การเปรียบเทียบศักยภาพการกำจัดมอดด้วงงวงข้าวด้วยความร้อนและความเย็น

A COMPARISON OF RICE WEEVIL DISINFESTATION POTENTIAL BY HEAT AND COLD TREATMENTS

ปิยภรณ์ นาวาผล

PIYAPORN NAVAPHON

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเกษตร
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2561

KMITL-2018-EN-M-100-065

การเปรียบเทียบศักยภาพการกำจัดมอดด้วงงวงข้าวด้วยความร้อนและความเย็น

A COMPARISON OF RICE WEEVIL DISINFESTATION POTENTIAL

BY HEAT AND COLD TREATMENTS

ปิยภรณ์ นาวาผล

PIYAPORN NAVAPHON

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2561

KMITL-2018-EN-M-100-065

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A COMPARISON OF RICE WEEVIL DISINFESTATION POTENTIAL BY HEAT AND COLD TREATMENTS

PIYAPORN NAVAPHON

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF ENGINEERING IN AGRICULTURAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2018

KMITL-2018-EN-M-100-065

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2018

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การเปรียบเทียบศักยภาพการกำจัดมอดด้วงงวงข้าวด้วยความร้อนและความเย็น

Thesis Title A Comparison of Rice Weevil Disinfestation Potential by Heat and Cold Treatments

นักศึกษา นางสาวปิยภรณ์ นาวาผล

รหัสประจำตัว 59601290

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมเกษตร

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.ประสันต์ ชุ่มใจหาญ

หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2018-EN-M-100-065

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.วัชรพล	ชยประเสริฐ	
ดร.วันพุทธ	แซ่ฉั่ว	
ผศ.ดร.จิราพร	ศรีภิญโญวณิชย์ จงยิ่งเจริญ	
รศ.ดร.ปานมนัส	ศิริสมบูรณ์	
ผศ.ดร.ประสันต์	ชุ่มใจหาญ	

วัน / เดือน/ ปี ที่สอบ วันจันทร์ที่ 11 มิถุนายน พ.ศ. 2561 เวลา 09.00-11.00 น.

สถานที่สอบ ณ ห้อง CCA 302 อาคาร CCA

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 11 มิถุนายน พ.ศ. 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเปรียบเทียบศักยภาพการกำจัดมอดด้วงงวงข้าวด้วยความร้อนและความเย็น
นักศึกษา	นางสาว ปิยภรณ์ นาวาผล
รหัสประจำตัว	59601290
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเกษตร
พ.ศ.	2561
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.ประสันต์ ชุ่มใจหาญ

บทคัดย่อ

แมลงในโรงเก็บนับเป็นปัญหาหลักสำหรับข้าวสารที่รอการจัดจำหน่าย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาแนวทางแก้ปัญหาโดยใช้ควบคุมอุณหภูมิของอากาศเพื่อยับยั้งปริมาณการเจริญเติบโตของด้วงงวงข้าว และเพื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การกำจัดด้วงงวงข้าว ซึ่งมี 4 ปัจจัยที่ควบคุม คือ (1)วิธีการให้อุณหภูมิ 3 แบบ (ตู้อบลมร้อน (HA), หลอดอินฟราเรด (IR) และเครื่องทำความเย็น (FR) (2)การควบคุมอุณหภูมิ 4 ระดับ (สำหรับ HA และ IR) ควบคุมอุณหภูมิที่ 60 70 80 และ 90 องศาเซลเซียส สำหรับ FR ควบคุมอุณหภูมิที่ -10 -5 0 และ 5 องศาเซลเซียส ตามลำดับ) (3)ระยะเวลาการให้อุณหภูมิ 3 ช่วง (10 20 และ 30 min) และ (4)วัยเจริญเติบโต 4 ช่วงอายุ (ระยะไข่ ระยะหนอน ระยะดักแด้ และตัวเต็มวัย) ผลการทดลองพบว่าความร้อนและความเย็นส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การกำจัดของด้วงงวงข้าวสูงขึ้น การให้ความร้อนด้วย HA มีประสิทธิภาพการกำจัดด้วงงวงข้าวโดยรวมได้ดีที่สุด รองลงมาคือ IR และ FR เท่ากับ 77.5, 61.91 และ 32.79 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับ HA และ IR ปัจจัยระดับอุณหภูมิและระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การกำจัดสูงขึ้นตามไปด้วย ความร้อนกับความเย็นส่งผลกระทบต่อการผสมพันธุ์และวางไข่ให้มีค่าลดลงจาก 106 เปอร์เซ็นต์ เป็น 97.33, 72.00 และ 54.67 เปอร์เซ็นต์ สำหรับ FR HA และ IR ตามลำดับ นอกจากนี้ความร้อนที่เพิ่มสูงขึ้นส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์การแตกหักเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ค่าความขาวของเมล็ดไม่มีความแตกต่าง ส่วนค่าความชื้นของเมล็ดข้าวหอมมะลิลดลงเล็กน้อยเฉพาะการให้ความร้อน ต้นทุนพลังงานที่ใช้สำหรับการจัดการด้วยความร้อนต่ำกว่าการจัดการด้วยทำความเย็น

คำสำคัญ: ด้วงงวงข้าว, ข้าวหอมมะลิ, การกำจัด, ความร้อน, ความเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	A Comparison of Rice Weevil Disinfestation Potential By Heat and Cold Treatments
Student	Miss Piyaporn Navaphon
Student ID.	59601290
Degree	Master of Engineering
Program	Agricultural Engineering
Year	2018
Thesis Advisor	Asst.Dr.Prasan Choomjaihan

Abstract

The rice deterioration caused from insects has played the important roles in rice storage. This research was then focused on solving this problem by controlling the surrounding temperature to prevent the growth of rice weevil. The percentages of rice weevil mortality with different treated conditions were also compared. There were four control conditions which were 1) Type of generated temperature sources (hot air oven (HA), infrared radiation (IR) and freezer (FR)) , 2) Temperature level (60, 70, 80, and 90 °C were for HA and IR, as well as -10, -5, 0, and 5 °C were for FR), 3) Exposure time (10, 20 and 30 min), and 4) Growth stage of rice weevil (egg, larva, pupal and adult). The results showed that both heating and cooling increased the mortality rate of rice weevil. Using HA, IR and FR gave mortalities rate of 77.5, 61.91 and 21.79%, respectively. Increasing of the temperature and exposure time of HA and IR increased the mortality rate. Applying heat and cold treatments decreased the breeding for next generation from 106% to 97.33, to 72.00 and to 54.67% for FR, HA and IR, respectively. Furthermore, the increasing of temperature slightly increased the percentage of broken kernel; on the other hand, it did not change the whiteness of rice kernel. The moisture content of rice kernel is slightly decreased only by increasing of temperature from heating process (HA and IR). Additionally, the energy consumption of HA and IR treatments required less energy consumption than FR treatment.

Keywords : Sitophilus oryzae, Hommali rice, Eradicate, Heat, Cold

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สำหรับทุนวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบคุณ ผศ.ดร.ประสันต์ ชุ่มใจหาญ อาจารย์ที่ปรึกษาที่คอยให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำอย่างดี และ ผศ.ดร.อำมร อินทร์สังข์ อาจารย์สังกัดคณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สำหรับคำแนะนำในการเพาะเลี้ยงและวิธีจัดการกับด้วงงวงข้าว

ปิยภรณ์ นาวาผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ..... I

Abstract..... II

กิตติกรรมประกาศ..... III

สารบัญ..... IV

สารบัญตาราง..... V

สารบัญรูป..... VI

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 ที่มาและความสำคัญ..... 1

1.2 วัตถุประสงค์..... 2

1.3 สมมตฐาน..... 3

1.4 ขอบเขตการศึกษา..... 3

1.5 ประโยชน์ที่จะได้รับ..... 3

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 ความสำคัญข้าวต่อเศรษฐกิจของประเทศไทย..... 4

2.2 ปัญหาแมลงโรงเก็บในประเทศไทย..... 11

2.3 แนวทางการควบคุมแมลงในโรงเก็บ..... 19

2.4 อิทธิพลของอุณหภูมิและความชื้นต่อด้วงงวงข้าวและข้าวหอมมะลิ..... 28

บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย..... 36

3.1 การเตรียมวัสดุอุปกรณ์ และหน่วยทดลอง..... 38

3.2 การกำจัดด้วงงวงข้าวด้วยการปรับเปลี่ยนสภาวะอุณหภูมิ..... 40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเบื้องต้นของเมล็ดข้าวหอมมะลิหลังผ่านกระบวนการความร้อนและความเย็น....45

3.4 การศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิต่อการเจริญวัยของด้วงงวงข้าวในรุ่นถัดไป....46

3.5 การศึกษาต้นทุนพลังงานของการให้ความร้อนและควาเย็น.... 47

บทที่4 ผลการทดลอง....48

4.1 ผลการทดลองการกำจัดด้วงงวงข้าวด้วยการปรับเปลี่ยนสภาวะอุณหภูมิ.... 48

4.2 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อการผสมพันธุ์และวางไข่....65

4.3 ผลการทดลองตรวจสอบคุณภาพข้าวก่อนและหลังการให้ความร้อน.... 66

4.4 ต้นทุนกำลังไฟฟ้าของการให้ความร้อนและความเย็น....71

4.5 แนวทางการประยุกต์ใช้....71

บทที่5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ....72

5.1 สรุปผลการทดลอง....72

5.2 ข้อเสนอแนะ....73

บรรณานุกรม....74

ภาคผนวก....78

ภาคผนวก ก รูปภาพที่ใช้ในการทดลอง....79

ภาคผนวก ข ข้อมูลการวิเคราะห์ทางสถิติ.... 82

ภาคผนวก ค ประวัติผู้วิจัย.... 115

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ค่าความเข้มข้นของเมทิลโบรไมด์ที่เป็นอันตราย..... 20

2.2 ความถี่และความยาวคลื่นของรังสีประเภทต่างๆ..... 24

3.1 ตัวอย่างการเรียงลำดับการทดลอง..... 41

4.1 การกำจัดด้วงงวงข้าวด้วยความร้อนโดยวิธีการตู้อบลมร้อน.....53

4.2 การกำจัดด้วงงวงข้าวด้วยความร้อนโดยวิธีการหลอดรังสีอินฟราเรด..... 60

4.3 การแตกหักของเมล็ดข้าวก่อนการเปลี่ยนแปลง..... 66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 โครงสร้างและส่วนประกอบของเมล็ดข้าว 6

2.2 ด้วงงวงข้าวหรือมอดข้าวสาร 12

2.3 วงจรชีวิตของด้วงงวงข้าว 13

2.4 แสดงขอบเขตของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่การเจริญเติบโตของแมลงศัตรูในโรง 34

3.1 แผนผังการทดลอง 37

3.2 การเจาะฝากล่องเลี้ยงแมลง 38

3.3 โหลแก้วเจาะฝา ปิดด้วยตาข่ายละเอียด 38

3.4 รูประยะเวลาการเจริญเติบโตของด้วงงวงข้าว ระยะไข่ถึงตัวเต็มวัย 40

3.5 การให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน 42

3.6 การให้ความร้อนด้วยหลอดรังสีอินฟราเรด 42

3.7 เครื่องทำความเย็น 43

3.8 แผนผังการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิต่อการเจริญวัยของด้วงงวงข้าวในรุ่นถัดไป 46

4.1 การกำจัดด้วงงวงข้าวระยะไข่ ด้วยความร้อนจากตู้อบลมร้อน 49

4.2 การกำจัดด้วงงวงข้าวระยะหนอน ด้วยความร้อนจากตู้อบลมร้อน 50

4.3 การกำจัดด้วงงวงข้าวระยะดักแด้ด้วยความร้อนจากตู้อบลมร้อน 51

4.4 การกำจัดด้วงงวงข้าวระยะตัวเต็มวัย ด้วยความร้อนจากตู้อบลมร้อน 52

4.5 การกำจัดด้วงงวงข้าวด้วยตู้อบลมร้อน 54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.6 การกำจัดด้วงงวงข้าวระยะไข่ ด้วยความร้อนจากหลอดอินฟราเรด.....55

4.7 การกำจัดด้วงงวงข้าวระยะหนอน ด้วยความร้อนจากหลอดอินฟราเรด.....56

4.8 การกำจัดด้วงงวงข้าวระยะดักแด้ด้วยความร้อนจากหลอดอินฟราเรด.....57

4.9 การกำจัดด้วงงวงข้าวระยะตัวเต็มวัย ด้วยความร้อนจากหลอดอินฟราเรด.....58

4.10 การกำจัดด้วงงวงข้าวด้วยหลอดอินฟราเรด.....59

4.11 การกำจัดด้วงงวงข้าวระยะไข่ ด้วยความเย็น.....61

4.12 การกำจัดด้วงงวงข้าวระยะหนอน ด้วยความเย็น.....61

4.13 การกำจัดด้วงงวงข้าวระยะดักแด้ ด้วยความเย็น.....62

4.14 การกำจัดด้วงงวงข้าวระยะตัวเต็มวัย ด้วยความเย็น.....63

4.15 การกำจัดด้วงงวงข้าวด้วยความเย็น.....64

4.16 การเปลี่ยนแปลงปริมาณการสืบพันธุ์หลังจากได้รับอุณหภูมิ.....65

4.17 การเปรียบเทียบคุณภาพการแตกหักข้าวสารก่อนและหลังการเปลี่ยนอุณหภูมิ..... .68

4.18 การเปลี่ยนแปลงค่าความขาวของข้าวหอมมะลิก่อนและหลังผ่ากระบวนการ..... 69

4.19 ความชื้นของข้าวสารหลังผ่านกระบวนการให้ความร้อน..... 70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ประเทศไทยเป็นหนึ่งในประเทศที่มีสภาพดินฟ้าอากาศเหมาะแก่การเกษตรกรรม ทั้งด้านการเพาะปลูกพืชต่างๆ สินค้าเกษตรจึงเป็นสินค้าส่งออกสำคัญของประเทศ โดยหนึ่งในมูลค่าสินค้าส่งออกที่สำคัญ ได้แก่ ข้าว (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2560) เป็นที่ทราบว่า ข้าวหอมมะลิ เป็นข้าวสายพันธุ์ที่มีถิ่นกำเนิดจากประเทศไทย ซึ่งประเทศไทยถือเป็นแหล่งผลิตข้าวหอมมะลิที่มีคุณภาพดีที่สุดแห่งหนึ่ง การส่งออกข้าวหอมมะลิจึง จำเป็นต้องมีการควบคุมมาตรฐานด้านการผลิต ให้เป็นที่ยอมรับตามมาตรฐานสินค้าเกษตร ข้าวหอมมะลิไทย มกษ 4000-2560 เพื่อไม่ให้ส่งผลกระทบต่อการขายและราคาขายของข้าว การใส่ใจตั้งแต่กระบวนการเก็บรักษาคุณภาพก่อนการส่งออกหรือจำหน่ายจึงมีความจำเป็น

การเก็บรักษาสภาพความเสียหายของเมล็ดข้าวนั้นเริ่มตั้งแต่ในระหว่างการกระบวนการเก็บเกี่ยว หลังการเก็บเกี่ยวจนถึงระยะการจัดเก็บข้าวสารเพื่อรอการจัดจำหน่าย โดยรวมพบความเสียหายทั้งด้านปริมาณของเมล็ดที่สูญหายและคุณภาพเมล็ดที่เปลี่ยนไปหลังจากการเก็บรักษาเป็นช่วงเวลาหนึ่ง โดยเฉพาะแมลงในโรงเก็บ (นิภาพร บุญชอบ, 2558) ซึ่งจะส่งผลต่อเนื่องมาถึงคุณภาพเกิดข้าวเมล็ดเหลือง กลิ่นเหม็นอับ และมีสิ่งสกปรกเจือปนมาก จากปัญหาดังกล่าว พบว่า 31.5 เปอร์เซ็นต์ เป็นปริมาณความเสียหายที่เกิดจากแมลงศัตรูข้าว (วีรวุฒิ กตัญญูกุล, 2526) โดย มอดข้าวสาร หรือ ด้วงงวงข้าว เป็นหนึ่งในแมลงศัตรูหลักของข้าว ในอดีตวิธีการควบคุมแมลงนิยมใช้สารเคมีในการรมยาเพื่อกำจัดแมลง เนื่องจากง่ายต่อการใช้งาน แต่กลับพบว่ามีปริมาณสารพิษตกค้างบนข้าว นอกจากนี้พบว่าผลของการใช้สารเคมีในการกำจัดแมลงทำให้เกิดผลเสียหายติดตามมาหลายประการเช่นก่อให้เกิดการดื้อและมีความต้านทานต่อสารเคมีของแมลงศัตรูพืชบางชนิด และก่อให้เกิดการระบาดเพิ่มมากขึ้นของแมลง แม้ว่าวิธีดังกล่าวถึงจะมีความสะดวกในการใช้งาน และราคาประหยัด แต่ในปัจจุบันความใส่ใจต่อสุขภาพ และความปลอดภัยของมนุษย์มากยิ่งขึ้น แนวทางการกำจัดแมลงโดยวิธีอื่นๆ จึงได้รับความสนใจเพิ่มขึ้นตามลำดับ ปัจจุบัน การศึกษาแนวทางการกำจัดด้วงงวงข้าว มีอยู่ด้วยกันหลายวิธี อุณหภูมิเป็นหนึ่งในแนวคิดที่น่าสนใจ เนื่องจากเป็นวิธีสะอาดและปลอดภัย จากการศึกษาพบว่าอุณหภูมิที่ไม่เหมาะสมส่งผลกระทบต่อวงจรชีวิตแมลง ไม่ว่าแมลงจะอยู่จุดไหนของวงจรชีวิตก็ตาม (Dent, 2000)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งอุณหภูมิสูงส่งผลให้ปฏิกิริยาเคมีต่างๆในสิ่งมีชีวิตเกิดได้เร็วขึ้น นอกจากนั้นอุณหภูมิที่สูงเกินไปทำให้โปรตีนแปลงสภาพ ทำให้เอนไซม์ในปฏิกิริยาต่างๆซึ่งเป็นโปรตีนอย่างหนึ่งไม่สามารถทำงานได้ตามปกติ ส่งผลให้มีสิ่งมีชีวิตหยุดการเจริญเติบโต และอาจถึงตายได้ (พรทิพย์ วิสารทานนท์ และคณะ , 2548) สำหรับอุณหภูมิต่ำ มีผลกระทบทั้งทางกายภาพและชีวภาพของแมลง หากอุณหภูมิต่ำหรืออากาศเย็นต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของน้ำ จะส่งผลให้เซลล์ประสาทแห้งและทำลายสารเคมีภายในตัวสิ่งมีชีวิตจนถึงขั้นเสียชีวิตได้ (Sinclair Et, al , 2003) โดยที่อุณหภูมิต่ำกว่า 25 องศาเซลเซียส จะทำให้ด้วงงวงข้าวหยุดการเคลื่อนที่และตายเมื่ออยู่ภายใต้อุณหภูมิที่ต่ำกว่า 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลานานกว่า 1 สัปดาห์ (Fields, 1992) เป็นต้น

งานวิจัยนี้จึงศึกษาถึงวิธีการกำจัดด้วงงวงข้าวโดยปรับเปลี่ยนวิธีการให้อุณหภูมิ 3 รูปแบบ ได้แก่ การให้ความเย็นด้วยเครื่องทำความเย็น การให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน และการให้ความร้อนด้วยหลอดรังสีอินฟราเรด นอกจากนี้ หากมองว่าด้วงงวงข้าว ในวัยต่างๆ (ไข่ หนอน ดักแด้ และตัวเต็มวัย) ขนาดตัว น้ำหนัก การเคลื่อนที่ ย่อมส่งผลต่อระยะเวลาการเสียชีวิต เพื่อให้งานวิจัยมีความแม่นยำ จึงศึกษาการเสียชีวิตของด้วงงวงข้าวที่ระยะต่างๆ เพื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิ และวิธีการ ที่แตกต่างกันต่อการกำจัดด้วงงวงข้าว และการเจริญวัยของด้วงงวงข้าวในรุ่นถัดไป รวมถึงศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิ และวิธีการ ที่แตกต่างกันในการกำจัดด้วงงวงข้าว ต่อคุณภาพข้าวหอมมะลิ

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาอิทธิพลของวิธีการเพิ่มหรือลดอุณหภูมิด้วยรังสีอินฟราเรด ตู้อบลมร้อน และเครื่องทำความเย็น ต่อการกำจัดด้วงงวงข้าว

2. ศึกษาอิทธิพลของวิธีการเพิ่มหรือลดอุณหภูมิด้วยรังสีอินฟราเรด ตู้อบลมร้อน และเครื่องทำความเย็น ต่อการเจริญวัยของด้วงงวงข้าวในรุ่นถัดไป

3. ศึกษาอิทธิพลของวิธีการเพิ่มหรือลดอุณหภูมิด้วยรังสีอินฟราเรด ตู้อบลมร้อน และเครื่องทำความเย็น ต่อคุณภาพข้าวหอมมะลิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

การเพิ่มหรือลดอุณหภูมิและวิธีการให้หรือดึงความร้อนที่แตกต่างกันส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์การกำจัดด้วงงวงข้าวแตกต่างกัน อย่างไรก็ตามอุณหภูมิสามารถกำจัดด้วงงวงข้าวได้อย่างมีนัยสำคัญ เมล็ดข้าวที่ผ่านอุณหภูมิส่งผลต่อคุณภาพเมล็ดข้าวเล็กน้อย

1.4 ขอบเขตการศึกษา

1. ศึกษาการตอบสนองของด้วงงวงข้าว ที่เจริญเติบโตในข้าวสารพันธุ์หอมมะลิ ต่อสภาวะอุณหภูมิสูงโดยวิธีตู้อบลมร้อนและหลอดรังสีอินฟราเรด
2. ศึกษาการตอบสนองของด้วงงวงข้าว ที่เจริญเติบโตในข้าวสารพันธุ์หอมมะลิ ต่อสภาวะอุณหภูมิต่ำโดยวิธีตู้ควบคุมอุณหภูมิ
3. ศึกษาตรวจสอบคุณภาพข้าวสารพันธุ์หอมมะลิ โดยใช้ตัวชี้วัด 3 ชนิด ได้แก่ ความขาวของเมล็ด ความชื้น และ เปอร์เซ็นต์การแตกหัก

1.5 ขั้นตอนของการศึกษา

ขั้นตอนดำเนินงาน	เดือนที่									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. ศึกษาข้อมูลต่างๆที่เกี่ยวข้อง	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
2. ออกแบบการทดลอง		*	*							
3. เตรียมอุปกรณ์(เพาะพันธุ์แมลง)			*	*	*	*	*			
4. สร้างอุปกรณ์การทดลอง			*	*	*					
5. ทดลองและบันทึกผลการทดลอง					*	*				
6. วิเคราะห์ข้อมูล						*	*	*		
7.จัดทำรูปเล่ม และนำเสนอเพื่อเผยแพร่โครงการวิจัย							*	*	*	*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความสำคัญข้าวต่อเศรษฐกิจของประเทศไทย

ประเทศไทยเป็นหนึ่งในประเทศที่มีสภาพดินฟ้าอากาศเหมาะแก่การเกษตรกรรม ทั้งด้านการเพาะปลูกพืชต่างๆ และการเลี้ยงสัตว์เพื่อการอุปโภคบริโภค ดังนั้นสินค้าทางการเกษตรหลายชนิดจึงเป็นสินค้าส่งออกที่ทำรายได้สำคัญของประเทศ ส่งผลให้ปริมาณการส่งออกสินค้าภาคเกษตรมีปริมาณการขยายตัวสูงอย่างต่อเนื่อง ตามการขยายตัวของผลผลิตสินค้าเกษตร (สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2560) โดยมูลค่าสินค้าเกษตรส่งออกที่สำคัญในปี พ.ศ.2559-2560 ที่ผ่านมา ได้แก่ ยางพาราอันดับ 1 ถัดมา คือข้าวและผลิตภัณฑ์ ผลไม้ ปลา ผลิตภัณฑ์จากเนื้อไก่ และมันสำปะหลัง ตามลำดับ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2560) โดยเฉพาะข้าวที่เป็นสินค้าการเกษตรที่ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตและส่งออกสำคัญของโลก (สำนักงานมาตรฐานเกษตรและอาหารแห่งชาติ,2556) และ เป็นหนึ่งใน รายได้หลักจากการส่งออกของประเทศไทย (สิริวัฒน์ วงษ์ศิริ, 2526) ในตลาดการค้าข้าวของประเทศไทยนั้น การส่งออกข้าวหอมมะลิไทยเฉลี่ยปีละ 1.4 ล้านตัน โดยในปี 2559 และตลาดส่งออกสำคัญได้แก่ สหรัฐอเมริกา ฮ่องกง จีน สิงคโปร์ และแคนาดา อีกทั้งไทยยังสามารถครองส่วนแบ่งตลาดข้าวเป็นอันดับหนึ่งในหลายประเทศ เช่น ฮ่องกงนำเข้าข้าวไทย ในปี 2559 (ม.ค.-ก.ย.) ปริมาณ 1.5 แสนตัน เพิ่มขึ้นจากช่วงเดียวกันของปีที่ผ่านมาที่มีปริมาณ 1.41 แสนตัน หรือเพิ่มขึ้น 3.77 เปอร์เซ็นต์ และมีสัดส่วนการตลาดเป็นอันดับหนึ่งที่ 59 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณนำเข้าทั้งหมด (อภิรดี ตันตราภรณ์, หนังสือพิมพ์ผู้จัดการ, 2559)

อย่างไรก็ตามสถานการณ์ส่งออกข้าวของประเทศไทยในหลายปีที่ผ่านมามีมูลค่าลดลง เนื่องจากประเทศต่างๆเริ่มพัฒนาและขยายการส่งออกข้าวเป็นคู่แข่ง แต่เมื่อไม่นานมานี้ประเทศไทยได้กลับมาครองอันดับหนึ่งและมีแนวโน้มการส่งออกที่ดีขึ้นและกลับมาเป็นผู้นำด้านการส่งออกอีกครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 ข้าวหอมมะลิ ข้าวที่ได้รับความนิยมในประเทศไทย

ข้าวหอมมะลิ เป็นที่ทราบว่าเป็นสายพันธุ์ที่มีถิ่นกำเนิดจากประเทศไทย ซึ่งประเทศไทยถือเป็นแหล่งผลิตข้าวหอมมะลิที่มีคุณภาพดีที่สุดแห่งหนึ่ง

ข้าวหอมมะลิ เป็นข้าวที่มีคุณภาพเมล็ดดีมาก ข้าวสารใส แกร่ง คุณภาพการขัดสีดี ข้าวสุกมีความนุ่มเหนียวและกลิ่นหอมเป็นเอกลักษณ์ น้ำหนักค่อนข้างเบาเก็บเกี่ยวได้เร็ว ทนต่อสภาพดินเปรี้ยวและดินเค็ม ทนแล้งได้ดีพอสมควร ปลูกได้ในพื้นที่ดอนและสภาพข้าวไร่ แต่มีข้อจำกัด คือ ไม่ต้านทานต่อโรคและแมลงศัตรูข้าวทุกชนิด (กิ่งแก้ว คุณเขต และคณะ,2553) ความหอมขณะหุงต้ม ซึ่งเป็นคุณสมบัติพิเศษที่แตกต่างจากข้าวชนิดอื่นๆ นอกจากนี้ข้าวหอมที่หุงแล้ว ยังมีลักษณะนุ่มเหนียว มียาง เกาะตัวกันพอสมควร มีรสชาติอร่อย ดังนั้นพื้นที่ในการเพาะปลูกจึงมีการกระจายตัวของพื้นที่จากข้อมูลปี 2533-2557 ไทยมีพื้นที่ปลูกข้าวเฉลี่ย 78.99 ล้านไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร) แม้ว่าจะมีพื้นที่เพาะปลูกข้าวค่อนข้างมากแต่ก็พบว่ามากกว่าร้อยละ 50 ของข้าวที่ผลิตในแต่ละปี ถูกใช้ภายในประเทศส่วนที่เหลือจึงนำส่งออก โดยเฉพาะข้าวหอมมะลิ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร) โดยลักษณะของข้าวหอมมะลิมีลักษณะที่ได้อธิบายเพิ่มเติมหัวข้อถัดไป

2.1.2 ลักษณะเฉพาะของข้าวหอมมะลิ

ข้าวขาวดอกมะลิ 105 หรือข้าวหอมมะลิเป็นข้าวเจ้าชนิดไวต่อช่วงแสงอย่างอ่อน ปลูกให้ผลดีในฤดูนาปี ความสูงถึงคอรวงเฉลี่ย 140-150 เซนติเมตร ความยาวจากคอรวงถึงปลายรวง เฉลี่ย 33 เซนติเมตร กอตั้ง ปล้องสีเหลืองอ่อน ลิ้นใบสีขาวรูปร่างแหลมมี 2 ยอด ใบค่อนข้างแห้งเร็ว น้ำหนักข้าวเปลือก 1000 เมล็ดหนักประมาณ 27.9 กรัม เมล็ดข้าวเปลือกยาว 10.4 มิลลิเมตร กว้าง 2.6 มิลลิเมตรและหนา 2.0 มิลลิเมตร เมล็ดข้าวรูปร่างเรียว ยาวประมาณ 7.5 มิลลิเมตร กว้าง 2.1 มิลลิเมตรและหนา 1.8 มิลลิเมตร ระยะพักตัวของเมล็ดประมาณ 8 สัปดาห์ ผลผลิตเฉลี่ย 51 กิโลกรัมต่อไร่ โดยพื้นที่เหมาะสมสำหรับการปลูกคือพื้นที่นาน้ำฝนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคเหนือ และภาคกลางบางพื้นที่ของประเทศไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.1 โครงสร้างและส่วนประกอบของเมล็ดข้าว

ที่มา http://www.medifoodsco.com/2016/04/ส่วนประกอบข้าว

โครงสร้างและส่วนประกอบของเมล็ดข้าว ประกอบด้วยชั้นนอกสุดเป็นแกลบ ปกป้องเมล็ดข้าวด้านใน มีสีน้ำตาล จำเป็นต้องผ่านกระบวนการกะเทาะเปลือก สีเอาชั้นแกลบออกก่อนนำมาบริโภค ชั้นถัดมาด้านในคือ รำข้าว เป็นส่วนที่มีสารอาหารสูงถึง 65 เปอร์เซ็นต์ ประกอบไปด้วยไขมัน โปรตีนและแร่ธาตุ ดังนั้นเราจึงไม่ควรขัดขาวเมล็ดมากเกินไป เพราะจะเป็นการลดคุณค่าทางสารอาหารที่เราควรได้รับ (เกสาวดี เชี่ยวชาญ, 2557) ส่วนสุดท้ายคือเมล็ดข้าวและจมูกข้าว ส่วนประกอบภายในเมล็ดข้าวหอมมะลิ มีแป้งชนิดอะมิโลส (amylose) เป็นส่วนประกอบหลัก โดยปกติจะมีอะมิโลสร้อยละ 16-18 ซึ่งส่งผลต่อความขาวของเมล็ดให้มีสีขาวขุ่น และนุ่มเมื่อหุงสุก (สมัคร ยิ่งยง, ลือชัย อารยะรังสฤษฎ์ และ สมทรง โชติชื่น, 2555)

2.1.3 การประเมินคุณภาพข้าวในการซื้อขาย

สำหรับเมล็ดข้าวก่อนการจำหน่าย จำเป็นต้องมีการประเมินคุณภาพเมล็ดก่อนเสมอ ในหัวข้อนี้จะแบ่งการตรวจสอบเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ได้แก่ การตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าวเพื่อจำหน่าย และ การตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าวเพื่อการส่งออก

2.1.3.1 การตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าวเพื่อจำหน่าย

เพื่อให้มีมาตรฐานที่ครอบคลุมสำหรับการพัฒนาคุณภาพความปลอดภัย และสร้างความน่าเชื่อถือให้เป็นที่ยอมรับมากขึ้นทั้งในประเทศและต่างประเทศและการค้าระหว่างประเทศ และคุ้มครองผู้บริโภค จึงมีการตั้งมาตรฐานสินค้าการเกษตรเรื่องข้าว โดยใช้ข้าวหอมมะลิตามมาตรฐาน มกษ.4000 (สำนักงานมาตรฐานเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2556) สำหรับการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรวจสอบคุณภาพข้าวสำหรับการซื้อขาย แบ่งออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่ (ศูนย์วิจัยการอารักขาข้าว, 2514) 1. คุณภาพทางกายภาพ 2.คุณภาพการสี 3.ความชื้น และ 4.ประเภทของข้าว โดยเฉพาะด้านความชื้นเนื่องจากเป็นสิ่งที่กำหนดราคาขายข้าว

1. ลักษณะทางกายภาพของข้าว

ในที่นี้หมายถึงรูปทรงขนาดเมล็ด ความใสขุ่นของเมล็ด รวมถึงสิ่งที่เจือปนอื่นๆ ประเมินโดยการกะเทาะ และขัดสีเพื่อประเมินสีข้าวกล้อง ท้องไข่

2. คุณภาพการสี

ประเมินจากเปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าว ปริมาณข้าวรวม ข้าวเต็มเมล็ด ต้นข้าว ข้าวหักขนาดต่างๆ และปลายข้าว ซึ่งผลการวัดจะส่งผลต่อราคาขาย หากมีคุณภาพที่ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานสำหรับโรงสีจะถูกตัดราคา

3. ความชื้น

มีบทบาทสำคัญในการกำหนดราคาข้าว ความชื้นของเมล็ดข้าวที่เหมาะสมสำหรับการจัดเก็บไม่ควรให้เกิน 13-15 เปอร์เซ็นต์ หากเมล็ดข้าวมีความชื้นสูงจะส่งผลให้ราคาต่ำลง เนื่องจากข้าวแห้งที่มี ความชื้นเหมาะสม สามารถทำการสีได้ โดยไม่ต้องนำมาลดความชื้นอีก แต่หากรับซื้อข้าวที่มีความชื้นสูง จำเป็นต้องเสียค่าใช้จ่ายในการลดความชื้น และสูญเสียน้ำหนักข้าวหลังการลดความชื้น ดังนั้น ข้าวที่มีความชื้นเกินกำหนดจึงถูกตัดราคา

4. ประเภทของข้าว

ข้าวในประเทศไทย มีหลากหลายชนิดสามารถแบ่งออกเป็น 4 ชนิด ได้แก่ ข้าวหอมมะลิ ข้าวเหนียว ข้าวขาว และข้าวเพื่อสุขภาพ ซึ่งราคาขายของข้าวแต่ละชนิดจะแตกต่างกันออกไป

2.1.3.2 การตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าวเพื่อการส่งออก

สินค้าเพื่อการค้าและส่งออกนอกประเทศเพื่อการควบคุมมาตรฐานด้านการผลิต ให้เป็นที่ยอมรับ จึงมีการจัดตั้งข้อกำหนดเพื่อเป็นสื่อกลาง เครื่องมือข้อตกลงกันที่เข้าใจร่วมกันระหว่างประเทศ สร้างความสะดวกและมั่นใจ รวมถึงความน่าเชื่อถือในคุณภาพสินค้านั้นๆ สินค้าเกษตร รวมถึงข้าว ก็เป็นหนึ่งในผลิตภัณฑ์ที่สำนักงานมาตรฐานสินค้า กรมการค้าต่างประเทศ กำหนดมาตรฐานการค้าส่งออกสำหรับข้าวหอมมะลิขึ้น (สำนักงานมาตรฐานสินค้า) ตามมาตรฐานสินค้าเกษตร ข้าวหอมมะลิไทย มกษ 4000-2560 ระบุข้อกำหนดทั่วไป ได้แก่ ข้าวหอมมะลิต้องมีความปลอดภัย และคุณภาพเหมาะสมต่อการบริโภค เมล็ดข้าวมีลักษณะปรากฏสม่ำเสมอและตรงตามพันธุ์ ไม่มีกลิ่นผิดปกติ เช่น เหม็นเปรี้ยว เหม็นหืน ระดับความชื้นเมล็ดข้าวไม่เกิน 14 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าการสลายเมล็ดข้าวในด่างอยู่ระดับ 6 ถึง 7 สำหรับการบรรจุหีบห่อต้องใช้วัสดุที่มีคุณภาพป้องกันการปนเปื้อน และข้าวสารจะต้องปราศจากแมลงและไรที่มีชีวิต แต่สำหรับข้าวเปลือกยอมรับให้มีสิ่งเจือปนได้ไม่เกิน 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ปริมาณสารพิษตกค้าง ได้มีการกำหนดชนิดและปริมาณสารพิษตกค้างบนข้าวให้เป็นไปตามข้อกำหนดในกฎหมายที่เกี่ยวข้อง และ มกษ.9002 มาตรฐานสินค้าการเกษตร เรื่องสารพิษตกค้าง : ปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุด และ มกษ.9003 – 2559 สินค้าเกษตร เรื่องสารพิษตกค้าง : ปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุดที่ปนเปื้อนจากสาเหตุที่ไม่อาจหลีกเลี่ยงได้ (สำนักงานมาตรฐานเกษตรและอาหารแห่งชาติ,2556) ยกตัวอย่าง ปริมาณสารพิษตกค้างบนเมล็ดข้าวสารสูงสุด 1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับด่านนำเข้า และไม่เกิน 0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับข้าวสารสำหรับการซื้อขายโดยตรงต่อผู้บริโภค หากไม่เป็นตามข้อกำหนด กรณีตรวจพบหลักจากได้บรรจุเข้าตู้คอนเทนเนอร์เพื่อรอการส่งออกเรียบร้อยแล้ว สินค้านั้นจะถูกระงับการส่งออกทันที (สำนักงานมาตรฐานสินค้า, 2559) และถูกส่งกลับเพื่อทำการปรับปรุงคุณภาพ รอการส่งออกในครั้งถัดไป โดยมีเกณฑ์พิจารณาดังต่อไปนี้

กรณีตรวจพบพบครั้งที่ 1 ภาคทัณฑ์

กรณีตรวจพบพบครั้งที่ 2 ระงับการใช้เครื่องหมายรับรอง เป็นระยะเวลา 3 เดือน

กรณีตรวจพบพบครั้งที่ 3 ระงับการใช้เครื่องหมายรับรอง เป็นระยะเวลา 1 ปี

กรณีตรวจพบพบครั้งที่ 4 เพิกถอนการอนุญาติใช้เครื่องหมายรับรอง

จะเห็นว่าหากเราไม่ตรวจสอบหรือควบคุมคุณภาพข้าวให้ตรงตามเกณฑ์มาตรฐานอาจจะส่งผลกระทบต่อการขาย และราคาขายของข้าว ดังที่กล่าวมาข้างต้น เราจึงควรใส่ใจตั้งแต่กระบวนการเก็บรักษาคุณภาพก่อนการส่งออก หรือจำหน่าย เพื่อเป็นการแก้ไขปัญหาจากต้นเหตุ

2.1.4 การเก็บรักษาสภาพข้าว

หลังจากการเก็บเกี่ยว ข้าวสารที่รอการจัดจำหน่ายจะถูกนำมาจัดเก็บ ซึ่งเป้าหมายหลัก คือชลอการเลื่อมคุณภาพของเมล็ดหรือควบคุมให้เกิดความเสียหายต่อเมล็ดข้าวน้อยที่สุด ทั้งจากด้านปริมาณและคุณภาพ จากหนู แมลง ความชื้นจากมูลสัตว์ ดังนั้นการสร้างสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของแมลงเป็นสิ่งสำคัญ รวมถึงสร้างสภาวะเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ และรักษาคุณภาพ ซึ่งโดยทั่วไปแบ่งการเก็บรักษาออกเป็น 4 วิธี ได้แก่ (จุฑามาส จงศิริ, 2556)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4.1 การเก็บในสภาพปกติ ได้แก่ การเก็บข้าวภายในไซโล โกดังขนาดใหญ่ ทำความสะอาดบริเวณรอบและจัดระเบียบภายในโรงเก็บเพื่อกำจัดสถานที่กำบังของแมลง วิธีการนี้เป็นที่นิยมเนื่องจากราคาต้นทุนการจัดการต่ำ อย่างไรก็ตาม มีโอกาสที่จะเกิดความเสียหายบนผลิตภัณฑ์ในขณะการเก็บรักษาสูง เนื่องจากไม่มีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเก็บ

2.1.4.2 การเก็บรักษาโดยการควบคุมอุณหภูมิ คือ การให้อุณหภูมิต่ำด้วยรูปแบบต่างๆ ตู้เย็น ตู้แช่ การเป่าลมเย็น เป็นต้น การเก็บในสภาวะนี้ช่วยลดการเจริญเติบโตของแมลง รวมถึงชะลอการสูญเสียคุณภาพเมล็ด

2.1.4.3 การเก็บรักษาโดยการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ คือ การเก็บรักษาข้าวให้ปราศจากการถ่ายเทของอากาศโดยรอบ เพื่อควบคุมความชื้นของเมล็ดไม่ให้เกิดการแลกเปลี่ยนระหว่างเมล็ดและบรรยากาศโดยรอบ แต่ไม่ควบคุมอุณหภูมิขณะเก็บรักษา ดังนั้นอุณหภูมิของเมล็ดก่อนนำเข้าภาชนะ จำเป็นต้องผ่านกระบวนการลดความชื้นให้อยู่ในเกฑ์มาตรฐาน หากค่าความชื้นเมล็ดสูงจะส่งผลกระทบต่อความชื้นสัมพัทธ์ภายในบรรจุภัณฑ์ และเกิดความเสียหายต่อคุณภาพข้าว หากความชื้นเมล็ดต่ำ ความชื้นสัมพัทธ์ก็จะต่ำเช่นกัน ในทางกลับกัน ความชื้นต่ำส่งผลดีต่อคุณภาพเมล็ดและระยะเวลาการเก็บรักษา

2.1.4.4 การเก็บรักษาโดยควบคุมอุณหภูมิร่วมกับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพป้องกันการลงทำลายและสูญเสียคุณภาพมากที่สุด เหมาะสำหรับงานวิจัยในระดับสูง หรือต้องการเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน ด้วยต้นทุน ค่าใช้จ่ายในการดูแลที่สูงและความละเอียดในการดำเนินงาน ยกตัวอย่าง การเก็บอนุรักษ์เชื้อพันธุ์ข้าวในธนาคารเชื้อพันธุ์ เมล็ดถูกเก็บในกระป๋องพลาสติกเพื่อควบคุมปริมาณอากาศ หลังจากนั้นนำเข้าห้องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

2.1.5 ปัญหาและความเสียหายที่พบในการเก็บรักษาสภาพข้าว

ความเสียหายของเมล็ดข้าวนั้นเริ่มตั้งแต่ในระหว่างการกระบวนการเก็บเกี่ยว หลังการเก็บเกี่ยวจนถึงระยะการจัดเก็บข้าวสารเพื่อรอการจัดจำหน่าย โดยรวมพบความเสียหายทั้งด้านปริมาณของเมล็ดที่สูญหายและคุณภาพเมล็ดที่เปลี่ยนไปหลังจากการเก็บรักษาเป็นช่วงเวลาหนึ่ง

ความสูญเสียในระยะการเกี่ยวนับเป็นปัญหามาจากสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศเป็นการสูญเสียด้านคุณภาพ ยกตัวอย่างเช่น การถูกนก หนู และแมลงลงทำลายขณะอยู่ในนา อีกทางหนึ่งคือ การสูญเสียด้านปริมาณจากการร่วงหล่นของเมล็ดในระหว่างกระบวนการเก็บเกี่ยว การเก็บเกี่ยวไม่หมด (นิภาพร บุญชอบ, 2558) พบการรายงานของ นายประสูติ และคณะ(2526 และ 2528) รายงานไว้ว่า ความสูญเสียข้าวในขั้นตอนการปฏิบัติงานนั้น มาจากหลายส่วน ประกอบด้วยกระบวนการเก็บ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกี่ยว 3.8 เปอร์เซ็นต์ การตาก-มัดฟ่อน 1.0 เปอร์เซ็นต์ การขนย้ายไปนวด 0.2 เปอร์เซ็นต์ การนวด 3.9 เปอร์เซ็นต์ การทำความสะอาด 1.7 เปอร์เซ็นต์ และในระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือก 5.0 เปอร์เซ็นต์มาจากแมลงศัตรูทั้งหลาย หลังจากการเก็บเกี่ยวเมื่อข้าวเข้าสู่กระบวนการกระเทาะเปลือก ขัดขาวเป็นข้าวสาร ในกระบวนการจัดเก็บรอการจัดจำหน่ายนั้น พบการสูญเสียข้าวในช่วงหลังการเก็บเกี่ยวเช่นกัน ปัญหาที่พบในโรงเก็บมาจากความชื้นของเมล็ดที่เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งความชื้นมีความสำคัญต่ออายุการเก็บรักษาและการลงทำลายของแมลง หากระยะเวลาและความชื้นเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้คุณภาพเมล็ดลดลง (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2526) เมื่อความชื้นของเมล็ดต่ำจะส่งผลให้คุณภาพเมล็ดสูงขึ้น นอกจากนี้อีกหนึ่งปัญหาที่สำคัญและเป็นปริมาณความเสียหายส่วนใหญ่ที่พบบนเมล็ดข้าวในระหว่างการเก็บรักษา คือ ปัญหาแมลงเข้าทำลายผลผลิต

จากปัญหาความเสียหายบนเมล็ดข้าวทั้งหมด พบว่าปริมาณความเสียหายที่เกิดจากแมลงศัตรูข้าวมีถึง 31.5 เปอร์เซ็นต์ (วีรวุฒิ กตัญญูกุล, 2526) การลงทำลายของแมลง นอกจากการกัดกินเมล็ดของแมลงที่ทำให้ลดปริมาณของผลผลิตที่เก็บไว้แล้ว แมลงยังถ่ายมูลและของเหลวให้เกิดความสกปรก กลิ่นเหม็นหืน และความชื้น ตลอดจนซากและอวัยวะต่างๆของแมลงที่เสียชีวิตปะปนในกองเมล็ด (สิริวัฒน์ วงษ์ศิริ, 2526) จากขบวนการต่างๆ ที่เกิดภายในร่างกายแมลงจะผลิตความร้อนและปลดปล่อยน้ำหรือความชื้นที่ได้จากผลผลิตออกมาด้วย ในส่วนของเมล็ดที่ถูกแมลงลงทำลายจะมีอุณหภูมิและความชื้นสูงขึ้น ก่อให้เกิดการสืบพันธุ์เพิ่มจำนวนประชากรอย่างรวดเร็วและขยายวงกว้างไปยัง พื้นที่บริเวณรอบทันที (วีรวุฒิ กตัญญูกุล,2526) การทำลายของแมลงแต่ละชนิดจะแตกต่างกันออกไป หากแมลงประเภทที่วางไข่และเจริญเติบโตจากภายนอก จะมีการกัดกินหรือทำลายจากภายนอก พบความเสียหายเฉพาะภายนอกเมล็ด ทำให้เกิดขุย ผิวเมล็ดถูกทำลายถักใยเกาะติดกันเป็นก้อน และอีกประเภท ได้แก่แมลงที่วางไข่บนผิวเมล็ด ตรงส่วนจมูกข้าว และเมื่อไข่เจริญวัยเป็นตัวหนอน จะเจาะเข้าสู่ภายในเมล็ด เมื่อเจริญเป็นตัวเต็มวัยจะเริ่มกัดกินอาหารจากภายในเมล็ดทำให้ภายในเป็นโพรง จนออกมาสู่ภายนอก แมลงประเภทนี้ได้แก่ ด้วงงวงข้าว ผีเสื้อข้าวเปลือก และมอดข้าวเปลือก เป็นต้น (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2526)

ความเสียหายที่เกิดขึ้นนั้นพบว่าปัญหาส่วนใหญ่ในการเก็บรักษานั่นก็คือแมลงโรงเก็บ ดังนั้นการกำจัดแมลง จำเป็นต้องศึกษาลักษณะทางกายภาพ ขนาด ลักษณะการดำรงชีวิต การตอบสนองต่อสิ่งเร้า และทางชีวภาพ ได้แก่ อุณหภูมิที่ไม่เหมาะต่อการเจริญเติบโต สารเคมีที่มีปฏิกิริยาต่อแมลง เพื่อเป็นแนวทางการกำจัดที่ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ปัญหาแมลงโรงเก็บในประเทศไทย

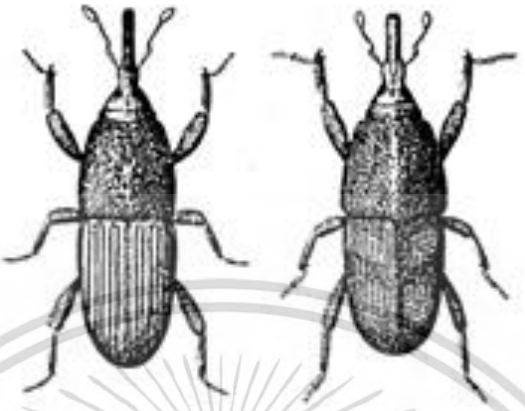
แมลงศัตรูโรงเก็บมีมากมายหลายประเภท โดยส่วนใหญ่ที่พบการทำลายนับว่าเป็นศัตรูโรงเก็บที่สำคัญ ได้แก่ ผีเสื้อข้าวเปลือก (Angoumois Grain moth: Sitotroga cerealella Olivier) เป็นแมลงศัตรูสำคัญที่สุดของข้าวเปลือก เข้าทำลายโดยการวางไข่ที่เมล็ดข้าวเปลือก , มอดข้าวเปลือก (Lesser Grain Borer: Rhyzopertha dominica F.) เป็นแมลงศัตรูสำคัญของข้าวเปลือก ทั้งตัวอ่อนและตัวเต็มวัย , ผีเสื้อข้าวสาร (Rice moth : Corcyra cephalonica Stal.) , ด้วงงวงข้าว หรือมอดข้าวสาร (Sitophillus spp.) ด้วงงวงเป็นแมลงที่พบทำลายทั้งข้าวเปลือก และข้าวสาร ตัวเต็มวัยของด้วงงวงมีสีน้ำตาลดำ และ ผีเสื้อข้าวสาร (Rice moth: Corcyra cephalonica Stainton) เป็นแมลงศัตรูของข้าวสาร โดยเฉพาะข้าวสารที่เก็บไว้เป็นเวลานาน ทำให้ข้าวสารเสื่อมคุณภาพจนไม่สามารถบริโภคได้ เกิดจากตัวอ่อนของผีเสื้อข้าวสารไปชักใยอยู่ระหว่างเมล็ดข้าว ทำให้ข้าวสารติดกันเป็นกลุ่ม (สิริวัฒน์ วงษ์ศิริ, 2526)

ด้วงงวงข้าว นับว่าเป็นศัตรูอันดับหนึ่งของเมล็ดธัญพืชในโรงเก็บโดยเฉพาะข้าว เมล็ดที่ถูกทำลายจะเห็นร่องลอยความเสียหายได้ด้วยตาเปล่า เป็นรูบริเวณผิวด้านในเป็นโพรงจากการกัดกินของตัวอ่อนตั้งแต่อยู่ภายในเมล็ดจนกระทั่งเจริญเป็นตัวเต็มวัย หรืออาจพบตัวเต็มวัยอยู่ภายในเมล็ด ในกรณีหากมีการทำลายในระดับสูง กองเมล็ดแตกหักจน ความชื้นสูงอาจเพิ่มขึ้นจากการขับถ่ายและปล่อยของเหลวถึง 5-6 เปอร์เซ็นต์ จนไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อได้ และหากมีการแพร่ระบาดของตัวเต็มวัยในปริมาณมากอาจก่อให้เกิดความรำคาญต่อบริเวณใกล้เคียงโรงเก็บได้ (อุดม อริธชาติ, 2526)

ดังนั้นจะเห็นว่าแมลงศัตรูข้าวนอกจากจะทำให้ประเทศไทยต้องสูญเสียผลผลิตข้าวในแต่ละปีมากมายแล้วยังต้องสูญเสียไปกับการสั่งซื้อสารกำจัดศัตรู สารเคมี อีกเป็นจำนวนมากและนับวันจะยิ่งเพิ่มมากขึ้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีการวางแผนเพื่อแก้ไขปัญหานี้ ในระยะยาว (วีรวุฒิ กตัญญูกุล, 2526)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 ลักษณะทั่วไปของด้วงงวงข้าว (สิริวัฒน์ วงษ์ศิริ, 2526)



รูปที่ 2.2 ด้วงงวงข้าวหรือมอดข้าวสาร
ที่มา : สำนักงานวิจัยและพัฒนาข้าว กรมค้าข้าว

ชื่ออื่นๆ	: มอดข้าวสาร (Black weevil , Lasser rice weevil)
ชื่อวิทยาศาสตร์	: *Sitophilus oryzae L.* (Linnaeus, 1763)
ชื่อเดิม	: *Calandra oryzae L.*
อันดับ	: Coleoptera
วงศ์	: Curculionidae

ด้วงงวงข้าวเป็นแมลงที่มีการแพร่พันธุ์อย่างระบาดในระหว่างการเก็บรักษาข้าว ซึ่งแมลงชนิดนี้มีการทำลายเมล็ดพันธุ์และวางไข่ตั้งแต่ข้างยังคงอยู่ในไร่นา โดยตัวเมียเจาะรูเมล็ดข้าวและวางไข่หนึ่งฟองต่อเมล็ดข้าวหนึ่งเมล็ด และปิดรูด้วยสารเหนียวสีครีม ในหนึ่งอายุขัยด้วงงวงข้าวสามารถวางไข่ได้มากถึง 300-400 ฟอง

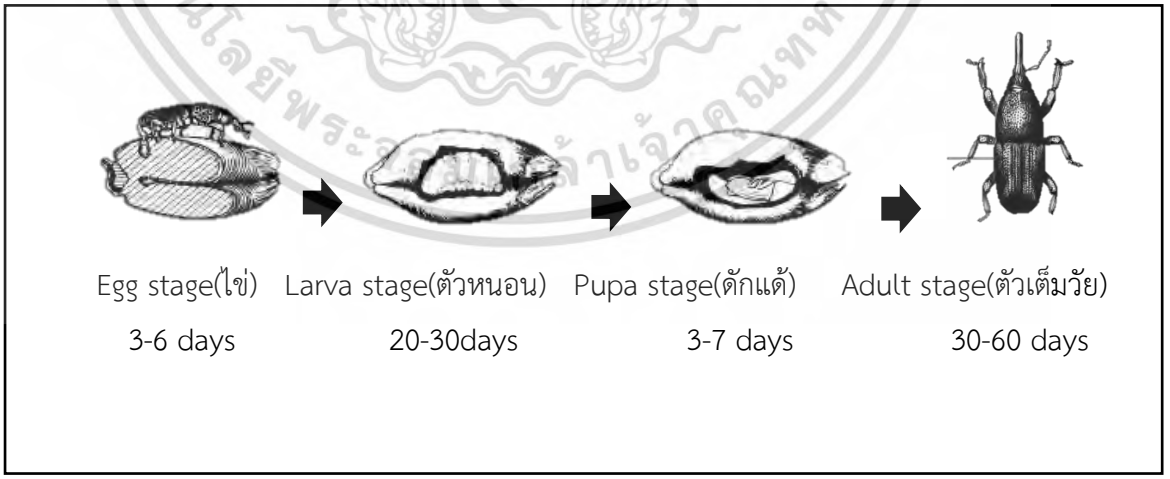
ในระยะไข่ มีลักษณะยาว กลมรีสีขาว ความยาวประมาณ 0.5 มิลลิเมตร กว้างประมาณ 0.3 มิลลิเมตร แสดงในรูปที่ 2.3 ในระยะไข่จะใช้เวลาประมาณ 3-6 วัน หลังจากนั้นจะเจริญวัยเป็นตัวหนอน มีลักษณะลำตัวย่น โค้งงอ สีขาว ผิวหนังค่อนข้าวอ่อน ส่วนหัวมีสีน้ำตาลค่อนข้างเหลือง มีกรามลักษณะคล้ายเขี้ยวสำน้ำตาลเข้ม เมื่อตัวหนอนเจริญเติบโตขึ้นสีของลำตัวจะเปลี่ยนเป็นสีครีมอ่อนแผ่นหลังมีสีเข้มขึ้น ในระยะหนอนใช้เวลาประมาณ 20-30 วัน ในการดำรงชีวิตภายในเมล็ดตัวหนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาศัยสารอาหารจากการกัดกินจากภายใน และเมื่อตัวหนอนใกล้เข้าสู่ระยะดักแด้ ตัวหนอนจะยืดลำตัว และหยุดนิ่งไม่กินอาหารประมาณ 1-2 วัน จากนั้นจึงเข้าสู่ระยะดักแด้

ในระยะดักแด้ อวัยวะส่วนต่างๆได้แก่ ปาก หนวด ขาและปีก จะไม่แนบติดลำตัว จึงจัดอยู่ในดักแด้รูปแบบ exarate ตัวอ่อนจะอยู่ในระยะดักแด้เป็นเวลาประมาณ 3-7 วัน หลังจากนั้นเริ่มเข้าสู่ระยะตัวเต็มวัย ระยะตัวเต็มวัยจะกัดกินเนื้อเมล็ดข้าวจากภายในจนมีขนาดลำตัวโตจนสามารถออกมาสู้ภายนอก ดังนั้นเมล็ดที่ถูกด้วงงวงข้าวทำลายจะมีลักษณะเป็นรูกลวงด้านใน แตกหักง่าย และมีขลุย ผงสีขาวบริเวณรอบ ตัวเต็มวัยที่ออกมาสามารถผสมพันธุ์และวางไข่ได้ทันที ตัวเต็มวัยที่พบจะมีลักษณะขนาดตัวแตกต่างกันออกไปตามอายุและระยะเวลาที่เจริญเติบโต ลำตัวมีความยาวประมาณ 2-3 มิลลิเมตร กว้างประมาณ 1-1.5 มิลลิเมตร ลำตัวเป็นลายปนระหว่างสีน้ำตาลเข้มปนแดง หรือน้ำตาลแก่จนเกือบเป็นสีดำ มีศรีษะยื่นเป็นงวงตรงส่วนปลายมีกรามที่แข็งแรง 2 ข้าง เมื่อส่องด้วยกล้องพบว่าบริเวณสันหลังอกมีลักษณะไม่เรียบ มีหลุมกลมเล็กๆกระจายอยู่ด้านบน ปีกคู่หน้าเป็นเกาะแข็งพับคลุมส่วนท้อง ภายใต้ปีกคู่หน้าจะมีปีกคู่หลังลักษณะเป็นเยื่อบาง พับซ้อนอยู่ ส่วนปีกด้านบนจะมีหลุมเล็กๆกระจายโดยรอบเช่นเดียวกับปีกด้านหน้า และเป็นรอยด่างสีน้ำตาลปนเหลืองจำนวน 4 รอย (อุดม อริธชาติ, M. Phill, 2526)

ระยะเวลารวมของวัฏจักรของด้วงงวงข้าวตั้งแต่ไข่จนถึงเป็นตัวเต็มวัยจะใช้เวลาประมาณ 30-40 วัน ตัวเต็มวัยมีชีวิตอยู่ได้นาน 1-2 เดือนหรือมากกว่านี้ ในปีหนึ่งแมลงชนิดนี้สามารถผลิตลูกหลานออกมาได้ 6 ถึง 7 ชั่วอายุขัย (อุดม อริธชาติ, 2526)



รูปที่ 2.3 วงจรชีวิตของด้วงงวงข้าว

ที่มา : ดัดแปลงจาก http://foodqualityandsafety.wfp.org/types-of-insect-pests

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พืชอาหาร เมล็ดธัญพืชทุกชนิดเช่น ข้าว ข้าวโพด ข้าวฟ่าง ข้าวสาลี และเมล็ดพืชชนิดอื่นๆ ชอบเมล็ดพืชที่มีความชื้นสูง ไม่ทำลายแป้งเพราะตัวอ่อนไม่สามารถเจริญเติบโตในแป้งได้ นอกจากเมล็ดพืชแล้วแมลง ชนิดนี้ยังสามารถเจริญได้ในขนมเค้กมักกะโรนีและอาหารอื่นๆอีกหลายชนิด และตามรายงานพบว่าแมลงชนิดนี้สามารถเจริญเติบโตและขยายพันธุ์ได้ในมันสำปะหลังแห้งด้วย (ชุมพล กันทะ, 2533)

ปกติมักจะมีแมลงตัวเบียนที่อยู่ในวงศ์ Ptermalidae อันดับ Hymenoptera ลงทำลายหรือวงศ์อื่นๆด้วยเป็นครั้งคราว แมลงตัวเบียนของด้วงงวงข้าวที่พบโดยทั่วๆไปคือ Anisopteromalus calandrae , Lariophagus distinguendus และ Chaetospila eleans เป็นต้น (อุดม อริธชาติ, 2526)

มีแพร่กระจายอยู่ทั่วโลก ด้วงงวงข้าวชอบอากาศร้อนและอบอุ่น จึงมีการระบาดมากแถบเอเชียและแอฟริกา แพร่กระจายไปได้ไกลๆโดยการขนส่งหรืออาจบินไป มีการระบาดตลอดปีเพราะกินอาหารได้หลายชนิด (สิริวัฒน์ วงษ์ศิริ, 2526)

2.2.2 วิธีการตรวจสอบการเจือปนของแมลงในโรงเก็บ (ชุมพล กันทะ, 2533)

จากข้อมูลการศึกษาและงานวิจัยทั้งหลายยืนยัน จากปัญหาหลายอย่างที่พบในการเก็บรักษาสภาพข้าว ส่วนใหญ่เกิดจากแมลง ดังนั้นก่อนการส่งออกหรือจำหน่ายจำเป็นต้องตรวจสอบความเรียบร้อยของผลิตภัณฑ์ จำนวนของแมลงภายใน เพื่อประกอบการพิจารณาว่าจำเป็นต้องใช้วิธีการป้องกันกำจัดหรือไม่ (ชุมพล กันทะ, 2533) ในการเก็บรักษาและเพื่อประเมินรับรองคุณภาพของผลผลิตในแง่การค้าหรือรับรองว่าปลอดจากแมลงศัตรูที่สำคัญก่อนที่ผล ผลิตนั้นจะถูกส่งออกไปยังต่างประเทศหรือนำเข้ามายังประเทศ โดยวิธีในการตรวจแบ่งออกเป็นสองประเภทใหญ่ๆ คือ การตรวจสอบแบบทำลาย และการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย วิธีการทั้งสองแบบนี้ก็มีอยู่มากมายจะใช้วิธีไหนก็เลือกตามความเหมาะสมของวัสดุแต่ละประเภท

2.2.2.1 การตรวจสอบแบบไม่ทำลาย

วิธีการตรวจสอบแบบไม่ทำลายเป็นการตรวจเช็คอย่างง่าย เริ่มจากวิธีพื้นฐานที่สามารถกระทำได้สะดวกและไม่มีค่าใช้จ่าย ไม่ยุ่งยากในการเตรียมวัสดุอุปกรณ์ อีกทั้งยังเป็นประโยชน์ต่อการทำวิจัย เนื่องจากไม่ทำให้แมลงเสียชีวิตในขณะตรวจสอบ วิธีการดำเนินงาน ได้แก่

1. *การตรวจเช็คภาชนะและบริเวณโดยรอบ* การตรวจสอบที่บริเวณถุงกระสอบหรือภาชนะบรรจุเป็นวิธีที่ทำได้ง่ายที่สุด โดยตรวจสอบตามผิวกระสอบว่ามีการชำรุด หรือร่องรอยการลงทำลายของแมลง โดยทั่วไปหากพบซากแมลงที่ตายแล้วบริเวณใกล้เคียง แสดงว่ามีความเสี่ยงที่ผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บริเวณนั้นจะได้รับความเสียหายอย่างทั่วถึง ควรทำเครื่องหมายไว้ก่อนที่จะนำซากแมลงออก รวมถึงตรวจว่ามีพื้นที่ทับซ้อนของกระสอบบริเวณซอก มุมหรือไม่ ควรรีบแยกออกจากกันอย่างรวดเร็วและตรวจเช็ค เนื่องจากเป็นจุดอับ ความชื้นสูงเป็นสภาพแวดล้อมที่เหมาะกับการเจริญเติบโตและแพร่พันธุ์ของแมลงอย่างรวดเร็ว

การสร้างสิ่งรบกวนโดยการสร้างแรงสั่นสะเทือน ไม่ว่าจะเป็นการเขย่ากระสอบ ภาชนะ หรือลากกระสอบเป็นแถบยาวบนพื้น จากนั้นทิ้งไว้สักครู่หนึ่ง ประมาณ 10-20 นาที หากมีแมลงอยู่ภายในแมลงจะเดินออกมาบริเวณผิวหน้าของกระสอบตามสัญชาติญาณ แม้ว่าเราจะสั่นมากหรือน้อยก็ตามและการรบกวนบริเวณผิวหน้าของกระสอบ อย่างไรก็ตาม วิธีนี้ใช้ได้สำหรับแมลงที่อยู่บริเวณด้านบนกระสอบเท่านั้น เนื่องจากสร้างการรบกวนเพียงผิวด้านบน แมลงที่อาศัยอยู่จะบินออกมา หากผลิตภัณฑ์มีจำนวนน้อย สามารถใช้ตะแกรงร่อนได้ สามารถกำจัดตัวเต็มวัยได้สมบูรณ์ ขึ้นอยู่กับการเลือกขนาดตะแกรงให้เหมาะสมกับแมลง

2. *การใช้กับดักชนิดต่างๆ* การใช้กับดักกับแมลงในโรงเก็บจะช่วยให้งามทั้งในด้านการตรวจแมลงและงานด้านการควบคุมประชากรแมลง เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและสามารถที่จะแนะนำระยะเวลาที่ทำการป้องกันกำจัดได้อย่างถูกต้องหรือใกล้เคียง การใช้กับดักมักจะเป็นหลักฐานอันแรกที่บ่งบอกถึงการเข้าทำลายของแมลงในขณะที่กำลังมีการตรวจสอบหรือขณะที่การลงทำไรยังมีจำนวนน้อย รวมถึงประหยัดเวลาและแรงงานและทำให้เกิดความเสียหายต่อกระสอบที่ใช้บรรจุเมล็ดพันธุ์หรือผลผลิต น้อยกว่าวิธีอื่นๆ อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าจะใช้งานได้ดีมากในแง่ของการตรวจหาการลงทำลายแต่ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนของแรงที่จับได้โดยใช้กับดักกับน้ำหนักของเมล็ดหรือผลผลิตยังไม่เป็นที่สัมพันธ์หรือสอดคล้องกันและจำเป็นที่จะต้องมีการค้นคว้าเกี่ยวกับกับดักชนิดต่างๆที่ใช้ในระบบการเก็บผลผลิตที่แตกต่างกันไป กับดักที่ใช้มีหลายชนิดแตกต่างกันตามราคาและวัสดุที่ใช้ส่วนประกอบและมีความสุขเพราะเจาะจงใช้ได้กับผลผลิตบางชนิดหรือกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งของแมลง ใช้จำเป็นต้องเข้าใจถึงชีววิทยาของแมลงศัตรูในโรงเก็บและสภาพแวดล้อมในโรงเก็บเป็นอย่างดีซึ่งจะมีผลต่อการเลือกชนิดและตำแหน่งการวางของกับดักด้วย

3. *การวัดอุณหภูมิ* เป็นที่ทราบอุณหภูมิมีผลต่อการเจริญเติบโตของแมลง ดังนั้นจากหลักการดังกล่าวกองเมล็ดที่มีกิจกรรมของแมลงมากๆจะมีอุณหภูมิสูงกว่าปกติ ซึ่งบางทีอาจสูงถึง 40 องศาเซลเซียส การใช้เทอร์โมคัปเปิลตรวจสอบอุณหภูมิที่อยู่ภายในกระสอบ หากอุณหภูมิภายในกองเมล็ดมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอเมื่อเทียบกับอุณหภูมิภายนอก ก็สามารถบ่งชี้ได้เป็นที่แน่นอนว่ามีกิจกรรมของแมลงเกิดขึ้นภายในเมล็ดกองนั้น ในทางกลับกันการลดลงของอุณหภูมิก็อาจจะเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องบ่งชี้ถึงการลดกิจกรรมต่างๆของแมลงลงด้วยเช่นกัน ยกตัวอย่างเช่น การรมยาแมลงใน กองเมล็ดนั้นแล้ว หลังจากนั้นลองวัดอุณหภูมิพบว่าอุณหภูมิค่อยๆลดลงอย่างสม่ำเสมอก็แสดงว่าการป้องกันกำจัดแมลงโดยวิธีการรมสารฆ่าแมลงนั้นได้ผล เป็นต้น และเมื่อทิ้งไว้นานมาแมลงที่ลงเหลืออยู่อาจจะขยายตัวเพิ่มขึ้นมาอีกอุณหภูมิก็จะเพิ่มขึ้นมาเรื่อยๆ จนถึงจุดที่ต้องทำการรมสารฆ่าแมลงใหม่อีก ดังนั้นการวัดอุณหภูมิจะต้องทำอย่างสม่ำเสมอถึงจะทำให้ทราบถึงความผิดของอุณหภูมิที่เกิดขึ้น

4. *การวัดปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์* วิธีใส่ประเมินอัตรากระบวนการเกิดกระบวนการทางเคมีทั้งหมดของตัวอย่างเมล็ด โดยวัดอัตราการผลิตแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่อหน่วยปริมาตรภายใต้สภาพแวดล้อมที่มาตรฐาน ทั้งนี้เพราะว่าตามปกติอัตราการเกิดกระบวนการทางเคมีของแมลงจะมากกว่าของเมล็ดหรือผลิตภัณฑ์อื่นๆที่แห้งจนสามารถนำมาเปรียบเทียบและวิเคราะห์ได้ วิธีการตรวจสอบถูกนำเสนอในหนังสือหลักการป้องกันกำจัดแมลงศัตรูโรงเก็บ โดยคุณชุมพล กันทะ กล่าวว่า นำเมล็ดจำนวนหนึ่งใส่เข้าไปในขวดที่ป้องกันไม่ให้อากาศหรือแก๊ซเข้าออกได้ ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสเป็นเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นอากาศภายในขวดจะถูกสุ่มออกไปวัดหาปริมาณของคำได้ออกไซด์เมล็ดที่แห้งและไม่มีแมลงลงทำลายจะมีคำได้ออกไซด์ต่ำกว่า 0.25 เปอร์เซ็นต์ มากและถ้าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ระหว่าง 0.3 เปอร์เซ็นต์ และ 0.5 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่ามีการลงทำลายของแมลง ในระดับต่ำหรือมีความชื้นของเมล็ด 15 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นไป ซึ่งเกินจากมาตรฐานที่กำหนดไว้คือ 14 เปอร์เซ็นต์ จะการตรวจสอบดังกล่าวถ้ามีเกินกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์ ภายใน 24 ชั่วโมงแสดงว่าถ้าจัดเก็บจะต้องมีการป้องกันหรือกำจัดแมลงภายในก่อน เนื่องจากมีการลงทำลายของแมลงจนส่งผลให้ผลิตภัณฑ์นั้นนั้นได้รับความเสียหายจนไม่สามารถจำหน่ายได้

สอดคล้องกับงานวิจัยที่สนับสนุนการวัดปริมาณการหายใจของแมลง โดยมีการทดลองแมลง 3 สายพันธุ์ (ด้วงงวงข้าวโพด มอดข้าวเปลือก และมอดแป้ง) พบว่าค่าเฉลี่ยปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ของแมลงทุกสายพันธุ์มีความแตกต่างจากกองเมล็ดที่ไม่มีแมลงลงทำลาย ทำให้สามารถบ่งบอกความหนาแน่นของประชากรแมลงภายในกองผลผลิตได้ว่ามีมากน้อยเพียงใด (Chotikasatian Chayaprasert and Pathaveerat, 2017) แต่ข้อเสียวิธีการนี้คือการตรวจสอบจำเป็นต้องสุ่มทั่วทั้งกระสอบอย่างทั่วถึง อาจพบความคลาดเคลื่อนหากปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ตรวจสอบมีมากเกินไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.2 การตรวจสอบแบบทำลาย (ชุมพล กันทะ, 2533)

นอกจากตัวเต็มวัยที่สามารถพบเห็นได้โดยง่าย แมลงที่อยู่ในระยะการเจริญเติบโตอื่นๆ จำเป็นต้องตรวจสอบเช่นกัน เนื่องจากอาจส่งผลกระทบในระยะเวลาถัดมา การตรวจหาแมลงทางอ้อมเป็นการแก้ไขปัญหาแมลงที่หลบซ่อนหรือทำลายอยู่ภายในโดยที่มองไม่เห็นจากภายนอก ซึ่งต้องอาศัยความรู้ทั้งทางด้านเคมี ฟิสิกส์ รวมถึงเข้าใจชีววิทยาของแมลงโรงเก็บแต่ละประเภท นำผลของปัจจัยทางกายภาพที่มีผลต่อปัจจัยทางกายภาพมาประยุกต์ใช้ร่วมกัน จะแสดงวิธีการต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. การทำให้แมลงหรือเมล็ดที่มีแมลงทำลายอยู่ลอยขึ้นมา โดยใช้สารละลายที่ทำให้เกิดรอยผสมอยู่ด้วยตัวอย่างเช่น Ferric nitrate หรือ Sodium silicate (water glass) เป็นต้น หลังจากนั้นใส่ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการตรวจสอบลงในสารละลาย คนประมาณ 30 วินาที เมล็ดที่มีแมลงทำลายอยู่ภายในและแมลงจะลอยขึ้นมาอยู่ส่วนบน ส่วนเมล็ดที่ดีจะต้มลงไปอยู่ข้างล่างที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากความถ่วงจำเพาะของสารละลายนั้นสูงกว่าความถ่วงจำเพาะของเมล็ดที่มีแมลงทำลายและความถ่วงจำเพาะของข้าวที่มีแมลงต่างๆจะต่ำกว่าความถ่วงจำเพาะของข้าวที่ไม่มีแมลงลงทำลาย

2. การย้อมสี แมลงในอนุกรม Sitophilus spp. มีลักษณะการทำลายเมล็ดพืชโดยวางไข่ไว้ตามส่วนล่างของรูที่เจาะลึกเข้าไปในเมล็ดหลังจากวางไข่เรียบร้อยแล้วตัวเมียจะขับสารเหนียว ปิดรู้ซึ่งมีไข่อยู่ภายใน ดังนั้นจึงมีผู้คิดคนวิธีการย้อมจุกปิดไข่ดังกล่าวโดยวิธีการเริ่มจาก การเตรียม acid fushion ผสมสารละลายน้ำกลั่น 100 ซีซีแล้วคนให้เข้ากันจนกระทั่งสารละลายหมดแล้วจะได้สารออกมาเป็นสีชมพู หลังจากนั้นนำตัวอย่างที่จะตรวจกะปริมาณให้ไม่มากเกินไปนำมาทำให้เปียกโดยแช่ลงไปในน้ำเย็นประมาณ 20 นาทีหลังจากนั้นเทน้ำออก แล้วนำเอาเมล็ดที่ต้องการทดสอบไปจุ่มในสารละลายที่เตรียมไว้ประมาณ 1 นาทีหลังจากนั้นนำเมล็ดไปล้างด้วยน้ำประมาน 2-3 ครั้งเพื่อเอาสีส่วนเกินออก ส่วนที่เป็นจุกปิดไข่ซึ่งเป็นสารเหนียวจะติดเป็นสีแดงเข้มหรือสีชมพูกำมะหยี่ออกมาอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับส่วนอื่นของผิวเมล็ด การตรวจสอบควรทำโดยใช้กล้องไมโครสโคปที่มีกำลังขยาย ไม่สูงมาก จำนวนของจุกปิดไข่ที่อยู่บนเมล็ดจะบอกให้ทราบถึงระดับการทำลายของแมลงที่หลบซ่อนอยู่ภายในเมล็ดพืช จุกปิดไข่ 1 จุกจะพบไข่เพียง 1ฟอง

3. เลี้ยงแมลงที่อยู่ภายในเมล็ดจนออกมาเป็นตัวเต็มวัย สุ่มเก็บตัวอย่างน้ำมาไว้ที่อุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต เป็นระยะเวลาซักระยะหนึ่งหลังจากนั้นจึงตรวจสอบนับจำนวนตัวเต็มวัยที่เจริญเติบโตออกมา หากพบว่ามีตัวเต็มวัยออกมาให้เห็นสามารถบ่งบอกได้ว่าใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กองเมล็ดทีตัวอย่างถูกเก็บมานั้นมีแมลงลงทำลายอยู่ หลังจากนั้นจึงควรมีการตรวจสอบให้ละเอียดยิ่งขึ้น

4. การวัดปริมาณของ uric acid สิ่งขับถ่ายของแมลงโดยเฉพาะ urine เป็นอีกหนึ่งสารที่สามารถบ่งบอกได้เช่นกันว่ามีแมลงลงทำลายมากน้อยเพียงใด แต่อย่างไรก็ตามวิธีนี้มีข้อจำกัดเนื่องจากใช้ได้ดีในกรณีที่มีปริมาณของแมลงลงทำลายมากเท่านั้น เนื่องจากถ้าปริมาณแมลงที่ลงทำลายมีน้อยสิ่งที่แมลงขับถ่ายออกมาก็มีน้อยซึ่งยากต่อการตรวจสอบ วิธีนี้จึงบ่งบอกได้เพียงว่าเมล็ดหรือผลผลิตนั้นเคยถูกแมลงเข้าทำลายอย่างหนักมาก่อนหรือเปล่า

5. การทำให้เมล็ดอ่อนและใสโดยใช้สารโซเดียมไฮดร็อกไซด์ ตัวอย่างเมล็ดจะถูกนำมาต้มในสารละลายที่มีโซเดียมไฮดร็อคไซดอยู่จนกระทั่งเปลือกของเมล็ดหรือส่วนที่เรียกว่าเอ็นโดสเปิร์มใสและสามารถมองทะลุเข้าไปภายในเมล็ด จะทำให้สามารถมองเห็นตัวหนอนและตัวอ่อนของแมลงภายในได้

6. การตรวจโดยใช้รังสีเอกซเรย์ วิธีนี้อาศัยรังสีเอกซเรย์ช่วยตรวจหาว่าเมล็ดถูกแมลงลงทำลายหรือเปล่า ทุกระยะของแมลงตั้งแต่ไข่จนถึงตัวเต็มวัยสามารถตรวจสอบได้ทั้งหมดจากแผ่น negatives หรือ radio graph หรือจากรูปที่อัดมาจาก negative เหล่านี้ แต่วิธีการนี้มีข้อเสียคือมีต้นทุนและค่าใช้จ่ายสูง ส่วนใหญ่มักใช้ในงานวิจัยขั้นสูงเท่านั้น

7. การใช้แสงยูวีกระตุ้นให้ชิ้นส่วนของแมลงสะท้อนออกมา วิธีการนี้จะใช้แสงยูวีเป็นตัวช่วยหาแมลงหรือเศษชิ้นส่วนของแมลงที่ปะปนอยู่ในผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากเมล็ดพืช โดยทดลองนำตัวอย่างมาคลุกสีที่เรียกว่า crystal violet แล้วเช็คดูตัวอย่างนั้นโดยใช้แสงยูวีส่วนที่เป็นแมลงหรือชิ้นส่วนแมลงจะสะท้อนแสงออกมาให้เห็นเป็นแสงสีแดง อีกนัยหนึ่งวิธีการนี้ก็สามารถจะเช็คกลับไปได้ว่าเมล็ดที่นำมาใช้ทำแป้งเหล่านี้เคยถูกแมลงเข้าทำลายมาก่อนหรือไม่

8. การใช้สารพวกไพรีธรัมพ่น เหมาะสำหรับตรวจสอบแมลงในบริเวณที่มุมอับ เข้าถึงได้ยาก ตามซอก ตามมุมหรือรอยแตก เนื่องจากเป็นสารที่มีประสิทธิภาพทำลายแมลงสูง เมื่อพ่นสารในบริเวณโรงเก็บแบบบางๆแมลงที่หลบซ่อนจะถูกประตุ้นให้ออกมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 แนวทางการควบคุมแมลงในโรงเก็บ

การควบคุมปริมาณแมลงในโรงเก็บขึ้นอยู่กับปัจจัยในหลายด้าน จากสภาพแวดล้อมทางกายภาพโดยรอบของโรงเก็บส่งผลต่อการเจริญเติบโตและการแพร่พันธ์ (ชุมพล กันทะ, 2533) การสร้างสภาวะโดยรอบให้ไม่เหมาะกับการเจริญเติบโตของแมลงนับเป็นแนวทางแก้ไข มีหลากหลายวิธีจำแนกเป็นการใช้สารเคมี และไม่ใช้สารเคมี อย่างไรก็ตามในปัจจุบันเรื่องความปลอดภัยของผู้บริโภคและความสมดุลย์ของสิ่งแวดล้อมได้มีอิทธิพลต่อการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดแมลงเป็นอย่างมาก การใช้สารเคมีป้องกันกำจัดแมลงซึ่งเป็นสารสังเคราะห์มีการย่อยสลายตัวยากจึงต้องใช้ด้วยความระมัดระวัง และทำให้มีผู้สนใจใช้วิธีการอื่นๆทดแทน (พรทิพย์ วิสารทานนท์ และคณะ, 2548) จากการทั้งใช้อุณหภูมิ สภาวะบรรยากาศ และการใช้รังสี

2.3.1 การป้องกันโดยใช้สารเคมี

สำหรับข้าวสารที่รอการจำหน่าย นิยมใช้สารเคมีเพื่อกำจัดมอดโดยการรมยา เนื่องจาก ง่ายต่อการใช้งานและประหยัดต้นทุน มีข้อดีที่สามารถแทรกซึมเข้าทำลายได้ดี (พรทิพย์ วิสารทานนท์ และคณะ, 2548) แต่อย่างไรก็ตามการใช้งานมีข้อจำกัดของสารพิษตกค้างที่จำเป็นต้องระวังเป็นอย่างมาก

ในปี 2555 มีการอ้างว่าได้นำเข้าสารรมควันข้าวสูงถึง 62 เปอร์เซ็นต์ กว่า 300 ตัน ซึ่งการใช้สารเคมีที่นิยมใช้กัน 2 ชนิด ได้แก่ สารเมทิลโบรไมด์ และ สารฟอสฟีน มีความเป็นพิษต่อผู้ใช้และผู้บริโภค หากได้รับเข้าสู่ร่างกายในปริมาณความเข้มข้นสูงภายใน 2-3 ชั่วโมง หรือต่อเนื่อง 2-3 วัน จะมีอาการเจ็บหน้าอก ไอเป็นเลือด ผิวหนังพุพอง ระยะยาวระบบประสาทส่วนกลางจะถูกทำลาย มองเห็นไม่ชัด แขนขาชา อาจถึงกับหมดสติ จนอาจส่งผลให้เกิดมะเร็งตับได้ รวมถึงเป็นสาเหตุของสภาวะโลกร้อนอีกทางหนึ่งเนื่องจากทำลายชั้นโอโซนในบรรยากาศ และมีผลกระทบร้ายแรงกว่าคาร์บอนไดออกไซด์ถึง 5 เท่า เปรียบเทียบว่า คาร์บอนไดออกไซด์ 1 กิโลกรัม ดูดเก็บความร้อนไว้ 1 หน่วย เมทิลโบรไมด์จะดูดซับไว้ถึง 5 หน่วย (บัณฑูร เศรษฐศิโรตม์, 2556)

สารเมทิลโบรไมด์ นั้นได้รับอนุญาติให้ใช้กับผัก ผลไม้มาตั้งแต่ช่วงปี คศ. 1940 และ 1950 ตามลำดับ (พรทิพย์ วิสารทานนท์ และคณะ, 2548) หลังจากนั้นได้มีการศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของสารเมทิลโบรไมด์อย่างละเอียดโดย คุณ จิราพร ลิ้มปานานนท์ คณะเภสัชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กล่าวถึง ประเด็นสำคัญเรื่องการตกค้างเมทิลโบรไมด์ในข้าว ที่หลายฝ่ายอ้างว่า เมื่อนำข้าวมาซาวน้ำเมทิลโบรไมด์จะหายไป หรือการนำข้าวมาหุงจะทำให้เมทิลโบร์ไมด์สลายไปได้ จึงเกิดเป็นคำถามที่ว่าเมทิลโบร์ไมด์ตกค้างในข้าวนานเท่าไหร่ และสามารถซึมเข้าสู่เมล็ดข้าวได้หรือไม่ จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานวิจัยของประเทศญี่ปุ่น ศึกษาเมทิลโบรไมด์ที่ตกค้างอยู่ในข้าวและเส้นก๋วยเตี๋ยวญี่ปุ่น (พรรณษา กาเหว่า, 2556)

ดร.จิราพรกล่าว ว่า “การกระจายตัวของเมทิลโบร์ไมด์พบว่า เมื่อมีการรมข้าวด้วยเมทิลโบร์ไมด์ จะสามารถซึมเข้าสู่เนื้อข้าวสารได้ถึง 70 เปอร์เซ็นต์ และสามารถกระจายได้เนื้อข้าวสารได้ดี ยาวนาน และอยู่ตัว เพราะสารจับกับสารคาร์โบไฮเดรตที่อยู่ในเนื้อข้าวสารได้ดี ซึ่งจากการแสดงผลการทดลอง พบว่า เมทิลโบร์ไมด์สามารถซึมเข้าสู่เนื้อข้าวสารได้วันที่ 34 ” (หนังสือพิมพ์คมชัดลึก, 2556)

น.พ.ปัตพงษ์ กล่าวว่า “ถ้ารับสารพิษแบบสะสม จะก่อให้เกิดอาการสติปัญญาเสื่อมถอย พฤติกรรมแปรปรวน ประสาทสัมผัสเสื่อมแบบค่อยเป็นค่อยไป มีผลต่อระบบสืบพันธุ์และเป็นพิษต่อยีนส์ เป็นพิษต่อทารกในครรภ์และก่อให้เกิดการกลายพันธุ์ ในระยะยาวมีการทำให้ระบบต่อมไร้ท่อทั้งต่อมใต้สมอง ต่อมไทรอยด์ อัณฑะและรังไข่โตขึ้นและเปลี่ยนรูปร่างไป ทำให้ระบบสืบพันธุ์เป็นหมัน ในสหรัฐอเมริกามีงานศึกษาทางระบาดวิทยา Agricultural Health Study ศึกษาเกษตรกร 7,814 คน นาน 14 ปี พบว่าเกษตรกรที่ใช้เมทิลโบรไมด์เป็นมะเร็งในกระเพาะ 1.4-3.13 เท่า เมื่อเทียบกับคนที่ไม่ได้ใช้ และยิ่งใช้นานจะยิ่งเป็นมากขึ้น และมะเร็งต่อมลูกหมาก 1.5-3.47 เท่า เมื่อเทียบกับคนที่ไม่ได้ใช่ ซึ่งในทางระบาดวิทยาถือว่ามีสารพิษแน่นอน (หนังสือพิมพ์คมชัดลึก, 2556)

ตารางที่ 2.1 ค่าความเข้มข้นของเมทิลโบรไมด์ที่เป็นอันตราย

ค่าความเข้มข้นของเมทิลโบรไมด์ ppm	ระดับความปลอดภัย
5 ppm	ปลอดภัยสำหรับผู้ปฏิบัติงาน วันละ 8 ชั่วโมง เป็นเวลา 5 วัน/สัปดาห์
20 ppm	ปฏิบัติงานสั้นๆ 15 นาทีเป็นเวลา 8 ชั่วโมง/วัน
100 ppm	เป็นอันตรายต่อชีวิต ใน 7 ชั่วโมง
400 ppm	เป็นอันตรายต่อชีวิต ใน 1 ชั่วโมง
1000 ppm	เป็นอันตรายต่อชีวิต ใน 5 นาที

ดัดแปลงจาก สำนักงานมาตรฐานเกษตรและอาหารแห่งชาติ

ปริมาณสารพิษตกค้าง ได้มีการกำหนดชนิดและปริมาณสารพิษตกค้างบนข้าวให้เป็นไปตามข้อกำหนดในกฎหมายที่เกี่ยวข้อง และ มกษ.9002 มาตรฐานสินค้าการเกษตร เรื่องสารพิษตกค้าง : ปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุด และ มกษ.9003 สินค้าเกษตร เรื่องสารพิษตกค้าง : ปริมาณสารพิษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตกค้างสูงสุดที่ปนเปื้อนจากสาเหตุที่ไม่อาจหลีกเลี่ยงได้ (สำนักงานมาตรฐานเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2556)

สารเคมีอีกหนึ่งชนิดที่ได้รับความนิยมและมีปริมาณการนำเข้าสูงในประเทศไทย คือ สารฟอสฟีน หรือ ไฮโดรฟอสฟีน เกิดจากปฏิกิริยาของอลูมิเนียมฟอสไฟด์ หรือ แมกนีเซียมฟอสไฟด์กับอากาศ ระยะเวลาที่ใช้ในการปฏิบัติงานประมาน 2-4 วัน อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพการใช้สารฟอสฟีนขึ้นอยู่กับความชื้นเมล็ด หากความชื้นสูงจะส่งผลให้สารฟอสฟีนละลายน้ำได้ไม่ดีนักและในอุปกรณ์บางประเภท คืออุปกรณ์ที่ทำจากทองแดงและโลหะผสมทองแดง สารฟอสฟีนจะทำปฏิกิริยากัดกร่อนจนอาจเกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์ได้

นอกจากนี้ผลของการใช้สารเคมีในการกำจัดแมลงทำให้เกิดผลเสียหายหลายประการ ได้แก่ แมลงเกิดการต่อต้านและปรับสภาพเพื่อดำรงชีวิตได้มากขึ้น ทำให้อัตราการทำลายลดต่ำลง รวมถึงทำลายแมลงที่เป็นประโยชน์ไปด้วยและก่อให้เกิดการระบาดเพิ่มมากขึ้นของแมลงศัตรูที่ได้มีการใช้ยาเคมี เกิดการระบาดของแมลงที่ยังไม่เคยระบาดทำความเสียหายมาก่อน เกิดการสะสมและพิษตกค้างในอาหารรวมถึงสภาพแวดล้อมและสุดท้ายคืออันตรายต่อผู้ใช้โดยตรงตลอดจนทำให้สิ่งแวดล้อมเป็นพิษ (วีรวุฒิ กตัญญูกุล, 2526) แม้ว่าวิธีดังกล่าวถึงจะมีความสะดวกสบายในการใช้งาน และราคาประหยัด แต่ปัจจุบันมนุษย์ให้ความใส่ใจต่อสุขภาพ และความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น แนวทางการกำจัดแมลงโดยวิธีต่างๆจึงได้รับความสนใจเพิ่มขึ้นตามลำดับ

2.3.2 การป้องกันและกำจัดโดยไม่ใช้สารเคมี

การป้องกันกำจัดแมลงโดยไม่ใช้สารฆ่าแมลงนั้นมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี ข้อดีของการกำจัดแบบนี้คือไม่มีเรื่องอันตราย เนื่องมาจากการใช้สารฆ่าแมลงรวมทั้งผลเสียทางอ้อมที่อาจจะเกิดขึ้น เช่น ปัญหาเรื่องความต้านทานต่อสารฆ่าแมลงสารพิษตกค้างและอื่นๆ

1. การทำความสะอาดภายในโรงเก็บ นับเป็นการสร้างสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแมลง เพื่อลดสิ่งสกปรกและลดแหล่งที่อยู่อาศัยหลบซ่อนของแมลงเรื่องการรักษาความสะอาดและความเป็นระเบียบเรียบร้อยถือว่าเป็นเรื่องที่สำคัญมากเพราะวิธีนี้เป็นวิธีที่ทำได้ง่ายที่สุดและเป็นมาตรการป้องกันแมลงได้ดีที่สุดก็ว่าได้ ก่อนที่จะเก็บเมล็ดพืชในฤดูใหม่ควรจะมีการทำความสะอาดพื้น ฝา และโครงสร้างก่อนอย่าให้มีเมล็ดพืชหรือผลิตผลเก่าตกค้างเหลืออยู่รวมถึงการเก็บกระสอบหรือภาชนะก็ควรจัดเรียงให้เป็นระเบียบเรียบร้อยเว้นช่องว่างสำหรับการตรวจเช็คได้ง่าย นอกจากทำความสะอาดโรงเก็บแล้วความสะอาดภายนอกโรงเก็บหรือบริเวณข้างเคียงก็สำคัญเช่นกัน เนื่องจากเมล็ดพันธุ์ที่ตกหล่นอาจเป็นอาหารหรือสถานที่แพร่พันธุ์ให้แก่แมลง เมื่อแมลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เจริญเป็นตัวเต็มวัยก็จะสามารถลงทำลายกองผลผลิตได้อีกครั้ง การรักษาความสะอาดเช่นนี้เป็นการกำจัดแมลงทางอ้อม(ชุมพล กันทะ, 2533)

2. การใช้สารบางอย่างที่ไม่เป็นพิษคลุกกับเมล็ดพืช สำหรับการป้องกันวิธีนี้แม้ว่าจะเป็นการใช้สารเคมีแต่ก็ถือว่าเป็นสารที่ไม่เป็นพิษต่อคนและสัตว์ สารเหล่านี้ก็คือน้ำมันพืช ดินสอพอง ปูนขาว ขี้เถ้าแกลบ ทรายและอื่นๆ เป็นต้น การใช้น้ำมันพืชมีคุณสมบัติเป็นการไล่ ส่วนใหญ่มักจะทำกับพวกเมล็ดพันธุ์พืชประกูลถั่วเพื่อป้องกันการทำลายพวกด้วงถั่ว

การใช้ Inert dust ในปัจจุบันมีการใช้ Diatomaceous Earth และ Silica Aerogels ในการคลุกเมล็ดเพื่อป้องกันการลงทำลายของแมลง แต่ยังคงคุณภาพเมล็ดไว้สมบูรณ์ กลไกลการทำงานของสาร Diatomaceous Earth จะมีผลทำให้น้ำภายในตัวแมลงไหลออกจากภายในสู่ภายนอกถึง 60 เปอร์เซ็นต์ หรือประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์จากน้ำหนักตัวจนถึงแก่ชีวิต และสาร Silica Aerogels จะทำปฏิกิริยากับผิวหนัง เนื่องจากบริเวณผิวหนังแมลงมีส่วนประกอบของขี้ผึ้ง สารนี้จะดูดขี้ผึ้งบริเวณผิวจนทำให้แมลงขาดน้ำและเสียชีวิตในที่สุด (พรทิพย์ วิสารทานนท์ และคณะ, 2548)

3. การลดความชื้นในเมล็ดก่อนการเก็บรักษา เป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่งเนื่องจากความชื้นเป็นตัวแปรที่ส่งผลกระทบทั้งด้านการลงทำลายของแมลงและคุณภาพของผลผลิต หากความชื้นสูงมักส่งผลเสียในทั้งสองด้าน ยกตัวอย่าง หากความชื้นเมล็ดที่ 10 เปอร์เซ็นต์สามารถลดการลงทำลายของแมลงลงได้ และไม่พบแมลงลงทำลายในเมล็ดในที่มีความชื้นต่ำ 8 เปอร์เซ็นต์

4. การใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มีการใช้พลังงานในรูปแบบต่างๆ เช่น พลังงานไฟฟ้า และพลังงานจากการแผ่รังสีในรูปแบบต่างๆ อาทิเช่น รังสีแกมมา ลำอิเล็กตรอน คลื่นไมโครเวฟ รังสีอินฟราเรด การแผ่รังสีเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถกำจัดแมลงโดยแมลงจะดูดซับพลังงานได้เร็วกว่าเมล็ดพืช แมลงจึงตายได้อย่างรวดเร็วโดยเมล็ดพืชหรือผลิตผลยังไม่ถูกทำลาย

การใช้รังสีเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่ได้ผลดีในการจัดการแมลงและไม่มีสารตกค้าง แต่ก็มีปัญหาในทางปฏิบัติหลายประการ การศึกษาเกี่ยวกับการใช้รังสีหลังการเก็บเกี่ยวได้มีมาตั้งแต่ช่วงปี 1960 ซึ่งเป็นการศึกษาเกี่ยวกับการควบคุมโรคเป็นส่วนใหญ่ และการศึกษาการใช้รังสีในการกำจัดแมลงจึงได้รับความสนใจและมีการศึกษาอย่างจริงจังต่อมา (พรทิพย์ วิสารทานนท์ และคณะ, 2548)

หลักการทำงานการให้ความร้อนโดยใช้รังสีอินฟราเรด (Electric Infrared Heating) คือ การให้ความร้อนโดยใช้รังสีอินฟราเรด เป็นการให้ความร้อนในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโดยอยู่ในช่วงความยาวคลื่นของรังสีอินฟราเรด ซึ่งจะสัมพันธ์กับแสงที่มองเห็นได้ และรูปแบบอื่นของพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ช่วงรังสีอินฟราเรดสามารถแบ่งได้ 3 กลุ่ม คือ คลื่นสั้น คลื่นปานกลาง และคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยาวการดูดซับรังสีอินฟราเรดจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความยาวของคลื่นอินฟราเรด ส่วนประกอบของวัตถุ ลักษณะพื้นผิวของวัตถุ มุมการตกกระทบ และสีของวัตถุ วัตถุที่เป็นของแข็งส่วนใหญ่จะดูดซับรังสีอินฟราเรดที่มีความยาวคลื่นมากกว่า 2 เมตร ได้ดี ยกเว้นโลหะที่ขัดขึ้นเงา เช่น ทอง เงิน การใช้งานรังสีอินฟราเรดจะต้องมีตัวปล่อยคลื่น (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน) ประกอบด้วย

- คลื่นสั้น ตัวปล่อยคลื่น คือ หลอด Tungsten Filament หลอด T- 3 Quartz Lamps
- คลื่นปานกลาง ตัวปล่อยคลื่น คือ คอยล์ หรือลวดที่บรรจุในแท่ง Quartz ท่อ Silicon ท่อ Metal Radiant Tubes

ประเภทของการใช้งาน การประยุกต์ใช้งานจะขึ้นอยู่กับความยาวของคลื่น ลักษณะการใช้งานโดยมีตัวอย่างการใช้งานที่หลากหลาย ได้แก่ การอบสี การอบผลิตภัณฑ์แป้ง การเคลือบภาชนะในการทำอาหารการเคลือบสาร PVC บนผนัง การอบแห้งสารแม่เหล็กบนเทปคลาสเส็ท การอบแห้งผลิตภัณฑ์กระจกนิรภัย การอบหนัง การอบแห้งกระดาษ การอบสี และแลคเกอร์การบัดกรีการทำให้หดตัวของโลหะ การเผากระเบื้อง ฯลฯ

การให้อุณหภูมิสูงต่อแมลงและข้าวนั้นในรูปแบบถัดมาการใช้รังสีแกมมาและลำอิเล็กตรอน ในการผลิตลำอิเล็กตรอนนั้น อิเล็กตรอนที่เกิดจากเครื่องยิงอิเล็กตรอน ถูกเร่งให้มีความต่างศักย์ 150-250000 โวลต์ ภายใต้สุญญากาศ อิเล็กตรอนเหล่านี้จะเคลื่อนผ่านทะลุกระจกไปยังผลิตภัณฑ์ การใช้ลำอิเล็กตรอนนั้นเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นสั้นแต่มีความถี่สูงกว่ารังสีอื่นๆ ส่งผลให้มีความสามารถในการทะลุทะลวงสูง และจัดอยู่ในรังสีประเภทที่แตกตัวเป็นประจุหรือไอออน ซึ่งแตกต่างจากไมโครเวฟและรังสีอินฟราเรดที่เป็นรังสีประเภทที่ไม่เกิดการแตกตัวเป็นไอออน (Non-Ionizing Rsadiation) (ดารณี เจริญสุข, 2554)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ความถี่และความยาวคลื่นของรังสีประเภทต่างๆ

รังสี	ความถี่ (Hz)	ความยาวคลื่น (μm)
ลำอิเล็กตรอน	10^{21}-10^{18}	10^{-7}-10^{-4}
อัลตราไวโอเลต	10^{17}-10^{15}	10^{-2}-1
อินฟราเรด	10^{15}-10^{12}	1-100
ไมโครเวฟ	10^{12}-10^{10}	10^{3}-10^{5}

ดัดแปลงมาจาก ดารณี เจริญสุข, ศูนย์วิจัยเทคโนโลยียาง, 2554

ผลการทดลองด้านการใช้รังสีเพื่อรักษาผลผลิตทั้งหลายยืนยันว่าสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของแมลงได้ ดังงานวิจัยในหัวข้อ ผลของรังสีแกมมาและลำอิเล็กตรอนที่มีต่อตัวเต็มวัยของด้วงงวงข้าว (ฐิติมา คงรัตน์อาภรณ์, 2557) การเพาะพันธุ์แมลงที่ควบคุมอุณหภูมิ 27 ถึง 30 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 60 ถึง 70 เปอร์เซ็นต์ ไม่พบการเติบโตข้ามระยะการเจริญเติบโตของรุ่นลูกไปทุกปริมาณรังสี และที่ปริมาณรังสี 132 เกรย์ สามารถหยุดการแพร่พันธุ์ของด้วงงวงข้าวตัวเต็มวัยได้สมบูรณ์ (Tilton et al, 1996)

การให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ จากข้อมูลที่ศึกษาพบว่า พูนพัฒน์ พูนน้อย และคณะ(2553) ได้ทำการทดลองผลของระดับกำลังไมโครเวฟและเวลาที่มีผลต่ออัตราการตายของไข่มอดในข้าวอินทรีย์และคุณภาพข้าวเนื่องจากคลื่นไมโครเวฟไม่ทำให้เกิดสารพิษตกค้างในข้าวโดยใช้กำลังไมโครเวฟ 3 ระดับคือ 20 30 และ 40 วินาที พบว่าการให้ความร้อนจนอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิวิกฤติสำหรับการทำลายไข่มอดที่ 55 องศาเซลเซียส มีผลทำให้ไข่มอดถูกทำลายอย่างสมบูรณ์ การใช้ระดับกำลังไมโครเวฟที่ 0.64 กิโลวัตต์ทำลายไข่มอดสมบูรณ์ภายในเวลา 30 วินาทีแต่การใช้ระดับไมโครเวฟที่ 0.41 และ 0.51 กิโลวัตต์ใช้เวลาเพื่อทำลายมอดนาน 40 วินาที ส่วนที่เวลา 20 วินาทีไม่สามารถทำลายไข่มอดได้อย่างสมบูรณ์เนื่องจากอุณหภูมิของข้าวต่ำกว่า อุณหภูมิวิกฤติ นอกจากนี้ศึกษาผลกระทบ พบว่ากระบวนการทำลายไข่มอดด้วยไมโครเวฟไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้น สี ปริมาณไขมันและปริมาณโปรตีนแต่มีผลต่อการแตกหักของข้าวอย่างมีนัยยะสำคัญทางสถิติที่เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว จึงมีความเป็นไปได้ที่จะประยุกต์ใช้กระบวนการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟเพื่อทำลายไข่มอดในกระบวนการผลิตข้าวอินทรีย์ จากงานวิจัยดังกล่าวได้เพิ่มข้อเสนอแนะว่าควรศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของข้าวกล้องอินทรีย์ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่างกระบวนการให้ความร้อนอย่างต่อเนื่องซึ่งข้อมูลดังกล่าวจะช่วยสามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเวลาและอัตราการตายของไข่มอดได้ (พูนพัฒน์ พูนน้อยและคณะ, 2553)

5. การใช้ภาชนะบรรจุ บรรจุภัณฑ์มีความสำคัญต่อกระบวนการผลิต เนื่องจากการพัฒนาบรรจุภัณฑ์สามารถส่งเสริมได้ในทั้งด้านความปลอดภัยของผู้บริโภค สร้างความมั่นใจและน่าเชื่อถือ เพิ่มมูลค่าสินค้า ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาสินค้า ช่วยส่งเสริมการขนส่งหรือกระจายสินค้า (ประจวบ เพิ่มสุวรรณ และ พัฒน์ พิสิษฐเกษม, 2556) และสิ่งที่สำคัญที่สุดคือด้านการปกป้องผลิตภัณฑ์จากการทำลงทำลายของแมลง เป็นที่ทราบกันดีว่าปัจจุบันมีบรรจุภัณฑ์หลากหลายแบบ ที่เลือกตามความเหมาะสมของการใช้งานตามประเภทวัสดุหรือผลผลิต (ชุมพล กันทะ, 2533) ดังนั้นจำเป็นต้องมีความเข้าใจเกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ และคุณสมบัติเฉพาะของผลผลิตนั้น

ปัจจุบันมีการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของบรรจุภัณฑ์ ยกตัวอย่างเช่น งานวิจัยผลของอุณหภูมิ ภาชนะบรรจุและสภาวะการเก็บรักษาต่อคุณภาพักชีเพื่อการส่งออก (สุทธาสินี บุญคง, 2559) ทดสอบผักชีใส่ภาชนะบรรจุที่แตกต่างกัน 3 ชนิด คือ ถุงพลาสติกเจาะรูที่มีความหนาแน่นต่ำและความหนาแน่นสูง กล่องโฟม พบว่าระยะเวลาการเก็บรักษาแตกต่างกัน และ การยืดอายุข้าวสารโดยประยุกต์ใช้บรรจุภัณฑ์ที่มีสมบัติลดการซึมผ่านของออกซิเจน (ฤทธิรงค์ และอทิตย์สา, 2551) แนวคิดมาจากปัญหาการเกิดกลิ่นเหม็นหืน และแมลงในถุงข้าวต่างใช้ออกซิเจนเป็นปัจจัยสำคัญในการดำรงชีวิต ทีมวิจัยจึงมุ่งวิจัยลดอัตราการซึมผ่านของออกซิเจน โดยคงความใสของฟิล์มไว้เช่นเดิม ในปัญหาเรื่องข้าวเช่นเดียวกัน มีการศึกษาเพื่อการพัฒนาบรรจุภัณฑ์เพื่อรักษาคุณภาพข้าวสาร เพื่อการส่งออก (ปัทมา สวาท, 2542) ทดลองเก็บรักษาข้าวสารในภาชนะบรรจุต่างๆทั้ง 9 ชนิดเป็นระยะเวลา 6 เดือน ผลการทดลองพบว่าการบรรจุข้าวสารในถุงพลาสติก และกระสอบพลาสติกสานโดยปิดผลึกปกติไม่สามารถป้องกันการเกิดแมลงได้ แต่การใช้ระบบการปิดผนึกแบบสุญญากาศหรือการดูดออกซิเจนในถุงจะช่วยป้องกันการเกิดแมลง และชะลอการเพิ่มขึ้นของกลิ่นเหม็น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยข้างต้นที่วิเคราะห์ถุงลดการซึมผ่านของออกซิเจน

จะเห็นว่าบรรจุภัณฑ์นับว่าเป็นส่วนประกอบที่สำคัญและได้รับความสนใจ หากได้รับการออกแบบและเลือกที่เหมาะสมจะสามารถแก้ไขปัญหาต่างๆได้อีกด้วย แต่ยังคงมีแนวทางอื่นๆในการจัดการที่จะกล่าวในหัวข้อถัดไป

6. การเก็บรักษาสภาวะบรรยากาศ การเก็บรักษาในสภาพสุญญากาศหรือภาชนะที่ปิดผนึกแน่นเนื่องจากแมลงต้องการออกซิเจนเพื่อหายใจ เมื่ออยู่ในที่ที่ไม่มีอากาศผ่านก็สามารถทำให้แมลงตายได้ หรือการใช้สภาวะสุญญากาศร่วมกับปัจจัยอื่นๆเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดแมลง เช่น ระยะเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความดันและอุณหภูมิ เนื่องจากเมื่อความดันต่ำลงหรืออุณหภูมิสูงขึ้น จะเป็นสภาวะที่แมลงมีการตายสูง (ธีรเดช เดชทองจันทร์, วัชรพล ชยประเสริฐ และเอนก สุขเจริญ, 2016) ในกรณีที่ต้องการให้แมลงตายรวดเร็วขึ้นอาจเพิ่มก๊าซที่เป็นพิษ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หรือก๊าซไนโตรเจน และสภาวะสุญญากาศ สามารถหลีกเลี่ยงปัญหาสารพิษตกค้างและการสร้างความต้านทานของแมลงต่อสารรมได้

จากการที่ผลผลิตทางการเกษตรส่วนใหญ่สามารถทนต่อการเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศที่ออกซิเจนต่ำ หรือมีคาร์บอนไดออกไซด์สูงได้ การใช้สภาพดังกล่าวจึงได้รับความสนใจนำไปใช้ในการกำจัดแมลงหลังการเก็บเกี่ยว การกำจัดแมลงแบบหนึ่ง คือ ทำให้สภาพบรยากาศขาดออกซิเจนทำให้แมลงตายได้เช่นกัน แต่อย่างไรก็ตามอัตราการตายยังมีปัจจัยอื่นๆมาเกี่ยวข้องด้วย เช่น ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ ชนิดและวัยของแมลง ยกตัวอย่างเช่น ด้วงงวงข้าวทุกวัย จะตายได้ที่ปริมาณออกซิเจนลดลงถึง 2 เปอร์เซ็นต์ และความชื้นสัมพัทธ์มีผลอย่างมากต่อความอยู่รอดของแมลง เนื่องจากความเข้มข้นของออกซิเจนต่ำและคาร์บอนไดออกไซด์สูงขึ้นมาก

นอกจากนั้นมีวิวัฒนาการที่เพิ่มขึ้นใหม่ ก็คือการรมแก๊สไนโตรเจน ข้อดีคือการใช้ก๊าซไนโตรเจนที่ใช้ในการรมข้าวนี้มีความปลอดภัยและมาจากธรรมชาติ ทำให้ข้าวมีอายุการเก็บที่ยาวนานขึ้น และมีประสิทธิภาพการทำจัดที่สูง (สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ, 2556) สำหรับการทำงานของระบบนี้จะดูดอากาศภายในห้องที่เก็บข้าวสาร มาผ่านเครื่องดูดซับก๊าซออกซิเจนและปล่อยก๊าซที่เหลือกลับสู่ห้องเก็บอีกครั้งขั้นตอนนี้จะใช้เวลาประมาณหกถึง 8 ชั่วโมงทำให้ปริมาณก๊าซออกซิเจนเหลือต่ำกว่าร้อยละ 0.5 และปริมาณก๊าซไนโตรเจนคนมากถึงร้อยละ 99.5 จากนั้นปล่อยทิ้งไว้ในสัดส่วนนี้ จนกว่าด้วงงวงข้าวจะตายภายในเจ็ดวันโดยระยะเต็มวัยจะตายก่อน โดยตัวอ่อน ไข่และดักแด้ จะตายตามลำดับ โดยเฉพาะระยะดักแด้ที่จะมีการฝังตัวเข้าไปในเมล็ดข้าวและสร้างใยรอบตัวเองทำให้ตายยากที่สุด อีกทั้งก๊าซไนโตรเจนยังช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราได้อีกด้วยโดยในปัจจุบันประเทศเนเธอร์แลนด์ก็มีการใช้ระบบนี้ด้วยเช่นกันแต่ยังคงมีมูลราคาสูงกว่าของไทยมากถึง 4 เท่า และการใช้โอโซนในการควบคุมของด้วงงวงข้าวในข้าวสาร (เจนวิทย์ ทาแกง, 2554) ทดลองให้ด้วงงวงข้าวได้รับก๊าซโอโซนที่ระดับความเข้มข้น 60 พีพีเอ็มเป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบว่ามีการตายระยะไข่ 27.50 ± 2.63 ระยะหนอน 65.83+ -5.50 ระยะดักแด้ 17.50+ -1.26 และระยะตัวเต็มวัย 17.50 ± 2.89 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับนอกจากนี้พบว่าด้วงงวงข้าวในระยะไข่ดักแด้และตัวเต็มวัยสามารถทนก๊าซโอโซนได้ดีกว่า ระยะหนอน และจากการสังเกตยังพบว่าระยะดักแด้ของด้วงงวงข้าวที่ได้รับก๊าซโอโซนมีรูปร่างลักษณะผิดปกติ จากการศึกษาระยะการเจริญเติบโต พบว่าระยะหนอนมีการตายมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่สุดอาจเกิดจากกิจกรรมการกินอาหารหรือการเครื่องไหวและการหายใจมากกว่าระยะไข่ดักแด้และตัวเต็มวัยจึงทำให้ต้องใช้พลังงานในกระบวนการเมตาบริซึมมากขึ้นนอกจากนี้ลักษณะดักแด้ของด้วงงวงข้าวที่ผ่านกระบวนการกำจัดมีลักษณะรูปร่างผิดปกติไปไม่สามารถลอกคราบเป็นตัวเต็มวัยได้

7. การใช้พืชสมุนไพรในการป้องกันกำจัดแมลงศัตรูโรงเก็บ ปัญหาการกำจัดไข่มอดนับเป็นปัญหาที่มีมานานและได้รับความสนใจอย่างมากในด้านอุตสาหกรรม แม้ว่าปัจจุบันเทคโนโลยีจะก้าวหน้าไปมากเพียงใด แต่สิ่งหนึ่งมนุษย์คิดค้นจากภูมิปัญญาชาวบ้านโดยใช้สมุนไพร พื้นบ้านหลายชนิดที่สามารถป้องกันหรือกำจัดแมลงศัตรูโรงเก็บได้ดี (ชุมพล กันทะ, 2533) นับว่าเป็นสิ่งที่น่าสนใจ โดยผ่านการคิดค้นมาจากการสั่งสมประสบการณ์หรือการทดลองจากเหตุการณ์หรือปัญหาที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวัน และหาแนวทางแก้ไขปัญหาจากวัสดุอุปกรณ์ที่หาได้ง่ายๆในพื้นบ้าน และแนวทางปฏิบัติไม่ยุ่งยากจนเกินไปซึ่งเหมาะสมกับสภาพเศรษฐกิจและสังคมในพื้นที่นั้นๆ ยกตัวอย่างงานวิจัยประสิทธิภาพการไล่และการยับยั้งการวางไข่ของสูตรน้ำมันหอมระเหยต่อตัวเต็มวัยของด้วงงวงข้าวโพด (กวีวัฒน์ จาวสุวรรณวงษ์ และคณะ, 2555) จากการทดสอบประสิทธิภาพการไล่และการยับยั้งการวางไข่คือ 28.1 เปอร์เซ็นต์ ทำการทดลองโดย ใส่ใส่น้ำมันในจานเรียนเชื้อเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 เซนติเมตรโดยไม่มีเมล็ดข้าวสารทำการทดสอบไร่ในท่อที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 เซนติเมตรยาว 20 เซนติเมตรโดยมีเมล็ดข้าวสาร และการทดสอบประสิทธิภาพการไล่ได้ดีที่สุดมี ดัชนีการไล่มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ ตั้งแต่ 2 ถึง 6 ชั่วโมง จากผลการทดสอบสมุนไพรที่ใช้ยังคงใช้ระยะเวลานานและมีประสิทธิภาพที่ต่ำ แต่อนาคตสามารถนำไปประยุกต์กับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพื่อดัดแปลงแก้ไขเป็นเทคโนโลยีหรือแนวทางเลือกใหม่ๆได้ในอนาคต

8. การควบคุมโดยใช้อุณหภูมิ โดยใช้ความร้อนและความเย็น เนื่องจากอุณหภูมิมีผลต่อวงจรชีวิตของแมลง

การใช้ความร้อน อุณหภูมิสูงทำให้ปฏิกิริยาต่างๆในสิ่งมีชีวิตต่างๆเกิดได้เร็วขึ้น และมีอีกหลายงานวิจัยที่สนับสนุนว่าอุณหภูมิสูงมีประสิทธิภาพในการกำจัดแมลง (พรทิพย์ วิสารทานนท์ และคณะ, 2548) การใช้ความร้อนอาจทำได้หลากหลายวิธี เช่น การใช้ตู้อบลมร้อน ไอน้ำร้อน และอากาศร้อน ความแตกต่างของวิธีการเหล่านี้ได้แก่ วิธีการถ่ายเทความร้อน แต่อย่างไรก็ตามสิ่งสำคัญที่สุดประการหนึ่งในการใช้ความร้อนในการกำจัดแมลงก็คือ ต้องเลือกอุณหภูมิและระยะเวลา ตลอดจนวิธีการกำจัด โดยไม่ทำอันตรายต่อผลิตภัณฑ์ และภายหลังจากการให้ความร้อนแล้วต้องรีบลดอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว หรือศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อผลิตภัณฑ์นั้นๆ มิฉะนั้นจะทำให้ผลผลิตเสื่อมสภาพได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้ความเย็น (พรทิพย์ วิสารทานนท์ และคณะ, 2548) ในทำนองเดียวกันกับการใช้อุณหภูมิสูง แมลงไม่สามารถดำรงอยู่ได้ที่อุณหภูมิต่ำเกินไป ดังนั้นการใช้อุณหภูมิต่ำหรือความเย็นก็สามารถกำจัดแมลงได้เช่นกัน ซึ่งผลผลิตเกษตรอาจะเกิดปัญหาสภาวะหนาวสะท้าน นอกจากปัญหาหนาวสะท้านแล้ว การใช้วิธีนี้ค่อนข้าวจะมีปัญหาในทางปฏิบัติเพราะต้องลงทุนสร้างห้องเย็นจำนวนมากเพื่อรับรองปริมาณผลผลิตในฤดูกาลที่มีผลผลิตมาก ซึ่งอาจทำได้ไม่ง่ายนัก นอกจากปัญหาการหนาวสะท้านแล้ว การลดอุณหภูมิอาจจำเป็นต้องคำนึงถึงต้นทุนการสร้างห้องลดอุณหภูมิเพื่อรองรับปริมาณผลผลิต และการควบคุมอุณหภูมิให้สม่ำเสมอ

หลักการการทำความเย็น (กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม) การทำความเย็น หมายถึง การทำให้อุณหภูมิของบริเวณโดยรอบหรือบริเวณควบคุมลดต่ำลงจนถึงระดับที่ต้องการใช้ประโยชน์ โดยอาศัยหลักการดูดความร้อนบริเวณดังกล่าวหรือจากสิ่งที่ต้องการทำให้เย็นผ่านอุปกรณ์ที่เราเรียกว่า อีวาโปเรเตอร์ (Evaporator) เข้าสู่ตัวกลางหรือสารทำงานเพื่อนำความร้อนส่วนนั้นไประบายทิ้งในแหล่งที่มีอุณหภูมิสูง บริเวณอุปกรณ์ที่เรียกว่า คอนเดนเซอร์ (Condenser) โดยมีอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ขับเคลื่อนสารทำงานในระบบเรียกว่า เครื่องอัด (Compressor) และมีอุปกรณ์สำคัญที่จะทำให้เกิดการทำความเย็นในระบบโดยที่ ลิ้นลดความดัน (Expansion Value) ทำหน้าที่ลดความดันของสารทำความเย็น

2.4 อิทธิพลของอุณหภูมิและความชื้นต่อแมลงและคุณภาพข้าวสาร

สภาพแวดล้อมทางกายภาพส่งผลต่อการเจริญเติบโตของแมลง ทั้งยังมีหลายปัจจัยทางกายภาพที่สามารถควบคุมได้ รวมถึงอุณหภูมิ ความชื้น แสง สภาพอากาศ อย่างไรก็ตามผลกระทบของการควบคุมปัยจัยต่างๆยังขึ้นอยู่กับพันธุ์และระยะการเจริญเติบโตของแมลงด้วย แต่ไม่ว่าแมลงอยู่จุดไหนของวงจรชีวิต แมลงมีโอกาสที่จะได้รับผลกระทบจากสิ่งแวดล้อมที่อยู่รอบข้างอยู่เสมอ (Dent, 2000)

โดยทั่วไปพบว่าแมลงสามารถเจริญเติบโตในโรงเก็บที่ช่วงอุณหภูมิ 10-40 องศาเซลเซียส แต่มีแนวโน้มการเจริญเติบโตที่ดีที่สุในช่วง 25-30 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิและความชื้นอาจมีการปรับเปลี่ยนได้ ดังนั้นสิ่งแรกที่เราควรหาคือ ช่วงอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสมต่อแมลงแต่ละสายพันธ์ การควบคุมด้วยบรรยากาศ การใช้ไนโตรเจนหรือคาร์บอนไดออกไซด์ สามารถควบคุมแมลงได้ทุกชนิด และทุกระยะการเจริญเติบโต สำหรับด้วงงวงข้าว ดักแด้เป็นระยะที่อ่อนแอมากที่สุดต่อบรรยากาศที่ไม่เหมาะสม ตามด้วย ระยะไข่ (egg) ระยะหนอน (larvar) และ ระยะตัวเต็มวัย (adult)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุมพล กันทะ กล่าวว่า ในการเจริญเติบโตพบว่าเมื่ออุณหภูมิและความชื้นอยู่ในสภาวะที่เหมาะสม แมลงจึงจะเริ่มพัฒนาจากไข่ กลายเป็นตัวอ่อน และเมื่อเป็นตัวเต็มวัย โดยแมลงจะเลือกอยู่ในส่วนของผลผลิตที่มีอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตมากที่สุด ดังนั้นจะพบว่าแมลงจะมุ่งทำลายในส่วนที่มีอุณหภูมิและความชื้นสูง

2.4.1 ผลกระทบความร้อนต่อแมลงและคุณภาพข้าวสาร

อุณหภูมิสูงส่งผลต่อแมลง เนื่องจากจะทำให้ปฏิกิริยาเคมีต่างๆในสิ่งมีชีวิตเกิดได้เร็วขึ้น นอกจากนั้นอุณหภูมิที่สูงเกินไปทำให้โปรตีนแปลงสภาพ ทำให้เอนไซม์ในปฏิกิริยาต่างๆซึ่งเป็นโปรตีนอย่างหนึ่งไม่สามารถทำงานได้ตามปกติ ส่งผลให้มีสิ่งมีชีตหยุดการเจริญเติบโต และอาจถึงตายได้ (พรทิพย์ วิสารทานนท์ และคณะ, 2548) ในสภาวะอุณหภูมิสูง ระยะไข่ ตัวอ่อน และ ดักแด้ โดยรวมทั้ง3 ระยะ อาจใช้ระยะเวลาเพียง 26 วัน แต่อาจจะเป็นระยะเวลานานขึ้นในสภาวะอากาศเย็น (Science and Education Adminstration, 1979) และในงานวิจัยพบว่าการใช้อุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียสติดต่อกันจะทำให้แมลงบางชนิดหยุดการเจริญเติบโตและตายได้ และหากใช้อุณหภูมิระหว่าง 55-60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 12 ชั่วโมง หรือ อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียสในระยะเวลา 15 นาที แมลงทุกชนิดจะตายอย่างสมบูรณ์ (กรมค้าข้าว)

การให้ความร้อนด้วยกำลังไมโครเวฟส่งผลต่อคุณภาพข้าวหอมมะลิเช่นกัน ในหลากหลายด้าน ทั้งปริมาณความชื้นข้าวลดลงเล็กน้อย เนื่องจากเมล็ดข้าวได้รับพลังงานความร้อนจากไมโครเวฟและความร้อนทำให้ความดันไอของน้ำเพิ่มขึ้นกระตุ้นให้เกิดการระเหยของน้ำในข้าว สังเกตได้จากการควบแน่นของไอน้ำที่เกาะบริเวณข้างภาชนะบรรจุตัวอย่าง และความร้อนส่งผลต่อการแตกหักของข้าว เนื่องจากการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของอุณหภูมิส่งผลให้เกิดการขยายตัวอย่างรวดเร็วของเมล็ดข้าว การขยายตัวอย่างรวดเร็วนี้ทำให้เกิดรอยร้าวบนเมล็ดและการแตกหักเมื่อมีแรงมากระทำบนเมล็ดข้าว (พูนพัฒน์ พูนน้อยและคณะ, 2553) ความสามารถในการรับภาระแรงของเมล็ดข้าวจึงลดต่ำลง ทั้งแรงดึง แรงกด และแรงดัด (ประสันต์ ชุ่มใจหาญ และ สมนึก ชูศิลป์, 2544) ในประเทศไทยมีการประมาณว่าการแตกหักของข้าวหอมมะลิอยู่ในช่วง 16-43 เปอร์เซ็นต์ โดยอุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการแตกหักของเมล็ดข้าวมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

ผลกระทบรังสีต่อแมลง ยกตัวอย่างการใช้รังสีหลังการเก็บเกี่ยวเป็นการใช้รังสีแกมมา หรือรังสี X รังสีทั้งสองเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ไม่มีมวล แต่มีอำนาจทะลุทะลวงสูงเมื่อให้กับสิ่งมีชีวิต รังสีจะเข้าไปกระตุ้นโมเลกุลต่างๆ รวมทั้งน้ำทำให้อยู่ในสภาพตื่นตัว (excited) เกิดการแตกตัวหรือเปลี่ยนแปลงเป็นสารอื่นๆ รวมทั้งสารที่มีกัมมันตรังสีขึ้นได้หากใช้ในอัตราสูง การใช้รังสีในระดับต่ำทำให้น้ำแตกตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ radical ของน้ำได้แก่ H และ HO (radical เหล่านี้ในสิ่งมีชีวิตก็มีเกิดขึ้นอยู่แล้วจากปฏิกิริยาเคมีต่างๆ แต่มีปริมาณน้อย) มีผลทำให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต ได้แก่การเปลี่ยนแปลงของเยื่อหุ้ม (membrane) ต่างๆ และปฏิกิริยาเคมีต่างๆเปลี่ยนแปลงไปจากสมดุลย์ ส่งผลให้เกิดอันตรายต่อเซลล์ขึ้นได้ (พรทิพย์ วิสารทานนท์ และคณะ, 2548) ในส่วนเมล็ดข้าวที่ได้รับรังสีอินฟราเรด มีแนวโน้มให้ค่าดัชนีความขาวเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ทั้งนี้อาจเป็นไปได้เนื่องจากเมื่อเมล็ดข้าวได้รับความร้อนอาจส่งผลต่อปริมาณไขมันในเมล็ดข้าวทำให้ค่าความสว่างเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (ประดิฐ รามัชฌิมา, 2555)

การให้ความร้อนโดยใช้รังสีอินฟราเรด เป็นการให้ความร้อนในระยะเวลาสั้น สุขอังคณา ลี และคณะ (2555) ได้ทำการออกแบบการทดลอง การให้ความร้อนโดยใช้รังสีอินฟราเรดเป็นการใช้ความร้อนคลื่นสั้นในระยะเวลาสั้นปัจจัยที่ศึกษาคืออุณหภูมิที่ 85 องศาเซลเซียส ระยะห่างของหลอดกับข้าวสาร 10 เซนติเมตรความหนาของข้าวบนสายพาน 1 เซนติเมตรและความเร็วรอบมอเตอร์ 825 รอบต่อนาทีประสิทธิภาพการกำจัดด้วงงวงข้าวร้อยละ 100 เปอร์เซ็นต์ ภายในระยะเวลา 2 ถึง 3 นาที หลังการฉายรังสีเมื่อข้าวเย็นตัวลงที่อุณหภูมิห้องคุณภาพทางกายภาพไม่มีการแตกหักเนื่องจากความร้อน ก่อนการฉายรังสีนำเข้าไปเก็บเป็นระยะเวลา 6 เดือนพบแมลงและตัวอ่อนในแต่ละถุง 165 ตัวและ 228 ตัวซึ่งไม่สามารถยับยั้งการเกิดแมลงได้ แต่หลังจากฉายรังสีเก็บข้าวเป็นเวลา 6 เดือนพบแมลงจำนวน 3 ตัว ซึ่งอาจไม่สามารถยับยั้งการเกิดแมลงได้สมบูรณ์แต่จะช่วยยืดระยะเวลาในการเก็บรักษาข้าวได้ และ คุณภาพข้าวทางกายภาพไม่มีการแตกหักเนื่องจากความร้อนและคุณภาพทางเคมียังคงมีคุณภาพเหมือนเดิมไม่เปลี่ยนแปลง (สุขอังคณา ลี, 2555) ในการให้ความร้อนประเภทเดียวกันนี้ มีการทดลองร่วมกับตะแกรงสั่นในงานวิจัยหัวข้อ ผลของการให้ความร้อนด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับตะแกรงสั่นต่อการกำจัดด้วงงวงข้าวในการเก็บรักษาข้าวเปลือก (ประดิฐ รามัชฌิมา, 2555) พบว่าอุณหภูมิจากรังสีอินฟราเรดกำจัดแมลงโดยใช้ข้าวหนึ่งกิโลกรัมพบว่าที่ความหนาข้าว 3.1 มิลลิเมตรอุณหภูมิตั้งแต่ 120 องศาเซลเซียสเป็นเวลา4- 5 วินาที ทำให้อัตราการตายของแมลงสมบูรณ์ 100 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ความหนา ข้าว 4.5 มิลลิเมตรต้องใช้อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียสในเวลา4- 5 วินาทีจึงให้อัตราการตายเกือบสมบูรณ์ สำหรับในระหว่างการเก็บรักษาข้าวนาน 2-3 เดือนมีอัตราการเกิด ของแมลงอยู่ระหว่าง 1.1 ถึง 5.3 เปอร์เซ็นต์ และ 1.1 ถึง 3.7 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 180 และ 200 องศาเซลเซียสตามลำดับ จากการที่แมลงมีอัตราการตายที่สูงทั้งนี้เนื่องจากข้าวมีการแยกตัวจากแมลงได้ดีทำให้แมลงสัมผัสกับความร้อนได้นานขึ้นเมื่อความหนาข้าวเพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการตายลดลงแสดงให้เห็นว่าแมลงอาจมีการแทรกตัวอยู่ในชั้นข้าวเพื่อเป็นที่หลบกำบังให้รอดชีวิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 ผลกระทบความเย็นต่อแมลงและคุณภาพข้าวสาร

แมลงกับอุณหภูมิต่ำ การตอบสนองต่อความเย็น อุณหภูมิต่ำมีผลกระทบทั้งทางกายภาพและชีวภาพ ส่งผลต่อระบบนิเวศหากอุณหภูมิต่ำหรืออากาศเย็นต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของน้ำ จะส่งผลให้เซลล์ประสาทแห้งและทำลายสารเคมีภายในตัวสิ่งมีชีวิตจนถึงขั้นเสียชีวิตได้ (Sinclair Et. al, 2003)

การเก็บเมล็ดพืชที่อุณหภูมิต่ำกว่า 12 องศาเซลเซียส จะทำให้แมลงหยุดการเจริญเติบโตและขยายพันธ์ได้เมื่อลดอุณหภูมิต่ำลง ปริมาณการดูดซับออกซิเจนของร่างกายแมลงจะลงน้อยลงตามไปด้วย ในอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 25 องศาเซลเซียส จะทำให้มอดหยุดการเคลื่อนที่ ที่อุณหภูมิ 20 องศา แมลงส่วนใหญ่จะชะงักการพัฒนา (ใยไหม ช่วยหนู และคณะ, 2542) ที่ 10 องศาเซลเซียสสามารถหยุดการเจริญเติบโตของด้วงงวงข้าวได้อย่างสมบูรณ์ (Nakakita and Ikenaga, 1997) และตายเมื่ออยู่ในอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลานานกว่า 1 สัปดาห์ จากงานวิจัยของ Fields (1992) พบว่าการเก็บผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ ต่ำกว่า13 องศาเซลเซียส หรือมากกว่า 35 องศาเซลเซียส แมลงจะตายในที่สุด ยิ่งอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงสูงขึ้น หรือต่ำลง จะส่งผลให้แมลงตายในระยะเวลาที่เร็วขึ้น และจะตายภายในไม่กี่นาทีที่อุณหภูมิ -20 หรือ 55 องศาเซลเซียส และแมลงจะตายหมดที่อุณหภูมิ -2 ถึง -5 องศาเซลเซียสภายในหลายอาทิตย์ถึงเดือนเมื่ออุณหภูมิที่ต่ำลดลงมา ในงานวิจัยของ สมหญิง ประทุมผล และคณะ (2555) ได้ศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้ความเย็นเพื่อกำจัดแมลงและไข่แมลงปนเปื้อนในข้าว พบว่าช่วงอุณหภูมิ -10 ถึง 5 องศาเซลเซียสและระยะเวลาการให้ความเย็นไม่มีผลต่อคุณภาพของข้าวสารและ ข้าวหุงสุกได้แก่ความขาวและการยืดตัว และการขยายปริมาตรของข้าวหุงสุกแต่มีผลเล็กน้อยต่อลักษณะเนื้อสัมผัส ขณะเดียวกันอุณหภูมิและเวลาในช่วงดังกล่าวสามารถกำจัดแมลงที่ปนเปื้อนในข้าวได้ทั้งหมดหลังจากนั้นทำการเก็บตัวอย่างข้าวที่ผ่านความเย็นต่อในห้องควบคุมอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสเพื่อทำการศึกษาเพิ่มของการเพิ่มแมลงที่ปนเปื้อน เพื่อเปรียบเทียบกับข้าวที่พบว่าอุณหภูมิและเวลาที่ให้ผลในการลดการฟักไข่แมลงสูงสุดคือ -5 และ 0 องศานาน 90 นาทีซึ่งมีอัตราการรอดของไข่แมลงต่ำสุดคือ 12.5 เปอร์เซ็นต์ (สมหญิง ประทุมผล, 2555) ช่วงอุณหภูมิที่ 25-33 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของแมลงและจะทำให้มอดแพร่ (FIELDS, 1992) พันธุ์อย่างรวดเร็ว ซึ่งพัฒนาการและการเจริญเติบโตของแมลงในโรงเก็บขึ้นอยู่กับความชื้นของเมล็ดและอุณหภูมิ

จากอุณหภูมิต่ำได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก จึงนำไปสู่การทดลองแมลงที่อุณหภูมิต่ำ โดยรักษาของเหลวภายในร่างกายภายใต้จุดหลอมเหลว หรือการเอาชีวิตรอดโดยมีการก่อตัวของน้ำแข็งภายในเนื้อเยื่อ การทดลองทั้งหมดเป็นประโยชน์ และส่งผลให้เกิดความเข้าใจอย่างกว้างขวางเกี่ยวกับสภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร่างกายสรีรวิทยา ชีวเคมีและโมเลกุล ของแมลงที่อยู่รอดจากสภาวะอุณหภูมิต่ำได้อย่างดี อย่างไรก็ตามจากการสังเกตุ แสดงให้เห็นว่าการตายของแมลงบางส่วนอาจไม่ได้เกิดจากการตกผลึกของน้ำภายในตัวแมลง ดังนั้นจึงศึกษาเกี่ยวกับความเย็นรวมถึงความเสียหายจากความเย็นที่ส่งผลให้แมลงได้รับความบาดเจ็บ นอกจากนี้ยังต้องคาดการณ์เกี่ยวกับต้นทุนและประโยชน์ที่เหลื่อมล้ำกันของแต่ละวิธีการ แม้ว่าในการศึกษาด้านการตอบสนองของแมลงจะมีผลลัพธ์ที่แปรปรวนมาก แต่มีหลักการหลักๆอยู่ 2 ข้อแบ่งออกเป็นการอธิบาย 3 ส่วน คือ แมลงสามารถหลีกเลี่ยงการถูกแช่แข็ง โดยเก็บของเหลวภายในร่างกายไว้ต่ำกว่าจุดหลอมเหลวปกติของตัวเอง และสามารถอยู่รอดได้แม้ว่าเนื้อเยื่อภายในร่างกายถูกแช่แข็ง(ความอดทนต่อการแช่แข็ง) หรือทำให้จุดหลอมเหลวลดต่ำลงโดยทำให้ของเหลวในร่างกายมีความดันไอสมดุลกับน้ำแข็งบริเวณรอบๆ(สภาวะอุณหภูมิต่ำ) (Sinclair Et. al, 2003) หรือแมลงหลีกเลี่ยงการถูกแช่แข็งโดยทำให้ของเหลวภายในร่างกายมีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดหลอมละลายโดยการเอาไอโซโทปน้ำแข็งมาเริ่มต้นสร้างน้ำแข็งสังเคราะห์โปรตีน เพื่อลดศักยภาพในการเกิดนิวเคลียสของเมล็ดคริสตัล และสะสมน้ำตาล , กลีเซอรอล ซึ่งจะช่วยลดอุณหภูมิในการตกผลึกลงด้วย (อุณหภูมิที่ของเหลวแข็งตัวจากการระบายความร้อนเรียกว่าจุดเยือกแข็ง) ทำให้สามารถคงที่รักษาสภาพเนื้อเยื่อไว้ได้ที่อุณหภูมิต่ำ ในขณะที่แข็งตัว น้ำตาลจะช่วยป้องกันเนื้อเยื่อและโปรตีนจากการเปลี่ยนแปลงสภาพของเฟส โปรตีนแอนติบอดี้มักมีอยู่และทำหน้าที่เป็น recrystallization inhabitors ป้องกันการเจริญเติบโตและการกระจายตัวของผลึกน้ำแข็งหากเกิดขึ้นอีกครั้ง ส่วนการเจริญของตัวอ่อนเกิดได้ยากเนื่องจาก อุณภูมิต่ำมีผลกระทบต่อกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์บางประเภทซึ่งกิจกรรมของเอนไซม์ดังกล่าวมีผลต่อการเจริญเติบโตของตัวอ่อนแมลงทำให้ตัวอ่อนแมลงพัฒนาเป็นแมลงตัวเต็มวัยได้ไม่เต็มที่ (สำนักงานมาตรฐานเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2556)

อิทธิพลของการทำความเย็นต่อผลผลิตทางการเกษตร โดยทั่วไปมีการใช้ความเย็นในการถนอมอาหาร เนื่องจากการลดอุณหภูมิของอาหารลงให้ต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส เพื่อทำให้กระบวนการเมแทบอลิซึม การเจริญของจุลินทรีย์รวมทั้งกิจกรรมของเอนไซม์เกิดได้ช้า จึงเป็นการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ ชะลอการเน่าเสีย และลดอัตราการเปลี่ยนแปลงทางเคมีทำให้สามารถยืดอายุการเก็บรักษาอาหารได้ระยะหนึ่ง (องค์การเภสัชกรรม, 2559)

การเก็บเมล็ดพันธุ์ข้าวที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ความชื้นและจำนวนแมลงศัตรูพืชในโรงเก็บต่ำกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เนื่องจากสภาพอุณหภูมิห้องเมล็ดจะดูดและคายความชื้นกับสภาพอากาศรอบๆ ได้มากกว่าที่ 15 องศาเซลเซียส ความชื้นของเมล็ดจึงเปลี่ยนแปลงตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

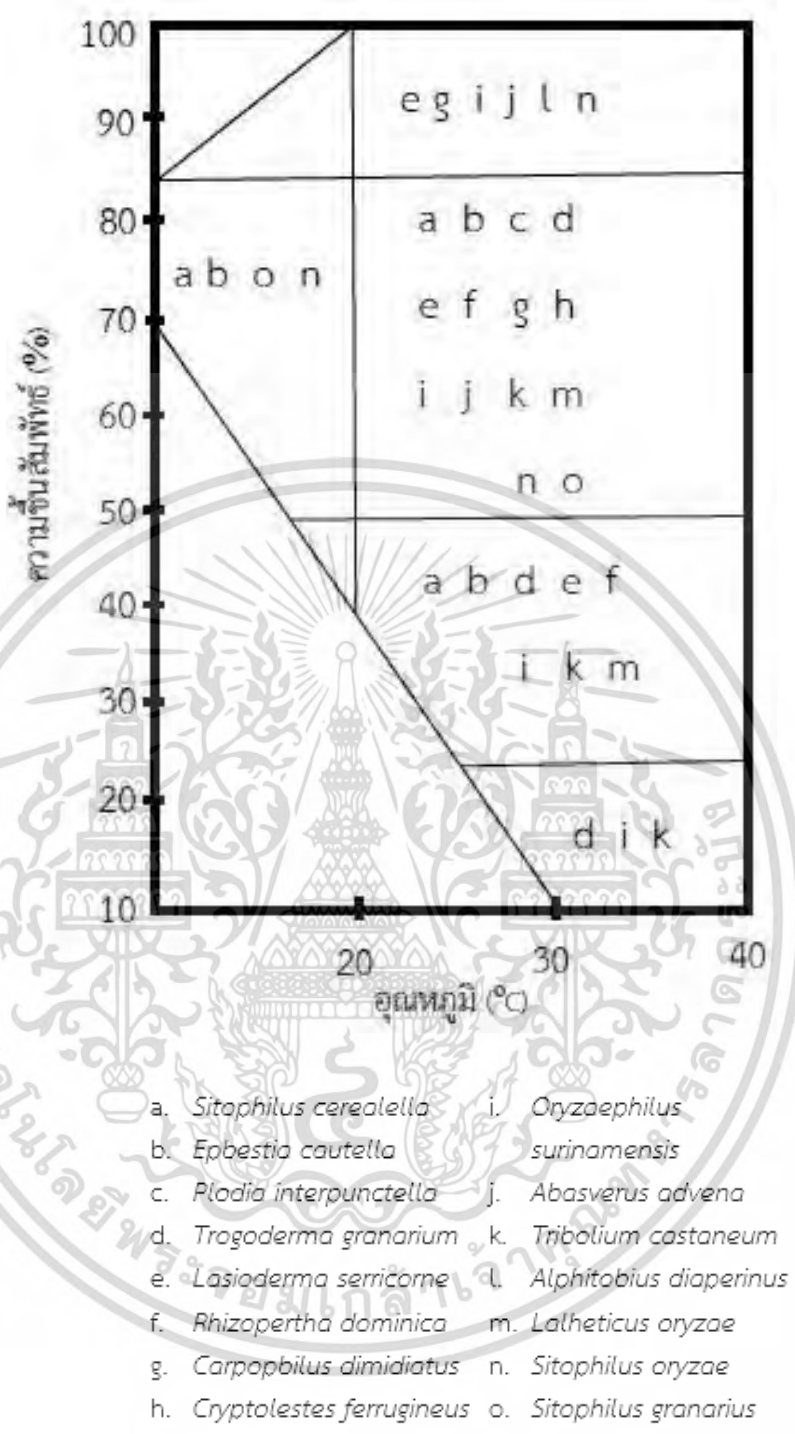
ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ เมื่อความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้น ความชื้นของเมล็ดจึงตามไปด้วย (ใยไหม ช่วยหนู, 2556)

2.4.3 ผลกระทบความชื้นต่อแมลงและคุณภาพข้าวสาร

ความชื้นนั้นมีผลต่อเมล็ดข้าวตั้งแต่ระยะเก็บเกี่ยว การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความชื้นร่วมกันส่งผลต่อคุณภาพเมล็ด ความหอมและคุณสมบัติความหนืดของแป้ง และในระยะการเก็บรักษาความชื้นส่งผลต่อเนื่องถึงคุณภาพการสี ค่าความขาว รวมถึงราคาขายของข้าวสาร

ในระยะการเก็บรักษา ความชื้นมีผลต่ออายุการเก็บรักษาของเมล็ดข้าว หากลดความชื้นลงเหลือ 10 เปอร์เซ็นต์ จะพบแมลงเข้าทำลายน้อย และหากลดความชื้นในเมล็ดต่ำกว่า 8 เปอร์เซ็นต์มักไม่พบแมลงเข้าทำลาย (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2526) ที่ 9 เปอร์เซ็นต์ ทำให้แมลงไม่สามารถขยายพันธุ์ได้ (ชุมพล กันทะ, 2533) ดังนั้นความชื้นของเมล็ดไม่ควรสูงเกินไป ตามมาตรฐานการซื้อขายไม่เกิน 14-15 เปอร์เซ็นต์ หากเมล็ดมีความชื้นที่มากเกินไปส่งผลให้เมล็ดเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีเกิดขึ้น เนื่องจากกระบวนการหมักโดยเชื้อจุลินทรีย์ พวกรา หรือแบคทีเรีย ซึ่งทำให้เมล็ดเสียหายได้ ในกรณีที่เมล็ดเก็บในสภาวะที่แห้งเกินไป การหายใจของเมล็ดก็จะเกิดขึ้นน้อย ปริมาณของแก๊สออกซิเจนอาจจะลดลงได้ช้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 แสดงขอบเขตของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่การเจริญเติบโตของแมลงศัตรูในโรงเก็บ
ที่มา ดัดแปลงมาจาก หนังสือหลักการป้องกันกำจัดแมลงศัตรูในโรงเก็บ (ชุมพล กันทะ, 2533)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความชื้นที่เกิดขึ้นในกองผลิตภัณฑ์นั้น ส่วนหนึ่งเกิดจากแมลง และเป็นวัฏจักรต่อกันไปเมื่อแมลงขับถ่ายลงบนกองเมล็ดจนความชื้นสูง เมื่อความชื้นผลผลิตสูงส่งผลให้เป็นแหล่งเพาะพันธุ์ให้แมลงเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้วัยของแมลงก็มีการตอบสนองต่อความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแตกต่างกัน โดยเฉพาะระยะหนอนและระยะดักแด้มักจะพบน้อยมากบริเวณที่อากาศแห้ง ซึ่งอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสมของแมลงแต่ละชนิดและวัยแตกต่างกันไป ความอยู่รอดของระยะตัวเต็มวัยจะสูงขึ้นตามความชื้นของเมล็ดที่เพิ่มมากขึ้น แต่จะลดลงตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ตามขอบเขตที่แสดงดังรูปที่ 2.4 อีกหนึ่งปัจจัยนอกจากแมลงความชื้นจากสภาวะอากาศโดยรอบมีผลโดยตรงเช่นกัน ทั้งนี้เนื่องจากความสมดุลย์จะเกิดขึ้นระหว่างความชื้นของผลผลิตกับความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศรอบข้าง แต่อย่างไรก็ตามความชื้นที่ผิวของกองผลผลิตอาจแตกต่างจากความชื้นภายในกองผลผลิตมาก ซึ่งความชื้นภายในกองที่อยู่ลึกนั้นจะถูกควบคุมโดยความชื้นของผลผลิต ตรงส่วนผิวอาจเจอปัญหาเกี่ยวกับการสูญเสียน้ำออกจากร่างกาย

จากการค้นคว้าอิทธิพลต่างๆที่จะส่งผลต่อการดำรงชีวิตแมลงพบว่า อุณหภูมิ ระยะเวลา และระยะการเจริญเติบโตของแมลง ล้วนเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์การกำจัด รวมถึงในกระบวนการกำจัดแมลง คุณภาพข้าวเป็นอีกปัจจัยที่ควรคำนึงถึงเช่นกัน เนื่องจากการเพิ่มหรือลดอุณหภูมิจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพข้าว ดังนั้นการวางแผนการทดลองจึงออกแบบเพื่อให้สอดคล้องกับข้อมูลข้างต้น โดยจะแสดงในหัวข้อถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

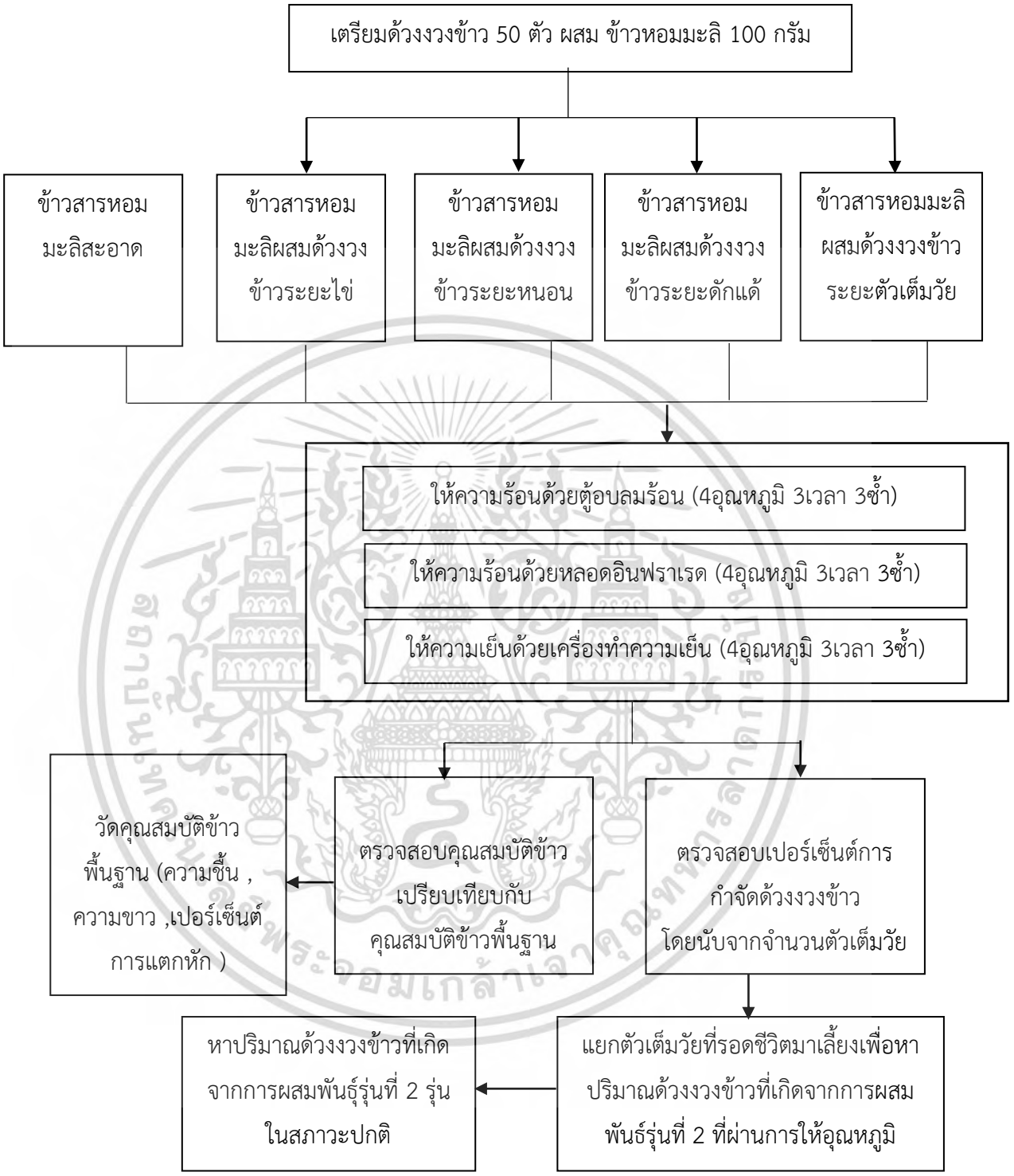
บทที่ 3
วิธีดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา และเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การกำจัดด้วงงวงข้าว โดยมีปัจจัย 4 ปัจจัย กล่าวคือ อุณหภูมิ 4 ระดับ ระยะเวลาการปรับอุณหภูมิ 3 ช่วง ระยะการเจริญเติบโต 4 วัย และ วิธีการปรับอุณหภูมิ 3 แบบ

ในหัวข้อที่จะกล่าวถัดไป ได้อธิบายตั้งแต่กระบวนการเตรียมวัสดุอุปกรณ์ และหน่วยทดลองที่ใช้ระบุถึงสายพันธุ์ข้าว จำนวนการผสมแมลง และน้ำหนักแต่ละหน่วยทดลอง ในหัวข้อ 3.1 ลำดับถัดไปกล่าวถึงขั้นตอนการให้อุณหภูมิหน่วยทดลองแต่ละวิธี ในหัวข้อถัดไปที่ 3.2 โดยให้ปริมาณอุณหภูมิที่แบ่งออกเป็น 4 ระดับ ระยะเวลาที่ให้อุณหภูมิ 3 ช่วง ที่ส่งผลต่อด้วงงวงข้าวแตกต่างกัน วิธีการเก็บบันทึกค่าชี้ผลสำหรับนำไปวิเคราะห์ โดยใช้สถิติในการคำนวณและวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยในงานวิจัย ช่วยให้สามารถตอบโจทย์วัตถุประสงค์ ช่วยในการแปลผลข้อมูลให้มีความถูกต้องและน่าเชื่อถือ นอกจากการศึกษาเปอร์เซ็นต์การกำจัดด้วงงวงข้าวนั้น งานวิจัยนี้เล็งเห็นถึงความสำคัญของการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเบื้องต้นของเมล็ดข้าวหอมมะลิหลังผ่านกระบวนการความร้อนและความเย็นในหัวข้อ 3.3 ยกตัวอย่าง การเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นภายในเมล็ด เปอร์เซ็นต์การแตกหัก เป็นต้นและ หัวข้อ 3.4 การศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิต่อการเจริญวัยของด้วงงวงข้าวในรุ่นถัดไป หลังจากทดลองนำด้วงงวงข้าวผ่านสภาวะปรับอุณหภูมิคาดว่าด้วงงวงข้าวที่รอดชีวิต แม้ว่ายังคงเจริญเติบโตในระยะถัดไป แต่อาจจะเกิดความผิดปกติ ร่างกายบางส่วนเสียหายจนส่งผลให้เกิดความพิการ ไปถึงการสืบพันธุ์และการวางไข่ในรุ่นถัดไป ในหัวข้อสุดท้าย 3.5 เพื่อประกอบการตัดสินใจด้านต้นทุนพลังงานเป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญที่จำเป็นต้องนำมาเปรียบเทียบร่วมกันจากความร้อนและความเย็นวิธีการต่างๆ

จากที่กล่าวมาข้างต้น มีหลากหลายขั้นตอนและค่าชี้ผลในการทดสอบ เพื่อให้เห็นภาพรวมของการทดลองในครั้งนี้ ดิฉันได้สรุปวิธีการทดลองลงใน รูปภาพที่ 3.1 รวมถึงขั้นตอนการทดลองตั้งแต่ต้นเริ่มเก็บผลข้อมูล จนถึงนำค่าชี้ผลจากข้อมูลชนิดหนึ่ง ไปวิเคราะห์เปรียบเทียบกับข้อมูลส่วนอื่น รูปแผนภูมิจะสามารถช่วยให้ผู้อ่านได้เข้าใจงานวิจัยนี้มากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 แผนผังการทดลอง

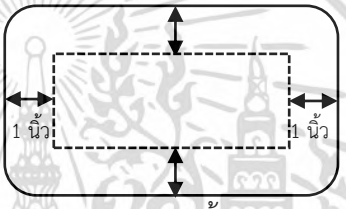
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 การเตรียมวัสดุอุปกรณ์ และหน่วยทดลอง

ในการเตรียมพร้อมสำหรับการทดลอง เริ่มตั้งแต่กระบวนการเพาะเลี้ยงแมลง กระบวนการเตรียมข้าว รวมถึงกระบวนการผสมพันธุ์และคำนวณระยะการเจริญเติบโตสำหรับการทดลอง

3.1.1 การเตรียมอุปกรณ์

กล่องเพาะเลี้ยง นำกล่องพลาสติกขนาดใหญ่สี่เหลี่ยมผืนผ้า ที่สามารถปิดฝาได้สนิท เจาะรูที่ฝาโดยวัดเข้าจากด้านข้างประมาณ 1 นิ้ว สำหรับทากาว ดังรูปที่ 3.2 แปะตาข่ายไนร่อนหรือผ้าขาวบางให้อากาศถ่ายเทได้สะดวก แต่ความละเอียดของผ้าขาวบางจำเป็นต้องเล็กกว่าตัวแมลง เพื่อป้องกันการสูญหายของแมลง



รูปที่ 3.2 การเจาะฝากล่องเลี้ยงแมลง

รูปที่ 3.3 โหลแก้วเจาะฝา ปิดด้วยตาข่ายละเอียด

หลังจากผสมข้าวและด้วงงวงข้าวในกล่อง ปิดฝาแล้วจำเป็นต้องใช้สก็อตเทปปิดทับรอยต่อระหว่างฝาและกล่อง ให้สนิท เช่นเดียวกับขวดโหลสำหรับทดลอง เลือกใช้ขวดโหลแก้วอาหารฝาเกลียวฟิล์ม (รูปที่3.3) เพื่อทนต่อสภาวะอุณหภูมิสูงและอุณหภูมิต่ำระหว่างการทดลอง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.5 เซนติเมตร สูง 9.8 เซนติเมตร เมื่อใส่ข้าวสารหอมมะลิปริมาณ 100 กรัม จะมีความหนาชั้นข้าวประมาณ 2 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์สำหรับการคัดแยก ใช้ตะแกรงสำหรับร่อนเศษผงข้าวและแยกแมลงออกจากข้าวเบื้องต้น ใช้พู่กันปลายหัวฟู และถาดพลาสติกคัดแยกแมลงอีกครั้ง เมื่อคัดแยกแมลงที่ต้องการใช้สำหรับการทดลองเรียบร้อย พักแมลงทิ้งไว้ประมาณ 1-2 ชั่วโมงก่อนนำไปทดลอง

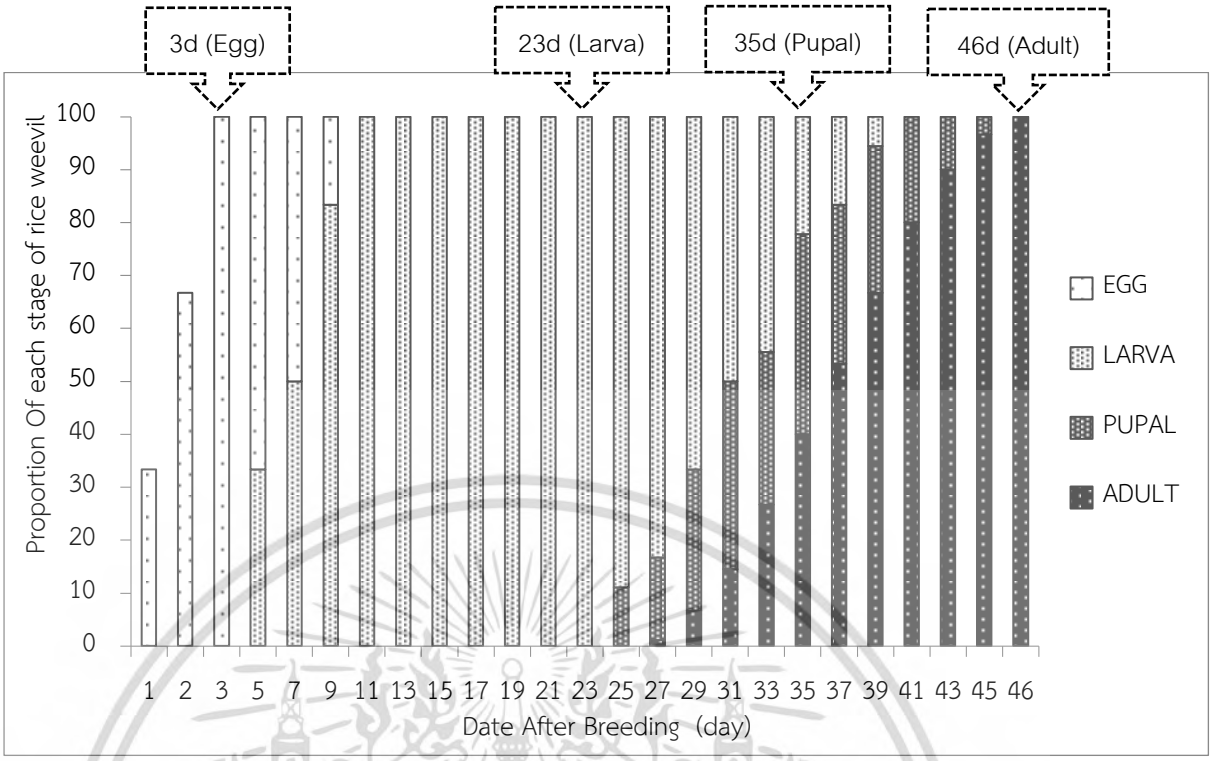
3.1.2 การเตรียมหน่วยทดลอง

การเตรียมข้าวสารในการทดลอง ใช้ข้าวสารหอมมะลิ 100 เปอร์เซ็นต์ ตราฉัตร (ซื้อจากห้างสรรพสินค้าทั่วไป) ก่อนนำข้าวสารไปทดลอง ผ่านกระบวนการตรวจสอบแมลงที่อาจปนเปื้อนมาภายในเมล็ด โดยนำข้าวสารใส่โหลแก้วสำหรับการทดลอง วางทิ้งไว้ที่สภาวะอุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 50 วัน พบว่าไม่พบแมลงเกิดใหม่ภายในขวดโหลแก้ว เป็นการยืนยันว่าในระหว่างการทดลองและเก็บผลจะไม่พบแมลงที่อาจเกิดขึ้นนอกเหนือจากการที่ผู้วิจัยทำการผสมพันธุ์สำหรับการทดลอง อย่างไรก็ตามข้าวสารที่นำมาใช้ไม่มีการผ่านกระบวนการเพื่อกำจัดแมลงอย่างสมบูรณ์ที่สามารถยืนยันได้แน่นอนว่าไม่มีไข่แมลงปนเปื้อนอยู่ภายในเมล็ด

การเตรียมแมลงสำหรับการทดลอง ได้รับการอนุเคราะห์จากอาจารย์ อำมร อินทร์สังข์ อาจารย์สังกัดคณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สำหรับด้วงงวงข้าวรุ่นแรกที่นำมาเพาะเลี้ยงเพื่อเพิ่มจำนวนสำหรับการทดลอง โดยผสมด้วงงวงข้าวคละเพศ ใส่กล่องเพาะเลี้ยงในในหัวข้อ 3.1.1 เป็นระยะเวลา 3 วัน เพื่อให้ด้วงงวงข้าวผสมพันธุ์และวางไข่ รอประมาณ 45-50 วัน จนไข่กลายเป็นตัวเต็มวัยสมบูรณ์ คัดแยกตัวเต็มวัยออก จะได้ด้วงงวงข้าวรุ่นที่1 ที่มีอายุรวมถึงขนาดตัวใกล้เคียงกัน เพื่อลดความคลาดเคลื่อนในการทดลอง

ระยะการเจริญเติบโตของด้วงงวงข้าว มีการวางแผนระยะเวลาในการทดลองระหว่างที่ด้วงงวงข้าวยังไม่เจริญเติบโตกลายเป็นตัวเต็มวัยออกจากเมล็ด จากการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นพบว่ามี 3 ระยะ ได้แก่ ระยะไข่ หนอน และดักแด้ เพื่อความแม่นยำในการตรวจสอบสถานะการเจริญเติบโตจึงสร้างตารางความเป็นไปได้ โดยคำนวณจากจำนวนวันในวัฏจักรชีวิตเฉลี่ย ดังรูปที่ 3.4 พบว่าวันที่เหมาะสมต่อการตรวจสอบระยะไข่คือ 3 วัน ระยะหนอนคือ 11-23 วัน และระยะดักแด้คือ 35 วัน เริ่มนับจำนวนวันหลังจากคัดแยกผสมตัวเต็มวัยออกจากข้าวหอมมะลิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 รูประยะเวลาการเจริญเติบโตของด้วงงวงข้าว ระยะไข่ถึงตัวเต็มวัย

จากรูปในการทดลองแบ่งเป็นการศึกษาด้วงงวงข้าวทั้งหมด 4 ระยะ คือ ระยะไข่ ระยะตัวหนอน ระยะดักแด้ และระยะตัวเต็มวัย เริ่มเตรียมหน่วยทดลองทั้ง 4 ระยะ ดังนี้ นำด้วงงวงข้าวตัวเต็มวัยรุ่นที่1 จำนวน 50 ตัว ผสมข้าวหอมมะลิ 100 กรัมหลังจากนั้น 3 วัน ค่อยนำตัวเต็มวัยออก (เริ่มนับวันที่ 1)

ระยะไข่ นับจากวันที่คัดแยกตัวเต็มวัยออก นาน 3 วัน และทดลองภายในวันที่ 3 เท่านั้น

ระยะตัวหนอน นับจากวันที่คัดแยกตัวเต็มวัยออก นาน 23 วัน และทดลองภายในวันที่ 23 เท่านั้น

ระยะดักแด้ นับจากวันที่คัดแยกตัวเต็มวัยออก นาน 35 วัน และทดลองภายในวันที่ 35 เท่านั้น

ระยะตัวเต็มวัย ผสมด้วงงวงข้าวรุ่นที่ 1 จำนวน 50 ตัว และข้าวหอมมะลิ แล้วนำไปทดลอง

3.2 การกำจัดด้วงงวงข้าวด้วยการปรับเปลี่ยนสภาวะอุณหภูมิ

หลังจากเตรียมหน่วยทดลองทั้ง 4 ระยะดังหัวข้อ 3.1.2 นำมาศึกษาเปอร์เซ็นต์การกำจัดด้วงงวงข้าวด้วยความร้อนและความเย็น การทดลองนี้ได้วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ Factorial Analysis in CRD หน่วยทดลองแต่ละหน่วยจะมีโอกาสได้รับทรีทเม้นท์ใดทรีทเม้นท์หนึ่งเท่าๆกัน โดยใช้โปรแกรม excel สำหรับสุ่มระยะเวลา ซ้ำ และตำแหน่งการวาง รวมถึงลำดับการทดลอง ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟังก์ชั่น RAND() และจัดเรียงลำดับด้วยฟังก์ชั่น เรียงลำดับและกรอง หลังจากนั้นจึงทำการทดลองตามลำดับและตำแหน่งที่ได้ผลลัพธ์ ยกตัวอย่างดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างการเรียงลำดับการทดลอง

Temp / Time / Repeat							
No.	Treatment	No.	Treatment	No.	Treatment	No.	Treatment
1	60/20/1	16	70/20/2	31	80/10/3	46	90/10/1
2	60/10/4	17	70/10/3	32	80/10/5	47	90/30/2
3	60/20/5	18	70/10/1	33	80/30/1	48	90/10/3
4	60/20/3	19	70/30/3	34	80/30/2	49	90/30/3
5	60/30/3	20	70/20/1	35	80/10/2	50	90/30/4
6	60/10/2	21	70/30/1	36	80/30/5	51	90/10/4
7	60/30/1	22	70/10/4	37	80/30/4	52	90/20/4
8	60/10/5	23	70/10/5	38	80/20/1	53	90/20/3
9	60/30/5	24	70/20/5	39	80/20/5	54	90/20/5
10	60/10/1	25	70/20/3	40	80/20/4	55	90/20/1
11	60/20/4	26	70/10/2	41	80/20/3	56	90/30/1
12	60/30/2	27	70/20/4	42	80/20/2	57	90/10/5
13	60/30/4	28	70/30/5	43	80/30/3	58	90/30/5
14	60/10/3	29	70/30/2	44	80/10/4	59	90/10/2
15	60/20/2	30	70/30/4	45	80/10/1	60	90/20/2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 การศึกษาจำนวนตัวเต็มวัยด้วงงวงข้าวที่เกิดจากการผสมพันธุ์ในสภาวะปกติ

ในการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การกำจัดของด้วงงวงข้าวในระยะ ไข่ หนอน และดักแด้ จำเป็นต้องทำการทดลองเบื้องต้นเพื่อเปรียบเทียบจำนวนแมลงที่จะเกิดจากการผสมพันธุ์ใน 1 หน่วยทดลอง (ด้วงงวงข้าวตัวเต็มวัย 50 ตัว ผสมข้าวสารผอมมะลิ 100 กรัม) ระหว่างก่อนและหลังการปรับเปลี่ยนสภาวะอุณหภูมิ

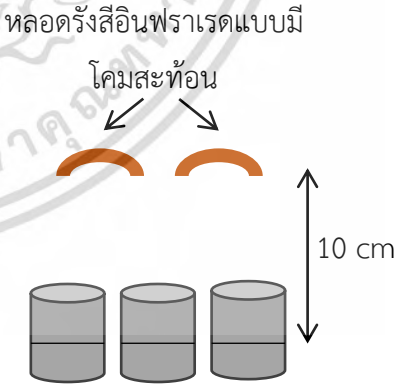
นำตัวเต็มวัยด้วงงวงข้าวจำนวน 50 ตัวคละเพศ ผสมข้าวสารหอมมะลิ 100 กรัม จำนวน 20 ซ้ำ เป็นเวลา 3 วัน หลังจากนั้นคัดแยกตัวเต็มวัยออก รอ 46 วัน หลังจากนั้นตรวจนับจำนวนตัวเต็มวัยที่สามารถเกิดได้ที่สภาวะปกติ และนำไปคำนวณในสมการหาเปอร์เซ็นต์การกำจัดด้วงงวงข้าว

3.2.2 การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดด้วงงวงข้าวด้วยความร้อน โดยวิธีการตู้อบลมร้อน

ปรับสภาวะอุณหภูมิภายในตู้อบลมร้อน (memmert, UF260, Germany) ที่อุณหภูมิ 60 70 80 และ 90 องศาเซลเซียส วัดอุณหภูมิภายในโดยใช้อุณหภูมิอากาศภายในตู้อบเป็นเกณฑ์ เมื่ออุณหภูมิภายในถึงตามต้องการจึงนำหน่วยทดลองใส่ในตู้อบลมร้อน เป็นระยะเวลา 10 20 และ 30 นาที จำนวน 3 ซ้ำ จากนั้นนำออกมาทิ้งไว้ที่สภาวะภายนอก รอจนกระทั่งอุณหภูมิลดลงจนถึงอุณหภูมิปกติ

การตรวจสอบระยะไข่ ตัวหนอน และดักแด้ รอระยะเวลาจนครบ 46 วัน ตรวจนับจำนวนตัวเต็มวัยที่เจริญออกมาจากเมล็ด สำหรับระยะตัวเต็มวัยตรวจนับจำนวนด้วงงวงข้าวที่รอดชีวิต และตาย เปรียบเทียบจำนวนด้วงงวงข้าวจากการให้ความร้อน ความเย็นทุกๆ สภาวะ

รูปที่ 3.5 การให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน



รูปที่ 3.6 การให้ความร้อนด้วยหลอดอินฟราเรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดด้วงงวงข้าวด้วยความร้อน โดยการใช้รังสีอินฟราเรด

ให้ความร้อนด้วยหลอดรังสีอินฟราเรดแบบมีโคม (รุ่น A-1) ขนาด 240x60 มิลลิเมตร วัสดุทำจากเซรามิคจำนวน 2 หลอด กำลังวัตต์ 650 วัตต์ จากบริษัท สุพรีมไลนส์ จำกัด ระยะห่างระหว่างหลอดอินฟราเรดและผิวข้าวสาร 10 เซนติเมตร โดยมีความหนาชั้นข้าว 2 เซนติเมตร นำหน่วยทดลองเข้าเครื่องหลังจากอุ่นสภาวะอากาศภายในจนถึงอุณหภูมิ 60 70 80 และ 90 องศาเซลเซียส ตรวจสอบโดยใช้เครื่องวัดอุณหภูมิระบบอินฟราเรดวัดอุณหภูมิบริเวณผิวเมล็ดข้าวสาร เมื่ออุณหภูมิภายในถึงตามกำหนดจึงนำหน่วยทดลองเข้ารับอุณหภูมิเป็นระยะเวลา 10 20 และ 30 นาที ทดลอง 3 ซ้ำ เมื่อครบกำหนดเวลา จากนั้นนำหน่วยทดลองออกมาวางทิ้งไว้จนอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง

หลังจากนั้นบันทึกผลการทดลอง สำหรับตัวเต็วเต็มวัย ทำการคัดแยกตัวเต็มวัยออกจากข้าวสาร เพื่อตรวจสอบจำนวนด้วงงวงข้าวที่รอดชีวิตจากสภาวะอุณหภูมิสูง เพื่อเปรียบเทียบกับจำนวนด้วงงวงข้าวจากสภาวะต่างๆ รวมถึงเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การกำจัดระหว่างอุณหภูมิ และระยะเวลาต่างๆ

สำหรับการตรวจสอบระยะไข่ หนอนและดักแด้ รอจนครบ 46 วันเพื่อให้ด้วงงวงข้าวในระยะต่างๆเจริญเติบโตเป็นตัวเต็มวัย จึงตรวจนับจำนวนตัวเต็มวัยที่รอดชีวิตเปรียบเทียบกับจำนวนตัวเต็มวัยที่สามารถเกิดได้ที่สภาวะปกติ (ในหัวข้อ 3.2.1) เพื่อหาเปอร์เซ็นต์การกำจัดด้วงงวงข้าวด้วยความร้อนโดยการใช้รังสีอินฟราเรด

3.2.4 การการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดด้วงงวงข้าวด้วยความเย็น

เตรียมเครื่องทำความเย็นด้วยการปรับสภาวะอุณหภูมิอากาศภายในเครื่องที่ -10 -5 0 และ 5 องศาเซลเซียส โดยเครื่องทำความเย็นมีการวัดและระบุอุณหภูมิด้านหน้าเครื่อง ดังรูปที่ 3.6

รูปที่ 3.7 เครื่องทำความเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่ออากาศภายในถึงอุณหภูมิที่กำหนด นำหน่วยทดลองที่เตรียมไว้เข้าเครื่องเป็นระยะเวลา 10 20 และ 30 นาที ทดลอง 3 ซ้ำ เมื่อครบระยะเวลาที่กำหนดนำหน่วยทดลองออกจากเครื่องทำความเย็น รอจนอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจนถึงอุณหภูมิปกติจึงตรวจสอบผลการทดลอง

หลังจากนั้นบันทึกผลการทดลองโดยคัดแยกตัวเต็มวัยออกจากข้าวสาร เพื่อตรวจสอบจำนวนด้วงงวงข้าวที่รอดชีวิตจากสภาวะอากาศเย็น เพื่อเปรียบเทียบกับจำนวนด้วงงวงข้าวจากสภาวะต่างๆ รวมถึงเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การกำจัดด้วงงวงข้าวระหว่างอุณหภูมิ และระยะเวลาต่างๆ สำหรับระยะไข่หนอนและดักแด้ รอจนครบ 46 วันจึงตรวจนับจำนวนตัวเต็มวัยที่รอดชีวิตเช่นเดียวกับการตรวจสอบในหัวข้อ 3.2.3

3.2.5 การวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดลอง

นำหน่วยทดลองหลังจากผ่านสภาวะอุณหภูมิต่างๆ มาเก็บรักษาไว้ที่สภาวะอุณหภูมิห้อง เพื่อรอให้อุณหภูมิลดลงจนถึงอุณหภูมิปกติ การตรวจสอบระยะไข่ ตัวหนอน ดักแด้ และตัวเต็มวัย รอระยะเวลาอีก 43 23 11 และ 0 วัน ตามลำดับ (ให้ครบ 46 วัน) หลังจากนั้นตรวจนับจำนวนด้วงงวงข้าวที่พบแล้วเปรียบเทียบกับจำนวนด้วงงวงข้าวที่เกิดในสภาวะปกติ (หัวข้อ 3.2.1) และคำนวณเปอร์เซ็นต์การกำจัดด้วงงวงข้าวจากสมการที่ 1 เปรียบเทียบผลการทดลองจากการวิธีการควบคุมอุณหภูมิที่แตกต่างกัน ได้แก่ การเพิ่มอุณหภูมิด้วยตู้อบลมร้อน การเพิ่มอุณหภูมิด้วยหลอดรังสีอินฟราเรด การลดอุณหภูมิด้วยเครื่องทำความเย็น

$$\%RW_E = \frac{RW_{norm} - RW_D}{RW_{norm}} \times 100 \qquad (1)$$

โดยที่

$\%RW_E$ = *เปอร์เซ็นต์การกำจัดด้วงงวงข้าว*

RW_{norm} = *จำนวนด้วงงวงข้าวที่สามารถเกิดได้ที่สภาวะปกติ*

RW_D = *จำนวนด้วงงวงข้าวที่เสียชีวิต*

เมื่อนำมาคำนวณครบแล้ว วิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบปัจจัยต่างๆที่ส่งผลต่อการกำจัดด้วงงวงข้าวด้วยโปรแกรม SPSS แผนการทดลอง Factorial Analysis in CRD แบบ TWO-WAY ANOVA เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Orthogonal ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเบื้องต้นของเมล็ดข้าวสารหอมมะลิหลังผ่านกระบวนการความร้อนและความเย็น

ลำดับการตรวจสอบคุณภาพข้าวสารหอมมะลิหลังผ่านการทดลอง นำมาทดสอบหาเปอร์เซ็นต์การแตกหักเป็นลำดับแรก หลังจากนั้นนำข้าวเต็มเมล็ดเข้าเครื่องทดสอบค่าความขาวและตรวจสอบความชื้น การวัดค่าความชื้นเมล็ดข้าวเป็นลำดับสุดท้าย เนื่องจากเครื่องจะทำลายเมล็ดข้าวให้เกิดการแตกหักในกระบวนการวัด

การตรวจสอบเปอร์เซ็นต์การแตกหัก ทดสอบด้วยเครื่องทดสอบการคัดขนาดเมล็ดข้าวแบบตะแกรงกลม (BBS-G2000) กดเปิดเครื่อง แล้วนำข้าวสาร(100 กรัม) ที่ผ่านการคัดแยกตัวเต็มวัยออกเรียบร้อยแล้วใส่ช่องป้อน ให้เครื่องหมุนทำการคัดขนาดเมล็ดข้าว ระยะเวลาประมาณ 5 นาที จนไม่มีเมล็ดข้าวเหลือภายในเครื่อง จากนั้นตรวจนับน้ำหนักเมล็ดข้าวภายในช่องต้นข้าว ช่องข้าวหัก และคำนวณเปอร์เซ็นต์การแตกหักจากสมการที่ 2 เปรียบเทียบระหว่างชุดข้าวหอมมะลิสะอาด และชุดข้าวหลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนและความเย็น

$$\text{เปอร์เซ็นต์การแตกหัก} = \frac{\text{น้ำหนักเมล็ดที่แตกหัก} \times 100}{\text{น้ำหนักรวม}} \qquad (2)$$

การตรวจสอบค่าความขาวของข้าวหอมมะลิ ทดสอบค่าสีด้วยเครื่องวัดความขาวข้าวสาร (Satake MM1D, Australia) เปิดสวิทช์เพื่อเริ่มทำงาน จากนั้นเลือกชนิดของวัสดุคือ ข้าวสาร นำข้าวสารหอมมะลิที่ต้องการตรวจสอบบรรจุในกล่องเตรียมตัวอย่างให้เต็ม จากนั้นนำกล่องตัวอย่างใส่ไปในเครื่องรอแสดงผลบนจอ บันทึกค่า Whiteness เปรียบเทียบระหว่างชุดข้าวหอมมะลิสะอาดและชุดข้าวหลังผ่านกระกวนการให้ความร้อนและความเย็น

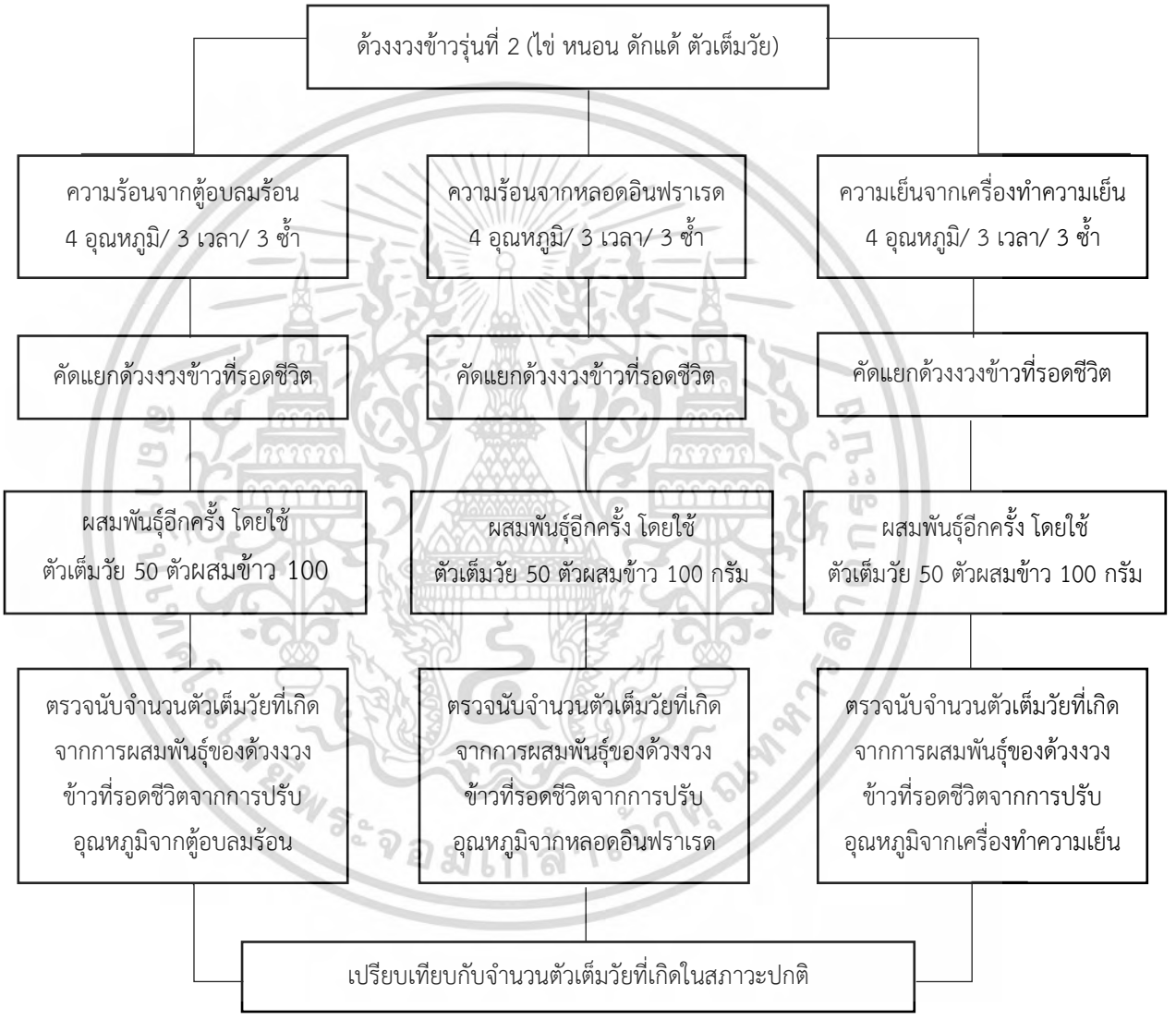
การตรวจสอบค่าความชื้นของข้าวหอมมะลิ ด้วยเครื่องทดสอบความชื้น (Moisture Tester MODEL TA-5, Japan) เปิดสวิทช์เพื่อให้เครื่องวัดความชื้นข้าวเริ่มทำงาน กดปุ่มเพื่อเลือกชนิดเมล็ดพืช เลือก “Rice” จากนั้นบรรจุตัวอย่างข้าวเต็มเมล็ดในถาดบรรจุตัวอย่างพอดีไม่ให้เมล็ดข้าวซ้อนทับจนเกินไป เกลี่ยเมล็ดข้าวให้กระจายหนึ่งชั้นเพื่อความแม่นยำในการทดสอบนำข้าวหอมมะลิใส่ในช่องสำหรับใส่ถาด หมุนบนเมล็ดข้าวให้แน่นแล้วหยุด บันทึกผลที่แสดงค่าความชื้นบนหน้าจอแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปรียบเทียบระหว่างชุดข้าวหอมมะลิสะอาด และชุดข้าวหลังผ่านกระบวนการปรับสภาวะอุณหภูมิจากความร้อนและความเย็น

3.4 การศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิต่อการเจริญวัยของด้วงงวงข้าวในรุ่นถัดไป

คัดแยกด้วงงวงข้าวตัวเต็มวัยที่รอดชีวิตจากการผ่านกระบวนการเปลี่ยนสภาวะอุณหภูมิออกจากข้าวสารหอมมะลิ นับเป็นรุ่นที่ 2 ลำดับการจัดการแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.8 แผนผังการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิต่อการเจริญวัยของด้วงงวงข้าวในรุ่นถัดไป

แบ่งการจัดเก็บด้วงงวงข้าวออกเป็น 3 ส่วนโดยใช้วิธีการเปลี่ยนอุณหภูมิเป็นเกณฑ์ในการคัดแยก คละทุกระยะเวลาและระดับอุณหภูมิ คือ ด้วงงวงข้าวที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนโดยตู้อบลมร้อน ด้วงงวงข้าวที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนโดยการใช้รังสีอินฟราเรด และ ด้วงงวง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้าวที่ผ่านกระบวนการให้ความเย็น จากนั้นผสมพันธุ์อีกครั้งทั้ง 3 ส่วน จำนวนส่วนละ 50 ตัว ผสมข้าวหอมมะลิ 100 กรัม เป็นเวลา 3 วันเช่นเดิม หลังจากนั้นรอ 46 วันเพื่อตรวจนับจำนวนตัวเต็มวัยของด้วงงวงข้าวเปรียบเทียบกับจำนวนตัวเต็มวัยที่เกิดในสภาวะปกติ เป็นการเปรียบเทียบอัตราการสืบพันธุ์ และความพิการที่อาจเกิดจากความเย็นและความร้อน

3.5 การศึกษากำลังไฟฟ้าของการสร้างสภาวะอุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิสูง

ตรวจสอบกระแสไฟ ภายในเครื่องเพื่อเปรียบเทียบระหว่างเครื่องทำความร้อนและความเย็น โดยวัดจากเครื่อง Clamp Meter (FLUKE 322) ขณะที่เครื่องทำงานเป็นระยะเวลา 30 นาที (เริ่มวัดตอนที่เครื่องอยู่ในสภาวะอุณหภูมิที่ต้องการ) จากนั้นหาค่าเฉลี่ย คำนวณหากำลังไฟฟ้าที่ใช้ต่อ 1 หน่วยทดลอง จากสมการที่ 3

$$P = V I \cos \phi \qquad (3)$$

โดยที่

P = กำลังไฟฟ้า(Watt)

V = แรงดันไฟ (V)

I = กระแสไฟที่ไหลในวงจร (A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลอง

จากการเตรียมหน่วยทดลองและทำการทดลองตามวิธีในบทที่ 3 ผลการทดลองถูกนำมาคำนวณด้วยโปรแกรม spss ด้วยวิธี two way anova และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี orthogonal โดยผลการทดลองแบ่งออกเป็น 4 หัวข้อ ได้แก่ ประสิทธิภาพการกำจัดด้วงงวงข้าวด้วยการปรับเปลี่ยนสภาวะอุณหภูมิ ผลกระทบอุณหภูมิต่อคุณภาพข้าว และ ผลกระทบอุณหภูมิต่อการผสมพันธุ์และการวางไข่ และกำลังไฟฟ้าของการสร้างสภาวะอุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิสูง

4.1 ผลการทดลองการกำจัดด้วงงวงข้าวด้วยการปรับเปลี่ยนสภาวะอุณหภูมิ

การกำจัดด้วงงวงข้าวด้วยอุณหภูมิวิกฤตนับว่าเป็นวิธีปลอดภัยต่อผลิตภัณฑ์ 100 เปอร์เซ็นต์ จากงานวิจัยค้นคว้าพบว่าไม่ว่าอุณหภูมิต่ำหรือสูง ล้วนส่งผลต่อการดำรงชีวิตรวมไปถึงการเสียชีวิตของแมลง ดังนั้นในหัวข้อต่อไปเป็นผลการทดลองที่ใช้อุณหภูมิ ความร้อนจากหลอดรังสีอินฟราเรดตู้อบลมร้อน และการใช้ความเย็นจากเครื่องทำความเย็นอุณหภูมิต่ำ

4.1.1 ผลการทดลองปริมาณการสืบพันธุ์ของด้วงงวงข้าวในสภาวะปกติ

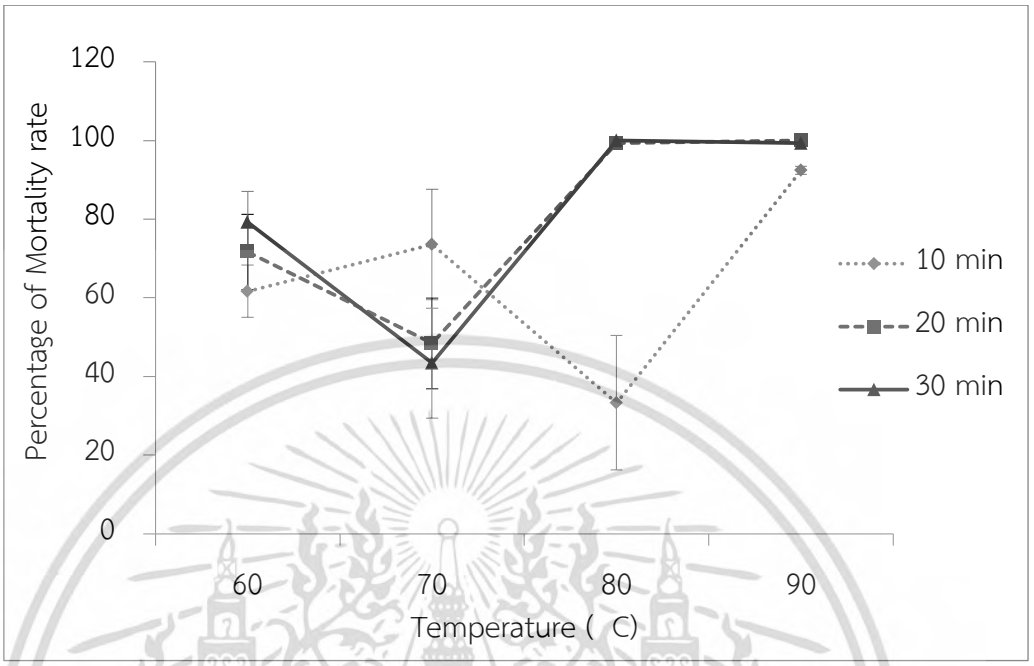
เมื่อผสมพันธุ์ด้วงงวงข้าวตัวเต็มวัยจำนวน 50 ตัวในข้าวสารหอมมะลิ 100 กรัมตามวิธีที่กล่าวในหัวข้อ 3.2.1 แล้ว เมื่อครบ 46 วัน ตรวจพบจำนวนตัวเต็มวัยที่เกิดในสภาวะปกติ 53±8.5 ตัว หลังจากนั้นนำจำนวนที่ตรวจนับไปคำนวณในสมการที่ 1 หาเปอร์เซ็นต์การกำจัดด้วงงวงข้าวสำหรับระยะไข่ หนอน และดักแด้

4.1.2 ประสิทธิภาพการกำจัดด้วงงวงข้าวด้วยความร้อน โดยวิธีการตู้อบลมร้อน

การให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 70 80 และ 90 องศาเซลเซียส ด้วงงวงข้าวแต่ละวัย(ระยะไข่ แทนด้วยสัญลักษณ์ E, ระยะหนอน แทนด้วยสัญลักษณ์ L, ระยะดักแด้ แทนด้วยสัญลักษณ์ P, ระยะตัวเต็มวัย แทนด้วยสัญลักษณ์ A) มีการตอบสนองต่ออุณหภูมิที่แตกต่างกัน ในการนำเสนอผลการทดลองจึงแบ่งออกตามระยะการเจริญเติบโต จากกราฟแนวนอนแสดงอุณหภูมิ และ ระยะการเจริญเติบโตของด้วงงวงข้าว และแนวตั้ง แสดงเปอร์เซ็นต์การกำจัดของด้วงงวงข้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2.1 ระยะไข่ (E)

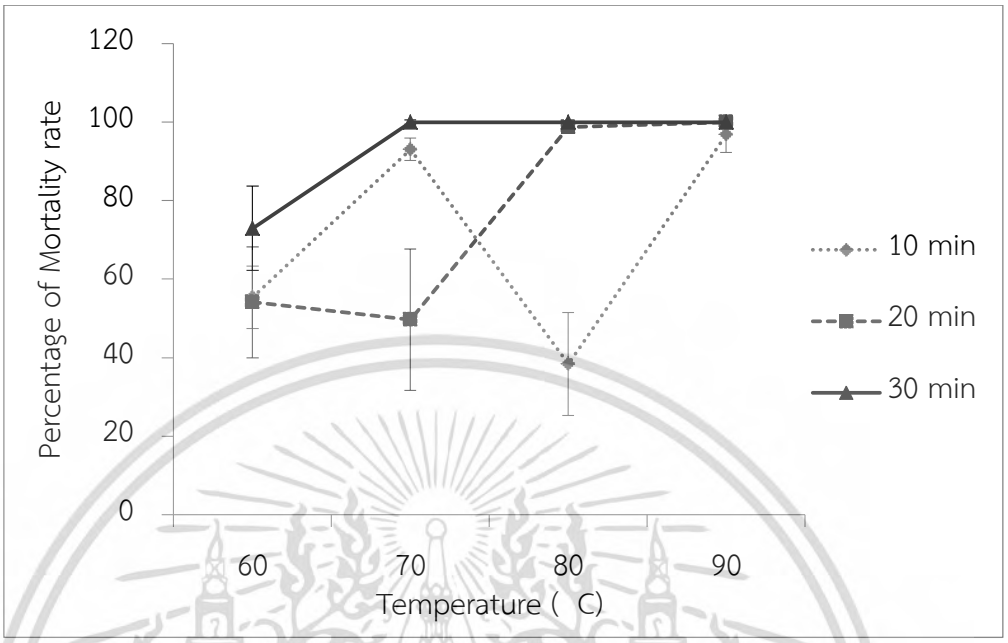


รูปที่ 4.1 การกำจัดด้วงงวงข้าวระยะไข่ ด้วยความร้อนจากตู้อบลมร้อน

ระยะไข่มีการตอบสนองต่อความร้อนจากตู้อบที่อุณหภูมิต่างๆแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยที่ 60 70 80 และ 90 องศาเซลเซียสพบเปอร์เซ็นต์การกำจัด 70.85^{b} 55.13^{b} 77.56^{ab} และ 92.92^{a} เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ จะเห็นว่าที่ 90 องศาเซลเซียสมีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด เช่นเดียวกันที่เวลา 30 นาที เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์การกำจัดสูงขึ้นตามลำดับแต่ไม่แตกต่างทางสถิติ โดยที่ 10 20 และ 30 นาทีพบเปอร์เซ็นต์การกำจัด 62.25^{a} 79.87^{a} และ 80.50^{a} เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2.2 ระยะหนอน (L)

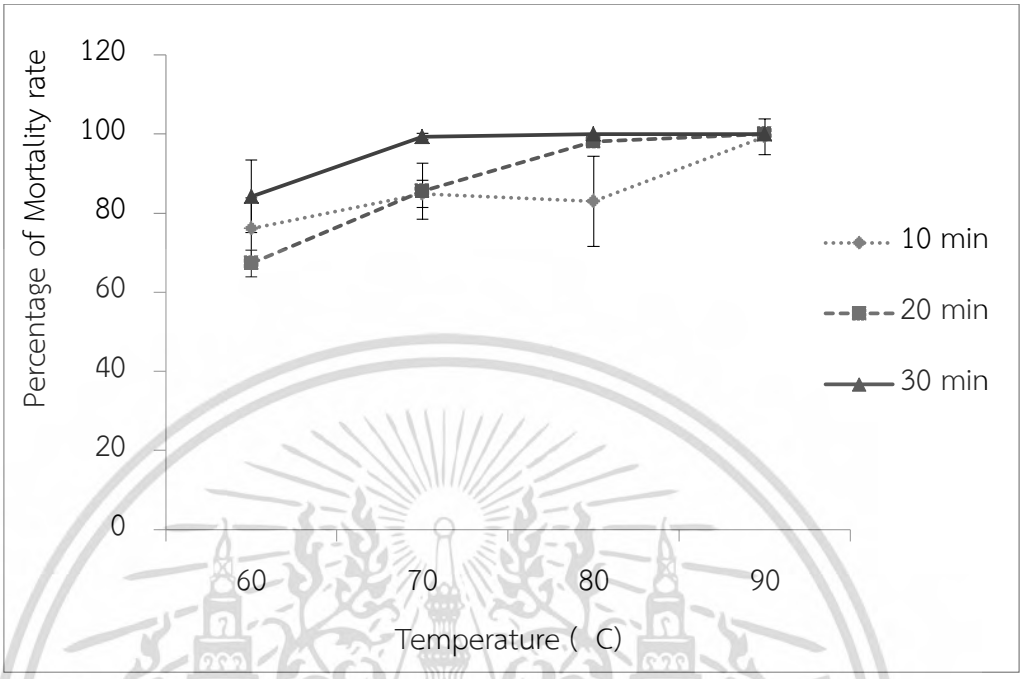


รูปที่ 4.2 การกำจัดด้วงงวงข้าวระยะหนอน ด้วยความร้อนจากตู้อบลมร้อน

รอเก็บรักษาข้าวหลังการผสมพันธุ์เป็นเวลา 23 วันคาดว่าด้านในด้วงงวงข้าวเจริญอยู่ในระยะเวลาตัวหนอนในการให้ความร้อน 10 นาทีเปอร์เซ็นต์การกำจัดของระยะหนอนที่ 60 70 80 90 องศาเซลเซียส คือ 55.35±9.31 , 93.08±4.36 , 38.36±4.75 และ 98.86±2.18 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ที่ระยะเวลา 20 นาทีคือ 54.09± 28.01, 49.69±22.51, 98.74±4.75, 100.00±0.00 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ที่ 30 นาทีเมื่ออุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสขึ้นไป แมลงจะตายสมบูรณ์ 100 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2.3 ระยะดักแด้ (P)

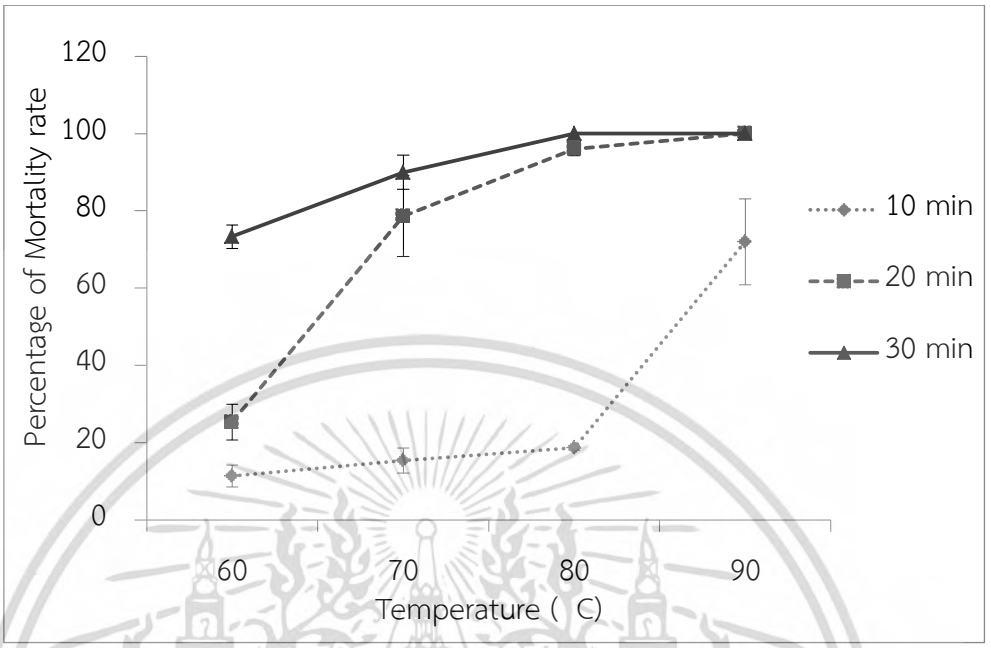


รูปที่ 4.3 การกำจัดด้วงงวงข้าวระยะดักแด้ ด้วยความร้อนจากตู้อบลมร้อน

โดยภาพรวมการกำจัดด้วยตู้อบลมร้อนสามารถกำจัดด้วงงวงข้าวได้ดีมีเปอร์เซ็นต์การกำจัดสูงกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ที่ทุกอุณภูมิและทุกระยะเวลาผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.3 การให้ความร้อนโดยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นอัตราการตายของระยะดักแด้สูงตามไปด้วยโดยที่ 60 องศาเซลเซียส 10 นาที สามารถกำจัดด้วงงวงข้าว 76.10±10.39 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเพิ่ม 20 นาที มีเปอร์เซ็นต์การกำจัด 67.30±1.09 เปอร์เซ็นต์ และที่ 30 นาที 84.28±6.07 เปอร์เซ็นต์ ที่ 70 องศาเซลเซียส มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดที่ 10 20 30 นาทีคือ 84.91±1.89 , 85.53±6.07 , 99.37±1.09 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสระยะเวลา 20 นาทีขึ้นไปเปอร์เซ็นต์การกำจัดที่ 100.00 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อลดลง 10 นาทีมีเปอร์เซ็นต์การกำจัด 83.02±1.898 เปอร์เซ็นต์ ที่ 90 องศา ระยะเวลา 20 และ 30 นาทีไม่มีด้วงงวงข้าวรอดชีวิตจากการให้ความร้อนเลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2.4 ระยะตัวเต็มวัย (A)



รูปที่ 4.4 การกำจัดด้วงงวงข้าวระยะตัวเต็มวัย ด้วยความร้อนจากตู้อบลมร้อน

ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.4 พบว่าที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส พบว่าด้วงงวงข้าวมีเปอร์เซ็นต์การกำจัด11.33 เปอร์เซ็นต์ในระยะเวลา 10 นาที เมื่อเพิ่มระยะเวลาการให้ความร้อน 20 30นาที พบว่าแปอร์เซ็นต์การกำจัดด้วงงวงข้าวเพิ่มขึ้นเป็น 25.33 และ 73.33 เปอร์เซ็นต์ และที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 10 20 และ 30 นาที พบเปอร์เซ็นต์การกำจัด 15.33 78.67 และ 90.00 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 10 20 และ 30 นาที พบเปอร์เซ็นต์การกำจัดด้วงงวงข้าว 18.67 97.00 และ 100.00 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดสมบูรณ์หลังจากเวลาผ่านไป 20 นาที โดยรวมเมื่ออุณหภูมิระยะเวลานานขึ้นส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การกำจัดสูงขึ้นตามไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2.5 รวม 4 ระยะ

เมื่อนำทั้ง 4 ระยะการเจริญเติบโต 4 ระดับอุณหภูมิและ 3 ระยะเวลามาวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่ามีปฏิสัมพันธุ์ระหว่างอุณหภูมิ ระยะเวลาและระยะการเจริญเติบโต (Sig.คือ 0.00≤0.05) เช่นเดียวกับอุณหภูมิและระยะเวลามีปฏิสัมพันธุ์ต่อกัน กล่าวคือทั้งการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและระยะเวลาต่างส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์การกำจัด เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นและระยะเวลาเพิ่มขึ้นส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การกำจัดสูงตามไปด้วยแสดงในตาราง4.1

ตารางที่ 4.1 การกำจัดด้วงงวงข้าวด้วยความร้อนโดยวิธีการตู้อบลมร้อน

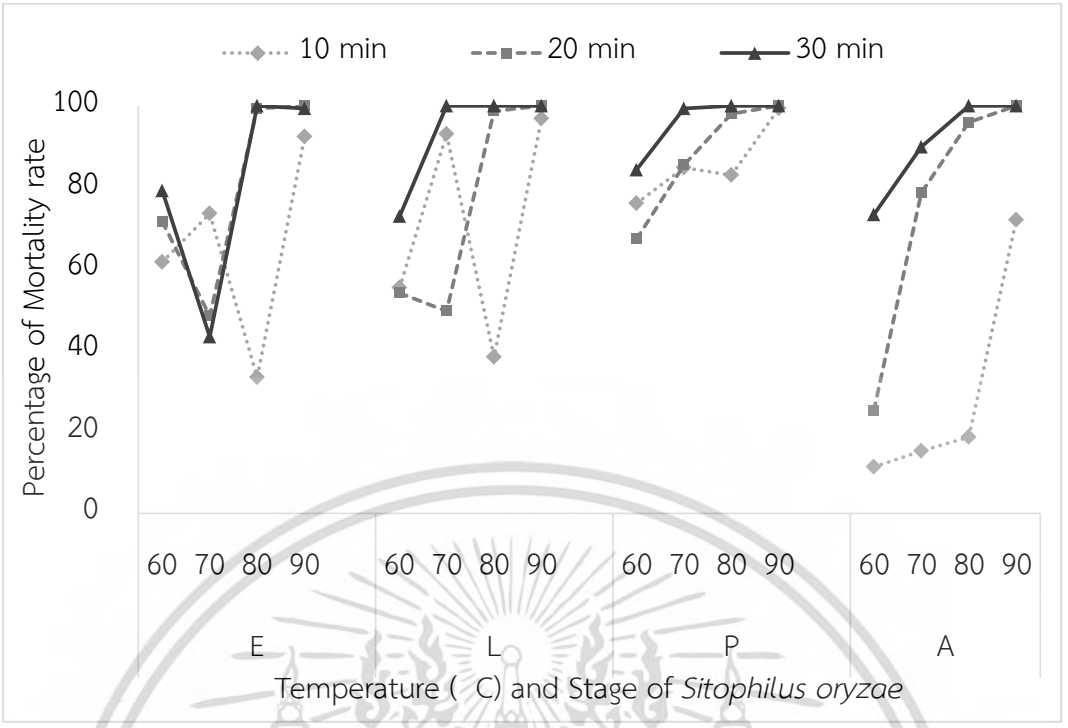
Type		Temperature (˚C)			
		60	70	80	90
Time	10	51.10^{bcA}	66.72^{bA}	43.34^{cB}	90.16^{aB}
(min)	20	54.60^{bB}	65.57^{bA}	98.05^{aA}	99.84^{aA}
	30	77.45^{bB}	83.19^{bA}	99.84^{aA}	100.00^{aA}
Stage	Egg	70.85^{dE}	55.13^{eE}	77.56^{dDE}	92.27^{dD}
	Larva	60.79^{dE}	80.92^{deDE}	79.03^{dDE}	98.95^{dD}
	Pupal	75.89^{dF}	89.93^{dE}	93.71^{dED}	99.79^{dD}
	Adult	36.66^{eE}	61.33^{eDE}	71.55^{dD}	90.67^{dD}

ในแกนแนวตั้งตัวอักษรพิมพ์เล็ก แสดงถึงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(α=0.05)

ในแกนแนวนอนตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ แสดงถึงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(α=0.05)

ในขณะที่ปัจจัยระยะการเจริญเติบโตของด้วงงวงข้าวมีปฏิสัมพันธุ์ต่ออุณหภูมิเช่นกัน ที่ 60 และ 70 องศาเซลเซียส มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดของแต่ละวัยแตกต่างกัน แต่ที่อุณหภูมิ 80 และ 90 องศาเซลเซียสมีเปอร์เซ็นต์การกำจัดของทุกวัยไม่แตกต่างกัน แสดงผลทดสอบในตารางที่ 4.1 แม้ว่าที่ 90 องศาเซลเซียสจะมีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดแต่เมื่อดูจากกราฟเปอร์เซ็นต์การกำจัดในทุกระยะ ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสระยะเวลา 20 นาทีก็สามารถหยุดการเจริญเติบโตของด้วงงวงข้าวได้สมบูรณ์จึงเป็นอุณหภูมิที่เพียงพอต่อการใช้งานแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 การกำจัดด้วงงวงข้าวด้วยตู้อบลมร้อน

สำหรับวิธีการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อนในระยะต่างๆมีเปอร์เซ็นต์การกำจัดระยะดักแด้สูงสุด รองลงมาคือ ระยะหนอน ไข่ และตัวเต็มวัย ตามลำดับ เปอร์เซ็นต์กำจัดเฉลี่ย 89.93^{a} 97.92^{b} 75.20^{b} และ 65.05^{c} เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ สามารถสรุปได้ว่าระยะดักแด้มีการตอบสนองต่อตู้อบลมร้อนมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เช่นเดียวกับการใช้สภาวะบรรยากาศในการควบคุมแมลง ดักแด้เป็นระยะที่อ่อนแอต่อสภาวะบรรยากาศที่ไม่เหมาะสมที่สุด (Dent, 2000) อย่างไรก็ตามผลการทดลองนี้อยู่ภายใต้การควบคุมหลายปัจจัย ทั้งด้านวิธีการวัดอุณหภูมิจากสภาวะอากาศภายในปริมาณความหนาแน่นแมลงภายในกองเมล็ดข้าวสาร ระยะเวลาการพักแมลงก่อนการทดลอง(1-2 ชั่วโมง) ซึ่งจะส่งผลต่อความอดทนและความแข็งแรงของแมลง

การตายของด้วงงวงข้าวจากตู้อบลมร้อน เกิดจากสิ่งมีชีวิตจะได้รับผลกระทบจากความร้อนเป็นการอบแห้งวัสดุภายใน เนื่องจากภายในตัวแมลงมีน้ำเป็นส่วนประกอบ ความร้อนจะส่งผลโดยตรงกับน้ำภายในตัวแมลงเร่งให้เกิดการระเหยของน้ำภายใน และอีกทางเมื่อข้าวมีอุณหภูมิสูงขึ้นจะส่งผ่านความร้อนไปยังแมลงจนถึงสภาวะที่แมลงไม่สามารถทนได้และตายในที่สุด

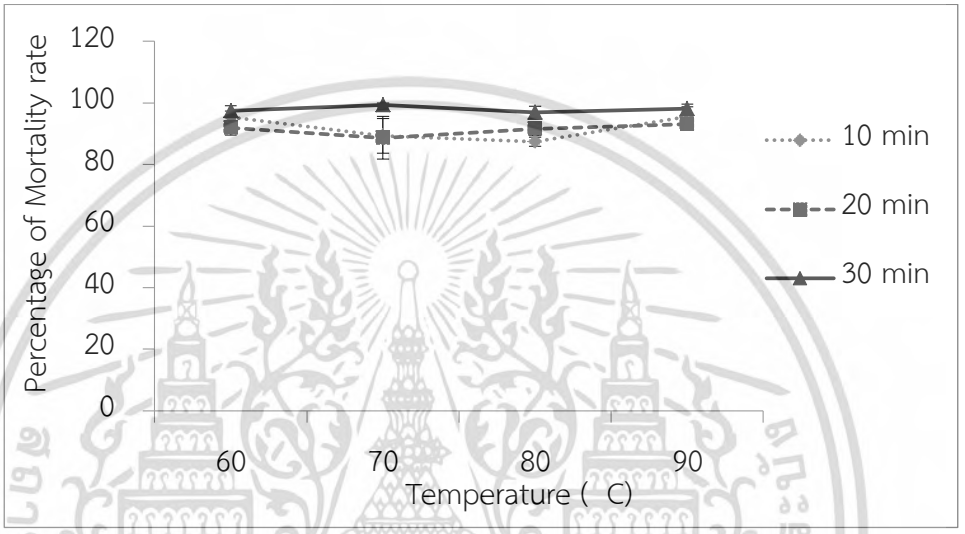
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 ประสิทธิภาพการกำจัดด้วงงวงข้าวด้วยความร้อน โดยการใช้รังสีอินฟราเรด

การให้ความร้อนด้วยหลอดรังสีอินฟราเรดที่อุณหภูมิและเวลาแตกต่างกันส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์การกำจัดแตกต่างกันในทุกๆระยะการเจริญเติบโต แสดงในหัวข้อต่อไปนี้

4.1.3.1 ระยะไข่

ระยะนี้มีการตอบสนองต่อรังสีอินฟราเรดสูง ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 การกำจัดด้วงงวงข้าวระยะไข่ ด้วยความร้อนจากหลอดอินฟราเรด

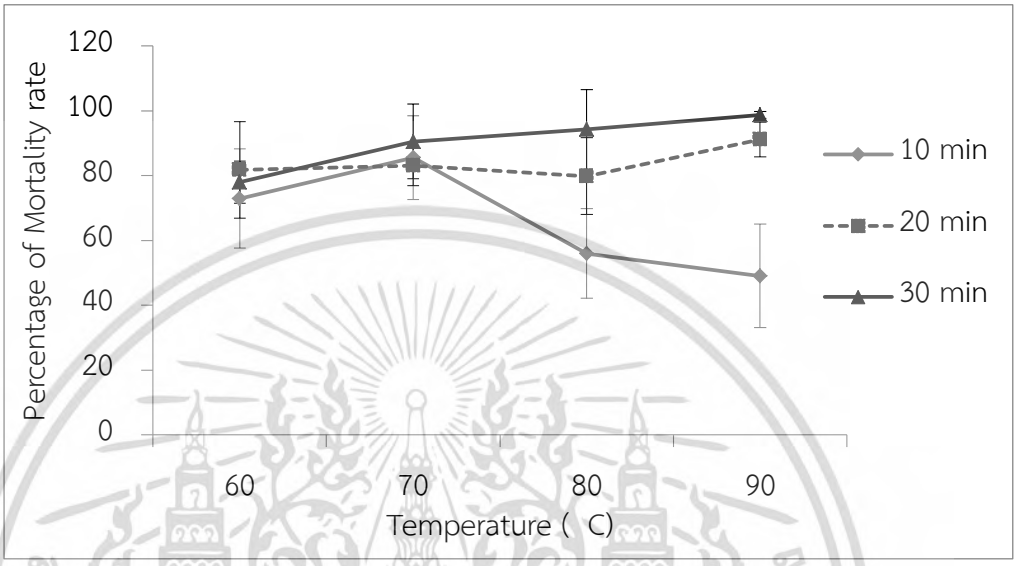
พบเปอร์เซ็นต์การกำจัดเฉลี่ยสูงกว่า 90 เปอ์เซ็นต์ ที่ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 10 20 และ 30 นาที เปอร์เซ็นต์การกำจัด 95.28 91.82 และ 97.48 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดลองที่ 70 องศาเซลเซียสพบเปอร์เซ็นต์การกำจัด 81.31 88.68 99.37 เปอร์เซ็นต์ ที่ 80 องศาเซลเซียสพบเปอร์เซ็นต์การกำจัด 87.42 91.51 96.86 เปอร์เซ็นต์ และ 90 องศาเซลเซียสมีเปอร์เซ็นต์การกำจัด 95.60 93.08 98.11 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ จากการทดสอบทางสถิติไม่มีความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์การกำจัดที่อุณหภูมิต่างๆ

4.1.3.2 ระยะหนอน

ผลการทดลองแสดงในกราฟรูปที่ 4.7 พบเปอร์เซ็นต์การกำจัดที่ 60 70 80 และ 90 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลา 10 นาทีคือ 72.96 85.53 55.97 และ 49.06 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เมื่อเพิ่มระยะเวลาให้อุณหภูมิผลการทดลองส่วนใหญ่มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดสูงขึ้นที่ 20 นาที คือ 81.76 83.02 79.87 และ 91.79 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และที่ระยะเวลา 30 นาทีมีเปอร์เซ็นต์การกำจัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

77.99 90.57 94.34 และ 98.74 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ทางสถิติอุณหภูมิต่างๆไม่ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์การกำจัดแตกต่างกัน แต่ด้วยระยะเวลาการปรับสภาวะอุณหภูมิ ควรใช้เวลา 30 นาที ความร้อนจากหลอดอินฟราเรดจึงมีประสิทธิภาพในการกำจัดด้วงงวงข้าวสูง



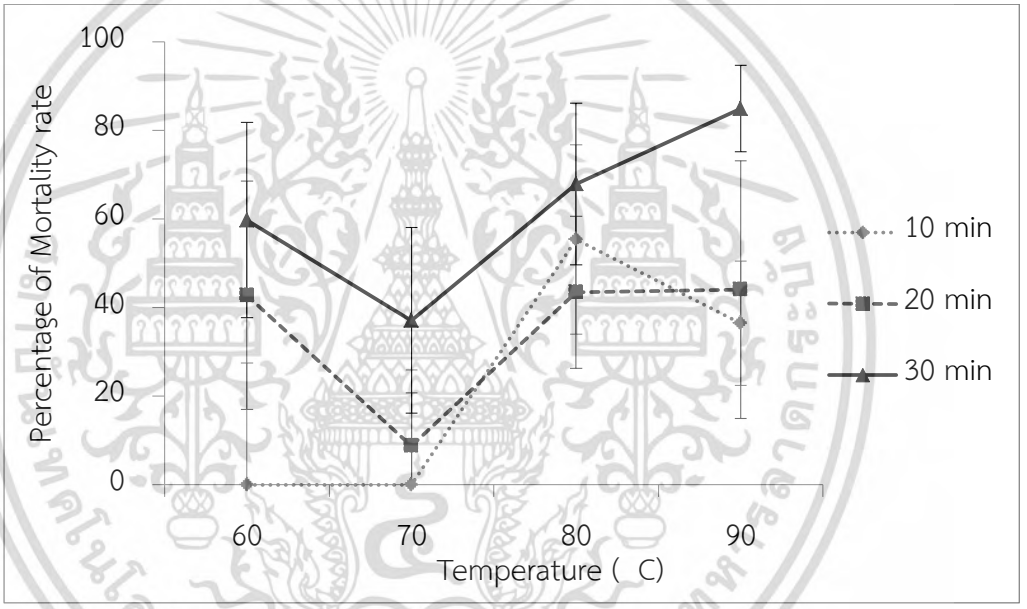
รูปที่ 4.7 การกำจัดด้วงงวงข้าวระยะหนอน ด้วยความร้อนจากหลอดอินฟราเรด

จากกราฟที่ระยะเวลา 10 นาทีมีค่าการกระจายตัวสูง ทำให้ผลการทดลองมีค่าตรงข้ามจากความน่าจะเป็น คืออุณหภูมิเพิ่มขึ้นแต่เปอร์เซ็นต์การกำจัดกลับลดลง อาจเนื่องมาจากหลายสาเหตุ ได้แก่ 1.การคำนวณเปอร์เซ็นต์การกำจัดสำหรับระยะหนอน ในสมการที่ 1 ขึ้นอยู่กับตัวแปรในสมการที่ต้องเปรียบเทียบกับจำนวนด้วงงวงข้าวที่เกิดได้ในสภาวะปกติ (หัวข้อ 4.1.1) แต่สำหรับจำนวนที่นำมาคำนวณนั้นมาจากค่าเฉลี่ย โดยจำนวนแมลงที่เกิดในแต่ละครั้งนั้นไม่มีการตรวจสอบจำนวนไข่ที่แน่ชัดจึงอาจเกิดความเหลื่อมล้ำของจำนวนที่มามาคำนวณ (หน่วยทดลองนั้นอาจจะมีจำนวนไข่แมลงมากกว่าค่าเฉลี่ยที่นำมาคำนวณ) และ 2.เมล็ดข้าวสารที่มีไข่อยู่ภายในอาจอยู่ในส่วนล่างของขวดโหลทำให้ความร้อนจากหลอดอินฟราเรดยังส่งไปไม่ถึงด้านล่าง ในขณะที่บางขวดเมล็ดที่มีไข่อาจจะอยู่ด้านบน ทำให้เปอร์เซ็นต์การกำจัดมีความคลาดเคลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3.3 ระยะดักแด้

เมื่อปรับสภาวะอุณหภูมิอากาศ 60 70 80 และ 90 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 10 นาทีพบเปอร์เซ็นต์การกำจัดด้วงงวงข้าว 0.00 0.00 55.35 และ 36.48 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เมื่อเพิ่มเวลาเป็น 20 นาทีมีเปอร์เซ็นกำจัด 42.77 8.81 43.40 และ 44.03 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และที่ 30 นาทีมีเปอร์เซ็นกำจัด 59.75 37.11 67.92 และ 84.91 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.8 โดยรวมระยะดักแด้มีการตอบสนองต่อรังสีอินฟราเรดน้อยที่สุดจากทั้งหมด 4 ระยะ ที่อุณหภูมิทั้ง 4 ระดับส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์การกำจัดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Sig. คือ 0.012≤0.05)



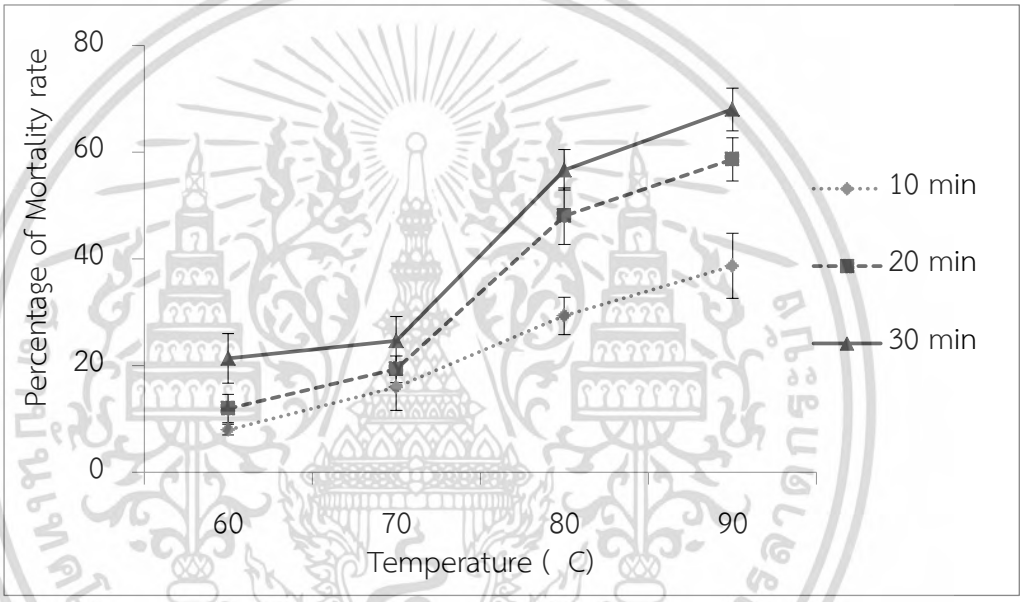
รูปที่ 4.8 การกำจัดด้วงงวงข้าวระยะดักแด้ ด้วยความร้อนจากหลอดอินฟราเรด

จากกราฟผลการทดลองระยะดักแด้มีความแปรปรวนสูง เนื่องจากในการคำนวณวัฏจักรเฉลี่ยของด้วงงวงข้าวในรูปที่ 3.4 ที่ระยะเวลา 35 วันแม้ว่าจะมีเปอร์เซ็นต์ที่จะอยู่ในระยะดักแด้สูงที่สุด แต่ยังคงมีโอกาสที่แมลงภายในเมล็ดข้าวสารจะอยู่ในระยะหนอน ดักแด้ ตัวเต็มวัย ส่งผลต่อการกระจายตัวของข้อมูลในการคำนวณเปอร์เซ็นต์การกำจัดด้วงงวงข้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3.4 ระยะตัวเต็มวัย

ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.9 เมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาเพิ่มขึ้นส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การกำจัดสูงขึ้นด้วย ที่ 60 70 80 และ 90 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 10 นาทีพบเปอร์เซ็นต์การกำจัดด้วงงวงข้าว 8.00 16.00 29.33 และ 38.67 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ที่ระยะเวลา 20 นาที เปอร์เซ็นต์การกำจัดสูงขึ้นที่ทุกๆอุณหภูมิคือ 12.00 19.33 48.00 และ 58.67 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับและที่ 30 นาทีมีเปอร์เซ็นต์การกำจัด 21.33 24.67 56.67 และ 68.00 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ



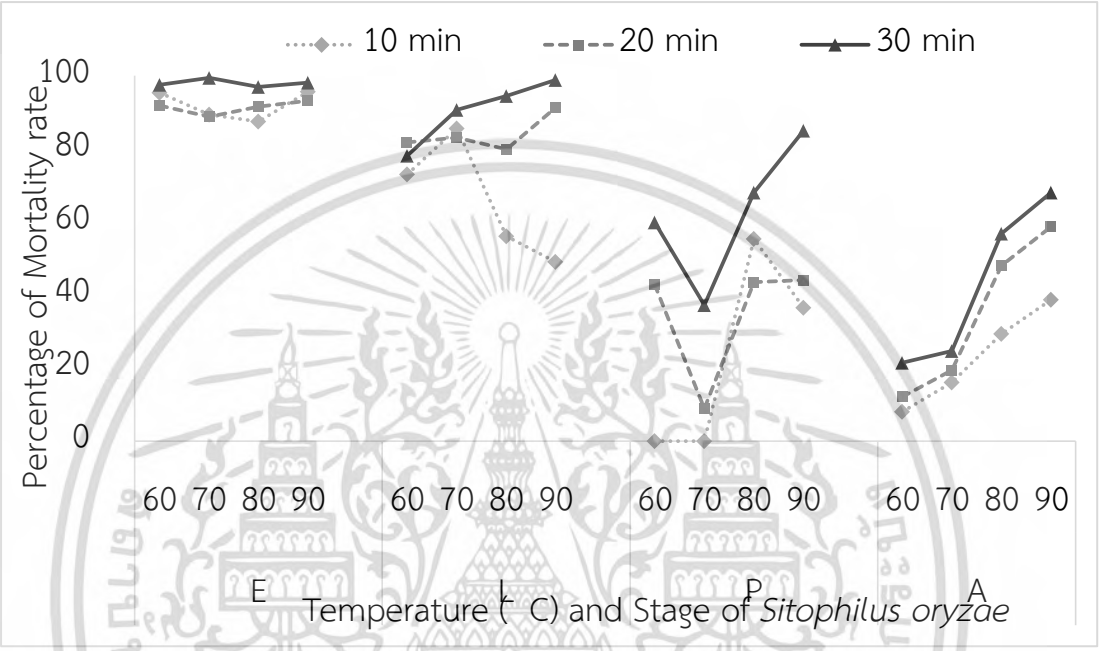
รูปที่ 4.9 การกำจัดด้วงงวงข้าวระยะตัวเต็มวัย ด้วยความร้อนจากหลอดอินฟราเรด

เปอร์เซ็นต์การกำจัดที่อุณหภูมิต่างๆมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Sig. คือ 0.00≤0.05) โดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ 60 และ 70 องศาเซลเซียสกับอุณหภูมิ 80 และ 90 องศาเซลเซียส ค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดเฉลี่ย 13.77^{a} 20.00^{a} 44.66^{b} และ 55.11^{b} เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3.5 รวม 4 ระยะ

การปรับสภาวะอากาศด้วยหลอดรังสีอินฟราเรด โดยรวมทุกปัจจัย ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสมีประสิทธิภาพการกำจัดสูงสุด รองลงมา 80 60 และ 70 องศาเซลเซียสตามลำดับ คือ 71.37^{b} 67.22^{ab} 59.09^{a} และ 53.95^{a} เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ



รูปที่ 4.10 การกำจัดด้วงงวงข้าวด้วยหลอดอินฟราเรด

ด้วยระยะเวลาการปรับสภาวะอุณหภูมิที่ระยะเวลาต่างๆกัน มีความแปรปรวนแต่ละช่วงแตกต่างกัน (Sig.คือ 0.04≤0.05) เมื่อระยะเวลานานขึ้นส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การกำจัดสูงขึ้นและสูงที่สุดที่เวลา 30 นาทีรองลงมา 20 และ 10 นาทีตามลำดับ เปอร์เซ็นต์การกำจัด 73.36^{a} 61.31^{ab} และ 51.05^{b} เปอร์เซ็นต์ ส่วนความแปรปรวนของเปอร์เซ็นต์การกำจัดในแต่ละระยะการเจริญเติบโตมีความแตกต่างกันในทางสถิติ (Sig. คือ 0.00≤0.05) โดยเปอร์เซ็นต์การกำจัดลดลงเมื่อระยะการเจริญเติบโตสูงขึ้น(ระยะไข่ หนอน ดักแด้ ตัวเต็มวัย พบเปอร์เซ็นต์การกำจัด 93.71^{a} 80.09^{b} 40.46^{c} 33.38^{c}) แต่ทั้ง 3 ปัจจัยไม่มีปฏิสัมพันธุ์ร่วมกันระหว่างระยะเวลา อุณหภูมิและระยะการเจริญเติบโต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 การกำจัดด้วงงวงข้าวด้วยความร้อนโดยวิธีการตู้อบลมร้อน

Temperature (˚C)	Stage			
	Egg	Larva	Pupal	Adult
60	94.86^{aA}	77.56^{aA}	34.17^{abB}	13.77^{bC}
70	92.45^{aA}	86.37^{aA}	16.98^{bB}	20.00^{bB}
80	91.92^{aA}	76.72^{aA}	55.55^{aB}	44.66^{aB}
90	95.99^{aA}	79.66^{aA}	55.13^{aB}	55.11^{aB}

ในแกนแนวตั้งตัวอักษรพิมพ์เล็ก แสดงถึงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(α=0.05)

ในแกนแนวนอนตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ แสดงถึงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(α=0.05)

สภาวะที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตด้วงงวงข้าวได้สมบูรณ์ที่สุด คือ ระยะไข่ โดยใช้อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส 30 นาที มีเปอร์เซ็นต์กำจัดเฉลี่ย 98.11 เปอร์เซ็นต์ จากการศึกษาพบว่า หากอุณหภูมิสูงขึ้นถึง 120 องศาเซลเซียส จะสามารถพบอัตราการตายที่สมบูรณ์ (ประดิฐ รามัชฌิมา, 2555) แต่อย่างไรก็ตาม ในงานวิจัยของ สุขคณา ลี(2555) สนับสนุนว่ารังสีไม่สามารถยับยั้งการเกิดแมลงได้สมบูรณ์แต่จะช่วยยืดระยะเวลาในการเก็บรักษาข้าวได้

การตายเกิดจากความร้อนส่งผลกระทบต่อของเหลวภายในร่างกายแมลงให้เกิดการแตกตัวและเร่งปฏิกิริยาภายในให้เกิดเร็วกว่าปกติ และทำให้เอนไซม์ในร่างกายทำงานผิดปกติจนส่งผลต่อการเจริญเติบโตของแมลงผิดปกติ ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงของเยื่อหุ้ม (การป้องกันและควบคุมแมลงหลังการเก็บเกี่ยว, 2556) หยุดการเจริญเติบโตถึงขั้นตายในที่สุด

4.1.4 ประสิทธิภาพการกำจัดด้วงงวงข้าวด้วยความเย็น

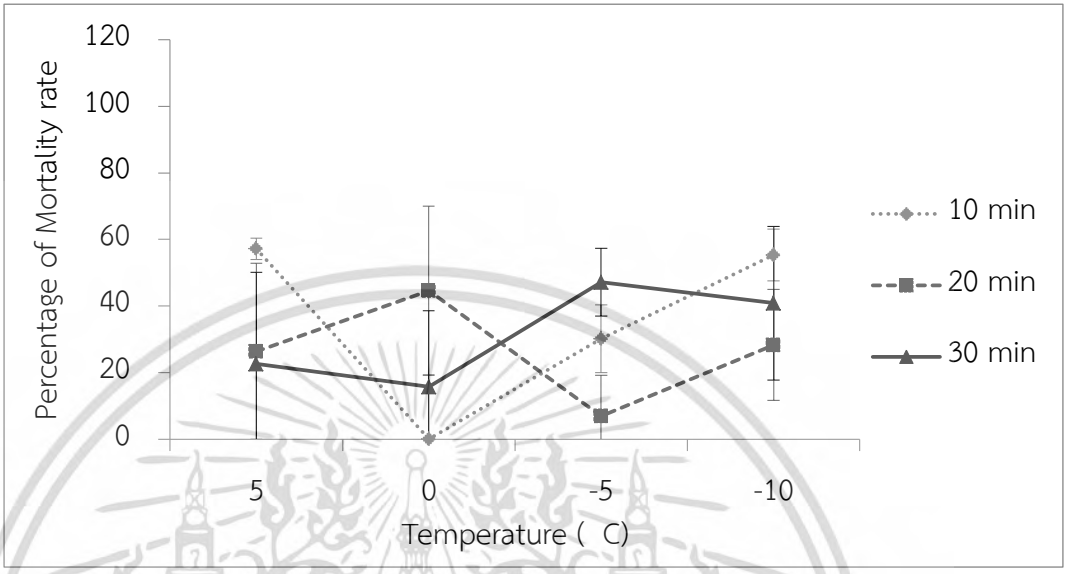
จากการทดลองการกำจัดด้วงงวงข้าวด้วยความเย็นที่วัยต่างๆมีประสิทธิภาพการกำจัดที่ต่ำกว่าวิธีการทางความร้อน ทุกๆระยะการเจริญเติบโต

4.1.4.1 ระยะไข่

การปรับระดับอุณหภูมิ 5 0 -5 และ -10 องศาเซลเซียสนาน 10 นาทีพบเปอร์เซ็นต์การกำจัดด้วงงวงข้าว 57.23 0.00 30.19 และ 55.35 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เมื่อเพิ่มเวลา 20 นาทีพบเปอร์เซ็นต์การกำจัด 26.42 44.65 6.92 และ 28.30 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับและที่ระยะเวลา 30 นาที เปอร์เซ็นต์การกำจัด 22.64 15.72 47.17 และ 40.88 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ จากการ

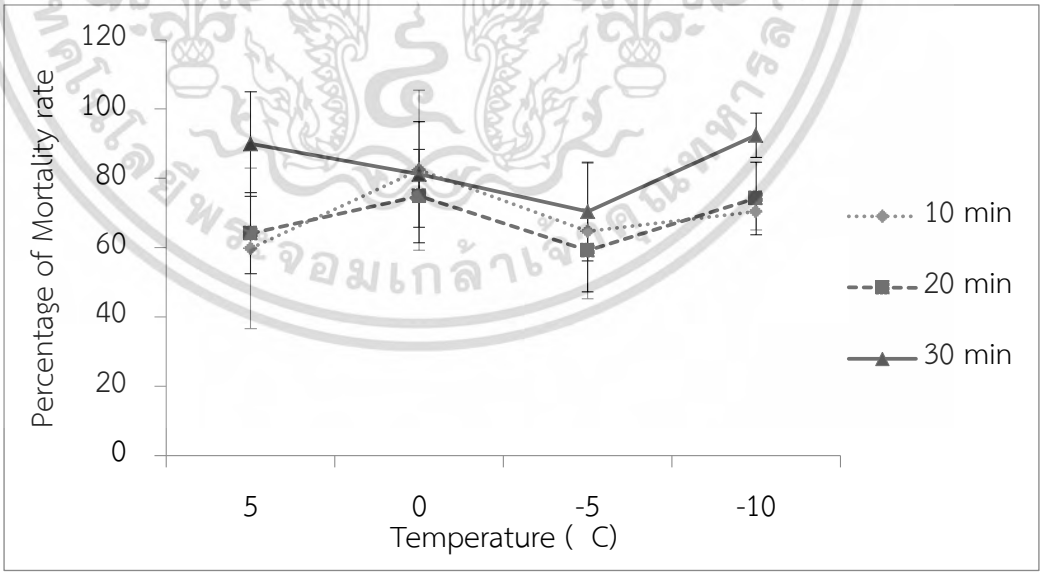
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์ทางสถิติ อุณหภูมิและเวลาไม่ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์การกำจัดด้วงงวงข้าวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (α=0.05)



รูปที่ 4.11 กราฟเปอร์เซ็นต์การกำจัดด้วงงวงข้าวระยะไข่ ด้วยความเย็น

4.1.4.2 ระยะหนอน



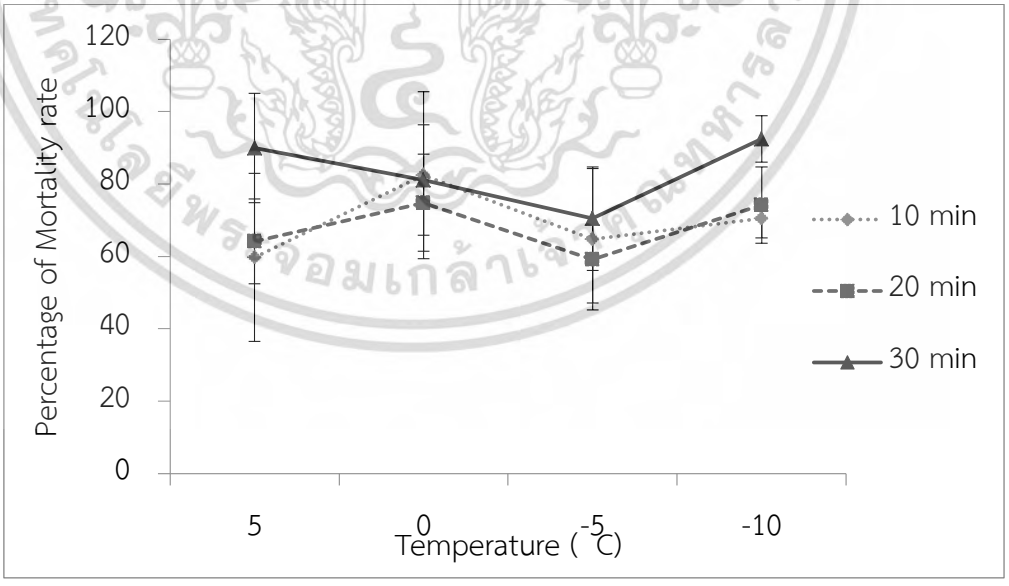
รูปที่ 4.12 การกำจัดด้วงงวงข้าวระยะหนอน ด้วยความเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ระยะตัวหนอนการให้ความเย็นในระยะเวลา 10 นาที ถึง 20 นาที อุณหภูมิ 0 องสาเซลเซียส มีความสามารถกำจัดตัวหนอนได้ดีที่สุด แต่เมื่อลดอุณหภูมิลงเป็น -5 องศาเซลเซียส การกำจัดกลับมีแนวโน้มในทางตรงข้าม ลดลงที่ทุกระยะเวลา (0 องศาลดลงเป็น -5 องศาเซลเซียส) คือ 10 นาที ลดลงจาก 82.39 เหลือ 64.78 เปอร์เซ็นต์ ที่ 20 นาที จาก 74.84 เปอร์เซ็นต์ ลดเหลือ 59.12 เปอร์เซ็นต์ ที่30นาที 81.13 เปอร์เซ็นต์ลดลงเป็น 70.44 เปอร์เซ็นต์ ที่ -5 องศาเซลเซียส เมื่อดูผลการทดลองจากรูปที่ 4.12 คาดว่าเกิดจากผลการทดลองมีการกระจายตัวของข้อมูลพอสมควร ทำให้ผลการทดลองที่ทุกอุณหภูมิมีค่าใกล้เคียงกันและไม่แตกต่างในทางสถิติ แต่เมื่อเพิ่มระยะเวลาที่ 30 นาที เปอร์เซ็นต์การกำจัดมีค่าสูงในทุกๆอุณหภูมิ ดังนั้น คาดว่าระยะเวลาจะเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับการกำจัดด้วงงวงข้าวในระยะดักแด้

4.1.4.3 ระยะดักแด้

ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.13 พบว่าเมื่อปรับสภาวะอากาศภายในที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 20 30 นาทีพบเปอร์เซ็นต์การกำจัด 23.27 3.14 0.00 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เมื่อลดอุณหภูมิลงถึง 0 องศาเซลเซียสพบเปอร์เซ็นต์การกำจัด 5.66 17.61 18.87 เปอร์เซ็นต์ ที่ -5 องศาเซลเซียสพบเปอร์เซ็นต์การกำจัด 22.64 0.63 10.06 เปอร์เซ็นต์ และที่อุณหภูมิต่ำสุด -10 องศาเซลเซียสพบเปอร์เซ็นต์การกำจัด 27.67 0.00 48.43 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ



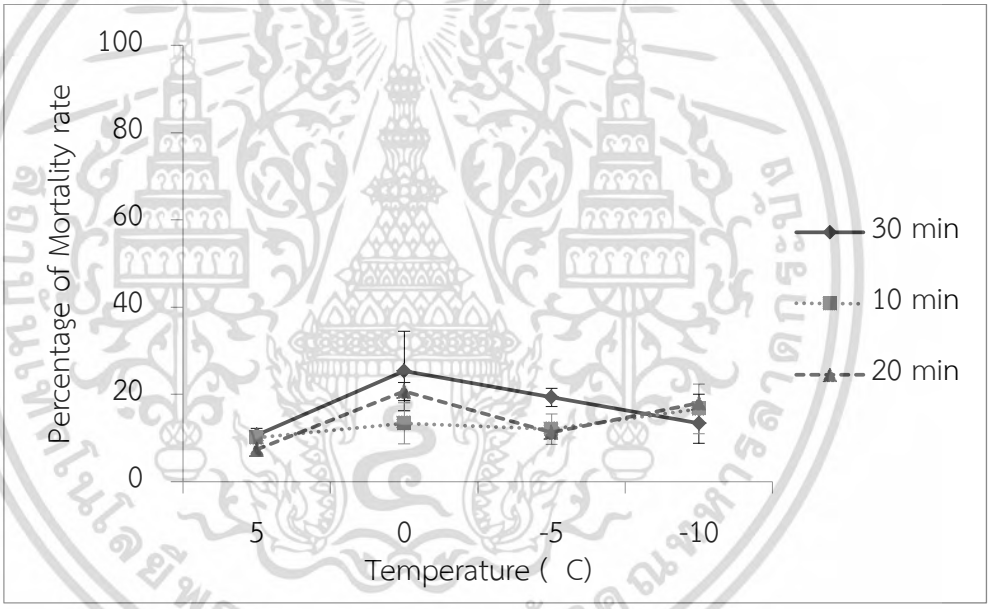
รูปที่ 4.13 การกำจัดด้วงงวงข้าวระยะดักแด้ ด้วยความเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปอร์เซ็นต์การกำจัดที่ระยะดักแด้มีความแปรปรวนค่อนข้างสูง เนื่องมาจากหลายสาเหตุจากบทที่ 3 หัวข้อ 3.1 จะเห็นว่าในวันที่ 39 นั้น โอกาสที่ภายในเมล็ดข้าวจะมีวัยอื่นปะปนอยู่มีถึง 3 ระยะคือ ตัวหนอน ดักแด้ และตัวเต็มวัย ดังนั้นในระยะนี้จึงเป็นระยะที่ไม่สามารถบ่งบอกได้อย่างแน่ชัดว่าการตายของด้วงงวงข้าวภายในเกิดขึ้นจากด้วงงวงข้าวในระยะใด

4.1.4.4 ระยะตัวเต็มวัย

เปอร์เซ็นต์การกำจัดในระยะตัวเต็มวัยที่ทุกอุณหภูมิและเวลา การให้ความเย็นผลการทดลองโดยรวมพบว่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดมีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 7.33 เปอร์เซ็นต์ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ถึง 25.33 เปอร์เซ็นต์ที่ 0 องศาเซลเซียส พบว่าอุณหภูมิและระยะเวลาที่มากขึ้น ไม่ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์การกำจัดด้วงงวงข้าวให้สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(α=0.05)

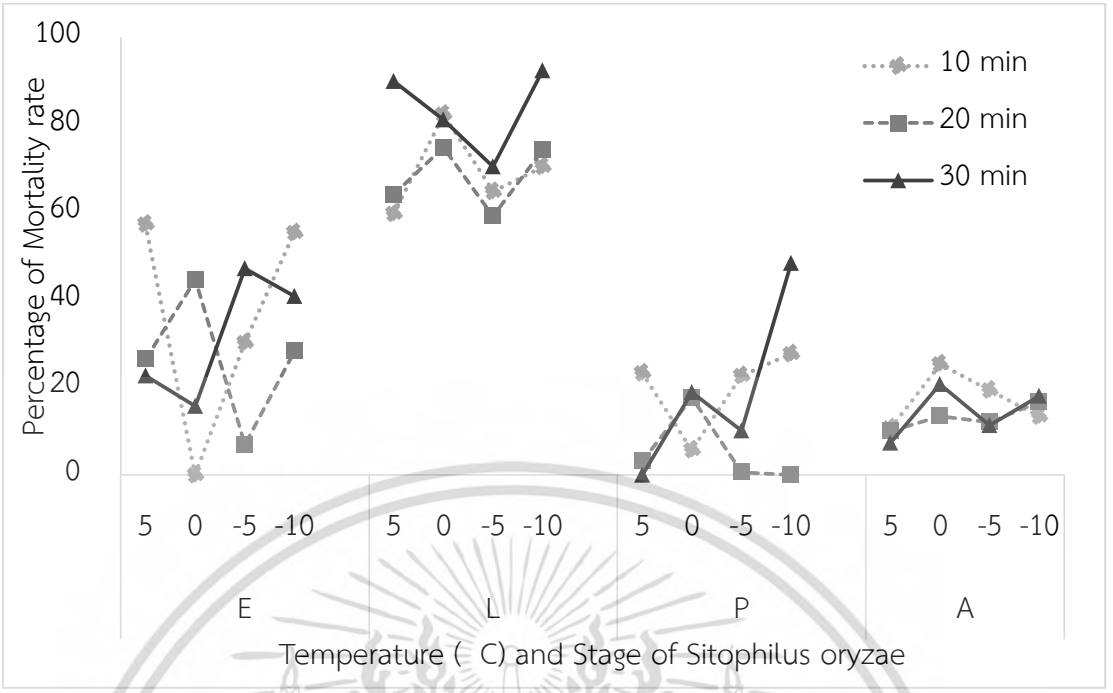


รูปที่ 4.14 การกำจัดด้วงงวงข้าวระยะตัวเต็มวัย ด้วยความเย็น

4.1.4.5 รวม 4 ระยะ

ผลการทดสอบทางสถิติไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างระยะการเจริญเติบโต เวลาและอุณหภูมิต่อเปอร์เซ็นต์การกำจัดด้วงงวงข้าว (Sig. คือ 0.267>0.05) ด้วงงวงข้าวที่ระยะการเจริญเติบโตแตกต่างกัน 4 ระยะ (E L P A) ในสภาวะเดียวกันแต่มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 เปอร์เซ็นต์การกำจัดด้วงงวงข้าวด้วยความเย็น

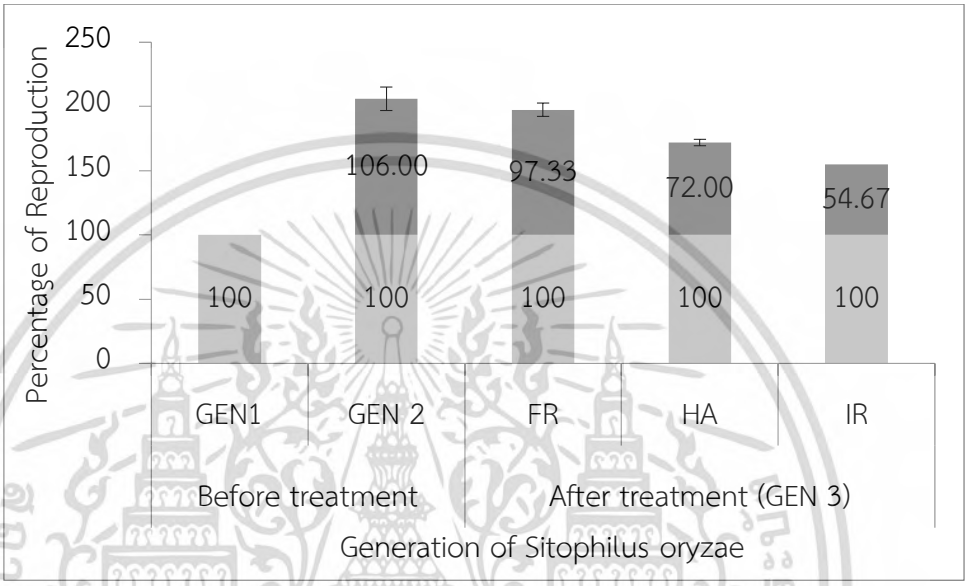
โดยระยะหนอนตอบสนองต่ออุณหภูมิต่ำได้ดีที่สุดที่ -10 องศาเซลเซียสระยะเวลา 30 นาที และแตกต่างจากระยะอื่น ได้แก่ ระยะตัวเต็มวัย ดักแด้ และไข่ ทนต่อความเย็นที่ทุกอุณหภูมิได้ดีจึงมีเปอร์เซ็นต์การกำจัดต่ำ เฉลี่ย 14.83^{bc} ±8.31 , 11.94^{c} ±31.74 , 30.76^{b} ±34.88 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ แต่ระยะเวลา(Sig.0.174>0.05) และอุณหภูมิ (Sig.0.082>0.05) ที่ปรับเปลี่ยนนั้น ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์การกำจัดไม่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามความเย็นสามารถกำจัดด้วงงวงข้าวได้ทุกระยะการเจริญเติบโตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(α=0.05)

เนื่องจากอุณภูมิต่ำมีผลกระทบต่อกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์บางประเภททำให้ตัวอ่อนแมลงพัฒนาเป็นแมลงตัวเต็มวัยได้ไม่เต็มที่ (Pant, R. and Gupta, D.K., 1979) อัตราการตายของด้วงงวงข้าวนั้น เกิดจากอุณหภูมิที่ต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของเหลวภายในแมลง จะทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งภายในเซลล์ ซึ่งจะสร้างความเสียหายแก่เซลล์ นำไปสู่การเสียชีวิต (Claire Asher, 2016) หรือ จะส่งผลให้เซลล์ประสาทแห้งและทำลายสารเคมีภายในตัวสิ่งมีชีวิตจนถึงขั้นเสียชีวิตได้ (Sinclair Et.al, 2003) แมลงบางส่วนอาจรอดชีวิตจากกลไกลถ่ายเทน้ำออกจากภายในตัว จนอยู่สภาวะขาดน้ำ ซึ่งป้องกันการเกิดผลึกน้ำแข็งภายในร่างกาย (Claire Asher, 2016) โดยการเอาไอโซโทปน้ำแข็งมาเริ่มต้นสร้างน้ำแข็งสังเคราะห์โปรตีน เพื่อลดศักยภาพในการเกิดนิวเคลียสของเมล็ดคริสตัล และสะสมน้ำตาล , กลีเซอรอล ซึ่งจะช่วยลดอุณหภูมิในการตกผลึกลงด้วย (Sinclair Et.al, 2003)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อการผสมพันธุ์และวางไข่

ด้วงงวงข้าวที่ได้รับอุณหภูมิวิกฤติจนส่งผลให้มีโอกาสเสียชีวิตได้ ในขณะที่อยู่ในเมล็ดข้าว ทั้งจากระยะไข่ ระยะตัวหนอน และระยะดักแด้ มีความเป็นไปได้ที่การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจะส่งผลให้การเจริญเติบโตของด้วงงวงข้าวผิดปกติไปจากเดิม หรือ ส่งผลไปถึงการสืบพันธุ์และการวางไข่



รูปที่ 4.16 การเปลี่ยนแปลงปริมาณการสืบพันธุ์หลังจากได้รับอุณหภูมิ

จากผลการทดลองด้วงงวงข้าวในสภาวะปกติมีปริมาณการขยายพันธุ์อย่างรวดเร็วในรุ่นที่ 2 พบว่าปริมาณสูงกว่ารุ่นที่ 1 ถึง 106±8.5 เปอร์เซ็นต์ ในทางกลับกันในหน่วยทดลองที่ผ่านสภาวะการปรับอุณหภูมิทั้งจากความร้อนและความเย็น ปริมาณการสืบพันธุ์ของแมลงที่รอดชีวิตลดลงแตกต่างจากการสืบพันธุ์ของแมลงที่สภาวะปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Sig. คือ 0.002≤0.05) โดยความร้อนจากรังสีอินฟราเรดส่งผลกระทบต่อปริมาณการสืบพันธุ์สูงสุด รองลงมาคือความร้อนจากตู้อบลมร้อน และความเย็นจากเครื่องทำความเย็น ตามลำดับ โดยมีเปอร์เซ็นต์การเกิด 54.67±9.5 72.00±12.12 และ 97.33±18.87 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

ดังนั้นอุณหภูมิสูงสามารถลดอัตราการสืบพันธุ์ของด้วงงวงข้าวได้ดีกว่าอุณหภูมิต่ำ ให้ลดลงต่ำกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ จำนวนที่ลดลงนั้นมีความเป็นไปได้ 2 กรณี ได้แก่ ตัวเต็มวัยที่เจริญออกมาหลังจากผ่านกระบวนการมีความผิดปกติทางด้านกายภาพ ยกตัวอย่างความพิการจากอุณหภูมิ (Sinclair et, al, 2003) ส่งผลให้ผสมพันธุ์และวางไข่ลดน้อยลง หรือประเด็นที่สอง เป็นไปได้ว่ามีการผสมพันธุ์ แต่ไม่มีการวางไข่ เนื่องจากความผิดปกติทางชีวภาพ การศึกษาผลกระทบของรุ่นที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สองนั้น จะช่วยในการพิจารณาด้านการเก็บรักษาข้าวในระยะยาว และการลดปริมาณการขยายพันธุ์ได้อย่างแท้จริง เนื่องจากโดยปกติ ด้วงงวงข้าวมีการแพร่พันธุ์และขยายพันธุ์อย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ข้าวที่เริ่มมีแมลงลงทำลาย จะสูญเสียคุณภาพและปริมาณมาก

4.3 ผลการทดลองตรวจสอบคุณภาพข้าวก่อนและหลังการให้ความร้อน

แน่นอนว่าการทดลองนำข้าวผสมด้วงงวงข้าวไปผ่านอุณหภูมิต่ำและสูงนั้น ไม่ใช่เพียงแมลงเท่านั้นที่ได้รับผลกระทบจากอุณหภูมิ คุณภาพข้าวเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่เราจำเป็นต้องคำนึงถึง ดังนั้นหลังจากนำข้าวหอมมะลิผสมด้วงงวงข้าวผ่านการให้ความร้อนและความเย็นด้วยวิธีต่างๆ นำข้าวหอมมะลิมาทดสอบหาเปอร์เซ็นต์การแตกหัก สี และความชื้นของข้าวที่เปลี่ยนไป

4.3.1 การตรวจสอบเปอร์เซ็นต์การแตกหัก

จากตารางผลการทดลอง เปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าวสารหอมมะลิเริ่มต้นมีค่าเฉลี่ย 3.95±0.17 เปอร์เซ็นต์ หลังจากนั้นนำไปผ่านความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน แสดงดังตารางที่ 4.3

ในการทดลองนั้นพบข้าวสูญหายเมล็ดข้าวเล็กน้อยในเครื่องคัดขนาดเมล็ดข้าว(ใส่ข้าว 100 กรัมแต่หลังการทดสอบวัดน้ำหนักเมล็ดข้าวได้ไม่ถึง 100 กรัม) ดังนั้นการคำนวณเปอร์เซ็นต์การแตกหักจึงอ้างอิงจากปริมาณเมล็ดข้าวสารหลังผ่านการทดสอบรวมเป็นน้ำหนักรวมในสมการที่ 2

ตารางที่ 4.3 การแตกหักของแมล็ดข้าวก่อนการเปลี่ยนแปลง

	ข้าวต้น	ข้าวหัก	รวม	การแตกหัก(%)
ค่าเฉลี่ย	94.08	3.87	97.95	3.95
S.D.	3.69	0.02	3.67	0.17

4.3.1.1 เปอร์เซ็นต์การแตกหักหลังผ่านการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน

โดยจากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าอุณหภูมิและระยะเวลาส่งผลต่อเปอร์เซ็นการแตกหักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(α=0.05)

ในส่วนของข้าวผสมด้วงงวงข้าวพบเปอร์เซ็นต์การแตกหักของแมล็ดข้าวหลังผ่านกระบวนการทางความร้อนด้วยหลอดอินฟราเรดเช่นเดียวกับการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน ผลการทดลองจากการให้ความร้อนด้วยหลอดอินฟราเรดส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์การแตกหักข้าวที่เปลี่ยนแปลงด้วยเช่นกัน ณ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส 10 20 และ 30นาที ข้าวเกิดการแตกหัก 4.96±0.39,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.73±0.28, 4.96±0.46 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส 4.82±0.28, 5.09±0.55 และ 5.79±0.38 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส 4.99±0.25, 4.89±0.43, 5.11±0.07 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และ อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส 5.11±0.26, 4.62±0.59 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

4.3.1.2 เปอร์เซ็นต์การแตกหักหลังผ่านการให้ความร้อนด้วยหลอดรังสีอินฟราเรด

จากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าการให้ความร้อนด้วยหลอดอินฟราเรดมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยอุณหภูมิและระยะเวลา จึงทำการทดสอบด้วยวิธี simple main effect ต่อไป สำหรับผลการทดสอบเปรียบเทียบอุณหภูมิต่างๆที่ให้ข้าวหอมมะลิ แสดงค่า Sig.<0.05 ของอุณหภูมิ 70 และ 90 องศาเซลเซียส นั่นคืออุณหภูมิดังกล่าวมีผลต่อเปอร์เซ็นการแตกหักของเมล็ดข้าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (α=0.05) แต่ที่ช่วงอุณหภูมิ 60 และ 80 องศาเซลเซียส ไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นการแตกหักของเมล็ดข้าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (α=0.05)

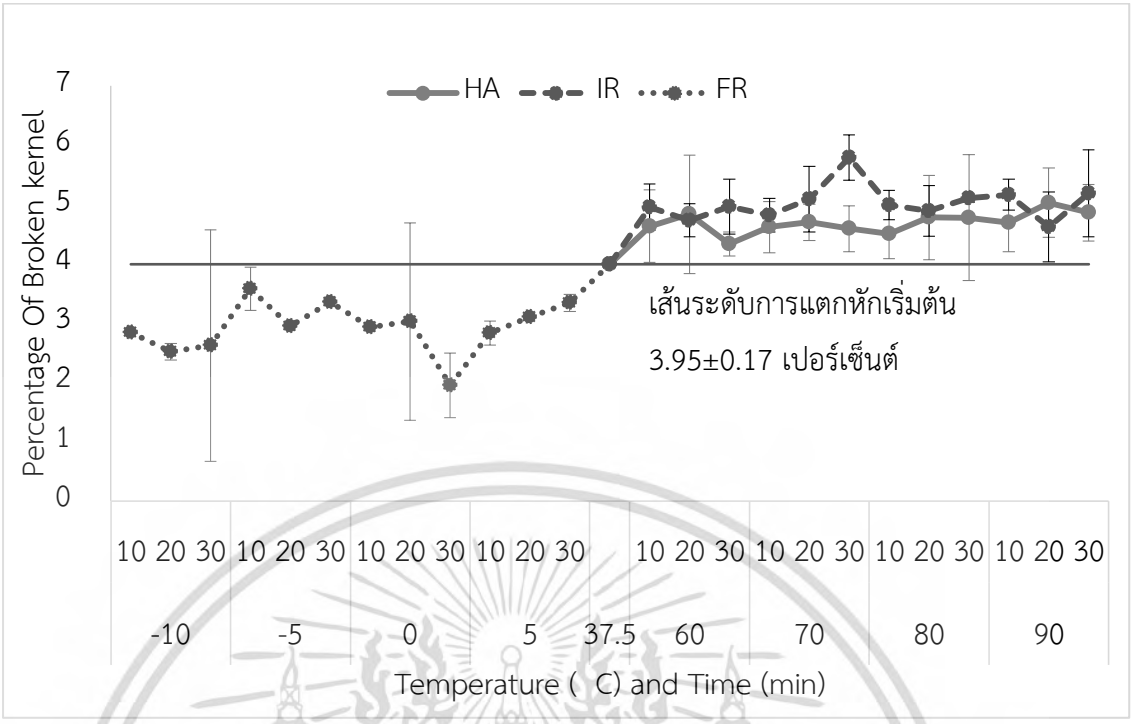
4.3.1.3 เปอร์เซ็นต์การแตกหักหลังผ่านการให้ความเย็นด้วยเครื่องทำความเย็น

ส่วนสุดท้ายเปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าวหลังผ่านความเย็น จากการคำนวณทางสถิติ พบว่า อุณหภูมิและระยะเวลา ไม่ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์การแตกหักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (α=0.05)

หลังจากนำการแตกหักของเมล็ดข้าวหลังผ่านอุณหภูมิสูงและต่ำมารวมเพื่อวิเคราะห์แสดงภาพรวม แสดงดังรูปที่ 4.14 พบว่า เส้นของเปอร์เซ็นต์การแตกหักหลังผ่านความร้อนมีค่าสูงขึ้นเล็กน้อยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สอดคล้องกับงานวิจัยของ ประสันต์ ชุ่มใจหาญ และ สมนึก ชูศิลป์ (2544) และ พูนพัฒน์ (2553) พบว่า เมล็ดข้าวเมื่อได้รับอุณหภูมิสูงจะทำให้ความสามารถในการรับแรงลดลง เนื่องจากการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของอุณหภูมิส่งผลให้เกิดการขยายตัวอย่างรวดเร็วของเมล็ดข้าว การขยายตัวอย่างรวดเร็วนี้ส่งผลให้เกิดรอยร้าวบนเมล็ดและการแตกหักเมื่อมีแรงมากระทำบนเมล็ดข้าว ในทางกลับกัน อุณหภูมิต่ำทำให้เมล็ดข้าวมีเปอร์เซ็นต์การแตกหักลดลง

อย่างไรก็ตาม จากมาตรฐานสินค้าเกษตร มษก 4000 เปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าวหลังผ่านความร้อนและความเย็นยังคงอยู่ในเกณฑ์การซื้อข้าว ภายในและนอกประเทศ กล่าวคืออุณหภูมิไม่ส่งผลต่อราคาและการซื้อขายข้าวอย่างแน่นอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



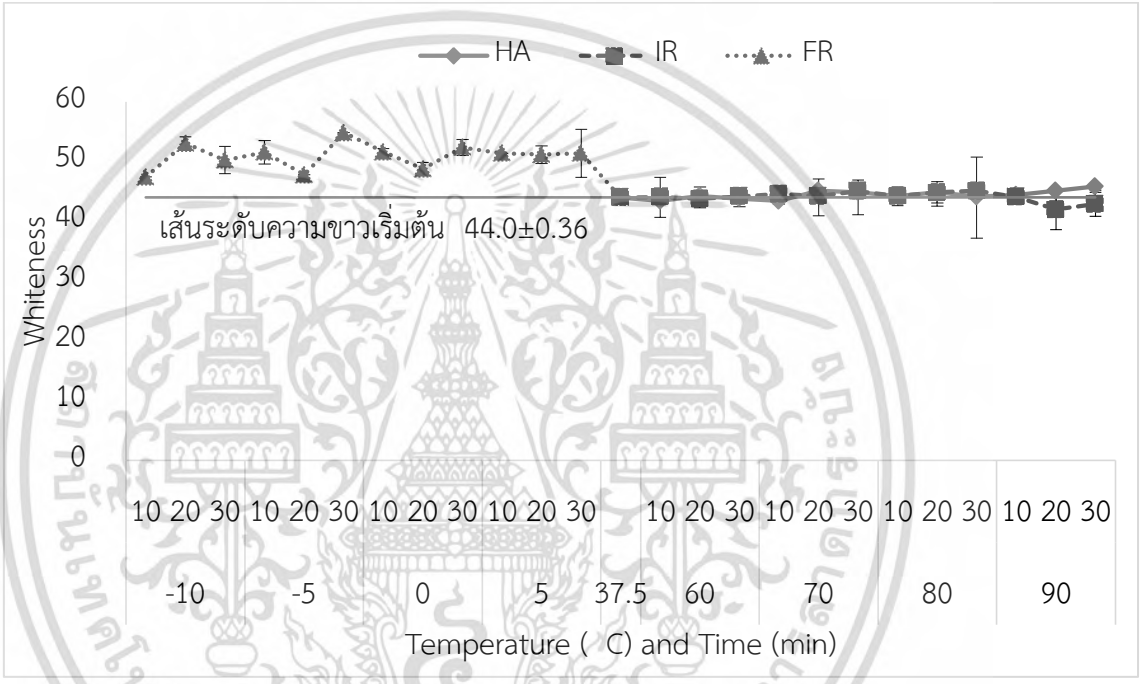
รูปที่ 4.17 การเปรียบเทียบคุณภาพการแตกหักข้าวสารก่อนและหลังการเปลี่ยนอุณหภูมิ

พบเปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าวสารหอมมะลิเริ่มต้นค่าเฉลี่ย 3.95±0.17 เปอร์เซ็นต์ หลังจากนั้นนำไปผ่านอุณหภูมิสูงและต่ำ โดยรวมการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิทั้ง 3 วิธี พบค่าการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์การแตกหัก แตกต่างจากเดิมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (α=0.05) ข้าวที่ผ่านความร้อนจากตู้อบลมร้อน ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การแตกหักสูงขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยเป็น 4.69 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่าวิธีการอินฟราเรดที่มีเปอร์เซ็นต์การแตกหักเฉลี่ยเท่ากับ 4.58 เปอร์เซ็นต์ ดังรูปที่4.5 แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยความร้อนทั้ง 2 รูปแบบ มีเปอร์เซ็นต์การแตกหักแปรผันตรงกับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ ประสันต์ ชุ่มใจหาญ และ สมนึก ชูศิลป์ (2544) พบว่าข้าวเมื่อได้รับอุณหภูมิสูงจะส่งผลต่อความสามารถในการรับแรงต่ำลง นอกจากนี้สภาวะความชื้นบรรยากาศ ความชื้นสูง ส่งผลให้การแตกหักเพิ่มขึ้นเช่นกัน (สุวรรษา ทองหยู, 2558) ในทางกลับกัน เมล็ดข้าวมีเปอร์เซ็นต์การแตกหักลดลงเล็กน้อยเมื่อได้รับอุณหภูมิต่ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ยังคงอยู่ในมาตรฐานข้าวหอมของไทย (กรมวิชาการเกษตร, 2548) คุณภาพข้าวดี คือ เปอร์เซ็นต์การแตกหักไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 การตรวจสอบสีของข้าวหอมมะลิ

จากการตรวจสอบความขาวของข้าวหอมมะลิก่อนและหลังการเปลี่ยนแปลงแสดงดัง รูปที่ 4.15 ผลการทดลองค่าความขาวของข้าวหอมมะลิก่อนผ่านกระบวนการให้อุณหภูมิ คือ 44.0±0.36 ค่าการโปร่งแสงของเมล็ด คือ 3.8 เปอร์เซ็นต์ และคุณภาพการสีคือ 199 เมื่อให้ข้าวหอมมะลิผ่านความเย็น ค่าความขาวของเมล็ดมีค่าสูงขึ้นเล็กน้อย ผลการทดลองค่าความขาวของข้าวหอมมะลิก่อนผ่านกระบวนการให้อุณหภูมิ คือ 44.0±0.36



รูปที่ 4.18 การเปลี่ยนแปลงค่าความขาวของข้าวหอมมะลิก่อนและหลังผ่านกระบวนการ

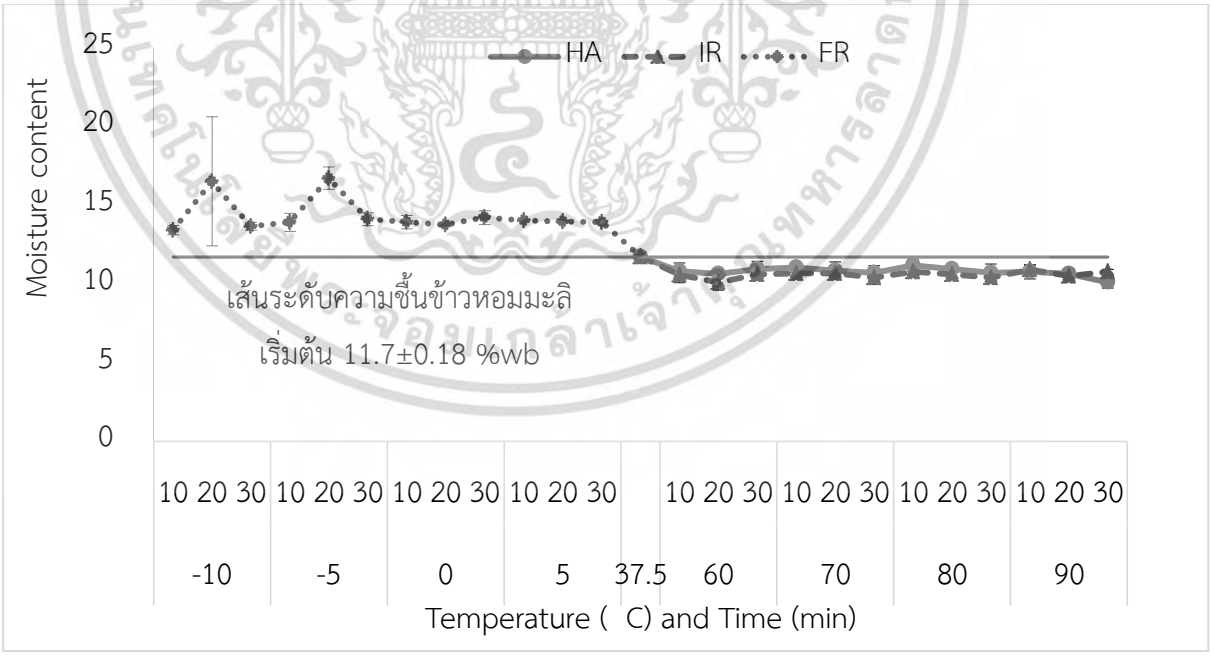
จากผลการทดลองค่าความขาวของข้าวหอมมะลิหลังผ่านการให้ความร้อนด้วยหลอดอินฟราเรด และ ตู้อบลมร้อน พบว่าระดับความขาวของเมล็ดข้าวไม่มีการเปลี่ยนแปลง แสดงว่าอุณหภูมิสูงไม่มีผลต่อค่าความขาวรวมถึงความโปร่งแสงของเมล็ดข้าวหอมมะลิอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (α=0.05)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 การตรวจสอบค่าความชื้นของข้าวหอมมะลิก่อนและหลังการเปลี่ยนแปลง

จากการทดลองค่าความชื้นของเมล็ดก่อนผ่านกระบวนการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจากตารางผลการทดลอง แสดงค่าความชื้นของเมล็ดข้าวหอมมะลิสมบูรณ์ก่อนการเพาะเลี้ยงด้วงงวงข้าวมีค่าเฉลี่ย 11.7 เปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานเปียก และเมื่อนำข้าวหอมมะลิผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อนแสดง และผลจากการให้ความร้อนด้วยหลอดอินฟราเรดแสดงในรูปที่ 4.19 พบว่าการให้ความร้อนทั้งสองวิธีดังกล่าวส่งผลให้เมล็ดข้าวหอมมะลิมีความชื้นลดลง และลดต่ำสุดที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลา 30 นาที แต่ความชื้นจากเมล็ดที่อบด้วยตู้อบลมร้อนจะมีค่าความชื้นลดลงมากกว่าการให้ความร้อนด้วยหลอดอินฟราเรด

เนื่องจากการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อนมีการถ่ายเทอากาศภายในตู้ และมีพัดลมดูดเอาความชื้นและอากาศภายในออกมาภายใน เพื่อเป็นการควบคุมอุณหภูมิมีความเป็นไปได้ว่าความชื้นภายในเมล็ดจะถูกเร่งให้ลดลงมากกว่า การให้ความร้อนด้วยหลอดอินฟราเรด การถ่ายเทอากาศนี้แต่การให้ความร้อนด้วยอินฟราเรดนั้นเป็นเพียงการแผ่ความร้อนเท่านั้น โดยไม่มีการเป่าหรือเร่งการเคลื่อนที่ของอากาศภายใน จึงทำให้เมล็ดข้าวที่ผ่านตู้อบมีความชื้นต่ำกว่าการให้ความร้อนด้วยหลอดอินฟราเรดเล็กน้อย



รูปที่ 4.19 ความชื้นของข้าวสารหลังผ่านกระบวนการให้ความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทางกลับกันข้าวเมื่อผ่านความเย็น ส่งผลให้ความชื้นข้าวสูงขึ้นเล็กน้อย แต่ยังคงอยู่ในเกณฑ์การซื้อขายข้าว คือ ต่ำกว่า 14 เปอร์เซ็นต์ โดยความชื้นที่เกิดขึ้นบนเมล็ด เกิดจากเมื่อข้าวด้รับอุณหภูมิต่ำจากภายในห้องควบคุมอุณหภูมิเป็นระยะวเลาหนึ่ง เมื่อข้าวออกมาสัมผัสอากาศเย็นทันทีทำให้อุณหภูมิบนพื้นผิวเมล็ดข้าว เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลัน จนเกิดจุด dew point บนผิดเมล็ดข้าว เกิดเป็นไอน้ำ และไอน้ำนั้น ซึ่มเข้าสู่เมล็ดข้าว จนทำให้ความชื้นสูงขึ้นเล็กน้อย โดยความชื้นที่เกิดขึ้นนี้ มีความเป็นไปได้ที่จะมีค่าสูงขึ้นตามจำนวนเมล็ดข้าวที่ทับถมกัน จนเป็นสาเหตุของเชื้อราภายใน ดังนั้น สิ่งที่ต้องพึงระวัง คือการควบคุมระยะห่างของอุณหภูมิให้พอเหมาะ กล่าวคือ ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างฉับพลัน

4.4 ต้นทุนกำลังไฟฟ้าของการให้ความร้อนและความเย็น

ต้นทุนพลังงานไฟฟ้าต่อหนึ่งหน่วยทดลอง (ข้าวหอมมะลิ 100 กรัมผสมด้วงงวงข้าว 50 ตัว) ของการวิธีการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อนและหลอดรังสีอินฟราเรด ต่ำกว่าการให้ความเย็นด้วยเครื่องทำความเย็น เท่ากับ 48.82 51.04 และ 95.11 วัตต์ต่อหนึ่งหน่วยทดลองตามลำดับ

อย่างไรก็ตามต้นทุนกำลังไฟฟ้าจากการทดลองมาจากการบันทึกผลขณะเครื่องมีสภาวะอุณหภูมิภายในพร้อมสำหรับการทดลอง ดังนั้นผลการทดลองข้างต้นไม่รวมถึงกำลังไฟฟ้าครั้งแต่เครื่องเริ่มทำงานจากอุณหภูมิห้องถึงอุณหภูมิที่ทำการทดลอง รวมถึงยังไม่รวมต้นทุนวัสดุสำหรับการสร้างเครื่องทำความร้อนและความเย็น และในขณะทำการทดลองขนาดพื้นที่อุปกรณ์แต่ละประเภทต่างกันซึ่งส่งผลต่อการคำนวณกำลังไฟฟ้าต่อหน่วยทดลอง

4.5 แนวทางการประยุกต์ใช้

จากการทดลองในหัวข้อข้างต้น หากนำวิธีตู้อบลมร้อนมาประยุกต์ใช้ร่วมกัน เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด สามารถลดความหนาชั้นข้าว เนื่องจากการแผ่รังสีจากหลอดอินฟราเรดมีข้อจำกัดด้านความลึกของวัสดุ และหากนำไปประยุกต์ใช้ในขั้นตอนการสีข้าว สามารถเพิ่มในขั้นตอนก่อนบรรจุภัณฑ์ เพื่อเป็นการการันตีว่าจะไม่มีแมลงปนเปื้อนภายในเมล็ดอย่างแน่นอน หรืออีกทางหนึ่ง ในขั้นกระบวนการสีข้าวจะมีส่วนการอบแห้งข้าวเปลือกซึ่งต้องใช้ความร้อนอยู่แล้ว หากเราติดตั้งหลอดอินฟราเรดร่วมด้วยก็สามารถกำจัดแมลงได้ แต่จะต้องมีการทดลองเพิ่มเติมด้านอุณภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสม เนื่องจากอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับข้าวเปลือกและข้าวสารแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

ในหัวข้อต่อไปนี้ กล่าวถึงสรุปผลการทดลองตลอดบทความแบ่งออกเป็น 4 หัวข้อใหญ่ ได้แก่ ประสิทธิภาพการกำจัดด้วงงวงข้าวในแต่ละวิธี ผลกระทบอุณหภูมิต่อการสืบพันธุ์ คุณภาพข้าวสารหอมมะลิที่เปลี่ยนแปลงไป ต้นทุนกำลังไฟฟ้าในการทดลอง และข้อเสนอแนะที่คาดว่าจะสามารถนำมาปรับปรุงเพื่อเพิ่มความแม่นยำรวมถึงประสิทธิภาพการกำจัดที่สูงขึ้น

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่าวิธีการที่แตกต่างกัน ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของด้วงงวงข้าวทั้ง 4 ระยะไม่เท่ากัน สภาวะอุณหภูมิต่ำหรือความเย็นนั้น เหมาะกับการกำจัดด้วงงวงข้าวในระยะ ตัวหนอน มากที่สุด สำหรับความร้อนจากหลอดอินฟราเรด เหมาะกับการกำจัดระยะไข่ รองลงมาคือ หนอน ดักแด้ ตัวเต็มวัย และความร้อนตู้อบลมร้อน เหมาะกับการกำจัดระยะดักแด้ พบเปอร์เซ็นต์การกำจัดสูง ที่ระยะเวลา 20 นาที ขึ้นไป สำหรับการใช้ความร้อน 60 70 80 และ 90 องศาเซลเซียส ประสิทธิภาพการกำจัดแต่ละระยะการเจริญเติบโต พบว่า หลอดรังสีอินฟราเรดสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตระยะไข่ได้ดีที่สุด ในทุกอุณหภูมิและระยะเวลา และตู้อบลมร้อนมีประสิทธิภาพการกำจัดด้วงงวงข้าวสูงสุดของระยะหนอน ระยะดักแด้ และระยะตัวเต็มวัย อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แม้ว่าอุณภูมิที่กำหนดจะเท่ากัน แต่อุณหภูมิดังกล่าวมีวิธีการวัดที่แตกต่างกัน ความร้อนจากตู้อบและความเย็นจากเครื่องทำความเย็น วัดอุณหภูมิจากอากาศภายใน แต่สำหรับความร้อนจากหลอดรังสีอินฟราเรดวัดอุณหภูมิจากผิวของเมล็ดข้าว ดังนั้นแมลงและข้าวจะได้รับอุณหภูมิที่แตกต่างกันออกไป

การสืบพันธุ์และวางไข่หลังจากได้รับอุณหภูมิที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญวัย พบว่า ทั้งความร้อนและความเย็นสามารถลดปริมาณการสืบพันธุ์ของรุ่นถัดไปได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (α=0.05) โดยเฉพาะวิธีการให้ความร้อนด้วยหลอดอินฟราเรด เนื่องจากมีความสามารถในการทะลุทะลวงสูงเข้าไปภายในเมล็ดสูง รองลงมาคือวิธีการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน และความเย็นจากเครื่องทำความเย็นตามลำดับ

ด้านคุณภาพข้าว ค่าความชื้นหลังทดสอบความร้อนทั้งจากตู้อบลมร้อนและหลอดรังสีอินฟราเรดส่งผลให้เมล็ดข้าวสารมีความชื้นลดลงเนื่องจากเมล็ดข้าวสารคายความชื้นเพื่อสร้างสภาวะสมดุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่างภายในและภายนอกเมล็ด ในทางกลับกันความเย็นส่งผลให้ความชื้นสูงขึ้นเล็กน้อยเกิดจากในขณะเปลี่ยนอุณหภูมิกระทันบริเวณผิวเมล็ดเกิดการควบแน่นกลายเป็นหยดน้ำและแพร่เข้าไปในเมล็ด แต่ค่าความชื้นยังคงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยยะสำคัญทางสถิติ เปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดหลังให้ความร้อนมีค่าสูงขึ้นเล็กน้อยแต่ยังคงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับได้ในการซื้อขายข้าวและค่าความขาวของเมล็ด ไม่พบความแตกต่างกันระหว่างก่อนและหลังทดลองอย่างมีนัยยะสำคัญทางสถิติทั้งในด้านอุณหภูมิและระยะเวลาที่เปลี่ยนแปลง อย่างไรก็ตามผลการทดลองข้างต้นเป็นการวัดตามลำดับขั้นตอนในวิทยานิพนธ์นี้เท่านั้น ได้แก่ การวัดการแตกหัก ความขาวเมล็ดและความชื้น ตามลำดับ โดยใช้ข้าวเต็มเมล็ดเท่านั้นสำหรับการวัดค่าความขาวและความชื้น

ด้านต้นทุนพลังงาน ความร้อนทั้ง 2 วิธีเมื่อเปรียบเทียบร่วมกับประสิทธิภาพการกำจัดด้วงงวงข้าว พบว่า คุ้มค่ามากกว่าต้นทุนการทำความเย็น หากพิจารณาทั้ง 4 หัวข้อจากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าวิธีการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อนร่วมกับหลอดรังสีอินฟราเรด คาดว่าจะเป็นแนวทางการกำจัดที่มีประสิทธิภาพสูงสุด เนื่องจากสามารถกำจัดด้วงงวงข้าวได้สมบูรณ์ทุกสถานะการเจริญเติบโต ลดอัตราการสืบพันธุ์ในรุ่นถัดไป รวมถึงมีต้นทุนพลังงานที่ไม่สูงมากนัก อย่างไรก็ตามต้นทุนกำลังไฟฟ้าจากการทดลองทั้งหมดนี้อยู่ภายใต้เงื่อนไขและขอบเขตการทดลองตามเงื่อนไขในวิทยานิพนธ์นี้เท่านั้น เนื่องจากในการปฏิบัติงานจริงมีอีกหลายปัจจัยที่จะส่งผลต่อต้นทุนกำลังไฟฟ้าที่ใช้สำหรับการกำจัดด้วงงวงข้าว

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในกระบวนการวัดค่าความขาวและความชื้นเมล็ดข้าวสารหลังการทดลอง ใช้ข้าวเต็มเมล็ดเท่านั้น หากวัดข้าวหักและข้าวเต็มเมล็ดร่วมกัน คาดว่าจะส่งผลต่อผลการทดลองเนื่องจากน่าจะมีความแตกต่างระหว่างความชื้นของข้าวหักและข้าวเต็มเมล็ด และ การพักแมลงหลังจากการคัดแยกเพื่อทำการทดลองควรมีระยะเวลาที่นานกว่านี้ (ประมาณ 4-5 ชั่วโมง) เพื่อให้แมลงฟื้นตัวและมีความเข็งแรงเต็มที่ตามสภาพปกติ นอกจากนี้ความหนาชั้นข้าวในการทดลองส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์การกำจัดในวิธีอินฟราเรดพอสมควร ดังนั้นหากเพิ่มปัจจัยความหนาชั้นข้าวอาจจะสามารถหาสภาวะที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรนานุกรม

กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม. **การทำความเย็น.** สืบค้นเมื่อ 18 กันยายน 2559. จากเว็บไซต์ http://www.dip.go.th/Portals/0/electrical%20handbook/20%.pdf

กวีวัฒน์ จาวสุวรรณวงษ์ และคณะ. 2555. **ประสิทธิภาพการไล่และยับยั้งการวางไข่ของสูตรน้ำมันหอมระเหยจากจันทร์แปดกลีบและเทียนข้าวเปลือกต่อตัวเต็มวัยด้วงงวงข้าว.** สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตและพืช. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

กิ่งแก้ว คุณเขต และคณะ. 2553. **ข้าวขาวดอกมะลิ105**. ลักษณะประจำพันธ์ของข้าวขาวดอกมะลิ 105. สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมค้าข้าว. ออนไลน์ http://ag-ebook.lib.ku.ac.th/ebooks/item.php

เกสาวดี เชี่ยวชาญ, 2557, **การพัฒนารูปแบบบรรจุภัณฑ์เพื่อสร้างมูลค่าผลผลิตข้าวสารส่ตลาดผู้บริโภคแบบมีส่วนร่วมนำไปสู่การใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์ กรณีศึกษากลุ่มข้าวชาวนาตะปอนใหญ่ ตำบลตะปอน อำเภอขลง จังหวัดจันทบุรี**. ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการงานวิศวกรรม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี.

จุฑามาส จงศิริ. 2556**. เรื่องการเก็บเกี่ยวและวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว.** กลุ่มพัฒนาเทคโนโลยีการเผยแพร่ สำนักพัฒนาการถ่ายทอดเทคโนโลยี. กรมส่งเสริมการเกษตร

เจนวิทย์ ทาแกง และคณะ. 2554**. ประสิทธิภาพของก๊าซโอโซนในการควบคุมด้วงงวงข้าวในข้าวสาร.** ภาคกีฏวิทยาและโรคพืช คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ชุมพล กันทะ. 2533. **หลักการป้องกันกำจัดแมลงศัตรูในโรงเก็บ.** ภาควิชากีฏวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ฐิติมา คงรัตน์อาภรณ์ และคณะ. 2557. **ผลของรังสีแกมมาและลำอิเล็กตรอนที่มีต่อตัวเต็มวัยของด้วงงวงข้าวSitophilus oryzae และมอดแป้ง Tribolium castaneum Hbst**. สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียแห่งชาติ (องค์การมหาชน).

ดารณี เจริญสุข. 2554. **ลำอิเล็กตรอน:เพื่อปรับปรุงคุณภาพและเพิ่มผลิตภาพในการผลิต**. ศูนย์วิจัยเทคโนโลยียาง

ธีรเดช เดชทองจันทร์, วัชรพล ชยประเสริฐ และเอนก สุขเจริญ. 2016. **การศึกษาความสามารถของการใช้วิธีสุญญากาศเพื่อการกำจัดด้วงงวงข้าวโพด.** วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย, 22(1): 46–55.

นิภาพร บุญชอบ. 2558. **การสูญเสียข้าวในการเก็บเกี่ยวและการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว.** วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเกษตรศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.

บัณฑูร เศรษฐศิโรตม์. 2556**. เมทิลโบรไมด์"สารพิษรม"ข้าว"สะเทือนโลกร้อน**. หนังสือพิมพ์คม ชัดลึก . ฉบับวันที่ 1 กรกฎาคม 2556.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประจวบ เพิ่มสุวรรณ และ พัฒน์ พิสิษฐเกษม. 2556. **จะจัดการบรรจุภัณฑ์โลจิสติกส์อย่างไรให้มีประสิทธิภาพ.** Executive Journal. หน้า130-137

ประดิฐ รามัชฌิมา และคณะ. 2555. **ผลของการให้ความร้อนด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับตะแกรงสั่นต่อการกำจัดด้วงงวงข้าวในการเก็บรักษาข้าวเปลือก.** ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ประสันต์ ชุ่มใจหาญ และ สมนึก ชูศิลป์. 2544**. การรักษาความแข็งของเมล็ดข้าวหอมมะลิที่อุณหภูมิห้องแตกต่างกัน.** คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ประสูติ สิทธิสรวง: ไพฑูรย์ อุไรรงค์ และ กิติยา กิจควรดี. 2528**. ความสูญเสียของเมล็ดพันธุ์ในระหว่างการเก็บรักษาใน สภาพโรงเก็บของสถานีทดลองข้าว.** น. 238. ใน รายงานผลการวิจัย ปี 2528. กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

ปัทมา สวาท. 2542**. การพัฒนาบรรจุภัณฑ์เพื่อรักษาคุณภาพข้าวสาร เพื่อการส่งออก**. คณะอุตสาหกรรมเกษตร. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

พรทิพย์ วิสารทานนท์; กุสุมา นวลวัฒน์; บุษรา จันทร์แก้วมณี; ใจทิพย์ อุไรชื่น; รังสิมา เก่งการพานิช; กรรณิการ์ เพ็งคุ้ม; จิราภรณ์ ทองพันธ์; ดวงสมร สุทธิสุทธิ์; ลักขณา ร่มเย็น; ภาวินี หนูชนะภัย. 2548. **แมลงที่พบในผลิตผลเกษตรและการป้องกันกำจัด**. กรมวิชาการเกษตร สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร

พรรณษา กาเหว่า. 13 สิงหาคม 2556. **ผลทดลองชี้'เมทิลโบรไมด์'ตกค้างในข้าว แพทย์ชี้ก่อมะเร็ง-คนรับสารตายใน19วัน**. ศูนย์ข่าว TCIJ.

พูนพัฒน์ พูนน้อย; เบญญทิพย์ มหาเทพ; ภิญญาพัชญ์ พุฒตาล. 2553. **การทำลายไข่มอดในข้าวอินทรีย์ด้วยคลื่นไมโครเวฟ**. มหาวิทยาลัยแม่โจ้ หนองหาร สันทราย เชียงใหม่ .

มาตรฐานสินค้าเกษตร มกษ.4000-2560, **ข้าวหอมมะลิไทย THAI HOM MALI RICE**, สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

มาตรฐานสินค้าเกษตร มกษ.9002-2556, สารพิษตกค้าง : ปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุด, สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

มุทิตา มีนุ่น; สุทธาสินี บุญคง. 2559. **ผลของอุณหภูมิ ภาชนะบรรจุและสภาวะการเก็บรักษาต่อคุณภาพผักชีเพื่อการส่งออก.** Faculty of Agro-Industry (Food Technology). คณะอุตสาหกรรมเกษตร ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร.

ใยไหม ช่วยหนู, จุฑามาศ ร่มแก้ว, วันชัย จันทร์ประเสริฐ และ ชัยสิทธิ์ ทองจู, 2556. **คุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าวและแมลงศัตรูในโรงเก็บที่มีผลมาจากสภาพการเก็บรักษา.** คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ฤทธิรงค์ พฤฑฒิกุล; อทิตย์สา เพ็ชรสุข. 2551**. ฟิล์มบรรจุภัณฑ์นาโนคอมโพสิท สำหรับป้องกันการซึมผ่านของออกซิเจน**. ปทุมธานี : สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วีรวุฒิ กตัญญูกุล. 2526**. การบริหารแมลงศัตรูข้าว.** ฟันนี่ พับบลิชชิ่ง. กรุงเทพมหานคร

ศูนย์วิจัยการอารักขาข้าว. 2514. **โรคข้าวและศัตรูข้าวของประเทศไทย**, แมลงศัตรูข้าวในยุ้งฉาง. กรมค้าข้าว กระทรวงเกษตร ประเทศไทย.

สมหญิง ประทุมผล; พัชราภรณ์ คำศรี และ กฤษณา ศิริพล. 2555**. ศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้ความเย็นเพื่อกำจัดแมลงและไข่แมลงปนเปื้อนในข้าว.** สาขาวิชาอุตสาหกรรมอาหาร. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.

สมัคร ยิ่งยง, ลือชัย อารยะรังสฤษฎ์ และ สมทรง โชติชื่น,2555, **สุดยอดข้าวไทย**, สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมค้าข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ, 2556, **การกำจัดมอดและด้วงงวงข้าวด้วยก๊าซไนโตรเจน ต้นทุนต่ำ ไร้สารตกค้าง**, อัพเดท 38, สค. 2556, หน้า 88-90

สำนักงานมาตรฐานเกษตรและอาหารแห่งชาติ. 2556**. มาตรฐานสินค้าเกษตร สารพิษตกค้าง:ปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุด มกษ.9002-2556**. สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรละสหกรณ์

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. 2560**. มาตรฐานสินค้าเกษตร มกษ.4000-2560 ข้าวหอมมะลิไทย.** กรุงเทพฯ : สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. 33 หน้า.

สิริวัฒน์ วงษ์ศิริ. 2526. **แมลงศัตรูพืชทางการเกษตรของประเทศไทย.** แมลงศัตรูพืชทางการเกษตร, ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์. กรุงเทพมหานคร.

สุขอังคณา ลี และคณะ. 2555. **เครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดด้วงงวงข้าวในข้าวสาร**. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาสาหการ. มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อุบลราชธานี.

สุวรรษา ทองหยู; ถวัลย์ศักดิ์ เผ่าสังข์. 2558**. ผลของความแกร่งในเมล็ดข้าวที่มีต่อคุณภารพการสีของข้าวไทย.** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์:ม.ป.ท.

แสงนวล ทองเพียร. 2548. **พันธุ์ข้าวหอม และ มาตรฐานข้าวหอมของไทย.** สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

อภิรดี ตันตราภรณ์, 2559, หนังสือพิมพ์ผู้จัดการ,

อุดม อริธชาติ M.Phil. 2526**. แมลงศัตรูอาหารสัตว์ในโรงเก็บ**. ด้วงงวงข้าวและด้วงงวงข้าวโพด. ภาควิชากีฏวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

Brent J. Sinclair Et, al. 2003**. Insect at low temperatures:an ecological perspective**. TRENDS in Ecology and Evolution Vol.18 No.5

Chotikasatian Chotikasatian, Watcharapol Chayaprasert and Siwalak Pathaveerat, 2017.**A study on the feasibility of quantifying the population density of stored**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

product insect in air-tight grain storage using CO_2 concentration measurement. Journal of Stored Products Research. Vol.73. September 2017. pp.21-29

Claire Asher. 1 March 2016. **When your veins fill with ice.** The Arctic ground squirrel can survive even if its body temperature drops below the freezing point of water. BBC.

D.Dent. 2000. **Insect Pest Management** (2nd Edition). Wallingford:CABI

Hiroshi Nakakita and Hiroshi Ikenaga, 1997, **Action of Low Temperature on Physiology of Sitophilus zeamais Motachulsky and Sitophilus oryzae (L.) in Rice Storage**, Journal of Stored Products Research, Volume 33, Issue 1, January 1997, Pages 31-38

Pant, R. and Gupta, D.K., 1979. **The effect of exposure to low temperature on the metabolism of carbohydrates, lipids and protein in the larvae of Philosamia ricihi**, Journal of Bioscience. Vol.1 No.4. pp.441-446.

Pual G. Fields. 1992. **The control of stored-product insects and mites with extreme temperatures**, Journal of Stored Products Research. Volume 28. Issue 2. pages 89-118

Science and Education Adminstration, 1979, **Stored-Grain Insect,** Washington, D.C Department of Agriculture.

Tilton, E.W., Burkholder, W.E. and Cogburn, R.R., 1966, **Effects of Gamma Radiation on Rhyzopertha dominica, Sitophilus oryzae, Tribolium confusum, and Lasioderma serricorne**, Journal of Economic Entomology, 59: 1363-1368.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

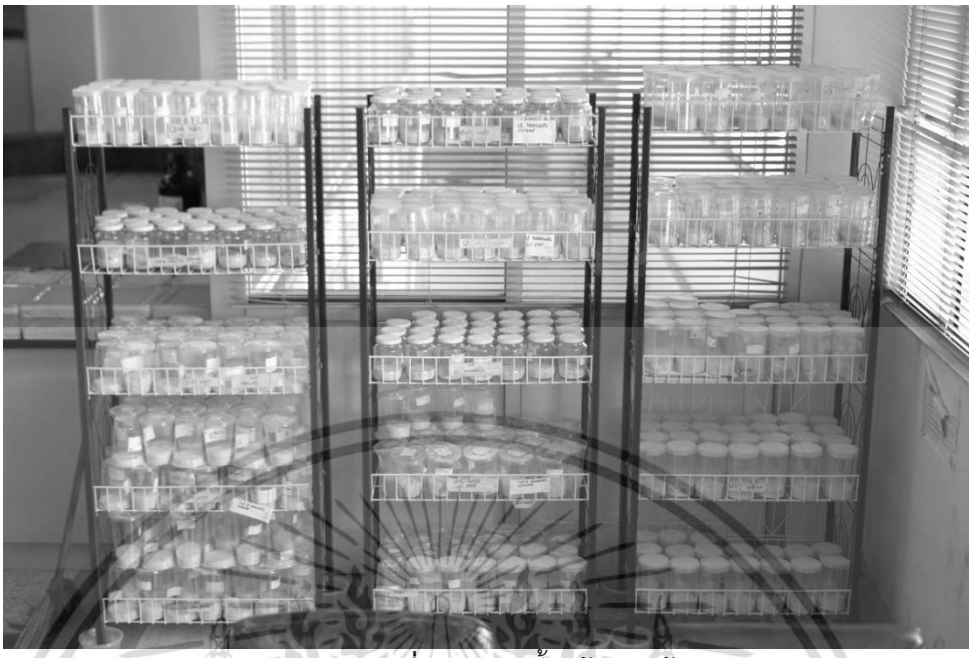
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ภาพระหว่างการทดลอง

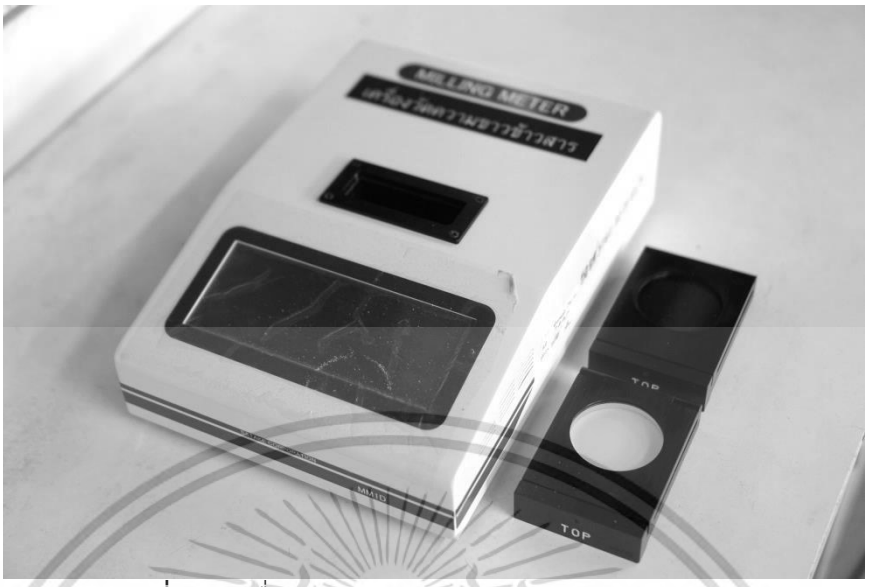
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.1 การเลี้ยงด้วงงวงข้าว

รูปที่ ก.2 การเพาะเลี้ยงด้วงงวงข้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.3 เครื่องวัดความขาว(Satake MM1D, Australia)

รูปที่ ก.4 เครื่องทดสอบความชื้น (Moisture Tester MODEL TA-5,Japan)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ข้อมูลสถิติเปอร์เซ็นต์การกำจัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข1 สถิติเปอร์เซ็นต์การกำจัดด้วงงวงข้าว

temp	time	type	stage	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error of Mean	Sum	Min	Max
-10	10	freezer	3d Egg	55.3459	3	14.65557	8.4614	166.04	43.4	71.7
			23d Larva	70.4403	3	7.85534	4.53528	211.32	64.15	79.25
			35d Pupal	27.673	3	10.39164	5.99962	83.02	20.75	39.62
			46d Adult	13.3333	3	9.2376	5.33333	40	8	24
			Total	41.6981	12	25.19116	7.27206	500.38	8	79.25
		Total	3d Egg	55.3459	3	14.65557	8.4614	166.04	43.4	71.7
			23d Larva	70.4403	3	7.85534	4.53528	211.32	64.15	79.25
			35d Pupal	27.673	3	10.39164	5.99962	83.02	20.75	39.62
			46d Adult	13.3333	3	9.2376	5.33333	40	8	24
			Total	41.6981	12	25.19116	7.27206	500.38	8	79.25
	20	freezer	3d Egg	28.3019	3	31.51565	18.19557	84.91	0	62.26
			23d Larva	74.2138	3	19.08678	11.01976	222.64	62.26	96.23
			35d Pupal	-5.0314	3	58.16505	33.58161	-15.09	-50.94	60.38
			46d Adult	16.6667	3	11.37248	6.56591	50	4	26
			Total	28.5377	12	42.42921	12.24826	342.45	-50.94	96.23

ตาราง ข1 สถิติเปอร์เซ็นต์การกำจัดด้วงงวงข้าว (ต่อ)

temp	time	type	stage	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error of Mean	Sum	Min	Max
-10	20	Total	3d Egg	28.3019	3	31.51565	18.19557	84.91	0	62.26
			23d Larva	74.2138	3	19.08678	11.01976	222.64	62.26	96.23
			35d Pupal	-5.0314	3	58.16505	33.58161	-15.09	-50.94	60.38
			46d Adult	16.6667	3	11.37248	6.56591	50	4	26
			Total	28.5377	12	42.42921	12.24826	342.45	-50.94	96.23
	30	freezer	3d Egg	40.8805	3	43.61444	25.18081	122.64	-9.43	67.92
			23d Larva	92.4528	3	9.98397	5.76425	277.36	81.13	100
			35d Pupal	48.4277	3	11.52849	6.65598	145.28	35.85	58.49
			46d Adult	18	3	4	2.3094	54	14	22
			Total	49.9403	12	34.42674	9.93814	599.28	-9.43	100
		Total	3d Egg	40.8805	3	43.61444	25.18081	122.64	-9.43	67.92
			23d Larva	92.4528	3	9.98397	5.76425	277.36	81.13	100
			35d Pupal	48.4277	3	11.52849	6.65598	145.28	35.85	58.49
			46d Adult	18	3	4	2.3094	54	14	22
			Total	49.9403	12	34.42674	9.93814	599.28	-9.43	100

ตาราง ข1 สถิติเปอร์เซ็นต์การกำจัดด้วงงวงข้าว (ต่อ)

temp	time	type	stage	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error of Mean	Sum	Min	Max
-10 C	Total	freezer	3d Egg	41.5094	9	30.24758	10.08253	373.58	-9.43	71.7
			23d Larva	79.0356	9	15.34127	5.11376	711.32	62.26	100
			35d Pupal	23.6897	9	38.08928	12.69643	213.21	-50.94	60.38
			46d Adult	16	9	7.87401	2.62467	144	4	26
			Total	40.0587	36	34.8946	5.81577	1442.11	-50.94	100
	Total	Total	3d Egg	41.5094	9	30.24758	10.08253	373.58	-9.43	71.7
			23d Larva	79.0356	9	15.34127	5.11376	711.32	62.26	100
			35d Pupal	23.6897	9	38.08928	12.69643	213.21	-50.94	60.38
			46d Adult	16	9	7.87401	2.62467	144	4	26
			Total	40.0587	36	34.8946	5.81577	1442.11	-50.94	100
-5 C	10	freezer	3d Egg	30.1887	3	19.14885	11.05559	90.57	9.43	47.17
			23d Larva	64.7799	3	7.62538	4.40252	194.34	56.6	71.7
			35d Pupal	22.6415	3	26.7499	15.44406	67.92	-7.55	43.4
			46d Adult	19.3333	3	4.16333	2.4037	58	16	24
			Total	34.2358	12	23.80398	6.87162	410.83	-7.55	71.7

ตาราง ข1 สถิติเปอร์เซ็นต์การกำจัดด้วงงวงข้าว (ต่อ)

temp	time	type	stage	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error of Mean	Sum	Min	Max
-5 C	10	Total	3d Egg	30.1887	3	19.14885	11.05559	90.57	9.43	47.17
			23d Larva	64.7799	3	7.62538	4.40252	194.34	56.6	71.7
			35d Pupal	22.6415	3	26.7499	15.44406	67.92	-7.55	43.4
			46d Adult	19.3333	3	4.16333	2.4037	58	16	24
			Total	34.2358	12	23.80398	6.87162	410.83	-7.55	71.7
	20	freezer	3d Egg	6.9182	3	23.28743	13.44501	20.75	-18.87	26.42
			23d Larva	59.1195	3	24.62487	14.21718	177.36	39.62	86.79
			35d Pupal	0.6289	3	27.36391	15.79856	1.89	-26.42	28.3
			46d Adult	12	3	6.9282	4	36	4	16
			Total	19.6667	12	30.61748	8.8385	236	-26.42	86.79
		Total	3d Egg	6.9182	3	23.28743	13.44501	20.75	-18.87	26.42
			23d Larva	59.1195	3	24.62487	14.21718	177.36	39.62	86.79
			35d Pupal	0.6289	3	27.36391	15.79856	1.89	-26.42	28.3
			46d Adult	12	3	6.9282	4	36	4	16
			Total	19.6667	12	30.61748	8.8385	236	-26.42	86.79

ตาราง ข1 สถิติเปอร์เซ็นต์การกำจัดด้วงงวงข้าว (ต่อ)

temp	time	type	stage	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error of Mean	Sum	Min	Max
-5 C	30	freezer	3d Egg	47.1698	3	19.14885	11.05559	141.51	26.42	64.15
			23d Larva	70.4403	3	21.86835	12.6257	211.32	45.28	84.91
			35d Pupal	10.0629	3	2.17868	1.25786	30.19	7.55	11.32
			46d Adult	11.3333	3	2.3094	1.33333	34	10	14
			Total	34.7516	12	29.33736	8.46896	417.02	7.55	84.91
		Total	3d Egg	47.1698	3	19.14885	11.05559	141.51	26.42	64.15
			23d Larva	70.4403	3	21.86835	12.6257	211.32	45.28	84.91
			35d Pupal	10.0629	3	2.17868	1.25786	30.19	7.55	11.32
			46d Adult	11.3333	3	2.3094	1.33333	34	10	14
			Total	34.7516	12	29.33736	8.46896	417.02	7.55	84.91
	Total	freezer	3d Egg	28.0922	9	25.00346	8.33449	252.83	-18.87	64.15
			23d Larva	64.7799	9	17.59883	5.86628	583.02	39.62	86.79
			35d Pupal	11.1111	9	21.4183	7.13943	100	-26.42	43.4
			46d Adult	14.2222	9	5.696	1.89867	128	4	24
			Total	29.5514	36	28.16911	4.69485	1063.85	-26.42	86.79

ตาราง ข1 สถิติเปอร์เซ็นต์การกำจัดด้วงงวงข้าว (ต่อ)

temp	time	type	stage	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error of Mean	Sum	Min	Max
-5 C	Total	Total	3d Egg	28.0922	9	25.00346	8.33449	252.83	-18.87	64.15
			23d Larva	64.7799	9	17.59883	5.86628	583.02	39.62	86.79
			35d Pupal	11.1111	9	21.4183	7.13943	100	-26.42	43.4
			46d Adult	14.2222	9	5.696	1.89867	128	4	24
			Total	29.5514	36	28.16911	4.69485	1063.85	-26.42	86.79
0 C	10	freezer	3d Egg	-6.2893	3	36.50509	21.07622	-18.87	-28.3	35.85
			23d Larva	82.3899	3	9.30733	5.37359	247.17	71.7	88.68
			35d Pupal	5.6604	3	45.75229	26.41509	16.98	-20.75	58.49
			46d Adult	25.3333	3	18.14754	10.47749	76	6	42
			Total	26.7736	12	44.29881	12.78797	321.28	-28.3	88.68
		Total	3d Egg	-6.2893	3	36.50509	21.07622	-18.87	-28.3	35.85
			23d Larva	82.3899	3	9.30733	5.37359	247.17	71.7	88.68
			35d Pupal	5.6604	3	45.75229	26.41509	16.98	-20.75	58.49
			46d Adult	25.3333	3	18.14754	10.47749	76	6	42
			Total	26.7736	12	44.29881	12.78797	321.28	-28.3	88.68

ตาราง ข1 สถิติเปอร์เซ็นต์การกำจัดด้วงงวงข้าว (ต่อ)

temp	time	type	stage	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error of Mean	Sum	Min	Max
0 C	20	freezer	3d Egg	44.6541	3	47.96809	27.69439	133.96	-7.55	86.79
			23d Larva	74.8428	3	5.76425	3.32799	224.53	69.81	81.13
			35d Pupal	17.6101	3	3.92767	2.26764	52.83	13.21	20.75
			46d Adult	13.3333	3	9.45163	5.4569	40	6	24
			Total	37.6101	12	33.23963	9.59546	451.32	-7.55	86.79
		Total	3d Egg	44.6541	3	47.96809	27.69439	133.96	-7.55	86.79
			23d Larva	74.8428	3	5.76425	3.32799	224.53	69.81	81.13
			35d Pupal	17.6101	3	3.92767	2.26764	52.83	13.21	20.75
			46d Adult	13.3333	3	9.45163	5.4569	40	6	24
			Total	37.6101	12	33.23963	9.59546	451.32	-7.55	86.79
	30	freezer	3d Egg	15.7233	3	43.20439	24.94407	47.17	-18.87	64.15
			23d Larva	81.1321	3	19.69869	11.37304	243.4	58.49	94.34
			35d Pupal	18.8679	3	29.0468	16.77018	56.6	-5.66	50.94
			46d Adult	20.6667	3	4.16333	2.4037	62	16	24
			Total	34.0975	12	37.0724	10.70188	409.17	-18.87	94.34

ตาราง ข1 สถิติเปอร์เซ็นต์การกำจัดด้วงงวงข้าว (ต่อ)

temp	time	type	stage	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error of Mean	Sum	Min	Max
0 C	30	Total	3d Egg	15.7233	3	43.20439	24.94407	47.17	-18.87	64.15
			23d Larva	81.1321	3	19.69869	11.37304	243.4	58.49	94.34
			35d Pupal	18.8679	3	29.0468	16.77018	56.6	-5.66	50.94
			46d Adult	20.6667	3	4.16333	2.4037	62	16	24
			Total	34.0975	12	37.0724	10.70188	409.17	-18.87	94.34
	Total	freezer	3d Egg	18.0294	9	43.18149	14.39383	162.26	-28.3	86.79
			23d Larva	79.4549	9	11.79979	3.93326	715.09	58.49	94.34
			35d Pupal	14.0461	9	27.89186	9.29729	126.42	-20.75	58.49
			46d Adult	19.7778	9	11.68094	3.89365	178	6	42
			Total	32.827	36	37.64171	6.27362	1181.77	-28.3	94.34
		Total	3d Egg	18.0294	9	43.18149	14.39383	162.26	-28.3	86.79
			23d Larva	79.4549	9	11.79979	3.93326	715.09	58.49	94.34
			35d Pupal	14.0461	9	27.89186	9.29729	126.42	-20.75	58.49
			46d Adult	19.7778	9	11.68094	3.89365	178	6	42
			Total	32.827	36	37.64171	6.27362	1181.77	-28.3	94.34

ตาราง ข1 สถิติเปอร์เซ็นต์การกำจัดด้วงงวงข้าว (ต่อ)

temp	time	type	stage	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error of Mean	Sum	Min	Max
5 C	10	freezer	3d Egg	57.2327	3	6.06519	3.50174	171.7	52.83	64.15
			23d Larva	59.7484	3	13.64939	7.88048	179.25	50.94	75.47
			35d Pupal	23.2704	3	43.20439	24.94407	69.81	-11.32	71.7
			46d Adult	10.6667	3	3.05505	1.76383	32	8	14
			Total	37.7296	12	29.56979	8.53606	452.75	-11.32	75.47
		Total	3d Egg	57.2327	3	6.06519	3.50174	171.7	52.83	64.15
			23d Larva	59.7484	3	13.64939	7.88048	179.25	50.94	75.47
			35d Pupal	23.2704	3	43.20439	24.94407	69.81	-11.32	71.7
			46d Adult	10.6667	3	3.05505	1.76383	32	8	14
			Total	37.7296	12	29.56979	8.53606	452.75	-11.32	75.47
	20	freezer	3d Egg	26.4151	3	49.91984	28.82123	79.25	-30.19	64.15
			23d Larva	64.1509	3	16.12076	9.30733	192.45	49.06	81.13
			35d Pupal	3.1447	3	20.17486	11.64796	9.43	-18.87	20.75
			46d Adult	10	3	2	1.1547	30	8	12
			Total	25.9277	12	34.41436	9.93457	311.13	-30.19	81.13

ตาราง ข1 สถิติเปอร์เซ็นต์การกำจัดด้วงงวงข้าว (ต่อ)

temp	time	type	stage	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error of Mean	Sum	Min	Max
5 C	20	Total	3d Egg	26.4151	3	49.91984	28.82123	79.25	-30.19	64.15
			23d Larva	64.1509	3	16.12076	9.30733	192.45	49.06	81.13
			35d Pupal	3.1447	3	20.17486	11.64796	9.43	-18.87	20.75
			46d Adult	10	3	2	1.1547	30	8	12
			Total	25.9277	12	34.41436	9.93457	311.13	-30.19	81.13
	30	freezer	3d Egg	22.6415	3	51.87822	29.9519	67.92	-33.96	67.92
			23d Larva	89.9371	3	4.74832	2.74145	269.81	84.91	94.34
			35d Pupal	-29.5597	3	32.80705	18.94116	-88.68	-54.72	7.55
			46d Adult	7.3333	3	3.05505	1.76383	22	4	10
			Total	22.5881	12	52.27815	15.0914	271.06	-54.72	94.34
		Total	3d Egg	22.6415	3	51.87822	29.9519	67.92	-33.96	67.92
			23d Larva	89.9371	3	4.74832	2.74145	269.81	84.91	94.34
			35d Pupal	-29.5597	3	32.80705	18.94116	-88.68	-54.72	7.55
			46d Adult	7.3333	3	3.05505	1.76383	22	4	10
			Total	22.5881	12	52.27815	15.0914	271.06	-54.72	94.34

ตาราง ข1 สถิติเปอร์เซ็นต์การกำจัดด้วงงวงข้าว (ต่อ)

temp	time	type	stage	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error of Mean	Sum	Min	Max
5 C	Total	freezer	3d Egg	35.4298	9	39.68748	13.22916	318.87	-33.96	67.92
			23d Larva	71.2788	9	17.79441	5.93147	641.51	49.06	94.34
			35d Pupal	-1.0482	9	37.02288	12.34096	-9.43	-54.72	71.7
			46d Adult	9.3333	9	2.82843	0.94281	84	4	14
			Total	28.7484	36	39.36198	6.56033	1034.94	-54.72	94.34
		Total	3d Egg	35.4298	9	39.68748	13.22916	318.87	-33.96	67.92
			23d Larva	71.2788	9	17.79441	5.93147	641.51	49.06	94.34
			35d Pupal	-1.0482	9	37.02288	12.34096	-9.43	-54.72	71.7
			46d Adult	9.3333	9	2.82843	0.94281	84	4	14
			Total	28.7484	36	39.36198	6.56033	1034.94	-54.72	94.34
60 C	10	hot oven	3d Egg	61.6352	3	12.56288	7.25318	184.91	50.94	75.47
			23d Larva	55.3459	3	9.30733	5.37359	166.04	49.06	66.04
			35d Pupal	76.1006	3	10.39164	5.99962	228.3	64.15	83.02
			46d Adult	11.3333	3	5.7735	3.33333	34	8	18
			Total	51.1038	12	26.59094	7.67614	613.25	8	83.02

ตาราง ข1 สถิติเปอร์เซ็นต์การกำจัดด้วงงวงข้าว (ต่อ)

temp	time	type	stage	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error of Mean	Sum	Min	Max
60 C	10	infrared	3d Egg	95.283	3	2.83019	1.63401	285.85	92.45	98.11
			23d Larva	72.956	3	25.12577	14.50637	218.87	45.28	94.34
			35d Pupal	0	3	0	0	0	0	0
			46d Adult	8	3	2	1.1547	24	6	10
			Total	44.0597	12	44.09471	12.72905	528.72	0	98.11
		Total	3d Egg	78.4591	6	20.14911	8.22584	470.75	50.94	98.11
			23d Larva	64.1509	6	19.49888	7.96039	384.91	45.28	94.34
			35d Pupal	38.0503	6	42.19699	17.22685	228.3	0	83.02
			46d Adult	9.6667	6	4.27395	1.74483	58	6	18
			Total	47.5818	24	35.79127	7.30586	1141.96	0	98.11
	20	hot oven	3d Egg	71.6981	3	17.99885	10.39164	215.09	60.38	92.45
			23d Larva	54.0881	3	28.00685	16.16976	162.26	30.19	84.91
			35d Pupal	67.2956	3	1.08934	0.62893	201.89	66.04	67.92
			46d Adult	25.3333	3	9.2376	5.33333	76	20	36
			Total	54.6038	12	23.971	6.91983	655.25	20	92.45

ตาราง ข1 สถิติเปอร์เซ็นต์การกำจัดด้วงงวงข้าว (ต่อ)

temp	time	type	stage	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error of Mean	Sum	Min	Max
60 C	20	infrared	3d Egg	91.8239	3	4.35736	2.51572	275.47	86.79	94.34
			23d Larva	81.761	3	10.72876	6.19425	245.28	69.81	90.57
			35d Pupal	42.7673	3	33.02336	19.06605	128.3	9.43	75.47
			46d Adult	12	3	5.2915	3.05505	36	6	16
			Total	57.0881	12	36.51316	10.54044	685.06	6	94.34
		Total	3d Egg	81.761	6	16.08391	6.56623	490.57	60.38	94.34
			23d Larva	67.9245	6	24.28031	9.9124	407.55	30.19	90.57
			35d Pupal	55.0314	6	24.84317	10.14218	330.19	9.43	75.47
			46d Adult	18.6667	6	9.93311	4.05518	112	6	36
			Total	55.8459	24	30.23318	6.17132	1340.3	6	94.34
	30	hot oven	3d Egg	79.2453	3	14.73632	8.50802	237.74	62.26	88.68
			23d Larva	72.956	3	17.42944	10.06289	218.87	52.83	83.02
			35d Pupal	84.2767	3	6.06519	3.50174	252.83	77.36	88.68
			46d Adult	73.3333	3	6.1101	3.52767	220	68	80
			Total	77.4528	12	11.48533	3.31553	929.43	52.83	88.68

ตาราง ข1 สถิติเปอร์เซ็นต์การกำจัดด้วงงวงข้าว (ต่อ)

temp	time	type	stage	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error of Mean	Sum	Min	Max
60 C	30	infrared	3d Egg	97.4843	3	2.88212	1.66399	292.45	94.34	100
			23d Larva	77.9874	3	10.39164	5.99962	233.96	67.92	88.68
			35d Pupal	59.7484	3	30.26719	17.47477	179.25	28.3	88.68
			46d Adult	21.3333	3	9.2376	5.33333	64	16	32
			Total	64.1384	12	32.61528	9.41522	769.66	16	100
		Total	3d Egg	88.3648	6	13.78349	5.62709	530.19	62.26	100
			23d Larva	75.4717	6	13.12644	5.35884	452.83	52.83	88.68
			35d Pupal	72.0126	6	23.69909	9.67511	432.08	28.3	88.68
			46d Adult	47.3333	6	29.3303	11.97405	284	16	80
			Total	70.7956	24	24.86137	5.07481	1699.09	16	100
	Total	hot oven	3d Egg	70.8595	9	15.27344	5.09115	637.74	50.94	92.45
			23d Larva	60.7966	9	19.42063	6.47354	547.17	30.19	84.91
			35d Pupal	75.891	9	9.51745	3.17248	683.02	64.15	88.68
			46d Adult	36.6667	9	28.84441	9.6148	330	8	80
			Total	61.0535	36	24.18028	4.03005	2197.92	8	92.45

ตาราง ข1 สถิติเปอร์เซ็นต์การกำจัดด้วงงวงข้าว (ต่อ)

temp	time	type	stage	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error of Mean	Sum	Min	Max
60 C	Total	infrared	3d Egg	94.8637	9	3.86422	1.28807	853.77	86.79	100
			23d Larva	77.5681	9	15.10744	5.03581	698.11	45.28	94.34
			35d Pupal	34.1719	9	34.82199	11.60733	307.55	0	88.68
			46d Adult	13.7778	9	8.02773	2.67591	124	6	32
			Total	55.0954	36	37.88886	6.31481	1983.43	0	100
		Total	3d Egg	82.8616	18	16.41123	3.86817	1491.51	50.94	100
			23d Larva	69.1824	18	18.95651	4.46809	1245.28	30.19	94.34
			35d Pupal	55.0314	18	32.77139	7.72429	990.57	0	88.68
			46d Adult	25.2222	18	23.67564	5.5804	454	6	80
			Total	58.0744	72	31.70013	3.7359	4181.36	0	100
70 C	10	hot oven	3d Egg	73.5849	3	26.41509	15.25076	220.75	43.4	92.45
			23d Larva	93.0818	3	4.35736	2.51572	279.25	90.57	98.11
			35d Pupal	84.9057	3	1.88679	1.08934	254.72	83.02	86.79
			46d Adult	15.3333	3	6.4291	3.71184	46	8	20
			Total	66.7264	12	33.92961	9.79464	800.72	8	98.11

ตาราง ข1 สถิติเปอร์เซ็นต์การกำจัดด้วงงวงข้าว (ต่อ)

temp	time	type	stage	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error of Mean	Sum	Min	Max
70 C	10	infrared	3d Egg	89.3082	3	10.72876	6.19425	267.92	77.36	98.11
			23d Larva	85.5346	3	11.52849	6.65598	256.6	75.47	98.11
			35d Pupal	1.8868	3	3.26802	1.88679	5.66	0	5.66
			46d Adult	16	3	8.7178	5.03322	48	10	26
			Total	48.1824	12	42.06694	12.14368	578.19	0	98.11
		Total	3d Egg	81.4465	6	19.98279	8.15794	488.68	43.4	98.11
			23d Larva	89.3082	6	8.82298	3.60197	535.85	75.47	98.11
			35d Pupal	43.3962	6	45.5339	18.58914	260.38	0	86.79
			46d Adult	15.6667	6	6.86052	2.80079	94	8	26
			Total	57.4544	24	38.5569	7.87039	1378.91	0	98.11
	20	hot oven	3d Egg	48.4277	3	21.70495	12.53136	145.28	26.42	69.81
			23d Larva	49.6855	3	22.5101	12.99621	149.06	24.53	67.92
			35d Pupal	85.5346	3	6.06519	3.50174	256.6	81.13	92.45
			46d Adult	78.6667	3	21.00794	12.12894	236	58	100
			Total	65.5786	12	23.85697	6.88692	786.94	24.53	100

ตาราง ข1 สถิติเปอร์เซ็นต์การกำจัดด้วงงวงข้าว (ต่อ)

temp	time	type	stage	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error of Mean	Sum	Min	Max
70 C	20	infrared	3d Egg	88.6792	3	13.20755	7.62538	266.04	73.58	98.11
			23d Larva	83.0189	3	11.78302	6.80293	249.06	69.81	92.45
			35d Pupal	11.9497	3	17.53127	10.12168	35.85	0	32.08
			46d Adult	19.3333	3	5.03322	2.90593	58	14	24
			Total	50.7453	12	38.38685	11.08133	608.94	0	98.11
		Total	3d Egg	68.5535	6	27.28139	11.13758	411.32	26.42	98.11
			23d Larva	66.3522	6	24.32182	9.92934	398.11	24.53	92.45
			35d Pupal	48.7421	6	41.97707	17.13707	292.45	0	92.45
			46d Adult	49	6	35.25337	14.39213	294	14	100
			Total	58.1619	24	32.16123	6.56488	1395.89	0	100
	30	hot oven	3d Egg	43.3962	3	26.41509	15.25076	130.19	24.53	73.58
			23d Larva	100	3	0	0	300	100	100
			35d Pupal	99.3711	3	1.08934	0.62893	298.11	98.11	100
			46d Adult	90	3	8.7178	5.03322	270	80	96
			Total	83.1918	12	27.09052	7.82036	998.3	24.53	100

ตาราง ข1 สถิติเปอร์เซ็นต์การกำจัดด้วงงวงข้าว (ต่อ)

temp	time	type	stage	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error of Mean	Sum	Min	Max
70 C	30	infrared	3d Egg	99.3711	3	1.08934	0.62893	298.11	98.11	100
			23d Larva	90.566	3	6.80293	3.92767	271.7	83.02	96.23
			35d Pupal	37.1069	3	31.42137	18.14114	111.32	1.89	62.26
			46d Adult	24.6667	3	9.0185	5.20683	74	16	34
			Total	62.9277	12	36.80422	10.62446	755.13	1.89	100
		Total	3d Egg	71.3836	6	34.9218	14.25677	428.3	24.53	100
			23d Larva	95.283	6	6.72397	2.74505	571.7	83.02	100
			35d Pupal	68.239	6	39.47712	16.11647	409.43	1.89	100
			46d Adult	57.3333	6	36.65333	14.96366	344	16	96
			Total	73.0597	24	33.25575	6.7883	1753.43	1.89	100
	Total	hot oven	3d Egg	55.1363	9	25.74587	8.58196	496.23	24.53	92.45
			23d Larva	80.9224	9	26.25362	8.75121	728.3	24.53	100
			35d Pupal	89.9371	9	7.77944	2.59315	809.43	81.13	100
			46d Adult	61.3333	9	36.79674	12.26558	552	8	100
			Total	71.8323	36	28.94704	4.82451	2585.96	8	100

ตาราง ข1 สถิติเปอร์เซ็นต์การกำจัดด้วงงวงข้าว (ต่อ)

temp	time	type	stage	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error of Mean	Sum	Min	Max
70 C	Total	infrared	3d Egg	92.4528	9	9.98397	3.32799	832.08	73.58	100
			23d Larva	86.3732	9	9.51745	3.17248	777.36	69.81	98.11
			35d Pupal	16.9811	9	23.94071	7.98024	152.83	0	62.26
			46d Adult	20	9	7.74597	2.58199	180	10	34
			Total	53.9518	36	38.56891	6.42815	1942.26	0	100
		Total	3d Egg	73.7945	18	26.97123	6.35718	1328.3	24.53	100
			23d Larva	83.6478	18	19.36093	4.56341	1505.66	24.53	100
			35d Pupal	53.4591	18	41.31728	9.73858	962.26	0	100
			46d Adult	40.6667	18	33.43123	7.87982	732	8	100
			Total	62.892	72	35.03459	4.12887	4528.23	0	100
80 C	10	hot oven	3d Egg	33.3333	3	32.14938	18.56145	100	0	64.15
			23d Larva	38.3648	3	4.74832	2.74145	115.09	33.96	43.4
			35d Pupal	83.0189	3	1.88679	1.08934	249.06	81.13	84.91
			46d Adult	18.6667	3	1.1547	0.66667	56	18	20
			Total	43.3459	12	28.6773	8.27842	520.15	0	84.91

ตาราง ข1 สถิติเปอร์เซ็นต์การกำจัดด้วงงวงข้าว (ต่อ)

temp	time	type	stage	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error of Mean	Sum	Min	Max
80 C	10	infrared	3d Egg	87.4214	3	2.88212	1.66399	262.26	84.91	90.57
			23d Larva	55.9748	3	26.16685	15.10744	167.92	33.96	84.91
			35d Pupal	55.3459	3	19.99763	11.54564	166.04	33.96	73.58
			46d Adult	29.3333	3	7.02377	4.05518	88	22	36
			Total	57.0189	12	25.88185	7.47145	684.23	22	90.57
		Total	3d Egg	60.3774	6	35.97792	14.68792	362.26	0	90.57
			23d Larva	47.1698	6	19.38903	7.91554	283.02	33.96	84.91
			35d Pupal	69.1824	6	19.77685	8.07386	415.09	33.96	84.91
			46d Adult	24	6	7.37564	3.01109	144	18	36
			Total	50.1824	24	27.61264	5.63641	1204.38	0	90.57
	20	hot oven	3d Egg	99.3711	3	1.08934	0.62893	298.11	98.11	100
			23d Larva	98.7421	3	1.08934	0.62893	296.23	98.11	100
			35d Pupal	98.1132	3	1.88679	1.08934	294.34	96.23	100
			46d Adult	96	3	3.4641	2	288	92	98
			Total	98.0566	12	2.23929	0.64643	1176.68	92	100

ตาราง ข1 สถิติเปอร์เซ็นต์การกำจัดด้วงงวงข้าว (ต่อ)

temp	time	type	stage	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error of Mean	Sum	Min	Max
80 C	20	infrared	3d Egg	91.5094	3	2.83019	1.63401	274.53	88.68	94.34
			23d Larva	79.8742	3	12.56288	7.25318	239.62	71.7	94.34
			35d Pupal	43.3962	3	21.42984	12.37253	130.19	28.3	67.92
			46d Adult	48	3	10.58301	6.1101	144	40	60
			Total	65.695	12	24.32264	7.02134	788.34	28.3	94.34
		Total	3d Egg	95.4403	6	4.71384	1.92442	572.64	88.68	100
			23d Larva	89.3082	6	13.05391	5.32924	535.85	71.7	100
			35d Pupal	70.7547	6	32.91358	13.43691	424.53	28.3	100
			46d Adult	72	6	27.21764	11.11156	432	40	98
			Total	81.8758	24	23.63335	4.82414	1965.02	28.3	100
	30	hot oven	3d Egg	100	3	0	0	300	100	100
			23d Larva	100	3	0	0	300	100	100
			35d Pupal	100	3	0	0	300	100	100
			46d Adult	100	3	0	0	300	100	100
			Total	100	12	0	0	1200	100	100

ตาราง ข1 สถิติเปอร์เซ็นต์การกำจัดด้วงงวงข้าว (ต่อ)

temp	time	type	stage	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error of Mean	Sum	Min	Max
80 C	30	infrared	3d Egg	96.8553	3	3.92767	2.26764	290.57	92.45	100
			23d Larva	94.3396	3	3.26802	1.88679	283.02	92.45	98.11
			35d Pupal	67.9245	3	25.3842	14.65557	203.77	47.17	96.23
			46d Adult	56.6667	3	7.57188	4.37163	170	48	62
			Total	78.9465	12	21.28218	6.14364	947.36	47.17	100
		Total	3d Egg	98.4277	6	3.0228	1.23405	590.57	92.45	100
			23d Larva	97.1698	6	3.72612	1.52118	583.02	92.45	100
			35d Pupal	83.9623	6	23.79903	9.71591	503.77	47.17	100
			46d Adult	78.3333	6	24.21294	9.88489	470	48	100
			Total	89.4733	24	18.22771	3.72071	2147.36	47.17	100
	Total	hot oven	3d Egg	77.5681	9	36.87031	12.2901	698.11	0	100
			23d Larva	79.0356	9	30.60509	10.2017	711.32	33.96	100
			35d Pupal	93.7107	9	8.17005	2.72335	843.4	81.13	100
			46d Adult	71.5556	9	39.74642	13.24881	644	18	100
			Total	80.4675	36	31.13487	5.18915	2896.83	0	100

ตาราง ข1 สถิติเปอร์เซ็นต์การกำจัดด้วงงวงข้าว (ต่อ)

temp	time	type	stage	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error of Mean	Sum	Min	Max
80 C	Total	infrared	3d Egg	91.9287	9	4.97213	1.65738	827.36	84.91	100
			23d Larva	76.7296	9	22.24495	7.41498	690.57	33.96	98.11
			35d Pupal	55.5556	9	22.10672	7.36891	500	28.3	96.23
			46d Adult	44.6667	9	14.17745	4.72582	402	22	62
			Total	67.2201	36	24.94859	4.1581	2419.92	22	100
		Total	3d Egg	84.7484	18	26.56973	6.26254	1525.47	0	100
			23d Larva	77.8826	18	25.98191	6.12399	1401.89	33.96	100
			35d Pupal	74.6331	18	25.43136	5.99423	1343.4	28.3	100
			46d Adult	58.1111	18	32.08424	7.56233	1046	18	100
			Total	73.8438	72	28.79561	3.3936	5316.75	0	100
90 C	10	hot oven	3d Egg	92.4528	3	1.88679	1.08934	277.36	90.57	94.34
			23d Larva	96.8553	3	2.17868	1.25786	290.57	94.34	98.11
			35d Pupal	99.3711	3	1.08934	0.62893	298.11	98.11	100
			46d Adult	72	3	22.27106	12.8582	216	52	96
			Total	90.1698	12	14.78675	4.26857	1082.04	52	100

ตาราง ข1 สถิติเปอร์เซ็นต์การกำจัดด้วงงวงข้าว (ต่อ)

temp	time	type	stage	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error of Mean	Sum	Min	Max
90 C	10	infrared	3d Egg	95.5975	3	6.06519	3.50174	286.79	88.68	100
			23d Larva	49.0566	3	28.48994	16.44868	147.17	22.64	79.25
			35d Pupal	36.478	3	18.32554	10.58025	109.43	20.75	56.6
			46d Adult	38.6667	3	12.2202	7.05534	116	28	52
			Total	54.9497	12	29.46058	8.50454	659.4	20.75	100
		Total	3d Egg	94.0252	6	4.37096	1.78444	564.15	88.68	100
			23d Larva	72.956	6	31.81172	12.98708	437.74	22.64	98.11
			35d Pupal	67.9245	6	36.35198	14.84064	407.55	20.75	100
			46d Adult	55.3333	6	24.32009	9.92863	332	28	96
			Total	72.5597	24	29.03899	5.92756	1741.43	20.75	100
	20	hot oven	3d Egg	100	3	0	0	300	100	100
			23d Larva	100	3	0	0	300	100	100
			35d Pupal	100	3	0	0	300	100	100
			46d Adult	100	3	0	0	300	100	100
			Total	100	12	0	0	1200	100	100

ตาราง ข1 สถิติเปอร์เซ็นต์การกำจัดด้วงงวงข้าว (ต่อ)

temp	time	type	stage	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error of Mean	Sum	Min	Max
90 C	20	infrared	3d Egg	93.0818	3	2.17868	1.25786	279.25	90.57	94.34
			23d Larva	91.195	3	7.62538	4.40252	273.58	86.79	100
			35d Pupal	44.0252	3	5.4467	3.14465	132.08	37.74	47.17
			46d Adult	58.6667	3	8.0829	4.66667	176	50	66
			Total	71.7421	12	22.63296	6.53357	860.91	37.74	100
		Total	3d Egg	96.5409	6	4.03203	1.64607	579.25	90.57	100
			23d Larva	95.5975	6	6.82035	2.7844	573.58	86.79	100
			35d Pupal	72.0126	6	30.8516	12.59511	432.08	37.74	100
			46d Adult	79.3333	6	23.20919	9.47511	476	50	100
			Total	85.8711	24	21.29074	4.34595	2060.91	37.74	100
	30	hot oven	3d Egg	99.3711	3	1.08934	0.62893	298.11	98.11	100
			23d Larva	100	3	0	0	300	100	100
			35d Pupal	100	3	0	0	300	100	100
			46d Adult	100	3	0	0	300	100	100
			Total	99.8428	12	0.54467	0.15723	1198.11	98.11	100

ตาราง ข1 สถิติเปอร์เซ็นต์การกำจัดด้วงงวงข้าว (ต่อ)

temp	time	type	stage	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error of Mean	Sum	Min	Max
90 C	30	infrared	3d Egg	98.1132	3	1.88679	1.08934	294.34	96.23	100
			23d Larva	98.7421	3	1.08934	0.62893	296.23	98.11	100
			35d Pupal	84.9057	3	1.88679	1.08934	254.72	83.02	86.79
			46d Adult	68	3	8	4.6188	204	60	76
			Total	87.4403	12	13.55993	3.91442	1049.28	60	100
		Total	3d Egg	98.7421	6	1.54056	0.62893	592.45	96.23	100
			23d Larva	99.3711	6	0.97434	0.39777	596.23	98.11	100
			35d Pupal	92.4528	6	8.35319	3.41017	554.72	83.02	100
			46d Adult	84	6	18.24281	7.44759	504	60	100
			Total	93.6415	24	11.3229	2.31128	2247.4	60	100
	Total	hot oven	3d Egg	97.2746	9	3.78666	1.26222	875.47	90.57	100
			23d Larva	98.9518	9	1.91282	0.63761	890.57	94.34	100
			35d Pupal	99.7904	9	0.62893	0.20964	898.11	98.11	100
			46d Adult	90.6667	9	17.88854	5.96285	816	52	100
			Total	96.6709	36	9.51583	1.58597	3480.15	52	100

ตาราง ข1 สถิติเปอร์เซ็นต์การกำจัดด้วงงวงข้าว (ต่อ)

temp	time	type	stage	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error of Mean	Sum	Min	Max
90 C	Total	infrared	3d Egg	95.5975	9	4.00249	1.33416	860.38	88.68	100
			23d Larva	79.6646	9	27.48471	9.16157	716.98	22.64	100
			35d Pupal	55.1363	9	24.52427	8.17476	496.23	20.75	86.79
			46d Adult	55.1111	9	15.43085	5.14362	496	28	76
			Total	71.3774	36	25.93439	4.3224	2569.58	20.75	100
		Total	3d Egg	96.4361	18	3.87699	0.91382	1735.85	88.68	100
			23d Larva	89.3082	18	21.34662	5.03145	1607.55	22.64	100
			35d Pupal	77.4633	18	28.47871	6.7125	1394.34	20.75	100
			46d Adult	72.8889	18	24.43933	5.76041	1312	28	100
			Total	84.0241	72	23.20325	2.73453	6049.74	20.75	100
Total	10	hot oven	3d Egg	65.2516	12	29.09087	8.39781	783.02	0	94.34
			23d Larva	70.9119	12	26.3962	7.61993	850.94	33.96	98.11
			35d Pupal	85.8491	12	9.96775	2.87744	1030.19	64.15	100
			46d Adult	29.3333	12	27.80887	8.02773	352	8	96
			Total	62.8365	48	31.70678	4.57648	3016.15	0	100

ตาราง ข1 สถิติเปอร์เซ็นต์การกำจัดด้วงงวงข้าว (ต่อ)

temp	time	type	stage	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error of Mean	Sum	Min	Max
Total	10	infrared	3d Egg	91.9025	12	6.68848	1.9308	1102.83	77.36	100
			23d Larva	65.8805	12	25.17884	7.26851	790.57	22.64	98.11
			35d Pupal	23.4277	12	27.13379	7.83285	281.13	0	73.58
			46d Adult	23	12	14.25737	4.11575	276	6	52
			Total	51.0527	48	35.44984	5.11674	2450.53	0	100
		freezer	3d Egg	34.1195	12	32.75398	9.45526	409.43	-28.3	71.7
			23d Larva	69.3396	12	12.20463	3.52317	832.08	50.94	88.68
			35d Pupal	19.8113	12	30.76739	8.88178	237.74	-20.75	71.7
			46d Adult	17.1667	12	10.7351	3.09896	206	6	42
			Total	35.1093	48	31.23831	4.50886	1685.25	-28.3	88.68
		Total	3d Egg	63.7579	36	34.50699	5.75117	2295.28	-28.3	100
			23d Larva	68.7107	36	21.66997	3.61166	2473.58	22.64	98.11
			35d Pupal	43.0294	36	38.79857	6.46643	1549.06	-20.75	100
			46d Adult	23.1667	36	19.19747	3.19958	834	6	96
			Total	49.6661	144	34.55695	2.87975	7151.92	-28.3	100

ตาราง ข1 สถิติเปอร์เซ็นต์การกำจัดด้วงงวงข้าว (ต่อ)

temp	time	type	stage	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error of Mean	Sum	Min	Max
Total	20	hot oven	3d Egg	79.8742	12	25.43302	7.34188	958.49	26.42	100
			23d Larva	75.6289	12	29.20191	8.42986	907.55	24.53	100
			35d Pupal	87.7358	12	13.9	4.01259	1052.83	66.04	100
			46d Adult	75	12	32.63573	9.42112	900	20	100
			Total	79.5597	48	25.9193	3.74113	3818.87	20	100
		infrared	3d Egg	91.2736	12	6.34924	1.83287	1095.28	73.58	98.11
			23d Larva	83.9623	12	10.28731	2.96969	1007.55	69.81	100
			35d Pupal	35.5346	12	23.35682	6.74253	426.42	0	75.47
			46d Adult	34.5	12	21.25388	6.13547	414	6	66
			Total	61.3176	48	31.32077	4.52076	2943.25	0	100
		freezer	3d Egg	26.5723	12	36.68748	10.59076	318.87	-30.19	86.79
			23d Larva	68.0818	12	16.692	4.81857	816.98	39.62	96.23
			35d Pupal	4.0881	12	30.06873	8.68009	49.06	-50.94	60.38
			46d Adult	13	12	7.45898	2.15322	156	4	26
			Total	27.9355	48	34.91392	5.03939	1340.91	-50.94	96.23

ตาราง ข1 สถิติเปอร์เซ็นต์การกำจัดด้วงงวงข้าว (ต่อ)

temp	time	type	stage	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error of Mean	Sum	Min	Max
Total	20	Total	3d Egg	65.9067	36	38.17011	6.36169	2372.64	-30.19	100
			23d Larva	75.891	36	20.78709	3.46452	2732.08	24.53	100
			35d Pupal	42.4528	36	41.71842	6.95307	1528.3	-50.94	100
			46d Adult	40.8333	36	34.26076	5.71013	1470	4	100
			Total	56.271	144	37.46971	3.12248	8103.02	-50.94	100
	30	hot oven	3d Egg	80.5031	12	27.2632	7.87021	966.04	24.53	100
			23d Larva	93.239	12	14.31202	4.13153	1118.87	52.83	100
			35d Pupal	95.9119	12	7.49697	2.16419	1150.94	77.36	100
			46d Adult	90.8333	12	12.25363	3.53732	1090	68	100
			Total	90.1219	48	17.46389	2.52069	4325.85	24.53	100
		infrared	3d Egg	97.956	12	2.47429	0.71427	1175.47	92.45	100
			23d Larva	90.4088	12	9.76961	2.82024	1084.91	67.92	100
			35d Pupal	62.4214	12	28.04871	8.09696	749.06	1.89	96.23
			46d Adult	42.6667	12	22.21111	6.41179	512	16	76
			Total	73.3632	48	28.68992	4.14103	3521.43	1.89	100

ตาราง ข1 สถิติเปอร์เซ็นต์การกำจัดด้วงงวงข้าว (ต่อ)

temp	time	type	stage	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error of Mean	Sum	Min	Max
Total	30	freezer	3d Egg	31.6038	12	37.7026	10.8838	379.25	-33.96	67.92
			23d Larva	83.4906	12	16.15335	4.66307	1001.89	45.28	100
			35d Pupal	11.9497	12	34.94234	10.08699	143.4	-54.72	58.49
			46d Adult	14.3333	12	6.25712	1.80627	172	4	24
			Total	35.3443	48	39.19883	5.65786	1696.53	-54.72	100
		Total	3d Egg	70.021	36	38.6461	6.44102	2520.75	-33.96	100
			23d Larva	89.0461	36	13.91497	2.31916	3205.66	45.28	100
			35d Pupal	56.761	36	43.28563	7.21427	2043.4	-54.72	100
			46d Adult	49.2778	36	35.21737	5.86956	1774	4	100
			Total	66.2765	144	37.47896	3.12325	9543.81	-54.72	100
	Total	hot oven	3d Egg	75.2096	36	27.45786	4.57631	2707.55	0	100
			23d Larva	79.9266	36	25.42285	4.23714	2877.36	24.53	100
			35d Pupal	89.8323	36	11.36808	1.89468	3233.96	64.15	100
			46d Adult	65.0556	36	36.38991	6.06498	2342	8	100
			Total	77.506	144	27.9023	2.32519	11160.87	0	100

ตาราง ข1 สถิติเปอร์เซ็นต์การกำจัดด้วงงวงข้าว (ต่อ)

temp	time	type	stage	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error of Mean	Sum	Min	Max
Total	Total	infrared	3d Egg	93.7107	36	6.16361	1.02727	3373.58	73.58	100
			23d Larva	80.0839	36	19.32305	3.22051	2883.02	22.64	100
			35d Pupal	40.4612	36	30.38496	5.06416	1456.6	0	96.23
			46d Adult	33.3889	36	20.6844	3.4474	1202	6	76
			Total	61.9112	144	33.01079	2.7509	8915.21	0	100
		freezer	3d Egg	30.7652	36	34.88655	5.81443	1107.55	-33.96	86.79
			23d Larva	73.6373	36	16.32756	2.72126	2650.94	39.62	100
			35d Pupal	11.9497	36	31.74557	5.29093	430.19	-54.72	71.7
			46d Adult	14.8333	36	8.3135	1.38558	534	4	42
			Total	32.7964	144	35.18945	2.93245	4722.68	-54.72	100
		Total	3d Egg	66.5618	108	36.89739	3.55045	7188.68	-33.96	100
			23d Larva	77.8826	108	20.7328	1.99501	8411.32	22.64	100
			35d Pupal	47.4144	108	41.45738	3.98924	5120.75	-54.72	100
			46d Adult	37.7593	108	32.08833	3.0877	4078	4	100
			Total	57.4045	432	37.07858	1.78394	24798.75	-54.72	100

ภาคผนวก ค

ประวัติผู้วิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-นามสกุล	นางสาว ปิยภรณ์ นาวาผล
วัน เดือน ปีเกิด	31 พฤษภาคม 2537
ที่อยู่	189/48 หมู่บ้านดรีมวิลเลจ ถนน บางกรวยจงถนอม ตำบล มหาสวัสดิ์ อำเภอ บางกรวย จังหวัด นนทบุรี 11300
โทร.	088 195 8567
ประวัติการศึกษา	2559 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเกษตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลงานวิจัยที่ได้รับการเผยแพร่

การนำเสนอบทความวิชาการ

เรื่อง การเปรียบเทียบศักยภาพการกำจัดมอดด้วยความร้อนและความเย็น

ในงานประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย

ระดับชาติ ครั้งที่ 19 วันที่ 26-27 เมษายน 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย
ระดับชาติ ครั้งที่ 19 วันที่ 26-27 เมษายน 2561
Available online at www.tsae.asia

การเปรียบเทียบศักยภาพการกำจัดมอดด้วยความร้อนและความเย็น

Potential Comparison of Rice Weevil Eradicate By Heat and Cold Treatments

ปิยภรณ์ นาวาเผล[1]*, ประสันต์ ชุ่มใจหาญ[1]
Piyaporn Navaphon[1]*, Prasan Choomjaihan[1]

[1]สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพมหานคร, 10520
[1]King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, 10520, Thailand
*Corresponding author: Tel: 088 195 8567, E-mail: piyaporn.navaphon@gmail.com

บทคัดย่อ

แมลงในโรงเก็บนับเป็นปัญหาหลักสำหรับข้าวสารที่รอการจำหน่าย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาแนวทางแก้ปัญหาโดยใช้ควบคุมอุณหภูมิของอากาศ เพื่อยับยั้งปริมาณการเจริญเติบโตของมอดข้าวสาร และเพื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การกำจัดมอดข้าวสาร ซึ่งมี 4 ปัจจัยที่ควบคุม คือ (1)วิธีการให้อุณหภูมิ 3 แบบ (ตู้อบลมร้อน (HA), หลอดอินฟราเรด (IR) และเครื่องทำความเย็น (FR)) (2)การควบคุมอุณหภูมิ 4 ระดับ (สำหรับ HA และ IR ควบคุมอุณหภูมิที่ 60 70 80 และ 90° C สำหรับ FR ควบคุมอุณหภูมิที่ -10 -5 0 และ 5° C ตามลำดับ) (3)ระยะเวลาการให้อุณหภูมิ 3 ช่วง (10 20 และ 30 min) และ (4)วัยเจริญเติบโต 4 ช่วงอายุ (ระยะไข่ ระยะหนอน ระยะดักแด้ และตัวเต็มวัย) ผลการทดลองพบว่าความร้อนและความเย็นส่งผลให้อัตราการตายของมอดข้าวสารสูงขึ้น การให้ความร้อนด้วยHA มีประสิทธิภาพการกำจัดมอดข้าวสารโดยรวมได้ดีที่สุด รองลงมาคือ IR และ FR เท่ากับ 77.5, 61.91 และ 32.79% ตามลำดับ สำหรับ HA และ IR ปัจจัยระดับอุณหภูมิและระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการตายสูงขึ้นตามไปด้วย ความร้อนกับความเย็นส่งผลกระทบต่อการผสมพันธุ์และวางไข่ให้มีค่าลดลงจาก 106 % เป็น 97.33, 72.00 และ 54.67% สำหรับ FR HA และ IR ตามลำดับ นอกจากนี้ความร้อนส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์การแตกหักเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ค่าความขาวของเมล็ดไม่มีความแตกต่าง ส่วนค่าความชื้นของเมล็ดข้าวหอมมะลิลดลงเล็กน้อยเฉพาะการให้ความร้อน ต้นทุนพลังงานที่ใช้ทำความร้อนต่ำกว่าการทำความเย็น

คำสำคัญ: มอดข้าวสาร, ข้าวหอมมะลิ, การกำจัด, ความร้อน, ความเย็น

Abstract

The main problem of rice storage was the insect destruction. This research was then focused on solving this problem using the controlling atmosphere temperature to prevent the growth of rice weevil and to compare the percentage of rice weevil mortality. There were 4 control conditions which were 1) Type of given temperature (hot air-oven (HA), infrared radiation (IR) and freezer (FR)), 2) Level of controlled temperature (60 70 80 and 90° C were for HA and IR, as well as -10 -5 0 and 5° C were for FR), 3) Period of applying temperature (10 20 and 30 min), and 4) Growth stage (egg, larva, pupa and adult). The results showed that applying heating the cooling process increased the mortality rate of rice weevil. Using HA gave highest efficiency of rice weevil mortality at 77.5, 61.91 and 21.79% respectively. Increasinging of temperature and period of applying temperature of HA and IR increased the mortality rate. Applying heat and cool decreased the breeding from 106% to 97.33, 72.00 and 54.67% for FR HA and IR respectively. Furthermore, the heat increased the percentage of broken kernel; on the other hand, the whiteness was not changed. The moisture content of rice kernel was decreased only heating process applied. Applying heating (HA and IR) required less energy consumption than applying FR.

Keywords: Rice weevil, Hommali rice, Eradicate, Heat, Cold

1 บทนำ

ประเทศไทยเป็นหนึ่งในประเทศที่มีสภาพดินฟ้าอากาศเหมาะแก่การเกษตรกรรม ทั้งด้านการเพาะปลูกพืชต่างๆ สินค้าเกษตรจึงเป็นสินค้าส่งออกสำคัญของประเทศ โดยนับในมูลค่าสินค้าส่งออกที่สำคัญ ได้แก่ ข้าว (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2560) เป็นที่ทราบว่า ข้าวหอมมะลิ เป็นข้าวสายพันธุ์ที่มีถิ่นกำเนิดจากประเทศไทย ซึ่งประเทศไทยถือเป็นแหล่งผลิตข้าวหอมมะลิที่มีคุณภาพดีที่สุดแห่งหนึ่ง การส่งออกข้าวหอมมะลิจึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำเป็นต้องมีการควบคุมมาตรฐานด้านการผลิต ให้เป็นที่ยอมรับตามมาตรฐานสินค้าเกษตร ข้าวหอมมะลิไทย มกษ 4000-2560 เพื่อไม่ให้ส่งผลกระทบต่อการขาย และราคาขายของข้าว การใส่ใจตั้งแต่กระบวนการเก็บรักษาคุณภาพก่อนการส่งออกหรือจำหน่ายจึงมีความจำเป็น

การเก็บรักษาสภาพข้าว มีเป้าหมายหลัก เพื่อยืดอายุข้าวเพื่อรอการทำกิจกรรมอย่างใดอย่างหนึ่ง เช่น การขนย้าย การส่งออก โดยต้องคำนึงถึงการควบคุมให้มีการสูญเสียของข้าวทั้งในด้านปริมาณและคุณภาพน้อยที่สุดเกิดจากหลายสาเหตุ เป็นการทำลายของนก หนู และแมลงในโรงเก็บ ซึ่งจะส่งผลต่อเนื่องมาถึงคุณภาพ เกิดข้าวเมล็ดเหลือง กลิ่นเหม็นอับ และมีสิ่งสกปรกเจือปนมาก (นิภาพร บุญชอบ, 2558) จากปัญหาดังกล่าว พบว่า 31.5 % เป็นปริมาณความเสียหายที่เกิดจากแมลงศัตรูข้าว (วีรวุฒิ กตัญญุกุล, 2526) โดยมอดข้าวสาร หรือ ด้วงงวงข้าว เป็นหนึ่งในแมลงศัตรูหลักของข้าว ในอดีตวิธีการควบคุมแมลงนิยมใช้สารเคมีในการรมควันเพื่อกำจัดแมลง เนื่องจากง่ายต่อการใช้งาน แต่กลับพบว่ามีปริมาณสารพิษตกค้างบนข้าว นอกจากนี้พบว่าผลของการใช้สารเคมีในการกำจัดแมลงทำให้เกิดผลเสียหายติดตามมาหลายประการเช่นก่อให้เกิดการดื้อและมีความต้านทานต่อสารเคมีของแมลงศัตรูพืชบางชนิด และก่อให้เกิดการระบาดเพิ่มมากขึ้นของแมลง แม้ว่าวิธีดังกล่าวถึงจะมีความสะดวกในการใช้งาน และราคาประหยัด แต่ในปัจจุบันความใส่ใจต่อสุขภาพ และความปลอดภัยของมนุษย์มากยิ่งขึ้น แนวทางการกำจัดแมลงโดยวิธีอื่นๆจึงได้รับความสนใจเพิ่มขึ้นตามลำดับ

ปัจจุบัน การศึกษาแนวทางการกำจัดมอดข้าวสาร มีอยู่ด้วยกันหลายวิธี อุณหภูมิเป็นหนึ่งในเทคนิคที่น่าสนใจ เนื่องจากเป็นวิธีสะอาดและปลอดภัย จากการศึกษาพบว่าอุณหภูมิที่ไม่เหมาะสมส่งผลกระทบต่อวงจรชีวิตแมลง ไม่ว่าแมลงจะอยู่จุดไหนของวงจรชีวิตก็ตาม(D Dent,2000) ทั้งอุณหภูมิสูงส่งผลให้ปฏิกิริยาเคมีต่างๆในสิ่งมีชีวิตเกิดได้เร็วขึ้น นอกจากนั้นอุณหภูมิที่สูงก็เข้าไปทำให้โปรตีนแปรสภาพ ทำให้เอนไซม์ในปฏิกิริยาต่างๆ ซึ่งเป็นโปรตีนอย่างหนึ่งไม่สามารถทำงานได้ตามปกติ ส่งผลให้สิ่งมีชีวิตหยุดการเจริญเติบโต และอาจถึงตายได้ (การป้องกันและควบคุมแมลงหลังการเก็บเกี่ยว, 2556) สำหรับอุณหภูมิต่ำ มีผลกระทบทั้งทางกายภาพและชีวภาพของแมลง หากอุณหภูมิต่ำหรืออากาศเย็นต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของน้ำ จะส่งผลให้เซลล์ประสาทแห้งและทำลายสารเคมีภายในตัวสิ่งมีชีวิตจนถึงขั้นเสียชีวิตได้ (Brent J. Sinclair Et. al .,2003) โดยที่อุณหภูมิต่ำกว่า 25°C จะทำให้มอดข้าวสารหยุดการเคลื่อนที่และตายเมื่ออยู่ภายใต้อุณหภูมิที่ต่ำกว่า 5 °C เป็นเวลานานกว่า 1 สัปดาห์ (Paul G. Fields, 1992) เป็นต้น

งานวิจัยนี้จึงศึกษาถึงวิธีการกำจัดมอดข้าวสารโดยปรับเปลี่ยนวิธีการให้อุณหภูมิ 3 รูปแบบ ได้แก่ การให้ความเย็นด้วยเครื่องทำความเย็น การให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน และการให้ความร้อนด้วยหลอดรังสีอินฟาเรด นอกจากนี้ หากมองว่ามอดข้าวสารในวัยต่างๆ (ไข่ หนอน ดักแด้ และตัวเต็มวัย) ขนาดตัว น้ำหนัก การเคลื่อนที่ ย่อมส่งผลต่อระยะเวลาการเสียชีวิต เพื่อให้งานวิจัยมีความแม่นยำ จึงศึกษาการเสียชีวิตของมอดข้าวสารที่ระยะต่างๆ เพื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิ และวิธีการที่แตกต่างกันต่อการกำจัดมอดข้าวสาร และการเจริญวัยของมอดข้าวสารในรุ่นถัดไป รวมถึงศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิ และวิธีการที่แตกต่างกันในการกำจัดมอดข้าวสาร ต่อคุณภาพข้าวหอมมะลิ

8 อุปกรณ์และวิธีการ

การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การกำจัดมอดข้าวสาร มีปัจจัย 4 ปัจจัยที่ควบคุม คือ (1)วิธีการให้อุณหภูมิ 3 แบบ (ตู้อบลมร้อน Hot Air Oven (HA), หลอดอินฟาเรด Infrared (IR) และเครื่องทำความเย็น Freezer (FR)) (2)อุณหภูมิ 4 ระดับ(สำหรับ HA และ IR ควบคุมอุณหภูมิที่ 60 70 80 และ 90 C สำหรับ FR ควบคุมอุณหภูมิที่ -10 -5 0 และ 5 C ตามลำดับ) ระยะเวลาการให้อุณหภูมิ 3 ช่วง (10 20 และ 30 m) วัยเจริญเติบโต 4 ช่วงอายุ (ไข่ หนอน ดักแด้ และตัวเต็มวัย)

2.1 การเตรียมวัสดุอุปกรณ์ และขั้นตอนการทดลอง

การเตรียมพร้อมสำหรับการทดลอง เริ่มจากกระบวนการเพาะเลี้ยงแมลงเพื่อเพิ่มจำนวนมอดข้าวสาร กระบวนการผสมพันธุ์ โดยนำข้าวหอมมะลิสะอาด ผสมมอดข้าวสารคละเทศ (รุ่นที่1) ใส่กล่องเพาะเลี้ยงเป็นระยะเวลา 3 วัน เพื่อให้มอดผสมพันธุ์และวางไข่ รอ 50 วัน จนไข่กลายเป็นตัวเต็มวัยสมบูรณ์ คัดแยกตัวเต็มวัยออกจะได้มอดข้าวสารรุ่นที่2 ที่มีอายุและขนาดตัวใกล้เคียงกันส่งผลให้ความคลาดเคลื่อนในการทดลองที่เหลือมีค่าลดลง หลังจากนั้นคำนวณระยะการเจริญเติบโตในวัยต่างๆ โดยทำการเพาะพันธุ์มอดข้าวสารรุ่นที่2 ให้ได้มอดข้าวสารรุ่นที่ 3 โดยการผสมมอดข้าวสารรุ่นที่ 2 กับข้าวหอมมะลิอีกครั้ง เพื่อติดตามสถานะการเจริญเติบโต พร้อมกับคำนวณจำนวนวันในวัฏจักรชีวิตเฉลี่ย โดยเริ่มวัดค่าตั้งแต่วันที่ 4 หลังจากผสมมอดข้าวสารและข้าวหอมมะลิ ดังรูปที่ 1 พบว่าเมื่อครบ 50 วันมีมอดข้าวสารเกิดขึ้นในสภาวะปกติ 53±6.04 ตัว จากเริ่มต้นรุ่นที่ 2 จำนวน 50 ตัวต่อซ้ำ (ทั้งหมด 9 ซ้ำ)

จากรูปที่ 1 พบว่าวันที่เหมาะสมต่อการตรวจเพาะระยะไข่คือ 7 วัน ระยะหนอนคือ 14-27 วัน ระยะดักแด้คือ 39 วัน และตัวเต็มวัยคือ 50 วัน เริ่มนับจำนวนวันแรกจากวันผสมตัวเต็มวัยและข้าวหอมมะลิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

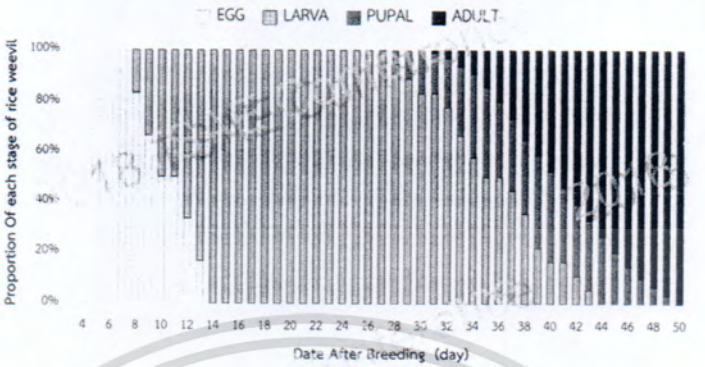


Figure 1 Proportion Of each stage of rice weevil

2.2 การกำจัดมอดข้าวสารด้วยการปรับเปลี่ยนสภาวะอุณหภูมิ

หลังจากเตรียมหน่วยทดลองวัยเจริญเติบโตทั้ง 4 ช่วงระยะดังหัวข้อ 2.1 นำหน่วยทดลอง ซึ่งประกอบไปด้วยข้าวหอมมะลิผสมมอดข้าวสารที่วัยเจริญเติบโตต่างๆ มาศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดมอดข้าวสารด้วยความร้อนและความเย็น การทดลองนี้ได้มีการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ Factorial Analysis in Completely Randomized Design (CRD) โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.2.1 การให้ความร้อนโดยวิธีการสู่อบความร้อน

นำหน่วยทดลองที่เตรียมไว้ให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน (Memmert รุ่น UF 260 Germany) ที่อุณหภูมิ 60 70 80 และ 90 C เป็นเวลา 10 20 และ 30 min โดยทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ

2.2.2 การให้ความร้อนด้วยหลอดอินฟาเรด

นำหน่วยทดลองที่เตรียมไว้ให้ความร้อนด้วยหลอดอินฟาเรด จำนวน 2 หลอด กำลังไฟหลอดละ 650 Watt ที่อุณหภูมิ 60 70 80 และ 90 C เป็นเวลา 10 20 และ 30 min โดยทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ

2.2.3 การให้ความเย็น

นำหน่วยทดลองที่เตรียมไว้ให้ความเย็นด้วยเครื่องทำความเย็นที่อุณหภูมิ -10 -5 0 และ 5 C เป็นเวลา 10 20 และ 30 min โดยทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ

2.2.4 การตรวจสอบผลการทดลอง

นำหน่วยทดลองหลังจากผ่านสภาวะอุณหภูมิต่างๆ มาเก็บรักษาไว้ที่สภาวะอุณหภูมิห้อง เพื่อรอให้อุณหภูมิลดลงจนถึงอุณหภูมิปกติการตรวจสอบระยะไข่ ตัวหนอน ดักแด้ และตัวเต็มวัย รอระยะเวลาอีก 45 26 11 และ 0 วัน ตามลำดับ (ให้ครบ 50 วัน) หลังจากนั้นตรวจนับจำนวนตัวเต็มวัยที่พบ แล้วเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์คำนวณจากสมการที่ eq.1 มอดข้าวสารตัวเต็มวัยที่รอดชีวิตจากการให้ความร้อน ความเย็นทุกๆ ภาวะ

$$\%RW_E = \frac{RW_{norm} - RW_D}{RW_{norm}} \times 100 \quad \text{(eq.1)}$$

โดยที่

$\%RW_E$ = เปอร์เซ็นต์การกำจัดมอดข้าวสาร

RW_{norm} = จำนวนมอดข้าวสารที่สามารถเกิดได้ที่สภาวะปกติ

RW_D = จำนวนมอดข้าวสารที่เสียชีวิต

2.3 การศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิต่อการเจริญวัยของมอดในรุ่นต่อไป

คัดแยกมอดข้าวสารตัวเต็มวัยจากขั้นตอนที่ 3 ที่รอดชีวิตออกจากข้าวหอมมะลิ แบ่งการจัดเก็บมอดข้าวสารออกเป็น 3 ส่วน โดยใช้วิธีการเปลี่ยนอุณหภูมิเป็นเกณฑ์ในการคัดแยก คละทุกระยะเวลาและระดับอุณหภูมิ คือ กลุ่มHA กลุ่มIR และกลุ่มFR หลังจากนั้นสุ่มมอดข้าวสารจากทั้ง 3 ส่วน จำนวนส่วนละ 50 ตัว ผสมข้าวหอมมะลิ 100 กรัม เป็นเวลา 3 วันเช่นเดิม จำนวน 5 ซ้ำ หลังจากนั้นรอให้ครบ 50 วัน ตามวิธีการการเตรียมวัสดุอุปกรณ์ และหน่วยทดลองในหัวข้อ 2.1 เพื่อตรวจนับจำนวนตัวเต็มวัยของมอดข้าวสาร เป็นการเปรียบเทียบอัตราการสืบพันธุ์และความพิการที่อาจเกิดจากความร้อนและความเย็น โดยคำนวณจากสมการที่ eq.2

$$\%RW_{Breeding} = \frac{RW_B}{RW_{norm}} \times 100 \quad \text{(eq.2)}$$

โดยที่

$\%RW_{Breeding}$ = เปอร์เซ็นต์การสืบพันธุ์

RW_{norm} = จำนวนมอดข้าวสารที่สามารถเกิดได้ที่สภาวะปกติ

RW_B = จำนวนมอดข้าวสารที่เกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของข้าวหอมมะลิหลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนและความเย็น

การตรวจสอบเปอร์เซ็นต์การแตกหัก ทดสอบด้วยเครื่องทดสอบการคัดขนาดเมล็ดข้าว ตรวจนับน้ำหนักเมล็ดข้าวภายในช่องข้าวดัน ช่องข้าวหัก หลักจากนั้นคำนวณเปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าวจากสมการที่ eq 3 แล้วทำการเปรียบเทียบระหว่างชุดข้าวหอมมะลิสะอาดก่อนและหลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนและความเย็น

$$\text{เปอร์เซ็นต์การแตกหัก} = \frac{\text{น้ำหนักเมล็ดแตกหัก}}{\text{น้ำหนักรวม}} \times 100 \quad \text{(eq.3)}$$

การตรวจสอบค่าความขาวของข้าวหอมมะลิ ทดสอบระดับความขาวด้วยเครื่องวัดความขาว(Satake MM1D) เปรียบเทียบระหว่างชุดข้าวหอมมะลิสะอาด และชุดข้าวหลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนและความเย็น พร้อมทั้ง

การตรวจสอบค่าความชื้นของข้าวหอมมะลิด้วยเครื่องทดสอบความชื้น(Moisture Tester MODEL TA-5) เปรียบเทียบระหว่างชุดข้าวหอมมะลิสะอาด และชุดข้าวหลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนและความเย็น

2.4 การศึกษาต้นทุนพลังงานของการให้ความร้อนและความเย็น

ตรวจสอบกระแสไฟภายในเครื่องเพื่อเปรียบเทียบระหว่างเครื่องทำความร้อนและความเย็นโดยวัดจากเครื่อง Clamp Meter (FLUKE 322) คำนวณหาพลังงานที่ใช้ต่อ 1 หน่วยทดลองจากสมการที่ eq.4

$$P = VI\cos\phi \quad \text{(eq.4)}$$

โดยที่

P = กำลังไฟฟ้า(Watt)

V = แรงดันไฟ (V)

I = กระแสไฟที่ไหลในวงจร (A)

ผลและวิจารณ์

จากการทดลองตามวิธีการทดลองในหัวข้อที่ 2 ผลการทดลองถูกนำมาคำนวณด้วยโปรแกรม SPSS version 16.0 แผนการทดลอง Factorial Analysis in CRD (แบบ TWO-WAY ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดลองของข้าวสารที่ผ่านออกเป็น 3 หัวข้อ ดังต่อไปนี้

3.1 ผลการทดลองการกำจัดมอดข้าวสารด้วยการปรับเปลี่ยนสภาวะอุณหภูมิ

3.1.1 การให้ความร้อนโดยด้วยตู้อบลมร้อน

จากการทดลองพบว่าระยะดักแด้เป็นระยะที่ทนต่อความร้อนได้ดีที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (α=0.05) รองลงมาคือ ระยะไข่ ระยะตัวหนอน และระยะดักแด้ โดยมีเปอร์เซ็นต์การกำจัดมอดข้าวสารที่ระยะต่างๆเท่ากับ 65.05±36.38 75.20±27.45 79.92±25.42 และ 89.83±11.36 % ตามลำดับ สอดคล้องกับงานวิจัย Dolent (2000) กล่าวว่า ระยะดักแด้เป็นระยะที่อ่อนแอต่อสภาวะบรรยากาศที่ไม่เหมาะสมมากที่สุด ในด้านของระยะเวลาที่ให้ความร้อน ช่วงเวลาที่นานกว่า 20 นาที พบอัตราการตายเฉลี่ยสูงประมาณ 95-100 % ที่ทุกช่วงอุณหภูมิ ในด้านอุณหภูมิ เหมาะสำหรับการใช้ 80 องศาเซลเซียสขึ้นไป จะสามารถหยุดการเจริญเติบโตของมอดข้าวสารได้เฉลี่ย 100 % แสดงดัง Figure 2 โดยค่าเฉลี่ยในการกำจัดด้วยตู้อบลมร้อน เท่ากับ 77.5 %

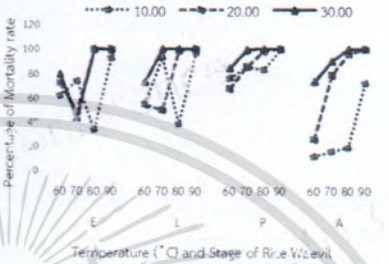


Figure 2 Percentage of Mortality rate of Hot Air Oven

การเสียชีวิตของมอดข้าวสารจากการผ่านความร้อนด้วยตู้อบลมร้อนนำจะเกิดจากผลกระทบการผ่านความร้อนจากตู้อบลมร้อนไปยังหน่วยทดลอง (เมล็ดข้าวและแมลง) ส่งผลทำให้น้ำในตัวแมลงมีอุณหภูมิสูงขึ้นจนถึงสภาวะที่แมลงไม่สามารถทนได้และตายในที่สุด

3.1.2 การให้ความร้อนด้วยหลอดรังสีอินฟาเรด

แม้ว่าการให้ความร้อนที่อุณหภูมิเท่ากัน แต่ด้วยวิธีการถ่ายเทความร้อนต่างกันส่งผลให้จำนวนการตายและประสิทธิภาพการกำจัดไม่เท่ากัน จากการวิเคราะห์ พบว่าอัตราการตายหลังผ่านการให้ความร้อนด้วยหลอดอินฟาเรดมีค่าเพิ่มสูงขึ้นมีนัยสำคัญทางสถิติ (α=0.05) ความร้อนจากหลอดอินฟาเรด มีปฏิกิริยาต่อระยะไข่มากที่สุด แสดงในFigure 3 พบว่าสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตในระยะนี้ เฉลี่ยถึง 93.71±6.16% ตามด้วยระยะหนอน(24d) ดักแด้(39d) และตัวเต็มวัย(45d) ที่เปอร์เซ็นต์การยับยั้ง 80.08±19.32 40.46±30.38 และ 33.38±20.68% ตามลำดับ การให้ความร้อนด้วยรังสีอินฟาเรดที่ระยะการเจริญเติบโตแตกต่างกัน ส่งผลให้สภาวะที่แมลงเสียชีวิตแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (α=0.05) เมื่อพิจารณา 3 ปัจจัย (ระยะการเติบโต อุณหภูมิ เวลา) สภาวะที่เหมาะสมยับยั้งการเจริญเติบโตมอดข้าวสารได้สมบูรณ์ที่สุด คือ ระยะไข่ โดยใช้อุณหภูมิ 90° C 30min มีเปอร์เซ็นต์กำจัดเฉลี่ย 98.11% จากการศึกษาพบว่า หากอุณหภูมิสูงขึ้นถึง 120° C จะสามารถพบอัตราการตายที่สมบูรณ์ประสิทธิภาพ (ณัฐณิชา, 2555)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

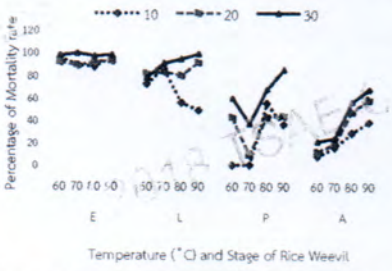


Figure 3 Percentage of Mortality rate of Infrared Tube

การตายของมอดข้าวสารนั้น เกิดจากรังสีเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มีอำนาจทะลุทะลวงสิ่งมีชีวิตไปกระตุ้นโมเลกุลต่างๆรวมถึงของเหลวภายในร่างกายให้เกิดการแตกตัว (คือ H และ O) มีผลให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงของเยื่อหุ้ม (membrane) และปฏิกิริยาต่างๆเสียสมดุลย์ (การป้องกันและควบคุมแมลงหลังการเก็บเกี่ยว, 2556)

3.1.3 การให้ความเย็นด้วยเครื่องทำความเย็น

การกำจัดมอดข้าวสารด้วยความเย็นที่ใช้ต่างมีประสิทธิภาพการกำจัดที่ต่ำกว่าวิธีการทางความร้อน ทุกระยะพัฒนาการมีชีวิตเสียใด

จากการวิเคราะห์ภาพรวมทั้งหมด จาก 4 อุณหภูมิ 3 ระยะเวลา 4 วัย และ 3 วิธีการกำจัด ดังFigure 4 สามารถสรุปภาพรวมออกเป็นหลายส่วน ระยะหนอน (24 วัน) เหมาะกับการกำจัดด้วยวิธีการทางความเย็น มีอัตราการกำจัดสูงสุดเพียง 92.45± เปอร์เซ็นต์ เฉลี่ย 73.53±16.32 ที่ -10 องศา 30 นาที เนื่องจากระยะตัวเต็มวัย ดักแด้ และไข่ ทนต่อความเย็นที่ทุกอุณหภูมิได้ดี มีเพียงเปอร์เซ็นต์การกำจัดเฉลี่ย 14.83±8.31 , 11.94±31.74 , 30.76±34.88% เปอร์เซ็นต์การตายของแมลงเมื่ออยู่ในสภาวะที่อุณหภูมิลดต่ำลงและระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ไม่มีความแตกต่างกัน อย่างไรก็ตามความเย็นสามารถลดอัตราการเจริญเติบโตของมอดข้าวสารทุกระยะได้ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (α=0.05) เนื่องจากอุณหภูมิต่ำมีผลกระทบต่อกิจกรรมการทำงานของเอ็นไซม์บางประเภททำให้ตัวอ่อนแมลงพัฒนาเป็นแมลงตัวเต็มวัยได้ไม่เต็มที่ (สำนักงานมาตรฐานเกษตรและอาหารแห่งชาติ ,2556) อัตราการตายของมอดนั้น เกิดจากอุณหภูมิที่ต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของเหลวภายใน เซลล์ ซึ่งจะสร้างความเสียหายแก่เซลล์ นำไปสู่การเสียชีวิต (Claire Asher, 2016) หรือ จะส่งผลให้เซลล์ประสาทแห้งและทำลายสารเคมีภายในตัวสิ่งมีชีวิตจนถึงขั้นเสียชีวิตได้ (Brent J. Sinclair Et. al ,2003) แมลงบางส่วนอาจรอดชีวิตจากกลไกลถ่ายเทน้ำออกจากภายในตัว จนอยู่สภาวะชาดน้ำ ซึ่งป้องกันการเกิดผลึกน้ำแข็งภายในร่างกาย (Claire Asher, 2016) โดยการเอาไอไขไปน้ำแข็งมาเริ่มต้นสร้างน้ำแข็งสังคราะห์ที่โปรตีน เพื่อลดศักย์การเกิดนิวเคลียสของเมล็ดคริสตัล และสะสมน้ำตาล , กลีเซอรอล ซึ่งจะช่วยลดอุณหภูมิในการตกผลึกลงด้วย (Brent J. Sinclair Et, al ,2003)

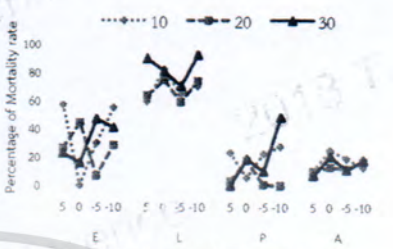


Figure 4 Percentage of Mortality rate of Freezer

3.2 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อการผสมพันธุ์และวางไข่

การขยายพันธุ์อย่างรวดเร็ว ในรุ่นที่ 2 พบว่ามีปริมาณสูงกว่ารุ่นแรกถึง 106±8.5% เมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนมอดข้าวสารที่ไม่ผ่านกระบวนการปรับเปลี่ยนสภาวะอุณหภูมิห้อง จากการศึกษาพบว่าวิธีการให้อุณหภูมิทั้งจากความร้อนและความเย็น สามารถยับยั้งปริมาณการสืบพันธุ์ของมอดข้าวสารในรุ่นถัดไป ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (α=0.05) พบว่าFR HA และ IR โดยมีอัตราการลด 97.53±18.87, 72.00±12.12 และ 54.67±9.5% ตามลำดับ สามารถสรุปได้ว่า อุณหภูมิสูงสามารถลดอัตราการสืบพันธุ์ของมอดข้าวสารได้ดีกว่าอุณหภูมิต่ำ ให้ลดลงต่ำกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ จำนวนที่ลดลงนั้นมีความเป็นไปได้ 2 กรณี ได้แก่ ตัวเต็มวัยที่เจริญออกมาหลังจากผ่านกระบวนการมีความผิดปกติทางด้านกายภาพ ยกตัวอย่างความพิการจากอุณหภูมิ (Brent J. Sinclair Et, al, 2003) ส่งผลให้ผสมพันธุ์และวางไข่ลดน้อยลง หรือประเด็นที่สองเป็นไปได้ว่ามีการผสมพันธุ์ แต่ไม่มีการวางไข่ เนื่องจากความผิดปกติทางชีวภาพ

3.3 ผลการทดลองตรวจสอบคุณภาพข้าวก่อนและหลังการให้ความร้อน

การทดลองนำข้าวผสมมอดข้าวสารไปผ่านอุณหภูมิต่ำและสูงนั้น ไม่ใช่เพียงมอดข้าวสารเท่านั้นที่ได้รับผลกระทบจากอุณหภูมิ คุณภาพข้าวเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่เราจำเป็นต้องคำนึงถึง ดังนั้นหลังจากนำข้าวหอมมะลิผสมมอดข้าวสารผ่านการให้ความร้อนและความเย็นด้วยวิธีต่างๆ นำข้าวหอมมะลิมาทดสอบหาเปอร์เซ็นต์การแตกหัก สี และความชื้นของข้าวที่เปลี่ยนไป

3.3.1 การตรวจสอบเปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าว

เปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าวหอมมะลิสมบูรณ์มีค่าเฉลี่ย 3.95±0.17% หลังจากนั้นนำไปผ่าน อุณหภูมิสูงและต่ำ พบว่าการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์การแตกหัก แตกต่างจากเดิมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (α=0.05) ข้าวที่ผ่านความร้อนจากตู้อบลมร้อน ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การแตกหักสูงขึ้นตามระยะเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยเป็น 4.69 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่าวิธีการอินฟาเรดที่มีเปอร์เซ็นต์การแตกหักเฉลี่ยเท่ากับ 4.58 เปอร์เซ็นต์ ดังFigure 5 แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยความร้อนทั้ง 2 รูปแบบ มีเปอร์เซ็นต์การแตกหักแปรผันตรงกับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ ประสันต์ ชุ่มใจชน(2544) พบว่าข้าวเมื่อได้รับอุณหภูมิสูงจะส่งผลต่อความสามารถในการรับแรงต่ำลง นอกจากนี้สภาวะความชื้นบรรยากาศ ความชื้นสูงส่งผลให้การแตกหักเพิ่มขึ้นเช่นกัน (สุวรรษา ทองหยู ,2558) ในทางกลับกัน เมล็ดข้าวมีเปอร์เซ็นต์การแตกหักลดลงเล็กน้อยเมื่อได้รับอุณหภูมิต่ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ยังคงอยู่ในมาตรฐานข้าวหอมของไทย (กรมวิชาการเกษตร , 2548) คุณภาพข้าวดี คือ เปอร์เซ็นต์การแตกหักไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ และ จากมาตรฐานสินค้าเกษตร มษก 4000

สรุปได้ว่า เปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าวหลังผ่านความร้อนและความเย็นยังคงอยู่ในเกณฑ์การซื้อข้าว ภายในและนอกประเทศ กล่าวคืออุณหภูมิไม่ส่งผลต่อราคาและการซื้อขายข้าวอย่างแน่นอน

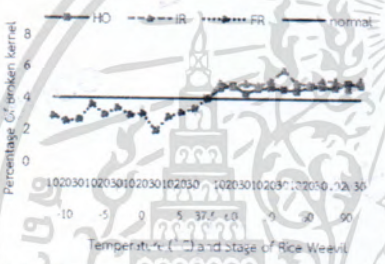


Figure 5 Percentage of Broken Kernel

3.3.2 การตรวจสอบความขาว

จากการตรวจสอบค่าความขาวแสดงดังFigure 6 ผลการทดลองค่าความขาวของข้าวหอมมะลิก่อนผ่านกระบวนการให้อุณหภูมิ คือ 44.0±0.36

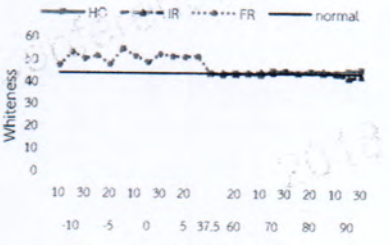


Figure 6 whiteness of kernel

จากการวิเคราะห์ทางสถิติ ไม่พบความแตกต่างระหว่าง ก่อนและหลังให้ความร้อน ความเย็น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (α=0.05)

3.3.3 การตรวจสอบค่าความชื้น

ความชื้นของเมล็ดข้าวหอมมะลิสมบูรณ์ก่อนการเพาะเลี้ยงมอดมีค่าเฉลี่ย 11.7% และเมื่อนำข้าวหอมมะลิผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อนแสดงใน Figure 6 พบว่าการให้ความร้อนทั้งสองวิธีดังกล่าวส่งผลให้เมล็ดข้าวหอมมะลิมีความชื้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (α=0.05) และลดต่ำสุดที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลา 30 นาที แต่ความชื้นจากเมล็ดที่อบด้วยตู้อบลมร้อนจะมีค่าความชื้นแตกต่างจากการให้ความร้อนด้วยหลอดอินฟาเรดเพียงเล็กน้อยและไม่แตกต่างกันในทางสถิติ

3.4 ต้นทุนพลังงานของการให้ความร้อนและความเย็น

ต้นทุนพลังงานไฟฟ้าต่อหนึ่งหน่วยทดลอง (ข้าวหอมมะลิ 100 g ผสมมอดข้าวสาร 50 ตัว) ของการวิธีการให้ความร้อน (HA และ IR) ค่ากว่าการให้ความเย็น(FR) เท่ากับ 48.82 51.04 และ 95.[illegible] Wat./100g ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

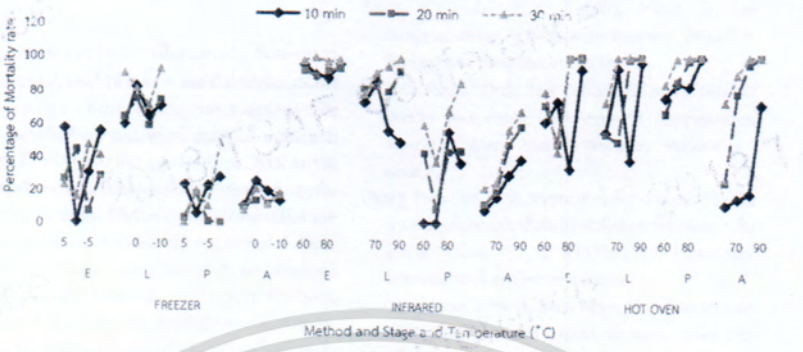


Figure 7 Percentage of Rice Weevil Mortality by HA, FR, IF

Figure 8 Percentage of Rice Weevil Mortality in four different stages

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10 สรุป

จากการทดลองพบว่าวิธีการที่แตกต่างกัน ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของมอดข้าวสารทั้ง 4 ระยะไม่เท่ากันแสดงดัง Figure 7 และ Figure 8 เนื่องจากแมลงตอบสนองต่อความชื้นสัมพัทธ์แตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น หนอน และดักแด้ พบน้อยมากในอากาศแห้ง หรืออุณหภูมิต่ำ (ชุมพล กันทะ,2533) สภาวะอุณหภูมิต่ำหรือความเย็นนั้น เหมาะกับการกำจัดมอดข้าวสารในระยะ ตัวหนอน มากที่สุด สำหรับความร้อนจากหลอดอินฟาเรดเหมาะกับการกำจัดระยะไข่ รองลงมาคือ หนอน ดักแด้ ตัวเต็มวัย และความร้อนตู้อบลมร้อน เหมาะกับการกำจัดระยะดักแด้ พบเปอร์เซ็นต์การกำจัดสูง ที่ระยะเวลา 20 min ขึ้นไป สำหรับการใช้ความร้อน 60 70 80 และ 90 C ประสิทธิภาพการกำจัดแต่ละระยะการเจริญเติบโต พบว่า หลอดรังสีอินฟาเรดสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตระยะไข่ได้ดีที่สุด ในทุกอุณหภูมิและระยะเวลา และตู้อบลมร้อนมีประสิทธิภาพการกำจัดมอดข้าวสารสูงในระยะหนอน ระยะดักแด้ และระยะตัวเต็มวัย อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

การสืบพันธุ์และวางไข่หลังจากได้รับอุณหภูมิที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญวัย พบว่า ทั้งความร้อนและความเย็นสามารถลดปริมาณการสืบพันธุ์ของรุ่นลูกไปได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($\alpha \leq 0.05$) โดยเฉพาะวิธีการให้ความร้อนด้วยหลอดอินฟาเรด เนื่องจากมีความสามารถในการทะลุทะลวงสูง เข้าไปภายในเมล็ด

ด้านคุณภาพข้าว ค่าความชื้นหลังทดสอบยังคงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดหลังให้ความร้อนมีค่าสูงขึ้นเล็กน้อยแต่ยังคงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับได้ในการซื้อขายข้าว และค่าความขาวของเมล็ด ไม่พบความแตกต่างกันระหว่างก่อนและหลังทดลองอย่างมีนัยยะสำคัญทางสถิติทั้งในด้านอุณหภูมิและระยะเวลาที่เปลี่ยนแปลง

11 กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังสำหรับทุนวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษาสำหรับคำแนะนำ และอาจารย์ในสังกัดคณะเทคโนโลยีการเกษตร สำหรับแนะแนวทางการวิจัยเรื่องมอดข้าวสาร

12 เอกสารอ้างอิง

นิภาพร บุญชอบ. 2558. การสูญเสียข้าวในการเก็บเกี่ยวและการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว. วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเกษตรศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

วีรยุทธ กตัญญุกุล. 2526. การบริหารแมลงศัตรูข้าว. พันนี่ พับลิชชิ่ง , กรุงเทพมหานคร

D.Dent, 2000, Insect Pest Management (2nd Edition), Wallingford:CABI

Brent J. Sinclair Et.al , 2003, Insect at low temperatures:an ecological perspective, TRENDS in Ecology and Evolution Vol.18 No.5

Paul G. Fields. 1992, The control of stored-product insects and mites with extreme temperatures, Journal of Stored Products Research , Volume 28 , Issue 2

ประดิฐ รามัชฌิมา, 2555, ผลของการให้ความร้อนด้วยรังสีอินฟาเรดร่วมกับตะแกรงสั่นต่อการกำจัดด้วงงวงข้าวในการเก็บรักษาข้าวเปลือก, ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

Claire Asher, 1 March 2016, When your veins fill with ice, The Arctic ground squirrel can survive even if its body temperature drops below the freezing point of water, BBC

ประสันต์ ชุมใจหาญ, 2544, การรักษาความแข็งของเมล็ดข้าวหอมมะลิที่อุณหภูมิห้องแตกต่างกัน, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2560, มาตรฐานสินค้าเกษตร มกษ.4000-2560 ข้าวหอมมะลิไทย, กรุงเทพฯ : สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2560. 33 หน้า

ชุมพล กันทะ, 2533 ,หลักการป้องกันกำจัดแมลงศัตรูในโรงเก็บ, ภาควิชากีฏวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KU
KASETSART UNIVERSITY

คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ร่วมกับ

สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย

ขอมอบเกียรติบัตรฉบับนี้ให้ไว้เพื่อแสดงว่า

ปิยภรณ์ นาวาผล*, ประสันต์ ชุ่มใจหาญ

ได้นำเสนอบทความทางวิชาการ ภาคบรรยาย

เรื่อง การเปรียบเทียบศักยภาพการกำจัดมอดด้วยความร้อนและความเย็น

ในการประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 19

วันที่ 26-27 เมษายน 2561 ณ ศูนย์ประชุมนานาชาติจุฬาภรณ์ (วรวนา หัวหิน โฮเต็ล แอนด์ คอนเวนชั่น) จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

(นางดาเรศร์ กิตติโยภาส)
นายกสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย

(รศ.ดร. เชาว์ อินทร์ประสิทธิ์)
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน