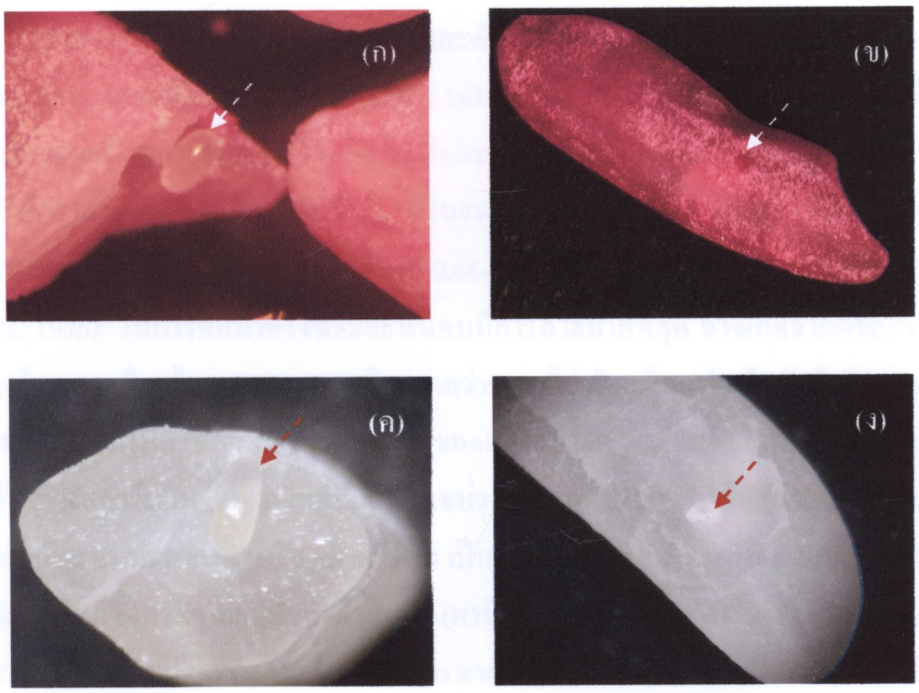
บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 การศึกษาหาอัตราการฟักไข่ของด้วงงวงข้าวที่ย้อมด้วย acid fuchsin

ไข่ของด้วงงวงข้าวที่ผ่านการย้อมด้วย acid fuchsin (ภาพ 4.1 (ก) และ (ข)) สามารถฟักและมีการเจริญเป็นตัวเต็มวัยได้เฉลี่ย 63.75±2.95% โดยใช้เวลาตั้งแต่ระยะไข่ จนกระทั่งเจริญเป็นตัวเต็มวัยเป็นเวลาประมาณ 40-45 วัน และเมื่อเปรียบกับไข่ของด้วงงวงข้าวที่ไม่ผ่านการย้อมสี (ภาพ 4.1 (ค) และ (ง)) ในสภาพเลี้ยงเดี่ยวในข้าวสาร 1 เมล็ดที่มีไข่ของด้วงงวงข้าว 1 ฟอง แมลงสามารถฟักและมีการเจริญเป็นตัวเต็มวัยได้มากกว่าเมล็ดที่ย้อมสีเฉลี่ย 74.38±1.67% โดยใช้เวลาตั้งแต่ระยะไข่ จนกระทั่งเจริญเป็นตัวเต็มวัยเป็นเวลาประมาณ 29-34 วัน



ภาพ 4.1 ไข่ของด้วงงวงข้าว ที่พบในเมล็ดข้าวสารที่ผ่านการย้อมสีด้วย acid fuchsin 0.05% (ก) egg plug ที่พบบนเมล็ดข้าวสารหลังจากผ่านการย้อมสี (ข) ไข่ของด้วงงวงข้าวที่พบในเมล็ดข้าวที่ไม่ผ่านการย้อมสี (ค) egg plug ที่พบบนเมล็ดข้าวสารที่ไม่ผ่านการย้อมสี (ง)

นอกจากนี้ยังพบการย้อมสีในเมล็ดพืชชนิดอื่น ๆ เช่น การทดลองของ Khattak *et al.* (2001) รายงานว่าผลของการย้อมสีในเมล็ดข้าวโพดเพื่อตรวจดู egg plug ของด้วงงวงข้าวโพด ซึ่งพบว่าแมลงสามารถเจริญเป็นตัวเต็มวัยได้หลังจากการย้อมด้วยน้ำยา acid fuchsin ไม่แตกต่างจาก egg plug ในเมล็ดข้าวสารที่ต้มในน้ำกลั่น, น้ำกลั่นและ glacial acetic acid ดาจเนื่องจาก egg plug ที่แมลงสร้างขึ้นไว้ปิดทับรูที่แมลงวางไข่ไว้สามารถป้องกันการกระทบกระเทือน การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ การเข้าทำลายของศัตรูธรรมชาติ และทนทานต่อสารรมได้ดีอีกด้วย อย่างไรก็ตามในการทดลองนี้ egg plug ของด้วงงวงข้าวในข้าวสาร พบว่ามีอัตราการรอดชีวิตน้อยกว่า egg plug ที่ไม่ได้ผ่านการย้อมสีหรือสัมผัสกับน้ำ

4.2 การศึกษาประสิทธิภาพก๊าซโอโซนในการกำจัดด้วงงวงข้าวในแต่ละระยะการเจริญเติบโต

การให้ก๊าซโอโซนที่ความเข้มข้น 60 ppm เป็นเวลา 2 ชั่วโมง สามารถทำให้ด้วงงวงข้าวมีตายแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ระยะหนอนมีการตายเฉลี่ยมากที่สุดเป็น 65.83±5.50% แตกต่างจากระยะไข่ ตัวเต็มวัย และดักแด้ ซึ่งมีการตายเฉลี่ยเท่ากับ 27.50±2.63, 17.50±1.26 และ 17.50± 2.89% ตามลำดับ (ตาราง 4.1) ก๊าซโอโซนมีผลต่อด้วงงวงข้าวระยะต่าง ๆ ทำให้มีการตายแตกต่างกัน ซึ่งระยะไข่ ดักแด้และตัวเต็มวัยของด้วงงวงข้าวเป็นระยะที่ทนทานกว่าในระยะหนอน สอดคล้องกับการทดลองของ Isikber and Oztekin (2009) รายงายว่าเมื่อให้ก๊าซโอโซนกับมอดแป้งทุกระยะการเจริญเติบโตเป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง พบว่าในระยะตัวเต็มวัย ดักแด้และไข่ มีอัตราการตาย 4.20-14.10% น้อยกว่าในระยะหนอน 74.00% ด้วงงวงข้าวแสดงอาการช้าลง และหมดสติเมื่อได้รับก๊าซโอโซน อัตรา 0.66-0.83 มิลลิกรัม/นาที ในเวลา 90 นาทีขึ้นไป (Yoshida, 1975) ในการศึกษาครั้งนี้ระยะหนอนมีการตายมากที่สุด อาจเกิดจากกิจกรรมการกินอาหาร หรือการเคลื่อนไหว และการหายใจมากกว่าระยะไข่ ดักแด้และตัวเต็มวัย จึงมีความต้องการออกซิเจนมากขึ้นเพื่อใช้สำหรับการหายใจของเซลล์ต่างๆ ภายในร่างกาย และขณะเดียวกันจำเป็นต้องกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากขบวนการเมตาบอลิซึมให้ออกนอกร่างกาย ภายในลำตัวแมลงมีระบบท่ออากาศ (tracheal system) เป็นระบบที่แมลงใช้สำหรับแลกเปลี่ยนก๊าซเพื่อใช้ในการดำรงชีวิตซึ่งกระจายอยู่ทั่วลำตัวแมลง (สานิต, 2550) จากการทดลองของ Lu *et al.* (2009) รายงานว่า ก๊าซโอโซนมีผลกระทบต่อระบบการหายใจของแมลง เนื่องจากก๊าซออกซิเจนมีปริมาณลดลง และก๊าซโอโซนเป็นพิษมีผลทำลายเนื้อเยื่อของแมลง มีการขยายของหลอดลมสูงขึ้นเป็นผลโดยตรงต่อการหายใจ ทำให้การหายใจล้มเหลวที่พบการตายได้ในแมลงวันเมื่อให้ก๊าซโอโซนที่ความเข้มข้น 4 ppm (Cross *et al.*, 1998) กิจกรรมการหายใจในแต่ละระยะการเจริญเติบโตมีบทบาทสำคัญต่อการตอบสนองต่อก๊าซโอโซน ซึ่งโดยปกติแมลงระยะไข่และระยะดักแด้มีการหายใจและ

การใช้ออกซิเจนน้อยกว่าระยะอื่น ๆ นอกจากนี้ระบบหมุนเวียนก๊าซภายในร่างกาย ซึ่งแมลงมีกลไกการควบคุมการหายใจในการเปิดและปิดของรูอากาศ (spiracle) เพื่อลดการหายใจเอาก๊าซพิษเข้าสู่ร่างกาย (Hetz and Bradley, 2005) การใช้ก๊าซโอโซนในการควบคุมแมลงที่ระดับความเข้มข้น 60 ppm เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง เช่นเดียวกับการทดลองนี้สามารถทำให้มอดฟันเลื่อยมีการตาย 60.83-100.00% (ศิวกร และคณะ, 2554) นอกจากนี้การใช้ก๊าซโอโซนที่ระดับความเข้มข้นต่ำ 5 ppm สามารถทำให้แมลงมีการตายอย่างสมบูรณ์ภายในระยะเวลา 3-5 วัน (Mason *et al.*, 1997) การเพิ่มระดับความเข้มข้นของก๊าซจะลดการใช้ระยะเวลาในการกำจัดแมลง

ตาราง 4.1 เปอร์เซ็นต์การตายเฉลี่ยของด้วงงวงข้าวในระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ ที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนโดยตรง ที่ 60 ppm เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

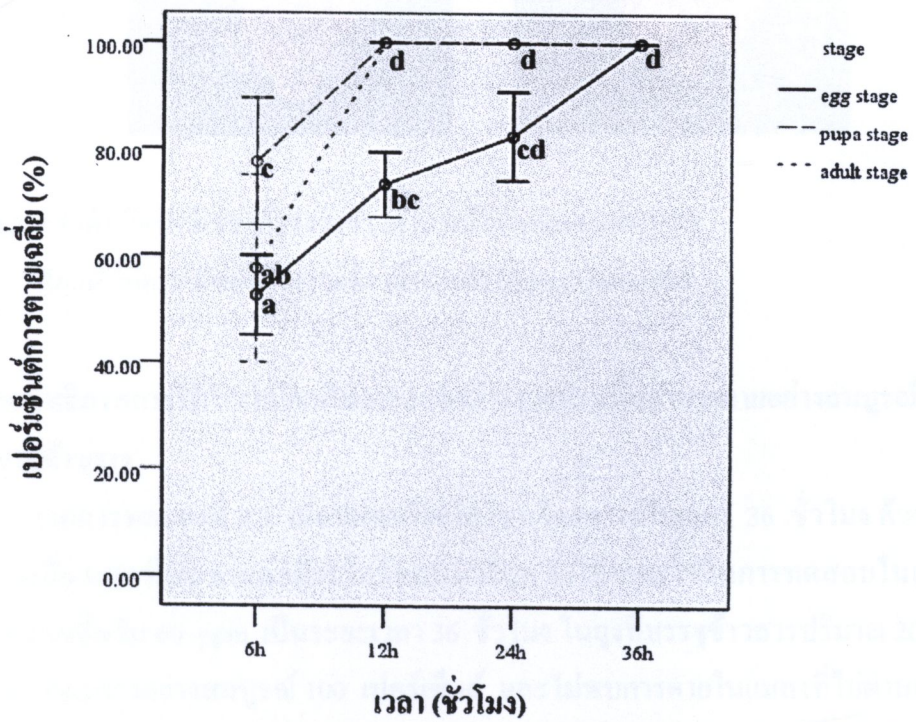
ระยะการเจริญเติบโต	เปอร์เซ็นต์การตายเฉลี่ย±SD[1]
ไข่	27.50±2.63b
หนอน	65.83±5.50a
ดักแด้	17.50±1.26b
ตัวเต็มวัย	17.50±2.89b

[1]ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี Least Significant Difference (LSD)

4.3 การศึกษาหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการใช้ก๊าซโอโซนกำจัดด้วงงวงข้าวที่มีการตายน้อยที่สุดจากการทดลองแรก (ระยะที่ทนทานที่สุด)

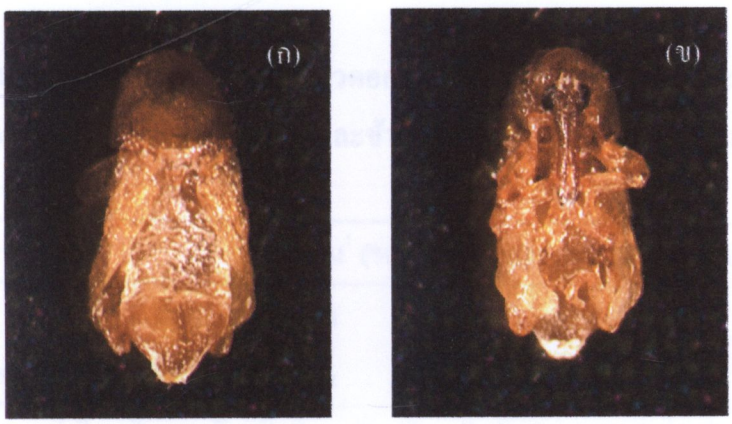
จากการทดลองที่ 3.2 ด้วงงวงข้าวระยะไข่ ดักแด้ และตัวเต็มวัยมีการตายอยู่ในระดับต่ำไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จึงนำด้วงงวงข้าวทั้ง 3 ระยะ ได้แก่ ระยะไข่ ดักแด้ และตัวเต็มวัยมาผ่านก๊าซโอโซนโดยตรงที่ระดับความเข้มข้น 60 ppm เป็นระยะเวลาต่าง ๆ ซึ่งปัจจัยของระยะการเจริญเติบโตของด้วงงวงข้าวมีผลต่อทำให้แมลงที่ได้รับก๊าซโอโซนมีการตายแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) และปัจจัยที่เป็นช่วงเวลาที่แมลงได้รับก๊าซโอโซนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) และทั้ง 2 ปัจจัยมีปฏิสัมพันธ์ (interaction) ซึ่งระยะเวลาการได้รับโอโซนยาวนานขึ้นทำให้แมลงมีการตายมากขึ้น ส่วนระยะการเจริญเติบโตของแมลงเมื่อได้รับก๊าซโอโซนใน 6 ชั่วโมง มีผลทำให้แมลงตายแตกต่างกัน ระยะดักแด้ และระยะตัวเต็มวัยเป็นระยะที่พบการตายสูงกว่าระยะไข่ และพบการตาย 100 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเวลาผ่านไป 12 ชั่วโมง ส่วนด้วงงวงข้าวระยะไข่มีการตายเพิ่มขึ้นเป็นลำดับ เมื่อระยะเวลาในการสัมผัสก๊าซโอโซนเพิ่มขึ้น และพบการตายของ

ไข่ด้วงงวงข้าว 100 เปอร์เซ็นต์ เมื่อได้รับก๊าซโอโซนเป็นเวลา 36 ชั่วโมง (ภาพ 4.2) การให้ก๊าซโอโซนกับแมลงที่ระดับความเข้มข้น 60 ppm ที่เวลา 6 ชั่วโมง ด้วงงวงข้าวในระยะไข่ ดักแด้ และตัวเต็ม มีการตาย 52.50±2.21, 77.50±3.50 และ 57.50±5.25% ตามลำดับ และเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการให้ก๊าซโอโซนกับแมลงเป็นเวลา 12 ชั่วโมง ด้วงงวงข้าวในระยะไข่มีการตายเท่ากับ 73.33±1.82% ในขณะที่ระยะดักแด้ และระยะตัวเต็มวัยมีการตายอย่างสมบูรณ์ 100 เปอร์เซ็นต์ ตั้งแต่ระยะเวลา 12 ชั่วโมงเป็นต้นไป และเมื่อด้วงงวงข้าวได้รับก๊าซโอโซนที่ระยะเวลาเพิ่มขึ้นเป็น 24 ชั่วโมง ด้วงงวงข้าวในระยะไข่ แสดงการตายมากขึ้นเป็น 85.50±2.50% และพบการตายอย่างสมบูรณ์ตั้งแต่ระยะเวลา 36 ชั่วโมงเป็นต้นไป ดังนั้นระยะไข่เป็นระยะที่ทนทานต่อก๊าซโอโซนมากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Isikber and Oztekin (2009) รายงานว่าระยะไข่ของ *Ephestia kuehniella* มีการตายน้อยที่สุด 62.5 เปอร์เซ็นต์ ในขณะเดียวกันแมลงในระยะหนอน ดักแด้ และตัวเต็มวัย เมื่อปล่อยก๊าซโอโซนเป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง พบการตายอย่างสมบูรณ์ 100 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับการทดลองของ Leesch *et al.* (2003) รายงานว่า *P. interpunctella* และ *T. confusum* ซึ่งแมลงทั้งสองชนิดเป็นแมลงศัตรูโรงเก็บ มีระยะไข่เป็นระยะที่ทนทานที่สุดเมื่อนำมาผ่านก๊าซโอโซนประยุกต์ใช้ร่วมกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และสภาพสุญญากาศในการกำจัดแมลงศัตรูสองชนิด



ภาพ 4.2 เปอร์เซ็นต์การตายเฉลี่ยของด้วงงวงข้าวในระยะไข่ ดักแด้ และตัวเต็มวัย ที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนโดยตรงที่ 60 ppm เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง

การใช้โอโซนในการควบคุมแมลงชนิดอื่น ๆ เช่น การทดลองของ James (2011) รายงานว่าการใช้ก๊าซโอโซนอัตรา 460-920 มิลลิกรัม โอโซนต่อลูกบาศก์เมตร ในการควบคุม *Galleria mellonella* ซึ่งเป็นแมลงศัตรูธรรมชาติของผึ้ง พบว่าแมลงในระยะไข่ต้องใช้เวลานานกว่าระยะหนอนและตัวเต็มวัยในการกำจัดเป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง และพบด้วยว่าด้วงงวงข้าวในระยะไข่ และดักแด้เป็นระยะที่ทนทานต่อก๊าซฟอสฟีนมากที่สุด ซึ่งมีการรมด้วยก๊าซฟอสฟีนอัตรา 0.013-2.96 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 1-16 วัน (Hole *et al.*, 1976) ความสัมพันธ์ของระยะเวลา และความเข้มข้นของก๊าซโอโซนมีผลทำให้แมลงแต่ละชนิดทำให้แสดงความทนทานที่แตกต่างกัน นอกจากนี้หลังจากการผ่านก๊าซโอโซน ดักแด้ของด้วงงวงข้าวมีลักษณะรูปร่างผิดปกติไปไม่สามารถลอกคราบเป็นตัวเต็มวัยได้ (ภาพ 4.3 (ก) และ (ข))



ภาพ 4.3 ดักแด้ที่ผิดปกติของด้วงงวงข้าวด้านหน้า (ventral view) (ก)
ดักแด้ที่ผิดปกติของด้วงงวงข้าวด้านหลัง (dorsal view) (ข)

4.4 ประสิทธิภาพการใช้ก๊าซโอโซนในการกำจัดด้วงงวงข้าวเพื่อหาการตายอย่างสมบูรณ์ในภาชนะบรรจุข้าวสาร

จากการทดลองที่ 3.3 เมื่อปล่อยก๊าซโอโซนโดยตรงเป็นเวลา 36 ชั่วโมง ด้วงงวงข้าวในระยะไข่เป็นระยะที่ทนทานต่อก๊าซโอโซนมากที่สุด จึงใช้ระยะไข่ในการทดสอบในสภาพจริงที่ระดับความเข้มข้น 60 ppm เป็นระยะเวลา 36 ชั่วโมง ในถุงที่บรรจุข้าวสารปริมาณ 200 กรัม พบการตายของแมลงอย่างสมบูรณ์ 100 เปอร์เซ็นต์ และไม่พบการตายในแมลงที่ไม่ผ่านก๊าซโอโซน (ชุดควบคุม) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Strait (1998) รายงานว่าการปล่อยก๊าซโอโซนในการกำจัดด้วงงวงข้าวโพดซึ่งเป็นแมลงชนิดที่คล้ายคลึงกันกับด้วงงวงข้าวมากที่สุด พบว่าเมื่อได้รับก๊าซโอโซนในระดับความเข้มข้น 50 ppm สามารถทำให้แมลงตายได้อย่างสมบูรณ์ในเวลา 1 วัน

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

อย่างไรก็ตามชนิดของแมลงต่างกันมีระดับความทนทานแตกต่างกัน อาทิ Niakousari *et al.* (2010) รายงานว่า สามารถใช้ก๊าซโอโซน มากกว่า 2,000 ppm เป็นเวลา 2 ชั่วโมงจึงกำจัดมอดฟันเลื่อย ระยะหนอนและตัวเต็มวัยได้อย่างสมบูรณ์ แต่ระยะไข่ของมอดฟันเลื่อยเป็นระยะที่ทนทานกว่าต้องการปริมาณก๊าซโอโซนมากกว่านี้

4.5 การศึกษาคุณภาพทางกายภาพและคุณภาพทางเคมีของข้าวหลังจากการใช้โอโซนกำจัดแมลง

จากการนำข้าวสารขาวดอกมะลิ 105 มาผ่านก๊าซโอโซนระดับความเข้มข้น 60 ppm เป็นระยะเวลา 36 ชั่วโมง ซึ่งสามารถกำจัดด้วงงวงข้าวได้ทุกระยะการเจริญเติบโต แล้วนำมาตรวจสอบคุณภาพข้าวสารที่เปลี่ยนไปโดยเปรียบเทียบกับคุณภาพของข้าวสารที่ไม่ได้ผ่านก๊าซโอโซน ได้ผลการทดลองดังตาราง 4.2

ตาราง 4.2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพข้าวสารขาวดอกมะลิ 105 ที่ผ่านก๊าซโอโซนระดับความเข้มข้น 60 ppm เป็นระยะเวลา 36 ชั่วโมง และข้าวสารขาวดอกมะลิ 105 ที่ไม่ผ่านก๊าซโอโซน (ชุดควบคุม)

กรรมวิธี	ความชื้น[1] (%)	สารหอม 2AP (ppm)
ชุดควบคุม	12.4a	2.90
60 ppm 36 hr	12.2a	ไม่พบสารหอม

[1]ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี pair t-test

4.5.1 การวัดคุณภาพข้าวทางกายภาพ

4.5.1.1 การวัดสีของข้าว

ข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่ไม่ผ่านการรมด้วยก๊าซโอโซน มีค่า L*, a* และ b* เท่ากับ 70.64 , -0.43 และ 15.31 ตามลำดับ (ตาราง 4.3) ขณะที่ค่า L*, a* และ b* ของข้าวสารที่ผ่านก๊าซโอโซนที่ระดับความเข้มข้น 60 ppm เป็นเวลา 36 ชั่วโมง พบว่ามีค่าเปลี่ยนแปลงไปเป็น 72.08, -0.67 และ 17.34 ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ผลจากการผ่านก๊าซโอโซนในอัตรานี้ทำให้ค่า L* (lightness) มีค่าเปลี่ยนแปลงจากข้าวปกติ ค่าที่วัดได้มีค่าเข้าใกล้ 100 สามารถนำมาอธิบายได้ว่าข้าวสารที่ผ่านก๊าซโอโซนมีสีขาวหรือความโปร่งแสง ในขณะที่ค่า a* ของข้าวสารหลังจากผ่านก๊าซโอโซนที่วัดได้มีค่าเป็นลบมากขึ้น แสดงว่าเมล็ดข้าวสารมีแนวโน้มเป็นสีเขียว ส่วนค่า b* สามารถนำมาอธิบายความเหลืองของเมล็ดข้าวสาร ซึ่งการทดลองนี้

พบว่าค่าที่วัดได้จากข้าวสารที่ผ่านก๊าซโอโซนมีค่าเป็นบวกเพิ่มขึ้น แสดงว่าเมล็ดข้าวสารมีสีเหลือง โดยมีดัชนีความขาวของข้าวที่ไม่ผ่านก๊าซโอโซนเท่ากับ 66.88 และข้าวที่ผ่านก๊าซโอโซนเท่ากับ 67.12 จากค่า L*, a* และ b* ของข้าวสารที่ไม่ผ่าน และผ่านก๊าซโอโซนสามารถนำมาสรุปได้ว่า ข้าวสารมีการเปลี่ยนแปลงของสีโดยข้าวจะมีสีเหลืองคล้ำมากขึ้น และพบด้วยว่าข้าวสารที่ผ่านก๊าซโอโซนจะมีสีไม่สม่ำเสมอทั่วทั้งถุง บางเมล็ดพบสีเหลืองและบางเมล็ดสีขาว ซึ่งใกล้เคียงกับการทดลองของ ภูษณิศา (2553) รายงานว่าใบยาสูบหลังการผ่านก๊าซโอโซนที่ระดับความเข้มข้น 60 ppm เป็นระยะเวลา 12 และ 24 ชั่วโมง พบว่าใบยาสูบมีสีเปลี่ยนแปลงไปจากสีเดิม ใบบางส่วนมีสีด่างไม่สม่ำเสมอทั่วใบยาสูบ การที่สีของเมล็ดข้าวสารเปลี่ยนแปลงอาจเนื่องมาจากปฏิกิริยา oxidation ของก๊าซโอโซนที่มีต่อปริมาณโปรตีนในเมล็ดข้าวสาร ในขณะที่เมล็ดข้าวที่มีโปรตีนสูงอาจมีสีคล้ำกว่าข้าวที่มีโปรตีนต่ำ และปัจจัยที่อาจมีผลต่อระดับโปรตีนในข้าวอาจเป็นเพราะข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิที่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนทำให้มีปริมาณโปรตีนมากขึ้นด้วย (งามชื่น, 2547ก) และจากการศึกษาความสัมพันธ์ของสีกับปริมาณฟีนอลิค ในการทดลองของ นิพัทธา และวริพัสย์ (2553) รายงานว่า กลุ่มข้าวที่มีสีจะมีปริมาณฟีนอลิคสูงกว่ากลุ่มข้าวที่ไม่มีสี สารประกอบฟีนอลิคในข้าว ได้แก่ กรดเฟอร์รูลิค (ferulic acid) และกรดพารา-คูมาริค (p-coumaric acid) เป็นต้น (Hu *et al.*, 2003) ซึ่งการใช้ก๊าซโอโซนในข้าวสารทำให้เกิดปฏิกิริยา oxidation อาจมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารประกอบฟีนอลิคที่มีอยู่ในข้าวทำให้สีข้าวเปลี่ยนแปลงได้ อย่างไรก็ตามสีของข้าวสารอาจเปลี่ยนแปลงได้ตามปัจจัยอื่น ๆ เช่น ในการทดลองของ พลากร (2552) พบว่าการเร่งความเก่าข้าวโดยการให้ลมร้อน และการใช้คลื่นความถี่วิทยุ (radio frequency) ที่อุณหภูมิมากกว่า 70 องศาเซลเซียส ในทุกระดับเวลาทำให้ข้าวสารมีค่าความขาวลดลง และข้าวสารมีสีเหลืองเพิ่มขึ้นซึ่งเกิดจากปฏิกิริยา maillard reaction (ปฏิกิริยาที่สารเกิดสีน้ำตาลโดยไม่ใช้เอนไซม์เมื่อได้รับความร้อน โดยถ้าอุณหภูมิสูงขึ้น อัตราการเกิดสีน้ำตาลจะสูงขึ้นด้วย)

ตาราง 4.3 ผลการวิเคราะห์ความขาวของข้าวสารขาวดอกมะลิ 105 ที่ผ่านก๊าซโอโซนระดับความเข้มข้น 60 ppm เป็นระยะเวลา 36 ชั่วโมง และข้าวสารขาวดอกมะลิ 105 ที่ไม่ผ่านก๊าซโอโซน (ชุดควบคุม)

กรรมวิธี	L*[1]	a*[1]	b*[1]	Whiteness Index
ชุดควบคุม	70.64a	-0.43a	15.31a	66.88
60 ppm 36 hr	72.08b	-0.67a	17.34b	67.12

[1]ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี pair t-test

4.5.1.2 การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น (ISTA, 1999)

ความชื้นของข้าวสารขาวดอกมะลิ 105 ที่วัดโดยวิธีการอบด้วยความร้อน ในชุดควบคุมเท่ากับ 12.4% ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) กับความชื้นของข้าวสารที่ผ่านก๊าซโอโซน ซึ่งมีความชื้นลดลงเป็น 12.2% การที่ความชื้นของเมล็ดข้าวลดลงอันเนื่องมาจากกรรมวิธีการผ่านก๊าซโอโซนได้นำซิลิกาเจลใส่ลงในกล่องเพื่อดูดความชื้นของอากาศ ประสิทธิภาพของโอโซนขึ้นอยู่กับปัจจัยความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ หากมีความชื้นสูง ก๊าซโอโซนจะทำปฏิกิริยากับน้ำที่มีในอากาศมีผลต่อประสิทธิภาพของก๊าซโอโซนในการกำจัดแมลงลดลงด้วย (Hollingsworth and Armstrong, 2005) อย่างไรก็ตามความชื้นของข้าวสารขาวดอกมะลิ 105 ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ที่ความชื้นไม่เกินร้อยละ 14 (งามชื่น, 2547ข)

4.5.2 การวัดคุณภาพข้าวทางเคมี

สาร 2-acetyl-1-pyrroline (2AP)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณของสารหอม 2-acetyl-1-pyrroline (2AP) ของข้าวสารขาวดอกมะลิ 105 ที่ผ่านก๊าซโอโซนที่ระดับความเข้มข้นเป็นระยะเวลา 36 ชั่วโมง มีผลทำให้ค่า 2AP ลดลงจนไม่สามารถวัดได้ โดยข้าวสารที่ไม่ผ่านก๊าซโอโซนมีปริมาณสารหอม 2.90 ppm ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นข้าวสารอาจเกิดจากโปรตีนในเมล็ดข้าวทำปฏิกิริยา oxidation กับออกซิเจนที่เป็นองค์ประกอบของก๊าซโอโซนจะได้สารที่มีส่วนประกอบที่มีธาตุกำมะถันที่คงตัวมากขึ้น ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงด้านกลิ่น ซึ่งการทดลองของ ศิวกร (2553) รายงานว่าหลังจากการใช้ก๊าซโอโซนระดับความเข้มข้น 60 ppm เป็นระยะเวลา 20 ชั่วโมง ในการกำจัดมอดฟันเลื่อย พบว่าทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับสารหอมซึ่งมีค่าลดลงจาก 2.07 เป็น 1.15 ppm นอกจากนี้ในการศึกษาการเก็บรักษาข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่เก็บในสภาพอัดคาร์บอนไดออกไซด์ สุญญากาศ ถุงพลาสติกผนึกและถุงพลาสติกสานที่รมด้วยก๊าซฟอสฟีน 1 วัน ซึ่งก๊าซฟอสฟีนเป็นสารรมที่ใช้ในการกำจัดแมลงเช่นเดียวกันกับก๊าซโอโซน พบว่าเมื่อหุงสุกแล้วมีกลิ่นหอมค่อย ๆ อ่อนลงเมื่อนำไปเก็บไว้ ส่วนข้าวสารที่รมฟอสฟีนนานกว่า 1 วันจะมีกลิ่นสาบเกิดขึ้นเมื่อเก็บนาน 3-4 เดือน (พูลศรี และคณะ, 2532) การที่สารหอม 2-acetyl-1-pyrroline มีปริมาณลดลงอาจมีปัจจัยอื่นๆ มาเกี่ยวข้อง อาทิ สภาพแวดล้อม เช่น ชนิดและความอุดมสมบูรณ์ของดิน อาจทำให้ลักษณะเมล็ดและความหอมแตกต่างกัน ข้าวหอมมะลิที่ปลูกในดินร่วนปนทราย จะมีข้าวกล้องและข้าวสารที่มีกลิ่นหอมกว่าข้าวที่ปลูกในดินเหนียว ซึ่งอุณหภูมิของอากาศในขณะข้าวสร้างเมล็ดอาจมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความหอมของเมล็ดข้าวได้เช่นกัน ขณะที่อุณหภูมิต่ำมีผลทำให้ข้าวหอมมีความหอมมากกว่าอุณหภูมิที่สูง และการปฏิบัติการขณะเก็บเกี่ยวและหลังการเก็บเกี่ยวอาจเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีส่วนทำให้ความหอมเปลี่ยนแปลงไป อันเนื่องมาจากกลิ่นหอมเป็นสารที่ระเหยได้ง่าย ซึ่งการเก็บเกี่ยวข้าว

ที่แก่จัด หรือตากแดดเป็นเวลานานเกินไปอาจทำให้สารที่มีความหอมระเหยไปได้ (แสงนวล, 2548) นอกจากนี้การทดลองของ กฤษณา (2552) ซึ่งพบว่าเมื่อให้คลื่นความถี่วิทยุ (radio frequency) ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 150 วินาที ปริมาณสารหอมลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยข้าวสารที่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุมีปริมาณสารหอม 1.33 ppm และข้าวสารที่ไม่ผ่านคลื่นมีปริมาณสารหอม 1.58 ppm และ Wongpornchai *et al.* (2004) รายงานว่าการให้อุณหภูมิที่สูงขึ้นในข้าวสารขาวดอกมะลิ 105 โดยใช้ลมร้อน และมีอุณหภูมิประมาณ 30-70 องศาเซลเซียส ระหว่างการเก็บรักษา พบว่า อุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้สารหอมลดลง อย่างไรก็ตามระยะเวลาที่ยาวนานในการใช้ก๊าซโอโซนในการกำจัดแมลงมีผลทำให้ปริมาณสารหอมในข้าวมีปริมาณลดลง ซึ่งการใช้ก๊าซโอโซนในการควบคุมแมลงอาจนำไปประยุกต์ใช้กับข้าวขาวที่ไม่ใช่สายพันธุ์หอม เช่น ข้าวพันธุ์ Texas long Grain และ Carose ที่มีปริมาณสารหอมน้อยกว่า 0.008 และ 0.006 ppm ตามลำดับ (ตาราง 4.4) ขณะที่ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีปริมาณสารหอมที่ค่ามาตรฐาน 0.07 ppm ซึ่งสารหอมนี้เป็นคุณสมบัติที่พบได้ในข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ และนอกจากจะเป็นสารประกอบที่แสดงคุณสมบัติของข้าวขาวดอกมะลิแล้ว ยังเป็นสารหอมหลักที่พบได้ในใบเตย

ตาราง 4.4 ปริมาณของสาร 2-acetyl-1-pyrroline ในข้าวขาว และข้าวกล้องพันธุ์ที่มีกลิ่นหอมและไม่หอม

พันธุ์	ปริมาณของ 2-acetyl-1-pyrroline (ppm)	
	ข้าวขาว	ข้าวกล้อง
Malakit Sungsong	0.09	0.20
IR 841-76-1	0.07	0.20
Khao Dawk Mali 105	0.07	0.20
Milagrossa	0.07	-
Basmati 370	0.07	0.17
Seratus Malem	0.06	-
Azucena	0.04	0.16
Hiert	0.04	0.10
Texas long grain*	<0.008	-
Carose*	<0.006	-

หมายเหตุ: *ข้าวไม่หอม

ที่มา: Buttery *et al.* (1983)