

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ



248697

การให้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุเพื่อการควบคุมตัวชีวและผลต่อ
คุณภาพของตัวชีวผิวมัน

ภราดร ณ พิธิตร

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว

บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
พฤศจิกายน 2554



248697

การให้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุเพื่อการควบคุมด้วงถั่วเขียวและผลต่อ
คุณภาพของถั่วเขียวผิวมัน



ภราดร ณ พิจิตร

วิทยานิพนธ์นี้เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัยเพื่อเป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว

บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
พฤษภาคม 2554

การให้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุเพื่อการควบคุมด้วงถั่วเขียวและผลต่อ
คุณภาพของถั่วเขียวผิวนมัน

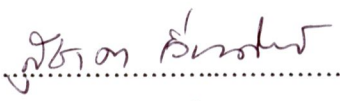
ภราดร ณ พิจิตร

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว

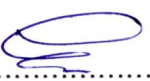
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

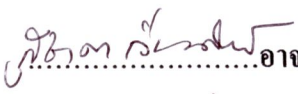

.....ประธานกรรมการ
รองศาสตราจารย์ ดร. วิเชษฐ์ เสงส์สวัสดิ์


.....กรรมการ
อาจารย์ ดร. เขาวลัษณ์ จันทรบ่าง


.....กรรมการ
รองศาสตราจารย์ ดร. สุชาดา เวียร์ศิลป์

คณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์


.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
อาจารย์ ดร. เขาวลัษณ์ จันทรบ่าง


.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
รองศาสตราจารย์ ดร. สุชาดา เวียร์ศิลป์

23 พฤศจิกายน 2554

© ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาของ อาจารย์ ดร. เขียวลักษณ์ จันทรวง ที่ได้
 ระยะเวลาให้คำแนะนำปรึกษา ตลอดจนตรวจสอบแก้ไขและให้ความช่วยเหลือจนวิทยานิพนธ์เล่มนี้
 เสร็จสมบูรณ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. อรุณดา เวียรศิลป์ รองศาสตราจารย์ ดร.
 วิเชียร เฮงสวัสดิ์ และอาจารย์ณัฐศักดิ์ กฤษติกาเมฆ ที่คอยช่วยเหลือให้คำปรึกษาและแนะแนวทาง
 ในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ และเจ้าหน้าที่ สถาบันวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว
 มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สำนักงานคณะกรรมการ
 การอุดมศึกษา กรุงเทพฯ ที่คอยให้การช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกโดยตลอดระยะการศึกษา

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย และสถาบันวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว
 มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สำนักงานคณะกรรมการ
 การอุดมศึกษา กรุงเทพฯ ที่มอบทุนสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์ ครั้งนี้

ขอกราบขอบพระคุณบุญคุณอันใหญ่หลวงของบิดา มารดา และครอบครัวอันเป็นที่รัก ที่
 เห็นความสำคัญของการศึกษาและมอบโอกาสที่ดีในชีวิตตลอดจนสำเร็จการศึกษา และเป็นกำลังใจ
 ให้งานวิจัย และการเขียนวิทยานิพนธ์นี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณนางสาวชลธิชา ขว่งไข ที่ให้คำปรึกษาและเป็นกำลังใจผู้วิจัยตลอดมา

คุณประโยชน์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ขอบแต่ คุณพ่อ คุณแม่ ครูอาจารย์และผู้มีพระคุณ
 ทุก ๆ ท่าน

ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์

การให้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุเพื่อการควบคุมด้วงถั่วเขียว
และผลต่อคุณภาพของถั่วเขียวผิวนั้น

ผู้เขียน

นายภราดร ณ พิจิตร

ปริญญา

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว)

คณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

อาจารย์ ดร. เยาวลักษณ์ จันทรียง อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
รองศาสตราจารย์ ดร. สุชาดา เวียรศิลป์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

