บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

2.1 ข้าวโพด

ข้าวโพดเป็นพืชในวงศ์ (Family) Gramineae มีลักษณะที่สำคัญคือ มีดอกตัวผู้และดอกตัวเมียอยู่แยกกัน แต่อยู่ภายในต้นเดียวกัน ข้าวโพดจัดอยู่ในสกุล *Zea* และ ชนิด (species) *mays* และมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ *Zea may* L. (ไสว, 2534)

2.1.1 องค์ประกอบของเมล็ดข้าวโพด (ไสว, 2534)

1. เยื่อชั้นนอก (pericarp) เป็นเยื่อบาง ๆ หุ้มภายนอกเมล็ด ไม่มีชีวิต ไม่มีสี ซึ่งจะมีอยู่ประมาณ 5.3 เปอร์เซ็นต์ของเมล็ดข้าวโพด

2. เยื่อหุ้มเมล็ด (testa) หรือ true seed coat เป็นชั้นที่อยู่ใต้ pericarp โดย testa และ pericarp รวมกันเรียกว่า hull มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นพวก เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส เยื่อหุ้มเมล็ดมีอัตราส่วนในเมล็ดข้าวโพดประมาณ 5.1- 6 เปอร์เซ็นต์ (Kent, 1983)

3. เยื่อหุ้มเนื้อเมล็ด (aleurone layer) เป็นเยื่อบาง ๆ ที่อยู่ใต้เยื่อหุ้มเมล็ด และหุ้มส่วนของเอนโดสเปิร์มทั้งหมด ไม่มีสี ยากแก่การแยกออกจากเยื่อหุ้มเมล็ดหรือเยื่อชั้นนอก และยังเป็นที่สังเคราะห์ เอนไซม์ ที่สำคัญในการย่อยอาหารในเอนโดสเปิร์มโดยเยื่อหุ้มเนื้อเมล็ดมีอัตราส่วนในเมล็ดข้าวโพดประมาณ 2.2-3.3 เปอร์เซ็นต์ (Kent, 1983)

4. เอนโดสเปิร์ม (endosperm) เป็นส่วนที่เก็บสะสมอาหารของเมล็ด ส่วนใหญ่เป็นพวกแป้งซึ่งมีอยู่ประมาณ 82 เปอร์เซ็นต์ของเมล็ดข้าวโพด มีสีต่าง ๆ เช่น สีเหลือง สีขาว แบ่งออกได้เป็นสองชนิดคือ 1) แป้งอ่อน (soft starch) เป็นแป้งที่อยู่รวมกันอย่างหลวม ๆ พบมากในส่วนบนหรือส่วนกลางของเมล็ดมีสีขาวขุ่น 2) แป้งแข็ง (hard starch) เป็นแป้งที่อยู่รวมกันแน่น พบด้านข้างและด้านบนของเมล็ด มีลักษณะค่อนข้างใส

5. คัพภะ (embryo) มีลักษณะเป็นมัน (oily portion) อยู่ค่อนไปทางด้านล่างของเมล็ด ฝังตัวอยู่ทางด้านหนึ่งของเอนโดสเปิร์ม ประกอบด้วยแกนกลาง (central axis) ปลายข้างหนึ่งคือ รากอ่อน (radical) ซึ่งมีเยื่อหุ้มรากอ่อน (coleorhizae) หุ้มอยู่ไปทางด้าน pedicel อีกด้านหนึ่งเป็นส่วนของ stem tip ซึ่งมีใบอ่อน (embryonic leave) ประมาณ 5 ใบ ม้วนต่อกันเป็นกรวย และมีเยื่อ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หุ้มต้นอ่อน (coleoptiles) หุ้มด้านข้างของแกนกลางติดกับเอนโดสเปิร์ม scutellum (cotyledon) มีอัตราส่วนประมาณ 10-13 เปอร์เซ็นต์ของเมล็ด และคัพภะมีอัตราส่วนประมาณ 1.1-2.0 เปอร์เซ็นต์ของเมล็ด (Kent, 1983)

2.1.2 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดข้าวโพด

องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ด เป็นสารเคมีที่สะสมอยู่ในเนื้อเยื่อสะสมอาหารของเมล็ด นอกเหนือไปจากสารเคมีที่เป็นองค์ประกอบพื้นฐานของอวัยวะพืชทั่วไป องค์ประกอบเคมีหลักที่สะสมในเมล็ดแบ่งเป็น 3 กลุ่ม คือ คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน ซึ่งมีปริมาณแตกต่างกันไปตามพันธุกรรม ชนิด พันธุ์พืช สภาพแวดล้อม และการดูแลรักษา (วัลลภ, 2540)

2.1.2.1 คาร์โบไฮเดรต

คาร์โบไฮเดรต เป็นสารประกอบอินทรีย์ชนิดหนึ่ง ที่มีโมเลกุลประกอบด้วย คาร์บอน ไฮโดรเจน และ ออกซิเจน (นิธิยา, 2553) เป็นองค์ประกอบหลักในเมล็ด ชนิดของคาร์โบไฮเดรตที่พบมากที่สุด คือ สตาร์ช รองลงมาคือ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส เดกตริน และน้ำตาล (อรอนงค์, 2532) สตาร์ช (starch) เป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคส และเป็นโฮโมพอลิแซ็กคาไรด์ชนิดหนึ่งที่พบมากในพืช ได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสง พืชเก็บสะสมสตาร์ชตามส่วนต่าง ๆ เช่น หัวราก เมล็ด ลำต้น และผล โดยรวมกันอยู่เป็นเม็ดสตาร์ช (starch granule) ซึ่งสตาร์ชส่วนใหญ่ได้มาจากส่วนของเมล็ดของพืช ลักษณะของเม็ดสตาร์ชของข้าวโพด จะมีขนาดเล็ก มีรูปร่างทั้งกลมและเหลี่ยมรวมกัน (นิธิยา, 2553) เม็ดสตาร์ชของข้าวโพดอ่อน มีรูปร่างค่อนข้างกลม แต่สตาร์ชของข้าวโพดชนิดแข็ง และข้าวโพดคั่ว มีรูปร่างหลายเหลี่ยมเนื่องจากเม็ดสตาร์ชอัดตัวกันแน่น เส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดสตาร์ชมีขนาดประมาณ 20-30 ไมครอน (ปราณี, 2534) อยู่ในส่วนของเอนโดสเปิร์ม (endosperm) และถูกห่อหุ้มไว้ด้วยลิโพโปรตีน (lipoprotein coat) (นิธิยา, 2553) เมล็ดจะเก็บสตาร์ชอยู่ในรูปที่เฉื่อยต่อการทำปฏิกิริยา (inactive) ในเมล็ดข้าวโพดนั้นมีสัดส่วนของสตาร์ชประมาณ 73 เปอร์เซ็นต์ ภายในเม็ดสตาร์ช ประกอบด้วยพอลิเมอร์กลูแคน 2 ชนิดผสมกัน คือ อะไมโลส (amylose) และอะไมโลเพกติน (amylopectin) (Kent, 1983) อะไมโลส และอะไมโลเพกตินที่เป็นองค์ประกอบในเม็ดสตาร์ช แต่ละชนิดจะแตกต่างกันที่น้ำหนักโมเลกุล (degree of polymerization) ของแต่ละสายตำแหน่งที่อยู่บนเม็ดสตาร์ช และสัดส่วนของอะไมโลสต่ออะไมโลเพกติน ทำให้สมบัติของสตาร์ชมีความแตกต่างกัน (นิธิยา, 2553) ข้าวโพดบางพันธุ์ที่มีอะไมโลสสูง เรียกว่า amylomaize จะมีอะไมโลสประมาณ 50-80 เปอร์เซ็นต์ (Kent, 1983) ส่วนข้าวโพดไม่มีอะไมโลส เรียกว่า waxy starch สตาร์ชส่วนมากเกือบทั้งหมด เป็นส่วนของอะไมโลเพกติน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(Matz, 1969) อะไมโลส เป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 2,000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ที่ตำแหน่ง α-1,4-glucosidic มี DP (degree of polymerization) 200 -1,200 หน่วย (กล้าณรงค์และเกื้อกูล, 2543) โมเลกุลของอะไมโลสเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคสสายยาวที่มีขนาดใหญ่ (นิธิยา, 2553) ข้าวโพดทั่วไปมีอะไมโลสประมาณ 23-27 เปอร์เซ็นต์ (Kent, 1983) อะไมโลสนั้นไม่ละลายน้ำ โดยจะเกาะตัวเป็นตะกอนที่ไม่ละลาย เนื่องจากโมเลกุลของอะไมโลสเป็นสายยาวมีโอกาสที่จะจับคู่กับอะไมโลสอีกโมเลกุลหนึ่งด้วยพันธะไฮโดรเจนเป็นสายยาวคู่ขนานจนมีขนาดใหญ่ขึ้นและตกตะกอน (นิธิยา, 2553) อะไมโลสเมื่อถูกย้อมด้วยสารละลายไอโอดีน (iodine) จะติดสีน้ำเงิน และถูกย่อยได้หมดด้วยเอนไซม์ แอลฟา อะไมเลส (α-amylase) (ชยพร, 2546) อะมิโลเพกติน เป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α-1,4-glucosidic linkage และส่วนที่เป็นสาขาที่เป็นพอลิเมอร์ของกลูโคสสายสั้นมี DP อยู่ในช่วง 10-60 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α-1,6-glucosidic linkage (กล้าณรงค์และเกื้อกูล, 2543) โมเลกุลของอะไมโลเพกตินจึงมีพันธะ α - (1,4) และ α - (1,6) โดยจุดแยกของสายแขนงมีประมาณ 4-5 เปอร์เซ็นต์ของพันธะทั้งหมด ปกติอะไมโลเพกติน มีขนาดโมเลกุลใหญ่กว่าอะไมโลสมาก โครงสร้างโมเลกุลของอะไมโลเพกตินเกิดจาก การเพิ่มจำนวนสายแขนง และการเพิ่มความยาวสายแขนง (นิธิยา, 2553) อะไมโลเพกตินเมื่อย้อมด้วยสารละลายไอโอดีน จะติดสีม่วงแดง และสามารถย่อยได้ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ด้วนเอนไซม์เบตาอะไมเลส (β- amylase) (ชยพร, 2546)

2.1.2.2 โปรตีน

โปรตีนเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของอินทรียสาร มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ประกอบด้วยธาตุต่าง ๆ คือ คาร์บอน 50-55 เปอร์เซ็นต์ ออกซิเจน 20-23 เปอร์เซ็นต์ ไนโตรเจน12-19 เปอร์เซ็นต์ ไฮโดรเจน 6-7 เปอร์เซ็นต์ กำมะถัน 0.2-3.0 เปอร์เซ็นต์ และอาจมีฟอสฟอรัสบ้างเล็กน้อย (นิธิยา, 2553) โปรตีนที่สะสมในเมล็ดนั้นมีความสำคัญ ทั้งเป็นส่วนประกอบของโครงสร้าง โปรตีนที่ทำปฏิกิริยาเพื่อการดำรงชีพ (metabolically active protein) และโปรตีนที่เป็นอาหารสะสม (metabolically inactive protein) (วัลลภ, 2540) โครงสร้างขั้นต้นของโมเลกุลโปรตีนประกอบด้วย กรดอะมิโนที่ต่อกันด้วยพันธะเพปไทด์ (peptide bond) เป็นสายยาว ระหว่างกลุ่มคาร์บอกซิลกรุ๊ฟ (COOH) ของกรดอะมิโนตัวหนึ่งกับกลุ่มอัลฟาอะมิโน (NH_2) ในตัวถัดไป (Kent, 1983) ชนิดของกรดอะมิโนที่แตกต่างกันมีประมาณ 18 ชนิด ที่พบในเมล็ดทำให้โปรตีนมีลักษณะแตกต่างกัน สายเพปไทด์หลักของโมเลกุลโปรตีนมีการเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไดซัลไฟด์ (disulphide bone) ของกรดซิสติน (cystine) ทำให้เป็นโครงสร้างขั้นที่สอง (secondary structure) ถ้า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สายพันธะเพปไทด์มีการขดเกลียวเชื่อมต่อกับพันธะไฮโดรเจน จะเป็นโครงสร้างขั้นที่สาม หรือมีโครงร่างโปรตีนแบบ เอลฟา-เฮลิก (alpha- helix) (Kent, 1983) โปรตีนสามารถแบ่งได้ 4 ชนิดตามลักษณะของการละลาย คือ 1) แอลบูมิน (albumins) ละลายได้ในน้ำ 2) โกลบูลิน (globulins) ละลายได้ในน้ำเกลือ 10 เปอร์เซ็นต์ 3) โปรลามิน (prolamins) ละลายในแอลกอฮอล์ 70-90 เปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ และ 4) กลูเตลิน (glutelins) ละลายได้ในกรดหรือด่างเจือจาง (ตาราง 2.1) แอลบลูมินและโกลบูลิน อยู่ในเซลล์เนื้อเมล็ดที่เปลี่ยนมาจากส่วนของโปรโทพลาซึมเซลล์เมมเบรน (cell membranes) และเอนโดพลาสมิกเรติคูลัม (endoplasmic reticulum) ช่วยในการสร้างเนื่อเยื่อของพืชส่วน โปรลามิน และกลูเตลินจะเกิดในส่วนโปรติโอพลาส ในขณะที่เมล็ดกำลังเจริญเติบโตกลายเป็นกลุ่มโปรตีน (protein body) กระจายอยู่ทั่วไป หรืออาจรวมตัวอยู่ในรูปของโปรตีนสะสม (storage protein) เพื่อใช้เสริมสร้างส่วนต่าง ๆ ของพืช (อรอนงค์, 2532) ปริมาณโปรตีนในเมล็ดข้าวโพดทั่วไปมีประมาณ 9-10 เปอร์เซ็นต์ การกระจายตัวของโปรตีนในเมล็ดจะอยู่ในส่วนของเนื้อเยื่อเมล็ด มีมากในเอ็มบริโอ (embryo) สคูเทลลัม (scutellum) และชั้นอะลูโลน (allulone layer) มากกว่าในส่วนของเนื้อเมล็ด เปลือกหุ้มเมล็ด และเปลือกหุ้มผล แต่โปรตีนในส่วนเนื้อเมล็ด (endosperm) จะพบมากที่สุด เพราะเนื้อเมล็ดเป็นส่วนที่มีมากที่สุดของเมล็ด (อรอนงค์, 2532) โดยสัดส่วนของโปรตีนในเมล็ดข้าวโพดนั้น บริเวณ germ มีโปรตีนมากสุด ประมาณ 18 เปอร์เซ็นต์ รำ (bran) มีโปรตีนประมาณ 7 เปอร์เซ็นต์ และเอนโดสเปิร์ม มีโปรตีนประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ (นิธิยา, 2553) โปรตีนที่พบในเอนโดสเปิร์มของเมล็ดข้าวโพด มี 2 ชนิดคือ โปรตีนที่มีลักษณะเป็นร่างแห (matrix protein) และโปรตีนที่มีลักษณะเป็นเมล็ด (granular protein) จะติดอยู่ตามร่างแห โปรตีนที่เป็นเม็ดเป็นแหล่งของซิน (zein) ซึ่งเป็นโปรตีนพวกโปลามินในข้าวโพด ซึ่งข้าวโพดโดยทั่วไปจะมีโปรลามิน หรือซิน ในปริมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ โปรตีนชนิดนี้ค่อนข้างขาดแคลนไลซิน และทริฟโตแฟน (ปราณี, 2534) ซึ่งโปรตีนที่สะสมในเมล็ดข้าวโพดทั่วไปจะมีค่าเฉลี่ยประมาณ 90-140 กรัมต่อกิโลกรัม (Mcdonald, *et al*., 2002)

ตาราง 2.1 ชนิดของโปรตีนที่สะสมในเมล็ดข้าวโพด

Cereal	Protein range	Albumins	Globulins	Prolamins	glutelins
Maize	7-13	2-20	10-20	50-55	30-45

ที่มา: Matz (1969)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.1.3.3 ไขมัน

ไขมันเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำแต่จะละลายในสารละลายอินทรีย์ (organic solution) ไขมันเป็นเอสเทอร์ (ester) ของกรดไขมัน (fatty acid) หรือ กลีเซอรอล (glycerol) ไขมันในเมล็ดพบได้ 2 รูปแบบ คือ 1) ไตรกลีเซอไรด์ (triglycerides) เป็นโมเลกุลของกลีเซอรอล 1 โมเลกุล รวมกับกรดไขมันอีก 3 โมเลกุล 2) กรดไขมัน (fatty acid) เป็นส่วนที่เล็กที่สุดของไขมัน แบ่งเป็นกรดไขมันอิ่มตัว และกรดไขมันไม่อิ่มตัว (ชยพร, 2546) ในเมล็ดข้าวโพดนั้นมีอัตราส่วนของไขมันประมาณ 4 เปอร์เซ็นต์ของเมล็ด แต่ละส่วนของโครงสร้างเมล็ดนั้นจะมีไขมันในปริมาณที่ไม่เท่ากัน ไขมันจะมีในส่วนของคัพพะมากที่สุดรองมาคือส่วนเปลือก และในส่วนของเนื้อเมล็ดน้อยที่สุด (อรอนงค์, 2532) ซึ่งคัพพะของเมล็ดข้าวโพดจะมีไขมันประมาณ 35 เปอร์เซ็นต์ (ปราณี, 2534) ไขมันส่วนใหญ่อยู่ในรูปกลีเซอไรด์ของกรดไขมันโดยกรดไขมันจะพบทั้งประเภทอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว (อรอนงค์, 2532) กรดไขมันอิ่มตัวที่พบในเมล็ดข้าวโพดได้แก่ กรดปามิติก (palmitic) มีประมาณ 14 เปอร์เซ็นต์ กรดเสตียริก (stearic) มีปริมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ ส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่พบในเมล็ดข้าวโพด ได้แก่ กรดโอเลอิค (oleic) มีปริมาณ 33.4 เปอร์เซ็นต์ กรดลิโนเลอิค (linoleic) มีปริมาณ 1.5 เปอร์เซ็นต์ (Kent, 1983)ไขมันที่สะสมในเมล็ดข้าวโพดนั้นมีประมาณ 40-60 กรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งจะมีปริมาณของกรดลิโนเลอิกสูง (linoleic) เป็นปัจจัยสำคัญต่อการกินอาหารและขนาดของสัตว์ (Mcdonald, *et al*., 2002)

2.1.3.4 แร่ธาตุและวิตามิน

แร่ธาตุในเมล็ดข้าวโพดพบอยู่ในรูปสารประกอบฟอสเฟต และซัลเฟต ของโพแทสเซียม แมกนีเซียม และแคลเซียม ซึ่งแร่ธาตุที่พบในข้าวโพดได้แก่ ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก ทองแดง และแมงกานีส ส่วนวิตามินจะพบมากในกลุ่มวิตามินบี และวิตามินอี หรือ โทโคฟอรอล (tocopherrols) โดยกลุ่มวิตามินที่พบเช่น ไทอะมิน (B1) ไรโบฟลาวิล (B2) ไนอะซิน กรดเพนโทดินิก (B3) และไพดอกซิน (B6) กระจายอยู่ทั่วไปในเมล็ด ในสคูเทลลัมจะมีไทอะมินมาก ส่วนในชั้นอัลลิวโลน จะมีไนอะซินมาก ไพริดอกซินจะพบในชั้นอะลิวโลนและเอมบริโอ ส่วนโทโคฟอรอลนั้น มีมากในส่วนของเอมบริโอเปลือกเมล็ด และเนื้อเมล็ด ซึ่งจะมีประมาณ 4.4-5.1 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม (อรอนงค์, 2532; Hoseney, 1998)

2.1.4 มาตรฐานเมล็ดข้าวโพด

ข้าวโพดที่ใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการบริโภค และผลิตอาหารสัตว์เพื่อให้มีมาตรฐานข้าวโพดเมล็ดแห้ง จะช่วยพัฒนาคุณภาพความปลอดภัยของอาหาร และอาหารสัตว์โดยเฉพาะ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การนำไปใช้ในการผลิตอาหารสัตว์ที่ปลอดภัย และมีคุณภาพ ส่งผลถึงความปลอดภัยต่อผู้บริโภคตลอดวงจรการผลิตอาหาร (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2552)

เมล็ดข้าวโพด (maize kernel or corn kernel) หมายถึง เมล็ดข้าวโพดที่กะเทาะออกจากฝักแล้ว ไม่รวมถึงเมล็ดที่ใช้ทำพันธุ์ โดยคุณภาพทั่วไปของเมล็ดข้าวโพด คือ ไม่มีสีหรือกลิ่นที่ผิดปกติ มีความชื้นสูงสุดไม่เกิน 14.5 เปอร์เซ็นต์ มีเมล็ดสีอื่นไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ และไม่พบแมลงศัตรูพืชที่มีชีวิต นอกจากนี้มีการกำหนดเกณฑ์ข้อบกพร่องของเมล็ดข้าวโพด (ตาราง 2.2) ดังนี้ 1) เมล็ดเสีย (damage kernel) หมายถึง เมล็ดข้าวโพดที่ถูกทำลาย และหรือ เปลี่ยนไปจากสภาพปกติ เช่น เมล็ดงอก เมล็ดเน่า เมล็ดไหม้ เมล็ดเกิดเชื้อรา เมล็ดมอดเจาะ เมล็ดถูกแมลงศัตรูพืชอื่นทำลาย รวมถึงเมล็ดมีสี หรือกลิ่นผิดปกติ 2) เมล็ดเสียจากเชื้อรา (moldy kernel) หมายถึง เมล็ดข้าวโพดที่พบเชื้อรา หรือพบร่องรอยการทำลายของเชื้อราอย่างชัดเจน เมื่อตรวจด้วยสายตา 3) เมล็ดมอดเจาะ (weevil damaged kernel) หมายถึง เมล็ดข้าวโพดที่พบร่องรอยการเข้าทำลายจากแมลงศัตรูในโรงเก็บ เช่น ด้วงงวงข้าวโพด (maize weevil) 4) เมล็ดแตก (broken kernel) หมายถึง ส่วนของเมล็ดข้าวโพดที่แตกออกจากเมล็ดเต็ม และไม่ใช่เมล็ดลีบ เมล็ดเสีย หรือเมล็ดที่ถูกศัตรูพืชทำลาย 5) เมล็ดลีบ (undeveloped kernel) หมายถึง เมล็ดข้าวโพดที่มีการพัฒนาไม่สมบูรณ์ มีรูปร่าง และขนาดผิดปกติ 6) สิ่งแปลกปลอม (foreign matter) หมายถึง วัตถุอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ฝัก และเมล็ดข้าวโพด เช่นส่วนของต้น ใบ และซังข้าวโพด เมล็ดพืชอื่น เศษชิ้นส่วนของพืชอื่น ดิน เม็ดกรวด และทราย (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2552)

ตาราง 2.2 เกณฑ์ข้อบกพร่องของเมล็ดข้าวโพดแต่ละชั้นคุณภาพ

ข้อบกพร่อง	สัดส่วนโดยน้ำหนัก (เปอร์เซ็นต์)			
	ชั้น 1	ชั้น 2	ชั้น 3	ชั้น 4
1) เมล็ดเสีย	3	6	8	10
2) เมล็ดเสียจากเชื้อรา	0	2	3	3
3) เมล็ดมอดเจาะ	0	1	1.5	2
4) เมล็ดแตกและเมล็ดลีบรวมกัน	3	6	8	10
5) สิ่งแปลกปลอม	0.5	1	2	3

หมายเหตุ: เมล็ดข้าวโพดที่จะใช้เป็นอาหารหรือวัตถุดิบอาหาร ใช้ได้เฉพาะที่มีคุณภาพไม่ต่ำกว่าชั้นคุณภาพ 2 เท่านั้น

ที่มา: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2552)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2 ความเสียหายของเมล็ดจากการทำลายของแมลง

แมลงศัตรูหลังการเก็บเกี่ยวเป็นปัญหาที่สำคัญ เนื่องจากแมลงสามารถแพร่กระจายไปได้ทั่วโลก และตลอดปี ซึ่งเป็นลักษณะพิเศษกว่าแมลงชนิดอื่น สามารถอาศัย และมีชีวิต ปรับตัวตามสภาพอากาศ และภูมิภาคต่าง ๆ แมลงเหล่านี้มีการเคลื่อนย้ายแพร่กระจายไปได้อย่างกว้างขวาง โดยติดไปกับผลิตผลที่ใช้บริโภค มีการซื้อขายแลกเปลี่ยนกัน และการขนส่ง ซึ่งลักษณะการเข้าทำลายผลิตผลเกษตรของแมลง มี 2 ลักษณะคือ 1) แมลงที่กัดกินภายนอก ซึ่งแมลงจะอาศัยหรือทำลายอยู่ภายนอกเมล็ด ทำความเสียหายเฉพาะภายนอกทำให้เกิดเป็นขุยบริเวณผิวของผลิตผล หรือของเมล็ดถูกทำลายคุณภาพ สามารถถักใยให้เมล็ดพืช หรือผลิตผลเกาะติดกันเป็นก้อนรวมถึงแมลงที่กัดกินเศษอาหาร หรือเศษผง เช่น ผีเสื้อข้าวสาร มอดแป้ง ไร และเหาหนังสือ เป็นต้น 2) แมลงที่อาศัยและกัดกินอยู่ภายในเมล็ด แมลงจะอาศัย และทำลายอยู่ในเมล็ด โดยตัวเต็มวัยจะวางไข่ที่ผิวภายนอก ตัวหนอนอาศัยกัดกินเจริญเติบโตภายในเมล็ด จนกระทั่งครบวงจรชีวิต ตัวเต็มวัยจึงเจาะเมล็ดออกมาภายนอก ทำให้เมล็ดพืชเป็นรู และภายในเป็นโพรง แมลงประเภทนี้ได้แก่ ด้วงงวงข้าวโพด ด้วงงวงข้าว และผีเสื้อข้าวเปลือกเป็นต้น (บุษรา, 2547) ในการเก็บรักษาเมล็ดข้าวโพดเพื่อใช้เป็นเมล็ดพันธุ์หรือเพื่อรอจำหน่ายเป็นอาหาร มีการพบว่าเมล็ดข้าวโพดที่เก็บรักษาไว้โดยไม่ได้มีการเก็บรักษาที่ถูกวิธี มักจะถูกแมลงเข้าทำลายสร้างความเสียหายแก่เมล็ด (ไสว, 2534) และด้วงงวงข้าวโพดเป็นแมลงศัตรูที่สำคัญที่สุดของข้าวโพด และเมล็ดธัญพืชที่ใช้ทำพันธุ์ และเพื่อการบริโภค โดยด้วงงวงข้าวโพดจะอาศัยกัดกินภายในเมล็ด

2.3 ด้วงงวงข้าวโพด

ด้วงงวงข้าวโพด ชื่ออื่น maize weevil และ corn weevil ชื่อวิทยาศาสตร์ *Sitophilus zeamais* Motschulsky วงศ์ Curculionidae อันดับ Coleoptera ด้วงงวงข้าวโพดเป็นศัตรูที่สำคัญทำลายเมล็ดพืชหลักคือเมล็ดข้าวโพด รวมถึงธัญพืชอื่น ๆ เช่นข้าวและข้าวฟ่างที่เก็บรักษาในโรงเก็บ (Hill, 1983) ด้วงงวงข้าวโพดสามารถบินเข้าไปทำลายเมล็ดในแปลงและติดมากับเมล็ดในโรงเก็บ (Hill, 1983; Hall, 1970) ตัวเต็มวัยและตัวหนอนของด้วงงวงข้าวโพดสามารถทำลายเมล็ดธัญพืชได้อย่างรุนแรงโดยตัวเต็มวัยจะเจาะกินเมล็ดทำให้เป็นรูอยู่ทั่วไป ส่วนตัวหนอนอาศัยกัดกินอยู่ภายในเมล็ด ทำให้เนื้อภายในเมล็ดถูกกัดกินจนเป็นโพรง บางครั้งกัดกินเนื้อเมล็ดภายในจนเหลือแต่เปลือกหุ้มเมล็ด ทำให้เมล็ดมีน้ำหนักเบา เสื่อมคุณค่าทางอาหาร (อุดม, 2521) เมล็ดสูญเสียความงอก สูญเสียคุณภาพ จากฝุ่นผงที่เกิดขึ้นจากการเข้าทำลายของแมลง ของเสียและมูลที่ติดอยู่ภายในเมล็ด ทำให้เกิดการปนเปื้อนและคุณภาพของเมล็ดเสียไป ยังอาจทำให้เกิดเชื้อราขึ้นในกองเมล็ด เนื่องจากการเข้าทำลายของแมลงที่ทำให้ความชื้นในกองของเมล็ดสูงขึ้น และยังทำให้เมล็ด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เสียคุณค่าทางอาหาร ทำให้เมล็ดสูญเสียน้ำหนัก (พรทิพย์ และคณะ, 2548) เมื่อมีการเก็บรักษาเมล็ดข้าวโพดพันธุ์สุวรรณ 1 เป็นเวลา 29 วัน ที่อุณหภูมิประมาณ 25-30 องศาเซลเซียส พบระยะหนอนของด้วงงวงข้าวโพดเข้าทำลายเมล็ดและทำให้น้ำหนักของเมล็ดข้าวโพดลดลงประมาณ 9.52 เปอร์เซ็นต์ หรือประมาณ 0.026 กรัมต่อตัว และการเข้าทำลายในระยะตัวเต็มวัยสามารถทำให้น้ำหนักของข้าวโพดลดลง 15.61 เปอร์เซ็นต์ หรือประมาณ 0.032 กรัมต่อตัว (ภาณุวัฒน์, 2526) และเมื่อปล่อยด้วงงวงข้าวโพดลงในเมล็ดข้าวโพดที่เก็บรักษานาน 60 วันพบเมล็ดข้าวโพดมีการสูญเสียน้ำหนักประมาณ 25-33 เปอร์เซ็นต์ (นภดล, 2544)

รูปร่างลักษณะของด้วงงวงข้าวโพดตัวเต็มวัย จะมีขนาดระหว่าง 3.5-4 มิลลิเมตร มีสีน้ำตาลดำ (Hill, 1983) และมีลักษณะเด่นคือ จะมีส่วนยื่นออกมาเป็นงวง (snout) ซึ่งอยู่ระหว่างหนวดทั้งสองข้าง (Hall, 1970) งวงของด้วงงวงข้าวโพดตัวเต็มวัยมีความยาวประมาณ 1 มิลลิเมตร ตรงปลายงวงมีกรามที่แข็งแรงหนึ่งคู่โดยปกติงวงของตัวผู้จะกว้างและสั้นกว่าตัวเมีย (อุดม, 2521) หนวดมี 8 ปล้อง ปล้องที่ 1 ยาวพับเป็นข้อศอกกับปล้องที่ 2-8 ส่วนปล้องปลายสุดมีขนาดโตกว่าปล้องอื่น ๆ บนสันหน้าอกมีลักษณะไม่เรียบมีหลุมกลมเล็กเรียงเป็นแถวตามยาวกระจายอยู่ทั่วไป ปีกคู่หน้ามีลักษณะเป็นเกราะแข็งพับคลุมส่วนท้องทั้งหมด ปีกด้านบนจะมีหลุมเล็ก ๆ กระจายอยู่ทั่วไปลักษณะเช่นเดียวกับหลุมที่ปรากฏบนสันหลังของส่วนอกและมีรอยสีเหลืองปนน้ำตาลจำนวน 4 รอยโดยอยู่ที่โคนปีกและปลายปีกทางขอบด้านนอกข้างละรอย ปีกคู่หลังมีลักษณะเป็นเยื่อบางที่เจริญดีพับซ้อนอยู่ใต้ปีกคู่หน้า (อุดม, 2521) จากลักษณะภายนอกของด้วงงวงข้าวโพด มีความใกล้เคียงกับด้วงงวงข้าวซึ่งสามารถแยกความแตกต่างของทั้งสองชนิดนี้โดยดูความแตกต่างของอวัยวะสืบพันธุ์ (genitalia) ของด้วงงวงข้าวโพดและด้วงงวงข้าว (Munro, 1966) อวัยวะสืบพันธุ์เพศผู้ของด้วงงวงข้าวโพรงฐานของอวัยวะสืบพันธุ์ (aedeagus) เป็นรูปโค้งครึ่งวงกลมและไม่มีร่อง (groove) ส่วนด้วงงวงข้าวโพดนั้น ฐานของอวัยวะสืบพันธุ์ (aedeagus) เป็นรูปโค้งรี คล้ายกรวย มีร่องยาว ส่วนอวัยวะสืบพันธุ์เพศเมียของด้วงงวงข้าวมีลักษณะเป็นรูปตัว Y ส่วนฐานแคบส่วนปลายไม่โค้งและยอดป้านมน ส่วนด้วงงวงข้าวโพด อวัยวะสืบพันธุ์เพศเมียมีลักษณะเป็นรูปตัว Y ส่วนฐานมีขนาดกว้างกว่า ปลายโค้งขึ้นเล็กน้อยและส่วนยอดเรียวแหลมกว่า (อุดม, 2521) การวางไข่ตัวเมียของด้วงงวงข้าวโพดจะเจาะรูขนาดเล็กในเมล็ดและวางไข่รูละ 1 ฟองจากนั้นขับเมือกปิดปากรูไว้ ตัวเมียของด้วงงวงข้าวโพด 1 ตัวสามารถวางไข่ได้ 300-400 ฟอง (Hill, 1983) ไข่ของด้วงงวงข้าวโพดมีขนาดเล็กมาก มีความยาวประมาณ 0.5 มิลลิเมตร กว้างประมาณ 0.3 มิลลิเมตรมีสีขาว กลมรี และนิ่ม (อุดม, 2521) ระยะวางไข่ประมาณ 3-7 วัน เมื่อไข่ฟักเป็นตัวหนอนแล้วจะอาศัยอยู่ภายในเมล็ด หนอนระยะแรกมีสีขาวขนาดเล็ก ลำตัวยาวประมาณ 0.5 มิลลิเมตร ส่วนหัวมีสีน้ำตาลอมเหลือง กรามมีลักษณะคล้ายเขี้ยว มีสีน้ำตาลแก่จนเกือบดำ ลำตัวค่อยข้างอ่อนและมี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ลักษณะโค้ง ผิวหนังย่น ตัวหนอนอาศัยกัดกินภายในเมล็ดตลอด จนกระทั่งเจริญเติบโตเต็มที่ ลำตัวหนอนจะมีสีครีมอ่อน แผ่นหลังอก มีสีน้ำตาลแก่ขึ้น ลำตัวมีลักษณะป้อม และผิวหนังย่นมากขึ้น (อุดม, 2521) ลำตัวหนอนมีความยาวประมาณ 4 มิลลิเมตร (Hill, 1983) ระยะหนอนใช้เวลา 21-28 วัน หนอนลอกคราบ 4 ครั้ง จึงเข้าสู่ระยะดักแด้ (พรทิพย์ และคณะ, 2548) ก่อนเข้าดักแด้ตัวหนอนจะยืดลำตัวออก และหยุดนิ่งไม่กินอาหาร 1-2 วันแล้วเข้าดักแด้อยู่ภายในเมล็ด ลักษณะดักแด้เป็นแบบ exarate คือ อวัยวะส่วน ปาก หนวด ปีก และขา ไม่ติดกับลำตัว แต่ยืดออกจากลำตัวชัดเจน ระยะดักแด้ใช้เวลาประมาณ 3-6 วัน จึงพัฒนามาเป็นตัวเต็มวัย แต่อาจยังอยู่ในเมล็ดหลายวัน จึงกัดเปลือกออกสู่ภายนอกเมล็ด ทำให้เมล็ดเหลือแต่เปลือกหุ้ม ตัวเต็มวัยสามารถผสมพันธุ์และวางไข่ได้ทันที (อุดม, 2521) ตัวเต็มวัยมีชีวิตอยู่ได้นาน 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70 เปอร์เซ็นต์ (Hill, 1983; Hall, 1970) วงจรชีวิตใช้เวลาประมาณ 5 สัปดาห์ โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมในการพัฒนาของด้วงงวงข้าวโพด ประมาณ 27-31 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 60 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป หากมีอุณหภูมิต่ำกว่า 17 องศาเซลเซียส จะมีผลทำให้ด้วงงวงข้าวชะงักการเจริญเติบโต (Hill, 1983) ด้วงงวงข้าวโพด สามารถแพร่กระจายไปได้ทั่วโลก โดยเฉพาะในแหล่งที่มีการปลูกข้าวโพดเนื่องจากแมลงสามารถบินได้ไกล และแข็งแรง จึงทำให้ระบาดได้อย่างรวดเร็ว กัดกินเมล็ดพืชได้หลายชนิด เช่น ข้าวโพด ข้าว ข้าวฟ่าง ข้าวสาลี และเมล็ดพืชชนิดอื่น ๆ (พรทิพย์ และคณะ, 2548)

2.4 การป้องกันกำจัดแมลงศัตรูในโรงเก็บ

การป้องกันกำจัดแมลงโดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 แบบใหญ่ ๆ คือ การป้องกัน (preventive control) ซึ่งเป็นการกระทำก่อนที่แมลงจะลงทำลาย และการกำจัด (curative control) ซึ่งหมายถึงการกระทำหลังจากที่มีแมลงทำลายเรียบร้อยแล้ว และการป้องกันกำจัดแมลงศัตรูในโรงเก็บแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือการป้องกันกำจัดที่ไม่ใช้สารเคมีและการป้องกันกำจัดที่ใช้สารเคมี (ชุมพล, 2533) การป้องกันกำจัดโดยใช้สารเคมีเป็นการนำเอาสารเคมีได้แก่ สารฆ่าแมลง สารดึงดูดแมลง สารไล่แมลง และสารเคมีอื่น ๆ มาใช้ในการป้องกันกำจัด เช่นการพ่นฆ่าแมลงภายในและภายนอกแมลงโรงเก็บโดยการพ่นยาลงไปที่พื้นหรือฝาผนังให้มีพิษตกค้างและกำจัดแมลงที่หลบซ่อน สารฆ่าแมลงที่ใช้ เช่น ไพริมิฟอส เมทิล (pirimiphos methyl) และมาลาไธออน (malathion) การพ่นฆ่าแมลงลงบนกระสอบ เป็นการพ่นเพื่อป้องกันกำจัดแมลงรอบนอกกระสอบ สารเคมีที่ใช้มี 2 กลุ่มคือ กลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัส เช่น มาลาไธออน และกลุ่มไพรีทรอย์สังเคราะห์ เช่น เพอร์เมทริน (permethrin) การพ่นสารเคมี ในที่ว่างป้องกันแมลงในที่ว่างหรือในอากาศ แมลงที่บินได้เช่น ด้วงงวง และผีเสื้อข้าวเปลือกโดยสารเคมีที่ใช้ฆ่าแมลง เช่น ไพริมิฟอส เมทิล หรือเอสไบ-

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โออัลเลทริน (esbioallethrin) ส่วนการรมเมล็ดเพื่อป้องกันกำจัดแมลงโดยสารรมที่นิยมใช้คือ เมทิลโบรไมด์และฟอสฟีน แต่เมทิลโบรไมด์นั้น ทำลายชั้นโอโซนส่งผลทำให้โลกร้อนขึ้น (พรทิพย์และคณะ, 2548) การใช้สารเคมีที่สกัดจากธรรมชาติในการป้องกันกำจัดแมลงโดยการใช้น้ำมันหอมระเหยจากผกากรอง น้ำมันหอมระเหยกระทือ และน้ำมันสะเดา ต่อด้วงงวงข้าวโพด โดยนำเอาเมล็ดข้าวโพดมาคลุกน้ำมันหอมระเหยที่ระดับความเข้มข้น sub-lethel concentration แล้วปล่อยให้แมลงจนเป็นตัวเต็มวัย พบว่า น้ำมันสะเดามีผลต่อการพัฒนาของด้วงงวงข้าวโพดมากที่สุด รองมาคือน้ำมันระเหยผกากรอง และน้ำมันกระทือ โดยมีค่า net reproductive rate เท่ากับ 22.05, 29.14 และ 11.76 ตามลำดับ (สังวาลและคณะ, 2546)

การกำจัดโดยไม่ใช้สารเคมี ได้แก่ การทำความสะอาด และการป้องกันกำจัดภายในโรงเก็บเป็นวิธีที่ทำได้ง่ายและสามารถป้องกันกำจัดแมลงได้ดี ก่อนเก็บเมล็ดควรมีการทำความสะอาดพื้น โครงสร้างส่วนต่าง ๆ ไม่ให้มีเมล็ดเก่าเหลือตกค้างซึ่งสิ่งเหล่านี้อาจเป็นแหล่งที่อยู่อาศัย หรือหลบซ่อนของแมลงได้ ควรเก็บเมล็ดภายในภาชนะ หรือกระสอบจัดเรียงให้เป็นระเบียบเรียบร้อย (ชุมพล, 2533) ไม่ควรเก็บเมล็ดพืชใหม่ใกล้กับเมล็ดพืชเก่าเพราะแมลงมักจะแพร่ไปยังเมล็ดใหม่ได้อย่างรวดเร็ว ส่วนเมล็ดที่ใช้บริโภคและขายนั้นไม่ควรจะวางไว้ใกล้กับเมล็ดที่ใช้สำหรับเป็นอาหารสัตว์เพราะเมล็ดที่เป็นอาหารสัตว์นั้นมักจะมีระยะเวลาในการเก็บรักษาที่นานและเต็มไปด้วยแมลง (Lindblad and Druben, 1980) การนำสาร หรือวัสดุบางอย่างมาคลุกเมล็ด เช่น inert dust มีการใช้ diatomaceous earth คลุกเมล็ดเพื่อป้องกันการทำลายของแมลงซึ่งสารนี้มีผลทำให้ตัวแมลงเกิดบาดแผลและสูญเสียน้ำออกจากร่างกาย (พรทิพย์และคณะ, 2548) เมื่อนำดินเบาอัตรา 400 ppm มาคลุกกับเมล็ดที่มีความชื้น 12 และ 14 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 20 และ 30 องศาเซลเซียส พบว่าที่ความชื้นเมล็ด 12 เปอร์เซ็นต์ จะมีอัตราการตายของด้วงงวงข้าวมากกว่าที่ 14 เปอร์เซ็นต์ ทั้งสองอุณหภูมิ (Fields and Korunic, 2000) การใช้วัสดุคลุกเมล็ดนี้ถ้าเมล็ดพืชแห้งแมลงจะไม่สามารถมีความชื้นเพียงพอที่จะชดเชยความชื้นที่สูญเสียไปจึงทำให้แมลงสามารถตายได้ (Lindblad and Druben, 1980) การใช้ความเย็นนั้นมีผลต่อการเจริญเติบโตของแมลงลดอัตราการกิน อัตราการวางไข่ และอัตราการฟักไข่ ทำให้แมลงหยุดชะงักการกินอาหารและอาจตายได้ การใช้ความร้อนขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและระยะเวลาในการอบและระยะการเจริญเติบโตของแมลง ระดับความชื้นสัมพัทธ์ (พรทิพย์และคณะ, 2548) ใจทิพย์และคณะ (2550) พบว่าเมื่อใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส เวลา 70, 40 และ 30 นาที สามารถควบคุมด้วงงวงข้าวโพดโดยสมบูรณ์ การป้องกันกำจัดแมลงโดยใช้ความร้อนนั้น ซึ่งผลของอุณหภูมิกับแมลงโดยที่อุณหภูมิ 25-33 องศาเซลเซียส เป็นช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญเติบโต และดำรงชีวิตของแมลงศัตรูในโรงเก็บมากที่สุด อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส การเจริญเติบโตของแมลงหยุดชะงัก อุณหภูมิ 45 องศา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เซลเซียส สามารถทำให้แมลงตายได้ใน 1 ชั่วโมง และที่อุณหภูมิมากกว่า 50-60 องศาเซลเซียส สามารถทำให้แมลงตายได้ใน 1 นาที (ตาราง 2.3) (Fields, 1992)

การใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในการรมเมล็ดพืชสามารถใช้ในการกำจัดและป้องกันการเข้าทำลายของแมลงได้ ชนันทรและคณะ (2541) รายงานว่าเมื่อเก็บรักษาเมล็ดข้าวโพดเป็นระยะเวลานาน 8 เดือน ที่อุณหภูมิ 30-35 องศาเซลเซียส โดยมีการรมด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ อัตรา 10, 20, 30, และ 40 เปอร์เซ็นต์ โดยทุกความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีผลต่อการตายของประชากรของด้วงงวงข้าวโพด การใช้ภาชนะบรรจุที่สามารถป้องกันการเข้าทำลายของแมลงจะช่วยป้องกันแมลงได้แต่ต้องระวังไม่ให้เกิดแผลฉีกขาดหรือเป็นรู และการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร่วมกับฟิล์มพลาสติก สามารถกำจัดแมลงได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อใช้ฟิล์ม PET/LLDPE ร่วมกับการใช้ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อก๊าซไนโตรเจน อัตรา 10:90, 20:80, 30:70 และ 40:60 ในถุงที่บรรจุข้าวสารและด้วงงวงข้าวปะปนอยู่ โดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อการตายของแมลง โดยใช้เวลาสั้นลง (กุลวิชญ์, 2552)

การใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า วิธีนี้แมลงจะดูดพลังงานได้เร็วกว่าเมล็ดพืช ดังนั้นแมลงจึงตายได้อย่างรวดเร็วโดยเมล็ดยังไม่ถูกทำลาย (พรทิพย์และคณะ, 2548) พลังงานคลื่นความถี่วิทยุเมื่อถูกดูดซับผ่านเข้าสู่ตัวแมลงแล้วเปลี่ยนกลายเป็นความร้อน เมื่อแมลงถูกคลื่นวิทยุแล้วอาจตายในเวลาอันสั้น (ชุมพล, 2533)

ตาราง 2.3 ระดับอุณหภูมิที่มีต่อแมลงศัตรูในโรงเก็บ

อุณหภูมิ (°C)	ผล
50-60	ตายภายในนาที
45	ตายภายในชั่วโมง
35	การเจริญเติบโตหยุดชะงัก
33-35	การเจริญเติบโตหยุดชะลอลง
25-33	การเจริญเติบโตสูงที่สุด
13-25	การเจริญเติบโตหยุดชะลอลง
13-20	การเจริญเติบโตหยุดชะงัก
5	ตายภายในสัปดาห์-เดือน (หยุดการเคลื่อนไหว)
-25 to -15	ตายภายในนาที

ที่มา: Fields (1992)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5 การใช้บรรจุภัณฑ์

การใช้บรรจุภัณฑ์ เป็นการป้องกันการเข้าทำลายของแมลง ซึ่งมีความสำคัญตั้งแต่ ผู้ผลิตในการควบคุมแมลง ที่จะเข้าไปอยู่อาศัยทำลายผลิตภัณฑ์ ซึ่งถ้าเกิดมีการเข้าทำลายของแมลง เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษา อาจมีปัจจัยมาจาก ชนิดของแมลง ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำบรรจุภัณฑ์ และวิธีการบรรจุ ซึ่งชนิดของ วัสดุที่ใช้ทำบรรจุภัณฑ์ ในการเพิ่มความยากของการเข้าทำลายของแมลงในระยะตัวเต็มวัยในการไต่บนพื้นผิวบรรจุภัณฑ์ โดยมีการจัดเรียงระดับจากความง่ายไปยาก คือ กระดาษ พลาสติก โพลีเอทิลีน เทเรฟทาเลท (polyethylene terephthalate) โพลีไวนิลคลอไรด์ (polyvinylchloride) เซลโลเฟน (cellophane) ฟลูโอริเนทเอทิลีนโพรไพลีน (fluorinated ethylene propylene) อลูมิเนียมฟลอยด์ (aluminum foil) โพลีเอทิลีน (polyethylene) และโพลีโพรพิลีน (polypropylene) ตามลำดับ (Field and Muir, 1996)

บรรจุภัณฑ์คือ การใช้ภาชนะบรรจุชนิดใดชนิดหนึ่งมาสร้างภาชนะบรรจุหีบห่อให้กับผลิตภัณฑ์เพื่อป้องกันความเสียหายของผลิตภัณฑ์ รักษาคุณภาพ เกิดความสะดวกในการใช้สอย การขนส่ง เพื่อการสื่อสารต่าง ๆ และการตลาด (สมพงษ์, 2550)

พลาสติก เป็นวัสดุภัณฑ์ที่มีอัตราการใช้สูง เนื่องจากสมบัติที่สามารถเปลี่ยนรูปทรงได้หลายลักษณะ หรือให้เป็นวัสดุรูปทรงอ่อนตัว นำมาทำเป็นถุงได้ วัสดุพลาสติกมีให้เลือกหลายชนิด (สมพงษ์, 2550) โดยประโยชน์ของพลาสติกคือ มีน้ำหนักเบา ป้องกันการซึมผ่านของก๊าซ และอากาศได้ดีระดับหนึ่ง มีคุณสมบัติหลายอย่างที่สามารถเลือกใช้งานได้อย่างเหมาะสม บางชนิดทนความร้อนได้ แต่บางชนิดทนความร้อนไม่ได้ และบางชนิดยังเป็นฉนวนกันความร้อน พลาสติกที่ใช้มีหลายประเภท จึงมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาสมบัติของพลาสติก และสามารถเลือกใช้ได้อย่างสมบูรณ์ (ปุ่นและสมพร, 2541)

2.5.1 พลาสติกที่ใช้ทำบรรจุภัณฑ์

โพลีเอทิลีน (polyethylene, PE) เป็นพลาสติกที่มีการใช้มาก เนื่องจาก PE มีจุดหลอมเหลวต่ำ เมื่อเทียบกับพลาสติกชนิดอื่น ๆ โพลีเอทิลีนผลิตจากกระบวนการเพอลิเมอร์ไรต์เซชัน (polymerization) ของก๊าซเอทิลิน (athylin) ภายใต้ความดันและอุณหภูมิสูง โดยอยู่ในสภาวะที่ปราศจากตัวเร่งปฏิกิริยาของโลหะ (metal catalyst) (ปุ่นและสมพร, 2541) โพลีเอทิลีน มีความเฉื่อยต่อสารเคมีค่อนข้างสูงและมีความเป็นขั้วต่ำ (non-polar) ทำให้ป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ดี แต่ยอมให้ออกซิเจนซึมผ่านได้ง่าย ป้องกันการซึมผ่านของไขมันได้ต่ำ จุดอ่อนตัว (softening point) ของ โพลีเอทิลีน มีค่าระหว่าง 80-134 องศาเซลเซียส ทำให้สามารถปิดผนึกด้วยความร้อนได้ง่าย โดยเฉพาะ โพลีเอทิลีน ที่มีความหนาแน่นต่ำ (งามทิพย์, 2550) การจับตัวของโมเลกุลในลักษณะโซ่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สั้นโซ่ยาว จะส่งผลให้ โพลีเอทิลีน มีความหนาแน่นต่างกัน ความหนาแน่นนี้จะมีผลต่อคุณสมบัติของ โพลีเอทิลีน ซึ่งเมื่อมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นจะทำให้ ความใสลดลงความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ความต้านทานต่อความร้อนสูงขึ้นและป้องกันการซึมผ่านก๊าซเพิ่มขึ้นด้วย (งามทิพย์, 2550)

ขนิษฐา (2547) รายงานว่า เมื่อนำข้าวสาร ที่ผ่านการลดความชื้นแบบตากแดดและลมร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส แล้วเก็บรักษาภายใต้บรรจุภัณฑ์โดยใช้ ถุงพลาสติกโพลีเอทิลีน และใช้ถุงพลาสติก nylon laminate ปิดผนึกด้วยความร้อน และใช้ถุงพลาสติก nylon laminate ในการบรรจุแบบสุญญากาศ และอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 40 และ 80 เปอร์เซ็นต์ ก๊าซไนโตรเจน 40 และ 80 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตรอากาศในถุงบรรจุภัณฑ์เป็นเวลา 8 เดือน พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมี และทางกายภาพใกล้เคียงกัน โดยมีเปอร์เซ็นต์อะมิโลสเพิ่มขึ้น มีความสัมพันธ์กับค่ากำลังพองตัว และค่าการละลายของแป้งที่ลดลง โดยมีเปอร์เซ็นต์อะมิโลส ของข้าวสารที่เก็บรักษาอยู่ในช่วง 18.6-23.8 เปอร์เซ็นต์ และ 18.0-22.9 เปอร์เซ็นต์ ค่ากำลังพองตัวอยู่ในช่วง 8.9-10.8 เปอร์เซ็นต์ และ 8.2-9.9 เปอร์เซ็นต์ และค่าการละลายของแป้งอยู่ในช่วง 2.8-5.1 เปอร์เซ็นต์ และ 2.9-4.9 เปอร์เซ็นต์ ส่วนเปอร์เซ็นต์ไขมันมีแนวโน้มลดลง มีค่าอยู่ในช่วง 0.1-0.4 เปอร์เซ็นต์ และ 0.2-0.3 เปอร์เซ็นต์

งามชื่นและ คณะ (2542) รายงานว่าการบรรจุข้าวในถุงไนลอน และอลูมิเนียมฟลอยล์ ชนิดประกบหลายชั้น และลดปริมาณก๊าซออกซิเจนออก โดยการปิดผนึกแบบสุญญากาศ สามารถช่วยระงับการพัฒนาของแมลง และการเกิดกลิ่นเหม็นได้ ตลอดช่วงระยะเวลาการเก็บรักษานาน 6 เดือน ชะลอการเพิ่มขึ้นของกลิ่นเหม็นในข้าว แต่คุณภาพข้าวสุก จะมีความนุ่ม ความขาว ความเหนียว และมีความเลื่อมมันลดลงเล็กน้อย

บรรจุภัณฑ์ เป็นอีกปัจจัยหนึ่งเมื่อมีการใช้ความร้อนกับวัสดุที่มีการบรรจุร่วมกับการใช้รังสีของแถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวของคลื่นสูง สามารถใช้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง ในการฆ่าแมลงที่อยู่ในบรรจุภัณฑ์ และการบรรจุต้องสามารถให้มีการผ่านของคลื่น และมีความสามารถในการต้านทานต่อความร้อน และการเพิ่มความดันระหว่างการให้ความร้อนแก่บรรจุภัณฑ์ (Field and Muir, 1996) วัสดุบรรจุภัณฑ์สามารถส่งผ่านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไปยังตัววัสดุได้ แม้จะมีการดูดคลื่นไว้บ้าง ซึ่งบรรจุภัณฑ์แต่ละประเภทนั้นจะมีดูดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไว้แตกต่างกัน พบว่าวัสดุบรรจุภัณฑ์ โพลีไวนิลคลอไรด์ (ที่มี plasticizer 40 เปอร์เซ็นต์) ไนลอน 66 โพลิเอสเตอร์ โพลีโพพีลีน และโพลีเอทิลีน มีค่าดัชนีความสามารถในการดูดซับพลังงานคลื่นความถี่วิทยุที่ความถี่ 10 MHz คือ 0.4000, 0.0900, 0.0400, 0.0005 และ 0.0004 ตามลำดับ (ตาราง 2.4) (ปุ่นและสมพร, 2541) ค่ายิ่งสูงหมายความว่าสามารถดูดพลังงานคลื่นไว้ได้มาก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.4 ดัชนีความสามารถในการดูดซับพลังงานของบรรจุภัณฑ์

วัสดุบรรจุภัณฑ์	ดัชนีความสามารถในการดูดซับพลังงาน (RF 10 MHz)
ไนลอน 66	0.0900
โพลิเอสเตอร์	0.0400
โพลีเอทิลีน	0.0004
โพลีโพพีลีน	0.0005
โพลีไวนิลคลอไรด์	0.4000

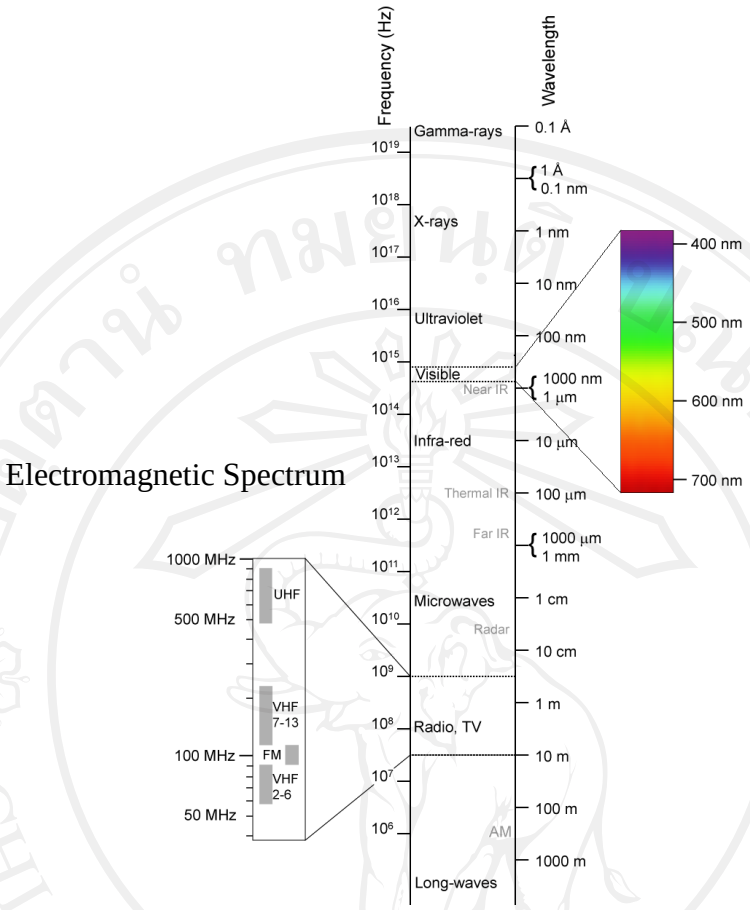
ที่มา: ปุ่นและสมพร (2541)

2.6 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

การใช้พลังงานต่าง ๆ เช่น พลังงานไฟฟ้า พลังงานจากรังสี เป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถกำจัดแมลงได้ ซึ่งวิธีนี้แมลงจะดูดพลังงานได้เร็วกว่าเมล็ดพืชทำให้แมลงตายได้อย่างรวดเร็วโดยเมล็ดพืชไม่ถูกทำลาย (พรทิพย์และคณะ, 2548) การใช้ประโยชน์จากการแผ่รังสีของแถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic spectrum) (ภาพ 2.1) มีความต่างกันที่ความถี่และความยาวช่วงคลื่นแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มคือ 1) non-ionizing radiation เป็นรังสีของแถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่ของคลื่นต่ำ แต่มีความยาวของคลื่นสูง ได้แก่ คลื่นวิทยุทั้งระบบ คลื่นยาวและคลื่นสั้น คลื่นโทรทัศน์ คลื่นไมโครเวฟ และอินฟาเรด 2) ionizing radiation เป็นรังสีของแถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เช่นเดียวกันแต่มีความยาวคลื่นสั้นกว่า คลื่นแสงที่มองเห็นได้ (visible spectrum) และมีช่วงความถี่ของคลื่นสูงมากได้แก่ รังสีแกมมา รังสีเอ็กซ์ และรังสีบีตา (สายสนม, 2546)

คลื่นความถี่วิทยุเป็นส่วนหนึ่งของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า อยู่ในช่วง 1 ถึง 300 MHz (Marra *et al.,* 2009) โดยมีการส่งถ่ายพลังงานได้เร็วและมีประสิทธิภาพ แมลงเกิดความรู้สึกไวต่อการเกิดความร้อนของคลื่นความถี่วิทยุโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ระดับความถี่ระหว่าง 10-100 MHz (Vincent *et al.,* 2003) พลังงานคลื่นวิทยุเมื่อถูกดูดซับผ่าน (absorber) เข้าสู่ตัวแมลงแล้วจะเปลี่ยนกลายเป็นความร้อน วิธีการที่ทำให้เกิดความร้อนนี้เรียกว่า dielectric heating เมื่อแมลงถูกคลื่นวิทยุแล้วอาจตายในเวลาอันสั้น (ชุมพล, 2533)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 2.1 แถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Wigipedia, 2010)

2.6.1 การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริก

การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริก (dielectric heating) ทำงานโดยอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่ย่านคลื่นวิทยุหรือไมโครเวฟกำลังสูงส่งผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุ สนามของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะทำให้โมเลกุลของวัสดุที่มีโครงสร้างแบบมีขั้ว (dipolar molecules) ซึ่งมีขั้วไฟฟ้าที่เป็นขั้วบวกและขั้วลบพยายามเรียงตัวตามทิศทางของสนามคลื่นที่ส่งผ่านเข้ามา ทำให้เกิดการเสียดสีกันของโมเลกุล เกิดเป็นความร้อนกระจายทั่วภายในเนื้อวัสดุหรือการถ่ายเทพลังงานจากคลื่นไปยังวัสดุ วัสดุที่สามารถใช้การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกได้จะต้องเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติที่ตอบสนองต่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า คือ จะต้องเป็นวัสดุที่มีโครงสร้างโมเลกุลแบบมีขั้วหรือประกอบด้วยน้ำซึ่งมีโมเลกุลแบบมีขั้วเป็นองค์ประกอบ วัสดุที่มีโครงสร้างโมเลกุลแบบไม่มีขั้ว เช่น อากาศ เทปล่อน หรือแก้ว จะไม่สามารถดูดซับพลังงานจากคลื่นได้ โดยคลื่นจะผ่านทะลุเข้าไปในเนื้อวัสดุโดยไม่เกิดความร้อนหรือการเปลี่ยนแปลงใด ๆ ส่วนวัสดุที่เป็นโลหะจะมีคุณสมบัติสะท้อนคลื่นจึงไม่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สามารถเกิดความร้อนได้ การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกด้วยคลื่นวิทยุจะเหมาะกับการให้ความร้อนแก่วัสดุที่มีลักษณะรูปทรงพื้นฐานที่ไม่ซับซ้อน เช่น แท่งสีเหลี่ยม ทรงกระบอก โดยสามารถให้ความร้อนกับวัสดุได้ตั้งแต่ขนาดเล็กจนถึงขนาดใหญ่หลายเมตร (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2553)

2.6.2 สมบัติด้านไดอิเล็กทริกของวัตถุ

สมบัติด้านไดอิเล็กทริกของวัตถุ เป็นสมบัติที่บอกว่า สารชนิด หนึ่งมีการดูดซับคลื่นได้ดีเพียงใด เนื่องจากสมบัติไดอิเล็กทริก แปรเปลี่ยนไปตามองค์ประกอบของวัตถุ เช่น คาร์โบไฮเดรต ไขมัน โปรตีน เกลือ และปริมาณน้ำ (ตาราง 2.5 และ 2.6) เมื่อให้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แก่วัตถุอาจเกิดลักษณะหนึ่งในสามอย่างนี้ 1) พลังงานถูกดูดซับในวัตถุ ซึ่งวัสดุจะต้องมีสมบัติตอบสนองต่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นวัสดุที่มีโครงสร้างโมเลกุลแบบมีขั้ว หรือประกอบไปด้วยน้ำ ซึ่งมีโมเลกุลแบบมีขั้วเป็นองค์ประกอบ 2) พลังงานจะผ่านวัตถุไปโดยไม่มีการดูดซับ วัสดุมีโครงสร้างแบบไม่มีขั้วเช่นอากาศ เทปล่อน หรือแก้ว จะไม่สามารถดูดซับพลังงานคลื่นได้ ทำให้ไม่เกิดความร้อนหรือการเปลี่ยนแปลงใด ๆ 3) พลังงานถูกสะท้อนกลับ เช่นวัสดุที่เป็นโลหะ จะมีสมบัติสะท้อนคลื่นจึงไม่เกิดความร้อน ดังนั้นวัตถุจะสะท้อน หรือดูดซับคลื่น ขึ้นอยู่กับสมบัติไดอิเล็กทริกของวัตถุ (ไพศาล และรุ่งนภา, 2550) วัตถุที่ประกอบด้วยโมเลกุลที่มีขั้ว โมเลกุลจะจัดวางตัวเองตามทิศทางของสนามไฟฟ้า ความแข็งแรงของประจุที่ปลายโมเลกุล เรียกว่า ไดโพลโมเมนต์ (dipole moment) บอกถึงปฏิกริยาระหว่างประจุกับสนามไฟฟ้า และไดโพลโมเมนต์ยังเป็นค่าที่แสดงถึงค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (dielectric constant, ε') (วิไล, 2546)

ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (dielectric constant, ε') คือ ค่าที่แสดงถึงความสามารถของวัตถุในการกักเก็บพลังงานไว้ เมื่อนำไปวางในสนามไฟฟ้ากระแสสลับ ถ้าค่านี้สูงวัตถุสามารถเก็บพลังงานไว้ได้มาก ซึ่งค่านี้จะเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิ และปริมาณความชื้นของวัตถุนั้น

แฟกเตอร์การสูญเสียไดอิเล็กทริก (dielectric loss factor, ε'') คือค่าของพลังงานที่สูญสียไปหรือแพร่กระจายไปในสารไดอิเล็กทริกเมื่อนำไปไว้ในสนามไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งพลังงานที่สูญเสียไปเพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนในวัตถุนั้น ถ้าค่านี้สูงแสดงว่าเกิดความร้อนขึ้นสูง

loss tangent (tan δ หรือ dissipation factor) หมายถึง ลักษณะของการสูญเสียพลังงานของสารนั้นแสดงถึงระดับการทะลุทะลวงของสนามไฟฟ้า และการกระจายพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อน ถ้าค่านี้สูงแสดงถึงวัตถุเกิดความร้อนดีขึ้น ค่านี้ออกมาในรูปมุมที่ต่างไปจาก 90 องศา ในสภาพปกติทั่วไปของกระแสไฟฟ้า ค่านี้มีส่วนสัมพันธ์กับค่า ε' และ ε'' คือ $\tan \delta = \varepsilon''/\varepsilon'$ (สายสนม, 2546)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.5 คุณสมบัติไดอิเล็กทริกของแมลงชนิดต่าง ๆ ในระยะตัวเต็มวัย (dielectric constant (ε ') dielectric loss factor (ε "))

แมลง	อุณหภูมิ	ความถี่ (GHz)					
		0.2		0.5		1.08	
	(องศาเซลเซียส)	ε '	ε "	ε '	ε "	ε '	ε "
rice weevil	10	54	40	49	20	45	14
(ด้วงงวงข้าว)	70	59	92	50	43	45	24
red flour beetle	10	59	43	54	22	50	16
(มอดแป้ง)	70	66	108	54	50	48	27
sawtoothed grain beetle	10	69	53	62	27	58	19
(มอดฟันเลื่อย)	70	81	125	67	59	59	34
lesser grain borer	10	59	41	54	22	50	16
(มอดหัวป้อม)	70	80	128	66	60	59	34

ที่มา: Nelson (1998)

ตาราง 2.6 คุณสมบัติไดอิเล็กทริกของเมล็ด (dielectric constant (ε ') and dielectric loss factor (ε "))

ชนิดเมล็ด	อุณหภูมิ	ความถี่ (MHz)					
		27.12		40		915	
	องศาเซลเซียส	ε '	ε "	ε '	ε "	ε '	ε "
Almond	20	5.9	1.2	5.9	1.5	1.7	5.7
	60	6	0.7	6.3	1.1	3.1	6.4
Walnut	20	4.9	0.6	4.8	0.7	2.2	2.9
	60	5.3	0.4	5.2	0.5	3.8	1.8

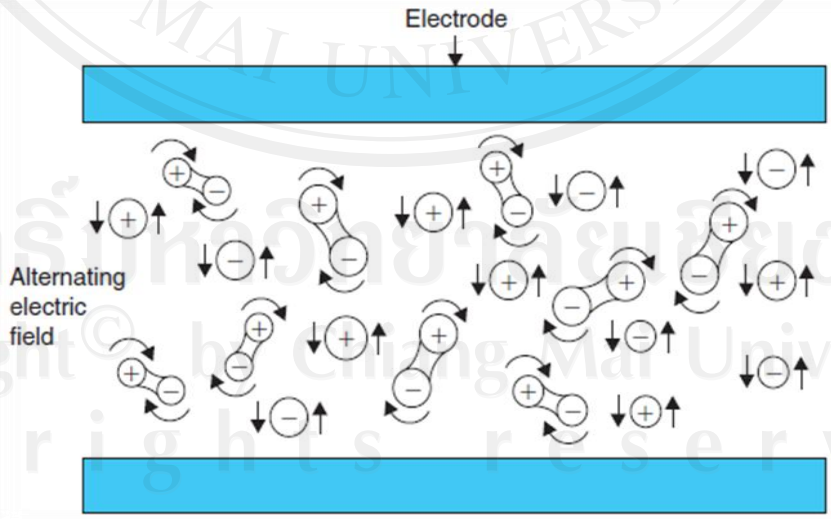
ที่มา: Wang *et al.* (2003)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.6.3 การเกิดความร้อนของคลื่นความถี่วิทยุ

คลื่นความถี่วิทยุในสนามแม่เหล็กไฟฟ้ามีการสลับตำแหน่ง เกิดการหมุนย้ายของประจุ (Marra *et al.,* 2009) ระหว่างขั้ว electrode ทั้งสอง ทำให้วัสดุเกิดความร้อนระหว่าง electrode โดยพลังงานกระแสสลับทำให้กระแสแม่เหล็กหันไปในทิศทางเดียวกัน โมเลกุลในวัสดุเคลื่อนที่

หมุนเวียนต่อเนื่อง ไปยังตำแหน่งที่ตรงข้ามกับขั้ว เมื่อสนามไฟฟ้าเกิดการสลับตำแหน่งที่คลื่นความถี่วิทยุ เช่น ที่ความถี่ 27.12 MHz สนามไฟฟ้ามีการสลับตำแหน่ง 27,120,000 รอบต่อวินาที ผลจากการเสียดสีและการหมุนย้ายของโมเลกุล ทำให้เกิดความร้อนขึ้นอย่างรวดเร็วผ่านโมเลกุลนั้น (ภาพ 2.2) ปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นในวัตถุนี้ ขึ้นอยู่กับ ความถี่ ขนาดของวัสดุ และ dielectric loss ของวัสดุ (Orsat and Raghavan, 2005) ความร้อนของคลื่นความถี่วิทยุเมื่อมีความร้อนเพิ่มขึ้นจะถูกดูดซับพลังงานความร้อนโดย lossy dielectric เมื่อพื้นที่ของสนามแม่เหล็กไฟฟ้ามีความถี่สูง (Marra *et al.,* 2009) ระดับความหลวม (lossy) จะแปรผันกับคลื่นความถี่ อุณหภูมิ และลักษณะของวัตถุ ถ้าวัตถุมีความหลวมมาก จะสามารถดูดกลืนพลังงานได้มาก (ไพบูลย์, 2532) เมื่อวัตถุดูดซับพลังงานจะเกิดความร้อน 2 แบบร่วมกัน คือ 1) ionic polarization เป็นการเกิดความร้อนเนื่องจากผลการเคลื่อนที่ของไอออนในสารละลายเมื่อเข้าไปอยู่ในสนามไฟฟ้าแต่ละไอออนมีประจุไฟฟ้าประจำตัวจะถูกกระตุ้นและเร่งให้มีการเคลื่อนที่จึงทำให้เกิดการเสียดสีกับไอออนอื่น ๆ และมีการเปลี่ยนพลังงานจลน์มาเป็นพลังงานความร้อนแล้วกระจายสู่ส่วนอื่น การเกิดความร้อนแบบนี้เกิดได้ในของเหลว ภายในเซลล์ซึ่งอยู่ในรูปของสารละลาย 2) dipole rotation เป็นการเกิดความร้อนของสารประกอบมีขั้ว เช่น น้ำสภาพปกติสารประกอบจะเรียงตัวประจุบวกและประจุลบอย่างไม่เป็นระเบียบ (random oriented) เมื่อเข้าไปอยู่ในสนามไฟฟ้าประจุบวกและประจุลบของสารนี้จะเคลื่อนที่เปลี่ยนทิศทางเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ การเคลื่อนที่หมุนตัวกลับมาอย่างรวดเร็วตามความถี่ ความเร็วในการหมุนตัว และเสียดสีกันทำให้เกิดความร้อนขึ้น (สายสนม, 2546)



ภาพ 2.2 การหมุนของประจุที่มีขั้วในสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Orsat and Raghavan, 2005)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

คณะกรรมการการสื่อสารแห่งชาติประเทศสหรัฐอเมริกา (The Ferderal Communication Commission: FCC) ได้กำหนดคลื่นความถี่วิทยุที่มีผลในการกำจัดแมลงในความถี่ต่าง ๆ ที่อนุญาตให้ใช้ได้ในทางอุตสาหกรรม ทางวิทยาศาสตร์ และ ทางการแพทย์ คือ 13.56, 27.12 และ 40.68 MHz (Wang and Tang, 2004) เมื่อนำคลื่นความถี่วิทยุนี้ มาใช้ในการกำจัดมอดแป้ง *(Tribolium castaneum* (Harbst)) ในแป้งสาลี และด้วงงวงข้าวในข้าวสาร พบว่า ที่ความถี่คลื่นวิทยุ 13.56, 27.12 และ 40.68 MHz อุณหภูมิ 45, 46 และ 47 องศาเซลเซียส เวลา 45, 35 และ 15 วินาที ตามลำดับ สามารถกำจัดมอดแป้งได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนด้วงงวงข้าวนั้น พบว่าที่ความถี่คลื่นวิทยุ 13.56 และ 27.12 MHz อุณหภูมิ 57 และ 58 องศาเซลเซียส เวลา 105 และ 95 วินาที ตามลำดับ สามารถกำจัดด้วงงวงข้าวได้ 100 เปอร์เซ็นต์ (Mirhoseini *et al*., 2009) ส่วน Vassanacharoen (2007) พบว่า เมื่อใช้คลื่นความถี่วิทยุ ที่ความถี่ 27.12 MHz ที่อุณหภูมิมากกว่า 52 องศาเซลเซียสขึ้นไป ระยะเวลา 1 นาที สามารถกำจัดตัวเต็มวัยของด้วงงวงข้าวได้สมบูรณ์ 100 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อใช้ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ใช้เวลาไม่เกิน 10 นาที สามารถทำให้ด้วงงวงข้าวตายสมบูรณ์ 100 เปอร์เซ็นต์ หลังจากได้รับคลื่นความถี่วิทยุเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นอกจากนี้ Hansen *et al*. (2000) พบว่า เมื่อใช้คลื่นความถี่วิทยุ 27 MHz กับผลวอลนัทในการกำจัด codling moth ระยะหนอน ที่อุณหภูมิ 50 และ 52 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 7 และ 2 นาทีตามลำดับ สามารถกำจัด ได้ 100 เปอร์เซ็นต์ และกำจัด navel orangeworm ที่อุณหภูมิ 52 และ 54 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 6 และ 1 นาทีตามลำดับ สามารถทำให้แมลงตาย ได้ 100 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับ Wang and Tang (2004) พบว่า เมื่อใช้คลื่นความถี่วิทยุที่ความถี่ 27.12 MHz อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ร่วมกับการใช้ ลมร้อน (hot air) นาน 5 นาที สามารถกำจัดระยะหนอนวัย 5 ของ navel orangeworm ซึ่งเป็นระยะที่ทนทานที่สุด ในผลวอลนัท ได้ 100 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนั้นการใช้คลื่นความถี่วิทยุยังไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลง สี กลิ่น กรด ไขมัน และลักษณะผิวภายนอกของผลวอลนัท และยังมีประโยชน์ในการช่วยควบคุมความชื้นของผล รวมถึงสามารถควบคุมการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้ (Wang *et al*., 2002; 2007)

คลื่นความถี่วิทยุมีผลตอบสนองต่อระยะการเจริญเติบโตของแมลงแต่ละระยะ ที่แตกต่างกันโดยเมื่อนำด้วงถั่วเขียว (cowpea weevil) ในระยะต่าง ๆ (ไข่ หนอนวัยอ่อน หนอนวัยแก่ ดักแด้ และตัวเต็มวัย) มาผ่านคลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 50-58 องศาเซลเซียส พบว่า ระยะไข่ มีอัตราการรอดชีวิตน้อยกว่าระยะหนอน และระยะดักแด้ ส่วนระยะตัวเต็มวัยมีความทนทานต่อคลื่นความถี่วิทยุน้อยที่สุด (Johnson *et al*., 2009) ในมอดแป้ง *(T. castaneum)* ระยะต่าง ๆ นั้นเมื่อนำมาผ่านคลื่นความถี่วิทยุที่ความถี่ 27.12 MHz พบว่า ที่อุณหภูมิ 48-52 องศาเซลเซียส หนอนวัยแก่มีความทนทานต่อคลื่นความถี่วิทยุมากที่สุดหรือมีความตายน้อยที่สุด รองลงมาคือ ระยะดักแด้ หนอนวัยอ่อน ตัวเต็มวัย และระยะไข่ ตามลำดับโดย และพบว่า ที่อุณหภูมิ 52 องศาเซลเซียส เวลา 1.3 นาที

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

มอดแป้งมีอัตราการตาย 95 เปอร์เซ็นต์ (Johnson *et al*., 2004) นอกจากนี้ พบว่าระยะเวลาที่สัมผัสคลื่นความถี่วิทยุและอุณหภูมิ มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดแมลง ซึ่งในข้าวเปลือกนั้นเมื่อใช้คลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 55–60 องศาเซลเซียส เวลานาน 5 นาทีสามารถควบคุมการเจริญเติบโตของผีเสื้อข้าวเปลือก *(Sitotroga cerealella* (O.)) ได้มากกว่า 99 เปอร์เซ็นต์ (Langunas-solar *et al*., 2007)

เมื่อนำข้าวสารขาวดอกมะลิ 105 ความชื้นเมล็ด 13 เปอร์เซ็นต์ ที่มีผีเสื้อข้าวสาร (*Corcyra cephalonica* (Stainton)) แต่ระยะเจริญเติบโตปะปนอยู่ นำมาผ่านคลื่นความถี่วิทยุ ความถี่ 27.12 MHz อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 3 นาที พบว่าสามารถกำจัด ไข่ หนอน ดักแด้ และ ตัวเต็มวัยของผีเสื้อข้าวสารได้โดยมีอัตราการตาย 98-100 เปอร์เซ็นต์ (ณคณิณ, 2551) การใช้คลื่นความถี่วิทยุกับมอดหัวป้อม (*Rhyzopertha dominica* (Fabricius)) โดยผ่านคลื่นความถี่วิทยุที่ความถี่ 27.12 MHz อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 180 วินาที พบว่าตัวเต็มวัยเป็นระยะที่มีอัตราการตายน้อยที่สุด อัตราการตายของ ระยะ ดักแด้ ไข่ หนอน และ ตัวเต็มวัยคือ 86.56, 92.30, 99.10 และ 38.33 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้นที่ 55-70 องศาเซลเซียส พบว่าที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เวลา 150 วินาทีขึ้นไป ทำให้มอดหัวป้อมมีอัตราการตาย 100 เปอร์เซ็นต์ (กฤษณา, 2552) สอดคล้องกับพัทยาและสุชาดา (2549) พบว่าเมื่อนำมอดข้าวเปลือก มาผ่านคลื่นความถี่วิทยุ ความถี่ 27.12 MHz อุณหภูมิ 70, 75, 80 และ 85 องศาเซลเซียส เวลา 180 วินาที โดยทุกระดับอุณหภูมิ มอดข้าวเปลือกมีอัตราการตาย 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอุณหภูมิที่ทำให้แมลงตายได้อย่างสมบูรณ์ในการกำจัดแมลงคือ 75 องศาเซลเซียส และเมล็ดพันธุ์ยังคงมีชีวิตอยู่ที่ 61 เปอร์เซ็นต์

นอกจากอุณหภูมิที่มีผลต่อการกำจัดแมลง เชื้อรา และความงอกในเมล็ดพันธุ์แล้ว ยังอาจมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมีของเมล็ด ในเมล็ดข้าวโพดนั้น เมื่อนำเมล็ดข้าวโพดมาผ่านคลื่นความถี่วิทยุที่ความถี่ 27.12 MHz อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4-8 นาที ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนรวม และความชื้นเมล็ดข้าวโพด แต่ความชื้นเมล็ดข้าวโพดมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย (กรกิตติ์, 2552) ส่วนในเมล็ดข้าวนั้นพบว่า มีปริมาณ อะมิโลสเพิ่มขึ้น ทำให้ข้าวสารเปลี่ยนแปลงเป็นสีเหลืองเล็กน้อย และทำให้สารหอม 2-acetetyl-1-pyrroline (2AP) ลดลงเล็กน้อย (กฤษณา, 2552) เปอร์เซ็นต์ข้าวขาวและต้นข้าวเพิ่มขึ้น ปริมาณโปรตีนและค่าคงตัวของแป้งสุกลดลง ลักษณะเนื้อสัมผัสข้าวสุก ค่าความแข็งของเมล็ดข้าว การคงสภาพของเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้น แต่ความเหนียวติดกันของเมล็ดข้าวสุกลดลง (ณคณิณ, 2551; พลากร, 2551) ส่วนในอาหารสัตว์เมื่อนำมาผ่านคลื่นความถี่วิทยุที่ความถี่ 27.12 MHz อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที ไม่มีผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงคุณภาพอาหารสัตว์ ได้แก่ ความชื้น เถ้า โปรตีน เยื่อใย และสารที่ปราศจากไนโตรเจน (กรรณิการ์, 2552)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved