บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

คุณภาพข้าว

คุณภาพข้าวขึ้นกับวัตถุประสงค์ของการใช้ประโยชน์ หรือการบริโภค ข้าวส่วนใหญ่มักค้าขาย และบริโภคกันในรูปของเมล็ดข้าวที่หุงต้มทั้งเมล็ด ดังนั้นคุณภาพทางกายภาพจึงเป็นปัจจัยสำคัญ นอกจากนี้ความนิยมในการบริโภคข้าวก็เป็นปัจจัยสำคัญในการตัดสินคุณภาพข้าว ในการค้ามักพิจารณาจากคุณลักษณะทางกายภาพเป็นหลัก เนื่องจากเป็นสิ่งที่ปรากฏเด่นชัด ดังนั้นคุณภาพข้าวแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่ คุณภาพทางกายภาพ คุณภาพการสี คุณภาพในการซื้อขาย คุณภาพทางเคมี (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว, 2554)

คุณภาพทางกายภาพของข้าว

คุณภาพเมล็ดทางกายภาพ หมายถึง คุณสมบัติต่าง ๆ ของเมล็ดที่สามารถมองเห็น หรือชั่ง ตวง วัดได้ เช่น น้ำหนักเมล็ด สีข้าวเปลือก ขนาดรูปร่างเมล็ด ลักษณะท้องไข่ ความขุ่นใสของข้าวสาร ความแกร่งของเมล็ด ความขาวของข้าวสาร และคุณภาพการสี

น้ำหนักเมล็ด (grain weight) น้ำหนักเมล็ดเป็นลักษณะที่ถูกควบคุมโดยพันธุกรรม และจะแปรปรวนไปตามสภาพแวดล้อมน้ำหนักเมล็ดสามารถประเมินได้ 2 รูปแบบ คือ

- น้ำหนักต่อปริมาตร ประเมินเป็น กรัมต่อลิตร หรือ กิโลกรัมต่อถัง
- น้ำหนักต่อจำนวนเมล็ด ประเมินเป็น น้ำหนัก 100 เมล็ด หรือน้ำหนัก 1,000 เมล็ด

สีข้าวเปลือก (hull color) สีข้าวกล้องเป็นลักษณะประจำพันธุ์เช่นเดียวกับสีของเปลือกข้าวที่ควบคุมโดยยีน (gene) หลายคู่สร้างสารสีประเภทแอนโทไซยานิน (anthocyanin) อยู่ในส่วนเยื่อหุ้มผล (pericarp) เปลือกเมล็ดข้าวจะมีผลต่อสีของข้าวสารนึ่ง กล่าวคือ เมล็ดข้าวเปลือกที่มีสีเข้ม ข้าวสารนึ่งก็จะมีสีเข้มด้วย สีข้าวเปลือกที่พบจะมีสีขาว (white) ฟาง (straw) น้ำตาลอ่อนถึงเข้ม (light to dark brown) ร่องน้ำตาล (brown furrow) กระน้ำตาล (brown spot) น้ำตาลแดง (raddish brown) ม่วง (purple) และดำ (black)

สีข้าวกล้อง (pericarp color) สีข้าวกล้องจะแสดงออกที่เยื่อหุ้มเมล็ด (pericarp) สำหรับส่วนที่เป็นแป้ง (endosperm) ของข้าวทุกชนิดจะมีสีขาวเสมอ ข้าวกล้องมีสีต่าง ๆ กัน เช่น ขาว แดง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

น้ำตาลเข้ม และม่วงถึงเกือบดำ สีข้าวกล้องมีผลต่อข้าวสารนึ่งเช่นเดียวกับสีของข้าวเปลือก นอกจากนี้ยังมีผลต่อคุณภาพการสี กล่าวคือ ข้าวกล้องที่มีสีเข้มต้องใช้เวลาในการขัดรำนานหรือใช้แรงกดมาก เพื่อให้ส่วนของรำที่เป็นสีเข้มหลุดออกทำให้เกิดข้าวหักมาก มีปริมาณข้าวเต็มเมล็ด ต้นข้าวน้อย ไม่เป็นที่ต้องการของพ่อค้าโรงสี ดังนั้นสีของข้าวกล้องที่ต้อง การคือข้าวกล้องที่มีสีอ่อน

ขนาดรูปร่างเมล็ด เป็นลักษณะแรกทางด้านคุณภาพเมล็ด ที่นักปรับปรุงพันธุ์ใช้ในการจำแนกพันธุ์ข้าว ขนาดรูปร่างเมล็ด หมายถึง ความยาว ความกว้าง และความหนาของเมล็ด

- ความยาวของเมล็ด หมายถึง ระยะทางจากปลายยอดสุดเมล็ดถึงโคนเมล็ด
- ความกว้างของเมล็ด หมายถึง ระยะทางส่วนที่กว้างที่สุดของเมล็ดระหว่างเปลือกใหญ่ (lemma) ถึงเปลือกเล็ก (palea)
- ความหนาของเมล็ด หมายถึง ระยะทางที่มากที่สุดระหว่างเปลือกด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่ง

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างข้าวกล้อง ข้าวสาร และข้าวเปลือก รูปร่างของเมล็ดข้าวสามารถแบ่งออกเป็น 3 แบบ คือ เรียว ปานกลาง ป้อม ซึ่งผลที่ได้จะบอกถึงคุณภาพประสิทธิภาพของการขัดสีข้าวเปลือกเป็นข้าวกล้อง และข้าวสาร แต่ละชนิด (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2550)

ตาราง 2.1 รูปร่างของเมล็ด เมื่อเปรียบเทียบระหว่างข้าวกล้อง ข้าวสาร และข้าวเปลือก (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2550)

รูปร่าง	ข้าวเปลือก	ข้าวกล้อง	ข้าวสาร
เรียว	>3.4	>3.1	>3.0
ปานกลาง	2.3 – 3.3	2.1 – 3.0	2.0 – 2.9
ป้อม	<2.2	<2.0	<1.9

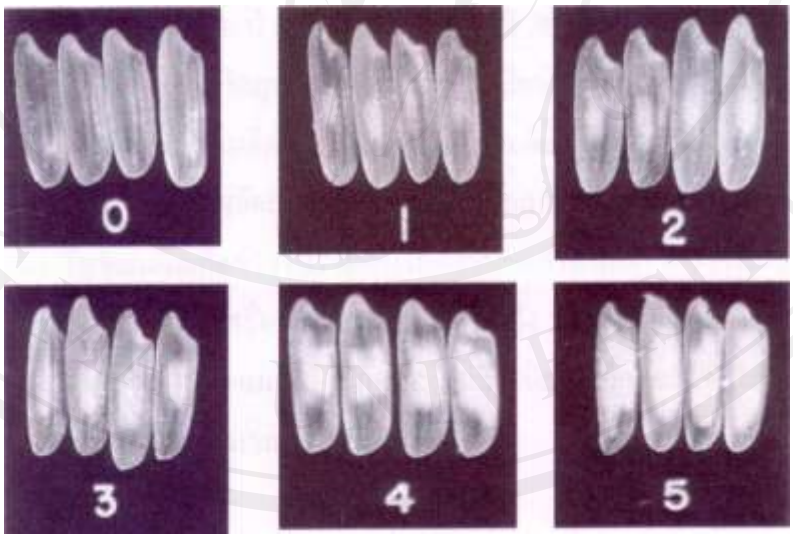
มาตรฐานข้าวไทยไม่มีการกำหนดรูปร่างเมล็ด เนื่องจากข้าวส่วนใหญ่มีเมล็ดยาวเรียวและยึดถือข้าวที่มีความยาวเกิน 7.0 มิลลิเมตร เป็นข้าวคุณภาพดี และข้าวไทยเป็นข้าวประเภทอินดิก้า จึงทำให้เข้าใจกันโดยทั่วไปว่าข้าวชนิดอินดิก้ามีเมล็ดยาวเรียว แต่โดยความเป็นจริงมีข้าวไทยพันธุ์พื้นเมืองบางพันธุ์มีเมล็ดป้อมเช่นกัน

ลักษณะท้องไข่ (chalkiness) ลักษณะท้องไข่ในเมล็ดข้าว เกิดจากการจับตัวกันอย่างหลวมๆ ของเม็ดแป้ง (starch granule) กับโปรตีน (protein body) ในส่วนที่เป็นแป้งของเมล็ด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(endosperm) มีลักษณะขุ่นขาว ข้าวท้องไข่มีชื่อเรียกต่าง ๆ กัน เช่น ข้าวท้องปลาซิว ข้าวทองขาว หรือข้าวจ๊อกกี๊ เป็นต้น ลักษณะท้องไข่ในเมล็ดข้าวมี 3 ชนิด คือ

- white center หมายถึง ท้องไข่ที่เกิดขึ้นตรงกลางของส่วนที่เป็นแป้งในเมล็ด (endosperm)
- white belly หมายถึง ท้องไข่ที่เกิดขึ้นทางด้านข้างหรือด้านท้องของเมล็ดด้านเดียวคัพภะ (embryo)
- white back หมายถึง ท้องไข่ที่เกิดทางด้านหลังของเมล็ด ด้านตรงข้ามกับคัพภะ ข้าวไทยส่วนใหญ่เป็นท้องไข่น้อย ยกเว้นข้าวขึ้นน้ำ และมักเป็นชนิด white belly ส่วน white center และ white back มีน้อยหรือเกือบไม่มีเลยลักษณะท้องไข่ในเมล็ดข้าวไม่มีผลโดยตรงต่อคุณภาพการหุงต้มและรับประทาน แต่เป็นลักษณะที่ไม่ต้องการในวงการค้าข้าว เพราะเป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดคุณภาพและราคาข้าวเนื่องจากข้าวที่เป็นท้องไข่มาก เมื่อนำไปสีจะมีข้าวหัก ได้ข้าวเต็มเมล็ดต้นข้าวน้อย นอกจากนี้ข้าวที่เป็นท้องไข่มากยังไม่สามารถทำเป็นข้าวมาตรฐานสูง ๆ เช่น ข้าว 100 เปอร์เซ็นต์ หรือ 5 เปอร์เซ็นต์ ได้เนื่องจากมีข้อกำหนดว่าข้าวมาตรฐานสูง ๆ นั้นยอมให้มีข้าวท้องไข่ปนได้ไม่เกินร้อยละ 3.0 หรือ 6.0 เป็นต้น (กัญญา, 2547)



ภาพ 2.1 ลักษณะท้องไข่ในเมล็ดข้าว (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2550)

ความขาวของข้าวสาร (milled rice whiteness) ข้าวที่ผ่านการขัดสีจนเป็นข้าวสารแล้วจะมีสีขาวเสมอ เพราะเหลือเฉพาะส่วนที่เป็นแป้งของเมล็ด ความขาวของข้าวสารจะแตกต่างกัน ขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ระดับการสี องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดข้าว ระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวเปลือก เป็นต้น ความขาวของข้าวสารซึ่งจำแนกโดยระดับการสีจะเป็นตัวกำหนดชั้นของข้าว เช่น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ข้าว 100 เปอร์เซ็นต์ จะต้องมีระดับการสีเป็นสีดีพิเศษ ซึ่งหมายถึง การสีเอาสิ่งต่าง ๆ ออกหมดไม่มีรำอยู่เลย จนข้าวมีลักษณะใสงามเป็นพิเศษ หรือข้าว 45 เปอร์เซ็นต์ มีชั้นของการสีเป็นสีธรรมดา หมายถึง การสีที่ไม่เต็มที่ สีขาวปานกลาง ส่วนสีข้าวนึ่ง ซึ่งมีตั้งแต่น้ำตาลอ่อนถึงเข้มนั้น เกิดจากกรรมวิธีและวัตถุดิบที่ใช้

ความใสขุ่นของข้าวสาร (grain translucency) ความใสขุ่นของข้าวสารเป็นคนละลักษณะกับท้องไข่ หมายถึง ความทึบแสงหรือความใสของเนื้อข้าวสารทั้งเมล็ด สามารถสังเกตเห็นความแตกต่างได้ในข้าวเจ้า ปัจจุบันยังไม่พบสาเหตุของความใสขุ่นของข้าวสาร แต่คาดว่าเนื่องจากทั้งพันธุ์ข้าวและสภาพพื้นที่ปลูก เช่น ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือจะมีเมล็ดใสกว่าข้าวที่ปลูกในภาคกลาง (กัญญา, 2547)

คุณภาพการสีและคุณภาพในการซื้อขายข้าว

กัญญา (2547) กล่าวว่า คุณภาพการสีของข้าวประเมินได้จากปริมาณข้าวเต็มเมล็ด (whole grain) และต้นข้าว (head rice) ข้าวที่มีคุณภาพการสีดี เป็นข้าวที่เมื่อผ่านกระบวนการขัดสีแล้วได้ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวสูง มีปริมาณข้าวหัก (broken rice) น้อย สิ่งที่ได้จากขั้นตอนการสีประกอบด้วย ส่วนที่ 1 แกลบ (hull หรือ husk) เป็นส่วนผสมของเปลือกเมล็ด กลีบเลี้ยง หาง และขั้วเมล็ด เป็นผลพลอยได้จากการสีข้าวมีประมาณ 20-24 เปอร์เซ็นต์ ของข้าวเปลือก ส่วนที่ 2 รำ (bran) เป็นส่วนผสมของเยื่อหุ้มผล (pericarp) เยื่อหุ้มเมล็ด (tegmen) คัพภะ (embryo) และผิวนอกของข้าวสาร รำมีประมาณ 8-10 เปอร์เซ็นต์ ของข้าวเปลือก และส่วนสุดท้าย ข้าวสาร (milled rice) ข้าวสารมีประมาณ 68-70 เปอร์เซ็นต์ ข้าวสารที่ได้จากการขัดขาวจะนำไปแยกเป็นข้าวเต็มเมล็ด ต้นข้าว และข้าวหัก ปริมาณข้าวเต็มเมล็ด และต้นข้าวมีผลต่อราคาซื้อขายข้าว เพราะสิ่งที่กำหนดราคาซื้อขายข้าวขึ้นอยู่กับปัจจัยต่อไปนี้ 1. ความชื้น ความชื้นมีบทบาทสำคัญในการซื้อขายข้าว ข้าวที่เก็บเกี่ยวในระยะที่เหมาะสม และลดความชื้นอย่างเหมาะสม เหลือ 13-15 เปอร์เซ็นต์ จะมีราคาสูงกว่าข้าวที่มีความชื้นสูง เนื่องจากข้าวแห้งที่มีความชื้นเหมาะสม สามารถทำการสีได้ โดยไม่ต้องนำมาลดความชื้นอีก แต่หากรับซื้อข้าวที่มีความชื้นสูง ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการลดความชื้น และสูญเสียน้ำหนักข้าวหลังการลดความชื้น ดังนั้น ข้าวที่มีความชื้นเกินกำหนดจึงถูกตัดราคา 2. ลักษณะทางกายภาพของข้าว โดยการกะเทาะ และขัดสีเพื่อประเมินสีข้าวกล้อง ท้องไข่ ความใสขุ่นของเมล็ด และสิ่งเจือปนอื่น ๆ เช่น ข้าวแดง ข้าวเหลือง ข้าวเสีย หรือข้าวชนิดอื่นปน 3. คุณภาพการสี เพื่อประเมินผลของการแปรสภาพจากข้าวเปลือกเป็นข้าวสาร ปริมาณข้าวรวม ข้าวเต็มเมล็ด ต้นข้าว ข้าวหักขนาดต่าง ๆ และปลายข้าว 4. ประเภทของข้าว ข้าวคุณภาพดี ตามความต้องการของตลาดและเป็นที่นิยมของผู้ บริโภค คุณภาพข้าวจะมีการแบ่งชั้นลงไปอีก เช่น ข้าวคุณภาพดี 100

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เปอร์เซ็นต์ ข้าว 5 เปอร์เซ็นต์ 10 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ IRRI (1991) รายงานว่าเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวมีส่วนสำคัญในการกำหนดราคา เนื่องจากผู้บริโภคส่วนใหญ่นิยมบริโภคข้าวที่เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวสูงกว่าข้าวที่มีเปอร์เซ็นต์ข้าวต้นต่ำ ทำให้ขาวที่มีเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวสูงมีราคาสูงกว่า

คุณภาพทางเคมีของข้าว

คาร์โบไฮเดรต (carbohydrate) คาร์โบไฮเดรต แบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม คือ แป้ง (starch) เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) เซลลูโลส (cellulose) และน้ำตาล (sugar) แต่คาร์โบไฮเดรตที่สำคัญในข้าวส่วนใหญ่ คือ แป้งซึ่งประกอบด้วยอะไมโลส และอะไมโลแพคติน (อรอนงค์, 2532)

ตาราง 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวที่ความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์ (ต่อ 100 กรัม) (Juliano, 1985)

ผลผลิต	โปรตีน (กรัม)	ไขมัน (กรัม)	เส้นใย (กรัม)	เถ้า (กรัม)	พลังงาน (กรัม)	คาร์โบไฮเดรต (กรัม)
ข้าวเปลือก	5.8-7.7	1.5-2.3	7.2-10.4	2.9-5.2	378	64-73
ข้าวกล้อง	7.1-8.3	1.6-2.8	0.6-1.0	1.0-1.5	363-385	73-87
ข้าวขาว	6.3-7.1	0.3-0.5	0.2-0.5	0.3-0.8	349-373	77-89
รำข้าว	11.3-14.9	15.0-19.7	7.0-11.4	6.6-9.9	399-476	34-62
เปลือกข้าว	2.0-2.8	0.3-0.8	34.5-45.9	13.2-21.0	265-332	22-34

อะไมโลแพคติน (Amylopectin) เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดจากการรวมตัวของโมเลกุลของกลูโคส (glucose) จำนวนมาก และมีโครงสร้างเชื่อมต่อกันแบบแยกเป็นกิ่งก้านสาขา (branched chain) อะไมโลแพคตินเมื่อย้อมสีด้วยสารละลายไอโอดีนจะเป็นสีน้ำตาลแดง (Red brown) เมื่อทำให้สุก (gelatinized) ในน้ำเดือดจะค่อนข้างคงสภาพเดิมได้นาน และเป็นส่วนที่ทำให้ข้าวสุกเหนียวติดกัน

อะไมโลส (Amylose) เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดจากการรวมตัวของกลูโคสจำนวนมากเช่นกัน แต่มีโครงสร้างต่อกันเป็นแนวยาว (linear chain) เมื่อย้อมสีด้วยสารละลายไอโอดีนจะมีสีน้ำเงิน เมื่อทำให้สุกในน้ำเดือดและทำให้เย็นจะเกิดการคืนตัวเป็นของแข็ง (retrogradation) ขึ้นทำให้ความสามารถในการละลายน้ำลดลง และมีผลให้ข้าวสุกร่วนและแข็งกระด้างมากขึ้น (งามชื่น, 2547) โดยทั่วไปมักนิยมแบ่งประเภทข้าวโดยถืออะไมโลสเป็นหลัก ในแป้งข้าวเจ้าจะมีอะไมโลส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปนอยู่ประมาณ 10-34 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณอะไมโลสเป็นสาเหตุทำให้ข้าวสุกมีความเหนียวลดลงหรือร่วนมากขึ้น และทำให้ข้าวนุ่มน้อยลงด้วย ทั้งนี้เนื่องจากคุณสมบัติการคืนตัวของอะไมโลสที่สุกแล้ว มีการจัดแบ่งประเภทข้าวตามปริมาณอะไมโลสได้ ดังนี้

ตาราง 2.3 การแบ่งประเภทข้าวตามปริมาณอะไมโลส (งามชื่น, 2545)

ประเภทข้าว	ปริมาณอะไมโลส (%)	ลักษณะข้าวสุก
ข้าวเหนียว	0 – 2	เหนียวมาก
ข้าวเจ้าอะไมโลสต่ำ	10 – 19	เหนียวนุ่ม
ข้าวเจ้าอะไมโลสปานกลาง	20 – 25	ค่อนข้างร่วนไม่แข็ง
ข้าวเจ้าอะไมโลสสูง	26 – 34	ร่วนแข็ง

ข้าวที่มีอะไมโลสสูงจะดูดน้ำได้มากในระหว่างการหุงต้ม ข้าวอะไมโลสต่ำต้องการน้ำน้อย หากใส่น้ำมากเกินไปจะได้ข้าวสุกแฉะ แต่สำหรับข้าวที่มีอะไมโลสสูงหากใส่น้ำขนาดเดียวกับข้าวอะไมโลสต่ำ จะได้ข้าวที่แข็งกระด้างมาก เนื่องจากการหุงต้มข้าวอะไมโลสสูงต้องการน้ำมาก และเมื่อสุกแล้วจะได้ข้าวร่วนฟูไม่เหนียวติดกัน จึงทำให้ข้าวสุกขยายปริมาตรมากหรือข้าวขึ้นหม้อดี ในขณะที่ข้าวอะไมโลสต่ำเป็นข้าวที่เหนียวเกาะติดกันเป็นก้อนจึงไม่ขึ้นหม้อ

กลิ่นหอม (aroma) ข้าวทั่วไปอาจมีสารระเหยหลายชนิด ในการวิเคราะห์ไอที่ได้จากการหุงข้าว Koshihikari ของญี่ปุ่น พบว่ามีสารอยู่กว่าร้อยชนิด ซึ่งประกอบด้วยสาร hydrocarbon 13 ชนิด alcohol 13 ชนิด aldehyde 16 ชนิด ketone 14 ชนิด กรด 14 ชนิด ester 8 ชนิด phenol 5 ชนิด pyridine 3 ชนิด และ pyrazine 6 ชนิด ซึ่งสารแต่ละชนิดจะมีกลิ่นแตกต่างกัน เช่น สาร 2 - acetylthiazole และ benzothiasole มีกลิ่นรำ สำหรับข้าวหอมมีสาร 2 - acetyl - 1 - pyrroline มากกว่าข้าวทั่วไป สาร 2 - acetyl - 1 - pyrroline ในข้าวสารหอมหนึ่งกรัมอาจมีสารนี้ ประมาณ 0.04 ไมโครกรัม สารหอมชนิดนี้ยังพบมีปริมาณสูงมากในพืชตระกูลใบเตย (*Pandonus amaryllifolius* Roxb., fragrant screw pine) ซึ่งมีอยู่ปริมาณสูงถึง 1 ไมโครกรัม/กรัม งามชื่น (2547) เนื่องจากความหอมในเมล็ดข้าวเกิดจากสารที่สามารถระเหยได้ ดังนั้นความหอมของข้าวจะลดลงเรื่อย ๆ นับตั้งแต่ถูกเก็บเกี่ยวมา ยกเว้นว่ามีวิธีการจัดเก็บที่ดี (อรอนงค์, 2547)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปริมาณโปรตีน (protein content) โดยทั่วไปเอนโดสเปิร์มของข้าวมีโปรตีนประมาณร้อยละ 4-14 มากเป็นอันดับสอง รองจากแป้ง ข้าวโปรตีนสูงยังทำให้เมล็ดแกร่งขึ้นทำให้ขัดสีออกได้ยาก จึงอาจมีระดับการสีต่ำกว่า (มีรำเหลืออยู่มาก) และทำให้ข้าวสุกนั้นเหนียวน้อยลงและมีสีคล้ำหากทำการสีข้าวให้มีระดับการสีมากขึ้นแล้ว ข้าวโปรตีนสูงอาจมีสีไม่คล้ำกว่าข้าวโปรตีนต่ำ (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2550)

ไขมัน (lipid) ไขมันพบในส่วนรำมากที่สุด คือประมาณ ร้อยละ 2 ของน้ำหนักแห้ง ส่วนของข้าวสารพบประมาณร้อยละ 1.5-1.7 ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูป non-starch lipids กรดไขมันหลักได้แก่ linoleic และ palmitic acid (Juliano *et al.,* 1981)

ผีเสื้อข้าวเปลือก

ผีเสื้อข้าวเปลือก (Angoumois grain moth) มีชื่อวิทยาศาสตร์ คือ *Sitotroga cerealella* (Olivier) อยู่ในวงศ์ Gelechiidae อันดับ Lepidoptera ผีเสื้อข้าวเปลือกเป็นแมลงศัตรูข้าวเปลือกที่สำคัญที่สุด มีความสามารถในการทำลายเมล็ดสูงและทำลายเมล็ดสมบูรณ์ได้

รูปร่างลักษณะ ชีวประวัติ และอุปนิสัย

ตัวเต็มวัย เป็นผีเสื้อกลางคืนขนาดเล็ก สีฟางข้าว สีเหลืองอ่อน หรือสีทอง ความกว้างปีก 10-15 มิลลิเมตร ส่วนหัวถึงส่วนท้องยาว 4-5 มิลลิเมตร มีปีก 2 คู่ ปีกคู่หน้าคล้ายรูปสี่เหลี่ยมคางหมูสีทองหรือสีครีมและอาจมีจุดสีดำข้างละ 1 จุดตรงกลางปีก ปลายปีกกระดกเล็กน้อย ปีกคู่หลังสีเทามีลักษณะแคบและมีขนยาว ที่ปลายปีกจะเรียวแหลมคล้ายนิ้วมือ ซึ่งลักษณะนี้จะแยกผีเสื้อข้าวเปลือกออกจากผีเสื้อชนิดอื่นในวงศ์เดียวกัน ส่วนหัวของแมลงประกอบด้วยปาก ตา และหนวด ตาของผีเสื้อข้าวเปลือกมีสีดำ labial pulp ยาวลักษณะงอโค้งเป็นรูปเคียวมีสีครีม แต่ตรงปลายมักมีสีดำ หนวดมีลักษณะเหมือนใบสน เมื่อผีเสื้อเกาะอยู่กับที่จะไม่กางปีกออกแต่ปีกจะหุบและหนวดพาดไปด้านหลัง ผีเสื้อข้าวเปลือกตัวผู้และตัวเมียแตกต่างกันเล็กน้อย ในด้านขนาด สีของลำตัว และปีก ผีเสื้อข้าวเปลือกตัวผู้มีขนาดเล็กกว่าตัวเมียเล็กน้อย มีสีคล้ำกว่า และว่องไวกว่าตัวเมียมาก ผีเสื้อตัวเมียสามารถวางไข่ได้โดยไม่ต้องผสมพันธุ์ แต่ไข่จะไม่ฟักเป็นตัว (กุสุมาและคณะ, 2548) จำนวนไข่ที่วางขึ้นอยู่กับชนิดอาหาร ฤดูกาล หรืออุณหภูมิ หลังจากตัวเต็มวัยออกมาผ่านทางรูที่เจาะไว้จากเมล็ดแล้ว ตัวเต็มวัยเพศเมียจะเคลื่อนย้ายขึ้นไปอยู่บนเมล็ดและปล่อยฟีโรโมน เพื่อดึงดูดให้ตัวผู้เข้ามาผสมพันธุ์ (Linda, 2009) ผีเสื้อข้าวเปลือกอาจจับคู่ผสมพันธุ์หลังเป็นตัวเต็มวัยทันที หรืออาจผสมพันธุ์หลังจากนี้หลายวัน หากผสมพันธุ์หลัง 1 วันของการเป็นตัวเต็มวัย การวางไข่จะมีมากกว่าผีเสื้อที่ผสมพันธุ์หลังเป็นตัวเต็มวัยหลายวัน ตัวเมียจะวางไข่หลังจากผสมพันธุ์แล้วภายใน 24 ชั่วโมง หรือหลังการผสมพันธุ์ 48 ชั่วโมง โดยพบว่าวางไข่หลัง 24 ชั่วโมง 60 เปอร์เซ็นต์ และ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

วางไข่หลัง 48 ชั่วโมง 40 เปอร์เซ็นต์ ผีเสื้อข้าวเปลือกจะวางไข่บนเมล็ดข้าวเปลือก หรือแทรกตัวลงไปวางไข่ตามซอกของกองเมล็ดข้าวเปลือก และบนกระสอบข้าวเปลือก การวางไข่มักวางเป็นกลุ่ม บางกลุ่มอาจมากถึง 28 ฟอง เมื่อวางไข่แล้วผีเสื้อจะปล่อยสารเหนียวให้ไข่ยึดติดกัน และติดกับวัสดุที่มันวาง ไข่ เมื่อวางไข่แล้วจะตาย ตัวเต็มวัยมีชีวิตอยู่ 2-17 วัน แต่ส่วนใหญ่แล้วจะตายภายใน 5-7 วัน และตัวเต็มวัยจะไม่กินอาหาร อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์มีความสำคัญต่อการวางไข่ของผีเสื้อข้าว เปลือก อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 25-30 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 80 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิสูงหรือต่ำกว่านี้แมลงจะวางไข่ได้น้อยกว่า

ไข่ ของผีเสื้อข้าวเปลือกมีลักษณะเรียวยาว เป็นริ้ว และแวววาว ปลายข้างหนึ่งตัดปลายข้างหนึ่งเรียวมน ไข่แต่ละฟองมีขนาดเล็กมาก 0.65 ± 0.04 x 0.26 ± 0.02 มิลลิเมตร ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า แต่ถ้าหากเป็นกลุ่มใหญ่อาจมองเห็นได้ ไข่ใหม่มีสีขาวสะอาดและจะค่อย ๆ กลายเป็นสีชมพูอ่อนอมส้มในระยะต่อมาและแดงอมส้มเมื่อใกล้จะฟักเป็นตัวหนอน ระยะไข่ปกติ 4-6 วัน ส่วนใหญ่จะฟักเป็นหนอนในระยะ 5 วัน

หนอน หนอนวัยแรกเมื่อออกจากไข่มีสีชมพูอ่อนอมส้ม ยาว 1 มิลลิเมตร หัวมีสีเหลืองอ่อน มีขาจริง 3 คู่ ที่ส่วนอกและขาเทียม (proleg) อีก 5 คู่ซึ่งมองไม่เห็นชัดเจนที่ส่วนท้อง ที่ขาเทียมจะมีตะ ขอ (crochet) จาง ๆ ไม่เกิน 2 อัน ซึ่งเป็นลักษณะที่ใช้จำแนกหนอนผีเสื้อข้าวเปลือกจากหนอนชนิดอื่น หนอนเมื่อฟักออกจากไข่จะว่องไวมาก จะไต่ไปตามเมล็ดข้าวเปลือกและเจาะเข้าไปในเมล็ดข้าวเปลือก อาศัยกัดกินอยู่ภายในจนกระทั่งโตเต็มที่ หนอนโตเต็มที่จะมีสีขาวขุ่น อ้วน ขนาดยาว 5-6 มิลลิเมตร หนอนจะลอกคราบ 4-5 ครั้ง ถึงจะเข้าดักแด้ ก่อนจะเข้าดักแด้หนอนจะกัดเปลือกของข้าวเปลือกเป็นรูปวงกลม จนเหลือแต่เยื่อบาง ๆ จึงเข้าดักแด้ ระยะหนอนใช้เวลา 26 วัน ภายใต้สภาพยุ้งฉาง ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 80 เปอร์เซ็นต์ ระยะหนอนใช้เวลาเพียง 19 วัน หนอนจะใช้ชีวิตจนเป็นตัวเต็มวัยในเมล็ดเพียงเมล็ดเดียว หนอนผีเสื้อข้าวเปลือกวัย 1 จะตายง่ายมากหากถูกกระทบ กระเทือนเกินไปหรือถูกความร้อน

ดักแด้ มีสีน้ำตาล เมื่อเริ่มเป็นดักแด้ ตาจะมีสีเดียวกับลำตัวโดยมีสีค่อนข้างแดง แต่เมื่ออายุของดักแด้เพิ่มขึ้น ตาจะเปลี่ยนเป็นสีดำ ระยะดักแด้จะยาวหรือสั้นขึ้นอยู่กับความชื้นสัมพัทธ์ การเจริญเติบโตจากหนอนจนถึงตัวเต็มวัยใช้เวลานานที่สุด ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90 เปอร์เซ็นต์ ใช้เวลานานถึง 38.9 ± 1.7 วัน และที่อุณหภูมิเดียวกันความชื้นสัมพัทธ์ 70 เปอร์เซ็นต์ ใช้เวลาเพียง 23-24 วัน (กุสุมาและคณะ, 2548)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

การแพร่ระบาดและฤดูระบาด

ผีเสื้อข้าวเปลือกได้แพร่ระบาดในทุกแห่งที่มีการปลูกข้าวและเก็บข้าวเปลือกไว้ ผีเสื้อข้าวเปลือกเป็นแมลงที่พบในนาข้าวก่อนเก็บเกี่ยวประมาณ 15 วัน และสามารถวางไข่ในนาข้าวได้ ผีเสื้อข้าวเปลือกจะเริ่มระบาดตั้งแต่ต้นฤดูกาลเก็บเกี่ยวข้าว ประมาณปลายเดือนพฤศจิกายน โดยมีประชากรน้อยมากในระยะแรก หลังการเก็บเกี่ยวประมาณ 1 เดือน จะพบแมลงเพียงเล็กน้อยและจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่ง มีจำนวนประชากรแมลงสูงสุดระหว่าง มีนาคม เมษายน และประชากรผีเสื้อข้าวเปลือกจะลดลงเรื่อย ๆ

พืชอาหาร นอกจากข้าวเปลือกแล้วผีเสื้อข้าวเปลือกสามารถแพร่ขยายพันธุ์ได้ในพืชหลายชนิด เช่น ข้าวสาลี ข้าวบาร์เลย์ ข้าวโพด เป็นต้น

ศัตรูธรรมชาติ ผีเสื้อข้าวเปลือกมีศัตรูธรรมชาติหลายชนิดซึ่งทำลายผีเสื้อข้าวเปลือกในระยะต่าง ๆ มีแตนเบียน 2 ชนิด ซึ่งเป็นแตนเบียนของหนอนผีเสื้อข้าวเปลือก คือ *Habrocytus cerealellae* Ashmead (Hymenoptera: Pteromalidae) และ *Bracon hebetor* Say (Hymenoptera: Braconidae) และมี *Trichogramma* spp. (Hymenoptera: Trichogrammatidae) เป็นแตนเบียนของไข่ผีเสื้อข้าวเปลือก นอกจากนี้ยังมีไรกินไข่ผีเสื้อคือ *Blattisocius tarsalis* (Berlese) (กุสุมาและคณะ, 2540)

ความเสียหายจากการเข้าทำลายของผีเสื้อข้าวเปลือก

ความชื้นในเมล็ดข้าวเปลือกมีความสำคัญต่อการทำลายของแมลง เมื่อความชื้นในเมล็ดสูงการทำลายของผีเสื้อข้าวเปลือกจะเพิ่มขึ้น เมื่อความชื้นต่ำการทำลายจะลดลงมาก Shajahan (1975) ผีเสื้อข้าวเปลือกเป็นแมลงที่ทนต่อสภาพอากาศเย็นได้ดี แต่ทนต่อสภาพอากาศร้อนได้น้อย และที่อุณหภูมิสูงหนอนจะพักตัวอยู่ในเมล็ดจนกว่าอุณหภูมิจะต่ำ อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดสำหรับผีเสื้อข้าวเปลือก คือ 16 องศาเซลเซียส และ 35 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 26-30 องศาเซลเซียส ผีเสื้อข้าวเปลือกเป็นแมลงที่แพร่ระบาดได้รวดเร็ว อาจคาดคะเนจำนวนเมล็ดเสียหายได้จากจำนวนแมลงที่พบ หากพบแมลง 1 ตัวแสดงว่ามีเมล็ดข้าวเปลือกเสียหายเนื่องจากแมลง 1 เมล็ด หากพบแมลงมากเท่าใดความเสียหายโดยเมล็ดก็เพิ่มขึ้นเท่านั้น การทำลายของผีเสื้อข้าวเปลือกจะมากขึ้นเป็นลำดับถ้าสภาพแวดล้อมในยุ้งฉางเหมาะกับการแพร่ระบาด (Dobie *et al*., 1985) ในประเทศบังคลาเทศได้มีการศึกษาความเสียหายเนื่องจากแมลงศัตรูข้าวเพียงอย่างเดียวคือผีเสื้อข้าวเปลือก พบว่ามีความสูญเสียสูงถึง 8.1 เปอร์เซ็นต์ (Shajahan, 1974)

การเข้าทำลายของผีเสื้อข้าวเปลือกเกิดขึ้นโดยการวางไข่ที่เมล็ดข้าวเปลือกตั้งแต่อยู่ในนาแล้วติดตามมาทำลายในยุ้งฉางและโรงสี การทำลายจะสูงเมื่อทำการเก็บเกี่ยวข้าวช้ากว่าปกติ ตัว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อ่อนจะอาศัยกัดกินภายในเมล็ดจนเหลือแต่เปลือก การทำลายของผีเสื้อข้าวเปลือกมักพบเฉพาะส่วน บนของกองข้าวเท่านั้น (ชูวิทย์และคณะ, 2543) เนื่องจากแมลงมีปีกและลำตัวที่บอบบางไม่สามารถแทรกตัวลงไปได้ลึกในกองข้าวเปลือก Shajahan (1974) พบว่าการทำลายข้าวเปลือกของผีเสื้อข้าวเปลือกในระดับความลึกต่าง ๆ จากผิวกอง คือ 2.5, 10.1, 15.2, 22.8 และ 30.4 เซนติเมตร จำนวนเมล็ดที่สุ่ม 4,120, 3,908, 3,500, 4,000 และ 4,200 ตามลำดับ มีจำนวนเมล็ดถูกทำลาย 531, 400, 280, 71 และ 0 เมล็ด ตามลำดับ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การทำลายเท่ากับ 12.6, 10.2, 8.0, 1.7 และ 0.0 เปอร์เซ็นต์ กุสุมาและคณะ (2548) พบว่าในยุ้งฉางที่มีการแพร่ระบาดของผีเสื้อข้าวเปลือกมากจะมีฝุ่นผงเกิดขึ้นมากเนื่องจากการตายทับถมกันของแมลง Canadian Grain Commission (2009) รายงานว่า ในโรงเก็บที่มีผีเสื้อข้าวเปลือกระบาดอยู่ อาจทำให้เกิดความร้อนและความชื้นเพิ่มขึ้น เป็นการกระตุ้นให้เชื้อราเจริญเติบโตและสร้างสภาพแวดล้อมที่เอื้ออำนวยต่อการระบาดของแมลงอื่น ๆ ได้ ซึ่งสอดคล้องกับ Imura and Sinha (1984) ได้ศึกษาผลการทำลายของผีเสื้อข้าวเปลือกและด้วงงวงข้าว ต่อการเสื่อมสภาพของข้าวสาลีที่บรรจุในถุง ซึ่งก่อให้เกิดความสูญเสียในเชิงปริมาณและคุณภาพ เนื่องจากการถูกรบกวนจากแมลงทั้งสองชนิด โดยได้ทำการศึกษาที่ระดับอุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 60 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 22 สัปดาห์ ความชื้นของข้าวสาลี 11.5 เปอร์เซ็นต์ บรรจุในถุงน้ำหนัก 44 กิโลกรัม ประกอบด้วย 4 กรรมวิธี คือ ข้าวสาลีที่ไม่มีแมลงผสมอยู่ ข้าวสาลีที่มีด้วงงวงข้าวผสมอยู่ ข้าวสาลีที่มีผีเสื้อข้าวเปลือกผสมอยู่ และข้าวสาลีที่มีแมลงทั้งสองชนิดผสมอยู่ ผลการทดลองพบว่า ในถุงที่บรรจุข้าวสาลีที่มีจำนวนแมลงผีเสื้อข้าวเปลือกเพียงอย่างเดียว มีจำนวนผีเสื้อข้าวเปลือกเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึง 15 สัปดาห์ และจำนวนแมลงทั้งสองชนิดค่อย ๆ ลดลง ในข้าวสาลีที่มีแมลงทั้งสองชนิดผสมอยู่ทำให้มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ ความชื้น การติดเชื้อแบคทีเรีย น้ำหนักฝุ่นและค่า fat acidity value (FAV) เพิ่มขึ้น ส่วนเปอร์เซ็นต์การงอกและน้ำหนัก 100 เมล็ดลดลง ระดับการติดเชื้อของเชื้อราจากกลุ่ม *Aspergillus glaucus* ในข้าวสาลีเพิ่มขึ้นในช่วง 10-15 สัปดาห์ และลดลงหลังจากที่เมล็ดเสื่อมสภาพอย่างรุนแรง

แมลงและศัตรูข้าวในโรงเก็บเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำความเสียหายให้กับข้าวที่เก็บรักษา ทำให้สูญเสียน้ำหนักและความมีชีวิตของเมล็ดพันธุ์ ตลอดจนความน่าเชื่อถือทางด้านคุณภาพของผู้ผลิต เนื่องจากวงจรชีวิตของแมลงศัตรูในโรงเก็บค่อนข้างสั้น ประมาณ 30-45 วัน ทำให้แมลงสามารถเพิ่มจำนวน และสร้างความเสียหายให้แก่เมล็ดพันธุ์ข้าวได้มากกว่าการทำลายของหนู และนก นอกจากนี้เมล็ดที่ถูกทำลายจะทำให้ลูกค้าขาดความเชื่อมั่นในคุณภาพ และคิดว่าเป็นสินค้าเสื่อมคุณภาพ แม้ว่าคุณภาพของเมล็ดจะอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานก็ตาม (วิไล, 2548)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การป้องกันกำจัดผีเสื้อข้าวเปลือก

หลักการโดยทั่วไปในการป้องกันและกำจัดมี 2 วิธี คือ การป้องกันกำจัดโดยไม่ใช้สารเคมี และการป้องกันกำจัดโดยใช้สารเคมี

1. การป้องกันและกำจัดโดยไม่ใช้สารเคมี

บุษรา (2547) รายงานว่าการป้องกันและกำจัดแมลงโดยไม่ใช้สารเคมี คือ การหลีกเลี่ยงการใช้สารฆ่าแมลง เพื่อลดปัญหาอันตรายจากการทำลายสภาพแวดล้อม รวมทั้งปัญหาสารพิษตกค้างของสารฆ่าแมลง ได้แก่ การรักษาความสะอาดและการจัดการโรงเก็บ การลดความชื้นในเมล็ด การควบคุมโดยใช้อุณหภูมิความร้อน การเก็บเมล็ดพืชที่อุณหภูมิต่ำ และการเก็บรักษาในสภาพสุญญากาศ หรือภาชนะที่ปิดมิดชิด เป็นต้น

การควบคุมแมลงโดยใช้อุณหภูมิความร้อนเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่มีประสิทธิภาพ Hulasare (2010) รายงานว่าข้อดีของการให้ความร้อนในการกำจัดแมลง คือ สามารถฆ่าแมลงได้ทุกระยะ ตั้งแต่ระยะไข่จนถึงระยะดักแด้ แตกต่างจากการใช้สารเคมีซึ่งอาจจำเป็นต้องใช้ในปริมาณที่สูงขึ้นเพื่อฆ่าไข่แมลง นอกจากนั้นการให้ความร้อนยังไม่มีสารพิษ ไม่กัดกร่อน และไม่มีสารตกค้าง และในห้องหรือสถานที่ที่ต้องการให้ความร้อนสามารถให้ความร้อนได้ทั่วถึง ในขณะที่พื้นที่อื่น ๆ ใกล้เคียงยังคงปฏิบัติงานได้เป็นปกติ ส่วนกรณีข้อจำกัดของการให้ความร้อนในการควบคุมแมลง คือ ความร้อนอาจทำให้คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์เปลี่ยน และอาจทำให้เกิดความเสียหายกับวัสดุบรรจุภัณฑ์ เช่น พลาสติก Houston *et al.* (1957) รายงานว่าผลกระทบของการใช้วิธีการต่าง ๆ ในการกำจัดแมลงศัตรูผลิตผลเกษตร ที่มีต่อคุณภาพสินค้าหรือผลิตผลเกษตร เป็นสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงโดยเฉพาะการยอมรับของผู้บริโภค ในปัจจุบันการเข้าทำลายของแมลงไม่ใช่มีเพียงปัญหาที่เกิดร่วมกับการเก็บรักษาเมล็ดพืช แต่คุณภาพของเมล็ดก็สามารถเปลี่ยนแปลงได้ระหว่างการเก็บรักษา ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความชื้น และอุณหภูมิ ดังนั้นถ้าใช้ความร้อนกับข้าว คุณสมบัติทางเคมีของข้าวอาจเปลี่ยนแปลงเร็วขึ้น นอกจากวิธีการใช้ความร้อนในการกำจัดแมลงแล้วยังมีวิธีทางเลือกอื่นที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมผีเสื้อข้าวเปลือกดังนี้ Boshra (2007) พบว่าเมื่อนำระยะดักแด้ของผีเสื้อข้าวเปลือกมาฉายรังสีที่ doses 150, 180 และ 210 gray พบว่าส่งผลต่อรุ่นลูกในระยะดักแด้ของตัวผู้มากกว่าตัวเมีย และทำให้เกิดความเสียหายเพิ่มขึ้นเมื่อนำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 32.51 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนทำการฉายรังสี มีผลทำให้การวางไข่และการฟักไข่ในรุ่นลูกลดลง นอกจากนี้การใช้อุณหภูมิสูงร่วมกับการฉายรังสียังทำให้ระยะหนอนของตัวผู้และเปอร์เซ็นต์รุ่นลูกของตัวเมียอยู่รอดได้ลดลง แต่ไม่ส่งผลกระทบต่อความถี่ในการผสมพันธุ์ของตัวผู้และในตัวผู้รุ่นลูก Liyanaarachchi (2008) รายงานว่าการสูญเสียข้าวในระหว่างการเก็บรักษาของประเทศศรีลังกา ถือเป็นปัญหาที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สำคัญ มีการสูญเสียข้าวจากการทำลายของผีเสื้อข้าวเปลือกประมาณ 4-6 เปอร์เซ็นต์ จากการทดลองควบคุมผีเสื้อข้าวเปลือก ในสภาพการเก็บรักษาข้าวเปลือกโดยใช้ biogas พบว่าการควบคุมผีเสื้อข้าว เปลือกโดยวิธีการรมด้วย biogas ในตัวอย่างข้าวเปลือกที่เก็บในภาชนะพลาสติกปิดแน่นแล้วฉีดพ่น biogas ในเวลา 15 นาที, 30 นาที, 45 นาที และ 60 นาที กรรมวิธีละ 3 ซ้ำ ภายใน 2 สัปดาห์ แต่ละซ้ำใช้ข้าวเปลือก 1 กิโลกรัม นับจำนวนผีเสื้อข้าวเปลือกก่อนฉีดพ่น biogas และนับจำนวนแมลงที่ตายหลังจากให้ biogas 24 ชั่วโมง พบว่าแมลงตาย 75 เปอร์เซ็นต์ ที่เวลา 15 นาที 87.5 - 100 เปอร์เซ็นต์ ที่เวลา 30 นาที และ 100 เปอร์เซ็นต์ ที่เวลา 45 นาที และ 60 นาที จากผลการทดลองสรุปได้ว่า สามารถควบคุมผีเสื้อข้าวเปลือกได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยให้ biogas เมื่อให้นานกว่า 15 นาที สำหรับข้าวเปลือก 1 กิโลกรัม นอกจากนั้น biogas ยังช่วยลดค่าใช้จ่ายอย่างยั่งยืนและเป็นพลังงานทดแทนแหล่งพลังงานต่ำที่สามารถผลิตได้อย่างง่ายด้วยเศษฟางจากข้าวเปลือกของเกษตรกรเอง และยังมีศักยภาพที่ดีสำหรับการควบคุมผีเสื้อข้าวเปลือกในโรงเก็บภายใต้สภาพบรรยากาศดัดแปลง นอกจากนั้น Al-Khawass (2010) พบว่าประสิทธิภาพของ powders ในพืช 4 ชนิด ได้แก่ *Mentha crispate*, *Ocimum gratissimum, Artemisia absinthium* และ *Curcuma longa* ใช้ในการทดลองประเมินผีเสื้อข้าวเปลือกที่ทำลายในเมล็ดข้าวสาลีในระดับห้องปฏิบัติการ พบว่าการตายของผีเสื้อข้าวเปลือกใน *O. gratissimum* มีเปอร์เซ็นต์การตายค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับพืชชนิดอื่น คือ (58.7%) อัตราการอยู่รอดของผีเสื้อข้าวเปลือกในพืช *M. crispate; A. absinthium* และ *C. longa* treatments ไม่มีผลกระทบต่ออายุขัยของตัวเต็มวัย ในขณะที่ *O. gratissimum* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญต่อการวางไข่และการฟักไข่ที่ลดลง

2. การป้องกันและกำจัดโดยใช้สารเคมี

สารฆ่าแมลงชนิดรม (Fumigant) เป็นสารเคมีที่เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในรูปของไอ หรือควัน เป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง เนื่องจากสามารถทำลายแมลงศัตรูได้ทุกชนิด และทุกระยะการเจริญเติบโต ไม่มีพิษตกค้างเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการใช้สารฆ่าแมลง สารรมที่นำมาใช้มีอยู่หลายชนิด แต่ที่นิยมมากคือ เมทิลโบรไมด์ (Methyl bromide) และฟอสฟีน (Phosphine) สารเมทิลโบรไมด์ เป็นตัวทำลายชั้นโอโซนในชั้นบรรยากาศทำให้โลกร้อนขึ้น และแสงอุลตราไวโอเลตมากกว่าปกติ ซึ่งจะทำให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว, 2554) ผลกระทบเหล่านี้ทำให้เมทิลโบรไมด์เข้าไปเป็นส่วนหนึ่งของพิธีสารมอนทรีออลว่าด้วยการเลิกใช้สารที่ทำลายชั้นบรรยากาศที่องค์กรเพื่อสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติได้จัดทำขึ้นเมื่อวันที่ 16 กันยายน พ.ศ. 2530 โดยประเทศไทยได้ลงนามในพิธีสารฉบับนี้ จึงต้องมีการควบคุมปริมาณการใช้และยกเลิกการใช้ภายในปี พ.ศ. 2558 สำหรับการรมด้วยฟอสฟีนนั้นเป็นวิธีที่ประหยัด และง่ายกว่าการรมด้วยเมทิล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โบรไมด์ แต่มีข้อจำกัดคือใช้ระยะเวลาหลายวันในการรมแต่ละครั้ง (ใจทิพย์, 2550) ซึ่งเป็นเหตุให้อุตสาหกรรมอาหารสัตว์ไม่นิยมใช้สารฟอสฟีนในการรม เนื่องจากแมลงบางชนิดได้มีการพัฒนาสร้างความต้านทานต่อสารรมชนิดนี้ (Roesli *et al.,* 2003) และพบว่ามอดแป้งมีการพัฒนาในการสร้างความต้านทานต่อสารรมฟอสฟีน (Chaudhry, 2000) นอกจากนั้น บุษราและคณะ (2537) รายงานว่า ผลจากการทดสอบความต้านทานของมอดข้าวเปลือกต่อสารรม phosphine พบว่ามอดข้าวเปลือกจากจังหวัดเชียงราย สุพรรณบุรี และสกลนคร แสดงความต้านทานต่อสารนี้ และมอดข้าวเปลือกจากจังหวัดเชียงรายต้านทานต่อสารรม phosphine สูงถึง 3 เท่า ของอัตราที่กำหนดไว้ทดสอบ Emir (1992) ได้ทดลองควบคุมผีเสื้อข้าวเปลือกระยะหนอน และระยะดักแด้ในข้าวสาลี โดยใช้สารเคมี cypermethrin, deltamethrin และ fenpropathrin ที่ระดับความเข้มข้น 5 ppm ส่งผลให้ตัวเต็มวัยของผีเสื้อข้าวเปลือกลดลง เท่ากับ 72.9, 79.9 และ 49.8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ Linda (2009) รายงานว่า ผีเสื้อข้าวเปลือกเป็นแมลงศัตรูที่ทำลายภายในเมล็ด จึงต้องควบคุมผีเสื้อข้าวเปลือกโดยการใช้สารรม แต่การควบคุมทำได้เพียงฆ่าตัวเต็มวัยที่มาสัมผัสเท่านั้น วิธีการฆ่าหนอนและดักแด้ ต้องใช้วิธีการรมและให้ความร้อนเมล็ดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ถึงจะสามารถฆ่าหนอนได้ แต่วิธีการนี้อาจทำให้เมล็ดมีความงอกและคุณภาพแป้งลดลง

อุณหภูมิสูงกับการตายของแมลง (lethal influence of high temperature)

อุณหภูมิมีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาของแมลง (Taylor, 1981) และมีผลกระทบต่ออัตราการเจริญเติบโต โดยทั่วไปอัตราการเจริญเติบโตของแมลงจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนถึงอุณหภูมิที่เหมาะสมและการพัฒนาจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้น Shi *et al*. (2011) พบว่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทำให้แมลงมีอัตราการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น และใช้ระยะเวลาในการพัฒนาไปเป็นตัวเต็มวัยสั้นลง อย่างไรก็ตามแมลงแต่ละชนิดมีช่วงของอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโต อุณหภูมิที่สูงมากจะไปยับยั้งทำให้พัฒนาการ การเจริญเติบโตของแมลงช้าลง เช่น ทำให้การลอกคราบของระยะหนอนและการเจริญไปเป็นตัวเต็มวัยช้าลง David and George (2007) แมลงถูกจัดให้เป็นสัตว์เลือดเย็น (poikilothermic or cold-blooded) แมลงจะดำรงอยู่ได้ต้องอยู่ภายใต้ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสม หากระดับของอุณหภูมิสูง หรือต่ำมากจนเกินไป อาจมีผลให้แมลงตาย หรือชะลอการเจริญเติบโตได้ เนื่องจากแมลงไม่มีระบบกลไกที่จะควบคุมการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในร่างกายให้คงที่ อุณหภูมิในร่างกายของแมลงจะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมโดยรอบอยู่ตลอดเวลา ถึงแม้ว่าแมลงสามารถเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิร่างกายของมันไปตามสภาพแวดล้อมได้ แต่ในบางสภาวะก็ทำได้ในระดับที่ทนทานได้ หรือในช่วงของอุณหภูมิระยะหนึ่งเท่านั้น อุณหภูมิจึงเป็นปัจจัยทางกายภาพมีความสำคัญยิ่งต่อการดำรงชีพของแมลง โดยอุณหภูมิมีผลต่อการดำรงชีพ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

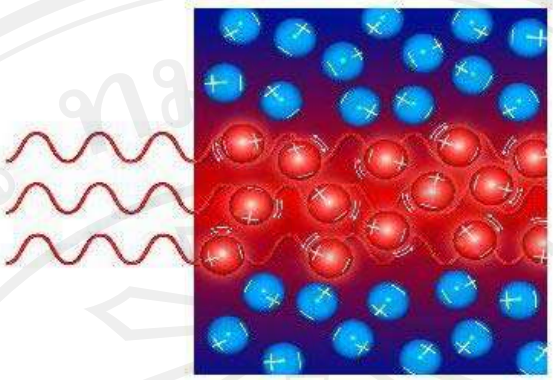
และการอยู่รอดของแมลงใน 2 ลักษณะ คือ มีผลทางตรงต่อการเจริญเติบโต การพัฒนา และการอยู่รอดของแมลง ส่วนผลทางอ้อมนั้น ได้แก่ ความชื้น ปริมาณฝน ลม ความดันบรรยากาศ

Banks and Fields (1995) การใช้ความร้อนในการกำจัดแมลงนั้นเป็นวิธีการหนึ่งที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายซึ่งความร้อนจากการใช้อุณหภูมิสูงส่งผลให้แมลงตาย เนื่องจากการขาดน้ำ และสูญเสียพลังงานจากการเผาผลาญพลังงานของร่างกายที่เพิ่มขึ้น โดยแมลงแต่ละชนิดและแต่ละสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน ย่อมมีความทนทานต่ออุณหภูมิสูงได้ไม่เท่ากัน อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตและแพร่ขยายพันธุ์ของแมลงศัตรูในโรงเก็บคือ 25-32 องศาเซลเซียส หากอุณหภูมิสูงขึ้นตั้งแต่ 45 องศาเซลเซียสขึ้นไป สามารถทำให้แมลงตายได้ภายใน 1 วัน โดยเฉพาะที่อุณหภูมิมากกว่า 62 องศาเซลเซียส ขึ้นไปสามารถทำให้แมลงตายได้ภายใน 1 นาที บุษรา (2547) รายงานว่าการใช้อุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียส ติดต่อกันทำให้แมลงบางชนิดหยุดการเจริญเติบโตและตายได้ และหากใช้อุณหภูมิระหว่าง 55-60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมงหรือ หรืออุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ในเวลา 15 นาที จะทำให้แมลงทุกชนิดตายหมด กุสุมาและคณะ (2548) นอกจากนั้นการใช้พลังงานไฟฟ้า เป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถกำจัดแมลงได้ โดยวิธีนี้แมลงจะดูดพลังงานได้เร็วกว่าเมล็ดพืช ดังนั้นแมลงจึงตายได้อย่างรวดเร็วโดยเมล็ดพืชยังไม่ถูกทำลาย ด้วงงวงข้าว และด้วงงวงข้าวสาลีที่อยู่ในข้าวสาลีจะตายภายใน 2-3 วินาที เมื่อนำมาผ่านคลื่นไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 23-24 องศาเซลเซียส ปกติอุณหภูมิ 41 องศาเซลเซียส เป็นระดับที่ไม่สามารถฆ่าแมลงได้ แต่ถ้าอุณหภูมินั้นถูกชักนำโดยพลังงานคลื่นไฟฟ้าจะทำให้แมลงได้รับอุณหภูมิที่สูงกว่าและทำให้แมลงตายได้

การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริก

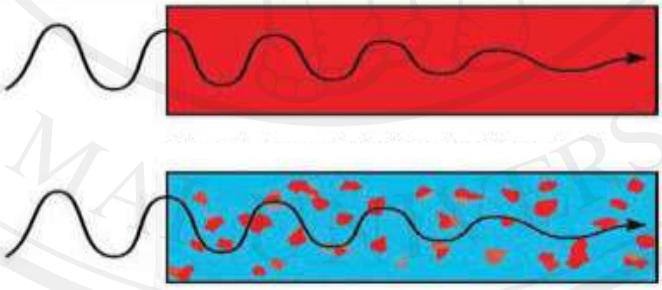
การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริก (Dielectric Heating) ทำงานโดยอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ความถี่ย่านคลื่นวิทยุ (Radio frequency, RF: 13.56 MHz, 27.12 MHz และ 40.68 MHz) หรือไมโครเวฟ (Microwave, MW: 433 MHz, 915 MHz, 2,45 MHz, 5,800 MHz และ 24,125) กำลังสูงส่งผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุ สนามของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะทำให้โมเลกุลของวัสดุที่มีโครงสร้างแบบมีขั้ว (Dipolar Molecules) ซึ่งมีขั้วไฟฟ้าที่เป็นขั้วบวกและขั้วลบพยายามเรียงตัวตามทิศทางของสนามคลื่นที่ส่งผ่านเข้ามา ทำให้เกิดการเสียดสีกันของโมเลกุล เกิดเป็นความร้อนกระจายทั่วภายในเนื้อวัสดุหรือการถ่ายเทพลังงานจากคลื่นไปยังวัสดุ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



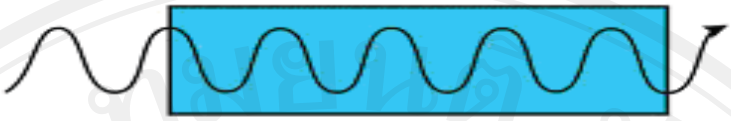
ภาพ 2.2 แสดงการเกิดความร้อนในเนื้อวัสดุจากการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริก
(กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2554)

วัสดุที่สามารถใช้การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกได้จะต้องเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติที่ตอบสนองต่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า คือ จะต้องเป็นวัสดุที่มีโครงสร้างโมเลกุลแบบมีขั้วหรือประกอบไปด้วยน้ำซึ่งมีโมเลกุลแบบมีขั้วเช่นกันเป็นองค์ประกอบ วัสดุที่มีโครงสร้างโมเลกุลแบบไม่มีขั้ว เช่น อากาศ เทฟล่อน หรือแก้ว จะไม่สามารถดูดซับพลังงานจากคลื่นได้ โดยคลื่นจะผ่านทะลุเข้าไปในเนื้อวัสดุโดยไม่เกิดความร้อนหรือการเปลี่ยนแปลงใด ๆ ส่วนวัสดุที่เป็นโลหะจะมีคุณสมบัติสะท้อนคลื่นจึงไม่สามารถเกิดความร้อนได้ เหมาะสำหรับทำโครงสร้างเตาและตัวสะท้อนคลื่น



วัสดุที่มีโครงสร้างโมเลกุลแบบมีขั้วหรือวัสดุที่มีความชื้น จะดูดซับพลังงาน
ของคลื่นและเกิดความร้อน

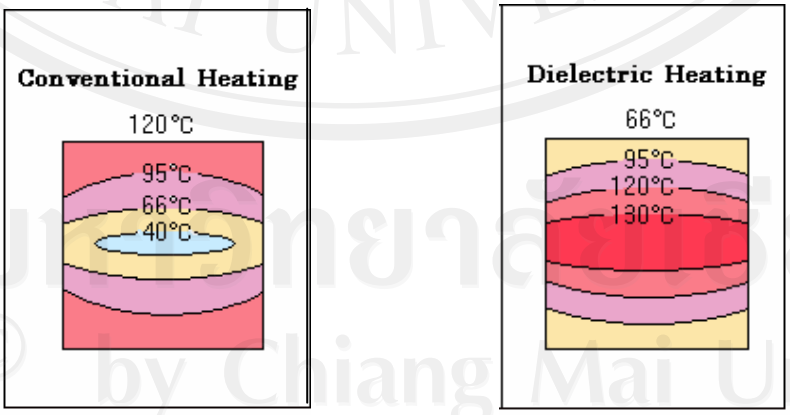
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



วัสดุที่มีโครงสร้างโมเลกุลแบบไมมีขั้ว คลื่นจะทะลุผานโดยไม่เกิดความร้อน

ภาพ 2.3 การตอบสนองของวัสดุแต่ละประเภทต่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
(กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2554)

การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกเป็นวิธีการให้ความร้อนที่มีประสิทธิภาพสูง ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าหมุนเวียนสลับระหว่างของทั้งสองขั้ว electrodes ซึ่งมีผลทำให้วัตถุเกิดความร้อนขึ้น มีหลักการในการสร้างความร้อนโดยการใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในระดับความถี่คลื่นวิทยุถูกปล่อยผ่านไปยังวัตถุที่มีคุณสมบัติ dielectric โดยเครื่องสามารถทำงานได้ที่ความถี่ 27.12 MHz หรือเกิดการเปลี่ยนแปลง 27.12 ล้านครั้งต่อวินาที ทำให้วัตถุที่มีพันธะโมเลกุล 2 ขั้ว เช่น โมเลกุลของน้ำเมื่อโมเลกุลขวางทิศทางของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะเกิดการสั่นสะเทือนโดยขึ้นอยู่กับความถี่ที่ใช้ การสั่นสะเทือนจะทำให้เกิดการสะสมพลังงานเป็นความร้อนจากการเสียดสีของโมเลกุล (Ryynänen, 1995; Nijhuis *et al*., 1998) การให้ความร้อนกับวัสดุโดยการให้ความรอนแบบไดอิเล็กทริกจะเปนการใหความร้อนซึ่งเกิดขึ้นโดยตรงในวัสดุ (Inside Out) ซึ่งแตกต่างจากการให้ความร้อนแบบเดิมซึ่งจะเกิดความร้อนจากบริเวณผิววัสดุกอนแลวจึงค่อยเกิดการนำความรอนสูภายใน (Outside In) ทำใหการกระจายความรอนเปนไปอยางสม่ำเสมอทั่วถึงภายในเนื้อวัสดุพร้อม ๆ กัน ส่งผลให้ลดระยะเวลาและเพิ่มประสิทธิภาพในการให้ความร้อน



ภาพ 2.4 แสดงเปรียบเทียบการเกิดความร้อนในวัสดุระหว่างการให้ความร้อนแบบเดิมกับการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริก (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2554)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

คุณสมบัติไดอิเล็กทริก (dielectric properties) ของอาหารและวัตถุ

Fellows (2000) รายงานว่าพลังงานไดอิเล็กทริก (dielectric energy) จากคลื่นไมโครเวฟและความถี่วิทยุ (radio frequency) เป็นพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าอย่างหนึ่ง ซึ่งส่งผ่านในรูปของคลื่น (wave) และแทรก (penetrate) เข้าไปในอาหารและพลังงานนี้จะถูกดูดซับ (absorb) และเปลี่ยนแปลงเป็นพลังงานความร้อนขึ้น โดยทั่วไปเราสามารถทำให้เกิดความร้อนในอาหารได้ทั้งโดยทางตรง (direct method) ซึ่งความร้อนจะเกิดขึ้นภายในตัวของอาหาร เช่น ความร้อนที่เกิดจากไมโครเวฟและคลื่นวิทยุ และโดยทางอ้อม (indirect method) ซึ่งเป็นการทำให้เกิดความร้อนขึ้นภายนอกและส่งผ่านพื้นผิวหน้าของอาหารไปยังด้านใน โดยเกิดจากการแผ่รังสี (radiation) การพาความร้อน (convection) หรือการนำความร้อน (conduction)

Singh and Heldman (2001) รายงานว่าในกระบวนการแปรรูปด้วยไมโครเวฟจะเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติทางไฟฟ้า (electrical properties) ของวัตถุที่ถูกทำให้เกิดความร้อน ซึ่งคุณสมบัติการใช้ไมโครเวฟในการแปรรูปอาหารดังกล่าวจะมีความสำคัญต่อการสร้างสูตรอาหารเพื่อใช้กับไมโครเวฟ คุณสมบัติทางไฟฟ้าที่สำคัญและแสดงเป็นค่าตัวเลข ได้แก่

1. ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (dielectric constant, ε') เป็นค่าที่แสดงความสามารถของวัตถุในการกักเก็บพลังงานไฟฟ้าไว้เมื่อนำวางในสนามไฟฟ้ากระแสสลับ ถ้าค่านี้สูงแสดงว่าเก็บพลังงานได้มาก แต่ค่านี้จะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิและความชื้นของอาหาร

2. แฟกเตอร์การสูญเสียไดอิเล็กทริก (dielectric loss, ε'') เป็นค่าที่แสดงความสามารถของวัตถุที่จะกระจายพลังงานไฟฟ้าไป เป็นพลังงานความร้อน ถ้าค่านี้สูงแสดงว่าจะเกิดความร้อนสูง คำว่า “loss” หรือสูญเสียหมายถึงการเปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อนค่าเหล่านี้จะทำให้ทราบเกี่ยวกับความสามารถในการเป็นฉนวนไฟฟ้า (electrical insulatingability) ของวัตถุ ซึ่งอาหารเป็นฉนวนที่ไม่ดี ดังนั้นอาหารจึงมักจะดูดซับพลังงานส่วนใหญ่ไว้เมื่อสัมผัสกับคลื่นไมโครเวฟและเป็นผลให้เกิดความร้อนขึ้น (Mudgett, 1986) โดยค่า dielectric loss และ dielectric constant มีความสัมพันธ์กันดังนี้

$$\tan\delta = \frac{\varepsilon''}{\varepsilon'}$$

เมื่อ $\tan\delta$ = loss tangent

ε' = ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก

ε'' = แฟกเตอร์การสูญเสียไดอิเล็กทริก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3. ค่าลอสแทนเจน (loss tangent, tan δ) หรือ dissipaton factor จากสมการ ค่า loss tangent (tan δ) แสดงให้เห็นถึงระดับการทะลุทะลวงของสนามไฟฟ้าและระดับการกระจายพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อน ค่าเหล่านี้ถ้ามีค่าสูงแสดงว่าวัตถุจะเกิดความร้อนได้ดีขึ้น

สมบัติไดอิเล็กทริกของวัสดุที่เป็นผลผลิตทางการเกษตร มีค่าคงตัวไดอิเล็กทริก ขึ้นอยู่กับความถี่ ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิและความหนาแน่น และพบว่าสมบัติทางไฟฟ้าที่ตอบสนองต่อคลื่นความถี่วิทยุของข้าวสาลีมีความสัมพันธ์อย่างยิ่งต่อความหนาแน่นนของแป้งที่ได้จากข้าวสาลี (Nelson, 1984 and Nelson, 2005) นอกจากนั้น Sacilik and Colak (2010) พบว่าคุณสมบัติไดอิเล็กทริกของข้าวโพด ที่ความชื้นมาตรฐานเปียกอยู่ในช่วง 9.71-21.51% (WB) ความหนาแน่น 772.5-902.2 kg/m^3 ที่ความถี่ 1-100 MHz ความชื้นเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญที่สุดต่อค่าไดอิเล็กทริกของเมล็ดข้าวโพด พบว่าความชื้นความหนาแน่นและความถี่ของค่า dielectric constant, loss factor และ loss tangent มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความชื้นและความหนาแน่นเพิ่มขึ้น จิตรกานต์และคณะ (2554) ศึกษาคุณสมบัติไดอิเล็กทริกของเมล็ดพันธุ์ข้าวและข้าวโพด ที่ช่วงความถี่ 0-50 MHz ความชื้นเริ่มต้น 25 และ 29 เปอร์เซ็นต์ และทำการลดความชื้นด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RF) ที่ช่วงคลื่น 27.12 MHz อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส ให้ความชื้นลดลงเหลือ 14 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ค่าคงตัวไดอิเล็กทริกของเมล็ดพันธุ์ข้าวและข้าวโพด มีค่าเท่ากับ 1.43-1.89 ± 9.28E-03 และ1.91-2.70 ± 0.01 ตามลำดับ และมีค่าแฟกเตอร์การสูญเสียในเมล็ดพันธุ์ข้าวและข้าวโพด มีค่าเท่ากับ 0.44-3.15 ± 0.10 และ 0.64-5.28 ± 0.18 ตามลำดับ เมล็ดพันธุ์ข้าวโพดจึงมีความสามารถในการสะสม และปลดปล่อยพลังงานไฟฟ้าได้ดีกว่าเมล็ดพันธุ์ข้าว กาญจนาและนรินทร์ (2551) รายงานว่าค่าคงตัวไดอิเล็กทริกของข้าวที่มีอายุต่างกัน คือ ข้าวที่เก็บเกี่ยวหลังต้นข้าวตั้งท้องประมาณ 1 สัปดาห์ ถึง 5 สัปดาห์ ที่ความชื้นต่างกันโดยใช้ความถี่ 5 ค่า คือ 100 Hz, 1 kHz, 10 kHz, 100 kHz และ 1 MHz พบว่าค่าคงตัวไดอิเล็กทริกของข้าวตัวอย่างแปรตามความชื้นของข้าว เมื่อข้าวมีความชื้นลดลงค่าคงตัวไดอิเล็กทริกของข้าวมีค่าลดลงในทุกช่วงอายุ ค่าคงตัวไดอิเล็กทริกของตัวอย่างข้าวที่มีอายุและความชื้นเท่ากันมีค่าลดลงเมื่อใช้ความถี่สูงขึ้น ค่าคงตัวไดอิเล็กทริกในรวงข้าวสดมีค่ากระจายอยู่ในช่วง 10-120 และลดลงเป็น 3-20 ในรวงข้าวแห้ง ปริมาณคาร์โบไฮเดรตมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อข้าวมีอายุมากขึ้น ปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่เพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์สอดคล้องกับค่าคงตัวไดอิเล็กทริกที่เพิ่มขึ้นในเมล็ดข้าวแห้ง และพบว่าในรวงข้าวสดมีแฟกเตอร์การสูญเสียมากกว่ารวงข้าวแห้งเล็กน้อย มีการกระจายในช่วง 0.005-0.07 (กาญจนาและนรินทร์, 2552)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การให้ความร้อนด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (Radio frequency heat treatment)

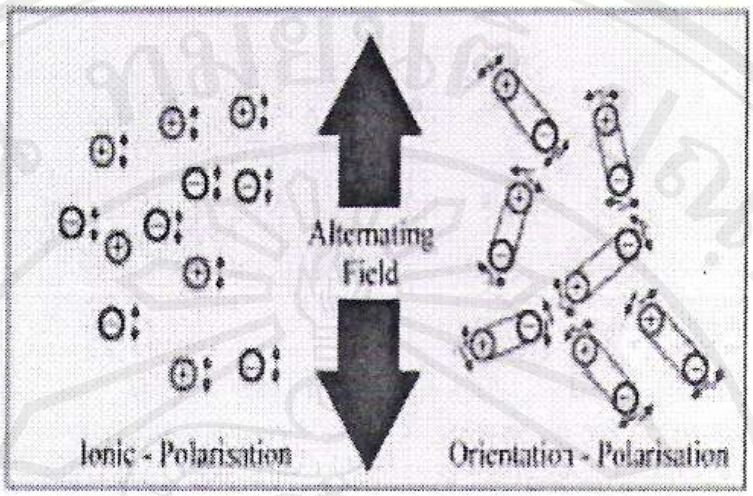
คลื่นความถี่วิทยุเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่อยู่ในช่วงระหว่าง 3-300 MHz การให้ความร้อนด้วยคลื่นวิทยุทำงานโดยใช้ตัวกำเนิดคลื่นซึ่งทำด้วยวงจรหลอดแก้วสุญญากาศหรือสารกึ่งตัวนำ สร้างคลื่นวิทยุกำลังสูงส่งผ่านมายังอิเล็กโทรด โดยอิเล็กโทรดจะเป็นตัวปล่อยสนามคลื่นวิทยุตามรูปแบบที่กำหนดไปยังวัสดุที่ต้องการให้ความร้อน ขนาดของกำลังคลื่นวิทยุที่ใช้สำหรับการให้ความร้อนในอุตสาหกรรมจะอยู่ในระดับตั้งแต่ 500 วัตต์ไปจนถึงหลายร้อยกิโลวัตต์ ในย่านความถี่ 13.56, 27.12 และ 40.68 MHz ซึ่งจะสามารถผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุได้แตกต่างกันขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุและความถี่คลื่น โดยคลื่นที่ความถี่ต่ำกว่าจะสามารถผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุได้ลึกกว่า เหมาะสำหรับการให้ความร้อนกับวัสดุที่มีขนาดใหญ่ ส่วนคลื่นความถี่สูงจะสามารถผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุได้ตื้นกว่า เหมาะสำหรับการให้ความร้อนกับวัสดุที่มีขนาดเล็ก (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2554)

การเกิดความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุ

คลื่นความถี่วิทยุ มีหลักการในการสร้างความร้อนโดยการใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในระดับความถี่คลื่นวิทยุ ถูกปล่อยผ่านไปยังวัตถุ ที่ประกอบด้วยสารที่มีพันธะโมเลกุล 2 ขั้ว เช่น น้ำที่มีพันธะไฮโดรเจน 2 พันธะ เมื่อโมเลกุลขวางทิศทางของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จะเกิดการสั่นสะเทือน ความถี่ในการสั่นจะขึ้นอยู่กับความถี่ของคลื่นวิทยุที่ใช้ การสั่นสะเทือนจะทำให้เกิดการสะสมพลังงาน เป็นความร้อนจากการเสียดทานภายในโมเลกุล 2 รูปแบบ คือ

1. Intermolecular friction ที่เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล
2. Hysteresis เป็นแรงต้านทางประจุไฟฟ้าเนื่องจากแรงเฉื่อย ซึ่งขึ้นกับจำนวนประจุ มวล และรูปร่างโมเลกุล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 2.5 ลักษณะการเปลี่ยนจากพลังงานจลน์ไปเป็นพลังงานความร้อนภายในตัววัตถุเมื่อถูกนำไปวางไว้ในสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ที่มา: Wolfgang (2003)

เมื่อวัตถุมีการดูดซับพลังงานจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ก่อให้เกิดความร้อนได้ 2 แบบร่วมกันได้แก่

1. Ionic Polarization เป็นการเกิดความร้อนเนื่องจากผลของการเคลื่อนที่ของไอออนในสารละลายเมื่อเข้าไปอยู่ในสนามไฟฟ้า โดยแต่ละไอออนที่มีประจุไฟฟ้าประจำตัวถูกกระตุ้นและเร่งให้เกิดการเคลื่อนที่ทำให้เกิดการเสียดสีกันระหว่างไอออน ในขณะเดียวกันเกิดการเปลี่ยนรูปของพลังงานจลน์เป็นพลังงานความร้อนขึ้น แล้วเกิดการกระจายความร้อนไปยังส่วนอื่น ๆ ซึ่งการเกิดความร้อนลักษณะนี้เกิดขึ้นในส่วนของของเหลวภายในเซลล์ที่อยู่ในรูปของสารละลายต่าง ๆ

2. Dipole Rotation เป็นการเกิดความร้อนกับสารประกอบที่มีขั้ว (polar) ซึ่งได้แก่น้ำ ในสภาพปกติการเรียงตัวของประจุบวกและประจุลบของสารประกอบที่มีขั้วนี้เรียงตัวอย่างไม่มีระเบียบ (random oriented) เมื่อเข้าไปอยู่ในสนามไฟฟ้า ประจุบวกและประจุลบของสารเกิดการเคลื่อนที่เพื่อเปลี่ยนทิศทางการเรียงตัวที่เป็นระเบียบขึ้น (Wolfgang, 2003)

การเคลื่อนที่ด้วยการหมุนตัวกลับไปกลับมาเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วตามระดับความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ให้โดยในคลื่นความถี่วิทยุนั้น การเคลื่อนที่ของประจุ 3-300 ล้านครั้งต่อ 1 วินาทีซึ่งผลของความเร็วในการหมุนตัว และการเสียดสีกันก่อให้เกิดเป็นความร้อนขึ้นมาอย่างรวดเร็วภายในระยะเวลา 2-3 วินาที หรือประมาณ 1 นาที หลังจากได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ต่อจากนั้นความร้อนที่เกิดขึ้นเกิดการกระจายตัวไปยังส่วนอื่น ๆ เนื่องจากผลจากการเดือดของน้ำโดยกระบวนการนำความร้อน และเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเทคโนโลยีนี้จะใช้ระยะเวลาในการเกิดความร้อนที่สั้นและสามารถทำลายสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่ติดมากับวัตถุได้ (Nelson, 1996) ความร้อนของคลื่นความถี่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

วิทยุขึ้นอยู่กับความเป็นฉนวน และความสามารถในการเป็นตัวนำกระแสไฟฟ้า ซึ่งเป็นค่าของคุณสมบัติของผลผลิตทางการเกษตร และสิ่งมีชีวิต โดยมีอิทธิพลมาจากความถี่ อุณหภูมิ ปริมาณเกลือ และปริมาณความชื้น (Ryynänen, 1995) โดยผลิตผลที่มีขนาดเล็กจะมีการกระจายความร้อนได้สม่ำเสมอกว่าผลิตผลที่มีขนาดใหญ่ และผลิตผลที่มีปริมาณความชื้นต่ำจะทนต่อความร้อนได้ดีกว่าผลิตผลที่มีความชื้นสูง ทำให้คลื่นความถี่วิทยุมีศักยภาพในการกำจัดแมลงในเมล็ดพืชได้ดีกว่าผลิตผลสด โดยสามารถคงคุณภาพของผลิตผลไว้ได้ (Wang *et al*., 2008)

ผลของการให้ความร้อนด้วยคลื่นความถี่วิทยุต่อการกำจัดแมลงในผลผลิตทางการเกษตร

การทำลายของแมลงศัตรูพืชในโรงเก็บเมล็ดพันธุ์ นอกจากจะทำให้เกิดการสูญเสียผลผลิตแล้วยังทำให้ราคาของผลผลิตลดลงด้วย ขณะที่วิธีการป้องกันกำจัดโดยใช้ยาฆ่าแมลงและสารเคมีรมที่ใช้ในอุตสาหกรรม ส่งผลทำให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม การป้องกันกำจัดแมลงโดยไม่ใช้สารเคมีจึงเป็นสิ่งจำเป็น ดังนั้นการใช้คลื่นความถี่วิทยุจึงเป็นทางเลือกหนึ่ง ในการนำมาใช้ควบคุมแมลง โดยเพิ่มระดับพลังงานความร้อนที่ทำให้แมลงตายได้อย่างรวดเร็ว มีประสิทธิภาพและทั่วถึง ซึ่งมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมีน้อยที่สุด (Lagunas-Solar *et al.* 2007)

Wang and Tang (2001); Tang *et al*. (2000) ศึกษาการประยุกต์ใช้คลื่นความถี่วิทยุที่ 13.56, 27.12 และ 40.68 MHz ในระดับอุตสาหกรรม และทางการค้า ในการกำจัดเชื้อโรค จุลินทรีย์และแมลง โดยใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณมาก เป็นการลดขั้นตอนการจัดการ และไม่ทำลายคุณภาพของผลิตภัณฑ์เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการรมสารเคมี Mitcham *et al*. (2004) ได้ใช้คลื่นความ ถี่วิทยุในการควบคุมแมลงในโรงเก็บวอลนัท ซึ่งทำให้ความร้อนภายในวอลนัทสูงถึง 55 องศาเซลเซียส มีผลต่อการกำจัดแมลงที่กำลังจะลอกคราบ 100 เปอร์เซ็นต์ ต่อมา Wang *et al*. (2007) ทดลองการใช้คลื่นความถี่วิทยุในระดับของอุตสาหกรรมวอลนัทขนาดใหญ่ โดยได้มีการทดสอบกับระบบการลำเลียงวอลนัทในโรงงาน โดยใช้กำลังไฟ 25 kW ในระดับความถี่ 27 MHz พบว่าในระดับความร้อนที่สูงที่เกิดจากคลื่นความถี่วิทยุสามารถกำจัดหนอน navel orange worm และแมลงศัตรูต่าง ๆ และยังสามารถลดความชื้นของวอลนัทได้ นอกจากนั้นการใช้คลื่นความถี่วิทยุยังเป็นการกำจัดแมลงศัตรูในโรงเก็บอย่างเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม Johnson *et al*. (2004) จำแนกระยะการเจริญเติบโตของมอดแป้ง (red flour beetle) ที่มีความทนทานต่อคลื่นความถี่วิทยุ 27.12 MHz พบว่าหนอนระยะวัยแก่ (วัย 6-8) มีความทนต่อคลื่นความถี่วิทยุ ที่ระดับอุณหภูมิ 48-52 องศาเซลเซียส มากที่สุด รองลงมา ได้แก่ ดักแด้ ตัวเต็มวัย ไข่และหนอนวัยอ่อนตามลำดับ และพบว่าที่อุณหภูมิ 52 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที สามารถกำจัดหนอนวัยแก่ในเมล็ดอัลมอนด์วอลนัท และพิสทาชิโอ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ได้ 100 เปอร์เซ็นต์ Janhang *et al*. (2005) ได้ทดลองใช้คลื่นความถี่วิทยุที่ 27.12 MHz ในข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์ พบว่าที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 180 วินาที ทำให้มอดหัวป้อมตาย 100 เปอร์เซ็นต์ และมีผลกระทบน้อยต่อคุณภาพของข้าว และทำให้ข้าวมีเปอร์เซ็นต์ความงอก 91 เปอร์เซ็นต์ ณคณิณ (2551) นำผีเสื้อข้าวสารซึ่งเป็นศัตรูข้าวที่สำคัญในระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ มาผ่านคลื่นความถี่วิทยุ 27.12 MHz ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 นาที พบว่า ระยะไข่ และระยะดักแด้ของผีเสื้อข้าวสารมีเปอร์เซ็นต์การตาย 98.90 และ 98.35 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นระยะที่มีอัตราการรอดชีวิตมากที่สุด ส่วนระยะตัวเต็มวัย และระยะหนอนมีการตาย 100 เปอร์เซ็นต์ กรรณิการ์ (2552) ศึกษาพบว่าการใช้คลื่นความถี่วิทยุในการควบคุมมอดแป้งในอาหารสัตว์ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที เป็นต้นไป ให้ผลในการกำจัดมอดแป้งทุกระยะการเจริญเติบโตได้ดีที่สุด 100 เปอร์เซ็นต์ Nelson, (1996) รายงานว่า ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุส่งผลให้แมลงมีพัฒนาการเปลี่ยนรูปร่างไม่สมบูรณ์ อีกทั้งยังส่งผลให้ความสามารถในการแพร่พันธุ์ลดลง โดยพบตัวเต็มวัยของด้วงงวงข้าวและมอดแป้งในเมล็ดข้าวสาลีหลังจากได้รับคลื่นความถี่วิทยุ 39 MHz มีอัตราการแพร่พันธุ์ต่ำกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ เพราะความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุได้สร้างความเสียหายต่อเนื้อเยื่อรังไข่ จึงทำให้อัตราการฟักไข่ลดลง และไข่ที่ฟักออกมามีขนาดเล็กลง ทั้งนี้คลื่นความถี่วิทยุให้ผลในการกำจัดแมลงแต่ละชนิด และแต่ละระยะการเจริญเติบโตที่แตกต่างกัน เนื่องจากคุณลักษณะทางสายพันธุ์ ซึ่งอาจจะเป็นทางชีวภาพหรือกายภาพ หรือองค์ประกอบภายในร่างกายของแมลงที่แตกต่างกัน และโดยทั่วไปแมลงตัวเต็มวัยจะมีความอ่อนแอมากกว่าตัวอ่อน

การให้ความร้อนด้วย RF สามารถนำมาใช้กำจัดแมลงในผลไม้สดได้ Wang *et al*. (2005) พบว่าการส่งออกแอปเปิ้ลไปยังประเทศญี่ปุ่นและเกาหลีกำลังถูกรบกวนจากแมลง codling moth การใช้คลื่นความถี่วิทยุ (RF) จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่นำมาใช้ทดแทนการรมด้วยสารเมธิลโบรไมด์ โดยการให้ RF ร่วมกับน้ำร้อน มีเงื่อนไข คือ ต้องใช้อุณหภูมิและเวลาต่ำสุดที่ทำให้ instar codling moth ตาย 100 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ยังคงคุณภาพของแอปเปิ้ลไว้ วิธีการคือ นำแอปเปิ้ลใส่ลงไปในน้ำอุ่นที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และแอปเปิ้ลที่ให้ RF ที่พลังงาน 12 kW ความถี่ 27.12 MHz อุณหภูมิน้ำ 48 องศาเซลเซียส เวลา 5 นาที, 10, 15 และ 20 และระบายความร้อนด้วยน้ำเย็นเป็นเวลา 30 นาที ประเมินการตายของ codling moth และคุณภาพของแอปเปิ้ล โดยวัดการสูญเสียน้ำหนัก ความแน่นเนื้อ สีเนื้อ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ และปริมาณกรด หลังจากวันที่ 0, 7 และ 30 ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส พบว่าที่อุณหภูมิ 48 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที มีประสิทธิภาพดีที่สุดในการควบคุมแมลงและยังคงรักษาคุณภาพของแอปเปิ้ลไว้ สอดคล้องกับ Birla *et al*. (2005) รายงานว่าการพัฒนาทางเลือกสำหรับการควบคุมกักกันผลไม้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภายใต้การเจริญเติบโต และความกดดันระหว่างประเทศ เพื่อทดแทนการรมด้วยสารเมธิลโบรไมด์ เนื่องจากความกังวลเกี่ยวกับบทบาทในการทำลายชั้นโอโซน การใช้คลื่นความถี่วิทยุ (RF) ในการให้ความร้อนเป็นวิธีการที่จะเพิ่มความร้อนภายในน้ำเพื่อควบคุมศัตรูพืช โดยศึกษาอิทธิพลของ RF กับคุณภาพของผลไม้เมื่อได้รับ RF ในส้มพันธุ์ Navel และ Valencia ประเมินคุณภาพส้มหลังการเก็บเกี่ยว 10 วัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส โดยประเมินการสูญเสียน้ำหนัก การสูญเสียในการเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อ ค่าสี ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ความเป็นกรดและการเปลี่ยนแปลงสารระเหย การวิเคราะห์สารระเหย พบว่าการเปลี่ยนแปลงรสชาติและสารระเหยและตัวแปรด้านคุณภาพอื่น ๆ เมื่อผ่านการให้ RF ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เนื่องจากการให้ RF ช่วยลดระยะเวลาในกระบวนการ และช่วยในการเก็บรักษาสารระเหยได้มากเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำร้อนธรรมดา การให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 19-48 องศาเซลเซียส ด้วย RF ในน้ำเกลือ เป็นเวลา 15 นาที อุณหภูมิ 48 องศาเซลเซียส ช่วยรักษาความปลอดภัยโดยไม่ต้องกักกันผลไม้ และคุณภาพของส้มหลังจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค นอกจากคลื่นความถี่วิทยุจะใช้กำจัดแมลงแล้ว ยังช่วยลดจำนวนเชื้อจุลินทีย์ Gao *et al.* (2011) รายงานว่าการให้ความร้อนด้วยคลื่นความถี่วิทยุ ในการพัฒนากระบวนการพาสเจอร์ไรส์ควบคุมเชื้อ *Salmonella* ในเมล็ดอัลมอนด์ ซึ่งไม่ทำให้เกิดการสูญเสียคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยแช่อัลมอนด์ในน้ำ (55 องศาเซลเซียส) เพื่อทำให้เชื้อ *Salmonella* ลดความต้านทานลง และให้ความร้อนด้วย RF ที่ความถี่ 27 MHz, 6 กิโลวัตต์ ที่ช่องว่างระหว่างขั้วไฟฟ้า 13 เซนติเมตร และใช้ 14 เซนติเมตร สำหรับการอบแห้ง ตามด้วยการให้อากาศเย็นที่ความหนาของเมล็ดอัลมอนด์ 5 เซนติเมตร พบว่าอุณหภูมิสูงกว่า 75 องศาเซลเซียส ที่ความชื้น 23 เปอร์เซ็นต์ เวลา 2-4 นาที สามารถตอบสนองความต้องการที่จะบรรลุการลด 5-log ของเชื้อ *Salmonella* ได้ และเมื่อให้ RF เป็นเวลา 20 นาที สามารถลดความชื้นเมล็ดอัลมอนด์ได้ 5.7 เปอร์เซ็นต์ ค่า Peroxide ค่ากรดไขมัน และสีเมล็ดอัลมอนด์ หลังจากให้ RF อยู่ในระดับมาตรฐานที่ใช้ในอุตสาหกรรม

คุณภาพของข้าวหลังการสีที่เป็นผลจากการให้ความร้อนด้วยคลื่นความถี่วิทยุ

ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุมีผลต่อคุณภาพการสีข้าว สามารถเพิ่มเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวแต่ไม่มีผลต่อค่าความสว่างของข้าว (L*) แต่มีผลทำให้ค่าสีเหลือง (b*) เพิ่มขึ้น และทำให้ปริมาณความชื้นของข้าวเปลือกลดลง ส่วนปริมาณอะไมโลสไม่เปลี่ยนแปลง ในขณะที่พลากร (2553) รายงานว่าการให้ความร้อนโดยใช้คลื่นความถี่วิทยุ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าว โดยใช้อุณหภูมิและเวลาการอบเป็นปัจจัย สามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของข้าวจากข้าวใหม่ให้เป็นข้าวเก่า โดยการใช้อุณหภูมิสูง และใช้ระยะเวลาน้อยลง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การให้ความร้อนด้วย RF ส่งผลทำให้ความชื้นลดลง กฤษณา (2552) รายงานว่าความชื้นของข้าวสารขาวดอกมะลิ 105 ที่วัดโดยวิธีการอบด้วยความร้อน ในชุดควบคุมมีเปอร์เซ็นต์ความชื้นเท่ากับ 13.31 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแตกต่างกันกับความชื้นของข้าวสารที่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 150 วินาที มีความชื้นลดลงเป็น 12.87 เปอร์เซ็นต์ พัทยาและสุชาดา (2549) รายงานว่า เมื่อให้ความร้อนในระดับคลื่นความถี่วิทยุที่ 27.12 MHz ที่อุณหภูมิ 70, 75 และ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1, 3 และ 5 นาที พบว่าทำให้ความชื้นของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ จากความชื้นเริ่มต้นที่ 13.30 เปอร์เซ็นต์ สามารถลดลงได้ถึง 2.4 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำไปผ่านคลื่นความถี่วิทยุที่ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที หากมีการใช้อุณหภูมิต่ำกว่า 60 องศาเซลเซียสกับข้าวไม่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อความชื้นของข้าว (Theanjumpol *et al*., 2007) เนื่องจากการใช้คลื่นความถี่วิทยุทำให้วัตถุสูญเสียน้ำ จึงทำให้เมล็ดข้าวมีความชื้นลดลง (Wang *et al*., 2007)

ด้านคุณภาพการสี พลากร (2553) รายงานว่าการใช้คลื่นความถี่วิทยุเร่งความเก่าของข้าวมีผลต่อคุณภาพการสีข้าว โดยการใช้คลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 10 นาที สามารถเพิ่มเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวสูงสุดและสีของข้าวสารมีค่าใกล้เคียงกับข้าวใหม่ปกติ และทำให้ความชื้นของข้าวเปลือกลดลงเพียงเล็กน้อย คลื่นความถี่วิทยุสามารถเร่งข้าวใหม่ให้มีคุณภาพการสีคล้ายกับข้าวเก่าที่เก็บรักษา 4-6 เดือน Theanjumpol *et al*. (2007) รายงานว่าเมื่อให้อุณหภูมิความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุที่ระยะเวลา 3 นาที อุณหภูมิสูงกว่า 60 องศาเซลเซียส พบว่าค่าความสว่าง (L*) และค่าสีเหลือง (b*) ของข้าวสารเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (P <0.05) โดยข้าวที่ไม่ผ่าน RF มีค่าความสว่าง (L*) และค่าสีเหลือง (b*) เท่ากับ 71.54 และ 14.80 ตามลำดับ ในขณะที่ข้าวสารที่ผ่าน RF ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส มีค่าสูงขึ้นเป็น 75.03 และ 14.91 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิสูงมีผลกับการเปลี่ยนสีของข้าวสาร จากข้าวสีโปร่งใสเป็นสีเหลือง สอดคล้องกับ Dillahunty *et al.* (2000) รายงานว่าระยะเวลาการให้ความร้อนและอุณหภูมิมีผลต่อค่าสีเหลือง เมื่อข้าวได้รับอุณหภูมิมากกว่า 50 องศาเซลเซียส นานกว่า 12 ชั่วโมง นอกจากนี้ Wiset *et al.* (2005) ยังพบว่าการให้อุณหภูมิสูงกับข้าวเปลือกทำให้เมล็ดข้าวมีสีเหลืองมากขึ้น การใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้ข้าวสารมีสีเหลืองเพิ่มขึ้นซึ่งเกิดจากปฏิกิริยา maillard reaction (ปฏิกิริยาที่สารเกิดสีน้ำตาลโดยไม่ใช้เอนไซม์เมื่อได้รับความร้อน โดยถ้าอุณหภูมิสูงขึ้น อัตราการเกิดสีน้ำตาลจะสูงขึ้นด้วย) (พลากร, 2551)

ด้านการเปลี่ยนแปลงของเปอร์เซ็นต์อะไมโลส พลากร (2553) รายงานว่าการใช้คลื่นความถี่วิทยุและลมร้อนเร่งความเก่าข้าวเปลือกพันธุ์ปทุมธานี 1 โดยการเร่งความเก่าด้วย RF ที่ระดับอุณหภูมิ 70, 85 และ 90 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 5, 10 และ 15 นาที และการใช้ลมร้อนที่ 70 องศาเซลเซียส 40 นาที พบว่าเปอร์เซ็นต์อะไมโลสของเมล็ดข้าวเปลือกในแต่ละวิธีการเร่งความเก่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

และชุดควบคุมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยวิธีการเร่งความเก่าและชุดควบคุมมีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ของอะไมโลสอยู่ในช่วง 17-18 เปอร์เซ็นต์ แต่ระยะเวลาการเก็บรักษาทำให้เปอร์เซ็นต์อะไมโลสเพิ่มขึ้นตามอายุการเก็บรักษา ในขณะที่ กฤษณา (2552) รายงานว่าเมื่อนำข้าวสารขาวดอกมะลิ 105 ไปผ่าน RF ทำให้มีเปอร์เซ็นตอะไมโลสเพิ่มขึ้น จากเปอร์เซ็นต์อะไมโลสของชุดควบคุม คือ 14.10 เปอร์เซ็นต์ หลังจากนำไปผ่าน RF ที่ 27.17 MHz อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 150 วินาที พบว่ามีปริมาณอะไมโลส เพิ่มขึ้นเป็น 17.68 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สอดคล้องกับงานวิจัยของ ณคณิณ (2551) พบว่าการนำข้าวสารขาวดอกมะลิ 105 มาผ่านคลื่นความถี่วิทยุตั้งแต่ 40-60 องศาเซลเซียส พบว่ายิ่งอุณหภูมิสูงขึ้นเปอร์เซ็นต์อะไมโลสเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย โดยที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เปอร์เซ็นต์อะไมโลสมีค่าเท่ากับ 17.35 และชุดควบคุมมีเปอร์เซ็นต์อะไมโลส มีค่าเท่ากับ 15.17 อะไมโลสที่สูงขึ้นทำให้ข้าวเมื่อหุงสุกแล้วมีความเหนียวลดลง หรือมีความร่วนมากขึ้น ในทำนองเดียวกันกับการใช้ความร้อนจากแหล่งอื่น พบว่าข้าวสารที่ผ่านการลดความชื้นแบบตากแดด และใช้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส แล้วเก็บรักษาภายใต้การบรรจุภัณฑ์ต่าง ๆ คือ การบรรจุภัณฑ์โดยใช้ถุงพลาสติก polyethylene และถุงพลาสติก nylon laminate ปิดผนึกด้วยความร้อน และใช้ถุงพลาสติก nylon laminate ในการบรรจุภัณฑ์แบบสุญญากาศและอัดก๊าซ CO_2 40 , CO_2 80 , N_2 40 และ N_2 80 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตรอากาศภายในถุงบรรจุภัณฑ์ แล้วเก็บรักษาภายใต้การบรรจุภัณฑ์ทั้ง 7 แบบ เป็นระยะเวลานาน 8 เดือน พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมี และกายภาพใกล้เคียงกัน โดยมีเปอร์เซ็นต์อะไมโลสเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์อะไมโลสของข้าวสารที่เก็บรักษามีค่าอยู่ในช่วง 18.6 - 23.8 เปอร์เซ็นต์ และ 18.0 - 22.9 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ขนิษฐา, 2547)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved