บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

ข้าว

ข้าวเป็นพืชตระกูลหญ้าจัดอยู่ใน Genus: *Oryza* Family: Gramineae ปัจจุบันมีข้าวมากกว่า 24 ชนิด (มรกต และศิริพร, 2547) พันธุ์ข้าวที่มนุษย์เพาะปลูกในปัจจุบันพัฒนามาจากข้าวป่าในตระกูล *Oryza gramineae* สันนิษฐานว่า พืชสกุล *Oryza* มีถิ่นกำเนิดในเขตร้อนชื้นของทวีป Gondwanaland ก่อนผืนดินจะเคลื่อนตัว และเคลื่อนออกจากกันเป็นทวีปต่าง ๆ เมื่อ 230-600 ล้านปีมาแล้ว จากนั้นกระจายจากเขตร้อนชื้นของอัฟริกา เอเชียใต้ เอเชียตะวันออกเฉียงเหนือ ออสเตรเลีย อเมริกากลาง และอเมริกาใต้ มนุษย์ได้คัดเลือกข้าวป่าชนิดต่าง ๆ ตามความต้องการของตน มีการผสมพันธุ์ข้ามระหว่างข้าวที่ปลูกกับวัชพืชที่เกี่ยวข้องทำให้เกิดข้าวพื้นเมืองมากมายหลายสายพันธุ์ เพื่อให้สอดคล้องกับระบบนิเวศน์ ซึ่งทำให้ได้ผลผลิตสูง ปลูกได้ตลอดปี ก่อให้เกิดพันธุ์ข้าวปลูกที่เรียกว่า ข้าวลูกผสมซึ่งมีปริมาณ 120,000 พันธุ์ทั่วโลก ข้าวที่ปลูกในปัจจุบันแบ่งออกเป็นข้าวอัฟริกา และข้าวเอเชีย ข้าวอัฟริกา (*Oryza glaberrima*) แพร่กระจายอยู่เฉพาะบริเวณเขตร้อนของอัฟริกาเท่านั้น ข้าวเอเชียเป็นข้าวลูกผสม เกิดจาก *Oryza sativa* กับข้าวป่า มีถิ่นกำเนิดบริเวณประเทศอินเดีย บังคลาเทศ และเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ปลูกกันอย่างแพร่หลายตั้งแต่อินเดีย ตอนเหนือของบังคลาเทศ บริเวณดินแดนสามเหลี่ยมระหว่างพม่า ไทย ลาว เวียดนาม และจีนตอนใต้

ข้าวเอเชีย (*Oryza sativa*) แบ่งออกเป็น 3 สายพันธุ์ คือ

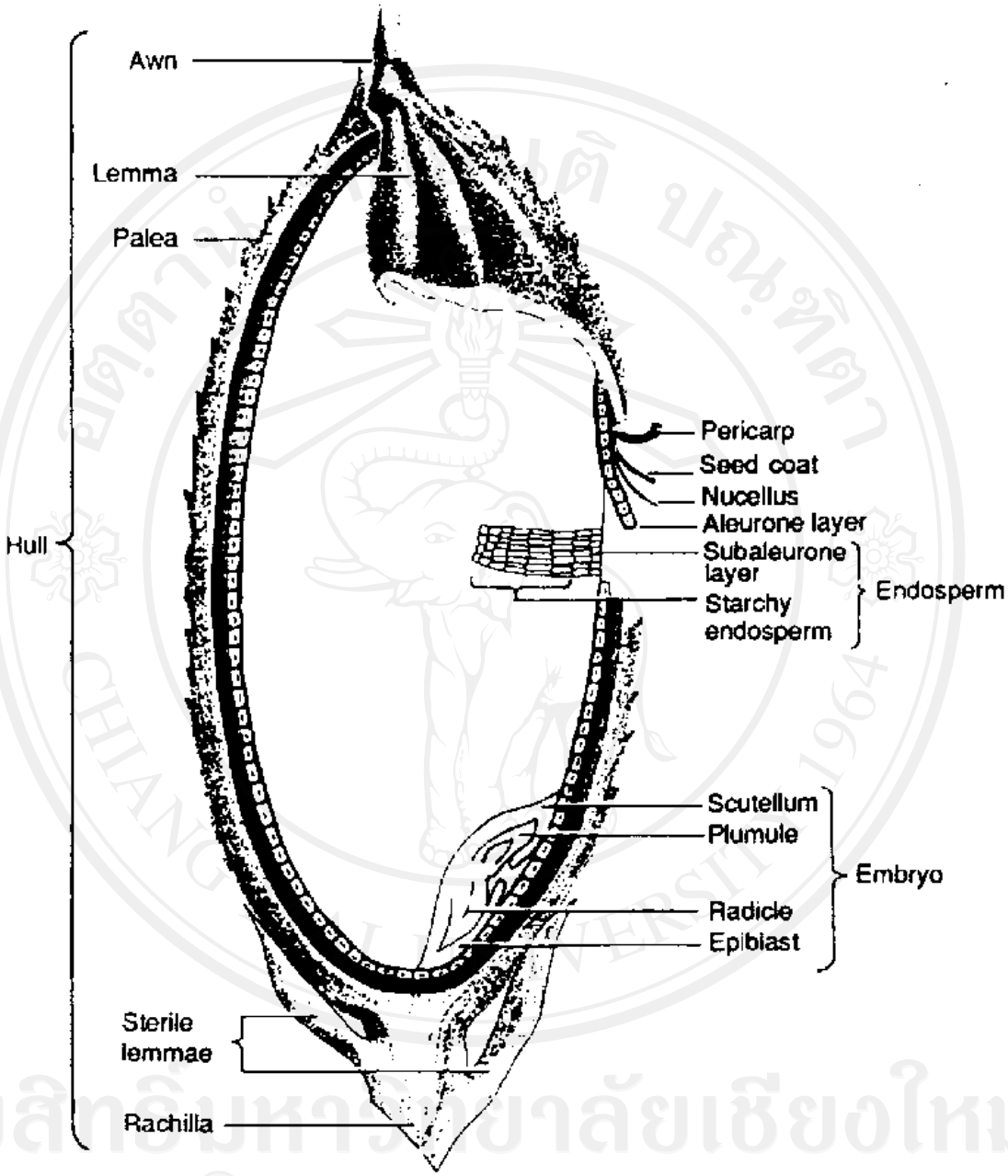
1. ข้าวสายพันธุ์ Senica หรือ Japonica ปลูกบริเวณแม่น้ำเหลืองของจีน แพร่ไปยังเกาหลี และญี่ปุ่น เมื่อประมาณ 300 ปีก่อนคริสต์ศักราช เป็นข้าวเมล็ดป้อม

2. ข้าวสายพันธุ์ Indica เป็นข้าวเมล็ดยาวให้ผลผลิตค่อนข้างต่ำแต่สามารถปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมได้ง่าย มักปลูกในเขตร้อน แพร่สู่ตอนใต้ของอินเดีย ศรีลังกา แหลมมาลายู หมู่เกาะต่าง ๆ และลุ่มแม่น้ำแยงซีของจีนประมาณคริสต์ศักราช 200

3. ข้าวสายพันธุ์ Javanica ข้าวชวา ปลูกในอินโดนีเซีย ประมาณ 1,084 ปีก่อนคริสต์ศักราช จากนั้นแพร่ไปยังฟิลิปปินส์ และญี่ปุ่น (มูลนิธิข้าวไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2551)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โครงสร้างของเมล็ดข้าว



ภาพ 2.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว (Juliano, 1985)

โครงสร้างทั่วไปของเมล็ดข้าว

เมล็ดข้าวเป็นผลชนิด caryopsis มีเยื่อหุ้มเมล็ด (testa) อยู่ติดกับผนังรังไข่ (ovary wall) เมล็ดข้าวประกอบด้วย

1. แกลบ (hull หรือ husk) เป็นส่วนที่ห่อหุ้มเมล็ดข้าว ประกอบด้วยเปลือกใหญ่ (lemma) เปลือกเล็ก (palea) หาง (awn) ขั้วเมล็ด (rachilla) และกลีบรองเมล็ด (sterile

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

lemmae) เปลือกใหญ่จะปกคลุมอยู่ 2 ใน 3 ของเนื้อที่เมล็ด เปลือกเล็กจะยึดแน่นอยู่ภายในส่วนของเปลือกใหญ่ด้วยโครงสร้างที่มีลักษณะคล้ายตะขอ (hooklike structure) ดังนั้นเปลือกข้าวจึงปิดแน่น องค์ประกอบส่วนใหญ่ภายในเปลือกข้าว ได้แก่ ลิกนิน เซลลูโลส และเถ้า

2. ข้าวกล้อง (brown rice) เป็นส่วนที่ใช้บริโภคประกอบด้วยคัพภะ (embryo) และส่วนที่เป็นแป้ง (starchy endosperm) ข้าวกล้องประกอบด้วย

1. เยื่อหุ้มข้าวกล้อง (caryopsis coat) ประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 3 ชั้น ได้แก่
   - เยื่อชั้นนอก (pericarp) เป็นส่วนผิวนอกของข้าวกล้อง มีความหนาประมาณ 10 ไมครอน หรือร้อยละประมาณ 4-5 ของน้ำหนักเมล็ด มีลักษณะเป็นคลื่น
   - เยื่อหุ้มเมล็ด (seed coat) เป็นส่วนที่อยู่ต่อจากเยื่อหุ้มผล เซลล์ชั้นเดียวมีความหนาประมาณ 0.5 ไมครอน
   - เยื่อคั่น (nucellus)
2. เยื่อหุ้มเนื้อเมล็ด (aleurone layer) อยู่ด้านในต่อจากเยื่อคั่น (nucellus) มีลักษณะเป็นเซลล์รูปสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ ผนังเซลล์หนา เยื่อหุ้มเมล็ดเป็นเนื้อเยื่อชนิดเดียวกับเนื้อเมล็ด (endosperm) เซลล์ของเยื่อหุ้มเมล็ดประกอบด้วยโปรตีน และไขมัน
3. ส่วนที่เป็นแป้ง (starchy endosperm) หรือส่วนที่เป็นข้าวสารจะอยู่ชั้นในสุดของเมล็ดประกอบด้วยแป้งเป็นส่วนใหญ่ และมีโปรตีนอยู่บ้าง
4. คัพภะ (embryo) เป็นส่วนที่ติดอยู่กับส่วนที่เป็นแป้งทางด้านท้องของเมล็ด (ventral side) คัพภะเป็นส่วนที่จะเจริญเป็นต้นอ่อนต่อไป ดังนั้นจึงประกอบด้วย ต้นอ่อน (plumule) รากอ่อน (radicle) เยื่อหุ้มต้นอ่อน (coleoptile) เป็นต้น
5. เอ็นโดสเปิร์ม (endosperm) คือส่วนที่เป็นข้าวสาร ในส่วนนี้มีแป้งเป็นองค์ประกอบหลัก แป้งข้าวจะอยู่รวมกันเป็นกลุ่ม (starch compound) กลุ่มแป้งหลาย ๆ กลุ่มจะอยู่รวมกันเป็น micelles โดยมีกลุ่มโปรตีน (protein body) แทรกอยู่ภายใน เมล็ดข้าวสารนี้มีแป้งแทรกอยู่ประมาณร้อยละ 84-93 โดยน้ำหนัก แป้งข้าวแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ อะไมโลส (amylose) และอะไมโลเปคติน (amylopectin) (กัญญา, 2547)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

คุณภาพข้าว

คุณภาพข้าวเป็นตัวกำหนดราคาข้าว ซึ่งคุณภาพข้าวมีความหมายครอบคลุมถึงคุณสมบัติเมล็ดทางกายภาพ และทางเคมีที่เกี่ยวกับการหุงต้มรับประทาน ซึ่งมีความแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ โดยทั่วไปมักจะได้ยินเสมอว่า ข้าวคุณภาพดีย่อมขายได้ราคาดี หรือคนส่วนใหญ่นิยมบริโภคข้าวคุณภาพดี (สถาบันวิจัยข้าว, 2550)

1. คุณภาพทางกายภาพ

คุณภาพทางกายภาพ หมายถึง คุณสมบัติต่าง ๆ ของเมล็ดที่สามารถมองเห็น ภายนอกของเมล็ดที่เห็นได้ง่าย ได้แก่ สีของข้าวกล้อง ขนาดของเมล็ดและข้าวท้องไข่ (งามชื่น, 2538)

ลักษณะทางกายภาพของข้าว ประกอบด้วย

น้ำหนักเมล็ด (grain weight)

น้ำหนักเมล็ดเป็นลักษณะที่ถูกควบคุมโดยพันธุกรรม และจะแปรปรวนไปตามสภาพแวดล้อม เช่น ชนิดของดิน การใส่ปุ๋ยและความชื้น

สีเปลือกข้าว (hull color)

สีเปลือกข้าวเป็นลักษณะประจำพันธุ์ เปลือกเมล็ดข้าวจะมีผลต่อการสีของข้าวนึ่ง กล่าวคือ เมล็ดข้าวเปลือกมีสีเข้ม ข้าวสารนึ่งจะมีสีเข้มด้วย

สีเนื้อเยื่อหุ้มเมล็ด (pericarp color)

สีเนื้อเยื่อหุ้มเมล็ดของจะแสดงออกที่เยื่อหุ้มเมล็ด (pericarp) ส่วนที่เป็นแป้ง (endosperm) ของข้าวทุกชนิดจะมีสีเสมอกัน

ขนาดรูปร่างเมล็ด (grain dimension)

ขนาดรูปร่างเมล็ด ได้แก่ ความยาว (length) ความกว้าง (width) ความหนา (thickness) และรูปร่างของเมล็ด (shape) ขนาดรูปร่างของเมล็ดพันธุ์ข้าวเป็นลักษณะประจำพันธุ์ มีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับสถานที่ปลูก และสภาพพื้นที่

ลักษณะท้องไข่ (chalkiness)

ลักษณะท้องไข่ในเมล็ดข้าว เกิดจากการจับตัวกันอย่างหลวม ๆ ของเม็ดแป้ง (starch granule) กับโปรตีน (protein body) ในส่วนที่เป็นแป้งของเมล็ด (endosperm) จะมีลักษณะขุ่น ขาว โดยมีชื่อเรียกแตกต่างกันไป

ความขาวของข้าวสาร (milled rice whiteness)

ข้าวที่ผ่านการขัดสีจนเป็นข้าวสารแล้วจะมีสีขาวเสมอ เพราะเหลือเฉพาะส่วนที่เป็นแป้งของเมล็ด ความขาวของข้าวสารจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างประกอบ เช่น ระดับสีองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดข้าว ระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวเปลือก เป็นต้น ความขาวของ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ข้าวสารซึ่งจำแนกโดยระดับการสีจะเป็นตัวกำหนดชั้นของข้าว เช่น ข้าว 100 เปอร์เซ็นต์จะต้องมีระดับการสีเป็นสีดีพิเศษ ซึ่งหมายถึง การสีเอาสิ่งต่าง ๆ ออกหมดไม่มีรำอยู่เลยจนข้าวมีลักษณะใสงามเป็นพิเศษ หรือข้าว 45 เปอร์เซ็นต์ มีชั้นของการสีเป็นสีธรรมดา หมายถึงการสีที่ไม่เต็มที่ สีขาวปานกลาง ส่วนสีข้าวนึ่ง ซึ่งมีตั้งแต่น้ำตาลอ่อนถึงเข้มนั้นเกิดจากกรรมวิธี และวัตถุดิบที่ใช้

ความใสขุ่นของข้าว (grain translucency)

ความใสขุ่นของข้าวสารเป็นคนละลักษณะกับท้องไข่ หมายถึง ความทึบแสง หรือความใสของเนื้อข้าวสารทั้งเมล็ด สามารถสังเกตเห็นความแตกต่างได้ในข้าวเจ้า ปัจจุบันยังไม่พบสาเหตุของความใสขุ่นของข้าวสาร แต่คาดว่าเนื่องจากพันธุ์ข้าว และสภาพพื้นที่ปลูก เช่น ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือจะมีเมล็ดใสกว่าข้าวที่ปลูกในภาคกลาง เป็นต้น (กัญญา, 2547)

2. คุณภาพทางเคมี

คาร์โบไฮเดรต (carbohydrate)

คาร์โบไฮเดรต แบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม คือ แป้ง (starch) เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) เซลลูโลส (cellulose) และน้ำตาล (sugar) แต่คาร์โบไฮเดรตที่สำคัญในข้าว ส่วนใหญ่ คือ แป้ง ซึ่งประกอบด้วยอะไมโลส และอะไมโลเปคติน (อรอนงค์, 2532)

อะไมโลเปคติน (amylopectin content) เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดจากการรวมตัวของโมเลกุลของกลูโคส (glucose) จำนวนมาก และมีโครงสร้างเชื่อมต่อกันแบบแยกเป็นกิ่งก้านสาขา (branched chain) อะไมโลเปคตินเมื่อย้อมสีด้วยสารละลายไอโอดีนจะเป็นสีน้ำตาลแดง (red brown) เมื่อทำให้สุก (gelatinized) ในน้ำเดือดจะค่อนข้างคงสภาพได้นาน และเป็นส่วนที่ทำให้ข้าวสุกเหนียวติดกัน

อะไมโลส (amylose content) เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดจากการรวมตัวของกลูโคสจำนวนมากเช่นกันแต่มีโครงสร้างต่อกันเป็นแนวยาว (linear chain) เมื่อย้อมด้วยสารละลายไอโอดีนจะมีสีน้ำเงิน เมื่อทำให้สุกในน้ำเดือด และทำให้เย็นจะเกิดการคืนตัวเป็นของแข็ง (retrogradation) ขึ้น ทำให้ความสามารถในการละลายน้ำลดลง และมีผลให้ข้าวสุกร่วนและแข็งกระด้างมากขึ้น ในแป้งข้าวจะมีอะไมโลสเป็นส่วนรอง โดยอยู่ปะปนกับอะไมโลเปคติน

แม้ว่าแป้งข้าวจะมีปริมาณอะไมโลเปคตินมากกว่าอะไมโลส แต่โดยทั่วไปมักนิยมแบ่งประเภทข้าวโดยถืออะไมโลสเป็นหลัก ทั้งนี้ เมื่อกล่าวถึงเปอร์เซ็นต์อะไมโลส มักมีความหมายว่าส่วนที่เหลือของแป้งเป็นอะไมโลเปคติน อัตราส่วนของอะไมโลส และอะไมโลเปคตินเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ข้าวสุกมีคุณสมบัติแตกต่างกัน (งามชื่น, 2547) ข้าวที่มีอะไมโลสสูงจะดูดน้ำ และขยายปริมาตรในการหุงได้ดีกว่าข้าวที่มีอะไมโลสต่ำ มีผลทำให้ข้าวหุงขึ้นหม้อ ดังนั้น สัดส่วน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ของอะไมโลส และอะไมโลเปคตินมีผลต่อคุณภาพการหุง คือ อะไมโลเปคตินทำให้ข้าวสุกเหนียว ในขณะที่อะไมโลสทำให้ความเหนียวของข้าวลดลง (หยาดฝน, 2548) เช่น แป้งข้าวเหนียวมีปริมาณอะไมโลเปคตินมาก หรือมีอะไมโลสปนอยู่เพียงเล็กน้อย ในแป้งข้าวเจ้าจะมีอะไมโลสปนอยู่ประมาณ 10-34 เปอร์เซ็นต์

เนื่องจากคุณสมบัติการคืนตัวของอะไมโลสที่สุกแล้ว (retrogradation) ได้มีการจัดแบ่งประเภทข้าวตามปริมาณอะไมโลส ดังในตาราง 2.1 ข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูงจะดูดน้ำได้มากในระหว่างการหุงต้ม ดังนั้น ปริมาณน้ำที่ใช้ในการหุงต้มจึงมีผลกระทบต่อคุณภาพข้าวสุก เช่น ข้าวอะไมโลสต่ำต้องการน้ำน้อย หากใส่น้ำมากเกินไปจะได้ข้าวสุกแฉะเละ แต่สำหรับข้าวที่มีอะไมโลสสูง หากใส่น้ำปริมาณเท่ากับการหุงต้มข้าวอะไมโลสต่ำจะได้ข้าวสวยที่แข็งกระด้างมาก เนื่องจากการหุงต้มข้าวอะไมโลสสูงต้องการน้ำมาก และเมื่อสุกแล้วจะได้ข้าวสวยร่วนฟูไม่เหนียวติดกัน จึงทำให้ข้าวสุกขยายปริมาตรมาก หรือข้าวขึ้นหม้อดีกว่าข้าวอะไมโลสต่ำในขณะที่ข้าวอะไมโลสต่ำนั้นข้าวสวยจะมีลักษณะเหนียวเกาะติดกันเป็นก้อนจึงไม่ขึ้นหม้อ (งามชื่น, 2547) การนำข้าวสารมาผ่านที่อุณหภูมิสูง เปอร์เซ็นต์อะไมโลสจะเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย และอะไมโลสที่สูงขึ้นจะทำให้ข้าวเมื่อหุงสุกแล้วมีความเหนียวลดลง หรือมีความร่วนมากขึ้น (ณคณิณ, 2551)

ตาราง 2.1 การแบ่งประเภทข้าวตามปริมาณอะไมโลสในข้าวขาว

ประเภทข้าว	ปริมาณอะไมโลส (%)	ลักษณะข้าวสุก
ข้าวเหนียว	0-2	เหนียวมาก
ข้าวเจ้า		
- ข้าวอะไมโลสต่ำ	10-19	เหนียว-นุ่ม
- ข้าวอะไมโลสปานกลาง	20-25	ค่อนข้างร่วนไม่แข็ง
- ข้าวอะไมโลสสูง	26-34	ร่วน แข็ง

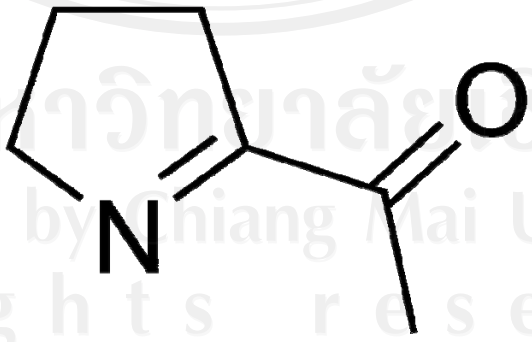
ที่มา: งามชื่น (2547)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารหอม 2-acetyl-1-pyrroline (2AP)

Buttery *et al.* (1983) ได้ทำการศึกษาโครงสร้างทางเคมีอินทรีย์ที่เป็นสารให้ความหอมในข้าว พบว่า สารระเหยที่เป็นสารให้ความหอมในข้าวคือ สาร 2-acetyl-1-pyrroline ซึ่งพบในพันธุ์ข้าวหอม และไม่หอมบางพันธุ์ แต่ในพันธุ์ข้าวหอมจะพบในปริมาณมากกว่าพันธุ์ข้าวไม่หอม ในข้าวดอกมะลิ 105 พบว่าปริมาณ 2-acetyl-1-pyrroline ใกล้เคียงกับพันธุ์ข้าวหอมอื่น ๆ เช่น พันธุ์ Milagrosa พันธุ์ IR841-76-1 และพันธุ์ Basmati 370

Mahatheeranont *et al.* (2001) ได้ทำการศึกษาสารอินทรีย์ที่เป็นสารให้ความหอมของข้าวขาวดอกมะลิ 105 พบว่า มีสารระเหยมากกว่า 140 ชนิด และมีเพียงสาร 2-acetyl-1-pyrroline เท่านั้น ที่มีบทบาทที่สุดในความหอมของข้าวสารขาวดอกมะลิ 105 สารหอม 2-acetyl-1-pyrroline มีลักษณะโครงสร้างทางเคมีเป็นสารประกอบในกลุ่ม pyrrole คือ วงแหวน 5 เหลี่ยม ที่มีไนโตรเจนเกาะอยู่ในวง และมีหมู่ acetyl เกาะอยู่กับคาร์บอน ในตำแหน่งที่ 2 ของวง มีสูตรโมเลกุล คือ C_6H_9NO มีมวลโมเลกุล 111.143 เป็นของเหลวใส ไม่มีสี และระเหยง่าย และสารหอม 2-acetyl-1-pyrroline นี้ยังพบมีปริมาณสูงมากในพืชตระกูลใบเตย (*Pandonus amaryllifolius* Roxb.) หรือ Fragrant screw pine ซึ่งมีปริมาณสูงถึง 1 ไมโครกรัมต่อกรัม (งามชื่น, 2547) และเหมือนหมาย (2548) พบว่า กลิ่นหอมของ 2-acetyl-1-pyrroline มีกลิ่นคล้ายข้าวโพดคั่ว



ภาพ 2.2 สูตรโครงสร้างทางเคมีของสารหอม 2-acetyl-1-pyrroline (Buttery *et al.*, 1983)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.2 ปริมาณของสาร 2-acetyl-1-pyrroline ในข้าวขาว และข้าวกล้องพันธุ์ที่มีกลิ่นหอมและไม่หอม

พันธุ์	ปริมาณของ 2-acetyl-1-pyrroline (ppm)	
	ข้าวขาว	ข้าวกล้อง
Malakit Sungsong	0.09	0.20
IR 841-76-1	0.07	0.20
Khao Dawk Mali 105	0.07	0.20
Milagrossa	0.07	-
Basmati 370	0.07	0.17
Seratus Malem	0.06	-
Azucena	0.04	0.16
Hiert	0.04	0.10
Texas long Grain**	<0.008	-
Carose**	<0.006	-

หมายเหตุ: **ข้าวไม่หอม

ที่มา: Buttery *et al*. (1983)

กลิ่นหอมของข้าวจะลดลงเมื่อเป็นข้าวเก่า เนื่องจากสารระเหยหอมค่อย ๆ ระเหยหายไป ปัจจัยที่ส่งเสริมให้กลิ่นหอมเสื่อมเร็วคือ ความร้อน และความชื้น ความร้อนจะช่วยส่งเสริมการระเหยของสารหอม แต่สำหรับความชื้นจะทำให้ข้าวเกิดกลิ่นเหม็นสาบ ซึ่งสามารถชะลอการสูญหายของกลิ่นหอม โดยการเก็บข้าวเปลือกในสภาพความชื้นต่ำ และโรงเก็บไม่ควรร้อนอบอ้าว จากการศึกษาพบว่า การเก็บข้าวหอมในสภาพข้าวเปลือก และข้าวสารในห้องเย็น 15 องศาเซลเซียส ช่วยรักษาคุณภาพข้าวสุกได้ใกล้เคียงกับข้าวใหม่แม้จะเก็บนานถึง 10 เดือน การเก็บข้าวสารในสภาพเปิด หรือถุงพลาสติกที่อากาศผ่านได้ ไม่ควรเกิน 4 เดือน เพราะข้าวจะมีกลิ่นสาบ และกลิ่นหอมลดลง การเก็บข้าวในถุงพลาสติกชนิด laminated หลายชั้นเพื่อลดการซึมผ่านของอากาศ และปิดผนึกภายใต้สุญญากาศจะช่วยชะลอการเสื่อมคุณภาพได้ เทคโนโลยีการขัดมันช่วยกำจัดเศษรำที่เกาะอยู่ตามผิวเมล็ดซึ่งช่วยชะลอการเกิดกลิ่นหืนจากน้ำมันรำข้าว ทำให้กลิ่นหอมของข้าวหอมมะลิเด่นชัดขึ้น (งามชื่น, 2547) เมธินี และคณะ (2546) พบว่าการเก็บรักษาข้าวที่อุณหภูมิต่ำทำให้การลดลงของสารหอม 2AP เกิดขึ้นอย่างช้า ๆ ละมุล และคณะ (2550) รายงานว่าการเป่าลมที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส ในระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกสามารถชะลอการลดลงของสารหอม 2AP ได้ดีที่สุด นอกจากนี้ บุญมี และคณะ (2548) รายงานว่า ข้าวที่ลดความชื้นด้วยการตากแดด และการลดความชื้นด้วยลมแห้งทำให้ข้าวมีกลิ่นหอมมากกว่าการใช้อุณหภูมิสูง

โปรตีน (protein)

โดยทั่วไปเอนโดสเปิร์มของข้าวมีโปรตีนประมาณร้อยละ 4-14 มากเป็นอันดับสอง รองจากแป้ง

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)

3. คุณภาพในการซื้อขาย

การประเมินคุณภาพข้าวในการซื้อขายนั้น สิ่งที่กำหนดราคาข้าวได้แก่

ความชื้น

ความชื้นมีบทบาทสำคัญในการกำหนดราคาข้าว ข้าวที่เก็บเกี่ยวในระยะที่เหมาะสม และนำมาลดความชื้นเหลือปริมาณ 13-15 เปอร์เซ็นต์ จะมีราคาสูงกว่าข้าวที่มีความชื้นสูง เนื่องจากข้าวแห้งที่มีความชื้นเหมาะสม สามารถทำการสีได้ทันทีโดยไม่ต้องนำมาลดความชื้นอีก แต่หากรับซื้อข้าวที่มีความชื้นสูงจะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการลดความชื้น ดังนั้นหากข้าวมีความชื้นเกินกว่าที่กำหนดจะถูกตัดราคา

ลักษณะทางกายภาพของข้าว

ลักษณะทางกายภาพของข้าวโดยการกะเทาะ และขัดสีเพื่อประเมินสีข้าวกล้อง ท้องไข่ ความใสขุ่นของเมล็ด และสิ่งเจือปนอื่น ๆ เช่น ข้าวแดง ข้าวเหลือง ข้าวเสีย หรือข้าวชนิดอื่นปน เป็นต้น ซึ่งลักษณะเหล่านี้ในปริมาณต่าง ๆ กัน จะเป็นตัวกำหนดราคาข้าว

คุณภาพสี

คุณภาพการสีเพื่อประเมินผลของการแปรสภาพจากข้าวเปลือกเป็นข้าวสาร ปริมาณข้าวรวม ข้าวเต็มเมล็ด ต้นข้าว ข้าวหักขนาดต่าง ๆ และปลายข้าว ซึ่งผลได้จากการขัดสีของข้าวที่รับซื้อจะเป็นค่าที่โรงสีใช้ประเมินได้จากการแปรสภาพในโรงสีจริง โดยทั่วไปโรงสีจะตั้งเกณฑ์ขั้นต่ำของผลได้จากการขัดสีของข้าวที่รับซื้อ หากข้าวที่เกษตรกรนำมาจำหน่ายมีผลได้จากการขัดสีต่ำกว่าเกณฑ์จะถูกตัดราคา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ประเภทของข้าว

ข้าวคุณภาพดี ตามความต้องการของตลาด และเป็นที่นิยมของผู้บริโภค มักมีราคาดีกว่าข้าวคุณภาพต่ำจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น ข้าว 100 เปอร์เซ็นต์ ข้าว 5 เปอร์เซ็นต์ ข้าว 10 เปอร์เซ็นต์ เป็นต้น ซึ่งข้าวในแต่ละชั้นนั้นจะมีมาตรฐานข้าวเป็นตัวกำหนดระดับชั้นดังกล่าว (กัญญา, 2547)

ข้าวขาวดอกมะลิ 105

ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่นิยมปลูกกันอย่างแพร่หลายในประเทศไทย มีต้นกำเนิดมาจากอำเภอบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทรา โดยนายสุนทร สีหะเนิน เป็นผู้รวบรวมพันธุ์ขึ้นในปี พ.ศ. 2493-2494 คณะกรรมการเลือกพันธุ์ได้ให้ชื่อว่า ขาวดอกมะลิ 4-2-105 เลข 4 หมายถึงเลขอำเภอบางคล้า เลข 2 หมายถึงพันธุ์ เลข 105 หมายถึงรวงที่ 105 ซึ่งเป็นรวงข้าวที่คัดเลือกมาได้ พื้นที่ปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 มีอยู่ทั่วทุกภาคของประเทศไทย (สถาบันวิจัยข้าว, 2550)

ข้าวขาวดอกมะลิ 105 เป็นหนึ่งในสายพันธุ์ข้าวหอมมะลิของไทย เป็นข้าวเจ้าที่มีคุณภาพแตกต่างจากข้าวขาวทั่วไปของไทย ข้าวขาวดอกมะลิ 105 เป็นข้าวเจ้าไวต่อช่วงแสง ต้นข้าวสูงประมาณ 140-150 เซนติเมตร ข้าวจะออกดอกประมาณวันที่ 20 ตุลาคม และสุกแก่เก็บเกี่ยวได้ประมาณวันที่ 20 พฤศจิกายนของทุกปี จะมีระยะพักตัวของเมล็ด ประมาณ 8 สัปดาห์ ขนาดเมล็ดข้าวกล้อง ยาว 7.5 มิลลิเมตร กว้าง 2.1 มิลลิเมตร หนา 1.8 มิลลิเมตร ลักษณะเมล็ดข้าวเปลือกจะมีเมล็ดเรียวยาว ก้นงอน สีฟาง ลักษณะเด่นของข้าวหอมมะลิ คือ เมล็ดอ่อนนุ่มเมื่อนำมาหุงต้ม ทนต่อสภาพแล้ง ทนต่อดินเปรี้ยว และดินเค็ม คุณภาพการขัดสีดี เมล็ดข้าวสารใส แข็ง มีท้องไข่น้อย นวดง่าย เนื่องจากเมล็ดหลุดร่วงจากรวงได้ง่าย เป็นที่ต้องการของตลาด ขายได้ราคาดี และที่สำคัญคือ มีกลิ่นหอม (วิไลภรณ์, ม.ป.ป) ซึ่งกลิ่นหอมของข้าวมาจากสาร 2-acetyl-1-pyrroline (งามชื่น, 2547)

มาตรฐานข้าวหอมมะลิ

ปี พ.ศ. 2544 กรมการค้าต่างประเทศได้ปรับปรุงมาตรฐานข้าวหอมมะลิไทยอีกครั้ง โดยมีนิยามว่า “ข้าวหอมมะลิไทย” หมายถึง ข้าวกล้อง และข้าวขาวที่แปรรูปจากข้าวเปลือกเจ้า พันธุ์ข้าวหอมที่ไวต่อแสง ซึ่งผลิตในประเทศไทยในฤดูนาปี และกรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์การเกษตรประกาศรับรอง ได้แก่ พันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 และพันธุ์ กข 15 ซึ่งเป็นพันธุ์ที่ได้จากการนำเอาข้าวขาวดอกมะลิ 105 ไปอาบรังสี 15 กิโลแรต เพื่อชักนำให้เกิดการกลายพันธุ์ (กรมการข้าว, 2552) ซึ่งข้าวหอมมะลิจะมีกลิ่นหอมธรรมชาติ ขึ้นอยู่กับว่าเป็นข้าวใหม่ หรือข้าวเก่า เมื่อหุงเป็นข้าวสวยแล้วเมล็ดข้าวสวยจะอ่อนนุ่ม ทั้งนี้ได้ระบุให้ “สินค้าข้าวหอมมะลิไทย”

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ต้องมีมาตรฐานดังนี้ คือ มีข้าวหอมมะลิไทยไม่น้อยกว่า 92 เปอร์เซ็นต์ มีความชื้นไม่เกิน 14 เปอร์เซ็นต์ เป็นข้าวเมล็ดยาวมีความขาว ท้องไข่น้อยโดยธรรมชาติ ไม่มีแมลงที่ยังมีชีวิตอยู่ ขนาดเมล็ดมีความยาวเฉลี่ยของข้าวเต็มเมล็ดที่ไม่มีส่วนใดหักต้องไม่ต่ำกว่า 7 มิลลิเมตร อัตราส่วนความยาวเฉลี่ยต่อความกว้างเฉลี่ยของข้าวเต็มเมล็ดที่ไม่มีส่วนใดหักต้องไม่ต่ำกว่า 3:2:1 มีคุณสมบัติทางเคมี ดังนี้ มีปริมาณอะไมโลสไม่ต่ำกว่า 13 เปอร์เซ็นต์ และไม่เกิน 18 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์ มีค่าการสลายเมล็ดข้าวในด่าง ระดับ 6-7 (กรมการค้าต่างประเทศ, 2551)

นอกจากนี้ยังได้มีการรับรองมาตรฐานข้าวหอมมะลิบรรจุถุงจำหน่ายภายในประเทศ โดยกรมการค้าภายใน กระทรวงพาณิชย์ ได้ให้มาตรฐานไว้ว่า “ข้าวหอมมะลิ” หมายถึง ข้าวกล้อง และข้าวขาวที่แปรรูปมาจากข้าวเปลือกเจ้าพันธุ์ข้าวหอมที่ไวต่อช่วงแสง และกรมวิชาการเกษตรรับรองว่าเป็นพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และพันธุ์ กข 15 ซึ่งมีกลิ่นหอมตามธรรมชาติขึ้นอยู่กับว่าเป็นข้าวใหม่ หรือข้าวเก่า เมื่อหุงเป็นข้าวสวยแล้ว เมล็ดข้าวสวยจะอ่อนนุ่ม มีปริมาณอะไมโลส 13-18 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์ และมีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ ซึ่งมีค่าการสลายเมล็ดในด่างระดับ 6-7

มาตรฐานข้าวหอมมะลิที่จะอนุญาตให้ใช้เครื่องหมายรับรองมาตรฐานข้าวหอมมะลิบรรจุถุงจำหน่ายภายในประเทศ แบ่งออกเป็น 8 ชนิด ดังต่อไปนี้ ข้าวขาวหอมมะลิ 100 เปอร์เซ็นต์ ข้าวขาวหอมมะลิ 5 เปอร์เซ็นต์ ข้าวขาวหอมมะลิ 10 เปอร์เซ็นต์ ข้าวขาวหักหอมมะลิเอวันเลิศพิเศษ ข้าวขาวหักหอมมะลิเอวันเลิศ ข้าวกล้องหอมมะลิ 100 เปอร์เซ็นต์ ข้าวกล้องหอมมะลิ 5 เปอร์เซ็นต์ และข้าวกล้องหอมมะลิ 10 เปอร์เซ็นต์ โดยเครื่องหมายรับรอง มี 2 ประเภท ประกอบด้วย เครื่องหมายรับรองมาตรฐานทั่วไป และเครื่องหมายรับรองมาตรฐานดีพิเศษ (ข้าวหอมมะลิ ชั้น 1 ดีพิเศษ มีข้าวชนิดอื่นปนได้ไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งมีลักษณะดังต่อไปนี้

เครื่องหมายรับรองมาตรฐานทั่วไป เป็นรูปพนมมือในกรอบสี่เหลี่ยมจัตุรัส มีตัวหนังสือแสดงชนิดข้าวหอมมะลิอยู่ด้านบน และตัวหนังสือคำว่า “รับรองมาตรฐาน โดยกรมการค้าภายในกระทรวงพาณิชย์” อยู่ด้านล่าง โดยรูปพนมมือ ตัวหนังสือ และกรอบสี่เหลี่ยมจัตุรัสใช้สีทอง พื้นที่ว่างในกรอบใช้สีขาว

เครื่องหมายรับรองมาตรฐานดีพิเศษ เป็นรูปพนมมือในกรอบสี่เหลี่ยมจัตุรัส มีตัวหนังสือแสดงชนิดข้าวหอมมะลิอยู่ด้านบน และตัวหนังสือคำว่า “รับรองมาตรฐานดีพิเศษ โดยกรมการค้าภายใน กระทรวงพาณิชย์” อยู่ด้านล่าง โดยรูปพนมมือ ตัวหนังสือ ดาว และกรอบสี่เหลี่ยมจัตุรัสใช้สีทอง พื้นที่ว่างในกรอบใช้สีขาว (กรมการค้าภายใน, 2550)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพ 2.3 เครื่องหมายรับรองมาตรฐานดีพิเศษของข้าวหอมมะลิบรรจุถุง

ความเสียหายเนื่องมาจากแมลงในโรงเก็บ

ผลผลิตทางการเกษตรที่นำมาเก็บไว้ในโรงเก็บ หรือในโกดังมักจะเกิดความเสียหายโดยมีปัจจัยที่เป็นสาเหตุสำคัญ 2 ประการคือ ปัจจัยทางกายภาพ (physical factor) ได้แก่อุณหภูมิ และความชื้นในอากาศ ปัจจัยทางชีวภาพ (biological factor) ได้แก่ แมลง ไร เชื้อรา นก หนู แต่แมลงถือเป็นศัตรูที่สำคัญ และทำความเสียหายให้ผลิตผลมากที่สุด เนื่องจากแมลงมีขนาดเล็ก ต้องการอาหารในการดำรงชีวิตน้อย สามารถขยายพันธุ์ได้รวดเร็ว และเจริญเติบโตได้ในเวลาอันสั้น ประกอบกับอุณหภูมิ และความชื้นในประเทศไทยเหมาะสมกับการแพร่ขยายพันธุ์ของแมลง ดังนั้นการแพร่ระบาดของแมลงจึงเป็นไปอย่างรวดเร็ว (สำนักวิจัย และพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร, 2548) แมลงศัตรูหลังการเก็บเกี่ยวเป็นปัญหาสำคัญที่พบอยู่ทั่วโลก แม้ว่าในแต่ละแห่งจะพบแมลงศัตรูที่สำคัญเฉพาะพืชเพียง 2-3 ชนิดเท่านั้น แต่เนื่องจากแมลงศัตรูโรงเก็บสามารถแพร่กระจายไปได้ทั่วโลกซึ่งเป็นลักษณะที่พิเศษกว่าแมลงชนิดอื่น ๆ คือ สามารถอาศัย และมีชีวิตอยู่ได้ในทุกสภาพอากาศ และภูมิภาคต่าง ๆ เนื่องจากแมลงเหล่านี้มีการเคลื่อนย้ายและแพร่กระจายไปได้อย่างกว้างขวางโดยติดไปกับผลิตผลที่เป็นสิ่งบริโภคที่มีการซื้อขายแลกเปลี่ยนกันทั่วโลก และยังเป็นไปได้อย่างรวดเร็วตามระบบค้า และการขนส่งที่ทันสมัยในยุคปัจจุบัน เราจึงพบว่าแมลงศัตรูผลิตผลเกษตรมีการแพร่ระบาดไปทั่วโลก และระบาดได้ตลอดปี (บุษรา, 2547) ลักษณะการทำลายของแมลงต่อผลิตผลเกษตร ได้แก่ การกัดกิน หรือแทะเล็ม ภายนอก (external feeder) คือการที่แมลงอาศัย และทำลายอยู่ภายนอกเมล็ด ทำความเสียหาย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เฉพาะภายนอกโดยทำให้เกิดขุย ผิวของเมล็ด หรือผลิตผลถูกทำลายคุณภาพ ตลอดจนถักใยให้เมล็ดพืช หรือผลิตผลมาเกาะติดกันเป็นก้อน รวมถึงพวกที่กัดกินเศษอาหาร แมลงประเภทนี้ได้แก่ ผีเสื้อข้าวสาร มอดแป้ง ไร เหาหนังสือ และการที่แมลงอาศัยกัดกินอยู่ภายในเมล็ด (internal feeder) คือการที่แมลงอาศัย และทำลายอยู่ภายในเมล็ด โดยตัวเต็มวัยของแมลงจะวางไข่อยู่ที่ผิวภายนอกเมล็ด เมื่อฟักไข่เป็นตัวหนอนเจาะเข้าไปภายในกัดกินเจริญเติบโตจนกระทั่งครบวงจรชีวิตตัวเต็มวัยจะเจาะเมล็ดออกมาทำให้เป็นรู และภายในเป็นโพรง แมลงประเภทนี้ได้แก่ ด้วงงวงข้าว ด้วงงวงข้าวโพด ผีเสื้อข้าวเปลือก และมอดหัวป้อม (สำนักวิจัย และพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว และแปรรูปผลิตผลเกษตร, 2548)

ความเสียหายของผลผลิตที่เกิดจากแมลงมีมากมาย โดยอาจแบ่งความเสียหายได้หลายประการ เช่น การสูญเสียน้ำหนัก (weight loss) ซึ่งเกิดจากการที่แมลงกัดกินเข้าทำลายเมล็ด การสูญเสียคุณค่าทางอาหาร (nutrition loss) คือการที่แมลงเข้าทำลายส่วนของ endosperm ในเมล็ด ซึ่งเป็นแหล่งอุดมไปด้วยวิตามิน การสูญเสียความงอก (germination loss) คือการที่แมลงเข้ากัดกินภายในเมล็ด ทำให้เมื่อนำเมล็ดไปเพาะ เมล็ดจะไม่สามารถงอกได้ หรืองอกได้ต้นไม่สมบูรณ์ การสูญเสียคุณภาพ (quality loss) คือการที่ผลผลิตถูกแมลงเข้าทำลาย และเกิดฝุ่นผง ชิ้นส่วน หรือของเสียของแมลงปนเปื้อนในเมล็ดทำให้คุณภาพของเมล็ดเสียหาย และก่อให้เกิดความชื้นจนเป็นเชื้อราได้ การสูญเสียเงิน (money loss) เมื่อแมลงเข้าทำลายผลผลิต ทำให้น้ำหนักผลผลิตลดลงมากทำให้เกิดการสูญเสียรายได้ และราคาผลผลิตตกต่ำลง และการสูญเสียชื่อเสียง (loss of goodwill) คือการที่แมลงเข้าทำลายผลผลิต ก่อให้เกิดการปนเปื้อน ทำให้ผู้ซื้อ และผู้บริโภคหมดความไว้วางใจในสินค้า ทำให้เสียชื่อเสียง (งามชื่น, 2548)

แมลงที่พบเข้าทำลายข้าวหลังการเก็บเกี่ยวในประเทศไทยมีหลายชนิด ดังนี้ ผีเสื้อข้าวเปลือก มอดหัวป้อม ด้วงงวงข้าว มอดแป้ง มอดฟันเลื่อย ผีเสื้อข้าวสาร มอดสยาม ผีเสื้อข้าวโพด ด้วงท้องแบน เหาหนังสือ และไรแป้ง เป็นต้น นอกจากแมลงศัตรูที่สำคัญดังกล่าวแล้วยังพบแมลงอื่น ๆ อีกหลายชนิด ซึ่งเป็นทั้งแมลงศัตรูทำลายผลผลิต และแมลงศัตรูธรรมชาติซึ่งเป็นศัตรูของแมลงเหล่านั้น แมลงบินอื่น ๆ ที่บินตามแสงไฟเข้าไปในโรงเก็บ และรวมถึงแมลงศัตรูในบ้านเรือนประเภท ยุง แมลงวัน และแมลงสาบ เป็นต้น การป้องกันกำจัดแมลงที่ดีจำเป็นจะต้องรู้จักชนิดของแมลง รูปร่าง ลักษณะ วงจรชีวิต และลักษณะการเข้าทำลาย จึงจะสามารถกำจัดได้อย่างมีประสิทธิภาพ (บุษรา, 2547)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อุณหภูมิสูงกับแมลง (lethal influence of high temperature)

แมลงถูกจัดให้เป็นสัตว์เลือดเย็น (poikilothermic or cold-blooded) แมลงจะดำรงอยู่ได้ต้องอยู่ภายใต้ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสม เรียกว่า “favorable range of temperature” หากระดับของอุณหภูมิสูง หรือต่ำมากจนเกินไป อาจมีผลให้แมลงตาย หรือชะลอการเจริญเติบโตได้ เนื่องจากแมลงไม่มีระบบกลไกที่จะควบคุมการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในร่างกายให้คงที่ อุณหภูมิในร่างกายของแมลงจะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมโดยรอบอยู่ตลอดเวลา ถึงแม้ว่าแมลงสามารถเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิร่างกายของมันไปตามสภาพแวดล้อมได้ แต่ในบางสภาวะก็ทำได้ในระดับที่ทนทานได้ หรือในช่วงของอุณหภูมิระยะหนึ่งเท่านั้น อุณหภูมิจึงเป็นปัจจัยทางกายภาพมีความสำคัญยิ่งต่อการดำรงชีพของแมลง โดยอุณหภูมิมีผลต่อการดำรงชีพและการอยู่รอดของแมลงใน 2 ลักษณะ คือ มีผลทางตรงต่อการเจริญเติบโต การพัฒนา และการอยู่รอดของแมลง ส่วนผลทางอ้อมนั้น ได้แก่ ความชื้น ปริมาณฝน ลม ความดันบรรยากาศ (David and George, 2007) แมลงเป็นสัตว์ขนาดเล็กมีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวของร่างกายกับปริมาตรในอัตราส่วนที่สูง ดังนั้นหากมีการสูญเสียน้ำเพียงเล็กน้อยจะมีผลรุนแรงต่อสมดุลของน้ำในร่างกายของแมลง (Chapman, 1998) และเมื่อแมลงได้รับความร้อนในอัตราที่ไม่ต่อเนื่อง แมลงจะมีการผลิต heat shock protein เพื่อให้ตัวเองอยู่รอด (David and George, 2007)

อุณหภูมิสูงมีผลต่อการตายของแมลง (lethal influence of high temperature) แมลงแต่ละชนิด และแต่ละสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน ย่อมมีความทนทานต่ออุณหภูมิสูงได้ไม่เท่ากัน รวมทั้งมีศักยภาพในการทนทานได้ในช่วงอุณหภูมิระดับหนึ่งเท่านั้น แต่หากอุณหภูมิสูงกว่านี้จะเกิดอันตรายแก่ชีวิตได้ ความทนทานต่ออุณหภูมิสูงของแมลงมีแตกต่างกันไปตามชนิดของแมลงและประสบการณ์ในการเผชิญต่อสภาพอุณหภูมิสูงของแมลงแต่ละชนิด การตายอันเนื่องมาจากอุณหภูมิสูงเกิดขึ้นเนื่องจากการขาดน้ำ และอัตราการเผาผลาญของร่างกายที่เพิ่มมากขึ้นทำให้สูญเสียพลังงานมาก และแมลงจะตายในที่สุด (Mason and Strait, 1998) การควบคุมแมลงโดยการใช้อุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียส ติดต่อกันทำให้แมลงบางชนิดหยุดการเจริญเติบโต และตายได้ หากใช้อุณหภูมิระหว่าง 55-60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง หรือ อุณหภูมิระหว่าง 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที จะทำให้แมลงทุกชนิดตายหมด (กรมการข้าว, 2551) ที่อุณหภูมิ 25-32 องศาเซลเซียส เป็นช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมในการดำรงชีวิต และแพร่ขยายพันธุ์ของแมลงศัตรูโรงเก็บมากที่สุด อุณหภูมิตั้งแต่ 45 องศาเซลเซียส ขึ้นไป สามารถทำให้แมลงตายได้ภายใน 1 วัน โดยเฉพาะที่อุณหภูมิมากกว่า 62 องศาเซลเซียส ขึ้นไป สามารถทำให้แมลงตายได้ภายใน 1 นาที (ตาราง 2.3) (Banks and Fields, 1995)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.3 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อแมลงศัตรูโรงเก็บ

Temp (°C)	Effect
25-32	Optimum for development
33-35	Upper limit for reproduction for most stored product insects
36-42	Populations die out, mobile insects seek cooler zones
45-49	Death within a day
50-60	Death within an hour
Above 62	Death within a minute

ที่มา: Banks and Fields (1995)

มอดหัวป้อม

มอดหัวป้อม (ภาพ 2.4) มอดหัวไม้ขีด หรือมอดข้าวเปลือก (lesser grain borer) มีชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Rhyzopertha dominica* (Fabricius) อยู่ในวงศ์ Bostrichidae อันดับ Coleoptera มอดหัวป้อมเป็นแมลงขนาดเล็ก ทั้งตัวอ่อน และตัวเต็มวัยจะทำลายเมล็ดพืชให้ได้รับความเสียหาย (ภาพ 2.5) ตัวอ่อนจะอาศัย และกัดกินอยู่ภายในเมล็ดจนกลายเป็นตัวเต็มวัยจึงเจาะรูออกมา มอดหัวป้อมสามารถบินได้ไกลจึงทำให้เกิดการระบาดไปยังโรงเก็บอื่น ๆ ได้ง่าย ลักษณะของมอดหัวป้อมตัวเต็มวัย มีรูปร่างทรงกระบอกสีน้ำตาลเข้มปนแดง มีความยาวประมาณ 2.5-3.0 มิลลิเมตร ส่วนหัวสั้น และงุ้มซ่อนอยู่ใต้อกปล้องแรก ต้องมองดูด้านข้างจึงจะเห็น ส่วนหัวได้ชัด มองดูด้านบนจะดูเหมือนว่าส่วนของท่อนอกเหมือนส่วนของท่อนหัวจึงทำให้มีชื่อว่ามอดหัวป้อม หรือมอดหัวไม้ขีด ปีกคู่หน้ามีหลุม (puncture) อยู่ โดยเรียงเป็นแถวอย่างมีระเบียบ (Koehler and Pereira, 2008) ในแมลงตัวผู้ปล้องส่วนท้องทั้งหมดเป็นสีน้ำตาลส่วนตัวเมียปล้องท้องที่ 5 มีสีเหลืองอ่อน (Stemley and Wilber, 1996) ไข่ของมอดหัวป้อมมีลักษณะยาวรี ขนาด 0.52 ± 0.05 x 0.2 ± 0.01 มิลลิเมตร (ภาพ 2.6) มองด้วยตาเปล่าไม่เห็น มอดหัวป้อมวางไข่นอกเมล็ดข้าว และมักวางไข่เดี่ยว หรือเป็นกลุ่ม (Koehler and Pereira, 2008) ตัวเมียวางไข่ได้ 300-500 ฟอง โดยวางเป็นกลุ่มตามรอยแตก รอยกะเทาะบนเมล็ด หรือวางตามเศษผงในกองข้าว ไข่ฟักเป็นหนอนซึ่งมีลักษณะสีขาว (ภาพ 2.7) (บุษรา, 2547) ไข่ของมอดหัวป้อมฟักออกเป็นตัวหนอนในระหว่าง 4-8 วัน เมื่อหนอนฟักออกมาในระยะแรกเริ่มกินอาหารรอบ ๆ ตัว และจึงเริ่มเข้ากัดกินเมล็ดที่อยู่ในสภาพดีหลังการลอกคราบครั้งที่สอง ตัวหนอนจะลอกคราบประมาณ 4-5 ครั้ง จึงโตเต็มที่ ตัวหนอนมีลักษณะโค้งเป็นตัว C มีสีขาวขุ่น ส่วนหัวพองมาก และมีขาเล็ก ๆ 6 ขา หนอนที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โตเต็มที่ยาวประมาณ 2.5 มิลลิเมตร (ภาพ 2.8) และเข้าดักแด้อยู่ภายในเมล็ดซึ่งใช้เวลาประมาณ 1 สัปดาห์ (ภาพ 2.9) รวมระยะไข่ถึงตัวเต็มวัยประมาณ 1 เดือน (กุสุมา, 2526) โดยหลังจากที่มอดหัวป้อมลอกคราบครั้งสุดท้ายกลายเป็นตัวเต็มวัยอยู่ภายในเปลือก 3-5 วัน ก่อนที่จะเริ่มหาอาหารและออกมาจากเปลือกธัญพืช หลังจากนั้นประมาณ 15 วัน มอดหัวป้อมตัวเมียเริ่มวางไข่ไปจนถึง 4 เดือน และหลังจากที่หมดการวางไข่แล้วจะมีชีวิตอยู่ได้อีกไม่กี่วันก็จะตาย (Mason, no date) ตัวเต็มวัยมีชีวิตอยู่ นาน 5 เดือน หรือมากกว่านี้ (บุษรา, 2547) นอกจากกินแล้วมอดหัวป้อมมีนิสัยกัดทำลายอาหารจึงทำให้ทำลายเมล็ดพืชได้มาก (กุสุมา และคณะ, 2548) มอดหัวป้อมพบแพร่ระบาดในที่ที่มีการเก็บข้าวทั่วไป มอดหัวป้อมเป็นแมลงที่ทนต่อสภาพอากาศที่ค่อนข้างร้อนได้มากกว่าแมลงในโรงเก็บชนิดอื่น ๆ (กุสุมา และคณะ, 2548) ที่อุณหภูมิ 37.8 องศาเซลเซียส มอดหัวป้อมยังสามารถแพร่ขยายพันธุ์ได้ และอุณหภูมิสูงสุดที่มอดหัวป้อมสามารถมีชีวิตอยู่ได้คือ 38.2 องศาเซลเซียส (Dobie *et al*., 1985)

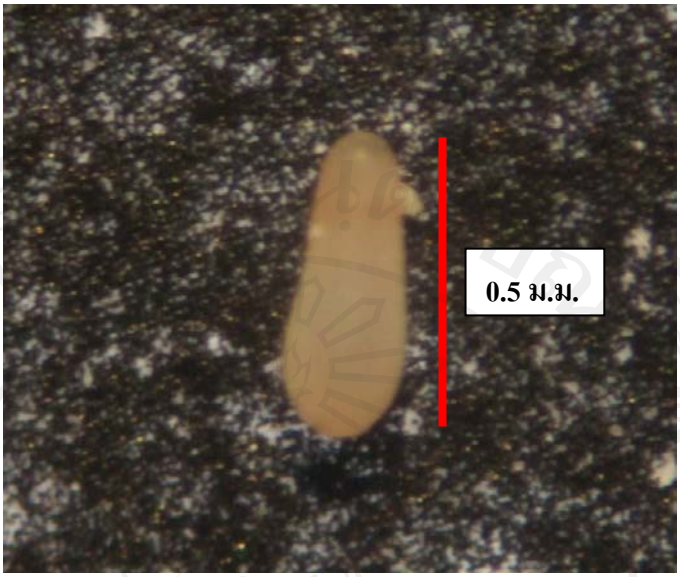
มอดหัวป้อม สามารถแพร่ขยายพันธุ์ และทำลายเมล็ดพันธุ์ได้รวดเร็ว ในระยะเวลาที่สั้น พบระบาดทั่วไปในที่เก็บข้าวเปลือก ข้าวสาลี ข้าวฟ่าง ข้าวสาร ข้าวบาร์เลย์ รำข้าวเจ้า รำข้าวสาลี อาหารสุนัข ถั่วต่าง ๆ รากไม้แห้ง มันสำปะหลังอัดเม็ด และไม้คอร์ก ระยะตัวหนอน และตัวเต็มวัยเป็นระยะที่เข้าไปกัดกินเมล็ดพืช และขับของเสียออกมา ทำให้เกิดผง หรือฝุ่นที่ก้นกระสอบ นอกจากทำลายผลิตผลทางการเกษตรแล้วมอดหัวป้อมยังสามารถเจาะทะลุภาชนะบรรจุเมล็ดพันธุ์หรือผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น กล่องกระดาษ ถุงพลาสติก ถุงผ้าดิบ เป็นต้น (กุสุมา, 2526)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

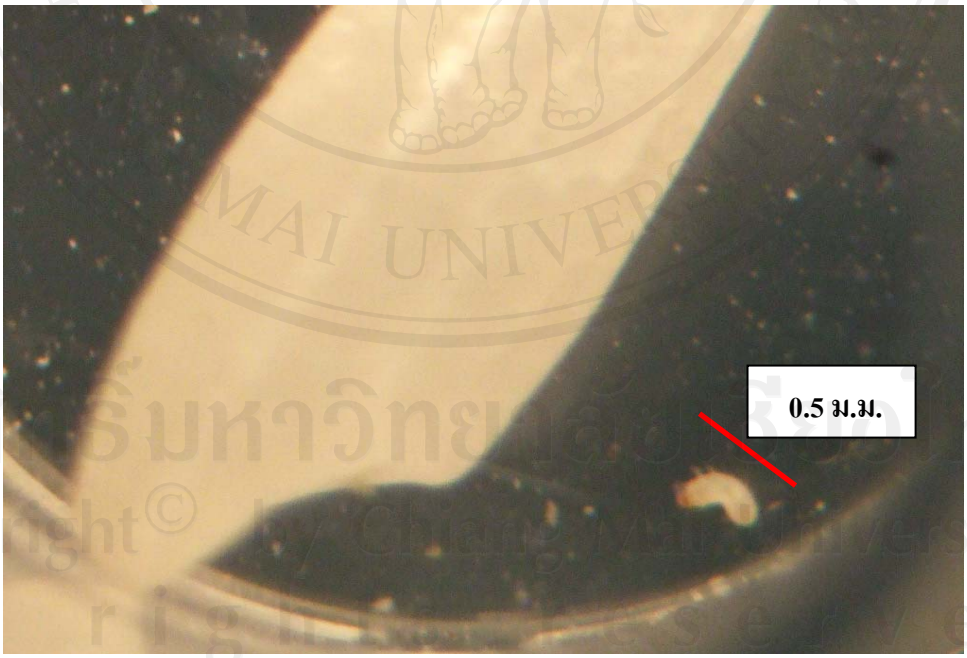
ภาพ 2.4 รูปร่างลักษณะของมอดหัวป้อมระยะตัวเต็มวัย

ภาพ 2.5 มอดหัวป้อม และข้าวสารที่ถูกมอดหัวป้อมทำลาย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

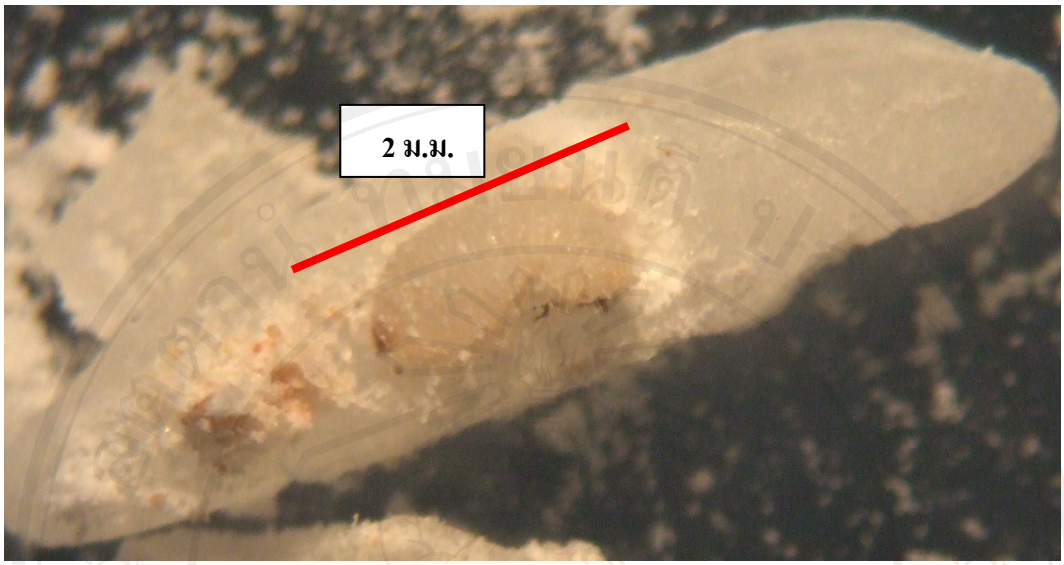


ภาพ 2.6 ไข่ของมอดหัวป้อม



ภาพ 2.7 รูปร่างลักษณะของมอดหัวป้อมระยะหนอนวัย 1

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 2.8 รูปร่างลักษณะของมอดหัวป้อมระยะหนอนวัย 5

ภาพ 2.9 รูปร่างลักษณะของมอดหัวป้อมระยะดักแด้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การป้องกันจำกัดมอดหัวป้อม

การป้องกันกำจัดมอดหัวป้อม ใช้ตามวิธีการกำจัดแมลงศัตรูโรงเก็บโดยทั่วไป สารฆ่าแมลง ที่ใช้สำหรับผลิตผลในโรงเก็บแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1. การใช้สารฆ่าแมลง (insecticide) มีทั้งชนิดเป็นของเหลว และเป็นผง มีคุณสมบัติในการฆ่าแมลง ทั้งถูกตัวตาย กินแล้วตาย การพ่นภายใน และภายนอกโรงเก็บ ควรทำหลังจากทำความสะอาดโรงเก็บเรียบร้อยแล้วก่อนที่จะนำผลิตผลเข้า โดยใช้สารฆ่าแมลง เช่น phoxim, fenitrothion และ chlorpyrifos methyl การพ่นแบบหมอกควัน จะต้องใช้เครื่องพ่นหมอกควัน (fogging machine) พ่นไปบนกองเมล็ดพืชที่เก็บไว้ในยุ้ง โรงเก็บ หรือห้องที่มีสภาพปิดได้มิดชิด เพื่อกำจัดแมลงจำพวกผีเสื้อ สารฆ่าแมลงที่ใช้ เช่น fenitrothion หรือ esbioallethrin และ deltamethrin

2. สารฆ่าแมลงชนิดรม (fumigant) ซึ่งเป็นสารเคมีที่เป็นพิษในรูปของไอ หรือควัน มีลักษณะเป็นเม็ดของเหลว หรือก๊าซ สารพิษจะออกฤทธิ์ในรูปก๊าซ ซึ่งมีผลทำให้แมลงตาย

ในปัจจุบันสารรมหลายชนิดถูกห้ามใช้ เนื่องจากทำให้เกิดผลเสียต่อผลผลิต และเป็นพิษต่อผู้บริโภคจึงเหลือสารรมที่ใช้ได้อยู่น้อยชนิด ได้แก่ methyl bromide, phosphine และ CO_2 (บุษรา, 2547) methyl bromide แม้จะมีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดแมลงศัตรูพืช แต่ methyl bromide เป็นสารที่สามารถทำลายชั้นบรรยากาศโอโซนได้ ซึ่งสามารถทำลายชั้นบรรยากาศโอโซนเท่ากับ 0.6 เท่า ของสาร CFC-11 ดังนั้น methyl bromide จึงถูกกำหนดให้เป็นสารควบคุมภายใต้พิธีสารมอนทรีออล ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของอนุสัญญาเวียนนาว่าด้วยการป้องกันชั้นบรรยากาศโอโซน โดยถูกกำหนดให้ควบคุมปริมาณการใช้ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2538 และใน ปีพ.ศ. 2558 ให้เลิกการใช้ ยกเว้นการใช้สำหรับการกำจัดศัตรูพืชในผลิตผลทางการเกษตรก่อนการส่งออก และใช้ในวัตถุประสงค์เพื่อการกักกันพืชเท่านั้น (พนารัตน์, 2550) ในการใช้สารฆ่าแมลงในการกำจัดมอดหัวป้อมถือเป็นวิธีที่สะดวก รวดเร็ว นิยมใช้กันมาก โดยเฉพาะการรมและเมื่อมีการใช้เป็นประจำพบว่ามอดหัวป้อมสามารถต้านทานสารฆ่าแมลงได้ (Carvalho *et al.*, 1996)

บุษรา และคณะ (2537) รายงานว่า ผลจากการทดสอบความต้านทานของมอดข้าวเปลือกต่อสารรม phosphine พบว่า มอดข้าวเปลือกจากจังหวัดเชียงราย สุพรรณบุรี และสกลนคร แสดงความต้านทานต่อสารนี้ และมอดข้าวเปลือกจากจังหวัดเชียงรายต้านทานต่อสารรม phosphine สูงถึง 3 เท่า ของอัตราที่กำหนดไว้ทดสอบ Lorini and Galley (1999) พบว่า มอดหัวป้อมสามารถต้านทานสาร deltamethrin ได้ในประเทศบราซิล นอกจากนั้น จากการรายงานผลการทดลองความต้านทานสารฆ่าแมลงในมอดหัวป้อมจากประเทศบราซิล และอเมริกา พบว่า มอดหัวป้อมมี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การต้านทานสารเคมีในกลุ่ม organophosphate โดยมีค่าอัตราส่วนความต้านทาน (resistance ratio) ซึ่งได้จากค่าสัดส่วน LC_{50} ของประชากรมอดหัวป้อมที่ต้องการศึกษาต่อประชากรมอดหัวป้อมที่อ่อนแอในสารกลุ่ม organophosphate, malathion, pirimiphos และ chlorpyrifos methyl โดยมีค่าสัดส่วนความต้านทาน เป็น 2.1-12.2, 2.4-9.2 และ 5.6-167.9 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่ามอดหัวป้อมมีความต้านทานต่อ chlorpyrifos methyl สูงมากซึ่งไม่เคยมีการรายงานมาก่อนทั้งในประเทศสหรัฐอเมริกา และบราซิล (Carvalho *et al.*, 1996)

การนำความร้อนมาใช้ในการกำจัดมอดหัวป้อม Tilton and Schroeder (1963) รายงานว่าเมื่อนำเอามอดหัวป้อมระยะไข่ หนอน ดักแด้ มาผ่าน รังสี infrared ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 10 วินาที ทุกระยะมีอัตราการตาย 50 เปอร์เซ็นต์ และที่อุณหภูมิ 63 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 15 วินาที ทุกระยะมีอัตราการตาย 100 เปอร์เซ็นต์ Evans (1987) รายงานว่า การใช้วิธีการฉายรังสี (fluidized bed) ที่อุณหภูมิ 68 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 25 วินาที สามารถกำจัดมอดหัวป้อมระยะไข่ หนอน และดักแด้ ได้ 100 เปอร์เซ็นต์ และนอกจากนี้ Locatella and Traversa (1989) ได้นำมอดหัวป้อมระยะไข่ หนอน และดักแด้ มาผ่านคลื่น microwave ที่อุณหภูมิ 82 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 120 วินาที พบว่ามอดหัวป้อมทุกระยะมีอัตราการตาย 100 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic wave)

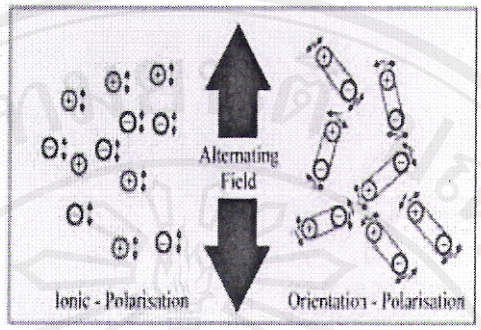
คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นคลื่นตามขวาง ประกอบด้วยสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กที่มีการสั่นในแนวตั้งฉากกัน และอยู่บนระนาบตั้งฉากกับทิศการเคลื่อนที่ของคลื่น คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นคลื่นที่เคลื่อนที่โดยไม่อาศัยตัวกลาง จึงสามารถเคลื่อนที่ในสุญญากาศได้ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เกิดจากการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic disturbance) โดยการทำให้สนามไฟฟ้าหรือสนามแม่เหล็กมีการเปลี่ยนแปลง เมื่อสนามไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงจะเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็ก หรือถ้าสนามแม่เหล็กมีการเปลี่ยนแปลงก็จะเหนี่ยวนำให้เกิดสนามไฟฟ้า สเปกตรัม (spectrum) ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะประกอบด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่และความยาวคลื่นแตกต่างกัน ซึ่งครอบคลุมตั้งแต่ คลื่นแสงที่ตามองเห็น อัลตราไวโอเลต อินฟราเรด คลื่นวิทยุ โทรทัศน์ ไมโครเวฟ รังสีเอกซ์ และรังสีแกมมา เป็นต้น (มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์, 2543)

คลื่นความถี่วิทยุ (radio frequency; RF)

คลื่นความถี่วิทยุ (radio frequency) คือ คลื่นความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่อยู่ในช่วงระหว่าง 3-300 MHz มีหลักการคือ การสร้างความร้อนจากการสั่นสะเทือนภายในโมเลกุลเนื่องจากโมเลกุลขวางทิศทางของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทำให้เกิดการสะสมพลังงานซึ่งเป็นการเพิ่มอุณหภูมิภายในโมเลกุล มีวิธีการคือ ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในความถี่ระดับคลื่นวิทยุปล่อยผ่านไปยังวัตถุที่มีพันธะโมเลกุล 2 ขั้ว ทำให้เกิดปรากฏการณ์เรียกว่า intermolecule friction และ hysteresis ซึ่งแรงต้านทานประจุไฟฟ้านี้จะทำให้ตัวของวัตถุเกิดความร้อนอย่างรวดเร็วภายในระยะเวลา 2-3 วินาที หรือประมาณ 1 นาที โดยความถี่ในการสั่นสะเทือนจะขึ้นอยู่กับความถี่ของคลื่นวิทยุที่ใช้ (Cwiklinski and Von Hoersten, 1999)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หลักการทำงานของเครื่องกำเนิดคลื่นความถี่วิทยุ



ภาพ 2.10 ลักษณะการเปลี่ยนจากพลังงานจลน์ไปเป็นพลังงานความร้อนภายในตัววัตถุเมื่อถูกนำไปวางไว้ในสนามแม่เหล็กไฟฟ้า
ที่มา: Wolfgang (2003)

การใช้คลื่นความถี่วิทยุจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าหมุนเวียนสลับระหว่างของทั้งสองขั้ว electrode ซึ่งมีผลทำให้วัตถุเกิดความร้อนขึ้น วัตถุที่อยู่ในรูปของ dielectric จะเกิดการตอบสนองกับ capacitor plates ซึ่งเป็นการสลับของกระแสระหว่างขั้วบวกไปเป็นขั้วลบ หลายครั้งใน 1 วินาที ซึ่งเป็นตัวที่จะกำเนิดความถี่ ดังตัวอย่างเช่น เครื่องสามารถทำงานได้ที่ความถี่ 27.12 MHz ขั้วของ electrodes ก็จะเปลี่ยนแปลง 27.12 ล้านครั้งต่อวินาที ภายใต้สภาพเช่นนี้จะเป็นการเกิดปฏิกิริยาที่เป็นพลังที่เกิดกับขั้วบวก electrodes ภายในตัวของวัตถุเอง ซึ่งจะทำให้เกิดความร้อนขึ้นกับผลิตภัณฑ์ (Ryynänen, 1995) ความร้อนของการใช้คลื่นความถี่วิทยุ จะเกิดขึ้นมาจากปฏิกิริยาภายในร่วมกันระหว่างพลังงานของความยาวคลื่น และ dielectric ซึ่งเป็นคุณสมบัติพื้นฐานของน้ำ เมื่อวัตถุมีการดูดซับพลังงานจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าก่อให้เกิดความร้อนได้ 2 แบบร่วมกัน ได้แก่ 1) ionic polarization เป็นการเกิดความร้อนต่อเนื่อง จากผลของการเคลื่อนที่ของไอออนในสารละลายเมื่อเข้าไปอยู่ในสนามไฟฟ้าโดยแต่ละไอออนที่มีประจุไฟฟ้าประจำตัวถูกกระตุ้น และเร่งให้เกิดการเคลื่อนที่ทำให้เกิดการเสียดสีกันระหว่างไอออน ในขณะเดียวกันเกิดการเปลี่ยนรูปของพลังงานจลน์เป็นพลังงานความร้อนขึ้น แล้วเกิดการกระจายความร้อนไปยังส่วนอื่น ซึ่งการเกิดความร้อนลักษณะนี้เกิดขึ้นในส่วนของของเหลวภายในเซลล์ที่อยู่ในรูปของสารละลายต่าง ๆ 2) dipole rotation เป็นการเกิดความร้อนกับสารประกอบที่มีขั้ว (polar) ซึ่งได้แก่ น้ำในสภาพปกติ การเรียงตัวของประจุบวก และประจุลบของสารประกอบที่มีขั้วนี้เรียงตัวอย่างไม่มีระเบียบ (random oriented) เมื่อเข้าไปอยู่ในสนามไฟฟ้าประจุบวก และประจุลบของสารเกิดการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เคลื่อนที่เพื่อเปลี่ยนทิศทางการเรียงตัวที่เป็นระเบียบขึ้น การเคลื่อนที่ด้วยการหมุนตัวกลับไปมาเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วตามระดับความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ให้ ซึ่งในคลื่นความถี่วิทยุ การเคลื่อนที่ของประจุ 3-300 ล้านครั้งต่อ 1 วินาที ซึ่งผลของความเร็วในการหมุนตัว และการเสียดสีกันก่อให้เกิดเป็นความร้อนขึ้นมาอย่างรวดเร็วภายในระยะเวลา 2-3 วินาที หรือประมาณ 1 นาที หลังจากได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ให้ ต่อจากนั้นความร้อนที่เกิดขึ้นเกิดการกระจายตัวไปยังส่วนอื่น ๆ (Wang *et al*., 2002) เช่น เมื่อทดสอบผลไม้ที่มีแมลงอยู่ภายในทำให้ผลไม้ และแมลงเกิดความร้อนในเวลาเดียวกัน โดยการให้พลังงานแก่วัตถุที่อยู่ระหว่างแผ่นเหล็กสองแผ่นเป็นอัตราความร้อนที่แตกต่างกัน ซึ่งมีอัตราใกล้เคียงกับความร้อนที่เกิดขึ้นโดย น้ำร้อน อากาศร้อน พลังงานคลื่นความถี่วิทยุ หรือพลังงานคลื่นไมโครเวฟ (Mitcham *et al*., 2004)

