

การควบคุมด้วงเมล็ดกาแฟ (*Araecerus fasciculatus*) ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ

Control of Coffee Bean Weevil (*Araecerus fasciculatus*) Using Radio Frequency

จิตรลดา จารุหิรัญโรจน์¹ อรุมา เรืองวงษ์¹ อังสนา อัครพิศาล¹
ณัฐรัฐวัฒน์ หมั่นมาณี^{2,3} และ เขาวลัักษณ์ จันทร์บ่าง^{1,2,3*}

Chittlada Charuhirunroch¹, On-Uma Ruangwong¹, Angsana Akarapisan¹,
Nadthawat Muenmanee^{2,3} and Yaowaluk Chanbang^{1,2,3*}

¹ภาควิชากีฏวิทยาและโรคพืช คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200

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

²ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200

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

³ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว กองส่งเสริมและประสานเพื่อประโยชน์ทางวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม

สำนักงานปลัดกระทรวง กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม กรุงเทพฯ 10400

³Postharvest Technology Innovation Center, Science, Research and Innovation Promotion and Utilization Division,

Office of Ministry of Higher Education, Science, Research and Innovation 10400, Thailand

*Corresponding author: Email: lukksu@hotmail.com

(Received: 1 June 2022; Accepted: 26 October 2022)

Abstract: The coffee bean weevil, *Araecerus fasciculatus* (Coleoptera: Anthribidae), is an important insect pest of Arabica and Robusta coffee green bean during storage which caused unacceptable damage affected to coffee bean standards. In experiment 1, the radio frequency efficacy (RF) at 27.12 MHz was examined for controlling coffee bean weevil in Arabica green bean using 55 °C for 90 seconds on the egg, larval, pupal, and adult stages. The result showed that adult mortality was the least (46.43 ± 1.82 %) and significantly different ($P < 0.05$) to those mortalities of egg (100 %), larval (100 %) and pupal (97.35 ± 0.83 %) stages, respectively. So, in the adult stage, the coffee bean weevil was the most tolerant to RF heat treatment. In experiment 2, the combination of RF heat treatments at 55, 60, 65 and 70 °C for 60, 90, 120 and 150 seconds (16 treatments) were treated on the adult of coffee bean weevil infested on green bean. No RF-treatment was set as the untreated control in each stage. The result revealed that adults exposed to 70 °C for 60 seconds caused 100 % mortality and there was no progeny production. On the treatment with RF at 60 °C for 150 seconds and at 65 and 70 °C for 60, 90, 120 and 150 seconds, the surviving adults exposed to RF heat treatments could not produce their progeny production.

Keywords: Coffee bean weevil, radio frequency, green bean coffee, heat treatment

บทคัดย่อ: ตัวแมลงศัตรูกาแฟ *Araecerus fasciculatus* (Coleoptera: Anthribidae) จัดเป็นแมลงศัตรูกาแฟที่สำคัญ เข้าทำลายเมล็ดกาแฟอะราบิกาและโรบัสตาในระหว่างการเก็บรักษา และทำให้ผลผลิตสารกาแฟเสียหายไม่เป็นไปตามมาตรฐาน การทดลองครั้งนี้เป็นการใช้คลื่นความถี่วิทยุ (radio frequency, RF) ควบคุมตัวแมลงศัตรูกาแฟที่เข้าทำลาย กาแฟอะราบิกา ในการทดลองที่ 1 ทดสอบใช้คลื่นความถี่วิทยุ 27.12 MHz อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 90 วินาทีกับตัวแมลงศัตรูกาแฟในระยะไข่ หนอน ดักแด่ และตัวเต็มวัย พบว่า ตัวแมลงศัตรูกาแฟระยะตัวเต็มวัยมีการตาย น้อยที่สุดเท่ากับ 46.43 ± 1.82 เปอร์เซ็นต์ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) จากระยะไข่ หนอน และ ดักแด่ ซึ่งมีการตายเท่ากับ 100.00, 100.00 และ 97.35 ± 0.83 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังนั้นตัวแมลงศัตรูกาแฟระยะ ตัวเต็มวัยเป็นระยะที่ทนทานต่อการควบคุมด้วยการใช้พลังงานคลื่นความถี่วิทยุมากที่สุด ในการทดลองที่ 2 ทำ การทดลองใช้คลื่นความถี่วิทยุในการควบคุมตัวแมลงศัตรูกาแฟในระยะตัวเต็มวัย ซึ่งเป็นระยะที่ทนทานที่สุด ในระดับ อุณหภูมิ 55, 60, 65 และ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60, 90, 120 และ 150 วินาที (16 กรรรมวิธี) และเปรียบเทียบกับ ชุดควบคุมที่ไม่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุ พบว่า คลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 60 วินาที สามารถ ทำให้ตัวแมลงศัตรูกาแฟระยะตัวเต็มวัยตายอย่างสมบูรณ์ (100 เปอร์เซ็นต์) และ ไม่สามารถให้รุ่นลูก (F₁) ส่วนในกรรรมวิธี ที่ใช้คลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 150 นาที และที่ระดับความร้อน 65 และ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60, 90, 120 และ 150 นาที พบว่า ตัวแมลงศัตรูกาแฟที่รอดจากการสัมผัสคลื่นวิทยุดังกล่าวมีสภาพไม่สมบูรณ์ ไม่สามารถให้รุ่นลูกได้ในสารกาแฟ

คำสำคัญ: ตัวแมลงศัตรูกาแฟ คลื่นความถี่วิทยุ สารกาแฟ การใช้ความร้อน

คำนำ

กาแฟเป็นพืชเครื่องดื่มที่นิยมอย่างกว้างขวาง ในปัจจุบัน และยังเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ Office of Agricultural Economics (2021) ได้รายงานผลผลิตของ กาแฟทั้งโรบัสตา (*Coffea canephora*) และอะราบิกา (*Coffea arabica* L.) ที่ปลูกในประเทศไทยมีผลผลิต ประมาณ 21,773 ตัน แบ่งเป็นสายพันธุ์โรบัสตามี ผลผลิตประมาณ 12,682 ตัน มีแหล่งที่สำคัญอยู่ใน ภาคใต้ ได้แก่ ชุมพร ระนอง และสุราษฎร์ธานี ส่วน สายพันธุ์อะราบิกามีผลผลิตประมาณ 9,090 ตัน โดย แหล่งปลูกที่สำคัญอยู่ในภาคเหนือ เช่น จังหวัดเชียงราย เชียงใหม่ ลำปาง และแม่ฮ่องสอน อุปสรรคที่มีผล ทำให้กาแฟอะราบิกามีผลผลิตลดลง เนื่องจากสภาพ อากาศที่แปรปรวน และยังพบปัญหาการทำลายของ โรคและแมลงศัตรูกาแฟตั้งแต่ทั้งในแปลงปลูกจนถึง โรงเก็บผลผลิต ตามเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพเมล็ด กาแฟอะราบิกาของ National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards (2018) ยอมรับให้ มีการพบรูกจากการเข้าทำลายจากแมลงคือ มอดเจาะ

ผลกาแฟ (*Hypothenemus hampei*) ได้ ร้อยละ 5 โดยมวล และไม่เกิน 2 รูก/เมล็ดกาแฟกะลา โดยปกติแล้วกาแฟ เซอร์รี่มีการสุกแก่ และเก็บเกี่ยวช่วงเดียว (ตุลาคมถึง กุมภาพันธ์) ต่อปี และนำผลผลิตมาใช้ตลอดปี การเก็บ รักษา กาแฟ จึงมีระยะเวลายาวนาน แมลงศัตรูที่สำคัญ ที่พบเข้าทำลาย กาแฟระหว่างการเก็บรักษา คือตัวแมลงศัตรูกาแฟซึ่งเข้าทำลายทั้งเมล็ดกาแฟอะราบิกาและ โรบัสตา แมลงชนิดนี้ทำลายเมล็ดให้เสียหายจาก ร่องรอยการกินทำให้ผลผลิตนั้นไม่เป็นไปตามมาตรฐาน ของเมล็ดกาแฟอะราบิกา โดย National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards (2018) ระบุว่า เมล็ดกาแฟที่ได้มาตรฐานต้องไม่พบร่องรอย การทำลายจากตัวแมลงศัตรูกาแฟ

ตัวแมลงศัตรูกาแฟ (coffee bean weevil), *Araecerus fasciculatus* (Coleoptera: Anthribidae) เพศเมียวางไข่ เป็นฟองเดี่ยว ลักษณะกลมรี ส่วนหัวและท้ายมี ลักษณะมน ตัวเต็มวัยเพศเมียกัดกินเมล็ดให้เป็นรู จากนั้นวางไข่และปิดรูด้วยสารเหนียว เมื่อหนอนพัก ออกจากไข่ อาศัยและเจริญเติบโตภายในเมล็ดกาแฟ หลังจากลอกคราบครั้งสุดท้าย เข้าระยะดักแด้ยังคง

อาศัยอยู่ภายในเมล็ด เมื่อครบกำหนดพัฒนาเป็นตัวเต็มวัย ด้วงเมล็ดกาแฟออกจากเมล็ด บริเวณที่ถูกกัดเป็นรูมีขนาดเท่าลำตัวของแมลง (Kengkanpanich *et al.*, 2018) Wintgens (2004) รายงานว่าด้วงเมล็ดกาแฟที่เจริญเติบโตในเมล็ดกาแฟ พบว่า ระยะไข่ใช้เวลา 5 - 7 วัน ระยะหนอนใช้เวลา 46 - 66 วัน ระยะดักแด้ใช้เวลา 6 - 9 วัน และระยะก่อนการวางไข่ 4 - 5 วัน โดยวงจรชีวิตของด้วงเมล็ดกาแฟตั้งแต่ระยะไข่จนถึงตัวเต็มวัยใช้เวลา 61 - 87 วัน ด้วงเมล็ดกาแฟเป็นศัตรูที่เข้าทำลายเมล็ดพืชหลายชนิดหลังการเก็บเกี่ยว ทำให้เมล็ดที่ทำการเก็บรักษามีความเสียหายเป็นอย่างมาก นอกจากแมลงจะเข้าทำลาย โกโก้ และกาแฟแล้ว ยังสามารถเข้าทำลายผลผลิตได้อีกหลายชนิด เช่น สนุ่นดำ มันสำปะหลัง ถั่วลิสง และมะละกอบนต้น (Caasi-Lit and Lit, 2011; Eduku *et al.*, 2018; Wu *et al.*, 2011) นอกจากนี้พบว่า สามารถเข้าทำลายกระเทียมในโรงเก็บ โดยระยะหนอนกัดกินภายในหัวกระเทียมทำให้กระเทียมฝ่อ (Chaisri and Suttiprapan, 2015) จึงทำให้เป็นหนึ่งในแมลงศัตรูที่สำคัญทางเศรษฐกิจในโรงเก็บผลผลิต

ในการป้องกันกำจัดด้วงเมล็ดกาแฟในระหว่างการเก็บรักษา การใช้สารกำจัดแมลงโดยการรมด้วยฟอสฟิน เน้นการรักษาความสะอาดโรงเก็บ อุปกรณ์ และเครื่องมือเครื่องใช้ต่าง ๆ มีการระบายอากาศให้ถ่ายเท ควบคุมความชื้นเมล็ดให้เหมาะสมสม่ำเสมอ และการใช้ความร้อนกำจัดแมลง (Kengkanpanich *et al.*, 2018) ในปัจจุบันพบว่า มีงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้พลังงานคลื่นความถี่วิทยุ (radio frequency, RF) เพื่อกำจัดศัตรูพืชต่าง ๆ ในผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยวแพร่หลายมากขึ้น (Mitcham *et al.*, 2004; Wang *et al.*, 2003, 2010; Wang and Tang, 2004) อีกทั้งยังพบว่าการใช้คลื่นวิทยุในการทดสอบให้มีประสิทธิภาพขึ้นอยู่กับชนิดและความชื้นในผลผลิตที่ต้องการทดสอบ ซึ่งมีความสัมพันธ์ต่อความสามารถในการดูดซับพลังงานที่คลื่นความถี่วิทยุให้ไปและระดับของอุณหภูมิในส่วนของผลผลิต แสดงเห็นถึงประสิทธิภาพของวิธีการควบคุมศัตรูพืชด้วยการใช้คลื่นความถี่วิทยุ ซึ่งเป็นทางเลือกในการควบคุมแมลงศัตรูในโรงเก็บ ลด

ปัญหาผลกระทบจากสารเคมีทางเกษตรตกค้างในสิ่งแวดล้อม

คลื่นความถี่วิทยุ เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่อยู่ในช่วงระหว่าง 3 kHz - 300 MHz ส่วนคลื่นความถี่วิทยุที่มีการนำมาประยุกต์ใช้อยู่ที่คลื่นความถี่ประมาณ 13.56, 27.12 และ 40.68 MHz (Ling *et al.*, 2015) ในทางการเกษตรได้นำคลื่นความถี่วิทยุมาใช้ในการควบคุมแมลงศัตรูโรงเก็บ ซึ่งเป็นการใช้ความร้อนที่เกิดจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าส่งสะท้อนเสียดสีในชั้นโมเลกุล ต่อมาเกิดการสะสมพลังงานและมีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในตัววัตถุอย่างรวดเร็ว (Jojo and Mahendran, 2013; Nelson, 1973) คลื่นความถี่วิทยุอาศัยการถ่ายเทความร้อนโดยการพา (convection heating) ผ่านอากาศพาไปที่ผิววัตถุ แทรกเข้าไปภายในเนื้อวัตถุ (Pornchalurmpong and Rattanapanone, 2016) อย่างรวดเร็วและสม่ำเสมอมีผลทำให้แมลงตาย ณ ระดับอุณหภูมิที่แตกต่างกันไป

งานวิจัยใช้คลื่นความถี่วิทยุกำจัดแมลงศัตรูโรงเก็บที่ทดสอบในประเทศไทย พบว่ามีศักยภาพในการควบคุมกลุ่มแมลงศัตรูข้าวที่กัดกินภายในเมล็ด ได้แก่ มอดหัวบวม (*Rhizopertha dominica*) (Sumetha, 2009) ด้วงวงงข้าว (*Sitophilus oryzae*) (Wangspa *et al.*, 2015) ด้วงวงงข้าวโพด (*Sitophilus zeamais*) (Faikrajaypuan *et al.*, 2011) และมีเสี้ยนข้าวเปลือก (*Sitotroga cerealella*) (Buapud *et al.*, 2012) เป็นต้น ในผลผลิตกาแฟ ซึ่งเมล็ดกาแฟ หรือสารกาแฟ (green bean) มักพบแมลงศัตรูกาแฟจากแปลงติดไประหว่างการเก็บเกี่ยว เคลื่อนย้ายเมล็ดและการเก็บรักษา ได้แก่ มอดเจาะผลกาแฟ (*H. hampei*) ในสหรัฐอเมริกา จัดให้เป็นแมลงที่สำคัญและแพร่กระจายไปกับสารกาแฟเมื่อทำการขนส่งผลผลิตกาแฟไปที่ต่าง ๆ (Jaramillo *et al.*, 2010) ในการกำจัดมอดเจาะผลกาแฟ ที่ติดไปกับการขนส่ง (Pan *et al.*, 2012) ด้วยคลื่นความถี่วิทยุที่ระดับ อุณหภูมิ 48 องศาเซลเซียส ประมาณ 10 นาที พบว่า คุณภาพของสารกาแฟยังคงอยู่ในสภาพที่ยอมรับได้ เปรียบเทียบกับการให้ลมร้อนเพื่อกำจัดแมลงที่ระดับอุณหภูมิเดียวกัน และใช้เวลามากกว่า 237 นาที อย่างไรก็ตามมูลการใช้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุ

เกี่ยวกับด้วงเมธิดกาแพในสารกาแพยังพบน้อยมากในการทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการทดสอบใช้คลื่นความถี่วิทยุควบคุมด้วงเมธิดกาแพในสารกาแพ

อุปกรณ์และวิธีการ

การเพาะเลี้ยงและเตรียมด้วงเมธิดกาแพเพื่อใช้ในการทดลอง

เตรียมสารกาแพ ประมาณ 200 กรัม ใส่ในกล่องเลี้ยงแมลงขนาด 15 x 21 x 6 เซนติเมตร ที่ฝากล่องเจาะรูปิดด้วยผ้าตาข่าย จากนั้นนำตัวเต็มวัยของด้วงเมธิดกาแพ (*A. fasciculatus*) ซึ่งมีการเก็บตัวอย่างมาจากโรงเก็บเมธิดกาแพของเกษตรกรในพื้นที่ อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ มาใส่ในกล่องเลี้ยงแมลงจำนวน 100 ตัว ปล่อยให้ประมาณ 5 วัน เพื่อให้ตัวเมียวางไข่ จากนั้นนำเมธิดกาแพซึ่งมีไข่ของด้วงเมธิดกาแพ ที่แยกตัวเต็มวัยออกแล้วนำมาเก็บที่อุณหภูมิห้อง (28 - 32 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 75 เปอร์เซ็นต์ เพื่อจำลองการเก็บภายใต้สภาวะโรงเก็บ รอจนกระทั่งพัฒนาเป็นระยะหนอน ระยะดักแด้ และตัวเต็มวัยใช้เวลาประมาณ 50 - 87 วันจากนั้นทำการคัดแยกด้วงเมธิดกาแพตัวเต็มวัยที่มีอายุไม่เกิน 2 สัปดาห์นำมาใช้ในการทดลอง

การเปรียบเทียบระยะการเจริญเติบโตของด้วงเมธิดกาแพที่ทนทานต่อการใช้คลื่นความถี่วิทยุ

การเตรียมด้วงเมธิดกาแพระยะไข่

ปล่อยให้ด้วงเมธิดกาแพตัวเต็มวัย ประมาณ 100 ตัว ลงในขวดโหลเลี้ยงแมลงซึ่งบรรจุสารกาแพเช่นเดียวกับการเลี้ยงเพิ่มปริมาณโดยปล่อยให้แมลงวางไข่เป็นเวลา 5 วัน จากนั้นร่อนตัวเต็มวัยออก และคัดแยกสารกาแพที่มีการวางไข่ของด้วงเมธิดกาแพได้ทำการคัดแยกภายใต้กล้องจุลทรรศน์สเตอริโอ นำเมธิดกาแพที่มีไข่ ซึ่งจะมีลักษณะเป็นขุยที่ผิวเมธิดกาแพ ไปทดสอบ โดยนำสารกาแพที่มีด้วงเมธิดกาแพเริ่มจากระยะไข่ 30 ตัว (30 เมธิด) ใส่ลงภาชนะเทพลอนหนา 0.5 เซนติเมตร รูปทรงกระบอกขนาดเส้น

ผ่านศูนย์กลาง 16 เซนติเมตร และสูง 5 เซนติเมตรที่บรรจุสารกาแพ 400 กรัม ปิดสนิทด้วยแผ่นอลูมิเนียม นำไปผ่านคลื่นความถี่วิทยุ โดยเครื่องกำเนิดคลื่นความถี่วิทยุชื่อ Sairem ปรับปรุงโดย Institute of Agriculture Engineering, University of Gottingen, Germany ที่ 27.12 MHz อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 วินาที จากนั้นนำสารกาแพและด้วงเมธิดกาแพที่ผ่านกรรมวิธีต่าง ๆ เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง (28 - 32 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 75 เปอร์เซ็นต์ โดยปรับสภาพความชื้นด้วยสารละลายเกลือโซเดียม-คลอไรด์อิ่มตัว ทำการเตรียมสารกาแพที่มีแมลงระยะไข่ซึ่งไม่ได้นำไปปรับความชื้นจากคลื่นความถี่วิทยุ เป็นชุดควบคุม หลังจากนั้นตรวจนับการตายของแมลงระยะไข่โดยประเมินจากแมลงที่รอดชีวิตหลังจากผ่านคลื่นความถี่วิทยุ เป็นเวลา 49 วัน แล้วนำข้อมูลที่ได้คำนวณหาอัตราการตาย จากจำนวนแมลง (ไข่) ทั้งหมดหักลบด้วยจำนวนแมลงที่รอด คำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์การตาย หากพบการตายในชุดควบคุม นำมาคำนวณเปอร์เซ็นต์การตายโดยใช้ Abbott's formula (Abbott, 1925) วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของ อัตราการตายของแมลง และเปรียบเทียบความแตกต่างด้วยวิธี least significant difference (LSD)

การเตรียมด้วงเมธิดกาแพระยะหนอน ดักแด้ และตัวเต็มวัย

ทำการทดสอบกับด้วงเมธิดกาแพในระยะหนอน ดักแด้ และตัวเต็มวัย โดยคัดเลือกแมลงตั้งแต่ระยะหนอน ดักแด้ หลังจากที่มีแมลงวางไข่ เป็นเวลา 28 - 32 วัน และ 53 - 54 วัน ตามลำดับ คัดเลือกเมธิดกาแพที่มีแมลงระยะหนอน และดักแด้จากการสังเกตรอยทำลายบนเมธิดกาแพ จำนวน 30 ตัว (เมธิด) ใส่พร้อมกับเมธิดกาแพปกติที่ระดับความชื้นเมธิด 16 เปอร์เซ็นต์ จนครบ 400 กรัม และนำไปผ่านคลื่นความถี่วิทยุ ทำเช่นเดียวกันกับระยะไข่

ในระยะตัวเต็มวัย ใช้ด้วงเมธิดกาแพที่ออกเป็นตัวเต็มวัย (ระยะเวลาจากไข่ถึงตัวเต็มวัย ประมาณ 60 - 62 วัน ในสภาพความชื้นเมธิดกาแพ 16 เปอร์เซ็นต์ อายุไม่เกิน 2 สัปดาห์ โดยร่อนแยกแมลง

ตัวเต็มวัยออกจากเมล็ดด้วยตะแกรงร่อนขนาด 3.0 มิลลิเมตร นำด้วงเมล็ดกาแฟ 30 ตัว ใส่รวมกับสารกาแฟ 400 กรัม เช่นเดียวกันกับกรรมวิธีที่ทดสอบกับ ระยะไข่ หนอน และดักแด้ ทุกระยะการเจริญเติบโต มีชุดควบคุมทุกระยะ ทำการทดลอง 4 ซ้ำ นำข้อมูลการตายของแมลงในแต่ละระยะที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอัตราการตายของแมลงแต่ละระยะ โดยวิธี LSD

การศึกษาเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการใช้คลื่นความถี่วิทยุในการควบคุมด้วงเมล็ดกาแฟในระยะหนอน

นำด้วงเมล็ดกาแฟในระยะที่หนอนที่สุดที่เป็นผลมาจากการทดลองแรก จำนวน 30 ตัว บรรจุในภาชนะเพปลอนพร้อมกับสารกาแฟ นำมาผ่านคลื่นความถี่วิทยุที่ความถี่ 27.12 MHz ที่อุณหภูมิ 55, 60, 65 และ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60, 90, 120 และ 150 วินาที (4 x 4 กรรมวิธี) เปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุ วางแผนการทดลองแบบ factorial design ทำการทดลองทั้งหมด 4 ซ้ำ จากนั้นนำด้วงเมล็ดกาแฟ และสารกาแฟที่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุในอุณหภูมิ และระยะเวลาต่าง ๆ มาเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง หากระยะหนอนเป็นระยะไข่ ระยะหนอน หรือระยะดักแด้ ทำการตรวจนับเมื่อระยะต่าง ๆ นั้นพัฒนาเป็นระยะตัวเต็มวัย แต่ถ้าระยะตัวเต็มวัยเก็บเป็นระยะเวลา 7 วัน จึงทำการตรวจนับ และคำนวณจำนวนด้วงเมล็ดกาแฟที่ตายจากการผ่านคลื่นความถี่วิทยุ

นำด้วงเมล็ดกาแฟที่เหลือรอดจากการผ่านคลื่นความถี่วิทยุ ย้ายลงในขวดโหลแก้วบรรจุสารกาแฟเดิม (50 กรัม) และเพิ่มให้ครบ 400 กรัม และตรวจนับแมลงรุ่นลูกหลังการปล่อยด้วงเมล็ดกาแฟตัวเต็มวัยเป็นเวลา 7 สัปดาห์ นับอัตราการตาย และจำนวนด้วงเมล็ดกาแฟรุ่นลูก วิเคราะห์ความแปรปรวน และเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยอัตราการตายของด้วงเมล็ดกาแฟด้วยวิธี LSD

ผลการทดลองและวิจารณ์

ลักษณะการเจริญเติบโตของด้วงเมล็ดกาแฟบนสารกาแฟ

ด้วงเมล็ดกาแฟ (Figure 1a, b) เมื่อเข้าทำลายสารกาแฟพบร่องรอยการทำลายทำให้เมล็ดกาแฟเป็นรูเสียหายซึ่งเกิดจากการกิน โดยระยะหนอนเจริญเติบโตในเมล็ดและเข้าดักแด้ จากนั้นพัฒนาเป็นตัวเต็มวัยในเมล็ดกาแฟ ตัวเต็มวัยที่ออกจากดักแด้ หลังการผสมพันธุ์ มีการวางไข่ที่ผิวเมล็ดกาแฟ (สารกาแฟ) โดยปกติผิวสารกาแฟ (Figure 2a) อาจมีรอยยุบเล็กน้อย (Figure 2b) แตกต่างจากเมล็ดที่มีด้วงเมล็ดกาแฟมาวางไข่ ซึ่งผิวเมล็ดเป็นหลุมยุบลงไป ผิวเมล็ดมีความอ่อนนุ่มและเป็นขุย มีผงละเอียดบนผิวเมล็ดกาแฟ (Figure 2c) ซึ่งภายในหากมีการเจาะเปิดขุยผงออก พบไข่ของด้วงเมล็ดกาแฟ (Figure 2d) อยู่ภายใน เมื่อเก็บรักษาเมล็ดที่มีไข่ไว้ประมาณ เวลา 28 - 32 วัน และ 53 - 54 วัน โดยแมลงได้พัฒนาไปเป็นหนอน และตัวเต็มวัย ตามลำดับ (Figure 3) ซึ่งผิวเมล็ดกาแฟที่มีหนอนของด้วงเมล็ดกาแฟอาศัยอยู่ ขุยผงของเมล็ดกาแฟเพิ่มมากขึ้น (Figure 3a) ซึ่งมีหนอนอยู่ภายใน (Figure 3b)



Figure 1. Coffee bean weevil *Araecerus fasciculatus* (a) and infested coffee bean (green bean) (b)

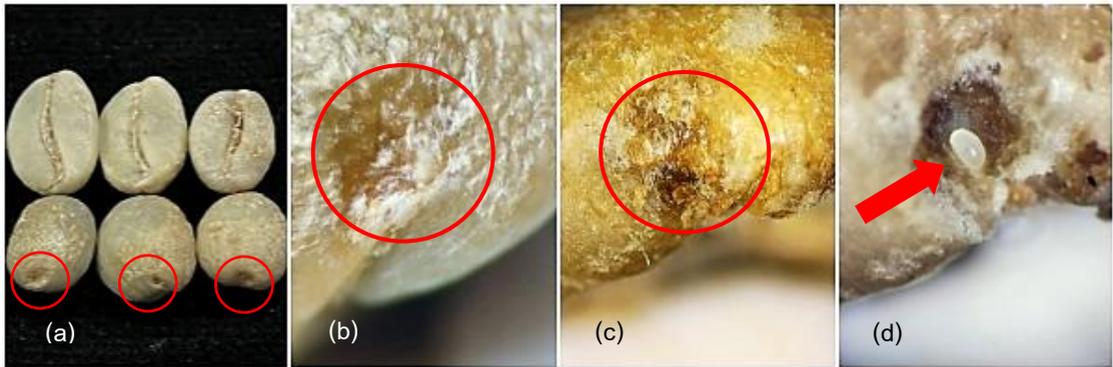


Figure 2. Arabica green bean coffee: normal green bean shown embryo in the red circle (a), normal green bean with an embryo ridge with concave surface (b), an egg of coffee bean weevil (*Araecerus fasciculatus*) covered with fine dust around the hole in embryo ridge (c) and an egg of coffee bean weevil after opening the egg hole at the same embryo ridge (d)



Figure 2. An egg hole of coffee bean weevil on green bean (a) and a larva of coffee bean weevil inside green bean coffee hole (b)

การเปรียบเทียบระยะเวลาการเจริญเติบโตของด้วงเมล็ดกาแฟที่ทนทานต่อการใช้คลื่นความถี่วิทยุ

ด้วงเมล็ดกาแฟทั้ง 4 ระยะได้แก่ ระยะไข่ หนอน ดักแด้และตัวเต็มวัย ตอบสนองต่อความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุ 27.12 MHz แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ที่ 55 องศาเซลเซียสระยะเวลา 90 วินาที ทำให้ตัวเต็มวัยตาย 46.43 ± 1.82 เปอร์เซ็นต์ แตกต่างจากระยะไข่ หนอน และดักแด้ซึ่งพบการตาย เท่ากับ 100, 100 และ 97.35 ± 0.83 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Table 1) สรุปได้ว่าด้วงเมล็ดกาแฟระยะตัวเต็มวัยเป็นระยะที่ทนทานที่สุดต่อ

ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุ ผลการทดสอบสอดคล้องกับการศึกษาในมอดพื้นเลื้อย (*Oryzaephilus surinamensis*) (Srikam *et al.*, 2014) ด้วงงวงข้าว (Wangspa *et al.*, 2015) ด้วงงวงข้าวโพด (Faikrajaypuan *et al.*, 2011) และมอดหัวป้อม (Sumetha, 2009) ซึ่งเป็นแมลงศัตรูที่เข้าทำลายในข้าวเปลือก ข้าวสารและผลิตภัณฑ์ข้าว ที่พบว่าตัวเต็มวัยเป็นระยะที่ทนทานที่สุด กรณีที่ความชื้นของเมล็ดหรือวัตถุดิบสัมผัสกับปริมาณน้ำที่มีอยู่ในวัตถุ พบว่า แมลงในระยะที่มีความชื้นสูงมีแนวโน้มตอบสนองให้ ทำให้อุณหภูมิวัตถุสูงขึ้นหลังจากได้รับ

คลื่นความถี่วิทยุ ในส่วนของความชื้นในตัวแมลง ซึ่งมีข้อมูลค่อนข้างน้อย จากการศึกษากของ Wangspa (2016) ได้ประเมินความชื้นของด้วงงวงข้าว ระยะหนอน ดักแด้ และตัวเต็มวัย พบว่า มีความชื้นแมลงเป็น 66.53 ± 0.8, 64.21 ± 0.9 และ 46.96 ± 0.4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ปริมาณน้ำในแมลงระยะต่าง ๆ เท่ากับ 0.798 × 10⁻³, 1.170 × 10⁻³ และ 1.349 × 10⁻³ มิลลิลิตร ต่อปริมาณแมลง 475 - 500 ตัว ขนาดด้วงงวงข้าวซึ่งมีขนาดเล็กมาก 2 - 3 มิลลิเมตร ซึ่งน้ำเป็นโมเลกุลที่มีชีวิตตอบสนองคลื่นความถี่วิทยุโดยการเคลื่อนไหว เสียสปีกัน จนทำให้เกิดเป็นความร้อน ปริมาณน้ำที่มีมากกว่าในตัวแมลงระยะหนอนหรือดักแด้ จึงมีแนวโน้มที่มีอุณหภูมิสูงกว่าในตัวเต็มวัย ซึ่งมีปริมาณน้ำที่น้อยกว่า

การศึกษาเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการใช้คลื่นความถี่วิทยุในการควบคุมด้วงเมล็ดกาแฟในระยะทันทาน

จากผลการทดสอบด้วงเมล็ดกาแฟระยะตัวเต็มวัยซึ่งเป็นระยะทันทานที่สุดต่อการใช้คลื่นความถี่วิทยุ ในการทดลองนี้ ได้นำด้วงเมล็ดกาแฟในระยะตัวเต็มวัยมาผ่านคลื่นความถี่วิทยุ 27.12 MHz ที่อุณหภูมิ 55, 60, 65 และ 70 องศาเซลเซียส โดยในแต่ละอุณหภูมิใช้เวลา 60, 90, 120 และ 150 วินาที พบว่า ในชุดควบคุมที่ไม่ได้ใช้คลื่นความถี่วิทยุ แมลงมีการตายเพียง 7.34 ± 0.47 เปอร์เซ็นต์ (Table 2) หรืออัตราการรอดของแมลงโดยปกติอยู่ประมาณ 93 เปอร์เซ็นต์

Table 1. Average mortality of coffee bean weevil (*Araecerus fasciculatus*) in various developmental stages after treated by 27.12 MHz radio frequency at the temperature of 55 °C and for 90 seconds

Developmental stage	Mortality (%) ± SE ¹
Egg	100.00 ± 0.00a
Larva	100.00 ± 0.00a
Pupa	97.35 ± 0.83a
Adult	46.43 ± 1.82b

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 = 2.11) SE = Standard error of the mean

Table 2. Average mortality of coffee bean weevil (*Araecerus fasciculatus*) 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	32.07 ± 4.40g ¹	48.54 ± 4.32f	45.07 ± 1.33f	57.55 ± 2.73e	45.81 ± 2.82Z ²
60	64.90 ± 2.94e	74.32 ± 4.59d	77.18 ± 3.40d	90.37 ± 1.93bc	76.69 ± 2.79Y
65	89.31 ± 1.62bc	86.56 ± 2.35c	95.53 ± 1.66ab	94.58 ± 3.43ab	91.49 ± 1.43X
70	100.00 ± 0.00a	100.00 ± 0.00a	100.00 ± 0.00a	100.00 ± 0.00a	100.00 ± 0.00W
Mean of mortality ± SE	71.57 ± 6.86C ³	77.35 ± 5.12B	79.44 ± 5.65B	85.62 ± 4.40A	

¹ Means within the same column and row followed by the same letter are not significantly different at 0.05 levels by the LSD Test (LSD = 7.05)

² Means within the same column followed by the same letter are not significantly different at 0.05 levels by the LSD Test (LSD = 5.56)

³ Means within the same row followed by the same letter are not significantly different at 0.05 levels by the LSD Test (LSD = 3.52)

Insect mortality in untreated control = 7.34 ± 0.47 %

อุณหภูมิจากคลื่นความถี่วิทยุที่ระดับ 55, 60, 65 และ 70 องศาเซลเซียส และ ระยะเวลาในการให้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุ ที่ 60, 90, 120 และ 150 วินาที ทำให้แมลงตายแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การทดลองมีความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและระยะเวลา ซึ่งให้ผลการตายร่วมกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) การใช้คลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 55 - 65 องศาเซลเซียส ในระยะเวลา 60 - 150 วินาที ทำให้ด้วงเมล็ดคาแผลระยะตัวเต็มวัยตายอยู่ในช่วง 32.07 ± 4.40 ถึง 95.53 ± 1.66 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 70 องศาเซลเซียส ใช้เวลาดังแต่ 60 วินาทีเป็นต้นไป สามารถทำให้ด้วงเมล็ดคาแผลตายอย่างสมบูรณ์ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (Table 2)

ดังนั้นในการทดลองนี้จึงสรุปได้ว่า การใช้คลื่นความถี่วิทยุ 27.12 MHz ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 60 วินาที สารกาแฟมีความชื้นลดลง จาก 16.50 เปอร์เซ็นต์ เป็น 16.10 เปอร์เซ็นต์ เป็นอุณหภูมิและระยะเวลาที่ทำให้ด้วงเมล็ดคาแผลตายอย่างสมบูรณ์ ระดับอุณหภูมิและเวลาที่ใช้กำจัดแมลงอยู่ในระดับใกล้เคียงกันกับการทดลองของ Sumetha (2009) ซึ่งศึกษาผลของการใช้คลื่นความถี่วิทยุต่อมอดหัวบ่อม ซึ่งเป็นแมลงชนิดที่กัดกินภายในเมล็ด โดยทดสอบกับข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ใช้คลื่นความถี่วิทยุ 27.12 MHz ที่ 70 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 150 วินาที สามารถทำให้มอดหัวบ่อมระยะตัวเต็มวัยตายได้อย่างสมบูรณ์ 100 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ Srikam *et al.* (2014) ได้ศึกษาการใช้พลังงานคลื่นความถี่วิทยุ โดยทดสอบควบคุมกับมอดพื้นเลื้อยในข้าวสาร ซึ่งเป็นแมลงศัตรูข้าวที่มักพบเข้าทำลายข้าวสารบรรจุถุง ที่ระดับอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 วินาที เป็นการใช้คลื่นความถี่วิทยุที่เหมาะสมที่สุดในการใช้กำจัดมอดพื้นเลื้อยตัวเต็มวัยซึ่งเป็นระยะทนทานต่อคลื่นความถี่วิทยุมากที่สุด และ Faikrajaypuan *et al.* (2011) ได้ทดสอบกับด้วงวงข้าวโพด แมลงศัตรูข้าว ข้าวโพดและธัญพืชอีกหลายชนิด โดยทดสอบกับด้วงวงข้าวโพดระยะตัวเต็มวัยที่ทนต่อความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุ

ที่ระดับพลังงาน 780 วัตต์ เวลา 180 วินาที ทำให้ด้วงวงข้าวโพดมีอัตราการตาย 80.25 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้เครื่องกำเนิดความถี่วิทยุยี่ห้อ Sairem เช่นเดียวกันพบว่าด้วงวงข้าวโพดระยะตัวเต็มวัยมีความทนต่อการได้รับความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุมากกว่าระยะไข่ หนอน และคักแต่ เช่นกัน ซึ่งในการป้องกันกำจัดด้วงเมล็ดคาแผล ในทางปฏิบัติหากมีการเลือกใช้อุณหภูมิที่ทำให้ระยะทนทานตายได้อย่างสมบูรณ์ นับว่าการควบคุมแมลงมีประสิทธิภาพสูงสุด

ผลของจำนวนรุ่นลูก (F₁) ของด้วงเมล็ดคาแผล หลังจากผ่านคลื่นความถี่วิทยุ

ด้วงเมล็ดคาแผลชุดที่เหลือรอดหลังได้รับคลื่นความถี่วิทยุในอุณหภูมิ และระยะเวลาต่าง ๆ ยังคงสามารถวางไข่ และ เจริญเป็นด้วงเมล็ดคาแผลรุ่นลูกได้ ภายใน 7 สัปดาห์ พบว่า การใช้คลื่นความถี่วิทยุ ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 60 - 150 วินาที ยังพบรุ่นลูกของด้วงเมล็ดคาแผลเฉลี่ย 28.91 ± 3.46 ตัว และที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 60 - 120 วินาที พบรุ่นลูกของด้วงเมล็ดคาแผลเฉลี่ยลดลงเป็น 16.73 ± 4.40 ตัว จากแมลงรุ่นพ่อแม่ 30 ตัว โดยค่าเฉลี่ยจำนวนรุ่นลูกลดลงเมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาเพิ่มขึ้น ส่วนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ในระยะเวลา 150 วินาที เป็นต้นไป ไม่พบด้วงเมล็ดคาแผลในรุ่นลูก (Table 3)

เพื่อกำจัดด้วงเมล็ดคาแผลให้ตายอย่างสมบูรณ์ ต้องใช้ อุณหภูมิสูงถึง 70 องศาเซลเซียส ในระยะเวลา 60 - 150 วินาทีพบว่าไม่ทำให้เกิดแมลงในรุ่นลูก แต่จากผลการทดสอบ พบว่า ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลา 60 - 150 วินาที ไม่ได้ทำให้ตัวเต็มวัยตายอย่างสมบูรณ์ (อัตราการตาย 86 - 95 เปอร์เซ็นต์) แต่ให้ผลว่าไม่พบแมลงรุ่นลูกเช่นกัน รวมทั้งเมื่อลดอุณหภูมิการใช้พลังงานคลื่นความถี่วิทยุลงถึง 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 150 วินาทีพบว่า แมลงไม่สามารถให้รุ่นลูกเช่นกัน ซึ่งสามารถนำไปปรับใช้ในการควบคุมแมลงในกาแฟได้ นับว่าความร้อนมีผลทำให้แมลงที่เหลือรอดอาจไม่สามารถวางไข่ ได้ หรือไข่แมลงอยู่ในสภาวะที่ไม่เหมาะสมกับการเจริญ เมื่อไม่มี

Table 3. Average of progeny (F₁) per 30 parents after RF treatment of coffee bean weevil (*Araecerus fasciculatus*) in adult stage after treated by radio frequency at temperature of 55, 60, 65 and 70 °C for 60, 90, 120 and 150 seconds

Temperature (°C)	Number of progeny in various time periods (seconds) ± SE / 400 grams coffee bean					Mean of progeny ± SE
	Untreated control	60	90	120	150	
55	52.06 ± 1.73 a ¹	30.50 ± 16.52 bc	28.50 ± 2.51 c	20.50 ± 8.69 d	13.00 ± 3.74 de	28.91 ± 3.46 X ²
60	53.12 ± 4.56 a	14.75 ± 5.12 de	8.25 ± 7.27 e	7.5 ± 3.00 ef	No survival	16.73 ± 4.40 Y
65	36.68 ± 11.99 b	No survival	No survival	No survival	No survival	7.34 ± 3.53 Y
70	47.93 ± 1.26 a	No survival	No survival	No survival	No survival	9.59 ± 4.40 Y
Mean of progeny ± SE	47.45 ± 2.22 A ³	11.31 ± 3.79 B	9.19 ± 3.13 BC	7.00 ± 2.39 BC	3.25 ± 1.51 C	

¹Means within the same column and row followed by the same letter are not significantly different at 0.05 levels by the LSD Test (LSD = 7.51)

²Means within the same column followed by the same letter are not significantly different at 0.05 levels by the LSD Test (LSD = 3.96)

³Means within the same row followed by the same letter are not significantly different at 0.05 levels by the LSD Test (LSD = 3.75)

การควบคุมด้วงเมล็ดกาแฟด้วยคลื่นความถี่วิทยุในชุดควบคุม สามารถมีด้วงเมล็ดกาแฟรุ่นลูกเฉลี่ย 52.06 ตัว ต่อสารกาแฟ 400 กรัม จากแมลงในรุ่นพ่อแม่ 30 ตัว หากประเมินปริมาณแมลงต่อสารกาแฟต่อน้ำหนัก 1 กิโลกรัม อาจทำให้พบด้วงเมล็ดกาแฟถึง 130.15 ตัวต่อกิโลกรัม ซึ่งเมื่อเทียบกับ National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards (2018) ระบุไว้ว่า มาตรฐานสินค้าเกษตรกาแฟอาราบิก้า มกษ. 5701-2561 “ต้องไม่พบร่องรอยการทำลายเมล็ดกาแฟจากด้วงเมล็ดกาแฟ” หากไม่มีการควบคุมด้วงเมล็ดกาแฟ แมลงอาจวางไข่และเจริญเติบโตซึ่งด้วงเมล็ดกาแฟเป็นแมลงศัตรูที่ระยะตัวอ่อน (ไข่ หนอน และดักแด้) เจริญเติบโตภายในเมล็ด ส่งผลให้เกิดร่องรอยการทำลายของสารกาแฟได้เป็นเหตุให้เมล็ดกาแฟไม่เป็นไปตามมาตรฐาน ดังนั้นการใช้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุสามารถควบคุมด้วงเมล็ดกาแฟได้อย่างเหมาะสม

สรุป

ด้วงเมล็ดกาแฟ 30 ตัว ที่อยู่ในสารกาแฟ 400 กรัมสามารถให้แมลงรุ่นลูกได้ 52.06 ตัว หรือ 130.15 ตัวต่อกิโลกรัม ด้วงเมล็ดกาแฟระยะตัวเต็มวัยมีความทนทานต่อคลื่นความถี่วิทยุที่ 27.12 MHz มากกว่าระยะไข่ หนอน และดักแด้ เมื่อนำระยะตัวเต็มวัยมาผ่านคลื่นความถี่วิทยุที่ 55, 60, 65 และ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา เวลา 60, 90, 120 และ 150 วินาที พบว่า คลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 60 วินาที เป็นต้นไป สามารถทำให้ด้วงเมล็ดกาแฟระยะตัวเต็มวัยที่อยู่ในกาแฟอาราบิก้าตายอย่างสมบูรณ์ (100 เปอร์เซ็นต์) แมลงที่ได้รับคลื่นความถี่วิทยุและมีอัตราการตายอยู่ในช่วง 86 ถึง 95 เปอร์เซ็นต์ แมลงที่เหลือรอดไม่สามารถให้รุ่นลูกได้เช่นกัน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว กองส่งเสริมและประสานเพื่อประโยชน์ทางวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม สำนักงาน

ปลัดกระทรวง กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม สำหรับการสนับสนุนทุนวิจัย และขอขอบคุณศูนย์วิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้การสนับสนุนสถานที่ ห้องปฏิบัติการ ในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- Abbott, W.S. 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology* 18(2): 265-267.
- Buapud, A., Y. Chanbang and S. Veerasilp. 2012. Effects of radio frequency heating on *Sitotroga cerealella* (Olivier) and milling quality of rice cv. Khao Dawk Mali 105. *Journal of Agriculture* 28(2): 137-144. (in Thai)
- Caasi-Lit, M.T. and I.L. Lit. 2011. First report of the coffee bean weevil *Araecerus fasciculatus* (De Geer) (Coleoptera: Anthribidae) as pest of papaya in the Philippines. *Philippine Agricultural Scientist* 94(4): 415-420.
- Chaisri, R. and P. Suttiaprapan. 2015. Biology of coffee bean weevil *Araecerus fasciculatus* (De Geer) (Coleoptera: Anthribidae) in garlic and its control using carbon dioxide. *Journal of Agriculture* 31(1): 11-19. (in Thai)
- Eduku, A., B.K. Maalekuu, P.D. Kaledzi and P.K. Tandoh. 2018. Development of bait for the management of coffee bean weevil, *Araecerus fasciculatus* in stored cocoa. *Asian Research Journal of Agriculture* 8(3): 1-11.
- Faikrajyapuan, W., Y. Chanbang and S. Veerasilp. 2011. Effect of heat radio frequency on maize weevil (*Sitophilus zeamais*). *Agricultural Science Journal* 42(Suppl. 3): 392-395. (in Thai)
- Jaramillo, J., A. Chabi-Olaye and C. Borgemeister. 2010. Temperature-dependent development and emergence pattern of *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) from coffee berries. *Journal of Economic Entomology* 103(4): 1159-1165.
- Jojo, S. and R. Mahendran. 2013. Radio frequency heating and its application in food processing: A review. *International Journal of Current Agricultural Research* 1(9): 42-46.
- Kengkanpanich, R., K. Pengkum, J. Uraichuen, D. Suthisut, P. Noochanapai, S. Sitthichaiyakul, P. Pobsuk and R. Pongmee. 2018. Insects Found in Agricultural Produce and Their Control. The Agricultural Co-operative Federation of Thailand, Ltd., Bangkok. 224 p. (in Thai)
- Ling, B., G. Tiwari and S. Wang. 2015. Pest control by microwave and radio frequency energy: dielectric properties of stone fruit. *Agronomy for Sustainable Development* 35: 233-240.
- Mitcham, E.J., R.H. Veltman, X. Feng, E. de Castro, J.A. Johnson, T.L. Simpson, W.V. Biasi, S. Wang and J. Tang. 2004. Application of radio frequency treatments to control insects in in-shell walnuts. *Postharvest Biology and Technology* 33(1): 93-100.
- National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards. 2018. Thai Agricultural Standard TAS 5701-2018 Arabica green coffee Ministry of Agriculture and Cooperatives ISBN 978-974-403-676-7. (Online). Available: https://www.acfs.go.th/standard/download/Arabica_coffee_bean_2561.pdf (March 23, 2020). (in Thai)
- Nelson, S.O. 1973. Potential insect-control applications for microwaves. (Online).

- Available: <https://digitalcommons.unl.edu/usdaarsfacpub/245/> (March 20, 2022).
- Office of Agricultural Economics. 2021. Data of agricultural economics 2021. (Online). Available: <https://www.oae.go.th/assets/portals/1/fileups/prcaidata/files/Varieties%20coffee%2064.pdf> (January 20, 2021). (in Thai)
- Pan, L., S. Jiao, L. Gautz, K. Tu and S. Wang. 2012. Coffee bean heating uniformity and quality as influenced by radio frequency treatments for postharvest disinfestations. *Transactions of the ASABE* 55(6): 2293-2300.
- Pornchalurmpong, P. and N. Rattanapanone. 2016. Radio-frequency (RF). (Online). Available: <https://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/3707/radio-frequency-rf-คลื่นความถี่วิทยุ> (April 20, 2022). (in Thai)
- Srikam, C., Y. Chanbang and N. Krittigamas. 2014. Use of radio frequency for controlling sawtoothed grain beetle (*Oryzaephilus surinamensis*) in milled rice cv. Khao Dawk Mali 105. *Journal of Agriculture* 30(3): 253-262. (in Thai)
- Sumetha, K. 2009. Effect of radio frequency on *Rhyzopertha dominica* (Fabricius) (Coleoptera: Bostrichidae) and quality of rice cv. Khao Dawk Mali 105. M.S. Thesis, Chiang Mai University, Chiang Mai. 69 p. (in Thai)
- Wang, S.-J. and J.-M. Tang. 2004. Radio frequency heating: A potential method for post-harvest pest control in nuts and dry products. *Journal Zhejiang University Science A* 5(10): 1169-1174.
- Wang, S., J. Tang, R.P. Cavalieri and D.C. Davis. 2003. Differential heating of insects in dried nuts and fruits associated with radio frequency and microwave treatments. *Transactions of the ASAE* 46(4): 1175-1182.
- Wang, S., G. Tiwari, S. Jiao, J.A. Johnson and J. Tang. 2010. Developing postharvest disinfestation treatments for legumes using radio frequency energy. *Biosystems Engineering* 105(3): 341-349.
- Wangspa, W. 2016. Radio frequency heat treatment for controlling rice weevil in rough rice cv. Khao Dawk Mali 105 and their physical and chemical property changes. Ph.D. Thesis, Chiang Mai University, Chiang Mai. 116 p.
- Wangspa, W., Y. Chanbang and S. Vearasilp. 2015. Radio frequency heat treatment for controlling rice weevil in rough rice cv. Khao Dawk Mali 105. *Chiang Mai University Journal of Natural Sciences* 14(2): 189-197.
- Wintgens, J.N. 2004. Coffee: Growing, Processing, Sustainable Production: A Guidebook for Growers, Processors, Traders, and Researchers. Wiley-VCH Verlag, Weinheim. 976 p.
- Wu, Y.-K., N.-B. Chen and G.-T. Ou. 2011. Damage of coffee bean weevil (*Araecerus fasciculatus* De Geer) on its new host *Jatropha curcas* L. *Plant Diseases and Pests* 2(2): 22-24.