



ผลของไคโตซานและเมทิลจัสโมเนตต่อการสร้างสารระเหยในข้าวสายพันธุ์ข้าวดอกมะลิ
105 หลังถูกเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลทำลาย



นัฐริกา เหล่าเขตกิจ

วิทยานิพนธ์เสนอบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาชีวเคมี
ปีการศึกษา 2566
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยนเรศวร

ผลของไคโตซานและเมทิลจัสโมเนตต่อการสร้างสารระเหยในข้าวสายพันธุ์ขาวดอกมะลิ
105 หลังถูกเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลทำลาย



วิทยานิพนธ์เสนอบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาชีวเคมี
ปีการศึกษา 2566
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยนเรศวร

วิทยานิพนธ์ เรื่อง "ผลของไคโตซานและเมทิลจัสโมเนตต่อการสร้างสารระเหยในข้าวสายพันธุ์ขาว
ดอกมะลิ 105 หลังถูกเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลทำลาย"
ของ นัฐริกา เหล่าเขตกิจ
ได้รับการพิจารณาให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาชีวเคมี

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์
(ดร.ศุภลักษณ์ สัตยสมิต)

..... ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปนัดดา จันทร์เนย)

..... กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายใน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนนิษฐา ชูพยัคฆ์)

อนุมัติ

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.กรรองกาญจน์ ชูทิพย์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง	ผลของไคโตซานและเมทิลจัสโมเนตต่อการสร้างสารระเหยในข้าวสาลีพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 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 และเมทิลจัสโมเนตความเข้มข้น 1, 2.5 และ 5 mM มากระตุ้นการสร้างสารระเหยที่อาจทำหน้าที่ต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล ในข้าวสาลีพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 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 พบว่าต้นข้าวที่ได้รับสารละลายไคโตซานและสารละลายเมทิลจัสโมเนตที่มีความเข้มข้นที่แตกต่างกันมีความเสียหายจัดอยู่ในระดับความต้านทานปานกลาง (Moderately Resistant; MR) ในขณะที่ชุดควบคุมข้าวระยะกล้าและระยะแตกกอความเสียหายจัดอยู่ในระดับอ่อนแอต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล (Highly Susceptible; HS) และ (Susceptible; S) ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าสารละลายไคโตซานและเมทิลจัสโมเนตสามารถเหนี่ยวนำให้ต้นข้าวผลิตสารระเหยมีอาจมีผลต่อการรอดชีวิตและลดความเสียหายของต้นข้าวจากการเข้าทำลายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล งานวิจัยนี้สามารถประยุกต์ใช้ไคโตซานและเมทิลจัสโมเนตในการป้องกันเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลที่เป็นแมลงที่ระบาดและทำความเสียหายให้กับเกษตรกรได้



Title	EFFECT OF CHITOSAN AND METHYL JASMONATE ON RICE (<i>ORYZA SATIVA</i> 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 ผลของโคโคซานและเมทิลจัสโมเนตต่อการสร้างสารระเหยในข้าวสายพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 หลังถูกเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลทำลาย เพื่อสำเร็จการศึกษาของนิสิตระดับปริญญาโท สามารถดำเนินการจนประสบความสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์และสนับสนุนเป็นอย่างดีจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปนัดดา จันทร์เนย ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา ความรู้ ข้อคิด ข้อเสนอแนะและปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ จนกระทั่งการวิจัยครั้งนี้สำเร็จเรียบร้อยด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบคุณ คณาจารย์คณะวิทยาศาสตร์การแพทย์ สาขาชีวเคมี และภาควิชาชีวเคมี ที่ให้ความอนุเคราะห์ให้ใช้งานเครื่องมือทำและสถานที่ในการทำวิจัย 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.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ฉ
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
แก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมทรี (Gas Chromatograph/Mass Spectrometer)..	20
บทที่ 3.....	22
วิธีดำเนินการวิจัย.....	22
ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง.....	22
เครื่องมือ วัสดุ และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	22
วิธีดำเนินการวิจัย.....	23
การวางแผนการทดลอง.....	23
การเตรียมตัวอย่างต้นข้าว.....	24
การทดสอบความเสียหายของต้นข้าวในแต่ละกรรมวิธีหลังถูกเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย	25
การวิเคราะห์สารระเหยในข้าวด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์ ...	26
บทที่ 4.....	27
ผลการวิจัย.....	27
ผลการวิเคราะห์สารระเหยในข้าวระยะกล้าหลังจากราดสารละลายไคโตซานและพ่นเมทิลจัสโมเนตต่อการสร้างสารระเหย ก่อนเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย	27

ผลการวิเคราะห์สารระเหยในต้นข้าวระยะกล้าหลังจากได้รับสารละลายไคโตซานและ เมทิลจัสโมเนต หลังเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย.....	28
ผลการทดสอบความเสียหายของต้นข้าวในแต่ละกรรมวิธีหลังถูกเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล เข้าทำลาย	41
บทที่ 5.....	45
สรุปและวิจารณ์ผล	45
การวิเคราะห์สารระเหยในต้นข้าวระยะกล้าหลังจากได้รับสารละลายไคโตซานและ เมทิลจัสโมเนต.....	45
การวิเคราะห์สารระเหยในต้นข้าวระยะกล้าในแต่ละกรรมวิธีหลังการเข้าทำลายของเพลี้ย กระโดดสีน้ำตาล	47
สารระเหยจากต้นข้าวที่ถูกกระตุ้นให้ผลิตเพิ่มขึ้นหลังถูกเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย ในข้าวเปรียบเทียบกับก่อนและหลังถูกเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย.....	51
การทดสอบความเสียหายของต้นข้าวในแต่ละกรรมวิธี หลังถูกเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้า ทำลาย ในข้าวระยะกล้าและระยะแตกกอ	53
ภาคผนวก.....	54
บรรณานุกรม	67
ประวัติผู้วิจัย	85

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสารระเหยที่พบในข้าวที่มีบทบาทในการป้องกันแมลงศัตรูพืช	6
ตาราง 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้โคโตซานที่สามารถป้องกันแมลงศัตรูพืชในข้าว	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 การจัดกลุ่มสารระเหยจากต้นข้าวในแต่ละกรรมวิธีในข้าวระยะกล้า 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 เปลี้ยกระโดดสีน้ำตาล (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 องค์ประกอบของแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปคโตรเมตรี	20
ภาพ 9 การราดสารละลายไคโตซานความเข้มข้นที่แตกต่างกันที่บริเวณโคนต้น	24
ภาพ 10 การพ่นสารละลายเมทิลจัสโมเนตพ่นลงบริเวณลำต้นและใบข้าว	24
ภาพ 11 การจัดเตรียมครอบต้นข้าวเพื่อเตรียมปล่อยเปลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย	25
ภาพ 12 กราฟเปรียบเทียบพื้นที่สารระเหย (ก) กรดซาลิไซลิก และ (ข) เมทิลจัสโมเนต ; □ = ก่อนปล่อยเปลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย และ ■ = หลังปล่อยเปลี้ยกระโดดสี น้ำตาลเข้าทำลาย; กรรมวิธีที่ 1 ; ชุดควบคุม, กรรมวิธีที่ 2 ; ชุดควบคุม (1 % เอทานอลพ่น ทางใบ), กรรมวิธีที่ 3 ; ราดสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 50 ppm, กรรมวิธีที่ 4 ; ราดสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 100 ppm, กรรมวิธีที่ 5 ; ราดสารละลายไคโตซาน ความเข้มข้น 200 ppm, กรรมวิธีที่ 6 ; พ่นเมทิลจัสโมเนตความเข้มข้น 1 mM, กรรมวิธีที่ 7 ; พ่นเมทิลจัสโมเนตความเข้มข้น 2.5 mM, กรรมวิธีที่ 8 ; พ่นเมทิลจัสโมเนต ความเข้มข้น 5 mM	32
ภาพ 13 เปรียบเทียบโครโมโตแกรมของสารระเหยที่พบในต้นข้าวในกรรมวิธีที่ 1 ; (ก) ก่อนปล่อยเปลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย, (ข) หลังปล่อยเปลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย	33

- ภาพ 14 เปรียบเทียบโครโมโตแกรมของสารระเหยที่พบในต้นข้าวในกรรมวิธีที่ 2 ; (ก)
ก่อนเพลิงกระดาษคอตีน้ำตาลเข้าทำลาย, (ข) หลังเพลิงกระดาษคอตีน้ำตาลเข้าทำลาย.....34
- ภาพ 15 เปรียบเทียบโครโมโตแกรมของสารระเหยที่พบในต้นข้าวในกรรมวิธีที่ 3 ; (ก)
ก่อนเพลิงกระดาษคอตีน้ำตาลเข้าทำลาย, (ข) หลังเพลิงกระดาษคอตีน้ำตาลเข้าทำลาย.....35
- ภาพ 16 เปรียบเทียบโครโมโตแกรมของสารระเหยที่พบในต้นข้าวในกรรมวิธีที่ 4 ; (ก)
ก่อนเพลิงกระดาษคอตีน้ำตาลเข้าทำลาย, (ข) หลังเพลิงกระดาษคอตีน้ำตาลเข้าทำลาย.....36
- ภาพ 17 เปรียบเทียบโครโมโตแกรมของสารระเหยที่พบในต้นข้าวในกรรมวิธีที่ 5 ; (ก)
ก่อนเพลิงกระดาษคอตีน้ำตาลเข้าทำลาย, (ข) หลังเพลิงกระดาษคอตีน้ำตาลเข้าทำลาย.....37
- ภาพ 18 เปรียบเทียบโครโมโตแกรมของสารระเหยที่พบในต้นข้าวในกรรมวิธีที่ 6 ; (ก)
ก่อนเพลิงกระดาษคอตีน้ำตาลเข้าทำลาย, (ข) หลังเพลิงกระดาษคอตีน้ำตาลเข้าทำลาย.....38
- ภาพ 19 เปรียบเทียบโครโมโตแกรมของสารระเหยที่พบในต้นข้าวในกรรมวิธีที่ 7 ; (ก)
ก่อนเพลิงกระดาษคอตีน้ำตาลเข้าทำลาย, (ข) หลังเพลิงกระดาษคอตีน้ำตาลเข้าทำลาย.....39
- ภาพ 20 เปรียบเทียบโครโมโตแกรมของสารระเหยที่พบในต้นข้าวในกรรมวิธีที่ 8 ; (ก)
ก่อนเพลิงกระดาษคอตีน้ำตาลเข้าทำลาย, (ข) หลังเพลิงกระดาษคอตีน้ำตาลเข้าทำลาย.....40
- ภาพ 21 ผลการทดสอบความเสียหายของต้นข้าวหลังถูกเพลิงกระดาษคอตีน้ำตาลเข้าทำลาย
ระยะกล้า ; โดยกรรมวิธีที่ 1 ; ชุดควบคุม, กรรมวิธีที่ 2 ; ชุดควบคุม (พ่น1% ethanol),
กรรมวิธีที่ 3 ; ราดสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 50 ppm, กรรมวิธีที่ 4 ; ราด
สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 100 ppm, กรรมวิธีที่ 5 ; ราดสารละลายไคโตซานความ
เข้มข้น 200 ppm, กรรมวิธีที่ 6 ; พ่นเมทิลจัสโมเนตความเข้มข้น 1 mM, กรรมวิธีที่
7 ; พ่นเมทิลจัสโมเนตความเข้มข้น 2.5 mM, กรรมวิธีที่ 8 ; พ่นเมทิลจัสโมเนตความเข้มข้น
5 mM.....43
- ภาพ 22 ผลการทดสอบความเสียหายของต้นข้าวหลังถูกเพลิงกระดาษคอตีน้ำตาลเข้าทำลาย
(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

โคโตซานความเข้มข้น 200 ppm, กรรมวิธีที่ 6 ; ฟ่นเมทิลจัสโมเนตความเข้มข้น 1 mM,
กรรมวิธีที่ 7 ; ฟ่นเมทิลจัสโมเนตความเข้มข้น 2.5 mM, กรรมวิธีที่ 8 ; ฟ่นเมทิลจัสโมเนต
ความเข้มข้น 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 โดยจากการศึกษาวิจัยพบว่า การพ่นสารเมทิลจัสโมเนตและกรดซาลิไซลิก 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)

นอกจากนี้ มีงานวิจัยศึกษาการใช้ไคโตซานต่อการเข้าทำลายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล ซึ่งไคโตซานเป็นโพลีเมอร์ธรรมชาติ 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 การใช้ไนโคโตซานเพื่อป้องกันเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในต้นข้าว ความเข้มข้น 10, 50 และ 100 ppm ทำให้การเจริญเติบโตของข้าวเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม

และยังช่วยกระตุ้นการสร้างสารระเหยในข้าว ซึ่งมีการแสดงออกของไอโซพอร์มในโคติเนสอาจ เกี่ยวข้องกับการป้องกันเชื้อโรคและแมลง (Jannoey et al., 2015)

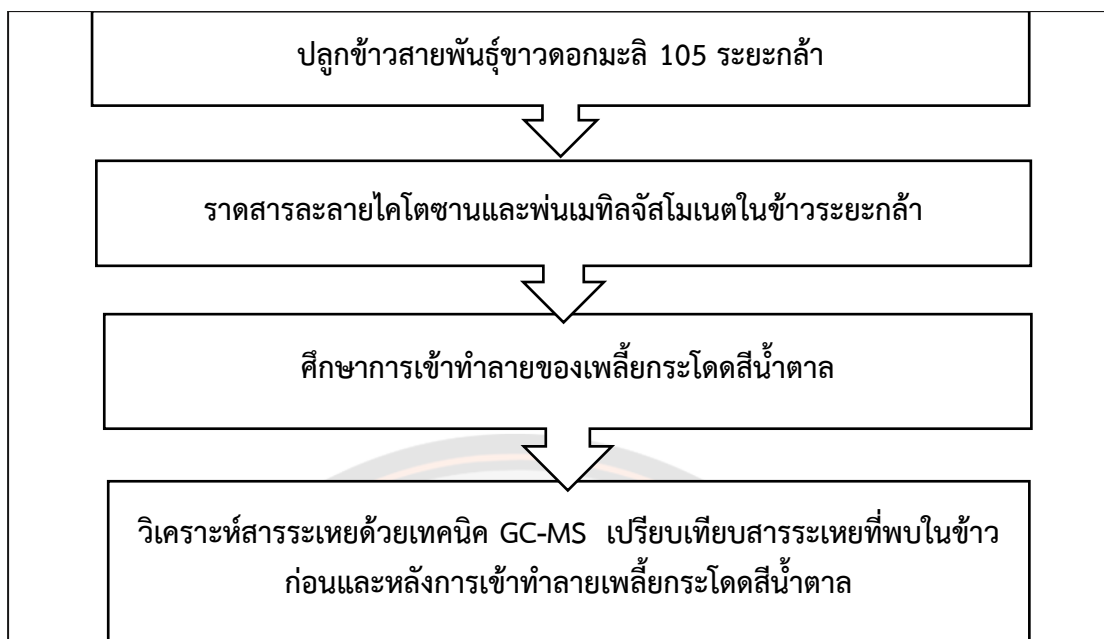
จากรายงานการวิจัยที่ผ่านมาโคโตซานและเมทิลจัสโมเนตสามารถกระตุ้นการสร้างสารระเหยที่ทำหน้าที่ป้องกันแมลงศัตรูพืชในข้าวได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษา ผลของโคโตซานและเมทิลจัสโมเนตความเข้มข้นที่เหมาะสมต่อการสร้างสารระเหยในข้าว เพื่อกระตุ้นให้ข้าวต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล ตั้งแต่ระยะกล้าจนถึงระยะแตกกอ ซึ่งวิธีนี้เป็น การป้องกันข้าวจากแมลงศัตรูพืชในระยะยาว ช่วยให้เกษตรกรลดการใช้สารเคมีในการกำจัดแมลงศัตรูพืช ลดต้นทุนในการเพาะปลูก และยังคงผลกระทบต่อสุขภาพของเกษตรกรและผู้บริโภค

จุดมุ่งหมายของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลของโคโตซานและเมทิลจัสโมเนตต่อการสร้างสารระเหยในข้าว ก่อนและหลังการเข้าทำลายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล
2. เพื่อจัดจำแนกสารระเหยที่พบในข้าวหลังจากได้รับโคโตซานและเมทิลจัสโมเนตที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ

ขอบเขตการวิจัย

ศึกษาผลของโคโตซานและเมทิลจัสโมเนตต่อการสร้างสารระเหยในข้าว ในระยะกล้า หลังจากได้รับโคโตซาน และเมทิลจัสโมเนตความเข้มข้นที่เหมาะสม ก่อนและหลังการเข้าทำลายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล ด้วยเทคนิค GC-MS แผนการทดลองแสดงในภาพที่ 1 ดังนี้



ภาพ 1 แผนผังการวิจัย

นิยามศัพท์เฉพาะ

ข้าว (Rice) ,สารระเหย (Volatile Compounds), ไคโตซาน (Chitosan), เมทิลจัสโมเนต (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 ฮองกง สิงคโปร์ สหรัฐอเมริกา จัดเป็นข้าวที่มีอะมิโลสต่ำประมาณ 12-18% ทำให้ข้าวมีความอ่อนนุ่ม และมีชื่อเป็นทางการว่า “ข้าวดอกมะลิ 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 ได้ทำการศึกษาผลของการพ่นเมทิลจัสโมเนต และกรดซาลิไซลิกในข้าวต่อการต้านทานแมลงกลืนหมันข้าว (*Oebalus pugnax*) พบว่าสามารถกระตุ้นให้ข้าวสร้างสารระเหย เช่น เมทิลซาลิไซเลต (Methyl salicylate), แอลฟา-ไพเนน (α -pinene), บีตา-ไพเนน (β -pinene), อะซูลีน (Azulene) (โดยเฉพาะสารระเหยชนิด 1-Hexanol-2-ethyl เป็นสารระเหยที่พบในใบของพืช ซึ่งจะถูกละลายออกมาเพื่อตอบสนองต่อความเสียหายของพืช (Freitas, et al 2018)

เมทิลซาลิไซเลต หรือน้ำมันระกำ และมีชื่อเรียกอื่นๆ เช่น ซาลิไซลิก แอซิด เมทิลเอสเทอร์ (salicylic acid methyl ester) หรือ ออยล์ ออฟ วินเทอร์กรีน (oil of wintergreen) ลักษณะเป็นของเหลวใสที่อุณหภูมิห้อง มีกลิ่นฉุน เมื่อถูกผิวหนังจะแสบร้อน เมทิลซาลิไซเลตจะพบในพืชหลายชนิด โดยพืชที่มีสารตัวนี้จะเรียกว่า วินเทอร์กรีน (wintergreen) เมทิลซาลิไซเลต เป็นพืช ดังนั้นพืชที่มีสารตัวนี้ก็เพื่อป้องกันตนเองจากสัตว์กินพืช (herbivory) และยั้งดึงดูดศัตรูทางธรรมชาติของแมลง

ไพเนน เป็นสารประกอบประเภทมอโนเทอร์พีนสองวงแหวน มีสูตรเคมีคือ $C_{10}H_{16}$ ไพเนนมีสองไอโซเมอร์ในธรรมชาติคือ แอลฟา-ไพเนนและบีตา-ไพเนน สารสองชนิดนี้เป็นส่วนประกอบสำคัญในยางไม้และน้ำมันสน แอลฟา-ไพเนนเป็นสารเทอร์พีนอยด์ที่พบมากที่สุดทางธรรมชาติ และใช้เป็นสารไล่แมลง พบในสนและพืชชนิดอื่น ๆ เช่น สกุกกัญชา (*Cannabis*), สกุก *Heterotheca* และ *Artemisia tridentata* เป็นส่วนประกอบสำคัญในน้ำมันหอมระเหยในพืชสกุล *Sideritis*, *Salvia* และ ยางจากพืชชนิด *Pistacia terebinthus* ผิวมะกรูดมีน้ำมันหอมระเหยที่มีส่วนประกอบสำคัญคือ บีตา-ไพเนนและลิโมนีน

นอกจากนี้ยังมีรายงานการศึกษาสารระเหยที่เกี่ยวข้องกับการต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล พบสารระเหยที่คาดว่าจะมีความเกี่ยวข้องกับกลไกการต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลของข้าว ได้แก่ benzyl alcohol, 2,3-dihydrobenzofuran, 3-hexen-1-ol และ 3,7-dimethyl-2,6-octadienal ตามลำดับ (Mahateeranont, 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 สายพันธุ์ สุพรรณบุรี 90 สายพันธุ์ สุพรรณบุรี 60 และ สายพันธุ์ Tai chung Native สกัดด้วยไอน้ำแบบง่าย และวิเคราะห์สารระเหยทั้งหมดในสารสกัดของข้าวแต่ละสายพันธุ์โดยเทคนิค GC-MS	benzyl alcohol 2,3-dihydrobenzofuran 3-hexen-1-ol 3,7-dimethyl-2,6-octadienal	เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล (brown planthopper)	Mahateeranonte, 1997
ทดสอบข้าวสายพันธุ์ Xiushui 11 wildtype พันธุ์จัสโมนิคที่ความเข้มข้น 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
ปลุกข้าวเป็นเวลา 10-12 วัน ปล่อยหนอนกระทู้ ระยะที่ 4 ตรวจวัดด้วย เทคนิค olfactometer เปรียบเทียบความดึงดูด ของต้นข้าวที่มีหนอน กระทู้เทียบกับต้นข้าวชุด ควบคุม	Green leaf volatiles	หนอนกระทู้ (<i>Spodoptera littoralis</i>)	Von et al., 2013
จุ่มใบข้าวลงในสารละลาย ที่มี 250 uM JA + 1 mM D ₅ phenylacetaldoxim e หลังจากปักไขค่างคืน นาน 18 ชั่วโมง วิเคราะห์ สารระเหยที่ปล่อยออกมา จากใบด้วยเทคนิค GC- MS/FID	nitriles benzyl cyanide 2- methylbutyronitrile 3- methylbutyronitrile	หนอนผีเสื้อ (<i>Lymantria dispar</i>)	Irmisch et al., 2014
ปลุกข้าวเป็นเวลา 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 stigmaterol naphtho[2,3-b] furan-4,9-dione	เพลี้ยกระโดดสี น้ำตาล (brown planthopper)	Jannoey et al., 2016

วิธีการปฏิบัติ	สารระเหยที่พบ	ชนิดของแมลง	อ้างอิง
ปลูกข้าวสองสายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวที่มี ความสามารถในการผลิต indole เพิ่มขึ้น เปรียบเทียบกับข้าวป่า เป็นเวลา 10-12 วัน จากนั้นทดสอบการ ป้องกันตนเองของข้าวทั้ง สองสายพันธุ์หลังปล่อย หนอนผีเสื้อเข้าทำลาย	nitriles benzyl cyanide, 2- methylbutyronitrile, sesquiterpene (E)- (b)-caryophyllene, methylbutyronitrile	หนอนกระตุ้ (<i>Spodoptera littoralis</i>)	Veyrat et al., 2016
พ่นสารระเหยเมทิลซาลิไซลิก เนตที่ความเข้มข้น 2-5 mM และ กรดซาลิไซลิก ที่ ความเข้มข้น 8-16 mM ในข้าวและวิเคราะห์ สารระเหยด้วยเทคนิค GC-MS	Methyl salicylate alpha-pinene Beta-pinene Azulene 1-hexanol-2-ethyl	แมลงกลืนหมัน ข้าว (<i>Oebalus pugnax</i>)	Freitas et al., 2018
ปล่อยเพลี้ยกระโดดสี น้ำตาลตัวเมีย 10 ตัวลง บนต้นข้าวเป็นเวลา 12 ชั่วโมง และทดสอบสาร ระเหยในข้าวด้วยเทคนิค 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	เพลี้ยกระโดดสี น้ำตาล (brown planthopper)	Hu et al., 2020

วิธีการปฏิบัติ	สารระเหยที่พบ	ชนิดของแมลง	อ้างอิง
นำเมล็ดข้าวจากข้าว 117 สายพันธุ์ จำนวน 2.5 กก. นำตัวอย่างไขของมอดข้าวสาลี เก็บไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส จากนั้นทดสอบสารระเหยในเมล็ดข้าวร่วมกับมอดข้าวสาลี ด้วยเทคนิค 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)	เพลี้ยกระโดดสี น้ำตาล (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) ชนิดมีปีกยาวสามารถเคลื่อนย้ายและอพยพไปในระยะทางไกลและไกลโดยอาศัยกระแสลมช่วย ตัวเต็มวัยเพศเมียจะวางไข่เป็นกลุ่ม ส่วนใหญ่วางไข่ที่กาบใบข้าว หรือเส้นกลางใบ โดยวางไข่เป็นกลุ่ม เรียงแถวตามแนวตั้งฉากกับกาบใบข้าว บริเวณที่วางไข่จะมีรอยข้ำเป็นสีน้ำตาล ไข่มีลักษณะรูประสวยโค้งคล้ายกล้วยหอม 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 ลักษณะการระบาดของรุนแรงในนาข้าว

ปัจจัยที่มีผลต่อการระบาดของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล

วิธีการปลูกข้าว การปลูกข้าวแบบนาหว่านน้ำตมมีปัญหาการระบาดมากกว่านาดำเพราะนาหว่านมีจำนวนต้นข้าวหนาแน่นทำให้อุณหภูมิและความชื้นในแปลงนาเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล ประกอบกับนาหว่านเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลสามารถทำลายข้าวได้อย่างต่อเนื่อง

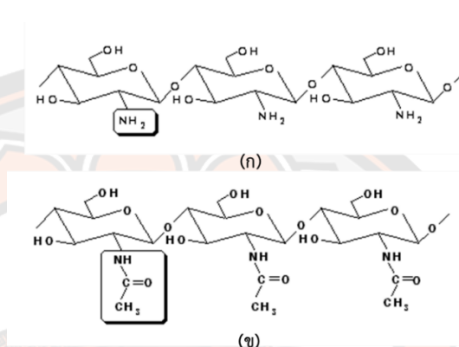
การใช้ปุ๋ยอัตราสูง โดยเฉพาะปุ๋ยไนโตรเจน ทำให้การเพิ่มจำนวนเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในนาข้าว มีแนวโน้มมากขึ้น เนื่องจากปุ๋ยไนโตรเจน ทำให้ใบข้าวเขียว หนาแน่น ต้นข้าวมีสภาพอวบน้ำเหมาะแก่การเข้าตูดกิน และขยายพันธุ์ของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล

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 จะสังเกตว่าต้นพืชที่ได้รับไคโตซานจะมีแว็กซ์เคลือบที่ผิวใบ และยังพบว่าไคโตซานจะช่วยเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ในดิน ทำให้เกิดการลดปริมาณของจุลินทรีย์ก่อโรคพืช นอกจากนี้แล้ว ไคโตซานยังมีประโยชน์อีกมากมายต่อการเกษตร เช่น เร่งการเจริญเติบโตในพืชและสัตว์ สุก ร กุ้ง เป็ด ไก่ สารเคลือบผลไม้เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา สารถนอมอาหาร เป็นต้น

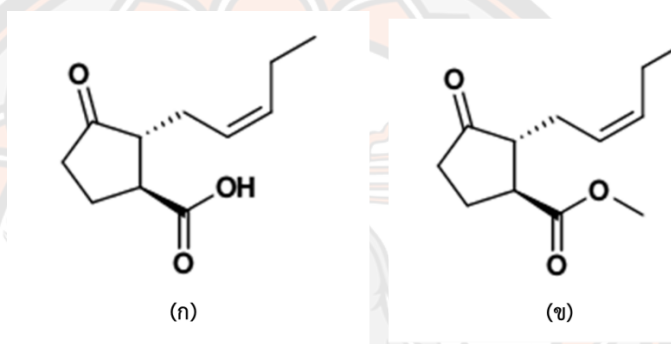
จากการศึกษารายงานวิจัยก่อนหน้า มีรายงานการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ไคโตซานความเข้มข้นที่ต่างกันสามารถป้องกันแมลงศัตรูพืชในข้าว ดังแสดงในตารางที่ 3

ตาราง 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ไคโตซานที่สามารถป้องกันแมลงศัตรูพืชในข้าว

วิธีการปฏิบัติ	ความเข้มข้น	สปีชีส์ของแมลง	อ้างอิง
พ่นสารละลายไคโตซาน ในข้าวความเข้มข้นที่ ต่างกัน 3 ความเข้มข้น เปรียบเทียบกับชุด ควบคุม	50, 70 และ 100 ppm	เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล (brown planthopper)	Toan et al., 2013
พ่นสารละลายนาโนไคโต ซานความเข้มข้นที่ต่างกัน 3 ความเข้มข้น เปรียบเทียบกับชุด ควบคุม	10, 50 และ 100 ppm	เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล (brown planthopper)	Jannoey et al., 2015
พ่นสารละลาย Chitosan Nanoparticles CNPs chitosan 2 ความเข้มข้น เปรียบเทียบกับชุด ควบคุม	500, 2000 ppm	หนอนกระทู้ (<i>Spodoptera littoralis</i>), ไส้เดือนฝอย (<i>Meloidogyne incognita</i>)	Alfy et al., 2020.
พ่นสารละลายไคโตซาน ในข้าวความเข้มข้นที่ ต่างกัน 6 ความเข้มข้น เปรียบเทียบกับชุด ควบคุม	500, 1000, 2000, 3000, 4000, 5000 ppm	หนอนกระทู้ (<i>Spodoptera littoralis</i>)	Abdullah et al., 2021
ศึกษาการออกฤทธิ์ของ อนุภาค Chitosan- cellulose Nanoparticles	20 mg/mL	มดคันไฟอิวิคต้า (<i>Solenopsis invicta</i>),	Zheng et al., 2021
พ่นสารละลายไคโตซาน 2 ความเข้มข้น เปรียบเทียบกับชุด ควบคุม	250, 500 mg/mL	เพลี้ยอ่อน (<i>Aphids</i>)	Alfy et al., 2023

เมทิลจัสโมเนต

เมทิลจัสโมเนต (Methyl Jasmonate) เป็นสารประกอบอินทรีย์ระเหยที่ใช้ในการป้องกันพืช และส่งเสริมการเจริญของพืช เช่น การงอกของเมล็ด การเจริญเติบโตของราก การออกดอก การสุกของผล เมทิลจัสโมเนตเป็นอนุพันธ์ของกรดจัสโมนิก-เกิดจากปฏิกิริยาการเติมหมู่เมทิล ($-CH_3$) ที่จะถูกร่งด้วยเอนไซม์ 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 ต่ออัตราการเจริญเติบโตของดาวเรือง ลูกผสมพันธุ์อเมริกัน 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	สปีชีส์ของแมลง	อ้างอิง
พ่นกรดจัสโมนิกเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ที่ไม่ได้รับการฉีดพ่น ในการป้องกันแมลง	กรดจัสโมนิก ความเข้มข้น 0.5- 1.5 mM	ด้วงหมัด (<i>Epitrix hirtipennis</i> <i>Melsheimer</i> :flea beetle, Coleoptera: Chrysomelidae), เพลี้ยอ่อน (<i>Macrosiphum euphorbiae</i> Thomas : potato aphid, Homoptera: Aphididae), หนอนกระทู้หอม (<i>Spodoptera exigua</i> Hübner :beet armyworm, Lepidoptera: Noctuidae: Eggs of <i>S. Exigua</i>)	Thaler et al., 2001
พ่นสารระเหยกรดจัสโมนิก ร่วมกับกรดซาลิไซลิกทางใบ	กรดจัสโมนิก ความเข้มข้น 0.5 mM	หนอนกระทู้หอม (<i>Spodoptera exigua</i>)	Cipollini et al., 2004
พ่นสารระเหยกรดจัสโมนิก ทางการค้าพ่นทางใบ	กรดจัสโมนิก ความเข้มข้น 2.5- 5 mM	เพลี้ยกระโดดสี น้ำตาล(brown planthopper)	Senthil et al., 2009

วิธีการปฏิบัติ	ความเข้มข้น	สปีชีส์ของแมลง	อ้างอิง
ทดสอบในข้าว 5 ชนิด โดยทำการพ่นกรดจัสโมนิคแล้วทำการปล่อยแมลงบนต้นข้าว	กรดจัสโมนิค ความเข้มข้น 2 mM	หนอนกระทู้ ข้าวโพดลายจุด (<i>Spodoptera frugiperda</i>)	Stout et al., 2009
ทดสอบในข้าว โดยทำการพ่นกรดจัสโมนิคเปรียบเทียบกับชุดควบคุมแล้วทำการปล่อยแมลง	กรดจัสโมนิค ความเข้มข้น 1-5 mM	ด้วงวงกินรากข้าว (<i>Lissorhoptrus oryzophilus.</i>)	Hamm et al., 2010
ทำการทดลองภาคสนามเพื่อสังเกตผลของการพ่นกรดจัสโมนิค ลงบนต้นข้าวสาเลี 2 สายพันธุ์ พ่นสองครั้งที่ระยะการเจริญเติบโต ด้วยกรดจัสโมนิค 2 ความเข้มข้นพร้อมกับแปลงควบคุมที่พ่นด้วยน้ำ	กรดจัสโมนิค ความเข้มข้น 0.5- 1 mM	เพลี้ยอ่อน (<i>Aphids</i>), เพลี้ยไฟ (<i>thrips</i>)	El-Wakeil et al., 2010
พ่นสารระเหยเมทิลจัสโมเนตร่วมกับ กรดซาลิไซลิก ในข้าว และวิเคราะห์สารระเหยด้วย GC-MS	เมทิลจัสโมเนต ความเข้มข้น 2-5 mM	แมลงกลืนหมัน ข้าว(<i>Oebalus pugnax Fabricius.</i>)	Freitas et al., 2018
ต้นข้าวได้รับสารระเหยเมทิลจัสโมเนต พ่นทางใบ จากนั้นปล่อยแมลงที่อดอาหารเป็นเวลา 4 ชั่วโมงเข้าทำลายต้นข้าว	เมทิลจัสโมเนต ความเข้มข้น 2.5 และ 5 mm	หนอนทอใบข้าว (<i>Cnaphalocrocis medinalis</i>)	Senthil-Nathan, 2019
เมล็ดข้าวถูกแช่ในสารละลายเมทิลจัสโมเนต 2 ความเข้มข้น เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วทดสอบการเข้าทำลายโดยแมลง	เมทิลจัสโมเนต ความเข้มข้น 2.5 และ 5 mm	ด้วงวงน้ำ (<i>rice water weevil</i>)	Kraus, 2019.

วิธีการปฏิบัติ	ความเข้มข้น	สปีชีส์ของแมลง	อ้างอิง
เปรียบเทียบพืชที่ได้รับการ พ่นสารระเหยเมทิลจัสโมเนต พ่นทางใบกับพืชชุดควบคุม ทดสอบการเข้าทำลายโดย แมลง	เมทิลจัสโมเนต ความเข้มข้น 0, 25, และ 50 mM	ด้วงสน (<i>Hylobius abietis</i>)	Puentes et al. 2021
พืชได้รับสารระเหยเมทิลจัสโม เนตพ่นทางใบ จากนั้นปล่อย ให้แมลงเข้าทำลาย และศึกษา การแสดงออกของยีนที่ทำ หน้าที่ต้านแมลงด้วย RT- qPCR	เมทิลจัสโมเนต ความเข้มข้น 100 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$	หนอนข้าวโพด (<i>Delia platura</i>)	ErazoGarcia et al., 2021
ข้าวได้รับสารละลายเมทิลจัส โมเนตและกรดจัสโมนิก พ่น ทางใบ ปล่อยแมลงเข้าทำลาย เมื่อข้าวมีอายุ 30 วัน	เมทิลจัสโมเนต ความเข้มข้น 2.5 mM และกรดจัส โมนิก ความ เข้มข้น 2.5 mM	ด้วงวงงกินรากข้าว (<i>Lissorhoptrus oryzophilus.</i>)	Bhavanam, 2021
ทำการทดลองกับตัวอ่อน หนอนกระทู้ 60 ตัว ในระยะ ที่สี่ บนต้นข้าวที่ได้รับเมทิลจัส โมเนต ที่ความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง บันทึก น้ำหนักเริ่มต้นของตัวอ่อน สังเกตการอยู่รอดของตัวอ่อน ทุกวันจนกว่าตัวอ่อนทั้งหมด จะเข้าสู่ระยะดักแด้หรือตาย	เมทิลจัสโมเนต ความเข้มข้น 20 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$, 200 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$ และ 2000 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$	หนอนกระทู้ (<i>Spodoptera littoralis</i>)	Chen, et al., 2023
พ่นสารระเหย MeJA ฉีดพ่น ทางใบ และวิเคราะห์ความ เสียหายของพืชในวันที่ 1, 2, 4 และ 8 หลังให้อาหารแมลง	เมทิลจัสโมเนต ความเข้มข้น 20, 200 และ 2000 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$	หนอนกระทู้ (<i>Spodoptera littoralis</i>)	Zhang, et al., 2023

กลไกการต้านทานโรคของพืช

พืชโดยทั่วไปมีกลไกป้องกันโรคโดยเกิดจากลักษณะโครงสร้างของพืชเอง ทำให้เกิดการยับยั้งเชื้อโรคเข้าสู่เนื้อเยื่อพืชการสร้างสารที่เป็นพิษต่อเชื้อโรคหรือไปยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ ซึ่งการสร้างกลไกการป้องกันการบุกรุกของพืชสรุปดังนี้ (Goodman et al., 1967)

(1) การป้องกันศัตรูพืชโดยอาศัยโครงสร้างของพืช (Structural defense)

พืชอาจมีโครงสร้างและส่วนประกอบที่สามารถป้องกันเชื้อโรค เช่น ขี้ผึ้งและไข ขนาดและรูปร่างของปากใบ ฯลฯ หรือพืชอาจเปลี่ยนแปลงโครงสร้างหลังจากเชื้อเข้าสู่พืชแล้วส่งผลให้เชื้อก่อโรคลูกกลมต่อไป เช่น การเกิดเซลล์อัดกันเป็นชั้น เป็นต้น ลักษณะและการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวขึ้นอยู่กับชนิดของพืชและเชื้อโรค ยกตัวอย่างเช่น ผิวเป็นส่วนแรกของพืชที่เป็นเกาะป้องกันการเจาะผ่านของเชื้อก่อโรคเช่น ขี้ผึ้งที่คลุมใบและผลป้องกันหยดน้ำเกาะติดผิวพืช ทำให้สปอร์ของเชื้อราที่อยู่บนผิวพืชไม่งอก หรือไม่มีความชื้นพอที่จะให้แบคทีเรียเพิ่มจำนวนได้ ขนบริเวณผิวพืชที่หนาแน่น ทำให้หยดน้ำไม่เกาะติดผิวหรืออยู่ไม่ได้ นานมีสภาพไม่เหมาะต่อการเข้าทำลายของเชื้อก่อโรคตลอดจนความหนาของไขที่ห่อหุ้ม อาจทำให้พืชมีความต้านทานต่อโรคมมากขึ้น โดยเฉพาะโรคที่เชื้อเจาะผ่านสู่พืชโดยตรง อย่างไรก็ตามความหนาของไขที่ห่อหุ้มนี้อาจทำให้เชื้อเจาะผ่านเข้าสู่พืชทางตรงง่ายขึ้นก็ได้ ขึ้นอยู่กับชนิดของพืชและเชื้อสาเหตุ นอกจากนี้ความเหนียวของผนังเซลล์ชั้นนอก ทำให้เชื้อราเจาะผ่านเข้าสู่พืชทางตรงไม่ได้ ความหนาและเหนียวจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญมากของพืชต้านทานโรคบางชนิด ยกตัวอย่างเช่น ความหนาและเหนียวของผนังเซลล์เนื้อเยื่อท่อลำเลียงน้ำ เนื้อเยื่อสเคลอเรนไคมา (sclerenchyma) และท่อลำเลียงน้ำ (xylem) จะขัดขวางการเจริญของเชื้อรา แบคทีเรีย และไส้เดือนฝอยบางชนิดได้ เช่น การเจริญของเชื้อราสาเหตุของโรคราสนิมบนกิ่ง และลำต้นของธัญพืช แบคทีเรียก่อโรคใบจุดเหลี่ยมของฝ้ายจะเจริญลูกกลมเฉพาะในเนื้อเยื่อที่อยู่ระหว่างเส้นใยเท่านั้น ชนิดและโครงสร้างของปากใบ โดยพืชปากใบที่มีช่องแคบอาจทำให้พืชต้านทานต่อโรคที่เกิดจากแบคทีเรีย และเชื้อราที่เจาะผ่านพืชทางปากใบดีขึ้น ตลอดจนเวลาการเปิด-ปิดของปากใบก็มีส่วนเกี่ยวข้องกับการทำให้พืชต้านทานโรคด้วยเช่น โรคราสนิมของข้าวสาลีสายพันธุ์ที่ต้านทานโรคนั้น ปากใบจะเปิดเวลากลางวันตอนสาย แต่สปอร์ของเชื้อก่อโรคจะงอกในหยดน้ำค้างเวลากลางคืน ซึ่งปากใบยังปิดอยู่น้ำค้างจะระเหยไปหมดก่อนปากใบพืชเปิด เป็นต้น

(2) กลไกการทำงานของ Systemic Acquired Resistance (SAR)

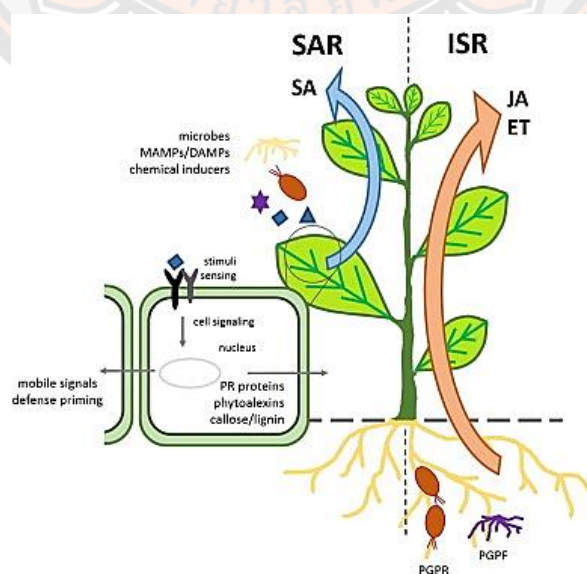
SAR เป็นระบบป้องกันตัวเองของพืชตามธรรมชาติ ซึ่งจะถูกระตุ้นเมื่อมีเชื้อก่อโรค ทั้งเชื้อรา แบคทีเรีย และไวรัส ที่เข้าทำลายพืชทำให้เกิดบาดแผล พืชจะเกิดการตอบสนองอย่างฉับพลันที่เรียกว่า Hypersensitive Response (HR) และหลังสารเช่น กรดซาลิไซลิก ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นสารสื่อสัญญาณ (SAR Signal) ผ่าน SA-Signaling Pathway ส่งสัญญาณไปยังเซลล์ต่างๆ กระตุ้นให้ยีน

ต้านทานโรค สร้างโปรตีนต้านทาน ทำให้พืชมีภูมิคุ้มกันต้านทานและป้องกันการเกิดโรคที่มีสาเหตุมาจากเชื้อรา 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

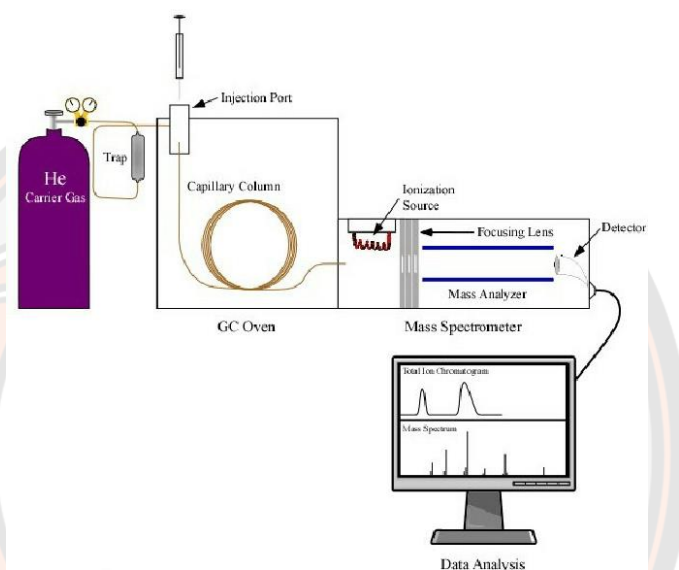
นอกจากนี้การเหนี่ยวนำให้เกิดความต้านทานอาจเกิดได้จากที่รากพืชที่มีการสะสมจลินทรียบางชนิด มีรายงานก่อนหน้านี้พบว่ากลไกที่ควบคุมลักษณะความต้านทานเชื้อรา *Fusarium oxysporum* และแบคทีเรีย *Pseudomonas syringae* ของผักกาด สายพันธุ์ *A. thaliana* เกิดขึ้นเมื่อมีการเติมแบคทีเรีย *Pseudomonas fluorescens* ลงในดินปลูก 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

แก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปคโตรเมทรี (Gas Chromatograph/Mass Spectrometer)

แก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปคโตรเมทรี 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 องค์ประกอบของแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปคโตรเมทรี

แก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปคโตรเมทรี 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 ไม่มากหรือน้อยเกินไป

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

4. ตัวตรวจวัด (Detector) ทำหน้าที่ในการตรวจวัดตัวอย่างที่ถูกแยกเรียบร้อยแล้วให้สามารถแปรผลได้ด้วยระบบไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ ตัวตรวจวัดมีหลายชนิด ควรศึกษาคุณสมบัติของตัวตรวจวัดว่าเหมาะสมกับตัวอย่างหรือไม่ก่อนเริ่มทำการวิเคราะห์

5. ซอฟต์แวร์และคอมพิวเตอร์สำหรับการประมวลผล 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 (ความดัน 10⁻⁴ Torr) 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 ถ้าไอออนทั้งสองจะถูกบังคับให้ผ่านเครื่องแยกไอออนชุดเดียวกัน 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*) ระยะเวลาอ่อนและตัวเต็มวัยที่ใช้ในงานวิจัย ได้รับการอนุเคราะห์จากศูนย์วิจัยพันธุ์ข้าว 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 μ L 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 กระจ่าง โดยจะใช้ค่าเฉลี่ยของ 2 หรือ 3 กระจ่างที่ให้ผลการทดลองไปในทิศทางเดียวกัน วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of Variance)

โดยทั้ง 8 กรรมวิธี แตกต่างกันดังนี้

- กรรมวิธี 1 (Tr1) ชุดควบคุมรดน้ำเปล่า (control)
- กรรมวิธี 2 (Tr2) ชุดควบคุม 1 % เอทานอลผ่านทางใบ (control)
- กรรมวิธี 3 (Tr3) ราวโคโตซานความเข้มข้น 50 ppm
- กรรมวิธี 4 (Tr4) ราวโคโตซานความเข้มข้น 100 ppm
- กรรมวิธี 5 (Tr5) ราวโคโตซานความเข้มข้น 200 ppm
- กรรมวิธี 6 (Tr6) เมทิลจัสโมเนตผ่านทางใบที่ความเข้มข้น 1 mM
- กรรมวิธี 7 (Tr7) เมทิลจัสโมเนตผ่านทางใบที่ความเข้มข้น 2.5 mM
- กรรมวิธี 8 (Tr8) เมทิลจัสโมเนตฉีดผ่านทางใบที่ความเข้มข้น 5 mM

การเตรียมตัวอย่างต้นข้าว

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

การรดด้วยสารละลายโคโตซาน

นำสารละลายโคโตซานความเข้มข้นที่แตกต่างกันรดที่บริเวณโคนต้น โดยใช้โคโตซาน ปริมาณ 100 มิลลิลิตร ต่อกระถาง รดทุกวัน 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 การรดสารละลายโคโตซานความเข้มข้นที่แตกต่างกันที่บริเวณโคนต้น

การพ่นสารละลายเมทิลจัสโมเนต

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



ภาพ 10 การพ่นสารละลายเมทิลจัสโมเนตพ่นลงบริเวณลำต้นและใบข้าว

การทดสอบความเสียหายของต้นข้าวในแต่ละกรรมวิธีหลังถูกเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย

ปลูกข้าวในกระถาง 10 ต้น ปล่อยให้เจริญเติบโต 10 วันจนกระทั่งระยะกล้า แล้วใช้พลาสติกใสชนิดหนา (mylar) ทำเป็นรูปทรงกระบอกครอบต้นข้าวในกระถาง ด้านบนบุด้วยผ้าบางใส เพื่อระบายอากาศ 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-แมสสเปกโตรมิเตอร์

การวิเคราะห์สารระเหยในข้าวด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟ-แมสสเปกโตรมิเตอร์ 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 ในโถรง จากนั้นดูดสารละลายใส่หลอดทดลองขนาด 50 มิลลิลิตร นำไปเขย่าความเร็วรอบ 170 rpm ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 คืน จากนั้นสกัดข้าวด้วยเอทิลอะซิเตท 10 มิลลิลิตร เขย่าเป็นเวลา 1 นาที นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 10,000 rpm เป็นเวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เก็บสารละลายส่วนใสไว้เพื่อนำไประเหยตัวสกัดออกโดยใช้เครื่อง Rotary evaporator จนกระทั่งสารสกัดแห้ง แล้วเติมสารละลายเอทิลอะซิเตท 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

สภาวะของแมสสเปกโตรเมตรี (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

ผลการวิเคราะห์สารระเหยในข้าวระยะกล้าหลังจากการปลดปล่อยไโคโตซานและพ่นเมทิลจัสโมเนตต่อการสร้างสารระเหย ก่อนเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสารระเหยในต้นข้าวในแต่ละกรรมวิธีหลังจากปลดปล่อยไโคโตซาน 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)

การปลดปล่อยไโคโตซานความเข้มข้น 50, 100, และ 200 ppm (กรรมวิธีที่ 3-5) สามารถกระตุ้นให้ต้นข้าวผลิตสารระเหยที่ไม่พบในกลุ่มควบคุม ได้แก่ Undec-10-ynoic acid (ตารางที่ 5) ขณะที่สารละลายไโคโตซานที่ความเข้มข้น 200 ppm (กรรมวิธีที่ 5) สามารถกระตุ้นการผลิตสารระเหยที่ไม่พบในกลุ่มควบคุม ได้แก่ trans-2,4-Dimethylthiane,S,S-dioxide, Sulfur diimide ซึ่งเห็นว่าสารระเหยชนิด Undec-10-ynoic acid นั้นถูกกระตุ้นให้ผลิตในต้นข้าวระยะกล้า ด้วยสารละลายไโคโตซานทุกความเข้มข้น และเมื่อพ่นสารละลายเมทิลจัสโมเนตที่ความเข้มข้น 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)

โดยจะพบว่าทั้งสารละลายไโคโตซานและสารละลายเมทิลจัสโมเนต สามารถกระตุ้นสารระเหยชนิดเดียวกันได้แก่ Undec-10-ynoic acid ขณะที่ชุดควบคุม (กรรมวิธีที่ 1 และ 2) ไม่สามารถผลิตสารระเหยดังกล่าวได้ ซึ่งสารระเหยดังกล่าวที่เพิ่มขึ้น น่าจะมีบทบาทต่อการป้องกันการบุกรุกของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล

ผลการวิเคราะห์สารระเหยในต้นข้าวระยะกล้าหลังจากได้รับสารละลายโคโตซานและเมทิลจัสโมเนต หลังเปลี่ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย

จากการวิเคราะห์สารระเหยในต้นข้าวในแต่ละกรรมวิธีที่ได้รับสารละลายโคโตซานหลังเปลี่ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย (CHI+BPH) และกรรมวิธีที่ได้รับเมทิลจัสโมเนตและเปลี่ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย (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) โดยพบว่าหลังการเข้าทำลายของเปลี่ยกระโดดสีน้ำตาลในข้าวแต่ละกรรมวิธีพบว่า สารระเหยที่ต้นข้าวผลิตมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการเข้าทำลายของเปลี่ยกระโดดสีน้ำตาล (ดังแสดงในตารางที่ 5 และภาพที่ 13-20) และทำการจัดจำแนกสารระเหยที่พบในกลุ่ม (CHI+BPH) ออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ 1 สารระเหยที่เพิ่มขึ้นหลังจากเปลี่ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลายและพบในกลุ่มควบคุม พบสารระเหยชนิด Decanoic acid, Methyl jasmonate, Salicylic acid, Undec-10-ynoic acid โดยสารระเหยชนิดเมทิลจัสโมเนต พบเพิ่มขึ้นหลังจากการรดด้วยสารละลายโคโตซาน ความเข้มข้น 50, 100, และ 200 ppm (กรรมวิธีที่ 3-5) มีปริมาณสารระเหยเพิ่มขึ้นเท่ากับ 28.35%, 28.79%, 14.19% ตามลำดับ และเมื่อพ่นสารละลายเมทิลจัสโมเนตที่ความเข้มข้น 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 สารระเหยที่พบหลังจากเปลี่ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลายเท่านั้น ได้แก่ Phosphonic acid, Trans-2,4-Dimethylthiane, S,S-dioxide, Phthalic acid, Caryophyllene oxide ซึ่งสารระเหยชนิดดังกล่าวไม่พบในชุดควบคุม แสดงให้เห็นว่าข้าวที่ได้รับสารละลายโคโตซานและสารละลายเมทิลจัสโมเนต สามารถกระตุ้นให้ข้าว ผลิตสารระเหยกลุ่มที่ทำหน้าที่ต้านทานต่อแมลง เช่น Caryophyllene oxide ซึ่งถูกพบในกรรมวิธีที่รดด้วยสารละลายโคโตซานความเข้มข้น 50, 100, และ 200 ppm (กรรมวิธีที่ 3-5) แต่ในทางกลับกัน ในกรรมวิธีที่พ่นสารละลายเมทิลจัสโมเนตที่ความเข้มข้น 1, 2.5 และ 5 mM (กรรมวิธีที่ 6-8) ไม่พบสารระเหยชนิด Caryophyllene oxide แต่พบสารระเหยที่มีความสามารถต้านทานต่อแมลง คือ Phthalic acid ซึ่งถูกพบในกรรมวิธีที่พ่นสารละลายเมทิลจัสโมเนตที่ความเข้มข้น 2.5 mM (กรรมวิธีที่ 7) และกลุ่มที่ 3 สารระเหยที่พบเฉพาะก่อนเปลี่ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลายเท่านั้น ได้แก่ R)-9-[(S)-2-(Hydroxymethyl)pyrrolidin-1-yl] ซึ่งเป็นสารตั้งต้นของ 2-acetyl-1-pyrroline มีบทบาทในการให้ความหอมของข้าวหอมมะลิ

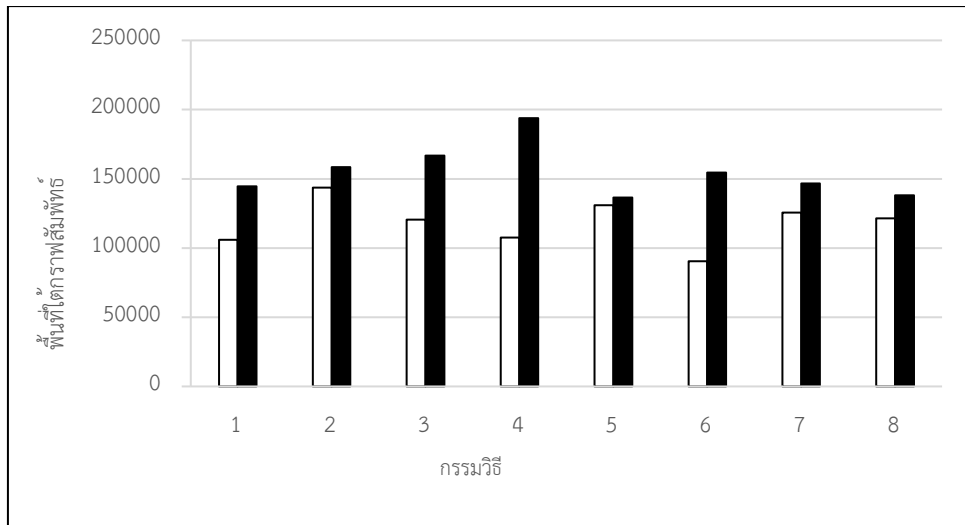
นอกจากนี้เมื่อพิจารณาเฉพาะสารระเหยชนิดเมทิลจัสโมเนต และกรดซาลิไซลิก จะเห็นได้ว่าการเพิ่มขึ้นหลังจากถูกเพลิงกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลายในทุกกรรมวิธี แต่อย่างไรก็ตามถึงแม้กลุ่มควบคุมจะพบสารระเหยดังกล่าวหลังถูกเพลิงกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลายแต่จากรูปที่ 12 จะเห็นว่ากรรมวิธี 3, 4, 5, 6, 7 จะมีผลทำให้สารดังกล่าวเพิ่มขึ้นมากกว่ากลุ่มควบคุม

ตาราง 5 สารระเหยที่พบในข้าวที่คาดว่ามีความสำคัญในการป้องกันเพลิงกระโดดสีน้ำตาล

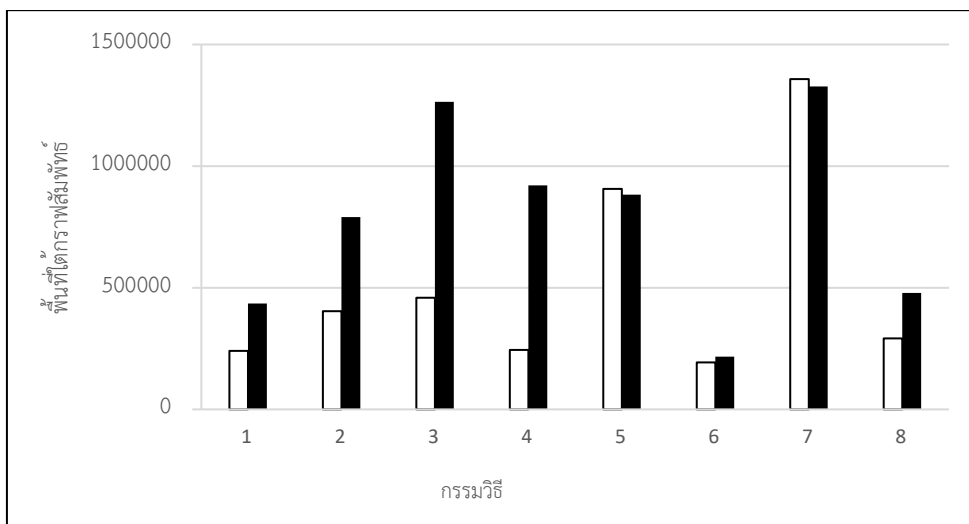
กรรมวิธี	ชื่อสารระเหย	RT	%Area	
			(-BPH)	(+BPH)
ชุดควบคุม	Salicylic acid	17.166	1.19%	2.03%
	Methyl jasmonate	24.528	10.29%	11.44%
	Decanoic acid	27.644	8.78%	9.64%
	13-Octadecenal	33.438	2.56%	-
ชุดควบคุม (พ่น 1 % เอทานอล)	Salicylic acid	17.166	1.61%	3.10%
	Methyl jasmonate	24.531	10.91%	11.88%
	Decanoic 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%	-

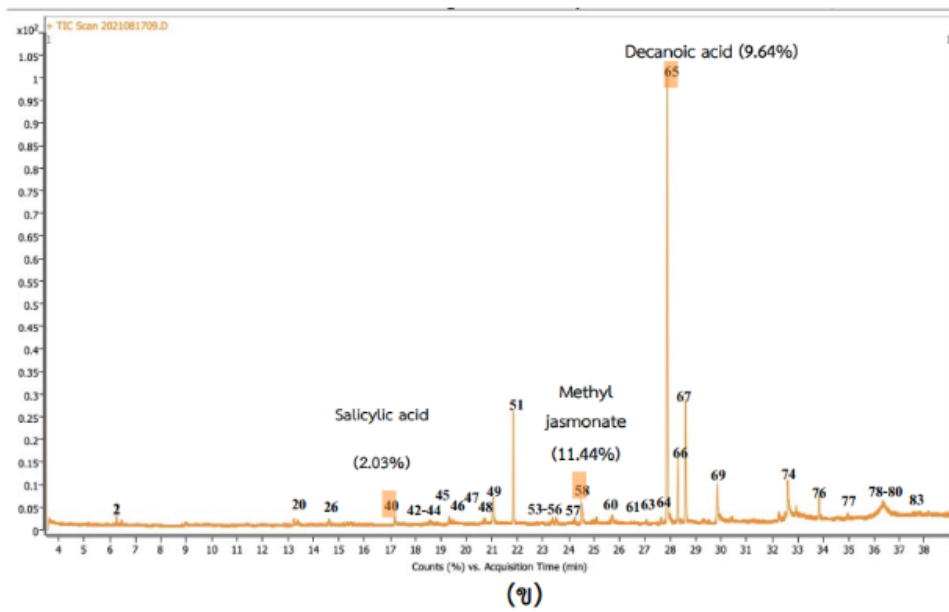
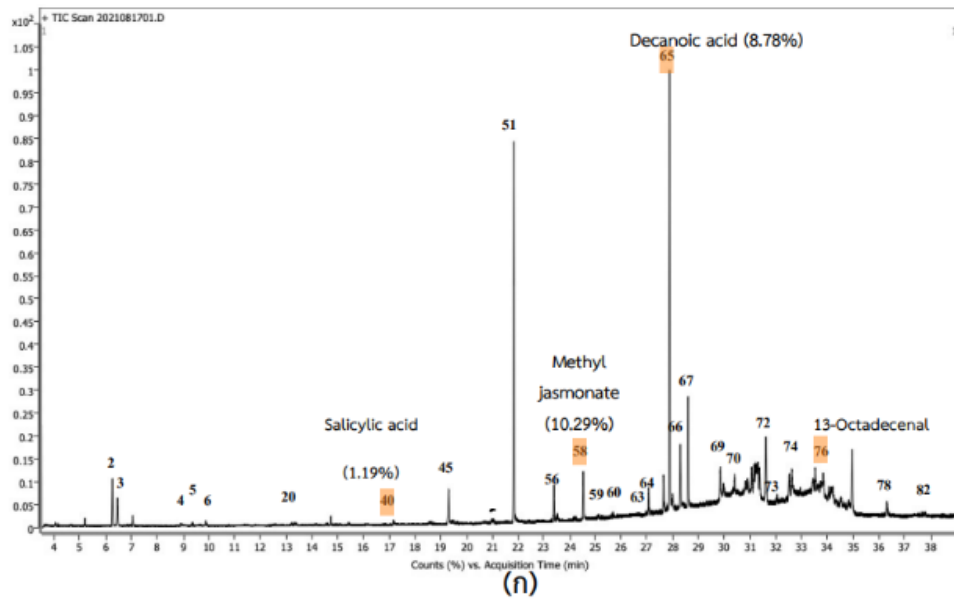


(ก)

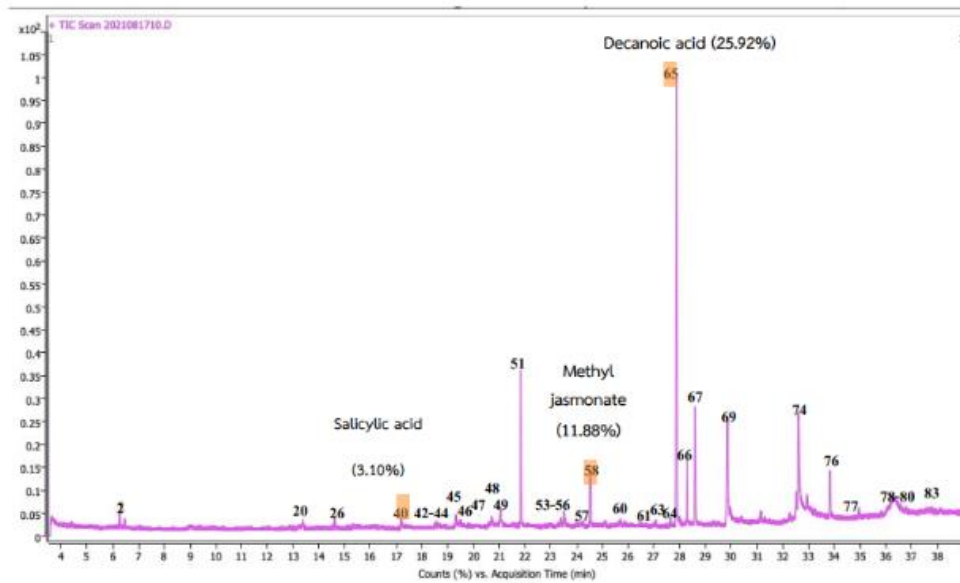
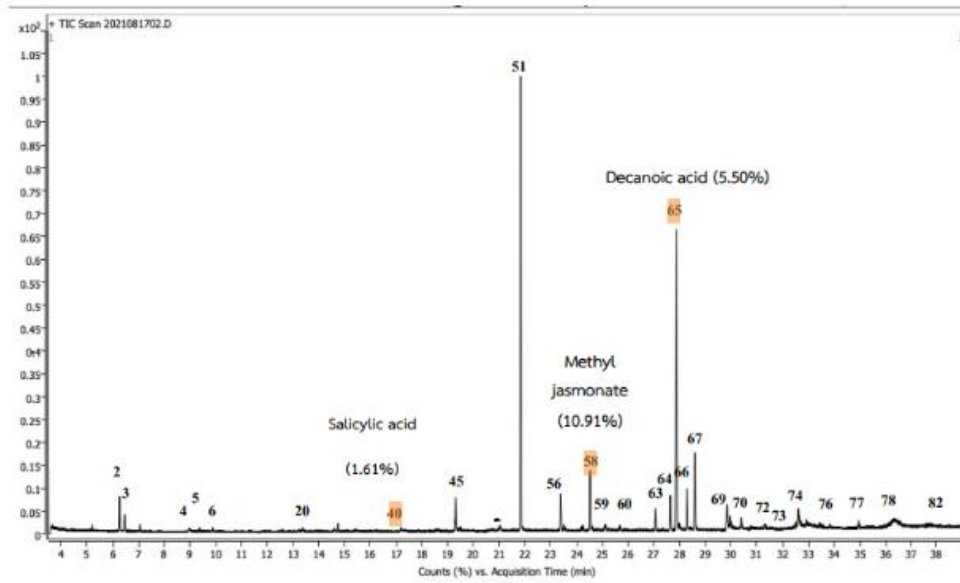


(ข)

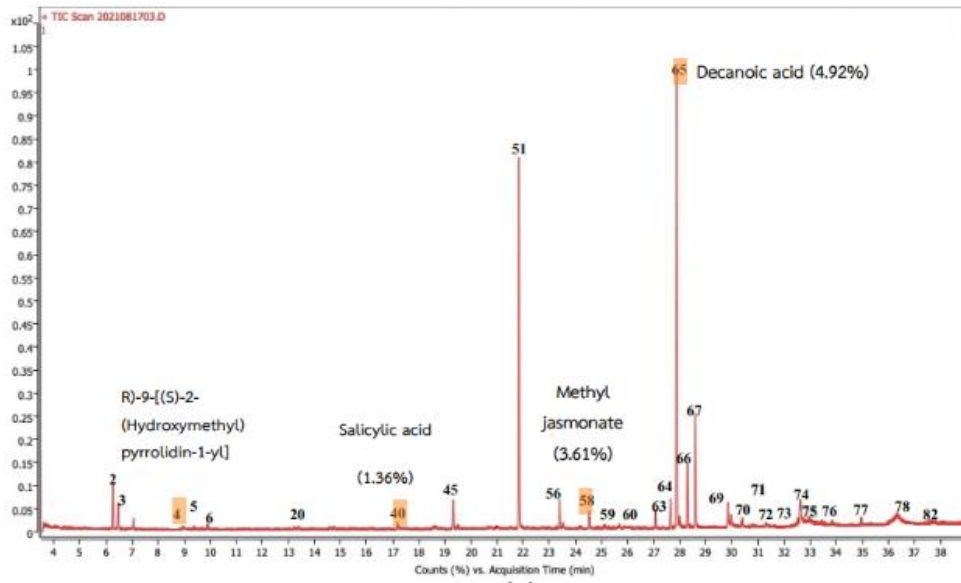
ภาพ 12 กราฟเปรียบเทียบพื้นที่สารระเหย (ก) กรดซาลิไซลิก และ (ข) เมทิลจัสโมเนต ; □ = ก่อนปล่อยเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย และ ■ = หลังปล่อยเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย; กรรมวิธีที่ 1 ; ชุดควบคุม, กรรมวิธีที่ 2 ; ชุดควบคุม (1 % เอทานอลพ่นทางใบ), กรรมวิธีที่ 3 ; ราคสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 50 ppm, กรรมวิธีที่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



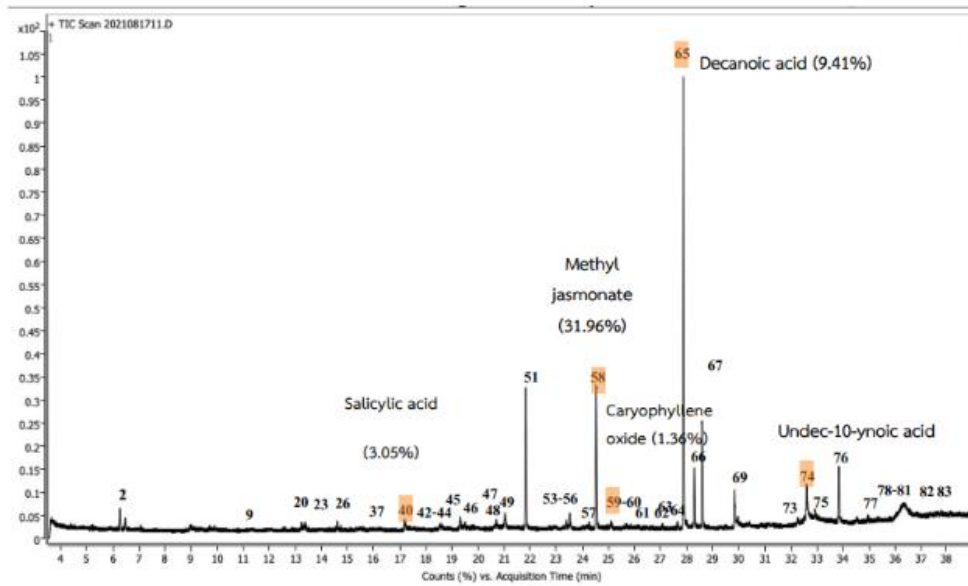
ภาพ 13 เปรียบเทียบโครโมโตแกรมของสารระเหยที่พบในต้นข้าวในกรรมวิธีที่ 1 ; (ก) ก่อนเปลี่ย
กระดอตสีน้ำตาลเข้าทำลาย, (ข) หลังเปลี่ยกระดอตสีน้ำตาลเข้าทำลาย



ภาพ 14 เปรียบเทียบโครโมโตแกรมของสารระเหยที่พบในต้นข้าวในกรรมวิธีที่ 2 ; (ก) ก่อนเปลี่ยกระดอตสีน้ำตาลเข้าทำลาย, (ข) หลังเปลี่ยกระดอตสีน้ำตาลเข้าทำลาย

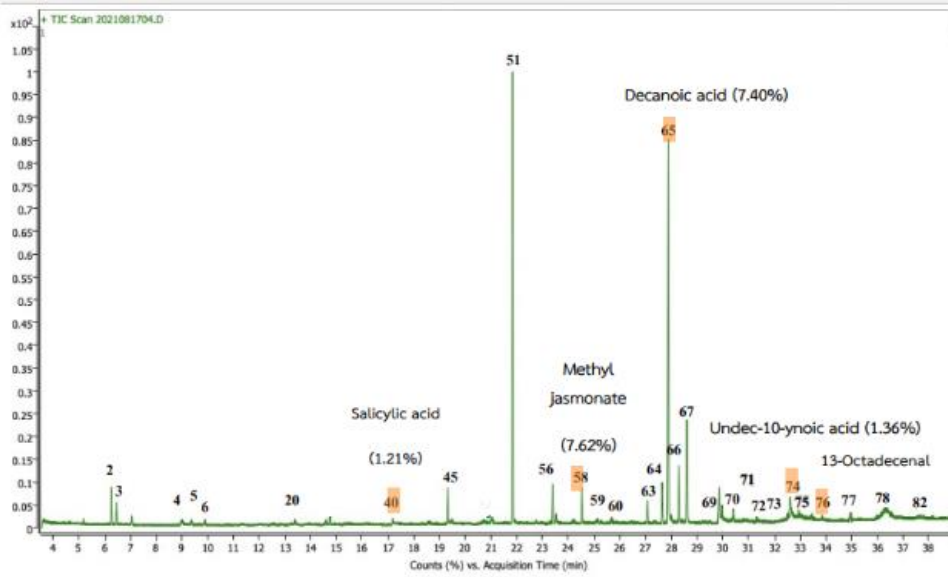


(ก)

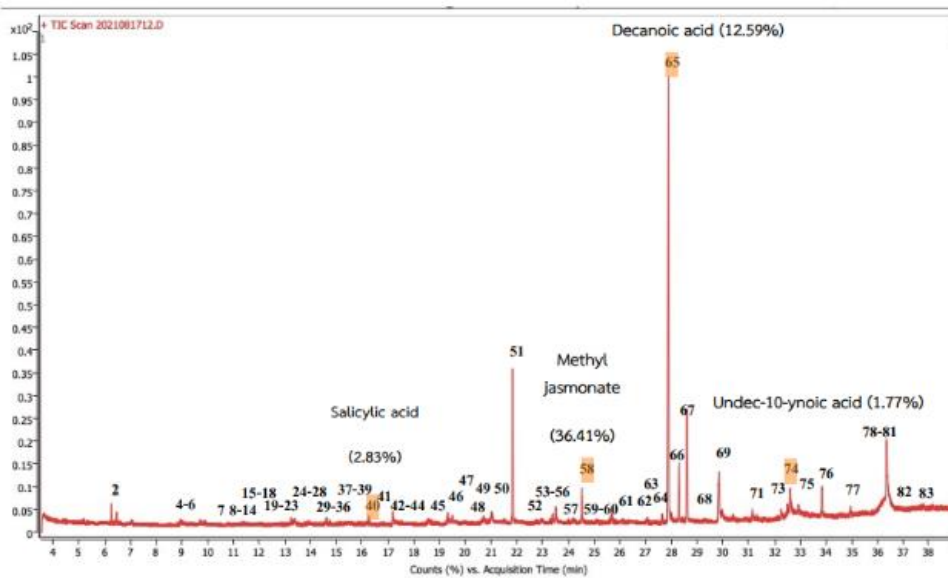


(ข)

ภาพ 15 เปรียบเทียบโครโมโตแกรมของสารระเหยที่พบในต้นข้าวในกรรมวิธีที่ 3 ; (ก) ก่อนเปลี่ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย, (ข) หลังเปลี่ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย

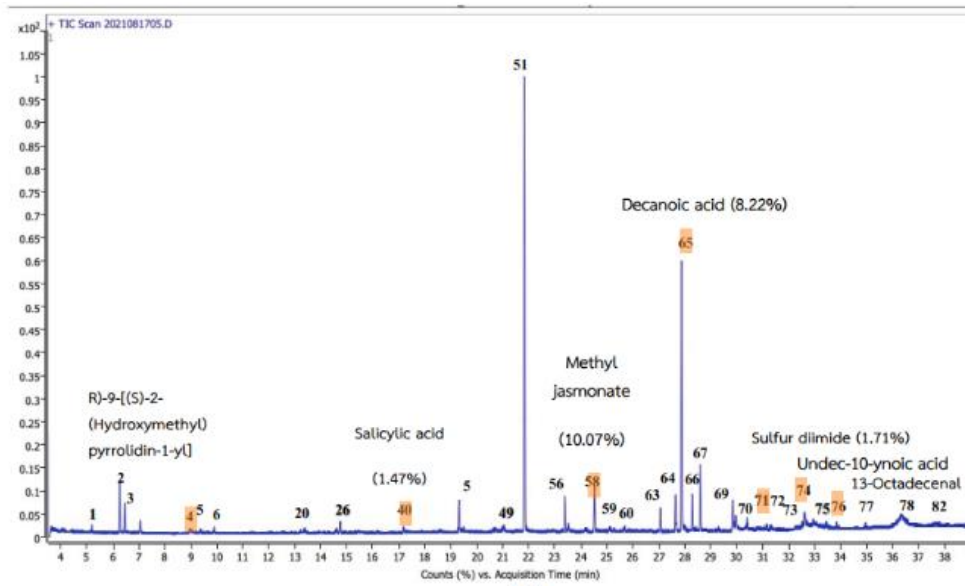


(ก)

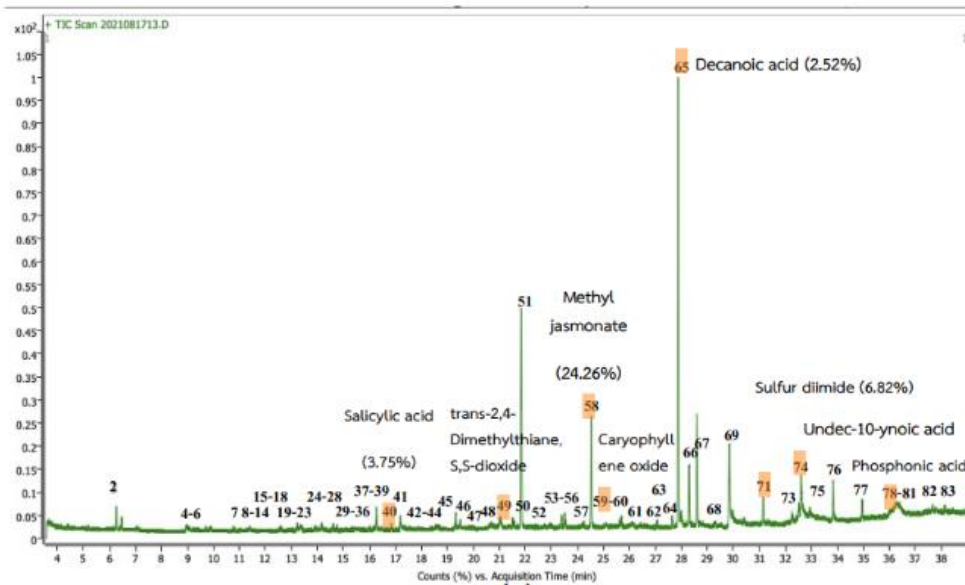


(ข)

ภาพ 16 เปรียบเทียบโครโมโตแกรมของสารระเหยที่พบในต้นข้าวในกรรมวิธีที่ 4 ; (ก) ก่อนเปลี่ย
กระดอตสีน้ำตาลเข้าทำลาย, (ข) หลังเปลี่ยกระดอตสีน้ำตาลเข้าทำลาย

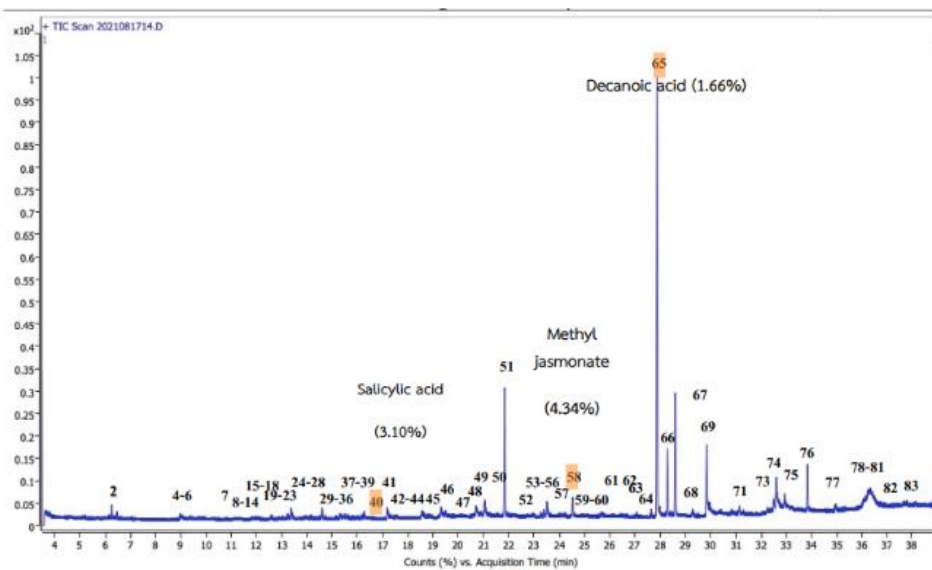
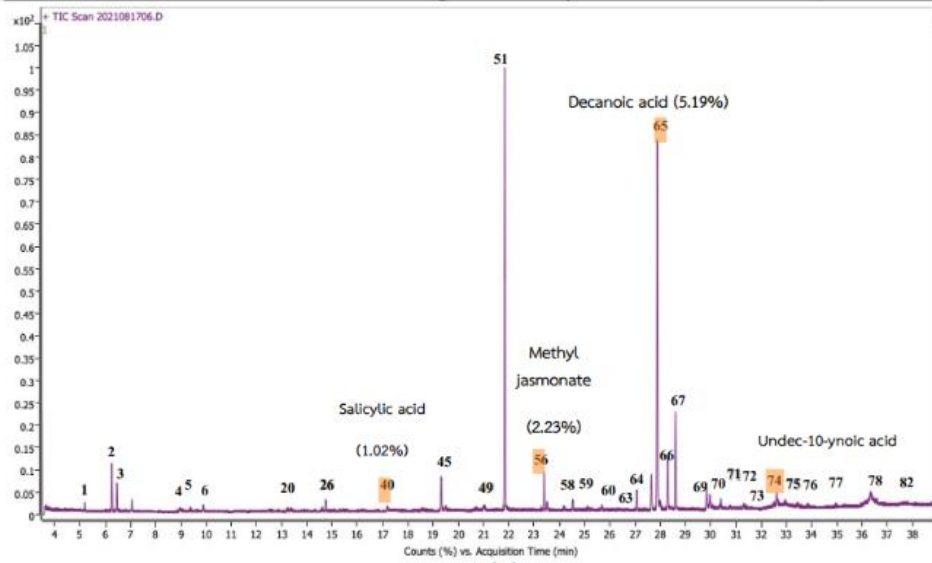


(ก)

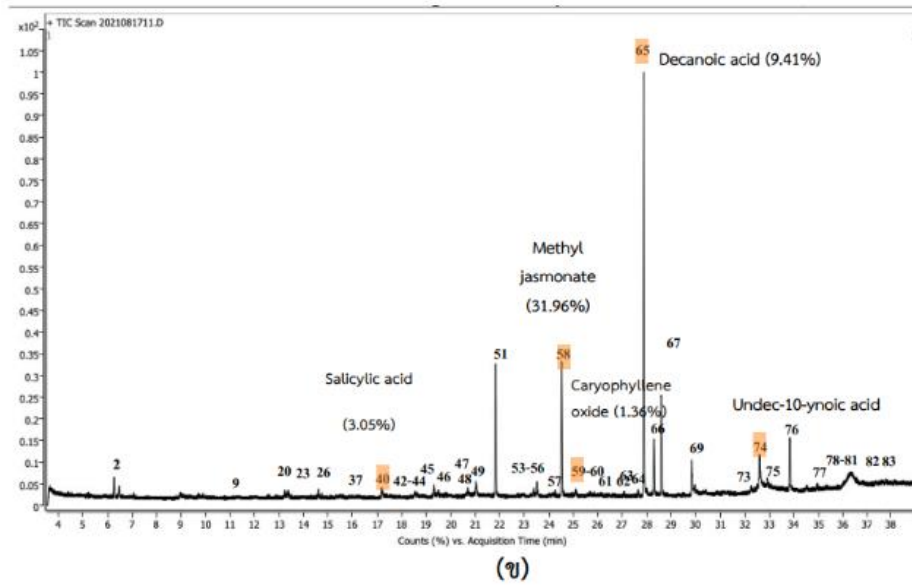
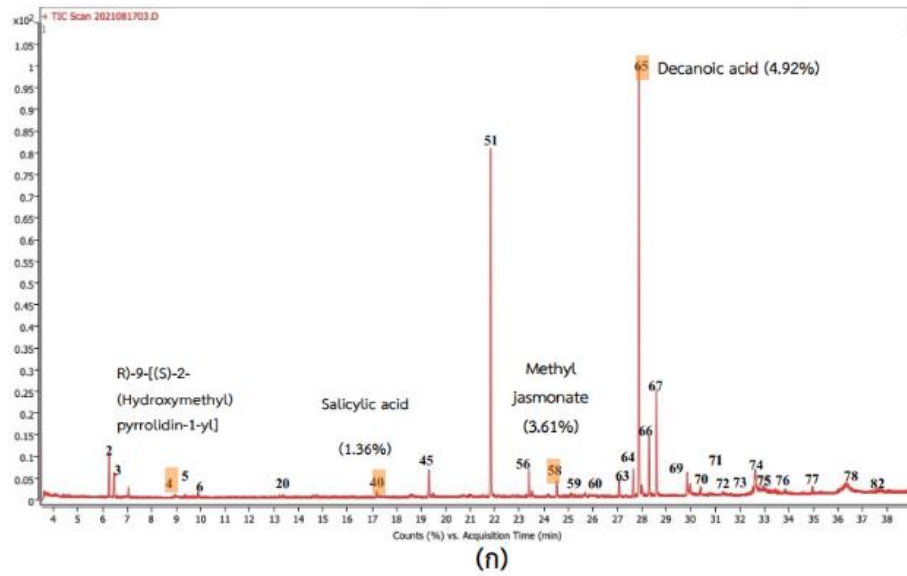


(ข)

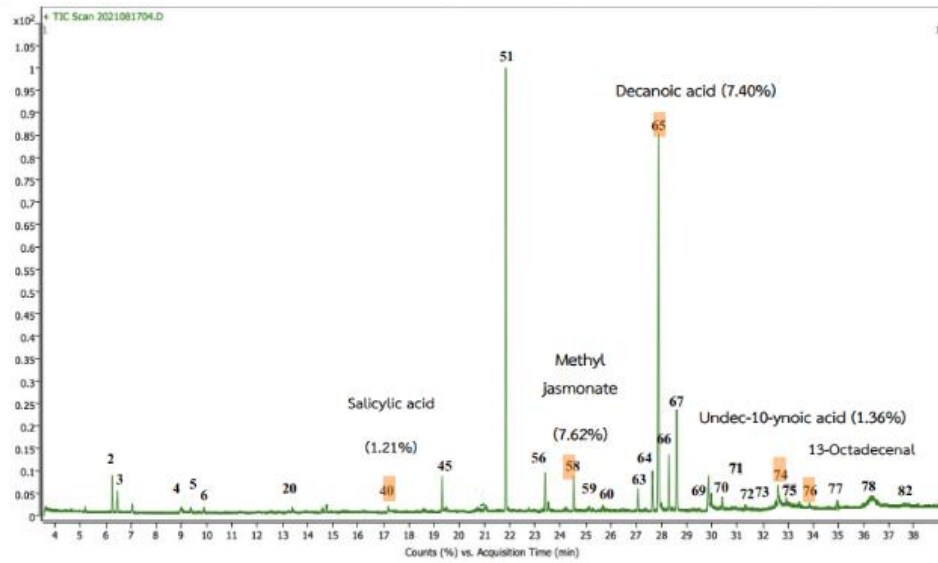
ภาพ 17 เปรียบเทียบโครโมโตแกรมของสารระเหยที่พบในต้นข้าวในกรรมวิธีที่ 5 ; (ก) ก่อนเปลี่ย
กระโดตสีน้ำตาลเข้าทำลาย, (ข) หลังเปลี่ยกระโดตสีน้ำตาลเข้าทำลาย



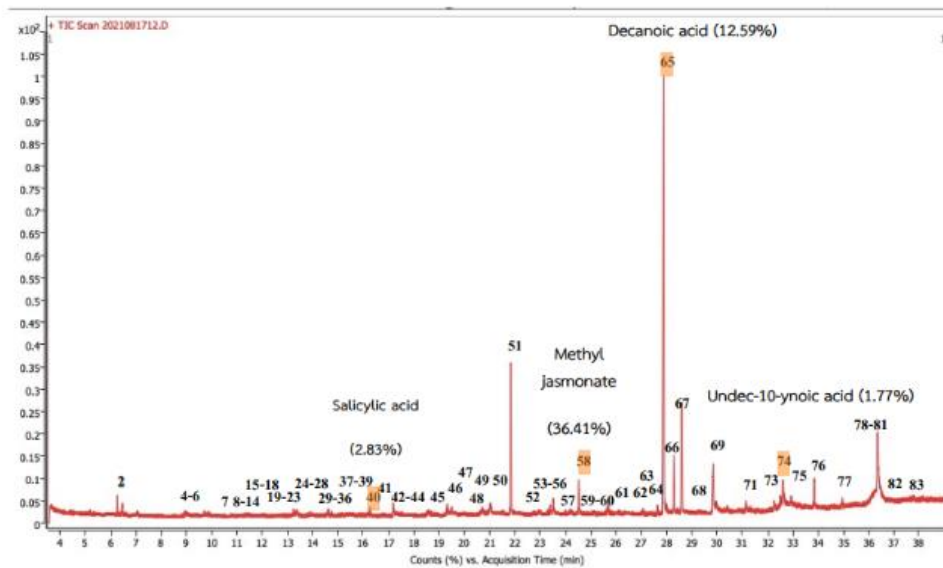
ภาพ 18 เปรียบเทียบโครโมโตแกรมของสารระเหยที่พบในต้นข้าวในกรรมวิธีที่ 6 ; (ก) ก่อนเปลือกกระโดตสีน้ำตาลเข้าทำลาย, (ข) หลังเปลือกกระโดตสีน้ำตาลเข้าทำลาย



ภาพ 19 เปรียบเทียบโครโมโตแกรมของสารระเหยที่พบในต้นข้าวในกรรมวิธีที่ 7 ; (ก) ก่อนเปลี่ย
กระดอสน้ำตาลเข้าทำลาย, (ข) หลังเปลี่ยกระดอสน้ำตาลเข้าทำลาย



(ก)



(ข)

ภาพ 20 เปรียบเทียบโครโมโตแกรมของสารระเหยที่พบในต้นข้าวในกรรมวิธีที่ 8 ; (ก) ก่อนเปลี่ย
กระดอตสีน้ำตาลเข้าทำลาย, (ข) หลังเปลี่ยกระดอตสีน้ำตาลเข้าทำลาย

ผลการทดสอบความเสียหายของต้นข้าวในแต่ละกรรมวิธีหลังถูกเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย

ผลการทดสอบความเสียหายของต้นข้าวในแต่ละกรรมวิธี หลังถูกเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลายในข้าวระยะกล้าและระยะแตกกอ โดยปลูกข้าวระยะกล้าจำนวน 10 ต้น ต่อกระถาง และปล่อยเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลระยะที่ 1 เฉลี่ยจำนวน 10 ตัวต่อต้นข้าว 1 ต้น เข้าทำลายต้นข้าวเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของสารละลายเมทิลจัสโมเนตและไคโตซานในแต่ละกรรมวิธี 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				ระดับความ ต้านทาน
		วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4	วันที่ 5	
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						ความ ต้านทาน
	วันที่	วันที่	วันที่	วันที่	วันที่	วันที่	
	2	4	6	8	12	14	
1 ชุดควบคุม	2	3	4	5	6	7	S
2 ชุดควบคุม (พ่น 1 % เอทานอล)	2	4	5	6	7	7	S
3 วัสดุละลายไคโตซาน 50 ppm	0	1	2	3	4	4	MR
4 วัสดุละลายไคโตซาน 100 ppm	0	1	2	3	4	4	MR
5 วัสดุละลายไคโตซาน 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 ได้รับความเสียหายมากที่สุด เช่นเดียวกับในระยะกล้า และจัดว่ามีความต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในระดับความต้านทานที่อ่อนแอ (S) ขณะที่ข้าวในกรรมวิธีที่ 3, 4, 5, 6, 7, 8 ได้รับความเสียหายของต้นข้าวน้อยที่สุดในช่วง 3-4 เมื่อถูกทำลายเป็นระยะเวลา 12-14 วัน จัดอยู่ในระดับความต้านทานปานกลาง (MR) โดยจะเห็นว่าข้าวในระยะแตกกอมีความทนทานต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลมากกว่าระยะกล้า แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมนั้น กลุ่มที่ได้รับสารละลายไคโตซานและสารละลายเมทิลจัสโมเนตมีความเสียหายน้อยกว่าดังแสดงในรูปที่ 22



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



ภาพ 22 ผลการทดสอบความเสียหายของต้นข้าวหลังถูกเพลิงกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย (ก) ระยะกล้า (ข) ระยะแตกกอ; โดยกรรมวิธีที่ 1 ; ชุดควบคุม, กรรมวิธีที่ 2 ; ชุดควบคุม (พ่น 1% ethanol), กรรมวิธีที่ 3 ; วัสดุละลายไคโตซานความเข้มข้น 50 ppm, กรรมวิธีที่ 4 ; วัสดุละลายไคโตซานความเข้มข้น 100 ppm, กรรมวิธีที่ 5 ; วัสดุละลายไคโตซานความเข้มข้น 200 ppm, กรรมวิธีที่ 6 ; ฟันเมทิลจัสโมเนตความเข้มข้น 1 mM, กรรมวิธีที่ 7 ; ฟันเมทิลจัสโมเนตความเข้มข้น 2.5 mM, กรรมวิธีที่ 8 ; ฟันเมทิลจัสโมเนตความเข้มข้น 5 mM

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์ผล

การวิเคราะห์สารระเหยในต้นข้าวระยะกล้าหลังจากได้รับสารละลายไคโตซานและเมทิลจัสโมเนต จากผลการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารละลายไคโตซานและเมทิลจัสโมเนตแต่ ละกรรมวิธีในการกระตุ้นให้ข้าวผลิตสารระเหยที่คาดว่าจะมีฤทธิ์ต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล พบว่า กรรมวิธี 3-8 สามารถกระตุ้นสารระเหยที่ไม่พบในชุดควบคุม (กรรมวิธี 1, 2) จำนวน 5 ชนิด ได้แก่ Sulfur diimide , และ Undec-10-ynoic acid และพบว่าเฉพาะกรรมวิธี 5-8 สามารถ กระตุ้นสารระเหยที่แตกต่างจากกรรมวิธี 1-4 ได้แก่ 2-Ethylthiolane,S,S-dioxide, trans-2,4-Dimethylthiane, S,S-dioxide และ Methane ซึ่งคาดว่าสารระเหยที่ถูกกระตุ้นให้ผลิตนั้นมีฤทธิ์ ป้องกันตนเองของต้นข้าวที่สอดคล้องกับรายงานการวิจัยที่ผ่านมา เช่น สารระเหย 2- Ethylthiolane,S,S-dioxide, trans-2,4-Dimethylthiane,S,S-dioxide และ Sulfur diimide เป็น สารระเหยในกลุ่มซัลเฟอร์ ซึ่งถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับการจัดการศัตรูพืชและการรักษา โรคในพืช ปัจจุบันเป็นสารกำจัดศัตรูพืชที่ถูกนำมาใช้ในปริมาณมาก (Griffith et al., 2015) นอกจากนี้สารระเหย 2-Ethylthiolane,S,S-dioxide ถูกพบว่ามีบทบาทสำคัญในการเป็นสารช่วย ยับยั้งการเจริญเติบโตของแมลง โดยงานวิจัย ของ Ahmed และคณะ (2011) พบว่า 2- Ethylthiolane,S,S-dioxide เป็นสารระเหยที่พบในถั่ว ที่ทำหน้าที่ป้องกันการเข้าทำลายของด้วง เเจาะได้ โดยพบว่าสารระเหยดังกล่าวช่วยยับยั้งการฟักไข่ การเจริญเติบโต และช่วยเพิ่มอัตราการตาย ของด้วงเจาะในระยะตัวเต็มวัย

จากงานวิจัยของ Mann และคณะ (2011) พบว่าสารระเหยประเภทซัลเฟอร์จากกระเทียม มีผลต่อการขับไล่เพลี้ย (*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*) ได้ เช่นเดียวกัน

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

(*Pseudocalymma alliaceum*) สามารถช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตโดยชะลอระยะเวลาของตัวอ่อน และดักแด้ของลูกน้ำยุง

นอกจากสารระเหยในกลุ่มซัลเฟอร์ที่พบว่าถูกกระตุ้นจากการที่พืชได้รับสารละลายโคโคซานและเมทิลจัสโมเนตแล้ว ยังพบสารระเหยชนิด Methane และ Undec-10-ynoic acid ซึ่ง Methane เป็นสารระเหยในกลุ่มอัลเคน ทำหน้าที่ช่วยลดการระบาดของแมลงในพืชโดย Bolton และคณะ (2017) ได้ศึกษาก๊าซมีเทนที่ถูกปล่อยจากพืชที่ปลูกในพื้นที่ชุ่มน้ำสู่ชั้นบรรยากาศ พบว่าสามารถช่วยลดการระบาดของแมลงได้ และจากงานวิจัยของ Perera และคณะ (2021) พบอนุพันธ์ของ Methane ชนิด Bis(methylthio)methane ในใบเจตมูลเพลิงขาว *Ola x 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 ตัวเต็มวัยของด้วงงวงข้าวโพดและผีเสื้อข้าวสาร 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) และยังสามารถกระตุ้นความสามารถในกลไกการป้องกันในข้าวสาลี

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) ได้ทำการศึกษากลไกการป้องกันตัวเองของต้นข้าวหลังถูกแมลงเข้าทำลายพบว่าต้นข้าวจะปล่อยสารระเหยในกลุ่มฟีนิล, อัลดีไฮด์, คีโตน และเอสเทอร์ เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวที่ไม่ถูกทำลายด้วยแมลง และจากงานวิจัยของ Zheng และคณะ(2021) ได้ทำการวิเคราะห์สารระเหยจากต้นกล้าสนทางสิงห์ (*Platyclusus 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 Abteu และคณะ (2015) พบว่าสารระเหย β -Caryophyllene ที่พบในถั่วพุ่มสามารถขับไล่เพลี้ยไฟ ซึ่งเป็นศัตรูพืชได้

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 ที่พบในกรรมวิธีที่ได้รับสารละลายโคโคซานและสารละลายเมทิลจัสโมเนต (กรรมวิธีที่ 3, 4, 5, 6, 7, 8) และเปลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย 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 และใบจงหวน (*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 แต่ไม่พบในกลุ่มควมคุม (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 ที่ต้านการกินอาหารของแมลงในกุหลาบพันธุ์ ส่งผลต่อการการต้านการกินอาหาร (Antifeedant) ของด้วงวงข้าวโพดและมอดแป้ง

สารระเหยสำคัญที่มีความสามารถต้านแมลงในกลุ่มซัลเฟอร์ที่พบเฉพาะในกรรมวิธีที่ได้รับสารละลายไคโตซานและสารละลายเมทิลจัสโมเนต (กรรมวิธีที่ 3, 4, 5, 6, 7, 8) และถูกเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลายแต่ไม่พบในกลุ่มควมคุม (กรรมวิธีที่ 1, 2) ได้แก่ 3-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 เป็นสารระเหยในกลุ่มฟีนอลมีบทบาทสำคัญในการต้านแมลง (Yang et al., 2010) จากงานวิจัยของ Wang และคณะ (2018) พบสารระเหยในกลุ่มฟีนอลและสเตอรอลมีบทบาทในการยับยั้งการพัฒนาของตัวอ่อนของหนอนไหมและยังยับยั้งการเข้าทำลายของหนอนไหม ส่งผลให้ลดการสูญเสียผลผลิตของฝ้ายซึ่งเป็นพืชทางเศรษฐกิจ

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

ในกลุ่มสารอินทรีย์มีบทบาทสำคัญที่ในการต้านแมลง จากงานวิจัยของ Ravi และคณะ (2018) ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและฤทธิ์ของสารสกัดแห่นแดง (*Azolla pinnata*) ต่อการกำจัดตัวอ่อนยุงลาย การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC-MS พบสารระเหย methylphosphonic acid แสดงให้เห็นว่าสารสกัดจากแห่นแดงมีฤทธิ์ทางชีวภาพสามารถกำจัดตัวอ่อนของยุงลายและมีประสิทธิภาพที่จะพัฒนาเป็นสารกำจัดศัตรูพืชทางชีวภาพ

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

สารระเหยสำคัญที่มีความสามารถกำจัดแมลงในกลุ่มคีโตน ที่พบเฉพาะในกรรมวิธีที่ได้รับสารละลายโคโคซานและสารละลายเมทิลจัสโมเนต (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) ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยและสารสกัดจากช่อดอกพินซ์รู (*Ruta chalepensis*) ต่อภาวะอัมพาตของไส้เดือนฝอยด้วยเทคนิค GC-MS และ LC-MS พบว่าสารระเหยส่วนใหญ่คือ ketones ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในการกำจัดไส้เดือนฝอย

งานวิจัยของ Sun และคณะ (2015) ได้ศึกษาสารระเหยที่ปล่อยออกมาจากโกลฐจุฬาลัมพา และเบญจมาศต่อการเข้าทำลายของเพลี้ยอ่อน ผลการทดลองพบว่า เพลี้ยอ่อนชอบกลิ่นของเบญจมาศในขณะที่โกลฐจุฬาลัมพามีแนวโน้มที่ถูกเพลี้ยอ่อนรบกวนน้อยกว่าเบญจมาศ และการวิเคราะห์สารระเหยด้วยเทคนิค GC-MS พบสารระเหย artemisia ketone เพิ่มขึ้นอย่างมากในโกลฐจุฬาลัมพาเมื่อเปรียบเทียบกับเบญจมาศ โดยโกลฐจุฬาลัมพาอาจขับไล่เพลี้ยโดยการเพิ่มการปล่อยสารระเหย artemisia ketone ดังนั้นสารระเหยจากโกลฐจุฬาลัมพาอาจจะมีคุณสมบัติที่มีศักยภาพในการต้านทานเพลี้ยอ่อน 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)

สารระเหยจากต้นข้าวที่ถูกกระตุ้นให้ผลิตเพิ่มขึ้นหลังถูกเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลายในข้าวเปรียบเทียบกับก่อนและหลังถูกเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย

สารระเหยจากต้นข้าวที่ถูกกระตุ้นให้ผลิตเพิ่มขึ้นหลังถูกเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลายในข้าวเปรียบเทียบกับก่อนถูกเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลายพบสารระเหยดังต่อไปนี้

methyl jasmonate ที่พบเพิ่มขึ้นในทุกกรรมวิธีนั้นมีบทบาทสำคัญในการป้องกันพืชจากแมลง (Yu et al., 2018) ต่อด้านเชื้อรา และแมลงศัตรูพืช (Puentes et al., 2021) เช่น เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล (Ye, Miaofen et al., 2021) ตั๊กแตนข้าว (Kraus et al., 2019) และยังส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช (Li et al., 2018) งานวิจัยของ Saba และคณะ (2015) ศึกษาสารสกัดจากพืช 3 ชนิด คือ *Artemisia afra*, *Agave attenuata* และ *Zanthoxylum capense* เป็นพืชที่มีสารประกอบออกฤทธิ์ทางชีวภาพทำหน้าที่ป้องกันและกำจัดเพลี้ยอ่อนในข้าวสาลี ด้วยเทคนิค GC-MS พบสารระเหย methyl jasmonate ที่คาดว่าจะมีคุณสมบัติในการขับไล่เพลี้ย ในงานวิจัยของ Rahnamaie-Tajadod และคณะ (2019) พบว่าการพ่นใบผักแพวด้วย Methyl jasmonate พบว่าการผลิตสารระเหยในผักแพวเพิ่มขึ้น และงานวิจัยของ Bhavanam และคณะ (2021) พบว่าการพ่นสารละลายกรดจัสโมนิก (JA) และเมทิลจัสโมนेट (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) ช่วยยับยั้งการสืบพันธุ์และลดจำนวนไข่ของเพลี้ย (Donovan et

al., 2013 : Babikova et al., 2013 : Guo et al., 2018) งานวิจัยของ Chilawal และคณะ (2017) ศึกษาน้ำมันหอมระเหยจากโป๊ยกั๊ก (*Illicium verum*) และต้นเปล้า (*Croton anisatum*) โดยพบ สารระเหย *trans-anethole* และ *methyl salicylate* ที่มีความสามารถช่วยขับไล่และขัดขวางการวางไข่ของด้วงถั่ว (*Collosobruchus 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 hexadecanal และ Octadecanal สำหรับป้องกันแมลงศัตรูพืชในข้าว 4 ชนิด คือ *C. suppressalis*, *S. incertulas*, *Mythimna separate*, และ *H. armigera* โดยพบว่าสารระเหยดังกล่าวสามารถลดการตั้งตูดแมลงและยับยั้งการสืบพันธุ์ของแมลงได้

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

การทดสอบความเสียหายของต้นข้าวในแต่ละกรรมวิธี หลังถูกเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย ในข้าวระยะกล้าและระยะแตกกอ

จากการทดสอบความเสียหายของต้นข้าวในระยะกล้าและระยะแตกกอที่ได้รับสารละลายไโคโตซานที่และสารละลายเมทิลจัสโมเนตที่มีความเข้มข้นที่แตกต่างกัน และจัดอยู่ในระดับความต้านทาน MR ในขณะที่ชุดควบคุมข้าวระยะกล้า และระยะแตกกอจัดอยู่ในระดับความต้านทาน HS และ S ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าข้าวที่ได้รับสารละลายไโคโตซานสามารถป้องกันเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลได้ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่รายงานว่าสารละลายไโคโตซานและสารละลายเมทิลจัสโมเนตสามารถกระตุ้นให้ผลิตสารระเหยรวมได้มากกว่ากลุ่มควบคุม และหลังจากเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย พบว่ายิ่งกระตุ้นให้ผลิตสารระเหยที่มีฤทธิ์ป้องกันตนเองของพืชได้มากขึ้นในกรรมวิธีที่ได้รับสารละลายไโคโตซานที่และสารละลายเมทิลจัสโมเนต ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการวิจัย ที่พบว่าเปอร์เซ็นต์ของการเข้าทำลายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในข้าวลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมถึง 35.15, 24.7 และ 30.55% หลังจากได้รับสารละลายไโคโตซานที่มีความเข้มข้น 50, 70 และ 100 ppm ตามลำดับ นอกจากนี้ Van และคณะ (2013) พบว่าต้นข้าวในระยะกล้าและระยะแตกกอที่ได้รับสารละลายเมทิลจัสโมเนตที่มีความเข้มข้น 1, 2.5, 5 mM มีคะแนนความเสียหายของต้นข้าวน้อยที่สุด จัดอยู่ในระดับความต้านทาน MR ในขณะที่ชุดควบคุมข้าวระยะกล้า และระยะแตกกอจัดอยู่ในระดับความต้านทาน HS และ S ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าข้าวที่ได้รับสารละลายเมทิลจัสโมเนตสามารถป้องกันเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลได้ สอดคล้องกับรายงานการวิจัยของ Senthil และคณะ (2009) ที่ทำการศึกษาสารระเหยที่ข้าวปลดปล่อยออกมาเพื่อป้องกันตนเอง โดยใช้กรดจัสโมนิกทางการค้าผ่านทางใบ 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

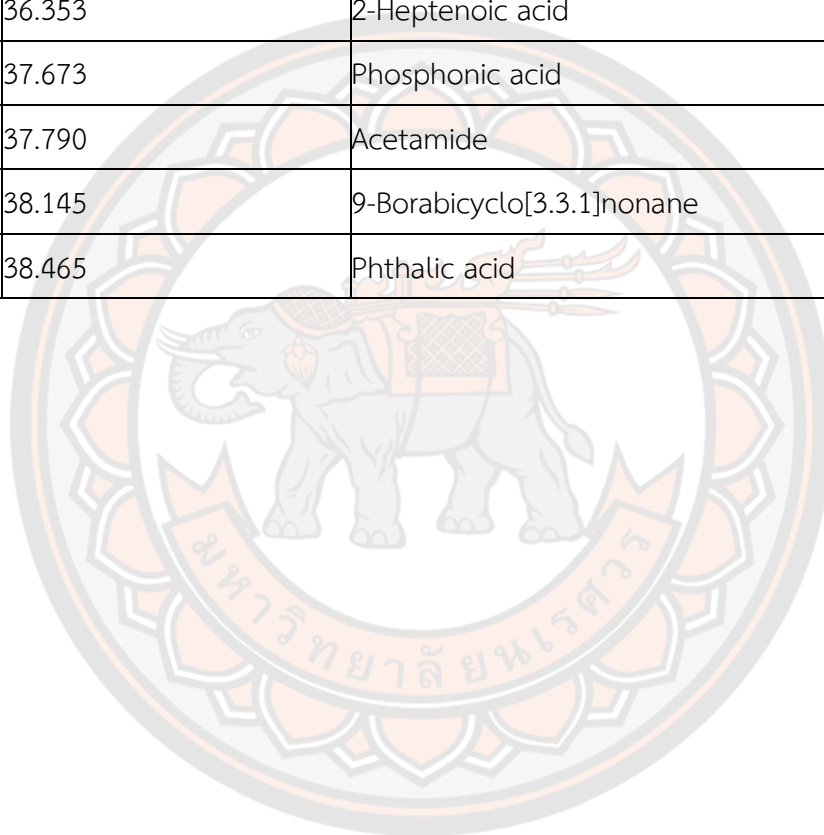
ตาราง 9 สารระเหยจากต้นข้าวในแต่ละกรรมวิธีหลังถูกเพลิงกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลายในข้าวระยะกล้า หลังจากวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-MS/MS

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



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	-	-	-	+	+	+	+	+



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 nematocide 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 *Ustilagoideae 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., Dewhurst, 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-Proañó, A. R., Ramirez-Villacis, D. X., Garcés-Carrera, S., & Leon-Reyes, A. Methyl jasmonate-induced resistance to *Delia platura* (Diptera: Anthomyiidae) 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* (Bignoniaceae)." *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 malorteanus* 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., Elbeherly, 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., Baltacı, C., Ücüncü, O., & Karatas, S. M. "Determination of antimicrobial and 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.

Petterson 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. *Songklanakarinn 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 $\alpha 4$ and $\alpha 5$ 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 five Ethiopian 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., Zulkrin, 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. Jagajjani, 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* (Guenée)(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 science* 75.3 (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 *Croton macrostachyus*. *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 *Osl-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 *Platyclusus 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.

