การใช้คลื่นความถี่วิทยุเพื่อควบคุมมอดฟันเลื่อยในข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

Use of Radio Frequency for Controlling Sawtoothed Grain Beetle (*Oryzaephilus surinamensis*) in Milled Rice cv. Khao Dawk Mali 105

ชัชพงษ์ ศรีคำ [1/, 2/, 3/] ***เยาวลักษณ์ จันทร์บาง*** [1/, 2/, 4/*] ***และ ณัฐศักดิ์ กฤติกาเมษ*** [1/, 2/, 5/]

Chatchapong Srikam [1/, 2/, 3/], *Yaowaluk Chanbang* [1/, 2/, 4/*] *and Nattasak Krittigamas* [1/, 2/, 5/]

Abstract: The objectives of this experiment were to use radio frequency (RF) for controlling sawtoothed grain beetle (*Oryzaephilus surinamensis*) in milled rice cv. Khao Dawk Mali 105 and to examine rice quality after treated by radio frequency with appropriate rate which performed completely kill insects. The experiment was conducted at Postharvest Technology Research Institute, Chiang Mai University, Thailand. Insect mass rearing in milled rice cv. Khao Dawk Mali 105 with moisture content at 14% was conducted in laboratory condition. In experiment 1, all developmental stages of insect, egg, larva, pupa and adult were treated by 27.12 MHz radio frequency which provided 55°C for 90 seconds. The result showed that adult stage of sawtoothed grain beetle was the most tolerance to RF heat treatment because adult mortality was the lowest (78.09%) (P<0.05), followed by the mortality of pupal, larval and egg stages which were 90.90, 94.34 and 96.46%, respectively. In experiment 2, adult stage of sawtoothed grain beetle, the most tolerant to RF heating, was exposed to RF at 55, 60, 65 and 70°C for 90, 120, 150 and 180 seconds at each temperature. The result found that RF treatment at 70°C for 120 seconds was able to get effective control of sawtoothed grain beetle since there was the

[1/] สถาบันวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50200

[1/] Postharvest Technology Research Institute, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200

[2/] ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะกรรมการการอุดมศึกษา กรุงเทพฯ 10400

[2/] Postharvest Technology Innovation Center, Commission on Higher Education, Bangkok 10400

[3/] บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50200

[3/] The Graduate School, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200

[4/] ภาควิชากีฏวิทยาและโรคพืช คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50200

[4/] Department of Entomology and Plant Pathology, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200

[5/] ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50200

[5/] Department of Plant Science and Natural Resources, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

* Corresponding author: E-mail: lukksu@hotmail.com

minimal combination rate of RF heat and there was no insect progeny found in milled rice. Moisture content and protein content of milled rice decreased when it was treated with RF and the yellowness and whiteness index also decreased while amylose content has increased. The amount of 2-acetyl-1-pyrroline (2-AP), the aroma compound which always found from fragrant rice was decreased from 2.82 ppm to 2.40 ppm after the RF heat treatment on Khao Dawk Mali 105 milled rice.

Keywords: Sawtoothed grain beetle, *Oryzaephilus surinamensis*, radio frequency, milled rice

บทคัดย่อ: การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้คลื่นความถี่วิทยุในการควบคุมมอดฟันเลื่อยในข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และศึกษาคุณภาพข้าวหลังจากไปผ่านคลื่นความถี่วิทยุในระดับที่ทำให้แมลงตายอย่างสมบูรณ์ โดยทำการทดลอง ณ สถาบันวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ซึ่งการทดลองเริ่มจากการเลี้ยงมอดฟันเลื่อยในข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่มีความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์ ในสภาพห้องปฏิบัติการ การทดลองที่ 1 นำแมลงแต่ละระยะการเจริญเติบโตมาผ่านคลื่นความถี่วิทยุที่ความถี่ 27.12 MHz อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 วินาที พบว่าตัวเต็มวัยมีเปอร์เซ็นต์การตายน้อยที่สุด คือ 78.09 เปอร์เซ็นต์ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ส่วนระยะดักแด้ หนอน และไข่ มีเปอร์เซ็นต์การตายอยู่ที่ 90.90, 94.34 และ 96.46 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ การทดลองที่ 2 ใช้มอดฟันเลื่อยตัวเต็มวัยซึ่งเป็นระยะที่ทนทานต่อคลื่นความถี่วิทยุที่สุดมาผ่านที่คลื่นที่ระดับอุณหภูมิ 55, 60, 65 และ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90, 120 ,150 และ 180 วินาที ในทุกระดับอุณหภูมิ พบว่าที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 วินาที เป็นการใช้คลื่นความถี่วิทยุที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากใช้เวลาน้อยที่สุดที่ทำให้แมลงตายอย่างสมบูรณ์ (การตาย 100 เปอร์เซ็นต์)และไม่พบแมลงรุ่นลูก (F_1) โดยคุณภาพของข้าวหลังจากผ่านคลื่นความถี่วิทยุเปรียบเทียบกับชุดควบคุม พบว่า ความชื้นของข้าวลดลง ค่าสีที่วัดได้มีค่าของสีเหลืองเพิ่มขึ้น ดัชนีความขาวเพิ่มขึ้น ปริมาณอะไมโลสที่วัดได้เพิ่มขึ้น ปริมาณโปรตีนลดลง และปริมาณสารหอมที่วัดได้ลดลงจาก 2.82 ppm เป็น 2.50 ppm

คำสำคัญ: มอดฟันเลื่อย คลื่นความถี่วิทยุ ข้าวขาวดอกมะลิ 105

คำนำ

ข้าวเป็นธัญพืชสำคัญของโลกรวมถึงประเทศไทย จากข้าวที่ผลิตได้ทั้งหมดร้อยละ 55 เป็นการผลิตเพื่อจำหน่ายและบริโภคภายในประเทศ อีกร้อยละ 45 เพื่อส่งออกจำหน่ายยังต่างประเทศ ซึ่งข้าวขาวดอกมะลิ 105 เป็นสินค้าหลักในกลุ่มข้าวที่ทำการส่งออก เนื่องจากข้าวชนิดนี้มีคุณภาพการหุงต้มที่ดีและมีกลิ่นหอมซึ่งเป็นที่ชื่นชอบของผู้บริโภค โดยทำรายได้มากถึง 56,457 ล้านบาท ในปี พ.ศ. 2553 และมีมูลค่าเพิ่มเป็น 63,584 ล้านบาท ในปี พ.ศ. 2554 แต่ในช่วงปี พ.ศ. 2555 พบว่ามูลค่าการส่งออกข้าวหอมมะลิไทยลดลงเหลือ 57,433 ล้านบาท เนื่องจากสามารถส่งออกข้าวไปจำหน่ายได้ปริมาณน้อยกว่าในปี พ.ศ. 2554 ถึง 7 พันล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2556) ซึ่งในปีดังกล่าวประเทศไทยได้เสียอันดับการส่งออกข้าวสารของประเทศไทยลงมาอยู่ที่อันดับ 2 ของโลกจากเดิมที่เคยอยู่ในอันดับ 1 (สมพร, 2556) อย่างไรก็ตาม ระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวยังคงมีความเสี่ยงที่จะถูกแมลงเข้าทำลายก่อนนำไปจำหน่ายหรือบริโภคซึ่งในกระบวนเก็บรักษาเพื่อรอจำหน่าย พบว่าข้าวที่เก็บรักษาไว้มักเสื่อมคุณภาพหรือเกิดความเสียหายจนไม่สามารถส่งออก และจำหน่ายในเกรดของข้าวคุณภาพดีได้ หนึ่งในปัญหาสำคัญของข้าวที่เก็บรักษาไว้เพื่อรอจำหน่ายคือการถูกแมลงศัตรูโรงเก็บเข้าทำลาย และเป็นเหตุให้เกิดเชื้อราปนเปื้อนอยู่ในผลผลิตความเสียหายที่เกิดขึ้นจากแมลงศัตรูโรงเก็บ และเชื้อราเป็นเรื่อง

สำคัญที่ส่งผลทำให้เกิดความเสียหายทางเศรษฐกิจเป็นมูลค่าสูง

มอดฟันเลื่อย (*Oryzaephilus surinamensis*) เป็นแมลงศัตรูโรงเก็บที่สำคัญอีกชนิดหนึ่งจัดอยู่ในวงศ์ Cucujidae อันดับ Coleoptera มักพบการเข้าทำลายในข้าวสารบรรจุถุงซึ่งผลิตเอาไว้รอจำหน่าย โดยตัวเต็มวัยสามารถกัดกินเมล็ดข้าวที่แตกหักได้ (พรทิพย์ และคณะ, 2548) ซึ่งการบรรจุข้าวสารใส่ถุงเป็นการป้องกันแมลงได้จากภายนอกเท่านั้น แต่มอดฟันเลื่อยอาจติดไปกับข้าวสารในระหว่างบรรจุหรือก่อนบรรจุ จึงจำเป็นต้องมีการป้องกันกำจัดก่อนบรรจุข้าวสารลงในบรรจุภัณฑ์พร้อมจำหน่ายโดยการรมด้วยสารเคมี เช่น ฟอสฟีน และเมทิลโบรไมด์อย่างไรก็ตามแม้เมทิลโบรไมด์จะเป็นสารรมที่มีประสิทธิภาพแต่มีความเป็นพิษสูงต่อสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม และมีผลการทำลายชั้นบรรยากาศของโลกในปัจจุบันสารตัวนี้กำลังถูกยกเลิกการใช้ภายในปี พ.ศ. 2558 ส่วนฟอสฟีนเป็นสารรมอีกชนิดที่เป็นสารทางเลือกเพื่อใช้ทดแทนเมทิลโบรไมด์ แต่กลับมีแนวโน้มการต้านทานของแมลงศัตรูโรงเก็บเพิ่มมากขึ้นปัจจุบันมีวิธีการที่หลากหลายที่นำมาใช้ทดแทนการรมด้วยสารเคมีดังกล่าวข้างต้น โดยเน้นไปยังวิธีการที่ไม่ใช้สารเคมีการใช้คลื่นความถี่วิทยุ (radio frequency) เป็นวิธีการกำจัดแมลงโดยใช้ความร้อนซึ่งวิธีการนี้สามารถกำจัดแมลงศัตรูโรงเก็บที่เข้าทำลายข้าวสารได้หลายชนิด เช่น การใช้คลื่นความถี่วิทยุที่ระดับพลังงาน 700 วัตต์ ระยะเวลา 220 วินาที สามารถกำจัดผีเสื้อข้าวเปลือกในระยะดักแด้ได้อย่างสมบูรณ์ แม้จะเป็นระยะที่ทนทานต่อความร้อนมากที่สุด (อัมพร และคณะ, 2555) เช่นเดียวกับงานวิจัยของกฤษณา และคณะ (2552) ที่พบว่าการใช้คลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส สามารถกำจัดมอดหัวป้อมได้อย่างสมบูรณ์โดยไม่ทำให้ข้าวเสียคุณภาพ เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยต่าง ๆ อีกมากมายที่ยืนยันว่าคลื่นความถี่วิทยุสามารถใช้ได้กับอีกหลาย ๆ ผลิตผลเกษตร ไม่ว่าจะเป็นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ถั่วเขียว หรือเมล็ดพันธุ์ข้าว ซึ่งมีการทดลองกับแมลงอีกหลายชนิด อีกทั้งแมลงทุกชนิดยังไม่มีการค้นพบว่ามีความต้านทานคลื่นความถี่วิทยุ ดังนั้นการใช้คลื่นความถี่วิทยุจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่เหมาะสมสำหรับใช้กำจัดมอดฟันเลื่อยในข้าวสารได้อย่างสมบูรณ์

วัตถุประสงค์ของการทดลอง

1. เพื่อศึกษาระดับของการใช้อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการใช้คลื่นความถี่วิทยุ สำหรับควบคุมมอดฟันเลื่อยในข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105
2. เพื่อศึกษาคุณภาพของข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เมื่อผ่านการใช้คลื่นความถี่วิทยุในระดับที่เหมาะสมในการกำจัดมอดฟันเลื่อย

อุปกรณ์และวิธีการ

การเลี้ยงและเตรียมมอดฟันเลื่อยในระยะต่าง ๆ

คัดมอดฟันเลื่อยตัวเต็มวัยที่อยู่ในสภาพสมบูรณ์แข็งแรง ประมาณ 100-200 ตัว ใส่บรรจุลงกล่องพลาสติกทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 เซนติเมตร สูง 14.5 เซนติเมตร ที่ฝากล่องเจาะเป็นวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร ปิดด้วยผ้าตาข่าย เพื่อการระบายอากาศและป้องกันแมลงหลบหนี ภายในกล่องพลาสติกบรรจุข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่บดหยาบผสมกับข้าวขาวดอกมะลิ 105 เต็มเมล็ด ในอัตราส่วนข้าวสารบดหยาบ 2 ส่วนต่อข้าวสารเต็มเมล็ด 1 ส่วน ปริมาณ 300 กรัม ข้าวผสมนี้ได้ผ่านการแช่แข็งเพื่อกำจัดแมลงชนิดอื่นเรียบร้อยแล้ว มอดฟันเลื่อยที่อยู่ในกล่องพลาสติกเป็นเวลา 4 วัน มีการผสมพันธุ์และวางไข่จากนั้นทำการร่อนแยกไข่ ตัวเต็มวัย และข้าวสารออกจากกัน ระยะไข่ใช้ตะแกรงที่มีรูร่อนขนาด 250 ไมโครเมตร โดยแยกข้าวสารออกจากฝุ่นผงที่ผ่านจากตะแกรง ซึ่งฝุ่นผงดังกล่าวจะมีไข่ของมอดฟันเลื่อยปะปนอยู่ นำไข่ไปเลี้ยงในข้าวสารที่ร่อนแยกไว้เป็นเวลา 28 วัน หรือจนกระทั่งไข่พัฒนาไปเป็นตัวเต็มวัย

ระยะไข่ นำมอดฟันเลื่อยตัวเต็มวัยประมาณ 300 ตัว เลี้ยงให้วางไข่ในข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่ผสมข้าวบดหยาบเช่นเดียวกับการเลี้ยงเพิ่มปริมาณแมลง โดยให้แมลงไข่เป็นเวลา 4 วัน จากนั้นร่อนและใช้พู่กันเขี่ยแยกคัดไข่ภายใต้กล้องจุลทรรศน์สเตอริโอ เก็บรวบรวมเพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

ระยะหนอน ทำเช่นเดียวกับระยะไข่ โดยปล่อยให้แมลงเจริญจากระยะไข่เป็นระยะหนอนใช้เวลา 14-16 วัน ซึ่งหนอนจะอยู่ในวัยที่ 4 ซึ่งเป็นหนอนวัยที่มีการทำลายสูงสุด

ระยะดักแด้ ทำเช่นเดียวกับระยะไข่ โดยปล่อยให้แมลงเจริญเติบโตจากระยะไข่จนถึงระยะดักแด้เป็นเวลา 22-23 วัน ดักแด้ในระยะนี้จะมีสีขาวขุ่นออกเหลืองเล็กน้อย

ระยะตัวเต็มวัย ทำเช่นเดียวกับระยะไข่ โดยปล่อยให้แมลงเจริญจากระยะหนอน ดักแด้ และตัวเต็มวัยใช้เวลา 28-30 วัน ตัวเต็มวัยอายุไม่เกิน 1 สัปดาห์นำมาใช้ในการทดลอง

การศึกษาระยะการเจริญเติบโตของมอดฟันเลื่อยที่ทนทานต่อคลื่นความถี่วิทยุ

นำมอดฟันเลื่อยในระยะ ไข่ หนอน ดักแด้ และตัวเต็มวัย ระยะละ 30 ตัว ใส่ลงในภาชนะเทฟลอน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 เซนติเมตร สูง 5 เซนติเมตร หนา 5 มิลลิเมตร ซึ่งบรรจุข้าวสารน้ำหนัก 450 กรัมเมื่อทดลองจะใส่ข้าวสารลงไปประมาณครึ่งภาชนะจากนั้นจึงใส่แมลงลงไปแล้วเติมข้าวสารให้เต็มภาชนะพอดี แยกทำแต่ละระยะการเจริญเติบโตแล้วนำไปผ่านคลื่นความถี่วิทยุ 27.12 MHz อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 วินาที ซึ่งแต่ละระยะการเจริญเติบโตทำการทดลองทั้งหมด 4 ซ้ำ นำมอดฟันเลื่อยในแต่ละวัยและข้าวสารที่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุในแต่ละกรรมวิธี นำไปบรรจุในแยกใส่ขวดโหลแก้วที่มีฝาปิดเป็นตาข่ายถี่ จากนั้นนำมาเก็บไว้ในอุณหภูมิห้อง ตรวจนับจำนวนแมลงหลังจากผ่านคลื่นความถี่วิทยุ โดยระยะไข่ หนอน ดักแด้ และตัวเต็มวัย จะทำการตรวจนับแมลงที่ตายและรอดชีวิตหลังจากผ่านคลื่นความถี่วิทยุเป็นเวลา 7, 14, 10 และ 7 วันตามลำดับ จากนั้นจึงนับจำนวนแมลงที่ตายและรอดชีวิต แล้วคำนวณเปอร์เซ็นต์การตาย หากมีการตายในชุดควบคุมทำการคำนวณเปอร์เซ็นต์การตายโดยใช้ Abbott's formula (Abbott, 1925) ซึ่งข้อมูลที่ได้นำไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าของเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การตายของแมลงแต่ละระยะ โดยวิธี Least Significant Difference (LSD)

การใช้คลื่นความถี่วิทยุในอุณหภูมิ และเวลาที่เหมาสมที่ทำให้มอดฟันเลื่อยในระยะทานทานที่สุดตายอย่างสมบูรณ์

นำมอดฟันเลื่อยในระยะที่ทนทานที่สุดซึ่งเป็นผลที่ได้จากการทดลองก่อนหน้านี้จำนวน 30 ตัว เตรียมบรรจุในภาชนะเทฟลอนพร้อมกับข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ทำเช่นเดียวกับการทดลองแรก โดยนำมาผ่านคลื่นความถี่วิทยุที่ความถี่ 27.12 MHz โดยใช้ระดับอุณหภูมิ 55, 60, 65 และ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90, 120, 150 และ 180 วินาที ในทุกระดับอุณหภูมิ โดยในอุณหภูมิ และช่วงเวลา ทำการทดลองทั้งหมด 4 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบ spilt plot in RCBD โดยให้อุณหภูมิเป็น main plot และเวลาที่แมลงได้รับความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุเป็น sub plot ทำการนับ และคำนวณจำนวนแมลงตายในทำนองเดียวกันกับการทดลองแรก จากนั้นวิเคราะห์ความแปรปรวน และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยการตายและจำนวนแมลงในรุ่นลูกด้วยวิธี LSD

การตรวจสอบคุณภาพข้าวหลังจากผ่านคลื่นความถี่วิทยุ

นำข้าวสารขาวพันธุ์ดอกมะลิ 105 ที่มีการรับรองจากกรมการค้าภายในว่าเป็นข้าวสารพันธุ์ขาวหอมมะลิ 100 เปอร์เซ็นต์ชั้น 1 ชนิดดีพิเศษ ความชื้นอยู่ในช่วง 13-14 เปอร์เซ็นต์ (กรมการค้าภายใน, 2550) ที่ได้รับการผ่านคลื่นความถี่วิทยุ 27.12 MHz ที่ระดับอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการกำจัดแมลงมาตรวจวิเคราะห์คุณภาพโดยเปรียบเทียบกับข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ชนิดเดียวกันจากแหล่งเดียวกันที่ไม่ได้ผ่านคลื่นความถี่วิทยุ สุ่มตัวอย่างข้าวสารตัวอย่างละ 100 กรัมทุกกรรมวิธีทำ 4 ซ้ำ โดยวิเคราะห์และตรวจสอบบันทึกผลการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าว 2 ด้าน คือ สมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางเคมี

การตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพ

- การตรวจสอบความชื้นของข้าว ใช้วิธีการ hot-air oven method
- การวัดค่าสีของข้าวสารด้วยเครื่อง Colorimeter: Colorquest XE Hunter Lab, USA ค่าที่ได้เป็น L*, a* และ b*

การตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมี

- การวัดปริมาณอะไมโลส โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงสีน้ำเงินของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างอะไมโลสกับไอโอดีนด้วยเครื่อง spectrophotometer (งามชื่น, 2547)
- การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน โดยวิธี Micro Kjeldahl Method เพื่อหาปริมาณโปรตีนในข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่ได้รับคลื่นความถี่วิทยุและชุดควบคุม
- การวัดค่าสารหอมในข้าว (2-acetyl-1-pyrroline, 2-AP) ทำการวัดโดยเปรียบเทียบกับชุดควบคุมโดยใช้เครื่อง Headspace Gas Chromatography

ผลและวิจารณ์

ระยะการเจริญเติบโตของมอดฟันเลื่อยที่ทนทานต่อคลื่นความถี่วิทยุมากที่สุด

มอดฟันเลื่อยในระยะตัวเต็มวัยเมื่อผ่านคลื่นความถี่วิทยุที่ 27.12 MHz ระดับอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 วินาที มีความทนทานต่อคลื่นความถี่วิทยุมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การตายน้อยที่สุด คือ 78.09 ±2.82 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) กับระยะดักแด้ หนอน และไข่ โดยมีเปอร์เซ็นต์การตายอยู่ที่ 90.90 ±3.63, 94.34 ±5.98 และ 96.46 ±3.74 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 1) การตายของมอดฟันเลื่อยที่เกิดขึ้นนั้น เกิดจากการตอบสนองของโมเลกุลน้ำภายในตัวแมลงต่อคลื่นความถี่วิทยุ ซึ่งโมเลกุลน้ำดังกล่าวเมื่อได้รับคลื่นความถี่วิทยุ จะทำให้เกิดการสั่นละเทือนของโมเลกุล ลักษณะดังกล่าวทำให้โมเลกุลของเหลวภายในตัวแมลงร้อนขึ้นจนทำให้อวัยวะภายในถูกทำลายทำให้แมลงตายในที่สุด (Wang *et al*., 2002) แมลงในระยะไข่ หนอน และดักแด้มีการตายมากกว่าตัวเต็มวัย เช่นเดียวกับงานทดลองของ กฤษณา และคณะ (2552) ซึ่งทดลองใช้คลื่นความถี่วิทยุกับมอดหัวป้อมที่ความถี่ 27.12 MHz อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 180 วินาที พบว่าตัวเต็มวัยเป็นระยะที่ทนทานที่สุด และที่คลื่นความถี่วิทยุที่ความถี่เดียวกับเมื่อทดลองกับมอดยาสูบ พบว่าที่ระดับพลังงาน 420 วัตต์ซึ่งคิดเป็นอุณหภูมิ 47.6 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 นาที ตัวเต็มวัยเป็นระยะที่มีการตายน้อยที่สุด (รตินุช และคณะ, 2554) ด้วงงวงข้าวโพดในระยะตัวเต็มวัยพบว่าเป็นระยะที่ทนทานต่อคลื่นความถี่วิทยุเช่นเดียวกันที่ระดับพลังงาน 670 วัตต์ เป็นเวลา 120 วินาที (วีรยุทธ และคณะ, 2554) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากแมลงในระยะตัวเต็มวัยมีองค์ประกอบของน้ำน้อยกว่าวัยอื่น ๆ จึงมีการตอบสนองต่อคลื่นความถี่วิทยุได้น้อย สอดคล้องกับทฤษฎีคลื่นความถี่วิทยุของ Cwiklinski and von Hoersten (1999) ที่กล่าวว่า คลื่นความถี่วิทยุสามารถทำให้เกิดความร้อนได้ดีในวัตถุที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ

Table 1 Average mortality of sawtoothed grain beetle (*Oryzaephilus surinamensis*) 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	96.46 ±3.74a
Larva	94.34 ±5.98a
Pupa	90.90 ±3.63a
Adult	78.09 ±2.82b

[1/] Means within the same column followed by the same letters are not significantly different at the 0.05 level by the LSD test (LSD=6.48)

การใช้คลื่นความถี่วิทยุในอุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมที่ทำให้มอดฟันเลื่อยในระยะทานทานที่สุดตายอย่างสมบูรณ์

จากการนำมอดฟันเลื่อยในระยะตัวเต็มวัย ซึ่งเป็นระยะที่ทนทานต่อคลื่นความถี่วิทยุมากที่สุด มาผ่านคลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 55, 60, 65 และ 70 องศาเซลเซียส โดยใช้ระยะเวลา 90, 120, 150 และ 180 วินาที ในทุกระดับอุณหภูมิ พบว่าการใช้คลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 วินาที ทำให้มอดฟันเลื่อยตาย 80.35 ±3.53 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิสูงขึ้นทำให้มอดฟันเลื่อยตายเพิ่มขึ้น และพบว่ามอดฟันเลื่อยมีการตายอย่างสมบูรณ์ (100 เปอร์เซ็นต์) พบในกรรมวิธีที่ใช้คลื่นความถี่วิทยุระดับอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120, 150 และ 180 วินาที (ตารางที่ 2) ซึ่งมีความสอดคล้องกับงานทดลองของกฤษณา และคณะ (2552) รายงานว่าการใช้คลื่นความถี่วิทยุที่ความถี่ 27.12 MHz ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสขึ้นไปเป็นระยะเวลา 150 วินาที กับข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 กำจัดมอดหัวป้อมได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมอดหัวป้อมเป็นแมลงศัตรูโรงเก็บในอันดับ Coleoptera เช่นเดียวกับมอดฟันเลื่อย โดยระดับอุณหภูมิและเวลาดังกล่าวไม่ทำให้ข้าวเสียคุณภาพ ยังรักษากลิ่นหอมและปริมาณอะไมโลสให้อยู่ในช่วงมาตรฐานของข้าวหอมมะลิคุณภาพดี (กรมการค้าภายใน, 2550) ดังนั้นการใช้คลื่นความถี่วิทยุที่เหมาะสมจึงเลือกจากระยะเวลาการให้คลื่นที่น้อยที่สุดที่ทำให้แมลงตายอย่างสมบูรณ์เนื่องจากการใช้อุณหภูมิที่สูงเกินไป และเวลาที่นานเกินไปอาจทำให้ข้าวสารสูญเสียคุณภาพ อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มระยะเวลาและต้นทุนในการผลิตด้วย จึงสรุปได้ว่าการใช้คลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 วินาที เป็นกรรมวิธีที่เหมาะสมที่สุดในการกำจัดมอดฟันเลื่อยในข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

ผลของคลื่นความถี่วิทยุต่อการเกิดของแมลงรุ่นลูก

หลังจากแมลงได้รับคลื่นความถี่วิทยุในอัตราต่าง ๆ และนำไปเลี้ยงไว้ในข้าวสารในห้องปฏิบัติการ ทำการตรวจนับแมลงในรุ่นลูก หลังจากนั้นอีก 4 สัปดาห์ พบว่าการใช้คลื่นความถี่วิทยุให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ตั้งแต่ระยะเวลา 90 วินาทีขึ้นไป มอดฟันเลื่อยไม่สามารถให้รุ่นลูกได้ และที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90, 150 และ 180 วินาที ในกรรมวิธีใช้คลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียสเวลา 150 วินาที มอดฟันเลื่อยมีอัตราการรอดในรุ่นลูก 1.0 ±1.41 ตัว อาจกล่าวได้ว่าที่ระยะเวลา 120 วินาทีดังกล่าวอาจไม่เหมาะสมในการกำจัดแมลงรุ่นลูก การกำจัดระยะตัวเต็มวัยและการควบคุมแมลงรุ่นลูกไปพร้อม ๆ กันจะทำให้ลดปริมาณแมลงได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ดังนั้นอุณหภูมิที่ต่ำที่สุดที่ทำให้มอดฟันเลื่อยตายอย่างสมบูรณ์และไม่พบแมลงรุ่นลูก (F_1) คือ ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส 120 วินาที (ตารางที่ 3) ยิ่งใช้อุณหภูมิ และเวลาที่มากเท่าไหร่รุ่นลูกที่เกิดมาก็ยิ่งน้อยเท่านั้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความร้อนที่เกิดขึ้นทำให้เกิดความผิดปกติภายในตัวแมลง หรือทำให้อวัยวะบางส่วนเสียหายจนไม่สามารถวางไข่ หรือผสมพันธุ์ได้ นอกจากนี้ความร้อนยังมี

Table 2 Average mortality of sawtoothed grain beetle (*Oryzaephilus surinamensis*) in adult stage after treated by 27.12 MHz radio frequency at temperature of 55, 60, 65 and 70°C for 90, 120, 150 and 180 seconds

Temperature	Mortality in various times periods (seconds) ±SE[1/]			
(°C)	90	120	150	180
55	80.35 ±3.53e	87.93 ±1.99d	94.33 ±3.63bc	96.46 ±2.82ab
60	90.80 ±5.09cd	97.35 ±3.41ab	97.35 ±3.41ab	96.46 ±1.96ab
65	97.32 ±1.78ab	95.00 ±6.38bc	98.04 ±2.26ab	96.46 ±2.82ab
70	98.30 ±1.96ab	100.00a	100.00a	100.00a

[1/]Means with in the same column followed by the same letter are not significantly different at 0.05 levels by the LSD Test (LSD=4.75).

Table 3 Average of progeny (F_1) per 30 parents at 4 weeks after RF treatment of sawtoothed grain beetle (*Oryzaephilus surinamensis*) 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	Number of progeny in various time periods ±SE[1/*]			
(°C)	90	120	150	180
55	8.5 ±1.73ab	8.2 ±14.52ab	10.0 ±9.56a	0
60	0.5 ±0.58c	5.0 ±10.00abc	0.25 ±0.50c	1.5 ±1.91bc
65	0	1.0 ±1.41 c	0	0
70	0	0	0	0

[1/] Means with in the same column followed by the same letter are not significantly different at 0.05 levels by the LSD Test (LSD=6.32).

Progeny in untreated control is 96.63 insects/30 parents averaged from 1,680 parents.

ผลต่อระบบประสาทของแมลงที่ควบคุมการทำงานของระบบต่อไร้ท่อ (endocrine system) และระบบอวัยวะต่าง ๆ ทำให้ไม่สามารถทำงานได้ตามปกติ เช่น ทำให้ระดับของ juvenile hormone ซึ่งเป็นฮอร์โมนที่ช่วยในการเจริญเติบโตและเปลี่ยนแปลงรูปร่างผิดปกติ หรือไปยับยั้งการสร้างสาร vitelline ที่เป็นโปรตีนที่เป็นส่วนสำคัญในการสร้าง และพัฒนาของไข่แมลง (Neven, 2000) ซึ่งความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุจะทำให้โปรตีนเสียคุณสมบัติการทำงานในที่สุด จึงทำให้แมลงไม่เจริญเติบโต เป็นต้น

คุณภาพของข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เมื่อผ่านคลื่นความถี่วิทยุที่ทำให้มอดฟันเลื่อยตายอย่างสมบูรณ์

เมื่อนำข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 วินาที มาทำการวิเคราะห์คุณภาพเปรียบเทียบกับข้าวที่ไม่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุ (ชุดควบคุม) โดยทำการวัดคุณภาพ 2 ด้าน คือคุณภาพด้านกายภาพ และคุณสมบัติทางเคมี

คุณภาพด้านกายภาพ

คุณภาพของข้าวมีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดโดยเฉพาะคุณสมบัติทางกายภาพ ซึ่งพบว่าความชื้นของข้าวสารลดลงจาก 13.65 เปอร์เซ็นต์ลดลงเหลือ 12.85 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4) และมีค่าสีที่เปลี่ยนไปเล็กน้อย ความร้อนที่เกิดขึ้นจากการใช้คลื่นความถี่วิทยุจะทำให้โมเลกุลของน้ำภายในเมล็ดข้าวสั่นสะเทือน และเกิดความร้อนจากภายใน ความร้อนดังกล่าวจะทำให้น้ำในเมล็ดระเหยออกมาสู่ภายนอก ทำให้ข้าวสูญเสียน้ำในเมล็ด ความชื้นจึงลดลง (Wang *et al*., 2007) ส่วนค่าของสี พบว่าค่า L* (lightness), b* (yellowness) และค่า whiteness index ของข้าวที่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ค่า b* ซึ่งสีเหลืองมีค่าสูงขึ้นจาก 15.88 ไปเป็น 17.64 แสดงให้เห็นว่าเมื่อข้าวได้รับความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุมีการเกิดสีเหลืองเพิ่มมากขึ้น เช่นเดียวกับในงานทดลองของของ Theanjumpol *et al*. (2007) ที่ใช้คลื่นความถี่วิทยุระดับอุณหภูมิมากกว่า 60 องศาเซลเซียส ทำให้ค่าความสว่างของข้าว (L*) และค่าสีเหลือง (b*) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และทำให้ข้าวเปลี่ยนสีจากสีขาว ไปเป็นสีเหลืองมากขึ้น ซึ่งค่า L* และ b* ที่เพิ่มขึ้นดังกล่าวมีผลต่อค่าดัชนีความขาว โดยค่า L* เป็นค่าที่แสดงถึงความสว่าง (lightness) ที่มีค่าเท่ากับ 0 แสดงถึงวัตถุเข้าใกล้สีดำหรือมีสีมืดที่สุดหาก L* มีค่าเท่ากับ 100 วัตถุมีสีขาวหรือสว่างที่สุดค่า b* เป็นค่าที่แสดงความเป็นสีเหลืองหรือสีน้ำเงินโดยที่ค่า b* เป็นบวกแสดงถึงวัตถุมีสีเหลืองหากมีค่าเป็นลบหมายถึงวัตถุมีสีน้ำเงินในข้าวที่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุพบว่าการเพิ่มขึ้นของค่า L* และ b* มีผลทำให้ค่าดัชนีความขาวของข้าวเพิ่มมากขึ้น ซึ่งทำให้เมล็ดข้าวเปลี่ยนจากสีขาวใส และมีความมันวาว กลายไปเป็นสีขาวด้าน ไม่มันวาว คล้ายกับลักษณะข้าวท้องไข่

Table 4 Physical quality of milled rice cv. Khao Dawk Mali 105 after treated by 27.12 MHz radio frequency at 70°C for 120 seconds compared with untreated control

Treatment	moisture content (%)	L* (lightness)	b* (yellowness)	Whiteness index
Control	13.65a[1/]	66.10b	15.88b	62.56b
70°C120 seconds	12.85b	68.25a	17.64a	63.67a

[1/]Means with in the same column followed by the same letter are not significantly different at 0.05 levels by the LSD

คุณภาพทางเคมี

ข้าวสารที่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุจะถูกนำมาวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี โดยทำการวัดอะไมโลส และโปรตีนเนื่องจาก องค์ประกอบทางเคมีทั้ง 2 ชนิดนี้มีความสัมพันธ์กันในเรื่องของคุณภาพข้าวในการหุงต้ม โดยข้าวที่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุจะมีปริมาณอะไมโลสเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ปริมาณอะไมโลสที่เพิ่มขึ้นนั้นเนื่องจากได้รับความร้อนที่เกิดจากคลื่นความถี่วิทยุทำให้ โครงสร้างร่างแหของอะไมโลเพกตินสลายตัวเป็นโครงสร้างเส้นตรง สัดส่วนของอะไมโลสจึงเพิ่มมากขึ้น (Zhao *et al*., 2007) เช่นเดียวกับในงานทดลองของ กฤษณา และคณะ (2552) ที่พบว่าการใช้คลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 150 วินาที ทำให้ปริมาณอะไมโลสในข้าวสารเพิ่มขึ้น ซึ่งปริมาณอะไมโลสที่เพิ่มขึ้น มีผลต่อคุณภาพการหุงต้มของข้าวโดยเม็ดแป้งจะมีการขยายตัวน้อย และมีความเหนียวนุ่มลดลงเมื่อนำไปหุงส่วนปริมาณโปรตีนที่วัดได้มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (P<0.05) เนื่องจากโปรตีนมีคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงสภาพ หรือสูญเสียคุณสมบัติเมื่อถูกความร้อนดังนั้นเมื่อข้าวผ่านคลื่นความถี่วิทยุจึงเกิดความร้อนส่งผลให้โปรตีนในข้าวเสียสภาพ เมื่อทำการตรวจสอบจึงพบปริมาณโปรตีนที่ลดลง ซึ่งค่าโปรตีนที่ลดลงนั้นทำให้ความแข็งของข้าว (hardness) เปลี่ยนไป และมีผลทำให้ข้าวร่วนขึ้นเมื่อนำไปหุง (งามชื่น, 2547) เมื่อนำไปหุงปริมาณสาร 2-acetyl-1-pyrroline (2-AP) เป็นปริมาณสารหอมที่แสดงถึงความหอมของข้าวหอมพันธุ์ต่าง ๆ ซึ่งในข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ต้องมีปริมาณสารดังกล่าวไม่น้อยกว่า 0.07 ppm (งามชื่น, 2547) พบว่าปริมาณสารหอมที่วัดได้ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งวัดปริมาณสารหอมในชุดควบคุมได้ 2.82 ppm และชุดที่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุวัดได้ 2.40 ppm (P<0.05) (ตารางที่ 5) โดยความร้อนที่เกิดจากคลื่นความถี่วิทยุมีผลทำให้สารหอมที่อยู่ในข้าวระเหยออกไป ปริมาณสารหอมที่วัดได้จึงลดลง (งามชื่น, 2547) เช่นเดียวกับงานทดลองของ กฤษณา และคณะ (2552) ที่ทดลองใช้คลื่นความถี่วิทยุเพื่อกำจัดมอดหัวป้อมในข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 โดยใช้อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส พบว่าสารหอมที่วัดได้ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้งานทดลองของ Wongpornchai *et al*. (2004) ที่ทำการศึกษาการลดความชื้นข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่อุณหภูมิต่าง ๆ พบว่า การใช้ความร้อนที่ระดับ 70 องศาเซลเซียสขึ้นไปกับข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีผลทำให้ค่า 2-AP ที่วัดได้ลดลงเช่นเดียวกัน ซึ่งคุณภาพทางเคมีโดยรวมที่วัดได้แสดงให้เห็นว่า คลื่นความถี่วิทยุมีผลทำให้ข้าวมีคุณสมบัติคล้ายข้าวเก่า (พลากร และคณะ, 2551) เมื่อหุงแล้วข้าวจะมีความร่วนมากขึ้น หรือเหนียวติดกันน้อยลง ข้าวสุกขยายปริมาตรได้มาก ตรงตามความต้องการของผู้บริโภค (งามชื่น, 2547)

จากงานวิจัยที่ผ่านมาการใช้คลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 วินาที นอกจากจะสามารถกำจัดมอดฟันเลื่อยได้อย่างสมบูรณ์โดยแล้วยังสามารถกำจัดมอดหัวป้อม (กฤษณา และคณะ, 2552) และผีเสื้อข้าวสาร (ณคณิณ และคณะ, 2551) ได้อย่างสมบูรณ์เช่นเดียวกัน โดยความร้อนที่อุณหภูมิดังกล่าวไม่ส่งผลต่อคุณภาพทางเคมีที่สำคัญของข้าวและรักษาคุณภาพดังกล่าวไว้ได้ทั้งเรื่องความชื้น ปริมาณอะไมโลสรวมไปถึงปริมาณ 2-acetyl-1-pyrroline (2-AP) ซึ่งเป็นสารที่ทำให้ข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีกลิ่นหอม ให้อยู่ในช่วงมาตรฐานที่สามารถจำหน่ายได้เป็นข้าวหอมมะลิอย่างดีคัดพิเศษ (กรมการค้าภายใน, 2550)

Table 5 Amylose,crude protein and 2-acetyl-1-pyrroline (2-AP) contents from milled rice cv. Khao Dawk Mali 105 after treated by 27.12 MHz radio frequency at 70°C for 120 seconds compared with untreated control

Treatment	Amylose (%)	Crude protein (%)	2-AP (ppm)
Control	16.83b[1/]	7.38a	2.82a
70°C 120 seconds	17.82a	7.12b	2.40b

[1/] Means with in the same column followed by the same letter are not significantly different at 0.05 levels by the LSD

สรุป

การใช้คลื่นความถี่วิทยุ ความถี่ 27.12 MHz ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 วินาที เป็นระดับที่เหมาะสมที่สุดในการใช้กำจัดมอดฟันเลื่อยตัวเต็มวัยซึ่งเป็นระยะที่ทนทานต่อคลื่นความถี่วิทยุมากที่สุด โดยคลื่นความถี่วิทยุดังกล่าวจะทำให้ความชื้นของข้าวสารลดลง ค่าสีที่วัดได้ของข้าวสารเปลี่ยนไปเป็นสีเหลืองมากขึ้น และมีค่าดัชนีความขาวเพิ่มขึ้น ส่วนคุณสมบัติเคมีพบว่า ปริมาณอะไมโลสที่วัดได้มีค่าเพิ่มขึ้น ปริมาณโปรตีนลดลง และปริมาณสารหอมลดลงเล็กน้อยซึ่งปรับคุณภาพให้มีคุณสมบัติเหมือนข้าวเก่า

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับความอนุเคราะห์เครื่องมือวิเคราะห์ จากสถาบันเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และเครื่อง Radio frequency จากศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะกรรมการอุดมศึกษา รวมไปถึงทุนสนับสนุนการวิจัยจากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

เอกสารอ้างอิง

กรมการค้าภายใน. 2550. มาตรฐานข้าวหอมมะลิบรรจุถุงจำหน่ายภายในประเทศ. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล http://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2550/E/150/9.PDF/ (18 ธันวาคม 2556).

กฤษณา สุเมธะ เยาวลักษณ์ จันทร์บาง วิเชียร เฮงสวัสดิ์ และ ณัฐศักดิ์ กฤติกาเมษ. 2552. ผลของการใช้คลื่นความถี่วิทยุต่อมอดหัวป้อมและคุณภาพของข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105. หน้า 97-103. *ใน*: รายงานสัมมนาวิชาการ บัณฑิตศึกษา เกษตรศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ครั้งที่ 6. 12-13 มีนาคม 2552. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

งามชื่น คงเสรี. 2547. คุณภาพและการตรวจสอบข้าวหอมมะลิไทย. กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ. 133 หน้า.

ณคณิณ ลือชัย วิชชา สะอาดสุด เยาวลักษณ์ จันทร์บาง และ ณัฐศักดิ์ กฤษติกาเมษ. 2551. การใช้คลื่นความถี่วิทยุเพื่อควบคุมผีเสื้อข้าวสาร *Corcyra cephalonica* (Stainton) และผลต่อคุณภาพข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 39(3) (พิเศษ): 347-350.

พลากร สำรีราษฎร์ สงวนศักดิ์ ธนาพรพูนพงษ์ และ สุชาดา เวียรศิลป์. 2551. การดัดแปลงคุณภาพหุงต้มของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 39(3): 354-538.

พรทิพย์ วิสารทานนท์ กุสุมา นวลวัฒน์ บุษรา จันทร์-แก้วมณี ใจทิพย์ อุไรชื่น รังสิมา เก่งการพานิช กรรณิการ์ เพ็งคุ้ม จิราภรณ์ ทองพันธ์ ดวงสมร สุทธิสุทธิ์ ลักขณา ร่มเย็น และ ภาวิณี หนูชนะภัย. 2548. แมลงที่พบในผลิตผลเกษตรและการป้องกันกำจัด. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์

การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด. กรุงเทพฯ. 150 หน้า

รตินุช นุตพงษ์ เยาวลักษณ์ จันทร์บาง และ สุชาดา เวียรศิลป์. 2555. การใช้คลื่นความถี่วิทยุเพื่อควบคุมมอดยาสูบ. วารสารเกษตร 28(1): 75-82.

วีรยุทธ ใฝ่กระจายเพื่อน เยาวลักษณ์ จันทร์บาง และ สุชาดา เวียรศิลป์. 2554. ผลของกำลังความถี่วิทยุขนาดต่าง ๆ ต่อการตอบสนองของด้วงงวงข้าวโพด (*Sitophilus zeamais* Motschulsky) และคุณภาพของข้าวโพด. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 42(3) (พิเศษ): 392-395.

สมพร อิศวิลานนท์. 2556. สัมมนาทิศทางข้าวไทยปี 2556: ตลาดส่งออกข้าวไทยจะก้าวไปอย่างไร. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: http://www.thairice.org/doc_dl/032013/ppt-a.pptx (18 ธันวาคม 2556).

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2556. มูลค่าการส่งออกข้าวหอมดอกมะลิ. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: http://www.oae.go.th/oae_report/export_import/export_result.php (18 ธันวาคม 2556).

อัมพร บัวผุด เยาวลักษณ์ จันทร์บาง และ สุชาดา เวียร-ศิลป์. 2555. ผลของการให้ความร้อนด้วยคลื่นความถี่วิทยุต่อผีเสื้อข้าวเปลือกและคุณภาพการสีของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105. วารสารเกษตร 28(2): 137-144.

Abbott, W. S. 1925. Method for computing the effectiveness of an insecticide. Journal of Economic Entomology 18: 256-267.

Cwiklinski, M. and D. von Hoersten. 1999. Thermal treatment of seed using microwave or radio frequency energy for eradication seedborne fungi. Paper presented at the 1999 ASAE/CSAE-CSGR Annual International Meeting. July 18-21 1999. Ontario, Canada.

Neven, L.G. 2000. Physiological responses of insects to heat. Postharvest Biology and Technology. 21: 103-111.

Theanjumpol, P., S. Thanapornpoonpong, E. Pawelzik and S. Vearasilp. 2007. Milled rice physical properties after various radio frequency heat treatments. Paper presented at the Conference on International Agricultural Research for Development. October 9-11, 2007. University of Kassel-Witzenhausen and University of Gottingen, Germany.4 pp.

Wang, S., J. Tang, J. A. Johnson and J. D. Hansen. 2002. Thermal-death kinetics of fifth-instar *Amyelois transitella*(Walker) (Lepidoptera: Pyralidae) larvae. Journal of Stored Products Research 38(5): 427-440.

Wang, S., M. Monzon, J. A. Johnson, E. J. Mitcham and J. Tang. 2007. Industrial scale radio frequency treatments for insect control in walnuts: I. Heating uniformity and energy efficiency. Postharvest Biology and Technology 45: 240-246.

Wongpornchai, S., K, Dumri, S. Jongkaewwattana and B. Siri. 2004. Effects of drying methods and storage time on the aroma and milling quality of rice *(Oryza sativa* L.) cv. Khao Dawk Mali 105. Food Chemistry 87: 407-414.

Zhao, S., S. Xiong, C. Qiu and Y. Xu. 2007. Effect of microwaves on rice quality. Journal of Stored Products Research 43: 496-502.