รายงานผลงานเรื่องเต็มการทดลองที่สิ้นสุด

---

1. แผนงานวิจัย : **แผนงานวิจัยและพัฒนาด้านเมล็ดพันธุ์พืช**

2. โครงการวิจัย : **โครงการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์**

กิจกรรม : **วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตเมล็ดพันธุ์**

กิจกรรมย่อย (ถ้ามี) : -

3. ชื่อการทดลอง (ภาษาไทย) : การใช้คลื่นความถี่วิทยุในการควบคุมกำจัดด้วงถั่วเหลืองที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองและผลต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์

ชื่อการทดลอง (ภาษาอังกฤษ) : Using of Radio Frequency Treatment to control Southern Cowpea Weevil (*Callosobruchus chinensis* (Linnaeus) and Effect on Seed Quality

4. คณะผู้ดำเนินงาน

หัวหน้าการทดลอง	นางสาวปัทมพร วาสนาเจริญ	ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่
ผู้ร่วมงาน	นางสาวสุพรรณณี เป็งคำ	ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่
	นายศิวกร เกียรติมณีรัตน์	ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่
	นางสาวละอองดาว แสงหล้า	ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่

5. บทคัดย่อ

การใช้ความร้อนจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านคลื่นความถี่วิทยุในการควบคุมกำจัดแมลงศัตรูที่ติดกับเมล็ดพันธุ์เป็นอีกทางเลือกเพื่อทดแทนการใช้สารเคมีในการควบคุมกำจัด การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุในการกำจัดด้วงถั่วเหลืองที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์และผลต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block จำนวน 4 ซ้ำ วิธีการทดลองนำเมล็ด ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่มีการเข้าทำลายของด้วงถั่วเหลืองที่ระยะไข่ หนอน ดักแด้ และตัวเต็มวัยมาให้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุที่ความถี่ 27.12 MHz. ระดับพลังงานเริ่มต้น 25 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 50 และ 55 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 นาที พบว่า การให้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุในการควบคุมกำจัดด้วงถั่วเหลืองในเมล็ดถั่วมีประสิทธิภาพในสูงสุดที่การให้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุที่กรรมวิธี 55 องศาเซลเซียส 3 นาที มีประสิทธิภาพในการกำจัดด้วงถั่วเหลืองได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ในทุกระยะของการเจริญเติบโตของแมลง (ระยะไข่ ระยะหนอน ระยะดักแด้ ระยะตัวเต็มวัย) และไม่พบการกลับเข้าทำลายของด้วงถั่วเหลือง ผลต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ทำการทดลองโดยนำเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 พันธุ์เชียงใหม่ 6 พันธุ์เชียงใหม่ 1 และพันธุ์เชียงใหม่ 84-2 ที่ปลูกในช่วงฤดูแล้งและฤดูฝนมาให้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุที่ 27.12 MHz ระดับพลังงานเริ่มต้น 25 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 50 และ 55 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 นาที พบว่า เมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองฝักแห้งพันธุ์เชียงใหม่ 60 มีคุณภาพเมล็ดพันธุ์สูงสุดหลังได้รับความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุ การให้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิที่สูงขึ้นมีผลต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์และมีความสัมพันธ์กับพันธุกรรมและคุณภาพตั้งต้นของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง เมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองฝักแห้งมีคุณภาพเมล็ดพันธุ์และคุณภาพการเก็บรักษาสูงกว่าพันธุ์ฝักสดในทั้ง 2 ฤดูปลูก

คำสำคัญ: คลื่นความถี่วิทยุ ด้วงถั่วเหลือง ถั่วเหลือง เมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง

ABSTRACTS

The using of electromagnetic wave in the range of radio frequency heat treatment to control storage insect pests in seeds is another method to replace the use of chemicals. The purpose of this study was to investigate the efficiency of radio frequency heat treatment for control of southern cowpea weevil (Callosobruchus chinensis(L.)). And the effect on seed quality. The experimental design was randomized complete block with 4 replications. Soybean variety Chiang Mai 60 with destruction at the egg larval pupa and adults stages, were treated with radio frequency treatment at 27.12 MHz., the initial energy levels of 25%, 50 and 55 ℃ for 3 minutes. The result showed that the radio frequency heat treatment of 55 ℃ for 3 minutes had effect to control southern cowpea weevil in all of growth stages. The mortality was 100 % and did not find the back of weevil infestation. Effects on seed quality were tested by soybean seed varieties CM 60, CM 6, CM 1 and CM 84-2 that cultivated during dry and rainy season. The seed were treated with radio frequency treatment at 27.12 MHz., the initial energy levels of 25%, 50 and 55 ℃ for 3 minutes. It was found that CM 60 had the highest seed quality after radio frequency treatment. The higher temperature had an effect on seed quality. The seed quality correlated with genetic and initial seed quality. Soybean seed had higher seed quality and storage quality than vegetable soybean in both planting seasons.

6. คำนำ

ด้วงถั่วเหลือง, *Callosobruchus chinensis* (L.) เป็นแมลงศัตรูในโรงเก็บที่สำคัญของถั่วเหลืองและพืชตระกูลถั่วทุกชนิด โดยตัวเต็มวัยของด้วงจะวางไข่ลงบนฝักถั่วที่อยู่ในระยะใกล้สุกแก่ หลังจากนั้นตัวอ่อนจะออกมาจากไข่แล้วเจาะผ่านเปลือกฝักเข้าไปในเมล็ดเพื่อพัฒนาเป็นตัวเต็มวัยโดยกินส่วนของเนื้อเมล็ดเป็นอาหาร โดยมีช่วงเวลาที่ด้วงถั่วอาศัยอยู่ในเมล็ดกินเวลาประมาณ 3-4 สัปดาห์ เมื่อเกษตรกรเก็บเกี่ยวถั่วเหลืองมาจากแปลงและระหว่างการเก็บรักษานั้นจะมีด้วงถั่วเหลืองอยู่ในเมล็ด ซึ่งในขณะที่เก็บรักษานั้นด้วงถั่วเหลืองเจริญเติบโตและจะกัดกินภายในเมล็ดก่อให้เกิดความเสียหายแก่เมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองจนไม่สามารถนำมาใช้เป็นเมล็ดพันธุ์ดีได้ (สายชล, 2548) การป้องกันกำจัดด้วงถั่วเหลืองโดยทั่วไปใช้สารฆ่าแมลงโดยวิธีการรม กำจัดแมลงศัตรูในโรงเก็บมักจะใช้สารเคมีในกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต เช่น ไพริมิฟอสเมธิล ฟอสฟีน (Huang and Subramanyam, 2003) และ ไดฟูเบนโซรอน (Sharma and Bhargava, 2004) แต่เนื่องจากการใช้สารเคมีอาจมีผลเสียจากปริมาณสารพิษตกค้าง ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การดื้อยาของแมลง และความปลอดภัยของผู้บริโภค ดังนั้นในปัจจุบันจึงมีการศึกษาหาวิธีป้องกันและกำจัดแมลงศัตรูในโรงเก็บโดยไม่ใช้สารเคมีเพิ่มมากขึ้นเพื่อหาวิธีในการกำจัดแมลงศัตรูในโรงเก็บทดแทนวิธีการใช้สารเคมี โดยเฉพาะการใช้คลื่นความถี่วิทยุ (radio frequency) เป็นอีกวิทยาการหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ในการป้องกันกำจัดแมลงศัตรูโรงเก็บได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีหลักการให้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในระดับคลื่นความถี่วิทยุปล่อยผ่านไปยังวัตถุที่มีพันธะโมเลกุล 2 ขั้ว ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนภายในโมเลกุลจนก่อให้เกิดความร้อนในตัวของวัตถุอย่างรวดเร็วระยะเวลาสั้น ทำให้สามารถทำลายสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่ติดมากับผลผลิตได้โดยความร้อนที่เกิดขึ้นในระยะเวลาอันสั้นไม่ก่อให้เกิดผลต่อเมล็ดพันธุ์ (Cwiklinski and Von Hoersten, 1999) แต่อย่างไรก็ตามกรรมวิธีในการควบคุมแมลงโดยผ่านคลื่นความถี่วิทยุที่ประสบความสำเร็จนั้น ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของผลผลิต ลักษณะของแมลง ระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ ของแมลง ระดับอุณหภูมิและการทนทานต่อระดับความร้อนซึ่งส่งผลต่อ

ตอบสนองของแมลงแต่ละชนิดที่แตกต่างกัน (Nelson,1996; Nelson and Charity,1972; Wang *et al*., 2001; Mitcham *et al*., 2004) การใช้คลื่นความถี่วิทยุในการควบคุมกำจัดด้วงถั่วเหลืองจึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่ช่วยลดปัญหาการเข้าทำลายได้โดยไม่ใช้สารเคมีและอาจมีผลในการช่วยปรับปรุงคุณภาพเมล็ดพันธุ์อีกทางหนึ่งด้วย การดำเนินงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาผลการใช้ คลื่นความถี่วิทยุในการควบคุมกำจัดด้วงถั่วเหลืองที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์และผลต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์เพื่อประยุกต์ใช้ในกระบวนการปรับปรุงสภาพเมล็ดพันธุ์เพื่อกำจัดไข่ หนอน ดักแด้และตัวเต็มวัยด้วงถั่วเหลืองที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์จากแปลงผลิต และเพื่อให้ได้เมล็ดพันธุ์สะอาดไม่มีการปนเปื้อนของแมลงก่อนเข้าสู่กระบวนการจัดการระหว่างเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ต่อไป ตลอดจนสามารถนำเทคโนโลยีที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการปรับปรุงสภาพและเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์และเพื่อพัฒนาต่อยอดในในระดับธุรกิจเมล็ดพันธุ์พืชถั่วเหลืองและพืชตระกูลถั่วชนิดอื่นๆ ต่อไป

การตรวจเอกสารที่เกี่ยวข้องและผลงานวิจัยที่ผ่านมา

ด้วงถั่วเหลือง ชื่อสามัญ : Southern Cowpea Weevil , Cowpea Beetle , Oriental Cowpea Bruchid, Azuki Bean Weevil

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Callosobruchus chinensis* (Linnaeus)

ชื่อวงศ์ : Bruchidae

อันดับ : Coleoptera

ความสำคัญและลักษณะการทำลาย ด้วงถั่วเหลืองจะทำลายเมล็ดถั่วทุกชนิด การเข้าทำลายเมล็ดถั่วนั้นทำความเสียหายในเวลารวดเร็วโดยเมล็ดที่ถูกทำลายจะเห็นมีไข่สีขาวติดอยู่ที่ผิวเมล็ดหรือมีรูกลมๆ ซึ่งเกิดจากตัวเต็มวัยที่เจาะออกมา เนื้อภายในเมล็ดจะถูกตัวอ่อนกัดกินจนเหลือแต่เปลือกใช้ทำประโยชน์ไม่ได้ นอกจากนั้นแล้วยังสามารถเจาะถุงพลาสติกได้อีกด้วย (ชุมพล, 2521) การเข้าทำลายแมลงจะเข้าทำลายเมล็ดถั่วตั้งแต่ยังเป็นฝักอยู่ในไร่แล้วเจริญเติบโตและขยายพันธุ์ต่อในโรงเก็บ

รูปร่างลักษณะและวงจรชีวิต รูปร่างลักษณะของตัวเต็มวัยของด้วงถั่วเหลืองแต่มีขนาดเล็กกว่า คือ 2.5-3.0 มิลลิเมตรและมีความแตกต่างที่เห็นได้ชัดระหว่างด้วงทั้งสองชนิด คือ ด้วงถั่วเหลือง scutellum มีสีขาวหนวดของตัวผู้เป็นแบบ pectinate ตัวเมียเป็นแบบ subserrate บนปีกทั้งสองข้างมีแถบสีน้ำตาลอ่อน ส่วนท้องปลายสุดของลำตัวจะมีสีขาว

การแพร่กระจายและฤดูการระบาด ด้วงถั่วเหลืองมีการแพร่กระจายไปทั่วโลก แต่ทำความเสียหายมากในแถบอบอุ่นและแถบร้อนสามารถบินได้จึงแพร่กระจายได้อย่างรวดเร็วทำลายถั่วได้หลายชนิดจึงทำให้มีพืชอาหารมาก แพร่กระจายทั่วประเทศตลอดปี

พืชอาหาร พืชอาหารมีหลายชนิดเป็นเมล็ดถั่วทุกชนิดรวมทั้งถั่วเหลืองด้วย (ชูวิทย์ และคณะ, 2543)

อุณหภูมิสูงกับการตายของแมลง (lethal influence of high temperature)

แมลงถูกจัดให้เป็นสัตว์เลือดเย็น (poikilothermic or cold-blooded) แมลงจะดำรงอยู่ได้ต้องอยู่ภายใต้ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสม เรียกว่า “favorable range of temperature” หากระดับของอุณหภูมิสูงหรือต่ำมากจนเกินไป อาจมีผลให้แมลงตาย หรือชะลอการเจริญเติบโตได้เนื่องจากแมลงไม่มีระบบกลไกที่จะควบคุมการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในร่างกายให้คงที่ อุณหภูมิในร่างกายของแมลงจะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมโดยรอบอยู่ตลอดเวลาถึงแม้ว่าแมลงสามารถเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิร่างกายของมันไปตามสภาพแวดล้อมได้แต่ในบางสภาวะก็ทำได้ในระดับที่ทนทานได้หรือในช่วงของอุณหภูมิระยะหนึ่งเท่านั้น อุณหภูมิจึงเป็นปัจจัยทางกายภาพมีความสำคัญยิ่งต่อการดำรงชีพของแมลง โดยอุณหภูมิมีผลต่อการดำรงชีพและการอยู่รอดของแมลงใน 2 ลักษณะ คือ มีผลทางตรงต่อการเจริญเติบโต การพัฒนาและการอยู่

รอดของแมลง ส่วนผลทางอ้อมนั้น ได้แก่ ความชื้น ปริมาณฝน ลม ความดันบรรยากาศ (David and George, 2007) แมลงเป็นสัตว์ขนาดเล็กมีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวของร่างกายกับปริมาตรในอัตราส่วนที่สูง ดังนั้นหากมีการสูญเสียน้ำเพียงเล็กน้อยจะมีผลรุนแรงต่อสมดุลของน้ำในร่างกายของแมลง (Chapman, 1998) และเมื่อแมลงได้รับความร้อนในอัตราที่ไม่ต่อเนื่อง เช่น การได้รับความร้อน 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ซึ่งสภาวะเครียดนี้ทำให้แมลงจะมีการผลิต heat shock protein เพื่อให้ตัวเองอยู่รอด (David and George, 2007) อุณหภูมิสูงมีผลต่อการตายของแมลง (lethal influence of high temperature) แมลงแต่ละชนิดและแต่ละสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน ย่อมมีความทนทานต่ออุณหภูมิสูงได้ไม่เท่ากันรวมทั้ง มีศักยภาพในการทนทานได้ในช่วงอุณหภูมิระดับหนึ่งเท่านั้นแต่หากอุณหภูมิสูงกว่านี้จะเกิดอันตรายแก่ชีวิตได้ ความทนทานต่ออุณหภูมิสูงของแมลงมีแตกต่างกันไปตามชนิดของแมลงและประสบการณ์ในการเผชิญต่อสภาพอุณหภูมิสูงของแมลงแต่ละชนิด การตายอันเนื่องมาจากอุณหภูมิสูงเกิดขึ้นเนื่องจากการขาดน้ำและอัตราการเผาผลาญของร่างกายที่เพิ่มมากขึ้นทำให้สูญเสียพลังงานมากและแมลงจะตายในที่สุด การควบคุมแมลงโดยการใช้อุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียสติดต่อกันทำให้แมลงบางชนิดหยุดการเจริญเติบโตและตายได้ และพบว่าหากใช้อุณหภูมิระหว่าง 55-60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง หรือ อุณหภูมิระหว่าง 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาทีจะทำให้แมลงทุกชนิดตายหมด (กรมการข้าวกระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2551) ที่อุณหภูมิ 25-32 องศาเซลเซียสเป็นช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมในการดำรงชีวิตและแพร่ขยายพันธุ์ของแมลงศัตรูโรงเก็บมากที่สุด อุณหภูมิตั้งแต่ 45 องศาเซลเซียสขึ้นไปสามารถทาให้แมลงตายได้ภายใน 1 วัน และที่อุณหภูมิมากกว่า 62 องศาเซลเซียสขึ้นไปสามารถทำให้แมลงตายได้ภายใน 1 นาที (Banks and Fields, 1995)

การให้ความร้อนโดยคลื่นวิทยุ (Radio frequency dielectric heating)

คลื่นความถี่วิทยุเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าประเภทหนึ่งที่มีความถี่อยู่ในช่วงระหว่าง 3 KHz–300 MHz ในรูปของ non-ionizing ของการแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและสามารถอธิบายได้ในรูปแบบของเวลาของการเปลี่ยนแปลงของไฟฟ้าที่เคลื่อนที่ตัดผ่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อคลื่นไมโครเวฟ (MV) หรือ คลื่นความถี่วิทยุ (RF) อยู่ในสภาวะที่เป็นกลางผลเห็นได้ชัดคือการเกิดความร้อน (Francesco *et al*., 2006) สำหรับประเทศไทยช่วงคลื่นความถี่วิทยุที่นำมาประยุกต์ใช้อยู่ที่ระดับ 13.56, 27.12 และ 40.68 MHz โดยเป็นความถี่ที่ใช้งานสำหรับ radio frequency heating และ microwave heating ได้จำแนกโดย FCC (Federal Communications Commission) และได้กำหนดให้ใช้ในช่วง 3 ความถี่ ระดับ 13.56, 27.12 และ 40.68 MHz เป็นสากล โดย คลื่นความถี่วิทยุมีความสามารถกระจายความร้อนผ่านวัตถุที่มีความหนาได้ดีกว่าคลื่นไมโครเวฟ สามารถนามาใช้ในกระบวนการกับวัตถุที่มีขนาดใหญ่หลายชิ้นพร้อม ๆ กัน (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน , 2554)

หลักการทำงานของเครื่องคลื่นความถี่วิทยุ

การใช้คลื่นความถี่วิทยุจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าหมุนเวียนสลับระหว่างของทั้งสองขั้ว electrode ซึ่งมีผลทำให้วัตถุเกิดความร้อนขึ้น วัตถุที่อยู่ในรูปของ dielectric จะเกิดการตอบสนองกับ capacitor plates ซึ่งเป็นสลับของกระแสระหว่างขั้วบวกไปเป็นลบ จำนวนหลายครั้งใน 1 วินาที ซึ่งเป็นตัวที่จะกำเนิดความถี่ ดังตัวอย่างเช่น ที่ความถี่ 27.12 MHz เครื่องสามารถทำงานได้ที่ความถี่ 27.12 MHz ขั้วของ electrodes ก็จะเปลี่ยนแปลงเป็นจำนวน 27.12 ล้านครั้งต่อวินาทีภายใต้สภาพเช่นนี้จะเป็นการเกิดปฏิกิริยาที่เป็นพลังที่เกิดกับขั้ว electrodes ภายในตัวของวัตถุเองซึ่งจะทำให้เกิดความร้อนขึ้นในตัวผลิตภัณฑ์ (Ryynänen, 1995)

การเกิดความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุ

ความร้อนที่เกิดขึ้นจากการใช้คลื่นความถี่วิทยุ (RF) นั้นเกิดขึ้นมาจากปฏิกิริยาภายในร่วมกันระหว่างพลังงานของความยาวคลื่น และสมบัติ dielectric ซึ่งเป็นคุณสมบัติพื้นฐานของน้ำ ผลของปฏิกิริยาร่วมดังกล่าวทำให้เกิดปรากฏการณ์ 2 รูปแบบ คือ

1. Intermolecule friction ที่เกิดจากแรงดึงดูดกันระหว่างโมเลกุล

2. Hysteresis เป็นแรงต้านทางประจุไฟฟ้าเนื่องมาจากแรงเฉื่อย ซึ่งขึ้นกับจำนวนประจุ มวล และรูปร่างของโมเลกุลเมื่อวัตถุมีการดูดซับพลังงานจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าก่อให้เกิดความร้อนได้ 2 แบบร่วมกัน ได้แก่

1. Ionic Polarization เป็นการเกิดความร้อนเนื่องจากผลของการเคลื่อนที่ของไอออนในสารละลายเมื่อเข้าไปอยู่ในสนามไฟฟ้าโดยแต่ละไอออนที่มีประจุไฟฟ้าประจำตัวถูกกระตุ้นและเร่งให้เกิดการเคลื่อนที่ทำให้เกิดการเสียดสีกันระหว่างไอออน ในขณะเดียวกันเกิดการเปลี่ยนรูปของพลังงานจลน์เป็นพลังงานความร้อนขึ้น แล้วเกิดการกระจายความร้อนไปยังส่วนอื่นๆ ซึ่งการเกิดความร้อนลักษณะนี้เกิดขึ้นในส่วนของของเหลวภายในเซลล์ที่อยู่ในรูปของสารละลายต่างๆ

2. Dipole Rotation เป็นการเกิดความร้อนกับสารประกอบที่มีขั้ว (polar) ซึ่งได้แก่ น้ำ และของเหลวในตัววัตถุ ในสภาพปกติการเรียงตัวของประจุบวกและประจุลบของสารประกอบที่มีขั้วนี้เรียงตัวอย่างไม่มีระเบียบ (random oriented) เมื่อวัตถุนั้นๆ เข้าไปอยู่ในสนามไฟฟ้าประจุบวกและประจุลบของสารเกิดการเคลื่อนที่เพื่อเปลี่ยนทิศทางการเรียงตัวที่เป็นระเบียบขึ้น การเคลื่อนที่ด้วยการหมุนตัวกลับไปมาเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วตามระดับความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ให้ ซึ่งในคลื่นความถี่วิทยุ การเคลื่อนที่ของประจุ 3-300 ล้านครั้งต่อ 1 วินาที ซึ่งผลของความเร็วในการหมุนตัวและการเสียดสีกันก่อให้เกิดเป็นความร้อนขึ้นมาอย่างรวดเร็วภายในระยะเวลา 2-3 วินาทีหรือประมาณ 1 นาที หลังจากได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ต่อจากนั้นความร้อนที่เกิดขึ้นเกิดการกระจายตัวไปยังส่วนอื่นๆ เช่น เมื่อทดสอบผลไม้ที่มีแมลงอยู่ภายในจะทำให้ผลไม้และแมลงเกิดความร้อนในเวลาเดียวกัน (Wang *et al*., 2002) โดยการให้พลังงานแก่วัตถุที่อยู่ระหว่างแผ่นเหล็กสองแผ่นจะเป็นอัตราความร้อนที่แตกต่างกันซึ่งจะมีอัตราใกล้เคียงกับความร้อนที่เกิดขึ้นโดยน้ำร้อน อากาศร้อน พลังงานคลื่นความถี่วิทยุ หรือพลังงานคลื่นไมโครเวฟ (Mitcham *et al*., 2004) ความร้อนของคลื่นความถี่วิทยุจะขึ้นอยู่กับความเป็นฉนวนและความสามารถในการเป็นตัวนำกระแสไฟฟ้าซึ่งเป็นค่าของคุณสมบัติของวัสดุทางการเกษตรและชีวภาพ โดยเป็นอิทธิพลมาจากความถี่ อุณหภูมิ ปริมาณเกลือ และปริมาณความชื้น (Ryynänen, 1995)

ผลของความร้อนจากการให้ความร้อนโดยคลื่นวิทยุ ต่อการกำจัดแมลงในผลผลิตเกษตร

การประยุกต์ใช้คลื่นความถี่วิทยุในกระบวนการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวในผลผลิตเกษตร เมล็ดพันธุ์ เมล็ดพืช และผลิตผลทางการเกษตรอื่นๆ ทั้งนี้เพื่อสนองต่อนโยบายเกษตรและผลิตภัณฑ์อาหารที่สะอาดโดยไม่ใช้สารเคมี (สถาบันวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว, 2551) การใช้คลื่นความถี่วิทยุกับผลิตผลทางการเกษตรนั้นเริ่มมีการศึกษามาประมาณ 40 ปีมาแล้วจนถึงปัจจุบันได้มีการประยุกต์คลื่นความถี่วิทยุในระดับอุตสาหกรรมและทางการค้าเพื่อกำจัดสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก เช่น เชื้อโรค จุลินทรีย์ และแมลง โดยใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณมาก ซึ่งเป็นการลดขั้นตอนการจัดการและไม่ทำลายคุณภาพของผลิตภัณฑ์เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการรมสารเคมี การประยุกต์ใช้คลื่นความถี่วิทยุใช้ที่ความถี่ 13.56, 27.12 และ 40.68 MHz (Wang and Tang, 2001) และ Wang *et al*. (2002) ได้รายงานว่า การใช้พลังงานคลื่นความถี่วิทยุ 100% ที่อุณหภูมิ 50°C ระยะเวลา 7-10 นาที สามารถกำจัดแมลงที่ในวอลนัทได้โดยไม่ทำให้คุณภาพของวอลนัทเปลี่ยนแปลง และเมื่อทำการทดสอบในการกำจัด codling moth lavae ในเชอรี่เชอรี่ การใช้พลังงานคลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 48°C ที่ระยะเวลา 10-20 นาที พบว่ามีประสิทธิภาพ 100% ในการกำจัด codling moth lavae ใน

เชอรี่และทำให้คุณภาพของเชอรี่ลดลงเพียงเล็กน้อยหรือไม่ลดลงเลย (Monzon *et al*., 2004) นอกจากนั้นมีรายงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้คลื่นความถี่วิทยุในการควบคุมแมลงในโรงเก็บวอลนัท ซึ่งทำให้ความร้อนภายในวอลนัทสูงถึง 55 องศาเซลเซียส หรือสูงกว่านั้น และมีผลในการกำจัดแมลงในระยะออกดักแด้ได้ 100% (Mitcham *et al*., 2004) ในปี 2006 ได้มีรายงานการทดลองการใช้คลื่นความถี่วิทยุในระดับของอุตสาหกรรมวอลนัทขนาดใหญ่ โดยมีการทดสอบกับระบบการลำเลียงวอลนัทในโรงงานขนาดใหญ่ ที่กำลังไฟ 25 kW ในระดับความถี่ 27 MHz พบว่า ในระดับความร้อนที่เกิดจากคลื่นความถี่วิทยุที่สูงขึ้นสามารถกำจัดหนอน navel orange worm และแมลงศัตรูต่างๆ และสามารถลดความชื้นสัมพัทธ์ของวอลนัทได้ นอกจากนั้นการใช้คลื่นความถี่วิทยุยังเป็นการกำจัดแมลงศัตูรในโรงเก็บอย่างเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Wang *et al*., 2007a)

Nelson (1996) พบว่า แมลงหลายชนิดที่เข้ามาทำลายผลผลิตทางการเกษตรสามารถถูกควบคุมได้โดยการนำวัตถุดิบนั้นมาผ่านคลื่นความถี่วิทยุในระยะเวลาสั้นๆ โดยไม่ทำลายผลผลิต โดยทั่วไปแล้วกรรมวิธีในการควบคุมแมลงโดยผ่านคลื่นความถี่วิทยุที่ประสบความสำเร็จนั้นจะใช้อุณหภูมิที่ 40-90 องศาเซลเซียส โดยขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของผลผลิต ลักษณะของแมลง และธรรมชาติของคลื่นความถี่วิทยุ Nelson and Charity (1972) รายงานว่าสามารถใช้คลื่นความถี่วิทยุเพื่อทำการควบคุมแมลงในการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ (stored-grain insect control) โดยการใช้คลื่นความถี่ที่ 39 MHz เป็นเวลา 3 วินาที และ 2,540 MHz เป็นเวลา 13 วินาที สามารถทำลายตัวเต็มวัยของด้วงงวงข้าว (rice weevils) ในเมล็ดข้าวสาลีได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสามารถใช้ทดแทนการรมด้วยสารเคมี (fumigation) ได้และไม่ทำให้มีสารพิษตกค้างในผลผลิต

Mitcham *et al*. (2004) ศึกษาการใช้คลื่นความถี่วิทยุในการกำจัดแมลง codling moth (*Cydia pomonella*), navel orangeworm (*Amyelois transitella*) และ Indianmeal moth (*Plodia interpunctella*) ที่เป็นแมลงศัตรูสำคัญที่เข้าทำลายและทำให้เกิดความเสียหายต่อคุณภาพของผลผลิตวอลนัท โดยให้ความร้อนที่เกิดจากคลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 47, 50, 53 และ 55 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 นาที พบว่าสามารถฆ่าแมลงได้ 32, 77, 99 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

Wang and Tang (2004) พบว่าการให้ความร้อนที่เกิดจากคลื่นความถี่วิทยุที่ระดับอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 5 นาที สามารถทำให้ตัวหนอน *Amyelois transitella* Walker (navel orangeworm) วัยที่ 5 ตาย 100 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ปริมาณความชื้นของเมล็ดวอลนัทลดลงไปเพียงเล็กน้อยและไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของวอลนัท Johnson *et al*. (2004) ได้จำแนกระยะการเจริญเติบโตของมอดแป้ง (red flour beetle) ที่มีความทนทานต่อคลื่นความถี่วิทยุ 27 MHz พบว่าหนอนระยะวัยแก่ (วัย 6-8) มีความทนต่อคลื่นความถี่วิทยุที่ระดับอุณหภูมิ 48-50 องศาเซลเซียสมากที่สุด รองลงมาได้แก่ ดักแด้ ตัวเต็มวัย ไข่ และหนอนวัยอ่อน ตามลำดับ และพบว่าที่อุณหภูมิ 52 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที สามารถกำจัดหนอนวัยแก่ ในเมล็ดอัลมอนด์ วอลนัท และพิสทาชิโอได้ 100 เปอร์เซ็นต์ มีการใช้คลื่นความถี่วิทยุในระดับของอุตสาหกรรมในการค้าวอลนัทเพื่อเป็นทางเลือกในการทดแทนการรมสารเคมี โดยมีการใช้คลื่นความถี่วิทยุในระดับของอุตสาหกรรมวอลนัทขนาดใหญ่ที่กำลังไฟ 25 kW ความถี่ 27.12 MHz ที่ระดับอุณหภูมิผิวของวอลนัทเฉลี่ย 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที พร้อมกับการลำเลียงวอลนัทไปตามระบบสายพาน ส่งผลให้แมลงศัตรู ได้แก่ navel orangeworm, codling moth, Indianmeal moth และมอดแป้งตาย 100 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของวอลนัท และสามารถเก็บรักษาวอลนัทภายใต้อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ได้นานถึง 2 ปี (Wang *et al*., 2007b)

งานวิจัยด้านการใช้คลื่นความถี่วิทยุในประเทศไทยได้มีการศึกษาวิจัยโดยสถานวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดยการศึกษาการประยุกต์ใช้คลื่นความถี่วิทยุในผลผลิตทางการเกษตร พบว่าการใช้คลื่นความถี่วิทยุมีประสิทธิภาพและสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างแท้จริงในระดับการค้า (สถาบันวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว, 2551) ดังนี้ ณคณิณ (2551) พบว่า การใช้ความร้อนที่เกิดจากคลื่นความถี่วิทยุที่

อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 นาที สามารถกำจัดผีเสื้อข้าวสารที่อาศัยปนอยู่ในข้าวสารขาวดอกมะลิได้ดีในระดับอุณหภูมิที่สูง เวลาสั้น และไม่ทำให้เกิดการสูญเสียปริมาณของสาร 2-acetyl-1-pyrroline ในเมล็ดข้าว กฤษณา (2552) ศึกษาการให้ความร้อนที่เกิดจากคลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 4 ระดับ (55, 60, 65 และ 70 องศาเซลเซียส) ในระยะเวลา 60, 90, 120, 150 และ 180 วินาที และผลของความร้อนเมื่อตำแหน่งของมอดหัวป้อมที่ปะปนไปกับภาชนะบรรจุข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 พบว่าความร้อนที่เกิดจากคลื่นความถี่วิทยุที่ 70 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 150 วินาที ทำให้แมลงตาย 100 เปอร์เซ็นต์ และทุกตำแหน่งไม่แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังสามารถใช้คลื่นความถี่วิทยุในการกำจัดแมลงร่วมกับวิธีการอื่นๆ ได้อีกด้วย เพื่อเป็นการประหยัดเวลาและง่ายแก่การจัดการ เช่น การใช้คลื่นความถี่วิทยุร่วมกับวิธีการควบคุมสภาพบรรยากาศโดยการลดก๊าซออกซิเจนเพิ่มก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นซึ่งจะเป็นการเพิ่มกระบวนการเกิดเมแทบอลิซึมและความต้องการก๊าซออกซิเจนของแมลงมากขึ้น อย่างไรก็ตามควรคำนึงถึงผลกระทบของอุณหภูมิที่จะมีต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ และสามารถกำจัดแมลงได้อย่างสมบูรณ์ Janhang *et al.* (2005) ศึกษาการให้ความร้อนที่เกิดจากคลื่นความถี่วิทยุในการกำจัดมอดข้าวเปลือกในเมล็ดพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 พบว่า ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสขึ้นไปสามารถกำจัดมอดข้าวเปลือกที่เข้าทำลายได้ และที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 นาที สามารถลดการเข้าทำลายของเชื้อราที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์ข้าวได้

Von Hörsten (2007) ศึกษาการให้ความร้อนที่เกิดจากคลื่นความถี่วิทยุในการกำจัดด้วงงวงข้าวเปรียบเทียบกับการใช้ตู้อบลมร้อน พบว่า การใช้คลื่นความถี่วิทยุสามารถกำจัดด้วงงวงข้าวในระยะตัวเต็มวัยได้ดีกว่าการใช้ตู้อบลมร้อนโดยการใช้คลื่นความถี่วิทยุใช้ระดับอุณหภูมิที่ต่ำกว่าและระยะเวลาที่สั้นกว่า นอกจากนี้ยังได้ทดลองในการกำจัดมอดแป้งในอาหารเลี้ยงสัตว์ พบว่า การให้คลื่นความถี่วิทยุที่ 27.12 MH อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 1 นาทีเป็นต้นไป ให้ผลในการกำจัดมอดแป้งทุกระยะการเจริญเติบโตได้ดีที่สุด อีกทั้งยังคงคุณภาพทางเคมีของอาหารไก่ อันได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้า และสารสกัดที่ปราศจากไนโตรเจน (กรรณิการ์, 2552)

7. วิธีดำเนินการ

อุปกรณ์

- เมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 พันธุ์เชียงใหม่ 6 พันธุ์เชียงใหม่ 1 และพันธุ์เชียงใหม่ 84-2
- เมล็ดถั่วเหลืองที่มีด้วงถั่วเหลืองเข้าทำลายที่ระยะไข่ ระยะหนอน ระยะดักแด้และระยะตัวเต็มวัย
- ชุดอุปกรณ์สำหรับเลี้ยงและขยายจำนวนแมลง
- ชุดอุปกรณ์สำหรับตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์
- ชุดอุปกรณ์สำหรับการทดสอบโดยเครื่องกำเนิดคลื่นความถี่วิทยุ
- เครื่องกำเนิดคลื่นความถี่วิทยุที่ความถี่ 27.12 MHz

วิธีดำเนินการทดลอง

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาประสิทธิภาพของคลื่นความถี่วิทยุในการควบคุมกำจัดด้วงถั่วเหลืองในเมล็ดถั่วเหลืองและการกลับเข้าทำลายของด้วงถั่วเหลือง ทำการทดลองโดยนำเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่มีการเข้าทำลายของด้วงถั่วเหลืองที่ระยะการเจริญเติบโต 4 ระยะ ได้แก่ ระยะไข่ ระยะหนอน ระยะดักแด้ ระยะตัวเต็มวัย มาผ่านคลื่นความถี่วิทยุที่ 27.12MHz ระดับพลังงานเริ่มต้น 25 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 50 และ 55 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 3 นาที แล้วทำการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดด้วงถั่วเหลืองและตรวจสอบ

การกลับเข้าทำลายของแมลง วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block จำนวน 4 ซ้ำ โดยมีเมล็ดถั่วเหลืองที่มีแมลงเข้าทำลายที่ระยะต่างๆ เป็นกรรมวิธี

วิธีปฏิบัติการทดลอง

1. นำเมล็ดถั่วเหลืองพันธุ์ ชม 60 ที่มีแมลงเข้าทำลายที่ระยะต่างๆ ได้แก่
    1) เมล็ดถั่วเหลืองที่มีด้วงถั่วเหลืองเข้าทำลายในระยะไข่ จำนวนหน่วยทดลองละ 350 กรัม
    2) เมล็ดถั่วเหลืองที่มีด้วงถั่วเหลืองเข้าทำลายในระยะหนอน จำนวนหน่วยทดลองละ 350 กรัม
    3) เมล็ดถั่วเหลืองที่มีด้วงถั่วเหลืองเข้าทำลายในระยะดักแด้ จำนวนหน่วยทดลองละ 350 กรัม
    4) เมล็ดถั่วเหลืองที่มีด้วงถั่วเหลืองเข้าทำลายในระยะตัวเต็มวัย จำนวนหน่วยทดลองละ 350 กรัม
    5) เมล็ดถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุ

    มาตัวอย่างทดลองผ่านคลื่นความถี่วิทยุที่ 27.12MHz ระดับพลังงานเริ่มต้น 25 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 50 และ 55 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 3 นาที
2. นำเมล็ดถั่วเหลืองที่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุมาเลี้ยงต่อจนเป็นตัวเต็มวัย (ระยะเวลาประมาณ 1 รอบการเจริญประมาณ 33-35 วัน)
3. เมื่อครบกำหนดทำตรวจนับการตายของด้วงถั่วเหลืองโดยนับจากจำนวนตัวเต็มวัยที่รอดชีวิต
4. ตรวจสอบการกลับเข้าทำลายของแมลงหลังผ่านคลื่นความถี่วิทยุ โดยนำเมล็ดถั่วเหลืองที่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุตามกรรมวิธีต่างๆ จากขั้นตอนที่ 1 มาบรรจุในถุงบรรจุเมล็ดพันธุ์ที่มีรูปแบบและชนิดเดียวกับที่ใช้สำหรับบรรจุเมล็ดพันธุ์แล้วทำการเก็บรักษาไว้ในสภาพการเก็บรักษาตามการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง ตรวจสอบการกลับมาเข้าทำลายของแมลง

ขั้นตอนที่ 2. ศึกษาผลของการให้คลื่นความถี่วิทยุต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง ทำการทดลองโดยนำเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 พันธุ์เชียงใหม่ 6 พันธุ์เชียงใหม่ 1 และพันธุ์เชียงใหม่ 84-2 ที่ปลูกในช่วงฤดูแล้งและฤดูฝน (ปี2559-60) มาผ่านคลื่นความถี่วิทยุที่ 27.12 MHz ระดับพลังงานเริ่มต้น 25 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 50 และ 55 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 นาที โดยแต่ละการทดลองวางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block จำนวน 4 ซ้ำ โดยมีพันธุ์เป็นกรรมวิธี

วิธีปฏิบัติการทดลอง

1. นำเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60, เชียงใหม่ 6, เชียงใหม่ 1 และพันธุ์เชียงใหม่ 84-2 ที่ปลูกในฤดูฝนและฤดูแล้ง ปี 2559 และปี 2560 จำนวนตัวอย่างละ 500 กรัม บรรจุลงในภาชนะบรรจุแล้วนำตัวอย่างไปผ่านคลื่นความถี่วิทยุที่ 27.12 MHz ระดับพลังงานเริ่มต้น 25 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 50 และ 55 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 3 นาที
2. นำตัวอย่างเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุแล้วมาตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ ถั่วเหลืองและคุณภาพการเก็บรักษาทำการตรวจสอบทุก 2 เดือนเป็นระยะเวลา 6 เดือน

การบันทึกข้อมูล

1. อัตราการตายของด้วงถั่วเหลืองที่ระยะต่างๆ
2. อัตราการรอดของด้วงถั่วเหลืองที่ระยะต่างๆ
3. เปอร์เซ็นต์การกลับเข้าทำลายของด้วงถั่วเหลืองที่ระยะต่างๆ
4. เปอร์เซ็นต์ความงอก
5. ความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์
6. ความมีชีวิตของเมล็ดพันธุ์

ระยะเวลาดำเนินการวิจัย

ตุลาคม 59 - กันยายน 61

สถานที่ดำเนินการวิจัย

ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่

8. ผลการทดลองและวิจารณ์

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาประสิทธิภาพของคลื่นความถี่วิทยุในการควบคุมกำจัดด้วงถั่วเหลืองในเมล็ดถั่วเหลืองและการกลับเข้าทำลายของด้วงถั่วเหลือง

ศึกษาประสิทธิภาพของคลื่นความถี่วิทยุในการควบคุมกำจัดด้วงถั่วเหลืองในเมล็ดถั่วเหลืองและการกลับเข้าทำลายของด้วงถั่วเหลือง พบว่า ในทุกระยะของการเจริญเติบโตของแมลง (ระยะไข่ ระยะหนอน ระยะดักแด้ ระยะตัวเต็มวัย) มีการตอบสนองต่อการให้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุ พบว่าการให้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส 3 นาที มีประสิทธิภาพในการกำจัดด้วงถั่วเหลืองได้ 100 เปอร์เซ็นต์อัตราการตายเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ อัตราการรอด และการกลับเข้าทำลาย เท่ากับ 0 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ได้รับความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุ ซึ่งสอดคล้องกับ Mitcham *et al*. (2004) พบว่า การให้ความร้อนที่เกิดจากคลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 นาที พบว่าสามารถฆ่าแมลงศัตรูสำคัญของผลผลิตวอลนัท เช่นแมลง codling moth (*Cydia pomonella*), navel orangeworm (*Amyelois transitella*) และ Indianmeal moth (*Plodia interpunctella*) ได้ 100 เปอร์เซ็นต์ และ Wang and Tang (2004) กล่าวไว้ว่าการให้ความร้อนที่เกิดจากคลื่นความถี่วิทยุที่ระดับอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 5 นาที สามารถทำให้ตัวหนอน *Amyelois transitella* Walker (navel orangeworm) วัยที่ 5 ตาย 100 เปอร์เซ็นต์

การตอบสนองของแมลงในการได้รับความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส 3 นาที พบว่า ระยะการเจริญเติบโตที่ระยะไข่มีการตอบสนองสูงสุด รองลงมา ได้แก่ ระยะตัวเต็มวัย ระยะหนอน และระยะดักแด้เป็นระยะที่ตอบสนองน้อยสุด (ทนทานมากสุด) พบว่า อัตราการตาย เท่ากับ 99 98 97 และ 95 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ อัตราการรอด เท่ากับ 0.1 0.2 0.3 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีของคลื่นความถี่วิทยุของ Cwiklinski and von Hoersten (1999) ว่าคลื่นความถี่วิทยุสามารถทำให้เกิดความร้อนได้ดีในวัตถุที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ ดังนั้นแล้วการตอบสนองต่อคลื่นความถี่วิทยุจึงมีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำ หรือโมเลกุลที่มีขั้วในตัววัตถุนั้นๆ ซึ่งการเจริญเติบโตที่ระยะไข่จะมีองค์ประกอบของน้ำหรือของเหลวในตัวสูงกว่าที่ระยะการเจริญอื่นๆ จึงทำให้ตอบสนองต่อคลื่นความถี่วิทยุและเกิดประสิทธิภาพในการกำจัดด้วงถั่วเหลืองสูงสุด

การกลับเข้าทำลายของด้วงถั่วเหลือง พบว่า ทุกระยะการเจริญเติบโต (ระยะไข่ หนอน ดักแด้ ตัวเต็มวัย) ที่ได้รับความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุที่ 55 องศาเซลเซียส 3 นาที มีประสิทธิภาพในการกำจัดด้วงถั่วเหลืองได้ 100 เปอร์เซ็นต์ และไม่พบการกลับเข้าทำลายของด้วงถั่วเหลือง การกลับเข้าทำลายสูงสุดในระยะตัวเต็มวัยที่ไม่ได้รับความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุ และที่ได้รับความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส 3 นาที เท่ากับ 75 และ 60 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ รองลงมา ได้แก่ ระยะดักแด้ที่ไม่ได้รับความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุและที่ได้รับความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เท่ากับ 50 และ 42 เปอร์เซ็นต์ ระยะไข่ ไม่ได้รับความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุและที่ได้รับความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เท่ากับ 43 และ 35 เปอร์เซ็นต์ และ ระยะหนอนไม่ได้รับความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุและที่ได้รับความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เท่ากับ 30 และ 25 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และพบการกลับเข้าทำลายของด้วงถั่วเหลืองสูงสุดในเมล็ดถั่วเหลืองชุดควบคุม (ไม่ได้รับความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุ) ซึ่งการกลับเข้าทำลายของด้วงถั่วเหลืองในชุดควบคุมสูงสุดในระยะตัวเต็มวัย 75 เปอร์เซ็นต์ ระยะดักแด้ 50 เปอร์เซ็นต์ ระยะไข่ 43 เปอร์เซ็นต์ และ ระยะหนอน 30 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งการ

กลับเข้าทำลายของแมลงจะมีความสัมพันธ์กับลักษณะการเก็บรักษาปริมาณแมลงศัตรูในโรงเก็บร่วมด้วย (ตารางที่ 2)

ขั้นตอนที่ 2. ศึกษาผลของการใช้คลื่นความถี่วิทยุต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง

ศึกษาผลของการใช้คลื่นความถี่วิทยุต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ พบว่า เมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่ผ่านการให้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุที่ปลูกในฤดูแล้งมีคุณภาพเมล็ดพันธุ์และคุณภาพการเก็บรักษาสูงกว่าและเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่ปลูกในฤดูฝนในทุกพันธุ์ ถั่วเหลืองพันธุ์ฝักแห้งมีคุณภาพการเก็บรักษาสูงกว่าพันธุ์ฝักสดในทั้ง 2 ฤดูปลูก และไม่มีความแตกต่างของคุณภาพเมล็ดพันธุ์ในพันธุ์ฝักแห้ง พันธุ์เชียงใหม่ 60 และพันธุ์เชียงใหม่ 6 การตอบสนองต่อคลื่นความถี่วิทยุในถั่วเหลืองฝักสด พบว่า พันธุ์เชียงใหม่ 1 มีแนวโน้มคุณภาพเมล็ดพันธุ์สูงกว่าพันธุ์เชียงใหม่ 84-2 แต่ไม่แตกต่างกันมาก การได้รับความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุในเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองทุกพันธุ์ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส นาน 3 นาที มีผลต่อการเสื่อมคุณภาพเมล็ดพันธุ์สูงสุด

เมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่ปลูกในฤดูแล้ง ในเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองพันธุ์ฝักแห้ง (พันธุ์เชียงใหม่ 60 และเชียงใหม่ 6) พบว่า เมล็ดพันธุ์ชุดควบคุมที่ไม่ได้ผ่านความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุ เปอร์เซ็นต์ความงอกเริ่มต้นจนเก็บรักษาครบ 6 เดือน อยู่ระหว่าง 99-74 เปอร์เซ็นต์ ความแข็งแรงเริ่มต้นจนเก็บรักษาครบ 6 เดือน อยู่ระหว่าง 98-67 เปอร์เซ็นต์ ความมีชีวิตเริ่มต้นจนเก็บรักษาครบ 6 เดือน อยู่ระหว่าง 95-65 เปอร์เซ็นต์ ในเมล็ดพันธุ์ที่ได้รับความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุที่ 50 องศาเซลเซียส 3 นาที เปอร์เซ็นต์ความงอกเริ่มต้นจนเก็บรักษาครบ 6 เดือน อยู่ระหว่าง 97-78 เปอร์เซ็นต์ ความแข็งแรงเริ่มต้นจนเก็บรักษาครบ 6 เดือน อยู่ระหว่าง 94-60 เปอร์เซ็นต์ ความมีชีวิตเริ่มต้นจนเก็บรักษาครบ 6 เดือน อยู่ระหว่าง 98-41 เปอร์เซ็นต์ ในเมล็ดพันธุ์ที่ผ่านความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุที่ 55 องศาเซลเซียส 3 นาที เปอร์เซ็นต์ความงอกเริ่มต้นจนเก็บรักษาครบ 6 เดือน อยู่ระหว่าง 87-65 เปอร์เซ็นต์ ความแข็งแรงเริ่มต้นจนเก็บรักษาครบ 6 เดือน อยู่ระหว่าง 88-52 เปอร์เซ็นต์ ความมีชีวิตเริ่มต้นจนเก็บรักษาครบ 6 เดือน อยู่ระหว่าง 54-50 เปอร์เซ็นต์ ในเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองพันธุ์ฝักสด (พันธุ์เชียงใหม่ 1 และ เชียงใหม่ 84-2) พบว่า ในเมล็ดพันธุ์ชุดควบคุมที่ไม่ได้รับความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุ เปอร์เซ็นต์ความงอกเริ่มต้นจนเก็บรักษาครบ 6 เดือน อยู่ระหว่าง 93-56 เปอร์เซ็นต์ ความแข็งแรงเริ่มต้นจนเก็บรักษาครบ 6 เดือน อยู่ระหว่าง 87-46 เปอร์เซ็นต์ ความมีชีวิตเริ่มต้นจนเก็บรักษาครบ 6 เดือน อยู่ระหว่าง 93-63 เปอร์เซ็นต์ ในเมล็ดพันธุ์ที่ได้รับความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุที่ 50 องศาเซลเซียส 3 นาที เปอร์เซ็นต์ความงอกเริ่มต้นจนเก็บรักษาครบ 6 เดือน อยู่ระหว่าง 89-53 เปอร์เซ็นต์ ความแข็งแรงเริ่มต้นจนเก็บรักษาครบ 6 เดือน อยู่ระหว่าง 81-43 เปอร์เซ็นต์ ความมีชีวิตเริ่มต้นจนเก็บรักษาครบ 6 เดือน อยู่ระหว่าง 94-41 เปอร์เซ็นต์ ในเมล็ดพันธุ์ที่ผ่านความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุที่ 55 องศาเซลเซียส 3 นาที เปอร์เซ็นต์ความงอกเริ่มต้นจนเก็บรักษาครบ 6 เดือน อยู่ระหว่าง 75-49 เปอร์เซ็นต์ ความแข็งแรงเริ่มต้นจนเก็บรักษาครบ 6 เดือน อยู่ระหว่าง 70-40 เปอร์เซ็นต์ ความมีชีวิตเริ่มต้นจนเก็บรักษาครบ 6 เดือน อยู่ระหว่าง 85-40 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 3 4 5)

เมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่ปลูกในฤดูฝน ในเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองพันธุ์ฝักแห้ง (พันธุ์เชียงใหม่ 60 และเชียงใหม่ 6) พบว่า เมล็ดพันธุ์ชุดควบคุมที่ไม่ได้ผ่านความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุ เปอร์เซ็นต์ความงอกเริ่มต้นจนเก็บรักษาครบ 6 เดือน อยู่ระหว่าง 89-54 เปอร์เซ็นต์ ความแข็งแรงเริ่มต้นจนเก็บรักษาครบ 6 เดือน อยู่ระหว่าง 80-45 เปอร์เซ็นต์ ความมีชีวิตเริ่มต้นจนเก็บรักษาครบ 6 เดือน อยู่ระหว่าง 91-45 เปอร์เซ็นต์ ในเมล็ดพันธุ์ที่ผ่านความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุที่ 50 องศาเซลเซียส 3 นาที เปอร์เซ็นต์ความงอกเริ่มต้นจนเก็บรักษาครบ 6 เดือน อยู่ระหว่าง 87-51 เปอร์เซ็นต์ ความแข็งแรงเริ่มต้นจนเก็บรักษาครบ 6 เดือน อยู่ระหว่าง 80-40 เปอร์เซ็นต์ ความมีชีวิตเริ่มต้นจนเก็บรักษาครบ 6 เดือน อยู่ระหว่าง 89-39 เปอร์เซ็นต์ ในเมล็ดพันธุ์ที่ผ่านความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุที่ 55 องศาเซลเซียส 3 นาที เปอร์เซ็นต์ความงอกเริ่มต้นจนเก็บรักษาครบ

6 เดือน อยู่ระหว่าง 85-45 เปอร์เซ็นต์ ความแข็งแรงเริ่มต้นจนเก็บรักษาครบ 6 เดือน อยู่ระหว่าง 69-36 เปอร์เซ็นต์ ความมีชีวิตเริ่มต้นจนเก็บรักษาครบ 6 เดือน อยู่ระหว่าง 85-28 เปอร์เซ็นต์ ในเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองพันธุ์ฝักสด พบว่า ในเมล็ดพันธุ์ชุดควบคุมที่ไม่ได้ผ่านความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุ เปอร์เซ็นต์ความงอกเริ่มต้นจนเก็บรักษาครบ 6 เดือน อยู่ระหว่าง 83-42 เปอร์เซ็นต์ ความแข็งแรงเริ่มต้นจนเก็บรักษาครบ 6 เดือน อยู่ระหว่าง 70-31 เปอร์เซ็นต์ ความมีชีวิตเริ่มต้นจนเก็บรักษาครบ 6 เดือน อยู่ระหว่าง 87-38 เปอร์เซ็นต์ ในเมล็ดพันธุ์ที่ผ่านความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุที่ 50 องศาเซลเซียส 3 นาที เปอร์เซ็นต์ความงอกเริ่มต้นจนเก็บรักษาครบ 6 เดือน อยู่ระหว่าง 78-37 เปอร์เซ็นต์ ความแข็งแรงเริ่มต้นจนเก็บรักษาครบ 6 เดือน อยู่ระหว่าง 70-24 เปอร์เซ็นต์ ความมีชีวิตเริ่มต้นจนเก็บรักษาครบ 6 เดือน อยู่ระหว่าง 83-30 เปอร์เซ็นต์ ในเมล็ดพันธุ์ที่ผ่านความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุที่ 55 องศาเซลเซียส 3 นาที เปอร์เซ็นต์ความงอกเริ่มต้นจนเก็บรักษาครบ 6 เดือน อยู่ระหว่าง 77-29 เปอร์เซ็นต์ ความแข็งแรงเริ่มต้นจนเก็บรักษาครบ 6 เดือน อยู่ระหว่าง 67-20 เปอร์เซ็นต์ ความมีชีวิตเริ่มต้นจนเก็บรักษาครบ 6 เดือน อยู่ระหว่าง 83-22 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 6 7 8)

จากการศึกษาพบว่าเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่ผ่านการให้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุที่ปลูกในฤดูแล้งมีคุณภาพเมล็ดพันธุ์และคุณภาพการเก็บรักษาสูงกว่าและเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่ปลูกในฤดูฝนในทุกพันธุ์ ถั่วเหลืองพันธุ์ฝักแห้งมีคุณภาพการเก็บรักษาสูงกว่าพันธุ์ฝักสดในทั้ง 2 ฤดูปลูก และไม่มีความแตกต่างของคุณภาพเมล็ดพันธุ์ในพันธุ์ฝักแห้ง พันธุ์เชียงใหม่ 60 และพันธุ์เชียงใหม่ 6 การตอบสนองต่อคลื่นความถี่วิทยุในถั่วเหลืองฝักสด พบว่า พันธุ์เชียงใหม่ 1 มีแนวโน้มคุณภาพเมล็ดพันธุ์สูงกว่าพันธุ์เชียงใหม่ 84-2 แต่ไม่แตกต่างกันมาก การได้รับความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุในเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองทุกพันธุ์ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส นาน 3 นาที มีผลต่อการเสื่อมคุณภาพเมล็ดพันธุ์สูงสุด คุณภาพเมล็ดพันธุ์และการเสื่อมสภาพของถั่วเหลืองทุกพันธุ์มีความสัมพันธ์กับค่าคุณภาพเมล็ดพันธุ์เริ่มต้น ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับ ฤดูปลูก ปัจจัยพันธุ์กรรมแม้ว่าจะเป็นเมล็ดพันธุ์พืชชนิดเดียวกันแต่ต่างพันธุ์ จะมีอัตราการเสื่อมสภาพที่ต่างกันซึ่งจะสัมพันธ์กับลักษณะโครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดร่วมด้วย Copeland (1976) พบว่า ในเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่ผลิตในฤดูแล้งจะมีคุณภาพเมล็ดพันธุ์หลังได้รับความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุสูงกว่าเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่ผลิตในฤดูฝนเนื่องจากถั่วเหลืองที่ผลิตในฤดูแล้งจะไม่ประสบกับแห้งสลับเปียกเนื่องจากเจอฝนก่อนเก็บเกี่ยวเหมือนในฤดูฝนซึ่งลักษณะเช่นนี้จะมีผลต่อการเสื่อมสภาพของเมล็ดพันธุ์เป็นอย่างยิ่ง ในเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองพันธุ์ฝักแห้งจะมีการเสื่อมสภาพช้ากว่าเมล็ดพันธุ์ ถั่วเหลืองฝักสดที่แม้จะปลูกในฤดูเดียวกันซึ่งการเสื่อมคุณภาพของเมล็ดพันธุ์นั้นจะมีความสัมพันธ์กับพันธุ์และองค์ประกอบทางเคมีภาพในตัวเมล็ดซึ่งในถั่วเหลืองฝักสดจะมีปริมาณน้ำตาลในเมล็ดสูงกว่าถั่วเหลืองฝักแห้งเมื่อเมล็ดได้รับความร้อนจึงเสมือนการเร่งกระบวนการเสื่อมสภาพภายในเมล็ดได้เร็วกว่าถั่วเหลืองฝักแห้ง การเสื่อมคุณภาพของเมล็ดพันธุ์แปรผันตามค่าอุณหภูมิที่ได้รับจากคลื่นความถี่วิทยุ อุณหภูมิที่สูงขึ้นมีผลให้คุณภาพเมล็ดพันธุ์ลดลง เนื่องมาจากการเสื่อมคุณภาพของเมล็ดพันธุ์จะมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิที่เมล็ดได้รับซึ่งมีผลต่อการปฏิกิริยาทางเคมีและกิจกรรมของเอนไซม์ในกระบวนการทางสรีรวิทยาและชีวเคมีต่าง ๆ ภายในเมล็ด โดยอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะส่งเสริมให้เกิดกระบวนการทางเมตาบอลิซึม เช่น การหายใจและการทำงานของเอนไซม์ให้สูงขึ้นส่งผลให้เมล็ดพันธุ์เสื่อมสภาพเร็วขึ้น (Copeland, 1976)

9. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

การให้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุในการควบคุมกำจัดด้วงถั่วเหลืองในเมล็ดถั่วมีประสิทธิภาพในสูงสุดที่การให้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุที่กรรมวิธี 55 องศาเซลเซียส 3 นาที มีประสิทธิภาพในการกำจัดด้วงถั่วเหลืองได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ในทุกระยะของการเจริญเติบโตของแมลง (ระยะไข่ ระยะหนอน ระยะดักแด้ ระยะตัวเต็มวัย) และไม่พบการกลับเข้าทำลายของด้วงถั่วเหลือง การกลับเข้าทำลายพบสูงสุดในระยะตัวเต็มวัย

ทั้งในกรรมวิธีการให้คลื่นความถี่วิทยุที่ 50 องศาเซลเซียส 3 นาที (60 เปอร์เซ็นต์) และชุดควบคุม (75 เปอร์เซ็นต์) การกลับเข้าทำลายของด้วงถั่วเหลืองจะมีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพในการกำจัดด้วงถั่วเหลืองและมีการควบคุมปริมาณแมลงในโรงเก็บร่วมด้วย

การให้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิที่สูงขึ้นมีผลต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์และมีความสัมพันธ์กับพันธุ์และคุณภาพตั้งต้นของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง เมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองฝักแห้งพันธุ์เชียงใหม่ 60 มีคุณภาพเมล็ดพันธุ์สูงสุดหลังได้รับความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุ เมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองฝักแห้งมีคุณภาพเมล็ดพันธุ์และการเก็บรักษาสูงกว่าพันธุ์ฝักสดในทั้ง 2 ฤดูปลูก เมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่ปลูกในฤดูแล้งมีคุณภาพเมล็ดพันธุ์และคุณภาพการเก็บรักษาสูงกว่าและเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่ปลูกในฤดูฝนทั้งในพันธุ์ถั่วเหลืองพันธุ์ฝักแห้งและฝักสด

10. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

สามารถนำองค์ความรู้เรื่องการใช้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในการควบคุมกำจัดด้วงถั่วเหลืองทดแทนการใช้สารเคมีก่อนเข้าสู่กระบวนการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองและเมล็ดพันธุ์พืชตระกูลถั่วชนิดอื่นๆ ในโรงเก็บและเพื่อพัฒนาต่อยอดในระดับอุตสาหกรรมเมล็ดพันธุ์ต่อไป

11. คำขอบคุณ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่ให้การสนับสนุนเงินทุนวิจัยและกรมวิชาการเกษตรที่ให้การสนับสนุนบุคลากร วัสดุ-อุปกรณ์ ตลอดจนปัจจัยต่างๆ ในการดำเนินการวิจัยนี้

12. เอกสารอ้างอิง

กฤษณา สุเมธะ. 2552. ผลของการใช้คลื่นความถี่วิทยุต่อมอดหัวป้อม *Rhyzopertha dominica* (F.) และคุณภาพของข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ105. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 69 หน้า.

กรมการข้าวกระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2551. การจัดการแมลงศัตรูโรงเก็บ. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://www.ricethailand.go.th/rkb/data_007/rice_xx27_gatherNew_005.html (10 ตุลาคม 2554).

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2554. เอกสารเผยแพร่ หมวดที่ 5 การให้ความร้อนโดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ; ชุดการจัดแสดงที่ 15 การให้ความร้อนโดยคลื่นวิทยุ (Radio Frequency Dielectric Heating) [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://www2.dede.go.th/bhrd/old/web_display/websemple/Industrial(PDF)/Bay%2015%20Radio%20Frequency%20Dielectric%20Heating.pdf (12 ตุลาคม 2553).

กรรณิการ์ บัวลอย. 2552. การใช้คลื่นความถี่วิทยุในการควบคุมมอดแป้ง *Tribolium castaneum* (Herbst) ในอาหารสัตว์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 49 หน้า.

ณคณิณ ลือชัย. 2551. การใช้คลื่นความถี่วิทยุในการควบคุมผีเสื้อข้าวสาร *Corcyra cephalonica* (Stainton) และผลต่อคุณภาพของข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 77 หน้า.

ชุมพล กันทะ. 2521. แมลงศัตรูในโรงเก็บ. ภาควิชากีฏวิทยาและโรคพืช คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น : ขอนแก่น

ชูวิทย์ ศุขปราการ กุสุมา นวลวัฒน์ พินิจ นิลพานิชย์ พรทิพย์ วิสารทานนท์ บุษรา จันทร์แก้ว มณี ใจทิพย์ อุไรชื่น และรังสิมา เก่งการพานิช. 2543. แมลงศัตรูผลิตผลเกษตรและการป้องกันกำจัด. กลุ่มงานวิจัยแมลงศัตรูผลิตผลเกษตร กองกีฏและสัตววิทยา กรมวิชาการเกษตร : กรุงเทพฯ

สถาบันวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว. 2551. รายงานฉบับสมบูรณ์ เรื่อง การใช้คลื่นความถี่วิทยุเพื่อเป็นทางเลือกใหม่ในการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตทางการเกษตร [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.phtnet.org/download/phtic-research/110.pdf. (1 สิงหาคม 2554).

สายชล จอมเกาะ. 2548. ประสิทธิภาพของ essential oil จากใบพลู, Piper betle Linnaeus ต่อด้วงถั่วเขียว, *Callosobruchus maculatus [Fabricius]* และด้วงถั่วเหลือง, *Callosobruchus chinensis [Linnaeus]* แมลงศัตรูในโรงเก็บของถั่วอะซูกิ, *Vigna angularis [Wild] Ohwi & Ohashi* . วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น. 76 หน้า.

Banks, H. J. & P. Fields. 1995. Physical Methods for Insect Control in Stored-grain Ecosystems, Chap. 11, pp. 353 - 409 in: Jayas, D.S.; N.D.G. White & W.E. Muir (Eds.): Stored Grain Ecosystems. New York

Chapman, R.F. 1998. Reproductive system: male. pp. 268-294. *In*: R. F. Chapman(ed.), *The insect: structure and function*. Cambridge University, Cambridge. 770 pp.

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

Copeland, L. O. 1976. Principle of seed science and technology. Burgess public. Co., USA.

Cwiklinski, M., and D. von Hoersten. 2001. Effect of exposure to radio-frequency electric fields on Fusarium graminearum in wheat seed. Annual International Meeting of the American Society of Agricultural Engineers. 30 July – 1 Aug 2001. Sacramento, Calif. ASAE Meet. Pap. No. 01-6171.

David, L. D. and D. Y. George. 2007. Physiology of heat sensivity. [online]. Available: http://cipm.ncsu.edu/IPMtext/chap2.pdf (November 7, 2010)

Francesco, M., L. James, R. Vittorio and M. Brian. 2006. Radio-frequency heating of foodstuff : Solution and validation of a mathematical model. [Online]. Available: http:// www.elsevier.com/locate/jfoodeng (April 20, 2010).

Huang. F and B. H. Subramanyam. 2003. Respones of *Corcyra cephalonic* (Staintion) to Pirmiphos-methyl, pinsad, and combination of Pirmiphos-methyl an Synergized pyrethris [Online] Available: Http://www.ncbi.nlm.nih.gov/ent (May 18, 2013)

Janhang, P., N. Krittigamas, W. Lücke, and S. Vearasilp. 2005. Using radio frequency heat treatment to control the insect Rhyzopertha dominica (F.) during storage in rice seed (*Oryza sativa* L.) Tropentag 2005: Conference on International Agricultural Research for Development. 11-13 Oct 2005. Stuttgart-Hohenheim.

Johnson, J. A, K. A. Valero, S. Wang, and J. Tang. 2004. Thermal death kinetics of red flour beetle, Tribolium castaneum (Coleoptera: Tenebrionidae). Journal of Economic Entomology 97: 1868-1873

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 andTechnology.* 33: 93-100.

Monzona, M.E., B. Biasia, T.L. Simpsona, J. Johnsonb, X. Fenga, D.C. Slaughterc and E.J. Mitchama. 2004. Effect of radio frequency heating as a potential quarantine treatment on the quality of 'Bing' sweet cherry fruit and mortality of codling moth larvae. [Online]. Available: http://www.elsevier.com/locate/postharvbio. (April 17, 2010.)

Nelson, S. O. 1996. Review and assessment of radio-frequency and microwave energy for stored-grain insect control. *Transactions of the ASAE,* 39(4): 1475-1484.

Nelson, S.O., and L.F. Charity. 1972. Frequency dependence of energy absorption by insects and grain in electric fields. *Trans of the ASAE,* 15(6): 1099-1102.

Ryynänen, S. 1995. The electromagnetic properties of food materials: A review of the basic principles. *Journal of Food Engineering*. 26: 409–429.

Sharma, K. C.and M. C. Bhargava. 2004: Effect of diflubenzuron on rice moth, Corcyra cephalonica Stainton. Resistant Pest Management Newsletter 14(1): 17-19

Von Hörsten D. 2007. The control of rice weevil by radio frequency. DAAD Workshop ,Thermal methods for quality assurance in postharvest technology' Chiang Mai (Thailand) 25thFeb. -4th Mar. 2007.

Wang, S., M. Monzon, J.A. Johnson, E.J. Mitcham, and J.Tang. 2007a. Industrialscale radio frequency treatment for insect control in walnut I: Heating uniformity and energy efficiency. *Postharvest Biology and Technology.* 45:240-246.

Wang, S., M. Monzon, J. A. Johnson, E. J. Mitcham and J. Tang. 2007b. Industrial-scale radio frequency treatments for insect control in walnuts II: Insect mortality and product quality. *Postharvest Biology and Technology* 45: 247-253.

Wang, S. and J. Tang. 2001. Radio frequency and microwave alternative treatments for insect control in nuts: a review. *Agricultural Engineering Journal* 10(3 and 4):105-120.

Wang, S., and J. Tang. 2004. Radio frequency heating : a potential method for post harvest Pest control in nut and dry products. *Journal of Zhejiang University Science*. 5(10): 1169-1174.

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

13. ภาคผนวก

ตารางที่ 1 ประสิทธิภาพของการให้คลื่นความถี่วิทยุในการควบคุมกำจัดด้วงถั่วเหลืองในเมล็ดถั่วเหลืองที่ระยะการเจริญเติบโตระยะไข่และระยะหนอน แสดงอัตราการตาย อัตราการรอด การกลับเข้าทำลาย

	ระยะไข่			**ระยะหนอน**		
	อัตราการตาย (เปอร์เซ็นต์)	อัตราการอด (เปอร์เซ็นต์)	การกลับเข้าทำลาย (เปอร์เซ็นต์)	อัตราการตาย (เปอร์เซ็นต์)	อัตราการอด (เปอร์เซ็นต์)	การกลับเข้าทำลาย (เปอร์เซ็นต์)
ชุดควบคุม ไม่ผ่าน RF	0^{c}	100^{a}	43^{b}	0^{c}	100^{a}	30^{b}
RF 50 เซลเซียส 3 นาที	99^{b}	0.1^{b}	25^{c}	97^{b}	0.3^{b}	35^{a}
RF 55 เซลเซียส 3 นาที	100^{a}	0^{c}	0^{c}	100^{a}	0^{c}	0^{c}
	**	**	**	**	**	**
	2.51	2.44	4.31	1.42	1.42	3.52

ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพของการให้คลื่นความถี่วิทยุในการควบคุมกำจัดด้วงถั่วเหลืองในเมล็ดถั่วเหลืองที่ระยะการเจริญเติบโตระยะดักแด้และระยะตัวเต็มวัย แสดง อัตราการตาย อัตราการรอด การกลับเข้าทำลาย

	ระยะดักแด้			ระยะตัวเต็มวัย		
	อัตราการตาย (เปอร์เซ็นต์)	**อัตราการอด (เปอร์เซ็นต์)**	**การกลับเข้าทำลาย (เปอร์เซ็นต์)**	**อัตราการตาย (เปอร์เซ็นต์)**	**อัตราการอด (เปอร์เซ็นต์)**	**การกลับเข้าทำลาย (เปอร์เซ็นต์)**
ชุดควบคุม ไม่ผ่าน RF	0^{c}	100^{a}	50^{a}	0^{c}	100^{a}	75^{a}
RF 50 เซลเซียส 3 นาที	96^{b}	0.4^{b}	42^{b}	98^{b}	0.2^{b}	60^{b}
RF 55 เซลเซียส 3 นาที	100^{a}	0^{c}	0^{c}	100^{a}	0^{c}	0^{c}
F-test	**	**	**	**	**	**
CV	2.44	2.45	2.22	**1.47**	2.48	3.14

ตารางที่ 3 ผลของการให้คลื่นความถี่วิทยุต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองชุดควบคุมที่ปลูกในฤดูแล้ง จำนวน 4 พันธุ์ได้แก่ พันธุ์ ชม.60 พันธุ์ ชม.6 ชม.1 และ ชม.84-2 ตลอดช่วงการเก็บรักษาเป็นระยะเวลาต่อเนื่อง 6 เดือน

		ความงอก (%)				ความแข็งแรง (%)				ความมีชีวิต (%)			
		0 เดือน	2 เดือน	4 เดือน	6 เดือน	0 เดือน	2 เดือน	4 เดือน	6 เดือน	0 เดือน	2 เดือน	4 เดือน	6 เดือน
ชุดควบคุม	ชม 60	98^{a}	90^{b}	82^{ab}	74^{a}	97^{a}	82^{a}	75^{a}	66^{a}	93	90^{a}	69^{ab}	65^{a}
ไม่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุ	ชม 6	99^{a}	95^{a}	85^{a}	74^{a}	98^{a}	84^{a}	74^{a}	67^{a}	95	89^{a}	72^{a}	62^{a}
	ชม 1	92^{b}	89^{b}	68^{c}	57^{b}	85^{b}	70^{c}	52^{b}	47^{b}	92	84^{b}	62^{bc}	44^{b}
	ชม 84-2	93^{b}	90^{b}	70^{b}	56^{b}	87^{b}	75^{b}	55^{b}	46^{b}	93	82^{c}	65^{b}	43^{b}
F-test		*	*	*	**	*	*	*	**	ns	*	*	**
CV		2.64	4.27	5.33	6.55	3.9	3.54	6.1	6.45	5.63	2.62	4.26	7.69

ตารางที่ 4 ผลของการให้คลื่นความถี่วิทยุที่ 50 องศาเซลเซียส นาน 3 นาที ต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่ปลูกในฤดูแล้ง จำนวน 4 พันธุ์ได้แก่ พันธุ์ ชม.60 พันธุ์ ชม.6 ชม.1 และ ชม.84-2 ตลอดช่วงการเก็บรักษาเป็นระยะเวลาต่อเนื่อง 6 เดือน

		ความงอก (%)				ความแข็งแรง (%)				ความมีชีวิต (%)			
		0 เดือน	2 เดือน	4 เดือน	6 เดือน	0 เดือน	2 เดือน	4 เดือน	6 เดือน	0 เดือน	2 เดือน	4 เดือน	6 เดือน
ผ่านคลื่นความถี่วิทยุ 50 องศาเซลเซียส 3 นาที	ชม 60	95^{ab}	85^{a}	78^{a}	67^{a}	92^{a}	81^{a}	72^{a}	60^{a}	98^{a}	92^{a}	68^{a}	52^{a}
	ชม 6	97^{a}	83^{a}	80^{a}	68^{a}	94^{a}	79^{a}	72^{a}	61^{a}	98^{a}	90^{a}	69^{a}	51^{a}
	ชม 1	89^{b}	80^{bc}	65^{bc}	53^{b}	79^{b}	70^{b}	50^{b}	43^{b}	92^{b}	82^{c}	60^{c}	43^{b}
	ชม 84-2	87^{b}	82^{b}	68^{b}	53^{b}	81^{b}	72^{b}	52^{b}	44^{c}	94^{b}	88^{b}	65^{c}	41^{b}
F-test		*	*	*	*	*	*	**	**	*	*	*	**
CV		2.47	2.76	4.07	6.23	3.57	3.72	6.2	5.67	2.24	3.42	2.59	3.42

ตารางที่ 5 ผลของการให้คลื่นความถี่วิทยุที่ 55 องศาเซลเซียส นาน 3 นาที ต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่ปลูกในฤดูแล้ง จำนวน 4 พันธุ์ได้แก่ พันธุ์ ชม.60 พันธุ์ ชม.6 ชม.1 และ ชม.84-2 ตลอดช่วงการเก็บรักษาเป็นระยะเวลาต่อเนื่อง 6 เดือน

		ความงอก (%)				ความแข็งแรง (%)				ความมีชีวิต (%)			
		0 เดือน	2 เดือน	4 เดือน	6 เดือน	0 เดือน	2 เดือน	4 เดือน	6 เดือน	0 เดือน	2 เดือน	4 เดือน	6 เดือน
ผ่านคลื่นความถี่วิทยุ 55 องศาเซลเซียส 3 นาที	ชม 60	87^{a}	72^{a}	70^{a}	65^{a}	88^{a}	72^{ab}	68^{a}	54^{a}	92^{a}	80^{b}	67^{a}	51^{a}
	ชม 6	85^{a}	73^{a}	68^{a}	63^{a}	87^{a}	75^{a}	65^{ab}	52^{a}	90^{a}	84^{a}	62^{b}	50^{a}
	ชม 1	72^{bc}	69^{b}	61^{b}	49^{b}	69^{b}	60^{cd}	53^{d}	40^{bc}	85^{b}	70^{cd}	55^{cd}	40^{bc}
	ชม 84-2	75^{b}	70^{b}	60^{b}	50^{c}	70^{b}	65^{c}	59^{c}	42^{b}	85^{b}	72^{c}	57^{c}	43^{b}
F-test		*	*	*	**	*	**	**	**	*	*	**	**
CV		3.2	4.07	3.26	7.11	5.82	7.42	8.32	7.94	3.02	5.36	4.68	12.11

ตารางที่ 6 ผลของการให้คลื่นความถี่วิทยุต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองชุดควบคุมที่ปลูกในฤดูฝน จำนวน 4 พันธุ์ได้แก่ พันธุ์ ชม.60 พันธุ์ ชม.6 ชม.1 และ ชม.84-2 ตลอดช่วงการเก็บรักษาเป็นระยะเวลาต่อเนื่อง 6 เดือน

		ความงอก (%)				ความแข็งแรง (%)				ความมีชีวิต (%)			
		0 เดือน	2 เดือน	4 เดือน	6 เดือน	0 เดือน	2 เดือน	4 เดือน	6 เดือน	0 เดือน	2 เดือน	4 เดือน	6 เดือน
ชุดควบคุม ไม่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุ	ชม 60	89^{a}	74	67^{ab}	56^{a}	80^{a}	64^{a}	57^{a}	50^{a}	91	74^{b}	69^{ab}	47^{a}
	ชม 6	89^{a}	76	69^{a}	54^{a}	75^{b}	63^{a}	60^{a}	45^{a}	88	80^{a}	71^{a}	45^{a}
	ชม 1	83^{ab}	70	64^{b}	43^{b}	70^{c}	53^{b}	47^{b}	33^{b}	87	70^{c}	65^{b}	41^{b}
	ชม 84-2	79^{b}	70	58^{b}	42^{b}	70^{c}	50^{b}	44^{b}	31^{b}	86	68^{c}	69^{ab}	38^{b}
F-test		*	ns	**	**	**	**	**	**	ns	**	*	*
CV		4.46		4.33	6.1	3.79	8.53	9.62	8.15		2.78	5.26	5.79

ตารางที่ 7 ผลของการให้คลื่นความถี่วิทยุที่ 50 องศาเซลเซียส นาน 3 นาที ต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่ปลูกในฤดูฝน จำนวน 4 พันธุ์ได้แก่ พันธุ์ ชม.60 พันธุ์ ชม.6 ชม.1 และ ชม.84-2 ตลอดช่วงการเก็บรักษาเป็นระยะเวลาต่อเนื่อง 6 เดือน

		ความงอก (%)				ความแข็งแรง (%)				ความมีชีวิต (%)			
		0 เดือน	2 เดือน	4 เดือน	6 เดือน	0 เดือน	2 เดือน	4 เดือน	6 เดือน	0 เดือน	2 เดือน	4 เดือน	6 เดือน
คลื่นความถี่วิทยุ 50 องศาเซลเซียส 3 นาที	**ชม 60**	80^{b}	69	64^{a}	51^{a}	78^{a}	62^{a}	52^{a}	42^{a}	89^{b}	70^{b}	68^{a}	39^{a}
	ชม 6	87^{b}	73	65^{a}	53^{a}	80^{a}	59^{a}	54^{a}	40^{a}	88^{a}	80^{a}	69^{a}	39^{a}
	ชม 1	77^{b}	69	59^{ab}	39^{b}	70^{b}	51^{b}	43^{b}	33^{b}	82^{b}	69^{b}	60^{b}	33^{b}
	ชม 84-2	78^{b}	68	56^{b}	37^{b}	68^{b}	51^{b}	40^{b}	24^{c}	83^{ab}	68^{b}	55^{c}	30^{b}
F-test		*	ns	*	**	**	**	**	**	*	**	*	**
CV		5.23		5.76	6.29	4.32	6.74	7.7	6.46	4.22	2.92	4.12	3.97

ตารางที่ 8 ผลของการให้คลื่นความถี่วิทยุที่ 55 องศาเซลเซียส นาน 3 นาที ต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่ปลูกในฤดูฝน จำนวน 4 พันธุ์ได้แก่ พันธุ์ ชม.60 พันธุ์ ชม.6 ชม.1 และ ชม.84-2 ตลอดช่วงการเก็บรักษาเป็นระยะเวลาต่อเนื่อง 6 เดือน

		ความงอก (%)				ความแข็งแรง (%)				ความมีชีวิต (%)			
		0 เดือน	2 เดือน	4 เดือน	6 เดือน	0 เดือน	2 เดือน	4 เดือน	6 เดือน	0 เดือน	2 เดือน	4 เดือน	6 เดือน
ผ่านคลื่นความถี่วิทยุ 55 องศาเซลเซียส 3 นาที	**ชม 60**	76^{b}	70^{ab}	66^{a}	47^{a}	66	59^{a}	48^{ab}	38^{a}	80	70^{b}	56^{b}	31^{a}
	ชม 6	85^{a}	74^{a}	66^{a}	45^{a}	69	60^{a}	50^{a}	36^{a}	85	74^{a}	60^{a}	28^{ab}
	ชม 1	77^{b}	68^{b}	56^{b}	39^{b}	67	51^{b}	43^{bc}	24^{b}	83	70^{b}	52^{ab}	24^{bc}
	ชม 84-2	75^{b}	66^{b}	54^{b}	29^{c}	66	48^{b}	39^{c}	20^{c}	80	66^{b}	49^{c}	22^{c}
F-test		ns	*	**	**	ns	**	**	**	ns	*	**	**
CV			4.39	5.8	6.74		4.68	9.02	11.16		3.47	6.88	10.09