บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ข้าวหอมมะลิ เป็นชื่อที่ผู้บริโภคและผู้ประกอบการค้าข้าวนิยมเรียก โดยเพี้ยนมาจาก "ข้าวดอกมะลิ" และมีชื่อเป็นทางการว่า "ข้าวขาวดอกมะลิ 105" ความหมายคือ ข้าวพันธุ์นี้จัดอยู่ในประเภทข้าวขาว เพราะข้าวเปลือกมีสีขาวหรือสีฟาง และมีกลิ่นหอมคล้ายกลิ่นใบเตยหอม สำหรับหมายเลข 105 หมายถึงขั้นตอนการปรับปรุงพันธุ์

ลักษณะที่สำคัญของข้าวหอมมะลิคือ เมล็ดข้าวเปลือกเรียวได้มาตรฐานข้าวชั้นหนึ่ง เมื่อขัดสีเป็นข้าวสารจะได้เมล็ดที่เรียวยาว ขาว ใส เป็นเงาแกร่ง และมีท้องไข่น้อย เมื่อหุงเป็นข้าวสุกก็จะได้ข้าวที่มีความเลื่อมมัน อ่อนนุ่ม และมีกลิ่นหอม

2.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว

ข้าวเปลือก (Rough rice) เป็นส่วนผลของต้นข้าว ซึ่งอาจจำแนกเป็นส่วนต่าง ๆ ดังนี้ (รูปที่ 2.1)

1. เปลือกนอก หรือ แกลบ (Hull) เป็นส่วนที่ป้องกันเมล็ดข้าวจากเชื้อราและแมลงในระหว่างการเก็บรักษา ส่วนนี้มีน้ำหนักเฉลี่ยประมาณร้อยละ 20 ของน้ำหนักเมล็ดข้าวเปลือก ประกอบด้วย Palea และ Lemma เชื่อมกันโดยโครงสร้างพิเศษที่เรียกว่า Hook-shaped ชั้นนอกของ Hull มี Trichomes องค์ประกอบส่วนใหญ่ภายในเปลือก ได้แก่ ลิกนิน (ร้อยละ 30) เซลลูโลส (ร้อยละ 25) และเถ้า (ร้อยละ 21) ดังนั้นส่วนนี้จึงมีคุณค่าทางโภชนาการต่ำ

2. ส่วนที่บริโภคได้หรือข้าวกล้อง (Brown rice หรือ Dehulled rice) แบ่งออกเป็นชั้น ๆ ดังนี้

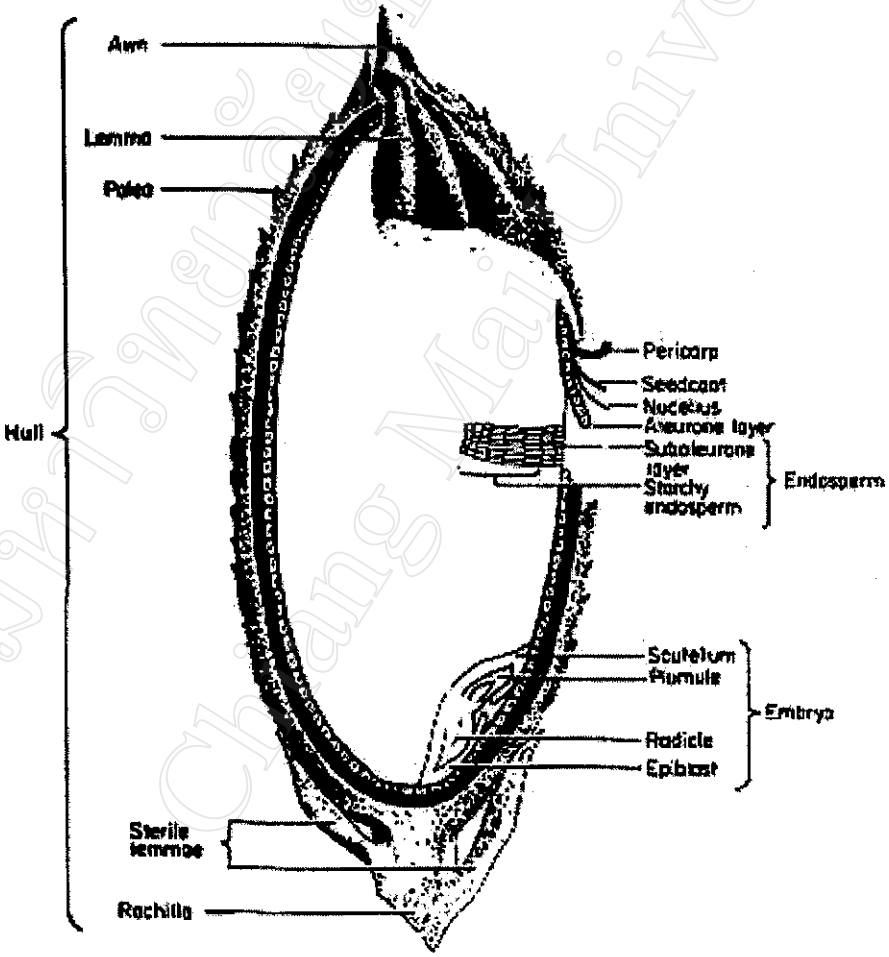
- เยื่อหุ้มผล (Pericarp) เป็นส่วนผิวนอกของข้าวกล้อง มีความหนาประมาณ 10 ไมครอน หรือประมาณร้อยละ 4-5 ของน้ำหนักเมล็ด ผิวชั้นนอกมีลักษณะเป็นคลื่น

- เยื่อหุ้มเมล็ด (Seed coat) เป็นส่วนที่อยู่ต่อจากชั้นเยื่อหุ้มผล เซลล์ชั้นเดียวมีความหนาประมาณ 0.5 ไมครอน

- ชั้นอลูโรน (Aleurone layer) มีลักษณะเป็นเซลล์รูปสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ ผนังเซลล์หนา ใน อลูโรนเซลล์มี สารประกอบโปรตีนและไขมัน มากที่สุด จำนวนชั้นของอลูโรนจะแตกต่างกันออกไปตั้งแต่ 1-7 ชั้น ขึ้นอยู่กับพันธุ์ของข้าวและตำแหน่งของเมล็ด โดยอลูโรน บริเวณ Ventral มี 2-3 ชั้น ส่วนบริเวณ Dorsal มี 4-7 ชั้น และข้าวพันธุ์เมล็ดสั้นจะมีแนวโน้มมีจำนวนชั้นของอลูโรนเซลล์มากกว่าข้าวพันธุ์เมล็ดยาว

- คัพภะ (Embryo) เป็นส่วนที่จะเจริญเป็นต้นอ่อนต่อไป ประกอบด้วย Embryonic axis (Epicotyl, Mesocotyl หรือ Hypocotyl และ Radicle) และ Scutellum ส่วนนี้มีโปรตีน ไขมัน เถ้า และวิตามินในปริมาณที่สูง แต่ไม่มีแป้ง

- เอนโดสเปิร์ม (Endosperm) คือส่วนที่เป็นข้าวสาร ในส่วนนี้มีแป้งเป็นองค์ประกอบหลัก แป้งข้าวจะอยู่รวมกันเป็นกลุ่ม (Starch compound) กลุ่มแป้งหลาย ๆ กลุ่มจะอยู่รวมกันเป็น Micelles โดยมีกลุ่มโปรตีน (Protein body) แทรกอยู่ ภายในเมล็ดข้าวสารนี้มีแป้งอยู่ประมาณร้อยละ 84-93 โดยน้ำหนัก แป้งข้าวแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ อะไมโลส (Amylose) และอะไมโลเปกติน (Amylopectin)



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว (Juliano , 1985)

2.2 ความสูญเสียของข้าวในขั้นตอนเก็บเกี่ยวและหลังการเก็บเกี่ยว

ความสูญเสียของข้าวที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการเก็บเกี่ยวและหลังเก็บเกี่ยว สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะใหญ่ ๆ คือ

1 ความสูญเสียด้านปริมาณ หรือน้ำหนัก ได้แก่ น้ำหนักของข้าวลดลงหรือหายไป เนื่องจากสาเหตุต่าง ๆ เช่น ร่วงหล่นในนาขณะเก็บเกี่ยว เกี่ยวไม่หมด นวดไม่หมด ถูกแมลงศัตรูและนก หนู ทำลายทั้งในนาและในโรงเก็บ เป็นต้น จากการศึกษาของ Wimberly (1983) พบว่า ผลผลิตข้าวที่ได้ทั้งหมดจะมีการสูญเสียไปในขั้นตอนต่าง ๆ ตั้งแต่ระยะเก็บเกี่ยวจนถึงโรงสี อยู่ระหว่างร้อยละ 7-26 โดยแบ่งออกเป็นแต่ละขั้นตอนดังนี้คือ สูญเสียจากการเก็บเกี่ยวและขนย้ายร้อยละ 2-7 การตากและทำความสะอาดร้อยละ 1-5 ระหว่างเก็บรักษาร้อยละ 2-6 ในการสีร้อยละ 2-8 สำหรับประเทศไทย ประสูติและคณะ (2526, 2528) ได้ศึกษาความสูญเสียเบื้องต้นในสถานีทดลองข้าว 9 แห่ง ทั่วทุกภาคของประเทศ พบว่า มีการสูญเสียรวมเฉลี่ยร้อยละ 16.83 แยกเป็นการสูญเสียในขั้นตอนต่าง ๆ ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ความสูญเสียของข้าวจากการทดลองในสถานีทดลองข้าว 9 แห่ง

ขั้นตอนการปฏิบัติงาน	ความสูญเสีย (ร้อยละ โดยน้ำหนัก)
การเก็บเกี่ยว	3.83
การตาก-มัด	1.03
การขนย้ายไปนวด	0.27
การนวด	3.99
การทำความสะอาด	1.79
การขนใส่ภาชนะหรือยุ้งฉาง	0.92
การเก็บรักษา	5.00
รวม	16.83

ที่มา : ประสูติและคณะ, 2526 และ 2528.

ในแต่ละปี ประเทศไทยผลิตข้าวได้ปีละประมาณ 20 ล้านตันข้าวเปลือก เมื่อคิดปริมาณความสูญเสียที่เกิดขึ้นในทุกขั้นตอนรวมกันร้อยละ 16.83 จะมีข้าวเปลือกสูญเสียไปถึงปีละ 3.3 ล้านตัน คิดเป็นมูลค่าถึง 1.65 หมื่นล้านบาท (คิดราคาข้าวเปลือกตันละ 5,000 บาท) ถ้าเราสามารถลดความสูญเสียของข้าวด้านปริมาณหลังการเก็บเกี่ยวให้น้อยลง นั่นคือการช่วยเพิ่มผลผลิตข้าวให้สูงขึ้นอีกทางหนึ่งนั่นเอง

2 ความสูญเสียด้านคุณภาพ ได้แก่ ความสูญเสียในแง่คุณภาพของเมล็ด เช่น คุณภาพการสี ความมีชีวิต ความแข็งแรงของเมล็ด คุณค่าทางอาหาร กลิ่น สี รสเปลี่ยนแปลงไป เกิดสารพิษจากเชื้อรา (Mycotoxin) เป็นต้น

ในสภาวะการแข่งขันของตลาดในปัจจุบัน การเพิ่มผลผลิตจะเน้นแต่ปริมาณหรือน้ำหนักเพียงอย่างเดียวไม่ได้ จะต้องเน้นคุณภาพของผลผลิตด้วย คือต้องมีคุณภาพดี ข้าวคุณภาพดีส่วนใหญ่จะหมายถึงคุณภาพทางกายภาพเป็นสำคัญ อาทิเช่น คุณภาพการสี เป็นต้น อย่างไรก็ตามในตลาดค้าข้าวปัจจุบันนี้คุณภาพทางเคมีของข้าวเริ่มมีบทบาทสำคัญไม่น้อยกว่าคุณภาพทางกายภาพ ซึ่งการจะทำให้ข้าวที่ผลิตได้มีคุณภาพดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ มากมาย นับตั้งแต่การคัดเลือกพันธุ์ปลูก การดูแลรักษา เป็นต้น แต่ที่นับว่าสำคัญและมีผลกระทบต่อคุณภาพของข้าวมากที่สุดและโดยตรงคือการปฏิบัติในขั้นตอนการเก็บเกี่ยวและหลังเก็บเกี่ยวว่ามีความถูกต้องเหมาะสมแค่ไหน ถ้าปฏิบัติไม่ถูกต้องเหมาะสมจะทำให้ข้าวที่ผลิตได้มีคุณภาพไม่ดีและมีการสูญเสียในด้านปริมาณเกิดขึ้นสูง

2.3 ปัจจัยต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดความเสียหายกับข้าวในขณะเก็บรักษา

สิ่งสำคัญที่สุดที่ต้องคำนึงถึงในการเก็บรักษาข้าวคือ ต้องรักษาให้คุณภาพและปริมาณของข้าวที่เก็บคงที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง หรือมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นน้อยที่สุด

ผลผลิตของข้าวที่เก็บรักษาไว้ในโรงเก็บส่วนใหญ่จะเกิดความเสียหายขึ้นโดยมีสาเหตุมาจากปัจจัยทางกายภาพ ได้แก่ อุณหภูมิในโรงเก็บ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในโรงเก็บ ความชื้นของข้าวที่เก็บ และปัจจัยทางชีวภาพ ได้แก่ ข้าวที่เก็บ แมลง ศัตรูจุลินทรีย์ต่าง ๆ สัตว์ศัตรูโรงเก็บ เป็นต้น ซึ่งพอจะจำแนกออกเป็นข้อ ๆ ได้ดังนี้

1. ข้าวที่นำเข้าเก็บรักษา ข้าวที่จะนำเข้าเก็บรักษาต้องมีสภาพที่เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษา มิฉะนั้นจะเกิดความเสียหายขึ้นได้ในขณะเก็บรักษา สภาพที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษาโดยทั่วไปหมายถึง ความชื้นต้องต่ำ สะอาด ปราศจากโรคและแมลงศัตรู และได้รับการปฏิบัติในขั้นตอนการเก็บเกี่ยว นวด ตาก ทำความสะอาดอย่างถูกต้องเหมาะสม

1.1 ความชื้นของข้าว ก่อนที่จะนำข้าวเข้าเก็บต้องตรวจสอบความชื้นก่อน ถ้าความชื้นสูงเกินระดับที่ปลอดภัยต่อการเก็บรักษา ต้องลดความชื้นลงให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยจึงนำเข้าเก็บรักษา โดยทั่วไปความชื้นของข้าวไม่ควรสูงเกินร้อยละ 14 ความชื้นเป็นปัจจัยสำคัญที่บ่งชี้ถึงคุณภาพของข้าว เพราะความชื้นเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดความเสียหายขึ้นกับข้าว ผลผลิตบางชนิด เช่น เมล็ดข้าว ข้าวโพด ข้าวสาลี เป็นเมล็ดที่ยังมีชีวิต ขบวนการทางชีวเคมีภายในเมล็ดยังดำเนินอยู่ เช่น ขบวนการหายใจ ซึ่งเป็นขบวนการที่นำเอาออกซิเจนจากอากาศไปสันดาปกับโมเลกุลของสารประกอบคาร์โบไฮเดรต (CHO) แล้วปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และความร้อนออกมา ดังสมการเคมี

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O \text{ เกิดความร้อน } = 673 \text{ Kcal}$$

การหายใจของเมล็ดมีความสัมพันธ์กับความชื้นของเมล็ด ยิ่งเมล็ดมีความชื้นสูงยิ่งทำให้อัตราหายใจของเมล็ดสูงขึ้น ทำให้อาหารที่สะสมไว้ในเมล็ดจะถูกนำมาย่อยสลายเปลี่ยนไปเป็นพลังงานและความร้อน น้ำหนักของเมล็ดจะลดลงและมีการเสื่อมคุณภาพเร็วขึ้น รวมทั้งเกิดความร้อนสะสมในกองเมล็ดเพิ่มขึ้น บางครั้งอาจสูงกว่า 55 องศาเซลเซียส ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าว เช่น เกิดข้าวเหลืองขึ้น พบว่า ข้าวเปลือกที่มีความชื้นร้อยละ 20-25 เมื่อเก็บรักษาไว้เพียง 3 อาทิตย์ จะเกิดเมล็ดเหลืองขึ้น แต่ถ้าลดความชื้นลงเหลือร้อยละ 15 -16 จะเกิดเมล็ดเหลืองขึ้นหลังเก็บรักษานาน 6 เดือน (Quitco ,1981) นอกจากนี้เมล็ดที่มีความชื้นสูงจะถูกแมลงศัตรูและจุลินทรีย์ต่าง ๆ เข้าทำลายได้ง่ายและรวดเร็วกว่าเมล็ดที่มีความชื้นต่ำ โดยทั่วไปถ้าความชื้นของข้าวต่ำกว่าร้อยละ 9 แมลงศัตรูโรงเก็บส่วนใหญ่จะไม่ทำลายและไม่สามารถเจริญเติบโตแพร่พันธุ์ได้ ดังนั้นความชื้นของผลผลิตก่อนเก็บรักษาต้องต่ำ ส่วนจะต่ำแค่ไหนนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของผลผลิต วัตถุประสงค์ในการเก็บและระยะเวลาเก็บรักษา แต่โดยทั่วไปไม่ควรเกินร้อยละ 13 - 14 สำหรับเมล็ดธัญพืชและไม่เกินร้อยละ 8 - 9 สำหรับเมล็ดพืชน้ำมัน

1.2 ความสะอาด ข้าวที่จะเก็บต้องสะอาดไม่มีสิ่งเจือปน เช่น เศษฟาง ตอซัง วัชพืช กรวด ดิน เพราะสิ่งเหล่านี้ดูดความชื้นได้ดีกว่าเมล็ดข้าว ทำให้ข้าวมีความชื้นเพิ่มสูงขึ้นได้ในขณะเก็บรักษา

1.3 ความปลอดจากโรคแมลงศัตรูต่าง ๆ ข้าวที่จะเก็บต้องปลอดจากโรคและแมลงศัตรู ควรมีการตรวจสอบแมลงศัตรูในข้าวก่อนเก็บ ถ้าพบแมลงศัตรูปะปนไม่ว่าในระยะของการเจริญเติบโตใด ๆ ต้องหาวิธีป้องกันกำจัดที่ถูกต้องเหมาะสม

1.4 มีการจัดการก่อนเก็บรักษาอย่างถูกต้องเหมาะสม การจัดการที่ถูกวิธีและเหมาะสมในระยะก่อนการเก็บรักษาย่อมมีผลทำให้ข้าวนั้นเกิดการสูญเสีย หรือเสื่อมคุณภาพในระหว่างการ

เก็บรักษาข้าลง เช่น การเก็บเกี่ยวข้าวในระยะที่เหมาะสม คือระยะสุกแก่ทางสรีระวิทยา ไม่เก็บเกี่ยวเร็วหรือช้าเกินไป เมื่อนำไปเก็บรักษาข้าวจะมีคุณภาพการสีดีกว่าข้าวที่เก็บเกี่ยวเร็วหรือช้าเกินไป และในด้านคุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าวที่เก็บเกี่ยวในระยะเหมาะสมจะมีอายุการเก็บรักษาเป็นเมล็ดพันธุ์ได้นานกว่าข้าวที่เก็บเกี่ยวอ่อนหรือแก่เกินไป นอกจากนี้การเก็บเกี่ยวในระยะเหมาะสมยังมีส่วนช่วยลดปัญหาเรื่องการทำลายของแมลงศัตรูในโรงเก็บลงอีกด้วย เพราะแมลงศัตรูในโรงเก็บส่วนใหญ่สามารถที่จะเข้าทำลายข้าวได้ตั้งแต่ระยะสุกแก่ของข้าวในแปลง การเก็บเกี่ยวล่าช้ากว่ากำหนดออกไป เท่ากับเป็นการเปิดโอกาสให้แมลงศัตรูเข้าทำลายและวางไข่ตั้งแต่ข้าวอยู่ในแปลงปลูก และจะติดมากับข้าวทำความเสียหายและเพิ่มจำนวนอย่างมากมายในระหว่างการเก็บรักษา หรือในขั้นตอนการนวด ถ้ามีการนวดข้าวอย่างไม่ถูกต้องทำให้เมล็ดข้าวเกิดความเสียหาย เช่น การตั้งเครื่องนวดให้มีจำนวนรอบของลูกนวดเร็วเกินไป เพื่อต้องการให้นวดเสร็จเร็ว จะเกิดข้าวเมล็ดแตกร้าวมาก ทำให้คุณภาพการสีลดลงแล้ว ยังเปิดโอกาสให้แมลงศัตรูข้าวบางชนิดเข้าทำลายได้ง่ายขึ้น จากการทดลองของ ไพฑูรย์ และคณะ (2528) พบว่า ด้วงงวง (Sitophilus sp.) ซึ่งเป็นแมลงศัตรูในโรงเก็บข้าวที่สำคัญชนิดหนึ่ง จะไม่สามารถทำลายข้าวเปลือกที่มีสภาพปกติสมบูรณ์ ไม่มีร่องรอยความเสียหายที่เมล็ดข้าวได้ ดังนั้นในโรงเก็บเราจะไม่ค่อยพบการระบาดของด้วงงวง ข้าวในระยะแรก ๆ ของการเก็บรักษา จะพบในระยะหลัง เมื่อข้าวเปลือกถูกทำลายเสียหายโดยแมลงศัตรูตัวอื่นแล้ว ด้วงงวงถึงจะระบาด แต่ถ้าข้าวเปลือกที่นำเข้าเก็บใหม่ ๆ ได้รับความเสียหายจากการปฏิบัติในขั้นตอนการนวดไม่ดี มีเมล็ดแตกหักเสียหายมาก ด้วงงวงก็สามารถเข้าทำลายได้ทันทีเมื่อนำข้าวเข้าเก็บ ดังนั้น การจัดการที่ถูกต้องในขั้นตอนต่าง ๆ ก่อนการนำข้าวเข้าเก็บ จึงเป็นเรื่องสำคัญที่จะต้องคำนึงถึงและปฏิบัติให้ถูกต้อง เพื่อป้องกันและลดความเสียหายในขณะเก็บรักษาลง

นอกจากนี้การเตรียมสภาพของโรงเก็บก็มีความสำคัญที่จะต้องพิจารณาถึง ก่อนนำข้าวใหม่เข้าเก็บ ต้องทำความสะอาดโรงเก็บ กำจัดข้าวเก่าออกไปมิให้เป็นแหล่งหลบซ่อนของแมลง เมื่อโรงเก็บสะอาดแล้วถ้าเป็นไปได้ควรมีการฉีดพ่นสารเคมีฆ่าแมลง เพื่อป้องกันกำจัดแมลง บริเวณภายในผนังโรงเก็บ เพดาน และรอบ ๆ ผนังโรงเก็บด้านนอก ก่อนนำข้าวใหม่เข้าเก็บ

2. แมลงศัตรู จุลินทรีย์ต่าง ๆ และสัตว์ศัตรูในโรงเก็บ เป็นสาเหตุสำคัญอีกประการหนึ่งที่ทำความเสียหายให้กับข้าวที่เก็บรักษาเป็นอย่างมากในแต่ละปี ประมาณกันว่าผลผลิตที่เก็บรักษาไว้จะถูกทำลายเสียหายเนื่องจากแมลงศัตรูนก หนู และจุลินทรีย์ต่าง ๆ สูงถึงร้อยละ 10 - 30 และในบรรดาศัตรูต่าง ๆ เหล่านี้ แมลงศัตรูโรงเก็บจัดเป็นศัตรูที่สำคัญและทำความเสียหายมากที่สุด FAO (Food and Agriculture Organization) ได้ประเมินค่าความเสียหายของผลผลิตในโรงเก็บเฉลี่ยทั่วโลกที่เกิดจากแมลงศัตรูทำลาย ว่ามีประมาณร้อยละ 5

3. อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเก็บ เป็นปัจจัยที่สำคัญอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ข้าวที่เก็บรักษาไว้มีความเสียหายเกิดขึ้นหรือไม่ ถ้าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเก็บสูงจะทำให้ข้าว มีการเสื่อมคุณภาพเกิดขึ้นเร็ว และช่วยให้แมลงศัตรูและจุลินทรีย์ต่าง ๆ ในโรงเก็บเจริญเติบโตและเข้าทำลายข้าวได้อย่างรวดเร็ว โดยปกติทั่วไป จุลินทรีย์ส่วนใหญ่จะเจริญเติบโตได้ดีในสภาพที่มีอุณหภูมิ 20-40 องศาเซลเซียส และมีความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่าร้อยละ 65 แมลงศัตรูในโรงเก็บส่วนใหญ่จะเจริญเติบโตได้ดีที่ อุณหภูมิระหว่าง 21-35 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65-80 ดังนั้น จึงต้องพยายามควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในโรงเก็บให้ต่ำกว่าระดับดังกล่าว ซึ่งในทางปฏิบัติเป็นไปได้ยาก นอกจากจะต้องมีการลงทุนที่สูงจึงจะทำได้ เพราะประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตร้อนชื้น อุณหภูมิของอากาศ และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศโดยเฉลี่ยประมาณ 30 องศาเซลเซียส และร้อยละ 65 ตามลำดับ ซึ่งเป็นระดับที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และแมลงศัตรูในโรงเก็บ ประกอบกับสภาพและลักษณะโรงเก็บข้าวส่วนใหญ่ในประเทศไทยเป็นแบบปกติ (Normal Warehouse) ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิ หรือความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ

4. ลักษณะโรงเก็บและลักษณะการเก็บรักษา โรงเก็บที่ดีจะต้องตั้งอยู่บนที่ดอน และแห้งมีการระเหยน้ำดี เพื่อป้องกันน้ำท่วมหรือน้ำท่วมขัง รอบ ๆ บริเวณโรงเก็บต้องสะอาด โล่งเตียนไม่มีต้นไม้ใหญ่ขึ้นปกคลุม สภาพของตัวโรงเก็บต้องมีผนังปิดมิดชิด แน่นหนา มีหลังคากันแดด กันฝน น้ำค้าง และควรยกพื้นสูงจากพื้นดิน 80 เซนติเมตร เพื่อให้มีการถ่ายเทอากาศด้านล่าง ตามช่องเปิดต่าง ๆ ควรมีตาข่ายป้องกัน นก หนู และมีระบบระบายอากาศที่ดี

2.4 วิธีการป้องกันและลดความเสียหายของข้าวในระหว่างการเก็บรักษา

วิธีการป้องกันหรือลดความเสียหาย มีหลายวิธี การป้องกันอาจจะใช้วิธีเดียว หรือหลายวิธีควบคู่กัน ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมและประสิทธิภาพในป้องกันกำจัด สามารถแบ่งวิธีป้องกันและลดความเสียหายออกได้ดังนี้คือ

1. วิธีทางกายภาพ (Physical Method) เป็นวิธีการป้องกัน และลดความเสียหาย โดยหลีกเลี่ยงการใช้สารเคมี ทำให้ลดอันตรายจากพิษตกค้างของสารเคมี และผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อมลง สามารถแบ่งย่อยออกเป็นวิธีต่าง ๆ ได้ดังนี้

1.1 การควบคุมอุณหภูมิ โดยใช้อุณหภูมิสูงหรือต่ำ เพื่อป้องกันและควบคุมแมลง จุลินทรีย์และสัตว์ศัตรูต่าง ๆ ในโรงเก็บ หรือป้องกันผลเสียจากขบวนการทางชีวเคมีของข้าว เช่น การเก็บข้าวไว้ในที่อุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียส ติดต่อกัน แมลงศัตรูส่วนใหญ่จะหยุดการเจริญเติบโตและบางชนิดก็ตาย และแมลงศัตรูจะตายหมดที่อุณหภูมิ 55-60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง หรือ อุณหภูมิ 65

องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที และถ้าใช้อุณหภูมิต่ำ หรือความเย็น แมลงส่วนใหญ่จะหยุดการเจริญเติบโต และขยายพันธุ์เมื่อระดับอุณหภูมิต่ำกว่า 12 องศาเซลเซียส และจะตายหมดถ้าอุณหภูมิลดต่ำ ถึง –2 ถึง –5 องศาเซลเซียส (Burges and Burrell ,1964) ดังในการเก็บข้าวขาวดอกมะลิ 105 ซึ่งเป็นข้าวหอม การใช้อุณหภูมิสูงคงไม่ได้ เพราะมีผลทำให้ความหอม ซึ่งเป็นสารหอมระเหยหมดไปอย่างรวดเร็ว จะต้องใช้วิธีการให้อุณหภูมิต่ำจึงจะช่วยรักษาให้ความหอมของข้าวลดลงอย่างช้า ๆ แต่วิธีการนี้จะต้องมีค่าใช้จ่ายสูง

1.2 การควบคุมความชื้น และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ การลดความชื้นของข้าวให้ต่ำจนอยู่ในระดับที่ปลอดภัยจากการทำลายของแมลงศัตรูจุลินทรีย์ต่าง ๆ เป็นวิธีหนึ่งที่ช่วยป้องกันและลดความเสียหายในขณะเก็บรักษา แต่ภายหลังการลดความชื้นให้ต่ำแล้วจะต้องเก็บไว้ในที่ ๆ มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำเพื่อป้องกันมิให้ข้าวดูดความชื้นจากบรรยากาศโดยรอบกลับเข้าไปใหม่ เพราะข้าวหรือเมล็ดมีคุณสมบัติไฮโกรสโครพิด (Hygroscopic) สามารถดูดหรือคายความชื้นกับบรรยากาศโดยรอบได้ วิธีป้องกันการดูดความชื้นกลับเข้าไปใหม่อาจจะทำได้อีกวิธีโดยการเก็บข้าวที่มีความชื้นต่ำไว้ในภาชนะบรรจุที่สามารถป้องกันการถ่ายเทความชื้นของอากาศได้ (Airtight หรือ hermetic condition) เช่น ปีบสังกะสี ถังน้ำมัน เหล็ก ฯลฯ ถ้าในระดับอุตสาหกรรมหรือโรงเก็บขนาดใหญ่อาจจะมีการติดตั้งเครื่องควบคุมระดับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ แต่ต้องมีการลงทุนสูง

1.3 การควบคุมสภาพอากาศ (ควบคุมปริมาณก๊าซ) ไม่ให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแมลงศัตรูและจุลินทรีย์ต่าง ๆ โดยการเพิ่มหรือลดปริมาณของก๊าซบางชนิดในบรรยากาศ อาทิเช่น การเพิ่มปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากร้อยละ 0.03 ให้สูงขึ้นเป็น 2.1-2.4 กก./ตัน หรือการเพิ่มปริมาณไนโตรเจนและลดปริมาณออกซิเจนให้เหลือต่ำกว่าร้อยละ 21 ซึ่งในบางประเทศได้ทดลองใช้วิธีนี้ เช่น ออสเตรเลีย

1.4 การเคลื่อนย้ายสลับที่ของข้าว เช่น การย้ายข้าวที่เก็บในไซโลหนึ่งไปยังอีกไซโลหนึ่ง หรือการพลิกกลับข้าวที่เก็บไว้แบบเป็นกอง เพื่อถ่ายเทความชื้น หรือความร้อนที่สะสมอยู่ภายในกองข้าวออกไป ทำให้ข้าวเสื่อมคุณภาพช้าลง

1.5 ความสะอาดในโรงเก็บ เป็นเรื่องสำคัญที่ ต้องคำนึงถึงและทำให้มีขึ้น ถ้าโรงเก็บสะอาดปราศจากแมลงศัตรู ปัญหาในระหว่างการเก็บรักษาก็จะมีน้อยหรือลดลง

1.6 การใช้กฎหมายกักกันพืช เป็นมาตรการหนึ่งที่นำมาใช้ป้องกันกำจัดแมลงศัตรูพืช โดยการนำอำนาจและบทบัญญัติทางกฎหมายมาใช้ร่วมกับความรู้ทางวิชาการ เพื่อควบคุมตรวจสอบศัตรูพืชต่าง ๆ และการเคลื่อนย้ายพืชให้เป็นไปตามกฎหมาย และหลักวิชาการที่ถูกต้อง ป้องกันมิให้มีการแพร่ระบาดของโรคและแมลงศัตรูพืชจากต่างประเทศเข้ามาภายในประเทศ ประเทศไทยได้ประกาศใช้พระราชบัญญัติเกี่ยวกับงานกักกันพืชฉบับแรก เรียกว่า พระราชบัญญัติป้องกันโรคและศัตรูพืช พ.ศ. 2495

เมื่อวันที่ 18 สิงหาคม พ.ศ. 2495 ปี 2507 ได้ยกเลิกพระราชบัญญัติฉบับแรก และประกาศใช้พระราชบัญญัติฉบับใหม่แทน เรียกว่า พระราชบัญญัติกักกันพืช พ.ศ. 2507 ซึ่งมีผลบังคับใช้มาจนถึงปัจจุบัน โดยมีกองควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร กรมวิชาการเกษตร เป็นหน่วยงานที่มีหน้าที่ดูแลรับผิดชอบ

นอกจากนี้ยังมีวิธีอื่น ๆ อีกหลายวิธี บางวิธีก็มีการนำมาใช้แล้ว บางวิธีก็ยังอยู่ในระหว่างการทดลอง เช่น การใช้รังสี การใช้เสียงความถี่ระดับต่าง ๆ เป็นต้น

2. วิธีทางเคมี (Chemical method) เป็นวิธีการนำสารเคมีฆ่าแมลงมาใช้เพื่อควบคุมและป้องกันกำจัดแมลงสัตว์ศัตรูในโรงเก็บเป็นหลัก เป็นวิธีที่นิยมใช้ทั่วไปเพราะใช้ง่ายราคาไม่แพงและได้ผลดี แต่ต้องระมัดระวังถึงอันตรายและพิษตกค้างจากการใช้

2.5 วิธีการเก็บรักษาข้าว

การเก็บรักษาข้าวโดยทั่ว ๆ ไปแบ่งออกเป็น 5 วิธีคือ

1. การเก็บในสภาพปกติไม่มีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (Unconditioned storage) หมายถึง การเก็บข้าวไว้ในโรงเก็บปกติที่ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ เป็นวิธีที่นิยมใช้อยู่เป็นส่วนใหญ่ในประเทศไทย เพราะมีการลงทุนน้อยและเสียค่าใช้จ่ายต่ำ แต่โอกาสที่จะเกิดความเสียหายในระหว่างการเก็บรักษามีสูง เช่น การเก็บในโรงเก็บ ยุ้งฉางของเกษตรกร โรงสี หรือโกดังส่งออกข้าวขนาดใหญ่ ๆ แต่การเก็บรักษาโดย วิธีนี้จะต้องทำการลดความชื้นของข้าวเปลือกให้ต่ำกว่าร้อยละ 14

2. การระบายความร้อนออกจากกองเมล็ดข้าวเปลือก ต้องทำการลดความชื้นของข้าวเปลือกลงให้ต่ำกว่าร้อยละ 14 มาตรฐานเปียก ก่อนถ้าทำการระบายความร้อนเป็นช่วงตั้งแต่เวลา 6.00 น. ถึง 18.00 น. สามารถเก็บรักษาข้าวเปลือกได้นาน 4 เดือนโดยไม่เกิดข้าวเมล็ดเหลือง และเมื่อเก็บไว้ 12 เดือน เกิดข้าวเหลืองร้อยละ 0.43 โดยไม่เกิดปัญหาการควบแน่นเป็นหยดน้ำ (นิทัศน์ และคณะ ,2543) และไม่สามารถทำให้อุณหภูมิภายในกองข้าวเปลือกลดต่ำลงถึง 25 องศาเซลเซียส ถึงแม้จะระบายอากาศอย่างต่อเนื่องก็ตาม (Maier *et al.* ,1993) แต่จะมีอุณหภูมิเท่าการอากาศแวดล้อมภายใน 1 วัน (อรรถพร และคณะ ,2539)

ดังนั้นความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือกจึงมีผลต่ออายุการเก็บรักษา กล่าวคือ การเป่าอากาศแวดล้อมเป็นช่วง โดยใช้อัตราการไหลของอากาศ 1.8 ลูกบาศก์เมตร/นาที-ลูกบาศก์เมตร สามารถเก็บรักษาข้าวเปลือกความชื้นร้อยละ 20.0 ได้ 15 วัน ถ้าข้าวเปลือกมีความชื้นร้อยละ 24.0 จะเก็บรักษาได้ 6-7 วัน ส่วนข้าวเปลือกความชื้นร้อยละ 29.0 จะเก็บรักษาได้ 4-6 วัน (Thanh,1994) สำหรับการเก็บ

รักษาเมล็ดเปลือกข้าวเป็นระยะเวลา 1 ปี ที่อุณหภูมิ 2 และ 20 องศาเซลเซียส สีของเมล็ดข้าวสารมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก แต่ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ข้าวสารจะมีสีเหลือง (Juliano ,1985)

3. การเก็บในที่มีการควบคุมอุณหภูมิแต่ไม่ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ เช่น การเก็บข้าวไว้ในตู้แช่ ตู้เย็น หรือในไซโลเก็บข้าวที่มีการเป่าลมเย็น เป็นต้น

การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำกว่า 14 องศาเซลเซียส แมลงไม่สามารถเจริญเติบโตได้ (Burges and Burrell ,1964) มีการศึกษาถึงการเข้าทำลายของเรื้อรา ความมีชีวิตและการเกิดการเปลี่ยนสีของคัพภะ(embryo) ของข้าวสาลี ที่เกิดจากการเลี้ยงเชื้อและไม่ได้เลี้ยงเชื้อของเชื้อราในกลุ่ม *Aspergillus glaucus* ลงบนเมล็ดที่มีความชื้นร้อยละ 15 มาตรฐานเปียก แล้วเก็บเมล็ดที่อุณหภูมิ 5 และ 10 องศาเซลเซียส นาน 12 เดือน พบว่า ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ไม่พบการเข้าทำลายของเชื้อรา แต่ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส พบการเข้าทำลายของเชื้อรา *Aspergillus amstelodami* ถึงร้อยละ 84 ส่วนความชื้นของเมล็ดไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนักอยู่ในช่วงร้อยละ 14.9 – 15.4 มาตรฐานเปียก (Papavizas and Christensen, 1958)

4. การเก็บในที่ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแต่ไม่ควบคุมอุณหภูมิ ได้แก่ การเก็บข้าวไว้ในภาชนะเก็บที่มิดชิด สามารถป้องกันการเคลื่อนที่ผ่านเข้าออกของอากาศได้ (Hermetic condition) เช่น การเก็บเมล็ดพันธุ์ไว้ในปี๊บสังกะสี (Sealed tin) ถุงโพลีเอทธิลีน ที่มีความหนามากกว่า 700 gauge เป็นต้น การเก็บข้าวในภาชนะสภาพปิดแบบนี้ ความชื้นของข้าวจะเป็นตัวกำหนดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในภาชนะที่เก็บ ถ้าความชื้นของข้าวสูงความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในภาชนะบรรจุก็จะสูง ข้าวที่เก็บก็จะเกิดความเสียหายสูง ดังนั้นการเก็บรักษาข้าวด้วยวิธีนี้ความชื้นของข้าวก่อนเก็บต้องต่ำ แต่จะต่ำเท่าไรขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่ต้องการเก็บรักษา อย่างไรก็ตามโดยปกติทั่ว ๆ ไปต้องมีความชื้นร้อยละ 10 วิธีนี้เป็นวิธีที่ได้ผลดีและมีค่าใช้จ่ายต่ำ สามารถใช้เก็บรักษาข้าวที่มีปริมาณน้อย ๆ จนถึงปริมาณมาก ๆ เป็นพัน ๆ ตัน สำหรับข้าวที่เก็บไว้เป็นเมล็ดพันธุ์ ไพฑูรย์และกิติยา (2540) ทดลองเก็บเมล็ดข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 60 ความชื้นร้อยละ 10 จำนวน 5 ตัน ซึ่งบรรจุในกระสอบป่านไว้ในสภาพปิด โดยใช้ผ้าพลาสติกทาร์พอลินปิดคลุมกองข้าวไว้ และฉีดพ่นสารเคมีฆ่าแมลงโดยรอบผ้าทาร์พอลิน พบว่าสามารถเก็บเมล็ดพันธุ์ให้ปลอดภัยจากการทำลายของแมลงศัตรูโรงเก็บได้ดี และรักษาความงอกให้สูงกว่าร้อยละ 80 ได้เป็นเวลานานไม่ต่ำกว่า 20 เดือน ในขณะที่ข้าวที่เก็บโดยไม่คลุมด้วยผ้าพลาสติกทาร์พอลินจะถูกแมลงศัตรูเข้าทำลายจำนวนมาก และความงอกจะลดต่ำกว่าร้อยละ 80 ภายในเวลาเพียง 8 เดือน นอกจากนี้ข้าวญี่ปุ่นที่ปลูกในประเทศไทยปกติทั่ว ๆ ไปจะสามารถเก็บเป็นเมล็ดพันธุ์ไว้ในสภาพโรงเก็บปกติได้เพียง 3-5 เดือน แต่ถ้าเก็บในภาชนะสภาพปิดที่ระดับความชื้นร้อยละ 10 พบว่าจะสามารถยืดอายุการเก็บรักษาเป็นเมล็ดพันธุ์ได้ยืนยาวกว่าปกติเป็นเวลาไม่ต่ำกว่า 3 ปี และไม่มีแมลงศัตรูเข้าทำลายเลย (ไพฑูรย์และกิติยา 2539)

5. การเก็บในที่ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ วิธีนี้ถือเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด (Hill, 1999) สามารถป้องกันและลดความเสียหายของข้าวได้ดี เก็บรักษาข้าวให้คงคุณภาพดีได้เป็นเวลานานหลายสิบปี แต่วิธีนี้จะต้องมีการลงทุนสูงและเสียค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษาสูงมาก ส่วนใหญ่จึงนิยมใช้สำหรับงานวิจัยเป็นหลัก

2.6 การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีของเมล็ดข้าวในระหว่างการเก็บรักษา

ภายหลังการเก็บเกี่ยว ภายในเมล็ดข้าวจะเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้น โดยเฉพาะในระยะเวลา 3 – 4 เดือน หลังเก็บเกี่ยว เอนโดสเปิร์มจะแกร่งขึ้นทำให้คุณภาพการสีดีขึ้น เมื่อเก็บรักษาในที่ที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 15 องศาเซลเซียส หากเมล็ดไม่ถูกทำลายโดยแมลงหรือเชื้อราในระหว่างการเก็บรักษา การเปลี่ยนแปลงในเมล็ดข้าวจะเกิดขึ้นจากขบวนการที่เกี่ยวข้อง 3 องค์ประกอบ คือ แป้ง ไขมัน และโปรตีน ดังรูปที่ 2.2 ซึ่งข้าวที่อยู่ในระหว่างการเก็บรักษาจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี โดยเม็ดแป้งจะเกิดการจับกันแข็งแรงขึ้น และกรดไขมันอิสระที่เกิดจากกระบวนการไฮโดรไลซิสของไขมันจะจับกับอะไมโลส มีผลทำให้เนื้อสัมผัสของข้าวสุกเปลี่ยนไป นอกจากนี้ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ที่เกิดจากกระบวนออกซิเดชันของไขมันไปมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของสารระเหยพวกสารประกอบคาร์บอนิล และสามารถเร่งการเกิดกระบวนการออกซิเดชันของโปรตีนได้ ซึ่งมีผลต่อกลิ่นของข้าวที่อยู่ในระหว่างการเก็บรักษา นอกจากนี้กระบวนการออกซิเดชันของโปรตีนยังมีผลทำให้โครงสร้างภายในเกิดการเปลี่ยนแปลง มีผลทำให้การพองตัวของเม็ดแป้งลดลง ซึ่งทำให้เนื้อสัมผัสของข้าวสุกเปลี่ยนแปลงไปเช่นกัน (Juliano ,1985; Moritaka and Yasumatsu , 1972)

การเปลี่ยนแปลงแป้งและโปรตีนในเมล็ดข้าว ส่งผลให้มีการปรับสภาพการละลายและการเกิดเจลให้มีความคงตัวและละลายในน้ำได้น้อยลง มีผลให้ข้าวเก่าต้องการน้ำในการหุงต้มมากกว่าข้าวใหม่ (Indudhara Swamy *et al.* ,1978) ลักษณะข้าวสุกจะแข็งและร่วนมากกว่าข้าวใหม่ ความหนืดและความคงตัวของแป้งจะเพิ่มขึ้น ส่วนองค์ประกอบทางเคมีได้แก่ ปริมาณโปรตีน ปริมาณอะไมโลส และแป้งยังคงใกล้เคียงกับข้าวใหม่ แต่ปริมาณน้ำตาลที่สามารถถูกรีดิวซ์และกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น ในขณะที่ปริมาณน้ำตาลที่ไม่สามารถถูกรีดิวส์และกรดอะมิโนอิสระลดลง นอกจากนี้ระยะเวลาในการเก็บรักษายังมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของเมล็ดข้าว หลังจากเก็บรักษาเมล็ดข้าวเป็นเวลา 1 ปี พบว่าในสภาพบรรยากาศปกติที่อุณหภูมิ 2 และ 20 องศาเซลเซียส สีของเมล็ดข้าวสารเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย แต่เมล็ดข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสจะเกิดสีเหลือง (Juliano ,1985)

มีรายงานว่าเมล็ดข้าวสารสามารถเร่งให้เป็นข้าวเก่าได้ โดยเพิ่มความร้อนข้าวสารให้สูงถึง 110 องศาเซลเซียส ในภาชนะปิดสนิทโดยไม่ให้ความชื้นสูญหายไป การเป่าลมร้อน 150-250 องศา

เซลเซียส ชั่วครู่ หรือแช่เมล็ดข้าวสาร 2 วันในน้ำมันดอกทานตะวันที่ 60 องศาเซลเซียส จะช่วยให้ความเหนียวของข้าวลดลง (Juliano ,1985 ; เครือวัลย์ , 2534) ซึ่งข้าวเก่าที่ผ่านการเก็บรักษาจะมีความเหนียวของข้าวสุกลดลง (Chrastil, 1992 ; Juliano ,1972) การเก็บรักษาข้าวที่อุณหภูมิ 28 -30 องศาเซลเซียส ความแข็งของข้าวสุก ความคงตัวของเจลและความหนืด มีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษา ดังแสดงในตารางที่ 2.2

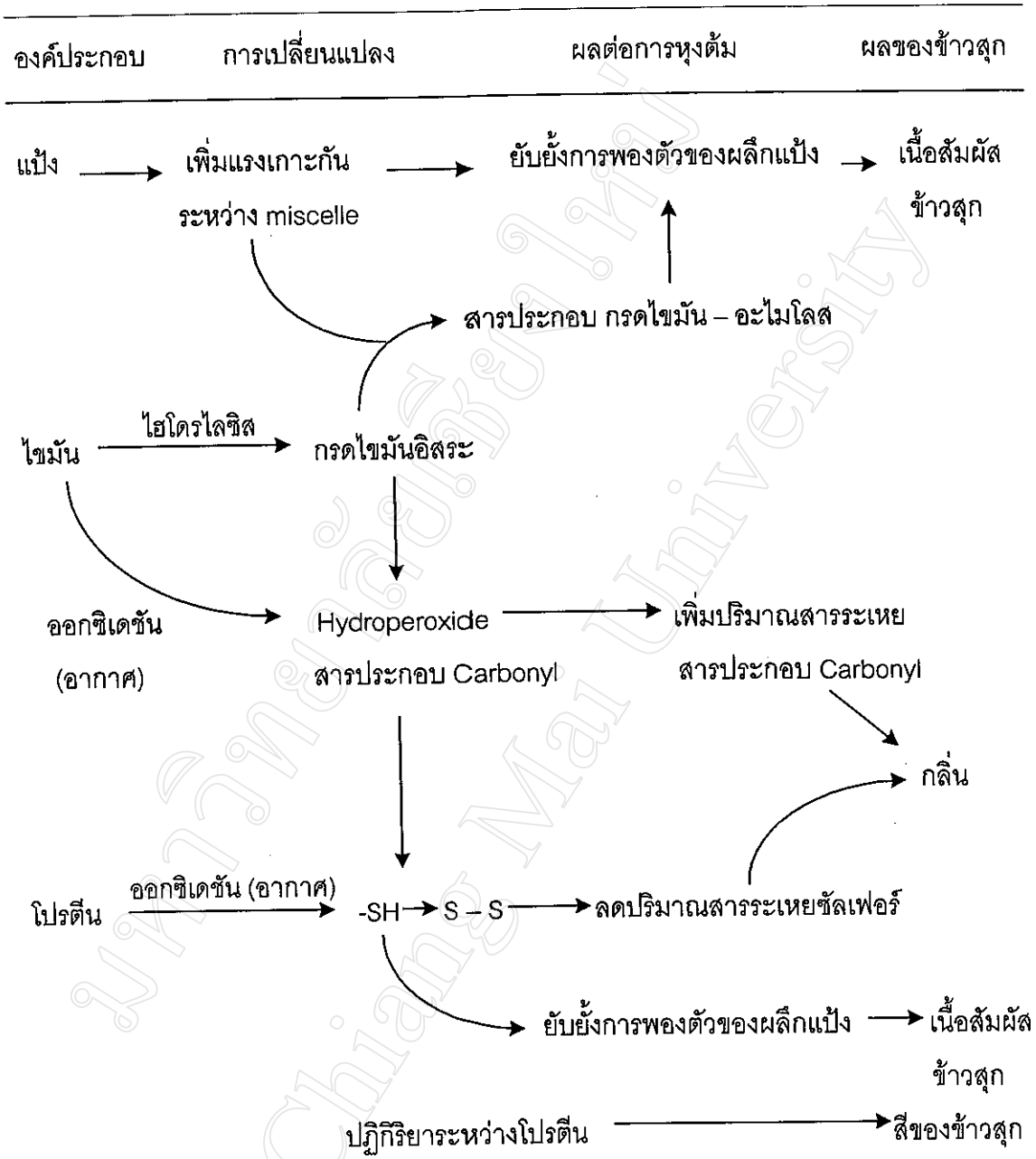
ตารางที่ 2.2 การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของข้าวสารที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 28-30 องศาเซลเซียส

เวลาที่เก็บ (เดือน)	ข้าวสุกวัดความแข็งด้วยเครื่องอินสตรอน (กิโลกรัม)	ความคงตัวของเจล (มิลลิเมตร)	ความหนืดข้นจากเครื่อง Amylograph (BU)		
			ความหนืดสูงสุด	จุดสุดท้ายที่ 94°C	ทำให้เย็นที่ 50°C
0	7.4	65	541	359	703
1	7.5	60	592	379	750
2	8.4	54	620	400	793
3	8.8	53	652	440	820
4	8.8	52	649	426	835
5	8.6	50	678	441	851
6	8.4	56	-	-	

ที่มา : Juliano, 1985

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

รูปที่ 2.2 การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของเมล็ดข้าวในระหว่างการเก็บรักษา



ที่มา : Moritaka and Yasumatsu , 1972

2.7 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพของเมล็ดข้าวในระหว่างการเก็บรักษา

ต้นข้าว (head rice yield) คือ เมล็ดข้าวที่มีความยาวมากกว่า 8 ส่วนใน 10 ส่วนของความยาวเมล็ด (งามชื่น , 2538) การเก็บรักษาทำให้ข้าวมีความแข็งและทนต่อแรงกระแทกเพิ่มขึ้น นั่นคือ เมื่อนำข้าวไปขัดสีจะทำให้ได้ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดสูงกว่าข้าวใหม่ และข้าวที่เก็บรักษา ที่อุณหภูมิสูงกว่าจะมีผลทำให้ข้าวมีความแข็งและทนต่อแรงกระแทกได้สูงกว่าข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำกว่า อาจเนื่องมากจากการเก็บรักษาทำให้ผนังเซลล์ของเอนโดสเปิร์มมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น (Shibuya *et al.* ,1982) นอกจากนี้ปริมาณต้นข้าวยังขึ้นอยู่กับชนิดของข้าว พบว่า ข้าวเมล็ดสั้นเมื่อนำไปขัดสี ปริมาณต้นข้าวที่ได้จะสูงกว่าข้าวเมล็ดยาว ทั้งนี้เนื่องจาก ข้าวเมล็ดสั้นมีความหนามากกว่าจึงทำให้ทนต่อการขัดสีได้สูงกว่าข้าวเมล็ดยาว (Matthewsand and Spadaro, 1976)

นอกจากนี้การเก็บรักษาข้าวยังมีผลทำให้สีของเมล็ดข้าวเกิดการเปลี่ยนแปลง มีรายงานว่า ข้าวที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน จะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเล็กน้อย แต่อย่างไรก็ตามเมล็ดข้าวจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองอย่างเห็นได้ชัดหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 6 ถึง 12 เดือน นอกจากระยะเวลาแล้ว อุณหภูมิยังมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของข้าว โดยข้าวเปลือกจะมีค่าสีเหลือง(b^*) เท่ากับ 2.1 แต่เมื่อทำการเก็บรักษาเป็นเวลา 10 เดือน ที่อุณหภูมิ 4, 25 และ 37 องศาเซลเซียส ข้าวเปลือกจะมีสีเหลืองเพิ่มขึ้นเป็น 8.6, 9.7 และ 11.3 ตามลำดับ (Chrastil, 1990) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Villareal (1976) พบว่า หลังจากเก็บรักษาข้าวเป็นเวลา 6 เดือน ข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส และมีค่า whiteness ต่ำกว่าข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส ซึ่งข้าวที่อยู่ในระหว่างการเก็บรักษามีสีเข้มขึ้น

2.8 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพข้าวสุก

1. ปริมาณอะไมโลส (Apparent Amylose Content) แป้งข้าวมีอะไมโลเปคติน (Amylopectin) เป็นองค์ประกอบหลัก และอะไมโลสเป็นองค์ประกอบรอง อัตราส่วนของอะไมโลสต่ออะไมโลเปคตินเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ข้าวสุกมีคุณภาพแตกต่างกัน กล่าวคือ อะไมโลเปคตินทำให้ข้าวสุกเหนียว ในขณะที่อะไมโลสทำให้ความเหนียวของข้าวสุกลดลง เช่น ข้าวเหนียวมีอะไมโล-เปคตินสูง หรือมีอะไมโลสปนอยู่เพียงเล็กน้อย ข้าวสุกจึงเหนียว ส่วนข้าวสารที่มีอะไมโลสสูงข้าวสุกมักร่วนและแข็งกว่าอะไมโลสปานกลางและต่ำตามลำดับ ข้าวอะไมโลสสูงในขณะหุงต้มจะดูดน้ำและขยายตัวได้มากกว่าข้าว อะไมโลสต่ำ ได้มีการจัดแบ่งประเภทข้าวตามปริมาณอะไมโลสดังนี้

ประเภทข้าว	%อะไมโลส	ลักษณะข้าวสุก
ข้าวเหนียว	0-2	เหนียวมาก
ข้าวอะไมโลสต่ำ	10-19	เหนียวและนุ่ม
ข้าวอะไมโลสปานกลาง	20-25	เหนียวและนุ่มเล็กน้อย
ข้าวอะไมโลสสูง	25-34	ร่วนค่อนข้างแข็ง

ในกลุ่มข้าวหอมมะลิ มีข้าวอยู่ 2 พันธุ์ที่มีลักษณะของคุณภาพใกล้เคียงกันคือ พันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 และ กข 15 เป็นข้าวที่มีอะไมโลสต่ำ ข้าวสุกจึงนุ่มและเหนียว อีกทั้งมีกลิ่นหอม จึงเป็นที่นิยมของผู้บริโภค ข้าวที่ส่งไปขายในตลาดฮ่องกงร้อยละ 80 ของข้าวไทยเป็นข้าวหอมมะลิทั้งสิ้น

2. ความคงตัวของแป้งสุก (Gel Consistency) แม้ว่าปริมาณอะไมโลสเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ข้าวสุกมีคุณภาพแตกต่างกัน แต่ข้าวบางพันธุ์ที่มีปริมาณอะไมโลสใกล้เคียงกัน โดยเฉพาะข้าวที่มีอะไมโลสสูง คุณภาพข้าวสุกยังแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นกับปฏิกิริยาการคืนตัวของแป้งสุกเมื่อทำให้เย็นจะทำให้แป้งแข็งตัว และมีผลต่อความนุ่มของข้าวสุก ดังนั้นค่าความคงตัวของแป้งสุกจึงสามารถใช้คาดคะเนคุณสมบัติของข้าวสุกควบคู่ไปกับปริมาณอะไมโลส ค่าความคงตัวของแป้งสุกวัดเป็นระยะทาง (มม.) ที่แป้งสุกไหลไปเมื่อวางในแนวราบ มีการจัดแบ่งประเภทข้าวตามลักษณะนี้เป็น 3 พวกคือ

ประเภทแป้งสุก	ระยะทางที่แป้งไหล (มม.)
แป้งสุกแข็ง	น้อยกว่า 40
แป้งสุกอ่อนปานกลาง	41-60
แป้งสุกอ่อน	61-100

3. อุณหภูมิแป้งสุก (Gelatinization Temperature) เป็นอุณหภูมิที่ทำให้แป้งกลายเป็นเจลและเปลี่ยนจากทึบแสงเป็นใส คุณสมบัตินี้มีความสัมพันธ์กับระยะเวลาหุงข้าวให้สุก ข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกสูงจะใช้เวลาในการหุงต้มนานกว่าข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ โดยทั่วไปการหุงข้าวให้สุกจะใช้เวลา 13-24 นาที ในการปรับปรุงพันธุ์มักใช้วิธีการหาค่าการสลายเมล็ดในด่างโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) 1.7% เนื่องจากสามารถวิเคราะห์ได้เร็วและทำได้หลายตัวอย่าง ได้มีการแบ่งประเภทข้าวตามระดับอุณหภูมิแบ่งสุกเป็น 3 พวกคือ

อุณหภูมิแป้งสุก (°ซ)	ประเภทอุณหภูมิแป้งสุก	ค่าการสลายเมล็ดในด่าง KOH 1.7%
ต่ำกว่า 69	ต่ำ	6-7
70-74	ปานกลาง	4-5
สูงกว่า 74	สูง	1-3

4. อัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าวสุก (Elongation Ratio) ในระหว่างการหุงต้มเมล็ดข้าวจะขยายตัวโดยรอบ โดยเฉพาะด้านยาว ข้าวบางพันธุ์เมล็ดสามารถยืดตัวได้มากซึ่งเป็นลักษณะพิเศษ เช่น ข้าวบาสมาติ 370 ซึ่งสามารถยืดตัวได้มากกว่า 2 เท่าของความยาวเมล็ดข้าวสาร การที่เมล็ดขยายตัวได้มากทำให้เนื้อภายในโปร่งขึ้นไม่อัดแน่น ส่วนพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ก็มีการยืดตัวดี ทำให้ข้าวสุกน่ารับประทาน แต่เนื่องจากเป็นข้าวอะไมโลสต่ำข้าวสุกจะนุ่มเหนียวติดกัน จึงทำให้ไม่ขึ้นหม้อ

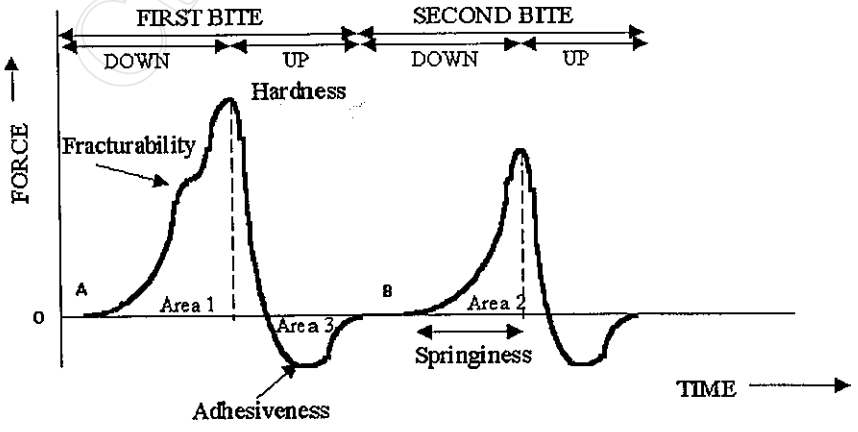
อัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าวสุก หมายถึง อัตราส่วนระหว่างความยาวของเมล็ดข้าวสุกต่อความยาวของเมล็ดข้าวสาร ได้มีการแบ่งอัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าวสุกเป็น 2 กลุ่มคือ

ยืดปกติ น้อยกว่า 1.9

ยืดมาก มากกว่า 1.9

2.9 ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุก (Texture of Cooked Rice)

ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุกสามารถวัดโดยวิธี Texture Profile Analysis (TPA) จะได้ค่าตัวแปรทางเนื้อสัมผัสซึ่งสัมพันธ์กับคุณสมบัติทางด้านประสาทสัมผัส โดยจะแสดงผลออกมา ดังรูป 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงผลของ Texture Profile Analysis (TPA) สำหรับอาหารทั่วไป

จากภาพมีนิยามเกี่ยวกับ Texture Profile Analysis (TPA) ต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

Hardness : แรงสูงสุดของการกดครั้งแรก

Adhesiveness : งานที่ต้องใช้ในการดึงหัววัดออกจากผิวหน้าของตัวอย่าง

: พื้นที่ใต้กราฟของการกดครั้งแรก

Stickiness : แรงที่ต้องใช้ในการดึงหัววัดออกจากตัวอย่าง

Springiness : ความสูงของอาหารที่กลับคืนระหว่างสิ้นสุดการกดครั้งแรกกับเริ่มการครั้งที่ 2

ค่า Springiness มีค่าใกล้ 1

Cohesiveness : แรงยึดเกาะกันภายในของเนื้ออาหาร

Cohesiveness = Area 2 / Area 1

Gumminess : พลังงานที่ต้องใช้ในการบดเคี้ยวอาหารที่เป็น semi-solid ให้อยู่ในสภาพที่พร้อมจะกลืนได้

Gumminess = Hardness X Cohesiveness

Chewiness : พลังงานที่ต้องใช้ในการบดเคี้ยวอาหารที่เป็น solid ให้อยู่ในสภาพที่พร้อมจะกลืนได้

Chewiness = Gumminess X Springiness

Chewiness = Hardness X Cohesiveness X Springiness

Resilience : ความสามารถในการคืนตัวของอาหาร หรือความยืดหยุ่นของอาหาร

Fracturability (Brittleness) : แรงที่ต้องการในการทำให้อาหารแตก ในข้าวสุกไม่พบ

2.10 ความหอมหรือสารหอมระเหยของข้าวขาวดอกมะลิ 105

ข้าวขาวดอกมะลิ 105 เป็นพันธุ์ข้าวหอมคุณภาพดี จึงได้มีการศึกษาสารหอมระเหย พบว่าสารที่ให้ความหอมในข้าวทั้งในข้าวสารและข้าวสุก คือ 2–acetyl–1–pyrroline (2AP) โดยมีลักษณะของกลิ่นคล้ายกับกลิ่นใบเตยหอม (Buttery and Ling,1982 ; Buttery *et al.* ,1983 ,1988) และเป็นสารระเหยที่มีจุดเดือดต่ำมาก เป็นสาเหตุที่ทำให้ข้าวสารที่เก็บไว้นาน ๆ จะมีความหอมลดลงจนใกล้เคียงกับข้าวพันธุ์ที่ไม่ใช่ข้าวหอม มีรายงานว่าระดับความหอมจะลดลงประมาณ 40 - 50 % ในระยะเวลา 3 เดือน เมื่อเก็บข้าวที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพันธ์ของอากาศ 84 % โดยที่ข้าวเปลือกสามารถรักษาความหอมได้ดีกว่าข้าวกล้องและข้าวสาร (Widjaja *et al.* ,1996) แต่ถ้าเก็บไว้ในอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 12 เดือน ระดับความหอมจะลดลงประมาณ 34 % (Mahatheeranont *et al.* ,2001) และสารความหอมพบในข้าวกล้องมากกว่าข้าวสาร (Yoshihashi, 2002)

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University