ความร้อนของคลื่นความถี่วิทยุขึ้นอยู่กับความเป็นฉนวน และความสามารถในการเป็นตัวนำกระแสไฟฟ้า ซึ่งเป็นค่าของคุณสมบัติของผลผลิตทางการเกษตร และสิ่งมีชีวิต โดยมีอิทธิพลมาจากความถี่ อุณหภูมิ ปริมาณเกลือ และปริมาณความชื้น (Ryynänen, 1995)

คลื่นความถี่วิทยุสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในวงการแพทย์ วงการวิทยาศาสตร์ และอุตสาหกรรมที่เกี่ยวกับการควบคุมแมลงหลังการเก็บเกี่ยว คลื่นที่ใช้จะมีความถี่ 13.56, 27.12 และ 40.68 MHz ซึ่งความถี่นี้ แบ่งโดยองค์การสื่อสารมวลชนของประเทศอเมริกา (U.S. Federal Communication Commission: FCC) ปัจจุบันคลื่นความถี่วิทยุถูกนำมาประยุกต์ใช้กับกิจการด้านต่าง ๆ และสามารถนำไปใช้ในการควบคุมศัตรูแมลงโรงเก็บได้เป็นอย่างดี โดยเพิ่มระดับพลังงานความร้อนที่สามารถทำให้แมลงตายได้อย่างรวดเร็ว และมีประสิทธิภาพ ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ และเคมีของเมล็ดพืชเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (Lagunas-Solar *et al*., 2007) และจากรายงานผลของการใช้คลื่นความถี่วิทยุในข้าวขาวดอกมะลิ 105 พบว่า การใช้คลื่นความถี่วิทยุ 27.12 MHz ที่อุณหภูมิมากกว่า 60 องศาเซลเซียส ทำให้สีของข้าวสารเปลี่ยนจากสีขาวโปร่งแสงไปเป็นสีเหลืองทึบแสง การให้คลื่นความถี่วิทยุที่ 75 องศาเซลเซียส จะทำให้ข้าวเหนียวน้อยลง และเปราะมากขึ้น อุณหภูมิที่สูงขึ้นมีผลต่อเนื้อสัมผัสของข้าวสารซึ่งสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างภายในของข้าวหุง แต่อุณหภูมิที่ต่ำกว่า 60 องศาเซลเซียส ไม่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญต่อคุณสมบัติทางกายภาพ และความชื้นของข้าว (Theanjumpol *et al*., 2007)

เมื่อสิ่งมีชีวิตที่ติดอยู่ในผลผลิต เช่น แมลง หรือเชื้อรา ถูกนำมาผ่านคลื่นความถี่วิทยุ ความร้อนที่เกิดขึ้นกับสนามคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า อาจจะเข้าทำลายตัวแมลง หรือเชื้อราก่อนที่จะมีผลต่อผลผลิตหากตัวแมลงมีคุณลักษณะที่เหมาะกับความร้อนที่เกิดจากคลื่นความถี่วิทยุ หรือมีความไวต่อ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การถูกทำลายด้วยความร้อน และในส่วนของผลผลิตเองจะมีความร้อนสูงเมื่อมีความชื้นสูง (Nelson and Elda, 1961)

Nelson (1996) พบว่า แมลงหลายชนิดที่เข้ามาทำลายผลผลิตทางการเกษตร สามารถถูกควบคุมได้โดยการนำมาผ่านคลื่นความถี่วิทยุในระยะเวลาสั้น ๆ โดยไม่ทำลายผลผลิต โดยทั่วไปแล้วกรรมวิธีในการควบคุมแมลงโดยผ่านคลื่นความถี่วิทยุที่ประสบความสำเร็จนั้นจะใช้อุณหภูมิที่ 40-90 องศาเซลเซียส โดยขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของผลผลิต ลักษณะของแมลง และธรรมชาติของคลื่นความถี่วิทยุ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้คลื่นความถี่วิทยุในการกำจัดแมลงในผลผลิตทางการเกษตร มีดังนี้ การใช้คลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 50-90 องศาเซลเซียส พบว่า ตั้งแต่ที่ 55 องศาเซลเซียส ขึ้นไปจะทำให้ navel orangeworm วัย 5 ซึ่งเป็นหนอนที่เข้าทำลายผลวอลนัท ตาย 100 เปอร์เซ็นต์ และการให้ความร้อนไปจนถึง 80 องศาเซลเซียส ไม่มีผลกระทบต่อผลวอลนัท ส่วนการใช้คลื่นความถี่วิทยุกับผลเชอรี่ที่ 54.5 องศาเซลเซียส ใน 0.5-6 นาที สามารถฆ่าหนอนของ codling moth ที่เป็นศัตรูของผลเชอรี่ ได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ในทุกการทดลอง (Mitcham *et al*, 2007) และที่ระดับอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส การใช้คลื่นความถี่วิทยุ 27 MHz ร่วมกับการใช้อากาศร้อน 5 นาที ในผลวอลนัท สามารถทำให้ navel orangeworm วัย 5 ตาย 100 เปอร์เซ็นต์ (Wang and Tang, 2004) จากการทดลองใช้คลื่นความถี่วิทยุที่ 27.12 MHz ในข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่ความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการงอก 93 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้ระดับอุณหภูมิในการทดลอง 70, 75, 80 และ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 180 วินาที พบว่า ทำให้มอดหัวป้อมตาย 100 เปอร์เซ็นต์ ในทุกกรรมวิธี นอกจากนั้นพบว่าคุณภาพของข้าวจะลดลงถ้าใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้น การใช้อุณหภูมิที่ 70 องศาเซลเซียส ถือเป็นระดับที่ดีที่สุดที่ทำให้มอดหัวป้อมตาย และมีผลกระทบน้อยต่อคุณภาพของข้าว และทำให้ข้าวมีเปอร์เซ็นต์ความงอก 91 เปอร์เซ็นต์ (Janhang *et al*., 2005) การใช้คลื่นความถี่วิทยุ 27.12 MHz ที่ระดับอุณหภูมิ 48-52 องศาเซลเซียส กับแต่ละระยะการเจริญเติบโตของมอดแป้ง (red flour beetle) พบว่า ระยะหนอนวัยแก่ (วัย 6-8) มีความทนต่อคลื่นความถี่วิทยุ มากที่สุด รองลงมา ได้แก่ ระยะดักแด้ ตัวเต็มวัย ไข่ และหนอนวัยอ่อน ตามลำดับ และพบว่าที่อุณหภูมิ 52 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที สามารถกำจัดหนอนวัยแก่ได้ 100 เปอร์เซ็นต์ (Johnson *et al*., 2004) และคลื่นความถี่วิทยุที่ 13.6 และ 39 MHz สามารถนำมาควบคุมแมลงได้โดยไม่ทำลายการงอกของข้าวสาลี (Nelson, 1996) เมื่อนำผีเสื้อข้าวสารซึ่งเป็นศัตรูข้าวที่สำคัญ ในระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ มาผ่านคลื่นความถี่วิทยุ 27.12 MHz ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส พบว่า ระยะไข่ และระยะดักแด้ของผีเสื้อข้าวสาร มีเปอร์เซ็นต์การตาย 98.90

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

และ 98.35 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นระยะที่มีอัตราการรอดชีวิตมากที่สุด ส่วนระยะตัวเต็มวัย และตัวหนอนมีการตาย 100 เปอร์เซ็นต์ (ณคณิณ, 2551)

นอกจากนี้คลื่นความถี่วิทยุยังสามารถนำมาใช้ในการกำจัดเชื้อราที่ติดไปกับเมล็ดพืชได้ จากการทดลองใช้คลื่นความถี่วิทยุในการควบคุม และกำจัดเชื้อรา *Fusarium semitectum* ในเมล็ดข้าวโพดที่มีความชื้นเริ่มต้นในเมล็ด 2 ระดับ คือที่ 10.5 และ 14 เปอร์เซ็นต์ หลังจากให้คลื่นความถี่วิทยุแก่เมล็ดข้าวโพดที่อุณหภูมิต่าง ๆ ได้แก่ อุณหภูมิ 65, 70, 75, 80 และ 85 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 10 นาที พบว่าการให้อุณหภูมิที่สูงขึ้นมีผลให้เปอร์เซ็นต์การติดเชื้อรา *F. semitectum* ลดลง การให้อุณหภูมิที่ระดับ 85 องศาเซลเซียส แก่เมล็ดที่มีความชื้นเริ่มต้นในเมล็ด 14 เปอร์เซ็นต์ พบ *F. semitectum* น้อยที่สุดเพียง 2 เปอร์เซ็นต์ (ปรัชญา และคณะ, 2549)

พัทยา และสุชาดา (2549) รายงานการใช้คลื่นความถี่วิทยุในการกำจัดเชื้อรา และแมลงที่เข้าทำลายเมล็ดพันธุ์ข้าว โดยนำเมล็ดพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่มี ความชื้น 10.4 เปอร์เซ็นต์ ความมีชีวิต 80 เปอร์เซ็นต์ มีการปนเปื้อนของเชื้อรา *Trichoconis padwickii, Fusarium* sp., *Bipolaris oryzae* และ *Curvularia lunata* และจัดให้มีมอดข้าวเปลือกเข้าทำลายในอัตรา 125 ตัวต่อ 1 กิโลกรัม เมล็ดพันธุ์ข้าวถูกนำมาผ่านคลื่นความถี่วิทยุที่ระดับ 27.12 MHz ภายใต้อุณหภูมิ 70, 75, 80 และ 85 องศาเซลเซียส ระยะเวลานาน 180 วินาที การปนเปื้อนของเชื้อราโดยรวมลดลง 33, 41, 54 และ 80 เปอร์เซ็นต์ มอดข้าวเปลือกตาย 100 เปอร์เซ็นต์ ทุกระดับอุณหภูมิ และความมีชีวิตของเมล็ดพันธุ์เหลือ 71, 61, 50 และ 27 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ระดับอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดในการทดลองนี้ในการกำจัดเชื้อรา และแมลง คือ 75 องศาเซลเซียส ซึ่งส่งผลให้การปนเปื้อนของเชื้อราลดลง 41 เปอร์เซ็นต์ ความชื้นลดลงถึงระดับ 9.5 เปอร์เซ็นต์ เมล็ดพันธุ์ยังคงความมีชีวิตที่ 61 เปอร์เซ็นต์ และไม่พบมอดข้าวเปลือกที่รอดชีวิต

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved