บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

ข้าว

ข้าวเป็นพืชตระกูลหญ้าจัดอยู่ใน สกุล ออไรซ่า (genus: Oryza) และอยู่ในแฟมมีลี่ กรามีนิอี้ (family: Gramineae) ซึ่งข้าวมีการแพร่กระจายอย่างกว้างขวาง และปัจจุบันมีทั้งหมด 24 ชนิด (มรกต และศิริพร , 2547) ข้าวที่ปลูกบริโภคมีอยู่ 2 ชนิด และมีชุดโครโมโซม AA เหมือนกัน คือ ข้าวเอเชีย (*Oryza sativa* L.) กับ ข้าวแอฟริกา (*O. glaberrima* Steud.) ข้าวเอเชียปลูกทั่วไปในเอเชีย อเมริกา ออสเตรเลีย ยุโรป และแอฟริกา ส่วนข้าวแอฟริกามีปลูกเฉพาะทางด้านตะวันตกของทวีปแอฟริกาเท่านั้น (สงกรานต์, 2545) ส่วนอีก 22 ชนิดที่เหลือได้แก่ ข้าวพันธุ์ป่า (wild rice) ดังนั้นข้าวที่นิยมนำมาเพาะปลูกและบริโภคในปัจจุบันจึงได้แก่ ข้าวเอเชีย (*O. sativa* L.) ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 subspecies (Matz, 1959) คือ

1. ข้าว indica มีเมล็ดยาวเรียวให้ผลผลิตค่อนข้างต่ำแต่สามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมได้ง่าย พบปลูกในประเทศเขตร้อน เช่น อินเดีย จีนตอนใต้ และบริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เป็นต้น

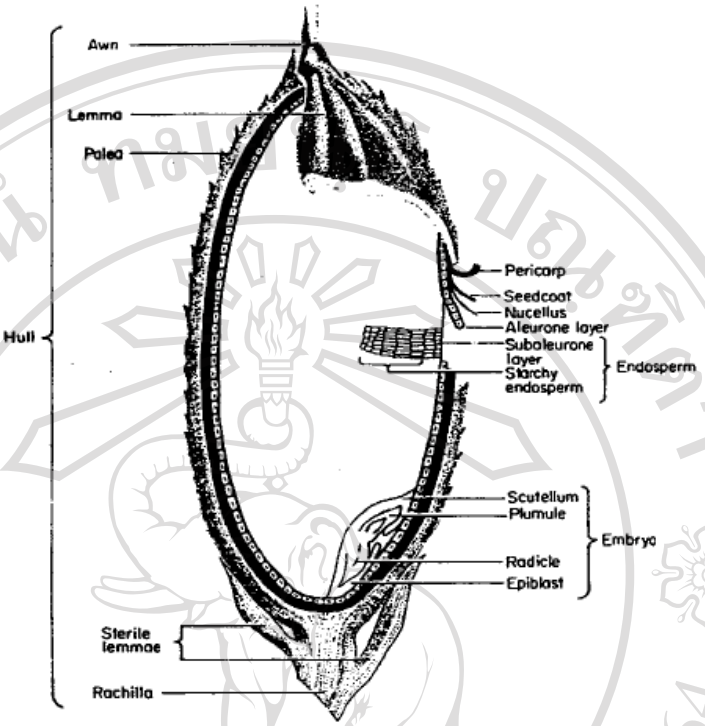
2. ข้าว japonica มีเมล็ดป้อมสั้น ให้ผลผลิตสูง พบปลูกในเขตอบอุ่น เช่น เกาหลี ญี่ปุ่น และจีนตอนเหนือ

3. ข้าว javanica มีลักษณะอยู่ระหว่างข้าว indica กับ japonica แต่ไม่นิยมปลูกเนื่องจากให้ผลผลิตต่ำ

สำหรับประเทศไทยพันธุ์ข้าวที่ทางรัฐบาลได้รับรองและแนะนำให้เกษตรกรเพาะปลูกอย่างกว้างขวางจะอยู่ในกลุ่ม indica

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โครงสร้างของเมล็ดข้าว



ภาพ 2.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว (Juliano, 1985)

โครงสร้างของเมล็ดข้าวแบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ ด้วยกันคือ

1. เปลือกแข็งหุ้มเมล็ด หรือแกลบ (hull)

เป็นส่วนของกลีบดอก (palea และ lemma) ซึ่งห่อหุ้มเมล็ดเอาไว้ภายใน ส่วนนี้มีน้ำหนักประมาณ 20% ของเมล็ดข้าว มีปริมาณเซลลูโลส (cellulose) สูงถึง 25% ลิกนิน (lignin) 30% เพนโทแซน (pentosans) 15% และปริมาณเถ้า 21% ซึ่งในส่วนนี้จะเป็นซิลิกา (silica) ถึง 95% และเนื่องจากแกลบมีปริมาณลิกนินสูงจึงทำให้มีสารอาหารต่ำ ทั้งยังมีมูลค่าต่ำทางการค้า

2. เปลือกหุ้มผล (pericarp)

เป็นเซลล์รูปแท่งห่อหุ้มอยู่รอบเมล็ดตามความยาวของเมล็ดมีอยู่ด้วยกัน 6 ชั้น มีผนังบางอยู่ชั้นนอกสุด ผนังเซลล์ของเปลือกหุ้มผลมีความหนา 2 ไมโครเมตร มีองค์ประกอบเคมีเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ให้โครงร่างเป็นเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส นอกจากนี้ยังมีโปรตีน ไขมัน รวมทั้งแร่ธาตุต่างๆ มีรายงานว่าเปลือกหุ้มผลมีปริมาณประมาณ 5% ของเมล็ด ประกอบด้วย โปรตีน 6% เถ้า 2%

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เซลลูโลส 20% ไขมัน 0.5% อีก 71.5% เป็นองค์ประกอบส่วนที่ไม่ใช่สตาร์ช (non-starch constituents) นอกจากนี้ยังคงพบรงควัตถุแอนโธไซยานิน (anthocyanin pigment) ในชั้นนี้อีกด้วย

3. เมล็ด ภายในเมล็ดประกอบด้วย

3.1 เปลือกหุ้มเมล็ด (tegmen หรือ seed coat) เป็นเซลล์ที่มีผนังเซลล์บาง รูปร่างยาวรี อาจมีแถวเดียว สองแถว หรือมากกว่านั้น เซลล์ชั้นในมีสารให้สีอยู่ด้วยทำให้เปลือกหุ้มเมล็ดมีสีต่างๆ นอกจากนี้ยังเป็นชั้นที่อุดมไปด้วยไขมัน จึงมีคุณสมบัติในการป้องกันน้ำไม่ให้เข้าสู่เนื้อเมล็ด ชั้นนี้มีความหนาประมาณ 5 ถึง 8 ไมโครเมตร

3.2 ชั้นเยื่อโปร่งใส (hyaline layer หรือ nucellus) อยู่ติดกับชั้นเปลือกหุ้มเมล็ด มีลักษณะโปร่งใสและยังประกอบด้วยสารให้สี เช่นเดียวกับในชั้นเปลือกหุ้มเมล็ด

3.3 ชั้นแอลิวโรน หรือเยื่อหุ้มเนื้อเมล็ด (aleurone layer) มีลักษณะเป็นเซลล์รูปสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ มีนิวเคลียสอยู่ตรงกลาง ผนังเซลล์หนา ประกอบด้วยโปรตีน เฮมิเซลลูโลส และเซลลูโลส โดยในข้าวประกอบด้วยเซลล์ในชั้นนี้ 1 ถึง 7 ชั้น ชั้นแอลิวโรนเป็นชั้นที่สำคัญเพราะอุดมด้วยองค์ประกอบทางเคมีหลายชนิด โดยภายในเซลล์แอลิวโรนจะมีเมล็ดแอลิวโรน (aleurone grain) อยู่มากมายซึ่งภายในเมล็ดเป็นกรดไฟติก (สารประกอบของธาตุฟอสฟอรัส) มีเกลือโพแทสเซียม และแมกนีเซียมรวมทั้งยังอุดมด้วยโปรตีนและไขมันสะสมอยู่โดยจะห่อหุ้มเมล็ดแอลิวโรนเอาไว้ ทั้งยังอุดมไปด้วยวิตามินต่างๆ เช่น วิตามินบี 1 (thiamine) วิตามินบี 2 (riboflavin) และวิตามินบี 3 (niacin) ซึ่งพบในชั้นนี้มากกว่าในส่วนอื่น

3.4 คัพภะ (germ หรือ embryo) เป็นส่วนที่จะเจริญเป็นต้นอ่อนของเมล็ดหรือจุดกำเนิดของต้น จึงอยู่ด้านฐานใกล้กับรอยต่อของเมล็ด มีชั้นแอลิวโรนล้อมรอบอยู่ภายในคัพภะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ คือ ส่วนสกูเทลลัม (scutellum) เป็นเกราะป้องกันอยู่ระหว่างเนื้อเมล็ดกับคัพภะ และส่วนของคัพภะ (embryonic axis) ซึ่งพร้อมจะเจริญเป็นยอดอ่อน ต้นและรากต่อไป ในส่วนนี้จะอุดมไปด้วยสารอาหาร แร่ธาตุ และวิตามินเพื่อการเจริญเติบโต สารอาหารที่มีมากคือ โปรตีน (อยู่ในรูป protein bodies) และไขมัน (อยู่ในรูป lipid bodies) ส่วนวิตามินที่มีมากคือ วิตามินบี และวิตามินอี (tocopheral)

3.5 เอนโดสเปิร์ม (endosperm) แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ติดกับชั้นแอลิวโรน (subaleurone layer) เป็นเซลล์ที่มีผนังบางมีขนาดเล็กรูปลูกบาศก์ ส่วนที่อยู่ถัดไปเป็นเซลล์เนื้อเมล็ด (inner endosperm) ประกอบด้วยเซลล์รูปร่างยาวเป็นแนวรัศมีเข้าสู่จุดศูนย์กลางเมล็ด เซลล์เหล่านี้จะมีผนังเซลล์บาง ส่วนของผนังเซลล์ซึ่งถือเป็นกำแพงห่อหุ้มเนื้อเมล็ดนี้ จะประกอบด้วยเฮมิเซลลูโลส เพนโทแซน และเบต้า-กลูแคน (β-glucan) แทบจะไม่มีเซลลูโลสอยู่เลย ส่วนภายในเซลล์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เนื้อเมล็ดจะประกอบด้วยสตาร์ช (starch granule) ซึ่งเม็ดแป้งของข้าวจะมีขนาดเล็กมาก (3-5 ไมครอน) เป็นรูปเหลี่ยม ลักษณะเม็ดส่วนใหญ่จะรวมกันอยู่เป็นกลุ่ม (compound granule) มากถึง 150 เม็ดต่อกลุ่ม แต่ก็พบร่วมอยู่กับเมล็ดเดี่ยวเช่นกัน โปรตีนที่พบในเนื้อเมล็ดจะอยู่ร่วมกับเม็ดสตาร์ชโดยเกาะรวมกันเป็นรูปร่างกลม (protein bodies) ซึ่งพบอยู่ในชั้นติดกับชั้นแอลิวโรนเป็นส่วนใหญ่

เนื้อเมล็ดจะเป็นส่วนของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสีข้าว (milling fraction) โดยในการสีข้าวจะนำเมล็ดข้าวมากระเทาะเปลือกเอาเปลือกแข็งหุ้มออก จากนั้นจะได้เป็นข้าวกล้อง นำข้าวกล้องที่ได้มาขัดสีเอาส่วนต่างๆ ที่ไม่ใช่เนื้อเมล็ดออกเพื่อให้ได้เป็นข้าวสาร ผลพลอยได้ที่ได้จากกระบวนการกะเทาะเปลือก และขัดสี คือ แกลบ (hull) และรำข้าว (bran and polish) (ชนินันท์, 2542)

ข้าวขาวดอกมะลิ 105

ข้าวดอกมะลิ เป็นชื่อของข้าวที่นิยมถูกเรียกแบบเพี้ยนๆ จากผู้บริโภค และผู้ประกอบการค้าข้าว ว่า ข้าวหอมมะลิ ซึ่งอันที่จริงแล้วมีชื่อที่เป็นทางการว่า “ข้าวดอกมะลิ 105” ความหมายคือ ข้าวพันธุ์นี้จัดอยู่ในประเภทข้าวขาว เพราะเปลือกมีสีข้าว หรือสีฟาง และมีกลิ่นหอมคล้ายกลิ่นของดอกมะลิ สำหรับหมายเลข 105 หมายถึง ขั้นตอนการปรับปรุงพันธุ์ (สุนทร, 2539)

ลักษณะที่สำคัญของข้าวดอกมะลิ คือ เมล็ดข้าวเปลือกเรียวได้มาตรฐานข้าวชั้นหนึ่ง เมื่อขัดสีเป็นข้าวสารจะได้เมล็ดที่เรียวยาว ขาว ใส เป็นเงาแกร่ง และมีท้องไข่น้อย เมื่อหุงสุกก็จะได้ข้าวที่มีความเลื่อมมัน อ่อนนุ่ม และมีกลิ่นหอม ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เป็นข้าวพันธุ์ที่มีความไวต่อช่วงแสง คือข้าวพันธุ์นี้จะออกดอกเฉพาะเดือนที่มีความยาวแสงของกลางวันน้อยกว่า 12 ชั่วโมง ดังนั้นจึงทำให้สามารถปลูกข้าวพันธุ์นี้ได้ปีละครั้งเท่านั้น

องค์ประกอบทางเคมีของข้าว

องค์ประกอบเคมีในเมล็ดข้าวสารมีการรายงานไว้เป็นจำนวนมากและพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างหลากหลาย แสดงได้ดังตารางที่ 1 ซึ่งความหลากหลายขององค์ประกอบเคมีนี้ ปัจจัยหลักคือพันธุ์ข้าวและสภาพแวดล้อมที่ใช้ในการเพาะปลูกรวมไปถึงการดูแลรักษาต้นข้าวขณะเจริญเติบโต นอกจากนี้เทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์ที่ต่างกันก็ส่งผลให้องค์ประกอบเคมีของงานวิจัยแต่ละงานแตกต่าง (ชนินันท์, 2542)

ส่วนองค์ประกอบส่วนที่ไม่ใช่สตาร์ช (nonstarch constituents) ซึ่งได้แก่ โปรตีน ไขมัน เส้นใย เถ้าของข้าวสาร ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้มีอยู่ในชั้นเยื่อหุ้มเนื้อเมล็ด ในปริมาณสูงกว่าในส่วนเนื้อเมล็ด พิจารณาได้จากตาราง 2.1 และ 2.2

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเคมีของข้าวเจ้า

พันธุ์	ร้อยละโดยน้ำหนักต่อน้ำหนักแป้งแห้ง						
	โปรตีน	ไขมัน	เส้นใย	เถ้า	คาร์โบไฮเดรต	อะไมโลส	อะไมโลเพคติน
ก.วก.1	7.67	1.41	0.67	0.50	86.76	18.50	81.50
ขาวดอกมะลิ 105	7.85	2.21	0.56	0.28	89.10	18.70	81.30
ชัยนาท1	8.55	2.63	0.33	0.36	88.13	29.64	70.36

ที่มา : ชนินันท์ (2542)

1. แป้ง (starch) สามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ

1.1 อะไมโลส (amylose)

เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดจากการรวมตัวของกลูโคสต่อกันเป็นเส้นตรงเป็นแนวยาว (linear chain) ด้วยพันธะ α-1,4 glycosidic เมื่อย้อมสีด้วยน้ำยาไอโอดีนจะมีสีน้ำเงินเมื่อทำให้สุกในน้ำเดือด และทำให้เย็นจะเกิดกระบวนการคืนตัวเป็นของแข็ง (retrogradation) ขึ้นทำให้ความสามารถในการละลายลดลง และมีผลทำให้ข้าวสุกร่วน และแข็งกระด้างมากขึ้น ในแป้งข้าวจะมีอะไมโลสเป็นส่วนรองโดยอยู่ปะปนกับอะไมโลเพคติน

1.2 อะไมโลเพคติน (amylopectin)

เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดจากการรวมตัวของกลูโคสจำนวนมากและมีโครงสร้างเชื่อมต่อกันแบบกิ่งก้านสาขา (branched chain) ด้วยพันธะ α- 1,4 และ 1,6 glycosidic เมื่อย้อมสีด้วยน้ำยาไอโอดีนจะเป็นสีน้ำตาลแดง เมื่อทำให้สุก (gelatinized) ในน้ำเดือดจะค่อนข้างคงสภาพเดิมไว้นานและเป็นส่วนที่ทำให้ข้าวสุกเหนียวติดกัน (งามชื่น, 2545) อะไมโลเพคตินถือว่ามีความสำคัญมากกว่าอะไมโลสทั้งทางด้านโครงสร้าง หน้าที่ และการนำไปใช้ ดังนั้นเมื่ออะไมโลเพคตินเพียงอย่างเดียวสามารถรวมตัวเพื่อสร้างเม็ดแป้งได้ ปริมาณอะไมโลส และอะไมโลเพคตินที่แตกต่างกันทำให้สมบัติของแป้งแตกต่างกัน

ข้าวที่มีอะไมโลสสูงจะดูดน้ำและขยายปริมาตรในการหุงต้มได้ดีกว่าข้าวอะไมโลสต่ำมีผลทำให้ข้าวสุกขยายตัวตามปริมาตรได้มากหรือเรียกว่าหุงขึ้นหม้อ ดังนั้นสัดส่วนระหว่างอะไมโลส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

และอะไมโลเพคตินมีผลต่อคุณภาพการหุงต้ม กล่าวคือ อะไมโลเพคตินทำให้ข้าวสุกเหนียว ในขณะที่อะไมโลสทำให้ความเหนียวของข้าวสุกลดลง เช่น ข้าวเหนียวมีอะไมโลเพคตินสูงหรืออะไมโลสปนอยู่เพียงเล็กน้อยข้าวสุกจึงเหนียว ส่วนข้าวสารที่มีอะไมโลสสูงข้าวสุกมักร่วนและแข็งกว่าอะไมโลสปานกลาง และต่ำตามลำดับ (หยาดฝน, 2548)

การจัดแบ่งชนิดข้าวตามปริมาณอะไมโลส สามารถแบ่งเป็น 4 ประเภท ตามตาราง 2.3

ตาราง 2.2 การแบ่งประเภทข้าวตามปริมาณอะไมโลสในข้าวขาว

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

ที่มา : งามชื่น (2545)

2. โปรตีน (protein)

ในเมล็ดข้าวมีโปรตีนเฉลี่ยประมาณร้อยละ 8 ซึ่งมากเป็นอันดับสอง รองจากคาร์โบไฮเดรต โปรตีนส่วนใหญ่เป็นกลูเตลิน (glutelin) มีมากกว่าร้อยละ 80 เป็นโปรตีนที่ละลายในด่าง เมื่อวิเคราะห์หากรดอะมิโน ระหว่างข้าวเจ้าและข้าวเหนียวพบว่า ไม่มีความแตกต่างกัน แสดงว่า ลักษณะยีนข้าวเจ้าหรือข้าวเหนียวไม่มีผลต่อโครงสร้างของโปรตีน (พิชยา, 2541) โปรตีนพบอยู่บริเวณของเม็ดแป้งหรือฝังอยู่ภายในเม็ดแป้ง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของแป้งกับโปรตีนเกี่ยวข้องกับอะไมโลสและโปรตีน waxy gene (60 kDa) โดยมีรายงานไว้ว่า แป้งข้าวเจ้าอินดิก้ามีปริมาณสารประกอบเชิงซ้อนของแป้งกับโปรตีนสูงกว่าข้าวเจ้าจาปอนิก้าที่มีปริมาณอะไมโลสเท่ากัน ในข้าวสารมีปริมาณโปรตีนอยู่ร้อยละ 6.3-7.1 (ตารางที่ 2.4) โดยมีผลต่อคุณภาพการหุงต้มและรับประทานคือ ข้าวที่มีปริมาณโปรตีนสูงทำให้การดูดซึมน้ำของเมล็ดช้าลงความนุ่ม ความเหนียวและความเลื่อมมันลดลง (ละมุล , 2541)มีการทดลองสกัดโปรตีนออกจากข้าวโดยใช้สารละลายถึง 18 ชนิด พบว่าไม่มีวิธีการสกัดโปรตีนด้วยสารละลายชนิดใดดีเท่ากับการสกัดโดยใช้ด่าง (alkali extraction) เนื่องจากโปรตีนหลักในแป้งคือ โปรตีนกลูเตลินซึ่งละลายได้ดีในด่างและมีอยู่มากถึง 80%ของปริมาณโปรตีนทั้งหมด แต่เนื่องจากโปรตีนเกาะเกี่ยวกับแป้งอย่างแน่นหนา ดังนั้นการสกัดโปรตีนออกให้เหลือน้อยกว่า 0.5% จึงเป็นเรื่องที่ทำได้ยาก นอกจากนี้มีการศึกษาสมบัติของโปรตีนภายในข้าวพบว่าโปรตีนมีลักษณะคล้ายโปรตีนถั่วเหลืองโดยข้าวมีโปรตีนประมาณ 8% ขององค์ประกอบทั้งหมดในเนื้อเมล็ด ทั้งยังพบว่าโปรตีนข้าวเป็นโปรตีนที่ไม่ก่อให้เกิดอาการแพ้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(hypoallergenicity protein) จึงสามารถนำข้าวมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่ก่อให้เกิดอาการแพ้ได้ เช่น ในสูตรอาหารเด็กอ่อน หรือในแป้งที่ใช้สำหรับทาผิว (ชนินันท์,2542)

3. ไขมัน (lipid)

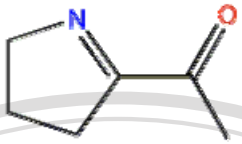
ไขมันภายในเมล็ดจะเป็นหยดกลม (lipid droplets) พบอยู่ใน 2 ลักษณะ คือ อยู่รวมกับโปรตีนโดยแทรกอยู่ในชั้นแอลิวโรนหรืออยู่บริเวณผิวเม็ดแป้งหรืออยู่ขอบของเม็ดแป้ง ซึ่งเรียกไขมันชนิดนี้ว่า “nonstarch lipid หรือ surface lipid” นอกจากนี้ยังพบไขมันภายในม็ดสตาร์ซโดยจะเชื่อมพันธะอยู่กับโมเลกุลของอะไมโลส และพบไขมันอยู่อย่างอิสระภายในโมเลกุลแป้งซึ่งไขมันพวกนี้ถูกเรียกว่า “starch lipid หรือ internal lipid” (Chrastil, 1994) ไขมันเป็นองค์ประกอบที่มีอยู่เล็กน้อยคือ มีประมาณร้อยละ 0.3-0.5 ในข้าวสาร (ละมุล, 2541) ดังตาราง 2.4

สำหรับในส่วนของเนื้อเมล็ดจะอยู่ร่วมกับกลุ่มโปรตีน และในเม็ดแป้งจะมีไขมันที่มีโครงสร้างร่วมกับสารอื่น (bound lipid) เมื่อนำไขมันที่สกัดจากส่วนต่างๆ มาวิเคราะห์องค์ประกอบและชนิดของไขมันพบว่าเป็นพวก neutral lipid 82-91% (ไตรกลีเซอร์ไรด์ 73-82% กรดไขมันอิสระ13-17% และ acyl sterol glycoside 2-4%) ฟอสโฟไลปิดร้อยละ 7-10 และglycolipid ร้อยละ 2-8 มีรายงานว่าการสกัดไขมันในเมล็ดข้าวมีผลต่อความนุ่มของแป้งข้าว คือแป้งที่สกัดไขมันออกจะมีความนุ่มกว่าแป้งข้าวที่ไม่ได้สกัดไขมันออก สำหรับองค์ประกอบของกรดไขมัน มีกรดปาลมิติก กรดโอเลอิกและกรดไลโนเลอิกเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งปริมาณกรดไขมันแต่ละชนิดแตกต่างกันขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว และการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษา (ละมุล, 2541)

4. กลิ่น (Aroma)

ข้าวทั่วไปอาจมีสารระเหยหลายชนิด เคยมีผู้ทำการวิเคราะห์ไอที่ได้จากการหุงข้าว Koshihikari ของญี่ปุ่น พบว่า มีสารอยู่กว่าร้อยชนิด ซึ่งประกอบด้วยสาร hydrocarbon 13 ชนิด alcohol 13 ชนิด aldehyde 16 ชนิด ketone 14 ชนิด กรด 14 ชนิด ester 8 ชนิด phenol 5 ชนิด pyridine 3 ชนิดและ pyrazine 6 ชนิด ซึ่งสารแต่ละชนิดจะมีกลิ่นแตกต่างกัน เช่น สาร2-acetylthiazole และ benzothiasole มีกลิ่นรำ สำหรับข้าวหอมมีสาร2-acetyl-1-pyrroline มากกว่าข้าวทั่วไป สาร 2-acetyl-1-pyrroline นี้ มีสูตรโครงสร้างดังแสดงในภาพที่ 2.2 (Buttery *et al*., 1983) ในข้าวสารหอมหนึ่งกรัมอาจมีสารนี้ ประมาณ 0.04 ไมโครกรัม และในข้าวกล้องอาจมีปริมาณ 0.1-0.2 ไมโครกรัมต่อกรัม ดังตารางที่ 2.3 สารหอมชนิดนี้ยังพบมีปริมาณสูงมากในพืชตระกูลใบเตย (*Pandonus amaryllifolius* Roxb. Fragrant screw pine) ซึ่งมีอยู่ปริมาณสูงถึง 1 ไมโครกรัมต่อกรัม (Cagampang *et al*, 1973)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



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

ตาราง 2.3 ปริมาณของสาร 2-acetyl-1-pyrroline ในข้าวขาวและข้าวกล้องพันธุ์ที่มีกลิ่นหอมและไม่หอม

พันธุ์	ปริมาณของ 2-acetyl-1-pyrroline (ppm)	
	ข้าวขาว	ข้าวกล้อง
Malakit Sungsong	0.09	0.02
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 (1983)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สมบัติการหุงต้มของข้าว

1. ความคงตัวของแป้งสุก (gel consistency)

สามารถใช้คาดคะเนสมบัติของข้าวสุกได้ โดยการทดสอบความแข็งของแป้งสุก (Cagampang *et al*., 1973) ซึ่งสามารถทดสอบจากการอ่านระยะทางแป้งไหลเมื่อวางในแนวราบมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร จึงมีการแบ่งข้าวตามลักษณะนี้เป็น 3 ประเภท ดังตาราง 2.6 โดยข้าวที่มีค่าความ

คงตัวของแป้งสุกอ่อนเมื่อหุงเป็นข้าวสวยจะได้ข้าวที่แข็งกระด้างน้อยกว่าข้าวที่มีความคงตัวของแป้งสุกแข็ง อย่างไรก็ตามในการพิจารณาคุณภาพข้าวเจ้าโดยใช้ความคงตัวของแป้งสุกนั้นต้องพิจารณาบนพื้นฐานของข้าวที่มีอะไมโลสอยู่ในประเภทเดียวกัน เนื่องจากในระหว่างข้าวที่มีอะไมโลสใกล้เคียงกัน โดยเฉพาะข้าวที่มีอะไมโลสสูงอาจจะมีความแข็งของข้าวสุกแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาการคืนตัวของแป้งสุกเมื่อทำให้เย็นจะทำให้แป้งแข็งตัวและมีผลต่อความนุ่มของข้าวสุก ซึ่งจะทำให้แป้งสุกมีความแข็งและอ่อนแตกต่างกัน (Buttery *et al*, 1983) และยังพบว่าผู้บริโภคจะนิยมบริโภคข้าวที่มีอะไมโลสสูง อุณหภูมิแป้งสุกระดับปานกลาง และค่าความคงตัวของแป้งสุกอ่อน มากกว่าข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำและค่าความคงตัวแป้งสุกแข็ง ดังนั้นค่าความคงตัวแป้งสุกจึงสามารถใช้คาดคะเนคุณสมบัติของข้าวสุกควบคู่ไปกับปริมาณอะไมโลสได้ (Juliano, 1985)

ตาราง 2.4 การแบ่งประเภทข้าวเจ้าตามความคงตัวแป้งสุก

ระยะทางที่แป้งไหล (มิลลิเมตร)	ความคงตัวของแป้งสุก
25 - 40	แข็ง
41 - 60	ปานกลาง
61 - 100	อ่อน

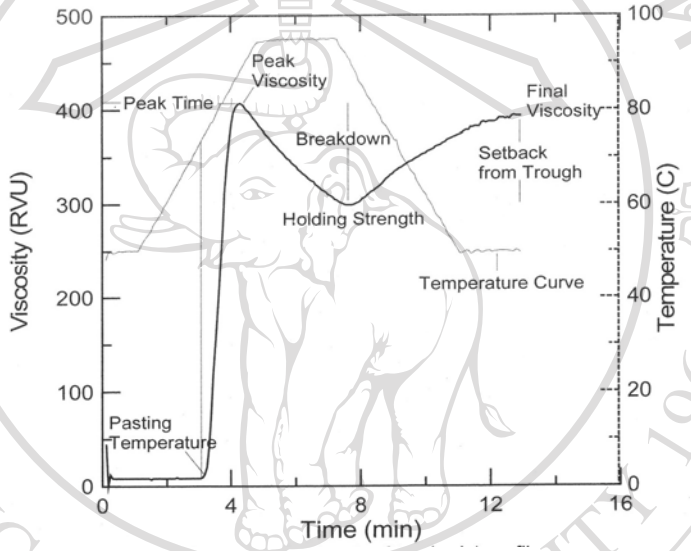
ที่มา : Cagampang *et al*. (1973)

2. ความหนืดของแป้ง (viscosity)

คุณสมบัติทางด้านความหนืดของแป้งสุกเป็นคุณสมบัติสำคัญของแป้งเมื่อได้รับความร้อนและมีการกวนหรือคนอย่างสม่ำเสมอจากอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ไปถึง 95 องศาเซลเซียส และคงที่ที่ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2.5 นาที จึงจะลดอุณหภูมิลงเป็น 50 องศาเซลเซียส อีกครั้ง โดยทั่วไปโมเลกุลของแป้งประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl groups) จำนวนมาก ยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน ในขณะอยู่ในน้ำเย็นแป้งจะดูดซึมน้ำและพองตัวได้เล็กน้อย (Leach *et al*., 1959) แต่เมื่อให้ความร้อนกับสารละลายแป้ง พันธะไฮโดรเจนจะคลายตัวลงทำให้เม็ดแป้งสามารถดูดซึมน้ำและพองตัวได้มากขึ้น ทำให้เกดความหนืด ซึ่งเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การเกิดเจลาธิไนเซชั่น (gelatinization) และอุณหภูมิที่ทำให้สารเริ่มเกิดเจลาธิไนเซชั่น เรียกว่า อุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนค่าความหนืด (pasting temperature) จากนั้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้น เมล็ดแป้งจะพองตัวเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่พองตัวเต็มที่ ซึ่งจะเป็นจุดที่มีความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ณ จุดนี้อัตราการพองตัวจะสมดุลกับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อัตราการแตกตัว และเมื่อเพิ่มความร้อนต่อไปและมีการกวนอย่างต่อเนื่องเม็ดแป้งจะยิ่งพองมากขึ้น จนทำให้โครงสร้างภายในแตกออก โมเลกุลของอะไมโลสขนาดเล็กจะกระจัดกระจายออกมาทำให้ความหนืดลดลง และเมื่ออุณหภูมิลดลงโมเลกุลอะไมโลสที่อยู่ใกล้กันจะเกิดการจัดเรียงตัวกันใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลซึ่งโครงสร้างใหม่นี้สามารถอุ้มน้ำ แต่จะไม่มีการดูดน้ำเข้ามาอีก ทำให้มีความหนืดคงตัวมากขึ้น ซึ่งเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การเกิดรีโทรเกรเดชั่น (retrogradation) หรือการคืนตัว (setback) (Smith, 1979) โดยการวัดจากเครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว (Rapid Visco Analyzer, RVA) ดังภาพ 2.3 (Newport Scientific Pty, Ltd., 1998)



ภาพ 2.3 กราฟจากการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งด้วยเครื่อง RVA

ค่าต่างๆ ที่สามารถอธิบายได้จากกราฟมีดังนี้

Pasting temperature :อุณหภูมิที่ค่าความหนืดเริ่มเพิ่มขึ้น 2 Ripid Visco Unit (RVU) ภายในเวลา 20 วินาที มีหน่วยเป็น องศาเซลเซียส (C)

Peak viscosity: ค่าความหนืดสูงสุดของแป้งสุกเมื่อให้ความร้อนกับสารละลายแป้งจนถึงอุณหภูมิ 95 C มีหน่วยเป็น centipoises (cP)

Final viscosity: ค่าความหนืดสุดท้ายของการทดลอง มีหน่วยเป็น centipoises (cP)

Breakdown: ความแตกต่างระหว่างค่า Peak viscosity กับค่า Holding strength

Setback from trough: ความแตกต่างระหว่างค่า Final viscosity กับค่า Peak viscosity มีหน่วยเป็น centipoises (cP)

ทั้งนี้ค่า breakdown จะอธิบายถึงความทนทานของเม็ดแป้งต่อการกวน และค่า setback จะอธิบายการคืนตัวของแป้งสุกที่เย็นลงและทำให้สารละลายมีความหนืดเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามปัจจัยที่มี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลกระทบต่อความหนืดสูงสุด ได้แก่ ปริมาณโปรตีน และอะไมโลส ซึ่งปริมาณอะไมโลสมีส่วนสำคัญต่อความหนืด กล่าวคือ ขนาดเม็ดแป้งที่ใหญ่มีกำลังพองตัวสูงและให้ความหนืดสูงสุด (peak viscosity) สูง ปริมาณอะไมโลสจะมีผลต่อการเกิดรีโทรเกรเดชั่น (retrogradation) ถ้าแป้งชนิดใดมีปริมาณอะไมโลส สูงย่อมแสดงค่าความหนืดสุดท้าย (final viscosity) สูงด้วยเช่นกัน นอกจากนี้เนื่องจากแป้งแต่ละชนิดจะมีอัตราการคืนตัวที่แตกต่างกัน ดังนั้นปริมาณอะไมโลสจึงมีความสำคัญต่อการคืนตัวของแป้งสุก (setback) โดยแป้งที่มีปริมาณอะไมโลสสูงจะเกิดการคืนตัวได้มากและเร็วกว่าแป้งที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำซึ่งหากเปรียบเทียบระหว่างแป้งที่มีปริมาณอะไมโลสสูงด้วยกัน แป้งข้าวที่มีความคงตัวของแป้งสุกเป็นชนิดอ่อนจะมีค่า peak viscosity และค่า setback ต่ำกว่าแป้งที่มีความคงตัวของแป้งสุกเป็นชนิดแข็ง

3. ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุก (texture of cooked rice)

การวัดเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุก โดยการทดสอบทางประสาทสัมผัส และโดยการวัดด้วยเครื่องมือวัดมีบทบาทมาก เพราะข้าวแต่ละชนิดเมื่อหุงสุกจะมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่มีความแตกต่างกัน นอกจากปัจจัยเรื่องของพันธุ์ของข้าวแล้ว ยังมีปัจจัยอีกหลากหลายที่ทำให้เนื้อสัมผัสของข้าวนั้นมีความแตกต่างกัน เช่น คุณสมบัติทางเคมี และเชิงฟิสิกส์ การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวและวิธีการหุงต้ม

ในปัจจุบันมีเครื่องที่สามารถใช้วิเคราะห์เนื้อสัมผัสเพื่อให้ประเมินและเปรียบเทียบกับผลทางประสาทสัมผัสหลายชนิด เช่น เครื่องเทกซ์โรมิเตอร์ (Texturometer) เครื่องยูนิเวอร์แซลเทสติง (Universal Testing Machine) เครื่องยูนิเวอร์แซล เทกซ์เจอร์ แอนาไลเซอร์ (Universal Texture Analyzer) เครื่องเชียร์ เพรส (Shear Press) เครื่องแพบต์ เทกเจอร์ เทสเตอร์ (Pabst Texture Tester) เป็นต้น (อรอนงค์, 2547) โดยลักษณะของเนื้อสัมผัสที่วัดได้จากเครื่องมือที่เกี่ยวข้องกับการวัดเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุก มีคำจัดความดังต่อไปนี้

คำจำกัดความของเนื้อสัมผัสข้าวหุง (Kohlwey, 1994)

ความแน่นแข็ง (Hardness) – ปริมาณแรงที่ต้องการใช้กดข้าวสุกลงไประหว่างฟันที่เคี้ยวครั้งแรก

ความเหนียวติดกัน (Adhesiveness) – ปริมาณแรงที่ต้องการใช้แยกข้าวหุงสุกที่เหนียวติดกันภายนอก ข้าวร่วน(ความเหนียวติดกันต่ำ) จนถึงเหนียวติดกันสูง

ความยืดหยุ่น (Springiness) – ลักษณะข้าวหุงสุกที่ถูกกดทับแล้วยืดหยุ่นกลับคืน

ความเกาะติดกัน (Cohesiveness) – ปริมาณแรงภายในที่ทำให้ข้าวหุงสุกเกาะติดกันก่อนที่จะถูกตัดขาดจากกันด้วยการกด มีผลการวัดจากลักษณะเละแฉะ (ความเกาะติดกันต่ำ) นุ่ม (ความเกาะติดกันปานกลาง) เหนียวคล้ายหนัง (การเกาะติดกันสูง) หรือเปราะในข้าวหุงสุกที่แข็ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การเคี้ยว (Chewiness) – ระยะเวลาที่ต้องการในการบดข้าวหุงสุกในอัตราที่ใช้แรงคงที่ลงไปบดข้าวสุกสม่ำเสมอ จนละเอียดพอดีที่จะสามารถกลืนลงคอ

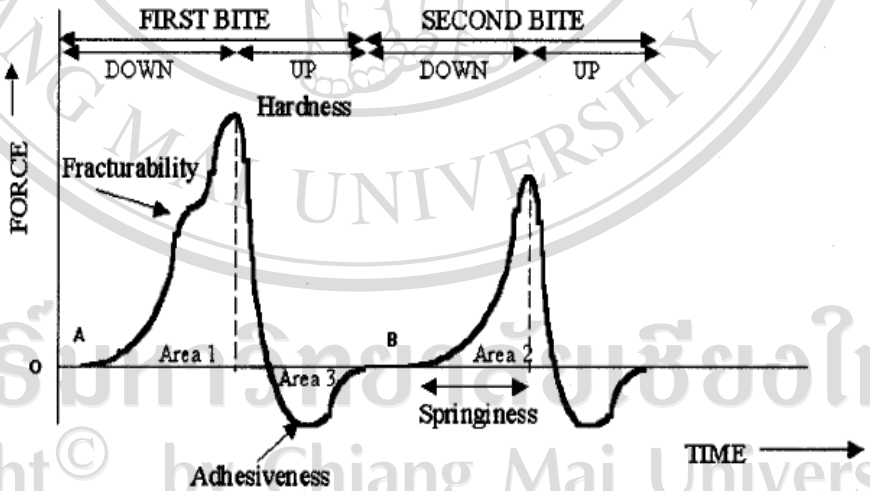
ความเหนียวติดยึด (Gumminess) – ความเหนียวติดยึดจากการบดโดยใช้พลังงานในการย่อยข้าวหุงสุก มีความหมายตรงข้ามกับคำว่า ความแข็ง และความเกาะติดกัน มีผลการวัดเป็นความร่วนไปจนถึงความเหนียวติดยึดสูง

ความสามารถในการทำให้แตกหัก (Fracturability) – แรงในการกัดข้าวหุงสุกให้ขาด มีผลการวัดจากข้าวแข็งมากจนถึงข้าวเกาะกันมาก

ความเป็นสตาร์ช (Starchiness) – การอธิบายลักษณะความชื้นของผิวข้าวมีสภาพตั้งแต่แห้งและร่วน ไปจนถึงแฉะ และเป็นสตาร์ชสูง ในใจกลางเมล็ดข้าวจะมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่แข็งกว่า และมีกลิ่นรสดิบ

การติดฟัน (Tooth pack) – ข้าวหุงสุกที่มีความเหนียวติดกัน และความเหนียวติดยึดอยู่ระหว่างฟันที่เคี้ยว

ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุกสามารถวัดโดยเครื่อง Texture analyzer ทำการวัดแบบ Texture Profile Analysis (TPA) จะได้ข้อมูลที่เป็นค่าตัวแปรทางเนื้อสัมผัสโดยจะแสดงผลออกมาดังภาพ 2.4



ภาพ 2.4 ตัวอย่างกราฟจากการวัด Texture Profile Analysis (TPA)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากภาพมีนิยามเกี่ยวกับ Texture Profile Analysis (TPA) ต่างๆ ดังต่อไปนี้ (Lyon *et al*. 2000)

ความแน่นแข็ง (Hardness) คือ ความสูงของจุดสูงสุดของโค้งแรกของกราฟ

ความยืดหยุ่น (Springiness) คือ อัตราส่วนของเส้นทางระหว่างเส้นทางการกดของหัวกดเส้นโค้งที่สอง และส้นโค้งแรก

ความเกาะติดกัน (Cohesiveness) คือ อัตราส่วนของพื้นที่ระหว่างเส้นโค้งที่สองกับเส้นโค้งแรก (Area2/Area1)

ความเหนียวติดกัน (Adhesiveness) คือ แรงที่มีค่าลบที่เกิดจากแรงดึงขึ้นของหัวกดขึ้นจากตัวอย่าง (Area 3)

ความเหนียวติดยึด (Gumminess) คือ ผลคูณระหว่างค่าความแน่นแข็งกับค่าความเกาะติด

การเคี้ยว (Chewiness) คือ ผลคูณระหว่างค่าความเหนียวยึดติด กับความยืดหยุ่น

ความเสียหายเนื่องมาจากแมลงในโรงเก็บ

ข้าวและผลิตภัณฑ์แปรสภาพของข้าว เมื่อเก็บไว้ระยะเวลาหนึ่งแล้วมักมีแมลงเข้าทำลาย การทำลายของแมลงทำให้เกิดความเสียหายต่อข้าวทั้งในด้านปริมาณและคุณภาพ และมีผลเสียต่อชื่อเสียงของผู้ผลิตหรือผู้ประกอบการ ดังนั้นการเก็บรักษาข้าวให้ปลอดแมลงจึงเป็นสิ่งสำคัญและจำเป็นเพื่อที่จะให้ได้ข้าวที่มีคุณภาพ (กรมวิชาการเกษตร, 2545) แมลงศัตรูข้าวในโรงเก็บสร้างความเสียหายให้กับข้าวตั้งแต่ในช่วงที่เก็บรักษาเป็นข้าวเปลือก เช่น ผีเสื้อข้าวเปลือก ด้วงงวงข้าวและมอดข้าวเปลือกหรือมอดหัวป้อม ซึ่งเป็นแมลงที่ทำลายภายในเมล็ดข้าว กัดกินสร้างความเสียหายทั้งในแง่ปริมาณและคุณภาพ (Reese, 1996) นอกจากนี้ยังพบแมลงอีกหลายชนิดที่เข้าทำลายซ้ำ โดยเข้าทำลายหลังจากที่แมลงชุดแรกเข้าทำลายไปก่อน เช่น มอดอกฟันเลื่อย และผีเสื้อข้าวสาร

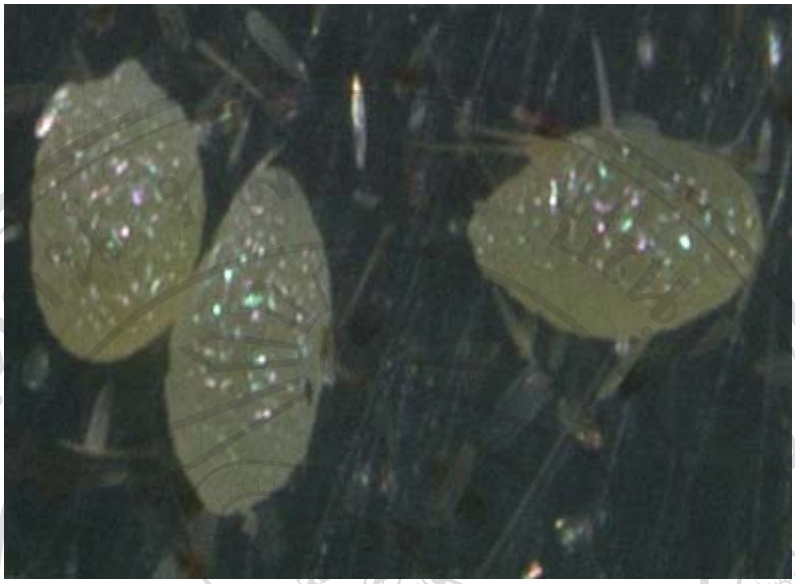
ผีเสื้อข้าวสาร (Rice moth)

ผีเสื้อข้าวสาร *Corcyra cephalonica* (Stainton) จัดอยู่ในวงศ์ Pyralidae อันดับ Lepidoptera เป็นแมลงศัตรูในโรงเก็บที่สำคัญในเอเชียและอเมริกาใต้ ตัวอ่อนจะกินอาหาร ได้แก่ ข้าว, เมล็ดโกโก้, ชอคโกแล็ต, ผลไม้แห้ง, ขนมปัง, กาแฟ และเมล็ดพันธุ์อื่นๆ (Rees, 1996; Huang and Subramanyam, 2003) เป็นแมลงศัตรูที่สำคัญของข้าวสาร โดยเฉพาะข้าวสารที่เก็บไว้นาน ๆ หรือข้าวสารที่มีเปอร์เซ็นต์การแตกหักสูง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รูปร่างลักษณะ

ผีเสื้อข้าวสารมีขนาดวัดจากปลายปีกข้างหนึ่งถึงปลายปีกอีกข้างหนึ่ง 15-25 มิลลิเมตร นับว่าเป็นผีเสื้อที่ทำลายข้าวสารที่มีขนาดใหญ่ที่สุด มีปีก 2คู่ ปีกคู่แรกสีน้ำตาล ปีกคู่หลังมีสีเทา labial pulp ของตัวเมียจะตรงและทู่ ในตัวผู้ labial pulp จะทู่และสั้นมองไม่ชัดเจน



ภาพ 2.5 รูปร่างลักษณะของผีเสื้อข้าวสารระยะไข่

ภาพ 2.6 รูปร่างลักษณะของผีเสื้อข้าวสารระยะหนอน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพ 2.7 รูปร่างลักษณะของผีเสื้อข้าวสารในระยะดักแด้ในข้าว

ภาพ 2.8 รูปร่างลักษณะผีเสื้อข้าวสารในระยะตัวเต็มวัย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

พฤติกรรมและการเข้าทำลายของผีเสื้อข้าวสาร

ตัวเมียวางไข่ที่มีสารเหนียวเคลือบทำให้ติดแน่นกับอาหาร ตัวเต็มวัยเพศเมียวางไข่ประมาณ 44-370 ฟอง มักวางไข่เดี่ยวๆ ไข่จะฟักใน 4-5 วัน หนอนมีสีขาว หนอนจะสร้างใยปกคลุมตัวเองไว้เพื่อป้องกันตัว หนอนกินอาหาร ชักใย ถ่ายมูลและของเสียลงบนอาหาร ทำให้อาหารนั้นดูสกปรกและเสียคุณภาพ ระยะหนอน 28-41 วัน แล้วจึงเข้าดักแด้ในปลอกที่สร้าง ระยะดักแด้ 6-13 วัน ระยะตัวเต็มวัย 7-14 วัน วงจรชีวิตใช้เวลา 30-40 วัน ผีเสื้อข้าวสารจะไม่ชอบความชื้น สภาพที่เหมาะสมคือ อุณหภูมิ 30-32.5 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 70% แม่ผีเสื้อจะทำหน้าที่ผสมพันธุ์ วางไข่และจะตายไป พบผีเสื้อข้าวสารระบาดทั่วไปในโรงสีและโรงเก็บรักษาข้าวสาร (สำนักงานวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร, 2548)

การป้องกันกำจัดผีเสื้อข้าวสาร

การป้องกันกำจัดผีเสื้อข้าวสาร รวมทั้งแมลงศัตรูโรงเก็บอื่นๆ โดยการใช้สารเคมีสามารถใช้การรม (fumigation) เพื่อเป็นการกำจัดแมลงที่อาจติดไปกับเมล็ดพืช และการใช้สารเคมีคลุกเมล็ด ซึ่งเป็นการกำจัดและป้องกันแมลงที่อาจเข้าทำลายเมล็ดพืชได้ภายหลัง สารเมธิลโบรไมด์และฟอสฟีนเป็นสารรม ที่นำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยใช้เป็นสารร่วมเพื่อใช้กำจัด ไส้เดือนฝอย วัชพืช แมลง เชื้อรา แบคทีเรีย และสัตว์ฟันแทะ จะมีการใช้สารนี้ในการควบคุมแมลงศัตรูหลังการเก็บเกี่ยวอย่างเข้มงวดในสินค้าประเภท เมล็ดพันธุ์ ผลไม้แห้งผลิตภัณฑ์จากไม้ และวัตถุดิบที่นำเข้า (Mitcham *et al*., 2004) อย่างไรก็ตามสารเมธิลโบรไมด์เป็นสารเคมีที่เป็นพิษต่อสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมสูง และยังเป็นสารที่มีผลในการทำลายชั้นบรรยากาศของโลกตาม Montreal protocol สารฟอสฟีน เป็นสารรมอีกชนิดหนึ่งที่นิยมใช้กำจัดแมลงศัตรูโรงเก็บอาทิ มอดแป้ง มอดหัวป้อม มอดอกฟันเลื่อยและผีเสื้อข้าวสารเป็นต้น Shazali (2000) ได้ทำการทดลองใช้ฟอสฟีนในอัตรา 1.8 และ 2.4 กรัมฟอสฟีนต่อลูกบาศก์เมตร กำจัดผีเสื้อข้าวสารและแมลงศัตรูโรงเก็บชนิดอื่นได้แก่ ด้วงงวงข้าว มอดแป้ง และมอดหัวป้อม พบว่าสามารถกำจัดแมลงดังกล่าวได้อย่างสมบูรณ์ (100%) อย่างไรก็ตามสารฟอสฟีนมีการใช้ แพร่หลายแนวโน้มที่แมลงศัตรูโรงเก็บจะต้านทานก็มีมากขึ้น

ส่วนสารเคมีที่ใช้ในการกำจัดแมลง Huang and Subramanyam (2003) ได้ทำการทดลองใช้สารเคมีในกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต ได้แก่ ไพริมิฟอสเมทธิล (pirimiphos-methyl) พบว่าสามารถควบคุมแมลงศัตรูโรงเก็บได้ในอัตรา 8 mg/kg ที่พบในข้าวโพดและงา นอกจากนี้ การใช้ไพ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ริมิฟอสเมทธิล ที่ 4, 6 หรือ 8 mg/kg ร่วมกับ ไพเรทริน ผสมกับ ไพเพอร์โรนิลบิวทอกไซด์ (piperonyl butoxide) 0.38 – 1.5 mg/kg สามารถลดการรอดชีวิตของระยะตัวอ่อนผีเสื้อข้าวสารมากกว่าหรือเท่ากับ 95% ระยะออกจากดักแด้ มากกว่าหรือเท่ากับ 99% และระยะทำลายเมล็ดพันธุ์มากกว่าหรือเท่ากับ 94% นอกจากนั้น Sharma and Bhargava (2004) ได้มีการทดสอบสาร diflubenzuron ในความเข้มข้นต่างๆได้แก่ 0.001, 0.005, 0.01, 0.05, 0.1 และ 0.5% เพื่อใช้กำจัดผีเสื้อข้าวสารในเมล็ดข้าวฟ่าง พบว่าสาร diflubenzuron มีผลทำให้การเข้าดักแด้และการพัฒนาจากดักแด้เป็นผีเสื้อลดลง การตายของทุกระยะการเจริญเติบโตของผีเสื้อข้าวสารจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสาร diflubenzuron เพิ่มขึ้น และเมื่อใช้ในความเข้มข้นที่มากขึ้นจะทำให้ระยะเวลาที่จะสามารถควบคุมแมลงดังกล่าวได้นานขึ้น แต่ในปัจจุบันการใช้สารเคมีดังกล่าวมีแนวโน้มที่แมลงชนิดนี้สามารถพัฒนาความต้านทานได้ ผู้ใช้สารเคมีในการควบคุมแมลงอาจมีการใช้สารเคมีที่มีความเข้มข้นมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลกระทบจากสารพิษที่ตกค้างต่อความปลอดภัยของผู้บริโภค

การใช้สารสกัดจากพืชเป็นทางเลือกหนึ่งที่นำมาใช้กำจัดผีเสื้อข้าวสารได้ Allotey and Azalekor (2000) ได้ทดลองใช้พืช 2 ชนิด คือ จากเปลือกของส้มเกลี้ยง *Citrus sinensis* และใบของสาบเสือ *Chromolaena odorata* พบว่า สารที่ได้จากเปลือกของ *Citrus sinensis* ในอัตรา 2.5 กรัม จะมีประสิทธิภาพ และสามารถลดจำนวนผีเสื้อข้าวสารมากกว่าครึ่งของจำนวนผีเสื้อข้าวสารทั้งหมดที่ทดสอบเมื่อเปรียบเทียบกับผีเสื้อข้าวสารในชุดควบคุม และสามารถควบคุมได้เป็นเวลามากกว่า 1 เดือนครึ่ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

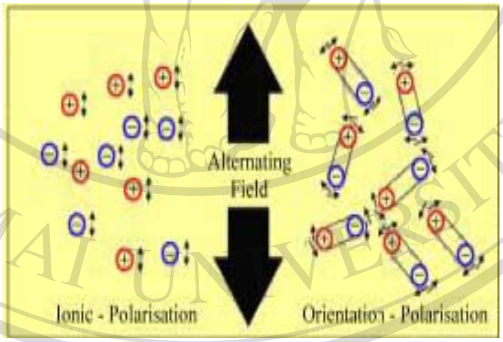
คลื่นความถี่วิทยุ (Radio Frequency; RF)

เป็นการใช้คลื่นความถี่วิทยุที่มีความถี่ในช่วง 1-300 MHz และคลื่นไมโครเวฟจะอยู่ในช่วงความถี่ 300-3000 MHz ซึ่งทั้งสองจะอยู่ในรูปของ non-ionizing ของการแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และสามารถอธิบายได้ในรูปแบบของเวลาของการเปลี่ยนแปลงของไฟฟ้าที่เคลื่อนที่ตัดผ่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อคลื่นไมโครเวฟ (MV) หรือ คลื่นความถี่วิทยุ (RF) อยู่ในสภาวะที่เป็นกลางผลเห็นได้ชัดคือการเกิดความร้อน (Francesco *et al*., 2006)

แนวความคิดหลักของการใช้คลื่นความถี่วิทยุ

แนวคิดของการใช้คลื่นความถี่วิทยุคือ การใช้อุณหภูมิสูงในช่วงระยะเวลาสั้นในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์โดยใช้อุณหภูมิสูง และการทำให้ปราศจากเชื้อในเชิงทางการค้าของอาหารเพื่อเป็นพัฒนาการรักษาคุณภาพของอาหารให้ดีขึ้น (Ikediala *et al*., 2001) แนวความคิดนี้จะเป็นแนวทางในการศึกษาต่อไปเพื่อเป็นการพัฒนาการใช้ความร้อนแบบใหม่นี้กับสินค้าที่เป็นของสดได้ (Ikediala *et al*., 2000; Tang *et al*., 2000).

หลักการทำงานของเครื่องคลื่นความถี่วิทยุ

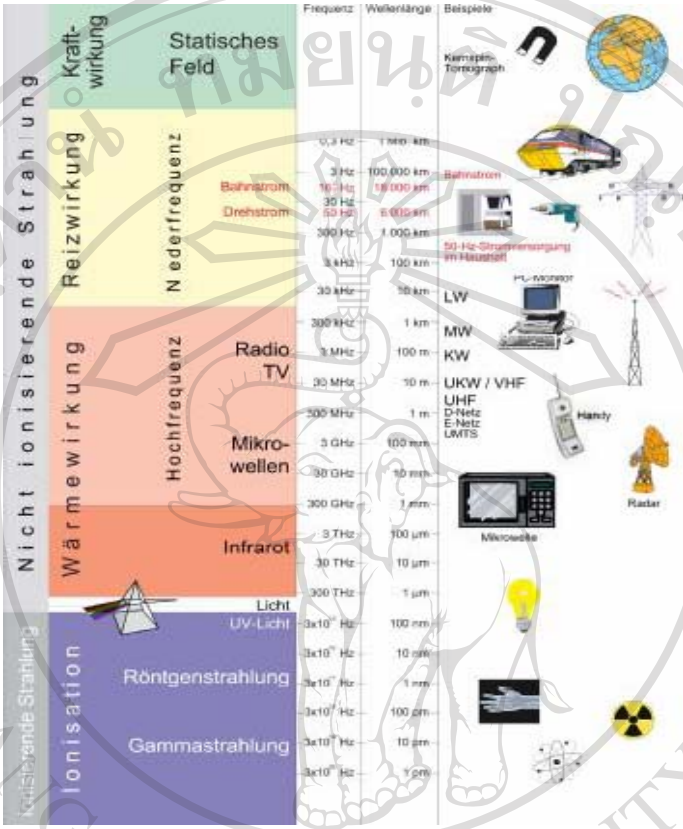


ภาพ 2.9 ลักษณะการเปลี่ยนจากพลังงานจลน์ไปเป็นพลังงานความร้อนภายในตัววัตถุเมื่อถูกนำไปวางไว้ในสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ที่มา: Wolfgang (2003)

การใช้คลื่นความถี่วิทยุจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าหมุนเวียนสลับระหว่างของทั้งสองขั้ว electrode ซึ่งมีผลทำให้วัตถุเกิดความร้อนขึ้น วัตถุที่อยู่ในรูปของ dielectric จะเกิดการตอบสนองกับ capacitor plates ซึ่งเป็นสลับของกระแสระหว่างขั้วบวกไปเป็นลบ หลายครั้งใน 1 วินาที ซึ่งเป็นตัวที่จะกำเนิดความถี่ ดังตัวอย่างเช่นเครื่องสามารถทำงานได้ที่ความถี่ 27.12 MHz ขั้วของ electrodes ก็จะเปลี่ยนแปลง 27.12 ล้านครั้งต่อวินาที ภายใต้สภาพเช่นนี้จะเป็นการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เกิดปฏิกิริยาที่เป็นพลังที่เกิดกับขั้ว electrodes ภายในตัวของวัตถุเอง ซึ่งจะทำเกิดความร้อนขึ้นกับผลิตภัณฑ์ (Ryynänen, 1995).



ภาพ 2.10 ช่วงคลื่นความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดต่างๆ

ที่มา : Wolfgang (2003)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

คลื่นความถี่วิทยุทำให้เกิดความร้อนได้อย่างไร?

ความร้อนของการใช้คลื่นความถี่วิทยุ (RF) จะเกิดขึ้นมาจากปฏิกิริยาภายในร่วมกันระหว่างพลังงานของความยาวคลื่น และ dielectric ซึ่งเป็นคุณสมบัติพื้นฐานของน้ำ ผลของปฏิกิริยาร่วมดังกล่าวทำให้เกิดปรากฏการณ์ 2 รูปแบบ คือ

1. Intermolecule friction ที่เกิดจากแรงดึงดูดกันระหว่างโมเลกุล

2. Hysteresis เป็นแรงต้านทางประจุไฟฟ้าเนื่องมาจากแรงเฉื่อย ซึ่งขึ้นกับจำนวนประจุมวล และรูปร่างของโมเลกุล

เมื่อวัตถุมีการดูดซับพลังงานจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าก่อให้เกิดความร้อนได้ 2 แบบ ร่วมกัน ได้แก่

1. Ionic Polarization เป็นการเกิดความร้อนเนื่องจากผลของการเคลื่อนที่ของไอออนในสารละลายเมื่อเข้าไปอยู่ในสนามไฟฟ้าโดยแต่ละไอออนที่มีประจุไฟฟ้าประจำตัวถูกกระตุ้นและเร่งให้เกิดการเคลื่อนที่ทำให้เกิดการเสียดสีกันระหว่างไอออน ในขณะเดียวกันเกิดการเปลี่ยนรูปของพลังงานจลน์เป็นพลังงานความร้อนขึ้น แล้วเกิดการกระจายความร้อนไปยังส่วนอื่นๆ ซึ่งการเกิดความร้อนลักษณะนี้เกิดขึ้นในส่วนของของเหลวภายในเซลล์ที่อยู่ในรูปของสารละลายต่างๆ

2. Dipole Rotation เป็นการเกิดความร้อนกับสารประกอบที่มีขั้ว (polar) ซึ่งได้แก่ น้ำ ในสภาพปกติการเรียงตัวของประจุบวกและประจุลบของสารประกอบที่มีขั้วนี้เรียงตัวอย่างไม่มีระเบียบ (random oriented) เมื่อเข้าไปอยู่ในสนามไฟฟ้าประจุบวกและประจุลบของสารเกิดการเคลื่อนที่เพื่อเปลี่ยนทิศทางการเรียงตัวที่เป็นระเบียบขึ้น การเคลื่อนที่ด้วยการหมุนตัวกลับไปมาเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วตามระดับความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ให้ ซึ่งในคลื่นความถี่วิทยุ การเคลื่อนที่ของประจุ 3-300 ล้านครั้งต่อ 1 วินาที ซึ่งผลของความเร็วในการหมุนตัวและการเสียดสีกันก่อให้เกิดเป็นความร้อนขึ้นมาอย่างรวดเร็วภายในระยะเวลา 2-3 วินาทีหรือประมาณ 1 นาที หลังจากได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ต่อจากนั้นความร้อนที่เกิดขึ้นเกิดการกระจายตัวไปยังส่วนอื่นๆ เช่นเมื่อทดสอบผลไม้ที่มีแมลงอยู่ภายในจะทำให้ผลไม้และแมลงเกิดความร้อนในเวลาเดียวกัน (Wang *et al*., 2002) โดยการให้พลังงานแก่วัตถุที่อยู่ระหว่างแผ่นเหล็กสองแผ่น จะเป็นอัตราความร้อนที่แตกต่างกัน ซึ่งจะมีอัตราใกล้เคียงกับความร้อนที่เกิดขึ้นโดย น้ำร้อน อากาศร้อน พลังงานคลื่นความถี่วิทยุ หรือพลังงานคลื่นไมโครเวฟ (Mitcham *et al*., 2004)

ความร้อนของคลื่นความถี่วิทยุจะขึ้นอยู่กับความเป็นฉนวน และความสามารถในการเป็นตัวนำกระแสไฟฟ้าซึ่งเป็นค่าของคุณสมบัติของวัสดุทางการเกษตร และชีวภาพ โดยเป็นอิทธิพลมาจากความถี่ อุณหภูมิ ปริมาณเกลือ และปริมาณความชื้น (Ryynänen, 1995)

ที่ผ่านได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการใช้คลื่นความถี่วิทยุ (RF) หรือคลื่นไมโครเวฟ ที่ทำให้เกิดความร้อน เพื่อควบคุมแมลงต่างๆในพืชผลและธัญพืชหลังการเก็บเกี่ยว และยังได้มีการเสนอให้มีการใช้พลังงานของคลื่นความถี่วิทยุ และไมโครเวฟ ร่วมกับทฤษฎีวิธีการอื่นๆ อีกด้วย จนกระทั่งมีรายงานหลายฉบับยืนยันว่าสามารถควบคุมแมลงต่างๆได้แน่นอน และยังทราบระดับความร้อนที่พอเหมาะกับการกำจัดแมลง ซึ่งคลื่นความถี่ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในวงการแพทย์ วงการวิทยาศาสตร์ และอุตสาหกรรมที่เกี่ยวกับการควบคุมแมลงหลังการเก็บเกี่ยวจะมีความถี่ 13.56, 27.12 และ 40.68 MHz ซึ่งความถี่นี้แบ่งโดย องค์การสื่อสารมวลชนของประเทศอเมริกา (U.S. Federal Communication Commission: FCC) และการศึกษาในปัจจุบันก็ได้มุ่งเน้นการใช้คลื่น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความถี่วิทยุ (RF) ในการควบคุมแมลงในโรงเก็บเมล็ดพันธุ์ในระดับห้องปฏิบัติการ (Nelson and Whitney, 1960) และมีการพัฒนาและประสบความสำเร็จในระดับของโรงงานอุตสาหกรรมขนานใหญ่ (Wang *et al*., 2001) ซึ่งงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้คลื่นวิทยุในการควบคุมแมลงต่างๆ ยังคงมีหลากหลายงานวิจัยดังนี้

Headlee and Burdette (1929) ตั้งสมมุติฐานไว้ว่า มีความเป็นไปได้ที่พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า จะสามารถควบคุมแมลงได้ ตั้งแต่นั้นต่อมาได้มีการพิจารณาและศึกษา นำไปซึ่งความเป็นไปได้ในการใช้ คลื่นความถี่วิทยุ และคลื่นไมโครเวฟในการรักษาและต่อต้านด้วงงวงข้าวได้ (Nelson, 1996) นอกจากนั้น Wang *et al*. (2002) ได้รายงานว่า การใช้พลังคลื่นความถี่วิทยุ 100% สามารถกำจัดแมลงที่ในวอลนัทได้โดยไม่ทำให้คุณภาพของวอลนัทเปลี่ยนแปลง

การใช้คลื่นความถี่วิทยุระยะเวลา 7-10 นาทีที่อุณหภูมิ 50°C เพื่อทดสอบการตาย และระยะเวลา 10-20 นาที ที่อุณหภูมิ 48°C เพื่อทดสอบเกี่ยวกับคุณภาพของเชอรี่ พบว่ามีประสิทธิภาพ 100% ในการกำจัด codling moth lavae ในเชอรี่และทำให้คุณภาพของเชอรี่ลดลงเพียงเล็กน้อยหรือไม่ลดลงเลย (Monzon *et al*., 2004)

นอกจากนั้น ยังมีรายงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้คลื่นความถี่วิทยุในการควบคุมแมลงในโรงเก็บวอลนัท ซึ่งทำให้ความร้อนภายในวอลนัทสูงถึง 55 องศาเซลเซียส หรือสูงกว่านั้น ซึ่งมีผลต่อแมลงที่กำลังจะลอกคราบในการกำจัด 100% (Mitcham *et al*., 2004) และในปี 2006 ได้มีรายงานการทดลองการใช้คลื่นความถี่วิทยุในระดับของอุตสาหกรรมวอลนัทขนาดใหญ่ โดยได้มีการทดสอบกับระบบการลำเลียงวอลนัทในโรงงานขนาดใหญ่ โดยการใช้ กำลังไฟที่ 25 kW ในระดับความถี่ 27 MHz พบว่า ในระดับความร้อนที่สูงที่เกิดจากคลื่นความถี่วิทยุสามารถกำจัดหนอน navel orange worm และแมลงศัตรูต่างๆ และยังสามารถลดความชื้นสัมพัทธ์ของวอลนัทได้ นอกจากนั้นการใช้คลื่นความถี่วิทยุยังเป็นการกำจัดแมลงศัตรูในโรงเก็บอย่างเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Wang *et al*., 2007)

Nelson and Charity (1972) รายงานว่าสามารถใช้คลื่นความถี่วิทยุเพื่อทำการควบคุมแมลงในการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ (Stored-grain insect control) โดยการใช้คลื่นความถี่ 39 MHz เป็นเวลา 3 วินาที และ 2540 MHz 13 วินาที สามารถทำลายตัวเต็มวัยของ ด้วงงวงข้าว (rice weevils) ในเมล็ดข้าวสาลีได้ 100% ซึ่งสามารถใช้ทดแทนการรมด้วยสารเคมี (fumigation) ได้ และไม่ทำให้มีสารพิษตกค้างในผลผลิต

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved