

การประยุกต์สารละลายจากผงเปลือกไข่ในการกำจัดเพลี้ยแป้งวงศ์ *Pseudococcidae*

ดวงทิพย์ กันฐา^{1*}, นิตยา แก้วแพรก²

¹ ภาควิชาภูมิวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์กำแพงแสน นครปฐม

² สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ปทุมธานี

*Corresponding author email: agrdtk@ku.ac.th

ได้รับบทความ: 5 พฤศจิกายน 2568

ได้รับบทความแก้ไข: 15 มีนาคม 2569

ยอมรับตีพิมพ์: 20 เมษายน 2569

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาสารกำจัดแมลงศัตรูพืชจากผงเปลือกไข่และทดสอบประสิทธิภาพต่อเพลี้ยแป้งวงศ์ *Pseudococcidae* ในห้องปฏิบัติการและในแปลงทดลอง ผลการทดลองในห้องปฏิบัติการพบว่ามีผลแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$, $F = 170.43$, $Sig. = 0.00$) โดยสูตรสารละลายที่มีส่วนผสมของผงเปลือกไข่และแคลเซียมคาร์บอเนต มีค่าเฉลี่ยอัตราการตายของเพลี้ยแป้งสูงสุด 28.5 ± 1.91 และมีการตายร้อยละ 57 ในการทดลองในแปลงพบว่ามีผลแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$, $F = 76.55$, $Sig. = 0.00$) โดยค่าเฉลี่ยอัตราการตายสูงสุดอยู่ที่ 7.66 ± 0.57 และการตายร้อยละ 76.66 ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าสารละลายจากผงเปลือกไข่ร่วมกับแคลเซียมคาร์บอเนตสามารถใช้เป็นสารกำจัดแมลงธรรมชาติได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: ผงเปลือกไข่/ แคลเซียมคาร์บอเนต/ สารกำจัดแมลงธรรมชาติ/
เพลี้ยแป้ง *Pseudococcidae*

Application of Eggshell-Based Power Solutions in Controlling Mealybugs (*Pseudococcidae*)

Duangthip Kantha^{1*}, Nittaya Keawprak²

¹ Department of Entomology, Faculty of Agriculture,
Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom

² Thailand Institute of Scientific and Technological Research,
Pathum Thani.

*Corresponding author email: agrdtk@ku.ac.th

Received: 5 November 2025

Revised: 15 March 2026

Accepted: 20 April 2025

Abstract

This research aims to develop an insecticide from eggshell powder and test its efficacy against mealybugs of the family Pseudococcidae in both laboratory and field trials. Laboratory experiments demonstrated statistically significant differences ($p < 0.05$), $F = 170.43$, $Sig. = 0.00$. The treatment containing eggshell powder and calcium carbonate had the highest average mortality rate of mealybugs 28.5 ± 1.91 and a mortality of 57%. Field experiments also revealed statistically significant differences ($p < 0.05$, $F = 76.55$, $Sig = 0.00$) with the highest means mortality rate at 7.66 ± 0.57 and the mortality of 76.66%. The results indicate that the treatment made from eggshell powder combined with calcium carbonate could be used as an effective natural insecticide.

Keywords: Eggshell Powder/ Calcium Carbonate/ Insecticide/
Mealybugs (*Pseudococcidae*)

บทนำ

ประเทศไทยมีการผลิตไก่เนื้อเพื่ออุตสาหกรรมการผลิตเนื้อไก่สด เนื้อไก่แปรรูป และเนื้อไก่แช่แข็งเพื่อการส่งออก เฉลี่ย 8,600 ล้านตัวต่อสัปดาห์ (จากรายงานของ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ปี 2565) จึงเกิดขยะเปลือกไข่จากโรงฟักไข่ปริมาณมากกว่า 3,300 ตันต่อปี ซึ่งในกระบวนการกำจัดเปลือกไข่ในปัจจุบันที่นิยมคือการฝังกลบ การพัฒนาสารละลายจากเปลือกไข่ให้เป็นสารกำจัดแมลงชีวภาพสำหรับเกษตรอินทรีย์ [1] และเกษตรปลอดภัยที่มีประสิทธิภาพ คือการแก้ปัญหาเรื่องเปลือกไข่ซึ่งเป็นของเสียชีวภาพเหลือทิ้งเพื่อพัฒนาสารละลายจากเปลือกไข่สำหรับกำจัดเพลี้ยแป้งในวงศ์ Pseudococcidae โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อลดการใช้สารเคมีทางการเกษตร [2]

