นวัตกรรมเจลไล่มดจากสารธรรมชาติ: การพัฒนาและประเมินประสิทธิภาพเชิงทดลองเพื่อยกระดับทางเลือกที่ปลอดภัยและยั่งยืนในการจัดการแมลงรบกวนในครัวเรือน

สธนธร ยอดแก้ว[1*] , อภิวันท์ ศรีพลทัศน์[1] , พสิษฐ์ ฉิมเนย[1] , ภูชณัฐ จารุทิกร[1] ,
และ แพรภัทรา เขียวชะอุ่ม[2]

[1]โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
[2]คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
*Prisprae@gmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยเชิงทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและประเมินประสิทธิภาพของเจลไล่มดจากสารธรรมชาติในฐานะทางเลือกที่ปลอดภัยและยั่งยืนสำหรับการจัดการแมลงรบกวนในครัวเรือน โดยดำเนินการเปรียบเทียบเจลไล่มดจำนวน 3 สูตร ได้แก่ สูตรน้ำมะนาว สูตรน้ำส้มสายชู และสูตรน้ำมันหอมระเหย ภายใต้การควบคุมตัวแปรด้านปริมาณเจล พื้นที่ทดลอง และระยะเวลาการสังเกตอย่างเท่าเทียมกัน เก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับระยะเวลาที่มดเริ่มหลีกเลี่ยงพื้นที่ ระยะเวลาที่มดไม่กลับเข้าสู่พื้นที่ และพฤติกรรมการตอบสนองของมด

ผลการวิจัยพบว่า เจลไล่มดจากสารธรรมชาติทุกสูตรสามารถลดการปรากฏของมดในพื้นที่ทดลองได้ โดยสูตรน้ำมันหอมระเหยมีประสิทธิภาพสูงสุด ทำให้มดเริ่มหลีกเลี่ยงพื้นที่ได้เร็วที่สุด (เฉลี่ย 1 นาที) และมีระยะเวลาการไม่กลับเข้าสู่พื้นที่ยาวนานที่สุด (15 นาที) พร้อมทั้งแสดงพฤติกรรมการหลีกเลี่ยงอย่างชัดเจน รองลงมาคือสูตรน้ำส้มสายชู และสูตรน้ำมะนาว ตามลำดับ ทั้งนี้ ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าสารธรรมชาติที่มีคุณสมบัติระเหยง่ายและมีกลิ่นเข้มข้นมีบทบาทสำคัญในการรบกวนระบบการรับกลิ่นและการสื่อสารด้วยฟีโรโมนของมด ส่งผลให้เกิดพฤติกรรมการหลีกเลี่ยงพื้นที่อย่างมีนัยสำคัญ

ข้อค้นพบจากการวิจัยนี้มีนัยสำคัญเชิงประยุกต์ต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์ไล่มดที่ปลอดภัยต่อสุขภาพและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และสามารถยกระดับเป็นทางเลือกทดแทนการใช้สารเคมีในครัวเรือนได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังสามารถต่อยอดสู่การพัฒนาเชิงผลิตภัณฑ์และการใช้ประโยชน์ในระดับชุมชนและเชิงพาณิชย์ในอนาคต

คำสำคัญ: นวัตกรรม เจลไล่มด สารธรรมชาติ ประสิทธิภาพ การจัดการแมลงในครัวเรือน

Innovation of Natural-Based Ant Repellent Gel: Experimental Development and Efficacy Evaluation to Enhance Safe and Sustainable Alternatives for Household Pest Management

Sathonthorn yodkaew[1*] , Apiwan Sriponthad[1] , Pasit chimnoey[1] , Puchanute Jarutikorn[1] and Praepattra Kiaochaoum[2]

[1]Nakhon Pathom Rajabhat University Demonstration School, Nakhon Pathom Rajabhat University
[2]Faculty of Humanities and Social Sciences, Nakhon Pathom Rajabhat University
*Prisprae@gmail.com

Abstract

This experimental research aimed to develop and evaluate the efficacy of a natural-based ant repellent gel as a safe and sustainable alternative for household pest management. A comparative experimental design was employed to examine three formulations: lemon extract, vinegar, and essential oil-based gels. All experiments were conducted under controlled conditions, including equal gel volume, identical experimental areas, and consistent observation periods. Data were collected on the time required for ants to begin avoiding the treated area, the duration of absence before returning, and their behavioral responses.

The results indicated that all formulations effectively reduced the presence of ants in the experimental area. Among them, the essential oil-based gel demonstrated the highest efficacy, inducing the fastest avoidance response (mean = 1 minute) and the longest duration before ants returned (15 minutes), along with the most pronounced avoidance behavior. This was followed by the vinegar-based and lemon-based formulations, respectively. The findings suggest that volatile natural substances with strong odors play a significant role in disrupting ants' olfactory system and pheromone-based communication, leading to effective spatial avoidance behavior.

This study provides practical implications for the development of safe and environmentally friendly ant repellent products and highlights their potential as effective alternatives to chemical-based solutions in household pest management. Furthermore, the results can be extended to product development and community-level as well as commercial applications in the future.

Keywords: Ant Repellent Gel, Natural Substances, Essential Oils, Ant Behavio, Pheromone Disruption, Green Innovation, Household Pest Management

บทนำ

มดเป็นแมลงสังคมที่พบได้ทั่วไปในครัวเรือนและสถานที่ประกอบอาหาร โดยเฉพาะบริเวณที่มีแหล่งอาหาร ซึ่งสามารถก่อให้เกิดความไม่สะอาดและเป็นพาหะนำเชื้อโรคบางชนิดได้ [1] ในทางปฏิบัติ การจัดการมดในครัวเรือนมักพึ่งพาผลิตภัณฑ์เคมีกำจัดแมลง เนื่องจากให้ผลรวดเร็ว อย่างไรก็ตาม การใช้สารเคมีดังกล่าวอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ เช่น การระคายเคือง ระบบทางเดินหายใจ และการสะสมของสารพิษในสิ่งแวดล้อม [2] ปัญหาดังกล่าวสะท้อนถึงความจำเป็นในการแสวงหาทางเลือกที่ปลอดภัยและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมในการจัดการแมลงรบกวนในครัวเรือน

การใช้สารจากธรรมชาติเป็นแนวทางหนึ่งที่ได้รับความสนใจเพิ่มขึ้นในการควบคุมแมลง เนื่องจากมีความปลอดภัยและมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่ำ โดยเฉพาะน้ำมันหอมระเหยซึ่งมีสารออกฤทธิ์ที่สามารถรบกวนระบบประสาทและการรับกลิ่นของแมลงได้[3] ในกรณีของมด การสื่อสารและการหาอาหารอาศัย “ฟีโรโมน” เป็นหลัก ดังนั้น สารที่มีกลิ่นเข้มข้นหรือมีคุณสมบัติระเหยง่ายสามารถรบกวนเส้นทางฟีโรโมนและทำให้มดหลีกเลี่ยงพื้นที่ได้[4] นอกจากนี้ แนวคิดการพัฒนาผลิตภัณฑ์ในรูปแบบเจลยังช่วยยืดระยะเวลาการออกฤทธิ์ของสาร ลดการระเหยอย่างรวดเร็ว และเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งาน[5] สอดคล้องกับแนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ปลอดภัยและยั่งยืนตามหลักการ green chemistry และการผลิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

จากการสำรวจเบื้องต้นในบริบทของโรงเรียนและครัวเรือนในพื้นที่จังหวัดนครปฐม พบว่าปัญหามดรบกวนในบริเวณโรงอาหารและที่พักอาศัยเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีการจัดเก็บอาหารหรือมีเศษอาหารตกค้าง ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะพฤติกรรมของมดที่มุ่งหาแหล่งอาหารเป็นหลัก [6] ผู้ใช้ส่วนใหญ่ยังคงเลือกใช้สารเคมีในการกำจัดมด เนื่องจากความสะดวกและความรวดเร็ว แม้จะตระหนักถึงความเสี่ยงด้านสุขภาพและสิ่งแวดล้อม สถานการณ์ดังกล่าวชี้ให้เห็นถึงช่องว่างของการพัฒนาทางเลือกที่ปลอดภัย ใช้งานง่าย และสามารถประยุกต์ใช้ได้จริงในระดับครัวเรือนและชุมชน

จากบริบทของปัญหาและแนวคิดทางวิชาการดังกล่าว การพัฒนา “เจลไล่มดจากสารธรรมชาติ” จึงเป็นแนวทางที่มีศักยภาพในการยกระดับการจัดการแมลงรบกวนในครัวเรือนให้มีความปลอดภัยและยั่งยืนมากยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตาม ยังมีข้อจำกัดด้านข้อมูลเชิงประจักษ์เกี่ยวกับประสิทธิภาพของสูตรสารธรรมชาติในรูปแบบเจล โดยเฉพาะการเปรียบเทียบผลในเชิงพฤติกรรมของมด งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาการพัฒนาและประเมินประสิทธิภาพของเจลไล่มดจากสารธรรมชาติในเชิงทดลอง เพื่อสร้างองค์ความรู้เชิงประจักษ์ และเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่สามารถนำไปใช้ได้จริงในระดับครัวเรือน ชุมชน และต่อยอดเชิงพาณิชย์ในอนาคต

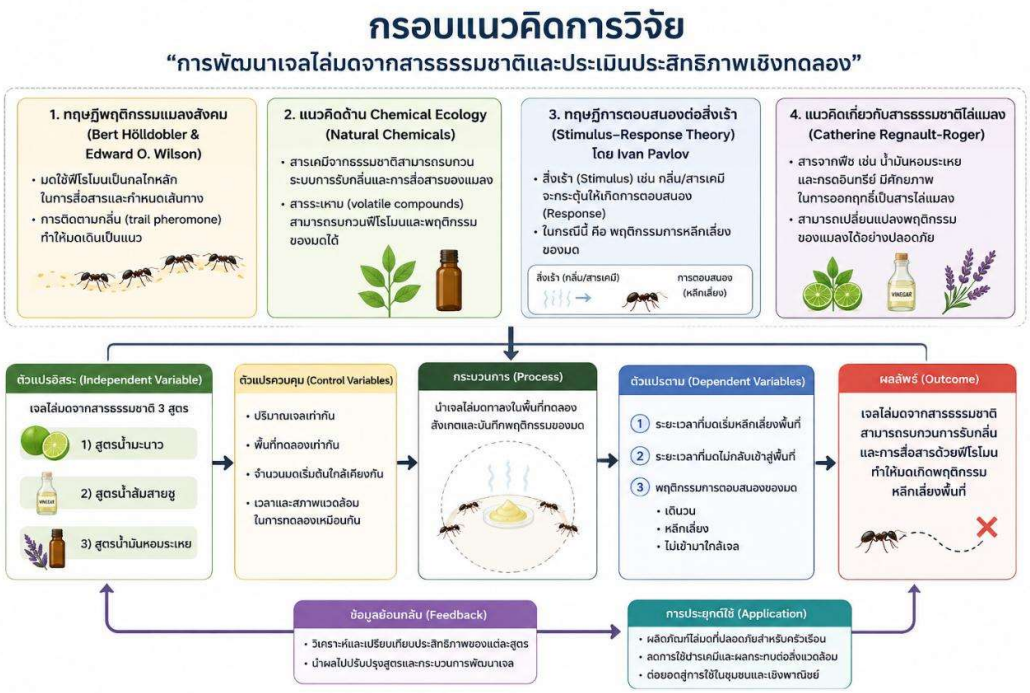
วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อพัฒนาเจลไล่มดจากสารธรรมชาติในรูปแบบที่เหมาะสมและปลอดภัยสำหรับการใช้งานในครัวเรือน
2. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเจลไล่มดแต่ละสูตรในการยับยั้งพฤติกรรมการเข้าถึงพื้นที่ของมดภายใต้เงื่อนไขการทดลองที่ควบคุม
3. เพื่อประเมินศักยภาพของเจลไล่มดจากสารธรรมชาติในการเป็นทางเลือกที่ยั่งยืนทดแทนการใช้สารเคมีในการจัดการแมลงรบกวน

กรอบแนวคิด

กรอบแนวคิดการวิจัยนี้พัฒนาขึ้นบนพื้นฐานของทฤษฎีพฤติกรรมแมลงสังคมของ Bert Hölldobler และ Edward O. Wilson ซึ่งอธิบายว่ามดใช้ฟีโรโมนเป็นกลไกหลักในการสื่อสารและกำหนดเส้นทาง [1] ประกอบกับแนวคิดด้าน Chemical Ecology ที่ชี้ให้เห็นว่าสารเคมีจากธรรมชาติสามารถรบกวนระบบการรับกลิ่นและการสื่อสารของแมลงได้ [8] นอกจากนี้ ยังสอดคล้องกับทฤษฎีการตอบสนองต่อสิ่งเร้า (Stimulus–Response Theory) ของ Ivan Pavlov ซึ่งอธิบายว่าการได้รับสิ่งเร้าภายนอก เช่น กลิ่นหรือสารเคมี จะส่งผลต่อพฤติกรรมการตอบสนองของสิ่งมีชีวิต [9] โดยในกรณีนี้คือพฤติกรรมการหลีกเลี่ยง

ของมด ขณะเดียวกัน แนวคิดเกี่ยวกับสารธรรมชาติไล่แมลงยังได้รับการสนับสนุนจากงานของ Catherine Regnault-Roger ที่ชี้ว่าสารจากพืช เช่น น้ำมันหอมระเหยและกรดอินทรีย์ มีศักยภาพในการออกฤทธิ์เป็นสารไล่แมลง และสามารถเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของแมลงได้ [8]



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย
ที่มา : ผู้วิจัย

กรอบแนวคิดการวิจัยนี้อธิบายว่า "สารธรรมชาติ" ที่มีกลิ่นเฉพาะและระเหยได้ เช่น น้ำมันหอมระเหย น้ำส้มสายชู และน้ำมะนาว สามารถรบกวนระบบฟีโรโมนและการรับกลิ่นของมด ซึ่งเป็นกลไกสำคัญที่มดใช้ในการสื่อสารและกำหนดเส้นทางการหาอาหาร ตามแนวคิดพฤติกรรมแมลงสังคมของ Bert Hölldobler และ Edward O. Wilson ร่วมกับแนวคิดด้าน Chemical Ecology เมื่อมดได้รับสิ่งเร้าจากกลิ่นหรือสารเคมีดังกล่าว จะเกิดการตอบสนองเชิงพฤติกรรม (Stimulus–Response) ตามทฤษฎีของ Ivan Pavlov ส่งผลให้มดเกิดพฤติกรรมหลีกเลี่ยงพื้นที่ เปลี่ยนเส้นทาง หรือหยุดการเคลื่อนที่