บทคัดย่อ

248697

ด้วงถั่วเขียว *Callosobruchus maculatus* (F.) เป็นแมลงศัตรูที่สำคัญระหว่างการเก็บรักษา เมล็ดถั่วเขียว ระยะตัวหนอนเป็นระยะที่ทำลายภายในเมล็ดถั่วเขียว ทำให้สูญเสียปริมาณและคุณภาพ การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้คลื่นความถี่วิทยุ (radio frequency; RF) ที่ความถี่ 27.12 MHz ในการกำจัดด้วงถั่วเขียว และผลของ RF ต่อคุณภาพถั่วเขียว การทดลองที่ 1 ศึกษาคุณสมบัติไดอิเล็กทริกของเมล็ดถั่วเขียวที่มีความชื้นเริ่มต้น 11 เปอร์เซ็นต์ และระยะการเจริญเติบโตของด้วงถั่วเขียว (ระยะไข่ ระยะหนอน และระยะดักแด้) ด้วยเครื่องวิเคราะห์อิมพีแดนซ์ความแม่นยำสูง ในช่วงความถี่ 0-30 MHz พบว่า ด้วงถั่วเขียวระยะไข่ ระยะหนอน และระยะดักแด้ที่อยู่บนหรือในเมล็ดถั่วเขียว มีความสามารถในการสะสมและปลดปล่อยพลังงานไฟฟ้าได้ดีกว่าเมล็ดถั่วเขียวเพียงอย่างเดียว การทดลองที่ 2 ศึกษาความทนทานของด้วงถั่วเขียวต่อคลื่นความถี่วิทยุในระยะไข่ ระยะหนอน และระยะดักแด้ ที่อยู่ในเมล็ดถั่วเขียวความชื้น 11.0 เปอร์เซ็นต์ บรรจุในถุง laminate นำไปให้ RF ที่พลังงาน 640 วัตต์ เวลา 120 วินาที พบว่า ระยะไข่ ระยะหนอน และระยะดักแด้ มีอัตราการตายไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) เท่ากับ 30.88, 33.90 และ 22.91 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ การทดลองที่ 3 ใช้ด้วงถั่วเขียวระยะดักแด้ เป็นตัวแทนของระยะอื่นที่ทนต่อ RF นำมาศึกษาเพื่อหาระยะเวลาที่เหมาะสมที่จะทำให้แมลงตายอย่างสมบูรณ์ โดยนำไปให้

RF ที่พลังงาน 640 วัตต์ ที่ระยะเวลา 120, 140, 160, 180, 200 และ 220 วินาที พบว่า ตัวงัวเขียว ระยะดักแด้ตายอย่างสมบูรณ์ (100 เปอร์เซ็นต์) ที่ระยะเวลา 220 วินาที อุณหภูมิสุดท้ายเฉลี่ยเท่ากับ 74.5 ± 0.5 องศาเซลเซียส

คุณภาพตัวเขียว (ชุดควบคุม; ไม่ผ่าน RF) เมื่อนำมาวัดปริมาณความชื้น (11.0 เปอร์เซ็นต์) ค่าความแข็ง (536.11 นิวตัน) ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (59.42 เปอร์เซ็นต์) โปรตีน (20.76 เปอร์เซ็นต์) ไขมัน (0.82 เปอร์เซ็นต์) และเยื่อใย (4.55 เปอร์เซ็นต์) พบว่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับตัวเขียวที่นำไปผ่าน RF ที่พลังงาน 640 วัตต์เป็นเวลา 220 วินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10.6 เปอร์เซ็นต์ 527.55 นิวตัน 60.69 เปอร์เซ็นต์ 20.27 เปอร์เซ็นต์ 0.57 เปอร์เซ็นต์ และ 4.35 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่ไม่มีผลกระทบต่อปริมาณเถ้าและปริมาณอะไมโลส ในการวัดค่า L^* , a^* , b^* ของเมล็ดตัวเขียวชุดควบคุมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 37.16, -1.22 และ 22.70 ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับที่ผ่าน RF ซึ่งมีค่าเท่ากับ 36.11, -1.10 และ 24.46 ตามลำดับ

สำหรับค่าคงที่ไดอิเล็กทริกและค่าแฟกเตอร์การสูญเสีย มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) จากชุดควบคุมซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.117 และ 2.074 ไปเป็น 2.126 และ 2.086 ตามลำดับ ส่วนการเปลี่ยนแปลงของความหนืดข้นของแป้งตัวเขียว พบว่ามีค่าความคงทนต่อการกวนของแป้ง เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) จาก 107.33 เป็น 131.83 RVU ส่วนค่าความหนืดสูงสุด ค่าการกิ่นตัวของแป้ง ค่าอุณหภูมิเริ่มต้นความหนืด และค่าความหนืดสุดท้ายของตัวเขียวที่ผ่าน RF ไม่แตกต่างทางสถิติกับชุดควบคุม

Thesis Title Radio Frequency Heating for Cowpea Weevil Control and Effect on Mungbean Qualities

Author Mr. Paradon Na Pijit

Degree Master of Science (Postharvest Technology)

Thesis Advisory Committee

Lect. Dr. Yaowaluk Chanbang	Advisor
Assoc. Prof. Dr. Suchada Vearasilp	Co-advisor

Abstract

248697

Cowpea weevil, *Callosobruchus maculatus* (F.), is an important pest of mungbean, *Vigna radiata* (L.). It causes quantity and quality grain losses from larvae feed inside mungbean. The objectives of this study were to evaluate the efficacy of radio frequency (RF) at 27.12 MHz to control cowpea weevil and examine RF effects on mungbean qualities. In experiment 1, dielectric properties of mungbean at moisture content of 11% (w.b.) and sets of mungbean infested with various cowpea weevil stages (egg, larval and pupal) were studied using precision impedance analyser at frequencies of 0-30 MHz. The result found that egg, larval and pupal stages of cowpea weevil shown ability to accumulate and release the electric energy better than mungbean grain alone. In experiment 2, the tolerance of cowpea weevil to heat treatment was studied among egg, larval and pupal stages was studied using mungbean grain at 11.0% mc which packed in laminated bag and then treated with RF at the power of 640 watt for 120 seconds. The result found that insect mortality was not significantly different ($P>0.05$) among egg (30.88%), larval (33.90 %) and pupal (22.91%) stages. In experiment 3, pupal stage as the representative of those tolerance cowpea weevil was treated at 640 watts of RF power and for 120, 140, 160, 180, 200 and 220 seconds. The result showed that RF at 640 watts for 220 seconds caused 100% pupal mortality and the final average temperature was 74.5 ± 0.5 °C.

Qualities of mungbean grain after treated at 640 watts for 220 seconds and untreated control were examined. Moisture content, hardness, carbohydrate content, crude protein and crude fat of mngbean grain after treated with 640 watts for 220 seconds were 10.6%, 527.55 N, 60.69%, 20.27%, 0.57% and 4.35%, respectively which were significantly different ($P<0.05$) from untreated control as 11.0%, 536.11 N, 59.42%, 20.76%, 0.82% and 4.55%, respectively.

However, there were no significant difference of ash and amylose content between the RF treatment and untreated control. There were significantly fewer ($P<0.05$) L^* (37.16) in color measurement which present in the yellow pale color of RF-treatment mungbean while the a^* and b^* in RF treatment showed -1.22, 22.70 when comparing the untreated control (-1.10, 24.46). Dielectric constant and loss factor have significantly increased ($P<0.05$) from 2.117 and 2.074 in untreated control to 2.126 and 2.086 in the RF treatment. The viscosity of mungbean flour showed that its breakdown value was significantly ($P<0.05$) increased from 107.33 to 131.83 RVU while there were not significantly different ($P>0.05$) between untreated and RF treatment in term of the peak viscosity, setback value, pasting temperature and final viscosity.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฌ
สารบัญภาพ	ฎ
สารบัญตารางภาคผนวก	ฏ
สารบัญภาพภาคผนวก	ถ
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ตรวจเอกสาร	3
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	29
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผล	34
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	59
เอกสารอ้างอิง	61
ภาคผนวก	73
ภาคผนวก ก วิธีวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายของถั่วเขียว	74
ภาคผนวก ข ตารางแสดงผลการทดลอง	96
ภาคผนวก ค ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	124
ภาคผนวก ง ภาพเครื่องมือ	139
ประวัติผู้เขียน	146

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
2.1	คุณค่าทางโภชนาการผลิตภัณฑ์จากถั่วเขียว	4
2.2	ปริมาณกรดอะมิโนในเมล็ดถั่วชนิดต่าง ๆ เปรียบเทียบกับโปรตีนจากไข่	4
2.3	ปริมาณวิตามินชนิดต่าง ๆ ในเมล็ดถั่ว	5
2.4	ผลของอุณหภูมิที่มีต่อแมลงศัตรูโรงเก็บ	12
2.5	การจำแนกช่วงความถี่สำหรับการใช้งานในทางอุตสาหกรรมและ วิทยาศาสตร์การแพทย์	20
4.1	ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (dielectric constant; ϵ') ของเมล็ดถั่วเขียว ระยะไข่ ระยะหนอน และระยะดักแด้ของด้วงถั่วเขียว ที่วัดจากเครื่องอิมพีแดนซ์ ความแม่นยำสูง หัววัดแบบ open-ended coaxial ที่ระยะเพลทต่างกัน ที่ ความถี่ 26.89 MHz	38
4.2	ค่าแฟกเตอร์การสูญเสีย (loss factor; ϵ'') ของเมล็ดถั่วเขียว ระยะไข่ ระยะหนอนและระยะดักแด้ของด้วงถั่วเขียว ที่วัดจากเครื่องอิมพีแดนซ์ ความแม่นยำสูง หัววัดแบบ open-ended coaxial ที่ระยะเพลทต่างกัน ที่ ความถี่ 26.89 MHz	38
4.3	ค่าลอสมแทนเจน (loss tangent; $\tan \delta$) ของเมล็ดถั่วเขียว ระยะไข่ ระยะ หนอนและระยะดักแด้ของด้วงถั่วเขียว ที่วัดจากเครื่องอิมพีแดนซ์ความ แม่นยำสูง หัววัดแบบ open-ended coaxial ที่ระยะเพลทต่างกัน ที่ความถี่ 26.89 MHz	39
4.4	เปอร์เซ็นต์การตายเฉลี่ยของด้วงถั่วเขียว <i>Callosobruchus maculatus</i> ทั้ง 3 ระยะการเจริญเติบโตที่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุ 27.12 MHz ที่ระดับพลังงาน 640 วัตต์ ระยะเวลา 120 วินาที	44
4.5	จำนวนแมลงรุ่นลูกด้วงถั่วเขียว <i>Callosobruchus maculatus</i> ทั้ง 3 ระยะ การเจริญเติบโตเฉลี่ยที่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุ 27.12 MHz ที่ระดับพลังงาน 640 วัตต์ ระยะเวลา 120 วินาที หลังจากเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์	47

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
4.6	เปอร์เซ็นต์การตายเฉื่อยของด้วงถั่วเขียวระยะดักแด้และอุณหภูมิ ที่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุ 27.12 MHz ที่ระดับพลังงาน 640 วัตต์ ระยะเวลา 120, 140, 160, 180, 200 และ 220 วินาที	48
4.7	ผลการวิเคราะห์ความชื้น ค่าสี L^* a^* b^* และค่าความแข็งของเมล็ดถั่วเขียวที่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุ ที่ระดับพลังงาน 640 วัตต์ ระยะเวลา 220 วินาที	52
4.8	ผลการวิเคราะห์ค่า RVA ของเมล็ดถั่วเขียวที่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุ ที่ระดับพลังงาน 640 วัตต์ ระยะเวลา 220 วินาที	55
4.9	ผลการวิเคราะห์ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (ϵ') และค่าแฟกเตอร์การสูญเสีย (ϵ'') ของเมล็ดถั่วเขียวที่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุ ที่ระดับพลังงาน 640 วัตต์ ระยะเวลา 220 วินาที	56
4.10	ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของเมล็ดถั่วเขียวที่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุ ที่ระดับพลังงาน 640 วัตต์ ระยะเวลา 220 วินาที	56

สารบัญภาพ

ภาพ		หน้า
2.1	การเปลี่ยนแปลงความหนาของแป้งชนิดต่าง ๆ	7
2.2	สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	13
2.3	ลักษณะการตอบสนองต่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของวัสดุชนิดต่าง ๆ	14
2.4	การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริก (ก) และการให้ความร้อนแบบเดิม (ข)	14
2.5	การผันแปรของค่าคงที่ไดอิเล็กทริกและแฟกเตอร์การสูญเสียของข้าวสาลี (<i>Triticum aestivum</i> L.) ที่อุณหภูมิ 24 องศาเซลเซียส โดยมีอิทธิพลมาจากความถี่และปริมาณความชื้นในช่วง 2.7 เปอร์เซ็นต์ ถึง 23.8 เปอร์เซ็นต์	18
2.6	ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของข้าวโพดผันแปรกับอุณหภูมิ	19
2.7	ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของข้าวโพดที่ขึ้นอยู่กับความหนาแน่น	19
2.8	รูปแบบของ Electrodes ที่ใช้กับคลื่นความถี่วิทยุ	22
2.9	ผลกระทบของช่องว่างอากาศ (air gap)	23
2.10	ระบบการทำงานของเครื่อง Radio Frequency	24
2.11	กระบวนการสันดาปของโมเลกุลน้ำจนเกิดความร้อน	25
4.1	ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (ϵ') ของถั่วเขียว และถั่วเขียวที่มีด้วงถั่วเขียว ระยะไข่ ระยะหนอนและระยะดักแด้ นำไปวัดคุณสมบัติไดอิเล็กทริก ที่ระยะห่างเพลท 0.50(ก) 1.00(ข) และ 1.50 (ค) เซนติเมตร	35
4.2	แฟกเตอร์การสูญเสีย (ϵ'') ของถั่วเขียว และถั่วเขียวที่มีด้วงถั่วเขียว ระยะไข่ ระยะหนอนและระยะดักแด้ นำไปวัดคุณสมบัติไดอิเล็กทริก ที่ระยะห่างเพลท 0.50(ก) 1.00 (ข) และ 1.50(ค) เซนติเมตร	36
4.3	ค่าลอสมแทนเจน ($\tan \delta$) ของถั่วเขียว และถั่วเขียวที่มีด้วงถั่วเขียว ระยะไข่ ระยะหนอนและระยะดักแด้ นำไปวัดคุณสมบัติไดอิเล็กทริก ที่ระยะเพลท 0.50(ก) 1.00(ข) และ 1.50 (ค) เซนติเมตร	37
4.4	กราฟแสดงอุณหภูมิของถั่วเขียวความชื้น 11 เปอร์เซ็นต์ ที่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุ 27.12 MHz ที่ระดับพลังงานต่าง ๆ	43

สารบัญตารางภาคผนวก

ภาคผนวก ข

ตารางภาคผนวก	หน้า
1 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (ϵ') แฟกเตอร์การสูญเสีย (ϵ'') และค่าลอสมแทนเจน ($\tan \delta$) ของเม็กลัดั่วเขียวที่ความชื้นเฉลี่ย 11 เปอร์เซ็นต์ วัดจากเครื่องอิมพีแดนซ์ความแม่นยำสูง ด้วยหัววัดแบบ open-ended coaxial ที่ระยะเพลท 0.50 เซนติเมตร ที่ช่วงความถี่ 0-30 MHz	97
2 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (ϵ') ค่าแฟกเตอร์การสูญเสีย (ϵ'') และค่าลอสมแทนเจน ($\tan \delta$) ของคั่วงั่วเขียวระยะไข่ วัดจากเครื่องอิมพีแดนซ์ความแม่นยำสูง ด้วยหัววัดแบบ open-ended coaxial ที่ระยะเพลท 0.50 เซนติเมตร ที่ช่วงความถี่ 0 - 30 MHz	99
3 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (ϵ') ค่าแฟกเตอร์การสูญเสีย (ϵ'') และค่าลอสมแทนเจน ($\tan \delta$) ของคั่วงั่วเขียวระยะหนอน วัดจากเครื่องอิมพีแดนซ์ความแม่นยำสูง ด้วยหัววัดแบบ open-ended coaxial ที่ระยะเพลท 0.50 เซนติเมตร ที่ช่วงความถี่ 0-30 MHz	101
4 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (ϵ') ค่าแฟกเตอร์การสูญเสีย (ϵ'') และค่าลอสมแทนเจน ($\tan \delta$) ของคั่วงั่วเขียวระยะดักแด้ วัดจากเครื่องอิมพีแดนซ์ความแม่นยำสูง ด้วยหัววัดแบบ open-ended coaxial ที่ระยะเพลท 0.50 เซนติเมตร ที่ช่วงความถี่ 0-30 MHz	103
5 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (ϵ') ค่าแฟกเตอร์การสูญเสีย (ϵ'') และค่าลอสมแทนเจน ($\tan \delta$) ของเม็กลัดั่วเขียวที่ความชื้นเฉลี่ย 11 เปอร์เซ็นต์ วัดจากเครื่องอิมพีแดนซ์ความแม่นยำสูง ด้วยหัววัดแบบ open-ended coaxial ที่ระยะเพลท 1.00 เซนติเมตร ที่ช่วงความถี่ 0-30 MHz	105
6 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (ϵ') ค่าแฟกเตอร์การสูญเสีย (ϵ'') และค่าลอสมแทนเจน ($\tan \delta$) ของคั่วงั่วเขียวระยะไข่ วัดจากเครื่องอิมพีแดนซ์ความแม่นยำสูง ด้วยหัววัดแบบ open-ended coaxial ที่ระยะเพลท 1.00	107

สารบัญตารางภาคผนวก (ต่อ)

ภาคผนวก ข

ตารางภาคผนวก

หน้า

	เซนติเมตร ที่ช่วงความถี่ 0-30 MHz	
7	ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (ϵ') ค่าแฟกเตอร์การสูญเสีย (ϵ'') และค่าลอสมแทนเจน ($\tan \delta$) ของคั่วงถั่วเขียวระยะหนอน วัดจากเครื่องอิมพีแดนซ์ความแม่นยำสูง ด้วยหัววัดแบบ open-ended coaxial ที่ระยะเพลท 1.00	109
	เซนติเมตร ที่ช่วงความถี่ 0-30 MHz	
8	ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (ϵ') ค่าแฟกเตอร์การสูญเสีย (ϵ'') และค่าลอสมแทนเจน ($\tan \delta$) ของคั่วงถั่วเขียวระยะดกแก่ วัดจากเครื่องอิมพีแดนซ์ความแม่นยำสูง ด้วยหัววัดแบบ open-ended coaxial ที่ระยะเพลท 1.00	111
	เซนติเมตร ที่ช่วงความถี่ 0-30 MHz	
9	ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (ϵ') ค่าแฟกเตอร์การสูญเสีย (ϵ'') และค่าลอสมแทนเจน ($\tan \delta$) ของเมล็ดถั่วเขียวที่ความชื้นเฉลี่ย 11 เปอร์เซ็นต์ วัดจากเครื่องอิมพีแดนซ์ความแม่นยำสูง ด้วยหัววัดแบบ open-ended coaxial ที่ระยะเพลท 1.50	113
	เซนติเมตร ที่ช่วงความถี่ 0-30 MHz	
10	ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (ϵ') ค่าแฟกเตอร์การสูญเสีย (ϵ'') และค่าลอสมแทนเจน ($\tan \delta$) ของคั่วงถั่วเขียวระยะไข่ วัดจากเครื่องอิมพีแดนซ์ความแม่นยำสูง ด้วยหัววัดแบบ open-ended coaxial ที่ระยะเพลท 1.50	115
	เซนติเมตร ที่ช่วงความถี่ 0-30 MHz	
11	ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (ϵ') ค่าแฟกเตอร์การสูญเสีย (ϵ'') และค่าลอสมแทนเจน ($\tan \delta$) ของคั่วงถั่วเขียวระยะหนอน วัดจากเครื่องอิมพีแดนซ์ความแม่นยำสูง ด้วยหัววัดแบบ open-ended coaxial ที่ระยะเพลท 1.50	117
	เซนติเมตร ที่ช่วงความถี่ 0-30 MHz	
12	ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (ϵ') ค่าแฟกเตอร์การสูญเสีย (ϵ'') และค่าลอสมแทนเจน ($\tan \delta$) ของคั่วงถั่วเขียวระยะดกแก่ วัดจากเครื่องอิมพีแดนซ์ความแม่นยำสูง ด้วยหัววัดแบบ open-ended coaxial ที่ระยะเพลท 1.50	119

สารบัญตารางภาคผนวก (ต่อ)

ภาคผนวก ข

ตารางภาคผนวก

หน้า

เซนติเมตร ที่ช่วงความถี่ 0 - 30 MHz

- | | | |
|----|---|-----|
| 13 | ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (ϵ') ค่าแฟกเตอร์การสูญเสีย (ϵ'') และค่าลอสมแทนเจน ($\tan \delta$) ของเมล็ดถั่วเขียวผ่านคลื่นความถี่วิทยุ 27.12 MHz ที่ระดับพลังงาน 640 วัตต์ เป็นระยะเวลา 220 วินาที วัดจากเครื่องอิมพีแดนซ์ความแม่นยำสูง ด้วยหัววัดแบบ open-ended coaxial ที่ช่วงความถี่ 0-30 MHz | 121 |
| 14 | ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$) (ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD) ในการตอบสนองของถั่วเขียวความชื้น 11 เปอร์เซ็นต์ ที่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุ 27.12 MHz ที่ระดับพลังงานต่าง ๆ | 123 |

สารบัญตารางภาคผนวก

ภาคผนวก ค

ตารางภาคผนวก	หน้า
1 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (dielectric constant; ϵ') ในระยะห่างเพลทที่ 0.50, 1.00 และ 1.50 เซนติเมตร	125
2 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าแฟกเตอร์การสูญเสีย (loss factor; ϵ'') ในระยะห่างเพลทที่ 0.50, 1.00 และ 1.50 เซนติเมตร	125
3 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าลอสมแทนเจน (loss tangent; $\tan \delta$) ในระยะห่างเพลทที่ 0.50, 1.00 และ 1.50 เซนติเมตร	126
4 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของเปอร์เซ็นต์การตายเฉลี่ยของด้วงถั่วเขียว <i>Callosobruchus maculatus</i> ทั้ง 3 ระยะการเจริญเติบโตที่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุ 27.12 MHz ที่ระดับพลังงาน 640 วัตต์ ระยะเวลา 120 วินาที	126
5 ตาราง LSD ของผลการวิเคราะห์ทางสถิติของเปอร์เซ็นต์การตายเฉลี่ยของด้วงถั่วเขียว <i>Callosobruchus maculatus</i> ทั้ง 3 ระยะการเจริญเติบโตที่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุ 27.12 MHz ที่ระดับพลังงาน 640 วัตต์ ระยะเวลา 120 วินาที	127
6 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติจำนวนแมลงรุ่นลูกด้วงถั่วเขียว <i>Callosobruchus maculatus</i> ทั้ง 3 ระยะการเจริญเติบโตเฉลี่ยที่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุ 27.12 MHz ที่ระดับพลังงาน 640 วัตต์ ระยะเวลา 120 วินาที หลังจากเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์	127
7 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของเปอร์เซ็นต์การตายเฉลี่ยของด้วงถั่วเขียวระยะดักแด้ ที่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุ 27.12 MHz ที่ระดับพลังงาน 640 วัตต์ ระยะเวลา 120, 140, 160, 180, 200 และ 220 วินาที	128
8 ตาราง LSD ของผลการวิเคราะห์ทางสถิติของเปอร์เซ็นต์การตายเฉลี่ยของด้วงถั่วเขียวระยะดักแด้ ที่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุ 27.12 MHz ที่ระดับพลังงาน 640 วัตต์ ระยะเวลา 120, 140, 160, 180, 200 และ 220 วินาที	128

สารบัญตารางภาคผนวก (ต่อ)

ภาคผนวก ค

ตารางภาคผนวก	หน้า
9 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของเปอร์เซ็นต์ความชื้นของถั่วเขียวที่ผ่านคลีนความถี่วิทยุ 27.12 MHz ที่ระดับพลังงาน 640 วัตต์ ระยะเวลา 220 วินาที และถั่วเขียวที่ไม่ผ่านคลีน (ชุดควบคุม)	129
10 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่า Hardness (N) ในถั่วเขียวที่ผ่านคลีนความถี่วิทยุ 27.12 MHz ที่ระดับพลังงาน 640 วัตต์ ระยะเวลา 220 วินาที และถั่วเขียวที่ไม่ผ่านคลีน (ชุดควบคุม)	130
11 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่า L^* ในถั่วเขียวที่ผ่านคลีนความถี่วิทยุ 27.12 MHz ที่ระดับพลังงาน 640 วัตต์ ระยะเวลา 220 วินาที และถั่วเขียวที่ไม่ผ่านคลีน (ชุดควบคุม)	130
12 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่า a^* ในถั่วเขียวที่ผ่านคลีนความถี่วิทยุ 27.12 MHz ที่ระดับพลังงาน 640 วัตต์ ระยะเวลา 220 วินาที และถั่วเขียวที่ไม่ผ่านคลีน (ชุดควบคุม)	131
13 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่า b^* ในถั่วเขียวที่ผ่านคลีนความถี่วิทยุ 27.12 MHz ที่ระดับพลังงาน 640 วัตต์ ระยะเวลา 220 วินาที และถั่วเขียวที่ไม่ผ่านคลีน (ชุดควบคุม)	131
14 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความหนืดสูงสุด (Peak viscosity) ในถั่วเขียวที่ผ่านคลีนความถี่วิทยุ 27.12 MHz ที่ระดับพลังงาน 640 วัตต์ ระยะเวลา 220 วินาที และถั่วเขียวที่ไม่ผ่านคลีน (ชุดควบคุม)	132
15 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความคงทนต่อการกวนของแป้ง (Breakdown) ในถั่วเขียวที่ผ่านคลีนความถี่วิทยุ 27.12 MHz ที่ระดับพลังงาน 640 วัตต์ ระยะเวลา 220 วินาที และถั่วเขียวที่ไม่ผ่านคลีน (ชุดควบคุม)	132
16 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความหนืดสุดท้าย (Final viscosity) ในถั่วเขียวที่ผ่านคลีนความถี่วิทยุ 27.12 MHz ที่ระดับพลังงาน 640 วัตต์ ระยะเวลา 220 วินาที และถั่วเขียวที่ไม่ผ่านคลีน (ชุดควบคุม)	133

สารบัญตารางภาคผนวก (ต่อ)

ภาคผนวก ค

ตารางภาคผนวก		หน้า
17	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าการคืนตัวของแป้ง (Setback) ในถั่วเขียวที่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุ 27.12 MHz ที่ระดับพลังงาน 640 วัตต์ ระยะเวลา 220 วินาที และถั่วเขียวที่ไม่ผ่านคลื่น (ชุดควบคุม)	133
18	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าอุณหภูมิเริ่มต้นความหนืด (pasting temperature) ในถั่วเขียวที่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุ 27.12 MHz ที่ระดับพลังงาน 640 วัตต์ ระยะเวลา 220 วินาที และถั่วเขียวที่ไม่ผ่านคลื่น (ชุดควบคุม)	134
19	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (ϵ') ในถั่วเขียวที่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุ 27.12 MHz ที่ระดับพลังงาน 640 วัตต์ ระยะเวลา 220 วินาที และถั่วเขียวที่ไม่ผ่านคลื่น (ชุดควบคุม)	134
20	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของแฟกเตอร์การสูญเสีย (ϵ'') ในถั่วเขียวที่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุ 27.12 MHz ที่ระดับพลังงาน 640 วัตต์ ระยะเวลา 220 วินาที และถั่วเขียวที่ไม่ผ่านคลื่น (ชุดควบคุม)	135
21	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของเปอร์เซ็นต์คาร์โบไฮเดรตของถั่วเขียวที่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุ 27.12 MHz ที่ระดับพลังงาน 640 วัตต์ ระยะเวลา 220 วินาที และถั่วเขียวที่ไม่ผ่านคลื่น (ชุดควบคุม)	135
22	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของเปอร์เซ็นต์โปรตีนของถั่วเขียวที่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุ 27.12 MHz ที่ระดับพลังงาน 640 วัตต์ ระยะเวลา 220 วินาที และถั่วเขียวที่ไม่ผ่านคลื่น (ชุดควบคุม)	136
23	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของเปอร์เซ็นต์ไขมันของถั่วเขียวที่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุ 27.12 MHz ที่ระดับพลังงาน 640 วัตต์ ระยะเวลา 220 วินาที และถั่วเขียวที่ไม่ผ่านคลื่น (ชุดควบคุม)	136
24	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของเปอร์เซ็นต์เยื่อใยของถั่วเขียวที่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุ 27.12 MHz ที่ระดับพลังงาน 640 วัตต์ ระยะเวลา 220 วินาที และถั่วเขียวที่ไม่ผ่านคลื่น (ชุดควบคุม)	137

สารบัญตารางภาคผนวก (ต่อ)

ภาคผนวก ค

ตารางภาคผนวก	หน้า
25 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของเปอร์เซ็นต์เก่าของถั่วเขียวที่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุ 27.12 MHz ที่ระดับพลังงาน 640 วัตต์ ระยะเวลา 220 วินาที และถั่วเขียวที่ไม่ผ่านคลื่น (ชุดควบคุม)	137
26 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของเปอร์เซ็นต์อะไมโลสของถั่วเขียวที่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุ 27.12 MHz ที่ระดับพลังงาน 640 วัตต์ ระยะเวลา 220 วินาที และถั่วเขียวที่ไม่ผ่านคลื่น (ชุดควบคุม)	138

สารบัญภาพภาคผนวก

ภาคผนวก ง

ภาพภาคผนวก	หน้า
1 ตะแกรง Laboratory test sieve ที่มีช่องเปิดขนาด 2.80 มิลลิเมตร	140
2 96 well plate ใช้ในการเลี้ยงดั่งัวเชื้อตั้งแต่ระยะไข่จนถึงระยะหนอน และระยะดักแด้	140
3 เครื่องกำเนิดคลื่นความถี่วิทยุ (Radio frequency generator) (Sairem, France) สร้างและปรับปรุงโดย Institute of Agriculture Engineering, University of Göttingen, Germany ความถี่ 27.12 MHz	141
4 เครื่องวิเคราะห์อิมพีแดนซ์ความแม่นยำสูง (impedance analyzer) ตัวเก็บ ประจุแบบแผ่นเพลทคู่ขนานและหัววัดแบบ open-ended coaxial	141
5 เครื่องวัดสี (Color Quest XE; HunterLab, USA)	142
6 เครื่องวัดเนื้อสัมผัสอาหาร (Texture analyzer; TA-Xtplus)	142
7 ชุดวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (Protein Analyzer and Accessories)	143
8 สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer; SPE CORD 40, Analytik jena AG)	143
9 เครื่องวิเคราะห์เส้นใยอาหาร (Fiber analyser; Fiber System E)	144
10 เครื่องวิเคราะห์ไขมันทั้งหมด (Fat analyser; AVANTI 2055, Foss Teactor, Sweden)	144
11 เครื่องวิเคราะห์ความหนืดของผลิตภัณฑ์แป้ง (Rapid Visco Analyser, RVA-4)	145