บทที่ 4

ผลการทดลอง และวิจารณ์

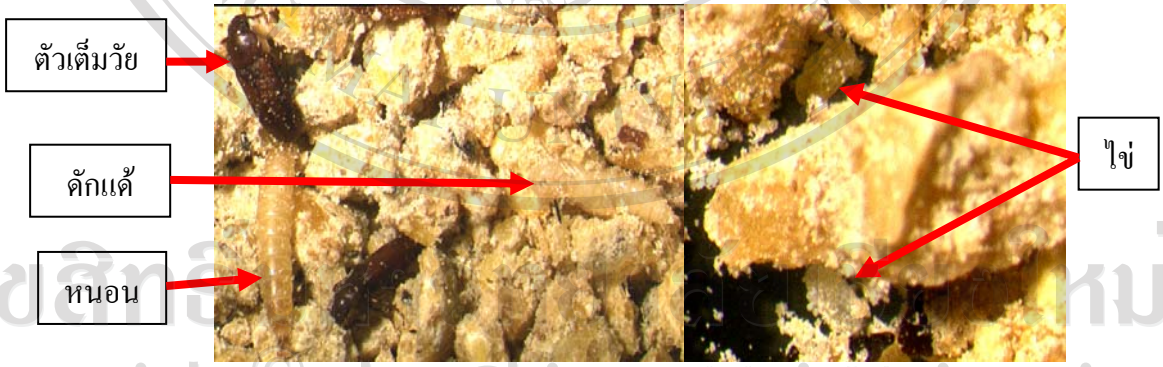
1. การสำรวจปริมาณของมอดแป้งที่ปนเปื้อนในอาหารไก่

จากการสุ่มตัวอย่างอาหารไก่ผสมสำเร็จรูปชนิดเม็ด สำหรับไก่เนื้ออายุเกิน 4 สัปดาห์ ถึง 6 สัปดาห์ จำนวน 5 ถุง ๆ ละ 1 กิโลกรัม พบมอดแป้งทุกระยะการเจริญเติบโต ได้แก่ ระยะไข่ หนอน ดักแด้ และตัวเต็มวัยเข้าทำลายอาหารไก่ (ภาพ 4.1) โดยพบหนอนของมอดแป้งปริมาณโดยเฉลี่ยมากที่สุดคือ 43.2±63.1 ตัวต่ออาหารไก่ 5 กิโลกรัม รองลงมาคือไข่ ตัวเต็มวัย และดักแด้ จำนวน 17.6±29.5, 8.4±11.0 และ 5.8±8.1 ตัวต่ออาหารไก่ 5 กิโลกรัม ตามลำดับ (ตาราง 4.1) ซึ่งหนอนและตัวเต็มวัยสามารถทำลายอาหารไก่โดยกัดกินอาหารไก่ได้โดยตรง ส่วนไข่ และดักแด้แม้ไม่มีการทำลายอาหารไก่ แต่จะมีการพัฒนากลายเป็นหนอน และตัวเต็มวัยเข้าทำลายอาหารไก่ต่อไป

จากการสำรวจการปนเปื้อนของมอดแป้งในแต่ละตำแหน่งในอาหารไก่ผสมสำเร็จรูปชนิดเม็ด พบมอดแป้งทั้งในอาหารไก่ที่ผลิตมาจากโรงงานใหม่ ๆ (ไม่เกิน 1 สัปดาห์) และอาหารไก่ที่เก็บไว้ในร้านค้าเกิน 1 สัปดาห์ โดยมอดแป้งแต่ละระยะการเจริญเติบโตมีการกระจายตัวอยู่ทั่วไปในแต่ละตำแหน่ง และปริมาณของมอดแป้งในอาหารไก่แต่ละถุงมีปริมาณแตกต่างกันไป (ตาราง 4.2) นอกจากอาหารไก่มีการปนเปื้อนมอดแป้งแล้วยังพบแมลงศัตรูอีกหลายชนิด ได้แก่ เหาหนังสือ และมอดหนวดยาว รวมทั้งไร ซึ่งการปนเปื้อนของมอดแป้งรวมทั้งแมลงชนิดอื่น ๆ ทำให้อาหารไก่สกปรก เป็นสาเหตุให้เกิดการสูญเสียน้ำหนัก และคุณค่าทางอาหาร นอกจากนี้การดำเนินกิจกรรมของมอดแป้งเป็นการผลิตความร้อน และความชื้น อันเป็นสาเหตุให้มีการเจริญเติบโตของเชื้อรา และมีการพัฒนาจุดร้อน (hotspot) ในอาหารไก่ และบางครั้งอาจทำให้เกิดไฟลุกไหม้ได้อีกด้วย (Neethirajan *et al*., 2007) การปนเปื้อนของมอดแป้งในอาหารไก่นี้อาจเนื่องมาจากระบบนิเวศของโรงงานผลิตอาหารสัตว์มีปัจจัยที่ส่งเสริมให้มอดแป้งรวมทั้งแมลงศัตรูชนิดอื่น ๆ ได้มีการเจริญเติบโต และอาศัยอยู่ในโรงงาน อันได้แก่ อุณหภูมิ และความชื้น (Roesli *et al*., 2003; Trematerra and Sciarretta, 2004) โดยที่อุณหภูมิระหว่าง 26-37 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 65-75 เปอร์เซ็นต์ แมลงจะมีการเจริญเติบโต และขยายพันธุ์ได้อย่างรวดเร็ว (New, 1987) แม้ว่าขบวนการผลิตอาหารไก่อัดเม็ดจะใช้ความร้อน และแรงดันสูง โดยความร้อนที่ใช้สูงถึง 70-90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15-20 วินาที ซึ่งทำให้อาหารสุกประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ และสามารถทำลาย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จุลินทรีย์ที่ก่อโรครวมถึงแมลงได้ด้วย (จรัส, 2548) แต่เนื่องจากการผลิตอาหารไก่ในระดับอุตสาหกรรมจะมีการผลิตครั้งละมาก ๆ ทำให้การกระจายของความร้อนอาจไม่ทั่วถึง จึงไม่สามารถกำจัดแมลงได้อย่างสมบูรณ์ จากการสำรวจในโรงงานอาหารสัตว์ของ Roesli *et al.* (2003) พบมอดแป้งมากเป็นอันดับ 2 คิดเป็น 26.73 เปอร์เซ็นต์ รองจากเหาหนังสือซึ่งมีปริมาณมากที่สุดคือ 28.80 เปอร์เซ็นต์ โดยส่วนใหญ่จะพบมอดแป้งในห้องเก็บวัตถุดิบ บริเวณมุม และรอยแตกของผนังโรงงาน หรือภายในอุปกรณ์การผลิต (Trematerra and Sciarretta, 2004) และจากการสำรวจพืชตระกูลถั่ว (leguminous tree, *Faidherbia* (*Acacia*) *albida*) ที่ใช้เป็นอาหารสัตว์ในประเทศไนจีเรีย พบแมลงศัตรูพืชเข้าทำลายในระหว่างการเก็บรักษา ได้แก่ *Bruchidius atrolineatus*, *Acanthoscelides obtectus*, *Caryedon serratus* และ *T. castaneum* คิดเป็นปริมาณ 55.10, 29.20, 7.80 และ 7.80 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยแมลงเจาะรูเข้าไปในฝักแล้วกัดกินภายในเมล็ด ทำให้เมล็ดสูญเสียคุณค่าทางอาหารโดยเฉพาะโปรตีน ไขมัน และเยื่อใยลดลง (Lale and Igwebuikew, 2002) ดังนั้นในระบบการผลิตอาหารสัตว์อาจจะมีการปนเปื้อนมอดแป้ง หรือชิ้นส่วนของมอดแป้งติดไปได้ แม้กระทั่งบริเวณที่เก็บอาหารสัตว์หากขาดการดูแลรักษาก็จะเป็นแหล่งอาหารที่ดีของมอดแป้ง อีกทั้ง ประเทศไทยมีสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้นซึ่งเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของมอดแป้ง ทำให้การแพร่ระบาดของมอดแป้งเป็นไปอย่างรวดเร็วและสร้างความเสียหายให้กับอาหารสัตว์ (พรทิพย์, 2550)



ภาพ 4.1 การปนเปื้อนของมอดแป้งในอาหารไก่ผสมสำเร็จรูปชนิดเม็ด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.1 ปริมาณของมอดแป้งในแต่ละระยะการเจริญเติบโตในอาหารไก่ผสมสำเร็จรูปชนิดเม็ดสำหรับไก่เนื้ออายุเกิน 4 สัปดาห์ ถึง 6 สัปดาห์ จำนวน 5 ถุง ๆ ละ 1 กิโลกรัม

	จำนวนมอดแป้ง (ตัว) ต่ออาหารไก่ที่สำรวจจำนวน 5 ถุง ๆ ละ 1 กิโลกรัม			
	ไข่	หนอน	ดักแด้	ตัวเต็มวัย
รวม	88.0	216.0	29.0	42.0
เฉลี่ย ± SD	17.6 ± 29.5	43.2 ± 63.1	5.8 ± 8.1	8.4 ± 11.0
เปอร์เซ็นต์	4.4	10.8	1.5	2.1

ตาราง 4.2 ปริมาณของมอดแป้งในแต่ละตำแหน่งที่ปนเปื้อนในอาหารไก่ผสมสำเร็จรูปชนิดเม็ดสำหรับไก่เนื้ออายุเกิน 4 สัปดาห์ ถึง 6 สัปดาห์

วัน/เดือน/ปี สำรวจแมลงในอาหารไก่	ระยะเวลาที่ผลิตอาหารไก่ถึงวันสำรวจ (วัน)	จำนวนมอดแป้ง (ตัว) ต่ออาหารไก่ 1 กิโลกรัม						
		ตำแหน่งที่สำรวจมอดแป้งในอาหารไก่					รวม	เฉลี่ย ± SD
		1	2	3	4	5		
19/09/51	6	42	46	73	58	49	268	53.6 ± 12.3
03/10/51	14	0	1	2	0	0	3	0.6 ± 0.9
23/10/51	8	14	9	14	18	14	69	13.8 ± 3.2
05/11/51	12	5	3	6	3	5	22	4.4 ± 1.3
18/11/51	6	0	2	6	2	3	13	2.6 ± 2.2

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2. การศึกษาความทนทานต่อคลื่นความถี่วิทยุของมอดแป้งในระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ

ภาพ 4.2 เครื่องกำเนิดคลื่นความถี่วิทยุที่นำมาใช้ในการทดลองควบคุมมอดแป้งในอาหารไก่

จากการทดสอบผลของคลื่นความถี่วิทยุ 27.12 MHz ภายใต้อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที พบว่ากรรมวิธีที่ใช้คลื่นความถี่วิทยุในการกำจัดมอดแป้งแต่ละระยะการเจริญเติบโตตั้งแต่ระยะไข่ หนอน ดักแด้ และตัวเต็มวัย แตกต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งในชุดควบคุมมีเปอร์เซ็นต์การตายเฉลี่ยของไข่ และดักแด้เท่ากันคือ 2.4 เปอร์เซ็นต์ ตัวเต็มวัย 1.6 เปอร์เซ็นต์ และหนอน 1.4 เปอร์เซ็นต์ หลังจากการนำมอดแป้งแต่ละระยะผ่านคลื่นความถี่วิทยุพบหนอนของมอดแป้งมีเปอร์เซ็นต์การตายเฉลี่ยมากที่สุดคือ 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 (ตาราง 4.3) โดยดักแด้ของมอดแป้งมีเปอร์เซ็นต์การตายเฉลี่ยน้อยที่สุด จึงมีความทนทานต่อความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุมากที่สุด รองลงมาคือ ไข่ ตัวเต็มวัย และหนอน การตายของมอดแป้งนั้นมาจากความร้อนของการใช้คลื่นความถี่วิทยุ ซึ่งจะเกิดขึ้นจากการตอบสนองภายในร่วมกันระหว่างพลังงานของความยาวคลื่น และ dielectric ที่เป็นคุณสมบัติพื้นฐานของน้ำ ผลของการตอบสนองร่วมดังกล่าวทำให้เกิดการเคลื่อนที่อย่างไม่เป็นระเบียบของโมเลกุลน้ำ จึงทำให้เกิดความร้อนขึ้นภายในตัวมอดแป้งที่ประกอบด้วยน้ำ (Johnson *et al*., 2004)

โดยปกติคลื่นความถี่วิทยุจะเป็นการทำให้วัตถุเกิดการสูญเสียน้ำ ในตัวมอดแป้งมีน้ำเป็นส่วนประกอบ จึงเกิดการตอบสนองภายในร่วมกันกับคลื่นความถี่ ทำให้โมเลกุลน้ำในตัวมอดแป้งเกิดการเคลื่อนที่อย่างไม่เป็นระเบียบ น้ำในตัวมอดแป้งจึงร้อนขึ้น อนึ่งมอดแป้งมีขนาดเล็กมีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวของร่างกายกับปริมาตรค่อนข้างสูง ดังนั้นการสูญเสียน้ำจึงมีผลต่อสมดุลของน้ำในร่างกาย (Chapman, 1998) อีกทั้งอุณหภูมิภายนอกที่เกิดจากความร้อนของอาหารไก่ซึ่งมี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

น้ำเป็นองค์ประกอบประมาณ 11 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกันได้เพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นการเกิดความร้อนทั้งภายนอก และภายในตัวของมอดแป้งจึงทำให้มอดแป้งตายภายในระยะเวลาอันสั้น แต่อย่างไรก็ตามประเทศไทยมีสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้น ซึ่งเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของมอดแป้ง ทำให้มอดแป้งบางตัวมีความสามารถในการปรับตัวเพื่อการอยู่รอดในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมได้ดี และจะเห็นได้ว่าดักแด้ของมอดแป้งมีอัตราการอยู่รอดสูงกว่าระยะอื่นจึงเป็นระยะที่มีความทนทานต่อคลื่นความถี่วิทยุมากที่สุด อาจเนื่องมาจากดักแด้มีกิจกรรมในการหายใจที่ต่ำจึงทำให้มีการสูญเสียน้ำลดลง

การใช้ไอน้ำร้อนเป็นวิธีการหนึ่งที่นำมาใช้ในการกำจัดแมลงอย่างแพร่หลาย เช่น การกำจัดแมลงในอาคารและเครื่องมือผลิตแป้งสาลี มีการให้ความร้อนชนิดที่มีไอน้ำ (steam heat) ระดับอุณหภูมิ 48 องศาเซลเซียส และจับเวลาเมื่ออุณหภูมิถึงระดับที่ต้องการเป็นเวลา 36 ชั่วโมง พบว่าระดับความร้อน และเวลานี้สามารถทำให้มอดแป้งระยะตัวเต็มวัยตายได้อย่างสมบูรณ์ แต่กลับพบว่าระยะดักแด้ มีการตายเพียง 50 เปอร์เซ็นต์ (Menon and Subramanyam, 2000) การทดลองนี้ได้ผลสอดคล้องกับ Mahroof *et al.* (2003a) พบดักแด้ของมอดแป้งที่อาศัยอยู่ในโรงงานผลิตอาหารสัตว์ และแป้งสาลีมีทนทานต่อความร้อนจากไอน้ำร้อนที่อุณหภูมิต่ำกว่า 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24-36 ชั่วโมง ในระหว่างกระบวนการผลิตอาหารมากที่สุด ซึ่งการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมินี้เป็นการเพิ่มทีละน้อย และบางพื้นที่มีการกระจายความร้อนอย่างไม่สม่ำเสมอ จึงมีอุณหภูมิไม่ถึง 50 องศาเซลเซียส ทำให้มอดแป้งสามารถปรับตัวโดยการสังเคราะห์โปรตีนชนิด heat shock proteins เพิ่มขึ้นเมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิต การสังเคราะห์ heat shock proteins ที่มากขึ้นนี้ เพื่อป้องกันการเกิดความเสียหายของเซลล์ภายในร่างกาย จึงทำให้มอดแป้งสามารถอยู่รอดได้ ขณะที่การศึกษาการใช้ความร้อนนี้ในสภาพห้องปฏิบัติการ Mahroof *et al.* (2003b) พบหนอนวัยอ่อนของมอดแป้งมีความทนต่อความร้อนมากที่สุด โดยเฉพาะที่อุณหภูมิ 50-60 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับมอดแป้งระยะไข่ หนอนวัยแก่ ดักแด้ และตัวเต็มวัย ซึ่งมอดแป้งในแต่ละระยะมีอัตราเมแทบอลิค หรืออัตราการหายใจแตกต่างกัน เมื่ออยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เช่น สภาวะอากาศร้อน มอดแป้งจะมีการเปลี่ยนแปลงเมแทบอลิค หรือมีการผลิตเมแทบอไลท์เพิ่มขึ้น เพื่อให้สามารถอยู่รอดได้ หนอนวัยอ่อนของมอดแป้งมีความทนทานต่อความร้อนได้มากกว่าระยะอื่น ๆ เนื่องจากมีอัตราการหายใจ 29.1 คาร์บอนไดออกไซด์/แมลง/ชั่วโมง ซึ่งสูงกว่ามอดแป้งระยะอื่น โดยอัตราการหายใจของมอดแป้งในระยะไข่ หนอนวัยแก่ ดักแด้ และตัวเต็มวัย มีดังนี้ 0.3, 3.3, 0.6 และ 2.4 คาร์บอนไดออกไซด์/แมลง/ชั่วโมง ตามลำดับ (Emekci *et al*., 2002) อัตราการหายใจของหนอนวัยอ่อนที่สูงกว่าระยะอื่นทำให้มีอัตราเมแทบอลิคสูง และมีการสังเคราะห์ heat shock proteins สูงขึ้น เพื่อป้องกันการเกิดความเสียหายของเซลล์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จึงเพิ่มความอยู่รอดในสภาวะที่ไม่เหมาะสมได้ (Mahroof *et al*., 2003b) ส่วนการทดลองของ Johnson *et al*. (2004) พบหนอนวัยแก่ของมอดแป้ง (วัย 6-8) ที่เข้าทำลายเมล็ดพืชวงศ์นัท (nut) ได้แก่ วอลนัท (walnuts) อัลมอนด์ (almonds) และพิสทาชิโอ (pistachios) มีอัตราการตายน้อยที่สุดประมาณ 24 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับระยะดักแด้ ตัวเต็มวัย ไข่ และหนอนวัยอ่อน ที่ระดับคลื่นความถี่วิทยุ 27 MHz ภายใต้อุณหภูมิ 48 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที โดยมีอัตราความเร็วในการให้ความร้อน 15 องศาเซลเซียสต่อนาที ดังนั้นหนอนวัยแก่จึงมีความทนทานต่อความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุมากที่สุด รองลงมาคือดักแด้ และตัวเต็มวัยมีความทนทานน้อยกว่าส่วนไข่ และหนอนวัยอ่อนมีความทนทานน้อยที่สุด

หากเปรียบเทียบความร้อนจากไอน้ำร้อนกับความร้อนที่เป็นผลมาจากการสั่นสะเทือนของโมเลกุลของน้ำจากคลื่นความถี่วิทยุ อัตราความเร็วในการให้ความร้อนของคลื่นความถี่วิทยุนั้นเร็วกว่าการใช้ไอน้ำร้อนของ Mahroof *et al*. (2003a, b) ซึ่งมีอัตราความเร็วในการให้ความร้อน 3 องศาเซลเซียสต่อนาที ทำให้การใช้คลื่นความถี่วิทยุในการกำจัดมอดแป้งใช้ระยะเวลาที่สั้นกว่า ซึ่งคลื่นความถี่วิทยุเป็นการทำให้เกิดความสั่นสะเทือนของโมเลกุลในตัววัตถุแล้วจึงเกิดเป็นพลังงานความร้อนขึ้น กระจายตัวไปยังส่วนอื่น ๆ โดยกระบวนการนำความร้อน และสามารถเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง สำหรับในการทดลองใช้คลื่นความถี่วิทยุ 27.12 MHz ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาทีนี้ มีอัตราความเร็วในการให้ความร้อนโดยเฉลี่ย 11.4 องศาเซลเซียสต่อนาที ซึ่งเป็นอัตราที่ช้ากว่าการทดลองของ Johnson *et al*. (2004) จึงมีการกระจายความร้อนได้ช้ากว่า อีกทั้งขนาด รูปร่าง และคุณสมบัติของผลิตผลที่นำมาทดลองแตกต่างกัน ซึ่งมีผลต่อการกระจายของความร้อน นอกจากนี้มอดแป้งที่ใช้ทดลองในแต่ละพื้นที่ (เขตร้อนและเขตอบอุ่น) มีคุณลักษณะทางชีวภาพ หรือกายภาพที่แตกต่างกันทำให้มีความทนทานต่อความร้อนต่างกัน

3. การศึกษาอุณหภูมิ และระยะเวลาของคลื่นความถี่วิทยุที่เหมาะสมในการกำจัดมอดแป้งระยะที่มีความทนทานต่อคลื่นความถี่วิทยุมากที่สุด

ผลของคลื่นความถี่วิทยุ 27.12 MHz ภายใต้อุณหภูมิ 4 ระดับ คือ 50, 55, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ซึ่งแต่ละอุณหภูมิจะใช้ระยะเวลา 1, 2, 3, 4 และ 5 นาที พบว่าอุณหภูมิ (main plot) และระยะเวลา (sub plot) โดยมี interaction ระหว่างอุณหภูมิ และระยะเวลา มีผลทำให้การตายของดักแด้มอดแป้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดักแด้ของมอดแป้งที่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุตาย 100 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เวลา 1 นาทีเป็นต้นไป โดยอุณหภูมิ และระยะเวลาของคลื่นความถี่วิทยุที่เพิ่มสูงขึ้นให้ผลในการกำจัดมอดแป้งได้มากขึ้น (ตาราง 4.4) การทดลองนี้ได้ผลต่างจากการทดลองของ Johnson *et al*. (2004) ที่ใช้คลื่นความถี่วิทยุ 27 MHz ภายใต้อุณหภูมิ 52 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที โดยมีอัตราความเร็วในการให้ความร้อน 15

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

องศาเซลเซียสต่อนาที สามารถกำจัดหนอนวัยแก่ของมอดแป้งในเมล็ดพืชวงศ์นัท (nut) ซึ่งมีความทนทานต่อความร้อนมากที่สุดได้ 100 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับระยะดักแด้ ตัวเต็มวัย ไข่ และหนอนวัยอ่อน ทั้งนี้อัตราความเร็วในการให้ความร้อนของ Johnson *et al*. (2004) สูงกว่าในการทดลองนี้ซึ่งใช้อัตราความเร็วในการให้ความร้อนโดยเฉลี่ย 11.4-13.5 องศาเซลเซียสต่อนาที Johnson *et al*. (2004) จึงกำจัดหนอนวัยแก่ของมอดแป้งได้อย่างสมบูรณ์ที่อัตราคลื่นความถี่วิทยุที่ต่ำกว่า อีกทั้งขนาด รูปร่าง และคุณสมบัติของวัตถุที่นำมาทดลองผ่านคลื่นความถี่วิทยุแตกต่างกัน ซึ่งมีผลต่อการกระจายของความร้อน นอกจากนี้มอดแป้งที่ใช้ทดลองในแต่ละพื้นที่ (เขตร้อน และเขตอบอุ่น) มีคุณลักษณะทางชีวภาพ หรือกายภาพที่แตกต่างกันทำให้มีความทนทานต่อความร้อนต่างกัน อนึ่งมอดแป้งสามารถเจริญเติบโต และขยายพันธุ์ได้อย่างรวดเร็วในเขตร้อน โดยเฉพาะที่อุณหภูมิ 35-37 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70 เปอร์เซ็นต์ จะมีการพัฒนาจากไข่จนกระทั่งเป็นตัวเต็มวัยใช้เวลาเพียง 19-20 วัน (Arbogast, 2000) และมอดแป้งสามารถปรับตัวเพื่อให้สามารถอยู่รอดในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมได้ดี โดยมีอัตราเมแทบอลิค หรืออัตราการหายใจสูงขึ้น และมีการสังเคราะห์ heat shock proteins มากขึ้น เพื่อป้องกันการเกิดความเสียหายของเซลล์ (Mahroof *et al*., 2003b) แม้ว่าในการทดลองนี้เปอร์เซ็นต์การตายของดักแด้ที่อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ อย่างไรก็ตามที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ไม่สามารถกำจัดดักแด้ได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งดักแด้ที่รอดชีวิตอาจมีการพัฒนาเป็นตัวเต็มวัยเข้าทำลายอาหารไก่ และแพร่พันธุ์ต่อไป

4. การศึกษาอุณหภูมิ และระยะเวลาของคลื่นความถี่วิทยุที่เหมาะสมในการกำจัดมอดแป้งทุกระยะการเจริญเติบโต

จากการนำคลื่นความถี่วิทยุ 27.12 MHz ในระดับอุณหภูมิ และระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุด (จากการทดลองที่ 3) คือ ระดับอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที สามารถกำจัดมอดแป้งทุกระยะการเจริญเติบโต ได้แก่ ไข่ หนอน ดักแด้ และตัวเต็มวัยในอาหารไก่ได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่การทดลองของ Mahroof *et al*. (2003b) ใช้ไอน้ำร้อนกำจัดมอดแป้งในอาหารสัตว์ และแป้งสาลี พบว่าที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส สามารถกำจัดมอดแป้งได้ 99 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้ระยะเวลาในการกำจัดมอดแป้งแต่ละระยะแตกต่างกันไป โดยหนอนวัยอ่อนใช้ระยะเวลานานที่สุด คือ 7.2 ชั่วโมง รองลงมาคือ ไข่ ดักแด้ หนอนวัยแก่ และตัวเต็มวัย ใช้ระยะเวลา 1.8, 1.5, 1.1 และ 0.5 ชั่วโมง ตามลำดับ ขณะที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จะใช้เวลาในการกำจัดหนอนวัยอ่อนเพียง 42 นาที ส่วนระยะอื่น ๆ ใช้เวลา 20 นาที หรือน้อยกว่า ในการใช้ไอน้ำร้อนในการกำจัดมอดแป้งนั้นมีอัตราความเร็วในการให้ความร้อน 3 องศาเซลเซียสต่อนาที ส่วนการใช้คลื่นความถี่วิทยุนี้มี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อัตราความเร็วในการให้ความร้อนโดยเฉลี่ย 13.5 องศาเซลเซียสต่อนาที ซึ่งเป็นอัตราที่เร็วกว่าจึงสามารถกำจัดมอดแป้งได้โดยใช้ระยะเวลาที่สั้นกว่า

ตาราง 4.3 เปอร์เซ็นต์การตายเฉลี่ยของมอดแป้งในแต่ละระยะการเจริญเติบโต หลังจากผ่านคลื่นความถี่วิทยุ 27.12 MHz ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที

ระยะการเจริญเติบโต	เปอร์เซ็นต์การตาย ± SE[1/]
ไข่	81.98 ± 3.85bc
หนอน	92.06 ± 3.97a
ดักแด้	72.99 ± 3.30c
ตัวเต็มวัย	91.58 ± 1.75ab
CV (%)	8.82

[1/]ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี LSD (LSD=4.00)

ตาราง 4.4 เปอร์เซ็นต์การตายเฉลี่ยดักแด้ของมอดแป้งซึ่งมีความทนทานต่อคลื่นความถี่วิทยุมากที่สุด ภายใต้อุณหภูมิ 50, 55, 60 และ 70 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1, 2, 3, 4 และ 5 นาที

อุณหภูมิ	เปอร์เซ็นต์การตายเฉลี่ยดักแด้ของมอดแป้งที่ระยะเวลา (นาที) [1/]				
(องศาเซลเซียส)	1	2	3	4	5
50	34.83 ± 4.00g	54.63 ± 2.50f	65.67 ± 2.78e	67.14 ± 3.52e	73.60 ± 3.46d
55	74.21 ± 2.29d	76.74 ± 3.79d	85.36 ± 1.68c	85.94 ± 2.59c	89.07 ± 1.09bc
60	94.23 ± 1.89a	97.24 ± 1.29a	94.97 ± 1.82ab	95.84 ± 1.29a	94.86 ± 1.47ab
70	100.00a	100.00a	100.00a	100.00a	100.00a
CV (%)	5.83				

[1/]ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ และแถวเดียวกันตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี LSD (LSD=6.05)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

5. ผลของการใช้คลื่นความถี่วิทยุต่อคุณภาพอาหารสัตว์

จากการตรวจสอบคุณภาพทางเคมีของอาหารไก่ก่อน และหลังการผ่านคลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที (จากการทดลองที่ 4) โดยใช้วิธีการวิเคราะห์อาหารสัตว์แบบเชิงประมาณ (proximate analysis) ตามวิธีของ AOAC (1990) พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น โปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้า และสารสกัดที่ปราศจากไนโตรเจน ก่อนผ่านคลื่นความถี่วิทยุมีค่า 10.87, 21.20, 8.10, 2.80, 6.87 และ 50.16 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนอาหารไก่หลังจากผ่านคลื่นความถี่วิทยุมีค่า 10.07, 22.30, 7.26, 2.78, 6.35 และ 51.24 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกัน (ตาราง 4.5) การใช้คลื่นความถี่วิทยุทำให้ความร้อนภายในตัวของแมลงเกิดขึ้นได้เร็วกว่าผลิตผลที่แมลงทำลาย จึงส่งผลให้แมลงตายโดยที่ไม่ทำให้ผลิตผลเสียรสชาติ และคงลักษณะโครงสร้างทางอาหารได้ (Wang and Tang, 2001)

เนื่องจากสภาพแวดล้อมระหว่างการเก็บรักษาอาหารไก่ไว้ในห้องปฏิบัติการ ซึ่งมีความชื้นสัมพัทธ์ 65-75 เปอร์เซ็นต์ จึงทำให้เปอร์เซ็นต์ความชื้นของอาหารไก่หลังผ่านคลื่นความถี่วิทยุตั้งแต่ 1 สัปดาห์เป็นต้นไปมีค่าเพิ่มขึ้น (ตาราง 4.5) ซึ่งโดยปกติอาหารไก่ที่เก็บไว้ในภาชนะปิดจะมีการถ่ายเทความชื้นระหว่างอาหารกับอากาศภายในที่เก็บ ทำให้ความชื้นของอาหารเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพแวดล้อม (วันดี, 2544) เมื่อสภาพแวดล้อมในการเก็บรักษาอาหารสัตว์มีความชื้นสูงจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีของอาหารสัตว์ โดยทำให้คุณค่าทางอาหารลดต่ำลง (จรัส, 2548) โดยที่ความชื้นสัมพัทธ์ 74 เปอร์เซ็นต์เป็นต้นไป อุณหภูมิ 16-45 องศาเซลเซียส จะทำให้มีการเจริญเติบโตของเชื้อราในอาหารได้ดี และอาหารที่มีความชื้นมากเกินไปจะทำให้เกิดการหมัก เนื่องจากมีการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ทำให้คุณค่าทางอาหารถูกทำลาย และอาจทำให้เกิดความร้อนจนถึงขั้นไฟลุกไหม้ได้ (วันดี, 2544)

จากการเก็บรักษาอาหารไก่ไว้ในห้องปฏิบัติการเป็นเวลา 1, 3, 5 และ 6 สัปดาห์ พบว่าอาหารไก่มีความชื้น โปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้า และสารสกัดที่ปราศจากไนโตรเจน ไม่มีความแตกต่างกันกับอาหารไก่ที่นำมาศึกษาก่อนผ่านคลื่นความถี่วิทยุ แสดงว่าความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพทางเคมีของอาหารไก่ และอาหารไก่ที่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุนี้มีคุณภาพทางเคมีอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพอาหารไก่สำเร็จรูปตามพระราชบัญญัติควบคุมคุณภาพอาหารสัตว์ พ.ศ. 2542 โดยมีความชื้น และเยื่อใยไม่มากกว่า 13 และ 5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนโปรตีน และไขมันมีไม่น้อยกว่า 19 และ 3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (กองอาหารสัตว์, 2550)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.5 ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของอาหารไก่ผสมสำเร็จรูปชนิดเม็ด ก่อนและหลังการผ่านคลื่นความถี่วิทยุ 27.12 MHz ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที

ส่วนประกอบทางเคมี	อาหารไก่ก่อนผ่านคลื่นความถี่วิทยุ (เปอร์เซ็นต์)	อาหารไก่หลังผ่านคลื่นความถี่วิทยุ (เปอร์เซ็นต์)					มาตรฐานอาหารไก่ (เปอร์เซ็นต์)
		0 วัน	1 สัปดาห์	3 สัปดาห์	5 สัปดาห์	6 สัปดาห์	
ความชื้น	10.87	10.07	11.03	12.87	12.34	12.93	ไม่มากกว่า 13
เถ้า	6.87	6.35	6.60	6.59	6.51	6.77	-
โปรตีน	21.20	22.30	22.36	23.22	23.57	22.71	ไม่น้อยกว่า 19
ไขมัน	8.10	7.26	7.34	7.59	7.64	7.94	ไม่น้อยกว่า 3
เยื่อใย	2.80	2.78	2.75	2.68	2.78	2.75	ไม่มากกว่า 5
สารสกัดที่ปราศจากไนโตรเจน	50.16	51.24	49.92	47.05	47.49	46.57	-

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved