



การพัฒนาผลิตภัณฑ์ชีวภาพจากสารสกัดสะเดาและขมิ้นชันเพื่อกำจัดมอดในข้าวสาร
Development of Biological Products from Neem and Turmeric Extracts
To Eradicate Rice Weevils

สัชฌุกร นาคมทอง ชิตราพัทธ์ อินาลา

วัชรารักษ์ แสนนา¹

¹โรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬารามราชวิทยาลัย บุรีรัมย์ ตำบลสตึก อำเภอสตึก จังหวัดบุรีรัมย์ 31150

Email : satchukorn0612@gmail.com

บทคัดย่อ

โครงการเรื่องการพัฒนาผลิตภัณฑ์ชีวภาพจากสารสกัดสะเดาและขมิ้นชันเพื่อกำจัดมอดในข้าวสาร . มีวัตถุประสงค์เพื่อสกัดสารอะซาไดแรคตินและเคอร์คูมินจากเมล็ดสะเดาและขมิ้นชัน สำหรับนำมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ชีวภาพ และนำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดมอดข้าวสาร (*Sitophilus oryzae*)ในรูปแบบผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป 3 รูปแบบที่มีลักษณะการควบคุมการปลดปล่อยสารที่ต่างกัน กระบวนการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ตอน ตอนที่ 1 สกัดสารจากเมล็ดสะเดาและขมิ้นชันเพื่อนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบและปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในสารสกัดด้วยเทคนิค High Performance Liquid Chromatography (HPLC) ตอนที่ 2 นำสารสกัดจากสะเดาและขมิ้นชันมาทำการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ชีวภาพ 3 รูปแบบ ได้แก่ ถุงสมุนไพร เม็ดปิดสั และสมุนไพรอัดเม็ด ด้วยกระบวนการทางเคมีพอลิเมอร์ร่วมกับ พอลิเมอร์ธรรมชาติ จากนั้นนำไปทดสอบประสิทธิภาพการกำจัดมอดข้าวและศึกษาจลนศาสตร์การปลดปล่อยสาร (Release kinetics) เพื่อเปรียบเทียบอัตราการแพร่กระจายของไอสารที่สำคัญในแต่ละรูปแบบ ผลการทดลองพบว่าในสารสกัดขมิ้นชัน พบปริมาณเคอร์คูมิน (Curcumin) เฉลี่ย 853.45 mg/L และสารสกัดจากเมล็ดสะเดาพบ ปริมาณอะซาไดแรคติน (Azadirachtin) เฉลี่ยร้อยละ 7.85 v/v ยืนยันถึงความเสถียรของสารออกฤทธิ์ในสารสกัดหยาบ สำหรับผลการทดสอบประสิทธิภาพพบว่า สารสกัดหยาบสูตรผสมที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 v/v เป็นระดับที่เหมาะสมที่สุด โดยแสดงประสิทธิภาพการกำจัดมอดข้าวสารได้ร้อยละ 100 ภายในเวลา 8-10 ชั่วโมง ด้วยปรากฏการณ์ส่งเสริมฤทธิ์ซึ่งกันและกัน (Synergistic effect) นอกจากนี้ รูปแบบผลิตภัณฑ์ที่ต่างกันส่งผลต่อจลนศาสตร์การปลดปล่อยสาร (Controlled release) โดยรูปแบบถุงสมุนไพรออกฤทธิ์ แบบฉับพลัน (Immediate release) รูปแบบเม็ดปิดสัปลดปล่อยสม่ำเสมอต่อเนื่อง (Sustained release) และรูปแบบอัดเม็ดปลดปล่อยแบบช้า (Slow release) ซึ่งทุกรูปแบบสามารถบรรลุอัตราการตายของมอดได้ร้อยละ 100 ในที่สุด ข้อมูลจากการวิจัยนี้พิสูจน์ให้เห็นว่า การประยุกต์ใช้เคมีพอลิเมอร์ธรรมชาติสามารถควบคุมจลนศาสตร์การปลดปล่อยสารได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสามารถนำไปต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์ที่ปลอดภัย ไร้สารเคมีตกค้าง และเลือกใช้งานได้อย่างเหมาะสมในระดับครัวเรือน

คำสำคัญ: สะเดา,ขมิ้นชัน,การกำจัดมอด,HPLC,เคมีพอลิเมอร์

บทนำ

ในปัจจุบันการประยุกต์ใช้ประโยชน์จากกลุ่มสารประกอบทุติยภูมิ ที่มีความหลากหลายทางโครงสร้างเคมีและแสดงฤทธิ์ทางชีวภาพที่จำเพาะเจาะจง กลายมาเป็นแนวทางสำคัญในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ควบคุมแมลงศัตรูพืช โดยเฉพาะกลุ่มลิโมนอยด์ อย่างอะซาไดแรคติน (Azadirachtin) ในเมล็ดสะเดา (*Azadirachta indica*) และกลุ่มโพลีฟีนอล อย่างเคอร์คูมิน (Curcumin) ในขมิ้นชัน (*Curcuma longa*) (Schmutterer, 1990; Priyadarsini, 2014) จึงเป็นสารเคมีธรรมชาติที่มีศักยภาพสูงในการนำมาสกัดเพื่อแก้ปัญหาระบาดของมอดข้าว (*Sitophilus oryzae*) ในระหว่างการจัดเก็บข้าวสาร ซึ่งสร้างความสูญเสียเชิงคุณภาพและมูลค่าในระดับครัวเรือนโดยตรง แทนการใช้สารเคมีสังเคราะห์ที่อันตราย อย่างไรก็ตามอุปสรรคสำคัญของการนำสารสกัดหยาบในสถานะของเหลวไปใช้งานโดยตรง คือข้อจำกัดที่สารละลายมีความเข้มข้นของเม็ดยีสสูงและมีกลิ่นฉุนรุนแรง ซึ่งจะทำให้ข้าวสารเกิดการติดสีและปนเปื้อนกลิ่นจนสูญเสียคุณภาพ (Prakash et al., 2014) ควบคู่กับข้อจำกัดทางเคมีที่โมเลกุลสารออกฤทธิ์ไวต่อแสง (Photodegradation) และอากาศ ทำให้เกิดการสลายตัวและสูญเสียประสิทธิภาพอย่างรวดเร็ว

การศึกษานี้จึงประยุกต์ใช้เคมีพอลิเมอร์เพื่อแปรสภาพสารสกัดหยาบให้อยู่ในรูปผลิตภัณฑ์ที่สะดวกต่อการใช้งาน โดยนำสารสกัดไปขึ้นรูปในวัสดุรองรับจากพอลิเมอร์ธรรมชาติ ได้แก่ เจลแป้งมันสำปะหลัง (Gelatinization) และโซเดียมแอลจีเนต (Sodium Alginate) เพื่อทำหน้าที่เป็นเกราะกักเก็บเชิงกายภาพ (Physical barrier) พร้อมทั้งกักโมเลกุลสารสกัดจากความร้อน แสง และอากาศเพื่อชะลอการสลายตัว โดยยังสามารถแพร่ไอระเหยออกมา การวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งวิเคราะห์ปริมาณสารสำคัญด้วยเทคนิค HPLC และขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ 3 รูปแบบ (ถุงสมุนไพร, เม็ดบีดส์, สมุนไพรอัดเม็ด) เพื่อศึกษาจลนศาสตร์การปลดปล่อย

สารผ่านระยะเวลาการตายสะสมของมอดข้าวอย่างมีประสิทธิภาพ ด้วยเหตุนี้ คณะผู้จัดทำจึงมุ่งเป้าไปที่การเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดมอดข้าวอย่างสมบูรณ์เพื่อสร้างนวัตกรรมชีวภาพทางเลือกที่ตอบโจทย์ความปลอดภัย ไร้สารเคมีตกค้าง และพลิกฟื้นข้อจำกัดของสารสกัดธรรมชาติให้กลายเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปที่ใช้งานได้จริง ซึ่งนอกจากจะช่วยปกป้องคุณภาพข้าวสารและลดความสูญเสียทางอาหารในระดับครัวเรือนแล้วยังช่วยยกระดับสุขอนามัยของผู้บริโภคจากการลดการพึ่งพาสารเคมีสังเคราะห์ ตลอดจนสร้างองค์ความรู้เชิงลึกเกี่ยวกับพฤติกรรมและการปลดปล่อยสารเคมีชีวภาพจากโครงข่ายพอลิเมอร์ธรรมชาติ การดำเนินโครงการนี้จึงถือเป็นก้าวสำคัญที่สอดคล้องโดยตรงกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) ขององค์การสหประชาชาติ ข้อที่ 2 (Zero Hunger) ในด้านการลดความสูญเสียอาหารในครัวเรือน และข้อที่ 12 (Responsible Consumption and Production) ในด้านการส่งเสริมวิถีการบริโภคที่ปลอดภัยและยั่งยืนอย่างเป็นรูปธรรม

วิธีการดำเนินงาน

ตอนที่ 1 ขั้นตอนการสกัดสารสกัดหยาบจากเมล็ดสะเดาและขมิ้นชัน

นำเมล็ดสะเดาและขมิ้นชันมาล้างทำความสะอาด ตากให้แห้ง แล้วนำไปอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 55°C เป็นเวลา 18 ชั่วโมงหรือจนกว่าจะแห้งสนิท จากนั้นนำมามบับให้ละเอียด แล้วนำมาแช่ในเอทิลแอลกอฮอล์ 95% ในอัตราส่วน 1:10 โดยแยกกระบวนการเขย่าความเร็ว 120–150 rpm และแช่หมักในขวดโหลตามสูตร คือ เมล็ดสะเดา เขย่า 12 ชั่วโมง แช่ต่อ 3 วัน ขมิ้นชัน เขย่า 16 ชั่วโมง แช่ต่อ 1.5 วัน และสูตรผสมสะเดาขมิ้นชัน เขย่า 12 ชั่วโมง แช่ต่อ 3 วัน และนำสารละลายมาระเหยแอลกอฮอล์ออกด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศที่อุณหภูมิ 50°C ซึ่งจะได้สารสกัดหยาบสะเดาและขมิ้นชันก่อนจะนำไประเหยต่อด้วยอ่างควบคุมอุณหภูมิเพื่อให้ได้สารสกัดที่เข้มข้นมากยิ่งขึ้น

ตอนที่ 2 ขั้นตอนการตรวจสอบประสิทธิภาพสารสกัดด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง

ก่อนเริ่มรันเครื่อง HPLC ต้องเตรียมสารละลายให้บริสุทธิ์และไม่มีอนุภาคแขวนลอยเพื่อป้องกันการอุดตันของคอลัมน์เตรียมสารละลายมาตรฐาน Azadirachtin และ Curcumin ความเข้มข้น 2ppm, 20ppm, 40ppm, 60ppm, 80ppm, 100ppm เพื่อสร้าง Standard Curve และเตรียมสารสกัดหยาบมาละลายในเมทานอล กรองสารละลายทั้งหมดผ่านกระดาษ PTFE Membrane ขนาด 0.45 μ m และเครื่อง HPLC สภาวะของเครื่องจะถูกปรับให้เหมาะสมกับสารแต่ละชนิด เพื่อให้เกิดการแยกตัวที่ดีที่สุด

ตอนที่ 3 ขั้นตอนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์กำจัดมอด 3 ชนิด

3.1 ผงสมุนไพรกำจัดมอด

นำสารสกัดหยาบมาเจือจางให้ได้ความเข้มข้น 5 % V/V นำสารที่เจือจางแล้วมาผสมกับแป้งมันสำปะหลัง โดยใช้ อัตราส่วน 1:10 ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันนำส่วนผสมที่ได้มาแผ่ลงบนภาชนะแบนบางและนำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลาประมาณ 12 ชั่วโมง หรือจนกว่าส่วนผสมจะแห้งสนิทเป็นแผ่นบางที่มีความกรอบ ใช้โกร่งบดยาปั่นจนได้ผงที่มีความละเอียดจะได้ผงสมุนไพรกำจัดมอดที่พร้อมสำหรับนำไปทดสอบ

3.2 เม็ดบดสสมุนไพรมะนาวกำจัดมอด

เตรียมสารละลายตั้งต้นละลายโซเดียมแอลจิเนต ให้ได้ความเข้มข้น 2% W/V คนจนละลายเข้ากัน เติมน้ำสกัดเข้มข้น 5% V/V ผสมให้เข้ากันจากนั้นเตรียมสารละลายแคลเซียมแลคเตตความเข้มข้น 2 % W/V ขึ้นรูปเม็บบดสสมุนไพรมะนาวโซเดียมแอลจิเนตที่ผสมสารสกัดแล้วบรรจุลงในหลอดหยดหยดลงในสารละลายแคลเซียมแลคเตต ที่ไว้ในอ่างแคลเซียมประมาณ 3-5 นาที จากนั้นกรองตัวกระซอนขนาดเล็กนำไปล้างผ่านน้ำสะอาด 2-3 ครั้ง เก็บในภาชนะที่ปิดสนิทและป้องกันแสงเพื่อคงประสิทธิภาพของสารออกฤทธิ์ในเม็บบดส

3.3 สมุนไพรอัดเม็ดกำจัดมอด

เตรียมแป้งมันสำปะหลังปริมาณ 50 g ผสมกับน้ำปริมาตร 125-150 mL นำขึ้นตั้งไฟอ่อนคนต่อเนื่องจนแป้งเปลี่ยนเป็นเจลใสที่หนืด จากนั้นพักให้อุณหภูมิของเจลแบ่งลดลงเหลือประมาณ 45-50 °C ให้เติมน้ำสกัดสมุนไพร 5 g ลงไปผสมสารสกัดให้เข้ากับเนื้อเจลแบ่งจะได้เนื้อสารผสมที่พร้อมนำไปขึ้นรูปทำแป้งนวลบนแม่พิมพ์ตักเนื้อสารที่เตรียมไว้ลงในช่องแม่พิมพ์และกดลงบนแป้นพิมพ์ให้แน่นที่สุด แล้วนำออกจากแม่พิมพ์ วางเรียงลงบนภาชนะที่สะอาดเพื่อนำเข้าตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 12-24 ชั่วโมง เก็บรักษาในภาชนะที่ปิดสนิทเพื่อคงสารออกฤทธิ์ในการกำจัดมอด

ตอนที่ 4 การวิเคราะห์ข้อมูลอย่างละเอียด

อัตราการตายของมอด

$$\% = \frac{A - B}{N - B} \times 10$$

N = จำนวนมอดทั้งหมดที่ใช้ในการทดลอง

A = จำนวนมอดที่ตายหลังการทดลอง

B = จำนวนมอดที่ตายก่อนเริ่มการทดลอง

เปรียบเทียบอัตราการตายของมอดกับชุดควบคุม

$$\% = \frac{M_t - M_c}{1 - M_c} \times 10$$

M_t = อัตราการตายของมอดที่อยู่ในกลุ่มทดลอง

M_c = อัตราการตายของมอดที่อยู่ในกลุ่มควบคุม

การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพ

สังเกตพฤติกรรมของมอด การเคลื่อนไหวของมอดที่ได้รับสารสกัดและคุณภาพของเมล็ดข้าวเปรียบเทียบกับชุดควบคุม

ผลและอภิปรายผล

ตอนที่ 1 การวิเคราะห์ปริมาณสารเคอร์คูมิน และอะซาไดแรคตินในสารสกัดหยาดด้วยเครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง(HPLC)

1.1 การวิเคราะห์หาปริมาณเคอร์คูมิน

การทดลอง	ปริมาณสารเคอร์คูมิน(mg/L)	S.D.
1	852.46	
2	854.6	±1.08
3	853.28	
เฉลี่ย	853.45	

ตารางที่ 1 แสดงผลวิเคราะห์ปริมาณสารเคอร์คูมิน

พบว่าในสารสกัดหยาดเข้มข้นมีปริมาณสารเคอร์คูมินเฉลี่ยเท่ากับ 853.45 mg/L

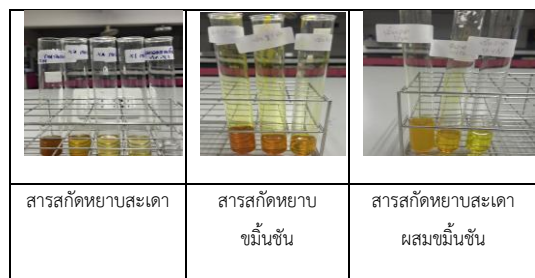
1.2 การวิเคราะห์หาปริมาณสารอะซาไดแรคติน

การทดลอง	ปริมาณสารอะซาไดแรคติน (% V/V)	S.D.
1	8.05	
2	7.54	±0.27
3	7.96	
เฉลี่ย	7.85	

ตารางที่ 2 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณสารอะซาไดแรคติน

พบว่าในสารสกัดหยาดสะเดามีปริมาณสารอะซาไดแรคตินเฉลี่ยเท่ากับ 7.85% V/V

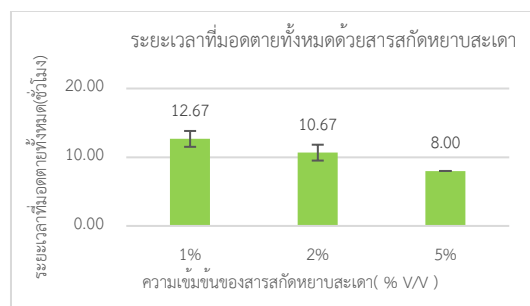
ตอนที่ 2 การหาความเข้มข้นที่เหมาะสมสำหรับขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์



ตารางที่ 3 ทดสอบความเข้มข้นของสารสกัด

2.1 ระยะเวลาที่มอดตายทั้งหมดด้วยสารสกัด

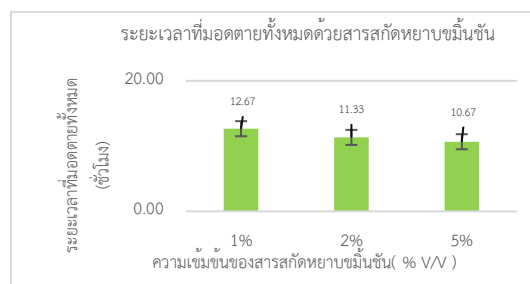
สะเดา



กราฟที่ 1 ระยะเวลาที่มอดตายทั้งหมดด้วยสารสกัดสะเดา

พบว่า ความเข้มข้น 5% V/V เป็นระดับที่เหมาะสมที่สุดในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์ เนื่องจากให้ประสิทธิภาพในการกำจัดมอดสูงถึง 100% เทียบเท่ากับ ความเข้มข้น 10% V/V ประหยัดต้นทุนและทรัพยากรมากกว่า จึงคุ้มค่าสูงสุดทั้งในด้านประสิทธิภาพและต้นทุนการผลิต

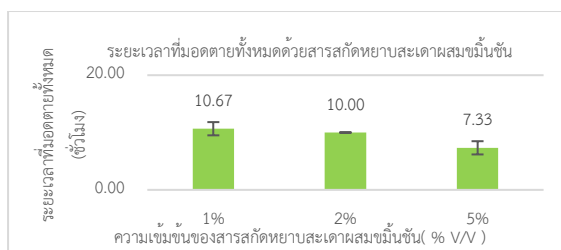
2.2 ระยะเวลาที่มอดตายทั้งหมดด้วยสารสกัดเข้มข้น



กราฟที่ 2 ระยะเวลาที่มอดตายทั้งหมดด้วยสารสกัดเข้มข้น

พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดมอดมีความแปรผันตามระดับความเข้มข้น โดยที่ความเข้มข้น 5% V/V สามารถลดระยะเวลาในการกำจัดมอดได้อย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นที่ต่ำกว่า 5% V/V สามารถเร่งการออกฤทธิ์ได้รวดเร็วที่สุด จึงถือเป็นระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุด ในการนำมาพัฒนาผลิตภัณฑ์ เพื่อให้มีประสิทธิภาพต่อการยับยั้งการทำลายผลผลิต

2.3 ระยะเวลาที่มอดตายทั้งหมดด้วยสารสกัด สะเดาผสมขมิ้นชัน



กราฟที่ 3 ระยะเวลาที่มอดตายทั้งหมดด้วยสารสกัดสะเดาผสมขมิ้นชัน

พบว่าความเข้มข้นที่ระดับ 5% V/V มีประสิทธิภาพในการกำจัดมอดสูงสุด โดยใช้ระยะเวลาในการออกฤทธิ์น้อยกว่าความเข้มข้นที่ต่ำกว่า แสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการยับยั้งระยะเวลาการออกฤทธิ์ได้อย่างชัดเจนที่สุด จึงควรเลือกใช้ความเข้มข้น 5% V/V เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในระยะเวลาที่สั้นที่สุด

ตอนที่ 3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของรูป ผลิตภัณฑ์กำจัดมอด

3.1 ผลิตภัณฑ์ถุงสมุนไพรกำจัดมอด



ตารางที่ 7 ภาพผลิตภัณฑ์ถุงสมุนไพรกำจัดมอด

3.2 ผลิตภัณฑ์เม็ดบีดส์สมุนไพรกำจัดมอด



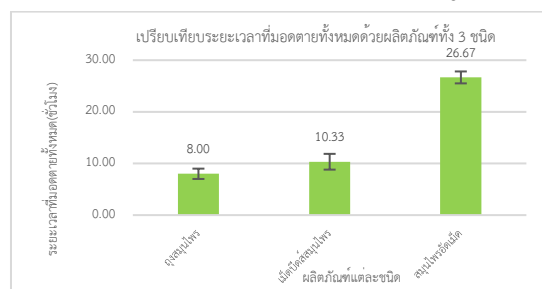
ตารางที่ 8 ภาพผลิตภัณฑ์เม็ดบีดส์สมุนไพรกำจัดมอด

3.4 ผลิตภัณฑ์สมุนไพรอัดเม็ดกำจัดมอด



ตารางที่ 9 ภาพผลิตภัณฑ์สมุนไพรอัดเม็ดกำจัดมอด

3.5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพผลิตภัณฑ์ 3 รูปแบบ



กราฟที่ 4 เปรียบเทียบระยะเวลาการตายทั้งหมดของมอดด้วยผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 ชนิด

พบว่าผลิตภัณฑ์รูปแบบถุงสมุนไพรมีประสิทธิภาพในการออกฤทธิ์เร็วที่สุด โดยสามารถกำจัดมอดได้ทันทีสอดคล้องกับลักษณะการปลดปล่อยสารสำคัญ (Active Ingredients) ขณะที่ผลิตภัณฑ์รูปแบบเม็ดบีดส์แสดงประสิทธิภาพการออกฤทธิ์แบบการปลดปล่อยสารอย่างสม่ำเสมอและต่อเนื่อง (Sustained Release) ส่งผลให้การกำจัดมอดเป็นไปอย่างคงที่และยาวนานกว่าสำหรับผลิตภัณฑ์รูปแบบอัดเม็ด พบว่าเริ่มแสดงประสิทธิภาพหลังการติดตั้งไปแล้วประมาณ 6 ชั่วโมง ซึ่งเป็นการปลดปล่อยสารแบบช้า (Slow Release) เมื่อพิจารณาในระยะยาวพบว่าผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 รูปแบบสามารถกำจัดมอดได้ทั้งหมด โดยมีความแตกต่างกันเพียงระยะเวลาเริ่มต้นในการออกฤทธิ์เท่านั้น

ตอนที่ 4 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพ

พบว่าช่วงแรกมอดจะเคลื่อนไหวมากขึ้น และพยายามหาทางหลบหนีออกจากกล่องทดลอง ซึ่งสะท้อนถึงฤทธิ์ไล่ของสารออกฤทธิ์ เมื่อได้รับสารออกฤทธิ์อย่างต่อเนื่อง มอดจะมีการเคลื่อนไหวช้า และ

สูญเสียการเคลื่อนไหวก่อนตายในที่สุด และไม่พบการเปลี่ยนแปลงของ สี กลิ่นและรสชาติของข้าว

สรุปผล

การศึกษาวิจัยครั้งนี้มุ่งเน้นการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและการทดสอบประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์สมุนไพรในการควบคุมมอด โดยผลการวิเคราะห์สารสำคัญด้วยเทคนิค High Performance Liquid Chromatography ยืนยันถึงความเสถียรของสารออกฤทธิ์หลักในสารสกัดหยาบ ซึ่งพบปริมาณ Curcuminเฉลี่ยที่ 853.45 mg/L และปริมาณ Azadirachtinเฉลี่ยที่ 7.85 %V/V ซึ่งให้เห็นว่าสารสกัดที่ได้มีคุณภาพและมีความเข้มข้นของที่เหมาะสมต่อการนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์กำจัดมอดได้และพบว่าความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุดของทั้งสารสกัดสะเดาและขมิ้นชันคือ 5% V/V เนื่องจากมีประสิทธิภาพสูงเทียบเท่าความเข้มข้นระดับสูง 10% V/V และสามารถลดระยะเวลากำจัดมอดได้เมื่อเทียบกับกลุ่มความเข้มข้นต่ำ โดยบรรลุอัตราการตายสะสมที่ร้อยละ 100 ทำให้มีความคุ้มค่าเชิงต้นทุน นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาทางด้านชนิดของสารสกัดพบการส่งเสริมฤทธิ์ซึ่งกันและกัน (Synergistic Effect) ในสูตรผสมระหว่างสะเดาและขมิ้นชันซึ่งสามารถกำจัดมอดได้ทั้งหมดภายในเวลาเพียง 8-10 ชั่วโมง ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่าการใช้สารสกัดชนิดเดียวอย่างชัดเจนนอกจากนี้ การศึกษารูปแบบผลิตภัณฑ์ยังแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของลักษณะการปลดปล่อยสารสำคัญโดยผลิตภัณฑ์รูปแบบถุงสมุนไพรสามารถออกฤทธิ์แบบฉับพลัน (Immediate Release) แบบเม็ดปิดสมีประสิทธิภาพในการปลดปล่อยสารอย่างสม่ำเสมอและต่อเนื่อง (Sustained Release) ซึ่งเอื้อต่อการควบคุมในระยะยาว ส่วนรูปแบบอัดเม็ดจะมีการปลดปล่อยสารแบบช้า (Slow Release) และผลิตภัณฑ์ทุกรูปแบบสามารถกำจัดมอดได้ทั้งหมด ข้อมูลจากการวิจัยนี้จึงถือ

เป็นแนวทางสำคัญในการเลือกใช้สารสกัดและรูปแบบผลิตภัณฑ์ให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ในการป้องกัน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาภรณราชวิทยาลัย บุรีรัมย์ ที่ให้การสนับสนุนและส่งเสริมการดำเนินโครงการนี้ ขอขอบคุณแหล่งงานวิจัยและเอกสารอ้างอิงต่าง ๆ ที่มีส่วนช่วยในการรวบรวมข้อมูลและเป็นพื้นฐานสำคัญในการจัดทำโครงการ และขอขอบคุณ คุณครูวัชรภรณ์ แสนนา เป็นอย่างสูง ที่ได้ให้คำแนะนำ ช่วยเหลือ และสนับสนุนการพัฒนาโครงการจนตลอดจนเสร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

กรมการข้าว. (2559) **ด้วงงวงข้าว** สืบค้นเมื่อ 4

กุมภาพันธ์ 2568 , จาก

<https://webold.ricethailand.go.th/rkb3/title-index.php- php&id=92-1.htm>

กระทรวงสาธารณสุข. 2568), **การหาปริมาณ**

Curcuminoids ด้วย HPLC (วัดดูดซับ & แคปซูล). สืบค้นเมื่อ 1 พฤศจิกายน 2568

<https://kmis.dmsc.moph.go.th/th/news/47/detail/12029>

งามผ่อง คงคาทิพย์. (2539).**เคมีของสะเดาและวิธีสกัดสารจากสะเดา.** สืบค้นเมื่อ 4

กุมภาพันธ์ 2568, <https://kukur.lib.ku.ac>

นันทน์ภัส พิริยะอนนท์. (2560). **ประสิทธิภาพสารสกัดพืชต่อการควบคุมมอดข้าวสาร**

(*Sitophilus oryzae* L.) ในข้าวอินทรีย์

(วิทยานิพนธ์ ปริญญาบัณฑิต). สืบค้นเมื่อ 6 ธันวาคม 2567 จาก

<https://digital.library.tu.ac.th/tu>

ไร่พระจันทร์. (2568) **มอดมาจากไหน** สืบค้นเมื่อ 4

กุมภาพันธ์ 2568, จาก

<https://moonfarms.co/?srsltid=>