ		Organochlorine Group	ตรวจไม่พบ
	Organophosphate Group	ตรวจไม่พบ		Organophosphate Group	ตรวจไม่พบ
	Pyrethroid Group	ตรวจไม่พบ		Carbamate Group	ตรวจไม่พบ
NC3	Carbamate Group	ตรวจไม่พบ	C3	Carbamate Group	ตรวจไม่พบ
	Organochlorine Group	ตรวจไม่พบ		Organochlorine Group	ตรวจไม่พบ
	Organophosphate Group	ตรวจไม่พบ		Organophosphate Group	ตรวจไม่พบ
	Carbamate Group	ตรวจไม่พบ		Carbamate Group	ตรวจไม่พบ
NC4	Carbamate Group	ตรวจไม่พบ	C4	Carbamate Group	ตรวจไม่พบ
	Organochlorine Group	ตรวจไม่พบ		Organochlorine Group	ตรวจไม่พบ
	Organophosphate Group	ตรวจไม่พบ		Organophosphate Group	ตรวจไม่พบ
	Carbamate Group	ตรวจไม่พบ		Carbamate Group	ตรวจไม่พบ
NC5	Carbamate Group	ตรวจไม่พบ	C5	Carbamate Group	ตรวจไม่พบ
	Organochlorine Group	ตรวจไม่พบ		Organochlorine Group	ตรวจไม่พบ
	Organophosphate Group	ตรวจไม่พบ		Organophosphate Group	ตรวจไม่พบ
	Carbamate Group	ตรวจไม่พบ		Carbamate Group	ตรวจไม่พบ

หมายเหตุ NC คือ จุดเก็บตัวอย่างพื้นที่ปลูกทุเรียนซึ่งไม่ใช่สารเคมี
C คือ จุดเก็บตัวอย่างพื้นที่ปลูกทุเรียนซึ่งมีการใช้สารเคมี

3.3 การศึกษาคุณภาพน้ำ และปริมาณสารเคมีกำจัดแมลงตกค้างในน้ำ

การศึกษาคุณภาพน้ำ และการศึกษาปริมาณสารเคมีตกค้างในน้ำด้วยเทคนิค GC-MS/MS ได้ผลการศึกษาดังนี้

1. การศึกษาคุณภาพน้ำ

การศึกษาคุณภาพน้ำ ดำเนินการเก็บตัวอย่างน้ำในแหล่งน้ำบริเวณสวนทุเรียนของแปลงที่ศึกษาทั้ง 2 โซน โดยมีพารามิเตอร์ที่ศึกษาได้แก่ ความเป็นกรดด่าง (pH) ความขุ่น ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ปริมาณฟอสเฟตฟอสฟอรัส และปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน พบว่าได้ผลการศึกษาดังตารางที่ 7 พบว่าคุณภาพน้ำบริเวณสวนทุเรียนมีค่าความเป็นกรดด่างอยู่ในช่วง 5.78 – 5.87 ค่าความขุ่นอยู่ในช่วง 6.94 – 9.12 NTU ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำอยู่ในช่วง 2.6 – 2.7 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณฟอสเฟตฟอสฟอรัสอยู่ในช่วง 0.0586 – 0.0678 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนอยู่ในช่วง 0.3288 – 0.4457 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งแสดงให้เห็นว่าคุณภาพน้ำบริเวณสวนทุเรียนมีค่าเป็นไปตามมาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน ยกเว้นปริมาณออกซิเจนละลายน้ำซึ่งมีค่าค่อนข้างต่ำจัดอยู่ในคุณภาพน้ำผิวดินประเภทที่ 4 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากแหล่งน้ำบริเวณสวนทุเรียนเป็นระบบปิดไม่มีการไหลเวียนลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติเป็นระบบน้ำนิ่งทำให้ปริมาณออกซิเจนเคลื่อนที่ลงสู่แหล่งน้ำได้น้อย นอกจากนี้แหล่งน้ำอาจจะรองรับน้ำจากสวนทุเรียนทำให้มีสารอินทรีย์ในน้ำสูงจึงส่งผลต่อปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในแหล่งน้ำได้

ตารางที่ 7 คุณภาพน้ำในพื้นที่สวนทุเรียน

ลำดับ	ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	ผลการทดสอบ	วิธีการทดสอบ
1	ความเป็นกรดด่าง ครั้งที่ 1 ครั้งที่ 2	pH	 5.78 ± 0.62 5.87 ± 0.41	เครื่องวัดความเป็น กรดและด่าง ของน้ำ (pH meter) ภาคสนาม
2	ความขุ่น ครั้งที่ 1 ครั้งที่ 2	NTU	 6.94 ± 0.08 9.12 ± 0.12	เครื่องวัดความขุ่นของน้ำ (Turbidity meter)
3	ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ครั้งที่ 1 ครั้งที่ 2	มิลลิกรัม/ลิตร	 2.6 ± 0.1 2.7 ± 0.5	Azide Modification
4	ปริมาณฟอสเฟตฟอสฟอรัส ครั้งที่ 1 ครั้งที่ 2	มิลลิกรัม/ลิตร	 0.0586 ± 0.01 0.0678 ± 0.01	Ascorbic Acid
5	ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน ครั้งที่ 1 ครั้งที่ 2	มิลลิกรัม/ลิตร	 0.3288 ± 0.0312 0.4457 ± 0.0175	Distillation Nesslerization

2. การศึกษาปริมาณสารเคมีกำจัดแมลงในน้ำ

ดำเนินโดยการเก็บตัวอย่างน้ำในแหล่งน้ำบริเวณสวนทุเรียนของแปลงที่ศึกษาทั้ง 2 โซน โดยมีพารามิเตอร์ที่ศึกษาทดสอบผลในเชิงปริมาณเพื่อหาปริมาณสารเคมีกำจัดแมลงในแหล่งน้ำจำนวน 4 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต กลุ่มคาร์บาเมต กลุ่มออร์กาโนคลอรีน และกลุ่มไพรีทรอยด์ พบว่าได้ผลการศึกษาดังตารางที่ 8 คือไม่พบการตกค้างของสารเคมีกำจัดแมลงทั้ง 4 กลุ่มในน้ำของพื้นที่เก็บตัวอย่างน้ำทั้ง 2 โซน ทั้งพื้นที่ที่มีการใช้สารเคมีกำจัดแมลงและพื้นที่ที่ไม่มีการใช้สารเคมีกำจัดแมลงเช่นเดียวกับการศึกษาปริมาณสารเคมีตกค้างในดิน แสดงให้เห็นว่าเกษตรกรอาจมีการใช้สารเคมีกำจัดแมลงในปริมาณน้อย หรือระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างเป็นช่วงหลังเก็บผลผลิต ซึ่งอาจทำให้สารเคมีกำจัดแมลงบางส่วนสลายไปจนไม่สามารถตรวจพบเช่นเดียวกับการตรวจปริมาณสารเคมีตกค้างในดิน ดังนั้นจะเห็นว่าการปลูกทุเรียนของเกษตรกรในแปลงตัวอย่างส่งผลต่อสิ่งแวดล้อมในระดับต่ำ ซึ่งโดยปกติร้อยละ 99.9 ของสารกำจัดศัตรูพืชจะปนเปื้อนอยู่ในสิ่งแวดล้อม มีเพียงร้อยละ 0.1 ที่จะไปถึงศัตรูพืชที่เป็นเป้าหมาย ภายหลังการฉีด พ่น หยอด หรือหว่าน สารเคมีกำจัดศัตรูพืชจะถูกดูดซึมเข้าไปในพืชและอยู่บนต้นพืชบางส่วน และที่เหลือจะปลิวไปในอากาศหรือรอเวลาที่น้ำจากแปลงเกษตรจะชะสารเคมีลงสู่ดินหรือแหล่งน้ำใกล้เคียง [35] หากสารกำจัดศัตรูพืชสลายตัวได้รวดเร็วปัญหาสิ่งแวดล้อมอาจจะลดลง นอกจากนี้การตกค้างของสารเคมีในน้ำนั้นอนุภาคดินที่มีอยู่ในน้ำ จะมีผลทำให้สารเคมีตกตะกอนมากขึ้นและเร็วขึ้น ดินตะกอนที่อยู่ที่ก้นสระน้ำ หรือแม่น้ำ จึงเป็นแหล่งสะสมของสารเคมีตกค้างในดินปริมาณสูงกว่าสารเคมีที่ตกค้างในน้ำ สารเคมีทางการเกษตรทุกชนิดมีโอกาสสลายตัวได้ในสภาพแวดล้อมโดยอาศัยปัจจัยทางธรรมชาติ คือ แสงแดด อุณหภูมิ สิ่งมีชีวิตในน้ำ เช่น พืชน้ำดูดซับสารพิษไว้ แหล่งน้ำจึงมีโอกาสฟอกตัวให้กลับสู่สภาพสมดุลตามธรรมชาติได้ง่าย [14]

3.4 การศึกษาปริมาณสารเคมีกำจัดแมลงตกค้างในผลทุเรียน

ใช้ชุดทดสอบสารเคมีกำจัดแมลงเบื้องต้น ซึ่งพบว่าไม่พบการตกค้างของสารเคมีกำจัดแมลงทั้ง 4 กลุ่มในผลทุเรียนของพื้นที่เก็บตัวอย่างทุเรียนทั้ง 2 โซน ทั้งพื้นที่ที่มีการใช้สารเคมีกำจัดแมลง และพื้นที่ที่ไม่มีการใช้สารเคมีกำจัดแมลงเช่นเดียวกับการศึกษาหาปริมาณสารเคมีกำจัดแมลงตกค้างในดิน ผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บตัวอย่างเพิ่มเติมในช่วงเวลาที่มีการเก็บเกี่ยว และนำไปตรวจวิเคราะห์ในเชิงปริมาณต่อไปด้วยเทคนิค GC-MS/MS ซึ่งได้ผลการศึกษาดังตารางที่ 9

ตารางที่ 8 ระดับความเข้มข้นของสารเคมีกำจัดแมลงในน้ำบริเวณสวนทุเรียน

ลำดับ	ปริมาณสารเคมีกำจัดแมลง			
	ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	ผลการทดสอบ	ระดับความเข้มข้นสูงสุดที่ยินยอมให้มีได้
1	สารพิษกลุ่ม Organochlorine	มิลลิกรัม/ลิตร		
	- DDT		ตรวจไม่พบ	$0.5x10^{-3}$
	- Dieldrin		ตรวจไม่พบ	$0.2x10^{-3}$
	- Endrin		ตรวจไม่พบ	$0.01x10^{-3}$
	- Heptachlor		ตรวจไม่พบ	$0.4x10^{-3}$
2	สารพิษกลุ่ม Organophosphate			
	- Fenitrothion		ตรวจไม่พบ	0.06
	- Malathion		ตรวจไม่พบ	0.02
	- Methyl parathion		ตรวจไม่พบ	0.20
	- Parathion		ตรวจไม่พบ	0.04
3	สารพิษกลุ่ม Carbamate			
	- Carbaryl		ตรวจไม่พบ	0.01
	- Carbofuran		ตรวจไม่พบ	0.008
4	สารเคมีกำจัดวัชพืช			
	- Glyphosate		ตรวจไม่พบ	4.8
	- Paraquat		ตรวจไม่พบ	0.5
	- Propanil		ตรวจไม่พบ	0.5
	- 2,4-D		ตรวจไม่พบ	45.0

จากตารางที่ 8 จะเห็นได้ว่า ไม่พบการตกค้างของสารเคมีกำจัดแมลงทั้ง 4 กลุ่มในทุเรียนของพื้นที่แปลงตัวอย่างทั้ง 2 โซน ทั้งพื้นที่ที่มีการใช้สารเคมีกำจัดแมลง และพื้นที่ที่ไม่มีการใช้สารเคมีกำจัดแมลง เช่นเดียวกับการศึกษาปริมาณสารเคมีตกค้างในดิน และน้ำ แสดงให้เห็นว่าเกษตรกรอาจมีการใช้สารเคมีกำจัดแมลงในปริมาณน้อย หรือระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างเป็นช่วงหลังเก็บผลผลิต ซึ่งอาจทำให้สารเคมีกำจัดแมลงบางส่วนสลายไปจนไม่สามารถตรวจพบ เช่นเดียวกับการตรวจปริมาณสารเคมีตกค้างในดิน และน้ำ ประกอบกับสารเคมีที่เกษตรกรเลือกใช้ในการกำจัดแมลงคือ คาร์บาริล (Carbaryl) ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มคาร์บาเมต เป็นกลุ่มสารเคมีกำจัดแมลงที่มีความเป็นพิษต่อสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมน้อยกว่าสารเคมีกำจัดแมลงกลุ่มอื่นๆ และยังสลายตัวได้เร็วกว่าสารเคมีกำจัดแมลงในกลุ่มอื่นๆ อีกด้วย [14] สอดคล้องกับงานวิจัยของเสาวนีย์ เสมาทอง และคณะ [36] ซึ่งศึกษาสถิติการใช้สารเคมีในพื้นที่เกษตรกรรมบริเวณแม่น้ำประแสร์ จังหวัดระยอง พบว่าเกษตรกรส่วนใหญ่นิยมใช้สารเคมีกำจัดแมลงในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนเมษายน เพื่อป้องกันและกำจัดหนอนเจาะเมล็ดทุเรียนเนื่องจากเป็นช่วงที่ทุเรียนมีการพัฒนาของผลอ่อน และเมื่อศึกษาปริมาณการใช้ตลอดปีพบว่าสารคาร์บาริลมีปริมาณการใช้มากที่สุด และสอดคล้องกับงานวิจัยของจักรพงษ์ ชายคง และคณะ [37] ซึ่งศึกษาการใช้สารเคมีและการตกค้างของสารเคมีในการทำนาปรังของเกษตรกรตำบลมะค่า อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม จำนวน 20 ราย พบว่า เกษตรกร 15 ราย ที่ใช้สารเคมีกลุ่มคาร์บาเมตและออร์กาโนฟอสเฟตฉีดพ่นในข้าวระยะแรก ตรวจไม่พบการตกค้างของสารเคมีในฟางข้าวและหญ้าหลังเก็บเกี่ยวข้าว แต่ผลการตรวจจากเกษตรกรที่ใช้ สารเคมีกลุ่มไพรีทรอยด์ทั้งหมด 4 ราย พบการตกค้างของสารไซเปอร์เมทรินจำนวน 1 ราย นั่นแสดงให้เห็นว่าสารคาร์บาริลซึ่งเป็นสารเคมีกำจัดแมลงที่จัดอยู่ในกลุ่มคาร์บาเมต มีการสลายตัวได้เร็วกว่าสารเคมีกำจัดแมลงในกลุ่มอื่น นอกจากนี้จากการศึกษาความรู้ความเข้าใจ และพฤติกรรมของเกษตรกรผู้ปลูกทุเรียนจะเห็นได้ว่าเกษตรกรส่วนใหญ่มีความรู้ความเข้าใจในการใช้สารเคมีอยู่ในระดับมาก ดังนั้นปริมาณสารเคมี และชนิดของสารเคมีที่เลือกใช้ ตลอดจนถึงระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวน่าจะเป็นไปตามหลักวิชาการ และอยู่ในช่วงซึ่งมีการสลายตัวของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชแล้ว จึงทำให้ไม่สามารถตรวจพบสารเคมีกำจัดแมลงตกค้างในแปลงตัวอย่างของเกษตรกร ดังนั้นจึงทำให้การปลูกทุเรียนของเกษตรกรในแปลงตัวอย่าง

มีการสะสมของสารเคมีกำจัดแมลงในระดับต่ำทั้งในสิ่งแวดล้อมและใน
ผลทุเรียน

ตารางที่ 9 ผลการศึกษาปริมาณสารเคมีตกค้างในผลทุเรียนด้วยเทคนิค GC-MS/MS

พื้นที่ปลูกไม่ใช้สารเคมี			พื้นที่ปลูกซึ่งใช้สารเคมี		
จุดเก็บตัวอย่าง	รายการทดสอบ	ผลการทดสอบ	จุดเก็บตัวอย่าง	รายการทดสอบ	ผลการทดสอบ
NC1	Carbamate Group	ตรวจไม่พบ	C1	Carbamate Group	ตรวจไม่พบ
	Organochlorine Group	ตรวจไม่พบ		Organochlorine Group	ตรวจไม่พบ
	Organophosphate Group	ตรวจไม่พบ		Organophosphate Group	ตรวจไม่พบ
	Pyrethroid Group	ตรวจไม่พบ		Carbamate Group	ตรวจไม่พบ
NC2	Carbamate Group	ตรวจไม่พบ	C2	Carbamate Group	ตรวจไม่พบ
	Organochlorine Group	ตรวจไม่พบ		Organochlorine Group	ตรวจไม่พบ
	Organophosphate Group	ตรวจไม่พบ		Organophosphate Group	ตรวจไม่พบ
	Pyrethroid Group	ตรวจไม่พบ		Carbamate Group	ตรวจไม่พบ
NC3	Carbamate Group	ตรวจไม่พบ	C3	Carbamate Group	ตรวจไม่พบ
	Organochlorine Group	ตรวจไม่พบ		Organochlorine Group	ตรวจไม่พบ
	Organophosphate Group	ตรวจไม่พบ		Organophosphate Group	ตรวจไม่พบ
	Carbamate Group	ตรวจไม่พบ		Carbamate Group	ตรวจไม่พบ
NC4	Carbamate Group	ตรวจไม่พบ	C4	Carbamate Group	ตรวจไม่พบ
	Organochlorine Group	ตรวจไม่พบ		Organochlorine Group	ตรวจไม่พบ
	Organophosphate Group	ตรวจไม่พบ		Organophosphate Group	ตรวจไม่พบ
	Carbamate Group	ตรวจไม่พบ		Carbamate Group	ตรวจไม่พบ
NC5	Carbamate Group	ตรวจไม่พบ	C5	Carbamate Group	ตรวจไม่พบ
	Organochlorine Group	ตรวจไม่พบ		Organochlorine Group	ตรวจไม่พบ
	Organophosphate Group	ตรวจไม่พบ		Organophosphate Group	ตรวจไม่พบ
	Carbamate Group	ตรวจไม่พบ		Carbamate Group	ตรวจไม่พบ

หมายเหตุ NC คือ จุดเก็บตัวอย่างพื้นที่ปลูกทุเรียนซึ่งไม่ใช่สารเคมี
C คือ จุดเก็บตัวอย่างพื้นที่ปลูกทุเรียนซึ่งมีการใช้สารเคมี

สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาการเก็บรวบรวมข้อมูลจากเกษตรกรในอำเภอนบพิตำ จำนวน 32 คน พบว่าเกษตรกรผู้ปลูกทุเรียนหมอนทองส่วนใหญ่มีความรู้และอ่านฉลากการใช้สารเคมี และปฏิบัติตนทุกครั้ง ก่อนการฉีดพ่นสารเคมี ขณะฉีดพ่นสารเคมี และหลังการฉีดพ่นสารเคมี และการสร้างแปลงตัวอย่างตามมาตรฐานคุณภาพทุเรียนเพื่อการส่งออกโดยเฉพาะเจาะจงและแบ่งพื้นที่เก็บตัวอย่าง 2 โซน คือจุดเก็บตัวอย่างพื้นที่ปลูกทุเรียนซึ่งไม่ใช่สารเคมีและจุดเก็บตัวอย่างพื้นที่ปลูกทุเรียนซึ่งมีการใช้สารเคมี พบว่าเกษตรไม่มีการวิเคราะห์ธาตุอาหารพืช การใส่ปุ๋ยจะใส่ตามกรมวิชาการเกษตรหรือตามคำแนะนำของร้านค้า แปลงสาธิตมีปริมาณธาตุอาหารพืชในพื้นที่เก็บตัวอย่าง 2 โซน มีอินทรียวัตถุอยู่ในระดับปานกลาง ธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองอยู่ในระดับต่ำ สำหรับฟอสฟอรัสและซัลเฟอร์มีค่าต่ำสุดและสูงสุดห่างกันมากเนื่องจากพื้นที่ปลูกไม่เสมอทำให้การกระจายของปุ๋ยไม่ทั่วถึง เกษตรกรสามารถนำข้อมูลดังกล่าวไปวางแผนในการใส่ปุ๋ยให้ตรงตามค่าวิเคราะห์ดิน และผลการศึกษาตัวอย่างดิน น้ำ และผลทุเรียนบริเวณแปลงตัวอย่างของเกษตรกร โดยการนำไปตรวจวิเคราะห์สารเคมีกำจัดแมลง ด้วยเทคนิค GC-MS/MS เพื่อเป็นการยืนยันผลและทดสอบผลในเชิงปริมาณเพื่อหาปริมาณสารเคมีกำจัดแมลงที่ตกค้างทั้ง 4 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต กลุ่มคาร์บาเมต กลุ่มออร์กาโนคลอรีน และกลุ่มไพรีทรอยด์ พบว่า ไม่พบการตกค้างของสารเคมีกำจัดแมลงทั้ง 4 กลุ่มในดิน น้ำ และผลทุเรียนของพื้นที่แปลงตัวอย่างทั้ง 2 โซน ทั้งพื้นที่ที่มีการใช้สารเคมีกำจัดแมลง และพื้นที่ที่ไม่มีการใช้สารเคมีกำจัดแมลง แสดงให้เห็นว่าเกษตรกรอาจมีการใช้สารเคมีกำจัดแมลงในปริมาณน้อย หรือระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างเป็นช่วงหลังเก็บผลผลิต ซึ่งอาจทำให้สารเคมีกำจัดแมลงบางส่วนสลายไปจนไม่สามารถตรวจพบ ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาสามารถนำไปเป็นแนวทางในการจัดการแปลงตามมาตรฐานคุณภาพทุเรียนเพื่อการส่งออกของเกษตรกรผู้ปลูกทุเรียนรายอื่น

เอกสารอ้างอิง

1. Tantrakonnsab W, Tantrakoonsab N. 2018 Thai Export of Durian to China. In: Kubo K, Sakata S, editors. Thai export of durian to China. Impact of China's increasing demand for agro produce on agricultural production in the Mekong region. BRC Research Report No. 21 Edited by.Bangkok Research Center, JETRO Bangkok. Bangkok; 2018. p. 1-25
2. กรมวิชาการเกษตร. การจัดการการผลิตทุเรียน. [อินเทอร์เน็ต]. 2564 [เข้าถึงได้เมื่อ 10 พฤศจิกายน 2565] เข้าถึงได้จาก: https://www.doa.go.th/hort/wp-content/uploads/2020/01/การผลิตทุเรียน.pdf.
3. สำนักงานนโยบายและยุทธศาสตร์การค้า. ทุเรียนราชาแห่งผลไม้ไทยถูกใจคนต่างแดน. [อินเทอร์เน็ต]. 2563 [เข้าถึงได้เมื่อ 1 พฤศจิกายน 2565]. เข้าถึงได้จาก: http://www.tpso.moc.go. th/sites/default/files/thieriiyn_240863.pdf
4. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2563. สถานการณ์การตลาดและต้นทุนในการผลิตทุเรียน [อินเทอร์เน็ต]. 2563 [เข้าถึงได้เมื่อ 1 พฤศจิกายน 2565]. เข้าถึงได้จาก: https://www.oae.go.th/view/1/%E0%B8%AB%E0%B8%99%E0%B9%89%E0%B8%B2%E0%B9%81%E0%B8%A3%E0%B8%81/TH-TH
5. ยุทธศาสตร์ระบบอาหารจังหวัดนครศรีธรรมราช. เอกสารประกอบการประชุมยุทธศาสตร์ระบบอาหารจังหวัดนครศรีธรรมราชปี พ.ศ.2562-2566 [อินเทอร์เน็ต]. 2561 [เข้าถึงได้เมื่อ 1 พฤศจิกายน 2565]. เข้าถึงได้จาก: https://saiyai.rmutsv.ac.th/images/admission/pdf/2172561.pdf
6. Mankeb P, Limunggura T, Ingo A, Chulilung P. Adoption of Good Agricultural Practices by Durian Farmers in Koh Samui District, Surat Thani Province, Thailand. Conference: Society for Social Management Systems (SSMS); 2013 December 2-4, Australia. 2013.
7. วนิดา เหรียญทอง, เฉลิมศักดิ์ ตุ้มหิรัญ, จินดา ขลิบทอง. แนวทางการส่งเสริมการผลิตทุเรียนของเกษตรกรในอำเภอท่าแซะ จังหวัดชุมพร. การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 8. วันที่ 23 พฤศจิกายน 2561; ณ อาคารเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา 5 ธันวาคม 2550 ฝ่ายส่งเสริมมาตรฐานบัณฑิตศึกษา สำนักบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช; 2561.
8. Guddanti N. Impact of Good Agricultural Practices (GAP) on Small Farm Development: Knowledge and Adoption levels of Farm Women of Rainfed Areas. Indian Research Journal of Extension Education 2015; 15(4):153-6.
9. ภัทรา ขายมาน, อิสริยา บุญญะศิริ, ประพิณวดี ศิริศุภลักษณ์. ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจเข้าสู่ระบบมาตรฐานปฏิบัติทางการเกษตรดีที่เหมาะสมของเกษตรกรผู้ปลูกทุเรียนในจังหวัดจันทบุรี.การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่6. วันที่ 25 พฤศจิกายน 2559; ณ อาคารเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา 5 ธันวาคม 2550 ฝ่ายส่งเสริมมาตรฐานบัณฑิตศึกษา สำนักบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช; 2559.
10. สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. มาตรฐานสินค้าเกษตร. [อินเทอร์เน็ต]. 2556 [เข้าถึงได้เมื่อ 1 พฤศจิกายน 2565]. เข้าถึงได้จาก: https://www.acfs.go.th/standard/download/GAP_food%20crop.pdf.
11. สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์กรมหาชน). ทุเรียน Durian. [อินเทอร์เน็ต]. 2564 [เข้าถึงได้เมื่อ 1 พฤศจิกายน 2565]. เข้าถึงได้จาก: https://www.arda.or.th/kasetinfo/south/durian/controller/index.php
12. Schreinemachers P, Schad I, Tipraqsa P, Williams PM, Neef A, Riwthong S, Sangchan W, Grovermann C. Can public GAP standards reduce agricultural pesticide use? The case of fruit and vegetable farming in northern Thailand. Agriculture and Human Values 2012; 29(4):519-29.
13. สาคร ศรีมุข. 2563. ผลกระทบจากการใช้สารเคมีทางการเกษตรของประเทศไทย. สำนักงานเลขาธิการวุฒิสภา.[อินเทอร์เน็ต]. 2563 [เข้าถึงได้เมื่อ 1 พฤศจิกายน 2565]. เข้าถึงได้จาก: http://library.senate.go.th/document/Ext6409/6409657_0002.PDF.

14.สุธาสินี อั้งสูงเนิน. ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 2558;9(1): 50-63.
15. Amekawa Y. Reflections on the growing influence of good agricultural practices in the Global South. Journal of Agricultural and Environmental Ethics 2009;22:531–57.
16.กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. คู่มือการปฏิบัติงานกระบวนการวิเคราะห์ตรวจสอบดินทางเคมี. [อินเทอร์เน็ต]. 2553 [เข้าถึงได้เมื่อ 1 พฤศจิกายน 2565]. เข้าถึงได้จาก:
https://www.ldd.go.th/PMQA/2553/Manual/OSD-03.pdf
17. Mclean EO Soil pH and Lime Requirement. In: Page AL, editors. Methods of Soil Analysis: Part 2. Chemical and Microbiological Properties. 1st ed. Madison: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1982. p. 199-224.
18. Schofield RK, Taylor AW. The measurement of soil pH. Soil Sci. Soc. Am. Proc 1955;19:164–7.
19. Nelson DW, Sommer LE. Total Carbon, Organic Carbon and Organic Matter. In: Page AL, editors. Methods of Soil Analysis: Part 2. Chemical and Microbiological Properties. 1st ed. Madison: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1982. 595-579.
20.Bremner JM, Mulvaney CS. Nitrogen-Total. In: Page AL, editors. Methods of Soil Analysis: Part 2. Chemical and Microbiological Properties. 1st ed. Madison: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1982. 595-624.
21.Olsen SR, Sommers LE. Phosphorus. In: Page AL, editors. Methods of Soil Analysis: Part 2. Chemical and Microbiological Properties. 1st ed. Madison: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1982. 403-430.
22.Knudsen D, Peterson GA, Pratt P. Lithium, Sodium and Potassium. In: Page AL, editors. Methods of Soil Analysis: Part 2. Chemical and Microbiological Properties. 1st ed. Madison: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1982. 225-246.
23.Lanyon LE, Heald W.R. Magnesium, calcium, strontium and barium. In: Page AL, editors. Methods of Soil Analysis: Part 2. Chemical and Microbiological Properties. 1st ed. Madison: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1982. 247-262.
24.Jones JB. Laboratory Guides for Conducting Soil Tests and Plant Analysis. Boca Raton London New York Washington, D.C. 2001.
25.คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ. ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ เรื่อง การกำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน. [อินเทอร์เน็ต]. 2566
[เข้าถึงได้เมื่อ 6 มกราคม 2564]. เข้าถึงได้จาก:
https://www.pcd.go.th/laws/25162
26.วันปิติ ธรรมศรี ผลกระทบทางสุขภาพและสิ่งแวดล้อมจากการใช้สารเคมีทางการเกษตรของเกษตรกรไทย วารสารเกษตรพระจอมเกล้า 2021;39(4):329-36.
27.สุภาวดี แหยมคง พัทนันท์ โกธรรม ประภาศิริ ใจผ่อง ปิยวดี น้อยน้ำใส. ความรู้และพฤติกรรมการใช้สารเคมีในการกำาจัดศัตรูพืชของเกษตรกรตำาบลซับสมบูรณ์ อำาเภอวิเชียรบุรี จังหวัดเพชรบูรณ์. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ 2560;12(2):15-26.
28.อารมณ์ ร่มเย็น. ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อระดับเอ็นไซม์โคลีนเอสเตอเรสในเกษตรกรผู้ปลูกทุเรียน กรณีศึกษา: จังหวัดชุมพร. Journal of Roi Kaensarn Academi 2565;7(12):246-60.
29.เชิดศักดิ์ เฉลียวศิลป์. พฤติกรรมการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรอำเภอสามพราน จังหวัดนครปฐม [วิทยานิพนธ์ปริญญาสังคมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาสิ่งแวดล้อม]. กรุงเทพฯ:มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2541.
30.กรมอุตุนิยมวิทยา. ภูมิอากาศจังหวัดนครศรีธรรมราช [อินเทอร์เน็ต]. 2566
[เข้าถึงได้เมื่อ 8 พฤศจิกายน 2565]. เข้าถึงได้จาก:
http://climate.tmd.go.th/data/province/pdf
31.ยงยุทธ โอสถสภา อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และชวลิตร ฮงประยูร. ปุ๋ยเพื่อการเกษตรยั่งยืน. ภาควิชาปฐพีวิทยา. คณะเกษตรมหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์.กรุงเทพฯ: สำนัก พิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2551.
32.เอิบ เขียวรื่นรมณ์. การสำรวจดิน “มโนทัศน์ หลักการและเทคนิค. ภาควิชาปฐพีวิทยา. คณะเกษตรมหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2542.
33.กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. คู่มือการปฏิบัติงานกระบวนการวิเคราะห์ตรวจสอบดินทางเคมี. [อินเทอร์เน็ต]. 2553 [เข้าถึงได้เมื่อ 1 พฤศจิกายน 2565]. เข้าถึงได้จาก:
https://www.ldd.go.th/PMQA/2553/Manual/OSD-03.pdf
34.ทัศนีย์ อัตตะนันทน์. การวิเคราะห์ N P K ในดินอย่างง่าย. ภาควิชาปฐพีวิทยา. คณะเกษตรมหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ: สำนัก พิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2550.
35.ไมตรี ดวงสวัสดิ์. เกณฑ์คุณภาพน้ำเพื่อการคุ้มครองสัตว์น้ำจืด. ใน: รายงานผลการวิจัย สาขาทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 26; วันที่ 3-5 กุมภาพันธ์ 2531; มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.กรุงเทพฯ; 2531. หน้า 101-7.
36.เสาวนีย์ เสมาทอง กัลยา ซาพวง มาลินี กิตกำธร สมชาย อิสระวานิชย์ และยงยุทธ สุขเกษม. สถิติการใช้สารเคมีทางการเกษตรในพื้นที่เกษตรกรรมบริเวณแม่น้ำประแสร์ จังหวัดระยอง. วารสารวิจัยวิทยาศาสตร์ทางการแพทย์. 2548; 19(2): 133-144.
37.จักรพงษ์ ชายคง พีระยศ แข็งขัน ฤชุอร วรรณะ เจนวิทย์ รัชอินทร์ และ อลงกรณ์ เอกทวีกล. การตกค้างของสารเคมีกำจัดแมลงในหญ้าและฟางข้าวนาปรัง ตำบลมะค่า อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม. วารสารแก่นเกษตร 47. 2562; 2 (พิเศษ): 969-976.

คณะผู้จัดทำ

กองจัดการและพิสูจน์อักษร

ผศ.ดร.ธงชัย เจือจันทร์

ผศ.ดร.น้องนุช สารภี

ผศ.ยุพเยาว์ โตคีรี

นางยุรีรัตน์ ดวงแว่ว

ฝ่ายออกแบบและสารสนเทศ

นายกฤษฎา นวลนาง

นางยุรีรัตน์ ดวงแว่ว

นายชัยวัฒน์ งามงอน

โรงพิมพ์

บริษัท 253 พริ้น ไซน์ จำกัด

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