

การพัฒนาเม็ดปลดปล่อยจากสารสกัดจากใบสาบเสือผสมปุ๋ยมูลไก่
เพื่อประยุกต์ใช้สำหรับไล่หอยทากในพืชกินใบ

Development of Controlled-Release Pellets Incorporating Siam Weed (*Chromolaena odorata*) Leaf Extract and Chicken Manure Fertilizer for Snail Repellence in Leafy Crop

จิตติรดา บุญผ่อง¹ วรณิก พัฒนา¹

ปฎิภาณ ภักดีโต¹

¹โรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬารามราชวิทยาลัย กำแพงเพชร 339 หมู่ 3 ถนนกำแพงเพชร-สุโขทัย

ต.หนองปลิง อ.เมือง จังหวัดกำแพงเพชร 62000

*E-mail: pcschskp@sesapkpp.go.th

บทคัดย่อ

การระบาดของหอยทากเป็นปัญหาสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อการผลิตพืชกินใบ แม้ว่าสารสกัดจากใบสาบเสือ (*Chromolaena odorata*) จะมีฤทธิ์ไล่หอยทาก แต่สารออกฤทธิ์เสื่อมสภาพและถูกชะล้างได้รวดเร็ว ส่งผลให้ต้องพ่นซ้ำหลายครั้ง งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเม็ดควบคุมการปลดปล่อยสารจากสารสกัดใบสาบเสือร่วมกับปุ๋ยมูลไก่ ศึกษาสูตรที่เหมาะสม พฤติกรรมการปลดปล่อยสารออกฤทธิ์และธาตุอาหาร รวมทั้งประเมินประสิทธิภาพในการไล่หอยทาก เม็ดปลดปล่อยเตรียมจากแป้งมันสำปะหลังและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส และเคลือบด้วยกัมอารบิก และโคโตซาน จากนั้นวิเคราะห์การปลดปล่อยสารด้วยเครื่อง UV-Visible Spectrophotometer และทดสอบประสิทธิภาพในแปลงทดลองจำลอง ผลการศึกษาพบว่าสูตรสารสกัดใบสาบเสือ : ปุ๋ยมูลไก่ : แป้งมันสำปะหลัง : คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส : กัมอารบิก : โคโตซาน อัตราส่วน 1 : 4 : 1 : 3 : 1 : 3 ให้สมบัติของเม็ดปลดปล่อยเหมาะสมที่สุด สามารถปลดปล่อยสารสกัดใบสาบเสือได้อย่างต่อเนื่องนาน 192 ชั่วโมง พร้อมปลดปล่อยธาตุไนโตรเจนอย่างต่อเนื่อง และลดความเสียหายของใบผักจากหอยทากเหลือเพียงร้อยละ 1.01 เมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่มีความเสียหายร้อยละ 16.08 อีกทั้งมีประสิทธิภาพสูงกว่าการใช้สารสกัดใบสาบเสือโดยตรง ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าเม็ดควบคุมการปลดปล่อยที่พัฒนาขึ้นสามารถยืดระยะเวลาการออกฤทธิ์ของสารสกัด ควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหาร และเพิ่มประสิทธิภาพในการป้องกันความเสียหายจากหอยทาก จึงมีศักยภาพในการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ชีวภาพสำหรับการจัดการศัตรูพืช และส่งเสริมการเกษตรอย่างยั่งยืน

คำสำคัญ : Controlled-release granule, *Chromolaena odorata* extract, Leafy Crops

1. บทนำ

การระบาดของหอยทากเป็นปัญหาสำคัญในการผลิตพืชผักกินใบ เนื่องจากหอยทากกัดกินใบและลำต้น ส่งผลให้ผลผลิตและคุณภาพทางการค้าลดลง เกษตรกรส่วนใหญ่นิยมใช้สารเคมีกำจัดหอยทาก (กองวิจัยและพัฒนาพืชสวนและสำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร, 2565) ซึ่งอาจก่อให้เกิดสารตกค้างและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

จึงมีการศึกษาสารสกัดจากพืชธรรมชาติเป็นทางเลือก โดยเฉพาะใบสาบเสือ (*Chromolaena odorata*) ซึ่งมีรายงานว่ามีการประกอบพืชนอกและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สามารถไล่หอยทากได้ (ดารารพร รินทะรักษ์ และคณะ, 2564) อย่างไรก็ตาม สารสกัดดังกล่าวเสื่อมสภาพและถูกชะล้างได้ง่ายเมื่อใช้งานในสภาพแวดล้อมจริงทำให้ต้องพ่นซ้ำหลายครั้งและลดประสิทธิภาพในการใช้งาน การพัฒนาระบบควบคุมการปลดปล่อยสาร (Controlled-

release system) เป็นแนวทางที่ช่วยยืดระยะเวลาการออกฤทธิ์ของสารชีวภาพและลดความถี่ในการใช้งาน (นลินา ประไพรัชสิทธิ์ และพรวิภา งามศิริ, 2550)

งานวิจัยนี้จึงพัฒนาเม็ดควบคุมการปลดปล่อยจากสารสกัดใบสาบเสือร่วมกับพอลิเมอร์ โดยใช้แป้งมันสำปะหลัง คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส กัมอารบิก และโคโตซานเป็นวัสดุขึ้นรูปและเคลือบเม็ด เพื่อศึกษาสูตรที่เหมาะสม พฤติกรรมการปลดปล่อยสารออกฤทธิ์ และธาตุอาหาร รวมทั้งประเมินประสิทธิภาพในการไล่หอยทาก อันจะเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ชีวภาพที่สามารถจัดการศัตรูพืชควบคู่กับการบำรุงดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. วิธีการดำเนินงาน

2.1 การเตรียมสารสกัดใบสาบเสือและพอลิเมอร์

นำใบสาบเสือ 100 กรัม ผสมกับเอทานอล 95% ปริมาตร 200 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปปั่นให้ละเอียดแล้วแช่ในเอทานอลบนเครื่องเขย่าสารละลายเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และกรองให้เหลือแต่ส่วนที่เป็นสารละลาย จากนั้นนำไปประเหยเอทานอลออกด้วยเครื่อง Rotary evaporator เป็นเวลา 4 ชั่วโมง และนำพอลิเมอร์ไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง และร่อนให้ละเอียด

2.2 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการขึ้นรูปของเม็ดปลดปล่อย

การขึ้นรูปเม็ดปลดปล่อยแต่ละสูตรโดยนำสารสกัดใบสาบเสือ 5 กรัม มาผสมกับผงคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส พอลิเมอร์ แป้งมันสำปะหลัง และน้ำกลั่น แล้วนำมาปั่นให้เป็นทรงกลมโดยให้แต่ละเม็ดมีมวลประมาณ 0.15 ± 0.1 กรัม ตามรายละเอียดดังตารางที่ 1 โดยทำการเคลือบชั้นที่ 1 โดยนำเม็ดปลดปล่อยที่อบเสร็จแล้วมา Dip (จุ่ม) ลงในสารละลายกัมอารบิก แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทำการเคลือบชั้นที่ 2 โดยนำเม็ดปลดปล่อยที่อบชั้นที่ 1 เสร็จแล้วมา Dip (จุ่ม) ลงในสารละลายโคโตซานที่ผสมกับสารสกัดใบสาบเสือ 5 กรัม แล้วนำไปอบเช่นเดิม

ตารางที่ 1 อัตราส่วนของสารสกัดใบสาบเสือ, แป้งมันสำปะหลัง, พอลิเมอร์, คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส, กัมอารบิก, โคโตซาน และน้ำกลั่น ในการขึ้นรูปเม็ดปลดปล่อย

สูตรที่	1	2	3
สารสกัดใบสาบเสือ (g)	5	5	5
พอลิเมอร์ (g)	25	20	15
แป้งมันสำปะหลัง (g)	15	5	10
คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (CMC) (g)	10	15	10
กัมอารบิก (g)	5	5	5
โคโตซาน (g)	15	15	15
น้ำกลั่น (g)	5	5	10

นำเม็ดปลดปล่อยที่ได้ไปชั่งมวลหลังการอบพร้อมสังเกตพื้นผิวเม็ดปลดปล่อยด้วยกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอ วัดเส้นผ่านศูนย์กลางเพื่อคำนวณหาความหนาแน่นของเม็ด จากนั้นนำเม็ดปลดปล่อยแช่น้ำเป็นระยะเวลา 12 ชั่วโมงแล้ววัด pH สารละลาย และชั่งมวลทั้งก่อนและหลังแช่น้ำ พร้อมคำนวณหาร้อยละการบวมตัว (%Swelling)

$$\%Swelling = \left(\frac{W_t - W_0}{W_0} \right) \times 100$$

เมื่อ W_0 = มวลของเม็ดปลดปล่อยก่อนแช่น้ำ (g)

W_t = มวลของเม็ดปลดปล่อยหลังแช่น้ำ (g)

2.3 ศึกษาประสิทธิภาพของเม็ดปลดปล่อยผสมสารสกัดจากใบสาบเสือในการไล่หอยทาก และปลดปล่อยธาตุอาหาร

ศึกษาประสิทธิภาพของเม็ดปลดปล่อยผสมสารสกัดจากใบสาบเสือในการไล่หอยทากและปลดปล่อยธาตุอาหารในการเปลี่ยนค่าการดูดกลืนแสงให้เป็นค่าความเข้มข้นของสาร (mg/L) ที่ปลดปล่อยออกมา โดยเทียบค่าการดูดกลืนแสงกับกราฟมาตรฐาน (standard curve) ของสารแต่ละชนิดมีรายละเอียด ดังนี้ การวัดปริมาณของสารสกัดด้วยค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 274 นาโนเมตรด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer ธาตุไนโตรเจน (N) ได้ประยุกต์ใช้เทคนิค Ultraviolet

Spectrophotometric Screening Method ซึ่งเป็นวิธีการวัดปริมาณไนโตรเจนในรูปของไนเตรทไอออน (NO_3^-) จากโพแทสเซียมไนเตรทให้มีความเข้มข้นในช่วง 0.2 - 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร เติมน้ำสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 1 นอร์มอล ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในสารตัวอย่างปริมาตร 50 มิลลิลิตร เพื่อทำลายสารรบกวนกลุ่มคาร์บอเนตและไฮดรอกไซด์ แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 220 นาโนเมตร และวัดที่ความยาวคลื่น 275 นาโนเมตร เพื่อใช้หักล้างค่าความคลาดเคลื่อนจากสารอินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำการตรวจวัดธาตุซัลเฟอร์(S) ได้ประยุกต์ใช้เทคนิค Turbidimetric Method ซึ่งเป็นการวัดปริมาณซัลเฟอร์ในรูปของซัลเฟตไอออน (SO_4^{2-}) เริ่มจากเตรียมสารละลายมาตรฐานซัลเฟตจากโซเดียมซัลเฟตให้มีความเข้มข้นในช่วง 5 - 40 มิลลิกรัมต่อลิตร นำสารตัวอย่างมาเติมน้ำสารละลายบัพเฟอร์ที่ประกอบด้วยแมกนีเซียมคลอไรด์และกรดอะซิติก เพื่อควบคุมสภาวะความเป็นกรด-ด่าง จากนั้นเติมผลึกแบเรียมคลอไรด์แล้วทำการคนสารอย่างสม่ำเสมอเป็นเวลา 1 นาที เพื่อให้เกิดตะกอนแขวนลอยของแบเรียมซัลเฟต แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 350 นาโนเมตร

2.4 ตรวจสอบประสิทธิภาพการไล่หอยทากของเม็ดปลดปล่อยผสมสารสกัดจากใบสาบเสือ

สร้างแปลงจำลองการปลูกพืชกินใบ โดยใช้ใบกะหล่ำปลีขนาด 30 x 90 cm จำนวน 2 แปลง แปลงที่ 1 แบ่งเป็น 2 บริเวณ โดยด้านขวาเป็นบริเวณที่มีการใช้สารสกัดจากใบสาบเสือ และด้านซ้ายเป็นบริเวณที่ไม่มีการใช้สารสกัดจากใบสาบเสือ และแปลงที่ 2 แบ่งเป็น 2 บริเวณ โดยด้านขวาเป็นบริเวณที่มีการใช้เม็ดปลดปล่อยผสมสารสกัดจากใบสาบเสือ สูตรที่ 2 จากนั้นปล่อยหอยทากยักษ์แอฟริกา และหอยทากสวน จำนวนอย่างละ 10 ตัว ลงบริเวณกึ่งกลางของแต่ละแปลง ถ่ายรูปและบันทึกปริมาณความหนาแน่นของหอยทาก และความเสียหายของใบกะหล่ำปลี ทุก ๆ 2 ชั่วโมง เป็นเวลา 8 วัน

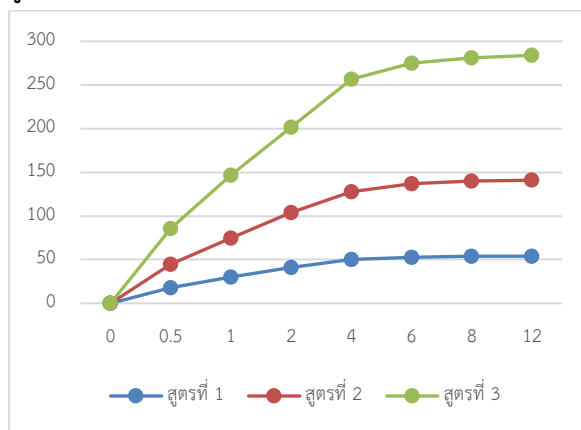
3. ผลการทดลอง

3.1 ผลศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการขึ้นรูปของเม็ดปลดปล่อย

จากการทดลองศึกษาคุณสมบัติต่าง ๆ ของเม็ดปลดปล่อยทั้ง 3 สูตรพบว่าเม็ดปลดปล่อยสูตรที่ 2 มีความเหมาะสมในการขึ้นรูปด้านการคงรูป ความหนาแน่น ร้อยละการบวมตัว และ pH ดังตารางที่ 2 และภาพที่ 1 ตารางที่ 2 ศึกษาสมบัติของเม็ดปลดปล่อยทั้ง 3 สูตร

สูตร	ความคงรูป	ความหนาแน่น (g/cm^3)	Swelling (%)	pH
1	ดี	0.86 ± 0.03	54.3 ± 2.1	6.42
2	ดีมาก	0.93 ± 0.02	86.7 ± 3.4	6.58
3	ปานกลาง	0.71 ± 0.05	142.6 ± 5.8	6.71

รูปที่ 1 กราฟเปรียบเทียบร้อยละการบวมตัวของสารเทียบเวลา

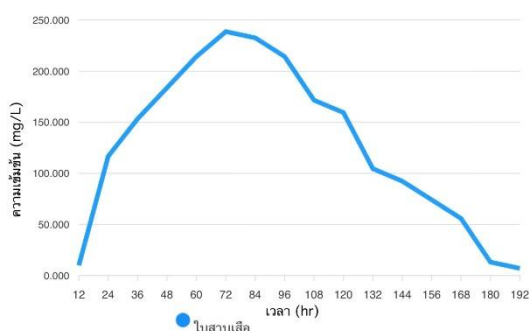


3.2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของเม็ดปลดปล่อยผสมสารสกัดจากใบสาบเสือในการไล่หอยทาก และปลดปล่อยธาตุอาหาร

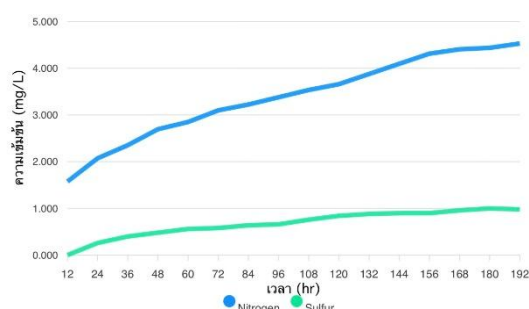
ในการวิเคราะห์พฤติกรรมการปลดปล่อยสาร ได้ทำการแปลงค่าการดูดกลืนแสงให้เป็นค่าความเข้มข้นจริงในหน่วยมิลลิกรัมต่อลิตร ผ่านความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงที่ได้จากกราฟมาตรฐานของสารแต่ละชนิด โดยสารสกัดใบสาบเสือที่วัดความยาวคลื่น 274 นาโนเมตร ได้สมการเส้นตรงคือ $y = 1.6412x + 0.2883$ มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ R^2 เท่ากับ 0.9963 ขณะที่ธาตุไนโตรเจนที่วัดความยาวคลื่น 220 นาโนเมตร ได้สมการ

เส้นตรงคือ $y=0.3215x+0.0542$ มีค่า R^2 เท่ากับ 0.9965 และธาตุซัลเฟอร์ที่วัดความยาวคลื่น 350 นาโนเมตร ได้สมการเส้นตรงคือ $y=0.5012x+0.1305$ ได้ค่า R^2 เท่ากับ 0.9961 โดยกำหนดให้ตัวแปร y แทนค่าการดูดกลืนแสง และตัวแปร x แทนค่าความเข้มข้นของสารในการพยากรณ์ข้อมูลย้อนกลับ

รูปที่ 2 กราฟแสดงผลการปลดปล่อยสารสกัดใบสาบเสือของเม็ดปลดปล่อยเป็นระยะเวลา 8 วัน



รูปที่ 3 กราฟแสดงผลการปลดปล่อยแร่ธาตุไนโตรเจนและซัลเฟอร์ในปุ๋ยของเม็ดปลดปล่อยเป็นระยะเวลา 8 วัน



จากรูปที่ 2 และ 3 เมื่อนำค่าความเข้มข้นดังกล่าวมาพิจารณาพร้อมกับระยะเวลาในการทดลองตลอด 192 ชั่วโมง หรือ 8 วัน พบว่าสารแต่ละชนิดมีลักษณะและพฤติกรรมปลดปล่อยที่จำเพาะ โดยในช่วงเริ่มต้นของการทดลองจะปรากฏลักษณะของระยะพัก (Lag time) ซึ่งเป็นช่วงที่ตัวทำละลายเริ่มซึมผ่านชั้นฟิล์มพอลิเมอร์เข้าสู่ภายในเม็ด ปรากฏการณ์นี้สามารถอธิบายได้ด้วยกลไกการบวมตัวของพอลิเมอร์ชีวภาพ เมื่อโครงสร้างไคโตซานสัมผัสกับน้ำ หมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิลและหมู่ฟังก์ชันอะมิโนจะสร้างพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของน้ำ ส่งผลให้สายโซ่พอลิเมอร์ขยายตัวและเกิดช่องว่าง (Free volume) ที่ยอมให้สารละลายภายในแพร่ออกสู่ภายนอกได้ หลังจากสิ้นสุดระยะพักตัว สารสกัดจาก

ใบสาบเสือจะถูกปลดปล่อยออกมาอย่างต่อเนื่องจนมีความเข้มข้นสูงสุดในชั่วโมงที่ 72 ที่ระดับ 238.7 มิลลิกรัมต่อลิตร ก่อนที่จะมีแนวโน้มลดลงอย่างช้าๆ ตามรูปแบบที่แสดงในรูปที่ 2 พฤติกรรมนี้สอดคล้องกับกลไกการแพร่ผ่านชั้นฟิล์มผสมระหว่างไคโตซานและกัมอารบิก ที่ช่วยให้การส่งผ่านสารออกฤทธิ์เป็นไปได้อย่างสม่ำเสมอ ส่งผลให้สารสำคัญสามารถทำหน้าที่ยับยั้งเอนไซม์อะเซทิลโคลีนเอสเตอเรส (AChE) ในระบบประสาทของหอยทากได้อย่างยาวนานและมีเสถียรภาพสูงกว่าการฉีดพ่นสารสกัดสดโดยตรงอย่างมีนัยสำคัญ

3.3 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการไล่หอยทาก

ตารางที่ 3 ผลของเม็ดปลดปล่อยสารสกัดใบสาบเสือต่อพื้นที่ใบและความเสียหายของใบผักกะหล่ำจากการเข้าทำลายของหอยทากหลังการทดลอง 12 ชั่วโมง

การทดลอง	พื้นที่ใบหลัง 12 ชั่วโมง (cm ²)	ร้อยละความเสียหาย
ไม่มีเม็ดปลดปล่อย	190.48 ± 8.12	16.08 ± 1.25
มีเม็ดปลดปล่อย	251.47 ± 5.36	1.01 ± 0.42

4. สรุปผลและอภิปรายผล

จากการเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของเม็ดปลดปล่อยทั้ง 3 สูตร พบว่าสูตรที่ 2 ซึ่งมีอัตราส่วนของสารสกัดใบสาบเสือ ปุ๋ยมูลไก่ แป้งมันสำปะหลัง คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส กัมอารบิก และไคโตซาน เท่ากับ 1 : 4 : 1 : 3 : 1 : 3 เป็นสูตรที่มีความเหมาะสมสูงสุดในการขึ้นรูป เนื่องจากมีความคงตัวทางโครงสร้างสูง มีความหนาแน่นและอัตราการบวมตัว (Swelling) อยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการควบคุมการปลดปล่อยสาร พฤติกรรมการบวมตัวของสูตรที่ 2 แสดงให้เห็นถึงการดูดซับน้ำอย่างรวดเร็วในระยะแรกก่อนเข้าสู่ภาวะสมดุล ซึ่งบ่งชี้ว่าโครงข่ายพอลิเมอร์สามารถกักเก็บน้ำและรักษารูปทรงของเม็ดไว้ได้แตกต่างจากสูตรที่ 1 ที่มีการบวมตัวต่ำทำให้การแพร่ของสารเกิดได้จำกัด และสูตรที่ 3 ที่มีการบวมตัวสูงเกินไปจนเม็ดสูญเสียความแข็งแรงและปลดปล่อยสารออกฤทธิ์เร็วเกินไป (Burst release) ปรากฏการณ์นี้สอดคล้องกับทฤษฎีที่ระบุว่า

ระดับการบวม น้ำของวัสดุห่อหุ้มมีผลโดยตรงต่ออัตราการแพร่ของสารในระบบควบคุมการปลดปล่อย (Shaviv, 2001) อีกทั้งยังสอดคล้องกับงานวิจัยที่พบว่าระบบพอลิเมอร์ผสมแอลจินต-ไคโตซานสามารถหน่วงการปลดปล่อยสารได้อย่างมีประสิทธิภาพ (นลินา ประไพรักษสิทธิ์ และพรธัมมา งามศิริ, 2550) รวมถึงการใช้วัสดุพอลิเมอร์ชีวภาพร่วมกับแป้งจะช่วยเพิ่มเสถียรภาพและควบคุมอัตราการปลดปล่อยธาตุอาหารได้อย่างต่อเนื่อง (รุ่งระวี ศิริบุญนาม และสุปราณี แก้วภิรมย์, 2562)

ด้านการวิเคราะห์พฤติกรรมของการปลดปล่อยสาร ผลการสร้างกราฟมาตรฐานของสารสกัดใบสาบเสือธาตุไนโตรเจน และธาตุซัลเฟอร์ ให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ R^2 ที่สูงกว่า 0.99 ซึ่งยืนยันถึงความน่าเชื่อถือและมีความสัมพันธ์เชิงเส้นที่แม่นยำสำหรับการคำนวณความเข้มข้นของสาร เมื่อประเมินอัตราการปลดปล่อยพบว่า สารสกัดจากใบสาบเสือมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุดในช่วงเวลา 72 ชั่วโมง ก่อนจะค่อย ๆ ลดลงในช่วงปลายของการทดลอง ในขณะที่ธาตุไนโตรเจนและซัลเฟอร์มีแนวโน้มถูกปลดปล่อยเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาการทดลอง พฤติกรรมดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่าเมื่อดัดแปลงสามารถควบคุมการกระจายตัวของสารได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสารสกัดใบสาบเสือถูกควบคุมผ่านการแพร่ (Diffusion) ออกจากช่องว่างของโครงข่ายพอลิเมอร์ ส่วนธาตุอาหารจากปุ๋ยมูลไก่เกิดจากการค่อย ๆ ละลายผ่านเนื้อวัสดุเคลือบ ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของระบบควบคุมการปลดปล่อย (Shaviv, 2001) และมีแนวโน้มสอดคล้องกับการศึกษาปุ๋ยไฮโดรเจลที่พบว่าระบบดังกล่าวสามารถค่อย ๆ ปลดปล่อยธาตุอาหาร ส่งผลให้สารบำรุงคงอยู่ในระบบนิเวศการปลูกพืชได้ยาวนานยิ่งขึ้น (รุ่งระวี ศิริบุญนาม และสุปราณี แก้วภิรมย์, 2562)

ผลการทดสอบประสิทธิภาพในการควบคุมศัตรูพืช พบว่าเมื่อดัดแปลงสามารถลดอัตราความเสียหายของใบกะหล่ำปลีจากการเข้าทำลายของหอยทากลงเหลือเพียงร้อยละ 1.01 อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่พบความเสียหายถึงร้อยละ 16.08 และให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าการใช้สารสกัดใบสาบเสือ

แบบฉีดพ่นโดยตรง สิ่งนี้เป็นข้อพิสูจน์ว่าระบบควบคุมการปลดปล่อยสามารถยืดระยะเวลาการออกฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสำคัญ ทำให้ป้องกันการเข้าทำลายของหอยทากได้อย่างต่อเนื่อง โดยกลไกนี้สอดคล้องกับการศึกษารายงานที่กล่าวว่ากลุ่มสารประกอบในใบสาบเสือ ได้แก่ สารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ สติกมาสเตอร์อล (Stigmasterol) และเฮกซาโคซานอล (Hexacosanol) มีคุณสมบัติในการยับยั้งเอนไซม์อะเซทิลโคลีนเอสเตอเรส (AChE) ซึ่งส่งผลกระทบต่อระบบประสาท ทำให้การเคลื่อนไหวและพฤติกรรมการกินของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังลดลง (Gade และคณะ, 2017) ข้อมูลดังกล่าวยังได้รับการสนับสนุนจากคำอธิบายที่ว่า การลดการกินอาหารและการจำกัดการเคลื่อนไหวของหอยทากเป็นกลไกสำคัญที่ช่วยลดความเสียหายของพืชปลูกได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Barker, 2002) จึงแสดงให้เห็นว่าเมื่อดัดแปลงสารสกัดใบสาบเสือร่วมกับปุ๋ยมูลไก่ที่พัฒนาขึ้น มีศักยภาพสูงในการประยุกต์ใช้เป็นผลิตภัณฑ์ชีวภาพสำหรับการจัดการศัตรูพืชในผักกินใบ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ปฎิภาณ ภักดีโต อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน ผู้ให้ทั้งความรู้ ความช่วยเหลือ คำชี้แนะ รวมทั้งให้หลักการและข้อคิดเห็นต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อศิษย์

ขอขอบพระคุณ โรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬารามราชวิทยาลัย พิษณุโลก และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือ เอื้อเฟื้อสถานที่ วัสดุอุปกรณ์ต่างๆ สำหรับทำการศึกษาค้นคว้า และสร้างองค์ความรู้

เอกสารอ้างอิง

กองวิจัยและพัฒนาพืชสวน และสำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร. (2563). การสำรวจการระบาดของหอยทากบกในพื้นที่เกษตรกรรมแบบผสมผสาน. กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

- คาราพร รินทะรักษ์, ณัฐฐิญา กาญจนนิธิพัฒน์, อภินันท์
 เอี่ยมสุวรรณสุข และทรงทัฬห แก้วดา. (2564). สํารวจ
 ความหลากหลายชนิดหอยทากบก ศัตรูพืชในระบบนิเวศ
 เกษตรและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ: กรมวิชาการ
 เกษตร.
- นลินา ประไพรัชสิทธิ์ และพรธัมภา งามศิริ. (2550).
 การเตรียมและศึกษาการปลดปล่อยแบบควบคุมของ
 ยาอะม็อกซิซิลลินจากบีดแอลจินต-ไคโตซาน. วารสาร
 วิทยาศาสตร์ มศว. 23(2): 39-52
- รุ่งระวี ศิริบุญนาม และสุปราณี แก้วภิรมย์. (2562).
 ผลของกลูตารัลดีไฮด์และแป้งมันสำปะหลังต่อสมบัติ
 และการปลดปล่อยฟอสฟอรัสของปุ๋ยไคโตซานไฮโดร
 เจล. วารสารวิชามหาวิทยาลัยราชภัฏ
- Gade, S., Rajamanikam, M., Vadlapudi, V.,
 Nukala, K. M., Aluvala, R., Giddigari, C., ... &
 Upadhyayula, S. M. (2017).
 Acetylcholinesterase inhibitory activity of
 stigmaterol & hexacosanol is responsible for
 larvicidal and repellent properties of
 Chromolaena odorata. Biochimica et
 Biophysica Acta (BBA) - General
 Subjects. 1861(3): 541-550
- Barker G.M. (2002). Molluscs as crop
 pests. Wallingford: CABI Publishing.
- Shaviv, A. (2001). Advances in controlled-
 release fertilizers. Advances in
 Agronomy. 71: 1-49.
- APHA, AWWA, WEF. (2017). Standard Methods for
 the Examination of Water and Wastewater
 (23rd ed.). Washington, D.C.: American Public
 Health Association. (Part 4500-NO3- B.
 Ultraviolet Spectrophotometric Screening
 Method และ Part 4500-SO42- E. Turbidimetric
 Method)
- HACH Company. (2014). Nitrate, UV Screening
 Method 10020. Retrieved from
<https://www.hach.com/asset->
[get.download.jsa?id=7639983733](https://www.hach.com/asset-get.download.jsa?id=7639983733)
- US EPA. (1978). Method 375.4: Sulfate
 (Turbidimetric). Retrieved
 from [https://www.epa.gov/sites](https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-08/documents/method_375-4_1978.pdf)
[/default/files/2015-](https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-08/documents/method_375-4_1978.pdf)
[08/documents/method_375-4_1978.pdf](https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-08/documents/method_375-4_1978.pdf)