ในการวิจัยนี้ ผู้วิจัยใช้เจลเป็นตัวพา (Gel Delivery System) เพื่อช่วยควบคุมการปลดปล่อยสารอย่างต่อเนื่อง ทำให้สารออกฤทธิ์ได้นานขึ้นและเพิ่มประสิทธิภาพในการไล่มด ภายใต้การควบคุมตัวแปรด้านปริมาณเจล พื้นที่ทดลอง และสภาพแวดล้อมที่เท่ากัน ผลลัพธ์ที่คาดหวังคือ เจลไล่มดจากสารธรรมชาติสามารถลดการเข้าถึงพื้นที่ของมดได้อย่างมีประสิทธิภาพ ปลอดภัยต่อสุขภาพ ลดการใช้สารเคมี และสามารถพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและต่อยอดเชิงชุมชนหรือเชิงพาณิชย์ได้ในอนาคต

ทบทวนวรรณกรรม (Literature Review)

1. ชีววิทยาและพฤติกรรมของมดที่เกี่ยวข้องกับการควบคุม

มดเป็นแมลงสังคมในวงศ์ Formicidae ที่มีระบบการจัดองค์กรซับซ้อนและพฤติกรรมการหาอาหารแบบร่วมมือ โดยอาศัย "ฟีโรโมน" เป็นกลไกหลักในการสื่อสารและกำหนดเส้นทาง (trail-following behavior) ระหว่างแหล่งอาหารกับรัง [1]) ฟีโรโมนเส้นทาง (trail pheromones) ถูกหลั่งและรับรู้ผ่านระบบรับกลิ่น (olfactory system) บนหนวดของมด ทำให้

เกิดการเดินตามเส้นทางซ้ำและการรวมกลุ่มอย่างมีประสิทธิภาพ[10] ดังนั้น การรบกวนหรือทำลายสัญญาณฟีโรโมน เช่น การใช้สารที่มีกลิ่นเข้มข้นหรือมีฤทธิ์ทางเคมีบางชนิด จะส่งผลให้มดสับสน สูญเสียเส้นทาง และหลีกเลี่ยงพื้นที่ดังกล่าว [11] ความเข้าใจเชิงกลไกนี้เป็นฐานสำคัญในการออกแบบสารไล่ (repellents) ที่มุ่ง “รบกวนการสื่อสาร” มากกว่าการฆ่าโดยตรง

2. สารธรรมชาติและน้ำมันหอมระเหยในฐานะสารไล่แมลง

สารจากพืช โดยเฉพาะ น้ำมันหอมระเหย (essential oils) ได้รับความสนใจอย่างกว้างขวางในฐานะสารไล่แมลงที่ปลอดภัยและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สารสำคัญ เช่น terpenoids (เช่น limonene, linalool, eugenol) สามารถออกฤทธิ์ต่อระบบประสาทและระบบรับกลิ่นของแมลง ทำให้เกิดพฤติกรรมหลีกเลี่ยงหรือยับยั้งการหาอาหาร [3] [12] งานวิจัยจำนวนมากรายงานว่าน้ำมันหอมระเหยจากพืช เช่น ตะไคร้หอม เปปเปอร์มินต์ และยูคาลิปตัส มีประสิทธิภาพในการไล่แมลงหลายชนิดผ่านกลไกการรบกวนการรับกลิ่นและการสื่อสารทางเคมี [8]

สำหรับสารในครัวเรือน เช่น น้ำส้มสายชู (acetic acid) และ น้ำมะนาว (citric acid) แม้ไม่ใช่น้ำมันหอมระเหย แต่มีฤทธิ์เป็นกรดอ่อนและมีกลิ่นเฉพาะ สามารถ “ลบ/กลบ” เส้นทางฟีโรโมนบนพื้นผิว และก่อให้เกิดการหลีกเลี่ยงพื้นที่ได้ในระยะสั้น [10] อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพมักขึ้นกับความเข้มข้น อัตราการระเหย และสภาพพื้นผิว/สิ่งแวดล้อม

3. รูปแบบผลิตภัณฑ์และเทคโนโลยีการนำส่ง (Delivery Systems)

ข้อจำกัดสำคัญของสารระเหยจากธรรมชาติคือ การระเหยเร็วและอายุการออกฤทธิ์สั้น การพัฒนา “รูปแบบผลิตภัณฑ์” จึงมีบทบาทสำคัญในการยืดระยะเวลาการออกฤทธิ์และความคงตัวของสาร งานวิจัยด้านเทคโนโลยีการนำส่ง (delivery systems) ชี้ว่าการใช้ตัวพา (carrier) เช่น เจล อิมัลชัน หรือไมโครแคปซูล สามารถควบคุมการปลดปล่อย (controlled release) ลดการสูญเสียจากการระเหย และเพิ่มประสิทธิภาพเชิงพฤติกรรมของแมลงเป้าหมาย[13] [14]

“รูปแบบเจล” มีข้อได้เปรียบเชิงการใช้งานในครัวเรือน ได้แก่ การยึดเกาะพื้นผิวได้ดี การควบคุมตำแหน่งการวาง การลดการฟุ้งกระจาย และความปลอดภัยต่อผู้ใช้เมื่อเทียบกับสเปรย์หรือของเหลว [14] นอกจากนี้ เจลสามารถทำหน้าที่เป็นแหล่งปลดปล่อยสารระเหยอย่างต่อเนื่อง (sustained release) ซึ่งสอดคล้องกับเป้าหมายการเพิ่มระยะเวลาการหลีกเลี่ยงของมดในพื้นที่ทดลอง

4. ประสิทธิภาพเชิงพฤติกรรมและวิธีการประเมิน

การประเมินประสิทธิภาพของสารไล่แมลงในเชิงพฤติกรรมมักใช้ตัวชี้วัด เช่น

(1) เวลาเริ่มหลีกเลี่ยง (time-to-avoidance)

(2) ระยะเวลาที่ไม่กลับเข้าสู่พื้นที่ (duration of absence)

(3) ดัชนีพฤติกรรมการตอบสนอง (behavioral response index)

ซึ่งสะท้อนผลของสารต่อการรับกลิ่น การตัดสินใจ และการเรียนรู้ของแมลง[12]

ในงานวิจัยเชิงทดลอง การควบคุมตัวแปรแวดล้อม (เช่น พื้นที่ทดลอง ปริมาณสาร อุณหภูมิ และเวลา) มีความสำคัญต่อความเที่ยงตรงภายใน (internal validity) ขณะที่การทำซ้ำ (replication) และการใช้สถิติเชิงอนุมาน เช่น ANOVA ช่วยยืนยันความแตกต่างระหว่างสูตรอย่างมีนัยสำคัญ[15] อย่างไรก็ตาม งานโครงงานนักเรียนจำนวนมากยังใช้การวิเคราะห์เชิงพรรณนาเป็นหลัก จึงเป็นโอกาสในการยกระดับสู่การวิเคราะห์เชิงสถิติในอนาคต

5. ความยั่งยืน ความปลอดภัย และกรอบนโยบาย

แนวคิด Green Chemistry และ Sustainable Consumption and Production สนับสนุนการใช้สารจากธรรมชาติที่มีพิษต่ำ ย่อยสลายได้ และลดผลกระทบต่อระบบนิเวศ[16] การพัฒนาผลิตภัณฑ์ไล่มดจากสารธรรมชาติจึงสอดคล้องกับ

เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) โดยเฉพาะ SDG 3 (สุขภาพและความเป็นอยู่ที่ดี) และ SDG 12 (การผลิตและการบริโภคที่ยั่งยืน) อีกทั้งยังมีศักยภาพต่อยอดสู่ผลิตภัณฑ์ชุมชนและเศรษฐกิจชีวภาพ (bio-based products) ในบริบทท้องถิ่น

วิธีดำเนินการวิจัย

1. รูปแบบการวิจัย การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) โดยใช้รูปแบบการทดลองแบบเปรียบเทียบ (Comparative Experimental Design) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเจลไล่มดจากสารธรรมชาติที่มีองค์ประกอบแตกต่างกัน ภายใต้การควบคุมตัวแปรที่เหมาะสม เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบผลของแต่ละสูตรได้อย่างมีความเที่ยงตรง [17] [18]

2. กลุ่มตัวอย่างและพื้นที่ทดลอง กลุ่มตัวอย่างคือมดที่พบตามธรรมชาติในพื้นที่ทดลองจริง ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการปรากฏของมดอย่างสม่ำเสมอ ได้แก่ พื้นที่ภายในโรงเรียนและบริเวณครัวเรือนในจังหวัดนครปฐม การเลือกพื้นที่ใช้วิธีการเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) โดยพิจารณาจากความถี่ในการพบมดและความเหมาะสมต่อการทดลอง [19]

3. ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย

ตัวแปรต้น (Independent Variable) สูตรของเจลไล่มดจากสารธรรมชาติ 3 สูตร ได้แก่

1. สูตรน้ำมะนาว
2. สูตรน้ำส้มสายชู
3. สูตรน้ำมันหอมระเหย

ตัวแปรตาม (Dependent Variables)

4. ระยะเวลาที่มดเริ่มหลีกเลี่ยงพื้นที่ (นาที)
5. ระยะเวลาที่มดไม่กลับเข้าสู่พื้นที่ (นาที)
6. พฤติกรรมการตอบสนองของมด (ระดับคะแนน 0–4)

ตัวแปรควบคุม (Control Variables) ปริมาณเจล พื้นที่ทดลอง ระยะเวลาการสังเกต สภาพแวดล้อม (แสง อุณหภูมิ) และช่วงเวลาในการทดลอง การกำหนดตัวแปรดังกล่าวสอดคล้องกับหลักการออกแบบการทดลองเพื่อควบคุมอิทธิพลของตัวแปรแทรกซ้อน [20]

4. วัสดุ อุปกรณ์ และสารที่ใช้ ประกอบด้วย น้ำมะนาว น้ำส้มสายชู น้ำมันหอมระเหย เจลแอลกอฮอล์ (ตัวพา) น้ำกลั่น ภาชนะผสม ช้อนตวง ภาชนะใส่ตัวอย่าง และนาฬิกาจับเวลาโดยการใช้สารธรรมชาติและน้ำมันหอมระเหยในการทดลองสอดคล้องกับแนวคิดการใช้สารจากพืชเพื่อควบคุมแมลง [21]

5. การพัฒนาสูตรเจลไล่มด กำหนดสูตรเจล 3 สูตร โดยใช้เจลแอลกอฮอล์เป็นฐาน (carrier) ในปริมาณเท่ากัน และผสมสารธรรมชาติในสัดส่วนที่กำหนด เพื่อให้ได้ความเข้มข้นที่เหมาะสม การใช้ตัวพา (carrier) ช่วยให้สารออกฤทธิ์กระจายตัวและคงประสิทธิภาพ [21]

6. ขั้นตอนการทดลอง ดำเนินการทดลองโดยการวางเจลในพื้นที่ที่มีมดปรากฏ และสังเกตพฤติกรรมของมด พร้อมบันทึกข้อมูลตามตัวชี้วัดที่กำหนด โดยมีการทำซ้ำอย่างน้อย 3 ครั้งต่อสูตร เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือของผลการทดลอง [22]

7. การเก็บรวบรวมข้อมูล ใช้แบบบันทึกข้อมูลเชิงสังเกต (Observation Record Form) โดยกำหนดช่วงเวลาในการบันทึกอย่างเป็นระบบ ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้ในการศึกษาพฤติกรรมของสิ่งมีชีวิต [23]

8. การวิเคราะห์ข้อมูล ข้อมูลเชิงปริมาณวิเคราะห์โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย (Mean) และการเปรียบเทียบแนวโน้มของแต่ละสูตร ขณะที่ข้อมูลเชิงพฤติกรรมใช้การจัดระดับคะแนนและวิเคราะห์เชิงคุณภาพร่วม [17]

9. ความเที่ยงตรงและความน่าเชื่อถือของการวิจัย เพื่อให้ผลการวิจัยมีความน่าเชื่อถือ ได้มีการควบคุมตัวแปรแวดล้อม ใช้เงื่อนไขการทดลองที่เท่ากัน ทำการทดลองซ้ำ (replication) และบันทึกข้อมูลอย่างเป็นระบบ ซึ่งเป็นหลักสำคัญของการวิจัยเชิงทดลอง [20] [22]

สรุปผลและอภิปรายผล

จากการศึกษาวิจัย สามารถสรุปผล ได้ดังนี้

ผลการวิจัย วัตถุประสงค์ที่ 1 ผลการวิจัยพบว่า สามารถพัฒนาเจลไล่มดจากสารธรรมชาติได้จำนวน 3 สูตร ได้แก่ สูตรน้ำมะนาว สูตรน้ำส้มสายชู และสูตรน้ำมันหอมระเหย โดยใช้เจลแอลกอฮอล์เป็นฐาน (carrier) ร่วมกับน้ำกลั่นในสัดส่วนที่เหมาะสม ส่งผลให้ได้ผลิตภัณฑ์ในรูปแบบเจลที่มีลักษณะกึ่งแข็ง มีความหนืดพอเหมาะ สามารถคงรูปได้ดี และกระจายตัวบนพื้นผิวได้อย่างสม่ำเสมอ

เมื่อพิจารณาด้านความเหมาะสมต่อการใช้งาน พบว่าเจลทั้ง 3 สูตรมีความสะดวกในการเตรียมและการใช้งาน ไม่เกิดการไหลหรือฟุ้งกระจาย สามารถควบคุมตำแหน่งการใช้งานได้อย่างชัดเจน ซึ่งเอื้อต่อการใช้งานในบริเวณครัวเรือน นอกจากนี้ยังไม่พบการระคายเคืองหรือกลิ่นฉุนรุนแรงในระดับที่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้ภายใต้สภาวะการทดลอง

ในด้านความปลอดภัย เจลไล่มดที่พัฒนาขึ้นใช้สารจากธรรมชาติเป็นองค์ประกอบหลัก จึงมีความเสี่ยงต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับสารเคมีกำจัดแมลงทั่วไป ทั้งนี้ ลักษณะของเจลยังช่วยลดการสัมผัสโดยตรงและลดการฟุ้งกระจายของสารออกฤทธิ์ ทำให้มีความปลอดภัยต่อผู้ใช้งานมากยิ่งขึ้น

โดยสรุป การพัฒนาเจลไล่มดจากสารธรรมชาติในครั้งนี้สามารถสร้างผลิตภัณฑ์ต้นแบบที่มีคุณสมบัติเหมาะสมต่อการใช้งานในครัวเรือน ทั้งในด้านลักษณะทางกายภาพ ความสะดวกในการใช้งาน และความปลอดภัย ซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญในการนำไปประเมินประสิทธิภาพเชิงทดลองในวัตถุประสงค์ถัดไป

ผลการวิจัย วัตถุประสงค์ที่ 2 ผลการวิจัยพบว่า เจลไล่มดจากสารธรรมชาติทั้ง 3 สูตรมีประสิทธิภาพในการยับยั้งพฤติกรรมการเข้าถึงพื้นที่ของมดแตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยพิจารณาจากตัวชี้วัด ได้แก่ ระยะเวลาที่มดเริ่มหลีกเลี่ยงพื้นที่ ระยะเวลาที่มดไม่กลับเข้าสู่พื้นที่ และระดับพฤติกรรมการตอบสนองของมด

ในด้านระยะเวลาที่มดเริ่มหลีกเลี่ยงพื้นที่ พบว่า สูตรน้ำมันหอมระเหยมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยมดเริ่มหลีกเลี่ยงพื้นที่ภายในเวลาเฉลี่ย 1 นาที รองลงมาคือสูตรน้ำส้มสายชู (เฉลี่ย 2 นาที) และสูตรน้ำมะนาว (เฉลี่ย 3 นาที) ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าสารที่มีความเข้มข้นของกลิ่นและการระเหยสูงสามารถกระตุ้นการตอบสนองของมดได้รวดเร็วกว่าสารชนิดอื่น

ในด้านระยะเวลาที่มดไม่กลับเข้าสู่พื้นที่ พบว่าสูตรน้ำมันหอมระเหยให้ผลดีที่สุด โดยสามารถยับยั้งการกลับเข้าสู่พื้นที่ของมดได้นานเฉลี่ย 15 นาที ขณะที่สูตรน้ำส้มสายชูและสูตรน้ำมะนาวมีระยะเวลาการยับยั้งเฉลี่ย 10 นาที และ 8 นาที ตามลำดับ สะท้อนถึงความสามารถของสารออกฤทธิ์ในการรบกวนพฤติกรรมการหาอาหารของมดในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน

สำหรับพฤติกรรมการตอบสนองของมด พบว่าสูตรน้ำมันหอมระเหยทำให้มดแสดงพฤติกรรมหลีกเลี่ยงพื้นที่ในระดับสูงสุด (ระดับ 4) ขณะที่สูตรน้ำส้มสายชูอยู่ในระดับค่อนข้างมาก (ระดับ 3) และสูตรน้ำมะนาวอยู่ในระดับปานกลาง (ระดับ 2) โดยมดมีการเปลี่ยนทิศทางหรือหลีกเลี่ยงเส้นทางเมื่อเข้าใกล้สารดังกล่าว ดังตาราง

ตารางที่ 1 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเจลไล่มดจากสารธรรมชาติ

สูตรเจลไล่มด	ระยะเวลาที่มดเริ่มหลีกเลี่ยงพื้นที่ (นาที)	ระยะเวลาที่มดไม่กลับเข้าสู่พื้นที่ (นาที)	ระดับพฤติกรรมการตอบสนองของมด
น้ำมันหอมระเหย	1	15	4 (หลีกเลี่ยงพื้นที่อย่างชัดเจน)
น้ำส้มสายชู	2	10	3 (หนีออกจากพื้นที่)
น้ำมะนาว	3	8	2 (เปลี่ยนทิศทาง)

ที่มา : ผู้วิจัย

จากตารางที่ 1 พบว่า เจลไล่มดสูตรน้ำมันหอมระเหยมีประสิทธิภาพสูงสุดในทุกตัวชี้วัด ทั้งในด้านระยะเวลาการเริ่มหลีกเลี่ยง ระยะเวลาการไม่กลับเข้าสู่พื้นที่ และระดับพฤติกรรมการตอบสนองของมด รองลงมาคือสูตรน้ำส้มสายชู และสูตรน้ำมะนาวตามลำดับ

โดยสรุป เจลไล่มดสูตรน้ำมันหอมระเหยมีประสิทธิภาพสูงสุดในการยับยั้งพฤติกรรมการเข้าถึงพื้นที่ของมด รองลงมาคือสูตรน้ำส้มสายชู และสูตรน้ำมะนาว ตามลำดับ ทั้งนี้ ความแตกต่างของประสิทธิภาพอาจสัมพันธ์กับคุณสมบัติทางเคมีของสาร โดยเฉพาะความสามารถในการระเหยและความเข้มข้นของกลิ่น ซึ่งมีผลต่อการรบกวนระบบการรับกลิ่นและการสื่อสารด้วยฟีโรโมนของมด

ผลการวิจัย วัตถุประสงค์ที่ 3 ผลการวิจัยพบว่า มดมีการตอบสนองต่อเจลไล่มดจากสารธรรมชาติแตกต่างกันตามชนิดของสารที่ใช้ โดยแสดงพฤติกรรมตั้งแต่การชะลอการเคลื่อนที่ การเปลี่ยนทิศทาง ไปจนถึงการหลีกเลี่ยงพื้นที่อย่างชัดเจน ทั้งนี้ ระดับความรุนแรงของพฤติกรรมขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของสารและความเข้มข้นของกลิ่น

สำหรับสูตรน้ำมันหอมระเหย พบว่ามดแสดงพฤติกรรมหลีกเลี่ยงพื้นที่อย่างชัดเจนมากที่สุด (ระดับ 4) โดยมดส่วนใหญ่หยุดการเคลื่อนที่เมื่อเข้าใกล้บริเวณที่มีเจล และเปลี่ยนเส้นทางหรือหลีกเลี่ยงพื้นที่ดังกล่าวทันที แสดงให้เห็นว่าสารระเหยในน้ำมันหอมระเหยมีผลต่อระบบการรับกลิ่นของมดอย่างมีประสิทธิภาพ

ในขณะที่สูตรน้ำส้มสายชู มดแสดงพฤติกรรมในระดับค่อนข้างมาก (ระดับ 3) โดยมีการเร่งการเคลื่อนที่และหลีกหนีออกจากพื้นที่เมื่อสัมผัสหรือเข้าใกล้เจล สะท้อนถึงการรับรู้กลิ่นที่ก่อให้เกิดการรบกวนแต่ยังไม่รุนแรงเท่าสูตรน้ำมันหอมระเหย

สำหรับสูตรน้ำมะนาว พบว่ามดมีการตอบสนองในระดับปานกลาง (ระดับ 2) โดยส่วนใหญ่จะแสดงพฤติกรรมเปลี่ยนทิศทางหรือหลีกเลี่ยงบางส่วน แต่ยังคงมีมดบางส่วนที่สามารถเคลื่อนที่ผ่านพื้นที่ได้ แสดงให้เห็นว่าสารในน้ำมะนาวมีผลต่อพฤติกรรมมดในระดับจำกัด

โดยสรุป พฤติกรรมการตอบสนองของมดต่อเจลไล่มดจากสารธรรมชาติเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับประสิทธิภาพในการยับยั้งการเข้าถึงพื้นที่ กล่าวคือ สารที่มีความสามารถในการระเหยสูงและมีกลิ่นเข้มข้นจะส่งผลให้มดเกิดพฤติกรรมหลีกเลี่ยงที่ชัดเจนมากกว่า ทั้งนี้พฤติกรรมดังกล่าวสามารถอธิบายได้จากกลไกการรบกวนระบบการรับกลิ่นและการสื่อสารด้วยฟีโรโมนของมด ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดเส้นทางการเคลื่อนที่และการหาอาหาร

อภิปรายผล

ผลจากการวิจัยวัตถุประสงค์ที่ 1 พบว่า สามารถพัฒนาเจลไล่มดจากสารธรรมชาติได้ในรูปแบบที่มีความเหมาะสมต่อการใช้งานในครัวเรือน โดยเจลที่พัฒนาขึ้นมีลักษณะกึ่งแข็ง มีความหนืดเหมาะสม สามารถคงรูปและกระจายตัวบนพื้นผิวได้ดี อีกทั้งยังสะดวกต่อการใช้งานและควบคุมตำแหน่งได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ การใช้สารจากธรรมชาติเป็นองค์ประกอบหลักยังช่วยลดความเสี่ยงต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมเมื่อเปรียบเทียบกับสารเคมีกำจัดแมลงทั่วไป ทั้งนี้อาจเป็น

เพราะ “รูปแบบเจล” ทำหน้าที่เป็นตัวพา (carrier) ที่ช่วยควบคุมการปลดปล่อยของสารออกฤทธิ์ (controlled release) ทำให้สารระเหยออกอย่างช้าและต่อเนื่อง ส่งผลให้สามารถยืดระยะเวลาการออกฤทธิ์และเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานเมื่อเทียบกับสารในรูปของเหลวทั่วไป นอกจากนี้ ลักษณะทางกายภาพของเจลยังช่วยลดการฟุ้งกระจายของสาร ลดการสัมผัสโดยตรงของผู้ใช้ และเพิ่มความปลอดภัยในการใช้งานในครัวเรือน ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของ Anastas และ Warner (1998) [7] ที่เสนอหลักการของ Green Chemistry ซึ่งเน้นการออกแบบผลิตภัณฑ์ให้มีความปลอดภัยต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมตั้งแต่กระบวนการพัฒนา รวมถึงสอดคล้องกับงานวิจัยของ Pavela (2016) [13] ที่รายงานว่าการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากสารธรรมชาติในรูปแบบที่เหมาะสมสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการออกฤทธิ์และยืดอายุการใช้งานของสารไล่แมลง และยังสอดคล้องกับ Benelli et al. (2017) [14] ที่ชี้ให้เห็นว่าการใช้ตัวพา เช่น เจลหรืออิมัลชัน สามารถช่วยเพิ่มความคงตัวของสารสำคัญและควบคุมการปลดปล่อยได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้น ผลการวิจัยในครั้งนี้จึงสะท้อนให้เห็นว่า การพัฒนาเจลไล่มดจากสารธรรมชาติไม่เพียงแต่สามารถสร้างผลิตภัณฑ์ที่ใช้งานได้จริง แต่ยังสอดคล้องกับแนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ปลอดภัยและยั่งยืน ซึ่งเป็นประเด็นสำคัญในงานวิจัยด้านสิ่งแวดล้อมและสุขภาพในปัจจุบัน

ผลจากการวิจัยวัตถุประสงค์ที่ 2 พบว่า เจลไล่มดจากสารธรรมชาติทั้ง 3 สูตรมีประสิทธิภาพในการยับยั้งพฤติกรรมการเข้าถึงพื้นที่ของมดแตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยสูตรน้ำมันหอมระเหยมีประสิทธิภาพสูงสุด รองลงมาคือสูตรน้ำส้มสายชูและสูตรน้ำมะนาว ตามลำดับ ทั้งในด้านระยะเวลาการเริ่มหลีกเลี่ยง ระยะเวลาการไม่กลับเข้าสู่พื้นที่ และระดับพฤติกรรมการตอบสนองของมด ทั้งนี้อาจเป็นเพราะ น้ำมันหอมระเหยประกอบด้วยสารออกฤทธิ์ในกลุ่มเทอร์พีน (terpenoids) และสารระเหยง่ายที่มีความเข้มข้นของกลิ่นสูง ซึ่งสามารถรบกวนระบบประสาทและระบบการรับกลิ่น (olfactory system) ของแมลงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้มดสูญเสียความสามารถในการรับรู้เส้นทางฟีโรโมนและเกิดพฤติกรรมหลีกเลี่ยงพื้นที่อย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง ขณะที่น้ำส้มสายชูและน้ำมะนาวมีองค์ประกอบหลักเป็นกรดอินทรีย์ (acetic acid และ citric acid) ซึ่งแม้จะสามารถรบกวนเส้นทางฟีโรโมนได้ แต่มีความสามารถในการระเหยและความเข้มข้นของกลิ่นต่ำกว่า จึงให้ผลในระดับรองลงมา

ผลการวิจัยดังกล่าวสอดคล้องกับแนวคิดของ Isman (2006) [3] ที่ระบุว่าสารจากพืช โดยเฉพาะน้ำมันหอมระเหย มีคุณสมบัติเป็นสารไล่แมลงที่มีประสิทธิภาพสูง เนื่องจากสามารถออกฤทธิ์ต่อระบบประสาทและพฤติกรรมของแมลงได้โดยตรง รวมทั้งสอดคล้องกับงานของ Nerio, Olivero-Verbel และ Stashenko (2010) [12] ที่พบว่าน้ำมันหอมระเหยมีบทบาทสำคัญในการรบกวนระบบการรับกลิ่นของแมลงและก่อให้เกิดพฤติกรรมการหลีกเลี่ยงและยังสอดคล้องกับ Morgan (2009) [10] ซึ่งอธิบายว่าฟีโรโมนมีบทบาทสำคัญต่อพฤติกรรมการหาอาหารของมด และการรบกวนเส้นทางฟีโรโมนจะส่งผลโดยตรงต่อการเคลื่อนที่และการรวมกลุ่มของมด ดังนั้น ความแตกต่างของประสิทธิภาพระหว่างสูตรเจลในงานวิจัยนี้จึงสามารถอธิบายได้จากคุณสมบัติทางเคมีของสารออกฤทธิ์ โดยเฉพาะความสามารถในการระเหยและความเข้มข้นของกลิ่น ซึ่งมีผลต่อการรบกวนระบบการสื่อสารของมดอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ การพัฒนาในรูปแบบเจลยังช่วยควบคุมการปลดปล่อยของสาร ทำให้ประสิทธิภาพของสารธรรมชาติสามารถแสดงผลได้ต่อเนื่องและยาวนานมากยิ่งขึ้น

ผลจากการวิจัยวัตถุประสงค์ที่ 3 พบว่า มดมีการตอบสนองต่อเจลไล่มดจากสารธรรมชาติแตกต่างกันตามชนิดของสาร โดยแสดงพฤติกรรมตั้งแต่การชะลอการเคลื่อนที่ การหยุดสำรวจ การเปลี่ยนทิศทาง ไปจนถึงการหลีกเลี่ยงพื้นที่อย่างชัดเจน ทั้งนี้ สูตรน้ำมันหอมระเหยก่อให้เกิดพฤติกรรมการหลีกเลี่ยงในระดับสูงสุด ขณะที่สูตรน้ำส้มสายชูและน้ำมะนาวให้ผลในระดับรองลงมา สะท้อนให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติของสารกับระดับการตอบสนองเชิงพฤติกรรมของมด ทั้งนี้อาจเป็นเพราะ มดใช้ระบบการรับกลิ่น (olfactory system) เป็นกลไกหลักในการรับรู้สภาพแวดล้อมและตัดสินใจเชิงพฤติกรรม โดยเฉพาะการใช้ฟีโรโมนในการกำหนดเส้นทางและการสื่อสารภายในโคโลนี เมื่อสารที่มีกลิ่นเข้มข้นและมีความสามารถในการระเหยสูง เช่น น้ำมันหอมระเหย เข้ารบกวนสัญญาณดังกล่าว จะทำให้เกิด “ความสับสนเชิงการรับรู้”

(sensory disruption) ส่งผลให้มดไม่สามารถประมวลผลข้อมูลเกี่ยวกับเส้นทางหรือแหล่งอาหารได้อย่างถูกต้อง และนำไปสู่การตัดสินใจหลีกเลี่ยงพื้นที่ในที่สุด

ในมิติของ cognitive response พฤติกรรมที่พบ เช่น การหยุดเคลื่อนที่ การหันกลับ หรือการหลีกเลี่ยงเส้นทาง สะท้อนถึงกระบวนการตัดสินใจ (decision-making process) ของมด ซึ่งเป็นผลจากการประมวลผลข้อมูลจากสิ่งเร้าภายนอก โดยเมื่อสัญญาณทางเคมีถูกรบกวน มดจะเกิดความไม่แน่นอนในการรับรู้ (uncertainty) และเลือกพฤติกรรมที่ลดความเสี่ยง เช่น การหลีกเลี่ยงพื้นที่ มากกว่าการสำรวจต่อไป

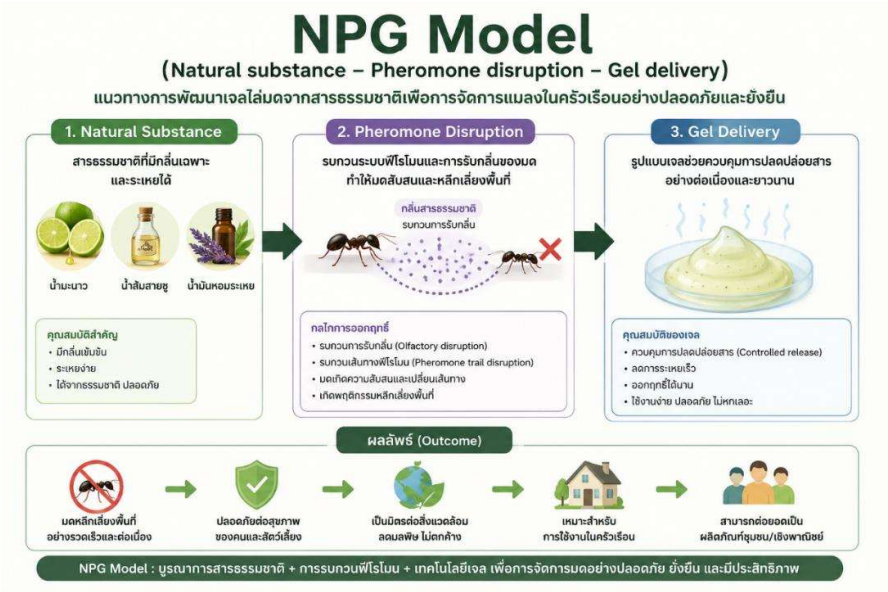
ผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับแนวคิดของ Hölldobler และ Wilson (1990) [1] ที่อธิบายว่าพฤติกรรมของมดถูกกำหนดโดยระบบการสื่อสารทางเคมีและการทำงานร่วมกันของโคโลนี รวมทั้งสอดคล้องกับงานของ Morgan (2009) [10] ซึ่งชี้ให้เห็นว่าฟีโรโมนมีบทบาทสำคัญต่อการนำทางและการตัดสินใจของมด และการรบกวนสัญญาณดังกล่าวจะส่งผลโดยตรงต่อพฤติกรรมการเคลื่อนที่ นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับ Detrain และ Deneubourg (2008) [11] ที่เสนอว่าการตัดสินใจของแมลงสังคมเป็นผลจากการประมวลผลข้อมูลจากสิ่งแวดล้อมร่วมกับสัญญาณทางเคมี และเมื่อข้อมูลมีความคลาดเคลื่อนจะนำไปสู่พฤติกรรมการหลีกเลี่ยงหรือเปลี่ยนแปลงเส้นทาง ดังนั้น พฤติกรรมการตอบสนองของมดที่พบในงานวิจัยนี้จึงไม่ใช่เพียงปฏิกิริยาทางกายภาพต่อสารเท่านั้น แต่ยังสะท้อนถึงกระบวนการรับรู้และการตัดสินใจเชิงพฤติกรรมที่ซับซ้อน ซึ่งได้รับอิทธิพลจากการรบกวนระบบการสื่อสารทางเคมี โดยเฉพาะฟีโรโมน ทั้งนี้ การใช้สารธรรมชาติในรูปแบบเจลจึงสามารถทำหน้าที่เป็นเครื่องมือในการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมของมดได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยไม่จำเป็นต้องใช้สารเคมีที่มีความเป็นพิษสูง

องค์ความรู้ใหม่

งานวิจัยนี้ได้สร้างองค์ความรู้ใหม่เกี่ยวกับ “การประยุกต์ใช้สารธรรมชาติในรูปแบบเจลเพื่อรบกวนระบบการสื่อสารของมด” โดยพบว่า ประสิทธิภาพของการไล่มดไม่ได้ขึ้นอยู่เพียง “ชนิดของสารธรรมชาติ” เท่านั้น แต่ยังขึ้นอยู่กับ “รูปแบบการนำส่งสาร (delivery form)” และ “คุณสมบัติการระเหยของสาร” ซึ่งมีผลโดยตรงต่อพฤติกรรมการรับรู้และการตัดสินใจของมด

ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า สารที่มีความสามารถในการระเหยสูงและมีกลิ่นเข้มข้น เช่น น้ำมันหอมระเหย สามารถรบกวนระบบฟีโรโมน (pheromone disruption) ของมดได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้มดเกิดพฤติกรรมหลีกเลี่ยงพื้นที่รวดเร็วและต่อเนื่องมากกว่าสารประเภทกรดอินทรีย์ เช่น น้ำส้มสายชูและน้ำมะนาว

นอกจากนี้ งานวิจัยยังเสนอแนวคิดใหม่ว่า “รูปแบบเจล” สามารถทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมการปลดปล่อยสาร (controlled-release carrier) ช่วยยืดระยะเวลาการออกฤทธิ์ของสารธรรมชาติ ทำให้เกิดประสิทธิภาพเชิงพฤติกรรมที่ต่อเนื่องและเหมาะสมต่อการใช้งานในครัวเรือนมากกว่าการใช้สารในรูปแบบของเหลวทั่วไป ดังนั้น องค์ความรู้ใหม่ที่ได้จากการวิจัยนี้ คือ การบูรณาการระหว่าง สารธรรมชาติ เทคโนโลยีรูปแบบเจล กลไกการรบกวนฟีโรโมนของมด เพื่อพัฒนาแนวทางการจัดการแมลงรบกวนที่ปลอดภัย เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และสามารถต่อยอดสู่ผลิตภัณฑ์ชุมชนหรือเชิงพาณิชย์ได้ในอนาคต



ภาพที่ 2 โมเดลเจลไล่มดจากสารธรรมชาติ
ที่มา : ผู้วิจัย

ผลการวิจัยสะท้อนให้เห็นว่า ประสิทธิภาพของเจลไล่มดจากสารธรรมชาติเกิดจากความสัมพันธ์ระหว่าง “คุณสมบัติทางเคมีของสาร” และ “พฤติกรรมการรับรู้ของมด” โดยสารที่มีกลิ่นเข้มข้นและระเหยได้ดีจะสามารถรบกวนระบบฟีโรโมน ซึ่งเป็นกลไกหลักในการสื่อสารและกำหนดเส้นทางของมดได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้มดเกิดพฤติกรรมหลีกเลี่ยงพื้นที่อย่างรวดเร็ว ในขณะเดียวกัน การพัฒนาในรูปแบบเจลยังช่วยควบคุมการปลดปล่อยสาร ทำให้สารออกฤทธิ์ได้ต่อเนื่อง ลดการระเหยรวดเร็ว และเพิ่มความสะดวกในการใช้งานจริงในครัวเรือน จึงสะท้อนให้เห็นว่า “นวัตกรรมผลิตภัณฑ์” มีบทบาทสำคัญต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของสารธรรมชาติได้

เมื่อสังเคราะห์ร่วมกับแนวคิด Green Chemistry และ Sustainable Pest Management งานวิจัยนี้จึงเสนอแนวทางใหม่ของการจัดการแมลงรบกวนที่มุ่ง “ปรับพฤติกรรมแมลง” มากกว่าการใช้สารพิษกำจัดโดยตรง ซึ่งช่วยลดผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม และสอดคล้องกับแนวทางการพัฒนาที่ยั่งยืนในปัจจุบัน

ข้อเสนอแนะและการนำไปใช้ประโยชน์

จากผลการวิจัย ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะ ดังนี้

1. หน่วยงานด้านการศึกษา สามารถนำองค์ความรู้และต้นแบบเจลไล่มดจากสารธรรมชาติไปประยุกต์ใช้ในการจัดการแมลงรบกวนในโรงอาหาร ห้องเรียน และบริเวณสถานศึกษา โดยใช้กับนักเรียน ครู และบุคลากร เพื่อสร้างสภาพแวดล้อมที่ปลอดภัย ลดการใช้สารเคมี และส่งเสริมการเรียนรู้ด้านวิทยาศาสตร์และสิ่งแวดล้อมผ่านกิจกรรมโครงงาน STEM

2. ครัวเรือนและชุมชน ประชาชนทั่วไปสามารถนำสูตรเจลไล่มดจากสารธรรมชาติไปใช้ในครัวเรือน เพื่อควบคุมมดในพื้นที่ประกอบอาหารหรือที่อยู่อาศัย โดยเฉพาะในกลุ่มครัวเรือนที่มีเด็ก ผู้สูงอายุ หรือสัตว์เลี้ยง ซึ่งต้องการลดความเสี่ยงจากสารเคมี ทั้งนี้ยังสามารถถ่ายทอดองค์ความรู้สู่ระดับชุมชนเพื่อส่งเสริมการพึ่งพาตนเองและการใช้ทรัพยากรท้องถิ่นอย่างยั่งยืน

3. หน่วยงานด้านสาธารณสุขและองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น สามารถนำผลการวิจัยไปใช้เป็นแนวทางในการส่งเสริมการใช้ผลิตภัณฑ์จากสารธรรมชาติในการควบคุมแมลงในชุมชน เช่น การจัดอบรมให้ความรู้แก่ประชาชน หรือสนับสนุนการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ชุมชน (OTOP/วิสาหกิจชุมชน) เพื่อใช้กับประชาชนในพื้นที่ อันจะช่วยลดการพึ่งพาสารเคมีและสอดคล้องกับแนวทางการพัฒนาสุขภาวะและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน

เอกสารอ้างอิง (References)

[1] Hölldobler, B., & Wilson, E. O. (1990). *The ants.* Harvard University Press.

[2] Aktar, M. W., Sengupta, D., & Chowdhury, A. (2009). Impact of pesticides use in agriculture: Their benefits and hazards. *Interdisciplinary Toxicology, 2*(1), 1–12.

[3] Isman, M. B. (2006). Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture. *Annual Review of Entomology, 51*, 45–66. https://doi.org/10.1146/annurev.ento.51.110104.151146

[4] Morgan, E. D. (2009). Trail pheromones of ants. *Physiological Entomology, 34*(1), 1–17.

[5] Pavela, R. (2016). Essential oils for the development of eco-friendly mosquito larvicides. *Industrial Crops and Products, 76*, 174–187.

[6] National Geographic Thailand. (2020). *Ant Behavior and Foraging. Retrieved from https://www.nationalgeographicthailand.com*

[7] Anastas, P. T., & Warner, J. C. (1998). *Green chemistry: Theory and practice*. Oxford University Press.

[8] Regnault-Roger, C., Vincent, C., & Arnason, J. T. (2012). Essential oils in insect control: Low-risk products in a high-stakes world. *Annual Review of Entomology*, 57, 405–424.

[9] Pavlov, I. P. (1927). *Conditioned Reflexes*. Oxford University Press.

[10] Morgan, E. D. (2009). Trail pheromones of ants. *Physiological Entomology, 34(*1), 1–17.

[11] Detrain, C., & Deneubourg, J.-L. (2008). Collective decision-making and foraging patterns in ants and honeybees. *Advances in Insect Physiology, 35*, 123–173.

[12] Nerio, L. S., Olivero-Verbel, J., & Stashenko, E. (2010). Repellent activity of essential oils: A review. *Bioresource Technology, 101*(1), 372–378. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.07.048

[13] Pavela, R. (2016). Essential oils for the development of eco-friendly mosquito larvicides: A review. *Industrial Crops and Products, 76*, 174–187.

[14] Benelli, G., Pavela, R., Canale, A., Cianfaglione, K., Ciaschetti, G., Conti, F., Maggi, F. (2017). Acute larvicidal toxicity of five essential oils against the mosquito Culex quinquefasciatus: Synergistic and antagonistic effects. *Parasitology Research, 116,* 3269–3278.

[15] Field, A., & Hole, G. (2003). *How to design and report experiments.* Sage Publications.

[16] Anastas, P. T., & Warner, J. C. (1998). Green chemistry: Theory and practice. Oxford University Press.

[17] Creswell, J. W. (2014). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (4th ed.). Sage.

[18] Campbell, D. T., & Stanley, J. C. (1963). *Experimental and quasi-experimental designs for research*. Houghton Mifflin.

[19] Patton, M. Q. (2002). *Qualitative research and evaluation methods* (3rd ed.). Sage.

[20] Fisher, R. A. (1935). *The design of experiments*. Oliver & Boyd.

[21] Regnault-Roger, C., Vincent, C., & Arnason, J. T. (2012). Essential oils in insect control. *Annual Review of Entomology, 57*, 405–424.

[22] Montgomery, D. C. (2017). *Design and analysis of experiments* (9th ed.). Wiley.

[23] Cialdini, R. B. (2009). *Influence: Science and practice*. Pearson.