ผลงานฉบับเต็ม

ของ

นางใจทิพย์ อุไรชื่น

นักกีฏวิทยา 6ว. ตำแหน่งเลขที่ 2920

กลุ่มวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว

สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว

และแปรรูปผลิตผลเกษตร

กรมวิชาการเกษตร

ขอประเมินเพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่ง

นักกีฏวิทยา 7ว. ตำแหน่งเลขที่ 2920

กลุ่มวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว

สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว

และแปรรูปผลิตผลเกษตร

กรมวิชาการเกษตร

สารบัญ

ผลงานฉบับเต็ม

ลำดับที่	ชื่อเรื่อง	หน้า
1.	การใช้ความร้อนในการควบคุมแมลงศัตรูข้าวหลังเก็บเกี่ยว	1
2.	การศึกษาชีววิทยาประสิทธิภาพของแตนเบียน *Theocolax elegans* (Westwood) ในการควบคุมแมลงศัตรูข้าวหลังการเก็บเกี่ยว	25

การใช้ความร้อนในการควบคุมแมลงศัตรูข้าวหลังเก็บเกี่ยว[1]

High Temperature Treatments to Control Stored Pest Insects

ใจทิพย์ อุไรชื่น

พรทิพย์ วิสารทานนท์ ภาวินี หนูชนะภัย

กลุ่มวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว

สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร

บทคัดย่อ

การใช้ความร้อนในการควบคุมแมลงศัตรูหลังเก็บเกี่ยวที่สำคัญ ได้ดำเนินการทดลองในห้องปฏิบัติการ กลุ่มวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร และสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย ครั้งแรกทำการทดสอบกับตัวเต็มวัยด้วงงวงข้าวโพดที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80°C พบว่าเวลาที่สามารถควบคุมด้วงงวงข้าวโพดได้ 100% คือ 70, 40 และ 30 นาที ตามลำดับ หลังจากนั้นจึงทดสอบกับระยะอื่น ๆ ของด้วงงวงข้าวโพดที่อุณหภูมิ 70°C พบว่าเวลาที่ควบคุมระยะไข่ หนอน และดักแด้ของด้วงงวงข้าวโพดได้ 100% คือ 60 นาทีเท่ากัน ต่อมาจึงทดสอบกับมอดข้าวเปลือก มอดแป้ง ผีเสื้อข้าวเปลือก ผีเสื้อข้าวสาร รวมถึงด้วงงวงข้าวโพดทุกระยะการเจริญเติบโต โดยเพิ่มปริมาณข้าวต่อตัวอย่างเป็น 2 กิโลกรัม และใช้อุณหภูมิ 60, 70 และ 80 °C เป็นเวลา 1, 2 และ 3 ชั่วโมง พบว่าอุณหภูมิและเวลาที่ให้ผลดีที่สุดในการควบคุมแมลงส่วนใหญ่ทั้ง 4 ระยะคือ 60 และ 70°C นาน 3 ชั่วโมง, 80°C นาน 2 และ 3 ชั่วโมง ระยะเวลาที่ใช้ในการกำจัดแมลงลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้น ขณะที่เปอร์เซ็นต์การควบคุมเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระยะเวลาของแต่ละระดับอุณหภูมิให้นานขึ้น การใช้ความร้อนในการควบคุมแมลงศัตรูข้าวหลังการเก็บเกี่ยว นอกจากจะต้องคำนึงถึงชนิดและระยะการเจริญเติบโตของแมลง ความชื้นของข้าว ระดับความร้อน และระยะเวลาแล้ว ยังต้องคำนึงถึงปริมาณข้าวที่ผ่านเข้าไปในตู้อบแต่ละครั้งด้วย

ผลการตรวจสอบคุณภาพหลังผ่านความร้อนของข้าวสารที่มีการเข้าทำลายของด้วงงวงข้าวโพด ที่ 60, 70 และ 80°C เป็นเวลา 70, 40 และ 30 นาที ตามลำดับ และที่ 70°C เป็นเวลา 60 นาทีพบว่า ความชื้น การดูดซับน้ำ ความแข็ง และความเหนียวของข้าวที่หุง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากข้าวที่ไม่ได้ผ่านความร้อน ($P<0.05$) ค่าความชื้นและค่าการดูดซับน้ำมีแนวโน้มลดลงหลังผ่านกรรมวิธี ในขณะที่ค่าความแข็งและค่าความเหนียวกลับสูงกว่าข้าวที่ไม่ได้ผ่านกรรมวิธี สำหรับค่าความเหลืองของข้าว ไม่พบความแตกต่างทางสถิติระหว่างข้าวที่ผ่านและไม่ผ่านความร้อน ($P<0.05$) แต่กระนั้น จากการตรวจสอบทางประสาทสัมผัส (sensory evaluation) ข้าวที่ผ่านความร้อนระดับนี้เพื่อกำจัดแมลงศัตรูทุกระยะการเจริญเติบโตเป็นที่ยอมรับได้ของผู้บริโภค

---

[1] รหัสวิจัยเลขที่ 06-01-49-01

คำนำ

ข้าวหลังเก็บเกี่ยวทั้งข้าวเปลือก ข้าวสารหรือข้าวกล้อง มักจะได้รับความเสียหายจากการเข้าทำลายของแมลงหลายชนิด อันได้แก่ ผีเสื้อข้าวเปลือก ผีเสื้อข้าวสาร ด้วงงวง มอดข้าวเปลือก และมอดแป้ง เป็นต้น โดยแมลงเหล่านี้กัดกินข้าวโดยตรงทำให้ข้าวสูญเสียน้ำหนัก และปล่อยมูลออกมาทำให้ข้าวสกปรก มีผลต่อการซื้อขายและการส่งออก นอกจากนี้ยังส่งผลต่อการแปรรูปอาหารที่ใช้ข้าวเป็นวัตถุดิบอีกด้วย การป้องกันกำจัดแมลงเหล่านี้สามารถทำได้หลายวิธีทั้งการใช้สารเคมี และการไม่ใช้สารเคมี การใช้สารเคมีหรือสารรมสามารถกำจัดแมลงได้ดีก็จริง แต่ในปัจจุบันสารรมที่ใช้ได้ผลและยอมให้ใช้ได้เหลืออยู่เพียงชนิดเดียวคือ ฟอสฟีน การพัฒนาเพื่อให้ได้สารชนิดใหม่มาทดแทนสารที่ต้องเลิกใช้จะต้องเสียค่าใช้จ่ายสูง อีกทั้งการใช้สารเคมียังมีผลเสียต่อสุขภาพของผู้ใช้และสิ่งแวดล้อม ทำให้คนส่วนใหญ่หันมาให้ความสนใจกับการป้องกันกำจัดแมลงโดยไม่ใช้สารเคมีมากขึ้น การใช้ความร้อนเป็นวิธีหนึ่งที่มีความเป็นไปได้สูงบนหลักความจริงที่ว่าอุณหภูมิมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและการอยู่รอดของแมลง การใช้ความร้อนสูงเป็นวิธีที่ให้ผลเร็วในการลดการเข้าทำลายของแมลงในเมล็ดพืช ซึ่งต้องพัฒนาควบคู่ไปเพื่อความสมดุลระหว่างอัตราความร้อน การตายของแมลง และคุณภาพของสินค้าหรือเมล็ดพืช งานวิจัยที่ผ่านมาเกี่ยวกับการใช้อุณหภูมิสูงเพื่อการกำจัดแมลงศัตรูผลิตผลเกษตรในเมล็ดพืชหรือธัญพืช ได้แก่ การใช้อินฟาเรด ไมโครเวฟ ความร้อนจากไฟฟ้าแบบสองแกน (dielectric heating) (Boulanger et al., 1971; Nelson, 1972, 1973; Kirkpatric and Tilton, 1972; Kirkpatric et al., 1972; Kirkpatric, 1975a and b; Watters, 1976)

การใช้ลมร้อนในเครื่องฟลูอิไดซ์เบดเพื่อการกำจัดแมลงในเมล็ดข้าวสาลี ได้มีการศึกษาครั้งแรกในประเทศออสเตรเลียโดย Dermott และ Evans (1978) ซึ่งทำการทดสอบข้าวสาลีความชื้น 14 % ที่มีระยะตัวอ่อนของ *Sitophilus oryzae* (L.), *Rhizopertha dominica* (F.) *and Sitotroga cerealella* (Oliv.) ในเครื่องฟลูอิไดซ์เบดที่มีความจุ 10 กิโลกรัม ที่ความเร็วอากาศ 1.6 เมตรต่อวินาที และอุณหภูมิอากาศขาเข้า 60, 70 และ 80°C เวลาที่ใช้คือ 12, 6 และ 4 นาที และอุณหภูมิเมล็ดข้าวสาลีที่ได้คือ 59, 62 และ 65°C ตามลำดับ และจากการศึกษายังพบว่าที่อุณหภูมิอากาศขาเข้าค่าเดียวกัน ข้าวสาลีที่มีมอดข้าวเปลือกต้องใช้เวลาในเครื่องนานกว่าแมลงชนิดอื่น ซึ่งสรุปได้ว่ามอดข้าวเปลือกเป็นแมลงที่ทนต่อความร้อนได้ดีกว่า ดังนั้นอุณหภูมิอย่างต่ำที่ใช้ควรอยู่ในระดับที่ทำให้มอดข้าวเปลือกทนไม่ได้ และไม่ทำให้ความชื้นของเมล็ดเปลี่ยนแปลง รวมถึงคุณภาพในการนำไปแปรรูปด้วย นอกจากนี้การทดลองกับ *S. oryzae* และ *R. dominica* ยังแสดงให้เห็นว่าตัวเต็มวัยของแมลงทั้งสองชนิดนี้ก็สามารถควบคุมด้วยความร้อนที่ระดับเดียวกันนี้ได้

อุณหภูมิสูงกว่า 65°C มีผลให้แมลงศัตรูผลิตผลเกษตรตายภายในไม่กี่วินาที ระยะเวลาที่ใช้ต้องเพิ่มขึ้นเมื่อใช้อุณหภูมิต่ำลง ที่ 50°C ใช้เวลาหลายชั่วโมง และที่ 45°C ต้องใช้เวลาเป็นวัน แมลงบางชนิดสามารถมีชีวิตอยู่ได้ที่อุณหภูมิสูงกว่า 42°C Beckett et al. (1998) พบว่า ในข้าวสาลีที่มีความชื้น 12 % หนอนวัยสุดท้ายและดักแด้ของ *R. domonica* เป็นระยะที่ทนต่อความร้อนมากที่สุด คือต้องใช้เวลา 96 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 45°C ในการทำให้ตาย 99.9 % ในขณะที่อุณหภูมิ 53°C ระยะไข่เป็นระยะที่ทนต่อความร้อนมากที่สุด และยังพบว่า ต้องใช้ระยะเวลาในการอบมากขึ้นเพื่อฆ่าแมลงสำหรับเมล็ดที่เปียกชื้น

Subramanyam และคณะ (2004) ได้ศึกษาการตอบสนองของมอดแป้ง *Tribolium castaneum* (Herbst) ต่ออุณหภูมิ (42, 46, 50, 54, 58 และ 60°C) ในการใช้ความร้อนสำหรับการจัดการแมลงในโรงงานแปรรูปอาหาร พบว่าหนอนวัยต้นเป็นวัยที่ทนต่อความร้อนมากที่สุดโดยเฉพาะที่อุณหภูมิ >50°C และต้องใช้เวลาอย่างน้อย 7.2 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ >50°C ในการทำให้หนอนวัยต้นตาย 99 % ในขณะที่ใช้เวลาเพียง 1.8 ชั่วโมงสำหรับระยะอื่น ๆ

ผลกระทบของการใช้วิธีการต่าง ๆ ในการกำจัดแมลงศัตรูผลิตผลเกษตร ที่มีต่อคุณภาพสินค้าหรือผลิตผลเกษตร เป็นสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงว่าผู้บริโภคให้การยอมรับหรือไม่ ในปัจจุบันการเข้าทำลายของแมลงมิใช่เพียงปัญหาที่เกิดร่วมกับการเก็บรักษาเมล็ดพืช แต่การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเมล็ดก็เกิดขึ้นระหว่างการเก็บรักษาด้วย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความชื้นและอุณหภูมิ ดังนั้นถ้าใช้ความร้อนกับข้าวคุณสมบัติทางสรีรเคมีของข้าวเปลี่ยนแปลงเร็วขึ้นเมื่อความชื้นและอุณหภูมิเพิ่มขึ้น (Houston และคณะ, 1957) การใช้ความร้อนก็มีผลต่อข้าวในด้านคุณภาพการสี คุณภาพการหุงต้ม และคุณภาพการบริโภค (Iwasaki และคณะ, 1967; Calderwood และคณะ, 1971; Hogen และ Planck, 1958) ระดับความร้อนที่ใช้เพื่อการกำจัดแมลงอาจมีผลต่อคุณภาพเมล็ดต่าง ๆ และเป็นไปได้ที่จะทำลายคุณภาพของเมล็ดถ้าไม่มีการจัดการการใช้ความร้อนที่เหมาะสม การควบคุมเครื่องที่ไม่ดีพอก็ก่อให้เกิดความเสียหายตามมาได้ Banks (1998) รายงานว่า การทำให้เมล็ดเย็นทันทีหลังผ่านความร้อนสามารถปฏิบัติได้โดยไม่ทำให้เกิดความเสียหายต่อเมล็ด Ghaly (1981, 1988) และ Sutherland (1991) รายงานว่าคุณภาพการทำขนมของข้าวสาลีแห้ง คุณภาพของมอลท์จากข้าวเปลือก และคุณภาพของน้ำมันจากเมล็ดคาโนลา (canola) ล้วนไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อผ่านการควบคุมแมลงที่ดีด้วยความร้อนระดับที่ทำให้แมลงศัตรูทุกระยะตาย อาจเป็นไปได้ว่าความเสียหายของเมล็ดเกิดขึ้นจากการขาดการควบคุมระดับความร้อนที่ดีอย่างเพียงพอ Khan และคณะ (1974) รายงานว่าการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและทางกายภาพของแกลบและรำข้าวที่เกิดจากความร้อน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสี ระยะเวลาการอบที่นานขึ้นและความชื้นยิ่งสูงระหว่างการใช้ความร้อนจะเร่งให้เกิดการเปลี่ยนแปลงมากขึ้นแต่ไม่มีผลต่ออัตราการสูญเสียน้ำ ส่วนความแข็งของข้าวที่ผ่านการหุงต้มจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิของเมล็ดเพิ่มขึ้นเนื่องจากบางส่วนของแป้งเปลี่ยนแปลงไป (Dash, 1989; Jindal และ Reyes, 1988) Inprasit และ Noomhorm (2001) ได้ศึกษาถึงผลของการทำแห้งโดยลมและอุณหภูมิของเมล็ดจากเครื่องอบชนิดต่าง ๆ ที่มีต่อคุณภาพของข้าว พบว่าการอบแห้งข้าวเปลือกที่ <45 °C ไม่มีผลต่อคุณภาพการหุงต้มและการบริโภค แต่มีผลเมื่อใช้อุณหภูมิ >60°C โดยมีการเปลี่ยนแปลงในระดับการค้า

ดังจะเห็นได้ว่าระดับความร้อนที่ใช้ในการกำจัดแมลงศัตรูผลิตผลเกษตรจะเปลี่ยนแปลงไป ขึ้นอยู่กับชนิดและระยะการเจริญเติบโตของแมลง ความชื้นเริ่มต้นของเมล็ดพืช ชนิดของเมล็ดพืช อุณหภูมิอากาศขาเข้า อุณหภูมิเริ่มต้นและสุดท้ายของเมล็ดพืช และเวลาที่เมล็ดพืชอยู่ในเครื่อง การศึกษานี้เป็นการใช้ความร้อนจากเครื่องอบแห้งสำหรับการควบคุมแมลงศัตรูข้าวหลังเก็บเกี่ยวที่สำคัญ เพื่อให้ทราบถึงระดับอุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมโดยที่ไม่ทำให้เกิดความเสียหายต่อข้าว และใช้เป็นทางเลือกแทนการใช้สารรมอีกทั้งเป็นข้อมูลพื้นฐานในการจัดการแมลงศัตรูข้าวหลังเก็บเกี่ยวต่อไป

วิธีดำเนินการ

อุปกรณ์

1. ข้าวสาร รำ และข้าวเปลือก
2. แมลงศัตรูผลิตผลเกษตร ได้แก่ คือ ด้วงงวงข้าวโพด (*Sitophilus zeamais*) มอดข้าวเปลือก (*Rhyzopertha dominica*) ผีเสื้อข้าวเปลือก (*Sitotroga cerealella*) ผีเสื้อข้าวสาร (*Corcyra cephalonica*) และมอดแป้ง (*Tribolium castaneum*)
3. เครื่องชั่ง
4. ถ้วยพลาสติก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 เซนติเมตร สูง 9 เซนติเมตร
5. ผ้าขาวบาง
6. ถุงผ้าดิบ
7. ตะแกรงร่อน

วิธีการ

การเตรียมตัวอย่างข้าวสำหรับการทดลอง

ใช้ข้าวขาวดอกมะลิ (KMDL 105) ที่เก็บเกี่ยวใหม่ ๆ จากบริษัท โรงสีข้าวเจียเม้ง (บางซื่อ) จำกัด ซึ่งข้าวสารได้ผ่านการสีและขัดในระดับที่ได้รับการยอมรับทางการค้าและเก็บรักษาไว้ในห้องเย็นที่อุณหภูมิประมาณ 10±2°C จนกระทั่งนำมาใช้ทดสอบ ข้าวมีความชื้นระหว่าง 12.5-13.0 เปอร์เซ็นต์

การเตรียมตัวอย่างแมลงสำหรับทดลอง

การศึกษาครั้งนี้ได้ใช้ด้วงงวงข้าวโพด (*Sitophilus zeamais*) มอดข้าวเปลือก (*Rhyzopertha dominica*) ผีเสื้อข้าวเปลือก (*Sitotroga cerealella*) ผีเสื้อข้าวสาร (*Corcyra cephalonica*) และมอดแป้ง (*Tribolium castaneum*) ในการทดสอบ ซึ่งเก็บรวบรวมมาจากโรงสีข้าวและโกดังต่าง ๆ ในบริเวณภาคกลาง นำมาเลี้ยงเพิ่มปริมาณไข่ หนอน ดักแด้และตัวเต็มวัย โดยใช้ข้าวขาวดอกมะลิ ข้าวเปลือกและรำข้าวเป็นอาหาร ที่อุณหภูมิห้องในสภาพห้องปฏิบัติการกลุ่มวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร

การทดสอบด้วยความร้อน

วางแผนการทดลองแบบ CRD มี 3 ซ้ำสำหรับทุกระดับอุณหภูมิและเวลา โดยเริ่มต้นทำการทดลองกับตัวเต็มวัยด้วงงวงข้าวโพด ใส่ข้าวสาร 250 กรัมและตัวเต็มวัยด้วงงวง 50 ตัว ลงในถ้วยพลาสติก ปิดด้วยผ้าขาวบางสำหรับการถ่ายเทอากาศ เปิดตู้อบล่วงหน้าเพื่อให้อุณหภูมิในตู้เท่ากับระดับที่ต้องการก่อนนำข้าวที่มีแมลงไปทดสอบ ตู้อบที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ยี่ห้อ MEMMERT ไม่ทราบรุ่น ปริมาตรภายในเท่ากับ 108x124x61 ลูกบาศก์เซนติเมตร ทำการทดสอบที่อุณหภูมิ 3 ระดับคือ 60°C, 70°C และ 80 °C ที่แต่ละระดับอุณหภูมิ นำตัวอย่างข้าวที่มีแมลงออกจากตู้อบทุก ๆ 10 นาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที เพื่อหาระยะเวลาที่ทำให้ด้วงงวงตัวเต็มวัยตายหมด ดังได้แสดงแผนการทดลองในรูปที่ 1

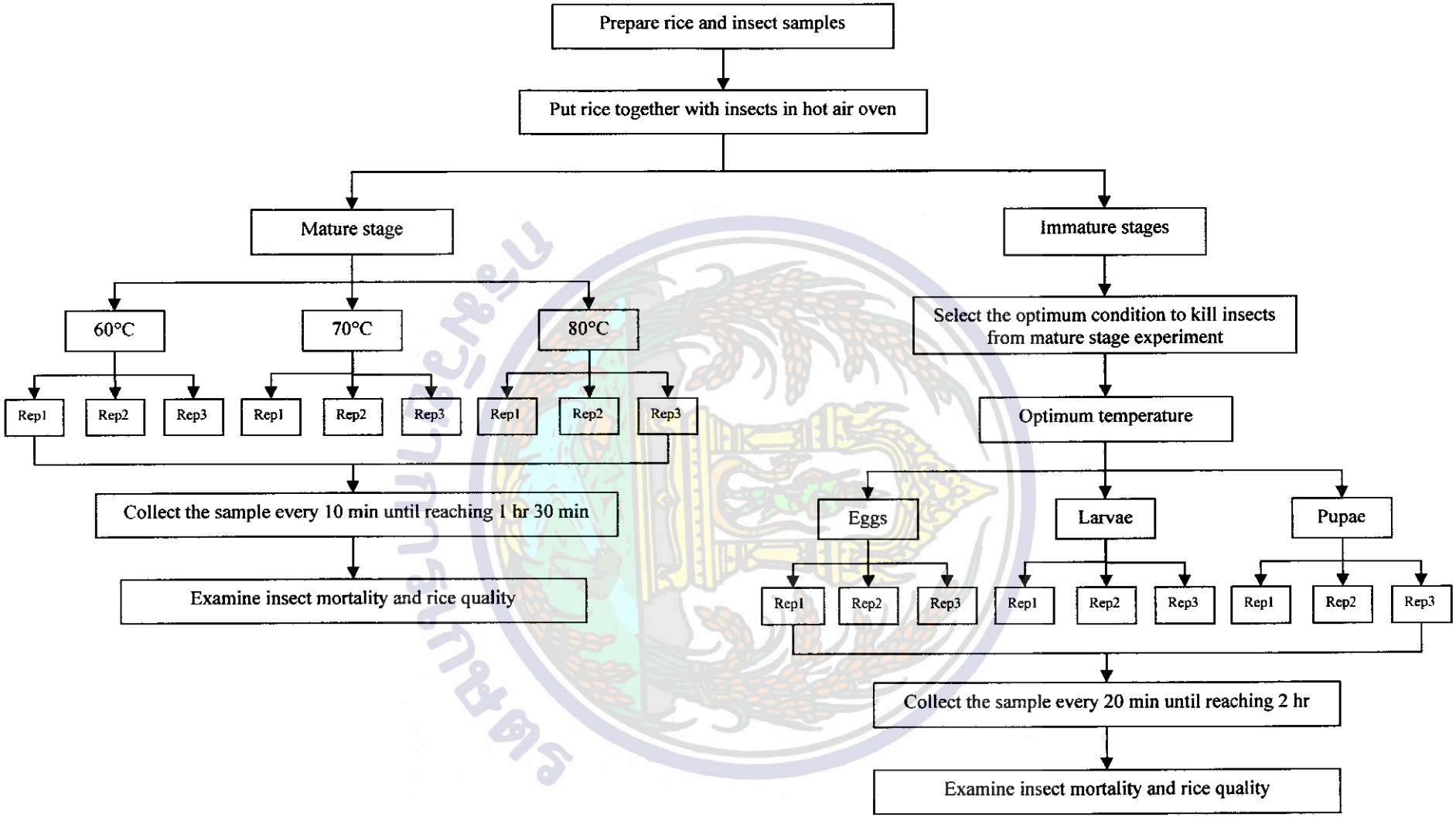

Figure 1. Schematic Diagram of the use of Heating Temperatures

เมื่อทราบระดับอุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมแล้ว จึงทดสอบกับระยะไข่ หนอน และดักแด้ของด้วงงวงข้าวโพด โดยใส่ข้าว 150 กรัมและตัวเต็มวัยของด้วงงวงข้าวโพด 50 ตัว ลงในถ้วยพลาสติก ปิดด้วยผ้าขาวบางแล้วเก็บไว้ในอุณหภูมิห้องเพื่อให้ตัวเต็มวัยวางไข่ หลังจาก 48 ชั่วโมง ย้ายตัวเต็มวัยออกให้หมด นำข้าวที่มีไข่ของด้วงงวงส่วนหนึ่งไปทดสอบสำหรับระยะไข่ อีกส่วนหนึ่งเก็บไว้ในอุณหภูมิห้องต่อไป จนกระทั่งไข่ฟักและเจริญเติบโตเป็นหนอนและดักแด้ โดยใช้เวลาประมาณ 20 และ 24 วันตามลำดับ เติมข้าวสาร 100 กรัมลงไปในแต่ละถ้วยเพื่อให้ได้ข้าวปริมาณ 250 กรัมก่อนนำไปทดสอบในตู้อบ นำตัวอย่างข้าวที่มีแมลงแต่ละระยะออกจากตู้อบทุก ๆ 20 นาทีจนครบ 2 ชั่วโมง ทำ 3 ซ้ำสำหรับทุกระยะการเจริญเติบโต ทุกระดับอุณหภูมิและเวลา

หลังจากนั้นทำการทดสอบกับด้วงงวงข้าวโพด มอดข้าวเปลือก ผีเสื้อข้าวเปลือก ผีเสื้อข้าวสารและมอดแป้ง ที่อุณหภูมิ 3 ระดับคือ 60°C, 70°C และ 80 °C เป็นเวลา 1, 2 และ 3 ชั่วโมง โดยเตรียมมอดข้าวเปลือกและผีเสื้อข้าวสารทุกระยะการเจริญเติบโตเช่นเดียวกับด้วงงวงข้าวโพด สำหรับมอดแป้งได้ใช้รำข้าวเป็นอาหาร และใช้ข้าวเปลือกสำหรับเลี้ยงผีเสื้อข้าวเปลือก ซึ่งได้เพิ่มปริมาณข้าวที่ใช้อบเป็น 2 กิโลกรัม เปรียบเทียบกับข้าวที่มีแมลงแต่ไม่ได้ผ่านความร้อน การใช้ตู้อบนั้น อุณหภูมิในตู้อบอาจมีความคลาดเคลื่อนจากอุณหภูมิที่ตั้งไว้ ±2°C เมื่อนำตัวอย่างข้าวใส่เข้าไปในตู้อบ ต้องใช้เวลาระยะหนึ่งในการทำให้ข้าวร้อนก่อนที่อุณหภูมิของข้าวจะขึ้นไปถึงระดับอุณหภูมิที่ต้องการ แล้วจึงเริ่มจับเวลาสำหรับการทดลอง

การตรวจวัดผล

เมื่อผ่านการทดสอบที่อุณหภูมิ 3 ระดับคือ 60°C, 70°C และ 80 °C เพื่อหาระยะเวลาที่ทำให้ด้วงงวงตัวเต็มวัยตายหมดแล้ว นำข้าวที่มีตัวเต็มวัยไปเก็บไว้ในอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นตรวจนับจำนวนแมลงที่ตายในแต่ละกรรมวิธี สำหรับระยะไข่ หนอนและดักแด้ก็เช่นกัน เมื่อผ่านการทดสอบแล้วนำไปเก็บไว้ในอุณหภูมิห้องจนกว่าไข่ หนอนและดักแด้เป็นตัวเต็มวัย การตายของแมลงวัดจากการเป็นตัวเต็มวัยในแต่ละกรรมวิธี เปรียบเทียบกับจำนวนแมลงที่ตายในกรรมวิธีควบคุม และคำนวณเปอร์เซ็นต์การตาย

การทดสอบกับด้วงงวงข้าวโพด มอดข้าวเปลือก ผีเสื้อข้าวเปลือก ผีเสื้อข้าวสารและมอดแป้ง ที่อุณหภูมิ 3 ระดับคือ 60°C, 70°C และ 80 °C เป็นเวลา 1, 2 และ 3 ชั่วโมง เมื่อทดสอบระยะตัวเต็มวัยแล้วตรวจนับแมลงที่รอดชีวิตหลังผ่านความร้อน 24 ชั่วโมง สำหรับระยะไข่ หนอน และดักแด้ หลังการทดสอบแล้วเก็บไว้ในอุณหภูมิห้องจนกว่าจะมีตัวเต็มวัยเกิดขึ้นแล้วจึงตรวจนับ หลังจากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปหาค่าประสิทธิภาพการควบคุม (control efficiency percentage) ตามสูตรที่รายงานโดย Püntener (1981) ดังต่อไปนี้

Control efficiency percentage (%) = [1- (Ta/Ca x Cb/Tb)] 100

Tb = จำนวนของแมลงก่อนทำการทดลองในแต่ละกรรมวิธี (Treatment)

Ta = จำนวนของแมลงหลังจากทำการทดลองในแต่ละกรรมวิธี (Treatment)

Cb = จำนวนของแมลงก่อนทำการทดลองในกรรมวิธีที่ควบคุม (Control)

Ca = จำนวนของแมลงหลังทำการทดลองในกรรมวิธีที่ควบคุม (Control)

และนำข้อมูลไปวิเคราะห์ความแตกต่างกันทางสถิติ

การตรวจสอบคุณภาพข้าว

หลังจากดำเนินการทดสอบความร้อนระดับต่าง ๆ กับด้วงงวงข้าวโพดทุกระยะการเจริญเติบโตแล้ว ได้ตรวจสอบคุณภาพของข้าวทางด้านความชื้น ความเหลือง อัตราการดูดซับน้ำ ความแข็งและความเหนียวของข้าวที่ผ่านการหุง รวมถึงการประเมินทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม SPSS โดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และใช้ Duncan Multiple Range Test (DMRT) วิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยแต่ละค่า ซึ่งค่าเฉลี่ยจะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อ $p \leq 0.05$

เวลาและสถานที่

ตุลาคม 2548 – เมษายน 2550

ห้องปฏิบัติการกลุ่มวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร

ภาควิชาวิศวกรรมอาหารและเทคโนโลยีชีวภาพ สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

ด้วงงวงข้าวโพดที่อุณหภูมิ 3 ระดับ (60, 70 และ 80°C)

การตายของแมลงที่ตรวจนับเป็นเปอร์เซ็นต์ได้แบ่งเป็น 2 ส่วนคือส่วนที่เป็นระยะตัวเต็มวัย และส่วนที่เป็นระยะไข่ หนอน และดักแด้ กรรมวิธีที่ใช้กับระยะไข่ หนอนและดักแด้ เป็นวิธีที่เลือกมาจากการทดลองกับตัวเต็มวัยในชั้นต้น โดยใช้ความร้อนจากตู้อบที่ระดับอุณหภูมิทั้งสามคือ 60, 70 และ 80°C กับด้วงงวงข้าวโพดระยะตัวเต็มวัย

<u>ระยะตัวเต็มวัย</u> ระยะเวลาที่ทำให้ด้วงงวงตาย 100% ได้แสดงในตารางที่ 1 และรูปที่ 2 เห็นได้ว่าเมื่อใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60°C, 70°C และ 80°C เวลาที่ทำให้ตัวเต็มวัยด้วงงวงตายหมดคือ 70, 40 และ 30 นาทีตามลำดับ นั่นแสดงว่าเวลาที่ใช้ในการกำจัดตัวเต็มวัยด้วงงวงลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้น ในขณะที่อัตราการตายของตัวเต็มวัยในแต่ละระดับอุณหภูมิก็เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น

Qaisrani และ Banks (2000) พบว่าแมลงศัตรูผลิตผลเกษตรตายภายในไม่กี่วินาทีเมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่า 65°C ใช้เวลาเป็นชั่วโมงที่อุณหภูมิ 50°C และใช้เวลาเป็นวัน ๆ ที่อุณหภูมิ 45°C นอกจากนั้นมีรายงานว่าอุณหภูมิยิ่งสูงขึ้นมีผลให้เวลาในการทำให้แมลงตายลดลงอย่างเห็นได้ชัด (Mbata และ Phillips, 2001) การเพิ่มอัตราความร้อนทำให้แมลงเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและมีผลให้แมลงตายเร็วขึ้น (Beckett และ Morton, 2003) จากการศึกษานี้ สามารถสรุปได้ว่าการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 30 นาทีมีประสิทธิภาพในการฆ่าตัวเต็มวัยด้วงงวงข้าวโพด *Sitophilus zeamais* และพบว่าเวลาที่ใช้เพื่อทำให้แมลงตาย 100% ลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้น และที่แต่ละระดับอุณหภูมิอัตราการตายของตัวเต็มวัยเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาที่ใช้เพิ่มขึ้น

Table 1. Percentage of mortality of *Sitophilus zeamais* (adults) exposed to heating temperatures at 60°C, 70°C and 80°C

Insect stages	Treatment: Temperature	Time (min.)	%Mortality
Adults	60±2°C	10	0.00±0.00a
		20	0.00±0.00a
		30	0.00±0.00a
		40	0.67±1.15a
		50	1.33±2.31a
		60	52.67±23.18b
		70	**100.00±0.00c**
		80	100.00±0.00c
		90	100.00±0.00c
	70±2°C	10	0.00±0.00a
		20	0.67±1.15a
		30	3.33±1.15b
		40	**100.00±0.00c**
		50	100.00±0.00c
		60	100.00±0.00c
	80±2°C	10	0.67±1.15a
		20	38.67±31.01b
		30	**100.00±0.00c**
		40	100.00±0.00c
		50	100.00±0.00c
		60	100.00±0.00c

Data were reported in means ± standard deviation. Means for each characteristic followed by the same letter within the same column are not significantly different by Duncan's test ($P<0.05$)

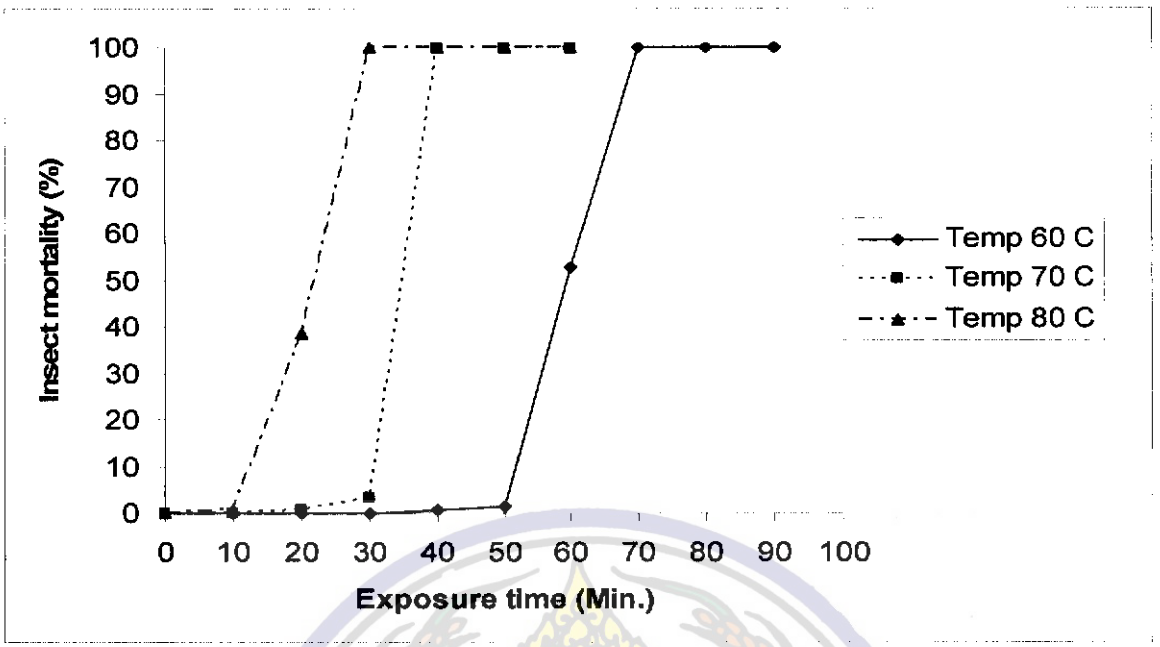

Figure 2. Percentage of mortality of *Sitophilus zeamais* (adults) versus exposure time compared between different heating temperatures at 60°C, 70°C and 80°C

ระยะไข่ หนอน และดักแด้ โดยทั่วไประยะไข่ หนอนและดักแด้ของแมลงศัตรูผลิตผลเกษตรที่ทำลายเมล็ดจะเป็นปัญหาสำคัญในการกำจัด เนื่องจากอาศัยและกัดกินอยู่ภายในเมล็ด ทำให้ยากต่อการควบคุม เมื่อทดสอบกับตัวเต็มวัย พบว่าการใช้ความร้อนที่ระดับ 70°C ก็เพียงพอต่อการฆ่าแมลง ถึงแม้ว่าที่ระดับ 80°C ให้ผลที่ดีกว่าแต่สูญเสียคุณภาพของข้าวสารไปเมื่อใช้เวลานานขึ้น ตารางที่ 2 และรูปที่ 3 แสดงถึงระยะเวลาที่ทำให้แมลงระยะไข่ หนอน และดักแด้ตาย 100% จากข้อมูลในตารางชี้ให้เห็นว่าที่อุณหภูมิ 70°C เวลาที่ใช้ในการฆ่าแมลงระยะไข่ หนอน และดักแด้เท่ากันคือ 60 นาที อย่างไรก็ตาม ผลจากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า เปอร์เซ็นต์การตายของไข่ หนอน และดักแด้เมื่อใช้เวลานาน 40 และ 60 นาทีไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) ดังนั้นเวลาที่ใช้สำหรับการกำจัดด้วงงวงข้าวโพดระยะไข่ หนอน และดักแด้อยู่ระหว่าง 40 ถึง 60 นาที

จากการทดลองนี้จึงสรุปได้ว่า การใช้ความร้อนที่ระดับ 70°C เป็นเวลา 40 ถึง 60 นาทีมีประสิทธิภาพในการกำจัดด้วงงวงข้าวโพด (*Sitophilus zeamais*) ได้ 100% สำหรับทุกระยะการเจริญเติบโต และอัตราการตายของทุกระยะยังเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาที่ใช้ในแต่ละระดับอุณหภูมิเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ในทางการค้า ระยะเวลา 40 นาทีอาจไม่สามารถนำไปใช้ได้ เนื่องจากยังคงมีแมลงรอดชีวิต ซึ่งสามารถขยายพันธุ์เพิ่มปริมาณและทำความเสียหายแก่ข้าวสารต่อไปได้

Table 2. Percentage of mortality of *Sitophilus zeamais* (eggs, larvae and pupae) exposed to optimum heating temperatures at 70°C

Insect Stage	Treatment: Temperature	Time (min.)	%Mortality
Eggs	70±2°C	20	30.26±31.53a
		40	98.45±2.69b
		60	**100.00±0.00b**
		80	100.00±0.00b
		100	100.00±0.00b
		120	100.00±0.00b
Larvae	70±2°C	20	43.98±38.42a
		40	94.09±9.01b
		60	**100.00±0.00b**
		80	100.00±0.00b
		100	100.00±0.00b
		120	100.00±0.00b
Pupae	70±2°C	20	53.08±12.79a
		40	97.22±4.81b
		60	**100.00±0.00b**
		80	100.00±0.00b
		100	100.00±0.00b
		120	100.00±0.00b

Data were reported in means ± standard deviation. Means for each characteristic followed by the same letter within the same column are not significantly different by Duncan's test ($P<0.05$)

ห้องสมุด กรมวิชาการเกษตร

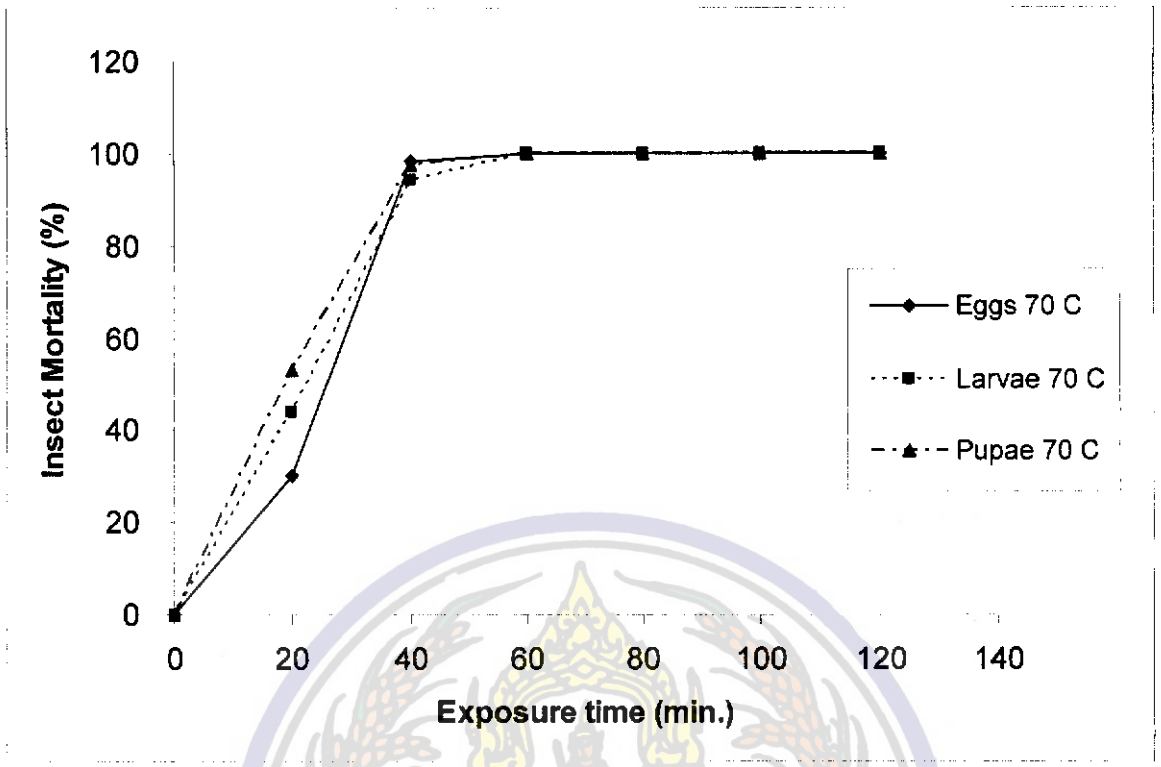

Figure 3. Percentage of mortality of *Sitophilus zeamais* (eggs, larvae and pupae) versus exposure time on the treatment of optimum temperature at 70°C

ด้วงงวงข้าวโพด มอดข้าวเปลือก มอดแป้ง ผีเสื้อข้าวเปลือก และผีเสื้อข้าวสาร ที่อุณหภูมิ 3 ระดับคือ 60°C, 70°C และ 80°C เป็นเวลา 1, 2 และ 3 ชั่วโมง โดยใช้ข้าว 2 กิโลกรัม

<u>ด้วงงวงข้าวโพด</u> พบว่า ทุกระดับอุณหภูมิที่ทำการทดสอบมีผลต่อการรอดชีวิตของด้วงงวงทุกระยะการเจริญเติบโต (ตารางที่ 3) โดยอุณหภูมิและเวลาที่ให้ผลดีที่สุดในการควบคุมทั้ง 4 ระยะคือ 70°C นาน 3 ชั่วโมง, 80°C นาน 2 และ 3 ชั่วโมง ซึ่งพบว่าด้วงงวงทุกระยะการเจริญเติบโตตาย 100 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิและเวลาที่ให้ผลรองลงมาได้แก่ 60°C นาน 3 ชั่วโมง แต่ไม่แตกต่างทางสถิติจาก 3 กรรมวิธีแรกในระยะไข่ ระยะหนอน และระยะดักแด้ ในขณะที่ระยะตัวเต็มวัยพบว่าแตกต่างทางสถิติ กรรมวิธีรองลงมาในระยะไข่และระยะตัวเต็มวัยคือ 70°C นาน 2 ชั่วโมง สำหรับระยะหนอนและดักแด้ กรรมวิธีนี้ยังคงไม่แตกต่างจากการใช้ 60°C นาน 3 ชั่วโมง

ที่ 60°C นาน 2 ชั่วโมง และ 80°C นาน 1 ชั่วโมง ให้ผลการควบคุมด้วงงวงทุกระยะไม่แตกต่างกัน ในขณะที่ 60°C และ 70°C นาน 1 ชั่วโมง ควบคุมด้วงงวงได้น้อยที่สุดไม่แตกต่างกันในระยะไข่และหนอน แต่แตกต่างกันในระยะดักแด้โดยที่ 70°C นาน 1 ชั่วโมง ให้ผลดีกว่า 60°C นาน 1 ชั่วโมง สำหรับระยะตัวเต็มวัย 2 กรรมวิธีหลังนี้ให้ผลเท่ากันกับที่ 60°C นาน 2 ชั่วโมง และ 80°C นาน 1 ชั่วโมง

<u>มอดข้าวเปลือก</u> การใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60°C นาน 3 ชั่วโมง, 70°C นาน 2 และ 3 ชั่วโมง, 80°C นาน 2 และ 3 ชั่วโมง ให้ผลการควบคุมมอดข้าวเปลือกดีที่สุดและไม่แตกต่างกันในระยะหนอน

ป
633.18006
ก9ผ๔
2550

ดักแด้และตัวเต็มวัย (ตารางที่ 4) สำหรับระยะไข่ ที่ 70°C นาน 2 ชั่วโมงให้ผลการควบคุมเท่ากับการใช้ 60°C นาน 2 ชั่วโมง ซึ่งแตกต่างทางสถิติจากกรรมวิธีที่ให้ผลดีที่สุด กรรมวิธีที่ให้ผลรองลงมาคือ 80°C นาน 1 ชั่วโมง, 70°C นาน 1 ชั่วโมง และ 60°C นาน 1 ชั่วโมง ตามลำดับ

อุณหภูมิ 80°C นาน 1 ชั่วโมง สามารถควบคุมหนอนและดักแด้ของมอดข้าวเปลือกได้เป็นอันดับที่สอง ไม่แตกต่างจากระดับ 60°C นาน 2 ชั่วโมง แต่แตกต่างทางสถิติจากระดับ 70°C นาน 1 ชั่วโมงในระยะหนอน ในขณะที่ระยะดักแด้ อุณหภูมิ 60°C นาน 3 ชั่วโมง ให้ผลดีแตกต่างจาก 70°C นาน 1 ชั่วโมง และ 60°C นาน 2 ชั่วโมง ซึ่งสองกรรมวิธีหลังนี้ให้ผลไม่แตกต่างกัน อุณหภูมิ 60°C นาน 2 ชั่วโมง, 80°C นาน 1 ชั่วโมง และ 70°C นาน 1 ชั่วโมง สามารถควบคุมตัวเต็มวัยได้ตามลำดับ กรรมวิธีที่ได้ผลน้อยที่สุดสำหรับทุกระยะการเจริญเติบโตคือ อุณหภูมิ 60°C นาน 1 ชั่วโมง

ผีเสื้อข้าวเปลือก อุณหภูมิทั้ง 3 ระดับเป็นเวลา 2 และ 3 ชั่วโมง สามารถควบคุมผีเสื้อข้าวเปลือกทุกระยะได้ดีไม่แตกต่างกัน (ตารางที่ 5) กรรมวิธีที่ได้ผลรองลงมาคือ 80°C นาน 1 ชั่วโมง ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับระดับ 70°C นาน 1 ชั่วโมง แต่แตกต่างกับ 60°C นาน 1 ชั่วโมงในระยะไข่ สำหรับระยะหนอน ดักแด้ และตัวเต็มวัย การใช้อุณหภูมิ 80°C นาน 1 ชั่วโมง ให้ผลดีกว่า 70°C นาน 1 ชั่วโมง และที่ 60°C นาน 1 ชั่วโมงเป็นกรรมวิธีที่ควบคุมผีเสื้อข้าวเปลือกได้น้อยที่สุด

ผีเสื้อข้าวสาร อุณหภูมิ 60 และ 70°C นาน 2 และ 3 ชั่วโมง และอุณหภูมิ 80°C นาน 1, 2 และ 3 ชั่วโมง ให้ผลการควบคุมไข่ผีเสื้อข้าวสารได้ดีไม่แตกต่างกัน (ตารางที่ 6) รองลงมาคือ 70°C นาน 1 ชั่วโมง และ 60°C นาน 1 ชั่วโมง ตามลำดับ เช่นเดียวกับระยะหนอนแต่อุณหภูมิ 60°C นาน 3 ชั่วโมง ให้ผลการควบคุมหนอนเท่ากับอุณหภูมิ 70°C นาน 1 ชั่วโมง ในระยะดักแด้ อุณหภูมิ 60°C นาน 3 ชั่วโมง, 70°C นาน 2 และ 3 ชั่วโมง และอุณหภูมิ 80°C นาน 1, 2 และ 3 ชั่วโมง ให้ผลการควบคุมได้ดีไม่แตกต่างกัน รองลงมาคือ 60°C นาน 2 ชั่วโมง, 70°C นาน 1 ชั่วโมง และ 60°C นาน 1 ชั่วโมง ตามลำดับ สำหรับตัวเต็มวัยของผีเสื้อข้าวสาร อุณหภูมิ 60°C นาน 3 ชั่วโมง, 70°C นาน 3 ชั่วโมง และอุณหภูมิ 80°C นาน 1, 2 และ 3 ชั่วโมง ให้ผลเดียวกัน

มอดแป้ง สำหรับทุกระยะการเจริญเติบโตแล้ว การใช้อุณหภูมิ 80°C นาน 3 ชั่วโมง ให้ผลการควบคุมดีที่สุด (ตารางที่ 7) รองลงมาคืออุณหภูมิ 70°C นาน 3 ชั่วโมง แต่ให้ผลการควบคุมไม่ดีกับตัวเต็มวัยในระยะไข่เมื่อใช้อุณหภูมิ 80°C นาน 2 ชั่วโมงมีผลเช่นเดียวกับการใช้อุณหภูมิ 60°C นาน 3 ชั่วโมง และอุณหภูมิทั้ง 3 ระดับ นาน 1 ชั่วโมงให้ผลไม่แตกต่างจากกรรมวิธีควบคุมทั้งในระยะไข่และระยะหนอน ระยะดักแด้และตัวเต็มวัยของมอดแป้งเป็นระยะที่ทนต่อความร้อน เห็นได้ว่านอกจากอุณหภูมิ 80°C นาน 3 ชั่วโมงแล้ว กรรมวิธีอื่น ๆ ให้การควบคุมที่ไม่ได้ผล

ผลการทดลองนี้แตกต่างจากการศึกษาของ Dermott และ Evans (1978) ที่ได้ศึกษาการใช้ความร้อนจากเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบดในการทำความสะอาดข้าวสาลีจากการเข้าทำลายของแมลง เมื่อนำข้าวสาลีความชื้น 14% ที่มีตัวอ่อนของด้วงงวงข้าว (*Sitophilus oryzae* (L.)) มอดข้าวเปลือก (*Rhizopertha dominica* (F.)) และผีเสื้อข้าวเปลือก (*Sitotroga cerealella* (Oliv.)) ผ่านความร้อนที่ระดับ 60, 70 และ 80°C

พบว่าใช้เวลา 12, 6 และ 4 นาทีตามลำดับในการทำให้ผิวของเมล็ดข้าวสาลีมีอุณหภูมิ 59, 62 และ 65°C ที่ทำให้แมลงตายหมด ทั้งนี้ความชื้นของเมล็ดข้าวสาลีไม่เปลี่ยนแปลง และคุณภาพของแป้งที่นำไปทำขนมไม่สูญเสียไป ถึงแม้ว่าแมลงที่ใช้ศึกษาจะเป็นแมลงชนิดเดียวกัน ความร้อนระดับเดียวกัน แต่เนื่องจากเครื่องอบแห้งและเมล็ดที่ใช้ต่างชนิดกัน จึงทำให้ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแตกต่างกัน

ได้มีการใช้ความร้อนหรือความเย็นเพื่อการควบคุมแมลงศัตรูผลิตผลเกษตรและไรอย่างกว้างขวาง สำหรับแมลงศัตรูผลิตผลเกษตรส่วนใหญ่แล้ว อุณหภูมิระหว่าง 25-33°C เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตและการขยายพันธุ์ อุณหภูมิระหว่าง 13-25°C และระหว่าง 33-35°C เป็นช่วงที่แมลงยังสามารถเจริญเติบโตและขยายพันธุ์ได้ แต่ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 13°C หรือสูงกว่า 35°C แมลงจะตาย ยิ่งอุณหภูมิสูงขึ้นหรือลดลงเท่าไรแมลงยิ่งตายเร็วขึ้น ซึ่งแมลงจะตายในเวลาเพียงไม่กี่นาทีที่อุณหภูมิ -20°C หรือ 55°C ทั้งนี้ระดับอุณหภูมิที่ทำให้แมลงตายนั้นแตกต่างกันออกไปตามชนิดและ ระยะการเจริญเติบโต การปรับตัวของแมลง และความชื้นสัมพัทธ์ (Fields, 1992)

ผลของความร้อนที่มีต่อคุณภาพข้าว

เนื่องจากการศึกษานี้เป็นการศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการอยู่รอดของแมลง และความร้อนที่เกิดจากการใช้อุณหภูมิสูงอาจมีผลต่อคุณภาพของข้าวและการยอมรับของผู้บริโภค ดังนั้นการตรวจสอบคุณภาพข้าวหลังการผ่านความร้อนจึงเป็นสิ่งสำคัญ ซึ่งได้นำข้าวที่มีการเข้าทำลายของด้วงงวงข้าวโพดทั้งระยะตัวเต็มวัยและระยะตัวอ่อน และผ่านการอบด้วยระดับความร้อนและระยะเวลาที่ทำให้แมลงตาย 100% มาตรวจคุณภาพทางด้านความชื้น ความเหลือง อัตราการดูดซับน้ำ ความแข็งและความเหนียวของข้าวที่ผ่านการหุง รวมถึงการประเมินทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค โดยแบ่งผลการทดสอบเป็น 2 ส่วนคือส่วนที่มีการทำลายของระยะตัวเต็มวัย และส่วนที่มีการทำลายของระยะตัวอ่อน

<u>คุณภาพข้าวที่มีการทำลายของด้วงงวงข้าวโพดระยะตัวเต็มวัยหลังผ่านความร้อน</u>

ตารางที่ 8 แสดงคุณภาพข้าวที่เปลี่ยนแปลงไปหลังผ่านความร้อนที่ระดับ 60, 70 และ 80°C เป็นเวลา 70, 40 และ 30 นาทีตามลำดับ เปรียบเทียบกับข้าวที่ไม่ได้ผ่านความร้อน พบว่าความชื้นของข้าวที่ผ่านความร้อนทั้ง 3 ระดับมีค่าเท่ากับ 11.72, 11.66 และ 11.67 % ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างจากความชื้นของข้าวที่ไม่ได้ผ่านความร้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ค่าความชื้นมีแนวโน้มลดลงเมื่อผ่านความร้อน ความเหลืองของข้าวที่ผ่านความร้อนมีค่าเท่ากับ 13.53, 13.38 และ 13.53 ตามลำดับ ความเหลืองของข้าวที่ผ่านความร้อนที่ 60 และ 80°C ไม่แตกต่างจากความเหลืองของข้าวที่ไม่ได้ผ่านความร้อน แต่ความเหลืองของข้าวที่ผ่านความร้อนที่ 70°C แตกต่างจากความเหลืองของข้าวที่ไม่ได้ผ่านความร้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ค่าความเหลืองลดลงเล็กน้อยหลังผ่านความร้อนเช่นเดียวกับค่าความชื้น Khan และคณะ (1974) ได้รายงานไว้ว่าระยะเวลาในการผ่านความร้อนมีผลต่อค่าความเหลืองของข้าวสาร ค่าความเหลืองเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิการอบให้สูงขึ้น เพิ่มเวลาการอบ และเมื่อความชื้นของข้าวสูง แต่ที่อุณหภูมิต่ำและระยะเวลาสั้นค่าความเหลืองไม่เปลี่ยนแปลง

Table 3. Number of survival of *Sitophilus zeamais* (adults) and percentage of control in 2 kg of rice exposed to heating temperatures

Treatment	Temperature/Time	Egg Stage		Larval Stage		Pupal Stage		Adult Stage	
		No. of survival adult	% Control	No. of survival adult	% Control	No. of survival adult	% Control	No. of survival adult	% Control
1	60°C /1 hour	52.00 d	44.18 d	57.25 c	37.89 c	65.50 d	28.23 d	20.00 d	-6.24 d
2	60°C /2 hour	20.75 c	77.79 c	26.25 b	71.55 b	25.00 b	72.39 b	18.75 d	0.46 d
3	60°C /3 hour	3.50 ab	96.24 ab	3.25 a	96.43 a	3.00 a	96.64 a	6.75 b	63.94 b
4	70°C /1 hour	44.50 d	51.81 d	58.25 c	36.52 c	46.75 c	48.98 c	20.00 d	-6.24 d
5	70°C /2 hour	9.75 b	89.59 b	6.50 a	93.13 a	10.00 a	89.34 a	12.25 c	34.26 c
6	70°C /3 hour	0.00 a	100.00 a	0.00 a	100.00 a	0.00 a	100.00 a	0.00 a	100.00 a
7	80°C /1 hour	22.00 c	76.42 c	28.75 b	68.93 b	33.00 b	64.38 b	20.00 d	-6.24 d
8	80°C /2 hour	0.00 a	100.00 a	0.00 a	100.00 a	0.00 a	100.00 a	0.00 a	100.00 a
9	80°C /3 hour	0.00 a	100.00 a	0.00 a	100.00 a	0.00 a	100.00 a	0.00 a	100.00 a
10	Untreated Control	93.00 e	0.00 e	92.83 d	0.00 d	92.42 e	0.00 e	18.83 d	0.00 d
	CV (%)	19.09	6.85	18.17	7.64	18.01	7.69	12.34	20.14

Means for each characteristic followed by the same letter within the same column are not significantly different by Duncan's test ($P<0.05$)

Table 4. Number of survival of *Rhyzopertha dominica* (adults) and percentage of control in 2 kg of rice exposed to heating temperatures

Treatment	Temperature/Time	Egg Stage		Larval Stage		Pupal Stage		Adult Stage	
		No. of survival adult	% Control	No. of survival adult	% Control	No. of survival adult	% Control	No. of survival adult	% Control
1	60°C /1 hour	95.75 e	25.36 e	2.50 bc	13.89 d	117.00 d	23.54 d	30.00 d	-0.57 d
2	60°C /2 hour	16.50 b	87.08 b	0.25 a	73.36 bc	62.50 c	58.99 c	22.50 b	24.62 b
3	60°C /3 hour	0.00 a	100.00 a	0.00 a	100.00 a	0.00 a	100.00 a	0.00 a	100.00 a
4	70°C /1 hour	57.25 d	55.23 d	4.50 c	69.87 c	67.50 c	55.72 c	28.75 d	3.64 d
5	70°C /2 hour	11.25 b	91.20 b	1.75 ab	95.24 a	7.00 a	95.42 a	0.00 a	100.00 a
6	70°C /3 hour	0.00 a	100.00 a	0.00 a	100.00 a	0.00 a	100.00 a	0.00 a	100.00 a
7	80°C /1 hour	24.00 c	81.33 c	0.75 ab	80.54 b	21.25 b	86.05 b	24.50 c	17.90 c
8	80°C /2 hour	0.25 a	99.81 a	0.00 a	99.12 a	0.00 a	100.00 a	0.00 a	100.00 a
9	80°C /3 hour	0.00 a	100.00 a	0.00 a	100.00 a	0.00 a	100.00 a	0.00 a	100.00 a
10	Untreated Control	128.33 f	0.00 f	1.75 ab	0.00 e	152.75 e	0.00 e	29.83 d	0.00 d
	CV (%)	20.92	7.34	25.99	7.74	19.86	7.73	16.27	13.54

Means for each characteristic followed by the same letter within the same column are not significantly different by Duncan's test ($P<0.05$)

Table 5. Number of survival of *Sitotroga cerealella* (adults) and percentage of control in 2 kg of rice exposed to heating temperatures

Treatment	Temperature/Time	Egg Stage		Larval Stage		Pupal Stage		Adult Stage	
		No. of survival adult	% Control	No. of survival adult	% Control	No. of survival adult	% Control	No. of survival adult	% Control
1	60°C /1 hour	44.75 c	25.87 c	71.25 d	-1.56 d	73.50 d	1.15 d	18.25 d	8.06 d
2	60°C /2 hour	3.00 a	95.18 a	3.00 ab	95.71 a	0.25 a	99.69 a	0.25 a	98.71 a
3	60°C /3 hour	0.00 a	100.00 a	0.50 a	99.31 a	0.00 a	100.00 a	0.00 a	100.00 a
4	70°C /1 hour	14.25 b	76.66 b	25.75 c	63.18 c	20.75 c	72.00 c	11.00 c	44.52 c
5	70°C /2 hour	0.50 a	99.31 a	2.00 a	97.31 a	0.25 a	99.66 a	0.00 a	100.00 a
6	70°C /3 hour	0.00 a	100.00 a	0.00 a	100.00 a	0.00 a	100.00 a	0.00 a	100.00 a
7	80°C /1 hour	11.50 b	79.84 b	10.75 b	84.52 b	11.25 b	84.87 b	2.25 b	88.66 b
8	80°C /2 hour	0.00 a	100.00 a	0.75 a	99.05 a	0.00 a	100.00 a	1.00 ab	95.00 ab
9	80°C /3 hour	0.00 a	100.00 a	0.00 a	100.00 a	0.00 a	100.00 a	0.00 a	100.00 a
10	Untreated Control	62.17 d	0.00 d	70.33 d	0.00 d	74.42 d	0.00 d	19.83 e	0.00 e
	CV (%)	25.20	7.23	24.02	8.49	25.75	8.24	23.30	8.40

Means for each characteristic followed by the same letter within the same column are not significantly different by Duncan's test ($P<0.05$)

Table 6. Number of survival of *Corcyra cephalonica* (adults) and percentage of control in 2 kg of rice exposed to heating temperatures

Treatment	Temperature/Time	Egg Stage		Larval Stage		Pupal Stage		Adult Stage	
		No. of survival adult	% Control	No. of survival adult	% Control	No. of survival adult	% Control	No. of survival adult	% Control
1	60°C /1 hour	13.25 c	25.83 c	20.00 c	0.00 c	9.25 d	35.75 d	18.50 e	7.50 e
2	60°C /2 hour	1.75 ab	90.27 ab	0.50 a	97.50 a	3.00 b	80.23 b	5.50 cd	72.50 cd
3	60°C /3 hour	0.00 a	100.00 a	3.00 b	85.00 b	0.00 a	100.00 a	1.25 ab	93.75 ab
4	70°C /1 hour	3.25 b	81.97 b	2.75 b	86.25 b	6.25 c	58.13 c	8.00 d	60.00 d
5	70°C /2 hour	0.00 a	100.00 a	0.00 a	100.00 a	1.25 ab	92.06 ab	3.25 bc	83.75 bc
6	70°C /3 hour	0.00 a	100.00 a	0.75 a	96.25 a	0.00 a	100.00 a	0.00 a	100.00 a
7	80°C /1 hour	0.00 a	100.00 a	0.75 a	96.25 a	0.25 a	98.56 a	0.75 ab	96.25 ab
8	80°C /2 hour	0.00 a	100.00 a	0.00 a	100.00 a	0.00 a	100.00 a	0.00 a	100.00 a
9	80°C /3 hour	0.00 a	100.00 a	0.00 a	100.00 a	0.00 a	100.00 a	0.00 a	100.00 a
10	Untreated Control	17.83 d	0.00 d	20.00 c	0.00 c	14.83 e	0.00 e	20.00 e	0.00 e
	CV (%)	27.88	7.05	26.01	8.16	23.15	7.09	20.70	8.30

Means for each characteristic followed by the same letter within the same column are not significantly different by Duncan's test ($P<0.05$)

Table 7. Number of survival of *Tribolium castaneum* (adults) and percentage of control in 2 kg of rice exposed to heating temperatures

Treatment	Temperature/Time	Egg Stage		Larval Stage		Pupal Stage		Adult Stage	
		No. of survival adult	% Control	No. of survival adult	% Control	No. of survival adult	% Control[1]	No. of survival adult	% Control[2]
1	60°C /1 hour	96.50 f	-0.44 f	81.50 e	14.41 e	87.75 b	11.04 b	99.25 b	-0.01 c
2	60°C /2 hour	83.75 e	12.98 e	80.00 e	15.92 e	96.50 b	2.20 bc	99.50 b	-0.25 c
3	60°C /3 hour	61.75 cd	35.46 cd	66.25 d	30.43 d	94.50 b	4.23 bc	99.50 b	-0.26 c
4	70°C /1 hour	100.00 f	-4.08 f	85.75 ef	9.98ef	90.50 b	8.28 b	96.50 b	2.77 ab
5	70°C /2 hour	67.00 d	30.28 d	62.25 cd	34.61 cd	96.25 b	2.45 bc	98.50 b	0.75 bc
6	70°C /3 hour	36.50 b	62.10 b	47.50 b	50.11 b	93.75 b	4.98 bc	99.50 b	-0.26 c
7	80°C /1 hour	99.50 f	-3.56 f	87.25 ef	8.34 ef	93.75 b	4.98 bc	90.75 b	8.58 ab
8	80°C /2 hour	54.75 c	43.02 c	53.25 bc	44.12 bc	93.25 b	5.50 bc	99.50 b	-0.25 c
9	80°C /3 hour	0.00 a	100.00 a	6.50 a	93.16 a	24.20 a	75.17 a	27.75 a	72.08 a
10	Untreated Control	96.16 f	0.00 f	95.25 f	0.00 f	98.67 b	0.00 c	99.25 b	0.00 c
	CV (%)	7.24	19.06	6.19	14.39	4.61	10.59	4.36	9.89

Means for each characteristic followed by the same letter within the same column are not significantly different by Duncan's test ($P<0.05$)

Table 8. Effect of heating temperatures on rice quality in terms of moisture content, yellowness, water absorption, hardness and stickiness of cooked rice

Insect stages	Temperature	Time (min.)	Rice quality				
			Moisture content (%wb)	Yellowness (b-value)	Water absorption (g_{water}/g_{rice})	Hardness (g)	Stickiness (g)
Adults	60°C	0	13.86±0.02a	13.65±0.02a	1.70±0.06a	371.92±5.71a	138.66±8.92a
		70	11.67±0.08b	13.53±0.09a	1.64±0.04a	748.06±8.93b	250.12±53.18b
	70°C	0	13.86±0.02a	13.65±0.02a	1.70±0.06a	371.92±5.71a	138.66±8.92a
		40	11.66±0.05b	13.38±0.05b	1.54±0.01b	709.44±3.19b	248.77±19.70b
	80°C	0	13.86±0.02a	13.65±0.02a	1.70±0.06a	371.92±5.71a	138.66±8.92a
		30	11.72±0.01b	13.53±0.19a	1.67±0.02a	871.08±25.86b	363.12±31.94b
Immature Stages	70°C	0	13.86±0.02a	13.65±0.02a	1.70±0.06a	371.92±5.71a	138.66±8.92a
		60	11.36±0.02b	13.82±0.18a	1.53±0.02b	898.70±4.56b	288.16±17.21b

Data were reported in means ± standard deviation. Means for each characteristic followed by the same letter within the same column are not significantly different by Duncan's test ($P<0.05$)

หลังผ่านความร้อนพบว่าอัตราการดูดซับน้ำของข้าวระหว่างการหุงต้มเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย โดยมีค่าอยู่ที่ 1.64, 1.54 และ 1.67 ตามลำดับ เช่นเดียวกับค่าความเหลือง ที่อัตราการดูดซับน้ำของข้าวที่ผ่านความร้อนที่ 60 และ 80°C ไม่แตกต่างจากอัตราการดูดซับน้ำของข้าวที่ไม่ได้ผ่านความร้อน แต่อัตราการดูดซับน้ำของข้าวที่ผ่านความร้อนที่ 70°C แตกต่างจากอัตราการดูดซับน้ำของข้าวที่ไม่ได้ผ่านความร้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) อัตราการดูดซับน้ำลดลงเล็กน้อยหลังผ่านความร้อน จากที่ได้มีการศึกษาไว้พบว่าอัตราการดูดซับน้ำลดลงเมื่ออุณหภูมิเมล็ดสูงขึ้นเนื่องจากการจัดเรียงตัวใหม่ของเม็ดแป้งหลังการผ่านความร้อน การดูดซับน้ำของข้าวใหม่มีอัตราสูงกว่าข้าวเก่า (Hogan และ Planck, 1958) ข้าวที่ผ่านความร้อนทั้ง 3 ระดับอุณหภูมิมีความแข็งและความเหนียวเพิ่มขึ้น ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับข้าวที่ไม่ได้ผ่านความร้อน ($P<0.05$) โดยที่ 80°C เป็นเวลา 30 นาที ข้าวที่หุงมีความแข็ง (871.08 g) และเหนียว (363.12 g) ที่สุด ข้าวที่ผ่านความร้อน 60°C นาน 70 นาทีมีความแข็งและความเหนียวมากกว่าข้าวที่ผ่านความร้อน 70°C นาน 40 นาทีเล็กน้อย เนื่องจากระยะเวลาที่ข้าวอยู่ในเครื่องนานกว่า จากที่ได้มีการศึกษาไว้พบว่าความแข็งจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเมล็ดสูงขึ้นเนื่องจากบางส่วนของแป้งเปลี่ยนเป็นวุ้น (gelatinized) (Dash, 1989; Jindal และ Reyes, 1988)

ด้านคุณภาพทางประสาทสัมผัส ดังที่แสดงในตารางที่ 9 ผู้ชิมประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี ความร่วน ความนุ่ม รสชาติ กลิ่นและการยอมรับ พบว่าทุกด้านที่ประเมินข้าวที่ผ่านความร้อนมีค่าไม่แตกต่างจากข้าวที่ไม่ได้ผ่านความร้อน ($P<0.05$) เห็นได้ว่าข้าวที่ผ่านความร้อนทั้ง 3 ระดับเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค จากผลการตรวจสอบคุณภาพข้าวหลังผ่านความร้อน สรุปได้ว่าการใช้ความร้อนมีผลต่อคุณภาพข้าวเล็กน้อยในด้านความชื้น ความเหลือง และการดูดซับน้ำ แต่ความร้อนทำให้ข้าวที่หุงมีความแข็งและความเหนียวเพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตาม จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส แสดงให้เห็นว่าข้าวที่ผ่านความร้อนทั้ง 3 ระดับเพื่อการกำจัดตัวเต็มวัยของแมลงเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

<u>คุณภาพข้าวที่มีการทำลายของด้วงงวงข้าวโพดระยะตัวอ่อนหลังผ่านความร้อน</u>

ตารางที่ 8 แสดงคุณภาพของข้าวสารหลังผ่านความร้อนโดยที่มีระยะตัวอ่อนเข้าทำลายอยู่ด้วย เมื่อผ่านความร้อนที่ 70°C เป็นเวลา 60 นาที พบว่าความชื้น การดูดซับน้ำ ความแข็ง และความเหนียวของข้าวที่หุง เท่ากับ 11.36 %, 1.53, 898.70 g และ 288.16 g ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากข้าวที่ไม่ได้ผ่านความร้อน ($P<0.05$) ค่าความชื้นและค่าการดูดซับน้ำมีแนวโน้มลดลงหลังผ่านความร้อน ในขณะที่ค่าความแข็งและค่าความเหนียวกลับสูงกว่าข้าวที่ไม่ได้ผ่านความร้อน ดังนั้นเมื่อนำข้าวที่ผ่านความร้อนมาหุง ข้าวจึงมีความแข็งและเหนียวกว่า สำหรับค่าความเหลืองของข้าว ไม่พบความแตกต่างทางสถิติระหว่างข้าวที่ผ่านและไม่ผ่านความร้อน ($P<0.05$) แสดงว่าความเหลืองของข้าวหลังผ่านความร้อนไม่เปลี่ยนแปลง ถึงแม้ว่าข้าวที่ผ่านความร้อนจะมีความแข็งและความเหนียวเพิ่มขึ้น แต่ก็ยังเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ดังเห็นได้จากคุณภาพทางประสาทสัมผัสทุกด้านไม่แตกต่างจากข้าวที่ไม่ได้ผ่านความร้อน (ตารางที่ 9)

Table 9. Sensory evaluation of cooked rice exposed to heating temperatures

Insect stages	Temperature	Time (min.)	Sensory evaluation						
			Appearance	Color	Grain separation	Softness	Flavor and taste	Aroma	Overall acceptance
Adults	60°C	0	7.3±0.95a	7.6±0.70a	6.9±1.10a	7.0±1.25a	7.2±0.79a	7.1±1.29a	7.2±0.79a
		70	7.1±0.99a	7.4±0.52a	6.9±0.74a	7.1±0.99a	7.1±0.74a	7.2±1.03a	7.1±1.10a
	70°C	0	7.3±0.95a	7.6±0.70a	6.9±1.10a	7.0±1.25a	7.2±0.79a	7.1±1.29a	7.2±0.79a
		40	7.3±1.16a	7.2±0.63a	7.0±0.94a	6.9±1.10a	7.2±0.63a	7.0±1.15a	7.2±1.03a
	80°C	0	7.3±0.95a	7.6±0.70a	6.9±1.10a	7.0±1.25a	7.2±0.79a	7.1±1.29a	7.2±0.79a
		30	7.0±0.94a	7.1±1.20a	6.4±0.52a	6.8±0.79a	6.7±0.95a	6.3±1.34a	6.6±0.84a
Immature Stages	70°C	0	7.3±0.95a	7.6±0.70a	6.9±1.10a	7.0±1.25a	7.2±0.79a	7.1±1.29a	7.2±0.79a
		60	7.6±1.07a	7.6±0.84a	7.6±0.97a	7.7±1.06a	7.5±0.85a	7.1±0.88a	7.3±0.67a

Data were reported in means ± standard deviation. Means for each characteristic followed by the same letter within the same column are not significantly different by Duncan's test ($P<0.05$)

สรุปผลการทดลองและคำแนะนำ

เมื่ออบข้าวในปริมาณน้อย (250 กรัม) การใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70°C นาน 40 นาทีสามารถควบคุมตัวเต็มวัยด้วงงวงข้าวโพดได้ แต่สำหรับระยะไข่ หนอน และดักแด้ ต้องใช้เวลา 60 นาที เนื่องจากระยะไข่ หนอนและดักแด้เป็นระยะที่อาศัยอยู่ภายในเมล็ด ทำให้ยากต่อการควบคุมกว่าระยะตัวเต็มวัย เมื่อต้องการควบคุมแมลงทุกระยะให้ได้ผล จึงต้องใช้ระยะเวลานานขึ้น ซึ่งที่อุณหภูมิ 70°C นาน 60 นาที คุณภาพของข้าวเปลี่ยนไปเล็กน้อยยกเว้นความแข็งและความเหนียว เมื่อนำมาหุงสุกพบว่ามีความแข็งขึ้นและเหนียวขึ้นกว่าข้าวที่ไม่ผ่านความร้อน แต่กระนั้นจากการตรวจสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส (sensory evaluation) ข้าวที่ผ่านความร้อนระดับนี้เพื่อกำจัดแมลงศัตรูทุกระยะการเจริญเติบโตเป็นที่ยอมรับได้ของผู้บริโภค

เมื่ออบข้าวในปริมาณที่มากขึ้น (2 กิโลกรัม) ระดับความร้อนที่ใช้เพื่อการกำจัดแมลงต้องสูงขึ้น ที่อุณหภูมิ 80°C ต้องใช้ระยะเวลามากกว่า 1 ชั่วโมงจึงจะให้ผลดีในการควบคุมแมลงศัตรูผลิตผลเกษตรส่วนใหญ่ และเมื่อใช้ระดับความร้อนลดลง ระยะเวลาในการอบก็ต้องนานขึ้น โดยที่อุณหภูมิ 70°C ต้องใช้ระยะเวลา 2 ชั่วโมงหรือมากกว่า และที่อุณหภูมิ 60°C ต้องใช้ระยะเวลา 3 ชั่วโมงหรือมากกว่า เห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้น เปอร์เซ็นต์การควบคุมแมลงทุกชนิดก็สูงขึ้นโดยที่ลดระยะเวลาในการอยู่ในตู้อบลงได้ ขณะที่เปอร์เซ็นต์การควบคุมแมลงทุกระยะการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มระยะเวลาการอบของแต่ละระดับอุณหภูมิให้นานขึ้น จากการทดลองสองครั้งซึ่งปริมาณข้าวต่อตัวอย่างไม่เท่ากัน อุณหภูมิที่มีประสิทธิภาพก็มีความต่างกัน ดังนั้นการใช้ความร้อนในการควบคุมแมลงศัตรูข้าวหลังการเก็บเกี่ยวนอกจากจะต้องคำนึงถึงชนิดและระยะการเจริญเติบโตของแมลง ความชื้นของข้าว ระดับความร้อน และระยะเวลาแล้ว ยังต้องคำนึงถึงปริมาณข้าวที่ผ่านเข้าไปในตู้อบแต่ละครั้งด้วย ก่อนนำความร้อนไปใช้กับผลิตผลเกษตรในปริมาณที่มากขึ้นจึงควรศึกษาให้ชัดเจน

อย่างไรก็ตามการใช้ความร้อนเป็นเวลานานในการกำจัดแมลงนั้นมีผลต่อคุณภาพข้าวโดยเฉพาะความแข็งและความเหนียวเพิ่มขึ้น การนำความร้อนไปใช้ร่วมกับวิธีอื่น เช่น การใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และการใช้ความดัน อาจลดระยะเวลาในการควบคุมแมลงลงได้ ซึ่งเป็นทางเลือกที่ดีอีกทางหนึ่งในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

Banks, H.J. 1998. Prospect for heat disinfestations. *In* Stored grain in Australia. Proceedings of the Australian Postharvest Technical Conference, Canberra, May 26-29, 1998. Canberra. Stored Grain Research Laboratory. CSIRO Entomology, 227-232.

Beckett, S.J. and R. Morton. 2003. Mortality of *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrychidae) at grain temperatures ranging from 50°C and 60°C obtained at different rates of heating in a spouted bed. *J. Stored Prod. Res.* 39(3): 313-332.

Beckett, S.J., R. Morton and J.A. Derby. 1998. The mortality of *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrychidae) and *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae) at moderate temperatures. *J. Stored Prod. Res.* 34, 363-376.

Boulanger, R.L., W.M. Boerner and M.A.K. Hamid. 1971. Microwave and dielectric heating system. *Milling* 153 (2), 18-21 and 24-28.

Calderwood, D.L. and B.D. Webb. 1971. Effect of the method of dryer operation on performance and on the milling and cooking characteristics of rice. Trans. of ASAE 1971: 142-146.

Dash, P.K. 1989. Drying-cum-parboiling of paddy by conduction heating. AIT Dissertation: AE 89-1, 1989.

Dermott, T. and D.E. Evans. 1978. An evaluation of fluidized-bed heating as a means of disinfesting wheat. *J. Stored Prod. Res.* 14: 1-12.

Fields, P.G. 1992. The control of stored-product insects and mites with extreme temperatures, Section 4, 9-12.

Ghaly, T.F. 1981. Heat-Damage studies in relation to high temperature disinfestations of wheat. *In* Proceeding of the Australian Stored Grain Pest Control Conference, Melbourne, Section 4, 9-12.

Ghaly, T.F. 1988. Heat sensitivities of air-dried oilseeds. *In* Proceedings of the Australian Sunflower Association 7th Workshop, Moama, New South Wales, 50-53.

Hogen, J.T. and R.W. Planck. 1958. Hydration Characteristics of rice as influenced by variety and drying method. *Cereal Chem.* V 35 Nov., 1958.

Houston, D.F., R.P. Straka, I.R. Hunter, R.L. Roberts and E.B. Kester. 1957. Changes in rough rice of different moisture content during storage at controlled temperatures. *Cereal Chemistry* 34: 444-457.

Inprasit C. and A. Noomhorm. 2001. Effect of drying air temperature and grain temperature of different types of dryer and operation on rice quality. Drying Technology, 19(2): 389-404.

Iwasaki, and Tani. 1967. Effect of heating on brown rice composition and quality. *Cereal Chem.* V.44 Mar., 1967.

Jindal, V.K. and V.G. Reyes. 1988. Heat sterilization and accelerated drying of high moisture rice for safe storage. AIT Research Report No. 221, 1988.

Khan, A.V., A. Amihussin, J.R. Arboleda, A.S. Manolo and W.J. Chancellor. 1974. Accelerated drying of rice using heat-conduction media. Trans. ASAE 17: 949-955.

Kirkpatrick, R.L. and E.W. Tilton. 1972. Infra-red radiation for control adults stored product Coleoptera. *J. Ga ent. Soc.* 7, 73-75.

Kirkpatrick, R.L., J.H. Brower and E.W. Tilton. 1972. A comparison of microwave and infra-red radiation to control rice weevils (Coleoptera: Curculionidae) in wheat. *J. Kans. Ent. Soc.* 45, 434-438.

Kirkpatrick, R.L. 1975a. Infra-red radiation for control of lesser grain borers and rice weevils in bulk wheat (Coleoptera: Bostrichidae & Curculionidae). *J. Kans. Ent. Soc.* 48, 101-104.

Kirkpatrick, R.L. 1975b. The use of infra-red and microwave radiation for control of stored-product insects. *Proc. Ist Int. Conf. Stored-Product Ent. Savannah*, 1974, 431-437.

Mbata, G.N. and T.W. Phillips. 2001. Effects of temperature and exposure time on mortality of stored-product insects exposed to low pressure. *J. Econ. Ent.* 94(5): 1302-7.

Nelson, S.O. 1972. Possibility to controlling stored-grain insects with RF energy. *J. Microwave Power 7*, 231-239.

Nelson, S.O. 1973. Insect-control studies with microwave and other radio-frequency energy. *Bull. Ent. Soc. Am.* 19, 157-163.

Püntener, W. 1981. Evaluation of trail-calculation of efficacy. Manual for Field trails in Plant Protection. Agricultural Division, Ciba-Geigy Limited, Switzerland.

Qaisrani, R. and H.J. Banks. 2000. The prospects for Heat Disinfestation of grain. *In* Stored Grain in Australia: 2nd Proceeding of the Australian Postharvest Technical Conference, Adelaide, Australia, Canberra, Stored Grain Research Laboratory, CSIRO Entomology, 61-65.

Subramanyam, B., S. Alavi, and F. Huang. 2004. Determine temperature, time, mortality relationship for various life stage of Indian-meal moth; develop a thermal death kinetic model based on constant temperature data for various life stage of Indianmeal moth and red flour beetle; and, validate and implement the thermal death kinetic model by collecting independent data using various insect life stage during actual heat treatments of food-proceeding facilities. Department of Grain Science and Industry, Kansas State University. *In* "Management of Grain Quality and Security in World Market", 204 Annual Progress Report, Jan 2005, pp. 11.

Sutherland, J.W. 1991. Drying oilseeds in a fluidized bd. Subproject 4. *In* Safe storage of rapeseed and other oilseeds. Canberra, Oilseeds Research Council, 9p.

Watters, F.L. 1976. Microwave radiation for control of *Tribolium confusum* in wheat and flour. *J. Stored Prod. Res.* 12: 19-25.

การศึกษาชีววิทยาและประสิทธิภาพของแตนเบียน *Theocolax elegans* (Westwood) ในการควบคุมแมลงศัตรูข้าวหลังการเก็บเกี่ยว[1]

Biology and Control Efficacy of the Parasitic Wasp, *Theocolax elegans* (Westwood) in Post-harvest Rice Insects

ใจทิพย์ อุไรชื่น

พรทิพย์ วิสารทานนท์ ดวงสมร สุทธิสุทธิ์

กลุ่มวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว

สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร

บทคัดย่อ

การศึกษาชีววิทยาของแตนเบียน *Theocolax elegans* (Westwood) ได้ดำเนินการที่ห้องปฏิบัติการกลุ่มวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร โดยได้ทำการเลี้ยงแตนเบียนที่อุณหภูมิ 6 ระดับ คือ 20, 25, 28, 30, 32 และ 35°C พบว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มจาก 20°C ถึง 32°C ระยะเวลาในการเจริญเติบโตลดลงจาก 54.4 ถึง 16.2 วันสำหรับเพศเมีย และจาก 53.8 ถึง 15.6 วันสำหรับเพศผู้ ทั้งนี้แตนเบียนเพศผู้จะเจริญเติบโตได้เร็วกว่าเพศเมีย อายุของแตนเบียนตัวเต็มวัยลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น จาก 14.5 ถึง 4.5 วันสำหรับเพศเมีย และจาก 20.6 ถึง 3.6 วันสำหรับเพศผู้ จำนวนลูกเฉลี่ยต่อตัวเมีย 1 ตัวเท่ากับ 161.0 ตัวที่ 25°C และ 110.1 ตัวที่ 30°C หลังจากนั้นได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของแตนเบียน *T. elegans* ในการควบคุมด้วงงวงข้าวโพด *Sitophilus zeamais* ที่ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี อ. ธัญบุรี จ.ปทุมธานี ระหว่างเดือนตุลาคม 2546 ถึงเดือนกันยายน 2548 พบว่าวิธีการปลดปล่อยแตนเบียนแบบหลายครั้งให้ผลในการควบคุมปริมาณด้วงงวงข้าวโพดได้ดีกว่าการปลดปล่อยแบบเพียงครั้งเดียว

คำนำ

การป้องกันกำจัดแมลงโดยชีววิธี เป็นวิธีหนึ่งในหลายวิธีที่สามารถนำมาใช้กับผลิตผลเกษตร เพื่อหลีกเลี่ยงหรือลดการใช้สารเคมีในการควบคุมแมลงศัตรูผลิตผลเกษตร และลดความเสียหายที่เกิดจากแมลงลงได้ ซึ่งการใช้ศัตรูธรรมชาติทั้งตัวห้ำ และตัวเบียนต่างก็มีบทบาทที่สำคัญ ทั้งสองสามารถเข้าทำลายศัตรูพืชได้หลายชนิด แตนเบียนส่วนใหญ่ที่เป็นศัตรูธรรมชาติของแมลงศัตรูประเภทด้วงปีกแข็งจะอยู่ในวงศ์ Pteromalidae และ Bethylidae (Hagstrum และ Flinn, 1992) แตนเบียนเหล่านี้มีขนาดเล็ก

---

[1] รหัสวิจัยเลขที่ 07-01-47-0104

มาก (1-2 มม.) และไม่ทำลายเมล็ดพืช จะตายและหรือบินออกจากกองเมล็ดภายใน 5-10 วันถ้าไม่มีแมลงอาศัย เนื่องจากตัวเต็มวัยของแตนเบียนอาศัยอยู่ภายนอกเมล็ด มันจะเคลื่อนย้ายโดยง่ายด้วยขั้นตอนการทำความสะอาดเมล็ด ด้วงงวง (*Sitophilus* spp.) เป็นแมลงศัตรูที่สำคัญมากของข้าว Nakakita และคณะ (1991) พบว่า ด้วงงวงข้าวโพด (*Sitophilus zeamais*) เป็นด้วงงวงชนิดที่พบมากที่สุดในประเทศไทย และแตนเบียน *Theocolax elegans* (Westwood) [Hymenoptera: Pteromalidae] เป็นแตนเบียนที่มีรายงานว่าเป็นตัวเบียนของแมลงปีกแข็งหลายชนิดที่ทำลายเมล็ดพืช โดยชอบวางไข่บนตัวอ่อนของแมลงปีกแข็ง (Bare, 1942; Sharifi, 1972) Assem และ Kuenen (1958) รายงานว่าพบแตนเบียนชนิดนี้ในแถบประเทศเขตร้อน รวมทั้งประเทศไทย (Nakakita และคณะ, 1991) Williams และ Floyd (1971) พบว่าแตนเบียน *T. elegans* สามารถควบคุมปริมาณประชากรของด้วงงวงข้าวโพดลงได้ถึง 89 เปอร์เซ็นต์ ได้มีนักวิจัยหลายท่านทำการศึกษาเกี่ยวกับ *T. elegans* ในห้องปฏิบัติการ แต่ก็เป็นการศึกษากับแมลงอาศัยชนิดอื่นเช่น มอดข้าวเปลือก (*Rhyzopertha dominica*) และมอดหนวดยาว (*Cryptolestes ferrugineus*) (Flinn และคณะ, 1996) และเป็นการศึกษาในพืชอื่นเช่น ข้าวสาลี เป็นต้น (Toews และคณะ, 2001; Flinn, 1998; Flinn และ Hagstrum, 2002; Wen และ Brower, 1995) Bare (1942) ได้ทำการศึกษาชีววิทยาของแตนเบียน *T. elegans* ไว้ว่าระยะเวลาในการเจริญเติบโตตั้งแต่ไข่จนถึงตัวเต็มวัยอยู่ในช่วง 18-23 วัน และ 28 เปอร์เซ็นต์ของตัวเต็มวัยที่เลี้ยงเป็นเพศผู้ อย่างไรก็ตาม ในการศึกษาครั้งนั้นไม่ได้ระบุอุณหภูมิ ซึ่งเป็นปัจจัยทางกายภาพที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของแตนเบียนชนิดนี้ ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาชีววิทยาและประสิทธิภาพของแตนเบียน *T. elegans* ในการควบคุมแมลงศัตรูผลิตผลเกษตรหลังเก็บเกี่ยว เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานนำไปสู่การประเมินศักยภาพของแตนเบียน และสามารถนำแตนเบียนมาเลี้ยงขยายเพิ่มปริมาณ หรือนำไปพัฒนาในเชิงพาณิชย์ต่อไป

วิธีดำเนินการ

อุปกรณ์

1. กล่องพลาสติกพร้อมฝาขนาดเล็กและขนาดใหญ่
2. ถ้วยพลาสติกพร้อมฝา
3. ตู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้น
4. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียด
5. กรวยแก้ว
6. ข้าวสาร
7. กล้องจุลทรรศน์
8. เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้น (Thermo Recorder)
9. ถังไฟเบอร์ทรงกระบอกพร้อมฝา

วิธีการ

1. การศึกษาระดับอุณหภูมิที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของแตนเบียน

ทำการศึกษาที่อุณหภูมิ 6 ระดับคือ 20, 25, 28, 30, 32 และ 35°C แต่ละระดับอุณหภูมิมี 12 ซ้ำ โดยเริ่มเลี้ยงด้วงงวงข้าวโพดเพื่อให้ได้หนอนของด้วงงวงข้าวโพดวัยที่ 4 ด้วยการชั่งข้าวสาร 300 กรัมใส่ลงในกล่องพลาสติกขนาดใหญ่ ที่มีฝาปิด บนฝามีรูระบายอากาศซึ่งปิดด้วยตาข่ายทองเหลืองตาถี่ หลังจากนั้นปล่อยตัวเต็มวัยด้วงงวงข้าวโพดโดยไม่แยกเพศ จำนวน 800 ตัว ปิดฝาแล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง ทำการเลี้ยงด้วงงวงข้าวโพดเช่นนี้ทุก ๆ 2 วัน เพื่อจะได้มีหนอนด้วงงวงข้าวโพดเป็นแมลงอาศัยสำหรับแตนเบียนอย่างเพียงพอ หลังจากนั้น 48 ชั่วโมง แยกด้วงงวงข้าวโพดออกให้หมด และเก็บข้าวไว้ที่เดิม จนครบ 22 วันจึงนำข้าว (ที่มีหนอนของด้วงงวงวัยที่ 4) มาชั่งใส่ถ้วยพลาสติกใบเล็กที่มีฝาปิดพร้อมตาข่ายทองเหลือง ถ้วยละ 20 กรัม

จับคู่แตนเบียน *T. elegans* ที่เพิ่งออกเป็นตัวเต็มวัยภายใน 24 ชั่วโมง ใส่ถ้วย ๆ ละ 4 คู่ เพื่อให้แตนเบียนวางไข่บนหนอนด้วงงวงข้าวโพด นำไปไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 20, 25, 28, 30, 32 และ 35°C เมื่อครบ 24 ชั่วโมง แยกแตนเบียนออกจากถ้วย นำถ้วยที่มีทั้งหนอนของด้วงงวงข้าวโพดและไข่ของแตนเบียนกลับไปไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิตามเดิม สังเกตทุกวันจนแตนเบียนรุ่นใหม่ตัวแรกเริ่มเป็นตัวเต็มวัย บันทึกตั้งแต่วันแรกจนวันสุดท้ายที่มีแตนเบียนออก ทำเช่นเดียวกันนี้ที่ทุกอุณหภูมิ เนื่องจากตู้ควบคุมอุณหภูมิ ไม่สามารถควบคุมความชื้นได้ จึงต้องควบคุมความชื้นด้วยการตั้งภาชนะบรรจุสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัวไว้ ซึ่งจะทำให้ความชื้นสัมพัทธ์มีค่าเท่ากับ 75.5%

2. การศึกษาอัตราส่วนเพศเมียต่อเพศผู้ของแตนเบียน

ที่ทุกระดับอุณหภูมิ หลังจากแตนเบียนรุ่นใหม่เริ่มเป็นตัวเต็มวัย ทำการแยกเพศภายใต้กล้องจุลทรรศน์ บันทึกเพศของแตนเบียนทุกตัวทั้งตัวเป็นและตัวตาย เพื่อหาอัตราส่วนระหว่างเพศเมียต่อเพศผู้

3. การศึกษาอายุขัยของตัวเต็มวัย

เมื่อแตนเบียนเริ่มเป็นตัวเต็มวัย นำแต่ละเพศไปแยกใส่ในหลอดทดลองหลอดละ 1 ตัว จำนวน 20-30 หลอดต่อเพศ ปิดปากหลอดทดลอง แล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิเดิมที่แตนเบียนแต่ละตัวเจริญเติบโตมา สังเกตทุกวันและจดบันทึกจนกว่าตัวเต็มวัยในแต่ละหลอดจะตาย นำมาคำนวณค่าเฉลี่ยอายุของตัวเต็มวัย ทำเช่นเดียวกันนี้สำหรับอุณหภูมิต่าง ๆ ทุกอุณหภูมิ

4. การศึกษาประสิทธิภาพของแตนเบียน *T. elegans* (Westwood) ในการควบคุมแมลงศัตรูข้าว

เก็บตัวอย่างด้วงงวงข้าวโพดจากโรงสีในภาคกลางของประเทศไทย นำมาเลี้ยงเพิ่มปริมาณในห้องปฏิบัติการโดยใช้ข้าวสารเป็นอาหาร จากนั้นนำตัวเต็มวัยของด้วงงวงข้าวโพดชั่วอายุขัยที่ 10 ที่มีอายุประมาณ 2 สัปดาห์มาทำการทดลอง

เลี้ยงเพิ่มปริมาณแตนเบียน *T. elegans* ในห้องปฏิบัติการที่มีอุณหภูมิ 26±1°C ความชื้นสัมพัทธ์ 70%โดยใช้หนอนด้วงงวงข้าวโพดเป็นแมลงอาศัย จนกระทั่งแตนเบียนเป็นตัวเต็มวัยอายุประมาณ 24 ชั่วโมง จึงนำตัวเต็มวัยมาทดสอบ

ปีที่ 1 นำข้าวสารที่ผ่านการรมด้วยฟอสฟีนจำนวน 40 กิโลกรัม ใส่ในถังทรงกระบอกที่มีฝาปิดทางด้านบน จากนั้นปล่อยตัวเต็มวัยด้วงงวงข้าวโพดจำนวน 10 คู่ลงในถังแล้วปิดฝาให้สนิททิ้งไว้ 20 วัน นำตัวเต็มวัยของแตนเบียน *T. elegans* ปล่อยลงไปในถัง การปล่อยแตนเบียนแบ่งเป็น 2 วิธีคือ การปล่อยครั้งเดียวในอัตรา 5, 10 และ 20 คู่ และการปล่อยหลายครั้งในอัตรา 5 และ 10 คู่ ทำการปล่อยทุก 2 สัปดาห์ ตลอดระยะเวลาการทดลอง (ตุลาคม 2546-พฤศจิกายน 2547) สำหรับกรรมวิธีควบคุมไม่มีการปล่อยแตนเบียน ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

ทำการสุ่มตัวอย่างเพื่อตรวจนับจำนวนแมลง เริ่มทำการสุ่มตัวอย่างในสัปดาห์ที่ 9, 15, 21, 27 และ 33 หลังจากปล่อยด้วงงวงข้าวโพด โดยใช้กระบอกสุ่มตัวอย่างข้าวในถังจำนวน 60 กรัมต่อจุด มาตรวจนับจำนวนของด้วงงวงข้าวโพดทั้งที่มีชีวิตและไม่มีชีวิต ทั้งนี้ทำการเก็บตัวอย่างข้าวจำนวน 4 จุดต่อถัง หลังจากตรวจนับจำนวนแมลงแล้วทำการเก็บตัวอย่างที่สุ่มได้ภายในห้องปฏิบัติการอุณหภูมิประมาณ 28 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นประมาณ 1 เดือนนำมาตรวจนับจำนวนแมลงอีกครั้งหนึ่ง

ปีที่ 2 ทำการเตรียมวัสดุอุปกรณ์สำหรับการทดลองเช่นเดียวกับปีที่ 1 แต่เปลี่ยนวิธีการปล่อยด้วงงวงข้าวโพด จากการปล่อยเพียงครั้งเดียวตอนเริ่มทำการทดลองเป็นปล่อยด้วงงวงซ้ำทุกเดือน (มกราคม 2548-ตุลาคม 2548) สำหรับการปล่อยแตนเบียน ทำเช่นเดียวกับปีที่ 1 คือ ปล่อยครั้งเดียวในอัตรา 5, 10 และ 20 คู่ และปล่อยหลายครั้งในอัตรา 5 และ 10 คู่ โดยทำการปล่อยทุกเดือนตลอดระยะเวลาการทดลอง สำหรับกรรมวิธีควบคุมไม่มีการปล่อยแตนเบียน ทำการสุ่มตัวอย่างเพื่อตรวจนับจำนวนแมลง โดยทำการสุ่มตัวอย่างทุกเดือนก่อนปล่อยด้วงงวงข้าวโพด

ระยะเวลา ตุลาคม 2546 - กันยายน 2548

สถานที่ทำการทดลอง - กลุ่มวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว
สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร
- ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี อ. ธัญบุรี จ.ปทุมธานี

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. การศึกษาระดับอุณหภูมิที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของแตนเบียน

พบว่าระยะเวลาทั้งหมดที่แตนเบียน *Theocolax elegans* ใช้ในการเจริญเติบโตจากระยะไข่ถึงระยะตัวเต็มวัย จะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจนถึง 32°C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่แตนเบียนชนิดนี้จะใช้เวลาเฉลี่ยสั้นที่สุด คือ 16.2 วันสำหรับเพศเมีย และ 15.6 วันสำหรับเพศผู้ และใช้เวลาเฉลี่ยมากที่สุดที่อุณหภูมิ 20°C คือ เพศเมีย 54.4 วัน เพศผู้ 53.8 วัน (ตารางที่ 1) จากผลการทดลองนี้ เป็นที่แน่ชัดว่าอุณหภูมิมีผลต่อการเจริญเติบโตของแตนเบียน *T. elegans* และเมื่อเปรียบเทียบกับระยะเวลาที่แตนเบียนชนิดอื่นใช้

สำหรับการเจริญเติบโต พบว่า แตนเบียน *T. elegans* ใช้เวลามากกว่าแตนเบียน *Anisopteromalus calandrae* (Howard) และแตนเบียน *Lariophagus distinguendus* ที่ Ryoo *et al.* (1991) และ Smith (1992) ได้ทำการศึกษาไว้ และจากการวิเคราะห์ข้อมูลด้วย Two-way ANOVA พบว่า เพศผู้จะใช้เวลาน้อยกว่าเพศเมียอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 1) การที่เพศเมียใช้เวลาในการเจริญเติบโตนานกว่าเพศผู้นั้นก็สอดคล้องกับการเจริญเติบโตของแตนเบียนทั้ง 2 ชนิดที่ Ghani และ Sweetman (1955) และ Bellows (1985) รายงานว่า เพศผู้ของแตนเบียน *Aplastomorpha* (*Anisopteromalus*) *calandrae* (Howard) และแตนเบียน *Lariophagus distinguendus* ใช้เวลาในการเจริญเติบโตน้อยกว่าเพศเมีย ประมาณ 1-3 วันหรือมากกว่า และ 1 วัน ตามลำดับ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ

Table 1. Developmental period [mean±SD (range)] of *Theocolax elegans* on larvae of *Sitophilus zeamais* under various temperature conditions

Temperature (°C)	Developmental period			
	Female		Male	
	n[1/]	Days	n	Days
20	64	54.4 ± 0.47 (49-67)	26	53.8 ± 0.83 (47-65)
25	152	25.7 ± 0.11 (23-32)	76	24.5 ± 0.15 (22-27)
28	181	19.9 ± 0.08 (18-26)	74	19.1 ± 0.15 (17-25)
30	225	17.1 ± 0.04 (16-19)	94	16.3 ± 0.09 (15-19)
32	217	16.2 ± 0.06 (15-23)	79	15.6 ± 0.13 (15-24)
35	101	18.1 ± 0.16 (16-23)	26	16.7 ± 0.27 (15-21)

[1/] n = total adult emerged at each temperature

2. การศึกษาอัตราส่วนเพศเมียต่อเพศผู้ของแตนเบียน *T. elegans* (ตารางที่ 2)

พบว่า ที่อุณหภูมิ 25°C แตนเบียนมีอัตราส่วนเพศเมียต่อเพศผู้น้อยที่สุด คือ 2.0:1 และมีค่ามากที่สุด 3.88:1 ที่อุณหภูมิ 35°C ส่วนที่อุณหภูมิ 20, 28, 30 และ 32°C มีอัตราส่วนเพศเมียต่อเพศผู้ เท่ากับ 2.46:1, 2.45:1, 2.39:1 และ 2.75:1 ตามลำดับ แสดงว่าที่ทุกระดับอุณหภูมิ แตนเบียน *T. elegans* ให้ลูกรุ่นใหม่เป็นเพศเมียมากกว่าเพศผู้เสมอ

3. การศึกษาอายุขัยของตัวเต็มวัย *T. elegans*

พบว่า ในสภาพที่ไม่มีอาหาร หรือแมลงอาศัยใด ๆ แตนเบียน *T. elegans* จะมีอายุยาวนานที่สุดที่อุณหภูมิต่ำ โดยพบว่าที่อุณหภูมิ 20°C เพศเมียมีอายุเฉลี่ย 14.5 วัน และเพศผู้ 20.6 วัน (ตารางที่ 2) อายุขัยของตัวเต็มวัยจะลดลงเรื่อย ๆ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ที่อุณหภูมิ 35°C แตนเบียนมีอายุสั้นที่สุด คือ 4.5 วันสำหรับเพศเมีย และ 3.6 วันสำหรับเพศผู้ ที่อุณหภูมิต่ำ 20 และ 25°C เพศผู้จะมีอายุยืนกว่าเพศเมีย อุณหภูมิปานกลาง 28 และ30°C เพศเมียและเพศผู้มีอายุยืนพอ ๆ กัน สำหรับอุณหภูมิสูง 32 และ 35°C เพศผู้จะตายเร็วกว่าเพศเมีย (ตารางที่ 2)

Table 2. Sex ratios and adult longevity (mean±SD) of *T. elegans* under various temperature conditions

Temperature (°C)	Sex ratios (female/male)	Longevity (days)	
		Female	Male
20	2.46:1	14.5±0.86	20.6±1.30
25	2.00:1	8.7±0.39	10.0±0.54
28	2.45:1	8.0±0.42	7.8±0.42
30	2.39:1	7.3±0.40	7.2±0.68
32	2.75:1	5.5±0.30	5.2±0.38
35	3.88:1	4.5±0.32	3.6±0.39

เมื่อให้แมลงอาศัยแก่แตนเบียนเพศเมีย *T. elegans* ที่เพิ่งเป็นตัวเต็มวัยใหม่ ๆ ที่สองระดับอุณหภูมิคือ 25 และ 30°C พบว่า อายุขัยของตัวเต็มวัยจะยืนยาวกว่าเพศเมียที่ไม่มีแมลงอาศัย ประมาณ 4.4 เท่าที่อุณหภูมิ 25°C และ 2.9 เท่าที่อุณหภูมิ 30°C (ตารางที่ 3) โดยที่อุณหภูมิต่ำกว่า แตนเบียนก็ยังมีอายุขัยและมีจำนวนลูกทั้งหมดมากกว่าที่อุณหภูมิสูง

Table 3. Total progeny and longevity of adult female (with hosts) of *T. elegans* at 25 and 30 °C

Temperature (°C)	Total progeny (mean±SE)	longevity of adult female (mean±SE)
25	161.0±6.6	37.9±2.82
30	110.1±11.0	21.3±1.10

Flinn และ Hagstrum (2002) ระบุไว้ว่า ที่อุณหภูมิ 35°C แตนเบียนจะตายหลังจาก 24 ชั่วโมงผ่านไป แต่ในการทดลองนี้ก็ยังพบแตนเบียนบางตัวมีชีวิตอยู่ที่อุณหภูมินี้ และยังสามารถวางไข่บนแมลงอาศัย แต่นับจำนวนแตนเบียนรุ่นลูกได้น้อย ซึ่งอาจเกิดจากอัตราการวางไข่น้อยที่อุณหภูมิสูง หรืออัตราการตายของแตนเบียนระยะก่อนตัวเต็มวัยสูงก็เป็นได้ จึงดูเหมือนว่าอุณหภูมิ 35°C จะสูงเกินไปสำหรับการเจริญเติบโตของแตนเบียน *T. elegans* ในขณะที่อุณหภูมิที่ยับยั้งการเจริญเติบโตของแตนเบียน *L. distinguendus* อยู่ที่ 34°C (Ryoo *et al.*, 1991) และเวลาในการเจริญเติบโตของแตนเบียน *A. calandrae* จะสั้นที่สุดที่อุณหภูมิ 35°C (Smith, 1992) จากข้อมูลนี้แสดงว่า แตนเบียน *A. calandrae* น่าจะสามารถปรับตัวและทนต่ออากาศร้อนได้ดีกว่าแตนเบียน *T. elegans*

4. การศึกษาประสิทธิภาพของแตนเบียน *T. elegans* ในการควบคุมด้วงงวงข้าวโพด

จากการตรวจนับจำนวนด้วงงวงข้าวโพดในตัวอย่างข้าวที่สุ่ม (ตารางที่ 4) พบว่าจำนวนด้วงงวงข้าวโพดที่นับได้จากกรรมวิธีการปล่อยแตนเบียนแบบหลายครั้งทั้ง 5 และ 10 คู่นั้นมีปริมาณน้อยที่สุด

แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับจำนวนด้วงงวงข้าวโพดที่นับได้จากกรรมวิธีควบคุม ในขณะที่การปล่อยแตนเบียนเพียงครั้งเดียว 5 คู่ พบจำนวนด้วงงวงข้าวโพดมากกว่าการปล่อยแตนเบียนหลายครั้ง 5 คู่ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน แต่การปล่อยแตนเบียน 10 คู่ ถึงแม้ว่าการปล่อยครั้งเดียวมีด้วงงวงข้าวโพดมากกว่าการปล่อยหลายครั้งแต่ไม่แตกต่างทางสถิติ

Table 4. Maize weevil numbers from 250 g of probe samples from drums of rice with single and multiple release of *T. elegans.* (1st year)

Treatment	Sampling date				
	9 weeks	15 weeks	21 weeks	27 weeks	33 weeks
	Dec. 12, 2003	Jan. 30, 2004	Mar. 15, 2004	Apr. 29, 2004	Jun. 16, 2004
Control	2.89b	6.21c	10.73b	12.66b	11.14b
Single release					
5 pairs	2.44b	5.38c	9.37b	13.18b	12.37b
10 pairs	1.33a	2.82b	2.22a	2.32a	1.41a
20 pairs	2.62b	4.00b	7.17b	3.78a	9.91b
Multiple release					
5 pairs	1.28a	1.28a	1.38a	1.38a	1.24a
10 pairs	1.00a	1.00a	1.00a	1.41a	1.76a
CV (%)	16.33	7.03	16.87	26.48	24.55

Means within the same column followed by the same letter are not significantly different by Duncan's test ($P<0.05$)

หลังจากปล่อยด้วงงวงข้าวโพดแล้ว 9 สัปดาห์ ปริมาณของด้วงงวงข้าวโพดในกรรมวิธีควบคุมและกรรมวิธีที่ปล่อยแตนเบียนครั้งเดียว 5 และ 20 คู่ เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลอง ในขณะที่การปล่อยแตนเบียนครั้งเดียว 10 คู่และการปล่อยแตนเบียนหลายครั้ง 5 และ 10 คู่ พบจำนวนด้วงงวงไม่เปลี่ยนแปลง ทั้งนี้จำนวนด้วงงวงข้าวโพดที่พบจากการปล่อยแบบหลายครั้งด้วยแตนเบียน 5 และ 10 คู่ไม่มีความแตกต่างกัน ดังนั้นการปล่อยแตนเบียน 5 คู่อย่างสม่ำเสมอทุก 2 สัปดาห์น่าจะเพียงพอสำหรับการควบคุมปริมาณด้วงงวงข้าวโพดในถัง และเมื่อพิจารณาวิธีการปล่อยแบบครั้งเดียว พบว่า แตนเบียนที่ปล่อยจำนวน 10 และ 20 คู่มีแนวโน้มในการควบคุมด้วงงวงข้าวโพดได้ดีกว่าการปล่อยจำนวน 5 คู่ถึงแม้ว่าจากการนับโดยทันทีที่สุ่มตัวอย่างเมื่อปล่อย 20 คู่จะมีด้วงงวงมากแต่เมื่อเก็บข้าวที่สุ่มเป็นเวลาหนึ่งเดือน พบปริมาณด้วงงวงน้อยกว่าการปล่อยครั้งเดียว 5 คู่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 5)

Table 5. Maize weevil numbers from incubation of the 250 g probe samples of rice with single and multiple release of *T. elegans.*[1/] (1st year)

Treatment	Sampling date		
	9 weeks	15 weeks	21 weeks
	Dec. 12, 2003	Jan. 30, 2004	Mar. 15, 2004
Control	8.30b	10.05b	11.68b
Single release			
5 pairs	4.61ab	9.36b	10.99b
10 pairs	1.79a	2.04a	1.00a
20 pairs	5.03ab	1.21a	1.37a
Multiple release			
5 pairs	1.14a	1.28a	1.38a
10 pairs	1.38a	1.00a	1.00a
CV (%)	26.93	15.43	24.63

[1/] Data analyzed using (sqr x)+1 transformation

Means within the same column followed by the same letter are not significantly different by Duncan's test (P<0.05)

จากผลการทดลองในปีที่หนึ่ง พบจำนวนด้วงงวงข้าวโพดค่อนข้างน้อย ดังนั้นจึงทำการทดลองซ้ำอีกครั้ง โดยเปลี่ยนวิธีการปล่อยด้วงงวงข้าวโพดจากการปล่อยเพียงครั้งเดียวเมื่อเริ่มทำการทดลองเป็นปล่อยทุก ๆ เดือนก่อนการสุ่มตัวอย่าง และเนื่องจากในเดือนเมษายน (สัปดาห์ที่ 10) อากาศร้อนและมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ (ตารางที่ 6) ทำให้ด้วงงวงข้าวโพดตายมาก จึงนำข้อมูลจำนวนด้วงงวงที่นับทันทีจากข้าวที่สุ่มรวมกับจำนวนด้วงงวงที่เกิดขึ้นหลังจากเก็บข้าวไว้หนึ่งเดือน ดังแสดงข้อมูลในตารางที่ 7 ซึ่งพบว่าระยะแรกของการทดลองทุกกรรมวิธีมีด้วงงวงเล็กน้อย แตกต่างทางสถิติจากกรรมวิธีควบคุม จนถึงสัปดาห์ที่ 19 เป็นต้นไปที่กรรมวิธีปล่อยแตนเบียนครั้งเดียว 5, 10 และ 20 คู่ มีจำนวนด้วงงวงมากขึ้น แต่ในกรรมวิธีที่ปล่อยแตนเบียนหลายครั้ง 5 และ 10 คู่ ยังคงพบด้วงงวงน้อยซึ่งแตกต่างทางสถิติจากการปล่อยแตนเบียนแบบครั้งเดียวและกรรมวิธีควบคุม เมื่อพิจารณาการปล่อยแตนเบียนแบบหลายครั้ง เห็นได้ว่าจำนวนด้วงงวงที่พบในการปล่อยแตนเบียน 5 และ 10 คู่ ไม่แตกต่างกันทางสถิติถึงแม้ว่าจะพบด้วงงวงในการปล่อยแตนเบียน 5 คู่มากกว่าเล็กน้อย ซึ่งสอดคล้องกับการทดสอบในปีแรกที่การปล่อยแตนเบียนแบบหลายครั้งจำนวน 5 คู่ก็เพียงพอต่อการควบคุมด้วงงวงข้าวโพดในถัง ในขณะที่การปล่อยแตนเบียนแบบครั้งเดียวให้ผลไม่แตกต่างจากการไม่ใช้แตนเบียน

Table 6. Temperature and relative humidity at Pathumthani Rice Research Centre, Pathumthani, during the second year (March-October 2005)

Releasing	Sampling	Date	Temperature (°C)	Relative Humidity (%)
1st weevil release		Feb. 18, 2005		
1st parasite release		Mar. 11, 2005		
	1st sampling	Mar. 25, 2005	32.3	46
2nd parasite release		Apr. 12, 2005	42.1	33
	2nd sampling	Apr. 25, 2005	40.7	37
3rd parasite release		May. 16,	37.0	43
	3rd sampling	May. 24,	40.5	33
4th parasite release		Jun. 14, 2005	36.7	38
	4th sampling	Jun. 24, 2005	34.5	44
5th parasite release		Jul. 15, 2005	41.7	25
	5th sampling	Jul. 26, 2005	36.1	39
6th parasite release		Aug. 16,	36.5	34
	6th sampling	Aug. 23,	35.4	35
7th parasite release		Sep. 15, 2005	34.8	45
	7th sampling	Sep. 27, 2005	38.0	32
8th parasite release		Oct. 18, 2005	36.5	37
	8th sampling	Oct. 25, 2005	31.5	50

จากการตรวจนับจำนวนแตนเบียนในตัวอย่างข้าวที่สุ่มแต่ละครั้ง การปล่อยแตนเบียนทั้ง 2 วิธี ทั้งสองปีที่ทำการทดลองไม่พบแตนเบียน ทั้งนี้จำนวนด้วงงวงข้าวโพดซึ่งเป็นแมลงอาศัยน่าจะมีจำนวนเพียงพอ แม้ว่าในเดือนเมษายนจะพบการตายของด้วงงวงข้าวโพดสูง เนื่องจากอากาศร้อนและความชื้นต่ำ แต่หลังจากนั้นปริมาณของด้วงงวงข้าวโพดก็เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามจากการสังเกต พบว่าแตนเบียน *T. elegans* สามารถอยู่รอดได้ในสภาพการทดลอง และแตนเบียนน่าจะเพิ่มปริมาณได้มาก แต่เป็นไปได้ว่าแตนเบียน *T. elegans* มีความสามารถในการซอกซอนไปในกองข้าวได้ลึก (Press, 1992) ดังนั้นจึงทำให้ไม่พบแตนเบียนในตัวอย่างข้าวที่มาจากการสุ่ม

Table 7. Maize weevil numbers from 250 g of probe samples from drums of rice with single and multiple releases of *T. elegans*. (2nd year)

Treatment	Sampling date							
	6 weeks	10 weeks	14 weeks	19 weeks	23 weeks	27 weeks	32 weeks	36 weeks
	Mar. 25, 2005	Apr. 25, 2005	May. 24, 2005	Jun. 24, 2005	Jul. 26, 2005	Aug. 23, 2005	Sep. 27, 2005	Oct. 25, 2005
Control	9.33b[2/]	9.67b	6.33b	6.33b	26.33c	55.00b	28.33b	72.33b
Single release								
5 pairs	3.33a	1.67a	1.33a	7.33b	6.67b	57.67b	32.00b	85.67b
10 pairs	2.67a	2.33a	2.00ab	8.33b	7.00b	63.00b	32.00b	76.67b
20 pairs	2.33a	1.33a	1.33a	7.00b	6.00b	32.00ab	33.67b	45.33ab
Multiple release								
5 pairs	3.33a	1.67a	0.67a	1.33ab	4.33ab	6.00a	3.33a	4.00a
10 pairs	3.67a	1.00a	0.67a	0.00a	1.00a	4.67a	1.00a	3.67a
CV (%)	19.95	12.13	10.97	12.16	9.83	22.42	20.07	20.08

Means for each characteristic followed by the same letter within the same column are not significantly different by Duncan's test ($P<0.05$)

สรุปผลการทดลองและคำแนะนำ

อุณหภูมิมีผลต่อการเจริญเติบโตของแตนเบียน *T. elegans* อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงแตนเบียน *T. elegans* ควรอยู่ระหว่าง 28-32 องศาเซลเซียส ที่แตนเบียนจะใช้เวลาในการเจริญเติบโตประมาณ 15-20 วัน ได้แตนเบียนรุ่นใหม่ปริมาณมาก อัตราส่วนระหว่างเพศเมียต่อเพศผู้เฉลี่ย 2.53:1 และตัวเต็มวัยมีอายุขัยประมาณ 5-8 วัน และควรให้แมลงอาศัยแก่แตนเบียนทันทีที่ตัวเต็มวัยฟักออกมา เพราะจะทำให้แตนเบียนมีอายุยืนขึ้น อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสเป็นอุณหภูมิที่ต่ำเกินไป เนื่องจากแตนเบียนใช้เวลานานในการเจริญเติบโตตั้งแต่ไข่จนถึงตัวเต็มวัย และอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสก็สูงเกินไป ถึงแม้ว่าแตนเบียนใช้เวลาในการเจริญเติบโตไม่นานและอัตราส่วนเพศเมียต่อเพศผู้สูงที่สุด แต่จำนวนลูกที่ออกมาค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับที่อุณหภูมิ 25-32 องศาเซลเซียสอีกทั้งอายุขัยของตัวเต็มวัยสั้นที่สุดด้วย ส่วนที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสแตนเบียนใช้เวลาในการเจริญเติบโตนานกว่าที่อุณหภูมิ 28, 30 และ 32 องศาเซลเซียส และอัตราส่วนระหว่างเพศเมียต่อเพศผู้น้อยที่สุด ดังนั้นอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสก็ไม่เหมาะสมกับการเลี้ยงแตนเบียน *T. elegans* เพื่อเพิ่มปริมาณ

สำหรับการใช้แตนเบียน *T. elegans* เพื่อควบคุมด้วงงวงข้าวโพด (*S. zeamais*) ในสภาพโรงเก็บนั้น วิธีการปล่อยแตนเบียน 5 คู่อย่างสม่ำเสมอทุก 2 สัปดาห์เป็นวิธีการที่เหมาะสมมากกว่าการปล่อยแตนเบียนเพียงครั้งเดียว

เอกสารอ้างอิง

Assem, J.V.D. and D.J. Kuenen. 1958. Host finding of *Choetospila elegans* Westw. (Hym. Chalcid.) a parasite of *Sitophilus granaries* L. (Coleopt. Curcul.) *Ent. Exp. & Appl.* 1: 174-180.

Bare, C.O. 1942. Some natural enemies of stored-tobacco insects, with biological notes. *J. Econ. Entomol.* 35: 185-189.

Bellow, T.S., Jr. 1985. Effects of host age and host availability on development period, adult size, sex ratio, longevity and fecundity in *Lariophagus distinguendus* Föster (Hymenoptera: Pteromalidae). *Res. popul. Ecol.*, 27: 55-64.

Flinn, P.W. 1998. Temperature effects on efficacy of *Choetospila elegans* (Hymenoptera: Pteromalidae) to suppress *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrichidae) in stored wheat. *J. Econ. Entomol*, 91(1): 320-323.

Flinn, P.W. and D.W. Hagstrum. 2002. Temperature-mediated functional response of *Theocolax elegans* (Hymenoptera: Pteromalidae) parasitizing *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrichidae) in stored wheat. *J. Stored Prod. Res.* 38: 185-190.

Flinn, P.W., D.W. Hagstrum and W.H. McGaughey. 1996. Suppression of beetles in stored wheat by augmentative releases of parasitic wasps. *Environ.Entomol.* 25(2): 505-511.

Ghani, M.A. and H.L. Sweetman. 1955. Ecological studies on the granary weevil parasite, *Aplastomorpha calandrae* (Howard). *Biologia* 1: 115-139.

Hagstrum, D.W. and P.W. Flinn. 1992. Integrated pest management of stored-grain insects, pp. 535-562, *In* D.B. Sauer (ed.), Storage of cereal grains and their products. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN.

Nakakita, H., P. Sittisuuang, P. Visarathanonth, M. Kuwahara, P. Urairong, and P. Sinchaisri. 1991. Studies on Quality Preservation of Rice Grains by the Prevention of Infestation by Stored-product Insects in Thailand. Bangkok. 192 pp.

Okutani, T. 1988. Hymenopterous insects found indoors. *House and Household Insects Pests.* 9: 65-68.

Press, J.W. 1992. Comparative penetration efficacy in wheat between the weevil parasitoids *Anisopteromalus calandrae* and *Choetospila elegans* (Hymenoptera: Pteromalidae). *J. Entomol. Sci.*27 (2): 154-157.

Ryoo, M.I., Y.S. Hong and C.K. Yoo. 1991. Relationship between temperature and development of *Lariophagus distinguendus* (Hymenoptera: Pteromalidae), an ectoparasitoid of *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae). *J. Econ. Entomol.* 84: 825-829.

Sharifi, S. 1972. Radiographic studies of the parasite *Choetospila elegans* on maize weevil, *Sitophilus zeamais*. *Ann. Entomol. Soc. of Am.* 65(4): 852-856.

Smith, L. 1992. Effect of temperature on life history characteristics of *Anisopteromalus calandrae* (Hymenoptera: Pteromalidae) parasitizing maize weevil larvae in corn kernels. *Environ. Entomol.*, 21(4): 877-887.

Toews, M.D., T.W. Phillips and G.W. Cuperus. 2001. Effects of wheat cultivar and temperature on suppression of *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrichidae) by the parasitoid *Theocolax elegans* (Hymenoptera: Pteromalidae). *Biol. Cont.* 21, 120-127.

Wen, B. and J.H. Brower. 1995. Competition between *Anisopteromalus calandrae* and *Choetospila elegans* (Hymenoptera: Pteromalidae) at different parasitoid densities on immature rice weevils (Coleoptera: Curculionidae) in wheat. *Biol. Cont.* 5: 151-157.

William, R.N. and E.H. Floyd. 1971. Effect of two parasites, *Anisopteromalus calandrae* and *Choetospila elegans*, upon populations of the maize weevil under laboratory and natural conditions. *J. Econ. Entomol.* 64: 1407-1408.