การทดสอบการป้องกันกำจัดเพลี้ยแป้งได้ดำเนินการทั้งในสภาวะห้องปฏิบัติการที่อุณหภูมิ 27 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70 และในแปลงฝรั่งพันธุ์หวานพิรุณ โดยออกแบบการทดลอง แบบ Completely Randomized Design (CRD) และการวิเคราะห์ทางสถิติที่ด้วยวิธี ANOVA, Duncan's test ความเข้มข้นของสารละลายเปลือกไข่ที่ใช้ทดสอบและมีประสิทธิภาพคือเปลือกไข่บดละเอียด 5 กรัม: น้ำเปล่า 1 ลิตร แช่ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมงหลังจากนั้นนำสารละลายมาในปริมาณ 250 มิลลิลิตรผสมกับ CaCO_3 3 กรัม ผสมน้ำเปล่า 1 ลิตรเพื่อฉีดพ่นโดยใช้อัตราส่วนเดียวกันทั้งใน 2 สภาวะทดสอบระยะเวลาการทดสอบโดยฉีดพ่น 1 ครั้ง (3 ชั่วโมง) โดยวัดอัตราการตายของเพลี้ยแป้งทั้งก่อนและหลังฉีดพ่นสารละลายเปลือกไข่ ด้วยการนับระยะเวลาที่สารละลายถูกตัวเพลี้ยแป้งแล้วตาย

ผลการทดสอบสารละลายจากเปลือกไข่เป็นสารกำจัดเพลี้ยแป้งที่มีประสิทธิภาพสูงจากการทดสอบในห้องปฏิบัติการสารละลายจากเปลือกไข่สามารถสร้างความเสียหายกับ protective wax ของเพลี้ยแป้งหลังจากฉีดสารแขวนลอยร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก ของสารละลายจากเปลือกไข่ 5 วินาที ทำให้ wax ที่ปกคลุมลำตัวเพลี้ยแป้งลอกออกมาเนื่องจากการออกฤทธิ์ทางกายภาพของแคลเซียมคาร์บอเนต [3] โดยสารละลายจากเปลือกไข่จะเข้าไปทำลายผิวของเพลี้ยแป้ง ทำให้เพลี้ยแป้งจะตายในที่สุดหลังจากฉีดพ่นสารละลายจากเปลือกไข่ไปแล้ว 5 นาที สามารถกำจัดเพลี้ยแป้งได้ทั้งหมด

คณะนักวิจัยมีแผนการวิจัยในสภาพแปลงปลูกพืชอย่างต่อเนื่อง พร้อมเผยแพร่
นวัตกรรมสู่การใช้งานจริงกับเกษตรกรและผู้รักสุขภาพที่ปลูกผักปลอดสารพิษ เพื่อผลิตผัก
และผลไม้ปลอดภัยสำหรับผู้บริโภค เพื่อความยั่งยืนของสิ่งแวดล้อม

วัสดุและวิธีการ

การเตรียมสารละลายจากเปลือกไข่

สารละลายจากเปลือกไข่เพื่อใช้ในการกำจัดเพลี้ยแป้งวงศ์ Pseudococcidae ถูก
จัดทำโดยการบดเปลือกไข่ให้ละเอียด แล้วผสมกับน้ำสะอาดในอัตราส่วนดังนี้:

สูตรที่ 1: เปลือกไข่บด 3 กรัม : น้ำ 1 ลิตร แช่ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง

สูตรที่ 2: เปลือกไข่บด 4 กรัม : น้ำ 1 ลิตร แช่ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง

สูตรที่ 3: เปลือกไข่บด 5 กรัม : น้ำ 1 ลิตร แช่ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง

หลังจากเตรียมสารละลายครบทั้งสามสูตรแล้ว นำมาทดลองฉีดพ่นเพลี้ยแป้ง

Pseudococcus ในห้องปฏิบัติการ โดยมีการจัดทดลองแบบ Completely Randomized
Design (CRD) จำนวน 4 กรรมวิธี (Treatment) และทำซ้ำ 3 ครั้ง (3 replications) ดังนี้:

Treatment 1: ไม่ฉีดพ่นสารละลาย (Control)

Treatment 2: สูตรที่ 1 ปริมาณ 250 มิลลิลิตร + CaCO_3 1 กรัม

Treatment 3: สูตรที่ 2 ปริมาณ 250 มิลลิลิตร + CaCO_3 2 กรัม

Treatment 4: สูตรที่ 3 ปริมาณ 250 มิลลิลิตร + CaCO_3 3 กรัม

การเตรียมเพลี้ยแป้งสำหรับทดสอบในห้องปฏิบัติการ

เพลี้ยแป้งที่ใช้ทดลอง เก็บจากแปลงปลูกที่เกิดการระบาด นำเพลี้ยแป้งจำนวน 30
ตัว ลงบนผลฟักทองขนาดประมาณ 0.5 กิโลกรัม ต่อผล เพื่อใช้เป็น พืชอาศัย (host plant)
วางผลฟักทองบนกล่องพลาสติกทรงกลมสูง 12 เซนติเมตร กว้าง 10 เซนติเมตร ด้านข้างบุ
ด้วยผ้าตาข่ายไนลอนเพื่อระบายความชื้น ใส่ทรายที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้านล่างกล่องเพื่อดูดซับ
ความชื้น ทำให้ฟักทองคงความสดและใช้เป็นแหล่งเพาะเลี้ยงเพลี้ยแป้งได้ประมาณ 25-30
วัน



ภาพที่ 1 เปลี้ยแบ่งที่ใช้ทดสอบภายใต้ห้องปฏิบัติการ

การทดลองฉีดพ่นสารละลายในห้องปฏิบัติการ

ใช้ขวดสเปรย์ฉีดพ่นสารละลายเปลือกไข่บนเปลี้ยแบ่งที่อยู่บนลูกฟักทอง ตรวจสอบจำนวนเปลี้ยแบ่ง ก่อนการฉีดพ่น และในช่วงเวลา 12, 24, 48, 72 ชั่วโมงหลังฉีดพ่น บันทึกภาพลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเปลี้ยแบ่งในแต่ละระยะการเจริญเติบโตด้วยกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอ



ภาพที่ 2 ฉีดพ่นสารละลายของเปลือกไข่ในสูตรความเข้มข้นกับเปลี้ยแบ่งภายใต้ห้องปฏิบัติการ บรรจุลงในขวดสเปรย์ฉีดพ่นบนเปลี้ยแบ่งที่เจริญเติบโตบนลูกฟักทอง

การทดลองในแปลงปลูกพืช

ทดสอบสารละลายสูตรต่าง ๆ ร่วมกับ CaCO_3 ที่เหมาะสม 3 อัตราส่วน ในแปลง ฝรั่งพันธุ์หวานพิรุณ ภาควิชาพืชสวน ม.เกษตรศาสตร์ กำแพงแสน จัดทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) จำนวน 4 Treatment ทำซ้ำ 3 ครั้ง Treatment แต่ละสูตรเหมือนกับการทดลองในห้องปฏิบัติการ ตรวจนับประชากรเพลี้ย แบ่งและบันทึกภาพลักษณะทางสัณฐานวิทยา

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ใช้ โปรแกรม SPSS Ver.26 วิเคราะห์ความแตกต่างของอัตราการตายของเพลี้ย แบ่งด้วย One-way ANOVA เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วย Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ระดับความเชื่อมั่นที่ 95%

อัตราการตาย (Mortality; ร้อยละ) คำนวณจากสูตร:

$$= \frac{\text{จำนวนเพลี้ยแบ่งที่ตายในแต่ละซ้ำ}}{\text{จำนวนเพลี้ยแบ่งทั้งหมดในแต่ละซ้ำ}} \times 100$$

ผลการศึกษา

ผลการทดลองในห้องปฏิบัติการ

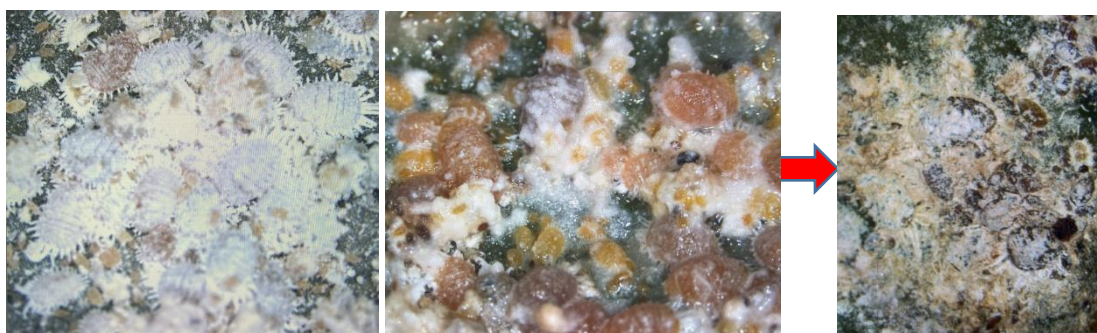
การทดลองเปรียบเทียบอัตราการตายของเพลี้ยแบ่งวงศ์ Pseudococcidae จากการฉีดพ่นสารละลายเปลือกไข่ จำนวน 4 Treatment ทำซ้ำ 3 ครั้ง ระหว่างเดือนตุลาคม-ธันวาคม 2566 ณ ห้องปฏิบัติการภาควิชากีฏวิทยา คณะเกษตร ม.เกษตรศาสตร์ กำแพงแสน พบว่าอัตราการตายของเพลี้ยแบ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (One-way ANOVA, $F = 170.43$, $p < 0.05$)

สารละลายเปลือกไข่ สูตรที่ 3 (ผงเปลือกไข่ 5 กรัม + CaCO_3 3 กรัม แช่น้ำ 1 ลิตร 24 ชั่วโมง) ฉีดพ่นปริมาณ 250 มิลลิลิตร ให้ผลอัตราการตายสูงสุด 28.5 ± 1.91 ตัว และการตายร้อยละ 57

ตารางที่ 1 ผลการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้สารละลายจากเปลือกไข่กำจัดเพลี้ยแป้งวงศ์ Pseudococcidae ห้องปฏิบัติการ ภาควิชากีฏวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน จังหวัดนครปฐม (ตุลาคม-ธันวาคม 2566)

Treatment	อัตราการตาย (Mean $\pm$ SD)	% การตาย
ไม่ฉีดพ่นสารละลาย (Control)	0.0 $\pm$ 0.0 ^c	0
สูตรที่ 1 (250 ml + CaCO ₃ 1 g)	25.0 $\pm$ 0.0 ^b	50
สูตรที่ 2 (250 ml + CaCO ₃ 2 g)	26.0 $\pm$ 0.8 ^b	52
สูตรที่ 3 (250 ml + CaCO ₃ 3 g)	28.5 $\pm$ 1.91 ^a	57

หมายเหตุ: ตัวเลขยกกำลังตัวอักษรต่างกันในแนวดิ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



ภาพที่ 3 เพลี้ยแป้งวงศ์ Pseudococcidae หลังฉีดพ่นสารละลายเปลือกไข่สูตรที่ 3 ในปริมาณ 250 มิลลิลิตร + CaCO₃ 3 กรัมในกรรมวิธีที่มีค่าเฉลี่ยการตายและร้อยละการตายสูงสุดในห้องปฏิบัติการ

ผลการทดลองในแปลงฝรั่ง

การทดลองสารละลายเปลือกไข่ต่อเพลี้ยแป้งวงศ์ Pseudococcidae ดำเนินการระหว่างเดือนพฤศจิกายน-ธันวาคม 2566 ในแปลงฝรั่งพันธุ์หวานพิรุณ ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร กำแพงแสน พบว่าอัตราการตายของเพลี้ยแป้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (One-way ANOVA, $F = 76.55$, $p < 0.05$) สารละลาย สูตรที่ 3 (ผงเปลือกไข่ 5 กรัม + CaCO₃ 3 กรัม แช่น้ำ 1 ลิตร 24 ชั่วโมง) ฉีดพ่นปริมาณ 250 มิลลิลิตร ให้ผลอัตราการตายสูงสุด 7.66 ± 0.57 ตัว และการตายร้อยละ 76.66

ตารางที่ 2 ผลการทดลองสารละลายเปลือกไข่ต่อเพลี้ยแป้งในแปลงฝรั่ง

Treatment	อัตราการตาย (Mean±SD)	% การตาย
Control	0.0±0.0 ^a	0.00
สูตรที่ 1 (250 ml + CaCO ₃ 1 g)	3.33± 0.57 ^b	33.33
สูตรที่ 2 (250 ml + CaCO ₃ 2 g)	5.33±0.57 ^c	53.33
สูตรที่ 3 (250 ml + CaCO ₃ 3 g)	7.66±0.57 ^d	76.66

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยอัตราการตายและเปอร์เซ็นต์การตายของแต่ละ Treatment แสดง

ใน ตาราง 2 โดยตัวอักษร a, b, c แสดงความแตกต่างทางสถิติด้วย Duncan's multiple range test ที่ระดับ 95% confidence level ($p > 0.05$)



ภาพที่ 4 เพลี้ยแป้งวงศ์ *Psuedococcidae* หลังฉีดพ่นสารละลายเปลือกไข่สูตรที่ 3 ใน ปริมาณ 250 มิลลิลิตร + CaCO₃ 3 กรัม มีค่าเฉลี่ยการตายและร้อยละการตายสูงสุดใน แปลงทดลอง

วิจารณ์

กลไกการออกฤทธิ์และประสิทธิภาพของสารละลายเปลือกไข่ต่อเพลี้ยแป้งวงศ์ Pseudococcidae เมื่อสารละลายเปลือกไข่ในรูปคอลลอยด์สัมผัสกับเพลี้ยแป้ง จะสามารถทำลาย ชั้นไขมันป้องกันตัว (protective wax layer) ที่คลุมตัวเพลี้ยแป้ง ชั้นไขมันนี้เป็นอุปสรรคสำคัญที่ทำให้เพลี้ยแป้งมีความต้านทานต่อสารเคมีทั่วไป สารละลายเปลือกไข่แตกต่างจากสารเคมีทั่วไปตรงที่สามารถทำลายชั้นไขมันป้องกันตัวก่อน จากนั้นอนุภาคผงแคลเซียมคาร์บอเนตและสารออกฤทธิ์จะเข้าสู่ตัวเพลี้ยแป้งและก่อให้เกิดการตาย กลไกนี้อยู่ระหว่างการศึกษาอีกเพื่อทำความเข้าใจขั้นตอนการออกฤทธิ์

ผลการทดลองในห้องปฏิบัติการพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในอัตราการตายของเพลี้ยแป้งทั้งสี่กรรมวิธี ($p < 0.05$, $F = 170.43$, Sig. of $F = 0.00$) สูตรที่มีประสิทธิภาพสูงสุดคือ สูตรที่ 3 (ผงเปลือกไข่ 5 กรัม + CaCO_3 3 กรัม แช่น้ำ 1 ลิตร 1 วัน และเติม CaCO_3 เพิ่ม 3 กรัมต่อ 250 มิลลิลิตร สำหรับฉีดพ่น) มีค่าเฉลี่ยอัตราการตายสูงสุด 28.5 ± 1.91 และการตายร้อยละ 57 ผลลัพธ์นี้สอดคล้องกับผลในแปลงทดลอง การเพิ่ม CaCO_3 ร่วมกับสารละลายเปลือกไข่ช่วยเสริมประสิทธิภาพการกำจัดเพลี้ยแป้งเนื่องจาก CaCO_3 จากเปลือกไข่เหลือทิ้งสามารถก่อให้เกิดอัตราการตายของแมลงศัตรูพืชได้อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ US EPA [4] และ European Patent Office [5] ที่ระบุว่า CaCO_3 จากเปลือกไข่และเปลือกหอยสามารถป้องกันและกำจัดแมลงศัตรูพืชได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมทั้งปลอดภัยต่อสิ่งมีชีวิตอื่นและสิ่งแวดล้อม

ในด้านความเสี่ยงต่อการดื้อยาของแมลงศัตรูพืช การใช้สารละลายจากเปลือกไข่ในระยะสั้นยังไม่ก่อให้เกิดความต้านทาน เนื่องจากแมลงต้องอาศัยเวลาหลายรุ่นในการพัฒนาความต้านทานต่อสารใหม่ [6] ดังนั้น สารละลายจากเปลือกไข่ถือเป็น biopesticide ใหม่ ที่สามารถนำมาใช้แก้ปัญหาแมลงศัตรูพืชในปัจจุบันได้อย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน [7]

สรุป

การพัฒนาผลิตภัณฑ์จากเปลือกไข่โรงฟักสนับสนุนนโยบายโมเดลเศรษฐกิจ BCG โดยสามารถสร้างมูลค่าให้กับเปลือกไข่เหลือทิ้งจากโรงฟักไข่และอุตสาหกรรมอาหาร [8] ซึ่งปกติต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงในการกำจัด งานวิจัยครั้งนี้นำเปลือกไข่เหลือทิ้งคงรูปทั้งหมดไปแปรรูปเป็น ผงเปลือกไข่ละเอียด (submicron) ผ่านต้นแบบโรงงานขนาดเล็ก (Nanofactory) และสามารถถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่เกษตรกรในชุมชน ผู้เลี้ยงไก่ และโรงฟักไข่ผงเปลือกไข่ที่ได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรอย่างครบวงจร โดยโปรตีนและสารประกอบซัลเฟอร์อินทรีย์ที่ปกติจะต้องถูกกำจัด ถูกเปลี่ยนเป็นสารที่สามารถใช้เป็น สารกำจัดแมลงศัตรูพืชโดยเฉพาะในกลุ่มเพลี้ยแป้ง ผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ พบว่า

สารละลายเปลือกไข่สูตรที่มีประสิทธิภาพสูงสุดคือ ผงเปลือกไข่ 5 กรัม + CaCO_3 3 กรัม
 แช่น้ำ 1 ลิตร 1 วัน และเติม CaCO_3 เพิ่ม 3 กรัม สำหรับฉีดพ่น 250 มิลลิลิตร มีค่าเฉลี่ย
 อัตราการตายของเพลี้ยแป้งสูงสุด 28.5 ± 1.91 และการตายร้อยละ 57

ผลการทดสอบในแปลงฝรั่งพันธุ์หวานพิรุณพบว่าสูตรเดียวกันมีค่าเฉลี่ยอัตราการ
 ตายสูงสุด 7.66 ± 0.57 และการตายร้อยละ 76.66 ซึ่งบ่งชี้ว่าสารละลายจากเปลือกไข่มี
 ประสิทธิภาพทั้งในระดับห้องปฏิบัติการและในสภาพแวดล้อมจริง ทั้งนี้ ผู้วิจัยเห็นความ
 จำเป็นที่จะพัฒนาสารป้องกันกำจัดแมลงชนิดใหม่ๆ ที่สามารถจัดการเพลี้ยแป้งและแมลง
 ศัตรูพืชกลุ่มอื่นได้หลากหลายชนิด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพืชโดยไม่ต้องพึ่งพายาฆ่า
 แมลง [9] และสร้างความปลอดภัยต่อผู้บริโภคและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยในครั้งนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยและนวัตกรรมจากสำนักงานการวิจัย
 แห่งชาติ พ.ศ.2566

เอกสารอ้างอิง

1. Rahman M.M, Islam M.S, Hossain M.K. Valorization of eggshell waste for agricultural and environmental applications: A review. Journal of Environmental Management 2020;263:110426
2. Santos R.D, Eggshell powder as a natural insecticide and soil amendment: Efficiency and environmental safety. Ecotoxicology and Environmental Safety 2019;180:384–391.
3. Abd El-Salam H.M, Mohamed, S.R. Bioinsecticidal effects of calcium carbonate from eggshells against common agricultural pests. Journal of Plant Protection Research 2021;61(2):123–131.
4. United State Environmental Protection Agency. Insecticide types and their modes of action; 2026 [updated 2026 Jan 22; cited 2026 Jun 23]. Available from: <https://www.epa.gov/caddis/insecticides>
5. European Patent Office. Calcium carbonate for plant protection [Internet]. 2019 Feb 12 [cited 2026 Jun 23]. Available from: <https://data.epo.org/publication-server/rest/v1.0/publicationdates/20180214/patents/EP3033944NWB1/document.pdf>

6. ชัยวัฒน์ จันทรพิทักษ์. แผลงสามารถดื้อสารเคมีกำจัดแมลงได้จริงหรือ? [อินเทอร์เน็ต]. 2559 [เข้าถึงเมื่อ 23 มิ.ย. 2569]. เข้าถึงได้จาก <http://dr-chaiwat-chanpitak.blogspot.com/2016/08/blog-post.html> 2016.
7. Shah R, Patel K. Sustainable utilization of agro-industrial waste in pest management: A review. *Waste and Biomass Valorization* 2020;11:4215–4230.
8. López R. Eggshell waste as a source of calcium for crop protection and soil amendment: Perspectives for circular economy. *Journal of Cleaner Production* 2018;2021:034–1042.
9. Mahmoud F M. Eco-friendly pest management using eggshell-derived calcium carbonate nanoparticles. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2022;70(18):5550–5560.