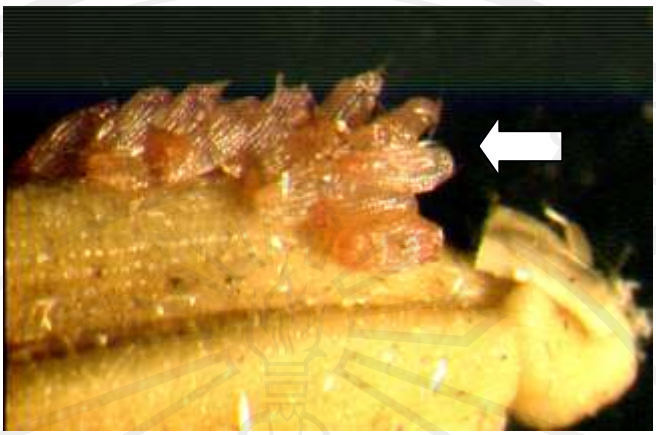
บทที่ 4

ผลและวิจารณ์การทดลอง

การทดลองที่ 1 ศึกษาคุณสมบัติไดอิเล็กทริกของผีเสื้อข้าวเปลือกในระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ

การทดสอบวัดคุณสมบัติไดอิเล็กทริกของเมล็ดข้าวเปลือก และเมล็ดข้าวเปลือกที่มีไข่ติดอยู่ (ภาพ 4.1) เมล็ดข้าวเปลือกที่มีหนอน (ภาพ 4.2) และดักแด้ (ภาพ 4.3) ของผีเสื้อข้าวเปลือกอยู่ภายในเมล็ดข้าวที่มีความชื้น 15 เปอร์เซ็นต์ โดยวัดค่าการสะสมพลังงานไฟฟ้า (Dielectric constant; ε') และค่าการปลดปล่อยพลังงานไฟฟ้า (Loss factor; ε'') ที่ช่วงความถี่ 0-50 MHz ด้วยเครื่องวิเคราะห์อิมพีแดนซ์ความแม่นยำสูง ที่ระยะเพลท 1.00 และ 1.50 เซนติเมตร พบว่าค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (Dielectric constant; ε') ของเมล็ดข้าวเปลือก ระยะไข่ ระยะหนอนและระยะดักแด้ มีค่าแตกต่างกันทางสถิติ และมีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกเพิ่มขึ้นตามระยะเพลทที่ลดลง คือ 1.00 และ 1.50 เซนติเมตร (ภาพ 4.1) ตามลำดับ ค่าแฟกเตอร์การสูญเสีย (loss factor; ε'') และค่าลอสแทนเจน (tan δ) ของเมล็ดข้าวเปลือก ระยะไข่ ระยะหนอนและดักแด้ เพิ่มขึ้นตามค่าความถี่ที่เพิ่มขึ้นและเพิ่มขึ้นตามระยะเพลทที่ลดลงคือ 1.00 และ 1.50 เซนติเมตร ตามลำดับ (ภาพ 4.4, 4.5 และ 4.6) ซึ่งทั้ง 3 ค่านี้ (ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก ค่าแฟกเตอร์การสูญเสีย และค่าลอสแทนเจน) มีความสำคัญต่อคุณสมบัติไดอิเล็กทริกในการให้ความร้อนด้วยคลื่นความถี่วิทยุต่อผีเสื้อข้าวเปลือก ในการทดลองนี้จึงได้ศึกษาย่านความถี่ที่ 13.27, 27.55 และ 41.84 MHz (ตาราง 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 และ 4.6) ซึ่งเป็นความถี่ที่ใกล้เคียงกับย่านความถี่วิทยุที่ใช้สำหรับการให้ความร้อนในระดับอุตสาหกรรมอยู่ในย่านความถี่ที่ 13.56, 27.12 และ 40.68 MHz ซึ่งจะสามารถผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุได้แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุและความถี่คลื่น โดยคลื่นที่ความถี่ต่ำกว่าจะสามารถผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุได้ลึกกว่า เหมาะสำหรับการให้ความร้อนกับวัสดุที่มีขนาดใหญ่ ส่วนคลื่นความถี่สูงจะสามารถผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุได้ตื้นกว่า เหมาะสำหรับการให้ความร้อนกับวัสดุที่มีขนาดเล็ก (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2554)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

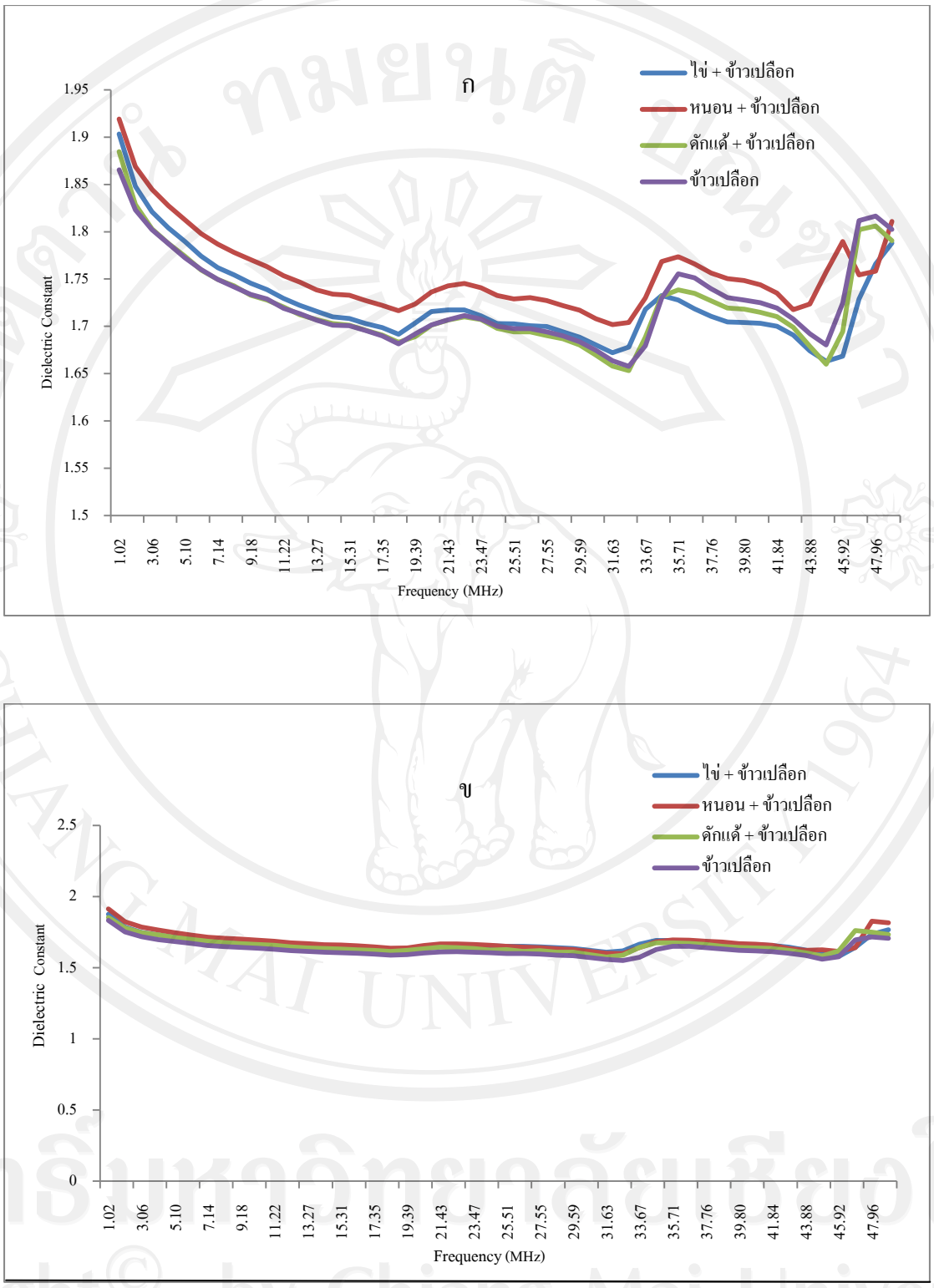


ภาพ 4.1 กลุ่มไข่ของผีเสื้อข้าวเปลือกที่อยู่บนเมล็ดข้าวเปลือก

ภาพ 4.2 ลักษณะของหนอนที่อาศัยกัดกินอยู่ภายในเมล็ดข้าวเปลือก

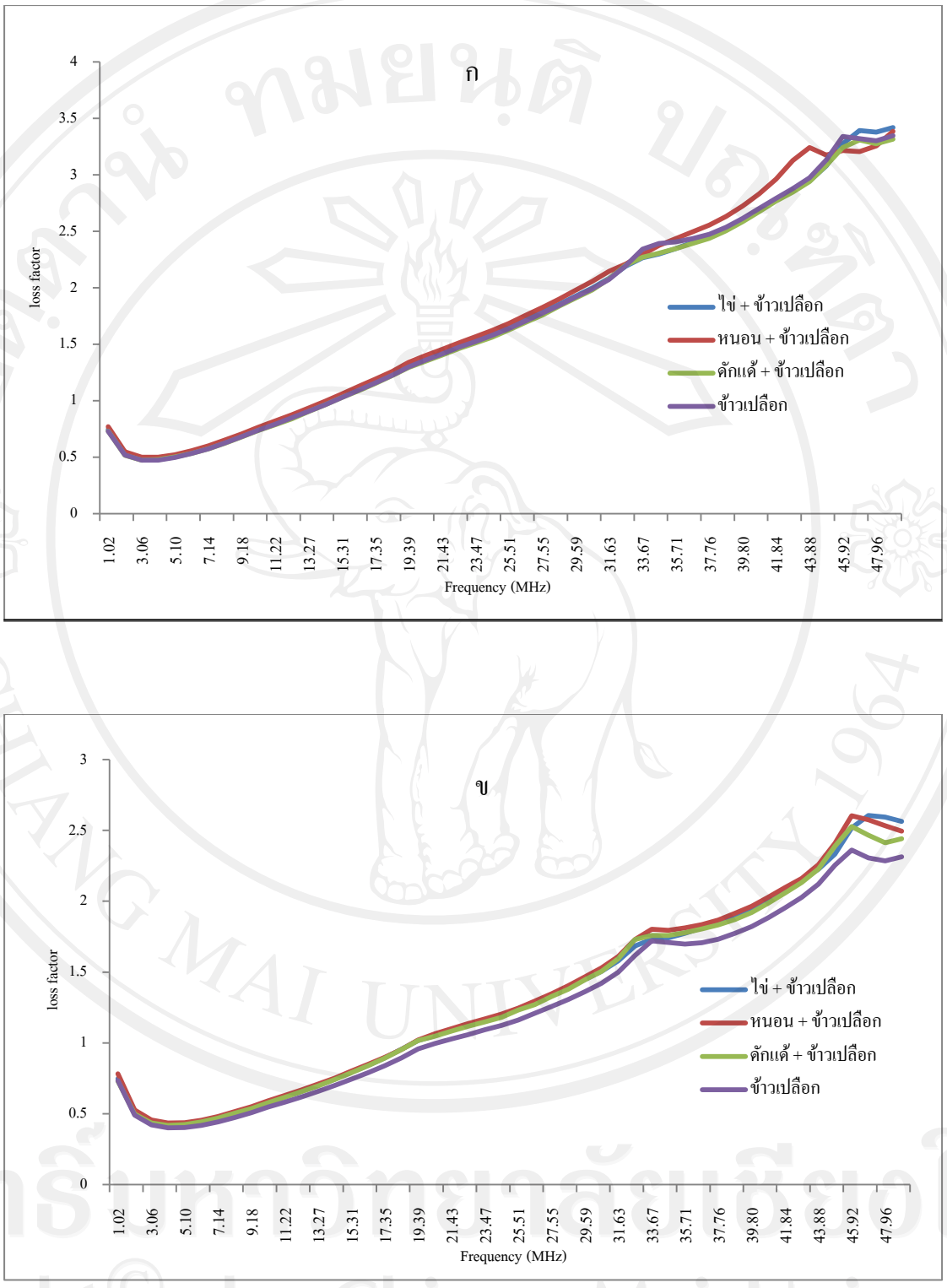
ภาพ 4.3 ลักษณะของดักแด้ที่อาศัยอยู่ภายในเมล็ดข้าวเปลือก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



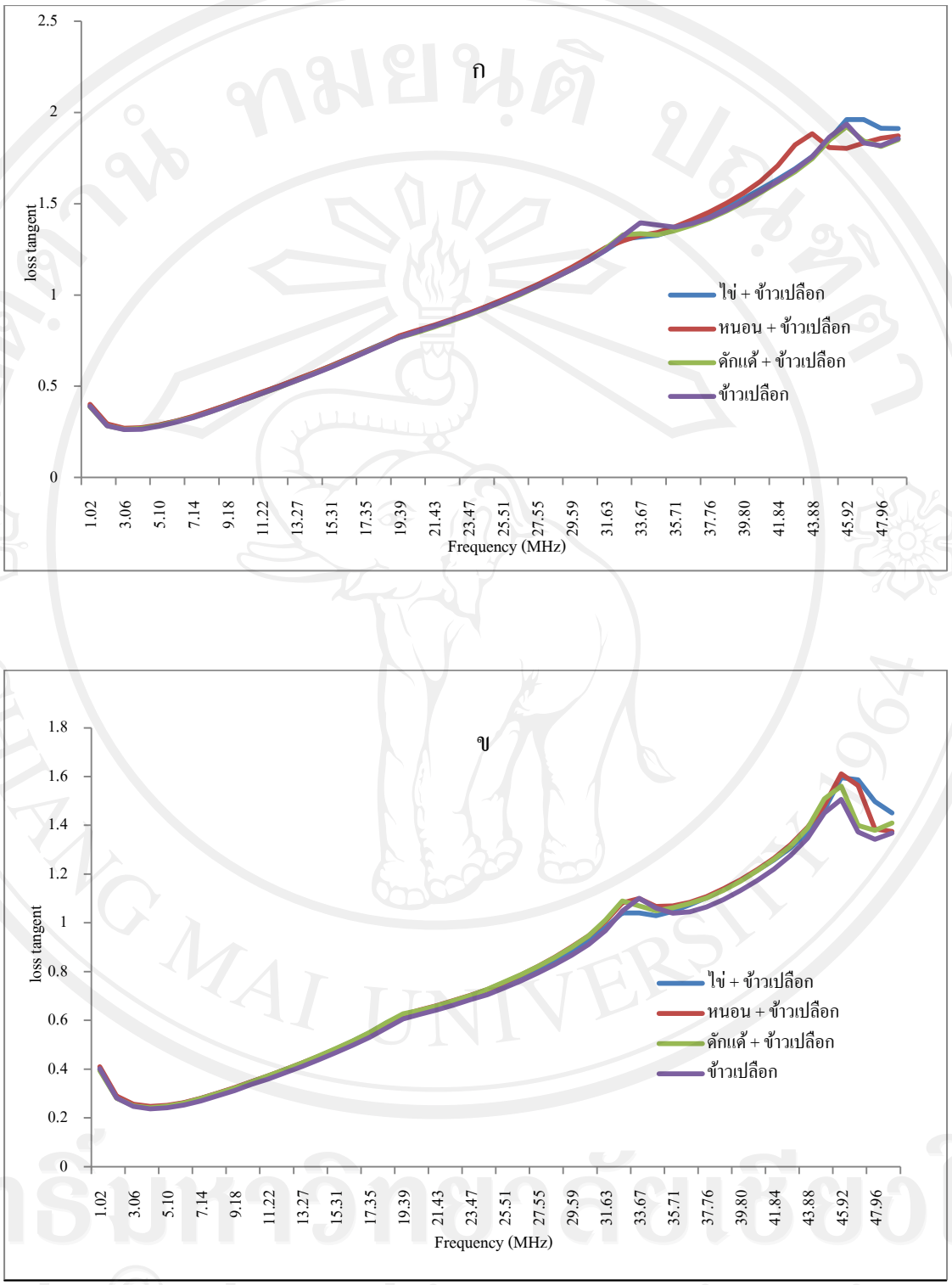
ภาพ 4.4 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของเมล็ดข้าวเปลือกที่มีไข่ของผีเสื้อข้าวเปลือกติดอยู่ เมล็ดข้าวเปลือกที่มีผีเสื้อข้าวเปลือกระยะหนอนและดักแด้เข้าทำลายอยู่ภายใน และเมล็ดข้าวเปลือกเพียงอย่างเดียว ที่ระยะห่างเพลท 1.00 (ก) และ 1.50 (ข) เซนติเมตร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.5 ค่าแฟกเตอร์การสูญเสียของเมล็ดข้าวเปลือกที่มีไข่ของผีเสื้อข้าวเปลือกติดอยู่ เมล็ดข้าวเปลือกที่มีผีเสื้อข้าวเปลือกระยะหนอนและดักแด้เข้าทำลายอยู่ภายใน และเมล็ดข้าวเปลือกเพียงอย่างเดียว ที่ระยะห่างเพลท 1.00 (ก) และ 1.50 (ข) เซนติเมตร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.6 ค่าลอสแทนเจนของเมล็ดข้าวเปลือกที่มีไข่ของผีเสื้อข้าวเปลือกติดอยู่ เมล็ดข้าวเปลือกที่มีผีเสื้อข้าวเปลือกระยะหนอนและดักแด้เข้าทำลายอยู่ภายใน และเมล็ดข้าวเปลือกเพียงอย่างเดียว ที่ระยะห่างเพลท 1.00 (ก) และ 1.50 (ข) เซนติเมตร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกในย่านความถี่ที่ 13.27 และ 27.55 MHz ของระยะไข่ ระยะหนอน ระยะดักแด้และเมล็ดข้าวเปลือก ที่ระยะเพลท 1.00 เซนติเมตร มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P<0.05) โดยพบว่า ระยะหนอนมีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสูงกว่าระยะดักแด้และเมล็ดข้าวเปลือก แต่ไม่แตกต่างจากระยะไข่ (ตาราง 4.1) ส่วนที่ระยะเพลท 1.50 เซนติเมตร มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P<0.05) ของระยะไข่ ระยะหนอน ระยะดักแด้และเมล็ดข้าวเปลือก (ตาราง 4.2) และทั้ง 2 ระยะเพลท (ตาราง 4.1 และ 4.2) ไม่มี interaction ระหว่างปัจจัยแรก (ระยะไข่ ระยะหนอน ระยะดักแด้และข้าวเปลือก) และปัจจัยที่สอง (ความถี่ที่ 13.27, 27.55 และ 41.84 MHz) และค่าคงที่ไดอิเล็กทริกมีค่าลดลงตามระยะเพลทเพิ่มขึ้น ซึ่งค่าคงตัวไดอิเล็กทริกเป็นค่าที่แสดงความสามารถของวัตถุในการกักเก็บพลังงานไฟฟ้า ถ้าค่านี้สูงแสดงว่าเก็บพลังงานได้มาก แต่ค่านี้จะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิและความชื้น

ตาราง 4.1 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก ที่ระยะห่างเพลท 1.00 เซนติเมตร (ก) ที่ความถี่ 13.27, 27.55 และ 41.84 MHz

กรรมวิธี	ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก[1/] ± SD		
	13.27 MHz	27.55 MHz	41.84 MHz
ไข่ + ข้าวเปลือก	1.716 ± 0.011ab	1.700 ± 0.017ab	1.700 ± 0.029a
หนอน + ข้าวเปลือก	1.738 ± 0.023b	1.727 ± 0.022b	1.735 ± 0.074a
ดักแด้ + ข้าวเปลือก	1.703 ± 0.015a	1.683 ± 0.017a	1.711 ± 0.012a
ข้าวเปลือก	1.707 ± 0.008a	1.694 ± 0.008a	1.719 ± 0.006a

[1/]ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ และแถวเดียวกันตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยค่า Least Significant Difference (LSD = 0.009)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.2 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก ที่ระยะห่างเพลท 1.50 เซนติเมตร (ข) ที่ความถี่ 13.27, 27.55 และ 41.84 MHz

กรรมวิธี	ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก[1/] ± SD (MHz)		
	13.27 MHz	27.55 MHz	41.84 MHz
ไข่ + ข้าวเปลือก	1.649 ± 0.038ab	1.646 ± 0.068ab	1.656 ± 0.082ab
หนอน + ข้าวเปลือก	1.669 ± 0.009b	1.640 ± 0.009ab	1.657 ± 0.008ab
ดักแด้ + ข้าวเปลือก	1.640 ± 0.007ab	1.619 ± 0.007ab	1.634 ± 0.008ab
ข้าวเปลือก	1.614 ± 0.015ab	1.595 ± 0.014a	1.614 ± 0.014ab

[1/]ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ และแถวเดียวกันตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยค่า Least Significant Difference (LSD = 0.012)

Jiao *et al.* (2011) รายงานว่าการใช้คลื่นความถี่วิทยุ (RF) และไมโครเวฟ (MW) ควบคุมการแพร่ระบาดของด้วงถั่วเขียว ในถั่ว black-eyed และถั่วเขียว โดยการวัดคุณสมบัติไดอิเล็กทริกของถั่ว black-eyed และถั่วเขียวที่ความชื้น 4 ระดับ คือ 8.8, 12.7, 16.8, 20.9 เปอร์เซ็นต์ และ 10.2, 14.4, 18.2, 22.3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในระยะ immature และตัวเต็มวัย ด้วยเครื่องอิมพีแดนซ์ ที่ความถี่ 10-1800 MHz อุณหภูมิ 20-60 องศาเซลเซียส พบว่าค่าคงตัวไดอิเล็กทริก และแฟกเตอร์การสูญเสียของด้วงถั่วเขียว ในระยะ immature (หนอน และดักแด้) และตัวเต็มวัย มีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกที่คล้ายกันมาก และมีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกลดลงด้วยความถี่และอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ปัจจัยการสูญเสียของระยะ immature ของด้วงถั่วเขียวสูงกว่าระยะตัวเต็มวัย อาจเนื่องจากระยะ immature มีความชื้นสูง (70.8% wb) กว่าระยะตัวเต็มวัย (43.9% wb) การเปรียบเทียบปัจจัยการสูญเสียระหว่างแมลงและถั่ว ที่ความถี่ 27 และ 915 MHz มีความชัดเจนสูง ความชื้นที่แตกต่างกันระหว่างแมลงและถั่วส่งผลให้แมลงมีอุณหภูมิความร้อนสูงกว่าถั่วในขณะที่ถั่วมีอุณหภูมิต่ำกว่าจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการรักษาคุณภาพสินค้าได้ดี

ค่าแฟกเตอร์การสูญเสียในย่านความถี่ที่ 13.27, 27.55 และ 41.84 MHz ของระยะไข่ ระยะหนอน ระยะดักแด้และเมล็ดข้าวเปลือก ที่ระยะเพลททั้ง 2 ระยะ (1.00 และ 1.50 เซนติเมตร) มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P<0.05) และไม่มี interaction ระหว่างปัจจัยแรก (ระยะไข่ ระยะหนอน ระยะดักแด้และเมล็ดข้าวเปลือก) และปัจจัยที่สอง (ความถี่ที่ 13.27, 27.55 และ 41.84 MHz) (ตาราง 4.3 และ 4.4) และมีความแตกต่างทางสถิติ (P<0.05) ที่ความถี่ต่างกันคือ 13.27, 27.55 และ 41.84 MHz แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (P>0.05) ของระยะไข่ ระยะหนอน ระยะดักแด้และ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมล็ดข้าวเปลือกที่ความถี่เดียวกัน คือ ที่ความถี่ 13.27 และ 27.55 MHz ยกเว้นที่ความถี่ 41.84 MHz ระยะเพลท 1.00 เซนติเมตร พบว่าค่าแฟกเตอร์การสูญเสีย ของระยะไข่ หนอน ดักแด้และเมล็ดข้าวเปลือก มีค่าเท่ากับ 2.779 ± 0.118, 2.963 ± 0.178, 2.767 ± 0.061 และ 2.792 ± 0.045 ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) (ตาราง 4.3)

ตาราง 4.3 ค่าแฟกเตอร์การสูญเสีย ที่ระยะห่างเพลท 1.00 เซนติเมตร (ก) ที่ความถี่ 13.27, 27.55 และ 41.84 MHz

กรรมวิธี	ค่าแฟกเตอร์การสูญเสีย[1/] ± SD (MHz)		
	13.27 MHz	27.55 MHz	41.84 MHz
ไข่ + ข้าวเปลือก	0.920 ± 0.034a	1.785 ± 0.067b	2.779 ± 0.118c
หนอน + ข้าวเปลือก	0.934 ± 0.032a	1.825 ± 0.062b	2.963 ± 0.178d
ดักแด้ + ข้าวเปลือก	0.904 ± 0.028a	1.759 ± 0.042b	2.767 ± 0.061c
ข้าวเปลือก	0.905 ± 0.015a	1.774 ± 0.028b	2.792 ± 0.045c

[1/]ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ และแถวเดียวกันตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยค่า Least Significant Difference (LSD = 0.027)

ตาราง 4.4 ค่าแฟกเตอร์การสูญเสีย ที่ระยะห่างเพลท 1.50 เซนติเมตร (ข) ที่ความถี่ 13.27, 27.55 และ 41.84 MHz

กรรมวิธี	ค่าแฟกเตอร์การสูญเสีย[1/] ± SD (MHz)		
	13.27 MHz	27.55 MHz	41.84 MHz
ไข่ + ข้าวเปลือก	0.700 ± 0.030a	1.337 ± 0.082b	2.085 ± 0.143d
หนอน + ข้าวเปลือก	0.709 ± 0.004a	1.346 ± 0.008b	2.095 ± 0.014d
ดักแด้ + ข้าวเปลือก	0.697 ± 0.009a	1.329 ± 0.018b	2.059 ± 0.028cd
ข้าวเปลือก	0.658 ± 0.017a	1.256 ± 0.034b	1.953 ± 0.054c

[1/]ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ และแถวเดียวกันตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยค่า Least Significant Difference (LSD = 0.019)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากการศึกษาพบว่า ระยะหนอนมีค่าแฟกเตอร์การสูญเสียมากกว่าระยะไข่ ระยะดักแด้ และเมล็ดข้าว เปลือก ซึ่งค่าแฟกเตอร์การสูญเสียเป็นค่าที่แสดงความสามารถของวัตถุที่จะกระจายพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานความร้อน ถ้าค่านี้สูงแสดงว่าวัตถุจะเกิดความร้อนสูง และจากการทดลองระยะหนอนมีการกระจายพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานความร้อนได้มากกว่าระยะไข่ ระยะดักแด้และเมล็ดข้าวเปลือก เนื่องจากระยะหนอนเป็นระยะที่กำลังเจริญเติบโตและอาศัยกัดกินอยู่ภายในเมล็ด ทำให้มีน้ำเป็นส่วนประกอบสูงกว่าระยะอื่น และสูงกว่าเมล็ดข้าวเปลือก จึงตอบสนองต่อค่าไดอิเล็กทริกได้มากกว่า สอดคล้องกับ Wang and Tang (2001) รายงานว่าตามทฤษฎีความร้อนของ RF การกระจายความร้อนและการ absorption พลังงานแปรผันตามค่าปัจจัยการสูญเสียของวัตถุ ค่าแฟกเตอร์การสูญเสียเห็นได้อย่างชัดเจนระหว่าง codling moth larvae และวอลนัท ที่ความถี่ 27 MHz อุณหภูมิ 53 องศาเซลเซียส ปัจจัยการสูญเสียของ codling moth larvae มีค่าสูงกว่าวอลนัท อาจเป็นเพราะ codling moth larvae ตอบสนองพลังงานไฟฟ้าได้มากกว่า แมลงจึงร้อนกว่า และ RF สามารถฆ่าแมลงได้สมบูรณ์ภายใน 3 นาที เป็นไปได้ว่าแมลงตอบสนองต่อความร้อนได้เร็วกว่าวอลนัท แมลงจึงตายเมื่อโดนอุณหภูมิสูงในขณะที่วอลนัทมีอุณหภูมิต่ำกว่า ทำให้ยังคงคุณภาพสินค้าเอาไว้ และในทำนองเดียวกันค่าแฟกเตอร์การสูญเสีย ที่ระยะเพลท 1.50 เซนติ เมตร (ตาราง 4.4) มีความแตกต่างทางสถิติ (P<0.05) ที่ความถี่ต่างกันคือ 13.27, 27.55 และ 41.84 MHz แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (P>0.05) ของระยะไข่ ระยะหนอน ระยะดักแด้และเมล็ดข้าวเปลือกที่ความถี่เดียวกัน คือ ความถี่ที่ 13.27 และ 27.55 MHz ยกเว้นที่ความถี่ 41.84 MHz มีความแตกต่างทางสถิติ (P<0.05) พบว่าค่าแฟกเตอร์การสูญเสีย ของระยะไข่ หนอน ดักแด้และเมล็ดข้าวเปลือก มีค่าเท่ากับ 2.085 ± 0.143, 2.095 ± 0.014, 2.059 ± 0.028 และ 1.953 ± 0.054 ตามลำดับ โดยระยะไข่และระยะหนอน มีแฟกเตอร์การสูญเสียมากกว่าเมล็ดข้าวเปลือก ส่วนเมล็ดข้าวเปลือกมีแฟกเตอร์การสูญเสียไม่แตกต่างจากระยะดักแด้ และที่ความถี่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าแฟกเตอร์การสูญเสียเพิ่มขึ้นตามความถี่

ค่าลอสแทนเจนในย่านความถี่ที่ 13.27, 27.55 และ 41.84 MHz ของระยะไข่ หนอน ดักแด้และเมล็ดข้าวเปลือก ที่ระยะเพลททั้ง 2 ระยะ (1.00 และ 1.50 เซนติเมตร) มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P<0.05) (ตารางที่ 4.5 และ 4.6) และที่ระยะเพลท 1.00 เซนติเมตร มี interaction ระหว่างปัจจัยแรก (ระยะไข่ ระยะหนอน ระยะดักแด้และเมล็ดข้าวเปลือก) และปัจจัยที่สอง (ความถี่ที่ 13.27, 27.55 และ 41.84 MHz) และมีความแตกต่างทางสถิติ (P<0.05) ที่ความถี่ต่างกันคือ 13.27, 27.55 และ 41.84 MHz แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (P>0.05) ของระยะไข่ ระยะหนอน ระยะดักแด้และเมล็ดข้าวเปลือกที่ความถี่เดียวกัน คือ ที่ความถี่ 13.27 และ 27.55 MHz ยกเว้นที่ความถี่ 41.84 MHz พบว่าค่าลอสแทนเจน ของระยะไข่ หนอน ดักแด้และเมล็ดข้าวเปลือก มีค่าเท่ากับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1.634 ± 0.051, 1.708 ± 0.070, 1.617 ± 0.025 และ 1.624 ± 0.025 ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยระยะหนอนมีค่าลอสแทนเจนมากกว่า ระยะไข่ ระยะดักแด้และเมล็ดข้าวเปลือก (ตาราง 4.5)

ตาราง 4.5 ค่าลอสแทนเจน ที่ระยะห่างเพลท 1.00 เซนติเมตร (ก) ที่ความถี่ 13.27, 27.55 และ 41.84 MHz

กรรมวิธี	ค่าลอสแทนเจน[1/] ± SD (MHz)		
	13.27 MHz	27.55 MHz	41.84 MHz
ไข่ + ข้าวเปลือก	0.536 ± 0.016a	1.050 ± 0.031b	1.634 ± 0.051c
หนอน + ข้าวเปลือก	0.537 ± 0.012a	1.057 ± 0.023b	1.708 ± 0.070d
ดักแด้ + ข้าวเปลือก	0.531 ± 0.012a	1.045 ± 0.017b	1.617 ± 0.025c
ข้าวเปลือก	0.530 ± 0.007a	1.047 ± 0.014b	1.624 ± 0.025c

[1/]ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ และแถวเดียวกันตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยค่า Least Significant Difference (LSD = 0.011)

ตาราง 4.6 ค่าลอสแทนเจน ที่ระยะห่างเพลท 1.50 เซนติเมตร (ข) ที่ความถี่ 13.27, 27.55 และ 41.84 MHz

กรรมวิธี	ค่าลอสแทนเจน[1/] ± SD (MHz)		
	13.27 MHz	27.55 MHz	41.84 MHz
ไข่ + ข้าวเปลือก	0.425 ± 0.010a	0.812 ± 0.018b	1.258 ± 0.026d
หนอน + ข้าวเปลือก	0.425 ± 0.002a	0.821 ± 0.005b	1.264 ± 0.012d
ดักแด้ + ข้าวเปลือก	0.425 ± 0.005a	0.821 ± 0.011b	1.260 ± 0.013d
ข้าวเปลือก	0.411 ± 0.006a	0.794 ± 0.012b	1.221 ± 0.019c

[1/]ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ และแถวเดียวกันตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยค่า Least Significant Difference (LSD = 0.005)

ค่าลอสแทนเจน แสดงให้เห็นถึงระดับการทะลุทะลวงของสนามไฟฟ้าและระดับการกระจายพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อน ถ้ามีค่าสูงแสดงว่าวัตถุจะเกิดความร้อนได้ดีขึ้น และ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากการทดลองพบว่าระยะเพลท 1.00 เซนติเมตร ที่ความถี่ 41.84 MHz ระยะหนอนมีระดับการกระจายพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อนได้สูงสุด และในทำนองเดียวกันค่าลอสแทนเจนระยะเพลท 1.50 เซนติเมตร (ตาราง 4.6) มีความแตกต่างทางสถิติ (P<0.05) ที่ความถี่ต่างกันคือ 13.27, 27.55 และ 41.84 MHz และมีความแตกต่างทางสถิติ (P<0.05) ของระยะไข่ ระยะหนอน ระยะดักแด้และเมล็ดข้าวเปลือก ที่ความถี่ 41.84 MHz โดยพบว่า ระยะไข่ หนอนและดักแด้มีค่าลอสแทนเจนมากกว่าเมล็ดข้าวเปลือกเพียงอย่างเดียว มีค่าเท่ากับ 1.258 ± 0.026, 1.264 ± 0.012, 1.260 ± 0.013 และ 1.221 ± 0.019 ตามลำดับ และเมื่อความถี่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าลอสแทนเจนเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

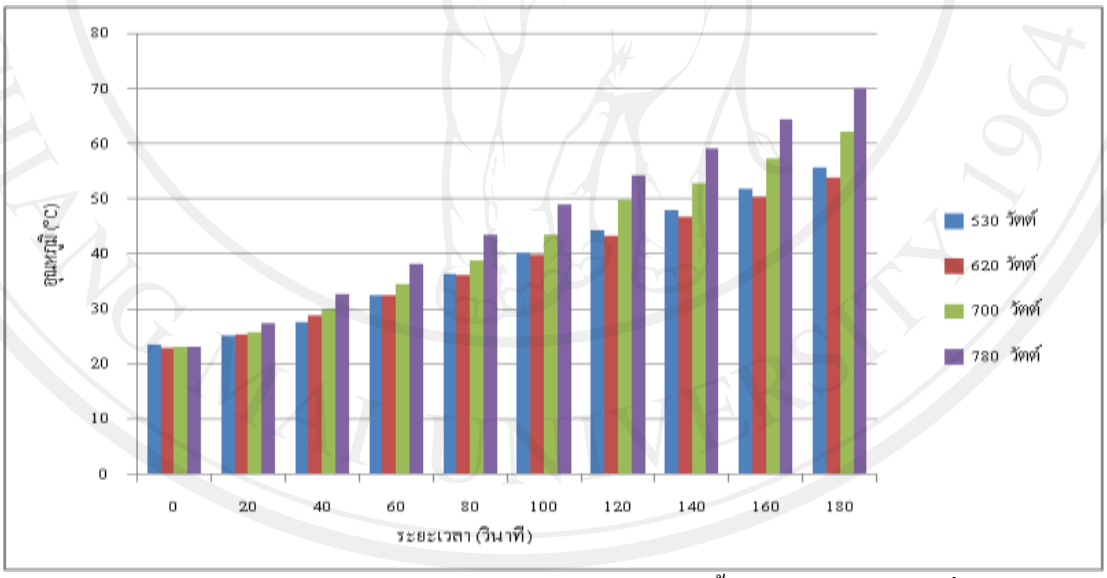
ดังนั้น จากผลการทดลองจะเห็นว่าระยะเพลทที่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก ค่าแฟกเตอร์การสูญเสีย และค่าลอสแทนเจนมีค่าลดลงตามระยะเพลทที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากความจุไฟฟ้า (Capacitance,C) ของแผ่นตัวนำขนาน (แผ่นเพลทอะลูมิเนียมขนาด 10×10 เซนติเมตร) แปรผันตรงกับพื้นที่ของแผ่นตัวนำและแปรผกผันกับระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำ ถ้าระยะห่างระหว่างแผ่นเพลททั้งสองอยู่ในตำแหน่งที่ใกล้กัน ความจุทางไฟฟ้าจะมีค่ามาก เมื่อเพิ่มระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำหรือลดพื้นที่ของแผ่นตัวนำ ความจุทางไฟฟ้าก็จะลดลง ส่วนเมล็ดข้าวเปลือกและเมล็ดข้าวเปลือกที่มีไข่ เมล็ดข้าวเปลือกที่มีหนอน และดักแด้ของผีเสื้อข้าวเปลือกอยู่ภายในเมล็ดข้าวที่มีความชื้น 15 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นความชื้นต่ำสุดที่สามารถเพิ่มปริมาณแมลงและนำมาทดสอบได้ กรณีที่ข้าวความชื้นต่ำกว่านี้ พบว่าไม่สามารถกระตุ้นให้แมลงวางไข่จนมากพอที่จะนำมาทดสอบ และที่ระยะเพลท 1.00 0 เซนติเมตร ในย่านความถี่ที่ 13.27 และ 27.55 MHz พบว่าระยะหนอนมีความสามารถในการสะสมพลังงานไฟฟ้าหรือเก็บพลังงานไฟฟ้า (dielectric constant; ε') ได้มากกว่าระยะดักแด้ และเมล็ดข้าวเปลือก แต่ไม่แตกต่างจากระยะไข่ ส่วนค่าปลดปล่อยพลังงานไฟฟ้า (loss factor; ε'') และค่าลอสแทนเจน (loss tangent; tan δ) ซึ่งทั้ง 2 ค่านี้มีค่าเพิ่มขึ้นตามความถี่ที่เพิ่มขึ้น และที่ระยะเพลท 1.00 เซนติเมตร ในย่านความถี่ที่ 13.27, 27.55 และ 41.84 MHz มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) โดยที่ความถี่ 41.84 MHz พบว่าระยะหนอนของผีเสื้อข้าวเปลือก มีความสามารถในการสะสมและปลดปล่อยพลังงานไฟฟ้าได้ดีกว่าเมล็ดข้าวเปลือกที่มีระยะไข่ ระยะดักแด้ และเมล็ดข้าวเปลือกเพียงอย่างเดียว

อย่างไรก็ตามแม้ว่าระดับคลื่นความถี่วิทยุที่ 41.84 MHz ให้ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก ค่าแฟกเตอร์การสูญเสีย และค่าลอสแทนเจนที่ดีกว่าคลื่นความถี่วิทยุที่ 13.27 และ 27.55 MHz แต่ในการศึกษาครั้งนี้มีข้อจำกัดที่มีเครื่องกำเนิดคลื่นความถี่วิทยุที่ระดับ 27.55 MHz ดังนั้นในการศึกษาการใช้คลื่นความถี่วิทยุในการกำจัดแมลงจึงสามารถศึกษาได้เพียงคลื่นความถี่เดียวคือ 27.55 MHz

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การทดลองที่ 2 ศึกษาระยะการเจริญเติบโตของผีเสื้อข้าวเปลือกที่มีความทนทานที่สุดเมื่อผ่านคลื่นความถี่วิทยุที่ระดับพลังงานที่เหมาะสม

จากการทดลองเพื่อหาระดับพลังงาน (power) โดยนำข้าวเปลือกขาวดอกมะลิ 105 ความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นความชื้นที่ยอมรับได้ในการเก็บรักษาข้าวเปลือก และแมลงสามารถเจริญเติบโตได้ มาบรรจุถุงกระสอบป่านขนาด 20 x 25 เซนติเมตร ไปผ่านคลื่นความถี่วิทยุที่ 27.12 MHz ที่ระดับพลังงาน 530, 620, 700 และ 780 วัตต์ บันทึกอุณหภูมิทุก ๆ 20 วินาที จนครบ 180 วินาที เพื่อหาระดับพลังงานและระยะเวลาที่ให้อุณหภูมิอยู่ที่ระดับ 50 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิสูงสุด ที่แมลงสามารถอยู่รอดได้อยู่ในช่วง (40-50 องศาเซลเซียส) (Heinrich, 1981) จากการทดลองพบว่าระดับพลังงาน 700 วัตต์ เวลา 120 วินาที มีอุณหภูมิอยู่ที่ 49.7 ± 0.2 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นระดับพลังงานที่ใกล้เคียงกับอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสมากสุด และเมื่อให้ระดับพลังงานที่สูงขึ้น อุณหภูมิข้าวเปลือกภายในถุงบรรจุกระสอบป่านเพิ่มสูงขึ้นตามระดับพลังงานและระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (ภาพ 4.7)



ภาพ 4.7 กราฟแสดงอุณหภูมิข้าวเปลือกขาวดอกมะลิ 105 ความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำมาผ่านคลื่นความถี่วิทยุ 27.12 MHz ที่ระดับพลังงานต่าง ๆ

ความร้อนของเมล็ดข้าวเปลือกเกิดจากความร้อนแบบไดอิเล็กทริก พลังงานที่ได้จากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจะถูกส่งไปยังวัตถุ โดยการให้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแบบสลับ และความร้อนจะเกิดขึ้นเฉพาะส่วนที่ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งเรียกว่า ความร้อนที่เกิดขึ้นภายใน (internal heating) (Nelson and Walker, 1961) ตัวอย่างของเมล็ดข้าวเปลือกที่จะทำการให้คลื่นความถี่วิทยุจะ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

บรรจุลงในภาชนะกระสอบป่านและวางระหว่างแผ่นโลหะที่ขนานกัน จะเกิดการส่งผ่านพลังงานในลักษณะสลับไปมา เมื่อการส่งผ่านพลังงานไปยังตัวอย่างได้เกิดขึ้นอย่างครบวงจรจะเกิดเป็นพลังงานไฟฟ้าขึ้นระหว่างแผ่นโลหะทั้งสองแผ่น โดยจะเกิดการดูดซับพลังงานที่เกิดขึ้นของตัวอย่างที่ทำการให้คลื่นความถี่วิทยุ ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสองรูปแบบ คือ ขั้นแรกเกิดการสั่นสะเทือนของโมเลกุลในตัววัตถุ ลำดับต่อมาจะเกิดการสะสมพลังงานและการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในตัววัตถุอย่างรวดเร็ว (Cwiklinski and Hörsten, 1999) การดูดซับพลังงานคลื่นแม่เหล็กเหล็กไฟฟ้านั้น ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางไฟฟ้า ได้แก่ ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (ε') แฟกเตอร์การสูญเสีย (ε'') และค่าลอสแทนเจน ($\tan \delta$) ของเมล็ดข้าวเปลือก และสมบัติไดอิเล็กทริกของวัสดุที่เป็นผลผลิตทางการเกษตรบางชนิดมีค่าคงตัวไดอิเล็กทริกขึ้นอยู่กับความถี่ ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิ และความหนาแน่น (Nelson, 2005)

ดังนั้นคลื่นความถี่วิทยุ 27.12 MHz ที่ระดับพลังงาน 700 วัตต์ เหมาะสมที่จะนำมาใช้กับกับข้าวเปลือก เพราะค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิที่ต้องการ คือ 50 องศาเซลเซียส มีการเบี่ยงเบนของข้อมูลน้อย (standard deviation) และในการเลือกระดับพลังงานจะต้องคำนึงถึงความสม่ำเสมอในการดูดซับพลังงานและการกระจายพลังงานความร้อนของข้าวเปลือกภายในถุงบรรจุ เพราะถ้าเลือกใช้ระดับพลังงานที่สูงเป็นระยะเวลานานจะสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าและค่าใช้จ่าย

ตาราง 4.7 เปอร์เซ็นต์การตายเฉลี่ยของผีเสื้อข้าวเปลือกในระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ ที่ ผ่านคลื่นความถี่วิทยุ 27.12 MHz ที่พลังงาน 700 วัตต์ ระยะเวลา 120 วินาที

ระยะการเจริญเติบโต	เปอร์เซ็นต์การตาย± SE[1/]
ไข่	80.04 ± 1.90ab
หนอน	88.82 ± 4.33b
ดักแด้	68.75 ± 3.14a

[1/] ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยค่า Least Significant Difference (LSD = 4.64)

จากการทดสอบผลของคลื่นความถี่วิทยุ 27.12 MHz ที่ระดับพลังงาน 700 วัตต์ ระยะเวลา 120 วินาที มีอุณหภูมิสุดท้ายเฉลี่ยเท่ากับ 49.7 ± 0.2 องศาเซลเซียส นำมาหาระยะการเจริญเติบโตของผีเสื้อข้าวเปลือกที่มีความทนทานต่อคลื่นความถี่วิทยุ (RF) มากที่สุด โดยใช้ข้าวเปลือกพันธุ์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ขาวดอกมะลิ 105 ความชื้นเริ่มต้น 14 เปอร์เซ็นต์ ทดลองกับผีเสื้อข้าวเปลือกในระยะไข่ หนอน และดักแด้ แยกการทดลองแต่ละระยะการเจริญเติบโต พบว่าผีเสื้อข้าวเปลือกระยะต่าง ๆ ที่อาศัยอยู่ในข้าวบรรจุอยู่ในกระสอบป่าน เมื่อได้รับคลื่นความถี่วิทยุที่ 27.12 MHz ระดับพลังงาน 700 วัตต์ ระยะเวลาในการให้พลังงาน 120 วินาที มีการตอบสนองแตกต่างกันทางสถิติ (P<0.05) มีค่าการตายเฉลี่ยดังนี้ ระยะไข่ 80.04 ± 1.90 ระยะหนอน 88.82 ± 4.33 และระยะดักแด้ 68.75 ± 3.14 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งผีเสื้อข้าวเปลือกระยะดักแด้มีเปอร์เซ็นต์การตายไม่แตกต่างจากระยะไข่และน้อยกว่าระยะหนอน การตายของผีเสื้อข้าวเปลือกเกิดจากการสร้างความร้อนจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ในความถี่ระดับคลื่น วิทยุปล่อยผ่านไปยังวัตถุจนเกิดความร้อนขึ้นจากภายในวัตถุ (Birla *et al*., 2004) โดยคลื่นความถี่วิทยุสร้างความร้อนอย่างรวดเร็ว มีการกระจายความร้อนสม่ำเสมอ จากหลักการการสั่นสะเทือนของโมเลกุลน้ำ วัตถุที่มีองค์ประกอบของน้ำจะมีความร้อนเกิดขึ้นภายในตัวเอง แมลงซึ่งมีองค์ ประกอบของน้ำอยู่ประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ สามารถดูดซับพลังงานได้เร็วและก่อให้เกิดความร้อนในตัวแมลงได้เร็วกว่าเมล็ดข้าวเปลือกจึงเกิดความร้อนขึ้นมากกว่า และรวดเร็วกว่า แมลงอาจตายได้อย่างรวดเร็วโดยที่เมล็ดข้าวยังไม่ถูกทำลายและไม่มีผลต่อคุณภาพของข้าว (สถาบันวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว, 2551)

ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าระยะดักแด้เป็นระยะที่มีแนวโน้มที่ทนต่อ RF มากที่สุด อาจเนื่องจากระยะดักแด้เป็นระยะที่มีขนาดใหญ่กว่าระยะไข่ เป็นไปได้ที่มีปริมาณของของเหลวในร่างกายมากกว่า ส่งผลให้เกิดความร้อนได้มากกว่า อย่างไรก็ตามระยะไข่และดักแด้เป็นระยะที่มีกิจกรรมในการหายใจต่ำกว่าระยะหนอน เมื่ออัตราการหายใจของแมลงมีน้อยการสูญเสียน้ำก็จะลดลง ส่วนระยะหนอนเป็นระยะที่แมลงมีการกินและเจริญเติบโต น้ำในตัวหนอนจึงมีมากกว่า ระยะหนอนจึงมีความสามารถในเก็บพลังงานไฟฟ้าได้มากว่า (dielectric constant; ε') และสามารถดูดซับพลังงานคลื่นความถี่วิทยุกระจายเป็นพลังงานความร้อน (loss factor; ε'') ได้เร็วกว่าเมล็ดข้าวเปลือก และเมล็ดข้าวเปลือกที่มีไข่ และดักแด้ ระยะหนอนจึงสูญเสียน้ำได้สูงกว่า (Chapman, 1998) รวมทั้งอุณหภูมิความร้อนที่สูงขึ้น ซึ่งเกิดจากความชื้นของข้าวเปลือก ทำให้เกิดความร้อนทั้งภายนอกและภายในตัวแมลง สอดคล้องกับงานวิจัยของกรรณิการ์ (2552) จากการทดสอบผลของคลื่นความถี่วิทยุ 27.12 MHz ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 3 นาที พบว่าระยะหนอนของมอดแป้งมีเปอร์เซ็นต์การตายเฉลี่ยมากที่สุดคือ 92.06 ± 4.0 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ ตัวเต็มวัย ไข่ และดักแด้ มีเปอร์เซ็นต์การตายเฉลี่ยเท่ากับ 91.58 ± 1.7, 81.98 ± 3.8 และ 72.99 ± 3.3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยดักแด้ของมอดแป้งมีเปอร์เซ็นต์การตายเฉลี่ยน้อยที่สุด จึงมีความทนทานต่อความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุมากที่สุด Johnson *et al*. (2004) พบว่าหนอนวัยแก่ของมอดแป้ง (วัย 6-8) ที่เข้าทำลายเมล็ดพืชวงศ์นัท (nut) ได้แก่ วอลนัท (walnuts) อัลมอนด์ (almonds) และพิสทาชิโอ (pistachios) มีอัตราการตาย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

น้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับระยะดักแด้ ตัวเต็มวัย ไข่ และหนอนวัยอ่อน ที่ระดับคลื่นความถี่วิทยุ 27 MHz อุณหภูมิ 48 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที และที่อุณหภูมิ 52 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที สามารถกำจัดหนอนวัยแก่ได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่กฤษณา (2552) ทดสอบนำมอดหัวป้อมไปผ่านคลื่นความถี่วิทยุที่ 27.12 MHz อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 180 วินาที พบว่าตัวเต็มวัยของมอดหัวป้อมเป็นระยะที่มีอัตราการรอดชีวิตมากที่สุด คือ 38.33 เปอร์เซ็นต์ ส่วนระยะดักแด้ หนอน และไข่ มีอัตราการตายอยู่ที่ 86.56, 92.30 และ 99.10 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 150 วินาทีขึ้นไปสามารถทำให้มอดหัวป้อมระยะตัวเต็มวัยตายได้ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Janhang *et al.* (2005) ที่ใช้คลื่นความถี่วิทยุ 27.12 MHz ในข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ความชื้น 10.4 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 70, 75, 80 และ 85 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 180 วินาที พบว่า มอดหัวป้อมตาย 100 เปอร์เซ็นต์ ในทุกกรรมวิธี

การควบคุมแมลงศัตรูโรงเก็บโดยการใช้ RF ภายใต้สภาวะที่เหมือนกัน แมลงแต่ละชนิดและแต่ละระยะการเจริญเติบโตตอบสนองต่อคลื่นความถี่วิทยุแตกต่างกันไป เนื่องจากคุณลักษณะที่แตกต่างกันซึ่งอาจจะเป็นทางชีวภาพ หรือกายภาพ หรือองค์ประกอบภายในร่างกายที่แตกต่างกัน และเมื่อแมลงได้รับความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุจะเกิดการสูญเสียน้ำหนักและมีการรับออกซิเจนเพิ่มขึ้นเหมือนกับระยะหนอนที่ได้รับบาดแผล และเกิดการสร้างโปรตีนเพิ่มขึ้น (heat shock protein) เพื่อซ่อมแซมส่วนของร่างกายที่ถูกทำลาย ทำให้แมลงสามารถอยู่รอดต่อไปได้ (Nelson, 1996)

จากการนำผีเสื้อข้าวเปลือกระยะไข่ หนอน และดักแด้ มาผ่าน RF ที่ 27.12 MHz พลังงาน 700 วัตต์ ระยะเวลา 120 วินาที อุณหภูมิ 49.7 ± 0.2 องศาเซลเซียส เก็บไว้เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ หลังจากตรวจนับจำนวนแมลงที่เหลือรอด เมื่อทุกระยะเข้าสู่ตัวเต็มวัย นำแมลงที่เหลือรอดของแต่ละระยะมาเลี้ยงในข้าวเปลือกสะอาดที่ผ่านการปรับความชื้น 15 เปอร์เซ็นต์ เก็บไว้อีก 4 สัปดาห์ นับจำนวนแมลงในรุ่นลูก พบว่าค่าเฉลี่ยจำนวนแมลงรุ่นลูกของผีเสื้อข้าวเปลือกระยะไข่ หนอน และดักแด้ ที่เหลือรอดจากการได้รับ RF มีจำนวนลดลงแตกต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เป็น 5.25 ± 3.09, 13.75 ± 11.83 และ 84.75 ± 12.70 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เปรียบเทียบกับแมลงปกติที่สามารถให้ลูกได้ เป็น 45.75 ± 5.29, 154.75 ± 12.84 และ 169.5 ± 10.69 เปอร์เซ็นต์ อาจกล่าวได้ว่าการใช้ RF กำจัดแมลงในระยะไข่ หนอน และดักแด้ มีผลทำให้จำนวนแมลงบางส่วนตายไป แมลงที่เหลือรอดในแต่ละระยะให้ลูกในจำนวนที่ต่างกันได้ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การควบคุมแมลงหลังจากผ่าน RF เปรียบเทียบกับแมลงปกติเป็น 88.52, 99.11 และ 50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า RF ควบคุมแมลงระยะดักแด้ได้น้อยที่สุด (50 เปอร์เซ็นต์) (ตาราง 4.8)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.8 จำนวนแมลงผีเสื้อข้าวเปลือกรุ่นลูก เมื่อผ่านคลื่นความถี่วิทยุ 27.12 MHz ที่พลังงาน 700 วัตต์ ระยะเวลา 120 วินาที หลังจากเก็บไว้ 4 สัปดาห์

กรรมวิธี	จำนวนแมลงรุ่นลูก[1/]		
	ระยะการเจริญเติบโต		
	ไข่	หนอน	ดักแด้
ชุดควบคุม (control)	45.75a	154.75a	169.5a
หลังผ่าน RF	5.25b	13.75b	84.75b
เปอร์เซ็นต์การควบคุม	88.52	99.11	50
Std. Error difference	6.13	17.46	16.60

[1/] ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี pair t-test

จากผลการทดลอง สอดคล้องกับ Mahroof *et al.* (2005) รายงานว่ามอดแป้ง *Tribolium casteneum* ที่ได้รับความร้อนที่ 50 องศาเซลเซียส ส่งผลกระทบถึงการเจริญพันธุ์ (fecundity) ทำให้อัตราการอยู่รอดตั้งแต่ระยะไข่จนถึงระยะตัวเต็มวัย และจำนวนแมลงรุ่นลูกลดลง นอกจากนี้ Nelson (1996) พบว่าความร้อนจากคลื่น RF สร้างความเสียหายต่อเซลล์สเปิร์มและเนื้อเยื่อรังไข่ ทำให้การเจริญพันธุ์ลดลง อัตราการฟักไข่ลด และไข่ที่ฟักออกมามีขนาดเล็กลง และความร้อนมีผลต่อระบบประสาท (nervous system) ที่ควบคุมการทำงานของระบบต่อมไร้ท่อ (endocrine system) และระบบอวัยวะต่าง ๆ ทำงานไม่เป็นไปตามปกติ เช่น มีผลในการยับยั้งการสร้างสาร vitellin ซึ่งเป็นโปรตีนสำคัญในการสร้างและพัฒนาไข่ของแมลง และการเพิ่มขึ้น Juvenile hormone (JH) ซึ่งเป็นฮอร์โมนที่มีหน้าที่ควบคุมการเจริญเติบโตและการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของแมลงไม่ให้เป็นตัวเต็มวัย ถ้ามี JH ลดลงส่งผลให้แมลงระยะตัวอ่อนมีการลอกคราบมากขึ้น หรือมีระยะการเจริญเติบโตผิดปกติ แมลงมีการตอบสนองต่อความร้อน โดยมีการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมและการพัฒนา โดยจะมี heat shock proteins เพื่อนำมาใช้ในการปรับตัวเองให้อยู่รอดเมื่ออุณหภูมิสูง (Neven, 2000) การปรับตัวทางสรีรวิทยาและทางชีวเคมีของแมลง ในการช่วยป้องกันตัวเองจากการบาดเจ็บ เช่น การสั่นตัวเพื่อเพิ่มอุณหภูมิของร่างกาย ขณะที่แมลงบางชนิดใช้เหงื่อเพื่อการระบายความร้อน เพื่อลดอุณหภูมิของร่างกาย (David and George, 2007) นอกจากนั้น Shi *et al*. (2011) ยังพบว่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทำให้แมลงมีอัตราการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น และใช้ระยะเวลาในการพัฒนา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ไปเป็นตัวเต็มวัยสั้นลง อย่างไรก็ตามแมลงแต่ละชนิดมีช่วงของอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโต อุณหภูมิที่สูงมากจะไปยับยั้งให้พัฒนาการ การเจริญเติบโตของแมลงให้ช้าลง เช่น การลอกคราบของระยะหนอนและการเจริญไปเป็นตัวเต็มวัยช้าลง (Wigglesworth, 1972)

การทดลองที่ 3 ศึกษาอัตราการใช้คลื่นความถี่วิทยุในอุณหภูมิและระยะเวลาเหมาะสมที่ทำให้ผีเสื้อข้าวเปลือกตายอย่างสมบูรณ์

จากการทดลองที่ 2 พบว่าผีเสื้อข้าวเปลือกระยะดักแด้ เป็นระยะที่มีความทนทานที่สุด ในการทดลองที่ 3 จึงได้นำผีเสื้อข้าวเปลือกระยะดักแด้เป็นตัวแทนของระยะต่าง ๆ มาผ่านคลื่นความถี่วิทยุที่พลังงาน 700 วัตต์ ที่ระยะเวลาต่าง ๆ กัน คือ 120, 140, 160, 180, 200 และ 220 วินาที อุณหภูมิเฉลี่ยภายในตัวอย่างทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 49.6 ± 0.1, 52.7 ± 1.4 , 57.4 ± 1.4, 62.2 ± 0.8 , 68.0 ± 0.2 และ 72.1 ± 0.4 องศาเซลเซียส ตามลำดับ การตายของผีเสื้อข้าวเปลือกระยะดักแด้ ซึ่งตรวจนับการตายหลังจากดักแด้ของผีเสื้อข้าวเปลือกผ่านคลื่นความถี่วิทยุ 1 วัน พบว่าการตายของแมลงเป็น 68.75 ± 3.14 , 69.46 ± 4.93 , 82.69 ± 2.54 , 91.66 ± 2.88, 97.49 ± 0.83 และ 100 ± 0.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตาราง 4.9) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ตาราง 4.9 เปอร์เซ็นต์การตายเฉลี่ยของผีเสื้อข้าวเปลือกระยะดักแด้ ที่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุ 27.12 MHz ที่พลังงาน 700 วัตต์ ระยะเวลา 120, 140, 160, 180, 200 และ 220 วินาที

เวลา (วินาที)	อุณหภูมิสุดท้าย ± SD (องศาเซลเซียส)	เปอร์เซ็นต์การตาย± SE[1/]
120	49.6 ± 0.1	68.75 ± 3.14a
140	52.7 ± 1.4	69.46 ± 4.93a
160	57.4 ± 1.4	82.69 ± 2.54b
180	62.2 ± 0.8	91.66 ± 2.88bc
200	68.0 ± 0.2	97.49 ± 0.83c
220	72.1 ± 0.4	100 ± 0.00c

[1/] ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยค่า Least Significant Difference (LSD = 4.07)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากการทดลองนี้พบว่า RF ที่ระดับพลังงาน 700 วัตต์ เป็นระยะเวลา 220 วินาที อุณหภูมิสุดท้ายเฉลี่ยเท่ากับ 72.1 ± 0.4 องศาเซลเซียส สามารถทำให้ผีเสื้อข้าวเปลือกระยะดักแด้ซึ่งเป็นระยะทนทานต่อ RF มากที่สุด ตาย 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถือเป็นการตายที่สมบูรณ์ของผีเสื้อข้าวเปลือกระยะดักแด้ สอดคล้องกับงานวิจัยของกรรณิการ์ (2552) จากการทดสอบผลของคลื่นความถี่วิทยุ 27.12 MHz ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 3 นาที พบว่าดักแด้ของมอดแป้งมีอัตราการอยู่รอดสูงกว่าระยะอื่นจึงเป็นระยะที่มีความทนทานต่อคลื่นความถี่วิทยุมากที่สุด และพบว่าดักแด้ตาย 100 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ในระยะเวลา 1 นาที ในขณะที่ ณคณิณ (2551) รายงานว่าผีเสื้อข้าวสารซึ่งเป็นศัตรูข้าวที่สำคัญ เมื่อนำมาผ่านคลื่นความถี่วิทยุ 27.12 MHz ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที พบว่า ระยะไข่ และระยะดักแด้ของผีเสื้อข้าวสาร มีเปอร์เซ็นต์การตาย 98.90 และ 98.35 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งนับว่าระยะไข่ และระยะดักแด้ของผีเสื้อข้าวสารมีแนวโน้มต้านทานต่อ RF มากกว่าระยะตัวเต็มวัย และระยะหนอนที่มีอัตราการตายอย่างสมบูรณ์ 100 เปอร์เซ็นต์ และจากงานวิจัยของ Wang *et al.* (2001) พบว่าการควบคุมแมลง codling moth, *Cydia pomonella* (L.) วัย 3 และ วัย 4 ในวอลนัท โดยนำไปผ่าน RF ความถี่ 27 MHz ที่อุณหภูมิ 43-53 องศาเซลเซียส อัตราการตายของแมลงคือ 78.6 และ 100 เปอร์เซ็นต์ หลังจากนั้นนำไปเร่งอายุการเก็บรักษา 30 วัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส จำลองการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 3 ปี ผลกระทบของการผ่าน RF ที่มีต่อน้ำมัน พบว่าค่า peroxide values (PV) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ค่า PV ของ วอลนัทได้น้อยกว่า 1.0 meq : kg (ขีดจำกัดสำหรับวอลนัทที่มีคุณภาพดี) ซึ่งการใช้ RF แบบนี้สามารถควบคุม codling moth และเป็นทางเลือกที่นำมาใช้ทดแทนการรมด้วยเมธิลโบรไมด์ Jiao *et al.* (2012) ใช้คลื่นความถี่วิทยุที่ 27.12 MHz, 6 kW ควบคุมด้วงถั่วเขียวในพืชตระกูลถั่ว พร้อมติดตั้งร่วมกับระบบลมร้อน ทำให้ด้วงถั่วมีอัตราการตาย 100 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที ตามด้วยการระบายอากาศนาน 20 นาที ความเร็วของสายพานลำเลียง 7.5 m/h เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในระดับอุตสาหกรรมและเป็นทางเลือกหนึ่งเพื่อลดการรมด้วยสารเคมี Zhao *et al.* (2007) ใช้ตู้อบไมโครเวฟควบคุมแมลงศัตรูในข้าวซึ่งเป็นวิธีที่ปลอดภัยและลดการใช้การรมด้วยสารเคมี การใช้ไมโครเวฟมีผลต่อสภาพอุณหภูมิและอัตราการตายของด้วงงวงข้าว ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส มีอัตราการตาย 100 เปอร์เซ็นต์ และพบว่าระยะไข่ของด้วงงวงข้าวอ่อนแอกว่าระยะตัวเต็มวัย วีรยุทธและคณะ (2554) ใช้ RF ที่ความถี่ 27.12 MHz ระดับพลังงาน 670 วัตต์ เวลา 120 วินาที ในการกำจัดด้วงงวงข้าวโพดที่อยู่ในข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ พบว่าระยะตัวเต็มวัยเป็นระยะที่ทนทานที่สุด รองลงมาเป็นระยะหนอน ดักแด้ และไข่ และที่ระดับพลังงาน 780 วัตต์ เวลา 180 วินาที ทำให้ด้วงงวงข้าวโพดมีอัตราการตาย 80.25

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เปอร์เซ็นต์ และพบว่าความร้อนจาก RF เมื่อนำมาใช้กับแมลงในระยะไข่สามารถลดจำนวนลูกของด้วงงวงข้าวโพดได้ดีกว่าแมลงที่เข้าทำลายระยะหนอน ดักแด้และตัวเต็มวัย

วิเคราะห์ผลของคลื่นความถี่วิทยุต่อคุณภาพการสีของข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

จากการนำข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มาผ่านคลื่นความถี่วิทยุที่พลังงาน 700 วัตต์ ระยะเวลา 220 วินาที อุณหภูมิสุดท้ายเฉลี่ยเท่ากับ 72.1 ± 0.4 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิและระยะเวลาที่สามารถกำจัดผีเสื้อข้าวเปลือกได้สมบูรณ์ที่สุด นำมาวิเคราะห์ผลของคลื่นความถี่วิทยุต่อคุณภาพการสีของข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 โดยเปรียบเทียบกับข้าวเปลือกที่ไม่ได้ผ่านคลื่นความถี่วิทยุ (ชุดควบคุม)

4.1. ความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือก (Moisture content)

ความชื้นของข้าวเปลือก ที่วัดโดยวิธีอบลมร้อน (hot-air oven method) หลังจากให้คลื่นความถี่วิทยุที่พลังงาน 700 วัตต์ ระยะเวลา 220 วินาที อุณหภูมิสุดท้ายเฉลี่ยเท่ากับ 72.1 ± 0.4 องศาเซลเซียส จากเปอร์เซ็นต์ความชื้นเริ่มต้นจริงของเมล็ดข้าวเปลือกที่รับซื้อมาจากโรงสี คือ 12.78 เปอร์เซ็นต์ ลดลงเป็น 11.53 เปอร์เซ็นต์ พบว่าสามารถลดลงได้ 1.25 เปอร์เซ็นต์ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) (ตาราง 4.10)

ตาราง 4.10 เปอร์เซ็นต์ความชื้น (%), ค่าสี (L* และ b*), เปอร์เซ็นต์ข้าวกล้อง, ข้าวขาว, ต้นข้าว และอะไมโลส ของข้าวดอกมะลิ 105 ที่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุ 27.12MHz ที่พลังงาน 700 วัตต์ ระยะเวลา 220 วินาที

กรรมวิธี	ความชื้น	ค่าสี		ข้าวกล้อง	ข้าวขาว	ต้นข้าว	อะไมโลส
	(%)	L*	b*	(%)	(%)	(%)	(%)
ชุดควบคุม	12.78a	67.85a	15.45a	75.91a	65.87a	43.26a	24.39a
RF 220 วินาที	11.53b	68.47a	15.75b	75.98a	67.10a	48.26b	24.70a
Std. Error difference	0.19	0.26	0.13	0.07	0.46	1.43	0.12

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี pair t-test

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การให้คลื่นความถี่วิทยุทำให้วัตถุสูญเสียน้ำจึงทำให้เมล็ดข้าวมีความชื้นลดลง (Wang *et al*., 2007) เนื่องจากภายในเมล็ดข้าวประกอบไปด้วยน้ำที่เป็นความชื้นในเมล็ด เมื่อให้ความร้อนจาก RF แก่เมล็ด ซึ่งเป็นไปตามหลักการให้ความร้อนด้วยพลังงานจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า การดูดซับพลังงานจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีความสัมพันธ์กับค่าคงไดอิเล็กทริก (ε') ของวัตถุที่ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ค่านี้แสดงถึงความสามารถของวัตถุในการกักเก็บพลังงานไฟฟ้าไว้เมื่อนำวางในสนามไฟฟ้ากระแสสลับ ถ้าค่านี้สูงแสดงว่าเก็บพลังงานได้มาก และค่าแฟกเตอร์การสูญเสีย (ε'') เป็นค่าที่แสดงความสามารถของวัตถุที่จะกระจายพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานความร้อน ถ้าค่านี้สูงแสดงว่าจะเกิดความร้อนสูง (Hastea *et al*.,1988) สามารถดูดซับพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้สูงเกิดการเปลี่ยนแปลงของพลังงานจลน์ที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของน้ำเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนได้ ซึ่งความร้อนที่เกิดขึ้นนี้จะไปทำให้อุณหภูมิภายในเมล็ดสูงขึ้น แรงดันภายในของเมล็ดอันเนื่องมาจากโมเลกุลของน้ำได้รับพลังงานจนเกิดการเคลื่อนที่กลายเป็นความดันที่สูงกว่าภายนอกเมล็ดที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า จะทำให้น้ำในเมล็ดเคลื่อนออกมาจากภายในเมล็ดเพื่อรักษาสมดุลความดันนี้ ทำให้ความชื้นในเมล็ดลดลง ยิ่งอุณหภูมิสูงมากเท่าไร การเคลื่อนที่ของน้ำจากในเมล็ดออกสู่ภายนอกก็จะเป็นไปได้มากเท่านั้น (Cwiklinski and Höersten, 1999) สอดคล้องกับ พัทยา และสุชาดา (2549) พบว่าในระดับคลื่นความถี่วิทยุที่ 27.12 MHz อุณหภูมิ 70, 75 และ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1, 3 และ 5 นาที ทำให้ความชื้นของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ลดลงอย่างมีนัยสำคัญจากความชื้นของเมล็ดพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิเริ่มต้นที่ 13.30 เปอร์เซ็นต์ พบว่าสามารถลดลงได้ถึง 2.4 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำไปผ่านคลื่นความถี่วิทยุที่ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที Theanjumpol *et al*. (2007) พบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิที่ต่ำกว่า 60 องศาเซลเซียส กับข้าวไม่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อความชื้นของข้าว ในขณะที่พลากร (2553) พบว่าการเร่งความเก่าของข้าวเปลือกพันธุ์ปทุมธานี 1 ด้วยคลื่นความถี่วิทยุระดับความถี่ 27.12 MHz การเปลี่ยนแปลงความชื้นข้าวเปลือก ความชื้นเริ่มต้นเท่ากับ 13.71 เปอร์เซ็นต์ (มาตรฐานเปียก) ภายหลังจากการเร่งความเก่าข้าวเปลือก ความชื้นของข้าวเปลือกโดยวิธีการใช้ลมร้อนและการให้ RF ที่ระดับอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 15 นาที มีค่าความชื้นของข้าวเปลือกต่ำสุด เท่ากับ 11.7 และ 12.04 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากการทดลองพบว่าวิธีการเร่งความเก่าของข้าวเปลือกมีผลต่อปริมาณความชื้น สำหรับการใช้ RF ที่ระดับอุณหภูมิสูงและระยะเวลานานขึ้นทำให้ความชื้นลดลง สาเหตุที่ทำให้ความชื้นของข้าวเปลือกแตกต่างกันเกิดจากระดับอุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้เร่งความเก่า สอดคล้องกับ Oberndorfer *et al.* (2000) รายงานว่าในกระบวนการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์โดยใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและไมโครเวฟระดับพลังงานที่เกิดจากการให้คลื่นความแม่เหล็กไฟฟ้าแก่เมล็ดพันธุ์จะมีความสัมพันธ์อย่างสูงกับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปริมาณความชื้นในเมล็ด โดยที่ระดับความชื้นในเมล็ดที่สูงส่งผลให้เมล็ดมีการดูดซับพลังงานและเอื้อต่อการเกิดประสิทธิภาพในการถ่ายเทและนำพาความร้อนในเมล็ดเกิดได้สูง

4.2 คุณภาพการสี (Milling qualities)

4.2.1 ข้าวกล้อง (Brown rice)

การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์ข้าวกล้อง หลังจากให้คลื่นความถี่วิทยุที่พลังงาน 700 วัตต์ ระยะเวลา 220 วินาที อุณหภูมิสุดท้ายเฉลี่ยเท่ากับ 72.1 ± 0.4 องศาเซลเซียส พบว่าเปอร์เซ็นต์ข้าวกล้องของชุดควบคุมเมื่อเปรียบเทียบกับชุดที่ผ่าน RF ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) เท่ากับ 75.91 และ 75.98 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตาราง 4.10) พลากร (2553) รายงานว่าการเร่งความเก่าข้าวเปลือกโดยการใช้ลมร้อน 70 องศาเซลเซียส 40 นาที และการให้ RF ที่ 27.12 MHz ระดับอุณหภูมิ 70 และ 85 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลา 5,10 และ 15 นาที ทุกระยะเวลาและชุดควบคุม มีเปอร์เซ็นต์ข้าวกล้องเฉลี่ย 74.60 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่าการเร่งความเก่าโดยใช้ RF ที่ระดับอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ทุกระยะเวลา ซึ่งค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ข้าวกล้อง เท่ากับ 74.30 เปอร์เซ็นต์ พัสกร (2546) พบว่าเมื่อเก็บข้าวเปลือกไว้ที่ระยะเวลาประมาณ 3 เดือน ความแข็งของข้าวเปลือกมีค่าเพิ่มขึ้น ความแข็งของข้าวกล้องที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการเกิดเจลาทิไนท์ของข้าวส่งผลให้รอยร้าวของผิวเมล็ดเชื่อมประสานกัน โดยการเกิดเจลาทิไนท์จะแตกต่างกันไปตามอุณหภูมิที่ให้ข้าวเปลือก การทำให้เกิดเจลาทิไนท์ช้าโดยค่อย ๆ ให้อุณหภูมิซึ่งจะทำให้เกิดผลดีมากกว่าการทำให้ข้าวเกิดเจลาทิไนท์อย่างรวดเร็ว (อรอนงค์, 2547) และอาจเกิดการสูญเสียความชื้นของข้าวเปลือก (Kunze and Hall, 1967) ทำให้ความแข็งแรงข้าวกล้องเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา โดยความแข็งแรงนี้ช่วยเพิ่มความทนทานต่อการขัดสี ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ข้าวกล้องเพิ่มขึ้น (Kondo and Okamura, 1937)

4.2.2 ข้าวขาวหรือข้าวสาร (Milled rice)

การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์ข้าวขาว หลังจากให้คลื่นความถี่วิทยุที่พลังงาน 700 วัตต์ ระยะเวลา 220 วินาที อุณหภูมิสุดท้ายเฉลี่ยเท่ากับ 72.1 ± 0.4 องศาเซลเซียส พบว่าเปอร์เซ็นต์ข้าวขาว ของชุดควบคุมเมื่อเปรียบเทียบกับชุดที่ผ่าน RF ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) คือ 65.87 และ 67.10 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตาราง 4.10) สอดคล้องกับการศึกษาของพลากร (2553) ในการเร่งความเก่าข้าวเปลือก โดยใช้คลื่นความถี่วิทยุและลมร้อน ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์ข้าวขาวเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม โดยมีเปอร์เซ็นต์ข้าวขาวเฉลี่ยเท่ากับ 68-69 เปอร์เซ็นต์ และตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวเปลือก 12 เดือน เปอร์เซ็นต์ข้าวขาวในแต่ละวิธีการเร่งความเก่าข้าวเปลือก และชุดควบคุม มีเปอร์เซ็นต์ข้าวขาวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ทางสถิติ นอกจากนั้นยุทธนา (2548) รายงานว่าผลของอุณหภูมิการลดความชื้นและการเก็บรักษาไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์ข้าวขาว

4.2.3 ต้นข้าว (Head rice)

การเปลี่ยนแปลงของเปอร์เซ็นต์ต้นข้าว หลังจากให้คลื่นความถี่วิทยุที่พลังงาน 700 วัตต์ ระยะเวลา 220 วินาที อุณหภูมิสุดท้ายเฉลี่ยเท่ากับ 72.1 ± 0.4 องศาเซลเซียส พบว่าเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวของชุดควบคุม มีค่าเฉลี่ยลดลงแตกต่างจากชุดที่ผ่าน RF อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) เท่ากับ 43.26 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบจากชุดที่ผ่าน RF มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 48.26 เปอร์เซ็นต์ (ตาราง 4.10) เนื่องจากข้าวเปลือกที่ผ่านอุณหภูมิการอบที่สูงขึ้นทำให้เกิด partial gelatinization เกิดโครงสร้างที่เปรียบเหมือนร่างแหที่แข็งแรง พันธะภายในเม็ดแป้งจึงจับกันแน่นขึ้น ช่วยเพิ่มความแข็งแรงของเมล็ด ข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงจึงทนต่อแรงขัดสีได้มากกว่า ทำให้ได้เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวเพิ่มขึ้น (Tirawanichakul *et al.*, 2004) แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นและระยะเวลาเพิ่มขึ้น 85 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลามากกว่า 10 นาที และ 100 องศาเซลเซียส ทุกระยะเวลา จะทำให้เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวลดลงเนื่องจากอุณหภูมิทำให้เกิดความเค้น (stresses) (Kunze, 1979) สอดคล้องกับ พลากรและคณะ (2551) พบว่าการให้ความร้อนด้วย RF ที่ระดับอุณหภูมิมากกว่า 85 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 5 นาที ทำให้ได้เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวลดลง วันชัย (2542) ได้กล่าวถึงการลดความชื้นของเมล็ดพืชว่า การลดความชื้นเมล็ดพืชเป็นการนำเอาน้ำหรือความชื้นที่อยู่ภายในเมล็ดพืชออกไปสู่อากาศ โดยมี 2 ขั้นตอน คือ ทำให้น้ำหรือความชื้นที่อยู่ในใจกลางของเมล็ดเคลื่อนที่ไปยังบริเวณผิวเมล็ด และขั้นตอนที่สองทำให้น้ำที่อยู่บริเวณผิวของเมล็ดเคลื่อนไปสู่บรรยากาศรอบเมล็ด จากขั้นตอนการลดความชื้นของเมล็ดพืชนั้น อาจกล่าวได้ว่าการใช้อุณหภูมิต่ำในการลดความชื้นทำให้อัตราการลดความชื้นต่ำ อัตราการลดลงของความชื้นคือการสูญเสียความชื้นของเมล็ดต่อหนึ่งหน่วยเวลา (Esmay *et al.,* 1979) จึงทำให้ความชื้นในเมล็ดค่อย ๆ ลดลงอย่างช้า ๆ เมื่อนำข้าวเปลือกไปขัดสีการแตกหักของเมล็ดข้าวสารมีน้อย ทำให้เปอร์เซ็นต์ข้าวต้นสูงกว่าวิธีการลดความชื้นด้วยการให้อุณหภูมิสูง เพราะความร้อนที่สูงทำให้อุณหภูมิในเมล็ดลดลงอย่างรวดเร็ว ทำให้ข้าวแตกหักมากขึ้นเป็นผลให้ได้เปอร์เซ็นต์ข้าวต้นลดลง ซึ่งผลของอุณหภูมิต่อสภาพข้าวนั้นมีรายงานไว้ดังนี้ kunze (1979) กล่าวว่าสาเหตุการเกิดรอยร้าวของเมล็ด หลังจากการลดความชื้นแล้วเกิดการดูดและรับความชื้นของเมล็ดกับสภาพแวดล้อมเพื่อทำให้เมล็ดข้าวเข้าสู่สมดุลกับสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ Brooker *et al.* (1974) รายงานว่าการใช้อุณหภูมิสูงทำให้อัตราการลดความชื้นของเมล็ดพืชเร็วขึ้นทำให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพกายภาพและเคมีของเมล็ดและทำให้เมล็ดแตกร้าว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2.4 สีของข้าวสาร

การเปลี่ยนแปลงค่าความขาวของข้าวสารหลังจากให้คลื่นความถี่วิทยุที่พลังงาน 700 วัตต์ ระยะเวลา 220 วินาที อุณหภูมิสุดท้ายเฉลี่ยเท่ากับ 72.1 ± 0.4 องศาเซลเซียส พบว่าค่าความขาวของข้าวสาร ซึ่งวัดได้จากค่า L* ในชุดควบคุมและชุดที่ผ่าน RF ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) คือ 67.85 และ 68.47 ตามลำดับ ส่วนค่าความเหลือง ซึ่งวัดได้จากค่า b* ของข้าวสารเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมและชุดที่ผ่าน RF พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) คือ 15.45 และ 15.75 ตามลำดับ (ตาราง 4.10) พลากรและคณะ (2551) รายงานว่าการให้ความร้อนด้วยคลื่นความถี่วิทยุที่ระดับมากกว่า 85 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 5 นาที ทำให้สีของข้าวสารมีสีขาวลดลง และอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดที่สามารถเพิ่มคุณภาพการสีได้คือ อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 10 นาที สอดคล้องกับ Theanjumpol *et al*. (2007) เมื่อให้อุณหภูมิความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุที่ระยะเวลา 3 นาที อุณหภูมิสูงกว่า 60 องศาเซลเซียส พบว่าค่า L* และ b* ของข้าวสารเพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) โดยข้าวที่ไม่ผ่าน RF มีค่า L* และ b* เท่ากับ 71.54 และ 14.80 ตามลำดับ ในขณะที่ข้าวสารที่ผ่าน RF ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส มีค่าสูงขึ้นเป็น 75.03 และ 14.91 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิสูงมีผลกับการเปลี่ยนสีของข้าวสารจากข้าวสีโปร่งใสเป็นสีเหลือง พัสกร (2546) รายงานว่าเมื่อเก็บข้าวเป็นเวลานานจะทำให้ความขาวของข้าวลดลง การลดลงของความขาวของข้าวเกิดจากอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ นิรชาและคณะ (2541) รายงานว่าเมื่อความชื้นของอากาศเพิ่มขึ้นรวมกับอุณหภูมิที่สูงขึ้น ส่งผลให้เกิดความเหลืองได้เร็วขึ้น Tirawanichakul *et al.* (2004); พลากรและคณะ (2551) พบว่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้ข้าวมีสีเหลืองเกิดจากปฏิกิริยา maillard reaction ที่ทำให้เมล็ดข้าวมีการเปลี่ยนสีของข้าวสารจากสีของเปลือกข้าวและรำข้าวเข้าสู่ภายในเมล็ดข้าวสาร (Inprasit and Noomhorm, 2001) ซึ่งสอดคล้องกับ Indudhara Swamy *et al.* (1971) พบว่าการเก็บรักษาข้าวเปลือกในสภาพที่มีอุณหภูมิและความชื้นสูง ทำให้สีของเมล็ดข้าวสารเปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากเกิดการเปลี่ยนสีของเอนโดสเปิร์มเป็นสีเหลืองหรือปนน้ำตาลซึ่งทำให้เกิดข้าวเหลือง ยุทธนา (2548) รายงานว่าในการลดความชื้นและการเก็บรักษาต่อคุณภาพเมล็ดข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 โดยกรรมวิธีการลดความชื้นข้าวเปลือก 4 วิธี ได้แก่ การตากแดด การลดความชื้นโดยอบที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 70 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปเก็บไว้ในโรงเรือนเป็นระยะเวลา 8 เดือน ทำให้ความขาวของข้าวสารทุกวิธีการลดความชื้นมีค่าลดลงเมื่อเก็บข้าวไว้นาน 8 เดือน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2.5 อะไมโลส (Amylose)

การเปลี่ยนแปลงของเปอร์เซ็นต์อะไมโลสของเมล็ดข้าวเปลือก พบว่าปริมาณอะไมโลสของข้าวเปลือกในชุดควบคุม ไม่แตกต่างทางสถิติ (P>0.05) กับข้าวเปลือกในกรรมวิธีที่ให้ RF ที่พลังงาน 700 วัตต์ ระยะเวลา 220 วินาที อุณหภูมิ 72.1 ± 0.4 องศาเซลเซียส มีอะไมโลสเท่ากับ 24.39 และ 24.70 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สอดคล้องกับ พลากร (2553) รายงานว่าเปอร์เซ็นต์อะไมโลสของเมล็ดข้าวปทุมธานี 1 โดยการเร่งความเก่าด้วยลมร้อนและการใช้ RF ที่ระดับอุณหภูมิ 70, 85 และ 90 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 5, 10 และ 15 นาที และการใช้ลมร้อนที่ 70 องศาเซลเซียส 40 นาที มีเปอร์เซ็นต์อะไมโลสไม่แตกต่างจากชุดควบคุม การเร่งความเก่าของข้าวเปลือกไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์อะไมโลสของข้าวสาร แต่ระยะเวลาการเก็บรักษาทำให้เปอร์เซ็นต์อะไมโลสเพิ่มขึ้นตามอายุการเก็บรักษา ขนิษฐา (2547) พบว่าเมื่อทำการเก็บรักษาข้าวเป็นเวลานานมากกว่า 4-6 เดือน ทำให้ปริมาณอะไมโลสเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับ ยุทธนา (2548) พบว่าเปอร์เซ็นต์อะไมโลส ที่มีค่าเริ่มต้นอยู่ระหว่าง 16-18 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเก็บข้าวเปลือกไว้จนครบ 8 เดือน เปอร์เซ็นต์อะไมโลสมีค่าเพิ่มขึ้นตลอดอายุการเก็บรักษาโดยมีค่าเพิ่มขึ้น 2 เปอร์เซ็นต์ จากค่าเริ่มต้น สาเหตุของการเพิ่มของเปอร์เซ็นต์อะไมโลส สอดคล้องกับ พัสกร (2546) พบว่าปริมาณอะไมโลสเพิ่มขึ้นตามอายุการเก็บรักษา โดยทำการเก็บรักษาข้าวดอกมะลิ 105 เป็นระยะเวลานาน 6 เดือน ทำให้ปริมาณอะไมโลสเพิ่มขึ้น อาจเกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของแป้งหรือเกิดการย่อยสลายระหว่างการเก็บรักษาทำให้ปริมาณสตาร์ชลดลง (Zhou *et al.,* 2001) เนื่องจากการสลายพอลิเมอร์ของอะไมโลสที่เชื่อมต่อด้วยพันธะ α-1,4 glucosidic สลายตัวเพิ่มขึ้น (Hizukuri, 1986) โดยปริมาณอะไมโลสที่ต่างกันทำให้เนื้อสัมผัสของข้าวสุกแตกต่างกัน ข้าวที่มีอะไมโลสสูงจะมีพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลสูงทำให้สามารถจับน้ำได้หลายโมเลกุล ทดสอบโดยการหุงต้มใส่น้ำเท่ากับข้าวอะไมโลสต่ำจะทำให้ข้าวสุกแข็ง (Juliano *et al.,* 1982)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved