

การใช้คลื่นความถี่วิทยุในการควบคุมเหาหนังสือ (*Liposcelis entomophila*) ในเมล็ดข้าวหอมมะลิ

Using radio frequency to control *Liposcelis entomophila* in Jasmine rice

กฤตพจน์ นันตะกุล¹, ณัฐฐวัฒน์ หมื่นมานะ^{2,3} และ เยาวลักษณ์ จันทรบาง^{1,3*}

Kritthapot Nantakool¹, Nadthawat Muenmanee^{2,3} and Yaowaluk Chanbang^{1,3*}

¹ ภาควิชากีฏวิทยาและโรคพืช คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ 50200

¹ Department of Entomology and Plant Pathology, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

² ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ 50200

² Postharvest Research and Technology Center, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

³ ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม กทม. 10400

³ Postharvest Technology Innovation Center, Ministry of Higher Education, Science, Research and Innovation, Bangkok 10400, Thailand

* Corresponding author: yaowaluk.c@cmu.ac.th

Received: date; May 7, 2020 Accepted: date; July 15, 2020 Published: date

บทคัดย่อ: เหาหนังสือ ถือเป็นปัญหาสำคัญของผลผลิตข้าวหอมมะลิในระยะหลังการเก็บเกี่ยว เนื่องจากเข้าทำลายบริเวณจมูกข้าวของเมล็ดหรือบริเวณที่จะเจริญไปเป็นต้นพืช ก่อให้เกิดความเสียหายแก่ผลผลิตในโรงเก็บทั้งเชิงปริมาณและคุณภาพ และสามารถแพร่ขยายพันธุ์ได้ง่าย ทำให้มีประชากรเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เหาหนังสือที่พบในข้าวสารหอมมะลิ เมื่อนำมาจำแนกชนิดพบว่าชนิด *Liposcelis entomophila* การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระดับของการใช้อุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมในการควบคุมเหาหนังสือโดยการใช้คลื่นความถี่วิทยุ โดยแบ่งการทดลองเป็น 2 การทดลอง ได้แก่ การทดลองที่ 1 นำเหาหนังสือแต่ละระยะการเจริญเติบโตมาผ่านคลื่นความถี่วิทยุที่ความถี่ 27.12 MHz อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 วินาที โดยเหาหนังสือระยะไข่มีค่าเฉลี่ยของการตายมากที่สุด เท่ากับ 92.76 ± 1.13 % รองลงมาคือ ระยะตัวอ่อน และระยะตัวเต็มวัย มีค่าเฉลี่ยของการตายเท่ากับ 63.12 ± 5.78 % และ 20.36 ± 2.40 % ตามลำดับ โดยที่ระยะตัวเต็มวัยของเหาหนังสือมีความทนทานต่อคลื่นความถี่วิทยุมากที่สุด แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) การทดลองที่ 2 นำเหาหนังสือตัวเต็มวัยซึ่งเป็นระยะที่ทนทานต่อคลื่นความถี่วิทยุมากที่สุดมาผ่านคลื่นที่ระดับอุณหภูมิ 55, 60, 65 และ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60, 90, 120 และ 150 วินาที ในทุกระดับอุณหภูมิ พบว่า ที่ระดับอุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 วินาที ซึ่งเป็นอุณหภูมิ และเวลาต่ำที่สุดที่สามารถทำให้ตัวเต็มวัยเหาหนังสือตายอย่างสมบูรณ์ (การตายเท่ากับ 100 %) และไม่พบแมลงรุ่นลูก (F_1)

คำสำคัญ: เหาหนังสือ; คลื่นความถี่วิทยุ; ข้าวหอมมะลิ

ABSTRACT: Psocids is considered as an important problem of rice, especially jasmine rice in the postharvest. They usually feed on the germ which grows to be a new plant. Since psocids grow very quickly, they would cause quantitative and qualitative losses to postharvest products. Psocids (*Liposcelis entomophila*) associated with milled rice was identified. The objective of this experiment was to study the appropriate range of temperature and exposure time to control psocids by using radio frequency (RF). In experiment 1, all developmental stages of psocids; egg, nymph, and adult; mixed with milled rice were treated by 27.12 MHz radio frequency which provided 55°C for 60 seconds. The result showed that egg stage of psocids was the highest mortality rates with $92.76 \pm 1.13\%$, followed by the mortality of nymph and adult stages which were $63.12 \pm 5.78\%$ and $20.36 \pm 2.40\%$, respectively. Adult psocids was the most tolerance to RF heat treatment ($P < 0.05$). In experiment 2, adult psocids were exposed to combination of RF heating at 55, 60, 65, and 70°C for 60, 90, 120, and 150 seconds. The result showed that RF treatment at 65°C for 90 seconds was able to get effective control of psocids with 100 % mortality, which there was the minimal combination rate of RF heat. There was no insect progeny found in the milled rice.

Keywords: psocids, book lice; *Liposcelis entomophila*; radio frequency; milled rice

บทนำ

เหาหนังสือ เป็นแมลงชนิดหนึ่งที่สร้างปัญหาในผลผลิตข้าวในระยะหลังการเก็บเกี่ยว แพร่ขยายพันธุ์ได้ง่าย ทำให้มีประชากรเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยจะเข้าทำลาย ก่อให้เกิดความเสียหายแก่ผลผลิตในโรงเก็บประมาณ 5-10 % (กรมวิชาการเกษตร, 2561) เหาหนังสือจัดเป็นแมลงศัตรูของเมล็ดพืช เนื่องจากมักกัดกินบริเวณจมูกข้าวของเมล็ดหรือบริเวณที่จะเจริญไปเป็นต้นพืช ซึ่งเป็นแหล่งสะสมอาหารสำหรับการเจริญเติบโตของต้นอ่อน เมื่อส่วนดังกล่าวเกิดความเสียหาย ส่งผลให้เมล็ดพันธุ์มีเปอร์เซ็นต์การงอกลดลงก่อให้เกิดผลกระทบต่อทางเศรษฐกิจ (มณฑนา, 2563) นอกจากนี้เหาหนังสือที่พบในข้าวสารทำให้ข้าวดูสกปรก การเจริญของแมลงทำให้ความชื้นข้าวเพิ่มขึ้น เชื้อราเจริญได้ง่ายขึ้น ส่งผลให้เกิดการปนเปื้อนของเชื้อราในผลผลิต ทำให้ราคาของสินค้าลดลง หรือผลผลิตสินค้าส่งออกถูกปฏิเสธจากตลาดทั้งในและต่างประเทศ (Jacobs, 2014; ABARE, 2000) และเหาหนังสือหลายชนิดมักเข้าทำลายในข้าวสาลี ข้าวโพด และข้าว มีรายงานว่าพบ *Liposcelis entomophila* ในเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดที่นำเข้ามาจากประเทศญี่ปุ่น (ณัฐพร และคณะ, 2554; Rees, 2004) การป้องกันกำจัดแมลงเหล่านี้สามารถทำได้หลายวิธี ทั้งการใช้สารเคมีและการไม่ใช้สารเคมี ซึ่งการใช้คลื่นความถี่วิทยุ (radio frequency, RF) เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในการป้องกันกำจัดแมลง ใช้หลักการสร้างความร้อนจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในระดับความถี่วิทยุ ปล่อยผ่านไปยังวัตถุทำให้เกิดการสั่นสะเทือนของโมเลกุลในตัววัตถุจนเกิดความร้อนขึ้นจากภายในวัตถุ (Birla et al., 2004) ลำดับต่อมาจะเกิดการสะสมพลังงานและการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในตัววัตถุอย่างรวดเร็ว (Cwiklinski and von Hoersten, 1999) การเกิดพลังงานความร้อนนี้ขึ้นอยู่กับความถี่ของคลื่นวิทยุที่ใช้ ช่วงความถี่คลื่นที่นำมาประยุกต์ใช้อยู่ในระดับ 13, 27 และ 40 MHz (Cwiklinski and von Hoersten, 2001) โดยคลื่นความถี่วิทยุนั้นสามารถกระจายความร้อนผ่านวัตถุที่มีความหนาได้ดีกว่าไมโครเวฟ (Nelson, 1996) และพบว่าการใช้คลื่นความถี่วิทยุทำให้เกิดอุณหภูมิที่ 70 องศาเซลเซียส สามารถกำจัดมอดหัวป้อมได้อย่างสมบูรณ์โดยไม่ทำให้ข้าวเสียคุณภาพ (กฤษณา และคณะ, 2552) นอกจากนี้ คลื่นความถี่วิทยุสามารถใช้ได้กับอีกหลาย ๆ ผลผลิตเกษตร เช่น ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ถั่วเขียว หรือเมล็ดพันธุ์ เป็นต้น (Chanbang and Muenmanee, 2018) ทั้งนี้ ในประเทศไทยยังไม่พบรายงานการใช้คลื่นความถี่

วิทยุในการควบคุมเหาหนังสือมาก่อน ด้วยเหตุนี้การศึกษาการใช้คลื่นความถี่วิทยุในการควบคุมเหาหนังสือในเมล็ดข้าวหอมมะลิ จึงเป็นข้อมูลสำคัญที่จะใช้เป็นแนวทางในการป้องกันกำจัดเหาหนังสือในสภาพโรงเก็บต่อไปในอนาคต

วิธีการศึกษา

การศึกษาสัณฐานวิทยาของเหาหนังสือ

นำตัวอย่างเหาหนังสือที่พบในข้าวหอมมะลิ ซึ่งได้มาจากศูนย์วิจัยข้าวเชียงราย จ.เชียงราย เทียบกับเหาหนังสือ การจัดจำแนกแมลงในสหราชอาณาจักร (Handbooks for the identification of British insects) (New, 1974) และเทียบจากภาพตัวอย่างต้นแบบของเหาหนังสือวงศ์ Liposcelididae สกุล *Liposcelis* ที่พบในอเมริกาเหนือ ซึ่งปรากฏอยู่บน Agricultural Research Service (ARS, 2019) แล้วนำข้อมูลที่ได้จัดทำรูปภาพจากการถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดคอมพาวด์ (OLYMPUS รุ่น CX31)

การเพาะเลี้ยง และเตรียมเหาหนังสือในระยะต่าง ๆ

ทำการเพาะเลี้ยงเหาหนังสือ ณ ห้องปฏิบัติการสาขาวิชาชีววิทยา ภาควิชาชีววิทยาและโรคพืช คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ นำเหาหนังสือตัวเต็มวัยที่อยู่ในสภาพสมบูรณ์แข็งแรง ใส่บรรจุลงขวดโหลแก้ว ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 ซม. ความสูง 15 ซม. ที่ฝาปิดขวดโหลแก้วเจาะเป็นรูวงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.3 ซม. ปิดด้วยผ้าตาข่าย เพื่อระบายอากาศ และป้องกันแมลงหลบหนี ภายในขวดโหลแก้วบรรจุอาหารเลี้ยงเหาหนังสือ ประกอบด้วย ข้าวหอมมะลิที่บดหยาบ ผสมกับข้าวหอมมะลิเต็มเมล็ด ในอัตราส่วนข้าวหอมมะลิที่บดหยาบ 2 ส่วน ต่อข้าวหอมมะลิเต็มเมล็ด 1 ส่วน ปริมาณ 300 กรัม ซึ่งส่วนผสมดังกล่าวได้ผ่านการแช่แข็งเพื่อกำจัดแมลงชนิดอื่นเรียบร้อยแล้ว

การเตรียมระยะไข่ นำเหาหนังสือตัวเต็มวัยอายุไม่เกิน 1 สัปดาห์ คละเพศ ประมาณ 100 ตัว บรรจุลงขวดโหลแก้วที่เตรียมไว้ ภายในขวดโหลแก้วบรรจุเมล็ดข้าวหอมมะลิเพื่อให้เหาหนังสือวางไข่ โดยให้เหาหนังสือวางไข่เป็นเวลา 3 วัน หลังจากนั้นทำการร่อน และใช้ฟุ้งกันเขี่ยคัดแยกไข่ภายใต้กล้องจุลทรรศน์สเตอริโอ (ZEISS รุ่น Stemi 508) เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

การเตรียมระยะตัวอ่อน นำเหาหนังสือตัวเต็มวัยอายุไม่เกิน 1 สัปดาห์ คละเพศ ประมาณ 100 ตัว บรรจุลงภาชนะพร้อม กับเมล็ดข้าวหอมมะลิ (ดำเนินการเช่นเดียวกับระยะไข่) โดยให้เหาหนังสือวางไข่เป็นเวลา 3 วัน หลังจากนั้นทำการร่อน และใช้ฟุ้งกันเขี่ยแยกตัวเต็มวัยของเหาหนังสือออกจากเมล็ดข้าวหอมมะลิ ส่วนไข่ของเหาหนังสือที่ปะปนอยู่ในข้าวเจริญจากระยะไข่เป็นระยะตัวอ่อนที่มีอายุ ประมาณ 2 สัปดาห์ (ตัวอ่อนวัยที่ 3) เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

การเตรียมระยะตัวเต็มวัย นำเหาหนังสือตัวเต็มวัยอายุไม่เกิน 1 สัปดาห์ คละเพศ ประมาณ 100 ตัว บรรจุลงภาชนะพร้อมกับข้าวหอมมะลิ (ดำเนินการเช่นเดียวกับระยะไข่) โดยให้เหาหนังสือวางไข่เป็นเวลา 3 วัน หลังจากนั้นทำการร่อน และใช้ฟุ้งกันเขี่ยแยกตัวเต็มวัยของเหาหนังสือออกให้หมดแล้วทิ้งไว้ 23-25 วัน เพื่อให้แมลงเจริญจากระยะไข่เป็นระยะตัวอ่อน และตัวเต็มวัย ที่มีอายุไม่เกิน 1 สัปดาห์ เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

การศึกษาระยะการเจริญเติบโตของเหาหนังสือที่ทนทานต่อคลื่นความถี่วิทยุมากที่สุด

นำเหาหนังสือในระยะไข่ ตัวอ่อน และตัวเต็มวัย ระยะละ 40 ตัว ใส่ลงในภาชนะเทพลอนขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 16 ซม. สูง 5 ซม. หนา 5 มม. ซึ่งบรรจุข้าวหอมมะลิน้ำหนัก 450 กรัม โดยจะแยกทำการทดลองแต่ละระยะการเจริญเติบโต โดยใช้เครื่องกำเนิดคลื่นความถี่วิทยุชื่อ Sairem ที่สร้าง และปรับปรุงโดย Institute of Agriculture Engineering, University of Göttingen, Germany (ณัฐศักดิ์, 2543) ที่คลื่นความถี่วิทยุ 27.12 MHz อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 วินาที ณ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ซึ่งแต่ละระยะการเจริญเติบโตทำการทดลองทั้งหมด 6 ซ้ำ เมื่อผ่านกรรมวิธีต่าง ๆ นำเหาหนังสือแต่ละระยะการเจริญเติบโต และข้าวหอมมะลิบรรจุแยกใส่ขวดโหลแก้วปิดด้วยผ้าตาข่ายถี่ จากนั้นเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง

โดยระยะไข่ ตัวอ่อน และระยะตัวเต็มวัยจะถูกทำการตรวจนับแมลงที่ตาย และรอดชีวิตหลังจากผ่านคลื่นความถี่วิทยุเป็นเวลา 2 สัปดาห์ แล้วนำข้อมูลที่ได้คำนวณหาอัตราการตาย หากมีการตายในชุดควบคุม ทำการคำนวณอัตราการตายโดยใช้ Abbott's formula (Abbott, 1925) ซึ่งนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าของเฉลี่ยอัตราการตายของแมลงแต่ละระยะ โดยวิธี least significant difference (LSD) ด้วยโปรแกรม Statistix version 8

การศึกษาอุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมในการให้คลื่นความถี่วิทยุที่ทำให้เหาหนังสือในระยะทันทานที่ตายอย่างสมบูรณ์

นำเหาหนังสือในระยะที่ทันทานที่สุดจากการทดลองก่อนหน้านี้ จำนวน 40 ตัว เตรียมบรรจุในภาชนะเพปลอนพร้อมกับข้าวหอมมะลิ ทำเช่นเดียวกับการทดลองแรก วางแผนการทดลองแบบ factorial design โดยนำมาผ่านคลื่นความถี่วิทยุที่ความถี่ 27.12 MHz โดยมีปัจจัยจาก อุณหภูมิที่ 55, 60, 65 และ 70 องศาเซลเซียส และระยะเวลาที่แมลงได้รับความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุ เป็นเวลา 60, 90, 120 และ 150 วินาที ในทุกระดับอุณหภูมิ และมีชุดควบคุม คือไม่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุ ทำการทดลองทั้งหมด 6 ซ้ำ นำเหาหนังสือและข้าวหอมมะลิที่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุในอุณหภูมิ และระยะเวลาต่าง ๆ มาเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 สัปดาห์ ทำการตรวจนับ และคำนวณจำนวนเหาหนังสือที่ตายจากการผ่านคลื่นความถี่วิทยุในทำนองเดียวกันกับการทดลองแรก จากนั้นวิเคราะห์ความแปรปรวน และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยการตายด้วยวิธี LSD โดยโปรแกรม Statistix version 8

การศึกษาผลของคลื่นความถี่วิทยุต่อการเกิดแมลงรุ่นลูก (F_1)

นำเหาหนังสือที่เหลือรอดจากการผ่านคลื่นความถี่วิทยุ ย้ายลงในขวดโหลแก้วบรรจุอาหารเลี้ยง และตรวจนับแมลงรุ่นลูก หลังการปล่อยตัวเต็มวัยเหาหนังสือเป็นเวลา 3 สัปดาห์ วางแผนการทดลองแบบ factorial design โดยมีปัจจัยจาก อุณหภูมิ และระยะเวลาที่แมลงได้รับความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุ จากนั้นวิเคราะห์ความแปรปรวน และเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยจำนวนรุ่นลูกของเหาหนังสือ ด้วยวิธี LSD โดยโปรแกรม Statistix version 8

ผลการวิจัยและวิจารณ์

สัณฐานวิทยาของเหาหนังสือ

การจำแนกตัวอย่างเหาหนังสือในข้าวหอมมะลิที่ได้จากศูนย์วิจัยข้าวเชียงราย จ.เชียงราย พบว่าเป็นชนิด *Liposcelis entomophila* ซึ่งมีลักษณะสัณฐานวิทยาภายนอก ดังนี้

ส่วนหัว ประกอบด้วยตารวมที่ประกอบไปด้วยหน่วยตา (ommatidia) จำนวน 8 หน่วยตา (Figure 1A) ซึ่งสอดคล้องกับ Yang et al. (2012) พบว่าตาของ *L. entomophila* ประกอบด้วยหน่วยตา 6-8 หน่วยตา ซึ่งส่วนมากจะพบ 8 หน่วยตา บางครั้งพบ 7 หน่วยตา แต่ส่วนน้อยที่จะพบ 6 หน่วยตา

ส่วนอก ซึ่งอกปล้องแรกบริเวณไหล่ทั้ง 2 ข้าง พบเส้นขนที่มีลักษณะแข็ง และยาว 1 เส้น (S1) นอกจากนี้ยังพบเส้นขนอีก 4 เส้น บริเวณแต่ละข้างของอกปล้องแรก (Figure 1B) ซึ่งสอดคล้องกับ Yang et al. (2012) กล่าวว่า ส่วนสันไหล่บริเวณด้านข้างของแต่ละข้างจะพบเส้นขนที่มีลักษณะแข็งและยาว 1 เส้น และเส้นขน 3-5 เส้น เรียงแถวตามขวางของ pronotum นอกจากนี้ส่วนด้านล่างของอกปล้องแรก (prosternum) พบเส้นขนบริเวณด้านหน้าถึงตรงกลางของส่วน prosternum (Figure 1C) ซึ่งโดยปกติแล้วจะพบเส้นขนบริเวณนี้ 3-4 เส้น (Cui et al., 2019; Opit et al., 2019)

ส่วนท้อง ใช้ลักษณะการปรากฏของเส้นแบ่งปล้องท้องของปล้องที่ 3 และ 4 ซึ่งมักเห็นลักษณะแถบเส้นแบ่งปล้องท้องชัดเจนในบริเวณส่วนกลางของปล้องท้องที่ 3 และ 4 นอกจากนี้ปล้องท้องทุกปล้องมีการปรากฏแถบสีม่วงอย่างชัดเจนอยู่ทางด้านซ้ายและขวาของปล้องท้องแต่ละปล้อง (และจะชัดเจนบริเวณตรงกลางของปล้องท้องในแต่ละปล้อง) (Figure 1D) ซึ่งสอดคล้อง

กับ Cui et al. (2019) และ Opit et al. (2019) พบว่า ปล้องท้องปล้องที่ 6-9 จะพบแถบสีน้ำตาลพาดขวางลำตัวโดยจะขีดจางบริเวณตรงกลางของปล้องท้องแต่ละปล้องดังกล่าว และการจำแนกชนิดเหาหนังสือ *L. entomophila* ของอภิรดี (2560) โดยใช้ลักษณะสัณฐานวิทยาภายนอก พบว่า เหาหนังสือมีขนาดลำตัวประมาณ 1-2 มม. ไม่มี posterior membranous band มีแถบสีน้ำตาลอ่อนอยู่บริเวณด้านข้างปล้องท้อง และขีดจางในส่วนกลางของปล้องท้อง

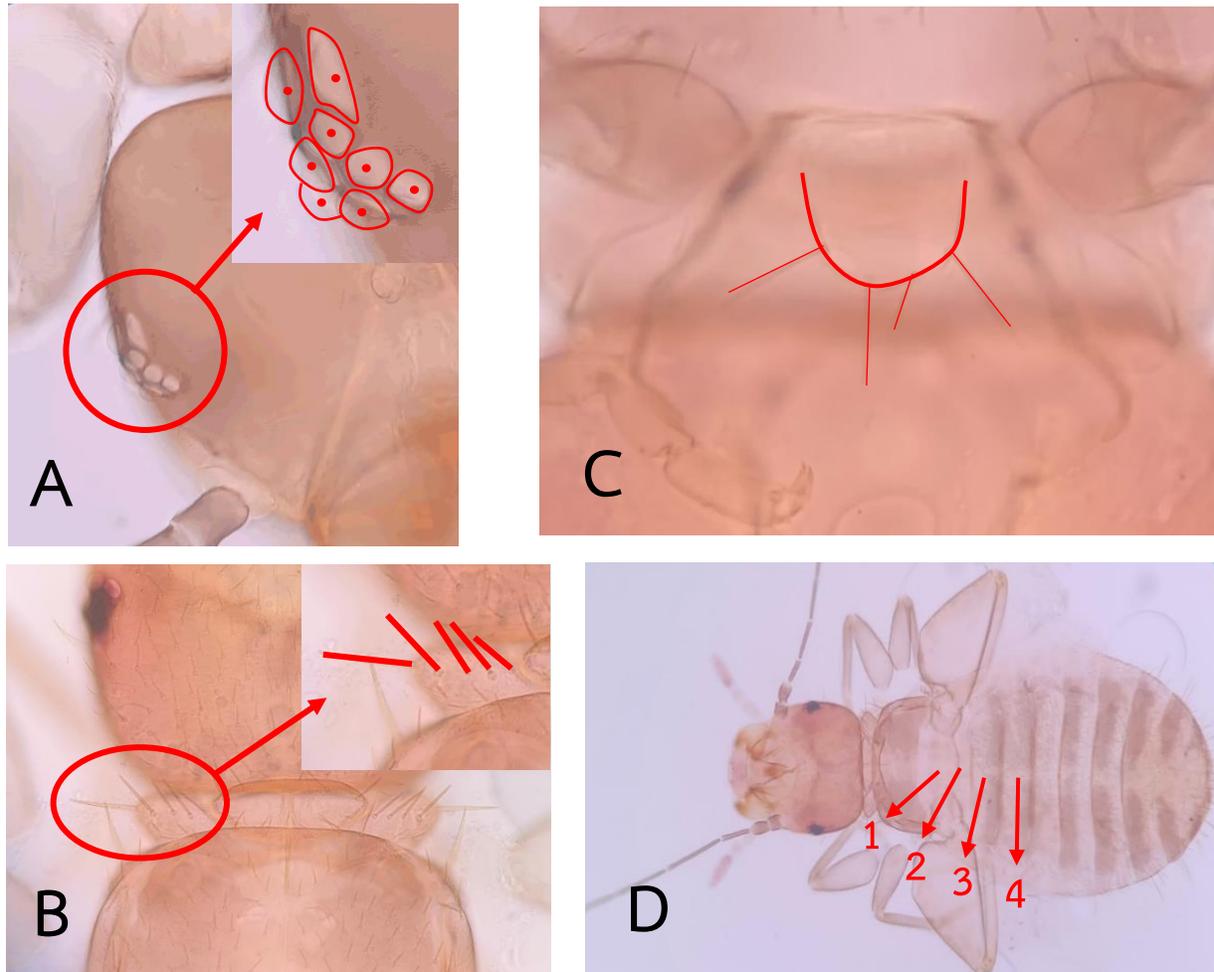


Figure 1 Morphological characters of *Liposcelis entomophila* (female): compound eyes (A), lateral lobe of pronotum (B), prosternum (C) and abdomen (D)

ผลการศึกษาระยะการเจริญเติบโตของเหาหนังสือที่ทนทานต่อการใช้คลื่นความถี่วิทยุมากที่สุด

เหาหนังสือในแต่ละระยะที่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุที่ความถี่ 27.12 MHz ที่ระดับอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 วินาที พบว่าคลื่นความถี่วิทยุ มีผลต่อการตายของเหาหนังสือในแต่ละระยะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (Table 1) โดยเหาหนังสือระยะไข่มีค่าเฉลี่ยของการตายมากที่สุด เท่ากับ 92.76 ± 1.13 % รองลงมาคือ ระยะตัวอ่อน และระยะตัวเต็มวัย มีค่าเฉลี่ยของการตายเท่ากับ 63.12 ± 5.78 % และ 20.36 ± 2.40 % ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าระยะไข่ของเหาหนังสือมีความทนทานต่อคลื่นความถี่วิทยุน้อยกว่าตัวเต็มวัยสอดคล้องกับการใช้คลื่นความถี่วิทยุเพื่อควบคุมมอด

ฟิ่นเลื้อยในข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 พบว่าระยะตัวเต็มวัยของมอดฟิ่นเลื้อยมีความทนทานต่อคลื่นความถี่วิทยุมากที่สุด รองลงมาคือ ระยะดักแด้ ระยะหนอน และระยะไข่ (ซังพงษ์ และคณะ, 2557) นอกจากนี้ สอดคล้องกับด้วงวงข้าวโพดในระยะตัวเต็มวัยเป็นระยะที่ทนทานที่สุดเมื่อได้รับคลื่นความถี่วิทยุที่ระดับพลังงาน 670 วัตต์ เป็นระยะเวลา 120 วินาที พบว่ามีการตายเท่ากับ 49.92 % และระยะไข่ทนทานน้อยที่สุด มีการตายคิดเป็น 76.13 % (วีรยุทธ และคณะ, 2554) เปรียบเทียบกับวิธีการรมฟอสฟีนเพื่อป้องกันกำจัดเหาหนังสือ พบว่า เหาหนังสือ 4 ชนิดในสกุล *Liposcelis* ที่พบในเอเชีย เช่น ประเทศอินโดนีเซีย มาเลเซีย สิงคโปร์ ฟิลิปปินส์ ไทย สาธารณรัฐประชาชนจีน และอินเดีย มีความอ่อนแอต่อสารฟอสฟีนที่ความเข้มข้น 0.1 กรัม/ลบ.ม. (72 ppm) (Nayak, 2006) ในสาธารณรัฐประชาชนจีน และอินโดนีเซีย พบว่าไข่เหาหนังสือ *L. entomophila* มีความต้านทานต่อสารฟอสฟีนมากกว่าระยะตัวเต็มวัย แต่หากใช้สารฟอสฟีนที่ความเข้มข้น 1.7 กรัม/ลบ.ม. ในเวลามากกว่า 5 วัน จะสามารถควบคุมระยะไข่ของเหาหนังสือชนิดนี้ได้ (Cao et al., 2003; Pike, 1994) แสดงให้เห็นว่าการใช้คลื่นความถี่วิทยุในการป้องกันกำจัดเหาหนังสืออาจเป็นทางเลือกทดแทนการใช้กรรมสารฟอสฟีน เนื่องจากการใช้สารเคมี ทำให้ไม่สามารถกำจัดระยะไข่ ซึ่งเป็นระยะที่ยากต่อการมองเห็นด้วยตาเปล่าได้ นอกจากนี้หากต้องการควบคุมทุกระยะของเหาหนังสือ จำเป็นต้องใช้สารเคมีที่มีความเข้มข้นสูง และใช้ระยะเวลาในการป้องกันกำจัดยาวนานกว่าการใช้คลื่นความถี่วิทยุ โดยสารเคมีอาจส่งผลให้เกิดสารพิษตกค้างในผลผลิตพืช การเพิ่มต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้น และระยะเวลาการดำเนินการที่ยาวนานอีกด้วย

Table 1 Average mortality of psocids (*Liposcelis entomophila*) in various developmental stages after treated by 27.12 MHz radio frequency at the temperature of 55°C and for 60 seconds

Developmental stage	Mortality (%) ± SE ^{1/}
Egg	92.76 ± 1.13a
Nymph	63.12 ± 5.78b
Adult	20.36 ± 2.40c

^{1/}Means within the same column followed by the same letter are not significantly different at the 0.05 level by the LSD test (LSD =12.74)

ผลการศึกษาอุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมในการให้คลื่นความถี่วิทยุที่ทำให้เหาหนังสือในระยะทนทานที่สุดตายอย่างสมบูรณ์

จากการศึกษา พบว่าเหาหนังสือระยะที่มีความทนทานต่อคลื่นความถี่วิทยุมากที่สุดคือ ระยะตัวเต็มวัย จึงนำเหาหนังสือระยะตัวเต็มวัยมาทำการทดลองเพื่อหาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการใช้คลื่นความถี่วิทยุเพื่อกำจัดแมลงในระยะดังกล่าว โดยใช้คลื่นความถี่วิทยุที่ 27.12 MHz ที่อุณหภูมิ 55, 60, 65 และ 70 องศาเซลเซียส โดยใช้ระยะเวลา 60, 90, 120 และ 150 วินาที พบว่าอุณหภูมิ (main effect) เป็นปัจจัยสำคัญทำให้แมลงมีการตาย โดยการใช้คลื่นความถี่วิทยุที่ระดับอุณหภูมิ 65 และ 70 องศาเซลเซียสมีผลทำให้ตัวเต็มวัยของเหาหนังสือมีการตายแตกต่างกันกับระดับอุณหภูมิ 60 และ 55 องศาเซลเซียสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ระยะเวลาที่แมลงได้รับคลื่นความถี่วิทยุ ในทุกอุณหภูมิการให้คลื่นความถี่วิทยุ มีผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) จากการทดลองพบว่าเหาหนังสือในระยะตัวเต็มวัยที่มีการตายอย่างสมบูรณ์ (100 %) มี 6 กรรมวิธี คือ ที่อุณหภูมิ 65 และ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90, 120 และ 150 วินาที (Table 2) อุณหภูมิสูงขึ้น และระยะเวลาได้รับคลื่นความถี่วิทยุเพิ่มขึ้น ทำให้การตายของเหาหนังสือเพิ่มขึ้น การทดลองมี interaction ($P < 0.05$) ทั้งอุณหภูมิกับระยะเวลาที่แมลงได้รับคลื่นความถี่วิทยุมีผลร่วมกันแต่ในช่วงที่อุณหภูมิต่ำ (55-60 องศาเซลเซียส) ทุกช่วงเวลา (60-150 วินาที) ไม่สามารถทำให้เหา

หนังสือตายได้ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับการทดลองการใช้คลื่นความถี่วิทยุความถี่ 27.12 MHz ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 150 วินาที พบว่าสามารถทำให้มอดหัวป้อมในข้าวสารหอมมะลิพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ตายอย่างสมบูรณ์ (กฤษณา และคณะ, 2552) และเมื่อใช้คลื่นความถี่วิทยุที่ความถี่ 27.12 MHz เพื่อควบคุมมอดพื้นเลื้อยในข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 นาที เป็นการใช้คลื่นที่เหมาะสมในการทำให้มอดพื้นเลื้อยตายอย่างสมบูรณ์ (การตาย 100 %) (ซัชพงษ์ และคณะ, 2557) ซึ่งมอดพื้นเลื้อยเป็นแมลงศัตรูโรงเก็บที่เป็นแมลงศัตรูอันดับรอง และกัดกินภายนอกเมล็ดเช่นเดียวกับเหาหนังสือ เห็นได้ว่าคลื่นความถี่วิทยุอัตราที่กำจัดแมลงศัตรูทั้งที่กัดกินภายในเมล็ด (มอดหัวป้อม) และแมลงศัตรูที่กัดกินภายนอกเมล็ด (มอดพื้นเลื้อย) สามารถกำจัดเหาหนังสือระยะตัวเต็มวัย (ระยะหนาน) ได้อย่างสมบูรณ์ อาจเรียงลำดับอุณหภูมิหรือเวลาที่ใช้ในการกำจัดจากมากไปน้อยดังนี้ มอดหัวป้อม > มอดพื้นเลื้อย > เหาหนังสือ ตามลำดับ

Table 2 Average mortality of psocids (*Liposcelis entomophila*) in adult stage after treated by 27.12 MHz radio frequency at the temperature of 55, 60, 65 and 70°C and for 60, 90, 120 and 150 seconds

Temperature (°C)	Mortality in various time periods (seconds) ± SE				Mean of mortality ± SE
	60	90	120	150	
55	20.36 ± 2.40g	44.43 ± 2.99f	68.05 ± 2.72e	76.05 ± 2.40cd ^{1/}	52.23 ± 12.56Z ^{2/}
60	68.13 ± 2.20e	71.12 ± 2.36de	80.91 ± 3.46c	93.03 ± 2.04b	78.30 ± 5.62Y
65	98.20 ± 0.90ab	100a	100a	100a	99.55 ± 0.45X
70	99.14 ± 0.55a	100a	100a	100a	99.55 ± 0.45X
Mean of mortality ± SE	71.46 ± 18.49D	78.89 ± 13.35C	87.24 ± 7.82B	92.27 ± 5.65A^{3/}	

^{1/}Means with in the same column and row followed by the same letter are not significantly different at 0.05 levels by the LSD Test (LSD = 5.38)

^{2/}Means with in the same column followed by the same letter are not significantly different at 0.05 levels by the LSD Test (LSD = 2.68)

^{3/}Means with in the same row followed by the same letter are not significantly different at 0.05 levels by the LSD Test (LSD = 2.68)

Insect mortality in untreated control = 7.03 ± 0.92 %, n = 3,840 insects

ผลของคลื่นความถี่วิทยุต่อการเกิดแมลงรุ่นลูก

หลังจากนำเหาหนังสือที่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุ ที่อุณหภูมิ และเวลาต่าง ๆ แล้ว มาตรวจนับจำนวนการตายของเหาหนังสือ โดยนำเหาหนังสือที่รอดชีวิตไปเลี้ยงในข้าวสารบดหยาบในห้องปฏิบัติการ เป็นเวลา 3 สัปดาห์ หลังจากนั้นทำการตรวจนับจำนวนแมลงรุ่นลูก ชุดควบคุม (untreated control) เหาหนังสือตัวเต็มวัยละเพศ 40 ตัว สามารถให้รุ่นลูกที่เจริญเติบโตตามปกติในเวลา 3 สัปดาห์ (Table 3) มีค่าเฉลี่ย 330.37 ± 3.33 ตัว จำนวนแมลงรุ่นลูกในทุกกรรมวิธีรวมทั้งชุดควบคุมที่ไม่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ซึ่งพบว่าระยะเวลาที่แมลงได้รับคลื่นความถี่วิทยุ (0 (ชุดควบคุม), 60, 90, 120 และ 150 วินาที) เป็น main effect โดยอุณหภูมิ และระยะเวลา (main effect) ที่แมลงได้รับคลื่นความถี่วิทยุ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และ มี interaction ระหว่างอุณหภูมิ และระยะเวลา (main effect) อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) เช่นกัน จากการทดลองพบว่า เหาหนังสือไม่สามารถให้แมลงรุ่นลูกได้เมื่อได้รับคลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 150 วินาที และที่อุณหภูมิ 65 และ 70 องศาเซลเซียส นาน 60 วินาที ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าเมื่ออุณหภูมิ และเวลาที่เพิ่มมากขึ้นส่งผลให้จำนวนรุ่นลูกของเหาหนังสือที่เกิดมาลดลง ดังนั้น อุณหภูมิ และเวลาต่ำที่สุดที่ทำให้เหา

หนังสือตายอย่างสมบูรณ์ และไม่พบแมลงรุ่นลูก (F_1) คือ ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 วินาที และเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุ พบว่าสามารถให้รุ่นลูก 328.24 ± 5.77 ตัว/กก. (Table 3) ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) การกำจัดเหาหนังสือระยะตัวเต็มวัย และควบคุมการเกิดแมลงรุ่นลูกไปพร้อม ๆ กันสามารถลดจำนวนประชากรแมลงได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เปรียบเทียบกับการใช้สารเคมี พบว่า การใช้สปีโนแซด และสารสกัดไพรีทรัมที่ความเข้มข้น 1 ppm. และ 2.2 ppm. ตามลำดับ พบแมลงรุ่นลูก (F_1) ของเหาหนังสือ *L. entomophila* ในข้าว 6.1 ± 1.9 % และ 82.1 ± 17.6 % ตามลำดับ แต่ในการใช้คลอรีไพริฟอส-เมทิลที่ความเข้มข้น 3 ppm. ผสมกับเตลดาเมทรินที่ความเข้มข้น 0.5 ppm. ทำให้ไม่พบแมลงรุ่นลูก (F_1) ของแมลงดังกล่าวในข้าว ขณะเดียวกัน การใช้ดินเบา (Diatomaceous earth) ในการควบคุมเหาหนังสือ *L. entomophila* ในข้าวที่ระดับความเข้มข้น 400 500 และ 1,000 ppm. พบว่ามีการให้แมลงรุ่นลูก (F_1) ในปริมาณที่สูงอยู่ และไม่มี ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกระดับความเข้มข้น (Athanassiou et al., 2010) แสดงให้เห็นว่าการใช้สารเคมีบางชนิดและดินเบา (Diatomaceous earth) ในการป้องกันกำจัดเหาหนังสือในระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมยังไม่สามารถควบคุมการผลิตแมลงรุ่นลูกของเหาหนังสือได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดการแพร่กระจายของประชากรเหาหนังสือในผลผลิตพืชหลังการเก็บเกี่ยวอย่างต่อเนื่อง ซึ่งแตกต่างจากการใช้คลื่นความถี่วิทยุในการป้องกันกำจัดเหาหนังสือ ที่สามารถควบคุมการผลิตแมลงรุ่นลูกได้อย่างสมบูรณ์ โดยการใช้คลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสม ดังนั้นวิธีการป้องกันกำจัดเหาหนังสือโดยใช้คลื่นความถี่วิทยุ อาจเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะนำไปพัฒนาใช้ในการป้องกันกำจัดเหาหนังสือในสภาพโรงเก็บต่อไปในอนาคต

Table 3 Average of progeny (F_1) per 40 parents for 3 weeks after RF treatment of psocids (*Liposcelis entomophila*) in adult stage after treated by radio frequency at temperature of 55, 60, 65 and 70°C for 90, 120, 150 and 180 seconds

Temperature (°C)	Number of progeny in various time periods (seconds) ± SE / Kg. Rice					Mean of progeny ± SE
	Untreated control	60	90	120	150	
55	325.37 ± 5.88b	84.81 ± 11.50c	27.78 ± 3.13d	18.15 ± 2.53df	10.74 ± 1.21efg ^{1/}	93.37 ± 59.45X ^{2/}
60	340.19 ± 8.82a	14.81 ± 1.87ef	6.30 ± 1.34fg	4.81 ± 2.18fg	No survival	73.22 ± 66.88Y
65	328.24 ± 5.77b	No survival	No survival	No survival	No survival	65.65 ± 65.65Z
70	327.69 ± 2.74b	No survival	No survival	No survival	No survival	65.54 ± 65.54Z
Mean of progeny ± SE	330.37 ± 3.33A	24.91 ± 20.27B	8.52 ± 6.59C	5.74 ± 4.29CD	2.69 ± 2.69D ^{3/}	

^{1/}Means with in the same column and row followed by the same letter are not significantly different at 0.05 levels by the LSD Test (LSD=10.73)

^{2/}Means with in the same column followed by the same letter are not significantly different at 0.05 levels by the LSD Test (LSD=4.80)

^{3/}Means with in the same row followed by the same letter are not significantly different at 0.05 levels by the LSD Test (LSD=5.36)

สรุปและข้อเสนอแนะ

การจำแนกตัวอย่างเหาหนังสือในข้าวหอมมะลิที่ได้จากศูนย์วิจัยข้าวเชียงราย จ.เชียงราย พบว่าเป็นชนิด *L. entomophila* จากการทดสอบเหาหนังสือในแต่ละระยะที่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุที่ความถี่ 27.12 MHz ที่ระดับอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 วินาที พบว่า เหาหนังสือในระยะไข่มีค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์การตายมากที่สุด รองลงมา ตัวอ่อน และตัวเต็มวัย โดยที่ระยะตัวเต็มวัยของเหาหนังสือมีความทนทานต่อคลื่นความถี่วิทยุมากที่สุด จากการทดสอบโดยใช้คลื่นความถี่วิทยุที่ 27.12 MHz ที่อุณหภูมิ 55, 60, 65 และ 70 องศาเซลเซียส โดยใช้ระยะเวลา 60, 90, 120 และ 150 วินาที พบว่า ที่อุณหภูมิ 65 และ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 วินาทีขึ้นไป สามารถทำให้เหาหนังสือระยะตัวเต็มวัยตายอย่างสมบูรณ์ ซึ่งอุณหภูมิและเวลาดำที่มากที่สุดที่ทำให้เหาหนังสือตายอย่างสมบูรณ์ และไม่พบแมลงรุ่นลูก (F_1) คือ ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 วินาที ในอดีตได้มีงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้คลื่นความถี่วิทยุในการควบคุมแมลงศัตรูข้าวในโรงเก็บหลายชนิด พบว่ามีเชื้อข้าวเปลือกเป็นแมลงศัตรูข้าวที่ใช้ความร้อนจากคลื่น RF ในการกำจัดสูงกว่า มอดหัวป้อม (70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 150 วินาที) มอดพื้นเลื้อย (70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 วินาที) ตัวงวงข้าว (55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 180 วินาที) รวมทั้งเหาหนังสือ (65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 วินาที) และพบว่าหากใช้ความร้อนจากคลื่น RF ที่ 72 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 220 วินาที สามารถกำจัดด้งแต่ผีเสื้อข้าวเปลือก (ระยะทนทาน) และสามารถแมลงอื่น ๆ ดังกล่าวทุกระยะได้อย่างสมบูรณ์

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนการทำวิจัยจากศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม

เอกสารอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. 2561. แมลงศัตรูในโรงเก็บของข้าวและการป้องกันกำจัด. แหล่งข้อมูล: http://www.ppsf.doae.go.th/web_km/group_knowledge/postharvest/แมลงศัตรูในโรงเก็บของข้าวและการป้องกันกำจัด. ค้นเมื่อ 17 พฤษภาคม 2561.
- มณฑนา นครเรียบ. 2563. ประโยชน์ที่ดีต่อสุขภาพของข้าวกล้องงอกและข้าวฮางอก. แหล่งข้อมูล: <http://sciencejournal.pbru.ac.th/index.php/component/phocadownload/category/7-9-1-2555?download=34:70-80>. ค้นเมื่อ 25 พฤษภาคม 2563
- กฤษณา สุเมธะ เยาวลักษณ์ จันทร์บาง วิเชียร เสงส์สวัสดิ์ และ ณัฐศักดิ์ กฤติกาเมษ. 2552. ผลของการใช้คลื่นความถี่วิทยุต่อมอดหัวป้อมและคุณภาพของข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105. หน้า 97-103. ใน: รายงานสัมมนาวิชาการ บัณฑิตศึกษา เกษตรศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ครั้งที่ 6. 12-13 มีนาคม 2552. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- ชัชพงษ์ ศรีคำ เยาวลักษณ์ จันทร์บาง และ ณัฐศักดิ์ กฤติกาเมษ. 2557. การใช้คลื่นความถี่วิทยุเพื่อควบคุมมอดพื้นเลื้อยในข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105. ว. เกษตร 30: 253-262.

- ณัฐพร อุทัยมงคล วาสนา ฤทธิ์ไธสง คมศรี แสงจินดา และชลิตา อุณหุฒิ. 2554. การศึกษาวิเคราะห์และประเมินความเสี่ยงศัตรูพืชสำหรับการนำเข้าเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดจากประเทศญี่ปุ่น. ผลงานวิจัยประจำปี 2555 สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช เล่มที่ 3. ว.วิชาการเกษตร: 1254-1417.
- ณัฐศักดิ์ กฤติกาเมษ. 2543. การใช้คลื่นความร้อนเพื่อลดความชื้นและการทำลายเชื้อ *Aspergillus flavus* ในเมล็ดถั่วลิสง. รายงานการวิจัยโครงการวิจัยเพื่อพัฒนานักวิจัยรุ่นใหม่. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 33 หน้า.
- วีรยุทธ ฝักระจายเพื่อน เยาวลักษณ์ จันทร์บาง และ สุชาติา เวียร์ศิลป์. 2554. ผลของความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุต่อด้วงวงข้าวโพด (*Sitophilus zeamais*). ว. วิทย. เกษตร 42: 392-395.
- อภิรดี มานะสุวรรณผล. 2560. การจำแนกชนิดเหาหนังสือที่เข้าทำลายข้าวโพดในโรงเก็บ. ปัญหาพิเศษ ปริญญาตรี ภาควิชากีฏวิทยาและโรคพืช คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- Abbott, W. S. 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. J. Econ. Entomol. 18: 256-267.
- Agricultural Research Service (ARS). 2019. Stored-product psocid identification website. Available: <https://www.ars.usda.gov/plains-area/mhk/cgahr/spieru/docs/psocid-id-introduction/>. Accessed Jan. 16, 2020.
- Athanassiou, C. G., F. H. Arthur, J. E. Throne, G. P. Opit, M. M. Hasan, M. J. Aikins, T. W. Phillips and N. G. Kavallieratos. 2010. Efficacy of insecticides for control of stored-product psocids. 805-814. In: 10th International Working Conference on Stored Product Protection. June, 27- July, 2, 2010, Estoril, Portugal.
- Australian Bureau of Agricultural and Resource Economics (ABARE). 2000. Australian Commodities Volume 7, No 4, ACT, Canberra, Australia.
- Birla, S. L., S. Wang, J. Tang and G. Hallman. 2004. Improving heating uniformity of fresh fruit in radio frequency treatments for pest control. *Postharvest. Biol. Tec.* 33: 205-217.
- Cao, Y., Y. Song, and G. Sun. 2003. A survey of psocid species infesting stored grain in China and resistance to phosphine in field populations of *Liposcelis entomophila* (Enderlein) (Psocoptera: Liposcelididae). pp. 662-667. In: P. F. Credland, D. M. Armitage, C. H. Bell, P. M. Cogann and E. Highley (eds). Proceedings of the 8th International Working Conference on Stored Product Protection. York.
- Chanbang, Y. and N. Muenmanee. 2018. Radio frequency heat treatment for controlling cigarette beetle in dried tobacco. 497-501. In: 12th International Working Conference on Stored Product Protection (IWCSPP). October, 7-11, 2018, Berlin, Germany.
- Cui, J., Y. Su, H. Li, and Z. Li. 2019. First record of *Liposcelis entomophila* (Enderlein) (Psocodea: Liposcelididae) from Sri Lanka based on morphological and molecular data. *J. Zool. Syst. Evol. Res.* 44: 304-315.
- Cwiklinski, M. and D. von Hoersten. 1999. Thermal treatment of seeds using microwave or radio-frequency energy for eradicating seedborne fungi. Paper No. 997010. Transaction of the ASABE. St. Joseph, Michigan.
- Cwiklinski, M. and D. von Hoersten. 2001. Effect of exposure to radio-frequency electric fields on *Fusarium graminearum* in wheat seed. Paper. No. 016171. Transaction of the ASABE. St. Joseph, Michigan.
- Jacobs, S. B. 2014. Booklice. Fact sheets. Department of Entomology, Collage of Agricultural Sciences, Pennsylvania State University.

- Nayak, M. K. 2006. Psocids and mite pests of stored commodities: small but formidable enemies. pp. 1061-1073. In: I. Lorini, B. Bacaltchuk, H. Beckel, E. Deckers, E. Sundfeld, J. P. dos Santos, J. D. Biagi, J. C. Celaro, L. R. D'A. Faroni, L. de O. F. Bortolini, M. R. Sartori, M. C. Elias, R. N. C. Guedes, R. G. da Fonseca and V. M. Scussel (eds). Proceedings of the 9th International Working Conference on Stored Products Protection. Brazilian Post-harvest Association, Passo Fundo, RS, Brazil.
- Nelson, S. O. 1996. Review and assessment of radio - frequency and microwave energy for stored-grain insect control. Transaction of the ASAE 39: 1475-1484.
- New, T. R. 1974. Handbooks for The Identification of British insects. Royal Entomological Society. London. 102 pp.
- Opit, G., J. Throne, and K. Friesen. 2019. Stored-product psocid identification website. Available: <https://www.ars.usda.gov/plains-area/mhk/cgahr/spieru/docs/psocid-id-introduction/>. Accessed Dec. 15, 2019.
- Pike, V. 1994. Laboratory assessment of the efficacy of phosphine and methyl bromide fumigation against all life stages of *Liposcelis entomophilus* (Enderlein). Crop Protection 13: 141-145.
- Rees, D. 2004. Insects of Stored Products. CSIRO Publishing, Collingwood Victoria, Australia, 190 pp.
- Yang, Q., Z. Kucerova, Z. Li, I. Kalinovic, V. Stejskal, G. Opit, and Y. Cao. 2012. Diagnosis of *Liposcelis entomophila* (Insecta: Psocodea: Liposcelididae) based on morphological characteristics and DNA barcodes. *J. Stored Prod. Res.* 48: 120-125.