ผลของไคโตซานและเมทิลจัสโมเนตต่อการสร้างสารระเหยในข้าวสายพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 หลังถูกเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลทำลาย

นัฐริกา เหล่าเขตกิจ

วิทยานิพนธ์เสนอบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาชีวเคมี
ปีการศึกษา 2566
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยนเรศวร

ผลของไคโตซานและเมทิลจัสโมเนตต่อการสร้างสารระเหยในข้าวสายพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 หลังถูกเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลทำลาย

นัฐริกา เหล่าเขตกิจ

วิทยานิพนธ์เสนอบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาชีวเคมี
ปีการศึกษา 2566
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยนเรศวร

วิทยานิพนธ์ เรื่อง "ผลของไคโตซานและเมทิลจัสโมเนตต่อการสร้างสารระเหยในข้าวสายพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 หลังถูกเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลทำลาย"

ของ นัฐริกา เหล่าเขตกิจ

ได้รับการพิจารณาให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาชีวเคมี

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ดร.ศุภลักษ์ สัตยสมิทสถิต)

..... ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปนัดดา จันทร์เนย)

..... กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายใน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนนิษฏ์ ชูพยัคฆ์)

อนุมัติ

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.กรองกาญจน์ ชูทิพย์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง ผลของไคโตซานและเมทิลจัสโมเนตต่อการสร้างสารระเหยในข้าวสายพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 หลังถูกเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลทำลาย

ผู้วิจัย นัฐริกา เหล่าเขตกิจ

ประธานที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปนัดดา จันทร์เนย

ประเภทสารนิพนธ์ วิทยานิพนธ์ วท.ม. ชีวเคมี, มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2566

คำสำคัญ ข้าว, สารระเหย, ไคโตซาน, เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล, เมทิลจัสโมเนต

บทคัดย่อ

สารระเหยในพืชสร้างขึ้นมาเพื่อป้องกันตนเองจากการบุกรุกของแมลงศัตรูพืช แบคทีเรีย และเชื้อรา งานวิจัยนี้จึงจะนำไคโตซานความเข้มข้น 50, 100 และ 200 ppm และเมทิลจัสโมเนต ความเข้มข้น 1, 2.5 และ 5 mM มากระตุ้นการสร้างสารระเหยที่อาจทำหน้าที่ต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล ในข้าวสายพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ผลการวิเคราะห์สารระเหยด้วยเทคนิค GC-MS พบสารระเหยทั้งหมดจำนวน 31 ชนิด โดยสารระเหยที่ถูกกระตุ้นด้วย ไคโตซาน (CHI) และเมทิลจัสโมเนต (MeJA) ทุกความเข้มข้นที่ไม่พบในกลุ่มควบคุม มีทั้งหมด 5 ชนิด ได้แก่ Sulfur diimide, Methane, trans-2,4-Dimethylthiane,S,S-dioxide, 2-Ethylthiolane,S,S-dioxide และ Undec-10-ynoic acid และหลังจากที่เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลายต้นข้าวที่ได้รับสารละลายไคโตซาน (CHI+BPH) และต้นข้าวที่ได้รับเมทิลจัสโมเนต ((MeJA+BPH) พบสารระเหยทั้งหมด 81 ชนิด โดยพบสารระเหยที่มีคุณสมบัติต้านทานต่อแมลง ได้แก่ Caryophyllene oxide, Phosphonic acid, Isovalerate, Cyclohexylmethylsilane, Methyl 3,4-tetradecadienoate, Methylphosphonic acid, Phthalic acid, Methyl jasmonate, Salicylic acid, Decanoic acid และ 13-Octadecanal การทดสอบความเสียหายของต้นข้าวหลังถูกเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลายในระยะกล้าและระยะแตกกอด้วยวิธี IRRI สเกล พบว่าต้นข้าวที่ได้รับสารละลายไคโตซานและสารละลายเมทิลจัสโมเนตที่มีความความเข้มข้นที่แตกต่างกันมีความเสียหายจัดอยู่ในระดับความต้านทานปานกลาง (Moderately Resistant; MR) ในขณะที่ชุดควบคุมข้าวระยะกล้าและระยะแตกกอความเสียหายจัดอยู่ในระดับอ่อนแอต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล (Highly Susceptible; HS) และ (Susceptible; S) ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าสารละลายไคโตซานและเมทิลจัสโมเนตสามารถเหนี่ยวนำให้ต้นข้าวผลิตสารระเหยมีอาจมีผลต่อการรอดชีวิตและลดความเสียหายของต้นข้าวจากการเข้าทำลายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล งานวิจัยนี้สามารถประยุกต์ใช้ไคโตซานและเมทิลจัสโมเนตในการป้องกันเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลที่เป็นแมลงที่ระบาดและทำความเสียหายให้กับเกษตรกรได้

มหาวิทยาลัยนเรศวร

Title EFFECT OF CHITOSAN AND METHYL JASMONATE ON RICE (*ORYZA SATIVA* L. KHAO DAWK MALI 105) VOLATILE COMPOUNDS EMISSION AFTER BROWN PLANT HOPPER INFESTATION.

Author Nuttarika Laokhetkit

Advisor Assistant Professor Panatda Jannoey, Ph.D.

Academic Paper M.S. Thesis in Biochemistry, Naresuan University, 2023

Keywords Rice, volatile compound, chitosan, Methyl jasmonate, brown planthopper

ABSTRACT

Rice emitted volatile compounds to defense plant insect, bacteria and fungi. This research was used chitosan; CHI (50, 100 and 200 ppm) and methyl jasmonate; MeJA (1, 2.5 and 5 mM) to activate volatile compounds emission in rice. The activated volatile compounds of rice (Khaw Hom Mali 105) may repellent to Brown planthopper (BPH). The GC-MS analysis found that the total 31 volatile compounds. Five volatile compounds (Sulfur diimide, Methane, trans-2,4-Dimethylthiane,S,S-dioxide, 2-Ethylthiolane,S,S-dioxide , Undec-10-ynoic acid) were only found in the rice planted treated with Chitosan and Methyl jasmonate when compared to the control. The BPH infestation were subsequently introduced to rice plant treated chitosan (CHI+BPH) and methyl jasmonate (MeJA+BPH). After the BPH infestation, a total of 81 volatile compounds were detected, The following compounds were identified as repellent compounds; Caryophyllene oxide, Phosphonic acid, Isovalerate, Cyclohexylmethylsilane, Methyl 3,4-tetradecadienoate, Methylphosphonic acid, Phthalic acid, methyl jasmonate, salicylic acid, decanoic acid and 13-Octadecanal after chitosan and Methyl jasmonate applications.

The IRRI scale was used to evaluate the level of damage in rice plants at the seedling and tiller stages. Rice plants which were treated with CHI and MeJA were categorized as Moderately Resistant (MR) to BPH infestation. The control

group exhibited a high susceptibility, with a classification of Highly Susceptible (HS) at the seedling stage and Susceptible (S) at the tiller stage. The survival of BPH was monitored on rice plants with different treatments. The results suggested that the application of CHI and MeJA effect on both BPH survival and the decreased of damage on rice plants following BPH infestation. The findings of this research suggest that CHI and MeJA can be utilized as effective compounds to prevent BPH infestation in rice paddy fields, cause potential losses in productivity.

ประกาศคุณูปการ

งานวิจัยเรื่อง ผลของไคโตซานและเมทิลจัสโมเนตต่อการสร้างสารระเหยในข้าวสายพันธ์ขาวดอกมะลิ 105 หลังถูกเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลทำลาย เพื่อสำเร็จการศึกษาของนิสิตระดับปริญญาโท สามารถดำเนินการจนประสบความสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์และสนับสนุนเป็นอย่างดียิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปนัดดา จันทร์เนย ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา ความรู้ ข้อคิด ข้อแนะนำและปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ จนกระทั่งการวิจัยครั้งนี้สำเร็จเรียบร้อยด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบคุณ คณาจารณ์คณะวิทยาสตร์การแพทย์ สาขาชีวเคมี และภาควิชาชีเคมี ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้งานเครื่องมือทำและสถานที่ในการทำวิจัย ตลอดจนให้คำปรึกษาในการทำวิจัย

ขอขอบคุณ ศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชพิษณุโลก ที่อนุเคราะห์สถานที่สำหรับการทดสอบความเสียหายของต้นข้าวและเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล

ขอขอบคุณ บิดา มารดา และเพื่อนร่วมงานวิจัย นางสาวเจนจิรา มะลิซ้อน ที่ให้ความสนับสนุนช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการทำวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยหวังว่างานวิจัยฉบับนี้คงเป็นประโยชน์สำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และผู้ที่สนใจศึกษาต่อไป

นัฐริกา เหล่าเขตกิจ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

ประกาศคุณูปการ ..... ช

สารบัญ ..... ซ

สารบัญตาราง ..... ฎ

สารบัญภาพ ..... ฏ

บทที่ 1 1

บทนำ 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

จุดมุ่งหมายของการวิจัย 2

ขอบเขตการวิจัย 2

นิยามศัพท์เฉพาะ 3

บทที่ 2 4

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

ข้าวขาวดอกมะลิ 105 (Khao Dawk Mali 105 4

สารระเหยที่ผลิตจากข้าว (Rice Volatile Compounds Emission) 5

เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล Nilaparvata lugens (Stål) 10

ลักษณะการทำลายและการระบาดของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล 10

ปัจจัยที่มีผลต่อการระบาดของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล 11

ไคโตซาน (Chitosan).....12
เมทิลจัสโมเนต.....14
กลไกการต้านทานโรคของพืช.....18
(1) การป้องกันศัตรูพืชโดยอาศัยโครงสร้างของพืช (Structural defense).....18
(2) กลไกการทำงานของ Systemic Acquired Resistance (SAR).....18
(3) กลไกในการทำงานของ Induced Systemic Resistance (ISR).....19
แก๊สโครมาโทรกราฟี-แมสสเปคโตเมทรี (Gas Chromatograph/Mass Spectrometer)..20
บทที่ 3.....22
วิธีดำเนินการวิจัย.....22
ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง.....22
เครื่องมือ วัสดุ และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....22
วิธีดำเนินการวิจัย.....23
การวางแผนการทดลอง.....23
การเตรียมตัวอย่างต้นข้าว.....24
การทดสอบความเสียหายของต้นข้าวในแต่ละกรรมวิธีหลังถูกเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย.....25
การวิเคราะห์สารระเหยในข้าวด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟ-แมสสเปคโตรมิเตอร์...26
บทที่ 4.....27
ผลการวิจัย.....27
ผลการวิเคราะห์สารระเหยในข้าวระยะกล้าหลังจากราดสารละลายไคโตซานและพ่นเมทิลจัสโมเนตต่อการสร้างสารระเหย ก่อนเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย.....27

ผลการวิเคราะห์สารระเหยในต้นข้าวระยะกล้าหลังจากได้รับสารละลายไคโตซานและเมทิลจัสโมเนต หลังเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย.....28
ผลการทดสอบความเสียหายของต้นข้าวในแต่ละกรรมวิธีหลังถูกเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย 41
บทที่ 5.....45
สรุปและวิจารณ์ผล 45
การวิเคราะห์สารระเหยในต้นข้าวระยะกล้าหลังจากได้รับสารละลายไคโตซานและเมทิลจัสโมเนต.....45
การวิเคราะห์สารระเหยในต้นข้าวระยะกล้าในแต่ละกรรมวิธีหลังการเข้าทำลายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล 47
สารระเหยจากต้นข้าวที่ถูกกระตุ้นให้ผลิตเพิ่มขึ้นหลังถูกเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลายในข้าวเปรียบเทียบก่อนและหลังถูกเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย.....51
การทดสอบความเสียหายของต้นข้าวในแต่ละกรรมวิธี หลังถูกเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย ในข้าวระยะกล้าและระยะแตกกอ 53
ภาคผนวก.....54
บรรณานุกรม.....67
ประวัติผู้วิจัย 85

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสารระเหยที่พบในข้าวที่มีบทบาทในการป้องกันแมลงศัตรูพืช 6

ตาราง 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ไคโตซานที่สามารถป้องกันแมลงศัตรูพืชในข้าว....13

ตาราง 3 การประยุกต์ใช้เมทิลจัสโมเนตและกรดจัสโมนิกที่ใช้ป้องกันแมลงศัตรูพืชในข้าว 15

ตาราง 4 เกณฑ์การให้คะแนนเพื่อประเมินการต้านทานของข้าวต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล (IRRIC, 2003) 25

ตาราง 5 สารระเหยที่พบในข้าวที่คาดว่ามีฤทธิ์ในการป้องกันเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล.....29

ตาราง 6 คะแนนประเมินความเสียหายของต้นข้าวหลังจากถูกเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลทำลายในระยะกล้า.....41

ตาราง 7 ประเมินความเสียหายของต้นข้าวหลังจากถูกเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลทำลายในระยะแตกกอ.....42

ตาราง 8 รายชื่อสารระเหยที่พบในต้นข้าวหลังจากวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC-MS/MS 54

ตาราง 9 สารระเหยจากต้นข้าวในแต่ละกรรมวิธีหลังถูกเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลายในข้าวระยะกล้า หลังจากวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-MS/MS.....56

ตาราง 10 การจัดกลุ่มสารระเหยจากต้นข้าวในแต่ละกรรมวิธีแในข้าวระยะกล้า หลังจากวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-MS/MS.....60

ตาราง 11 การจัดกลุ่มสารระเหยจากต้นข้าวในแต่ละกรรมวิธีและถูกเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลายในข้าวระยะกล้า หลังจากวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-MS/MS.....62

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพ 1 แผนผังการวิจัย 3

ภาพ 2 ข้าวขาวดอกมะลิ 105 4

ภาพ 3 เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล (ก) ตัวเต็มวัยชนิดปีกสั้นและปีกยาว และ (ข) ตัวอ่อน 10

ภาพ 4 ลักษณะการระบาดรุนแรงในนาข้าว 11

ภาพ 5 โครงสร้างของสารไบโอโพลิเมอร์ (ก) ไคโตซาน และ (ข) ไคติน 12

ภาพ 6 โครงสร้างทางเคมีของ (ก) กรดจัสโมนิก และ (ข) เมทิลจัสโมเนต 14

ภาพ 7 กลไกการป้องกันพืชด้วยกลไก SAR และ ISR 19

ภาพ 8 องค์ประกอบของแก๊สโครมาโทรกราฟี-แมสสเปคโตเมทรี 20

ภาพ 9 การราดสารละลายไคโตซานความเข้มข้นที่แตกต่างกันที่บริเวณโคนต้น 24

ภาพ 10 การพ่นสารละลายเมทิลจัสโมเนตพ่นลงบริเวณลำต้นและใบข้าว 24

ภาพ 11 การจัดเตรียมครอบต้นข้าวเพื่อเตรียมปล่อยเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย 25

ภาพ 12 กราฟเปรียบเทียบพื้นที่สารระเหย (ก) กรดซาลิไซลิก และ (ข) เมทิลจัสโมเนต ; ☐ = ก่อนปล่อยเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย และ ■ = หลังปล่อยเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย; กรรมวิธีที่ 1 ; ชุดควบคุม, กรรมวิธีที่ 2 ; ชุดควบคุม (1 % เอทานอลพ่นทางใบ), กรรมวิธีที่ 3 ; ราดสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 50 ppm, กรรมวิธีที่ 4 ; ราดสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 100 ppm, กรรมวิธีที่ 5 ; ราดสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 200 ppm, กรรมวิธีที่ 6 ; พ่นเมทิลจัสโมเนตความเข้มข้น 1 mM, กรรมวิธีที่ 7 ; พ่นเมทิลจัสโมเนตความเข้มข้น 2.5 mM, กรรมวิธีที่ 8 ; พ่นเมทิลจัสโมเนตความเข้มข้น 5 mM 32

ภาพ 13 เปรียบเทียบโครโมโตแกรมของสารระเหยที่พบในต้นข้าวในกรรมวิธีที่ 1 ; (ก) ก่อนเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย, (ข) หลังเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย 33

ภาพ 14 เปรียบเทียบโครโมโตแกรมของสารระเหยที่พบในต้นข้าวในกรรมวิธีที่ 2 ; (ก) ก่อนเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย, (ข) หลังเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย.....34

ภาพ 15 เปรียบเทียบโครโมโตแกรมของสารระเหยที่พบในต้นข้าวในกรรมวิธีที่ 3 ; (ก) ก่อนเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย, (ข) หลังเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย.....35

ภาพ 16 เปรียบเทียบโครโมโตแกรมของสารระเหยที่พบในต้นข้าวในกรรมวิธีที่ 4 ; (ก) ก่อนเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย, (ข) หลังเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย.....36

ภาพ 17 เปรียบเทียบโครโมโตแกรมของสารระเหยที่พบในต้นข้าวในกรรมวิธีที่ 5 ; (ก) ก่อนเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย, (ข) หลังเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย.....37

ภาพ 18 เปรียบเทียบโครโมโตแกรมของสารระเหยที่พบในต้นข้าวในกรรมวิธีที่ 6 ; (ก) ก่อนเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย, (ข) หลังเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย.....38

ภาพ 19 เปรียบเทียบโครโมโตแกรมของสารระเหยที่พบในต้นข้าวในกรรมวิธีที่ 7 ; (ก) ก่อนเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย, (ข) หลังเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย.....39

ภาพ 20 เปรียบเทียบโครโมโตแกรมของสารระเหยที่พบในต้นข้าวในกรรมวิธีที่ 8 ; (ก) ก่อนเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย, (ข) หลังเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย.....40

ภาพ 21 ผลการทดสอบความเสียหายของต้นข้าวหลังถูกเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลายระยะกล้า ; โดยกรรมวิธีที่ 1 ; ชุดควบคุม, กรรมวิธีที่ 2 ; ชุดควบคุม (พ่น1% ethanol), กรรมวิธีที่ 3 ; ราดสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 50 ppm, กรรมวิธีที่ 4 ; ราดสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 100 ppm, กรรมวิธีที่ 5 ; ราดสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 200 ppm, กรรมวิธีที่ 6 ; พ่นเมทิลจัสโมเนตความเข้มข้น 1 mM, กรรมวิธีที่ 7 ; พ่นเมทิลจัสโมเนตความเข้มข้น 2.5 mM, กรรมวิธีที่ 8 ; พ่นเมทิลจัสโมเนตความเข้มข้น 5 mM.....43

ภาพ 22 ผลการทดสอบความเสียหายของต้นข้าวหลังถูกเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย (ก) ระยะกล้า (ข) ระยะแตกกอ; โดยกรรมวิธีที่ 1 ; ชุดควบคุม, กรรมวิธีที่ 2 ; ชุดควบคุม (พ่น 1% ethanol), กรรมวิธีที่ 3 ; ราดสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 50 ppm, กรรมวิธีที่ 4 ; ราดสารละลาย ไคโตซานความเข้มข้น 100 ppm, กรรมวิธีที่ 5 ; ราดสารละลาย

ไคโตซานความเข้มข้น 200 ppm, กรรมวิธีที่ 6 ; พ่นเมทิลจัสโมเนตความเข้มข้น 1 mM, กรรมวิธีที่ 7 ; พ่นเมทิลจัสโมเนตความเข้มข้น 2.5 mM, กรรมวิธีที่ 8 ; พ่นเมทิลจัสโมเนตความเข้มข้น 5 mM.....44

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ข้าวจะปลดปล่อยสารระเหยเพื่อป้องกันตนเองจากการบุกรุกของแมลงศัตรูพืช (War et al., 2012), แบคทีเรีย (Cheng et al., 2016), เชื้อรา (Andargie et al., 2017) เป็นต้น โดยจะเหนี่ยวนำให้สภาวะภายในเซลล์ไม่เหมาะสมต่อการเข้าทำลายของสิ่งบุกรุกดังกล่าว เช่น การสร้างไข ขนตามลำต้น หนาม โปรตีนป้องกัน สารเมตาบอไลต์ที่ได้จากกระบวนการเมตาบอลิซึมของพืช เช่น กรดจัสโมนิก (Jasmonic acid; JA) กรดซาลิไซลิก (Salicylic acid; SA) และเมทิลจัสโมเนต (Methyl Jasmonate; MeJa) (Shivaji et al., 2010) และสารระเหย เป็นต้น

แต่อย่างไรก็ตาม สารระเหยที่พืชสร้างขึ้นเพื่อป้องกันตนเองนั้น จะถูกสังเคราะห์ออกมาในปริมาณที่ไม่มากเพียงพอต่อการป้องกันแมลงศัตรูพืช งานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะใช้ไคโตซานร่วมกับเมทิลจัสโมเนตความเข้มข้นที่เหมาะสม เพื่อทำหน้าที่กระตุ้นการสังเคราะห์สารเมตาบอไลต์ชนิดสารระเหยเพื่อทำหน้าที่ต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล ซึ่งเป็นแมลงศัตรูพืชที่ระบาดอย่างรุนแรงในเขตภาคเหนือตอนล่าง

เมทิลจัสโมเนตเป็นอนุพันธ์ของกรดจัสโมนิก จะช่วยป้องกันหรือชะลอพัฒนาการของแมลง การป้องกันเหล่านี้สามารถทำให้แมลงมีการอยู่รอดหรือการสืบพันธุ์ลดลง โดยจากการศึกษางานวิจัยพบว่าการพ่นสารเมทิลจัสโมเนตและกรดซาลิไซลิก ทำให้ข้าวสร้างสารระเหย เช่น Methyl salicylate, alpha-Pinene, Beta-pinene, Azulene และสารระเหย 1-hexanol-2-ethyl ซึ่งเป็นสารระเหยที่มีหน้าที่ป้องกันแมลงศัตรูพืช (Freitas et al., 2018) ขณะที่ Senthil et al., 2009 การใช้ JA พ่นทางใบที่ พบว่า JA ที่ระดับความเข้มข้น 5 mM สามารถเหนี่ยวนำให้วงจรชีวิตของแมลงสั้นลงและการวางไข่ของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลลดลง และเปอร์เซ็นต์การพัฒนาจากตัวอ่อนไปเป็นตัวเต็มวัยลดลง (Senthil et al., 2009)

นอกจากนี้มีงานวิจัยศึกษาการใช้ไคโตซานต่อการเข้าทำลายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล ซึ่งไคโตซานเป็นไบโอโพลิเมอร์ธรรมชาติ สามารถย่อยสลายได้ มีความปลอดภัยสูง ไม่เป็นพิษต่อพืช ช่วยทำให้พืชต้านทานต่อโรคและแมลง ช่วยเพิ่มผลผลิตได้ 30-40% เมื่อใช้ไคโตซานที่ความเข้มข้น 50, 70 และ 100 ppm ทำให้เปอร์เซ็นต์ของการเข้าทำลายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในข้าวลดลงจากกลุ่มควบคุมถึง 35.15, 24.7 และ 30.55% ตามลำดับ (Van et al., 2013) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาในปี 2015 พบว่า การใช้นาโนไคโตซานเพื่อป้องกันเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในต้นข้าว ความเข้มข้น 10, 50 และ 100 ppm ทำให้การเจริญเติบโตของข้าวเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม

และยังช่วยกระตุ้นการสร้างสารระเหยในข้าว ซึ่งมีการแสดงออกของไอโซฟอร์มในไคติเนสอาจเกี่ยวข้องกับการป้องกันเชื้อโรคและแมลง (Jannoey et al., 2015)

จากรายงานการวิจัยที่ผ่านมาไคโตซานและเมทิลจัสโมเนตสามารถกระตุ้นการสร้างสารระเหยที่ทำหน้าที่ป้องกันแมลงศัตรูพืชในข้าวได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษา ผลของไคโตซานและเมทิลจัสโมเนตความเข้มข้นที่เหมาะสมต่อการสร้างสารระเหยในข้าว เพื่อกระตุ้นให้ข้าวต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล ตั้งแต่ระยะกล้าจนถึงระยะแตกกอ ซึ่งวิธีนี้เป็นการป้องกันข้าวจากแมลงศัตรูพืชในระยะยาว ช่วยให้เกษตรกรลดการใช้สารเคมีในการกำจัดแมลงศัตรูพืช ลดต้นทุนในการเพาะปลูก และยังลดผลกระทบต่อสุขภาพของเกษตรกรและผู้บริโภค

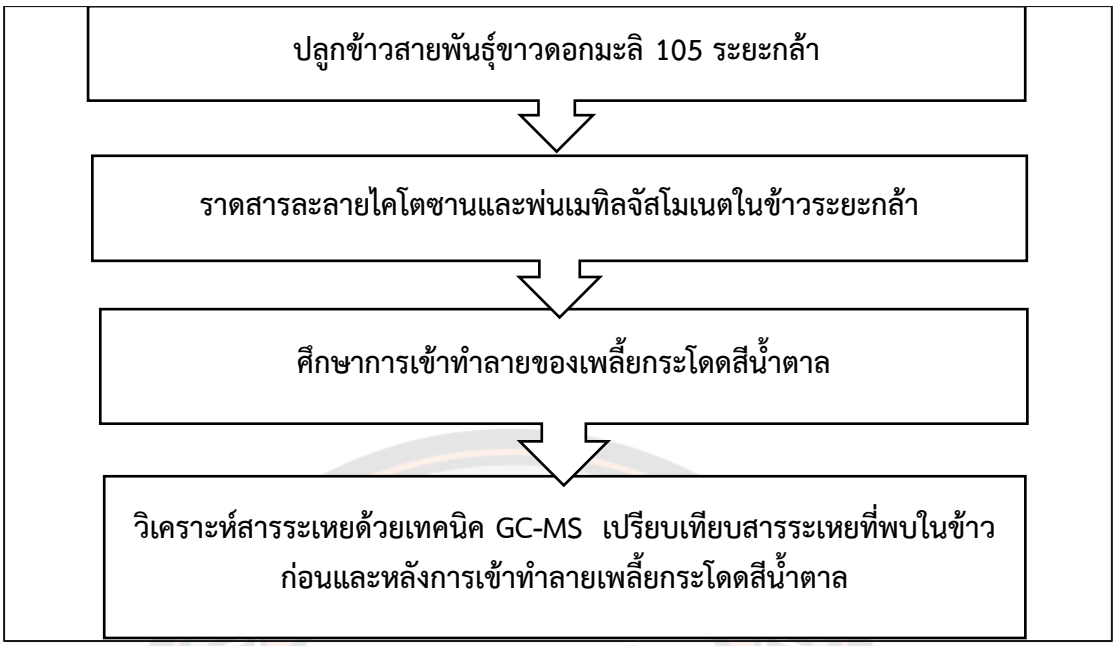
จุดมุ่งหมายของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลของไคโตซานและเมทิลจัสโมเนตต่อการสร้างสารระเหยในข้าว ก่อนและหลังการเข้าทำลายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล

2. เพื่อจัดจำแนกสารระเหยที่พบในข้าวหลังจากได้รับไคโตซานและเมทิลจัสโมเนตที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ

ขอบเขตการวิจัย

ศึกษาผลของไคโตซานและเมทิลจัสโมเนตต่อการสร้างสารระเหยในข้าวแ ในระยะกล้าหลังจากได้รับไคโตซาน และเมทิลจัสโมเนตความเข้มข้นที่เหมาะสม ก่อนและหลังการเข้าทำลายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล ด้วยเทคนิค GC-MS แผนการทดลองแสดงในภาพที่ 1 ดังนี้



ภาพ 1 แผนผังการวิจัย

นิยามศัพท์เฉพาะ

ข้าว (Rice) ,สารระเหย (Volatile Compounds), ไคโตซาน (Chitosan), เมทิลจัสโมเนท (Methyl Jasmonate), เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล (Brown Plant Hopper)

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ข้าวขาวดอกมะลิ 105 (Khao Dawk Mali 105

ภาพ 2 ข้าวขาวดอกมะลิ 105

ข้าวขาวดอกมะลิ 105 เป็นสายพันธุ์ข้าวที่มีถิ่นกำเนิดในไทย มีลักษณะกลิ่นหอมคล้ายใบเตย และเป็นพันธุ์ข้าวส่งออกที่รู้จักไปทั่วโลก เป็นที่นิยมบริโภคทั้งในประเทศ แต่กลับเป็นสายพันธุ์ข้าวที่อ่อนแอต่อโรคและไม่ต้านทานแมลง โดยเฉพาะเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล

ปัจจุบันปริมาณการส่งออกเพิ่มจาก 1.3 ล้านตัน ในปี 2555 เป็น 1.4 ล้านตัน ในปี 2558 ปริมาณการส่งออกข้าวเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 3.4 ประเทศที่เป็นลูกค้าข้าวหอมมะลิ ได้แก่ ฮ่องกง สิงคโปร์ สหรัฐอเมริกา จัดเป็นข้าวที่มีอะมิโลสต่ำประมาณ 12-18% ทำให้ข้าวมีความอ่อนนุ่ม และมีชื่อเป็นทางการว่า “ขาวดอกมะลิ 105” ซึ่งมีความหมายว่า ประเภทข้าวขาว เพราะข้าวเปลือกมีสีขาว หรือสีฟาง และมีกลิ่นหอม คล้ายกลิ่นดอกมะลิสำหรับหมายเลข 105 นั้น ได้มาจากการปรับปรุงพันธุ์

ข้าวขาวดอกมะลิ 105 เป็นข้าวไวแสงโดยข้าวจะออกรวงเมื่อแสงแดดน้อยลงจากช่วงเวลาปกติ โดยข้าวไวต่อช่วงแสงมี 2 แบบ ข้าวไวน้อยต่อช่วงแสง (Less Sensitive to Photoperiod) จะออกดอกเมื่อความยาวกลางวันประมาณ 11 ชั่วโมง 40-50 นาที และข้าวไวมากต่อช่วงแสง (Strongly Sensitive to Photoperiod) จะออกดอกเมื่อความยาวกลางวันประมาณ 11 ชั่วโมง 10-20 นาที เมื่อถึงช่วงฤดูหนาวของประเทศไทย ซึ่งเป็นช่วงที่กลางวันสั้นกว่ากลางคืน ข้าวจะออกดอกทันที ข้าวขาวดอกมะลิ 105 เป็นข้าวที่มีอายุการเก็บเกี่ยวมากกว่า 120 วัน หากปลูกข้าวช้าเกินไป ข้าวจะไม่สามารถสะสมอาหารได้เต็มที่ก่อนออกรวงทำให้ผลผลิตลดลง

สารระเหยที่ผลิตจากข้าว (Rice Volatile Compounds Emission)

ข้าวปล่อยสารระเหยหลายชนิดเพื่อป้องกันตัวเองจากแมลงศัตรูพืช และเชื้อโรคที่เข้ามาทำลายข้าว โดยจากงานวิจัย Freitas และคณะปี 2018 ได้ทำการศึกษาผลของการพ่นเมทิลจัสโมเนตและกรดซาลิไซลิกในข้าวต่อการต้านทานแมลงกลิ่นเหม็นข้าว (Oebalus pugnax) พบว่าสามารถกระตุ้นให้ข้าวสร้างสารระเหย เช่น เมทิลซาลิไซเลต (Methyl salicylate), แอลฟา-ไพนีน (α-pinene), บีตา-ไพนีน (β-pinene), อะซูลีน (Azulene) (โดยเฉพาะสารระเหยชนิด 1-Hexanol-2-ethyl เป็นสารระเหยที่พบในใบของพืช ซึ่งจะถูกปล่อยออกมาเพื่อตอบสนองต่อความเสียหายของพืช (Freitas, et al 2018)

เมทิลซาลิไซเลต หรือน้ำมันระกำ และมีชื่อเรียกอื่นๆ เช่น ซาลิไซลิก แอซิด เมทิลเอสเตอร์ (salicylic acid methyl ester) หรือ ออยล์ ออฟ วินเตอร์กรีน (oil of wintergreen) ลักษณะเป็นของเหลวใสที่อุณหภูมิห้อง มีกลิ่นฉุน เมื่อถูกผิวหนังจะแสบร้อน เมทิลซาลิไซเลตจะพบในพืชหลายชนิด โดยพืชที่มีสารตัวนี้จะเรียกว่า วินเตอร์กรีน (wintergreen) เมทิลซาลิไซเลต เป็นพิษ ดังนั้นพืชที่มีสารตัวนี้ก็เพื่อป้องกันตนเองจากสัตว์กินพืช (herbivory) และยังดึงดูดศัตรูทางธรรมชาติของแมลง

ไพนีน เป็นสารประกอบประเภทมอโนเทอร์พีนสองวงแหวน มีสูตรเคมีคือ $C_{10}H_{16}$ ไพนีนมีสองไอโซเมอร์ในธรรมชาติคือ แอลฟา-ไพนีนและบีตา-ไพนีน สารสองชนิดนี้เป็นส่วนประกอบสำคัญในยางไม้และน้ำมันสน แอลฟา-ไพนีนเป็นสารเทอร์พีนอยด์ที่พบมากที่สุดในธรรมชาติ และใช้เป็นสารไล่แมลง พบในสนและพืชชนิดอื่น ๆ เช่น สกุลกัญชา (Cannabis), สกุล Heterotheca และ Artemisia tridentata เป็นส่วนประกอบสำคัญในน้ำมันหอมระเหยในพืชสกุล Sideritis, Salvia และยางจากพืชชนิด *Pistacia terebinthus* ผิวมะกรูดมีน้ำมันหอมระเหยที่มีส่วนประกอบสำคัญคือ บีตา-ไพนีนและลิโมนีน

นอกจากนี้ยังมีรายงานการศึกษาสารระเหยที่เกี่ยวข้องกับการต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล พบสารระเหยที่คาดว่ามีความเกี่ยวข้องกับกลไกการต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลของข้าว ได้แก่ benzyl alcohol, 2,3-difydroben-zofuran, 3-hexen-1-ol และ 3,7-dimethyl-2,6-octadienal ตามลำดับ (Mahateeranonte, 1997) สำหรับสารระเหยชนิดอื่นๆ ที่มีคุณสมบัติในการช่วยป้องกันแมลงศัตรูพืช ได้รวบรวมและแสดงในตารางที่ 1 ดังนี้

ตาราง **1** งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสารระเหยที่พบในข้าวที่มีบทบาทในการป้องกันแมลงศัตรูพืช

วิธีการปฏิบัติ	สารระเหยที่พบ	ชนิดของแมลง	อ้างอิง
วิเคราะห์ใบข้าวที่ถูกทำลายด้วยเพลี้ยอ่อนด้วยเครื่อง olfactometer-GC	methyl salicylate	เพลี้ยอ่อน (Aphid)	Pettersson et al., 1994
สกัดสารระเหยจากใบและกาบใบของข้าว 3 สายพันธุ์ คือ สายพันธุ์สุพรรณบุรี 90 สายพันธุ์สุพรรณบุรี 60 และสายพันธุ์ Tai chung Native สกัดด้วยไอน้ำแบบง่าย และวิเคราะห์สารระเหยทั้งหมดในสารสกัดของข้าวแต่ละสายพันธุ์โดยเทคนิค GC-MS	benzyl alcohol 2,3-difydroben-zofuran 3-hexen-1-ol 3,7-dimethyl-2,6 octadienal	เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล (brown planthopper)	Mahateeranonte, 1997
ทดสอบข้าวสายพันธุ์ Xiushui 11 wildtype พ่นกรดจัสโมนิกที่ความเข้มข้น 2 mg/ml และ SA ที่ความเข้มข้น 70 mg/ml วิเคราะห์สารระเหยด้วยเทคนิค GC-MS	2-Heptanol α-Thujene α-Pinene Linalool Methyl salicylate α-Copaene Sesquithujene α-Cedrene (E)-β-Caryophyllene (E)-α-Bergamotene Sesquisabinene A (E)-β-FaMesene α-Curcumene β-Bisabolene	เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล (brown planthopper)	Qi et al., 2011

วิธีการปฏิบัติ	สารระเหยที่พบ	ชนิดของแมลง	อ้างอิง
ปลูกข้าวเป็นเวลา 10-12 วัน ปล่อยหนอนกระทู้ ระยะที่ 4 ตรวจวัดด้วย เทคนิค olfactometer เปรียบเทียบความดึงดูด ของต้นข้าวที่มีหนอน กระทู้เทียบกับต้นข้าวชุด ควบคุม	Green leaf volatiles	หนอนกระทู้ *(Spodoptera littoralis)*	Von et al., 2013
จุ่มใบข้าวลงในสารละลาย ที่มี 250 uM JA + 1 mM D_5phenylacetaldoxime หลังจากฟักไข่ค้างคืน นาน 18 ชั่วโมง วิเคราะห์ สารระเหยที่ปล่อยออกมา จากใบด้วยเทคนิค GC-MS/FID	nitriles benzyl cyanide 2-methylbutyronitrile 3-methylbutyronitrile	หนอนผีเสื้อ *(Lymantria dispar)*	Irmisch et al., 2014
ปลูกข้าวเป็นเวลา 2 สัปดาห์ จากนั้นปล่อย เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้า ทำลายจำนวน 12 ตัว ต่อ ข้าว 1 ต้น วิเคราะห์สาร ระเหยจากต้นข้าวด้วย เทคนิค GC-MS	Alkane ketone alkene alcohol Aldehyde Gamma and alpha tocopherol neophytadiene dibutyl phthalate and stigmasterol naptho[2,3-b] furan-4,9-dione	เพลี้ยกระโดดสี น้ำตาล (brown planthopper)	Jannoey et al., 2016

วิธีการปฏิบัติ	สารระเหยที่พบ	ชนิดของแมลง	อ้างอิง
ปลูกข้าวสองสายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวที่มีความสามารถในการผลิต indole เพิ่มขึ้นเปรียบเทียบกับข้าวป่าเป็นเวลา 10-12 วัน จากนั้นทดสอบการป้องกันตนเองของข้าวทั้งสองสายพันธุ์หลังปล่อยหนอนผีเสื้อเข้าทำลาย	nitriles benzyl cyanide, 2-methylbutyronitrile, sesquiterpene (E)-(b)-caryophyllene, methylbutyronitrile	หนอนกระทู้ *(Spodoptera littoralis)*	Veyrat et al., 2016
พ่นสารระเหยเมทิลจัสโมเนตที่ความเข้มข้น 2-5 mM และ กรดซาลิไซลิกที่ ความเข้มข้น 8-16 mM ในข้าวและวิเคราะห์สารระเหยด้วยเทคนิค GC-MS	Methyl salicylate alpha-pinene Beta-pinene Azulene 1-hexanol-2-ethyl	แมลงกลิ่นเหม็นข้าว (Oebalus pugnax)	Freitas et al., 2018
ปล่อยเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลตัวเมีย 10 ตัวลงบนต้นข้าวเป็นเวลา 12 ชั่วโมง และทดสอบสารระเหยในข้าวด้วยเทคนิค GC-MS	**α**-pinene linalool 2-heptanone 2-heptanol cedrol (E)-**β**-caryophyllene (E)–2-hexenal isophorone methyl salicylate, 2-tridecanone isopropyl myristate (E)–2-heptanyl **α**-copaene 2-pentadecanone	เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล (brown planthopper)	Hu et al., 2020

วิธีการปฏิบัติ	สารระเหยที่พบ	ชนิดของแมลง	อ้างอิง
นำเมล็ดข้าวจากข้าว 117 สายพันธุ์ จำนวน 2.5 กก. นำตัวอ่อนไข่ของมอดข้าวสาลี เก็บไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส จากนั้นทดสอบสารระเหยในเมล็ดข้าวร่วมกับมอดข้าวสาลีด้วยเทคนิค GC-MS	Pentanamide	แมลงปีกแข็ง *(Coleoptera),* มอดผีเสื้อ *(Lepidoptera)*	Zhang et al., 2021
นำข้าวสองสายพันธุ์ คือ พันธุ์ที่อ่อนแอต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล Taichuang Native 1 (TN1) และพันธุ์ที่ต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล IR64 ปล่อยเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย และทดสอบสารระเหยในข้าวด้วยเทคนิค GC-MS และ GC-EAG	methyl benzoate 2-nonanone (R/S)-linalool (E)-4,8-dimethylnona-1,3,7-triene (DMNT) veratrole methyl salicylate (E,E)-4,8,12-trimethyltrideca-1,3,7,11-tetraene (TMTT)	เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล (brown planthopper)	Zhang et al., 2021

เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล Nilaparvata lugens (Stål)

เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล *Nilaparvata lugens* (Stål) ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Nilaparvata lugens* (Stål) วงศ์ : *Delphacidae* อันดับ : *Homoptera* เป็นแมลงจำพวกปากดูด ตัวเต็มวัยมีลำตัวสีน้ำตาลถึงสีน้ำตาลปนดำ มีรูปร่าง 2 ลักษณะ คือ ชนิดปีกยาว (macropterous form) และชนิดปีกสั้น (bracrypterous form) ชนิดมีปีกยาวสามารถเคลื่อนย้ายและอพยพไปในระยะทางใกล้และไกลโดยอาศัยกระแสลมช่วย ตัวเต็มวัยเพศเมียจะวางไข่เป็นกลุ่ม ส่วนใหญ่วางไข่ที่กาบใบข้าว หรือเส้นกลางใบ โดยวางไข่เป็นกลุ่ม เรียงแถวตามแนวตั้งฉากกับกาบใบข้าว บริเวณที่วางไข่จะมีรอยช้ำเป็นสีน้ำตาล ไข่มีลักษณะรูปกระสวยโค้งคล้ายกล้วยหอม มีสีขาวขุ่น ตัวอ่อนมี 5 ระยะ ระยะตัวอ่อน 16-17 วัน ตัวเต็มวัยเพศเมียชนิดปีกยาวมีขนาด 4-4.5 มิลลิเมตร วางไข่ประมาณ 100 ฟอง เพศผู้มีขนาด 3.5-4 มิลลิเมตร เพศเมียชนิดปีกสั้นวางไข่ประมาณ 300 ฟอง ตัวเต็มวัยมีชีวิตประมาณ 2 สัปดาห์ ในหนึ่งฤดูปลูกข้าวเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลสามารถเพิ่มปริมาณได้ 2-3 อายุขัย (generation) (กรมการข้าว, 2016)

(ก) (ข)

ภาพ 3 เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล (ก) ตัวเต็มวัยชนิดปีกสั้นและปีกยาว และ (ข) ตัวอ่อน

ลักษณะการทำลายและการระบาดของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล

เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลทั้งตัวอ่อนและตัวเต็มวัย ทำลายข้าวโดยการดูดกินน้ำเลี้ยงจากเซลล์ท่อน้ำและท่ออาหาร บริเวณโคนต้นข้าวระดับเหนือผิวน้ำ ทำให้ต้นข้าวมีอาการใบเหลืองแห้งลักษณะคล้ายถูกน้ำร้อนลวกแห้งตายเป็นหย่อมๆ เรียก "อาการไหม้" (hopperburn) โดยทั่วไปพบอาการไหม้ในระยะข้าวแตกกอ ถึงระยะออกรวงซึ่งตรงกับช่วงอายุขัยที่ 2–3 (generation) ของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในนาข้าวที่ขาดน้ำ ตัวอ่อนจะลงมาอยู่ที่บริเวณโคนกอข้าวหรือบนพื้นดินที่แฉะมีความชื้น นอกจากนี้เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลยังเป็นพาหะนำเชื้อไวรัส โรคใบหงิก (rice raggedstunt) มาสู่ต้นข้าว ทำให้ต้นข้าวมีอาการแคระแกร็น ต้นเตี้ยใบสีเขียวแคบ แก่ช้ากว่าปกติ ปลายใบบิด เป็นเกลียว

ภาพ 4 ลักษณะการระบาดรุนแรงในนาข้าว

ปัจจัยที่มีผลต่อการระบาดของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล

วิธีการปลูกข้าว การปลูกข้าวแบบนาหว่านน้ำตมมีปัญหาการระบาดมากกว่านาดำเพราะนาหว่านมีจำนวนต้นข้าวหนาแน่นทำให้อุณหภูมิและความชื้นในแปลงนาเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล ประกอบกับนาหว่านเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลสามารถทำลายข้าวได้อย่างต่อเนื่อง

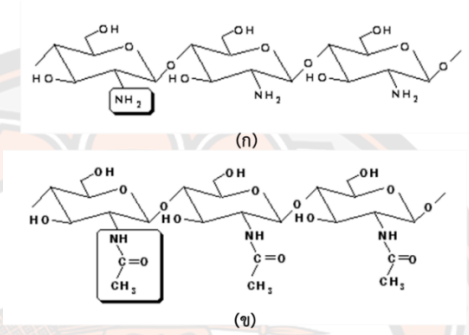
การใช้ปุ๋ยอัตราสูง โดยเฉพาะปุ๋ยไนโตรเจน ทำให้การเพิ่มจำนวนเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในนาข้าว มีแนวโน้มมากขึ้น เนื่องจากปุ๋ยไนโตรเจน ทำให้ใบข้าวเขียว หนาแน่น ต้นข้าวมีสภาพอวบน้ำ เหมาะแก่การเข้าดูดกิน และขยายพันธุ์ของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล

การควบคุมน้ำในนาข้าว สภาพนาข้าวที่มีน้ำขังในนาตลอดเวลา ทำให้เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลสามารถเพิ่ม จำนวนได้มากกว่าสภาพที่มีการระบายน้ำในนาออกเป็นครั้งคราว เพราะมีความชื้นเหมาะแก่การเจริญเติบโตของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล

การใช้สารฆ่าแมลงในระยะที่เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเป็นตัวเต็มวัยชนิดปีกยาว หรือช่วงที่อพยพเข้าในนาข้าวใหม่ๆ (ข้าวระยะ 30 วันหลังหว่าน) ศัตรูธรรมชาติจะถูกทำลายและสารฆ่าแมลงก็ไม่สามารถทำลายไข่ของเพลี้ยกระโดดสี น้ำตาลได้ ทำให้ตัวอ่อนที่ฟักออกจากไข่มีโอกาสรอดชีวิตสูง

ไคโตซาน (Chitosan)

ไคโตซาน เป็นไบโอโพลิเมอร์ธรรมชาติ มีองค์ประกอบสำคัญที่เป็นน้ำตาลชนิดกลูโคซามีน (D – glucosamine) (ภาพที่ 5ก) ผลิตจากไคติน (ภาพที่ 5ข) ที่เป็นองค์ประกอบเปลือกนอกของสัตว์จำพวก กุ้ง ปู แมลง และเชื้อรา เป็นวัสดุชีวภาพ (Biomaterials) ที่ย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ มีความปลอดภัยในการนำมาใช้กับมนุษย์ ไม่เกิดผลเสียและปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม ไม่เกิดการแพ้ ไม่ไวไฟ และไม่เป็นพิษ (non–phytotoxic) ต่อพืช



ภาพ 5 โครงสร้างของสารไบโอโพลิเมอร์ (ก) ไคโตซาน และ (ข) ไคติน

ไคโตซานยังส่งเสริมการเพิ่มปริมาณของสิ่งมีชีวิตที่มีประโยชน์ในการควบคุมศัตรูพืช โดยยับยั้งเชื้อสาเหตุของโรคพืช ได้แก่ เชื้อไวรัส แบคทีเรีย และเชื้อราบางชนิด โดยไคโตซานจะซึมผ่านเข้าทางผิวใบ ลำต้นพืช ช่วยยับยั้งการเกิดโรคพืช และสร้างความต้านทานโรคโดยไคโตซานจะกระตุ้นระบบป้องกันตัวเองของพืช ทำให้พืชผลิตเอนไซม์และสารเคมีเพื่อป้องกันตนเองหลายชนิด พืชจึงลดโอกาสที่จะถูกคุกคามโดยเชื้อสาเหตุโรคพืชได้

ไคโตซานจะกระตุ้นให้มีการผลิตสารลิกนินและแทนนินในพืชมากขึ้น พืชสามารถป้องกันตนเองจากการทำลายของแมลงศัตรูพืช จะสังเกตว่าต้นพืชที่ได้รับไคโตซานจะมีแวกซ์เคลือบที่ผิวใบ และยังพบว่าไคโตซานจะช่วยเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ในดิน ทำให้เกิดการลดปริมาณของจุลินทรีย์ก่อโรคพืช นอกจากนี้แล้ว ไคโตซานยังมีประโยชน์อีกมากมายต่อการเกษตร เช่น เร่งการเจริญเติบโตในพืชและสัตว์ สุกร กุ้ง เป็ด ไก่ สารเคลือบผลไม้เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา สารถนอมอาหาร เป็นต้น

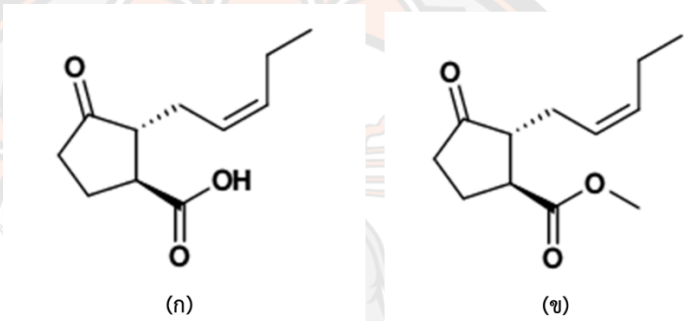
จากการศึกษารายงานวิจัยก่อนหน้านี้ มีรายงานการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ไคโตซานความเข้มข้นที่ต่างกันสามารถป้องกันแมลงศัตรูพืชในข้าว ดังแสดงในตารางที่ 3

ตาราง 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ไคโตซานที่สามารถป้องกันแมลงศัตรูพืชในข้าว

วิธีการปฏิบัติ	ความเข้มข้น	สปีชีย์ของแมลง	อ้างอิง
พ่นสารละลายไคโตซานในข้าวความเข้มข้นที่ต่างกัน 3 ความเข้มข้น เปรียบเทียบกับชุดควบคุม	50, 70 และ 100 ppm	เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล (brown planthopper)	Toan et al., 2013
พ่นสารละลายนาโนไคโตซานความเข้มข้นที่ต่างกัน 3 ความเข้มข้น เปรียบเทียบกับชุดควบคุม	10, 50 และ 100 ppm	เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล (brown planthopper)	Jannoey et al., 2015
พ่นสารละลาย Chitosan Nanoparticles CNPs chitosan 2 ความเข้มข้น เปรียบเทียบกับชุดควบคุม	500, 2000 ppm	หนอนกระทู้ *(Spodoptera littoralis),* ไส้เดือนฝอย *(Meloidogyne incognita)*	Alfy et al., 2020.
พ่นสารละลายไคโตซานในข้าวความเข้มข้นที่ต่างกัน 6 ความเข้มข้น เปรียบเทียบกับชุดควบคุม	500, 1000, 2000, 3000, 4000, 5000 ppm	หนอนกระทู้ *(Spodoptera littoralis)*	Abdullah et al., 2021
ศึกษาการออกฤทธิ์ของอนุภาค Chitosan-cellulose Nanoparticles	20 mg/mL	มดคันไฟอิวิคต้า *(Solenopsis invicta),*	Zheng et al., 2021
พ่นสารละลายไคโตซาน 2 ความเข้มข้น เปรียบเทียบกับชุดควบคุม	250, 500 mg/mL	เพลี้ยอ่อน *(Aphids)*	Alfy et al., 2023

เมทิลจัสโมเนต

เมทิลจัสโมเนต (Methyl Jasmonate) เป็นสารประกอบอินทรีย์ระเหยที่ใช้ในการป้องกันพืช และ-ส่งเสริมการเจริญของพืช เช่น การงอกของเมล็ดการเจริญเติบโตของราก การออกดอก การสุกของผล เมทิลจัสโมเนตเป็นอนุพันธ์ของกรดจัสโมนิก-เกิดจากปฏิกิริยาการเติมหมู่เมทิล ($–CH_3$) ที่จะถูกเร่งด้วยเอนไซม์ S-adenosyl-L-methionine: jasmonic acid carboxyl methyltransferase มีมวลโมเลกุล 224.3 g/mol จุดเดือดอยู่ที่ 88-90°C (190-194°F; 361-363 K) ที่ 0.1 mmHg จัดเป็นประเภท สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย สูตรเคมีคือ $C_{13}H_{20}O_3$ (ภาพที่ 6) และจุดหลอมเหลว < 25°C (77°F; 298 K)



ภาพ 6 โครงสร้างทางเคมีของ (ก) กรดจัสโมนิก และ (ข) เมทิลจัสโมเนต

จากการศึกษาผลของสารละลายเมทิลจัสโมเนต ต่ออัตราการเจริญเติบโตของดาวเรืองลูกผสมพันธุ์อเมริกัน โดยวางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial) ปัจจัยหลักที่ศึกษา คือ วิธีการให้สาร (การพ่นและรด) และปัจจัยรอง คือ ความเข้มข้นของสารละลายเมทิลจัสโมเนต (0-50 ไมโครโมลาร์) พบว่า การรดสารละลายเมทิลจัสโมเนตความเข้มข้น 50 ไมโครโมลาร์ ทำให้ความสูงของต้นเพิ่มขึ้น ส่วนการพ่นสารละลายเมทิลจัสโมเนตความเข้มข้น 10 ไมโครโมลาร์ ทำให้อัตราการเพิ่มของจำนวนใบมากที่สุด สำหรับการพ่นสารละลายเมทิลจัสโมเนตความเข้มข้น 30 ไมโครโมลาร์ ทำให้อัตราการเพิ่มขนาดของใบเฉลี่ยมากที่สุด นอกจากนี้อัตราการเพิ่มของขนาดทรงพุ่มและจำนวนยอด ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) และการพ่นสารละลายเมทิลจัสโมเนตความเข้มข้น 10 ไมโครโมลาร์ ทำให้จำนวนดอกสูงที่สุด จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่า สารละลายเมทิลจัสโมเนตส่งผลต่ออัตราการเจริญเติบโตต่อดาวเรืองลูกผสมพันธุ์อเมริกัน (Promchan, 2016) และรายงานการวิจัยอื่นๆที่พบว่าเมทิลจัสโมเนตและกรดจัสโมนิกสามารถใช้ป้องกันแมลงศัตรูพืช ได้สรุปและแสดงในตารางที่ 4 ดังนี้

ตาราง 3 การประยุกต์ใช้เมทิลจัสโมเนตและกรดจัสโมนิกที่ใช้ป้องกันแมลงศัตรูพืชในข้าว

วิธีการปฏิบัติ	ความเข้มข้น	สปีชีย์ของแมลง	อ้างอิง
พ่นกรดจัสโมนิกเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ที่ไม่ได้รับการฉีดพ่น ในการป้องกันแมลง	กรดจัสโมนิก ความเข้มข้น 0.5-1.5 mM	ด้วงหมัด *(Epitrix hirtipennis Melsheimer :flea beetle, Coleoptera: Chrysomelidae),* เพลี้ยอ่อน *(Macrosiphum euphorbiae Thomas : potato aphid, Homoptera: Aphididae),* หนอนกระทู้หอม *(Spodoptera exigua Hübner :beet armyworm, Lepidoptera: Noctuidae: Eggs of S. Exigua*	Thaler et al., 2001
พ่นสารระเหยกรดจัสโมนิกร่วมกับกรดซาลิไซลิกทางใบ	กรดจัสโมนิก ความเข้มข้น 0.5 mM	หนอนกระทู้หอม *(Spodoptera exigua)*	Cipollini et al., 2004
พ่นสารระเหยกรดจัสโมนิกทางการค้าพ่นทางใบ	กรดจัสโมนิก ความเข้มข้น 2.5-5 mM	เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล(brown planthopper*)*	Senthil et al., 2009

วิธีการปฏิบัติ	ความเข้มข้น	สปีชีย์ของแมลง	อ้างอิง
ทดสอบในข้าว 5 ชนิด โดยทำการพ่นกรดจัสโมนิกแล้วทำการปล่อยแมลงบนต้นข้าว	กรดจัสโมนิก ความเข้มข้น 2 mM	หนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุด *(Spodoptera frugiperda)*	Stout et al., 2009
ทดสอบในข้าว โดยทำการพ่นกรดจัสโมนิกเปรียบเทียบกับชุดควบคุมแล้วทำการปล่อยแมลง	กรดจัสโมนิก ความเข้มข้น 1-5 mM	ด้วงงวงกินรากข้าว *(Lissorhoptrus oryzophilus.)*	Hamm et al., 2010
ทำการทดลองภาคสนามเพื่อสังเกตผลของการพ่นกรดจัสโมนิก ลงบนต้นข้าวสาลี 2 สายพันธุ์ พ่นสองครั้งที่ระยะการเจริญเติบโต ด้วยกรดจัสโมนิก 2 ความเข้มข้นพร้อมกับแปลงควบคุมที่พ่นด้วยน้ำ	กรดจัสโมนิก ความเข้มข้น 0.5-1 mM	เพลี้ยอ่อน *(Aphids),* เพลี้ยไฟ *(thrips)*	El-Wakeil et al., 2010
พ่นสารระเหยเมทิลจัสโมเนตร่วมกับ กรดซาลิไซลิก ในข้าว และวิเคราะห์สารระเหยด้วย GC-MS	เมทิลจัสโมเนต ความเข้มข้น 2-5 mM	แมลงกลิ่นเหม็นข้าว*(Oebalus pugnax* Fabricius.)	Freitas et al., 2018
ต้นข้าวได้รับสารระเหยเมทิลจัสโมเนต พ่นทางใบ จากนั้นปล่อยแมลงที่อดอาหารเป็นเวลา 4 ชั่วโมงเข้าทำลายต้นข้าว	เมทิลจัสโมเนต ความเข้มข้น 2.5 และ 5 mm	หนอนห่อใบข้าว *(Cnaphalocrocis medinalis)*	Senthil-Nathan, 2019
เมล็ดข้าวถูกแช่ในสารละลายเมทิลจัสโมเนต 2 ความเข้มข้น เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วทดสอบการเข้าทำลายโดยแมลง	เมทิลจัสโมเนต ความเข้มข้น 2.5 และ 5 mm	ด้วงงวงน้ำ *(rice water weevil)*	Kraus, 2019.

วิธีการปฏิบัติ	ความเข้มข้น	สปีชีย์ของแมลง	อ้างอิง
เปรียบเทียบพืชที่ได้รับการพ่นสารระเหยเมทิลจัสโมเนตพ่นทางใบกับพืชชุดควบคุม ทดสอบการเข้าทำลายโดยแมลง	เมทิลจัสโมเนต ความเข้มข้น 0, 25, และ 50 mM	ด้วงสน *(Hylobius abietis)*	Puentes et al. 2021
พืชได้รับสารระเหยเมทิลจัสโมเนตพ่นทางใบ จากนั้นปล่อยให้แมลงเข้าทำลาย และศึกษาการแสดงออกของยีนที่ทำหน้าที่ต้านแมลงด้วย RT-qPCR	เมทิลจัสโมเนต ความเข้มข้น 100 µg/µL	หนอนข้าวโพด *(Delia platura)*	ErazoGarcia et al., 2021
ข้าวได้รับสารละลายเมทิลจัสโมเนตและกรดจัสโมนิก พ่นทางใบ ปล่อยแมลงเข้าทำลายเมื่อข้าวมีอายุ 30 วัน	เมทิลจัสโมเนต ความเข้มข้น 2.5 mM และกรดจัสโมนิก ความเข้มข้น 2.5 mM	ด้วงงวงกินรากข้าว *(Lissorhoptrus oryzophilus.)*	Bhavanam, 2021
ทำการทดลองกับตัวอ่อนหนอนกระทู้ 60 ตัว ในระยะที่สี่ บนต้นข้าวที่ได้รับเมทิลจัสโมเนต ที่ความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง บันทึกน้ำหนักเริ่มต้นของตัวอ่อน สังเกตการอยู่รอดของตัวอ่อนทุกวันจนกว่าตัวอ่อนทั้งหมดจะเข้าสู่ระยะดักแด้หรือตาย	เมทิลจัสโมเนต ความเข้มข้น 20 µg/µL, 200 µg/µL และ 2000 µg/µL	หนอนกระทู้ *(Spodoptera littoralis)*	Chen, et al., 2023
พ่นสารระเหย MeJA ฉีดพ่นทางใบ และวิเคราะห์ความเสียหายของพืชในวันที่ 1, 2, 4 และ 8 หลังให้อาหารแมลง	เมทิลจัสโมเนต ความเข้มข้น 20, 200 และ 2000 µg/µL	หนอนกระทู้ *(Spodoptera littoralis)*	Zhang, et al., 2023

กลไกการต้านทานโรคของพืช

พืชโดยทั่วไปมีกลไกป้องกันโรคโดยเกิดจากลักษณะโครงสร้างของพืชเอง ทำให้เกิดการยับยั้งเชื้อโรคเข้าสู่เนื้อเยื่อพืชการสร้างสารที่เป็นพิษต่อเชื้อโรคหรือไปยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ ซึ่งการสร้างกลไกการป้องกันการบุกรุกของพืชสรุปดังนี้ (Goodman et al., 1967)

(1) การป้องกันศัตรูพืชโดยอาศัยโครงสร้างของพืช (Structural defense)

พืชอาจมีโครงสร้างและส่วนประกอบที่สามารถป้องกันเชื้อโรค เช่น ขี้ผึ้งและไข ขนาดและรูปร่างของปากใบ ฯลฯ หรือพืชอาจเปลี่ยนแปลงโครงสร้างหลังจากเชื้อเข้าสู่พืชแล้วส่งผลให้เชื้อก่อโรคลุกลามต่อไป เช่น การเกิดเซลล์อัดกันเป็นชั้น เป็นต้น ลักษณะและการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวขึ้นอยู่กับชนิดของพืชและเชื้อโรค ยกตัวอย่างเช่น ผิวเป็นส่วนแรกของพืชที่เป็นเกาะป้องกันการเจาะผ่านของเชื้อก่อโรคเช่น ขี้ผึ้งที่คลุมใบและผลป้องกันหยดน้ำเกาะติดผิวพืช ทำให้สปอร์ของเชื้อราที่อยู่บนผิวพืชไม่งอก หรือไม่มีความชื้นพอที่จะให้แบคทีเรียเพิ่มจำนวนได้ ขนบริเวณผิวพืชที่หนาแน่น ทำให้หยดน้ำไม่เกาะติดผิวหรืออยู่ไม่ได้นานมีสภาพไม่เหมาะต่อการเข้าทำลายของเชื้อก่อโรคตลอดจนความหนาของไขที่ห่อหุ้ม อาจทำให้พืชมีความต้านทานต่อโรคมากขึ้น โดยเฉพาะโรคที่เชื้อเจาะผ่านสู่พืชโดยทางตรง อย่างไรก็ตามความหนาของไขห่อหุ้มนี้อาจทำให้เชื้อเจาะผ่านเข้าสู่พืชทางตรงง่ายขึ้นก็ได้ขึ้นอยู่กับชนิดของพืชและเชื้อสาเหตุ นอกจากนี้ความเหนียวของผนังเซลล์ชั้นนอก ทำให้เชื้อราเจาะผ่านเข้าสู่พืชทางตรงไม่ได้ ความหนาและเหนียวจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญมากของพืชต้านทานโรคบางชนิด ยกตัวอย่างเช่น ความหนาและเหนียวของผนังเซลล์เนื้อเยื่อท่อลำเลียงน้ำ เนื้อเยื่อสเคลอเรนไคมา (sclerenchyma) และท่อลำเลียงน้ำ (xylem) จะขัดขวางการเจริญของเชื้อรา แบคทีเรีย และไส้เดือนฝอยบางชนิดได้ เช่น การเจริญของเชื้อราสาเหตุของโรคราสนิมบนกิ่ง และลำต้นของธัญพืช แบคทีเรียก่อโรคใบจุดเหลี่ยมของฝ้ายจะเจริญลุกลามเฉพาะในเนื้อเยื่อที่อยู่ระหว่างเส้นใยเท่านั้น ชนิดและโครงสร้างของปากใบ โดยพืชปากใบที่มีช่องแคบอาจทำให้พืชต้านทานต่อโรคที่เกิดจากแบคทีเรีย และเชื้อราที่เจาะผ่านพืชทางปากใบดีขึ้น ตลอดจนเวลาการเปิด-ปิดของปากใบก็มีส่วนเกี่ยวข้องกับการทำให้พืชต้านทานโรคด้วยเช่น โรคราสนิมของข้าวสาลีสายพันธุ์ที่ต้านทานโรคนั้น ปากใบจะเปิดเวลากลางวันตอนสาย แต่สปอร์ของเชื้อก่อโรคจะงอกในหยดน้ำค้างเวลากลางคืน ซึ่งปากใบยังปิดอยู่ น้ำค้างจะระเหยไปหมดก่อนปากใบพืชเปิด เป็นต้น

(2) กลไกการทำงานของ Systemic Acquired Resistance (SAR)

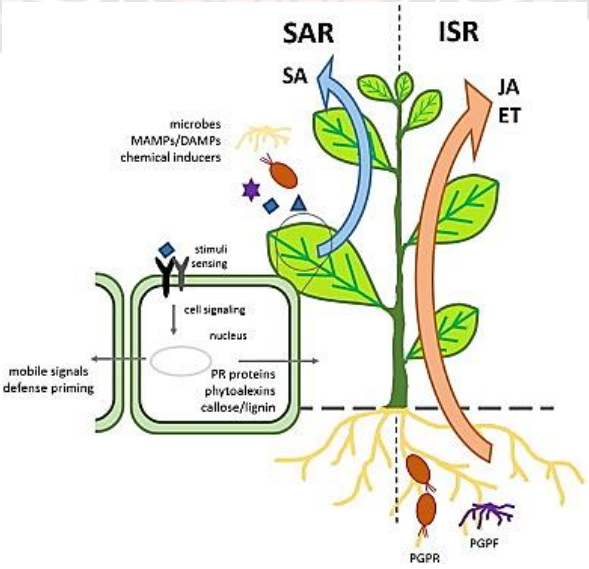
SAR เป็นระบบป้องกันตัวเองของพืชตามธรรมชาติ ซึ่งจะถูกกระตุ้นเมื่อมีเชื้อก่อโรค ทั้งเชื้อรา แบคทีเรีย และไวรัส ที่เข้าทำลายพืชทำให้เกิดบาดแผล พืชจะเกิดการการตอบสนองอย่างฉับพลันที่เรียกว่า Hypersensitive Response (HR) และหลั่งสารเช่น กรดซาลิไซลิก ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นสารสื่อสัญญาณ (SAR Signal) ผ่าน SA-Signaling Pathway ส่งสัญญาณไปยังเซลล์ต่างๆ กระตุ้นให้ยีน

ต้านทานโรค สร้างโปรตีนต้านทาน ทำให้พืชมีภูมิต้านทานและป้องกันการเกิดโรคที่มีสาเหตุมาจากเชื้อรา แบคทีเรีย และไวรัสได้ ก่อนที่เชื้อโรคจะลุกลามไปทั่วทั้งลำต้น (ภาพที่ 7)

(3) กลไกในการทำงานของ Induced Systemic Resistance (ISR)

กลไกในการทำงานของ Induced Systemic Resistance (ISR) นั้นจะเหนี่ยวนำให้พืชป้องกันตนเองจากสิ่งบุกรุกโดยผ่าน JA-Signaling Pathway ด้วยการส่งสัญญาณเพื่อสร้างสารต่อต้านเชื้อโรคและแมลง ซึ่งสารต่อต้านแมลงอาจแบ่งได้เป็นหลักๆ 3 กลุ่ม ดังนี้ กลุ่มที่ 1 กลุ่ม Alkaloids เช่น Saponin และ Nicotine ฯลฯ ที่มีผลต่อระบบประสาทของแมลง และเอนไซม์ต่างๆ กลุ่มที่ 2 กลุ่ม Proteinase Inhibitors มีผลต่อเอนไซม์ในระบบการย่อยของแมลง ทำให้เกิดอาการขาดอาหารที่มีผลต่อการเจริญเติบโตในแมลง กลุ่มที่ 3 กลุ่มสาร เช่น Terpenes , Indoles, Phenolic ฯลฯ เป็นสารระเหยที่ส่งสัญญาณในการขับไล่แมลงโดยตรง หรือทางอ้อมโดยสารระเหยจะส่งสัญญาณล่อแมลง Predators (แมลงล่าเหยื่อ) เพื่อมากำจัดแมลงศัตรูพืช

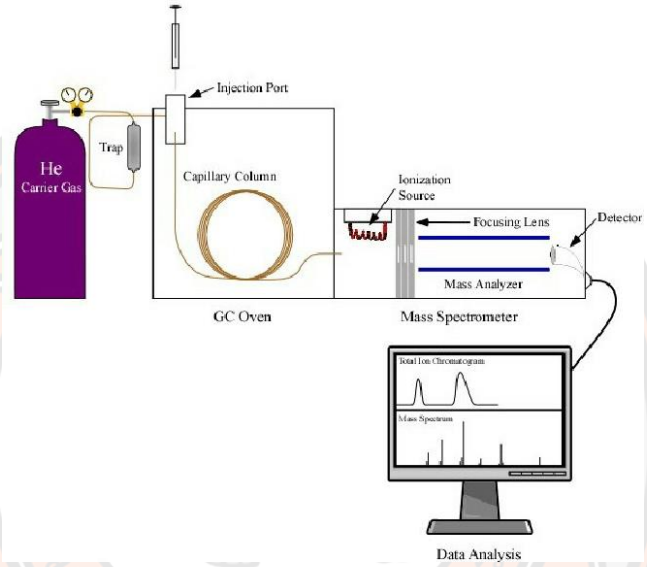
นอกจากนี้การเหนี่ยวนำให้เกิดความต้านทานอาจเกิดได้จากที่รากพืชมีการสะสมจุลินทรีย์บางชนิด มีรายงานก่อนหน้าพบว่ากลไกที่ควบคุมลักษณะความต้านทานเชื้อรา *Fusarium oxysporum* และแบคทีเรีย *Pseudomonas syringae* ของผักกาด สายพันธุ์ *A. thaliana* เกิดขึ้นเมื่อมีการเติมแบคทีเรีย *Pseudomonas fluorescens* ลงในดินปลูก โดยแบคทีเรีย *P. fluorescens* จะกระตุ้นความต้านทานผ่านกลไกที่ไม่เกี่ยวข้องกับวิถี SA (SA-independent systemic reaction) และไม่มีการสะสมโปรตีน PR-1 แต่ตรวจพบการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ฮอร์โมนอื่น เช่น กรดจัสโมนิก เป็นต้น (Burketova et al., 2015)



ภาพ 7 กลไกการป้องกันพืชด้วยกลไก SAR และ ISR

แก๊สโครมาโทรกราฟี-แมสสเปคโตเมทรี (Gas Chromatograph/Mass Spectrometer)

แก๊สโครมาโทรกราฟี-แมสสเปคโตเมทรี เป็นเทคนิคที่สามารถทำนายชนิดขององค์ประกอบที่มีอยู่ในสารได้อย่างค่อนข้างแม่นยำโดยอาศัยการเปรียบเทียบ Fingerprint ของเลขมวล (Mass Number) ของสารตัวอย่างนั้นๆ กับข้อมูลที่มีอยู่ใน Library นอกจากนี้ยังสามารถใช้ในการวิเคราะห์ได้ทั้งในเชิงปริมาณ (Quantitative Analysis) และเชิงคุณภาพ (Qualitative Analysis) GC-MS ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนของเครื่อง GC (Gas Chromatography) และส่วนของเครื่อง Mass Spectrometer ดังแสดงในภาพที่ 8



ภาพ 8 องค์ประกอบของแก๊สโครมาโทรกราฟี-แมสสเปคโตเมทรี

แก๊สโครมาโทรกราฟี-แมสสเปคโตเมทรี ทำหน้าที่ในการแยกองค์ประกอบของสารที่สามารถระเหยกลายเป็นไอ (Volatile organic compounds) ได้เมื่อถูกความร้อน กลไกที่ใช้ในการแยกองค์ประกอบต่างๆ ในสารตัวอย่าง อาศัยหลักของความชอบที่แตกต่างกันของ องค์ประกอบในตัวอย่างที่มีต่อเฟส 2 เฟส คือ Stationary phase และ Mobile phase องค์ประกอบที่สำคัญของเครื่อง GC (ภาพที่ 8) ดังนี้

1. แก๊สพา (Carrier gas) ทำหน้าที่ในการพาไอระเหยของสารตัวอย่างเข้าสู่คอลัมน์เพื่อให้เกิดการแยกและออกสู่ตัวตรวจวัดเพื่อบันทึกสัญญาณ ดังนั้นแก๊สพาจึงควรเป็นแก๊สเฉื่อย และควรเปิดไว้ตลอดเวลาที่เครื่องเปิดใช้งาน

2. ส่วนฉีดสาร (Injector) ทำหน้าที่ในการระเหยตัวอย่างให้กลายเป็นไอ ฉีดตัวอย่างเข้าเครื่องตรงบริเวณนี้ การตั้งค่าความร้อนควรเหมาะสมกับตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ ไม่มากหรือไม่น้อยเกินไป

3. คอลัมน์ (Column) และ ตู้อบคอลัมน์ (Column Oven) ทำหน้าที่ในการแยกสาร เนื่องจากตัวอย่างอยู่ในสถานะแก๊สดังนั้นคอลัมน์จึงต้องอยู่ในตู้ที่สามารถควบคุมความร้อนได้ป้องกันการควบแน่นของตัวอย่าง และการควบคุมอุณหภูมิที่เหมาะสมจะทำให้การแยกเกิดได้ดียิ่งขึ้นด้วย แต่คอลัมน์แต่ละชนิดทนความร้อนได้ไม่เท่ากัน ดังนั้นก่อนใช้งานควรศึกษาคุณสมบัติของคอลัมน์ที่มีอยู่ให้เข้าใจก่อนเริ่มงานป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นได้

4. ตัวตรวจวัด (Detector) ทำหน้าที่ในการตรวจวัดตัวอย่างที่ถูกแยกเรียบร้อยแล้วให้สามารถแปรผลได้ด้วยระบบไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ ตัวตรวจวัดมีหลายชนิด ควรศึกษาคุณสมบัติของตัวตรวจวัดว่าเหมาะสมกับตัวอย่างหรือไม่ก่อนเริ่มทำการวิเคราะห์

5. ซอฟแวร์และคอมพิวเตอร์สำหรับการประมวลผล ทำหน้าที่ในการบันทึกข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์และประมวลผลการวิเคราะห์พร้อมทั้งรายงานผลการวิเคราะห์ได้ตามที่ต้องการ

Mass Spectrometer (MS) เป็น Detector ที่ใช้ตรวจวัดองค์ประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง โดยอาศัยกลไก คือ โมเลกุลขององค์ประกอบที่ถูกแยกออกมาจากสารตัวอย่างโดยเครื่อง GC จะถูกไอออไนซ์ในสภาวะสุญญากาศแล้วตรวจวัดออกมาเป็นเลขมวล (Mass number) เทียบ กับฐานข้อมูลอ้างอิง แล้วแปลผลออกมาเป็นชื่อขององค์ประกอบนั้นๆ องค์ประกอบสำคัญของ MS

1. Ionization Source แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ Electron Ionization (EI) เป็นการทำให้สารเกิด Fragment ใช้ลำ Electron ซึ่ง Ionization chamber ต้องมีความดันต่ำประมาณ 10 -8 Torr โดย Electron จาก Filament ที่ร้อนจะถูกโฟกัสและถูกดึงเข้าหา repeller voltage ที่มีความต่างศักย์ 70 โวลต์ ซึ่งจะให้พลังงานกับ Electron เป็น 70 eV ทำให้ของผสมที่ซับซ้อนของไอออนเกิดการแตกหัก (Fragmentation ion) และ Chemical Ionization (CI) เป็นการทำให้เกิด Fragment ด้วยวิธีทางเคมีโดยผสมสารตัวอย่าง (ความดัน10 -4Torr) เข้ากับแก๊สที่ทำปฏิกิริยาด้วย (ความดัน 1 Torr) แล้วผ่านสารผสมเข้าไปใน Ionization chamber ทำให้เกิดการ Fragment ด้วยการชนกับ Electron

2. Mass Analyzer เป็นเครื่องวิเคราะห์มวล มีหลายแบบ คือ Magnetic-sector analyzer, Electrostatic analyzer, Time-of-flight analyzer, Ion cyclotron resonance analyzer, Quadrupole mass spectrometer-Quadrupole Mass Spectrometer ใช้หลักการวิเคราะห์ด้วย สนามแม่เหล็ก คือ Path-stability mass spectrometer ซึ่งมีแหล่งผลิต ion source 2 ส่วน โดยส่วนแรกจะทำให้ตัวอย่างกลายเป็นไอออน และส่วนที่ 2 ทำให้สารมาตรฐาน กลายเป็นไอออน ลำไอออนทั้งสองจะถูกบังคับให้ผ่านเครื่องแยกไอออนชุดเดียวกัน ดังนั้นไอออนทั้งหมดจะได้รับอิทธิพลจากสนามแม่เหล็กในสภาวะเดียวกัน แต่ถูกตรวจและวัดด้วยเครื่อง Detector แยกกัน ซึ่งมีข้อดีคือทำให้สามารถวัดมวลได้อย่างถูกต้อง แม่นยำ

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

สายพันธุ์ข้าวที่ใช้ในงานวิจัย; ข้าวสายพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (*Oryza sativa* L. Khao Dawk Mali 105) เป็นข้าวที่นิยมปลูกอย่างแพร่หลาย เนื่องจากให้ผลผลิตสูงและมีราคาแพง และไม่ต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล

ดินที่ใช้ปลูกข้าวในงานวิจัย; ดินเหนียวจากตำบลวัดพริก จ.พิษณุโลก ซึ่งเป็นชุดดินที่ 41 เป็นชุดดินที่เหมาะสมสำหรับการปลูกข้าว

เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล. (*Nilaparvata lugens*) ระยะตัวอ่อนและตัวเต็มวัยที่ใช้ในงานวิจัยได้รับการอนุเคราะห์จากศูนย์วิจัยพันธุ์ข้าว อ.วังทอง จ.พิษณุโลก

เครื่องมือ วัสดุ และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องมือ

1) Centrifuge ยี่ห้อ Tomy รุ่น MX301
2) Vortex ยี่ห้อ Labnet รุ่น VX100
3) Rotary evaporator ยี่ห้อ Heidolph
4) Balance 4-point ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น AB2045
5) Hotplate stirrer ยี่ห้อ Lab Tech รุ่น LMS-1003
6) Micropipette ยี่ห้อ Eppendorf Research Plus Single-Channel Pipette
7) Gas chromatography–mass spectrometry ยี่ห้อ Hewlett Packard รุ่น 5989MS Engine
8) Hot air oven ยี่ห้อ Memmert รุ่น UN-111
9) Shaker ยี่ห้อ Orbital Shaker รุ่น WS-50D

2. วัสดุ

1) Magnetic stirrer
2) Beaker 100, 250, 500 ml
3) 10, 200, 1000 µL tips
4) Centrifuge tube 15, 50 ml

5) Micro centrifuge 1.5 ml
6) Stirring Rod
7) Cylinder 100 ml
8) พลาสติก Mylar ครอบต้นข้าว
9) Petri–dish
10) Duran 250, 500, 1000 ml

3. สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1) Ethanol HPLC, RCI LabScan
2) Ethyl acetate HPLC, RCI LabScan
3) 5% Acetic acid, RCI LabScan
4) Methyl jasmonate, Aldrich, molecular weight 224.3 g/mol
5) Methanol HPLC, RCI LabScan
6) Chitosan, medium molecular weight (50-100 kda)

วิธีดำเนินการวิจัย

การวางแผนการทดลอง

การทดลองนี้จะวางแผนการทดลองแบบ RCBD (Randomized Complete Block Design) โดยทั้ง 8 กรรมวิธีในแต่ละซ้ำจะมีจำนวน 3 กระถาง โดยจะใช้ค่าเฉลี่ยของ 2 หรือ 3 กระถางที่ให้ผลการทดลองไปในทิศทางเดียวกัน วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of Variance)

โดยทั้ง 8 กรรมวิธี แตกต่างกันดังนี้

กรรมวิธี 1 (Tr1) ชุดควบคุมรดน้ำเปล่า (control)
กรรมวิธี 2 (Tr2) ชุดควบคุม 1 % เอทานอลพ่นทางใบ (control)
กรรมวิธี 3 (Tr3) ราดไคโตซานความเข้มข้น 50 ppm
กรรมวิธี 4 (Tr4) ราดไคโตซานความเข้มข้น 100 ppm
กรรมวิธี 5 (Tr5) ราดไคโตซานความเข้มข้น 200 ppm
กรรมวิธี 6 (Tr6) เมทิลจัสโมเนตพ่นทางใบที่ความเข้มข้น 1 mM
กรรมวิธี 7 (Tr7) เมทิลจัสโมเนตพ่นทางใบที่ความเข้มข้น 2.5 mM
กรรมวิธี 8 (Tr8) เมทิลจัสโมเนตฉีดพ่นทางใบที่ความเข้มข้น 5 mM

การเตรียมตัวอย่างต้นข้าว

แช่เมล็ดข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (KDML105) 1 คืน แล้วนำปลูกในกระถางจำนวน 20 เมล็ดต่อกระถาง จากนั้นแช่น้ำในกระบะสแตนเลส ขนาด120x150x15cm. ในกรง เมื่อต้นกล้าอายุ 10 วัน จึงทำการทดสอบตามกรรมวิธีทดลองดังนี้

การราดด้วยสารละลายไคโตซาน

นำสารละลายไคโตซานความเข้มข้นที่แตกต่างกันราดที่บริเวณโคนต้น โดยใช้ไคโตซานปริมาณ 100 มิลลิลิตร ต่อกระถาง ราดทุกวัน เป็นระยะเวลา 3 วัน ในช่วงเวลาเช้าก่อน 10 โมง เป็นระยะเวลา 3 วัน (อ้างอิงจากวิธีดั้งเดิมของเกษตรกรที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียหลังข้าวอยู่ในระยะกล้าหรืออายุครบ 10 วัน วันละ 1 ครั้ง) ดังแสดงในภาพที่ 9 จากนั้นสุ่มเก็บตัวอย่างข้าวในปริมาณ 10 ต้นต่อกระถาง ไปวิเคราะห์สารระเหยด้วยเทคนิค GC-MS

ภาพ 9 การราดสารละลายไคโตซานความเข้มข้นที่แตกต่างกันที่บริเวณโคนต้น

การพ่นสารละลายเมทิลจัสโมเนต

นำสารละลายเมทิลจัสโมเนตพ่นลงบริเวณลำต้นและใบข้าว โดยใช้ปริมาณ 10 มิลลิลิตร พ่นทุกวัน เป็นระยะเวลา 3 วัน โดยหลังจากพ่นจะคลุมต้นข้าวด้วยถุงพลาสติกใสเป็นระยะเวลา 1ชั่วโมง ดังแสดงในภาพที่ 10 จากนั้นสุ่มเก็บตัวอย่างข้าวในปริมาณ 10 ต้นต่อกระถาง ไปวิเคราะห์สารระเหยด้วยเทคนิค GC-MS

ภาพ 10 การพ่นสารละลายเมทิลจัสโมเนตพ่นลงบริเวณลำต้นและใบข้าว

การทดสอบความเสียหายของต้นข้าวในแต่ละกรรมวิธีหลังถูกเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย

ปลูกข้าวในกระถาง 10 ต้น ปล่อยให้เจริญเติบโต 10 วันจนกระทั่งระยะกล้า แล้วใช้พลาสติกใสชนิดหนา (mylar) ทำเป็นรูปทรงกระบอกครอบต้นข้าวในกระถาง ด้านบนบุด้วยผ้าบางใสเพื่อระบายอากาศ ด้านข้างเจาะสำหรับปล่อยแมลง ปล่อยเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล 10 ตัวต่อต้น (ภาพที่ 11) จากนั้นตรวจลักษณะอาการของต้นข้าวที่ถูกเพลี้ยกระโดดทำลาย โดยดูอาการต้นข้าวที่ถูกเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลทำลายและให้คะแนนตามมาตรฐานซึ่งกำหนดโดย IRRIC (2003) โดยใช้เกณฑ์ที่ปรับปรุงมาจาก Standard Evaluation System for Rice ดังตารางที่ 4

ภาพ 11 การจัดเตรียมครอบต้นข้าวเพื่อเตรียมปล่อยเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย

ตาราง 4 เกณฑ์การให้คะแนนเพื่อประเมินการต้านทานของข้าวต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล (IRRIC, 2003)

คะแนนความเสียหาย	ลักษณะอาการต้นข้าว	ความต้านทาน
0	ต้นข้าวสมบูรณ์ ไม่มีอาการผิดปกติ	ต้านทานมาก (HR)
1-2	ต้นข้าวเริ่มมีปลายใบแรกเหลือง	ต้านทาน (R)
3-4	ใบที่ 1 และ ใบที่ 2 มีอาการเหลืองบางส่วน	ต้านทานปานกลาง (MR)
5-6	ต้นข้าวเหี่ยวและตาย 10-25%	อ่อนแอปานกลาง (MS)
7-8	ต้นข้าวตายมากกว่า 50%	อ่อนแอ (S)
9	ต้นข้าวตายหมด 100%	อ่อนแอมาก (HS)

การวิเคราะห์สารระเหยในข้าวด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟ-แมสสเปคโตรมิเตอร์

การวิเคราะห์สารระเหยในข้าวด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟ-แมสสเปคโตรมิเตอร์ ดัดแปลงตามกรรมวิธีของ (Huang et al., 2015) โดยนำข้าวในแต่ละกรรมวิธี ได้แก่ ข้าวที่ราดด้วยสารละลายไคโตซาน (CHI), ข้าวที่ได้รับสารละลายไคโตซาน แล้วนำไปให้เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย (CHI+BPH), ข้าวที่สเปรย์ด้วยสารละลายเมทิลจัสโมเนต (MeJA), ข้าวที่สเปรย์ด้วยสารละลายเมทิลจัสโมเนตแล้วนำไปให้เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย (MeJA+BPH) และข้าวในกลุ่มควบคุม มาสกัดสารระเหยดังนี้

นำต้นข้าว 1 กรัม บดด้วย 80% methanol ปริมาตร 10 มิลลิลิตรที่เย็นจัด ในโกร่ง จากนั้นดูดสารละลายใส่หลอดทดลองขนาด 50 มิลลิลิตร นำไปเขย่าความเร็วรอบ 170 rpm ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลซียส เป็นเวลา 1 คืน จากนั้นสกัดซ้ำด้วยเอททิลอะซิเตท 10 มิลลิลิตร เขย่าเป็นเวลา 1 นาที นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 10,000 rpm เป็นเวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลซียส เก็บสารละลายส่วนใสไว้เพื่อนำไประเหยตัวสกัดออกโดยใช้เครื่อง Rotary evaporator จนกระทั่งสารสกัดแห้ง แล้วเติมสารละลายเอททิลอะซิเตท 1 มิลลิลิตร เพื่อละลายตะกอนสารสกัด จากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-MS

โดยตัวอย่างจะถูกฉีดเข้าคอลัมน์ชนิด DB-5MS (UI) chromatographic column (30 m×0.25 mm×0.25 μm) เป็นเวลา 25 วินาที อุณหภูมิในส่วนของ injection port เท่ากับ 280° C, อัตราเร็วของแก๊สฮีเลียมที่ใช้เป็นตัวพาตัวอย่างเข้าไปในคอลัมน์เท่ากับ 1.1 ml/min, อุณหภูมิภายในคอลัมน์ตั้งค่าดังนี้ initial column temperature 70° C นาน 4 นาที, เพิ่มเป็น 300° C ที่อัตราเร็ว 10° C/min นาน 2 นาที และเพิ่มเป็น 340° C ที่อัตราเร็ว 5° C/min คงที่ไปจนกระทั่งสิ้นสุดการวิเคราะห์

สภาวะของแมสเปคโตเมทรี (MS) จะตั้งค่าโดยใช้โหมด selected-ion monitoring (SIM), electron ionization (70 eV), Source temperature และ Quadrupole temperature เท่ากับ 230° C และ 150° C, ตามลำดับ ตั้งค่าขนาดของมวลโมเลกุลที่ดีเทคเตอร์ตรวจจับได้ในช่วง m/z 40 - m/z 500

บทที่ 4
ผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์สารระเหยในข้าวระยะกล้าหลังจากราดสารละลายไคโตซานและพ่นเมทิลจัสโมเนตต่อการสร้างสารระเหย ก่อนเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสารระเหยในต้นข้าวในแต่ละกรรมวิธีหลังจากราดด้วยสารละลายไคโตซาน และพ่นเมทิลจัสโมเนตในระยะกล้า พบสารระเหยทั้งหมดจำนวน 31 ชนิด โดยสามารถจัดจำแนกได้จำนวน 10 กลุ่ม ได้แก่ เอสเทอร์ (ester), ซัลเฟอร์ (sulfur), อัลเคน (alkane), ฟีนิล (phenyl), สารอินทรีย์ (COOH), แอลกอฮอล์ (alcohol), อัลไคน์ (alkyne), เอไมด์ (amide), อัลดีไฮด์ (aldehyde) และ ไทออล (thiol) ตามลำดับ (ดังแสดงในภาคผนวกตารางที่ 10)

การราดด้วยสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 50, 100, และ 200 ppm (กรรมวิธีที่ 3-5) สามารถกระตุ้นให้ต้นข้าวผลิตสารระเหยที่ไม่พบในกลุ่มควบคุม ได้แก่ Undec-10-ynoic acid (ตารางที่ 5) ขณะที่สารละลายไคโตซานที่ความเข้มข้น 200 ppm (กรรมวิธีที่ 5) สามารถกระตุ้นการผลิตสารระเหยที่ไม่พบในกลุ่มควบคุม ได้แก่ trans-2,4-Dimethylthiane,S,S-dioxide, Sulfur diimide ซึ่งจะเห็นว่าสารระเหยชนิด Undec-10-ynoic acid นั้นถูกกระตุ้นให้ผลิตในต้นข้าวระยะกล้า ด้วยสารละลายไคโตซานทุกความเข้มข้น และเมื่อพ่นสารละลายเมททิลจัสโมเนทที่ความเข้มข้น 1, 2.5 และ 5 mM (กรรมวิธีที่ 6-8) พบว่าสามารถกระตุ้นสารระเหยให้เพิ่มขึ้นมากกว่ากลุ่มควบคุม ได้แก่ Undec-10-ynoic acid, R)-9-[(S)-2-(Hydroxymethyl)pyrrolidin-1-yl] (ตารางที่ 5)

โดยจะพบว่าทั้งสารละลายไคโตซานและสารละลายเมทิลจัสโมเนต สามารถกระตุ้นสารระเหยชนิดเดียวกันได้แก่ Undec-10-ynoic acid ขณะที่ชุดควบคุม (กรรมวิธีที่ 1 และ 2) ไม่สามารถผลิตสารละลายดังกล่าวได้ ซึ่งสารระเหยดังกล่าวที่เพิ่มขึ้น น่าจะมีบทบาทต่อการป้องกันการบุกรุกของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล

ผลการวิเคราะห์สารระเหยในต้นข้าวระยะกล้าหลังจากได้รับสารละลายไคโตซานและเมทิลจัสโมเนต หลังเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย

จากการวิเคราะห์สารระเหยในต้นข้าวในแต่ละกรรมวิธีที่ได้รับสารละลายไคโตซานหลังเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย (CHI+BPH) และกรรมวิธีที่ได้รับเมทิลจัสโมเนตและเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย (MeJA+BPH) ในระยะกล้า พบสารระเหยจำนวนมากถึง 81 ชนิด แบ่งประเภทของสารระเหยได้เป็น 13 กลุ่ม ได้แก่ เอสเทอร์, ซัลเฟอร์, อัลเคน, อัลคีน, ฟีนิล, สารอินทรีย์, คีโตน, แอลกอฮอล์, อัลไคน์, เอมีน, เอไมด์,อัลดีไฮด์ และไทออล (ดังแสดงในภาคผนวกตารางที่ 11) โดยพบว่าหลังการเข้าทำลายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในข้าวแต่ละกรรมวิธีพบว่า สารระเหยที่ต้นข้าวผลิตมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการเข้าทำลายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล (ดังแสดงในตารางที่ 5 และภาพที่ 13-20) และทำการจัดจำแนกสารระเหยที่พบในกลุ่ม (CHI+BPH) ออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ 1 สารระเหยที่เพิ่มขึ้นหลังจากเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลายและพบในกลุ่มควบคุม พบสารระเหยชนิด Decanoic acid, Methyl jasmonate, Salicylic acid, Undec-10-ynoic acid โดยสารระเหยชนิดเมทิลจัสโมเนต พบเพิ่มขึ้นหลังจากการราดด้วยสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 50, 100, และ 200 ppm (กรรมวิธีที่ 3-5) มีปริมาณสารระเหยเพิ่มขึ้นเท่ากับ 28.35%, 28.79%, 14.19% ตามลำดับ และเมื่อพ่นสารละลายเมททิลจัสโมเนทที่ความเข้มข้น 1, 2.5 และ 5 mM (กรรมวิธีที่ 6-8) พบสารระเหยชนิดเมทิลจัสโมเนตมีปริมาณสารระเหยเพิ่มขึ้นเท่ากับ 2.11%, 3.45%, 22.09% ตามลำดับ ขณะที่ชุดควบคุม (กรรมวิธีที่ 1, 2) มีปริมาณเพิ่มขึ้นเพียง 1.15% และ 0.97% ตามลำดับ

กลุ่มที่ 2 สารระเหยที่พบหลังจากเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลายเท่านั้น ได้แก่ Phosphonic acid, Trans-2,4-Dimethylthiane, S,S-dioxide, Phthalic acid, Caryophyllene oxide ซึ่งสารระเหยชนิดดังกล่าวไม่พบในชุดควบคุม แสดงให้เห็นว่าข้าวที่ได้รับสารละลายไคโตซานและสารละลายเมทิลจัสโมเนต สามารถกระตุ้นให้ข้าว ผลิตสารระเหยกลุ่มที่ทำหน้าที่ต้านทานต่อแมลง เช่น Caryophyllene oxide ซึ่งถูกพบในกรรมวิธีที่ราดด้วยสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 50, 100, และ 200 ppm (กรรมวิธีที่ 3-5) แต่ในทางกลับกัน ในกรรมวิธีที่พ่นสารละลายเมททิลจัสโมเนทที่ความเข้มข้น 1, 2.5 และ 5 mM (กรรมวิธีที่ 6-8) ไม่พบสารระเหยชนิด Caryophyllene oxide แต่พบสารระเหยที่มีความสามารถต้านทานต่อแมลง คือ Phthalic acid ซึ่งถูกพบในกรรมวิธีที่พ่นสารละลายเมททิลจัสโมเนทที่ความเข้มข้น 2.5 mM (กรรมวิธีที่ 7) และกลุ่มที่ 3 สารระเหยที่พบเฉพาะก่อนเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลายเท่านั้น ได้แก่ R)-9-[(S)-2-(Hydroxymethyl)pyrrolidin-1-yl] ซึ่งเป็นสารตั้งต้นของ 2-acetyl-1-pyrroline มีบทบาทในการให้ความหอมของข้าวหอมมะลิ

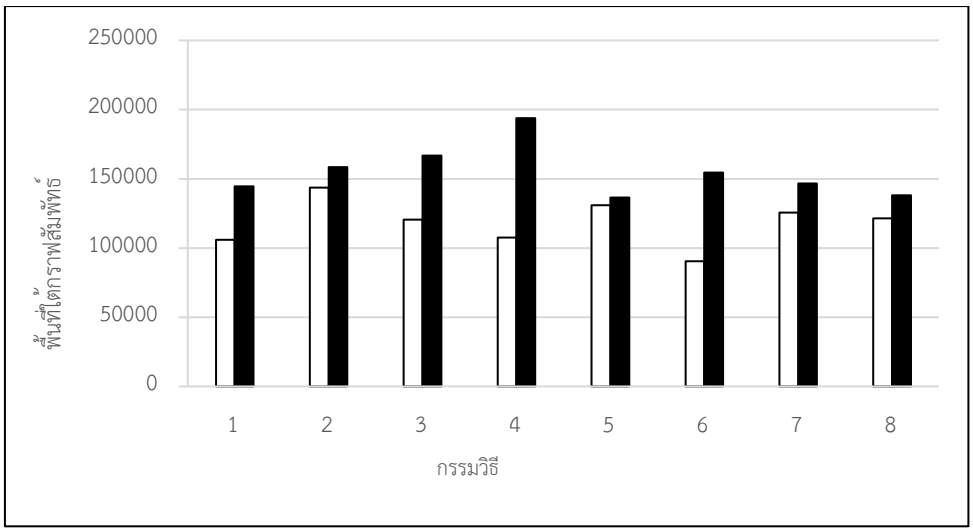
นอกจากนี้เมื่อพิจารณาเฉพาะสารระเหยชนิดเมทิลจัสโมเนต และกรดซาลิไซลิก จะเห็นได้ว่ามีการเพิ่มขึ้นหลังจากถูกเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลายในทุกกรรมวิธี แต่อย่างไรก็ตามถึงแม้กลุ่มควบคุมจะพบสารระเหยดังกล่าวหลังถูกเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลายแต่จากรูปที่ 12 จะเห็นว่ากรรมวิธี 3, 4, 5, 6, 7 จะมีผลทำให้สารดังกล่าวเพิ่มขึ้นมากกว่ากลุ่มควบคุม

ตาราง 5 สารระเหยที่พบในข้าวที่คาดว่ามีฤทธิ์ในการป้องกันเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล

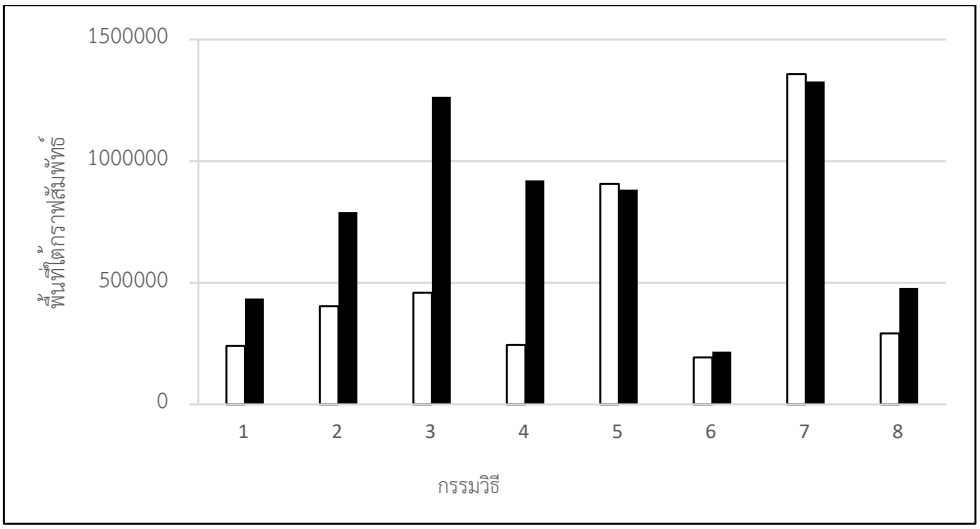
กรรมวิธี	**ชื่อสารระเหย**	**RT**	**%Area**	
			(-BPH)	**(+BPH)**
ชุดควบคุม	Salicylic acid	17.166	1.19%	2.03%
	Methyl jasmonate	24.528	10.29%	11.44%
	Decanoic acid	27.644	8.78%	9.64%
	13-Octadecenal	33.438	2.56%	-
ชุดควบคุม (พ่น 1 % เอทานอล)	Salicylic acid	17.166	1.61%	3.10%
	Methyl jasmonate	24.531	10.91%	11.88%
	Decanoic acid	29.849	5.50%	25.92%
ราดสารละลายไคโตซาน 50 ppm	R)-9-[(S)-2-(Hydroxymethyl)pyrrolidin-1-yl]	9.987	1.13%	-
	Salicylic acid	17.198	1.36%	3.05%
	Methyl jasmonate	24.531	3.61%	31.96%
	Caryophyllene oxide	25.106	-	1.36%
	Decanoic acid	29.851	4.92%	9.41%
	Undec-10-ynoic acid	32.930	-	1.85%

กรรมวิธี	ชื่อสารระเหย	RT	%Area	
			(-BPH)	(+BPH)
ราดสารละลายไคโตซาน 100 ppm	Salicylic acid	17.184	1.21%	2.83%
	Methyl jasmonate	24.531	7.62%	36.41%
	Decanoic acid	29.852	7.40%	12.59%
	Undec-10-ynoic acid	32.938	1.36%	1.77%
	13-Octadecenal	33.451	1.14%	-
ราดสารละลายไคโตซาน 200 ppm	R)-9-[(S)-2-(Hydroxymethyl)pyrrolidin-1-yl]	9.898	1.03%	-
	Salicylic acid	17.190	1.47%	3.75%
	trans-2,4-Dimethylthiane, S,S-dioxide	21.033	-	3.61%
	Methyl jasmonate	24.531	10.07%	24.26%
	Caryophyllene oxide	25.100	-	1.54%
	Decanoic acid	29.848	8.22%	2.52%
	Sulfur diimide	31.316	1.71%	6.82%
	Undec-10-ynoic acid	32.941	1.25%	1.72%
	13-Octadecenal	33.453	1.06%	-
	Phosphonic acid	37.677	-	1.70%

กรรมวิธี	ชื่อสารระเหย	RT	%Area	
			(-BPH)	(+BPH)
พ่นสารละลายเมทิลจัสโมเนต 1 mM	Salicylic acid	17.189	1.02%	3.10%
	Methyl jasmonate	24.530	2.23%	4.34%
	Decanoic acid	29.842	5.19%	1.66%
	Undec-10-ynoic acid	32.937	1.18%	-
พ่นสารละลายเมทิลจัสโมเนต 2.5 mM	Salicylic acid	17.198	1.41%	3.25%
	Methyl jasmonate	24.532	5.19%	8.64%
	Decanoic acid	29.850	6.39%	2.38%
	Phthalic acid	38.465	-	35.05%
พ่นสารละลายเมทิลจัสโมเนต 5 mM	R)-9-[(S)-2-(Hydroxymethyl)pyrrolidin-1-yl]	9.899	1.04%	-
	Salicylic acid	17.188	1.36%	3.59%
	Methyl jasmonate	24.531	12.27%	34.36%
	Decanoic acid	29.848	6.25%	2.11%
	Undec-10-ynoic acid	32.944	1.38%	-

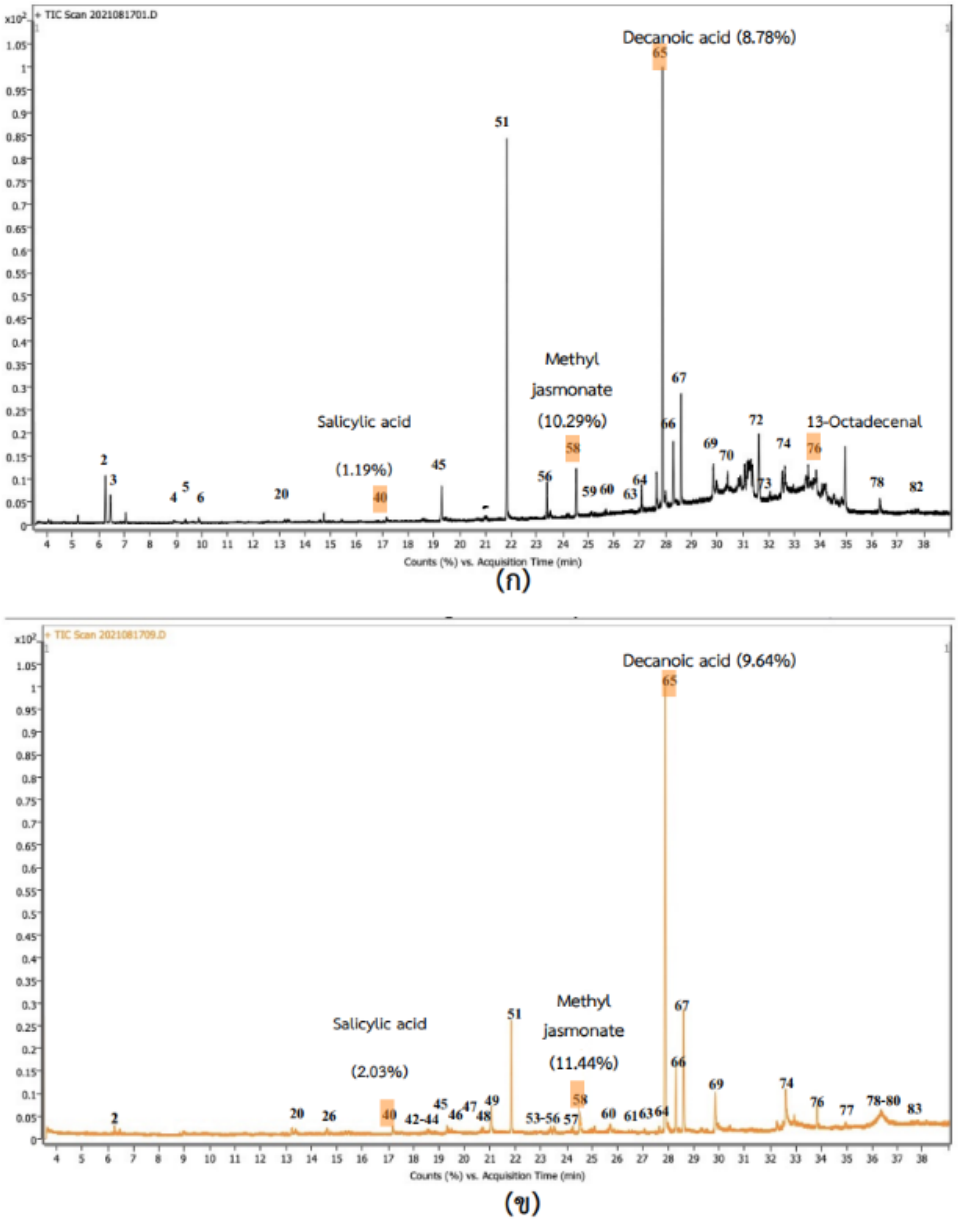


(ก)

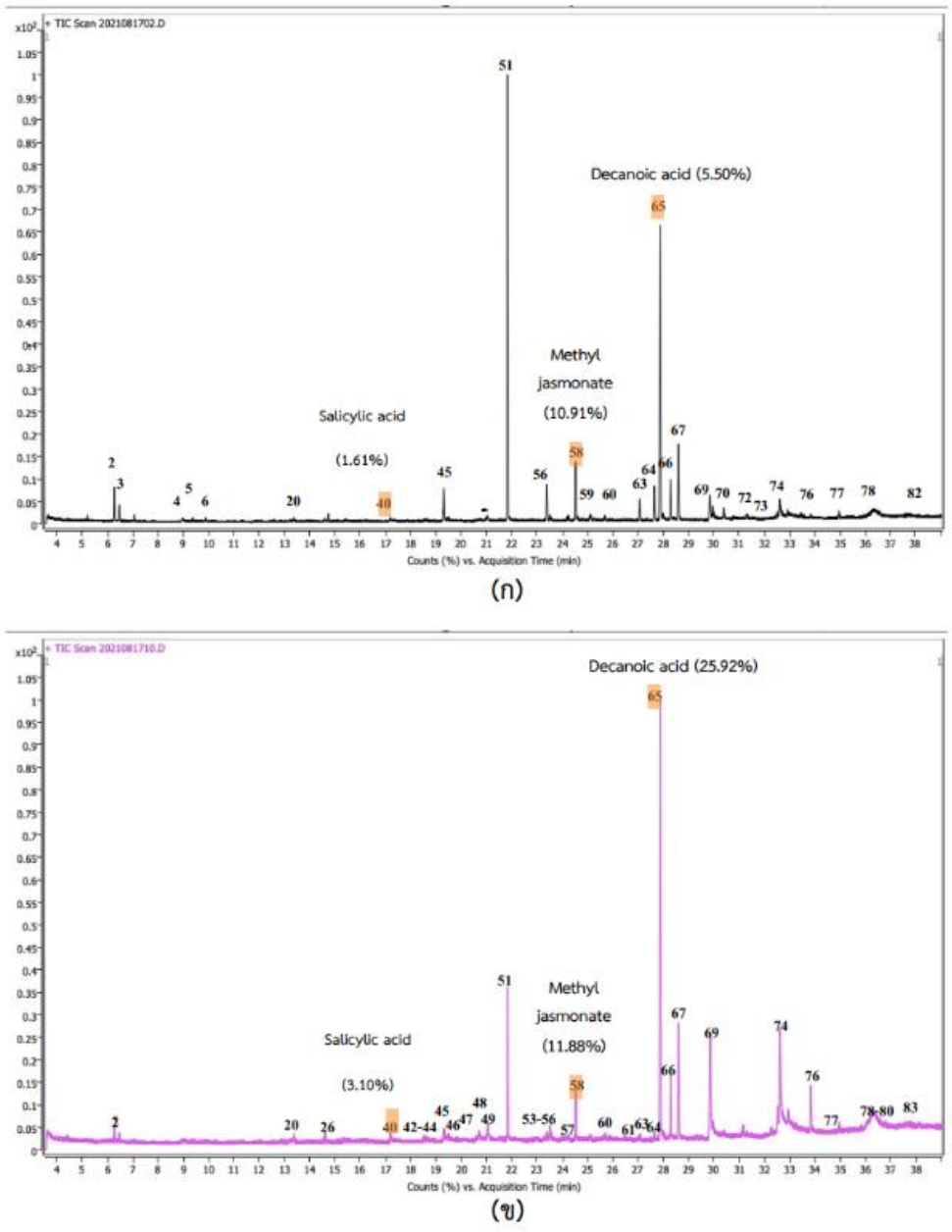


(ข)

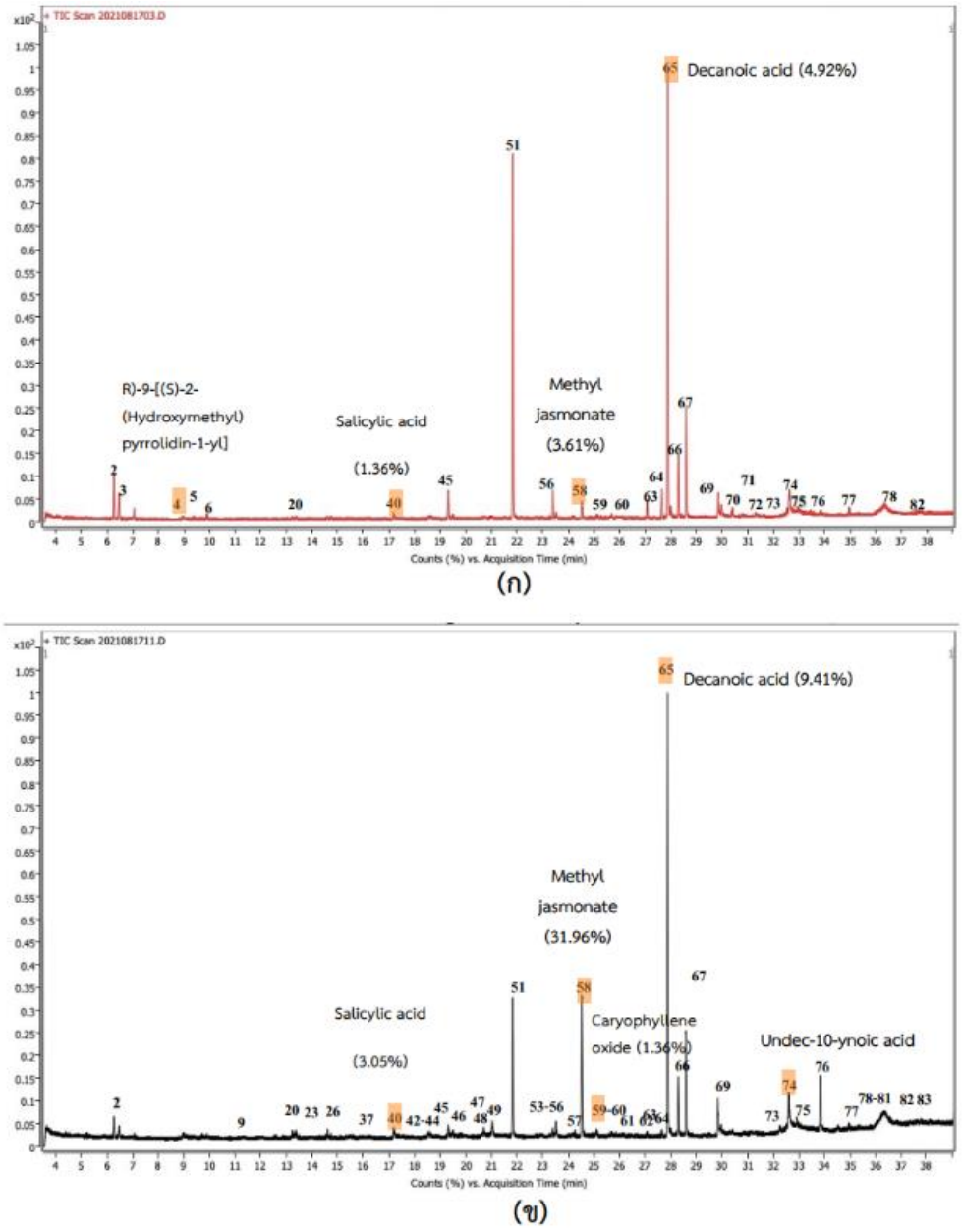
ภาพ 12 กราฟเปรียบเทียบพื้นที่สารระเหย (ก) กรดซาลิไซลิก และ (ข) เมทิลจัสโมเนต ; ☐ = ก่อนปล่อยเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย และ ■ = หลังปล่อยเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย; กรรมวิธีที่ 1 ; ชุดควบคุม, กรรมวิธีที่ 2 ; ชุดควบคุม (1 % เอทานอลพ่นทางใบ), กรรมวิธีที่ 3 ; ราดสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 50 ppm, กรรมวิธีที่ 4 ; ราดสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 100 ppm, กรรมวิธีที่ 5 ; ราดสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 200 ppm, กรรมวิธีที่ 6 ; พ่นเมทิลจัสโมเนตความเข้มข้น 1 mM, กรรมวิธีที่ 7 ; พ่นเมทิลจัสโมเนตความเข้มข้น 2.5 mM, กรรมวิธีที่ 8 ; พ่นเมทิลจัสโมเนตความเข้มข้น 5 mM



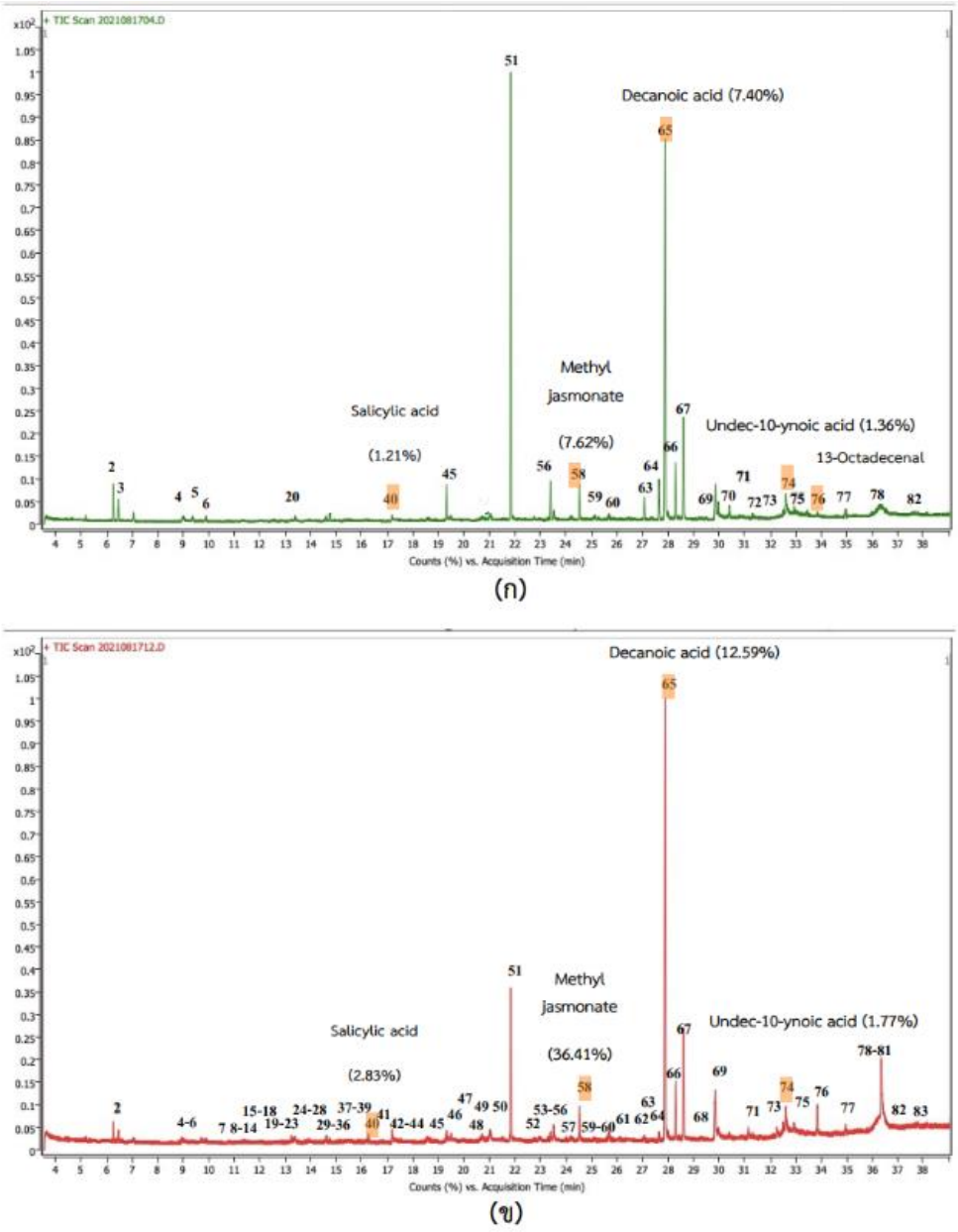
ภาพ 13 เปรียบเทียบโครโมโตแกรมของสารระเหยที่พบในต้นข้าวในกรรมวิธีที่ 1 ; (ก) ก่อนเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย, (ข) หลังเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย



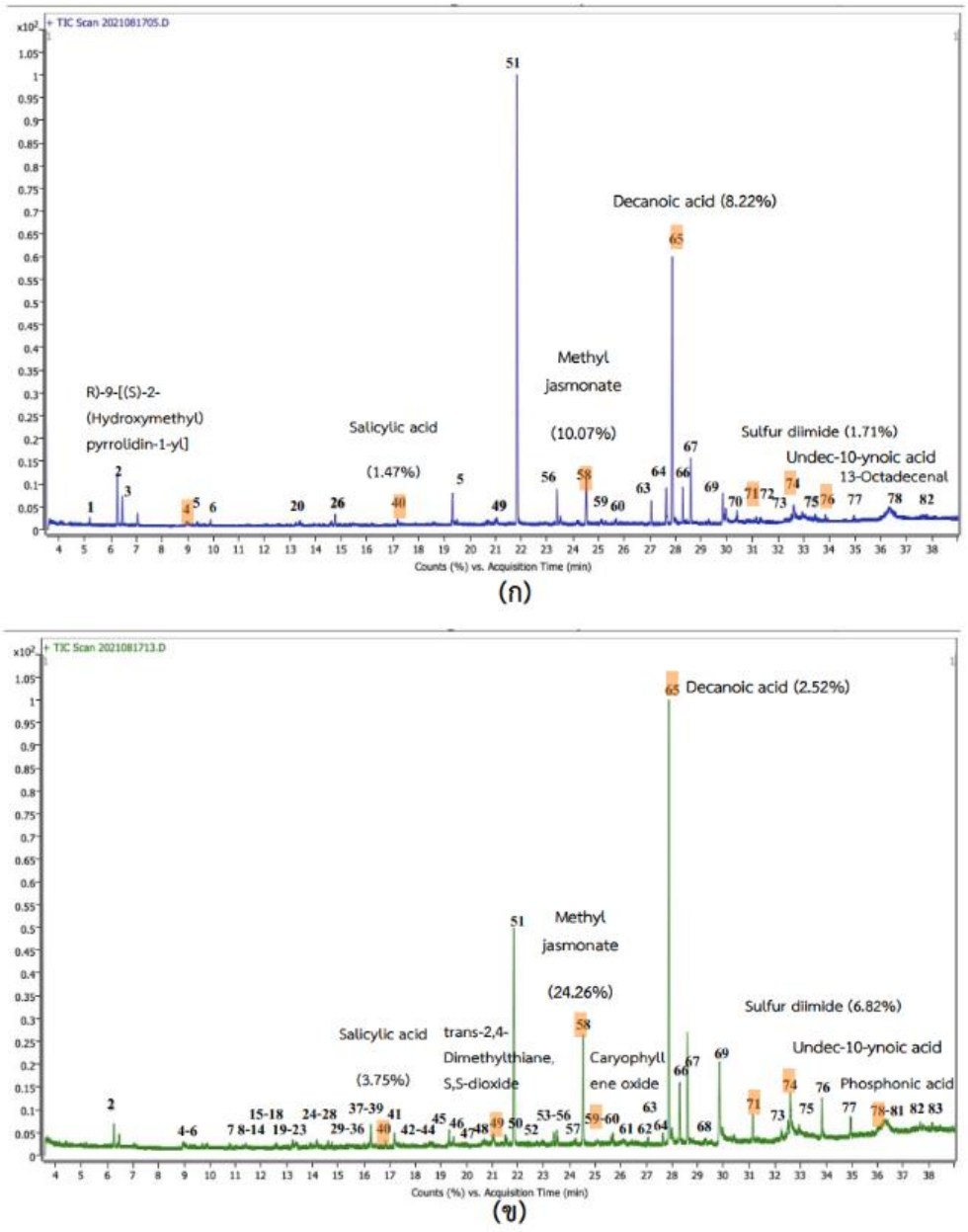
ภาพ 14 เปรียบเทียบโครโมโตแกรมของสารระเหยที่พบในต้นข้าวในกรรมวิธีที่ 2 ; (ก) ก่อนเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย, (ข) หลังเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย



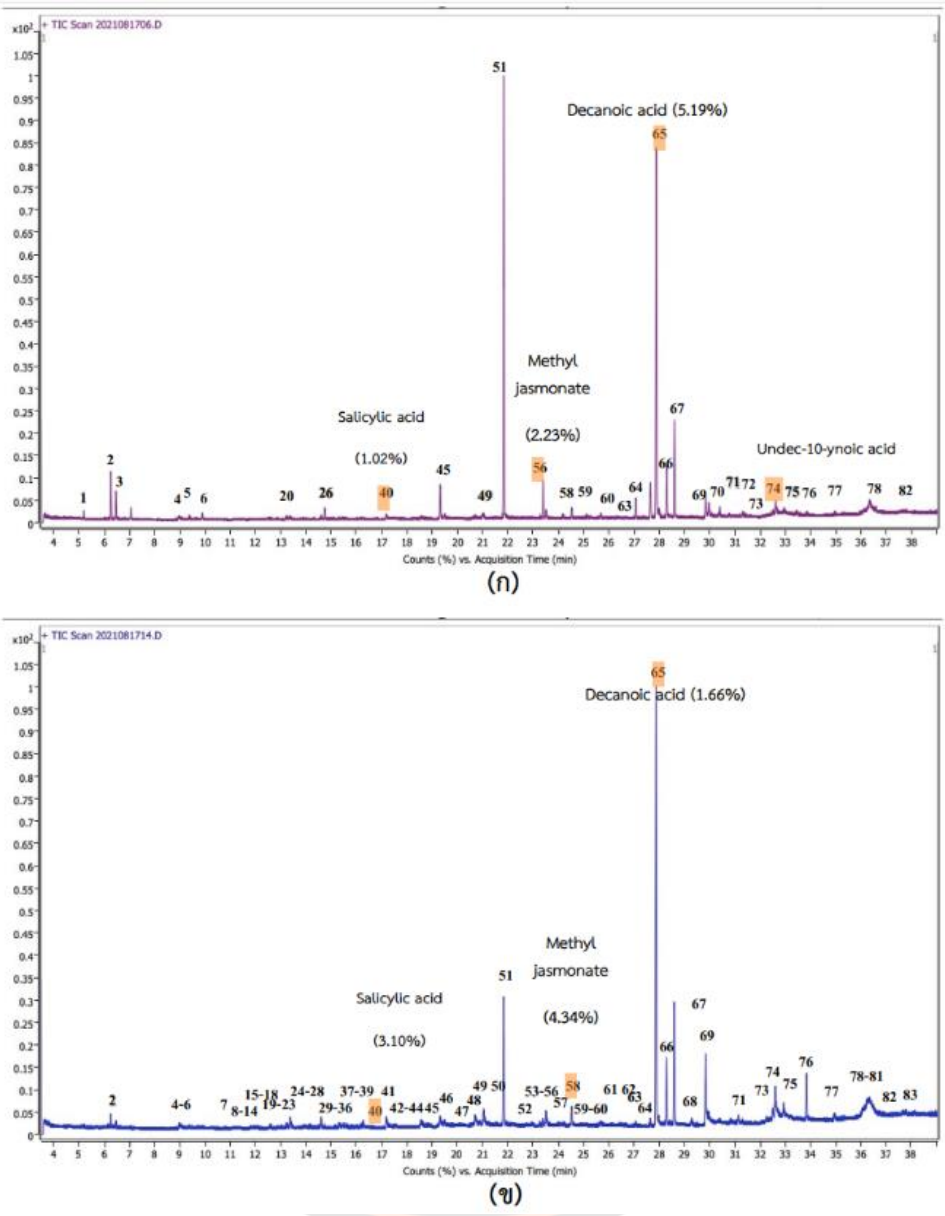
ภาพ 15 เปรียบเทียบโครโมโตแกรมของสารระเหยที่พบในต้นข้าวในกรรมวิธีที่ 3 ; (ก) ก่อนเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย, (ข) หลังเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย



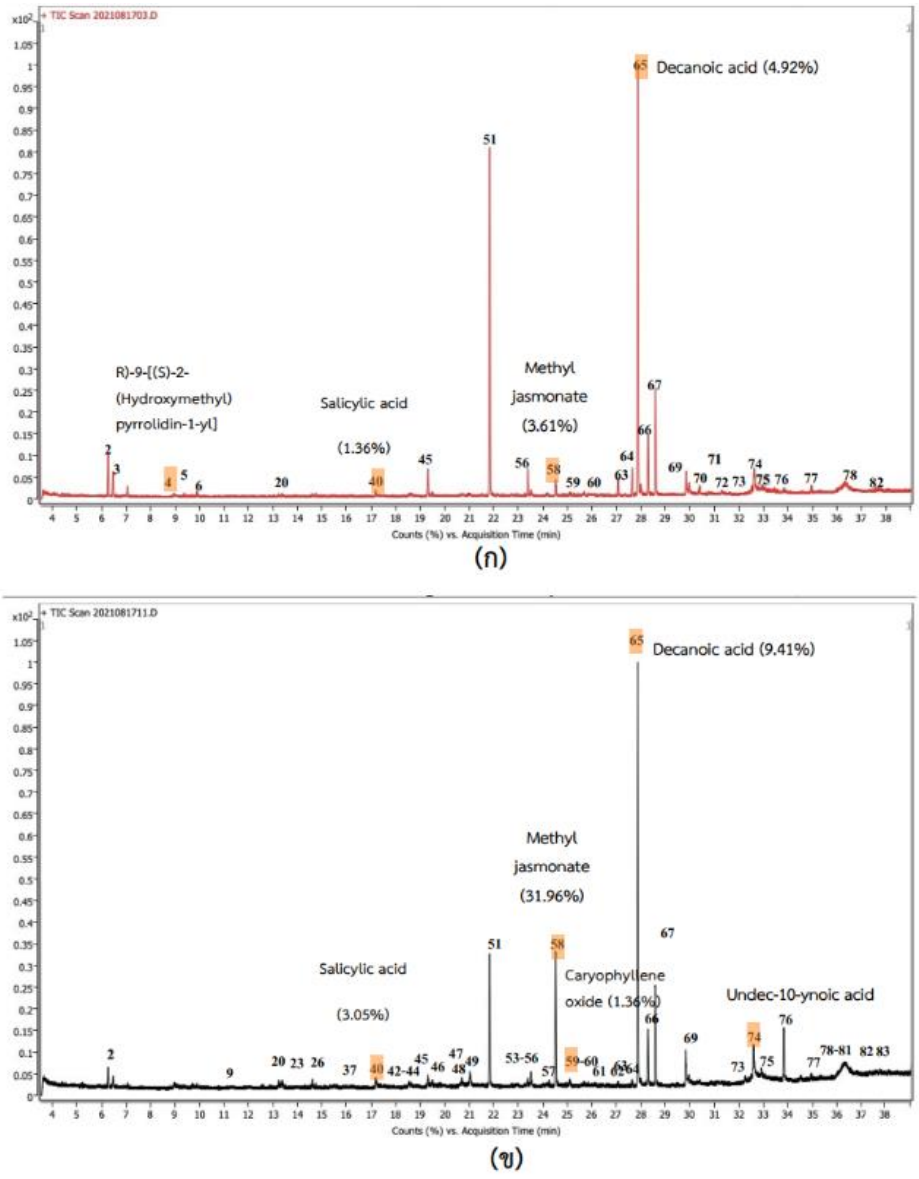
ภาพ 16 เปรียบเทียบโครโมโตแกรมของสารระเหยที่พบในต้นข้าวในกรรมวิธีที่ 4 ; (ก) ก่อนเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย, (ข) หลังเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย



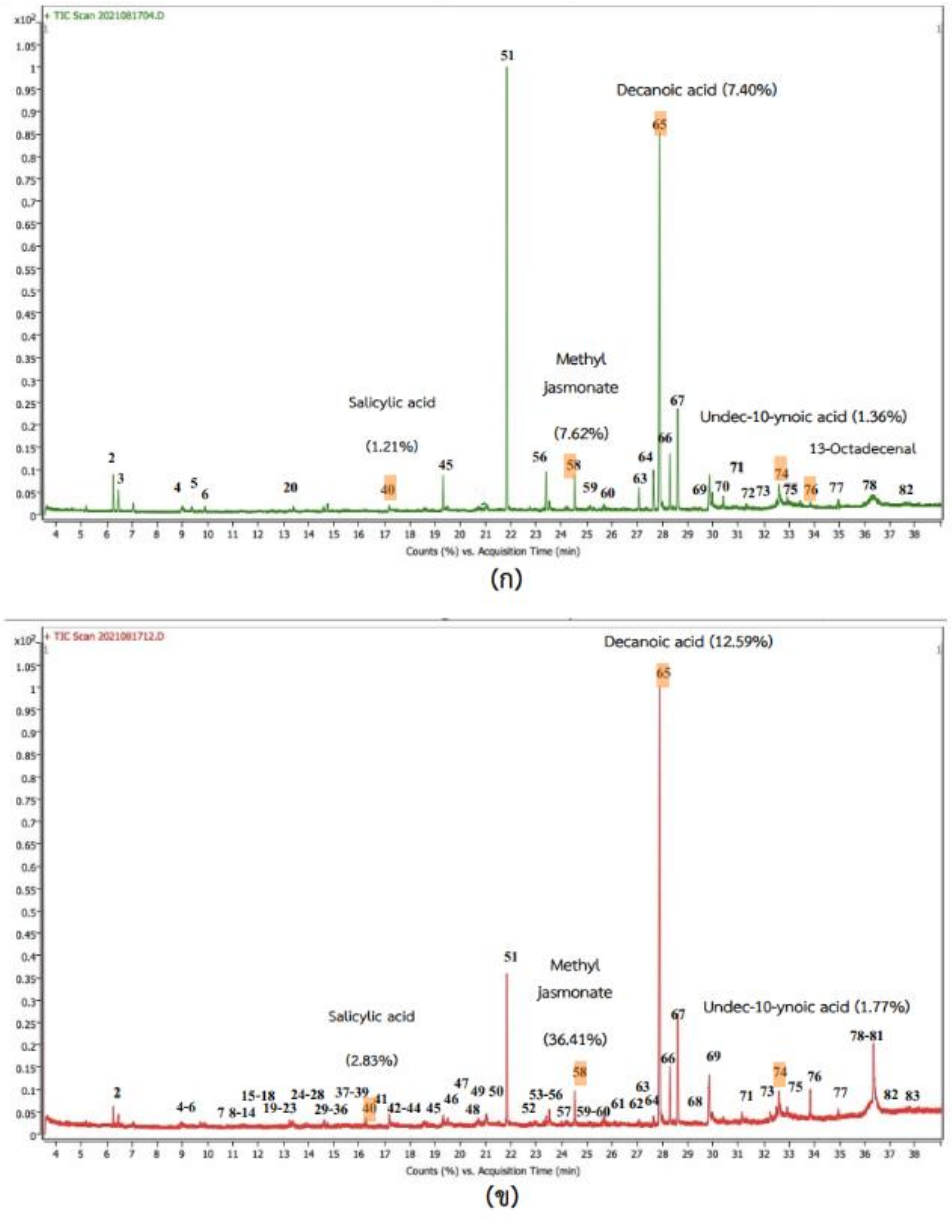
ภาพ 17 เปรียบเทียบโครโมโตแกรมของสารระเหยที่พบในต้นข้าวในกรรมวิธีที่ 5 ; (ก) ก่อนเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย, (ข) หลังเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย



ภาพ 18 เปรียบเทียบโครโมโตแกรมของสารระเหยที่พบในต้นข้าวในกรรมวิธีที่ 6 ; (ก) ก่อนเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย, (ข) หลังเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย



ภาพ 19 เปรียบเทียบโครโมโตแกรมของสารระเหยที่พบในต้นข้าวในกรรมวิธีที่ 7 ; (ก) ก่อนเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย, (ข) หลังเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย



ภาพ 20 เปรียบเทียบโครโมโตแกรมของสารระเหยที่พบในต้นข้าวในกรรมวิธีที่ 8 ; (ก) ก่อนเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย, (ข) หลังเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย

ผลการทดสอบความเสียหายของต้นข้าวในแต่ละกรรมวิธีหลังถูกเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย

ผลการทดสอบความเสียหายของต้นข้าวในแต่ละกรรมวิธี หลังถูกเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลายในข้าวระยะกล้าและระยะแตกกอ โดยปลูกข้าวระยะกล้าจำนวน 10 ต้น ต่อกระถาง และปล่อยเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลระยะที่ 1 เฉลี่ยจำนวน 10 ตัวต่อต้นข้าว 1 ต้น เข้าทำลายต้นข้าวเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของสารละลายเมทิลจัสโมเมทและไคโตซานในแต่ละกรรมวิธี ในขณะที่ระยะแตกกอจะปล่อยให้ข้าวระยะกล้าแตกกอเป็นเวลา 1 เดือน ทำการครอบกระถางด้วยท่อพลาสติก จากนั้นปล่อยเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในระยะที่ 1 เฉลี่ยจำนวน 50 ตัวต่อต้นข้าว 1 ต้น ปล่อยให้เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลายข้าว จนกระทั่งข้าวในกรรมวิธีควบคุมตาย 100% และตรวจดูอาการต้นข้าวที่ถูกเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลทำลายและให้คะแนนตามมาตรฐานซึ่งกำหนดโดย IRRIC (2003) โดยใช้เกณฑ์ที่ปรับปรุงมาจาก Standard Evaluation System for Rice ผลการทดสอบความเสียหายของต้นข้าวแต่ละกรรมวิธีจะแสดงในตารางที่ 6 (ระยะกล้า) และตารางที่ 7 (ระยะแตกกอ) และในรูปที่ 22-23

ตาราง 6 คะแนนประเมินความเสียหายของต้นข้าวหลังจากถูกเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลทำลายในระยะกล้า

	กรรมวิธี	**คะแนนความเสียหาย**				
		วันที่ 2	**วันที่ 3**	**วันที่ 4**	**วันที่ 5**	**ระดับความต้านทาน**
1	ชุดควบคุม	2	7	7	9	HS
2	ชุดควบคุม (พ่น 1 % เอทานอล)	3	5	7	9	HS
3	ราดสารละลายไคโตซาน 50 ppm	1	1	2	3	MR
4	ราดสารละลายไคโตซาน 100 ppm	0	3	4	4	MR
5	ราดสารละลายไคโตซาน 200 ppm	1	3	5	5	MR
6	พ่นสารละลายเมทิลจัสโมเนต 1 mM	0	1	2	3	MR
7	พ่นสารละลายเมทิลจัสโมเนต 2.5 mM	1	2	2	3	MR
8	พ่นสารละลายเมทิลจัสโมเนต 5 mM	1	1	2	3	MR

ตาราง 7 ประเมินความเสียหายของต้นข้าวหลังจากถูกเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลทำลายในระยะแตกกอ

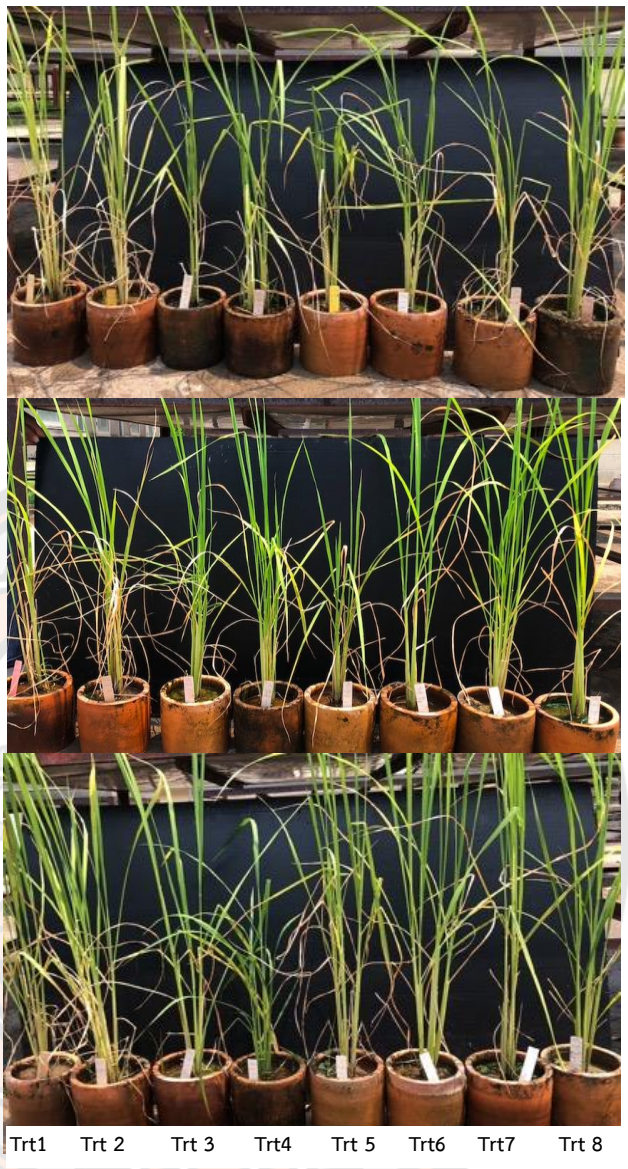
กรรมวิธี	คะแนนความเสียหาย						
	วันที่ 2	วันที่ 4	วันที่ 6	วันที่ 8	วันที่ 12	วันที่ 14	ความต้านทาน
1 ชุดควบคุม	2	3	4	5	6	7	S
2 ชุดควบคุม (พ่น 1 % เอทานอล)	2	4	5	6	7	7	S
3 ราดสารละลายไคโตซาน 50 ppm	0	1	2	3	4	4	MR
4 ราดสารละลายไคโตซาน 100 ppm	0	1	2	3	4	4	MR
5 ราดสารละลายไคโตซาน 200 ppm	0	1	2	3	4	4	MR
6 พ่นสารละลายเมทิลจัสโมเนต 1 mM	0	1	2	3	4	4	MR
7 พ่นสารละลายเมทิลจัสโมเนต 2.5 mM	0	1	2	3	4	4	MR
8 พ่นสารละลายเมทิลจัสโมเนต 5 mM	0	1	2	3	4	4	MR

จากตารางที่ 6 จะเห็นได้ว่า ต้นข้าวในกรรมวิธีที่ 1 และกรรมวิธีที่ 2 ข้าวได้รับความเสียหายมากที่สุด โดยข้าวทั้งสองกรรมวิธีจะมีความต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในระดับที่อ่อนแอมาก (HS) ขณะที่ข้าวในกรรมวิธีที่ 3, 4, 5, 6, 7 และกรรมวิธีที่ 8 มีคะแนนความเสียหายของต้นข้าวอยู่ในช่วงคะแนน 3-5 และ จัดอยู่ในระดับความต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลปานกลาง (MR) แสดงให้เห็นว่าสารละลายในรูปแบบไคโตซานที่ความเข้มข้น 50 และ 100 ppm และสารละลายเมทิลจัสโมเนตที่พ่นทางใบที่ความเข้มข้น 1, 2.5 และ 5 mM (กรรมวิธีที่ 6,7,8) มีผลทำให้ต้นข้าวมีความต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลมากกว่าข้าวในกลุ่มควบคุม ดังแสดงในรูปที่ 21

เมื่อพิจารณาความเสียหายของต้นข้าวจากการทำลายด้วยเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในระยะแตกกอ ดังแสดงในตารางที่ 7 จะเห็นว่า ข้าวในกรรมวิธีที่ 1 และกรรมวิธีที่ 2 ได้รับความเสียหายมากที่สุดเช่นเดียวกับในระยะกล้า และจัดว่ามีความต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในระดับความต้านทานที่อ่อนแอ (S) ขณะที่ข้าวในกรรมวิธีที่ 3, 4, 5, 6, 7, 8 ได้รับคะแนนความเสียหายของต้นข้าวน้อยที่สุดในช่วง 3-4 เมื่อถูกทำลายเป็นระยะเวลา 12-14 วัน จัดอยู่ในระดับความต้านทานปานกลาง (MR) โดยจะเห็นว่าข้าวในระยะแตกกอมีความทนทานต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลมากกว่าระยะกล้า แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมนั้น กลุ่มที่ได้รับสารละลายไคโตซานและสารละลายเมทิลจัสโมเนตมีความเสียหายน้อยกว่าดังแสดงในรูปที่ 22

Trt1 Trt 2 Trt 3 Trt4 Trt 5 Trt6 Trt7 Trt 8

ภาพ 21 ผลการทดสอบความเสียหายของต้นข้าวหลังถูกเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลายระยะกล้า ; โดยกรรมวิธีที่ 1 ; ชุดควบคุม, กรรมวิธีที่ 2 ; ชุดควบคุม (พ่น1% ethanol), กรรมวิธีที่ 3 ; ราดสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 50 ppm, กรรมวิธีที่ 4 ; ราดสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 100 ppm, กรรมวิธีที่ 5 ; ราดสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 200 ppm, กรรมวิธีที่ 6 ; พ่นเมทิลจัสโมเนตความเข้มข้น 1 mM, กรรมวิธีที่ 7 ; พ่นเมทิลจัสโมเนตความเข้มข้น 2.5 mM, กรรมวิธีที่ 8 ; พ่นเมทิลจัสโมเนตความเข้มข้น 5 mM



ภาพ 22 ผลการทดสอบความเสียหายของต้นข้าวหลังถูกเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย (ก) ระยะกล้า (ข) ระยะแตกกอ; โดยกรรมวิธีที่ 1 ; ชุดควบคุม, กรรมวิธีที่ 2 ; ชุดควบคุม (พ่น 1% ethanol), กรรมวิธีที่ 3 ; ราดสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 50 ppm, กรรมวิธีที่ 4 ; ราดสารละลาย ไคโตซานความเข้มข้น 100 ppm, กรรมวิธีที่ 5 ; ราดสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 200 ppm, กรรมวิธีที่ 6 ; พ่นเมทิลจัสโมเนตความเข้มข้น 1 mM, กรรมวิธีที่ 7 ; พ่นเมทิลจัสโมเนตความเข้มข้น 2.5 mM, กรรมวิธีที่ 8 ; พ่นเมทิลจัสโมเนตความเข้มข้น 5 mM

บทที่ 5
สรุปและวิจารณ์ผล

การวิเคราะห์สารระเหยในต้นข้าวระยะกล้าหลังจากได้รับสารละลายไคโตซานและเมทิลจัสโมเนต

จากผลการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารละลายไคโตซานและเมทิลจัสโมเนตแต่ละกรรมวิธีในการกระตุ้นให้ข้าวผลิตสารระเหยที่คาดว่ามีฤทธิ์ต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล พบว่า กรรมวิธี 3-8 สามารถกระตุ้นสารระเหยที่ไม่พบในชุดควบคุม (กรรมวิธี 1, 2) จำนวน 5 ชนิด ได้แก่ Sulfur diimide , และ Undec-10-ynoic acid และพบว่าเฉพาะกรรมวิธี 5-8 สามารถกระตุ้นสารระเหยที่แตกต่างจากกรรมวิธี 1-4 ได้แก่ 2-Ethylthiolane,S,S-dioxide, trans-2,4-Dimethylthiane, S,S-dioxide และ Methane ซึ่งคาดว่าสารระเหยที่ถูกกระตุ้นให้ผลิตนั้นมีฤทธิ์ป้องกันตนเองของต้นข้าวที่สอดคล้องกับรายงานการวิจัยที่ผ่านมา เช่น สารระเหย 2-Ethylthiolane,S,S-dioxide, trans-2,4-Dimethylthiane,S,S-dioxide และ Sulfur diimide เป็นสารระเหยในกลุ่มซัลเฟอร์ ซึ่งถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับการจัดการศัตรูพืชและการรักษาโรคในพืช ปัจจุบันเป็นสารกำจัดศัตรูพืชที่ถูกนำมาใช้ในปริมาณมาก (Griffith et al., 2015) นอกจากนี้สารระเหย 2-Ethylthiolane,S,S-dioxide ถูกพบว่ามีบทบาทสำคัญในการเป็นสารช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของแมลง โดยงานวิจัย ของ Ahmed และคณะ (2011) พบว่า 2-Ethylthiolane,S,S-dioxide เป็นสารระเหยที่พบในถั่ว ที่ทำหน้าที่ป้องกันการเข้าทำลายของด้วงเจาะได้ โดยพบว่าสารระเหยดังกล่าวช่วยยับยั้งการฟักไข่ การเจริญเติบโต และช่วยเพิ่มอัตราการตายของด้วงเจาะในระยะตัวเต็มวัย

จากงานวิจัยของ Mann และคณะ (2011) พบว่าสารระเหยประเภทซัลเฟอร์จากกระเทียมมีผลต่อการขับไล่เพลี้ย (*Asian citrus psyllid*) แมลงขาปล้องหลายชนิด และงานวิจัยของ Rouseff และคณะ (2008) พบสารระเหยซัลเฟอร์ ชนิด hydrogen sulfide, sulfur dioxide, methanethiol, dimethyl sulfide (DMS), dimethyl disulfide (DMDS), methional และ dimethyl trisulfide (DMTS) ในใบฝรั่ง สารระเหยชนิดดังกล่าวมีความสามารถขับไล่เพลี้ย (*Asian citrus psyllid*) ได้เช่นเดียวกัน

งานวิจัยของ Granados-Echegoyen และคณะ (2014) พบสารระเหยกลุ่มซัลเฟอร์ชนิด diallyl disulfide, diallyl sulfide และ trisulfide di-2-propenyl ในใบกระเทียมเถา

(Pseudocalymma alliaceum) สามารถช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตโดยชะลอระยะเวลาของตัวอ่อนและดักแด้ของลูกน้ำยุง

นอกจากสารระเหยในกลุ่มซัลเฟอร์ที่พบว่าถูกกระตุ้นจากการที่พืชได้รับสารละลายไคโตซานและเมทิลจัสโมเนตแล้ว ยังพบสารระเหยชนิด Methane และ Undec-10-ynoic acid ซึ่ง Methane เป็นสารระเหยในกลุ่มอัลเคน ทำหน้าที่ช่วยลดการระบาดของแมลงในพืชโดย Bolton และคณะ (2017) ได้ศึกษาก๊าซมีเทนที่ถูกปล่อยจากพืชที่ปลูกในพื้นที่ชุ่มน้ำสู่ชั้นบรรยากาศ พบว่าสามารถช่วยลดการระบาดของแมลงได้ และจากงานวิจัยของ Perera และคณะ (2021) พบอนุพันธุ์ของ Methane ชนิด Bis(methylthio)methane ในใบเจตมูลเพลิงขาว *Olax zeylanica (L.)* ซึ่งเป็นพืชมีกลิ่นฉุนสามารถป้องกันแมลงศัตรูพืชชนิดด้วงงวงข้าวโพด *S. zeamais* และผีเสื้อข้าวสาร (*C. cephalonica)* ที่ทำให้เกิดความเสียหายต่อเมล็ดธัญพืช โดยการเจาะเมล็ดธัญพืช กินจมูกของเมล็ดธัญพืช และการวางไข่บนเมล็ดธัญพืช (Hu et al., 2019; Shankar and Abrol, 2012; Tu et al., 2018) การทดสอบด้วยเทคนิค GC-MS พบว่าสารระเหย Bis(methylthio)methane มีประสิทธิภาพในการกำจัดไข่ ตัวอ่อน ตัวเต็มวัยของด้วงข้าวโพดและผีเสื้อข้าวสาร และในงานวิจัยของ Yin และคณะ (2021) พบสารระเหย Methane ในเมล็ดกุยช่าย *Allium tuberosum* สูงสุดถึงร้อยละ 70.51 สามารถกำจัดกับแมลงปีกแข็ง *(Apolygus lucorum*) ซึ่งเป็นศัตรูพืชที่สำคัญในไร่ฝ้าย

นอกจากนี้ Rakshith และคณะ (2018) Undec-10-ynoic acid เป็นสารระเหยที่ผลิตจากถั่วพุ่มที่มีความสามารถดึงดูดแมลงเต่าทอง (ตัวห้ำ) *Coccinella transversalis* ที่เป็นแมลงผู้ล่าเพลี้ยอ่อน *Aphis craccivora Koch.* และงานวิจัยของ Gorawade และคณะ (2022) พบสารระเหย Undec-10-ynoic acid ในใบสาบเสือ *Chromolaena odorata L*. และใบฉัตรพระอินทร์ *Leonotis nepetifolia (L)* ที่มีความสามารถในการกำจัดตัวอ่อนระยะที่สาม กำจัดไข่ และยับยั้งการกินอาหารของหนอนกระทู้ *Spodoptera litura (F.)* ซึ่งเป็นแมลงศัตรูพืชที่ทำลายใบยาสูบ

สำหรับสารระเหย Undec-10-ynoic acid พบในเห็ดป่ากินได้ (Oni et al., 2020) ที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพที่หลากหลาย ได้แก่ เป็นสารกำจัดวัชพืช (pesticidal) สารกำจัดแมลง (insecticidal) และ สารกำจัดเชื้อราในแมลง (insectifugal) นอกจากนี้งานวิจัยของ Saba และคณะ (2015) พบว่าสารระเหย Undec-10-ynoic acid มีความสามารถในการขับไล่และกำจัดเพลี้ยข้าวสาลี (RWA) และยังการกระตุ้นความสามารถในกลไกการป้องกันในข้าวสาลี

การวิเคราะห์สารระเหยในต้นข้าวระยะกล้าในแต่ละกรรมวิธีหลังการเข้าทำลายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล

จากผลการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารละลายไคโตซานและถูกเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย (CHI+BPH) และเมทิลจัสโมเนตแต่ละกรรมวิธีและถูกเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย (MeJA+BPH) ในการกระตุ้นให้ข้าวผลิตสารระเหยซึ่งจะแตกต่าง ที่ถูกกระตุ้นให้ผลิตสารระเหยด้วยสารละลายเมทิลจัสโมเนตและไคโตซาน แต่ไม่ได้ถูกทำลายด้วยเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล

จากการทดลองในครั้งนี้ทำให้ทราบว่าหลังจากที่ต้นข้าวถูกเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลายนั้นสามารถกระตุ้นให้ผลิตสารระเหยโดยรวมจาก 31 ชนิดเป็น 81 ชนิด แต่อย่างไรก็ตามจะพบว่าถึงแม้เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลจะกระตุ้นให้ผลิตสารระเหยเพิ่มขึ้นนั้น กลับพบว่าในกลุ่มควบคุมที่มีการเข้าทำลายด้วยเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลอย่างเดียวและไม่เคยได้รับสารละลายไคโตซานและเมทิลจัสโมเนต มีจำนวนสารระเหยรวมที่พบน้อยกว่าและกลับไม่พบสารระเหยที่มีฤทธิ์ในการป้องกันตนเอง ยกตัวอย่างเช่น Hexanol, 2-ethyl-, β-Linalool, Nonanal, Decanal, Ethylacetophenone, Methyl salicylate, , 3-methyl-, Undecane, 2-methyl- 3-methyl-Dodecane, Tetradecane, 2-methyl- , Hexadecane, Pentadecane ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Shi และคณะ (2019) ได้ทำการศึกษากลไกการป้องกันตัวเองของต้นข้าวหลังถูกแมลงเข้าทำลาย พบว่าต้นข้าวจะปล่อยสารระเหยในกลุ่มฟีนิล, อัลดีไฮด์, คีโตน และเอสเทอร์ เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวที่ไม่ถูกทำลายด้วยแมลง และจากงานวิจัยของ Zheng และคณะ(2021) ได้ทำการวิเคราะห์สารระเหยจากต้นกล้าสนหางสิงห์ *(Platycladus orientalis)* ที่ได้รับความเสียหายจากด้วงเปลือกไม้ *(Phloeosinus aubei)* ด้วยเทคนิค GC-MS พบสารระเหย sesquiterpenes เพิ่มขึ้น 3.09 และปลดปล่อยออกมามากที่สุด (84–86% ของสารระเหยทั้งหมด) เมื่อเปรียบเทียบกับพืชที่ไม่ถูกด้วงทำลาย นอกจากนี้สารระเหย monoterpenes, aromatic compounds และ ketone ก็ถูกปลดปล่อยเพิ่มขึ้น 1.39-5.65 เท่า แสดงให้เห็นว่าสารระเหยชนิดนี้มีฤทธิ์ในการป้องกันตัวเองจากการบุกรุกของแมลง

สารระเหย Caryophyllene ที่พบในกรรมวิธีที่ได้รับสารละลายไคโตซานและสารละลายเมทิลจัสโมเนต (กรรมวิธีที่ 3, 4, 5, 6, 7, 8) หลังถูกเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลทำลาย แต่ไม่พบในกลุ่มควบคุม (กรรมวิธีที่ 1, 2) ซึ่งสารระเหยดังกล่าว มีบทบาทสำคัญในการเป็นสารกำจัดและไล่แมลง (Badji et al., 2021 : Perera et al., 2018) โดยจากงานวิจัยของ Naz และคณะ (2010) ได้พบสารระเหยชนิด β-caryophyllene ที่องค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยจากเหง้าขมิ้น (Curcuma

longa) นอกจากนี้งานวิจัยของ Onyambu และคณะ (2015) ได้ทำการวิเคราะห์น้ำมันหอมระเหยที่สามารถกำจัดศัตรูพืชจากพืชพื้นเมืองของเคนยา 4 ชนิดด้วยเทคนิค GC-MS พบสารระเหย Caryophyllene E มีฤทธิ์ไล่แมลงหรือทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการกิน การเจริญเติบโต การพัฒนาของแมลง การลอกคราบ พฤติกรรมการผสมพันธุ์ และการวางไข่ บางชนิดมีคุณสมบัติในการต้านเชื้อรา และกำจัดแมลงศัตรูพืช ในงานวิจัยของ Wang และคณะ (2010) ได้ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและฤทธิ์ต้านแบคทีเรียของน้ำมันหอมระเหยจากส่วนต่างๆ ของพริกไทยภูเขา (*Litsea cubeba*) ด้วยเทคนิค GC-MS พบสารระเหย β-Caryophyllene นอกจากนี้ยังพบงานวิจัยของ Abtew และคณะ (2015) พบว่าสารระเหย β-Caryophyllene ที่พบในถั่วพุ่มสามารถขับไล่เพลี้ยไฟซึ่งเป็นศัตรูพืชได้

นอกจากนี้งานวิจัยนี้ยังพบสารระเหย Isovalerate ซึ่งเป็นสารระเหยในกลุ่มเอสเทอร์ ที่มีบทบาทสำคัญในการขับไล่แมลงเช่นกัน (Vogt et al., 2010: Tong et al., 2010: Nerio et al., 2010) จากงานวิจัยของ Xu และคณะ (2015) ทำการศึกษาฤทธิ์ของสารระเหยจากแบคทีเรียที่สามารถกำจัดไส้เดือนฝอยที่เป็นหนึ่งในศัตรูพืชทางการเกษตรที่สำคัญวิเคราะห์สารระเหยด้วยเทคนิค GC-MS พบสารระเหยที่เป็นอนุพันธ์ของ Isovalerate เช่น methyl isovalerate, isobutyl isovalerate และงานวิจัยของ Klimavicz และคณะ (2018) พบว่าสารระเหย Monoterpenoid Isovalerate Esters สามารถไล่ยุงเป็นระยะเวลานาน

Cyclohexylmethylsilane และ Silane ที่พบในกรรมวิธีที่ได้รับสารละลายไคโตซานและสารละลายเมทิลจัสโมเนต (กรรมวิธีที่ 3, 4, 5, 6, 7, 8) และเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย แต่ไม่พบในกลุ่มควบคุม (กรรมวิธีที่ 1, 2) ก็จัดว่าเป็นสารระเหยในกลุ่มอัลเคนที่มีบทบาทสำคัญในการเป็นสารกำจัดและขับไล่แมลงโดย Romeh และคณะ (2013) ทำการศึกษาสารระเหยจากใบมะเดื่อ พบสารระเหย Cycloheptasiloxane, Cyclohexylmethylsilane, Silane ที่ส่งผลต่อการกำจัดแมลงไฟโตฟากัส (Phytophagus insect) ซึ่งเป็นแมลงที่ทำให้เกิดความเสียหายและสูญเสียพืชผลทางเศรษฐกิจ และงานวิจัยของ Mangang และคณะ (2020) พบสารระเหย Silane ที่ได้จากใบมะละกอและกระเทียมมีฤทธิ์สูงสุดในการขับไล่มอดแป้งเมื่อเปรียบเทียบกับพืชอย่างอื่นคือ เปลือกส้ม, ใบโหระพา, ใบสะระแหน่, รากขมิ้น, ฟ้าทะลายโจร, ใบสะเดา, ใบตะไคร้ และใบธงหวาน (*Acorus calamus*)

4-Methylpentylisothiocy, Cyclohexylmethyl-ethylphosphonofluoridate, 4,5,6,7-Tetrahydroxydecylisothiocyanate, Methyl 3,4-tetradecadienoate เป็นสารระเหย

ในกลุ่มเอสเทอร์มีบทบาทสำคัญในการกำจัดและขับไล่แมลง (Peixoto et al., 2015 : Pavela et al., 2018 : Zong et al., 2021) ที่พบในกรรมวิธีที่ได้รับสารละลายไคโตซานและสารละลายเมทิลจัสโมเนต (กรรมวิธีที่ 4, 5, 6, 7, 8) และเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย แต่ไม่พบในกลุ่มควบคุม (กรรมวิธีที่ 1, 2) ซึ่งงานวิจัยของ Yang และคณะ (2014) พบสารระเหย Methyl,-tetradecadienoate ในน้ำมันหอมระเหยของพริกไทยภูเขา *(Litsea cubeba)* ที่สามารถกำจัดด้วงและมอด และงานวิจัยในปีล่าสุดของ Sang และคณะ (2022) พบสารระเหย 2,4-methylenecycloartanyl-2'E, 4'Z-tetradecadienoate ที่ต้านการกินอาหารของแมลงในกุหลาบพันปี ส่งผลต่อการการต้านการกินอาหาร (Antifeedant) ของด้วงงวงข้าวโพดและมอดแป้ง

สารระเหยสำคัญที่มีความสามารถต้านแมลงในกลุ่มซัลเฟอร์ที่พบเฉพาะในกรรมวิธีที่ได้รับสารละลายไคโตซานและสารละลายเมทิลจัสโมเนต (กรรมวิธีที่ 3, 4, 5, 6, 7, 8) และถูกเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลายแต่ไม่พบในกลุ่มควบคุม (กรรมวิธีที่ 1, 2) ได้แก่3-Cyclohexylthiolane,S,S-dioxide, trans-2-Methyl-4-n-butylthiane,S,S-dioxide ในงานวิจัยของ Nurtazina และคณะ (2017) พบสารระเหย 3-Cyclohexylthiolane,S,S-dioxide จากฮิสซอพ *(Satureja amani)* ด้วยเทคนิค GC-MS ที่มีฤทธิ์ต้านแมลง และยังเป็นสารควบคุมการวางไข่และการเจริญเติบโตของตัวอ่อนแมลง

นอกจากนี้ Tariku et al., 2010 พบว่า สารระเหยประเภทซัลเฟอร์ trans-2-Methyl-4-n-butylthiane, S,S-dioxide เป็นสารระเหยที่มีฤทธิ์ยับยั้งการสืบพันธุ์ของแมลงและฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ (Tariku et al., 2010) และแบคทีเรีย (Belay et al., 2011) งานวิจัยของ Gebrehiwot และคณะ (2018) พบอนุพันธ์ cis-2-Methyl-4-n-butylthiane, S,S-dioxide จากเมล็ดพืช *Croton Macrostachyus* ที่มีฤทธิ์ยับยั้งการสืบพันธุ์ของแมลง

และยังพบว่า Tetrazolo[1,5-a] pyrimidine,1,4-Methanocycloocta[d]pyridazine ที่พบในงานวิจัยนี้ เป็นสารระเหยในกลุ่มฟีนิลมีบทบาทสำคัญในการต้านแมลง (Yang et al., 2010) จากงานวิจัยของ Wang และคณะ (2018) พบสารระเหยในกลุ่มฟีนิลและสเตอรอลมีบทบาทในการยับยั้งการพัฒนาของตัวอ่อนของหนอนใบไม้และยังยับยั้งการเข้าทำลายของหนอนใบไม้ ส่งผลให้ลดการสูญเสียผลผลิตของฝ้ายซึ่งเป็นพืชทางเศรษฐกิจ

Methylphosphonic acid, 1,3,2-Oxazaborolidine-4-carboxylic acid, n-Butylphosphonic acid, Phosphonofluoridic acid, Cyclic octaatomic sulfur เป็นสารระเหย

ในกลุ่มสารอินทรีย์มีบทบาทสำคัญที่ในการต้านแมลง จากงานวิจัยของ Ravi และคณะ (2018) ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและฤทธิ์ของสารสกัดแหนแดง (Azolla pinnata) ต่อการกำจัดตัวอ่อนยุงลาย การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC-MS พบสารระเหย methylphosphonic acid แสดงให้เห็นว่าสารสกัดจากแหนแดงมีฤทธิ์ทางชีวภาพสามารถกำจัดตัวอ่อนของยุงลายและมีประสิทธิภาพที่จะพัฒนาเป็นสารกำจัดศัตรูพืชทางชีวภาพ

งานวิจัยของ Cristiane และคณะ (2014) การศึกษาฤทธิ์น้ำมันระเหยของพืช Microlobius foetidus พบสารระเหย sulfur cyclic octaatomic ที่ส่งผลต่อการทำงานของเอนไซม์ trypsin, chymotrypsin และ acetylcholinesterase ของยุงลาย แสดงให้เห็นฤทธิ์ของสารระเหยมีผลต่อการชะลอการเจริญเติบโตโดยรวมของลูกน้ำและยุงลาย ซึ่งสัมพันธ์กับการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ trypsin, chymotrypsin สารระเหยดังกล่าวสามารถพัฒนาเป็นสารกำจัด ขับไล่ และการควบคุมตัวอ่อนและยุงลาย

สารระเหยสำคัญที่มีความสามารถกำจัดแมลงในกลุ่มคีโตน ที่พบเฉพาะในกรรมวิธีที่ได้รับสารละลายไคโตซานและสารละลายเมทิลจัสโมเนต (กรรมวิธีที่ 3, 4, 5, 6, 7, 8) แต่ไม่พบในกลุ่มควบคุม (กรรมวิธีที่ 1, 2) ได้แก่ 7,10,10-Trimethyl-4-oxa-3,5-diazatricyclo[5.2.1.0(2,6)]deca-2,5-dien-3-one, 1-(10,10-Dimethyl-3,3-dioxo-3-thia-4-azatricyclo[5.2.1.0(1,5)]dec-4-yl)-3-methylpent-4-en-1-one, 2-Cyclohexyl-1-tetrazol-2-yl-ethanone โดยงานวิจัยของ Ntalli และคณะ (2011) ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยและสารสกัดจากช่อดอกฟินซ์รู *(Ruta chalepensis)* ต่อภาวะอัมพาตของไส้เดือนฝอยด้วยเทคนิค GC-MS และ LC-MS พบว่าสารระเหยส่วนใหญ่คือ ketones ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในการกำจัดไส้เดือนฝอย

งานวิจัยของ Sun และคณะ (2015) ได้ศึกษาสารระเหยที่ปล่อยออกมาจากโกฐจุฬาลัมพาและเบญจมาศต่อการเข้าทำลายของเพลี้ยอ่อน ผลการทดลองพบว่า เพลี้ยอ่อนชอบกลิ่นของเบญจมาศในขณะที่โกฐจุฬาลัมพามีแนวโน้มที่ถูกเพลี้ยอ่อนรบกวนน้อยกว่าเบญจมาศ และการวิเคราะห์สารระเหยด้วยเทคนิค GC-MS พบสารระเหย artemisia ketone เพิ่มขึ้นอย่างมากในโกฐจุฬาลัมพาเมื่อเปรียบเทียบกับเบญจมาศ โดยโกฐจุฬาลัมพาอาจขับไล่เพลี้ยโดยการเพิ่มการปล่อยสารระเหย artemisia ketone ดังนั้นสารระเหยจากโกฐจุฬาลัมพาอาจจะมีคุณสมบัติที่มีศักยภาพในการต้านทานเพลี้ยอ่อน และสารระเหยทั้งสองจะมีประโยชน์สำหรับการป้องกันเพลี้ยอ่อนในการเพาะปลูกดอกเบญจมาศ

นอกจากนี้ยังพบสารระเหยสำคัญที่มีฤทธิ์ในการต่อต้านแมลง คือ Phthalic acid ที่พบในกรรมวิธีที่ 7 (Tr7); MeJA 2.5 mM spray เท่านั้น รายงานการวิจัยในปี 2010 พบว่า Phthalic acid มี activity ที่สูงมากในการต่อต้านแมลงจำพวกผีเสื้อในวงกว้าง และมีลักษณะที่ไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม (Feng et al., 2010)

สารระเหยจากต้นข้าวที่ถูกกระตุ้นให้ผลิตเพิ่มขึ้นหลังถูกเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลายในข้าวเปรียบเทียบก่อนและหลังถูกเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย

สารระเหยจากต้นข้าวที่ถูกกระตุ้นให้ผลิตเพิ่มขึ้นหลังถูกเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลายในข้าวเปรียบเทียบกับก่อนถูกเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลายพบสารระเหยดังต่อไปนี้

methyl jasmonate ที่พบเพิ่มขึ้นในทุกกรรมวิธีนั้นมีบทบาทสำคัญในการป้องกันพืชจากแมลง (Yu et al., 2018) ต่อต้านเชื้อรา และแมลงศัตรูพืช (Puentes et al., 2021) เช่น เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล (Ye, Miaofen et al., 2021) ด้วงงวงข้าว (Kraus et al., 2019) และยังส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช (Li et al., 2018) งานวิจัยของ Saba และคณะ (2015) ศึกษาสารสกัดจากพืช 3 ชนิด คือ Artemisia afra, Agave attenuata และ Zanthoxlum capense เป็นพืชที่มีสารประกอบออกฤทธิ์ทางชีวภาพทำหน้าที่ป้องกันและกำจัดเพลี้ยอ่อนในข้าวสาลี ด้วยเทคนิค GC-MS พบสารระเหย methyl jasmonate ที่คาดว่ามีคุณสมบัติในการขับไล่เพลี้ย ในงานวิจัยของ Rahnamaie-Tajadod และคณะ (2019) พบว่าการพ่นใบผักแพวด้วย Methyl jasmonate พบว่าการผลิตสารระเหยในผักแพวเพิ่มขึ้น และงานวิจัยของ Bhavanam และคณะ (2021) พบว่าการพ่นสารละลายกรดจัสโมนิก (JA) และเมทิลจัสโมเนต (MeJA) จะเพิ่มความต้านทานของต้นข้าวต่อมอดข้าวและแมลงศัตรูพืช โดยพบว่าการพ่นต้นข้าวด้วย JA 2.5 mM และ MeJA 2.5 mM ช่วยเพิ่มความต้านทานของต้นข้าวต่อมอดข้าว แต่มีผลลดการงอกของต้นกล้า

นอกจากนี้งานวิจัยของ Erazo-Garcia และคณะ (2021) พบว่า MeJA สามารถใช้เป็นตัวกระตุ้นความต้านทานของพืชตระกูลถั่วจากการโจมตีของหนอนแมลงวัน (Delia platura) บนเมล็ดที่กำลังงอก นอกจากนี้การงอกของเมล็ดและการเจริญเติบโตไม่ได้รับผลกระทบจากการพ่นด้วย MeJA

Salicylic acid ที่พบเพิ่มขึ้นในทุกกรรมวิธีนั้น เป็นสารช่วยป้องกันและสามารถขับไล่เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล (Lin et al., 2021) ช่วยยับยั้งการสืบพันธ์และลดจำนวนไข่ของเพลี้ย (Donovan et

al., 2013 : Babikova et al., 2013 : Guo et al., 2018) งานวิจัยของ Chiluwal และคณะ (2017) ศึกษาน้ำมันหอมระเหยจากโป๊ยกั๊ก *(Illicium verum)* และต้นเปล้า *(Croton anisatum*) โดยพบสารระเหย *trans*-anethole และ methyl salicylate ที่มีความสามารถช่วยขับไล่และขัดขวางการวางไข่ของด้วงถั่ว (*Callosobruchus chinensis)* และงานวิจัยของ Pagadala และคณะ (2015) ได้ทำการพ่นสารระเหย SA ในต้นมะม่วง พบว่า สามารถต้านทานแมลงวัน โดยช่วยลดการวางไข่และยับยั้งการพัฒนาของตัวอ่อนไปเป็นตัวเต็มวัยของแมลงวันได้ และ methyl salicylate ที่เป็นอนุพันธ์ของ Salicylic acid ทำหน้าที่เป็นสารขับไล่เพลี้ย

สารระเหย MeJA และ SA มีความสามารถในการต้านแมลง จะเห็นได้ว่าสารระเหยดังกล่าวเพิ่มขึ้นในทุกกรรมวิธี หลังจากถูกเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย แต่อย่างไรก็ตามจะเห็นว่าในกรรมวิธี 3, 4, 5, 7 จะมีผลทำให้สารระเหยเพิ่มขึ้นมากกว่ากลุ่มควบคุม จากรายงานการวิจัยก่อนหน้า พบว่า การใช้สารระเหย MeJA ร่วมกับ SA มีบทบาทสำคัญในการป้องกันพืช (Tamaoki et al., 2013) ทำให้พืชสามารถต้านทานแมลงได้ (Xu, Tao et al., 2003) เช่น เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล (Jayasimha et al., 2017) แมลงเหม็นข้าว (Freitas et al., 2018) และ หนอน (Shi et al., 2019)

Decanoic acid มีบทบาทสำคัญเป็นสารระเหยที่ช่วยยับยั้งการวางไข่ของแมลง รายงานการวิจัยก่อนหน้าทำการศึกษาสารระเหยจากต้นปาล์ม พบว่าสารระเหยได้แก่ octanoic, decanoic, และ dodecanoic acids. สามารถช่วยยับยั้งตัวอ่อนและการวางไข่ของ *A. aegypti* (Santos, Leilane et al., 2017)

13-Octadecanal เป็นสารระเหยในกลุ่มอัลดีไฮด์มีบทบาทสำคัญในการเป็นสารกำจัดและขับไล่แมลง (Lee et al., 2020) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chen และคณะในปี 2018. ได้ทำการศึกษาการใช้สารระเหย hexadecenal และ Octadecanal สำหรับป้องกันแมลงศัตรูพืชในข้าว 4 ชนิด คือ *C. suppressalis*, *S. incertulas*, *Mythimna separate*, และ *H. armigera* โดยพบว่าสารระเหยดังกล่าวสามารถลดการดึงดูดแมลงและยับยั้งการสืบพันธุ์ของแมลงได้

นอกจากนี้ยังพบว่าสารระเหย 2-(Hydroxymethyl)pyrrolidin-1-yl] เป็นสารตั้งต้นของ 2-acetyl-1-pyrroline มีบทบาทในการให้ความหอมของข้าวหอมมะลิ Vanavichit และคณะ (2004) ซึ่งสารระเหยดังกล่าวถูกพบก่อนที่จะทำการปล่อยแมลง แต่หลังจากปล่อยแมลงแล้วสารระเหยให้ความหอมของข้าวหายไป อาจกล่าวได้ว่าต้นข้าวพยายามที่จะไม่ให้แมลงเข้าทำลายโดยลดความหอมของข้าวลง แล้วปลดปล่อยสารระเหยที่มีฤทธิ์ช่วยให้สามารถต้านแมลงเพิ่มขึ้น

การทดสอบความเสียหายของต้นข้าวในแต่ละกรรมวิธี หลังถูกเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลายในข้าวระยะกล้าและระยะแตกกอ

จากการทดสอบความเสียหายของต้นข้าวในระยะกล้าและระยะแตกกอที่ได้รับสารละลายไคโตซานที่และสารละลายเมทิลจัสโมเนตที่มีความความเข้มข้นที่แตกต่างกัน และจัดอยู่ในระดับความต้านทาน MR ในขณะที่ชุดควบคุมข้าวระยะกล้า และระยะแตกกอจัดอยู่ในระดับความต้านทาน HS และ S ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าข้าวที่ได้รับสารละลายไคโตซานสามารถป้องกันเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลได้ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่รายงานว่าสารละลายไคโตซานและสารละลายเมทิลจัสโมเนตสามารถกระตุ้นให้ผลิตสารระเหยรวมได้มากกว่ากลุ่มควบคุม และหลังจากเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย พบว่ายิ่งกระตุ้นให้ผลิตสารระเหยที่มีฤทธิ์ป้องกันตนเองของพืชได้มากขึ้นในกรรมวิธีที่ได้รับสารละลายไคโตซานที่และสารละลายเมทิลจัสโมเนต ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการวิจัย ที่พบว่าเปอร์เซ็นต์ของการเข้าทำลายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในข้าวลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ถึง 35.15, 24.7 และ 30.55% หลังจากได้รับสารละลายไคโตซานที่มีความเข้มข้น 50, 70 และ 100 ppm ตามลำดับ นอกจากนี้ Van และคณะ (2013) พบว่าต้นข้าวในระยะกล้าและระยะแตกกอที่ได้รับสารละลายเมทิลจัสโมเนตที่ความเข้มข้น 1, 2.5, 5 mM มีคะแนนความเสียหายของต้นข้าวน้อยที่สุด จัดอยู่ในระดับความต้านทาน MR ในขณะที่ชุดควบคุมข้าวระยะกล้า และระยะแตกกอจัดอยู่ในระดับความต้านทาน HS และ S ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าข้าวที่ได้รับสารละลายเมทิลจัสโมเนตสามารถป้องกันเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลได้ สอดคล้องกับรายงานการวิจัยของ Senthil และคณะ (2009) ที่ทำการศึกษาสารระเหยที่ข้าวปลดปล่อยออกมาเพื่อป้องกันตนเอง โดยใช้กรดจัสโมนิกทางการค้าพ่นทางใบ ที่ความเข้มข้น 2.5 และ 5 mM ตามลำดับ พบว่ากรดจัสโมนิกสามารถเหนี่ยวนำให้ข้าวต้านทานต่อแมลง โดยทำให้วงจรชีวิตของแมลงลง และการวางไข่ของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลและเปอร์เซ็นต์การพัฒนาจากตัวอ่อนไปเป็นตัวเต็มวัยลดลง โดยเฉพาะเมื่อใช้กรดจัสโมนิกความเข้มข้น 5 mM (Senthil และคณะ 2009)

ภาคผนวก

ตาราง 8 รายชื่อสารระเหยที่พบในต้นข้าวหลังจากวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC-MS/MS

ลำดับ	Retention time (RT)	ชื่อสารระเหย
1	5.198	2-Ethylthiolane, S,S-dioxide
2	6.260, 6.267, 6.268	Ethylbenzene
3	6.454, 6.463, 6.469	1-Cycloocten-5-yne
4	7.046, 7.056, 7.060	Ethylbenzene
5	8.945, 8.967, 8.975	Ethanethiol
6	9.367, 9.372	Phosphonic acid
7	9.890, 9.897, 9.904	(R)-9-[(S)-2-(Hydroxymethyl)pyrrolidin-1-yl]-3-methyl-3,4-dihydro-2H-benzo[b][1,4,5]oxathiazepine 1,1-dioxide
8	13.226	Butyl diethyl phosphate
9	14.605, 14.607	Methane
10	17.166, 17.182	Salicylic acid
11	19.308, 19.316	trans-2-Methyl-4-n-butylthiane, S,S-dioxide
12	21.037	trans-2,4-Dimethylthiane, S,S-dioxide
13	21.832, 21.838, 21.840	4-Diethylaminophenyl isothiocyanate
14	23.519, 23.528	Cyclopentyl-methyl-phosphinic acid
15	24.528	Methyl jasmonate
16	25.147	1H-Benzimidazole
17	25.688	13-Borabicyclo[7.3.0]tridecane
18	27.067, 27.070	trans-2-methyl-4-n-pentylthiane, S,S-dioxide
19	27.644, 27.651	Decanoic acid
20	27.874, 27.879	3,3,5,5-Tetramethylcyclohexyl methylphosphonofluoridate
21	28.295, 28.299,28.302	1,12-Dodecanediol
22	28.598, 28.602	3,3,5,5-Tetramethylcyclohexyl methylphosphonofluoridate
23	29.842, 29.852	trans-2-methyl-4-n-pentylthiane, S,S-dioxide

24	29.972	Cyclopentyl-methyl-phosphinic acid
25	30.152	Cyclic octaatomic sulfur
26	30.315	N,N'-o-Phenylenebis(5,5,5-trifluoro-4-oxopentan-2-iminato)nickel(II)
27	31.324	Sulfur diimide
28	31.616	14-Methyl-8-hexadecen-1-ol
29	32.518, 32.525	Methyl 10,11-tetradecadienoate
30	32.621, 32.630	Methyl 8,9-octadecadienoate
31	32.937, 32.944	Undec-10-ynoic acid
32	33.451, 33.453	13-Octadecenal
33	33.527, 33.828	Methyl 10,11-tetradecadienoate
34	34.195, 34.538	Methyl 10,11-tetradecadienoate
35	34.951, 34.957	2-Azido-2,4,4,6,6,8,8-heptamethylnonane
36	36.330, 36.448	Trihexadecyl borate
37	37.791	Acetamide

ตาราง 9 สารระเหยจากต้นข้าวในแต่ละกรรมวิธีหลังถูกเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลายในข้าวระยะกล้า หลังจากวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-MS/MS

ลำดับ	Retention time (RT)	ชื่อสารระเหย
1	6.265, 6.268, 6.271, 6.461, 6.465	Spiro[2.4]heptane
2	8.966, 8.976, 8.982	Ethanethiol
3	9.242	7,10,10-Trimethyl-4-oxa-3,5-diazatricyclo[5.2.1.0(2,6)]deca-2,5-dien-3-one
4	9.369	Toluene-D3
5	9.701	3-Cyclohexylthiolane,S,S-dioxide
6	9.900	Methylphosphonic acid
7	10.470	n-Dodecylpyridinium chloride
8	11.028	Cyclonona-1,2,6-triene
9	11.396	Cyclohexylmethylsilane
10	11.575	Cyclododeca-1,5-dien-9-yne
11	11.625	1-Phenethyl-5-pyrrolidin-1-ylmethyl-1H-tetrazole
12	11.775	Cyclohexane
13	11.824	2-[Benzyloxyimino]methyl-3-methyl-1-(1-propanesulfonate)
14	11.895	Tetrazolo[1,5-a]pyrimidine
15	12.038, 12.187	Oxacyclotetradeca-4,11-diyne
16	12.228	3-Methylpyrazolobis(diethylboryl)hydroxide
17	12.253	4-Methylpentyl isothiocyanate
18	12.308	1,4-Methanocycloocta[d]pyridazine
19	13.036	1,3,2-Dioxaphosphorinane-2-oxide
20	13.223, 13.226, 13.238	Triethyl phosphate
21	13.370, 13.380	1-Oxa-3,4-Diazaspiro[4.5]dec-3-ene

22	13.831	Diazene
23	13.898	Silane
24	14.166	1,3-Dimethyl-1-cyclohexene
25	14.497	Phenylphosphonous acid
26	14.602, 14.609	2H-Tetrazole
27	14.748	trans-2-Methyl-4-n-butylthiane, S,S-dioxide
28	14.868	Cyclobutadithiophene
29	15.021	1,3,2-Dioxaborolane
30	15.321	1,3,2-Oxazaborolidine-4-carboxylic acid
31	15.424	heptan-7-ol
32	15.482	n-Butylphosphonic acid
33	15.593	1-(10,10-Dimethyl-3,3-dioxo-3-thia-4-azatricyclo[5.2.1.0(1,5)]dec-4-yl)-3-methylpent-4-en-1-one
34	15.760	Cyclohexylmethyl ethylphosphonofluoridate
35	15.824	2-Cyclohexyl-1-tetrazol-2-yl-ethanone
36	15.941	Tropine N-oxide
37	16.199	Phosphonofluoridic acid
38	16.273, 16.276	Borinic acid
39	16.469	4,5,6,7-Tetrahydroxydecyl isothiocyanate
40	17.188, 17.198	Salicylic acid
41	17.557	Methyl 3,4-tetradecadienoate
42	18.563, 18.566	3-n-Butylthiane,S-oxide
43	18.619	Phosphoramidochloridothioic acid
44	18.845	Zidovudine
45	19.314, 19.317, 19.322	trans-2,4-Dimethylthiane, S,S-dioxide
46	19.489, 19.494	1H-Purin-6-amine

47	20.702, 20.708 ,20.710	4-Methyl-2,3-hexadien-1-ol
48	20.790	2-Azido-2,4,4,6,6-pentamethylheptane
49	21.507	Ribitol
50	21.571	Hexathiane
51	21.838	2,4-Di-tert-butylphenol
52	22.952	3-(3,3-Dimethylbutyl)thiophene-1,1-dioxide
53	23.281	Nona-2,3-dienoic acid
54	23.393, 23.400	trans-2-methyl-4-n-pentylthiane, S,S-dioxide
55	23.515, 23.518	Adamantane
56	23.524	Cyclopentyl-methyl-phosphinic acid
57	24.181	Clidinium Bromide
58	24.258, 24.530	Methyl jasmonate
59	25.100, 25.106	Caryophyllene oxide
60	25.683, 25.693	2(1H)-Naphthalenone
61	26.120	Phosphonic dichloride
62	26.437	isovalerate
63	27.078	Cyclododecyl isothiocyanate
64	27.648	Decanoic acid
65	27.876	3,3,5,5-Tetramethylcyclohexyl methylphosphonofluoridate
66	28.300	Chloroacetic acid
67	28.600	3,3,5,5-Tetramethylcyclohexyl methylphosphonofluoridate
68	29.299	Bicyclo[3.2.1]oct-2-ene
69	30.404	3,3-Dimethyl-hepta-4,5-dien-2-ol
70	31.144, 31.156	Cyclic octaatomic sulfur
71	32.264, 32.269, 32.273	1H-1,2,3,4-Tetrazole

72	32.605	Methyl 10,11-tetradecadienoate
73	33.550	cis-10-Heptadecenoic acid
74	33.835, 33.844	Methyl 11,12-tetradecadienoate
75	34.956, 34.964	2-Azido-2,4,4,6,6,8,8-heptamethylnonane
76	36.238	Diazoprogesterone
77	36.348	Retinal
78	36.353	2-Heptenoic acid
79	37.673	Phosphonic acid
80	37.790	Acetamide
81	38.145	9-Borabicyclo[3.3.1]nonane
82	38.465	Phthalic acid

ตาราง 10 การจัดกลุ่มสารระเหยจากต้นข้าวในแต่ละกรรมวิธีแในข้าวระยะกล้า หลังจากวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-MS/MS

ลำดับ	กลุ่ม	ชื่อสารระเหย	กรรมวิธี (treatment, Trt)							
			1	2	3	4	5	6	7	8
1	ester	Butyl diethyl phosphate	+	+	+	+	+	+	+	+
2		4-Diethylaminophenyl isothiocyanate	+	+	+	+	+	+	+	+
3		3,3,5,5-Tetramethylcyclohexyl methylphosphonofluoridate	+	+	+	+	+	+	+	+
4		Methyl jasmonate	+	+	+	+	+	+	+	+
5		Methyl 10,11-tetradecadienoate	+	+	+	+	+	+	+	+
6		Methyl 8,9-octadecadienoate	+	+	+	+	+	+	+	+
7		Trihexadecyl borate	+	+	+	+	+	+	+	+
8	sulfur	2-Ethylthiolane,S,S-dioxide	-	-	-	-	+	+	+	+
9		trans-2-Methyl-4-n-butylthiane,S,S-dioxide	+	+	+	+	+	+	+	+
10		trans-2-methyl-4-n-pentylthiane,S,S-dioxide	+	+	+	+	+	+	+	+
11		trans-2,4-Dimethylthiane,S,S-dioxide	-	-	-	-	+	+	+	+
12		Sulfur diimide	-	-	+	+	+	+	+	+
13	alkane	Methane	-	-	-	-	+	+	+	+
14		13-Borabicyclo[7.3.0]tridecane	+	+	+	+	+	+	+	+
15		2-Azido-2,4,4,6,6,8,8-heptamethylnonane	+	+	+	+	+	+	+	+
16	phenyl	Ethylbenzene	+	+	+	+	+	+	+	+
17		(R)-9-[(S)-2-(Hydroxymethyl)pyrrolidin-1-yl]-3-methyl-3,4-dihydro-2H-benzo[b][1,4,5]oxathiazepine 1,1-dioxide	+	+	+	+	+	+	+	+
18		1H-Benzimidazole	+	+	+	+	+	+	+	+

19		N,N'-o-Phenylenebis(5,5,5-trifluoro-4-oxopentan-2-iminato)	+	+	+	+	+	+	+	+
20	acid	Phosphonic acid	+	+	+	+	+	+	+	+
21		Salicylic acid	+	+	+	+	+	+	+	+
22		Cyclopentyl-methyl-phosphinic acid	+	+	+	+	+	+	+	+
23	acid	Decanoic acid	+	+	+	+	+	+	+	+
24		Undec-10-ynoic acid	-	-	+	+	+	+	+	+
25		Cyclic octaatomic sulfur	+	+	+	+	+	+	+	+
26	alcohol	14-Methyl-8-hexadecen-1-ol	+	+	+	+	+	+	+	+
27		1,12-Dodecanediol	+	+	+	+	+	+	+	+
28	alkyne	1-Cycloocten-5-yne	+	+	+	+	+	+	+	+
29	amide	acetamide	+	+	+	+	+	+	+	+
30	aldehyde	13-Octadecanal	+	+	+	+	+	+	+	+
31	thiol	Ethanethiol	+	+	+	+	+	+	+	+

ตาราง 11 การจัดกลุ่มสารระเหยจากต้นข้าวในแต่ละกรรมวิธีและถูกเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลายในข้าวระยะกล้า หลังจากวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-MS/MS

ลำดับ	กลุ่ม	ชื่อสารระเหย	กรรมวิธี (treatment, Trt)							
			1	2	3	4	5	6	7	8
1	ester	Methyl11,12-tetradecadienoate	+	+	+	+	+	+	+	+
2		Methyl10,11-tetradecadienoate	+	+	+	+	+	+	+	+
3		2-[Benzyloxyimino]methyl-3-methyl-1-(1-propanesulfonate)	-	-	-	+	+	+	+	+
4		4-Methylpentyl isothiocyanate	-	-	-	+	+	+	+	+
5		Triethyl phosphate	+	+	+	+	+	+	+	+
6		Cyclohexylmethyl ethylphosphonofluoridate	-	-	-	+	+	+	+	+
7		4,5,6,7-Tetrahydroxydecyl isothiocyanate	-	-	-	+	+	+	+	+
8		Methyl 3,4-tetradecadienoate	-	-	-	+	+	+	+	+
9		Methyl jasmonate	+	+	+	+	+	+	+	+
10		isovalerate	-	-	+	+	+	+	+	+
11		Cyclododecyl isothiocyanate	+	+	+	+	+	+	+	+
12		3,3,5,5-Tetramethylcyclohexyl methylphosphonofluoridate	+	+	+	+	+	+	+	+
13	sulfur	3-Cyclohexylthiolane,S,S-dioxide	-	-	-	+	+	+	+	+
14		trans-2-Methyl-4-n-butylthiane,S,S-dioxide	-	-	-	+	+	+	+	+
15		3-n-Butylthiane,S-oxide	+	+	+	+	+	+	+	+
16		trans-2,4-Dimethylthiane,S,S-dioxide	+	+	+	+	+	+	+	+
17		trans-2-methyl-4-n-pentylthiane,S,S-dioxide	+	+	+	+	+	+	+	+

18	alkane	Spiro[2.4]heptane	+	+	+	+	+	+	+	+
19		Cyclohexylmethylsilane	-	-	+	+	+	+	+	+
20		Cyclohexane	-	-	-	+	+	+	+	+
21		1,3,2-Dioxaphosphorinane-2-oxide	-	-	-	+	+	+	+	+
22		silane	-	-	+	+	+	+	+	+
23		1,3,2-Dioxaborolane	-	-	-	+	+	+	+	+
24		Hexathiane	-	-	-	+	+	+	+	+
25		Adamantane	+	+	+	+	+	+	+	+
26		Phosphonic dichloride	-	-	+	+	+	+	+	+
27		2-Azido-2,4,4,6,6,8,8-heptamethylnonane	+	+	+	+	+	+	+	+
28		2-Azido-2,4,4,6,6-pentamethylheptane	+	+	+	+	+	+	+	+
29		9-Borabicyclo[3.3.1]nonane	+	+	+	+	+	+	+	+
30	alkene	Cyclonona-1,2,6-triene	-	-	-	+	+	+	+	+
31		1-Oxa-3,4-Diazaspiro[4.5]dec-3-ene	-	-	-	+	+	+	+	+
32		Diazene	-	-	-	+	+	+	+	+
33		1,3-Dimethyl-1-cyclohexene	-	-	-	+	+	+	+	+
34		Cyclobutadithiophene	-	-	-	+	+	+	+	+
35		3-(3,3-Dimethylbutyl)thiophene-1,1-dioxide	-	-	-	+	+	+	+	+
36		Caryophyllene oxide	-	-	+	+	+	+	+	+
37		Bicyclo[3.2.1]oct-2-ene	-	-	-	+	+	+	+	+
38	phenyl	Toluene-D	-	-	-	+	+	+	+	+
39		n-Dodecylpyridinium chloride	-	-	-	+	+	+	+	+
40		1-Phenethyl-5-pyrrolidin-1-ylmethyl-1H-tetrazole	-	-	-	+	+	+	+	+
41		Tetrazolo[1,5-a]pyrimidine	-	-	-	+	+	+	+	+

42		3-Methylpyrazolobis(diethylboryl)hydroxide	-	-	-	+	+	+	+	+
43		1,4-Methanocycloocta[d]pyridazine	-	-	-	+	+	+	+	+
44		2H-Tetrazole	+	+	+	+	+	+	+	+
45		Tropine N-oxide	-	-	-	+	+	+	+	+
46		2,4-Di-tert-butylphenol	+	+	+	+	+	+	+	+
47		1H-1,2,3,4-Tetrazole	+	+	+	+	+	+	+	+
48	COOH	Methylphosphonic acid	-	-	-	+	+	+	+	+
49		Borinic acid	-	-	-	+	+	+	+	+
50		Nona-2,3-dienoic acid	+	+	+	+	+	+	+	+
51		Phenylphosphonous acid	-	-	-	+	+	+	+	+
52		1,3,2-Oxazaborolidine-4-carboxylic acid	-	-	-	+	+	+	+	+
53		n-Butylphosphonic acid	-	-	-	+	+	+	+	+
54		Phosphonofluoridic acid	-	-	-	+	+	+	+	+
55		Salicylic acid	+	+	+	+	+	+	+	+
56		Phosphoramidochloridothioic acid	+	+	+	+	+	+	+	+
57		Decanoic acid	+	+	+	+	+	+	+	+
58		Cyclopentyl-methyl-phosphinic acid	+	+	+	+	+	+	+	+
59		Chloroacetic acid	+	+	+	+	+	+	+	+
60		Cyclic octaatomic sulfur	-	-	-	+	+	+	+	+
61		cis-10-Heptadecenoic acid	+	+	+	+	+	+	+	+
62		2-Heptenoic acid	+	+	+	+	+	+	+	+
63		Phosphonic acid	-	-	+	+	+	+	+	+
64		Phthalic acid	-	-	-	-	-	-	+	-
65	ketone	7,10,10-Trimethyl-4-oxa-3,5-diazatricyclo[5.2.1.0(2,6)]deca-2,5-dien-3-one	-	-	-	+	+	+	+	+

66		1-(10,10-Dimethyl-3,3-dioxo-3-thia-4-azatricyclo[5.2.1.0(1,5)]dec-4-yl)-3-methylpent-4-en-1-one	-	-	-	+	+	+	+	+
67		2-Cyclohexyl-1-tetrazol-2-yl-ethanone	-	-	-	+	+	+	+	+
68		Zidovudine	+	+	+	+	+	+	+	+
69		2(1H)-Naphthalenone	+	+	+	+	+	+	+	+
70		Diazoprogesterone	+	+	+	+	+	+	+	+
71	alcohol	3,3-Dimethyl-hepta-4,5-dien-2-ol	+	+	+	+	+	+	+	+
72		heptan-7-ol	-	-	-	+	+	+	+	+
73		4-Methyl-2,3-hexadien-1-ol	+	+	+	+	+	+	+	+
74		Ribitol	-	-	+	+	+	+	+	+
75	alkyne	Cyclododeca-1,5-dien-9-yne	-	-	-	+	+	+	+	+
76		Oxacyclotetradeca-4,11-diyne	-	-	-	+	+	+	+	+
77	amine	1H-Purin-6-amine	+	+	+	+	+	+	+	+
78	amide	Clidinium bromide	+	+	+	+	+	+	+	+
79		Acetamide	+	+	+	+	+	+	+	+
80	aldehyde	Retinal	+	+	+	+	+	+	+	+
81	thiol	Ethanethiol	+	+	+	+	+	+	+	+

บรรณานุกรม

Abdullah, R. R., and Noha A. Sukar. "Enhancing the efficacy of the biopesticide Beauveria bassiana by adding chitosan to its secondary metabolites." International Journal of Entomology Research 6.1 (2021): 30-35.

Abtew, A., Subramanian, S., Cheseto, X., Kreiter, S., Tropea Garzia, G., & Martin, T. "Repellency of plant extracts against the legume flower thrips Megalurothrips sjostedti (Thysanoptera: Thripidae)." Insects 6.3 (2015): 608-625.

Akbar, M., Ali, U., Khalil, T., Iqbal, M. S., Amin, A., Naeem, R., ... & Chohan, S. A. "Cornus macrophylla, the antibacterial activity of organic leaf extracts and the characterization of the more lipophilic components by GC/MS." Molecules 25.10 (2020): 2395.

Ahmed, S. I., and A. A. Gazzy. "Efficacy of some botanical extracts against'Callosobruchus maculatus' in cowpea seeds and an evaluation of their toxicity." Plant Protection Quarterly 26.4 (2011): 130-140.

Alfy, H., Ali, H. G., Morsy, S., & Nashed, M. E. The Efficacy of Chitosan As A Natural Component to Combat Aphids and Enhance The Physiologic Response of Barley Productivity. Egyptian Academic Journal of Biological Sciences. A, Entomology, 16(1), (2023):99-111.

Alfy, H., Ghareeb, R. Y., Soltan, E. L. S. A. Y. E. D., & Farag, D. A. Impact of chitosan nanoparticles as insecticide and nematicide against Spodoptera littoralis, Locusta migratoria, and Meloidogyne incognita. Plant Cell Biotechnology Molecular Biology, 21, (2020):126-140.

Andargie M, Congyi Z, Yun Y, Li J. Identification and evaluation of potential bio-control fungal endophytes against Ustilagonoidea virens on rice plants. World Journal of Microbiology and Biotechnology. 2017 Jun 1;33(6):120.

Badji, C. A., Dorland, J., Kheloul, L., Bréard, D., Richomme, P., Kellouche, A., ... & Anton, S. "Behavioral and Antennal Responses of Tribolium confusum to Varronia

globosa Essential Oil and Its Main Constituents: Perspective for Their Use as Repellent." Molecules 26.15 (2021): 4393.

Bajpai, Vivek K., Savita Shukla, and Sun Chul Kang. "Chemical composition and antifungal activity of essential oil and various extract of Silene armeria L." Bioresource technology 99.18 (2008): 8903-8908.

Babikova, Z., Gilbert, L., Bruce, T., Dewhirst, S. Y., Pickett, J. A., & Johnson, D. "Arbuscular mycorrhizal fungi and aphids interact by changing host plant quality and volatile emission." Functional Ecology 28.2 (2014): 375-385.

Benevenuto, R. F., Seldal, T., Hegland, S. J., Rodriguez-Saona, C., Kawash, J., & Polashock, J. Transcriptional profiling of methyl jasmonate-induced defense responses in bilberry (Vaccinium myrtillus L.). BMC plant biology, 19 (2019):1-18.

Bhavanam, Santhi, and Michael Stout. "Seed treatment with jasmonic acid and methyl jasmonate induces resistance to insects but reduces plant growth and yield in rice, Oryza sativa." Frontiers in Plant Science (2021): 1688.

Bryant RJ, McClung AM. Volatile profiles of aromatic and non-aromatic rice cultivars using SPME/GC–MS. Food chemistry. 2011 Jan 15;124(2):501-13.

Bolton, Nicholas W. Methane flux of tree stems and mitigating the impacts of insect outbreak through planting alternative tree species within the Upper Great Lakes Region, USA. Diss. Michigan Technological University, 2017.

Burketova L, Trda L, Ott PG, Valentova O. Bio-based resistance inducers for sustainable plant protection against pathogens. Biotechnology advances. 2015 Nov 1;33(6):994-1004.

Cao, X., Wang, C., Luo, X., Yue, L., White, J. C., Elmer, W., ... & Xing, B. "Elemental sulfur nanoparticles enhance disease resistance in tomatoes." ACS nano 15.7 (2021): 11817-11827.

Chen, Q. H., Zhu, F., Tian, Z., Zhang, W. M., Guo, R., Liu, W., ... & Du, Y. "Minor components play an important role in interspecific recognition of insects: a basis to pheromone based electronic monitoring tools for rice pests." Insects 9.4 (2018): 192.

Chen, L., Song, J., Wang, J., Ye, M., Deng, Q., Wu, X., ... & Ren, B. Effects of Methyl Jasmonate Fumigation on the Growth and Detoxification Ability of Spodoptera litura to Xanthotoxin. Insects, 14(2) (2023):145.

Cheng J, Park SB, Kim SH, Yang SH, Suh JW, Lee CH, Kim JG. Suppressing activity of staurosporine from Streptomyces sp. MJM 4426 against rice bacterial blight disease. Journal of applied microbiology. 2016 Apr;120(4):975-85.

Chen, P., Dai, C., Liu, H., & Hou, M. Identification of Key Headspace Volatile Compounds Signaling Preference for Rice over Corn in Adult Females of the Rice Leaf Folder Cnaphalocrocis medinalis. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 70(32), (2022): 9826-9833.

Cipollini D, Enright S, Traw MB, Bergelson J. Salicylic acid inhibits jasmonic acid-induced resistance of Arabidopsis thaliana to Spodoptera exigua. Molecular ecology. 2004 Jun;13(6):1643-53.

Chiluwal, K., Kim, J., Do Bae, S., & Park, C. G. (2017)."Essential oils from selected wooden species and their major components as repellents and oviposition deterrents of Callosobruchus chinensis (L.)." Journal of Asia-Pacific Entomology 20.4 (2017): 1447-1453.

da Silva, C. B., Dalarmi, L., Dias, J. F., Zanin, S. M., Rech, K. S., Kulik, J. D., ... & Miguel, M. D. "Effects of volatile oils of the Microlobius foetidus on trypsin, chymotrypsin and acetylcholinesterase activities in Aedes aegypti (Diptera: Culicidae)." African Journal of Pharmacy and Pharmacology 8.5 (2014): 148-156.

Deka, Deepanwita, and Dhruva Kumar Jha. "Bioactivity assessment of endophytic fungi associated with Citrus macroptera Montr.: an endangered ethnomedicinal plant used in folk medicines in North-East India." Indian Phytopathology 73.1 (2020): 21-33.

Dudareva, N., Klempien, A., Muhlemann, J. K., & Kaplan, I. "Biosynthesis, function and metabolic engineering of plant volatile organic compounds." New Phytologist 198.1 (2013): 16-32.

El-Wakeil NE, Volkmar C, Sallam AA. Jasmonic acid induces resistance to economically important insect pests in winter wheat. Pest Management Science: formerly Pesticide Science. 2010 May;66(5):549-54.

Erazo-Garcia, M. P., Sotelo-Proaño, A. R., Ramirez-Villacis, D. X., Garcés-Carrera, S., & Leon-Reyes, A. Methyl jasmonate-induced resistance to Delia platura (D iptera: A nthomyiidae) in Lupinus mutabilis. Pest Management Science, 77(12) (2021):5382-5395.

Erwin, E., Pusparohmana, W. R., Sari, I. P., Hairani, R., & Usman, U. "GC-MS profiling and DPPH radical scavenging activity of the bark of Tampoi (Baccaurea macrocarpa)." F1000Research 7 (2018).

Freitas TF, Stout MJ, Sant'Ana J. Effects of exogenous methyl jasmonate and salicylic acid on rice resistance to Oebalus pugnax. Pest management science. 2019 Mar;75(3):744-52.

Gebrehiwot, Hadush, Demis Zelelew, and Amha Gebremariam. "Chemical analysis and medicinal activities of volatile components from the seeds of Croton macrostachyus plant." International Journal of Sciences: Basic and Applied Research 37.2 (2018): 316-330.

Grant, B. R., Dunstan, R. H., Griffith, J. M., Niere, J. O., & Smillie, R. H."The mechanism of phosphonic (phosphorous) acid action in Phytophthora." Australasian Plant Pathology 19.4 (1990): 115-121.

Granados-Echegoyen, C., Pérez-Pacheco, R., Soto-Hernández, M., Ruiz-Vega, J., Lagunez-Rivera, L., Alonso-Hernandez, N., & Gato-Armas, R. "Inhibition of the growth and development of mosquito larvae of Culex quinquefasciatus (Diptera: Culicidae) treated with extract from leaves of Pseudocalymma alliaceum (Bignonaceae)." Asian Pacific journal of tropical medicine 7.8 (2014): 594-601.

Gorawade, Veerkumar, Usmangani Attar, and Panditrao Shiragave. "Bioefficacy and GC-MS analysis of Chromolaena odorata and Leonotis nepetifolia leaf extracts against Spodoptera litura." Journal of Crop Protection 11.3 (2022): 361-375.

Goodman RN, Király Z, Zaitlin M. The biochemistry and physiology of infectious plant disease. The biochemistry and physiology of infectious plant disease. 1967.

Gomez KA, Gomez AA. Statistical procedures for agricultural research. John Wiley & Sons; 1984 Feb 17.

Guo, J., Xu, C., Wu, D., Zhao, Y., Qiu, Y., Wang, X., ... & He, G. "Bph6 encodes an exocyst-localized protein and confers broad resistance to planthoppers in rice." Nature genetics 50.2 (2018): 297-306.

Hamm JC, Stout MJ, Riggio RM. Herbivore-and elicitor-induced resistance in rice to the rice water weevil (Lissorhoptrus oryzophilus Kuschel) in the laboratory and field. Journal of chemical ecology. 2010 Feb 1;36(2):192-9.

Harindran, Jyoti. "Phytochemical and antioxidant studies on leaves of Costus malortieanus H. Wendl." World Journal of Pharmaceutical Sciences (2015): 2243-2248.
Hu, X., Su, S., Liu, Q., Jiao, Y., Peng, Y., Li, Y., & Turlings, T. C. Caterpillar-induced rice volatiles provide enemy-free space for the offspring of the brown planthopper. Elife, 9, (2020):e55421

Huang ZH, Wang ZL, Shi BL, Wei D, Chen JX, Wang SL, Gao BJ. Simultaneous determination of salicylic acid, jasmonic acid, methyl salicylate, and methyl jasmonate from Ulmus pumila leaves by GC-MS. International journal of analytical chemistry. 2015;2015.

Ibrahim, S. S., Abou-Elseoud, W. S., Elbehery, H. H., & Hassan, M. L. Chitosan-cellulose nanoencapsulation systems for enhancing the insecticidal activity of citronella essential oil against the cotton leafworm Spodoptera littoralis. Industrial Crops and Products, 184, (2022):115089.

Irmisch S, Clavijo McCormick A, Günther J, Schmidt A, Boeckler GA, Gershenzon J, Unsicker SB, Köllner TG. Herbivore‐induced poplar cytochrome P450 enzymes of the CYP 71 family convert aldoximes to nitriles which repel a generalist caterpillar. The Plant Journal. 2014 Dec;80(6):1095-107.

Jannoey P, Channei D, Kotcharerk J. Identification of some volatile compounds in rice infestation with brown planthopper (BPH). NU. International Journal of Science. 2016;13(2):49-61.

Jannoey P, Channei D. Synthesized nanochitosan induced rice chitinase isozyme expression; application in brown planthopper (BPH) control. NU. International Journal of Science. 2015;12(1):25-37.

Jayasimha, G. T., R. R. Rachana, and R. Nalini. "Studies on the efficacy of synthetic jasmonates and salicylates on parasitism of brown planthopper, Nilaparvata lugens (Stal.) by Anagrus sp." ORYZA-An International Journal on Rice 54.1 (2017): 116-120.

Klimavicz, J. S., Corona, C. L., Norris, E. J., & Coats, J. R. Monoterpenoid isovalerate esters as long-lasting spatial mosquito repellents." Advances in the Biorational Control of Medical and Veterinary Pests. American Chemical Society, 2018. 205-217.

Kraus, Emily C., and Michael J. Stout. "Seed treatment using methyl jasmonate induces resistance to rice water weevil but reduces plant growth in rice." PloS one 14.9(2019): e0222800.

Kowacich, D., Hatano, E., Schal, C., Ponnusamy, L., Apperson, C. S., Shymanovich, T., & Wasserberg, G. "The egg and larval pheromone dodecanoic acid mediates densitydependent oviposition of Phlebotomus papatasi." Parasites & vectors 13.1 (2020): 1-11.

Lee, H. E., Hong, S. J., Hasan, N., Baek, E. J., Kim, J. T., Kim, Y. D., & Park, M. K. "Repellent efficacy of essential oils and plant extracts against Tribolium castaneum and Plodia interpunctella." Entomological Research 50.9 (2020): 450-459.

Li, C., Wang, P., Menzies, N. W., Lombi, E., & Kopittke, P. M. "Effects of methyl jasmonate on plant growth and leaf properties." Journal of Plant Nutrition and Soil Science 181.3 (2018): 409-418.

Li R, He J, Xie H, Wang W, Bose SK, Sun Y, Hu J, Yin H. Effects of chitosan nanoparticles on seed germination and seedling growth of wheat (Triticum aestivum L.). International journal of biological macromolecules. 2019 Apr 1;126:91-100.

Liang W, Yu A, Wang G, Zheng F, Hu P, Jia J, Xu H. A novel water-based chitosan-La pesticide nanocarrier enhancing defense responses in rice (Oryza sativa L) growth. Carbohydrate polymers. 2018 Nov 1;199:437-44.

Lin, Y., Lin, X., Ding, C., Xia, M., Xue, R., Sun, Z., ... & Song, Y. "Priming of rice defense against a sap-sucking insect pest brown planthopper by silicon." Journal of Pest Science 95.3 (2022): 1371-1385.

Mahateeranonte S. Studies on Volatile Compounds Involved in Aroma Character and Brown Planthopper Resistance of Some Rice Varieties. National Center for Genetic Engineering and Biotechnology National Science & Technology Development Agency.1997

Mann, R. S., Rouseff, R. L., Smoot, J. M., Castle, W. S., & Stelinski, L. L. "Sulfur volatiles from Allium spp. affect Asian citrus psyllid, Diaphorina citri Kuwayama (Hemiptera: Psyllidae), response to citrus volatiles." Bulletin of Entomological Research 101.1 (2011): 89-97.

Mangang, I. B., Tiwari, A., Rajamani, M., & Manickam, L."Comparative laboratory efficacy of novel botanical extracts against Tribolium castaneum." Journal of the Science of Food and Agriculture 100.4 (2020): 1541-1546.

McCartney, M. M., Roubtsova, T. V., Yamaguchi, M. S., Kasuga, T., Ebeler, S. E., Davis, C. E., & Bostock, R. M. "Effects of Phytophthora ramorum on volatile organic compound emissions of Rhododendron using gas chromatography–mass spectrometry."Analytical and bioanalytical chemistry 410.5 (2018): 1475-1487.

Mohamed, Cissé, Tia Vama Etienne, and Kouakou N'Guessan Yannick. "Use of bioactive chitosan and Lippia multiflora essential oil as coatings for maize and sorghum seeds protection." EurAsian Journal of BioSciences 14.1 (2020): 27-34.

Naz, S., Ilyas, S., Parveen, Z., & Javed, S. "Chemical analysis of essential oils from turmeric (Curcuma longa) rhizome through GC-MS." Asian Journal of Chemistry 22.4 (2010): 3153.

Nerio, L. S.; Olivero-Verbel, J.; Stashenko, E. Repellent activity of essential oils: a review. Bioresour. Technol. 2010, 101, 372–378.

Ntalli, N. G., Manconi, F., Leonti, M., Maxia, A., & Caboni, P."Aliphatic ketones from Ruta chalepensis (Rutaceae) induce paralysis on root knot nematodes." Journal of Agricultural and Food Chemistry 59.13 (2011): 7098-7103.

Nurtazina, A. N., Halmenova, Z. B., Umbetova, A. K., Buresheva, G. S., & Aisa, H. A. "LIPOPHILIC COMPONENTS OF SATUREJA AMANI." NEWS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN-SERIES CHEMISTRY AND TECHNOLOGY 2 (2017): 12-17.

Oni, J. O., Akomaye, F. A., Markson, A. A. A., & Egwu, A. C."GC-MS analysis of bioactive compounds in some wild-edible mushrooms from Calabar, Southern Nigeria." European Journal of Biology and Biotechnology 1.6 (2020).

Öz, M., Fidan, M. S., Baltaci, C., Ücüncü, O., & Karatas, S. M. "Determination of antimicrobialand antioxidant activities and chemical components of volatile oils of Atropa belladonna L. growing in Turkey." Journal of Essential Oil Bearing Plants 24.5 (2021): 1072-1086.

Onyambu, G. K., Maranga, R., Ndungu, M., Mkoji, G. M., Kareru, P. G., & Wanjoya, A."GC-MS analysis of pesticidal essential oils from four Kenyan plants." African Journal of Biotechnology 14.13 (2015): 1158-1166.

Pagadala Damodaram, K. J., Aurade, R. M., Kempraj, V., Roy, T. K., Shivashankara, K. S., & Verghese, A. "Salicylic acid induces changes in mango fruit that affect oviposition behavior and development of the oriental fruit fly, Bactrocera dorsalis." PloS one 10.9 (2015): e0139124.

Pavela, R., Maggi, F., Cianfaglione, K., Bruno, M., & Benelli, G. Larvicidal activity of essential oils of five apiaceae taxa and some of their main constituents against Culex quinquefasciatus.2018

Peixoto, M. G., Bacci, L., Blank, A. F., Araújo, A. P. A., Alves, P. B., Silva, J. H. S., ... & de Fátima Arrigoni-Blank, M. Toxicity and repellency of essential oils of Lippia alba chemotypes and their major monoterpenes against stored grain insects. Ind Crop Prod (2015): 71:31–36

Perera, A. G. W. U., M. M. S. C. Karunaratne, and S. D. M. Chinthaka. "Bioactivity and volatile profiling of Azadirachta indica leaves for the management of maize weevil, Sitophilus zeamais (Motsch.) infestations." Journal of Tropical Forestry and Environment 8.1(2018).

Pegg, K. G., A. W. Whiley, and P. A. Hargreaves. "Phosphonic (phosphorous) acid treatments control Phytophthora diseases in avocado and pineapple." Australasian Plant Pathology 19.4 (1990): 122-124.

Pettersson J, Pickett JA, Pye BJ, Quiroz A, Smart LE, Wadhams LJ, Woodcock CM. Winter host Aphididae and other aphids in cereal fields. Journal of Chemical Ecology. 1994 Oct 1;20(10):2565-74.

Phromrukachat S, Tiengburanatum N, Meechui J. Assessment of active ingredients in pickled tea. Asian Journal of Food and Agro-Industry. 2010;3(3):312-8.

Promchan T, Thanajansri C, Chansanguan, P. Effects of Methyl Jasmonate Solution on the Growth Rate of American Marigolds Hybrid. Songklanakarin Journal of Plant Science. 2016:41-48.

Puentes, A., Zhao, T., Lundborg, L., Björklund, N., & Borg-Karlson, A. K. "Variation in Methyl Jasmonate-Induced Defense Among Norway Spruce Clones and Trade-Offs in Resistance Against a Fungal and an Insect Pest." Frontiers in plant science (2021): 962.

Qi J, Zhou G, Yang L, Erb M, Lu Y, Sun X, Cheng J, Lou Y. The chloroplast-localized phospholipases D α4 and α5 regulate herbivore-induced direct and indirect defenses in rice. Plant physiology. 2011 Dec 1;157(4):1987-99.

Rahnamaie-Tajadod, Reyhaneh, Hoe-Han Goh, and Normah Mohd Noor. "Methyl jasmonate-induced compositional changes of volatile organic compounds in Polygonum minus leaves." Journal of plant physiology 240 (2019): 152994.

Rakshith, H. S., Suroshe, S. S., Chander, S. M., & Kumari, S. "Behavioural response of Coccinella transversalis to the volatiles from Belay G.; Tariku Y.; Kebede T.; Hymete A. and Mekonnen Y. Ethnopharmacological investigations of essential oils isolated from fiveEthiopian medicinal plants against eleven pathogenic bacterial strains. Phytopharmacology; 2011, 1:33- 143.

Rakshith, H. S., Suroshe, S. S., Chander, S. M., & Kumari, S. Behavioural response of Coccinella transversalis to the volatiles from Aphis craccivora and cowpea." Indian Journal of Entomology 80.4 (2018): 1331-1337.

Ravi, R., Zulkrnin, N. S. H., Rozhan, N. N., Nik Yusoff, N. R., Mat Rasat, M. S., Ahmad, M. I., ... & Amin, M. F. M. "Chemical composition and larvicidal activities of Azolla pinnata extracts against Aedes (Diptera: Culicidae)." PloS one 13.11 (2018): e0206982.

Rahnamaie-Tajadod, Reyhaneh, Hoe-Han Goh, and Normah Mohd Noor. "Methyl jasmonate-induced compositional changes of volatile organic compounds in Polygonum minus leaves." Journal of plant physiology 240 (2019): 152994.

Rao, K. Jagajjanani, and Santanu Paria. "Use of sulfur nanoparticles as a green pesticide on Fusarium solani and Venturia inaequalis phytopathogens." RSC advances 3.26 (2013): 10471-10478.

Rouseff, R. L., Onagbola, E. O., Smoot, J. M., & Stelinski, L. L. "Sulfur volatiles in guava (Psidium guajava L.) leaves: possible defense mechanism." Journal of agricultural and food chemistry 56.19 (2008): 8905-8910.

Romeh, A. A. "Phytochemicals from Ficus sycomorus L. leaves act as insecticides and acaricides." African journal of agricultural research 8.27 (2013): 3571-3579.

Saba, Lubabalo. Initiation of defence responses by plant extracts and their insecticidal role against the Russian wheat aphid in wheat. Diss. University of the Free State, 2015.

Sang, Y. L., Dai, L., Wang, P., Chen, L. J., Jiao, M. L., Liu, J. Y., ... & Wang, X. L. "Investigation of insecticidal activity of two Rhododendron species on stored-product insects." Journal of Plant Diseases and Protection (2022): 1-12.

Santos, Leilane MM, et al. "Fatty acid-rich volatile oil from Syagrus coronata seeds has larvicidal and oviposition-deterrent activities against Aedes aegypti." Physiological and molecular plant pathology 100 (2017): 35-40.

Sell, Charles S. A fragrant introduction to terpenoid chemistry. Royal Society of Chemistry, 2003.

Senthil-Nathan S, Kalaivani K, Choi MY, Paik CH. Effects of jasmonic acid-induced resistance in rice on the plant brownhopper, Nilaparvata lugens Stål (Homoptera: Delphacidae). Pesticide Biochemistry and Physiology. 2009 Oct 1;95(2):77-84.

Senthil‐Nathan, Sengottayan. "Effect of methyl jasmonate (MeJA)‐induced defenses in rice against the rice leaffolder Cnaphalocrocis medinalis (Guenèe)(Lepidoptera: Pyralidae)." Pest management science 75.2 (2019): 460-465.

Shivaji R, Camas A, Ankala A, Engelberth J, Tumlinson JH, Williams WP, Wilkinson JR, Luthe DS. Plants on constant alert: elevated levels of jasmonic acid and jasmonate-induced transcripts in caterpillar-resistant maize. Journal of chemical ecology. 2010 Feb 1;36(2):179-91.

Stella de Freitas, Thais F., Michael J. Stout, and Josué Sant'Ana. "Effects of exogenous methyl jasmonate and salicylic acid on rice resistance to Oebalus pugnax." Pest management science75.3 (2019): 744-752.

Stout MJ, Riggio MR, Yang Y. Direct induced resistance in Oryza sativa to Spodoptera frugiperda. Environmental entomology. 2009 Aug 1;38(4):1174-81.

Sornakili, A., Thankappan, S., Sridharan, A. P., Nithya, P., & Uthandi, S. "Antagonistic fungal endophytes and their metabolite-mediated interactions against phytopathogens in rice." Physiological and Molecular Plant Pathology 112 (2020): 101525.

Sun, H., Zhang, F., Chen, S., Guan, Z., Jiang, J., Fang, W., & Chen, F. "Effects of aphid herbivory on volatile organic compounds of Artemisia annua and Chrysanthemum morifolium." Biochemical Systematics and Ecology 60 (2015): 225-233.

Sugimoto K, Matsui K, Iijima Y, Akakabe Y, Muramoto S, Ozawa R, Uefune M, Sasaki R, Alamgir KM, Akitake S, Nobuke T. Intake and transformation to a glycoside of (Z)-3-hexenol from infested neighbors reveals a mode of plant odor reception and defense. Proceedings of the National Academy of Sciences. 2014 May 13;111(19):7144-9.

Tariku Y.; Hymete A.; Hailu A.; Rohloff J. Constituents, antileishmanial activity and toxicity profile of volatile oil from berries of Crotonmacrostachyus. Nat Prod Commun; 2010, 5:975- 980

Thaler JS, Stout MJ, Karban R, Duffey SS. Jasmonate-mediated induced plant resistance affects a community of herbivores. Ecological Entomology. 2001 Jun;26(3):312-24.

Thanigaivel, S., Vijayakumar, S., Mukherjee, A., Chandrasekaran, N., & Thomas, J. "Antioxidant and antibacterial activity of Chaetomorpha antennina against shrimp pathogen Vibrio parahaemolyticus." Aquaculture 433 (2014): 467-475.

Tong, F.; Coats, J. R. Effects of monoterpenoid insecticides on [3H]-TBOB binding in house fly GABA receptor and 36Cl– uptake in American cockroach ventral nerve cord. Pestic. Biochem. Physiol. 2010, 98, 317–324.

Van Toan N, Hanh TT. Application of chitosan solutions for rice production in Vietnam. African Journal of Biotechnology. 2013;12(4).

Veyrat N, Robert CA, Turlings TC, Erb M. Herbivore intoxication as a potential primary function of an inducible volatile plant signal. Journal of Ecology. 2016 Mar;104(2):591-600.

Vogt, Thomas. "Phenylpropanoid biosynthesis." Molecular plant 3.1 (2010): 2-20.

von Mérey GE, Veyrat N, D'Alessandro M, Turlings T. Herbivore-induced maize leaf volatiles affect attraction and feeding behavior of Spodoptera littoralis caterpillars. Frontiers in plant science. 2013 Jun 28;4:209.

Wang, Hongwu, and Yanqing Liu. "Chemical composition and antibacterial activity of essential oils from different parts of Litsea cubeba." Chemistry & biodiversity 7.1 (2010): 229-235.

Wang, L., Qu, L., Hu, J., Zhang, L., Tang, F., & Lu, M. "Metabolomics reveals constitutive metabolites that contribute resistance to fall webworm (Hyphantria cunea) in Populus deltoides." Environmental and Experimental Botany 136 (2017): 31-40.

War AR, Paulraj MG, Ahmad T, Buhroo AA, Hussain B, Ignacimuthu S, Sharma HC. Mechanisms of plant defense against insect herbivores. Plant signaling & behavior. 2012 Oct 1;7(10):1306-20.

Xing K, Zhu X, Peng X, Qin S. Chitosan antimicrobial and eliciting properties for pest control in agriculture: a review. Agronomy for Sustainable Development. 2015 Apr 1;35(2):569-88.

Xu, T., Zhou, Q., Chen, W., Zhang, G., He, G., Gu, D., & Zhang, W. "Involvement of jasmonate-signaling pathway in the herbivore-induced rice plant defense." Chinese Science Bulletin 48.18 (2003): 1982-1987.

Xu, Y. Y., Lu, H., Wang, X., Zhang, K. Q., & Li, G. H. "Effect of volatile organic compounds from bacteria on nematodes." Chemistry & Biodiversity 12.9 (2015): 1415-1421.

Yang, Y., Jiang, J., Qimei, L., Yan, X., Zhao, J., Yuan, H., ... & Wang, M. "The fungicidal terpenoids and essential oil from Litsea cubeba in Tibet." Molecules 15.10 (2010): 7075-7082.

Ye, M., Kuai, P., Chen, S., Lin, N., Ye, M., Hu, L., & Lou, Y. "Silencing a Simple Extracellular Leucine-Rich Repeat Gene OsI-BAK1 Enhances the Resistance of Rice to Brown Planthopper Nilaparvata lugens." International journal of molecular sciences 22.22 (2021): 12182.

Yin, H., Li, W., Xu, M., Xu, D., & Wan, P. "The olfactory responses of mirid bugs to six plant extracts and their volatiles." Journal of Applied Entomology 145.1-2 (2021): 125-133

Yu, X., Zhang, W., Zhang, Y., Zhang, X., Lang, D., & Zhang, X. "The roles of methyl jasmonate to stress in plants." Functional Plant Biology 46.3 (2018): 197-212.

Zheng, C., Zhou, Q., Wang, Z., & Wang, J. "Behavioral responses of Platycladus orientalis plant volatiles to Phloeosinus aubei by GC-MS and HS-GC-IMS for discrimination of different invasive severity." Analytical and Bioanalytical Chemistry 413.23 (2021): 5789-5798.

Zong, L., Yang, Y., Zhang, J., Dai, L., Luo, Y., Yang, J., & Luo, X. Rhododendron molle G don extract induces apoptosis and inhibits migration in human colorectal cancer cells and potential anticancer components analysis. Molecules 2022: 26(10):2990

Zhang, Y., Teng, B., Wang, D., & Jiang, J. Discovery of a specific volatile substance from rice grain and its application in controlling stored-grain pests. Food Chemistry, 339, (2021): 128014.

Zheng, Q., Wang, R., Qin, D., Yang, L., Lin, S., Cheng, D., ... & Zhang, Z. Insecticidal efficacy, and mechanism of nanoparticles synthesized from chitosan and carboxymethyl chitosan against Solenopsis invicta (Hymenoptera: Formicidae). Carbohydrate Polymers, 260, (2021):117839.

Zhang, Z., Liu, Y., Portaluri, V., Woodcock, C., Pickett, J. A., Wang, S., & Zhou, J. J. Chemical identity and functional characterization of semiochemicals that promote the interactions between rice plant and rice major pest Nilaparvata lugens. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 69(16), (2021):4635-4644.