ผลของอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์และไนโตรเจนต่อการรอดชีวิตของแมลงศัตรูข้าวสารและคุณภาพของข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิในระหว่างการเก็บรักษา

EFFECT OF CARBON DIOXIDE AND NITROGEN RATIO ON RICE INSECT PESTS SURVIVAL AND JASMINE RICE QUALITY DURING STORAGE

อุษาพร คงอ่วม
UWAPORN KHONGORN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร
คณะวิศวกรรมศาสตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2555
KMITL-2012-AI-M-054-137

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ผลของอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์และไนโตรเจนต่อการรอดชีวิตของแมลงศัตรูข้าวสารและคุณภาพของข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิในระหว่างการเก็บรักษา

EFFECT OF CARBON DIOXIDE AND NITROGEN RATIO ON RICE INSECT PESTS SURVIVAL AND JASMINE RICE QUALITY DURING STORAGE

อุมาพร คงอ่อน

UMAPORN KHONGORN

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 122971
วัน,เดือน,ปี 10 ต.ค. 2555

b.....
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสุขาภิบาลอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2555

KMITL-2012-AI-M-054-137

EFFECT OF CARBON DIOXIDE AND NITROGEN RATIO ON RICE INSECT PESTS SURVIVAL AND JASMINE RICE QUALITY DURING STORAGE

UMAPORN KHONGORN

THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF

THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF SCIENCE IN FOOD SANITATION

FACULTY OF AGRO-INDUSTRY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2012

KMITL-2012-AI-M-054-137

COPYRIGHT 2012

FACULTY OF AGRO-INDUSTRY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์และไนโตรเจนต่อการรอดชีวิตของแมลงศัตรูข้าวสารและคุณภาพของข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิในระหว่างการเก็บรักษา
ชื่อนักศึกษา	นางสาวอุมาพร คงอ่อน
รหัสประจำตัว	52680504
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	สุขาภิบาลอาหาร
พ.ศ.	2555
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ดร.ระจิตร สุวพานิช
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม	-

บทคัดย่อ

การเก็บรักษาข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิที่มีความชื้นระหว่างร้อยละ 12-14 ในถุงพลาสติก (NYL15+LLDPE120) ร่วมกับการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อก๊าซไนโตรเจน (CO_2:N_2) ในอัตราส่วนร้อยละ 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 และ 0:100 เปรียบเทียบกับชุดควบคุม (ไม่เติมก๊าซ) ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (28±2 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70±5 เป็นเวลา 60 วัน ต่อการรอดชีวิตของแมลงศัตรูข้าวสาร พบว่า การเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนในอัตราส่วนที่ต่างกันมีผลต่อการรอดชีวิตของแมลงศัตรูข้าวสารทุกชนิดไม่แตกต่างกัน เนื่องจากก๊าซทั้งสองชนิดเข้าไปแทนที่ก๊าซออกซิเจนทำให้ภายในถุงข้าวไม่มีก๊าซออกซิเจน ซึ่งเป็นสภาวะที่ไม่เหมาะต่อการเกิดและการเจริญของแมลงศัตรูข้าวสาร นอกจากนี้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ยังมีความเป็นพิษต่อแมลงศัตรูข้าวสารทุกชนิด ทุกเพศ ทุกวัย โดยความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงมีประสิทธิภาพทำให้แมลงเกิดการตายแบบเฉียบพลัน ส่วนการศึกษาผลของการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อก๊าซไนโตรเจนอัตราส่วนร้อยละ 0:100 ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าวสารภายหลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลานาน 60 วัน พบว่าการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าวสารทางด้านเคมี ทาง

กายภาพและการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

Thesis Title	Effect of Carbon Dioxide and Nitrogen Ratio on Rice
Insect	Pests Survival and Jasmine Rice Quality During Storage.
Student	Miss Umaporn Khong-orn
Student ID.	52680504
Degree	Master of Science
Program	Food Sanitation
Year	2012
Thesis Advisor	Dr. Rachit Suvapanit
Thesis Co Advisor	-

ABSTRACT

Storage of milled jasmine rice containing 12-14 percent of moisture content in plastic bags (NYL15 + LLDPE120) flushed with carbon dioxide and nitrogen gas ratios (CO2: N2) of 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 and 0:100 compared to normal air as the control on rice insect pests survival when storage at room temperature (28±2°C) 70 ± 5 percent relative humidity storage 60 days for the survival of rice insect pests. Different ratios of CO2: N2 effected insect pests survival by completely inhibiting the growth rate. Since both gases will replace all of oxygen in the bag and this zero-oxygen condition is not suitable for the emergence and growth of rice pests. In addition, carbon dioxide is directly toxic to all kinds of rice insect pests and higher concentration of carbon dioxide, higher acute death of insect exists. The effect of using carbon dioxide and nitrogen gas ratios (CO2: N2) of 0:100 to the rice quality after storing at room temperature and at 25°C for storage 60 days showed that there are no statistically significant on the change of chemical quality of rice, physical properties and sensory evaluation ($p \leq 0.05$).

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงและสมบูรณ์ เนื่องจากได้รับความกรุณาเป็นอย่างสูงจาก ดร.ระจิตร สุวพานิช ที่เป็นเกียรติเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และกรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ ชี้แนะข้อมูลที่มีประโยชน์ ตลอดจนช่วยตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสมบูรณ์ ผู้ทำการวิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณ ดร.อพัชชา จินดาประเสริฐ ดร.ประมวล ศรีกาหลง และอาจารย์พัชรี ตั้งตระกูล ที่ให้เกียรติเป็นคณะกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์และช่วยแก้ไข ตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกๆท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้าตลอดระยะเวลาการศึกษา

ขอขอบคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่มอบทุนการศึกษาเพื่อใช้ในการทำงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณบริษัท บางซื่อโรงสีไฟเจียเม้ง จำกัด และสถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่ให้ความกรุณาช่วยเหลือ ชี้แนะ ให้คำปรึกษา และให้ความอนุเคราะห์วัตถุดิบ อุปกรณ์และสถานที่ในการทำงานทดลองและวิจัยจนเสร็จสมบูรณ์

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ พี่ๆ และเพื่อนๆ ของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนในทุกๆเรื่อง ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

อุมาพร คงอ่อน

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....III

กิตติกรรมประกาศ.....IV

สารบัญ.....V

สารบัญตาราง.....VII

สารบัญภาพ.....X

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....3

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....3

บทที่ 2 ทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....4

2.1 ข้าวขาวดอกมะลิ.....4

2.2 ผลิตภัณฑ์ข้าวสารบรรจุถุง.....5

2.3 แมลงศัตรูข้าวสาร.....7

2.4 ความเสียหายที่เกิดจากแมลงศัตรูข้าว.....9

2.5 การป้องกันและกำจัดแมลงศัตรูข้าว.....11

2.6 อันตรายจากการใช้สารเคมีในการควบคุมและกำจัดแมลงศัตรูข้าวสาร.....13

2.7 กฎระเบียบการใช้สารรมในการกำจัดแมลงในข้าวสาร.....15

2.8 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์.....15

2.9 ก๊าซไนโตรเจน.....16

2.10 คุณภาพของเมล็ดข้าวสาร.....17

2.11 การเสื่อมเสียคุณภาพของข้าวสาร.....18

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 วัสดุอุปกรณ์และวิธีดำเนินการทดลอง.....19

3.1 วัตถุดิบและเครื่องมือ.....19

3.2 วิธีดำเนินการทดลอง.....20

3.3 วิเคราะห์ทางสถิติ.....22

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์.....23

4.1 ผลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อก๊าซไนโตรเจน (CO_2:N_2) ต่อการรอดชีวิตของแมลงศัตรูข้าวสาร.....23

4.2 ผลของการใช้ก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 100 ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าวสารระหว่างการเก็บรักษา.....28

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....52

บรรณานุกรม.....54

ภาคผนวก.....59

ประวัติผู้เขียน.....78

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

4.1 ค่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาณก๊าซไนโตรเจนภายในถุงบรรจุข้าวสารหลังจากผ่านการเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 60 วัน ที่อุณหภูมิห้อง (28±2 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70±5.....30

4.2 ค่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาณก๊าซไนโตรเจนภายในถุงบรรจุข้าวสารหลังจากผ่านการเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 60 วัน ที่อุณหภูมิ 25±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 54±2.....30

4.3 การรอดชีวิตของแมลงศัตรูข้าวสารภายในถุงบรรจุข้าวสารหลังจากผ่านการเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 60 วันอุณหภูมิห้อง (28±2องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70±5.....33

4.4 การรอดชีวิตของแมลงศัตรูข้าวสารภายในถุงบรรจุข้าวสารหลังจากผ่านการเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 60 วัน ที่อุณหภูมิ 25±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 54±2.....33

4.5 ค่าความชื้นของข้าวสารหลังจากผ่านการเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 60 วันที่อุณหภูมิห้อง (28±2 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70±5.....35

4.6 ค่าความชื้นของข้าวสารหลังจากผ่านการเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 60 ที่อุณหภูมิ 25±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 54±2.....35

4.7 ค่าความขาวของข้าวสารหลังจากผ่านการเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 60 วันที่อุณหภูมิห้อง (28±2 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70±5.....37

4.8 ค่าความขาวของข้าวสารหลังจากผ่านการเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 60 ที่อุณหภูมิ 25±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 54±2.....37

4.9 ปริมาณอะมิโลสของข้าวสารหลังจากผ่านการเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 60 วันที่อุณหภูมิห้อง (28±2 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70±5.....39

4.10 ปริมาณอะมิโลสของข้าวสารหลังจากผ่านการเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 60 ที่อุณหภูมิ 25±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 54±2.....39

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.11 ค่าความแข็งของข้าวสารหลังจากผ่านการเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 60 วันที่ อุณหภูมิห้อง (28±2 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70±5.....41

4.12 ค่าความแข็งของข้าวสารหลังจากผ่านการเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 60 ที่ อุณหภูมิ 25±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 54±2.....41

4.13 การดูดซึมน้ำของข้าวสารหลังจากผ่านการเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 60 วันที่ อุณหภูมิห้อง (28±2 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70±5.....42

4.14 การดูดซึมน้ำของข้าวสารหลังจากผ่านการเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 60 ที่ อุณหภูมิ 25±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 54±2.....43

4.15 แสดงคะแนนความชอบโดยรวมของข้าวหุงสุกหลังจากผ่านการเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 60 วันที่ อุณหภูมิห้อง (28±2 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70±5.....45

4.16 แสดงคะแนนความชอบโดยรวมของข้าวหุงสุกหลังจากผ่านการเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 60 วันที่ อุณหภูมิ 25±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 54±2.....45

4.17 แสดงคะแนนลักษณะของเมล็ดข้าวของข้าวหุงสุกหลังจากผ่านการเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 60 วันที่ อุณหภูมิห้อง (28±2 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70±5.....46

4.18 แสดงคะแนนลักษณะของเมล็ดข้าวของข้าวหุงสุกหลังจากผ่านการเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 60 วัน ที่ อุณหภูมิ 25±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 54±2.....46

4.19 แสดงคะแนนด้านสีของข้าวหุงสุกหลังจากผ่านการเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 60 วันที่อุณหภูมิห้อง (28±2 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70±5.....47

4.20 แสดงคะแนนด้านสีของข้าวหุงสุกหลังจากผ่านการเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 60 วันที่อุณหภูมิ 25±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 54±2.....47

4.21 แสดงคะแนนด้านกลิ่นข้าวหุงสุกหลังจากผ่านการเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 60 วันที่อุณหภูมิห้อง (28±2 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70±5.....48

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.22 แสดงคะแนนด้านกลิ่นข้าวหุงสุกหลังจากผ่านการเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 60 วัน ที่อุณหภูมิ 25±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 54±2.....48

4.23 แสดงคะแนนด้านรสชาติของข้าวหุงสุกหลังจากผ่านการเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 60 วัน ที่อุณหภูมิห้อง (28±2 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70±5.....49

4.24 แสดงคะแนนด้านรสชาติของข้าวหุงสุกหลังจากผ่านการเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 60 วัน ที่อุณหภูมิ 25±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 54±2.....49

4.25 แสดงคะแนนด้านความนุ่มของข้าวหุงสุกหลังจากผ่านการเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 60 วันที่อุณหภูมิห้อง (28±2 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70±5.....50

4.26 แสดงคะแนนด้านความนุ่มของข้าวหุงสุกหลังจากผ่านการเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 60 วันที่อุณหภูมิ 25±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 54±2.....50

4.27 แสดงคะแนนด้านความเหนียวข้าวหุงสุกหลังจากผ่านการเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 60 วัน ที่อุณหภูมิห้อง (28±2 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70±5.....51

4.28 แสดงคะแนนด้านความเหนียวของข้าวหุงสุกหลังจากผ่านการเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 60 วัน ที่อุณหภูมิ 25±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 54±2.....51

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

2.1 กราฟแสดงปริมาณการใช้บรรจุภัณฑ์พลาสติก PE.....6

4.1 แสดงการเกิดด้วงงวงข้าว (Rice weevil) ในชุดควบคุมที่ไม่เติมก๊าซเมื่อทำการเก็บรักษานาน 40 วัน.....23

4.2 ด้วงงวงข้าว (Rice weevil) ที่เกิดขึ้นระหว่างการเก็บรักษา.....24

4.3 ผลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อก๊าซไนโตรเจน (CO_2:N_2) ต่อการรอดชีวิตของแมลงศัตรูข้าวสารระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง.....25

4.4 การเปลี่ยนแปลงของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในถุงบรรจุระหว่างการเก็บรักษา.....26

4.5 การเปลี่ยนแปลงของก๊าซไนโตรเจนภายในถุงบรรจุระหว่างการเก็บรักษา.....27

4.6 การเปลี่ยนแปลงของก๊าซไนโตรเจนระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (28±2 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70±5.....29

4.7 การเปลี่ยนแปลงของก๊าซไนโตรเจนระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 54±2.....29

4.8 ผลของก๊าซไนโตรเจนต่อการรอดชีวิตของแมลงศัตรูข้าวสารระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (28±2 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70±5.....32

4.9 ผลของก๊าซไนโตรเจนต่อการรอดชีวิตของแมลงศัตรูข้าวสารระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 54±2.....32

1ก การวิเคราะห์ความชื้นด้วยเครื่องวัดความชื้น (Moisture analyzer) รุ่น MG53.....60

1ข การวิเคราะห์ความขาวด้วยเครื่องวัดความขาว (Whiteness tester) รุ่น MM1B.....62

1ค การวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลส.....67

1ง ตัวอย่างกราฟจากการวัดด้วยเครื่อง (Texture Analyzer) รุ่น xT2i.....70

2ง การวิเคราะห์ความแข็งด้วยเครื่องวัดความแข็ง (Texture Analyzer) รุ่น xT2i.....71

1จ การวิเคราะห์ปริมาณการดูดซึมน้ำ.....73

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ประชากรของโลกมากกว่าครึ่งบริโภคข้าวเป็นอาหารหลักโดยเฉพาะชาวเอเชียบริโภคมากถึงร้อยละ 90 ข้าวเป็นผลผลิตทางการเกษตรที่มีมูลค่าสูง โดยเฉพาะข้าวหอมมะลิเป็นข้าวที่ได้รับความนิยมจากผู้บริโภคและสร้างชื่อเสียงให้กับประเทศไทย ข้าวที่คนในเขตเมืองส่วนใหญ่นิยมบริโภคมักจะอยู่ในรูปข้าวสารบรรจุถุงซึ่งจะถูกเก็บไว้ชั่วระยะหนึ่งก่อนการบริโภค หรือจะถูกเก็บรักษาไว้ก่อนการจำหน่ายหรือส่งถึงมือผู้บริโภค ระหว่างการจัดเก็บมักพบปัญหามอดและแมลงศัตรูข้าวสารเข้ามาทำลายซึ่งเป็นปัญหาที่สำคัญที่สุด เนื่องจากประเทศไทยมีสภาพภูมิอากาศร้อนชื้นเหมาะต่อการเจริญเติบโตและการขยายพันธุ์ของแมลงศัตรูข้าวสารจึงก่อให้เกิดความเสียหายต่อคุณภาพของข้าวสาร โดยแมลงศัตรูข้าวสารจะเข้าไปกัดกินเมล็ดข้าวจนเป็นรูหรือเป็นรอยแตกทำให้เมล็ดข้าวเสียหาย ส่วนเมล็ดที่มีไข่ฝังอยู่ด้านในเมื่อไข่ถูกฟักออกมาเป็นตัวหนอน ตัวหนอนจะกัดกินเนื้อเมล็ดข้าวอยู่ภายใน เมล็ดที่ถูกทำลายจะเป็นรูและข้างในเป็นโพรง ถ้ามีการทำลายสูงเมล็ดจะป่นเป็นแป้ง ไม่สามารถนำไปใช้บริโภคได้ การป้องกันกำจัดแมลงศัตรูข้าวสารที่ไม่ถูกวิธีหรือไม่เหมาะสมอาจชักนำให้แมลงเหล่านี้มีความต้านทานต่อสารฆ่าแมลงและสารรมยา และเป็นอันตรายต่อผู้ใช้และผู้บริโภค ดังนั้นการจัดการและการป้องกันกำจัดแมลงศัตรูข้าวสารที่ถูกวิธีจะช่วยลดความสูญเสียคุณภาพของข้าวสารและช่วยให้เกิดความปลอดภัยกับผู้บริโภคและต่อผู้ใช้

ประเทศไทยใช้วิธีการรมยาเพื่อป้องกันและกำจัดแมลงศัตรูข้าวสารเพื่อการส่งออกมาเป็นเวลานาน (สมศรี และคณะ, 2540) สารรมยามีหลายชนิดแต่ที่นิยมมาก คือ เมทิลโบรไมด์ (methyl bromide) และฟอสฟีน (phosphine) ปัจจุบันการรมด้วยสารทั้งสองชนิดเป็นที่นิยมกันอย่างกว้างขวางในกลุ่มผู้ส่งออก สารเคมีทั้งสองชนิดนี้นอกจากนำมาใช้เพื่อประโยชน์ดังกล่าวแล้วยังก่อให้เกิดอันตรายกับผู้ใช้และสิ่งแวดล้อมด้วย เช่น เมทิลโบรไมด์เป็นสารที่สามารถแทรกซึมผ่านส่วนต่างๆของร่างกายที่สัมผัสกับสารนี้โดยตรง เช่น ทางตา ทางผิวหนัง หรือระบบทางเดินหายใจ และยังสะสมอยู่ในอวัยวะต่างๆของร่างกายเป็นเวลานาน นอกจากนี้ยังเป็นสารที่มีฤทธิ์ทำลายชั้นโอโซนในบรรยากาศ ทำให้แสงอาทิตย์ส่องผ่านมายังโลกได้โดยตรงมีผลทำให้โลกร้อนขึ้น และแสงอุลตราไวโอเลตมีมากกว่าปกติจะทำให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต ดังนั้นพิธีสารมอนทรี

ออลได้ทำความตกลงร่วมมือกันระหว่างประเทศมากกว่า 160 ประเทศโดยมีมาตรการลดการใช้จนถึงยกเลิกใช้ในที่สุด (สมศรี และคณะ, 2540)

เทคนิคการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในการรมข้าวสารที่ถูกขัดสีแล้วเพื่อควบคุมแมลงศัตรูข้าวถูกนำมาใช้ในประเทศไทยมานานหลายปี เนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่มีอันตรายปลอดภัยและไม่ก่อให้เกิดสารตกค้าง โดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถฆ่าแมลงได้ทุกช่วงอายุ (Annis and Morton, 1996) จึงทำให้สามารถเก็บรักษาสินค้าได้เป็นระยะเวลายาวนาน ปัจจุบันก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จึงเป็นเพียงสารรมยาชนิดเดียวที่ถูกนำมาใช้ในการกำจัดแมลงศัตรูพืชในสินค้าประเภทเกษตรอินทรีย์ระหว่างการเก็บรักษา คาร์บอนไดออกไซด์ จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่มีประสิทธิภาพ เนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซที่ไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม ไม่มีปัญหาสารพิษตกค้าง ไม่มีกลิ่น ปลอดภัยต่อผู้ใช้และผู้บริโภค จึงทำให้มีการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในการรมเมล็ดพืชเพราะพบว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถกำจัดแมลงได้ทุกชนิดทุกเพศทุกวัย โดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถกำจัดแมลงศัตรูพืชที่ติดมากับเมล็ดข้าวเปลือกและข้าวสารได้ (ชูวิทย์ และ บุษรา, 2538)

ปัจจุบันก๊าซไนโตรเจนถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อชะลอการเสื่อมเสียและรักษาความสดใหม่ของผลิตภัณฑ์ ในระหว่างการขนส่ง เก็บรักษาและจัดจำหน่าย เนื่องจากก๊าซไนโตรเจนเป็นก๊าซเฉื่อยที่มีคุณสมบัติ ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส และไม่เป็นพิษ จึงสามารถใช้ได้กับผลิตภัณฑ์อาหารทุกชนิดและใช้ในการแทนที่ก๊าซออกซิเจน เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันและน้ำมัน หรือป้องกันการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในอาหาร ละลายในน้ำและไขมันได้น้อยมาก ช่วยป้องกันการเกิดกลิ่นเหม็นหืนได้ ปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม ก๊าซไนโตรเจนถูกนำมาใช้เพื่อแทนที่อากาศในการเก็บรักษาเมล็ดธัญพืชเพื่อปรับสภาวะอากาศไม่ให้เอื้อกับการเจริญของแมลง เนื่องจากแมลงและไข่แมลงที่จะก่อให้เกิดความเสียหายเมล็ดธัญพืชต้องการออกซิเจนเพื่อการฟักไข่เจริญเติบโต ทำให้เก็บเมล็ดธัญพืชได้นานขึ้น ไม่ทำปฏิกิริยากับเมล็ดธัญพืชและไม่เพิ่มความชื้นระหว่างการเก็บรักษา

งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการใช้ประโยชน์ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนในการควบคุมและกำจัดแมลงศัตรูข้าวสารบรรจุถุงระหว่างการเก็บรักษาเพื่อลดการใช้สารเคมีในการรมยา

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนต่อการรอดชีวิตของแมลงศัตรูข้าวสาร ระหว่างการเก็บรักษาข้าวสารบรรจุถุง

1.2.2 เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านกายภาพของข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิหลังการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนที่มีประสิทธิภาพการกำจัดแมลงศัตรูข้าวสารดีที่สุดในระหว่างการเก็บรักษาข้าวสารบรรจุถุง

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 ทราบอัตราส่วนการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนที่เหมาะสมในการป้องกันการเกิดแมลงศัตรูข้าวสารระหว่างการเก็บรักษาข้าวสารบรรจุถุง

1.3.2 นำข้อมูลการใช้ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนที่เหมาะสมไปใช้ในการผลิตข้าวสารบรรจุถุงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.3.3 เพื่อลดอันตรายจากสารตกค้างและอันตรายจากการใช้สารรมยาทั้งผู้ใช้และผู้บริโภค โดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนทดแทนการรมด้วยเมทิลโบรไมด์ ลดการเกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมจากการใช้สารรมยา

บทที่ 2

ทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้าวขาวดอกมะลิ

ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตข้าวอันดับ 6 ของโลก ในปีพ.ศ. 2550/51 มีปริมาณผลผลิตข้าวรวม 19.4 ล้านตันข้าวสาร คิดเป็นร้อยละ 4.41 ของผลผลิตข้าวโลก ประเทศผู้ผลิตข้าวรายใหญ่ของโลก ได้แก่ จีน (ร้อยละ 30.72) อินเดีย (ร้อยละ 22.17) อินโดนีเซีย (ร้อยละ 8.24) บังคลาเทศ (ร้อยละ 6.73) และเวียดนาม (ร้อยละ 5.34) แต่ส่วนใหญ่ประเทศผู้ผลิตรายสำคัญจะผลิตเพื่อเป็นการบริโภคในประเทศ ปัจจุบันประเทศไทยครองส่วนแบ่งการตลาด ข้าวโลกเป็นอันดับ 1 ด้วยสัดส่วนร้อยละ 30.48 พันธุ์ข้าวของไทยที่มีบทบาทสำคัญมากที่สุด คือ ข้าวขาวดอกมะลิ เนื่องจากเป็นข้าวที่เมื่อหุงหรือนึ่งสุกแล้ว เมล็ดข้าวสุกจะอ่อนนิ่มมากกว่าข้าวเจ้าทั่วไป แต่ร่วนน้อยกว่าและมีกลิ่นหอม ซึ่งเป็นเอกลักษณ์อันโดดเด่นของข้าวพันธุ์นี้ (ศูนย์อัจฉริยะเพื่ออุตสาหกรรมอาหาร, 2551) จากสถิติการจำหน่ายข้าวของบริษัท บางซื่อโรงสีไฟเจียเม้ง จำกัด ปีพ.ศ. 2552 มียอดการจำหน่ายข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิประมาณ 80,000 ตัน รองลงมาคือ ข้าวขาว 5,500 ตันและข้าวหอมปทุม 1,000 ตัน โดยมียอดจำหน่ายข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิร้อยละ 100 อยู่ที่ประมาณ 1 ล้านถุงต่อเดือน ซึ่งข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิเป็นที่นิยมสำหรับผู้บริโภคสูงสุดเนื่องจากมีคุณภาพการหุงต้มที่ดี เมล็ดข้าวมีความเหนียวนุ่ม มีกลิ่นหอมซึ่งเป็นลักษณะพิเศษของข้าวขาวดอกมะลิ

ข้าวสารพันธุ์หอมมะลิเกิดจากการนำข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิมาทำการขัดสีหลายๆ ครั้ง จนเปลือก เยื่อหุ้มเมล็ดและจมูกข้าวหลุดออกไปเหลือแต่เนื้อในเมล็ดข้าว มีปริมาณข้าวเต็มเมล็ดมากที่สุดและข้าวหักน้อยที่สุด โดยข้าวสารเกิดจากกระบวนการสีข้าวที่ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลัก คือ (เครือวัลย์, 2536)

2.1.1 การทำความสะอาด เพื่อกำจัดระแง้ ใบข้าว เมล็ดลีบ กรวด ดิน หิน ทราย เมล็ดวัชพืชและสิ่งสกปรกต่างๆ ออกจากข้าวเปลือก

2.1.2 การกะเทาะ เพื่อแยกเปลือกหุ้มแข็งออกจากเมล็ด สิ่งที่ได้รับคือ แกลบ เป็นส่วนผสมของเปลือกเมล็ด หาง กลีบเลี้ยงและขั้วเมล็ด มีประมาณร้อยละ 20-24 ของข้าวเปลือกและข้าวกล้องซึ่งมีเยื่อหุ้มชั้นนอกติดอยู่

2.1.3 การขัดขาวเพื่อขัดเยื่อหุ้มเมล็ดและทำให้คัพภะหลุดออกจากเมล็ดข้าวกล้อง สิ่งที่ได้รับคือ รำ เป็นส่วนผสมของเยื่อหุ้มผล เยื่อหุ้มเมล็ด เยื่อแอลิวโรน คัพภะ และผิวนอกของข้าวสารมีประมาณร้อยละ 8-10 ของข้าวเปลือกและมีข้าวสารประมาณร้อยละ 68-70 ของข้าวเปลือก

2.1.4 การคัดแยก เพื่อแยกข้าวเต็มเมล็ด ต้นข้าวและข้าวหัก ซึ่งแต่ละส่วนจะมีมากน้อยขึ้นอยู่กับคุณภาพของข้าวเปลือกก่อนการสี

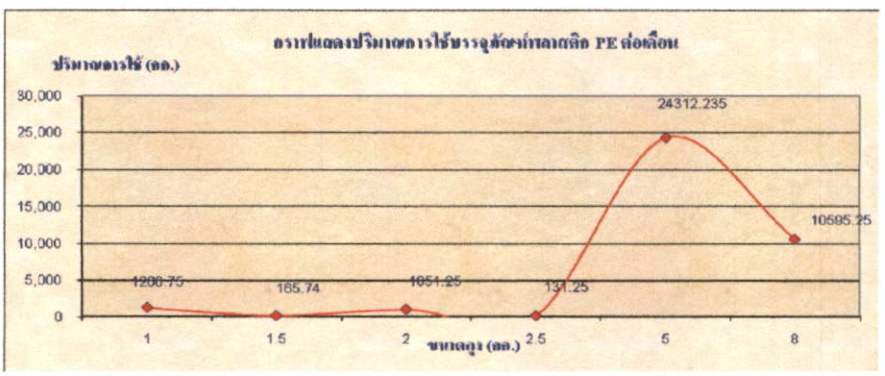
2.2 ผลิตภัณฑ์ข้าวสารบรรจุถุง

ข้าวเป็นอาหารหลักของคนไทย และประชากรไทยมากกว่าร้อยละ 80 บริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก ตลาดข้าวภายในประเทศจึงมีความสำคัญอย่างสูง แต่เนื่องจากพฤติกรรมในการบริโภคของผู้บริโภคในประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งประชาชนในเขตกรุงเทพฯ และปริมณฑล ที่ต้องการความสะดวก สะอาด คุณภาพที่ดีของข้าวและหาซื้อได้ง่าย ส่งผลให้เกิดความเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมกระทบต่อแนวโน้มในตลาดที่มีการบริโภคข้าวสารซื้อเป็นกระสอบหรือเป็นถังมาเป็นการซื้อข้าวสารบรรจุถุงพลาสติกแทน ในส่วนของข้าวสารบรรจุถุงแบ่งเป็นข้าว 2 กลุ่มใหญ่ คือ ข้าวหอมมะลิและข้าวธรรมดา โดยทุกบริษัทผู้ผลิตจะต้องมีข้าวหอมมะลิบรรจุถุง เนื่องจากความนิยมในการบริโภคของคนไทย ผลิตภัณฑ์ข้าวบรรจุถุงแบ่งเป็นขนาดบรรจุ 2 5 และ 10 กิโลกรัม โดยขนาดที่นิยมมากที่สุดคือ ขนาดบรรจุ 5 กิโลกรัม ซึ่งมีส่วนครองตลาดข้าวบรรจุถุงทั้งหมดประมาณร้อยละ 95 ทั้งนี้ เนื่องจากมีความเหมาะสมกับขนาดของครอบครัวคนไทยในปัจจุบันซึ่งมีขนาดเล็กลง โดยเฉลี่ยครอบครัวละ 3-5 คน ซึ่งประมาณว่าจะบริโภคข้าวบรรจุถุงขนาด 5 กิโลกรัมหมดภายใน 1-2 สัปดาห์ (บริษัท ปทุมไรซ์มิลแอนแกรนารี จำกัด (มหาชน), 2553)

ปัจจุบันข้าวขาวดอกมะลิเป็นข้าวสารบรรจุถุงที่ผู้บริโภคนิยมสูงสุด มีราคาค่อนข้างสูง ผู้บริโภคเป็นกลุ่มที่มีฐานะดี กำลังซื้อสูง จึงให้ความสำคัญกับคุณภาพของข้าวเป็นอันดับแรก ผู้ประกอบการที่ผลิตข้าวสารบรรจุถุงส่วนใหญ่ประสบปัญหาเรื่องมอดแมลงซึ่งทำให้ข้าวสารเกิดความเสียหายระหว่างการเก็บรักษาจนถึงมือผู้บริโภค เมื่อผู้บริโภคพบข้าวสารที่มีมอดแมลงปะปนอยู่จะเกิดความไม่เชื่อมั่นในสินค้าและไม่ยอมรับสินค้านั้นทำให้เกิดร้องเรียนและเปลี่ยนคืนสินค้าเป็นจำนวนมาก ความเสียหายส่วนใหญ่ที่พบเกิดจากการโดยแมลงศัตรูข้าวสารทำให้คุณภาพของข้าวสารลดลง มีการปนเปื้อนของแมลงศัตรูข้าวทั้งที่มีชีวิตและไม่มีชีวิต ซึ่งไม่เป็นที่ยอมรับของ

ผู้บริโภค ผู้ประกอบการจึงต้องหาวิธีป้องกันและกำจัดแมลงศัตรูข้าวสารเพื่อป้องกันความสูญเสียที่จะเกิดขึ้น

ข้าวสารที่บรรจุถุงที่วางจำหน่ายในห้างสรรพสินค้า ห้างโมเดิร์นเทรด ร้านสะดวกซื้อ และร้านค้าขายส่งปลีกทั่วไปในตลาดข้าวสารบรรจุถุงที่วางจำหน่ายในห้างสรรพสินค้าต่างๆนิยมใช้ถุงพลาสติกในการบรรจุข้าวสาร โดยใช้ฟิล์มพลาสติกประกบ (laminated plastic film) 2 ชั้นขึ้นไป เนื่องจากมีคุณสมบัติป้องกันการซึมผ่านของก๊าซ และต้านทานการซึมผ่านของไขมันได้ดี มีความแข็งแรงสูง ทนทานต่ออุณหภูมิสูงทำให้สามารถปิดผนึกด้วยความร้อนได้ดี โดยถุงพลาสติกที่ถูกนำมาใช้ในการบรรจุข้าวสารมากที่สุดในบริษัทบางซื่อโรงสีไฟเจียเม้ง จำกัด คือ ถุงพลาสติกที่เนื้อถุงประกอบด้วยพลาสติกพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (PET) และพอลิเอทิลีนความหนาแน่นเชิงเส้นต่ำ (LLDPE) ในการบรรจุข้าวสารชนิดข้าวขาวดอกมะลิร้อยละ 100 ขนาด 5 กิโลกรัม โดยมีปริมาณการใช้อยู่ที่ 24,000 กิโลกรัมต่อเดือนในปีพ.ศ. 2551 (ภาพที่ 2.1) เนื่องจากพลาสติกทั้งสองชนิดนี้มีคุณสมบัติเหมาะกับการใช้งาน เนื้อถุงมีความแข็งแรง มีความเหนียว โปร่งแสง ทนต่อแรงดึงขาดได้ดี สามารถป้องกันการซึมผ่านของน้ำ และก๊าซได้ดีและทนทานต่อความร้อนสูงได้ดี (งามทิพย์, 2550)



ภาพที่ 2.1 กราฟแสดงปริมาณการใช้บรรจุภัณฑ์พลาสติกพอลิเอทิลีน (PE) (บริษัท บางซื่อโรงสีไฟเจียเม้ง จำกัด, 2008)

ไนลอน (nylon) เป็นพลาสติกที่นิยมใช้มาในอุตสาหกรรมอาหารเนื่องจากมีคุณสมบัติด้านความแข็งแรง ทนทานต่อความร้อนสูง ป้องกันการซึมผ่านของก๊าซ กลิ่น และไขมันได้ดี การใช้งานของ nylon คล้ายกับฟิล์ม PET และต้องลามิเนตกับชั้นของ PE เพื่อให้ปิดผนึกด้วยความร้อน

ได้ นิยมใช้ทำถุงบรรจุอาหารภายใต้สุญญากาศ เช่น กุนเชียง ข้าวสาร ผักดอง เนยแข็ง ไส้กรอก แฮม เครื่องดื่มชนิดผงสำเร็จรูป เป็นต้น(งามทิพย์, 2550)

พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (LLDPE) เป็นโคพอลิเมอร์ที่มีความหนาแน่นต่ำ เหมาะกับการใช้งานที่ต้องการความแข็งแรงสูงขึ้น นิยมใช้เป็นฟิล์มยืดรัดสินค้าบนแผ่นรองสินค้า ฟิล์มยืดใช้ในครัวเรือน ถุงหูหิ้ว ถุงบรรจุข้าวสาร ถุงขนส่ง ถุงอาหารแช่แข็ง ชั้นปิดผนึกด้วยความร้อนซึ่งนิยมใช้ในฟิล์มอัดรีดร่วมกับพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (LDPE) รวมถึงขวดที่บีบได้หลอดยุบตัวได้

2.3 แมลงศัตรูข้าวสาร

ในประเทศไทยมีรายงานว่าพบแมลงศัตรูผลิตผลเกษตร 79 ชนิด ซึ่งในข้าวสารจะพบแมลงศัตรูที่สำคัญ ได้แก่ ด้วงงวงข้าวโพด (*Sitophilus zeamais*) ด้วงงวงข้าว (*Sitophilus oryzae*) มอดแป้ง (*Tribolium castaneum*) ผีเสื้อข้าวสาร (*Corcyra cephalonica*) มอดฟันเลื่อย (*Oryzaephilus surinamensis*) และมอดหนวดยาว (*Cryptolestes pusillus*) โดยเฉพาะด้วงงวงข้าวโพดและด้วงงวงข้าวเป็นแมลงศัตรูข้าวสารที่สร้างความเสียหายให้กับข้าวสารบรรจุถุงค่อนข้างมาก (สมศรี และคณะ, 2540)

ด้วงงวงข้าว (Rice weevil) ชื่อวิทยาศาสตร์ *Sitophilus oryzae* วงศ์ Curculionidae อันดับ Coleoptera ขนาดลำตัว 2.0 – 3.0 มิลลิเมตร ตัวเต็มวัยมีสีน้ำตาลดำ ส่วนหัวจะยื่นออกมาเป็นงวง (snout หรือ rostrum) สามารถบินออกไปทำลายเมล็ดพืชตั้งแต่อยู่ในไร่นาโดยตัวเมียจะเจาะรูที่เมล็ดพืชแล้ววางไข่รูละ 1 ฟอง หลังจากนั้นปิดปากรู้ไวด้วยไข (waxy secretion) ตัวเมียวางไข่ประมาณ 300 – 400 ฟอง ไข่จะฟักใน 3 – 6 วัน เป็นตัวหนอนสีขาวลำตัวสั้นป้อม อาศัยกัดกินอยู่ภายในเมล็ด ระยะหนอน 20 – 30 วัน โดยลอกคราบ 4 ครั้ง แล้วจึงเข้าดักแด้เป็นเวลา 3 – 7 วัน เมื่อเป็นตัวเต็มวัยจะเจาะผิวเมล็ดออกมาสู่ภายนอก ทำให้เมล็ดที่ถูกด้วงงวงอาศัยอยู่เป็นรูพรุน วงจรชีวิตใช้เวลา 30 – 40 วัน ตัวเต็มวัยอยู่ได้นาน 1 – 2 เดือนหรือมากกว่านี้ ด้วงงวงข้าวเป็นแมลงศัตรูผลิตผลเกษตรที่สำคัญ ทำลายเมล็ดธัญพืชหลายชนิด โดยเฉพาะข้าวเปลือก ข้าวสาลี ทั้งตัวเต็มวัยและตัวหนอนร่วมกันทำลายเมล็ดพืช เนื้อเมล็ดจะถูกตัวหนอนกัดกินอยู่ภายใน เมล็ดที่ถูกทำลายจะเป็นรูและข้างในเป็นโพรง ถ้ามีการทำลายสูงเมล็ดจะเหลือแต่เปลือก นำไปใช้บริโภคไม่ได้ (กิตติยา และคณะ, 2547)

มอดแป้ง (Red flour beetle) ชื่อวิทยาศาสตร์ *Tribolium castaneum* วงศ์ Trogositidae อันดับ Coleoptera ขนาดลำตัว 2.3 – 4.4 มิลลิเมตร ตัวเต็มวัยสีน้ำตาลปนแดง ลำตัวแบนยาว ปลายหนวดเป็นรูปกระบอง ตัวเมียวางไข่ประมาณ 400 – 500 ฟอง ตามกระสอบ รอยแตกของเมล็ดข้าว หรือในแป้ง ไข่มีรูปร่างยาวรี สีขาว มีสารเหนียวหุ้มทำให้เกาะติดอาหารได้ง่าย ไข่จะฟักใน 3 – 7 วัน หนอนสีน้ำตาลอ่อนเรียวยาวและอาศัยอยู่ในแป้ง ใช้เวลา 21 – 40 วัน โดยมีการลอกคราบ 7 – 8 ครั้ง ระยะดักแด้ 3 – 7 วัน วงจรชีวิตใช้เวลา 26 – 40 วัน ตัวเต็มวัยมอดแป้งอาจมีชีวิตอยู่ได้นานถึง 6 เดือน มอดแป้งเป็นแมลงที่ไม่สามารถทำลายเมล็ดพืชให้ได้รับความเสียหายโดยตัวเองได้เหมือนด้วงงวงข้าวโพด มักจะเข้าทำลายหลังจากที่แมลงอื่นทำลายเมล็ดพืชจนเป็นรูหรือรอยแตกแล้ว และเป็นศัตรูที่สำคัญของแป้งและรำ เพราะสามารถขยายพันธุ์ได้อย่างรวดเร็ว ทำให้แป้งที่มันอาศัยกินอยู่นั้นเปลี่ยนสีและมีกลิ่นเหม็น ซึ่งเกิดจากการปล่อยฮอร์โมน benzoquinones ซึ่งผลิตจากต่อมที่อยู่ตรงส่วนท้อง กลิ่นนี้จะติดทนนานในแป้ง แม้จะนำแป้งไปทำอาหารแล้วก็ยังมีกลิ่นติดอยู่ ในสภาพที่อยู่หนาแน่นจะกินกันเองและสามารถทำลายไข่ ตัวหนอนและดักแด้ของแมลงศัตรูผลิตผลเกษตรชนิดอื่น (กิตติยา และคณะ, 2547)

มอดสยาม (Siamese grain beetle) ชื่อวิทยาศาสตร์ *Lophocateres pusillus* (Klug) วงศ์ Trogositidae อันดับ Coleoptera เป็นด้วงปีกแข็งลำตัวแบนสีน้ำตาลแดง หนวดเป็นแบบกระบอง บนปีกคู่หน้ามีสันเป็นแนวยาว ฐานของอกปล้องแรกอยู่ติดกับโคนปีกคู่หน้า ตัวเต็มวัยเพศเมียวางไข่ตามรอยแตกของเมล็ด หรือรอยแตกของเปลือกหุ้มเม็ด วางไข่เป็นกลุ่ม ๆ ละ 3 – 14 ฟอง วางไข่ครั้งละประมาณ 100 ฟอง ไข่จะฟักภายใน 7 วัน ระยะหนอนและระยะดักแด้ประมาณ 42 วัน วงจรชีวิตใช้เวลา 45 – 60 วัน มักพบมอดสยามเข้าทำลายร่วมกับด้วงงวงข้าวและมอดข้าวเปลือก เป็นแมลงที่ไม่สามารถเข้าทำลายเมล็ดที่สมบูรณ์ได้ มักพบทำลายเมล็ดที่เหลือจากการทำลายของแมลงชนิดอื่น หรือเมล็ดแตก แมลงชนิดนี้ชอบทำลายส่วนที่เป็นแป้งและส่วนที่เป็นจุกงอก (germ) ของเมล็ด เมล็ดที่ถูกทำลายจะมีลักษณะถูกกินเป็นแถบ ๆ อาจพบอยู่ในแกลบ เป็นแมลงที่มีความทนทานต่อสภาพแห้ง (กิตติยา และคณะ, 2547)

มอดฟันเลื่อย (Saw – toothed grain beetle) ชื่อวิทยาศาสตร์ *Oryzaephilus surinamensis Linnaeus* วงศ์ Silvanidae อันดับ Coleoptera มอดฟันเลื่อนมีสีน้ำตาลเข้ม ลำตัวแบนยาว ลักษณะที่เด่นชัดแตกต่างจากแมลงชนิดอื่น คือขอบด้านข้างส่วนอกจะมีลักษณะเป็นฟันเลื่อยข้างละ 6 ซี่ ตัวเมียวางไข่ตลอดชีวิตประมาณ 45 – 285 ฟอง โดยวางไข่เดี่ยว ๆ หรือเป็นกลุ่มปะปนลงในอาหาร หรือตามรอยแตกของเมล็ด ไข่มีสีขาวและฟักเป็นตัวหนอนภายใน 3 – 5 วัน หนอนลำตัวเรียวเล็กสี

ขาวนวล ใช้เวลาประมาณ 2 สัปดาห์ โดยลอกคราบ 2 – 5 ครั้ง จึงเข้าดักแด้โดยใช้เศษอาหารเป็นปลอกหุ้มตัว ลักษณะเด่นของดักแด้ คือ ด้านข้างของส่วนนอกจะมีรยางค์เล็ก ๆ ยื่นออกมาข้างละ 6 เส้น ระยะดักแด้ 6 – 10 วัน วงจรชีวิตใช้เวลา 24 – 30 วัน ตัวเต็มเมล็ดอยู่ได้นาน 6 -10 เดือน เนื่องจากบินไม่ได้ จึงเคลื่อนไหวไปมาบนอาหารได้รวดเร็ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงที่มีการรวมกลุ่มกัน มอดฟันเลื่อยไม่สามารถทำลายเมล็ดพืชให้ได้รับความเสียหายด้วยตัวเองได้ มักพบเข้าทำลายต่อจากแมลงชนิดอื่น หรือเมล็ดที่มีรอยแตกอยู่ก่อนแล้ว ตัวเต็มวัยจะแทะเล็มอยู่ที่ผิวเมล็ด สามารถกัดกินเมล็ดธัญพืชหรือธัญพืชแปรสภาพที่แตกหักได้ เป็นแมลงศัตรูสำคัญของข้าวสารและธัญพืชที่ผ่านขบวนการ (กิตติยา และคณะ, 2547)

ผีเสื้อข้าวสาร (Rice moth) ชื่อวิทยาศาสตร์ *Corcyra cephalonica* (Stainton) วงศ์ Galleriidae อันดับ Lepidoptera ขนาดลำตัว 12.0 – 15.0 มิลลิเมตร ตัวเต็มวัยเมื่อกางปีกมีขนาด 15 – 25 มิลลิเมตร มีสีน้ำตาลปนเทา ปีกคู่หน้ามีเส้นปีกค่อนข้างดำ ปีกหลังมีสีครีม เวลาเกาะอยู่ปีกจะหุบขนานกับลำตัว ตัวเมียวางไข่ที่มีสารเหนียวเคลือบทำให้ติดแน่นในอาหาร ตัวเต็มวัยเพศเมียวางไข่ประมาณ 44 – 370 ฟอง มักวางไข่เดี่ยว ๆ ไข่จะฟักใน 4 – 5 วัน หนอนมีสีขาว หนอนจะสร้างใยปกคลุมตัวเองไว้เพื่อป้องกันตัว หนอนกินอาหาร ชักใย ถ่ายมูลและของเสียลงบนอาหาร ทำให้อาหารนั้นดูสกปรกและเสียคุณภาพ ระยะหนอน 28 – 41 วัน แล้วจึงเข้าดักแด้ในปลอกที่สร้างขึ้น ระยะดักแด้ 6 -13 วัน ระยะตัวเต็มวัย 7 – 14 วัน วงจรชีวิตใช้เวลา 30 – 40 วัน แม่ผีเสื้อจะทำหน้าที่ผสมพันธ์ วางไข่และตายไป เป็นแมลงศัตรูที่สำคัญของข้าวสารโดยเฉพาะข้าวที่เก็บไว้เป็นเวลานาน ทำให้ข้าวสารเป็นก้อน มีลักษณะที่ไม่น่าดูและเสื่อมคุณภาพจนบางครั้งนำไปบริโภคไม่ได้ ซึ่งเกิดจากตัวหนอนของผีเสื้อข้าวสารไปชักใยอยู่ระหว่างเมล็ดข้าวทำให้ข้าวสารติดกันเป็นก้อน และตัวหนอนจะอาศัยแทะเล็มข้าวสารอยู่ภายในใยนั้น นอกจากนี้ยังขับถ่ายของเสียออกมาเป็นเม็ดเล็ก ๆ กระจายอยู่เต็มกองข้าวอีกด้วย (กิตติยา และคณะ, 2547)

2.4 ความเสียหายที่เกิดจากแมลงศัตรูข้าว

ผลผลิตทางการเกษตร เช่น ข้าว ข้าวโพด ข้าวฟ่าง ถั่วเหลือง ถั่วเขียว ฯลฯ เมื่อนำมาเก็บรักษาไว้ชั่วระยะเวลาหนึ่งมักจะเกิดความเสียหาย ซึ่งมีสาเหตุจากปัจจัยที่สำคัญ 2 ประการ คือ ปัจจัยทางกายภาพ (physical factor) ได้แก่ อุณหภูมิ และความชื้นในอากาศและปัจจัยทางชีวภาพ (biological factor) ได้แก่ แมลง ไร เชื้อรา นก และหนู ซึ่งเป็นที่ยอมรับกันว่าแมลงเป็นศัตรูที่สำคัญและทำความเสียหายให้แก่ผลิตผลเกษตรมากที่สุด (กิตติยา และคณะ, 2547) เนื่องจากแมลงเป็น

สัตว์ที่มีขนาดเล็กสามารถขยายพันธุ์และเจริญเติบโตในระยะเวลาอันสั้น แมลงศัตรูผลิตผลเกษตรเข้าทำลายผลิตผลเกษตรโดยกัดกินทำให้เมล็ดแตกหัก นอกจากนี้ยังมีชิ้นส่วนของแมลงหรือตัวแมลงปะปนอยู่ในเมล็ดพืชหรืออาหารหรือผลิตผลเกษตรสกปรกและคุณภาพของผลิตผลเกษตรนั้นๆ เสื่อมคุณค่าไป ซึ่งจะเห็นได้ว่าแมลงนับเป็นศัตรูสำคัญมากของผลิตผลเกษตรหลังการเก็บเกี่ยว ซึ่งถ้าหากไม่มีการดูแลรักษาและการป้องกันกำจัดหรือควบคุมแมลงที่เหมาะสมแล้วจะก่อให้เกิดปัญหาเพิ่มขึ้น ดังนั้นในการป้องกันและกำจัดแมลงจำเป็นต้องมีพื้นฐานหรือข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับแมลงว่าเป็นแมลงชนิดใด มีลักษณะการทำลาย และอุปนิสัยเป็นอย่างไร มีความสำคัญมากน้อยเพียงใด เพื่อจะได้ทำการป้องกันกำจัดได้ถูกต้อง มีประสิทธิภาพ

เนื่องจากแมลงสามารถแพร่ขยายพันธุ์ได้ง่าย ทำให้มีประชากรเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยจะเข้าทำลาย ก่อความเสียหายให้กับผลผลิต โดยประเภทของแมลงศัตรูในโรงเก็บแบ่งตามลักษณะการทำลาย เช่น การกัดกิน หรือแทะเล็มภายนอก (external feeder) ทำความเสียหายเฉพาะภายนอก โดยทำให้เกิดเป็นขุย ผิวของเมล็ดถูกทำลาย ถักใยเกาะติดกันเป็นก้อน ได้แก่ ผีเสื้อข้าวสาร มอดแป้ง มอดสยาม มอดฟันเลื่อย มอดหนวดยาว ไรและเหาหนังสือ ส่วนการกัดกินภายในเมล็ด (internal feeder) แมลงจะอาศัยและทำลายอยู่ภายในเมล็ด เพศเมียมักวางไข่อยู่ที่ผิวนอกเมล็ด เมื่อไข่ฟักเป็นหนอน จะเจาะเข้าสู่ภายใน กัดกินและเจริญเติบโตจนครบวงจรชีวิต ตัวเต็มวัยจะเจาะเมล็ดออกมาทำให้เป็นรู และภายในเป็นโพรง แมลงประเภทนี้ได้แก่ ด้วงงวงข้าว ผีเสื้อข้าวเปลือก มอดข้าวเปลือก ซึ่งแมลงเหล่านี้ก่อให้เกิดความเสียดังนี้ (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว, 2555)

2.4.1 สูญเสียน้ำหนัก (weight loss) แมลงสามารถกินอาหารได้มากกว่าน้ำหนักตัวหลายเท่า เมื่อแพร่ระบาดมากจะทำให้สูญเสียน้ำหนักมาก

2.4.2 สูญเสียคุณค่าทางอาหาร (food loss) เมื่อแมลงเข้าทำลายจะทำให้เมล็ดสูญเสียคุณค่าทางอาหารไป โดยแมลงชอบทำลายส่วนคัพภะ (embryo)

2.4.3 สูญเสียความงอก (seed germination loss) เนื่องจากแมลงชอบทำลายส่วนคัพภะเป็นผลทำให้เมล็ดสูญเสียความงอก หรือบางเมล็ดถูกทำลายน้อย แม้จะงอกแต่สภาพของเมล็ดที่งอกจะไม่สมบูรณ์ และไม่สามารถเจริญเติบโตต่อไปได้

2.4.4 สูญเสียคุณภาพ (quality loss) ทำให้ความสม่ำเสมอของเมล็ดเสียไป การเข้าไปปะปนของแมลง และของเสียจากแมลง ทำให้เกิดกลิ่นเหม็น คุณภาพเปลี่ยนไป นอกจากนี้ซากหรือชิ้นส่วนของแมลงที่ติดอยู่กับอาหารทำให้เกิดการปนเปื้อน

และคุณภาพเมล็ดเสียหาย เมื่อแมลงเข้าทำลายในปริมาณมากทำให้ความชื้นในกองเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้น มีผลทำให้เชื้อจุลินทรีย์เจริญเติบโต

2.4.5 สูญเสียเงิน (money loss) เมื่อแมลงเข้าทำลาย ทำให้น้ำหนักของผลผลิตลดลง จึงมีผลทำให้สูญเสียรายได้ นอกจากนี้คุณภาพที่เสียไปยังทำให้ราคาลดต่ำลงด้วย

2.4.6 สูญเสียชื่อเสียง (loss of goodwill) ผลิตผลที่แมลงเข้าทำลายจะดูสกปรก และเสื่อมคุณภาพ ทำให้ผู้ซื้อและผู้บริโภคเสื่อมความเชื่อถือและไว้ใจในสินค้า

2.4.7 ผลเสียต่อสุขภาพของผู้บริโภค คือ เศษชิ้นส่วนของแมลงบางชนิดก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของผู้ที่ได้รับประทานเข้าไป เช่น เมื่อมอดแป้งเข้าทำลายข้าว ก็จะปล่อยของเหลว ethylquinone และ toluquinone บนอาหารโดยตรงซึ่งของเหลวที่มอดแป้งผลิตมีกลิ่นฉุน เมื่อสัมผัสจะระคายเคืองทำให้ข้าวมีกลิ่นเหม็น

ในปีพ.ศ. 2548 ผลผลิตทางการเกษตรชนิดต่างๆ ได้แก่ ข้าว ข้าวโพด ข้าวฟ่าง ลูกเดือย ถั่วเขียว ถั่วเหลือง ถั่วลิสง มันสำปะหลัง ทานตะวัน งา กาแฟ มีมูลค่า 258,767 ล้านบาท โดยผลผลิตทางการเกษตรเหล่านี้มักจะมีการเก็บไว้ชั่วระยะเวลาหนึ่งเพื่อบริโภค จำหน่ายหรือรอการแปรรูป ในระหว่างการเก็บไว้ในยุ้งฉางของเกษตรกรหรือไซโล มักจะมีปัญหาแมลงเข้ามาทำลาย ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญที่สุด ความสูญเสียทั้งทางด้านปริมาณและความเสียหายต่อคุณภาพของผลผลิตเกษตรรวมทั้งสิ้นประมาณร้อยละ 8-14 ของผลผลิตทั้งหมดคิดเป็นมูลค่ากว่า 25,000 ล้านบาทต่อปี นอกจากนี้ยังพบชิ้นส่วนของแมลงปนเปื้อนไปกับผลผลิตที่ส่งไปขายยังต่างประเทศ ทำให้มีผลต่อการส่งออกเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะการกำหนดราคาผลิตผลเกษตร การป้องกันกำจัดไม่ถูกวิธีอาจทำให้แมลงเกิดความต้านทานต่อสารฆ่าแมลงและสารรมยา ดังนั้นการจัดการและการป้องกันกำจัดแมลงศัตรูผลิตผลเกษตร โดยถูกวิธีจึงมีประโยชน์อย่างมากในการลดความสูญเสียต่างๆ (กรมวิชาการเกษตร, 2550)

2.5 การป้องกันและกำจัดแมลงศัตรูข้าว

การป้องกันและกำจัดแมลงเป็นสิ่งสำคัญในการรักษาคุณภาพของข้าวสารระหว่างการเก็บรักษา โดยหลักการทั่วไปในการป้องกันและกำจัดมี 2 วิธี คือ การป้องกันและกำจัดแมลงศัตรูข้าวสารโดยไม่ใช้สารเคมีและการป้องกันและกำจัดแมลงศัตรูข้าวสารโดยใช้สารเคมี (บุษรา, 2543)

การป้องกันและกำจัดแมลงศัตรูข้าวสารโดยไม่ใช้สารเคมี คือ การนำเอาวิธีการต่างๆ ที่ไม่ใช้สารเคมี มาใช้ในการป้องกันและกำจัดแมลงเพื่อลดการทำลายของแมลง เช่น การรักษาความสะอาดและการจัดการโรงเก็บ ควรเตรียมความพร้อมของสภาพโรงเก็บ ทำความสะอาดพื้นและส่วนต่างๆ ของโรงเก็บ ทั้งภายในและภายนอก ก่อนที่จะนำข้าวเข้าเก็บรักษา และต้องดูแลทำความสะอาดอย่างสม่ำเสมอ ตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษา ทำให้การแพร่ระบาดทำลายของแมลงน้อยลง การใช้สภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมกับแมลง เช่น การเก็บข้าวเปลือกแทนการเก็บข้าวสาร การแยกเมล็ดแตกหักออกจากเมล็ดดี สามารถป้องกันการเข้าทำลายของแมลงได้ การลดความชื้นในเมล็ดจะช่วยป้องกันการเข้าทำลายของแมลงอีกทั้งยังทำให้อายุการเก็บรักษานานขึ้น การลดความชื้นเมล็ดลงเหลือร้อยละ 10 จะพบแมลงทำลายน้อย หากลดความชื้นในเมล็ดต่ำกว่าร้อยละ 8 มักไม่พบแมลงทำลาย การเก็บรักษาในสภาพสุญญากาศ หรือภาชนะที่ปิดผนึกแน่นเป็นการกำจัดแมลงเนื่องจากแมลงต้องการออกซิเจนเพื่อการหายใจเมื่ออยู่ในสภาพที่ไม่มีอากาศผ่านก็ทำให้แมลงตายได้ ในกรณีที่ต้องการให้แมลงตายเร็วขึ้นอาจเพิ่มก๊าซที่เป็นพิษ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือก๊าซไนโตรเจน เป็นต้น การใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (carbon dioxide) มีการนำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มาใช้รมเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาพิษตกค้าง และการสร้างความต้านทานของแมลงต่อสารรม

การป้องกันและกำจัดแมลงข้าวสารโดยใช้สารเคมี คือ การนำเอาสารเคมีซึ่งได้แก่ สารฆ่าแมลง สารดูดแมลง สารไล่และสารเคมีอื่นๆมาใช้ในการป้องกันและกำจัดแมลง เพราะเป็นการป้องกันและกำจัดแมลงที่รวดเร็วและได้ผล แต่ต้องคำนึงถึงคุณภาพและความปลอดภัยของผู้บริโภค การป้องกันกำจัดโดยการใช้สารเคมีทำได้หลายวิธีอาจเลือกวิธีใดวิธีหนึ่งหรือใช้ร่วมกันหลายวิธีเพื่อผลดีในการป้องกันกำจัดแต่การใช้สารเคมีเป็นเวลานานมีผลเสียต่อผู้บริโภค สภาพแวดล้อมและมีผลทำให้แมลงสร้างความต้านทานได้ หากนำสารเคมีหรือสารฆ่าแมลงมาใช้ควรทราบถึง ชนิดของสารฆ่าแมลง วิธีการนำมาใช้ ปฏิกิริยาของสารฆ่าแมลง ค่าความเป็นพิษของสาร เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อจะได้ใช้สารฆ่าแมลงได้อย่างถูกต้องและปลอดภัย

สารฆ่าแมลง (insecticides) คือสารพิษที่สามารถฆ่าแมลงได้ แมลงได้รับสารพิษโดยการสัมผัส การกินอาหาร หรือโดยการหายใจเอาสารพิษเข้าไปในตัวแมลง พิษมีผลต่อระบบประสาทมีผลเป็นอัมพาตหรือตายได้ สารฆ่าแมลงแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ สารฆ่าแมลงชนิดถูกตัวตาย (contact insecticides) สารฆ่าแมลงถูกตัวตายเป็นสารฆ่าแมลงที่ทำให้แมลงตายเมื่อสัมผัสกับสารฆ่าแมลงแบ่งออกเป็น 5 กลุ่ม คือกลุ่มออร์กาโนคลอรีน (organochlorine) กลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัส

(organophosphorous) กลุ่มไพรีทรอยด์ และไพรีทรอยด์สังเคราะห์ (pyerthoid) กลุ่มคาร์บาเมท (carbamate)และกลุ่มอื่นๆ (miacellaneous compound) ในสารฆ่าแมลงทั้ง 5 กลุ่มนี้ กลุ่มออร์กาโนคลอรีน (organochlorine) เป็นกลุ่มที่ถูกห้ามนำมาใช้กับผลิตผลเกษตร ส่วนสารฆ่าแมลงอีก 3 กลุ่ม คือกลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัส (organophosphorous) กลุ่มไพรีทรอยด์ (pyerthoid) และกลุ่มคาร์บาเมท (carbamate) เป็นกลุ่มที่นำมาใช้ กับผลิตผลเกษตรได้ แต่ในแต่ละกลุ่มก็มีข้อจำกัดเพราะสารฆ่าแมลงทุกชนิดในแต่ละกลุ่ม ไม่สามารถนำมาใช้กับผลิตผลเกษตรได้ทุกชนิด จะใช้ได้เพียงบางชนิดเท่านั้น สารฆ่าแมลงอีกกลุ่มหนึ่ง คือ กลุ่มอื่นๆ สารฆ่าแมลงนี้เป็นกลุ่มใหม่ซึ่งจะทำปฏิกิริยาโดยการขัดขวางการสร้างไคติน (chitin) ในแมลง(สมศรี และคณะ, 2540)

สารฆ่าแมลงชนิดรม (fumigant) คือ สารเคมีที่เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตทุกในรูปของไอ หรือควัน เมื่อแมลงได้รับสารพิษเข้าไปในร่างกายของแมลง พิษของสารฆ่าแมลงอาจมีผลต่อระบบประสาท ทำให้เป็นอัมพาตและตายได้ เป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง เนื่องจากสามารถทำลายแมลงศัตรูได้ทุกชนิด และทุกระยะการเจริญเติบโต ไม่มีพิษตกค้างเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการใช้สารฆ่าแมลง สารรมที่นำมาใช้มีอยู่หลายชนิด แต่ที่นิยมมากคือ เมทิลโบรไมด์ (methyl bromide) และฟอสฟีน (phosphine) สารเมทิลโบรไมด์ เป็นตัวทำลายชั้นโอโซนในชั้นบรรยากาศ ทำให้โลกร้อนขึ้น และแสงอุลตราไวโอเลตมากกว่าปกติ ดังนั้นจึงมีมาตรการยกเลิกการใช้ ยกเว้นการรมเพื่อการส่งออก แต่ต้องยกเลิกการใช้ภายในปี ค.ศ. 2015 ดังนั้นในปัจจุบันจึงมีการใช้สารรมฟอสฟีนมากขึ้น สารรมทุกชนิดเป็นอันตรายต่อมนุษย์ แม้มีความเข้มข้นน้อย ดังนั้นการใช้สารรมต้องใช้ด้วยความระมัดระวัง รอบครอบและผู้ปฏิบัติต้องได้รับการฝึกอบรมวิธีการรมที่ถูกต้อง สารรม เป็นสารเคมีที่เป็นพิษ ในรูปของไอหรือควัน มีลักษณะเป็นเม็ด ของเหลว หรือก๊าซ สารพิษจะออกฤทธิ์ในรูปก๊าซ มีผลทำให้แมลงตาย

2.6 อันตรายจากการใช้สารเคมีในการควบคุมและกำจัดแมลงศัตรูข้าวสาร

สารรมที่นำมาใช้ในแมลงศัตรูข้าวสารหรือกำจัดมอดแมลงมีหลายชนิด เช่น เมทิลโบรไมด์ ฟอสฟีน แต่ที่นิยมกันอย่างกว้างขวาง คือ เมทิลโบรไมด์ โดยเมทิลโบรไมด์ถูกนำมาใช้เพื่อกำจัดแมลงในข้าวสาร ถั่ว ระหว่างการเก็บรักษาและยังช่วยยืดอายุของการเก็บรักษาอีกด้วย เมทิลโบรไมด์มีคุณสมบัติในการแทรกซึมได้ดีและสามารถกำจัดแมลงได้ทุกระยะของการเจริญเติบโตของแมลง (สมศรี และคณะ, 2540)

เมทิลโบรไมด์เป็นก๊าซไม่มีสี ความเข้มข้นต่ำไม่มีกลิ่น ความเข้มข้นสูงมีกลิ่นคล้ายคลอโรฟอร์ม (chloroform) หรือมีกลิ่นหอมหวาน (sweetish odor) และไม่ติดไฟ ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มก๊าซพิษ มีสูตรโมเลกุล CH_3Br เมทิลโบรไมด์นอกจากจะสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการกำจัดมอดแมลงแล้ว ก็ยังสามารถทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของผู้ใช้และอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมได้ อันตรายที่เกิดขึ้นนั้นมีได้ตั้งแต่เกิดอาการเพียงเล็กน้อยจนถึงอาการรุนแรงถึงขั้นเสียชีวิตได้ เมทิลโบรไมด์เป็นสารที่มีฤทธิ์ทำให้ระคายเคือง และสามารถซึมผ่านส่วนต่างๆของร่างกายที่สัมผัสกับสารนี้โดยตรง เช่น ทางตา ทางผิวหนัง หรือทางระบบทางเดินหายใจ นอกจากนี้เมทิลโบรไมด์ยังสามารถสะสมอยู่ภายในอวัยวะต่างๆของร่างกายได้เป็นเวลานาน มีรายงานจากการพิสูจน์ศพที่มีประวัติในการได้รับสารเมทิลโบร์ไมด์มา 30 วันก่อนเสียชีวิตพบว่า มีเมทิลโบรไมด์สะสมอยู่ในระบบเลือด น้ำไขสันหลัง สมอง หัวใจ ตับ ไต ปอด ม้ามและต่อมน้ำเหลือง

ความเป็นพิษ (toxicity) การศึกษาความเป็นพิษของ เมทิลโบรไมด์ ส่วนใหญ่มักรายงานในรูปของ กลุ่มฮาโลมีเธน (halomethane) โดยสัตว์น้ำจืด ได้รับพิษเฉียบพลันจากสารกลุ่มฮาโลมีเธน ที่ความเข้มข้น 11,000 ไมโครกรัม/ลิตร สัตว์ทะเลได้รับพิษเฉียบพลันและเรื้อรังจากสารกลุ่มฮาโลมีเธน ที่ความเข้มข้น 12,000 และ 6,400 ไมโครกรัม/ลิตร ตามลำดับ สาหร่ายมีปริมาณลดลงเมื่อได้รับสารกลุ่มนี้ ที่ความเข้มข้น 11,500 ไมโครกรัม/ลิตร ส่วนในสัตว์ทดลองความเป็นพิษทางการหายใจ ความเข้มข้นต่ำสุดที่ทำให้หนูตายจากการหายใจ (Inhal LC_{50} rat) ในเวลา 1 ชั่วโมง เท่ากับ 3,120 มิลลิกรัม/ กิโลกรัม ความเข้มข้นต่ำสุดที่ทำให้กระต่ายตายจากการหายใจ (Inhal LC_{50} rabbit) ในเวลา 1 ชั่วโมง เท่ากับ 6,425 มิลลิกรัม/ กิโลกรัม ความเข้มข้นต่ำสุดที่ทำให้หนูตะเภาตายจากการหายใจ (Inhal LC_{50} guinea pig) ในเวลา 9 ชั่วโมง เท่ากับ 3,000 ส่วนต่อล้านส่วน ความเป็นพิษโดยการกินความเข้มข้นที่ทำให้หนูตายโดยการกิน (LD_{50} rat) น้อยกว่า 100 มิลลิกรัม/ กิโลกรัม และมีรายงานว่าหนูที่รับสารโดยการกินในปริมาณ 50 มิลลิกรัม/ กิโลกรัม ต่อวันเป็นเวลา 90 วัน เกิดมะเร็งของกระเพาะอาหารส่วนหน้า (fore-stomach) เมื่อได้รับในปริมาณ 2-10 มิลลิกรัม/ กิโลกรัม พบการระคายเคืองของอวัยวะและได้รับในปริมาณ 0.4 มิลลิกรัม/ กิโลกรัม ไม่พบว่าก่อให้เกิดอันตราย (สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร, 2555)

ในมนุษย์เมทิลโบรไมด์เป็นก๊าซที่ทำความระคายเคืองต่อปอดและเป็นพิษต่อระบบประสาท (neurotoxin) และทำให้เสพติด (narcotic) เมื่อได้รับที่ระดับความเข้มข้นสูงระยะสั้นจะมีอาการปวดศีรษะ วิงเวียน คลื่นไส้ อาเจียน มองไม่ชัด พูดพันกันและชัก ถ้าได้รับความเข้มข้นสูงระยะนานอาจไม่ได้สติและเสียชีวิตได้ นอกจากนี้อาจระคายเคืองต่อปอด ทำให้ไอเป็นเลือด เจ็บ

หน้าอก หายใจขัดและทำลายไต อาการที่เกิดขึ้นต่อปอดอาจแสดงออกช้า ส่วนผิวหนังอาจเกิดผื่นแดงจนถึงผุผองและไหม้ อาการได้รับพิษดังกล่าวอาจแสดงออกหลังเวลาผ่านไป 2-3 ชั่วโมงถึง 2-3 วัน ถ้าได้รับเป็นระยะเวลานานจะทำลายระบบประสาทส่วนกลางทำให้มองไม่ชัดพูดพันกัน แขน ขาชา สับสน สั่น และไม่ได้สติ อาการได้รับพิษอาจหยุดภายใน 2-3 วัน หรือหลายเดือนหลังจากที่ไม่ได้รับสาร (สมศรี และคณะ, 2540)

2.7 กฎระเบียบการใช้สารรมในการกำจัดแมลงในข้าวสาร

เมทิลโบรไมด์เป็นสารรมที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในการกำจัดแมลงศัตรูข้าวสาร เพื่อเก็บรักษาข้าวสารไม่ให้ถูกทำลายและเป็นการยืดอายุในการเก็บรักษาของข้าวสาร โดยเมทิลโบรไมด์จัดเป็นวัตถุอันตรายชนิดที่ 3 การผลิต การนำเข้า การส่งออกและการมีไว้ในครอบครองของสารนี้จะถูกควบคุมโดยกรมวิชาการเกษตร เนื่องจากพบว่าเมทิลโบรไมด์เป็นสารที่มีศักยภาพในการทำลายชั้นบรรยากาศโอโซนเท่ากับ 0.6 ซึ่งทำให้ประเทศไทยต้องควบคุมปริมาณการใช้ให้เป็นไปตามข้อกำหนดของพิธีสารมอนทรีออลและประเทศไทยต้องรายงานปริมาณการใช้สารดังกล่าวให้กับสำนักงานเลขาธิการโอโซนเป็นประจำทุกปี(สมศรี และคณะ, 2540)

2.8 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide, CO_2) เป็นก๊าซในบรรยากาศ ซึ่งประกอบด้วยคาร์บอน 1 อะตอม และ ออกซิเจน 2 อะตอม ต่อหนึ่งโมเลกุล ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซที่ไม่มีสี เมื่อหายใจเอาก๊าซนี้เข้าไปในปริมาณมากๆ จะรู้สึกเปรี้ยวที่ปาก เกิดการระคายเคืองที่จมูกและคอ เนื่องจากการละลายของก๊าซนี้ในเมือกที่อยู่ในอวัยวะ ก่อให้เกิดกรดคาร์บอนิกอย่างอ่อน

ในผลิตภัณฑ์ข้าวอินทรีย์มีการประยุกต์ใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 75 เพื่อควบคุมและกำจัดแมลงในระหว่างการเก็บรักษา เนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่ก่อให้เกิดสารพิษตกค้างและมีความปลอดภัย สามารถฆ่าแมลงได้ทุกวัย (สมศรี และคณะ, 2540) นอกจากนี้ยังมีการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ร่วมกับความดันในการฆ่ามอดในข้าวสารและยังมีการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร่วมกับคาร์บอนมอนอกไซด์ในการเก็บรักษาเมล็ดพืชเพื่อป้องกันแมลงศัตรูพืชรบกวน (Wang *et al.*, 2009) อีกทั้งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ยังถูกนำไปใช้ร่วมกับฟอสฟีนเพื่อช่วยให้ฟอสฟีนกระจายเข้าไปลึกถึงชั้นของเมล็ดได้ดี โดยการรมเมล็ดข้าวสาลี

ด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และฟอสฟีนในอัตราฟอสฟีน 2 กรัม ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 200 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร สามารถควบคุมแมลงได้อย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็ว เนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีผลทำให้ฟอสฟีนกระจายและซึมเข้าสู่ชั้นของเมล็ดพืชได้ดีกว่าการรมยาด้วยฟอสฟีนอย่างเดียว (Dalin *et al.*, 2007) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซที่สามารถนำมาป้องกันและกำจัดแมลงศัตรูข้าวเปลือก หรือผลิตผลเกษตรอื่นได้ โดยปกติก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีอยู่ในอากาศประมาณร้อยละ 0.03 ซึ่งอัตรานี้ไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ สัตว์ และสิ่งมีชีวิตอื่นๆ แต่หากความเข้มข้นมาก็จะเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตได้ (กุสุมา และคณะ, 2548)

การทดลองใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายใต้ผ้าคลุมพลาสติกที่หนาป้องกันก๊าซรั่วไหล พบว่า หากใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับข้าวสารจะมีพิษต่อแมลง โดยมีอัตราการใช้ดังนี้คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ร้อยละ 60 ระยะเวลารมนาน 4 วันและใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ร้อยละ 30 ใช้เวลานาน 10 วันโดยอัตราที่ใช้คือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 2 กิโลกรัมต่อน้ำหนักข้าวสาร 1 ตัน (ชูวิทย์ และคณะ, 2538)

Athapol และคณะ (2009) ศึกษาการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ร่วมกับความดัน 4, 6 และ 8 บาร์ เพื่อฆ่าด้วงงวงข้าวโพดโดยใช้ถังรมที่ออกแบบเฉพาะ พบว่า สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดแมลง โดยระยะตัวเต็มวัยตายง่ายที่สุด ในขณะที่ระยะหนอนและดักแด้ทนต่อก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มความดันมากกว่าระยะการเจริญเติบโตอื่น

2.9 ก๊าซไนโตรเจน

ปัจจุบันได้มีการนำวิทยาการเกี่ยวกับการนำก๊าซชนิดต่าง ๆ มาใช้สำหรับกระบวนการบรรจุผลิตภัณฑ์อาหารมากขึ้น เพื่อช่วยรักษาคุณภาพ และคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์อาหารนั้น ๆ ไว้ให้นานที่สุด ซึ่งเป็นการช่วยเพิ่มอายุการเก็บรักษาอาหารนั่นเอง กระบวนการบรรจุแบบ gas-flushing เป็นการบรรจุผลิตภัณฑ์ให้อยู่ภายใต้บรรยากาศของก๊าซชนิดใดชนิดหนึ่ง เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หรือก๊าซไนโตรเจน โดยการพ่นก๊าซชนิดที่ต้องการเข้าไปแทนที่อากาศภายในภาชนะบรรจุ ซึ่งเป็นวิธีการหนึ่งที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งใช้สำหรับไล่ก๊าซออกซิเจนในภาชนะบรรจุผลิตภัณฑ์ที่ไวต่อปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation reaction) เช่น อาหารที่มีไขมันมาก น้ำผลไม้ เป็นต้น ก๊าซที่ใช้สำหรับพ่นเข้าไปแทนที่อากาศภายในภาชนะบรรจุสามารถมีหลายชนิดด้วยกัน เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซไนโตรเจน (N_2) ก๊าซออกซิเจน (O_2) เป็นต้น แต่ก๊าซที่นิยมใช้กันมากที่สุดในระบบ gas flushing ในอุตสาหกรรมอาหาร

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

คือ ก๊าซไนโตรเจน เนื่องจากเป็นก๊าซที่มีคุณสมบัติเป็นก๊าซที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส และไม่เป็นพิษ จึงสามารถใช้ได้กับผลิตภัณฑ์อาหารทุกชนิด เป็นก๊าซเฉื่อยต่อปฏิกิริยาเคมี จึงมักใช้ในการแทนที่ก๊าซออกซิเจน เพื่อป้องกันการกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันและน้ำมัน หรือปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในอาหาร ไม่เกิดการระเบิดและปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม ละลายในน้ำและไขมันได้น้อยมาก จึงสามารถพ่นฟองก๊าซไนโตรเจนผ่านเข้าไปยังวัตถุดิบ หรือผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลว เช่น น้ำมันโดยก๊าซไนโตรเจนจะเข้าไปห่อหุ้มโมเลกุลของน้ำมัน ทำให้สามารถลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และการเหม็นหืนได้ การพ่นก๊าซไนโตรเจนเข้าไปเพื่อไล่อากาศในภาชนะบรรจุของผลิตภัณฑ์อาหารจำพวกมันฝรั่งทอด และขนมขบเคี้ยวต่างๆ เป็นขั้นตอนหนึ่งที่ช่วยให้ผู้ผลิตสามารถยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ได้นานยิ่งขึ้น (ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว, 2548)

ก๊าซไนโตรเจนถูกนำมาใช้แทนที่อากาศในการเก็บรักษาเมล็ดธัญพืชเพื่อปรับสภาวะอากาศไม่ให้เอื้อกับการเจริญของแมลง เนื่องจากแมลงและไข่แมลงต้องการออกซิเจนเพื่อการฟักไข่เจริญเติบโต ทำให้เก็บเมล็ดธัญพืชได้นานขึ้น โดยก๊าซไนโตรเจนไม่ทำปฏิกิริยากับเมล็ดธัญพืชและไม่เพิ่มความชื้นระหว่างการเก็บรักษา

2.10 คุณภาพของเมล็ดข้าวสาร

ข้าวสารมีสตาร์ชเป็นส่วนประกอบหลัก และสตาร์ชนี้ประกอบด้วยอะมิโลสและอะมิโลเพคตินในสัดส่วนต่างๆกันขึ้นอยู่กับชนิดของข้าวทำให้ข้าวมีลักษณะในการหุงต้ม และคุณภาพในการกินต่างกันไป ตลอดจนมีผลต่อคุณค่าทางอาหาร (อรอนงค์, 2547) คุณสมบัติภายนอกของเมล็ดที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าหรือ ชั่ง ตวง วัด ได้เช่น น้ำหนักเมล็ด รูปร่างเมล็ด ลักษณะท้องไข่ ความใสขุ่นของข้าวสาร คุณภาพการสี รวมไปถึงความชื้นของเมล็ดข้าวเป็นคุณภาพทางกายภาพของเมล็ดข้าว ส่วนคุณภาพทางเคมีของเมล็ดข้าว ได้แก่ ชนิดและปริมาณ อะมิโลส โปรตีน ไขมัน กลิ่นหอมซึ่งมีผลต่อคุณภาพการหุงต้ม โดยมีผลทำให้ข้าวสุกนั้น นุ่ม เหนียว หรือร่วนขึ้นหม้อและมีผลต่อการนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ (วิสุฉี, 2546) คุณภาพอีกหนึ่งคุณภาพที่สำคัญซึ่งมีความสำคัญต่อการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภค คือ คุณภาพการหุงต้มเพราะความชอบของแต่ละคนแตกต่างกันโดยข้าวแต่ละพันธุ์จะมีคุณภาพการหุงต้มและการรับประทานแตกต่างกัน เนื่องจากส่วนของเอนโดสเปิร์ม (endosperm) มีแป้งอยู่เป็นองค์ประกอบหลักประมาณร้อยละ 90 โดยน้ำหนักแห้ง นอกจากนี้ปัจจัยที่ทำให้เมล็ดข้าวมีคุณสมบัติการหุงต้ม

122971

ที่แตกต่างกัน ได้แก่ ความคงตัวของแป้งสุก อุณหภูมิในการเกิดเจล การยึดตัวของเมล็ดข้าวสุก คุณสมบัติทางด้านความหนืดเป็นต้น (Henry and Rettlewell, 1996)

2.11 การเสื่อมเสียคุณภาพของข้าวสาร

ปัจจุบันข้าวขาวดอกมะลิเป็นข้าวสารบรรจุถุงที่ผู้บริโภคนิยมสูงสุด มีราคาค่อนข้างสูง ผู้บริโภคเป็นกลุ่มที่มีฐานะดี กำลังซื้อสูง จึงให้ความสำคัญกับคุณภาพของข้าวเป็นอันดับแรก ผู้ประกอบการที่ผลิตข้าวสารบรรจุถุงส่วนใหญ่ประสบปัญหาเรื่องมอดแมลงซึ่งทำให้ข้าวสารเกิดความเสียหายระหว่างการเก็บรักษาจนถึงมือผู้บริโภค เมื่อผู้บริโภคพบข้าวสารที่มีมอดแมลงปะปนอยู่จะเกิดความไม่เชื่อมั่นในสินค้าและไม่ยอมรับสินค้านั้นทำให้เกิดร้องเรียนและเปลี่ยนคืนสินค้าเป็นจำนวนมาก ความเสียหายส่วนใหญ่ที่พบเกิดจากการโดยแมลงศัตรูข้าวสารทำให้คุณภาพของข้าวสารลดลง มีการปนเปื้อนของแมลงศัตรูข้าวทั้งที่มีชีวิตและไม่มีชีวิต ซึ่งไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ผู้ประกอบการจึงต้องหาวิธีป้องกันและกำจัดแมลงศัตรูข้าวสารเพื่อป้องกันความสูญเสียที่จะเกิดขึ้น

การเก็บรักษาข้าวสารที่ดีมีความสำคัญมากต่อคุณภาพของข้าวสาร ซึ่งการเสื่อมเสียของข้าวสารในระหว่างการเก็บรักษามีสาเหตุจากปัจจัย 2 ประการ คือ ปัจจัยทางกายภาพ ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นของอากาศและเมล็ด และปัจจัยทางชีวภาพ ได้แก่ แมลง ไร เชื้อรา นก หนู ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ทำให้เกิดความเสียหายทั้งในด้านปริมาณและด้านคุณภาพ ในด้านปริมาณเป็นการสูญเสียน้ำหนักของข้าว เช่น น้ำหนักลดลงหรือหายไปเนื่องจากถูกแมลงกัดกินและทำลาย ส่วนในด้านคุณภาพจะเกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพหรือทางเคมีของข้าว เช่น คุณค่าทางโภชนาการลดลง กลิ่นหอม รสชาติเปลี่ยนไปหรือเกิดสารพิษเนื่องจากเชื้อ (ราชาฟียะห์, 2552)

บทที่ 3

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 วัตถุดิบและเครื่องมือ

3.1.1 วัตถุดิบ

3.1.1.1 ข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ (jasmine rice) วันที่เก็บเกี่ยว วันที่ 25 สิงหาคม พ.ศ. 2553 วันที่ขัดสี วันที่ 28 กันยายน พ.ศ. 2553 เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

3.1.2 เครื่องมือ

3.1.2.1 ถุงพลาสติก (NYL15+LLDPE120) ความหนารวม 135 ไมครอน อัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนเท่ากับ 8.10 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน อัตราการซึมผ่านของไอน้ำเท่ากับ 1.84 กรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน

3.1.2.2 เครื่องวัดปริมาณก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Gas analyzer, PBI Densensor, Japan)

3.1.2.3 เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture analyzer, xT2i, England)

3.1.2.4 เครื่องวัดความชื้น (Moisture analyzer, MG53, Germany)

3.1.2.5 เครื่องชั่งน้ำหนัก 2 ตำแหน่ง (Analyzer balance, Vibra, Japan)

3.1.2.6 เครื่องวัดความขาว (Whiteness tester, MM1B, Japan)

3.1.2.7 หม้อหุงข้าวขนาด 1 ลิตร (Phillips, HD4743, China)

3.1.2.8 เครื่องผสมก๊าซ (Gas mixer, GSM-3, USA)

3.1.2.9 เครื่องวัดค่าสี (Spectrophotometer, 22 RS, USA)

3.1.2.10 เครื่องบรรจุสุญญากาศ (Vacuum Pack, KVP-420T, Taiwan)

3.1.3 สารเคมี

3.1.3.1 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) (Pack Air Co.,Ltd, Thailand)

3.1.3.2 ก๊าซไนโตรเจน (N_2) (Pack Air Co.,Ltd, Thailand)

3.1.3.3 เมทิลโบรไมด์ (methyl bromide) (SGT Co.,Ltd, Thailand)

3.2 วิธีดำเนินการทดลอง

3.2.1 ศึกษาผลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนต่อการรอดชีวิตของแมลงศัตรูข้าวสาร

นำข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ (ความชื้นร้อยละ 12-14) บรรจุใส่ถุงพลาสติก (NYL15+LLDPE120) จำนวน 1 กิโลกรัมต่อถุง จากนั้นทำการดูดอากาศภายในถุงออกก่อนทำการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจน โดยแบ่งออกเป็น 6 ชุดทดลอง ดังนี้ (ภาพที่ 3.1)

ชุดทดลองที่ 1 ชุดควบคุมไม่เติมก๊าซ

ชุดทดลองที่ 2 เติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ : ก๊าซไนโตรเจน ร้อยละ 100 : 0

ชุดทดลองที่ 3 เติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ : ก๊าซไนโตรเจน ร้อยละ 75 : 25

ชุดทดลองที่ 4 เติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ : ก๊าซไนโตรเจน ร้อยละ 50 : 50

ชุดทดลองที่ 5 เติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ : ก๊าซไนโตรเจน ร้อยละ 25 : 75

ชุดทดลองที่ 6 เติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ : ก๊าซไนโตรเจน ร้อยละ 0 : 100

เมื่อเติมก๊าซเรียบร้อยแล้วจึงทำการปิดปากถุงด้วยเครื่องปิดผนึกความร้อน โดยให้ต่ำกว่าปากถุง 50 มิลลิเมตร เก็บรักษาในสถานที่อุณหภูมิห้องนาน 60 วัน โดยมีข้าวที่ไม่เติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนเป็นตัวควบคุม โดยทำการทดลอง 5 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอดโดยสมบูรณ์ (Complete Randomized Design, CRD) ทำการเก็บผลการทดลองที่ 0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 และ 60 วัน โดยระหว่างการเก็บรักษาให้ทำการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงดังนี้

3.2.1.1 ตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนที่อยู่ภายในถุง โดยใช้เครื่องวัดปริมาณก๊าซ (gas analyzer)

3.2.1.2 ตรวจนับจำนวนแมลงศัตรูข้าวสารตัวเต็มวัยทั้งที่มีชีวิตและไม่มีชีวิตทั้งหมดด้วยสายตา (ชนันทร และคณะ, 2541)

3.2.1.3 ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สถานที่เก็บตัวอย่างระหว่างการเก็บรักษาทุก 5 วัน

3.2.2 ศึกษาผลของการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าวสารระหว่างการเก็บรักษา

นำข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ (ความชื้นร้อยละ 12-14) บรรจุใส่ถุงพลาสติก (NYL15+LLDPE120) จำนวน 1 กิโลกรัมต่อถุง จากนั้นทำการดูดอากาศภายในถุงออกทั้งหมดก่อนทำการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนที่สามารถควบคุมแมลงศัตรูข้าวสารได้ดีที่สุดที่ได้จากการศึกษาข้อ 3.2.1 โดยมีถุงที่ไม่เติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนเป็นตัวควบคุมการเกิดของแมลงศัตรูข้าวและการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าว และมีถุงที่ใช้สารเมทิลโบรไมด์ในการรมยา (ภาคผนวก ช.) เป็นตัวเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดแมลงศัตรูข้าวสาร นำไปเก็บในสถานที่อุณหภูมิห้องและเก็บในอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 3.2) จากนั้นทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านเคมีและกายภาพของข้าวสารระหว่างการเก็บรักษา 60 วัน โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ แบบสุ่มตลอดโดยสมบูรณ์ (Complete Randomized Design, CRD) ทำการเก็บผลการทดลองที่ 0 15 30 45 และ 60 วัน ตามรายการดังต่อไปนี้

3.2.2.1 ตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนที่อยู่ภายในถุง โดยใช้เครื่องวัดปริมาณก๊าซ (gas analyzer)

3.2.2.2 ตรวจนับจำนวนแมลงศัตรูข้าวสารตัวเต็มวัยทั้งที่มีชีวิตและไม่มีชีวิตทั้งหมดด้วยสายตา (ชนันทร และคณะ, 2541)

3.2.2.3 วิเคราะห์ความชื้นด้วยเครื่องวิเคราะห์ความชื้น (moisture analyzer) (ภาคผนวก ก.)

3.2.2.4 วิเคราะห์ความขาวของข้าวสารโดยใช้เครื่องวัดความขาว (whiteness tester) (ภาคผนวก ข.)

3.2.2.5 วิเคราะห์ปริมาณอะมิโลสของข้าวสาร โดยใช้เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (spectrophotometer) ที่ช่วงความยาว 620 นาโนเมตร (งามชื่น, 2545) (ภาคผนวก ค.)

3.2.2.6 วิเคราะห์ความแข็งของข้าวด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (texture analyzer) โดยการสุ่มตัวอย่างข้าวที่ต้องการตรวจสอบมาจำนวน 30 กรัม ใส่ในกระบอกสแตนเลสเติมน้ำ 43 กรัม นำข้าวไปนึ่งในหม้อไฟฟ้า โดยใส่น้ำสำหรับนึ่งข้าวจำนวน 1000 มิลลิลิตร กดปุ่มทำงานพร้อมกับจับเวลา 35 นาที เมื่อหุงครบ 35

นาที นำข้าวใส่เครื่องวัดเนื้อสัมผัส โดยทำการวัดด้วยหัววัดทรงกระบอก (cylinder probe) (Phongthorn and Aluck, 2006) (ภาคผนวก ง.)

3.2.2.7 วิเคราะห์การดูดซึมน้ำของข้าว โดยการนำข้าวสารจำนวน 20 กรัม ใส่ในกระบอกข้าว นำข้าวไปนึ่งในหม้อไฟฟ้า โดยใส่น้ำสำหรับนึ่งข้าวจำนวน 1000 มิลลิลิตร เมื่อใส่กระบอกข้าวไปแล้วให้กดปุ่มทำงานพร้อมกับจับเวลา 20 นาทีเมื่อหุงครบเวลา 20 นาทีนำข้าวขึ้นมาสะเด็ดน้ำทิ้งไว้นาน 10 นาที นำไปชั่งหาปริมาณน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (Daniels *et al.*, 1998) (ภาคผนวก จ.)

3.2.2.8 ทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส (sensory test) โดยใช้วิธี 9-Point hedonic scale test โดยทำการหุงข้าวโดยใช้ปริมาณข้าวและน้ำเท่ากันทุกครั้ง จากนั้นนำข้าวที่หุงสุกไปใช้ทดสอบชิม โดยใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 20 คน ทดสอบทางประสาทสัมผัสด้าน ความชอบโดยรวม ลักษณะเมล็ดข้าว สี กลิ่น รสชาติ ความนุ่มและความเหนียว (Athapol *et al.*, 2009) (ภาคผนวก ฉ.)

3.3 วิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนในการควบคุมแมลงศัตรูข้าวสารทั้งหมด และวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านต่างๆของข้าวสารระหว่างการเก็บรักษาโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป

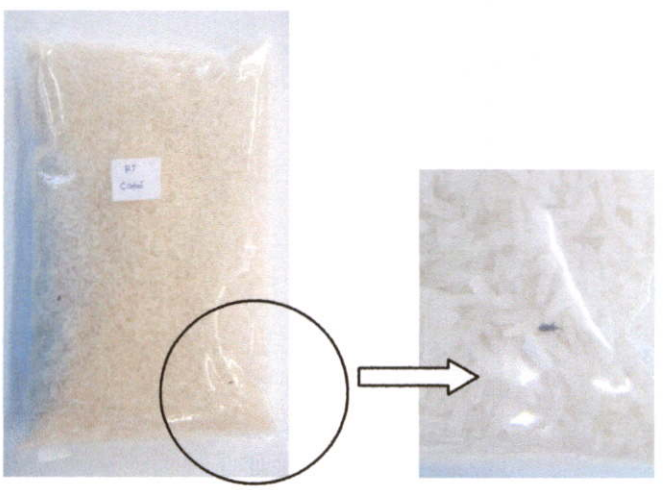
บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ผลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อก๊าซไนโตรเจน (CO_2:N_2) ต่อการรอดชีวิตของแมลงศัตรูข้าวสาร

4.1.1 ผลของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อก๊าซไนโตรเจน (CO_2:N_2) ต่อการรอดชีวิตของแมลงศัตรูข้าวสาร

จากการศึกษาผลของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อก๊าซไนโตรเจน (CO_2:N_2) ต่อการรอดชีวิตของแมลงศัตรูข้าวสาร ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (28±2 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70±5 เป็นเวลา 60 วัน พบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานาน 40 วัน ชุดควบคุม ซึ่งเป็นหน่วยการทดลองที่ไม่เติมก๊าซ มีแมลงศัตรูข้าวสารเกิดขึ้น (ภาพที่ 4.1) เนื่องจากในถุงข้าวของชุดควบคุม มีก๊าซออกซิเจน ซึ่งเป็นก๊าซที่แมลงศัตรูข้าวสารใช้เพื่อการฟักไข่และเจริญเติบโต โดยแมลงศัตรูข้าวสารที่เกิดขึ้นในชุดควบคุมมี 2 ชนิด คือ ด้วงงวงข้าว (Rice weevil) และมอดฟันเลื่อย (Saw – toothed grain beetle) (ภาพที่ 4.2) จำนวนเฉลี่ย 3-9 ตัวต่อถุง (ภาพที่ 4.2) ซึ่งตามมาตรฐานข้าวไทย พ.ศ. 2540 กำหนดให้ข้าวขาวร้อยละ 100 ชั้น 1 มีวัตถุอื่นๆ ซึ่งหมายถึง วัตถุอื่นๆที่ไม่ใช่ข้าวปนมาได้ไม่เกินร้อยละ 0 (กระทรวงพานิชย์, 2540)

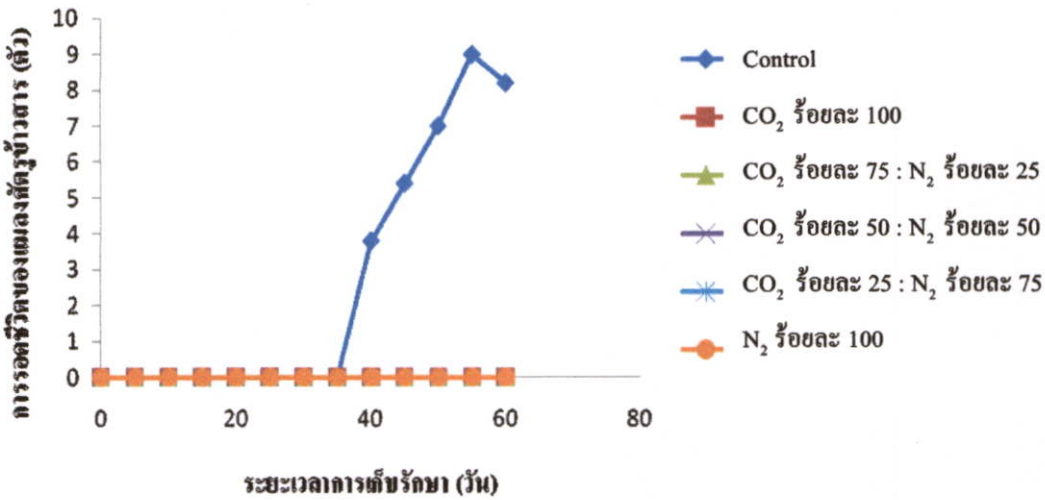


ภาพที่ 4.1 แสดงการเกิดด้วงงวงข้าว (Rice weevil) ในชุดควบคุมที่ไม่เติมก๊าซเมื่อทำการเก็บรักษานาน 40 วัน

ภาพที่ 4.2 ด้วงงวงข้าว (Rice weevil) ที่เกิดขึ้นระหว่างการเก็บรักษา

สำหรับหน่วยการทดลองที่เติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อก๊าซไนโตรเจน (CO_2:N_2) ที่อัตราส่วน 100:0 75:25 50:50 25:75 และ 0:100 ไม่พบว่ามีแมลงศัตรูข้าวสารเกิดขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ภาพที่ 4.3) เนื่องจากในถุงข้าวของหน่วยการทดลองที่มีการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจน ที่อัตราส่วนต่าง ๆนั้น ก๊าซทั้งสองชนิดเข้าไปแทนที่ก๊าซออกซิเจนทำให้ภายในถุงข้าวไม่มีก๊าซออกซิเจน ซึ่งเป็นสภาวะที่ไม่เหมาะต่อการเกิดและการเจริญของแมลงศัตรูข้าวสาร ซึ่งสอดคล้องกับ Press and Harein (1976) ที่พบว่าเมื่อการเก็บสินค้าหรือผลผลิตทางการเกษตรอยู่ในสภาพที่อากาศไม่สามารถผ่านเข้าออกได้ การหายใจของผลผลิตทางการเกษตรและแมลงที่เข้าทำลายจะทำให้ปริมาณก๊าซออกซิเจนที่อยู่ภายในภาชนะที่เก็บลดลงในขณะที่ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นจนถึงระดับที่มีผลทำให้แมลงไม่สามารถมีชีวิตรอดอยู่ได้ นอกจากนี้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ยังมีความเป็นพิษต่อแมลงศัตรูข้าวสารทุกชนิด ทุกเพศทุกวัย โดยความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงมีประสิทธิภาพทำให้แมลงเกิดการตายแบบเฉียบพลัน (Annis and Morton, 1996) การใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร่วมกับบรรจุภัณฑ์ที่มีอัตราการซึมผ่านของอากาศต่ำ จะทำให้ด้วงงวงข้าวตายได้อย่างสมบูรณ์ในระยะเวลาเพียง 2 วัน (กุลวิชญ์, 2552) Soderstrom และคณะ (1990) พบว่าการเก็บรักษาผลไม้ประเภทที่มีเมล็ดด้านในแข็ง (stone fruits) ในสภาพดัดแปลงบรรยากาศที่มีก๊าซออกซิเจนร้อยละ 0.5 และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 10 เป็นเวลานาน 2-3 วัน ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พบว่าสามารถควบคุมการเจริญของตัวเต็มวัยและไข่ของ Codling moth (*Cydia pomonella*) ได้และเมื่อเก็บรักษาที่ระยะเวลานานขึ้นจะควบคุมการควบคุมการเจริญของดักแด้ได้โดยไม่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงสีและความแน่นเนื้อของผลไม้ประเภทนี้เลย Nakakita and Kawashima (1994) รายงานว่าระหว่างการรมข้าวด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความดันสูง ก๊าซจะซึมเข้าสู่ร่างกาย

ของแมลงและเกิดการขยายตัว แต่เมื่อลดความดันสู่ระดับบรรยากาศอย่างรวดเร็ว ร่างกายแมลงจะเสียหายและตายในที่สุด ส่วนก๊าซไนโตรเจนจะถูกนำไปแทนที่ก๊าซออกซิเจนจึงทำให้แมลงไม่มีอากาศหายใจ สอดคล้องกับการศึกษาของ ปารียนันท์และคณะ (2554) ที่พบว่าการปล่อยก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 99.5 กับมอดแป้งในระยะไข่ ระยะดักแด้ ระยะหนอน ระยะตัวเต็มวัยจะทำให้มอดแป้งทั้ง 4 ระยะตายหมดร้อยละ 100 ในวันที่ 2

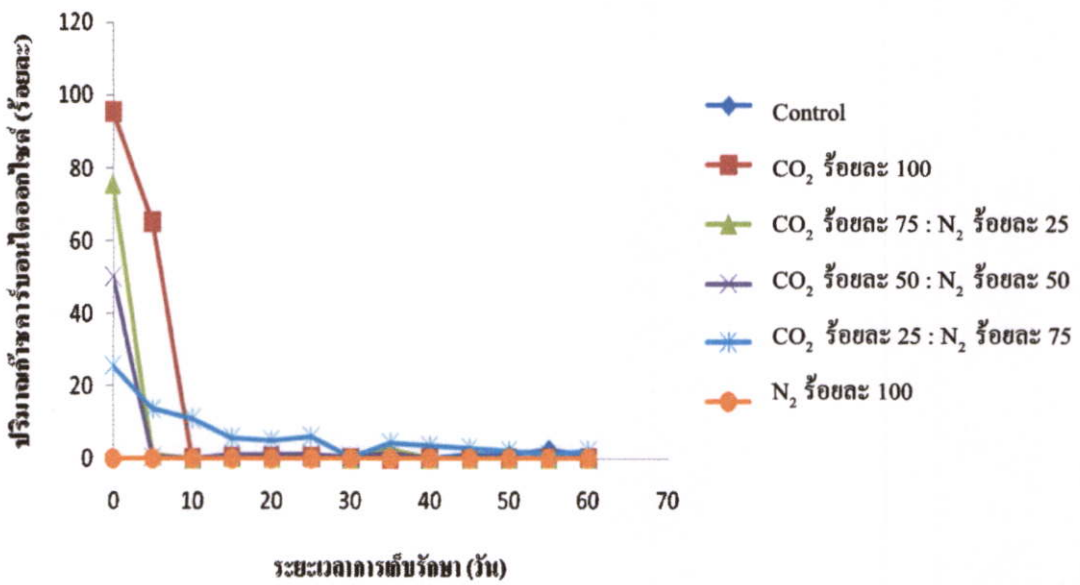


ภาพที่ 4.3 ผลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อก๊าซไนโตรเจน (CO_2:N_2) ต่อการรอดชีวิตของแมลงศัตรูข้าวสารระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

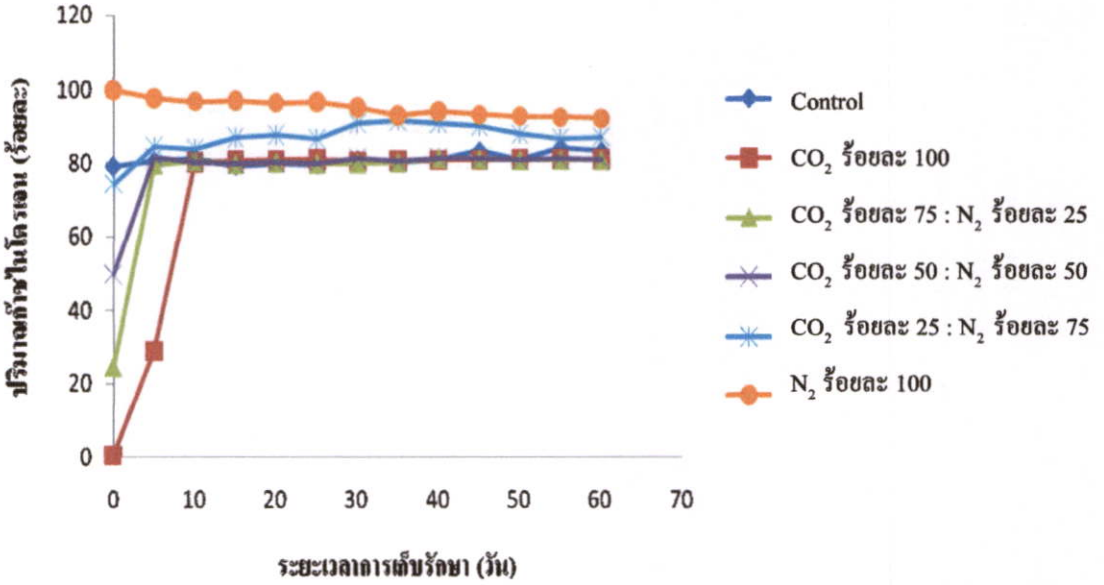
4.1.2 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อก๊าซไนโตรเจน (CO_2:N_2) ระหว่างการเก็บรักษา

การเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนภายในถุงบรรจุข้าวสาร ระหว่างการเก็บรักษาแสดงในภาพที่ 4.4 และ 4.5 พบว่า ชุดควบคุม (ไม่เติมก๊าซ) ช่วงระยะการเก็บรักษาเริ่มต้นมีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็น 0 แต่เมื่อเก็บรักษานานเกิน 40 วัน พบว่ามีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากมีแมลงศัตรูข้าวสารเกิดขึ้น ซึ่งแมลงเหล่านี้จะนำก๊าซออกซิเจนที่มีอยู่ภายในถุงมาใช้และปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาทำให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ช่วงหลังการเก็บรักษานาน 40 วัน มีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นอยู่ในช่วงร้อยละ 1-2 สำหรับชุดทดลองที่มีการเติมก๊าซ

คาร์บอนไดออกไซด์ต่อก๊าซไนโตรเจน ที่อัตราส่วนร้อยละ 100:0 พบว่า ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงอย่างรวดเร็ว ส่วนปริมาณก๊าซไนโตรเจนกลับเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษานาน 10 วัน หลังจากนั้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนจะเริ่มคงที่ ส่วนชุดทดลองที่มีการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อก๊าซไนโตรเจนที่อัตราส่วนร้อยละ 75:25 และ 50:50 ตามลำดับ พบว่า ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงอย่างรวดเร็วเช่นเดียวกันแต่ปริมาณก๊าซไนโตรเจนกลับเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษานาน 5 วัน หลังจากนั้นปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนจะเริ่มคงที่ ในขณะที่ชุดทดลองที่มีการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อก๊าซไนโตรเจนในอัตราส่วนร้อยละ 25:75 พบว่า ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงอย่างช้าๆเมื่อเก็บรักษานาน 30 วัน หลังจากนั้นปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะเริ่มคงที่ ส่วนปริมาณก๊าซไนโตรเจนไม่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ส่วนชุดทดลองที่มีการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อก๊าซไนโตรเจนที่อัตราส่วนร้อยละ0:100 พบว่า ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจน ไม่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา เนื่องจากระหว่างการเก็บรักษาภายหลังการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนทำให้เกิดสภาพดัดแปลงขึ้นภายใน



ภาพที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในถุงบรรจุระหว่างการเก็บรักษา



ภาพที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงของก๊าซไนโตรเจนภายในถุงบรรจุระหว่างการเก็บรักษา

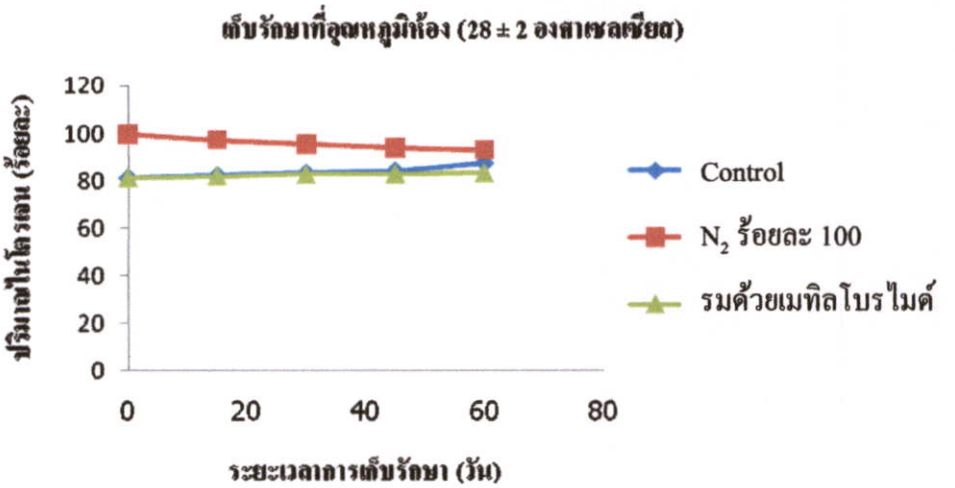
จากการศึกษาพบว่าปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อก๊าซไนโตรเจนในอัตราส่วนที่ต่างกัน มีผลต่อการรอดชีวิตของแมลงศัตรูข้าวสารทุกชนิด เนื่องจากแมลงศัตรูข้าวทุกชนิดไม่สามารถเกิดขึ้นได้ สอดคล้องกับ Press and Harein (1976) ปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หรือก๊าซไนโตรเจนเข้าไปแทนที่อากาศปกติอย่างต่อเนื่อง พบว่าการใช้ก๊าซทั้งสองชนิดมีผลทำให้มอดแป้ง (*Tribolium castaneum*) ตายหมดร้อยละ 100 ภายใน 2 วัน ส่วน Photchanachai และคณะ (2003) รายงานว่าเมื่อรมข้าวเปลือกที่มีความชื้นร้อยละ 10 ด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ร้อยละ 100 เป็นเวลา 5 วัน โดยเมล็ดที่ถูกรมและไม่ถูกรมจะถูกเก็บไว้ในบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิดและทำการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 30-35 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมผัสร้อยละ 65-80 เป็นเวลา 6 เดือน พบว่า เมล็ดพันธุ์ที่ไม่มีการรมด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะพบแมลงทำลายผลผลิตมากกว่าเมล็ดที่รมด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และ Delate (1990) พบว่าการเก็บรักษามันเทศในสภาพบรรยากาศดัดแปลงที่มีก๊าซออกซิเจนร้อยละ 2-4 และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 40-60 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จะสามารถควบคุมการเจริญของด้วงงวงมันเทศ (*Cylas foricarius elegantulus*) ที่เป็นแมลงศัตรูได้ภายใน 7 วัน ในการทดลองต่อไปจึงนำผลของการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อก๊าซไนโตรเจนในอัตราส่วน 0:100 ซึ่งมีประสิทธิภาพในการควบคุมแมลงศัตรูข้าวสารมาทำการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดแมลงศัตรูข้าวสารเปรียบเทียบกับการใช้

สารรมยา คือ เมทิลโบรไมด์ และทำการศึกษาผลของคุณภาพข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ ภายหลังการเก็บรักษาไว้เป็นระยะเวลานาน 60 วัน ภายใต้อุณหภูมิห้องและภายใต้การควบคุมอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เนื่องจากก๊าซไนโตรเจนเป็นก๊าซเฉื่อยไม่ทำปฏิกิริยากับอาหาร สามารถผลิตได้ด้วยเครื่องผลิตก๊าซไนโตรเจนทำให้ต้นทุนการผลิตมีราคาต่ำ อีกทั้งยังไม่ก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม

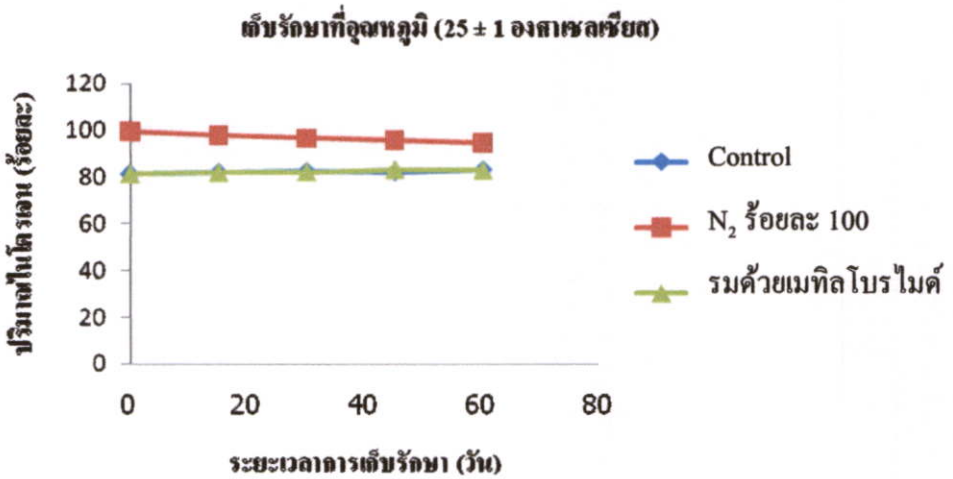
4.2 ผลของการใช้ก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 100 ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าวสารระหว่างการเก็บรักษา

4.2.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซไนโตรเจนในถุงข้าวระหว่างการเก็บรักษา

การเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซไนโตรเจนภายในถุงบรรจุข้าวสาร ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (28±2 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70±5 เป็นระยะเวลานาน 0-60 วัน พบว่า ปริมาณก๊าซไนโตรเจนภายในถุงบรรจุข้าว ในชุดควบคุมมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 87.47 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษานาน 30 45 และ 60 วัน (ภาพที่ 4.6) เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่า การเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซไนโตรเจนในชุดควบคุม ชุดก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 100 และชุดที่รมด้วยเมธิลโบรไมด์ระหว่างการเก็บรักษานาน 60 วัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบปริมาณก๊าซไนโตรเจนภายในถุงบรรจุข้าวชุดควบคุม ชุดก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 100 และชุดที่รมด้วยเมธิลโบรไมด์ พบว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.1) ส่วนชุดการทดลองที่เก็บรักษาอุณหภูมิ 25±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 54±2 มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 83.30 ในชุดควบคุมและมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 94.67 ในชุดก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 100 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของก๊าซไนโตรเจนเกิดขึ้นน้อยมาก (ภาพที่ 4.7) เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่า การเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซไนโตรเจนในชุดควบคุม ชุดก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 100 และชุดที่รมด้วยเมธิลโบรไมด์ระหว่างการเก็บรักษานาน 60 วัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบปริมาณก๊าซไนโตรเจนภายในถุงบรรจุข้าวชุดควบคุม ชุดก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 100 และชุดที่รมด้วยเมธิลโบรไมด์ พบว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.2) เนื่องจากก๊าซไนโตรเจนเป็นก๊าซเฉื่อยต่อปฏิกิริยาเคมี อีกทั้งถุงพลาสติกที่นำมาใช้ในการบรรจุข้าวสารสามารถป้องกันการซึมผ่านของก๊าซได้ดีจึงทำให้ก๊าซไนโตรเจนในถุงเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น



ภาพที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงของก๊าซไนโตรเจนระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (28±2 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70±5



ภาพที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงของก๊าซไนโตรเจนระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25±1 องศาเซลเซียสความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 54±2

ตารางที่ 4.1 ค่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาณก๊าซไนโตรเจนภายในถุงบรรจุข้าวสารหลังจากผ่านการเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 60 วัน ที่อุณหภูมิห้อง (28±2 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70±5

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	ปริมาณก๊าซไนโตรเจน (ร้อยละ)		
	ควบคุม (ไม่เติมก๊าซ)	เติมไนโตรเจน ร้อยละ100	รมด้วย เมทิลโบรไมด์
0	81.30±0.00^{b}	99.77±0.15^{a}	81.30±0.00^{b}
15	82.13±0.06^{b}	97.27±0.15^{a}	82.07±0.06^{b}
30	83.17±0.47^{b}	95.43±0.38^{a}	82.70±0.26^{b}
45	84.00±0.62^{b}	94.03±0.23^{a}	83.03±0.49^{b}
60	87.47±1.89^{b}	93.00±0.20^{a}	83.23±0.32^{c}

หมายเหตุ : ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวนอนแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ DMRT ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.2 ค่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาณก๊าซไนโตรเจนภายในถุงบรรจุข้าวสารหลังจากผ่านการเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 60 วัน ที่อุณหภูมิ 25±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 54±2

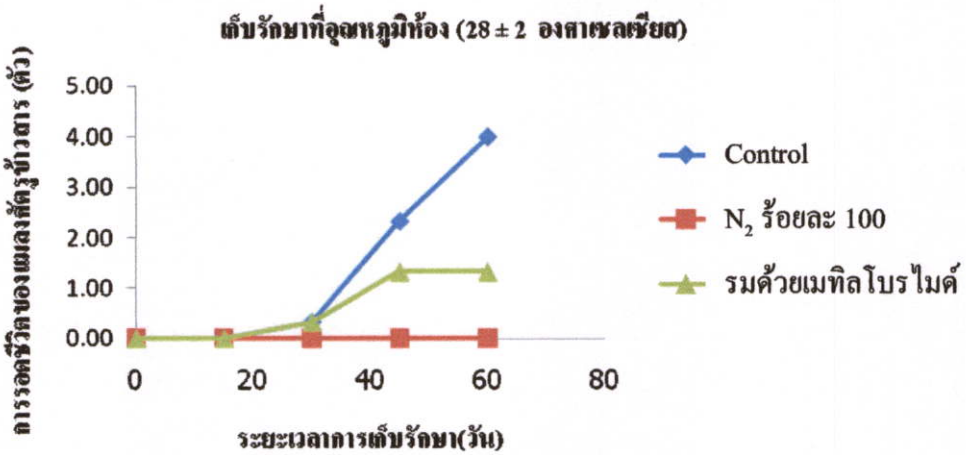
ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	ปริมาณก๊าซไนโตรเจน (ร้อยละ)		
	ควบคุม (ไม่เติมก๊าซ)	เติมไนโตรเจน ร้อยละ100	รมด้วย เมทิลโบรไมด์
0	81.4±0.06^{b}	99.5±0.36^{a}	81.33±0.06^{b}
15	82.13±0.40^{b}	97.93±0.21^{a}	82.07±0.12^{b}
30	82.57±0.55^{b}	96.63±0.25^{a}	82.33±0.06^{b}
45	82.60±0.10^{c}	95.87±0.25^{a}	83.17±0.45^{b}
60	83.30±0.26^{b}	94.67±0.67^{a}	83.20±0.26^{b}

หมายเหตุ : ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวนอนแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ DMRT ($p \leq 0.05$)

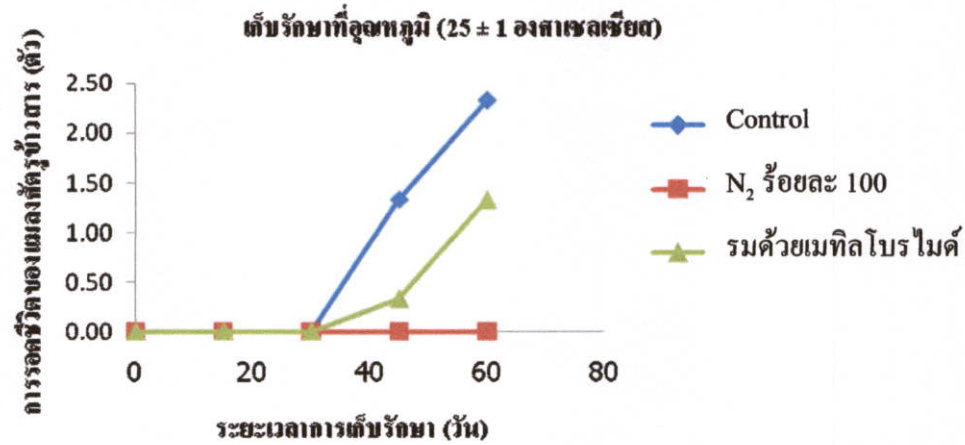
4.2.2 ผลของก๊าซไนโตรเจนต่อการรอดชีวิตของแมลงศัตรูข้าวสาร

ผลของปริมาณก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 100 ต่อการรอดชีวิตของแมลงศัตรูข้าวสาร ในระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 0-60 วัน พบว่าระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (28±2 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70±5 นาน 30 วัน ชุดควบคุมซึ่งเป็นหน่วยการทดลองที่ไม่เติมก๊าซมีแมลงศัตรูข้าวสารเกิดขึ้นและมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษานาน 45 และ 60 วัน เนื่องจากในถุงข้าวของชุดควบคุมมีก๊าซออกซิเจน ซึ่งเป็นก๊าซที่แมลงศัตรูข้าวสารใช้เพื่อการฟักไข่และเจริญเติบโต โดยแมลงศัตรูข้าวสารที่เกิดขึ้นในชุดควบคุม คือ ด้วงงวงข้าว (Rice weevil) เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดแมลงศัตรูข้าวสารระหว่างชุดทดลองก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 100 กับชุดทดลองที่รมด้วยเมทิลโบรไมด์ พบว่าชุดทดลองก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 100 ไม่มีแมลงศัตรูข้าวสารเกิดขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ภาพที่ 4.8) สอดคล้องกับการศึกษาของ ปารียนันท์ และคณะ (2554) ที่พบว่าก๊าซไนโตรเจนที่ความเข้มข้นร้อยละ 99.5 และ 99.9 มีประสิทธิภาพดีในการควบคุมมอดแป้งทุกระยะการเจริญเติบโต ซึ่งกระบวนการลดก๊าซออกซิเจนและเพิ่มปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หรือการเพิ่มปริมาณก๊าซไนโตรเจนในปริมาณเข้มข้นเป็นทางเลือกในการกำจัดแมลงในธัญพืชและผลไม้อบแห้ง (Adler *et al.*, 2000) ส่วนชุดทดลองที่รมด้วยเมทิลโบรไมด์มีแมลงศัตรูข้าวสารเกิดขึ้นเมื่อเก็บรักษานาน 0-60 วัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.3) โดยเมื่อเก็บรักษานาน 30 วัน เริ่มพบการรอดชีวิตของแมลงศัตรูข้าวสาร ซึ่งอาจเกิดการการรมยาที่ไม่ทั่วถึงทำให้ไข่ของแมลงศัตรูข้าวสารที่ติดอยู่กับข้าวสารไม่ถูกกำจัดทั้งหมด เช่นเดียวกับการเก็บรักษาข้าวสารบรรจุถุงที่อุณหภูมิ 25±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 54±2 เป็นเวลานาน 0-60 วัน (ภาพที่ 4.9) (ตารางที่ 4.4)

จากการเปรียบเทียบการรอดชีวิตของแมลงศัตรูข้าวสารระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลานาน 60 วัน ชุดทดลองก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 100 พบว่าอุณหภูมิในการเก็บรักษาไม่มีผลต่อการรอดชีวิตของแมลงศัตรูข้าวสาร



ภาพที่ 4.8 ผลของก๊าซไนโตรเจนต่อการรอดชีวิตของแมลงศัตรูข้าวสารระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (28±2 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70±5



ภาพที่ 4.9 ผลของก๊าซไนโตรเจนต่อการรอดชีวิตของแมลงศัตรูข้าวสารระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 54±2

ตารางที่ 4.3 การรอดชีวิตของแมลงศัตรูข้าวสารภายในถุงบรรจุข้าวสารหลังจากผ่านการเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 60 วันอุณหภูมิห้อง (28±2องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70±5

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	ปริมาณการรอดชีวิตของแมลงศัตรูข้าวสาร		
	ควบคุม (ไม่เติมก๊าซ)	เติมไนโตรเจนร้อยละ100	รมด้วยเมทิลโบรไมด์
0	0.00±0.00[d]	0.00±0.00[d]	0.00±0.00[d]
15	0.00±0.00[d]	0.00±0.00[d]	0.00±0.00[d]
30	0.00±0.58[d]	0.00±0.00[d]	0.00±0.58[d]
45	1.33±0.58[b]	0.00±0.00[d]	0.33±0.58[c]
60	2.33±1.0[a]	0.00±0.00[d]	1.33±0.58[c]

หมายเหตุ : ตัวอักษรกำกับต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ DMRT ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.4 การรอดชีวิตของแมลงศัตรูข้าวสารภายในถุงบรรจุข้าวสารหลังจากผ่านการเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 60 วัน ที่อุณหภูมิ 25±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 54±2

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	ปริมาณการรอดชีวิตของแมลงศัตรูข้าวสาร		
	ควบคุม (ไม่เติมก๊าซ)	เติมไนโตรเจนร้อยละ100	รมด้วยเมทิลโบรไมด์
0	0.00±0.00[d]	0.00±0.00[d]	0.00±0.00[d]
15	0.00±0.00[d]	0.00±0.00[d]	0.00±0.00[d]
30	0.33±0.00[d]	0.00±0.00[d]	0.33±0.00[d]
45	2.33±0.58[b]	0.00±0.00[d]	1.33±0.58[d]
60	4.00±0.58[b]	0.00±0.00[d]	1.30±0.50[c]

หมายเหตุ : ตัวอักษรกำกับต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ DMRT ($p \leq 0.05$)

4.3 ศึกษาผลของการใช้ไนโตรเจนร้อยละ 100 ในการควบคุมแมลงศัตรูข้าวสารต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าวสารระหว่างการเก็บรักษา

4.3.1 ความชื้นของข้าวสาร (moisture content)

จากการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของข้าวสาร ด้วยเครื่องวิเคราะห์ความชื้น (Moisture analyzer) ภายหลังทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (28±2 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70±5 เป็นระยะเวลา 0-60 วัน มีความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 12.64-13.60 พบว่าชุดควบคุมซึ่งเป็นหน่วยการทดลองที่ไม่เติมก๊าซมีความชื้นเพิ่มขึ้นเล็กน้อยระหว่างการเก็บรักษา เช่นเดียวกับชุดทดลองก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 100 ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนชุดการทดลองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 54±2 เป็นระยะเวลา 0-60 วัน มีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 12.57-13.29 ซึ่งเมื่อเก็บรักษานานขึ้นพบว่าความชื้นค่อนข้างคงที่และเมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่า ปริมาณความชื้นของทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.5 และ 4.6)

ความชื้นสามารถบ่งชี้ถึงอายุการเก็บรักษาของข้าวสารหรือบ่งบอกถึงความปลอดภัยในการเก็บรักษาให้ข้าวมีคุณภาพดี จากการทดลองพบว่าข้าวที่มีความชื้นสูงจะเสื่อมเสียเร็วกว่าข้าวที่มีความชื้นต่ำ ระดับความชื้นทั่วไปของข้าวที่ยอมรับว่าปลอดภัยต่อการเก็บรักษาข้าวที่เหมาะสม คือ ร้อยละ 13 (อรอนงค์, 2547) การทดลองนี้จึงศึกษาผลของก๊าซไนโตรเจนที่มีผลต่อความชื้นของข้าวสารระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (28±2 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70±5 และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 54±2 โดยผลของการศึกษาปริมาณความชื้นของข้าวสารภายหลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(28±2 องศาเซลเซียส) และที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีค่าใกล้เคียงกันและเพิ่มขึ้นเล็กน้อยระหว่างการเก็บรักษา เนื่องจากพลาสติกฟิล์มที่ใช้มีคุณสมบัติป้องกันการแพร่ผ่านของไอน้ำได้ดี โดยมีอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนเท่ากับ 8.10 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน อัตราการซึมผ่านของไอน้ำเท่ากับ 1.84 กรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน จึงทำให้สามารถเก็บรักษาความชื้นของข้าวสารได้ดี ทำให้ความชื้นของข้าวสารมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เช่นเดียวกับก๊าซไนโตรเจนที่มีคุณสมบัติเป็นก๊าซเฉื่อยจึงไม่ทำปฏิกิริยากับข้าวซึ่งทำให้ความชื้นของข้าวสารเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย

ตารางที่ 4.5 ค่าความชื้นของข้าวสารหลังจากผ่านการเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 60 วันที่อุณหภูมิห้อง (28±2 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70±5

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	ความชื้น (ร้อยละ)		
	ควบคุม (ไม่เติมก๊าซ)	เติมไนโตรเจน ร้อยละ100	รมด้วย เมทิลโบรไมด์
0	12.82±0.03^{ns}	12.66±0.19^{ns}	12.86±0.12^{ns}
15	12.94±0.14^{ns}	12.82±0.07^{ns}	12.99±0.46^{ns}
30	12.89±0.15^{ns}	12.64±0.26^{ns}	12.64±0.27^{ns}
45	13.08±0.14^{ns}	12.98±0.10^{ns}	12.98±0.02^{ns}
60	13.13±0.15^{b}	13.33±0.32^{ab}	13.60±0.44^{a}

หมายเหตุ : ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ DMRT ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.6 ค่าความชื้นของข้าวสารหลังจากผ่านการเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 60 ที่อุณหภูมิ 25±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 54±2

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	ความชื้น (ร้อยละ)		
	ควบคุม (ไม่เติมก๊าซ)	เติมไนโตรเจน ร้อยละ100	รมด้วย เมทิลโบรไมด์
0	12.80±0.20^{ns}	12.57±0.06^{ns}	12.86±0.09^{ns}
15	13.04±0.05^{ns}	12.93±0.06^{ns}	12.81±0.10^{ns}
30	12.80±0.04^{ns}	12.84±0.08^{ns}	12.97±0.06^{ns}
45	12.81±0.28^{ns}	12.76±0.14^{ns}	12.97±0.16^{ns}
60	13.08±0.08^{ns}	13.22±0.19^{ns}	13.29±0.45^{ns}

หมายเหตุ : ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ DMRT ($p \leq 0.05$)

4.3.2 ความขาว (whiteness)

จากการวิเคราะห์ค่าความขาวของข้าวสารระหว่างการเก็บรักษาด้วยเครื่องวัดความขาว (whiteness tester) พบว่าของชุดการทดลองควบคุม (ไม่เติมก๊าซ) เปรียบเทียบกับชุดการทดลองที่เติมไนโตรเจนร้อยละ 100 และชุดการทดลองที่รมด้วยเมทิลโบรไมด์ ภายหลังทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (28±2 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70±5 และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 54±2 เป็นระยะเวลานาน 0-60 วันพบว่า ชุดการทดลองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (28±2 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70±5 มีค่าความขาวอยู่ในช่วง 41.27-41.83 สำหรับชุดการทดลองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 54±2 มีค่าความขาวอยู่ในช่วง 40.73-42.63 และเมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่าค่าความขาวของทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.7 และ 4.8)

จากการศึกษาพบว่า การเปลี่ยนแปลงค่าสีที่เกิดขึ้นมีความแตกต่างกันน้อยมากเนื่องจากการเก็บรักษาข้าวสารที่ระยะเวลาสั้นจะไม่ทำให้ค่าความขาวของข้าวสารเปลี่ยนแปลงซึ่งสอดคล้องกับ ศจีและคณะ (2554) ที่พบว่าการเก็บรักษาข้าวสารพันธุ์หอมพิจิตรที่ระยะเวลาต่ำกว่า 3 เดือนในถุงพอลิพรอพิลีน (PP) และ Oriented (OPP) ผสมพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ไม่พบว่าความขาวมีค่าเปลี่ยนแปลง ($p \leq 0.05$) แต่เมื่อเก็บข้าวนานกว่า 3 เดือนค่าความขาวเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงและแตกต่าง ($p \leq 0.05$) และเนื่องจากข้าวสารมีความชื้นต่ำจึงทำให้การเปลี่ยนแปลงสีของข้าวสารมีน้อยมากซึ่งสอดคล้องกับ Indudhara Swamy และคณะ (1971) พบว่า การเก็บรักษาข้าวเปลือกในสภาพอุณหภูมิและความชื้นสูงจะทำให้สีของเมล็ดข้าวเปลี่ยนแปลงไปและยังสอดคล้องกับการรายงานของ Barber (1972) ที่พบว่า การเปลี่ยนสีของเมล็ดข้าวเกิดเนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างกรดอะมิโนอิสระกับแป้งภายในเมล็ดข้าว เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความชื้นและอุณหภูมิระหว่างการเก็บรักษา

ตารางที่ 4.7 ค่าความขาวของข้าวสารหลังจากผ่านการเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 60 วันที่อุณหภูมิห้อง (28±2 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70±5

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	ความขาว (ร้อยละ)		
	ควบคุม (ไม่เติมก๊าซ)	เติมไนโตรเจน ร้อยละ100	รมด้วย เมทิลโบรไมด์
0	41.83±0.06 ns	41.43±1.07 ns	41.27±0.25 ns
15	41.67±0.12 ns	41.60±0.30 ns	41.53±0.06 ns
30	41.53±0.32 ns	41.30±0.44 ns	41.30±0.52 ns
45	41.63±0.55 ns	41.83±0.40 ns	41.47±0.15 ns
60	41.50±0.36 ns	41.33±0.32 ns	41.40±0.26 ns

หมายเหตุ : ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ DMRT ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.8 ค่าความขาวของข้าวสารหลังจากผ่านการเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 60 ที่อุณหภูมิ 25±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 54±2

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	ความขาว (ร้อยละ)		
	ควบคุม (ไม่เติมก๊าซ)	เติมไนโตรเจน ร้อยละ100	รมด้วย เมทิลโบรไมด์
0	41.47±0.95 ns	40.73±0.61 ns	41.10±0.46 ns
15	42.13±0.21 ns	42.17±0.15 ns	41.93±0.12 ns
30	41.90±0.26 ns	42.03±0.81 ns	41.23±0.31 ns
45	41.27±0.38 ns	41.83±0.38 ns	41.57±0.40 ns
60	42.40±0.30 ns	42.63±0.31 ns	41.63±1.15 ns

หมายเหตุ : ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ DMRT ($p \leq 0.05$)

4.3.3 ปริมาณอะมิโลส (amylase content)

อะมิโลสเป็นสารที่มีความสำคัญต่อคุณภาพและเนื้อสัมผัสของข้าวสุก เนื่องจากปริมาณอะมิโลสเป็นสาเหตุที่ทำให้ข้าวสุกมีความเหนียวลดลงหรือร่วนมากขึ้น (Perdon *et al.*, 1999) จากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาณอะมิโลสของข้าวสารระหว่างการเก็บรักษาของชุดการทดลองควบคุม (ไม่เติมก๊าซ) เปรียบเทียบกับชุดการทดลองที่เติมไนโตรเจนร้อยละ 100 และชุดการทดลองที่รมด้วยเมทิลโบรไมด์ ภายหลังทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (28±2 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70±5 และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 54±2 เป็นระยะเวลานาน 0-60 วัน พบว่า ชุดการทดลองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (28±2 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70±5 มีปริมาณอะมิโลสอยู่ในช่วงร้อยละ 14.93-15.70 สำหรับชุดการทดลองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 54±2 มีปริมาณอะมิโลสอยู่ในช่วงร้อยละ 15.03-15.50 และเมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่า ปริมาณอะมิโลส ของทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.9 และ 4.10)

จากผลการศึกษาปริมาณอะมิโลสพบว่า ปริมาณอะมิโลสมีการเปลี่ยนแปลงไม่แตกต่างกัน เนื่องจากระยะเวลาที่เก็บรักษาข้าวสารนาน 0-60 วัน เป็นระยะเวลาการเก็บรักษาที่สั้นจึงไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณอะมิโลส เมื่อเก็บรักษาข้าวสารที่ระยะเวลาไม่นานจะทำให้ปริมาณอะมิโลสเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ส่วนอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาไม่ทำให้ปริมาณอะมิโลสแตกต่างกัน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของภัทรพร (2540) และพืชยา (2541) ที่รายงานว่าชนิดของฟิล์มพลาสติกและอุณหภูมิไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอะมิโลส เช่นเดียวกับเพลงพิณ (2541) ที่พบว่าปริมาณอะมิโลสของข้าวเปลือกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 7 เดือนในถุงพลาสติกพอลิพรอพิลีน (PP) หนา 70 ไมครอนไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ทั้งนี้ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิจัดเป็นข้าวกลุ่มอะมิโลสต่ำ มีปริมาณอะมิโลสอยู่ในช่วงร้อยละ 12-17 (งามชื่น, 2537) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยนี้ โดยคุณภาพของข้าวหุงสุกมีผลมาจากคุณสมบัติของสตาร์ชทั้งในส่วนอะมิโลสและอะมิโลเพกทินโดยมีผลต่อความนุ่ม ร่วนและการพองตัวของเมล็ดข้าวทำให้สามารถแบ่งประเภทคุณภาพข้าวหุงสุกได้ตามปริมาณอะมิโลส (อรอนงค์, 2547)

ตารางที่ 4.9 ปริมาณอะมิโลสของข้าวสารหลังจากผ่านการเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 60 วันที่อุณหภูมิห้อง (28±2 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70±5

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	ปริมาณอะมิโลส (ร้อยละ)		
	ควบคุม (ไม่เติมก๊าซ)	เติมไนโตรเจน ร้อยละ100	รมด้วย เมทิลโบรไมด์
0	15.50±0.44 ^{ns}	15.63±0.38 ^{ns}	15.70±0.10 ^{ns}
15	15.40±0.17 ^{a}	15.20±0.20 ^{ab}	14.93±0.15 ^{b}
30	15.33±0.15 ^{ns}	15.27±0.15 ^{ns}	15.10±0.10 ^{ns}
45	15.30±0.52 ^{ns}	15.20±0.20 ^{ns}	15.13±0.06 ^{ns}
60	15.27±0.06 ^{ns}	15.10±0.10 ^{ns}	15.13±0.06 ^{ns}

หมายเหตุ : ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ DMRT ($p \leq 0.05$)

ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวนอนแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ DMRT ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.10 ปริมาณอะมิโลสของข้าวสารหลังจากผ่านการเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 60 ที่อุณหภูมิ 25±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 54±2

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	ปริมาณอะมิโลส (ร้อยละ)		
	ควบคุม (ไม่เติมก๊าซ)	เติมไนโตรเจน ร้อยละ100	รมด้วย เมทิลโบรไมด์
0	15.23±0.25 ^{ns}	15.50±0.36 ^{ns}	15.43±0.45 ^{ns}
15	15.17±0.15 ^{ns}	15.23±0.25 ^{ns}	15.03±0.21 ^{ns}
30	15.27±0.06 ^{ns}	15.27±0.12 ^{ns}	15.17±0.06 ^{ns}
45	15.17±0.23 ^{ns}	15.10±0.20 ^{ns}	15.27±0.46 ^{ns}
60	15.17±0.06 ^{ns}	15.20±0.20 ^{ns}	15.17±0.21 ^{ns}

หมายเหตุ : ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ DMRT ($p \leq 0.05$)

4.3.4 ความแข็ง (hardness)

จากการวิเคราะห์หาการเปลี่ยนแปลงในด้านความแข็งของข้าวสารระหว่างการเก็บรักษาด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (texture analyzer) ของชุดการทดลองควบคุม (ไม่เติมก๊าซ) เปรียบเทียบกับชุดการทดลองที่เติมไนโตรเจนร้อยละ 100 และชุดการทดลองที่รมด้วยเมทิลโบรไมด์ ภายหลังทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (28±2 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70±5 และที่อุณหภูมิ 25±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 54±2 เป็นระยะเวลานาน 0-60 วันโดยเป็นการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความแข็งของข้าวสุกที่เปลี่ยนแปลง พบว่า ชุดการทดลองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (28±2 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70±5 มีค่าความแข็งอยู่ในช่วง 5.057-6.690 กิโลกรัม โดยชุดควบคุมมีความแข็งสูงกว่าชุดการทดลองที่เติมไนโตรเจนร้อยละ 100 และชุดการทดลองที่รมด้วยเมทิลโบรไมด์เล็กน้อยระหว่างการเก็บรักษา (ตารางที่ 4.11) สำหรับชุดการทดลองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 54±2 มีค่าความแข็งอยู่ในช่วง 5.178-6.381 กิโลกรัม และเมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่า ปริมาณค่าความแข็งของทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.12)

จากผลการทดลองพบว่า การรมด้วยก๊าซไนโตรเจนและทำการเก็บรักษาข้าวที่อุณหภูมิต่างกันเป็นระยะเวลานาน 0-60 วัน ทำให้ความแข็งของข้าวสารเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ซึ่งสอดคล้องกับ พัสกร (2545) ที่พบว่าความแข็งของข้าวจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเก็บรักษาข้าวสารเป็นระยะเวลานาน ซึ่งการศึกษาความแข็งของข้าวสารจากค่าการวัดความแข็งหรือความกระด้าง (Hardness) อ่านได้จากความสูงของพีคจากเส้นโค้งแรกของเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส Lyon และคณะ (2000) พบว่า ความแข็งของข้าวจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลายาวนาน โดยค่าความแข็งจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ซึ่งค่าความแข็งจะสัมพันธ์กับค่าอะมิโลสในทิศทางเดียวกัน (งามชื่น, 2545) สอดคล้องกับการศึกษาในครั้งนี้ที่พบว่าปริมาณอะมิโลสของข้าวระหว่างการเก็บรักษาไม่มีการเปลี่ยนแปลงและลักษณะเนื้อสัมผัสจึงไม่เปลี่ยนแปลง

ตารางที่ 4.11 ค่าความแข็งของข้าวสารหลังจากผ่านการเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 60 วันที่อุณหภูมิห้อง (28±2 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70±5

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	ความแข็ง (กิโลกรัม)		
	ควบคุม (ไม่เติมก๊าซ)	เติมไนโตรเจนร้อยละ100	รมด้วยเมทิลโบรไมด์
0	5.057±0.14 ^{ns}	5.270±0.31 ^{ns}	5.345±0.24 ^{ns}
15	5.716±0.20 ^{a}	5.584±0.32 ^{ab}	5.239±0.28 ^{b}
30	6.083±0.26 ^{a}	5.614±0.26 ^{b}	5.691±0.25 ^{ab}
45	6.253±0.15 ^{a}	5.979±0.38 ^{ab}	5.811±0.02 ^{b}
60	6.257±0.08 ^{ns}	6.690±0.16 ^{ns}	6.372±0.28 ^{ns}

หมายเหตุ : ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ DMRT ($p \leq 0.05$)

ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวนอนแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ DMRT ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.12 ค่าความแข็งของข้าวสารหลังจากผ่านการเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 60 ที่อุณหภูมิ 25±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 54±2

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	ความแข็ง (กิโลกรัม)		
	ควบคุม (ไม่เติมก๊าซ)	เติมไนโตรเจนร้อยละ100	รมด้วยเมทิลโบรไมด์
0	5.220±0.17 ^{ns}	5.441±0.33 ^{ns}	5.365±0.33 ^{ns}
15	5.178±0.43 ^{ns}	5.190±0.34 ^{ns}	5.516±0.42 ^{ns}
30	5.436±0.31 ^{ns}	5.557±0.05 ^{ns}	5.539±0.14 ^{ns}
45	6.072±0.36 ^{ns}	5.923±0.03 ^{ns}	6.006±0.32 ^{ns}
60	6.381±0.21 ^{ns}	6.154±0.12 ^{ns}	6.255±0.09 ^{ns}

หมายเหตุ : ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ DMRT ($p \leq 0.05$)

4.3.5 การดูดซึมน้ำของข้าวระหว่างการหุงต้ม (water absorption)

จากการศึกษาการดูดซึมน้ำของข้าวสารระหว่างการเก็บรักษาของชุดการทดลองควบคุม (ไม่เติมก๊าซ) เปรียบเทียบกับชุดการทดลองที่เติมไนโตรเจนร้อยละ 100 และชุดการทดลองที่รมด้วยเมทิลโบรไมด์ ภายหลังทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (28±2 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70±5 และที่อุณหภูมิ 25±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 54±2 เป็นระยะเวลานาน 0-60 วันพบว่า ชุดการทดลองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (28±2 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70±5 มีการดูดซึมน้ำอยู่ในช่วง 1.35-1.40 สำหรับชุดการทดลองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 54±2 มีการดูดซึมน้ำอยู่ในช่วง 1.32-1.38 และเมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่า การดูดซึมน้ำของข้าวระหว่างการหุงต้มชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.13 และ 4.14) ปกติแล้วค่าการดูดซึมน้ำของข้าวจะสัมพันธ์กับปริมาณอะมิโลส เนื่องจากปริมาณอะมิโลสมีความสัมพันธ์กับค่าความคงตัวของแป้งสุก และระยะเวลาที่ใช้ในการหุงข้าวสุก หากปริมาณอะมิโลสเพิ่มขึ้นจะทำให้ความคงตัวของแป้งสุกเพิ่มขึ้นและใช้ระยะเวลาในการหุงข้าวสุกเพิ่มขึ้น (พรนิภา, 2549) ซึ่งจากการทดลองปริมาณอะมิโลสของข้าวระหว่างการเก็บรักษาไม่เปลี่ยนแปลงจึงทำให้ค่าการดูดซึมน้ำไม่เปลี่ยนแปลงเช่นกัน

ตารางที่ 4.13 การดูดซึมน้ำของข้าวสารหลังจากผ่านการเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 60 วันที่อุณหภูมิห้อง (28±2 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70±5

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)		
	ควบคุม (ไม่เติมก๊าซ)	เติมไนโตรเจน ร้อยละ100	รมด้วย เมทิลโบรไมด์
0	1.38±0.02^{ns}	1.40±0.04^{ns}	1.36±0.05^{ns}
15	1.40±0.02^{ns}	1.37±0.06^{ns}	1.36±0.06^{ns}
30	1.37±0.05^{ns}	1.37±0.06^{ns}	1.35±0.05^{ns}
45	1.39±0.05^{ns}	1.37±0.05^{ns}	1.37±0.06^{ns}
60	1.37±0.02^{ns}	1.36±0.05^{ns}	1.37±0.06^{ns}

หมายเหตุ : ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ DMRT ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.14 การดูดซึมน้ำของข้าวสารหลังจากผ่านการเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 60 ที่ อุณหภูมิ 25±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 54±2

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)		
	ควบคุม (ไม่เติมก๊าซ)	เติมไนโตรเจน ร้อยละ100	รมด้วย เมทิลโบรไมด์
0	1.38±0.05 ns	1.32±0.02 ns	1.34±0.05 ns
15	1.37±0.03 ns	1.38±0.06 ns	1.38±0.05 ns
30	1.37±0.02 ns	1.36±0.05 ns	1.36±0.06 ns
45	1.36±0.03 ns	1.36±0.04 ns	1.36±0.04 ns
60	1.38±0.05 ns	1.37±0.06 ns	1.36±0.04 ns

หมายเหตุ : ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ DMRT ($p \leq 0.05$)

4.3.6 การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าว (sensory test)

การทดสอบความพึงพอใจของผู้บริโภคของข้าวสารระหว่างการเก็บรักษาของชุดการทดลองควบคุม (ไม่เติมก๊าซ) เปรียบเทียบกับชุดการทดลองที่เติมไนโตรเจนร้อยละ 100 และชุดการทดลองที่รมด้วยเมทิลโบรไมด์ ภายหลังทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (28±2 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70±5 และที่อุณหภูมิ 25±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 54±2 เป็นระยะเวลานาน 0-60 วันโดยใช้แบบประเมินความชอบ 9-Points hedonic scale โดยลักษณะของข้าวหุงสุกที่ให้ผู้ชิมประเมินคือ ความชอบโดยรวม ลักษณะของเมล็ดข้าว สี กลิ่น รสชาติ ความนุ่ม และความเหนียว

จากการศึกษาความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อชุดการทดลองควบคุม(ไม่เติมก๊าซ) เปรียบเทียบกับชุดการทดลองที่เติมไนโตรเจนร้อยละ 100 และชุดการทดลองที่รมด้วยเมทิลโบรไมด์ ภายหลังทำการเก็บรักษาอุณหภูมิห้อง (28±2 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70±5 พบว่าการเก็บรักษาข้าวสารที่ระยะเวลา 0-15 วันผู้ทดสอบมีความพึงพอใจต่อความชอบโดยรวม สี กลิ่น รสชาติ และความนุ่มของข้าวหุงสุกแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และเมื่อทำการเก็บรักษานาน 15-60 วัน พบว่าผู้ทดสอบมีความพึงพอใจต่อความชอบโดยรวม ลักษณะของเมล็ดข้าว สี กลิ่น รสชาติ ความนุ่ม และความเหนียว ของข้าวหุงสุกไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.15 4.17 4.19 4.21 4.23

4.25 และ 4.27) ส่วนความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อชุดการทดลองควบคุม(ไม่เติมก๊าซ) เปรียบเทียบกับชุดการทดลองที่เติมไนโตรเจนร้อยละ 100 และชุดการทดลองที่รมด้วยเมทิลโบรไมด์ ภายหลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 54±2 พบว่าหลังการเก็บรักษาที่ระยะเวลานาน 0-15 วัน ผู้ทดสอบมีความพึงพอใจต่อความชอบโดยรวม ลักษณะของเมล็ดข้าว สี กลิ่น รสชาติ ความนุ่มและความเหนียวของข้าวหุงสุกแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และเมื่อทำการเก็บรักษานาน 15-60 วัน พบว่าผู้ทดสอบมีความพึงพอใจต่อความชอบโดยรวม ลักษณะของเมล็ดข้าว สี กลิ่น รสชาติ ความนุ่มและความเหนียว ของข้าวหุงสุกไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.16 4.18 4.120 4.22 4.24 4.26 และ 4.28) ซึ่งจากการใช้ก๊าซไนโตรเจนในการรมและการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างกัน พบว่า คุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวสารไม่แตกต่างกันมาก เนื่องจากระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บรักษาเป็นเพียงระยะเวลาสั้นๆ คือ 60 วันหรือ 2 เดือน ซึ่งเป็นระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษาโดยไม่ทำให้คุณภาพของข้าวเปลี่ยนแปลง ซึ่งสอดคล้องกับ ไพจิตร และคณะ(2528) ที่พบว่าการเก็บรักษาข้าวสารในถุงพลาสติกสุญญากาศช่วยรักษาคุณภาพข้าวได้ดีที่สุด การเก็บในถุงพลาสติกธรรมดาเหมาะสมสำหรับการขายปลีกซึ่งอยู่ในช่วงสั้นและไม่ควรเก็บรักษานานเกิน 3 เดือน

ค่าของคุณภาพทางประสาทสัมผัสที่ทำการประเมินโดยผู้ทดสอบชิม พบว่าผู้ทดสอบชิมส่วนใหญ่ให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ ในระดับชอบเล็กน้อย (ช่วงคะแนน 6-7 คะแนน)

ตารางที่ 4.15 แสดงคะแนนความชอบโดยรวมของข้าวหุงสุกหลังจากผ่านการเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 60 วันที่ อุณหภูมิห้อง (28±2 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70±5

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	ความชอบโดยรวม		
	ควบคุม (ไม่เติมก๊าซ)	เติมไนโตรเจนร้อยละ100	รมด้วยเมทิลโบรไมด์
0	6.15±1.69 ^{ns}	6.30±1.87 ^{ns}	6.80±1.54 ^{ns}
15	6.55±1.32 ^{a}	5.90±1.74 ^{ab}	5.55±1.79 ^{b}
30	6.65±1.04 ^{ns}	6.45±1.19 ^{ns}	6.35±1.14 ^{ns}
45	7.05±0.71 ^{ns}	6.80±1.01 ^{ns}	6.75±0.91 ^{ns}
60	6.60±0.68 ^{ns}	6.50±1.10 ^{ns}	6.30±1.13 ^{ns}

หมายเหตุ : ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ DMRT ($p \leq 0.05$)

ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวนอนแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ DMRT ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.16 แสดงคะแนนความชอบโดยรวมของข้าวหุงสุกหลังจากผ่านการเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 60 วันที่ อุณหภูมิ 25±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 54±2

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	ความชอบโดยรวม		
	ควบคุม (ไม่เติมก๊าซ)	เติมไนโตรเจนร้อยละ100	รมด้วยเมทิลโบรไมด์
0	6.25±1.77 ^{ns}	6.55±1.61 ^{ns}	6.40±1.54 ^{ns}
15	6.90±1.97 ^{a}	5.80±1.70 ^{bc}	5.15±1.50 ^{c}
30	5.80±1.28 ^{ns}	6.40±0.99 ^{ns}	6.15±1.14 ^{ns}
45	6.75±0.97 ^{ns}	6.50±0.89 ^{ns}	6.35±1.31 ^{ns}
60	6.10±1.37 ^{ns}	6.85±1.23 ^{ns}	7.00±1.17 ^{ns}

หมายเหตุ : ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ DMRT ($p \leq 0.05$)

ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวนอนแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ DMRT ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.17 แสดงคะแนนลักษณะของเมล็ดข้าวของข้าวหุงสุกหลังจากผ่านการเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 60 วันที่ อุณหภูมิห้อง (28±2 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70±5

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	ลักษณะของเมล็ดข้าว		
	ควบคุม (ไม่เติมก๊าซ)	เติมไนโตรเจนร้อยละ100	รมด้วยเมทิลโบรไมด์
0	6.75±1.25 ns	6.65±1.14 ns	7.10±1.29 ns
15	6.55±1.32 ns	6.35±1.50 ns	6.15±1.46 ns
30	6.95±0.94 ns	6.75±1.21 ns	6.70±1.26 ns
45	6.75±1.25 ns	6.80±1.01 ns	6.50±1.19 ns
60	6.70±0.92 ns	6.75±1.07 ns	6.65±0.99 ns

หมายเหตุ : ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ DMRT ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.18 แสดงคะแนนลักษณะของเมล็ดข้าวของข้าวหุงสุกหลังจากผ่านการเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 60 วัน ที่ อุณหภูมิ 25±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 54±2

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	ลักษณะของเมล็ดข้าว		
	ควบคุม (ไม่เติมก๊าซ)	เติมไนโตรเจนร้อยละ100	รมด้วยเมทิลโบรไมด์
0	6.40±1.31 ns	6.90±1.02 ns	6.25±1.37 ns
15	7.05±1.23 a	5.80±1.70 c	6.05±1.19 bc
30	7.00±0.73 ns	6.95±0.89 ns	6.45±1.64 ns
45	6.60±1.31 ns	6.80±1.11 ns	6.55±1.36 ns
60	6.15±1.35 b	6.80±1.20 ab	7.10±0.72 a

หมายเหตุ : ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ DMRT ($p \leq 0.05$)

ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวนอนแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ DMRT ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.19 แสดงคะแนนด้านสีของข้าวหุงสุกหลังจากผ่านการเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 60 วัน ที่อุณหภูมิห้อง (28±2 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70±5

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	สี		
	ควบคุม (ไม่เติมก๊าซ)	เติมไนโตรเจน ร้อยละ100	รมด้วย เมทิลโบรไมด์
0	7.10±0.94 ns	6.90±0.72 ns	7.25±0.85 ns
15	6.50±0.94 ab	6.50±0.95 a	6.30±0.98 b
30	6.65±0.9 ns	6.65±0.83 ns	6.65±1.04 ns
45	6.50±1.36 b	6.60±1.19 ab	6.65±1.09 a
60	6.70±0.88 ns	6.85±0.67 ns	6.75±0.72 ns

หมายเหตุ : ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ DMRT ($p \leq 0.05$)

ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวนอนแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ DMRT ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.20 แสดงคะแนนด้านสีของข้าวหุงสุกหลังจากผ่านการเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 60 วัน ที่อุณหภูมิ 25±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 54±2

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	สี		
	ควบคุม (ไม่เติมก๊าซ)	เติมไนโตรเจน ร้อยละ100	รมด้วย เมทิลโบรไมด์
0	7.00±0.86 ns	6.80±0.95 ns	6.70±1.04 ns
15	7.05±1.19 a	6.15±1.27 b	6.20±1.23 b
30	6.60±1.47 ns	6.95±0.94 ns	6.90±0.85 ns
45	6.75±1.11 ns	6.85±0.88 ns	6.50±1.47 ns
60	6.40±0.94 ns	7.10±0.91 ns	7.20±0.77 ns

หมายเหตุ : ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ DMRT ($p \leq 0.05$)

ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวนอนแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ DMRT ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.21 แสดงคะแนนด้านกลิ่นข้าวหุงสุกหลังจากผ่านการเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 60 วัน ที่อุณหภูมิห้อง (28±2 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70±5

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	กลิ่น		
	ควบคุม (ไม่เติมก๊าซ)	เติมไนโตรเจนร้อยละ100	รมด้วยเมทิลโบรไมด์
0	5.75±1.55 ns	5.65±1.46 ns	6.20±1.32 ns
15	5.90±1.33 ns	5.85±1.50 ns	5.75±1.25 ns
30	6.65±1.14 ns	6.65±1.09 ns	6.55±1.05 ns
45	6.00±1.38 ns	6.00±1.41 ns	6.25±1.16 ns
60	6.70±0.80 ns	6.85±0.67 ns	6.60±0.94 ns

หมายเหตุ : ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ DMRT ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.22 แสดงคะแนนด้านกลิ่นข้าวหุงสุกหลังจากผ่านการเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 60 วัน ที่อุณหภูมิ 25±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 54±2

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	กลิ่น		
	ควบคุม (ไม่เติมก๊าซ)	เติมไนโตรเจนร้อยละ100	รมด้วยเมทิลโบรไมด์
0	6.20±1.36 ns	6.30±1.63 ns	6.05±1.57 ns
15	6.75±1.37 a	5.40±1.96 c	5.45±1.61 bc
30	6.45±1.23 ns	6.60±0.88 ns	6.55±1.10 ns
45	6.40±1.50 ns	6.30±1.13 ns	6.00±1.59 ns
60	6.35±0.93 ns	7.10±0.97 ns	7.25±0.79 ns

หมายเหตุ : ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ DMRT ($p \leq 0.05$)

ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวนอนแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ DMRT ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.23 แสดงคะแนนด้านรสชาติของข้าวหุงสุกหลังจากผ่านการเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 60 วัน ที่อุณหภูมิห้อง (28±2 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70±5

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	รสชาติ		
	ควบคุม (ไม่เติมก๊าซ)	เติมไนโตรเจนร้อยละ100	รมด้วยเมทิลโบรไมด์
0	5.80±1.67^{ns}	6.15±1.57^{ns}	6.65±1.42^{ns}
15	6.60±0.94^{a}	6.05±1.73^{ab}	5.50±1.50^{b}
30	6.40±1.39^{ns}	6.05±1.28^{ns}	6.45±1.10^{ns}
45	6.40±1.14^{ns}	6.40±1.19^{ns}	6.45±1.10^{ns}
60	6.40±1.10^{ns}	6.20±1.28^{ns}	5.85±1.73^{ns}

หมายเหตุ : ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ DMRT ($p \leq 0.05$)

ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวนอนแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ DMRT ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.24 แสดงคะแนนด้านรสชาติของข้าวหุงสุกหลังจากผ่านการเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 60 วัน ที่อุณหภูมิ 25±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 54±2

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	รสชาติ		
	ควบคุม (ไม่เติมก๊าซ)	เติมไนโตรเจนร้อยละ100	รมด้วยเมทิลโบรไมด์
0	6.55±1.39^{ns}	6.30±1.63^{ns}	6.45±1.32^{ns}
15	6.95±1.70^{a}	5.30±1.78^{ab}	5.25±1.52^{b}
30	5.70±1.53^{ns}	6.10±1.37^{ns}	5.95±1.28^{ns}
45	6.60±1.23^{ns}	6.40±1.27^{ns}	6.10±1.29^{ns}
60	5.75±1.25^{a}	6.85±1.31^{ab}	6.75±1.52^{b}

หมายเหตุ : ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ DMRT ($p \leq 0.05$)

ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวนอนแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ DMRT ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.25 แสดงคะแนนด้านความนุ่มของข้าวหุงสุกหลังจากผ่านการเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 60 วัน ที่อุณหภูมิห้อง (28±2 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70±5

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	ความนุ่ม		
	ควบคุม (ไม่เติมก๊าซ)	เติมไนโตรเจน ร้อยละ100	รมด้วย เมทิลโบรไมด์
0	6.35±1.35 ^{ns}	6.25±1.86 ^{ns}	6.85±1.27 ^{ns}
15	6.45±1.10 ^{a}	6.05±1.43 ^{ab}	5.20±1.79 ^{b}
30	6.05±1.32 ^{ns}	6.15±0.99 ^{ns}	6.10±1.25 ^{ns}
45	6.40±1.14 ^{ns}	6.15±1.42 ^{ns}	6.15±1.14 ^{ns}
60	5.95±1.64 ^{ns}	6.05±1.61 ^{ns}	5.65±1.87 ^{ns}

หมายเหตุ : ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ DMRT ($p \leq 0.05$)

ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวนอนแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ DMRT ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.26 แสดงคะแนนด้านความนุ่มของข้าวหุงสุกหลังจากผ่านการเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 60 วัน ที่อุณหภูมิ 25±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 54±2

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	ความนุ่ม		
	ควบคุม (ไม่เติมก๊าซ)	เติมไนโตรเจน ร้อยละ100	รมด้วย เมทิลโบรไมด์
0	6.05±1.79 ^{ns}	6.10±1.77 ^{ns}	6.20±1.51 ^{ns}
15	7.10±1.55 ^{a}	5.55±1.73 ^{bc}	4.95±1.61 ^{c}
30	5.80±1.40 ^{ns}	5.90±1.45 ^{ns}	6.30±0.80 ^{ns}
45	6.55±0.10 ^{ns}	6.60±1.39 ^{ns}	5.90±1.37 ^{ns}
60	5.80±1.64 ^{ns}	6.80±1.67 ^{ns}	6.30±1.75 ^{ns}

หมายเหตุ : ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ DMRT ($p \leq 0.05$)

ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวนอนแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ DMRT ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.27 แสดงคะแนนด้านความเหนียวข้าวหุงสุกหลังจากผ่านการเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 60 วัน ที่อุณหภูมิห้อง (28±2 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70±5

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	ความเหนียว		
	ควบคุม (ไม่เติมก๊าซ)	เติมไนโตรเจนร้อยละ100	รมด้วยเมทิลโบรไมด์
0	5.90±2.22 [b]	6.20±1.36 [b]	7.25±1.16 [a]
15	6.05±1.43 [ns]	5.90±1.68 [ns]	5.50±1.64 [ns]
30	5.95±1.36 [ns]	6.25±0.97 [ns]	6.00±1.49 [ns]
45	6.00±1.45 [ns]	6.00±1.59 [ns]	6.05±1.10 [ns]
60	5.65±1.69 [ns]	5.55±1.76 [ns]	5.30±1.72 [ns]

หมายเหตุ : ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ DMRT ($p \leq 0.05$)

ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวนอนแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ DMRT ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.28 แสดงคะแนนด้านความเหนียวของข้าวหุงสุกหลังจากผ่านการเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 60 วัน ที่อุณหภูมิ 25±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 54±2

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	ความเหนียว		
	ควบคุม (ไม่เติมก๊าซ)	เติมไนโตรเจนร้อยละ100	รมด้วยเมทิลโบรไมด์
0	6.65±1.69 [ns]	6.80±0.89 [ns]	6.60±1.47 [ns]
15	7.15±1.46 [a]	5.75±1.45c [bc]	5.15±1.79 [c]
30	5.60±1.42 [ns]	6.00±1.49 [ns]	6.10±0.97 [ns]
45	6.25±1.07 [ns]	6.45±1.28 [ns]	5.80±1.20 [ns]
60	5.30±1.66 [b]	6.40±1.70 [a]	6.20±1.70 [ab]

หมายเหตุ : ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ DMRT ($p \leq 0.05$)

ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวนอนแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ DMRT ($p \leq 0.05$)

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

การศึกษาผลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อก๊าซไนโตรเจน (CO_2:N_2) ต่อการรอดชีวิตของแมลงศัตรูข้าวสาร พบว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อก๊าซไนโตรเจน (CO_2:N_2) ที่อัตราส่วน 100:0 75:25 50:50 25:75 และ 0:100 ไม่พบว่ามีแมลงศัตรูข้าวสารเกิดขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ซึ่งจากการศึกษาพบว่าก๊าซไนโตรเจนเป็นก๊าซเฉื่อยไม่ทำปฏิกิริยากับอาหาร สามารถผลิตได้ด้วยเครื่องผลิตก๊าซไนโตรเจนทำให้ต้นทุนการผลิตมีราคาต่ำ อีกทั้งยังไม่ก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม จึงนำผลของการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อก๊าซไนโตรเจนในอัตราส่วน 0:100 ซึ่งมีประสิทธิภาพในการควบคุมแมลงศัตรูข้าวสารมาทำการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดแมลงศัตรูข้าวสารเปรียบเทียบกับการใช้สารรมยา คือ เมทิลโบรไมด์ และทำการศึกษาผลของคุณภาพข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ ภายหลังการเก็บรักษาไว้เป็นระยะเวลานาน 60 วัน ภายใต้อุณหภูมิห้องและภายใต้การควบคุมอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

จากการศึกษาผลของการใช้ก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 100 ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าวสารระหว่างการเก็บรักษาการศึกษาผลของการใช้ก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 100 ในการควบคุมแมลงศัตรูข้าวสารต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าวสารทางด้านเคมี กายภาพและการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (28±2 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70±5 และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25±1 องศาเซลเซียสความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 54±2 เป็นระยะเวลา 60 วัน พบว่า อุณหภูมิในการเก็บรักษาที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าวสารทางด้านเคมี กายภาพและการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวสารบรรจุถุงและเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดแมลงศัตรูข้าวสารกับชุดทดลองที่รมด้วยเมทิลโบรไมด์ พบว่าชุดทดลองที่รมด้วยเมทิลโบรไมด์ มีแมลงศัตรูข้าวสารเกิดขึ้นเมื่อเก็บรักษานาน 60 วัน และจากการเปรียบเทียบการรอดชีวิตของแมลงศัตรูข้าวสารระหว่างการเก็บรักษานาน 60 วัน ชุดทดลองก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 100 พบว่าอุณหภูมิในการเก็บรักษาไม่มีผลต่อการรอดชีวิตของแมลงศัตรูข้าวสาร

ข้อเสนอแนะ

การใช้ก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 100 มีผลต่อการรอดชีวิตของแมลงศัตรูข้าวสารทำให้แมลงศัตรูข้าวสารไม่สามารถเกิดและเจริญเติบโตขึ้นได้ ไม่ก่อให้เกิดสารพิษตกค้างต่อร่างกายและสิ่งแวดล้อม มีประสิทธิภาพในการควบคุมการเกิดของแมลงศัตรูข้าวสารได้ จึงทำให้สามารถเก็บรักษาข้าวสารได้เป็นระยะเวลายาวนานโดยไม่ทำให้ข้าวสารเกิดความเสียหาย อีกทั้งลักษณะของการบรรจุยังช่วยป้องกันไม่ให้เมล็ดข้าวสารเกิดการแตกหักระหว่างการขนส่งและการจัดเก็บ เนื่องจากภายในถุงมีก๊าซไนโตรเจนในปริมาณมากจากการศึกษาข้อมูลความปลอดภัยต่อคนและสิ่งแวดล้อม พบว่าการใช้เมทิลโบรไมด์เป็นสารรมยาอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของผู้ใช้และอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมได้เนื่องจากเมทิลโบรไมด์เป็นก๊าซพิษ การสูดดมหรือซึมเข้าทางผิวหนังจะอันตรายที่เกิดขึ้นนั้นมีตั้งแต่เกิดอาการคลื่นไส้อาเจียน อาจทำให้หมดสติ ชักและตายภายใน 30 นาที อีกทั้งยังเป็นสารทำลายชั้นบรรยากาศโอโซน ส่วนการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในการรมหากผู้ใช้หายใจเอาก๊าซนี้เข้าไปในปริมาณมากๆ จะเกิดอาการคลื่นไส้ อาเจียน เบื่ออาหาร อ่อนเพลียหรืออาจถึงขั้นหมดสติ ส่วนการใช้ก๊าซไนโตรเจนในการรมพบว่าอันตรายที่เกิดขึ้นน้อยกว่าการใช้เมทิลโบร์ไมด์หรือการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพราะก๊าซไนโตรเจนเป็นก๊าซเฉื่อยต่อปฏิกิริยาเคมีจึงไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ มีมากในชั้นบรรยากาศของโลก ไม่เกิดการระเบิด นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเนื่องจากไม่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกับผลิตภัณฑ์ มีต้นทุนการผลิตที่ต่ำซึ่งสามารถช่วยลดต้นทุนในการผลิตสินค้าข้าวสารบรรจุถุงได้

การเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนในถุงข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิทุกอัตราส่วน สามารถควบคุมและกำจัดแมลงศัตรูข้าวสารซึ่งสามารถนำมาใช้ในการต่อยอดเชิงพานิชย์โดยเฉพาะในอุตสาหกรรม ข้าวออร์แกนิคหรือข้าวปลอดสารพิษ และควรทำการศึกษาการใช้ก๊าซไนโตรเจนในการควบคุมและกำจัดแมลงศัตรูข้าวสารในบรรจุภัณฑ์ที่มีขนาดใหญ่ขึ้นปริมาณข้าวมากขึ้นและการเก็บรักษาที่ระยะเวลานานขึ้นเพื่อยืนยันประสิทธิภาพในการป้องกันกำจัดแมลงศัตรูข้าวสารและการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าวสาร

บรรณานุกรม

กระทรวงพานิชย์. 2540. มาตรฐานข้าวไทย ประกาศกระทรวงพานิชย์ เรื่อง มาตรฐานสินค้าข้าว พ.ศ. 2540. ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 114 ตอนที่ 31 ง.

กรมวิชาการเกษตร. 2550. การควบคุมแมลงศัตรูผลผลิตเกษตร. น. 12-13 ในเอกสารประกอบการอบรมการควบคุมแมลงศัตรูผลผลิต. กองกีฏและสัตววิทยา กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

กิตติยา กิจควรดี, บุษรา จันทร์แก้วมณี, กัญญา เชื้อพันธุ์, งามชื่น คงเสรีและจารุวรรณ บางแวก. 2547. คุณภาพและการตรวจสอบ. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ,กรุงเทพฯ.

กุลวิชญ์ พานิชกุล. 2552. ผลของฟิลม์พลาสติกชนิดต่างๆและปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการเจริญเติบโตและการทำลายของด้วงงวงข้าว *Sitophilus oryzae* (L.) บนข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

กุสุมา นวลวัฒน์, พรทิพย์ วิสารทานนท์, บุษรา จันทร์แก้วมณี, ใจทิพย์ อุไรชื่น, รังสิมา เก่งการพานิช, กรรณิการ์ เพ็งคุ้มและจิราภรณ์ ทองพันธุ์. 2548. แมลงศัตรูข้าวเปลือกและการป้องกันกำจัด. กลุ่มวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

เครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข. 2536. คุณภาพเมล็ดข้าวทางกายภาพและการแปรสภาพเมล็ด. น. 1-53. ในเอกสารประกอบการบรรยายฝึกอบรมหลักสูตรวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว ณ ศูนย์วิจัยข้าวพัทลุง ฝ่ายฝึกอบรมสถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

งามชื่น คงเสรี. 2537. ศักยภาพพันธุ์ข้าวไทยสู่การแปรรูป. น. 7-15. ในเอกสารประกอบการบรรยายศักยภาพข้าวไทยทิศทางใหม่สู่อุตสาหกรรม. การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 32, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.

งามชื่น คงเสรี. 2545. ปัจจัยคุณภาพของข้าวสารและข้าวสวย. น. 13-18. ในการอบรมหลักสูตรหลักและวิธีการวิเคราะห์คุณภาพข้าว. . ณ ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. วันที่ 29-31 กรกฎาคม 2545.

งามทิพย์ ภู่วโรดม. 2550. การบรรจุอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 1. โรงพิมพ์เอส.พี.เอ็ม, กรุงเทพฯ.

ชนันทร โครตนาวัง, ทรงศิลป์ พจน์ชนะชัยและชูวิทย์ ศุขปราการ. 2541. ผลของคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการรอดชีวิตของด้วงงวงข้าวโพด (*Sitophilus zeamais*

Mostschulsky) และคุณภาพของเมล็ดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในระหว่างการเก็บรักษา. วารสารวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี. 21:59-70.

ชูวิทย์ ศุขปราการ และ บุษรา พรหมสถิต. 2538. แมลง-สัตว์ศัตรูพืชและการป้องกันกำจัด. กองกีฏและสัตววิทยา กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

ซาฟียะห์ สะอะ. 2552. การใช้สมุนไพรเพื่อควบคุมแมลงรบกวนในข้าวกล้องหอมมะลิ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

บริษัท บางซื่อโรงสีไฟเจียเม้ง จำกัด. 2008. รายงานข้อมูลการใช้บรรจุภัณฑ์ประจำปี 2551. เอกสารประกอบการรายงานการใช้บรรจุภัณฑ์. บริษัท บางซื่อโรงสีไฟเจียเม้ง จำกัด. กรุงเทพฯ.

บุษรา จันทร์แก้วมณี. 2543. การจัดการแมลงศัตรูข้าวหลังการเก็บเกี่ยว. เอกสารประกอบการอบรมคุณภาพและการตรวจสอบข้าวหอมมะลิไทย กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

ปารียนันท์ กมลสวัสดิ์, ชาตรี วัจฉละญาณ, นรินทร์ เชี่ยวชายณรงค์, สัมฤทธิ์ แซ่เจียง, ใจทิพย์ อุไรชื่นและจำลอง ลภาสาธุกุล. 2554. การศึกษาประสิทธิภาพของก๊าซไนโตรเจนในการควบคุมมอดแป้งที่ทำลายข้าวหลังการเก็บเกี่ยว. สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลผลิตเกษตร กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

พีชยา จิระธรรมกิจกุล. 2541. ผลของสภาวะการเก็บรักษาต่อคุณภาพข้าวกล้อง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรสาสตร์, กรุงเทพฯ.

พรนิภา ชัยวงศ์. 2549. ผลของสภาพบรรยากาศดัดแปลงและบรรจุภัณฑ์ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพข้าวกล้องพันธ์ขาวดอกมะลิ 105. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

พัสกร เจียตระกูล. 2545. ถังเก็บอุณหภูมิต่ำสำหรับข้าวขาวดอกมะลิ 105. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

เพลงพิณ ศิวาพรรักษ์. 2541. ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณอะมิโลส คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.

ไพจิตร จันทรวงศ์, วีระศักดิ์ อนัมบุตรและวิไลศรี ลิมปพะยอม. 2528. การเก็บรักษาข้าวสารและข้าวกล้องระยะยาว. วารสารวิชาการเกษตร 3:85-88.

ภัทรพร ธัญญาวินิชกุล. 2540. ผลของภาชนะบรรจุและสภาพการเก็บรักษาต่อคุณภาพของข้าวสาร. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรสาสตร์, กรุงเทพฯ.

วิสุณี อยู่วัฒนา. 2546. ผลของอายุการเก็บเกี่ยวและวิธีการเก็บเกี่ยวต่อการสูญเสียผลผลิตและคุณภาพของข้าวขาวดอกมะลิ 105. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ศจี สุวรรณศรี, ปุณฑริกา รัตนตรัยวงศ์, ปริตา ธนุสุกาญจน์, ณัฐิมา ปัญจมาภิรมย์และศิรินันท์ แกล้วทนงค์. 2554. ผลของระยะเวลาการเก็บต่อคุณภาพทางเคมีกายภาพของข้าวหอมพิจิตรในบรรจุภัณฑ์ทางการค้า 2 ชนิด. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 42:396-399.

สมศรี สุวรรณจรัส, สุวภี ภัทรวิมล, พรทพย์ วิสารทานนท์, รังสิมา เก่งการพานิช, ใจทิพย์ อุไรชื่น, ยุวลักษณ์ ขอประเสริฐ, เสริมศักดิ์ หงส์นาค, อวยชัย สมิตะสิริ, ชูศักดิ์ ว่องวิชชกร, อัจฉรา ทองภูและจำลอง ลภาสาธุกุล . 2540. คู่มือฝึกอบรมวิธีและการใช้สารทดแทนเมทิลโบรไมด์. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

อรอนงค์ นัยวิกุล. 2547. ข้าว:วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

บริษัท ปทุมไรซมิลแอนแกรนารี จำกัด (มหาชน). 2553. การตลาดและภาวการณ์แข่งขัน. [Online]. เข้าถึงได้จาก : http://www.patumrice.com/aboutus/chart03_th.asp. 2553

ศูนย์อัจฉริยะเพื่ออุตสาหกรรมอาหาร. 2551. อุตสาหกรรมข้าวและผลิตภัณฑ์แปรรูป. [Online]. เข้าถึงได้จาก : http://fic.nfi.or.th/th/thaifood/product52-rice.asp

ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว. 2548. GAS กับความสดใหม่ของอาหาร. [Online]. เข้าถึงได้จาก : http://www.phtnet.org/article/view-article.asp?aID=22

สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว. 2555. องค์ความรู้เรื่องข้าว. [Online]. เข้าถึงได้จาก : http://www.brrd.in.th/rkb/postharvest/index.php-file=content.php&id=5.htm

Adler, C., H. G. Corinth., C. Rejchmuth. 2000. Modified Atmospheres In Subramanvam. Alternatives to Presticides in Stored Product IPM. Academic publishers. MA. USA. pp. 105-146.

Annis, P.C. and R. Morton. 1996. The acute mortality effects of carbon dioxide on various life stages of *Sitophilus oryzae*. Journal of Stored or Products Research. 33:115-124.

Athapol, N., S. Porntip., U. Jaitip and A. Imran. 2009. Effects of pressurized carbon dioxide on controlling *Sitophilus zeamais* (Coleoptera:Curculionidae) and the quality of milled rice. Journal of Stored Products Research. 45:201-205.

Barber, S. 1972. Milled rice and changes during rice. In: D. F. Houston(ed), Rice: Chemistry and Technology. American Association of Cereal Chemistry and Technology. American Association of Cereal Chemists, St, Paul, MN, 215 pp.

Dalin, G., Y. Xiaoping., Q. Zhanggui., Y. Longde., Y. Zili and J. Tianke. 2007. Using carbon dioxide to enhance the efficacy of phosphine fumigation. FTIC Ltd. Pubishing, Israel. 485-492

Daniel, M. J., B. P. Marks., T. J. Siebenmorgen., R. W. Mcnew and J. F. Meullenet. 1998. Effect of long-grain rough rice storge history on end-use quality. Journal of Food Science. 63:832-835

Delate, K. 1990. Controlled atmosphere treatments for control of sweetpotato weevil in stored tropical sweetpotatoes. Journal Economic. Entomology. 83:461-465

Henry, R.J., and P.S. Rettlewell. 1996. Cereal Grain Quality. Chapman and Hall, Inc., London. 488 pp.

Indudhara Swamy. Y. M., S. Z. Ali. and K. R. Bhattacharya. 1971. Relationship of moisture content and temperature to discoloration of rice during storage. Journal of Food Science and Technology 8:150-152.

Lyon, B. G., E. T. Champagne., B. T. Vinyard. and W. R. Windham. 2000. Sensory and instrumentral re;ationships of cooked rice from selected cultivars and postharvest handling practice. Cereal Chemistry. 77:64-69.

Nakakita, H. and K. kawashima. 1994, A new method to control stroed-product insects using carbon dioxide with high pressure followed by sudden pressure loss in stored product protection, proceedings of the 6 th. International Working Conference on Stored-Protection, Canberra, Australia, 126-129.

Perdon, AA., B. P. Mark., T. J. Siebenmorgan., P. W. Buescher. and E. E. Gbur. 1999. Starch retrogradation and texture of cooked milled rice during storage. Journal of Food Science 64:828-832.

Photchanachai. S. P. Boonyaritthongchai. and A. Uthairattananakij. 2003. Effect of carbon dioxide fumigation and packaging film on insect infestation and quality of paddy

seed cv. 'Khao Dok Mali'. Proceedings of the APEC symposium on postharvest handling systems Bangkok. Thailand September 1-3 . 439pp.

Press, A.F. and Harein. 1967. Mortality of *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera : Tenebrionidae) in simulated peanut storages purged with carbon dioxide and nitrogen. Journal of Stored or Products Research. 3:91-96.

Pongthorn, L. and T. Aluck. 2006. Textural and morphological changes of Jasmine rice under various elevated cooking conditions. Journal of Food Chemistry. 96:606-613

Soderstrom. E. L., D. G. Brandl. And B. MacKey. 1990. Responses of codling moth(Leidoptera:Torticidae) life stages to high carbon dioxide or low oxygen atmospheres. Journal Economic. Entomology. 83:472-475.

Wang, F., D. S. Jayas., N. D. G. White and P. Fields. 2009. Combined effect of carbon monoxide mixed with carbon dioxide in air on the mortality of stored grain insects. Journal of Stored or Products Research. 45:247-253.

ภาคผนวก ก.

การวิเคราะห์ความชื้น

การวิเคราะห์ความชื้นด้วยเครื่อง moisture analyzer รุ่น MG53

1. เครื่องมือและอุปกรณ์

1.1 เครื่องวัดความชื้น (moisture analyzer) รุ่น MG53

1.2 ถาดใส่ตัวอย่าง

2. การวิเคราะห์

2.1 นำตัวอย่างข้าวสาร 5 กรัม ใส่ลงในถาดอะลูมิเนียม ตั้งอุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส

2.2 กด start เพื่อวัดความชื้น เมื่อเครื่องหาความชื้นเสร็จแล้วจะมีสัญญาณเตือน ซึ่งค่าร้อยละความชื้นจะแสดงที่หน้าจอ จากนั้นนำตัวอย่างออกบันทึกผลการทดลอง

ภาพที่ 1ก การวิเคราะห์ความชื้นด้วยเครื่องวัดความชื้น (moisture analyzer) รุ่น MG53

ภาคผนวก ข.

การวิเคราะห์ความขาว

การวิเคราะห์ความขาวด้วยเครื่องวัดความขาว (whiteness tester) รุ่น MM1B

1. เครื่องมือและอุปกรณ์

1.1 เครื่องวัดความขาว(whiteness tester) รุ่น MM1B

1.2 ตลับใส่ข้าว

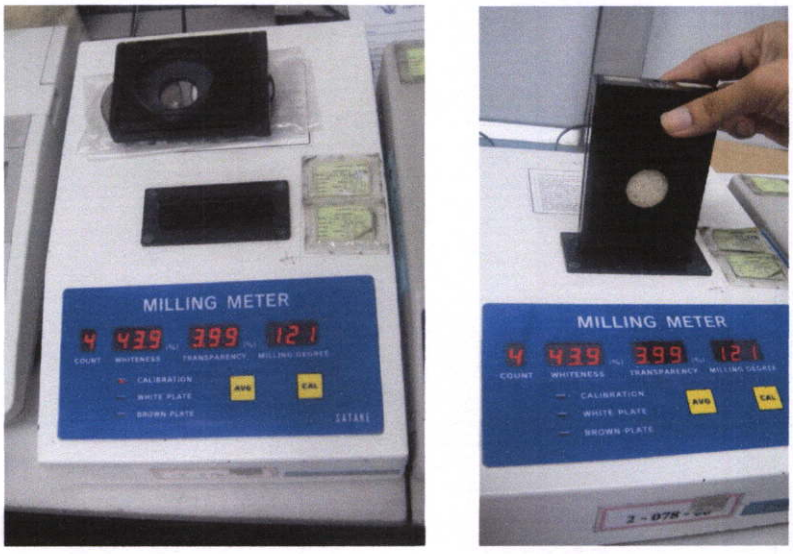
1.3 ตลับมาตรฐานสีขาว

2. การวิเคราะห์

2.1 ใส่ตลับมาตรฐานสีขาว ลงไปในช่องใส่ตัวอย่างเพื่อทำการ calibration

2.2 นำตัวอย่างข้าวสารใส่ลงไปในตลับประมาณ 23 - 25 กรัม จากนั้นนำไปใส่ในเครื่องวัดความขาว

2.3 อ่านค่าที่ได้จากเครื่องวัดความขาวแล้วจดบันทึกผลการทดลอง



ภาพที่ 1ข การวิเคราะห์ความขาวด้วยเครื่องวัดความขาว (whiteness tester) รุ่น MM1B

ภาคผนวก ค.

การวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลส

การวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลส(งามชื่น, 2545)

1. เครื่องมือและอุปกรณ์

1.1 เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer)

1.2 เครื่องบดเมล็ดข้าวสาร

1.3 เครื่องชั่งความละเอียด 0.0001

1.4 ปิเปต แบบ volumetric pipette

1.5 ปิเปต แบบ measuring pipette

1.6 บีกเกอร์ (beaker) ขนาด 1000 มิลลิลิตร

1.7 ขวดปรับปริมาตร (volumetric flask) ขนาด 1000 มิลลิลิตร

1.10 แท่งแก้ว

1.11 แท่งแม่เหล็ก (magnetic bar) ขนาด 25 x 6 มิลลิเมตร

1.12 เครื่องปั่นกวนระบบแม่เหล็ก (magnetic stirrer)

1.13 กระบอกตวง (cylinder) ขนาด 100 มิลลิลิตร

1.14 ขวดเก็บสารละลายสีชา ขนาด 1000 มิลลิลิตร

1.15 น้ำกลั่น

2. สารเคมี

2.1 เอทธิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 95 (ethyl alcohol)

2.2 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

2.3 ไอโอดีน (iodine)

2.4 เกลเซียลอะซิติก (glacial acetic acid)

2.5 โปตัสเซียมไอโอไดด์ (potassium iodide)

2.6 ตัวอย่างข้าวสำหรับทำ Standard (ข้าวขาวดอกมะลิ)

3. การเตรียมสารละลาย

3.1 การเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2 นอร์มัล

3.1.2 นำโซเดียมไฮดรอกไซด์จำนวน 80 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 1000 มิลลิลิตร

3.1.3 นำน้ำกลั่นใส่ลงในบีกเกอร์ ปริมาณ 800 มิลลิลิตร เพื่อช่วยในการละลายของโซเดียมไฮดรอกไซด์

3.1.4 นำแท่งแม่เหล็กใส่ลงในบีกเกอร์ 1 แท่ง แล้วนำบีกเกอร์ไปวางบน เครื่องปั่นกวนระบบแม่เหล็กเพื่อทำให้โซเดียมไฮดรอกไซด์ละลายหมดจนหมด จากนั้นให้ปล่อยทิ้งไว้ให้เย็น

3.1.5 เมื่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เย็นแล้ว ให้เทสารละลายใส่ลง ขวดปรับปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร และทำการปรับปริมาตรให้ได้ 1000 มิลลิลิตร โดยใช้น้ำกลั่น

3.2 การเตรียมกรดเกลเซียลอะซิติกความเข้มข้น 1 นอร์มัล

3.2.1 นำกรดเกลเซียลอะซิติก 60 มิลลิลิตร ใส่ ขวดปรับปริมาตร ขนาด 1000 มิลลิลิตร ที่มีน้ำกลั่นอยู่ประมาณครึ่งขวด ทำการเขย่าให้กรดเกลเซียลอะซิติกเข้ากับน้ำกลั่น

3.2.2 เมื่อกรดเกลเซียลอะซิติกเข้ากับน้ำกลั่นเรียบร้อยแล้ว ทำการปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร เก็บที่อุณหภูมิประมาณ 15 องศาเซลเซียส ถึง 25 องศาเซลเซียส

3.3 การเตรียมสารละลายไอโอดีน

3.3.1 นำไอโอดีนจำนวน 2 กรัม และนำโปตัสเซียมไอโอไดด์ 20 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์

3.3.2 นำน้ำกลั่นเทลงไปในบีกเกอร์พอประมาณ และใช้แท่งแก้วคนให้เข้ากัน

3.3.3 เมื่อสารละลายเข้ากันแล้วให้ทำการเทสารละลายใส่ลงใน ขวดปรับปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร แล้วนำน้ำกลั่นใส่ลงไปในขวดปรับปริมาตรให้ได้ 1000 มิลลิลิตร

4. การวิเคราะห์

4.1 นำตัวอย่างข้าวสารมาทำการบดด้วยเครื่องบดให้ละเอียดเป็นแป้ง

4.2 นำแป้งที่ได้มาชั่งบนเครื่องชั่งละเอียด จำนวน 0.1000 กรัม

4.3 นำแป้งที่ชั่งเสร็จเรียบร้อยแล้วมาเทใส่ใน ขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ที่แห้งสนิทเพื่อป้องกันแป้งติดข้างขวด และให้แป้งลงไปอยู่ก้นขวดให้หมด

4.4 ใช้ปิเปตแบบ Measuring Pipette ดูดเอทธิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 95 ปริมาณ 1 มิลลิลิตร เติมลงในขวดปรับปริมาตร ที่นำตัวอย่างแป้งใส่ไว้แล้วตามข้อ 4.3 แล้วทำการเขย่า ขวดปรับปริมาตรเบา ๆ เพื่อเกลี่ยแป้งให้กระจายออก ไม่ควรเขย่าแรง เพราะจะทำให้แป้งขึ้นไปเกาะตามผนังขวดแก้วจากนั้นเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2 นอร์มัล ปริมาณ 9 มิลลิลิตร (โดยในขณะที่เติมสารละลายนี้ ให้ทำการล้างแป้งที่อาจเกาะติดตามคอขวดและผนังขวดแก้ว)

4.5 นำแท่งแม่เหล็กใส่ลงในขวดปรับปริมาตรและนำขวดปรับปริมาตรไปวางบน เครื่องปั่นกวนระบบแม่เหล็กเพื่อทำการปั่นตัวอย่างให้กระจายตัวและให้สารเข้าไปทำปฏิกิริยากับแป้งได้ดีขึ้นใช้เวลาในการปั่นน้ำแป้ง 10 นาที

4.6 เมื่อปั่นน้ำแป้งเสร็จแล้วให้นำแท่งแม่เหล็กออก โดยใช้ด้ามแม่เหล็กเลื่อนแท่งเหล็กออกก่อนที่แท่งแม่เหล็กจะพ้นปาก ขวดปรับปริมาตรให้ล้างแป้งที่ติดอยู่บนแท่งเหล็กออกก่อนโดยใช้น้ำกลั่น

4.7 ทำการปรับปริมาตรโดยเติมน้ำกลั่นลงไปใน ขวดปรับปริมาตรให้ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร แล้วปิดจุกขวดปรับปริมาตร และทำการให้ตัวอย่างเข้ากัน

4.8 นำขวดปรับปริมาตรเปล่าขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 70 มิลลิลิตร และเติมกรดเกลเซียลอะซิติก เข้มข้น 1 นอร์มัล 2 มิลลิลิตร และเติมสารละลายไอโอดีน 2 มิลลิลิตร โดยใช้ ปิเปตแบบ Measuring Pipette

4.9 จากนั้นใช้ปิเปตแบบ Volumetric Pipette ดูดน้ำแป้งที่เตรียมไว้ในข้อ 4.7 ปริมาณ 5 มิลลิลิตร ใส่ลงใน ขวดปรับปริมาตรที่เตรียมไว้ในข้อ 4.8 (การเปลี่ยนตัวอย่างน้ำแป้งทุกครั้งให้ทำความสะอาด ปิเปตด้วยกระดาษชำระและดูดล้างปิเปต ด้วยน้ำแป้งตัวอย่างใหม่ประมาณ 2 - 3 ครั้งเพื่อป้องกันการปนเปื้อนของน้ำแป้งตัวอย่างเก่า)

4.10 นำ ขวดปรับปริมาตรที่เตรียมไว้เรียบร้อยแล้วในข้อ 4.9 มาปรับปริมาตรโดยการเติมน้ำกลั่น ให้ได้ 100 มิลลิลิตร และปิดจุกขวดปรับปริมาตรพร้อมทั้งเขย่า โดยใช้เวลาประมาณ 5 - 10 วินาที และให้ตั้งทิ้งไว้10 นาที

4.11 ทำ blank โดยทำเช่นเดียวกับข้อ 4.8 แต่ไม่ต้องเติมน้ำแป้งตัวอย่าง แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร โดยใช้น้ำกลั่น

4.12 นำตัวอย่างที่เตรียมไว้ในข้อ 4.10 มาทำการวัดค่าความเข้มสีของสารละลาย ด้วยเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ โดยเครื่องสเปคโตรโฟรโตมิเตอร์จะส่งข้อมูลค่า absorbance ไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อให้เครื่องประมวลผลขั้นสุดท้ายโดยคำนวณ ออกมาเป็นค่า transmttance (คือค่าที่ยอมให้แสงผ่าน) และคำนวณค่าอะมิโลส (คือค่าความเข้มข้นของสี)โดยทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ช่วงความยาว 620 นาโนเมตร

ภาพที่ 1ค การวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลส

ภาคผนวก ง.

การวิเคราะห์ความแข็ง

การวิเคราะห์ความแข็งด้วยเครื่องวัดความแข็ง (texture analyzer) รุ่น xT2i

1. เครื่องมือและอุปกรณ์

1.1 เครื่องวัดความแข็ง (texture analyzer) รุ่น xT2i

1.2 เครื่องคอมพิวเตอร์

1.3 คีมปากคีบปลายแบน

1.4 ถ้วยสแตนเลส

1.5 กระบอกใส่น้ำ

1.6 กระป๋องสแตนเลส

1.7 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง

1.8 กระบอกใส่ข้าว

1.9 หม้อหุงข้าวไฟฟ้า

1.10 นาฬิกาจับเวลา

2. การเตรียมตัวอย่าง

2.1 นำข้าวตัวอย่างที่ต้องการตรวจสอบมาชั่งบนเครื่องชั่ง 30 กรัม และใส่น้ำ 43 กรัม โดยไม่ต้องซาวน้ำ

2.2 นำข้าวไปนึ่งในหม้อไฟฟ้า โดยใส่น้ำสำหรับนึ่งข้าวจำนวน 1000 มิลลิลิตร เมื่อใส่กระบอกข้าวไปแล้วให้กดปุ่มทำงานพร้อมกับจับเวลา 35 นาที

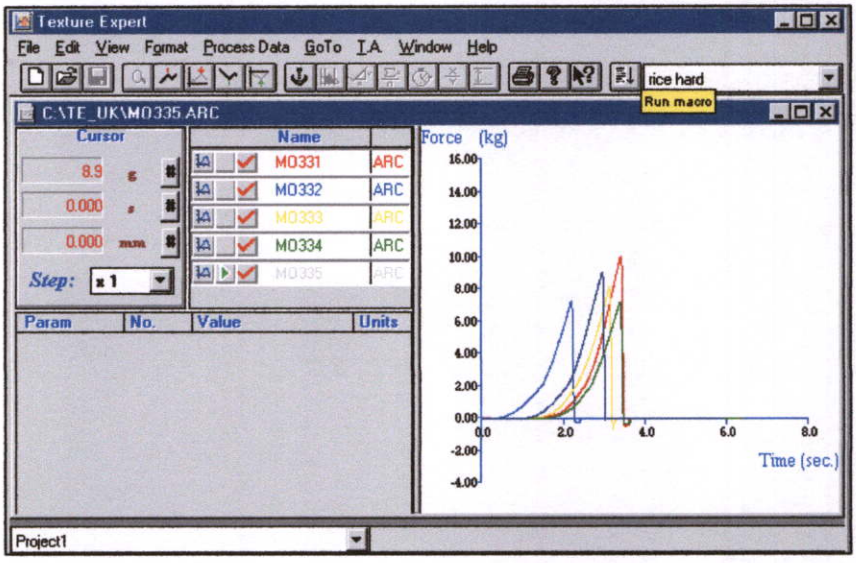
2.3 เมื่อหุงครบ 35 นาทีนำข้าวนำข้าวที่ได้ไปทำการวิเคราะห์ความแข็ง

3. การวิเคราะห์

3.1 นำตัวอย่างข้าวที่ได้จากการเตรียม 10 เมล็ด มาเรียงบน plate form ที่สะอาด เรียงเมล็ดข้าวให้เป็นชั้นเดียว โดยไม่ให้เมล็ดข้าวซ้อนทับกัน

3.2 จากนั้นทำการวัดเนื้อสัมผัสด้วยหัวกดทรงกระบอกโดยใช้แรงกด (compression) ความเร็วของหัววัดก่อนลงสัมผัสเมล็ดข้าว (pre-test speed) 10 มิลลิเมตรต่อวินาที ความเร็วของหัววัดเมื่อเคลื่อนที่ลงกระทบบนเมล็ดข้าวและเริ่มทดสอบ (test speed) 1 มิลลิเมตรต่อวินาที โดยมีระยะพัก 30 วินาที และความเร็วของหัววัดเมื่อหัววัดเคลื่อนที่ถอนกลับไปยังจุดเริ่มต้น (post-test speed) 10 มิลลิเมตรต่อวินาที

3.3 จากนั้นทำการอ่านค่าที่ได้จากกราฟที่แสดงผล ทำการบันทึกผล



ภาพที่ 1ง ตัวอย่างกราฟจากการวัดด้วยเครื่อง (texture analyzer) รุ่น xT2i

ภาพที่ 2ง การวิเคราะห์ความแข็งด้วยเครื่องวัดความแข็ง (texture analyzer) รุ่น xT2i

ภาคผนวก จ.

การวิเคราะห์ปริมาณการดูดซึมน้ำ

การวิเคราะห์ปริมาณการดูดซึมน้ำ

1. เครื่องมือและอุปกรณ์

1.1 กระบอกใส่ข้าว

1.2 หม้อหุงข้าวไฟฟ้า

1.3 นาฬิกาจับเวลา

1.4 เครื่องชั่งความละเอียด 0.0001

2. การวิเคราะห์

2.1 นำข้าวตัวอย่างที่ต้องการตรวจสอบมาชั่งบนเครื่องชั่งจำนวน 20 กรัม ใส่ในกระบอกข้าว

2.2 นำข้าวไปนึ่งในหม้อไฟฟ้า โดยใส่น้ำสำหรับนึ่งข้าวจำนวน 1000 มิลลิลิตร เมื่อใส่กระบอกข้าวไปแล้วให้กดปุ่มทำงานพร้อมกับจับเวลา 20 นาที

2.3 เมื่อหุงครบเวลา 20 นาทีนำข้าวขึ้นมาสะเด็ดน้ำทิ้งไว้นาน 10 นาทีนำไปชั่งหาปริมาณน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น

3. การคำนวณ

$$\text{ปริมาณการดูดน้ำ} = \frac{\text{น้ำหนักข้าวที่เพิ่มขึ้น} - \text{น้ำหนักข้าวที่เริ่มต้น}}{\text{น้ำหนักข้าวที่เริ่มต้น}}$$

ภาพที่ 1จ การวิเคราะห์ปริมาณการดูดซึมน้ำ

ภาคผนวก ฉ.

การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

9 – Point hedonic scaling test

ชื่อผู้ทดสอบ..... วันที่.....

ตัวอย่าง ข้าว

คำชี้แจง : กรุณาทดสอบชิมตัวอย่างต่อไปนี้ตามลำดับจากซ้ายไปขวา แล้วให้คะแนนเพื่อแสดงระดับความชอบที่มีต่อตัวอย่างให้ตรงกับความรู้สึกของท่านมากที่สุด กรุณาบ้วนปากก่อนและหลังชิมตัวอย่างทุกครั้ง

ระดับของคะแนนความชอบ

1 = ไม่ชอบมากที่สุด

2 = ไม่ชอบมาก

3 = ไม่ชอบปานกลาง

4 = ไม่ชอบเล็กน้อย

5 = บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ

6 = ชอบเล็กน้อย

7 = ชอบปานกลาง

8 = ชอบมาก

9 = ชอบมากที่สุด

การให้คะแนนความชอบ

คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์	รหัสตัวอย่าง/คะแนนความชอบ					
ความชอบโดยรวม						
ลักษณะของเมล็ดข้าว						
สี						
กลิ่น						
รสชาติ						
ความนุ่ม						
ความเหนียว						

ขอบคุณค่ะ

ภาคผนวก ช.

การรมยาข้าวสารด้วยเมทิลโบรไมด์

การรมด้วยเมทิลโบรไมด์ (สมศรี และคณะ, 2540)

1. เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการรมยา

1.1 ผ้าทาร์พอลีน (tarpaulin) หรือพลาสติกพอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) ชนิดที่มีความหนาไม่น้อยกว่า 100 ไมครอน (0.1 มิลลิเมตร) ถุงทราย (sand snake)

1.2 สายยางปล่อยสารรม

1.3 หน้ากากป้องกันสารพิษ พร้อมหม้อกรองชนิด organic vapour

1.4 เครื่องพ่นหมอกควัน ไอจีบา ทีเอฟ 35

1.5 พัดลมระบายอากาศ

1.6 ถ้วยตวงสารเคมี

1.7 ชุดป้องกันสารพิษ

1.8 ถุงมือยางป้องกันสารเคมี

1.9 เครื่องดูดฝุ่น

2. อุปกรณ์การตรวจความเข้มข้นของสารรม

2.1 เครื่อง Toxi RAE วัดสารรมเมทธิลโบรไมด์

2.2 เครื่องฟูมิสโคป จดความเข้มข้นในกองสินค้าสายวัดความยาว

3. สารเคมี

3.1 สารรมเมทธิลโบรไมด์ (methyl bromide)

3.2 น้ำยาไพรา – ฟ้อก 100

3.3 น้ำยาโดมิเน็กซ์

3.4 น้ำยาบินบอมบ์ 25

3.5 น้ำมันดีเซล , น้ำมันเบนซิน

3.6 น้ำ

4. วิธีการรมยา

4.1 วัดขนาดของกองสินค้าที่จะรมยา กว้าง x ยาว x สูง สำหรับใช้คำนวณปริมาตรของกองและปริมาณของสารรม ตามอัตราส่วนของสารรมที่กำหนด บันทึกผลการวัดและปริมาณสารรมลงในบันทึกการวัดเมทธิลโบร์ไมด์กองผลิตภัณฑ์จะต้องอยู่ห่างจากกองข้างเคียงหรือผนังของโรงเก็บประมาณ 50 เซนติเมตร ถึง 1 เมตร หรือห่าง โดยสารเมทธิลโบร

ไมด์ให้ใช้อัตราการรม 2 ปอนด์ต่อพื้นที่ 1,000 ลูกบาศก์ฟุต (ประมาณ 30 ลูกบาศก์เมตร) หรือ 32 กรัม/ลูกบาศก์เมตร รมนาน 24 ชั่วโมง

4.2 ทำการคลุมกองสินค้าที่ต้องการด้วยผ้าทาร์พอลีน (tarpaullin sheet) หรือผ้าพลาสติก PVC ที่มีความกว้างและความยาวที่เหมาะสมกับกองสินค้าที่จะทำการรมยา

4.3 ในทุกๆ ด้านของกองสินค้าให้ทับชายผ้าทุกด้านด้วยท่อทรายหรือวัสดุอื่นที่เหมาะสมแต่ต้องเป็นวัสดุที่หนักพอสมควรและยืดหยุ่นได้ เช่นเดียวกับท่อทรายให้เหลื่อมกันอย่างน้อย 20 เซนติเมตร หรือจะผนึกชายผ้าด้วยเทปกาว ให้ติดกับพื้นโกดังก็ได้

4.4 ทำการปล่อยแก๊สหรือสารรมด้านบน โดยใช้ของแข็งที่มีรูต่อเข้ากับสายยางปล่อยยา ปลายอีกด้านหนึ่งต่อเข้ากับถังสารรมเมทธิลโบรไมด์ นำถังสารรมชั่งบนเครื่องชั่งน้ำหนักถังปล่อยสารรมลบน้ำหนักของสารรมที่ปล่อยไป วิธีการปล่อยสารรมจะต้องเป็นแถว แต่ละจุดห่างกัน 3 – 5 เมตร แถวริมอยู่ห่างจากขอบกอง 1.5 เมตร (กองสินค้ามีขนาดใหญ่)

4.5 เมื่อครบกำหนดการรมยาแล้วให้นำเอาท่อทรายหรือวัสดุที่ทับชายผ้าใบออกให้หมด ดึงชายผ้าใบด้านเหนือลมและลากทวนลมไปจนกว่าผ้าใบจะพ้นจากกองปล่อยให้แก๊สหรือสารรมถ่ายเทออกจากกองประมาณ 1-2 ชั่วโมง. หลังจากนั้นให้ตรวจความเข้มข้นของสารรมที่เหลือว่าอยู่ในระดับที่ปลอดภัยหรือไม่ โดยใช้เครื่องToxi RAE วัดความเข้มข้นของเมทธิลโบรไมด์ **หมายเหตุ** : ค่า TLV – TWA หมายถึง ค่าความเข้มข้นของสารเคมีในอากาศที่ปลอดภัยสำหรับผู้ปฏิบัติงานจะได้รับในระยะเวลาไม่เกิน 8 ชั่วโมง ทำงานติดต่อกันใน 1 วัน เป็นเวลา 5 วันต่อสัปดาห์

4.6 หลังจากทำการรมยากองสินค้าให้ทำการ สเปรย์ยาบริเวณรอบๆ กองสินค้าเพื่อเป็นการกำจัดมอด/แมลงอื่นๆ ที่อยู่ด้านนอกกองโดยใช้สารโดมิเน็กซ์

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวอุมาพร คงอ่อน
วัน เดือน ปีเกิด	26 ธันวาคม 2521
ที่อยู่	105/61 ซ.แจ้งวัฒนะ 5 ถ.แจ้งวัฒนะ แขวงทุ่งสองห้อง เขตหลักสี่ กทม. 10210
ประวัติการศึกษา	2544 วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม
ปัจจุบัน	ตำแหน่งหัวหน้าแผนกบุคคล/จัดซื้ออาวุโส บริษัท บีเอสซีเอ็มฟูดส์ จำกัด
ผลงานตีพิมพ์	ผลของอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์และไนโตรเจนต่อการรอดชีวิตของแมลงศัตรูข้าวสาร