

บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

ข้าวหอมมะลิ 105 หรือเรียกอีกอย่างว่า ข้าวขาวดอกมะลิ เป็นพันธุ์ข้าวหอมที่ได้จากการนำข้าวพันธุ์พื้นเมืองจากนาเกษตรกร อำเภอบางคล้าจังหวัดฉะเชิงเทรา จำนวน 199 รวง มาปลูกเพื่อศึกษาพันธุ์และได้ข้าวรวงที่ 105 มีลักษณะโดยทั่วไปเป็นข้าวเจ้าไวต่อช่วงแสง ต้นสูงประมาณ 140-150 ซม. เมล็ดข้าวเปลือกเรียวยาว มีท้องไข่น้อย นวดง่ายเนื่องจากเมล็ดหลุดร่วงจากรวงได้ง่าย คุณภาพการขัดสีดี (ละมุด, 2541) ประกอบด้วยคุณสมบัติของเมล็ดข้าวสารที่มีลักษณะยาวเรียวยาวและใสเป็นมัน เมื่อหุงเป็นข้าวสุกเมล็ดจะเรียงกันสวยเนื้ออ่อนนุ่มมีกลิ่นหอมจึงเป็นที่ต้องการของผู้บริโภคและถือว่าเป็นข้าวที่มีคุณภาพดี (ไพศาล, 2543) ประเทศผู้นำเข้าข้าวหอมมะลิไทยที่สำคัญได้แก่ จีน ฮองกง สิงคโปร์ สหรัฐอเมริกา และมาเลเซีย

2.1 คุณภาพข้าว

ปัจจุบันการผลิตข้าวนอกจากจะคำนึงถึงผลผลิตแล้วยังต้องคำนึงถึงคุณภาพเมล็ดควบคู่กัน ซึ่งคำว่า “คุณภาพข้าว” นั้นแบ่งเป็น 4 ประเภท ได้แก่

- คุณภาพการสี (Milling quality)
- คุณภาพการหุงต้ม รับประทานและการแปรรูป (Cooking, eating and processing qualities)
- คุณภาพด้าน โภชนาการ (Nutritive quality)
- คุณภาพตามมาตรฐานซื้อขาย

2.1.1 คุณภาพการสี (Milling quality)

คุณภาพการสีของข้าวประเมินได้จากปริมาณข้าวเต็มเมล็ด (whole grain) และต้นข้าว (head rice) ซึ่งหมายถึง เมล็ดข้าวที่อยู่ในสภาพเต็มเมล็ด ไม่มีส่วนใดหักและให้รวมถึงเมล็ดข้าวที่มีความยาวตั้งแต่ 9 ส่วนขึ้นไป ซึ่งข้าวที่มีคุณภาพการสีดี เป็นข้าวที่เมื่อผ่านกระบวนการขัดสีแล้วได้ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวสูง มีปริมาณข้าวหัก (broken rice) น้อยซึ่งข้าวหักใหญ่หมายถึง เมล็ดข้าวที่มีความยาวมากกว่าข้าวหักเล็กแต่ไม่ถึงความยาวของข้าวเต็มเมล็ดและให้รวมถึงเมล็ดข้าวแตกเป็นซีกที่มีเนื้อที่เหลืออยู่ตั้งแต่ร้อยละ 80 ของเมล็ด (กระทรวงพาณิชย์, 2541) ซึ่งคุณภาพการสี เป็นคุณภาพทางกายภาพที่อ้างอิงกับกระบวนการสีข้าว (rice milling) คือเป็น

กรรมวิธีแยกข้าวสารออกจากเปลือก โดยเริ่มแยกส่วนของข้าวกล้อง (brown rice) ออกจากเปลือกหุ้มหรือแกลบ (hull) และขัดสีเชื้อหุ้มส่วนผิวข้าวกล้อง จนได้เป็นข้าวสาร (milled rice) (จิรวัดน์, 2539) กระบวนการตีประกอบด้วยขั้นตอนพื้นฐาน 4 ขั้นตอนได้แก่

1. การทำความสะอาด (cleaning) เพื่อกำจัดระแเง่ ใบข้าว เมล็ดลีบ เมล็ดวัชพืชและสิ่งเจือปนอื่นออกจากข้าวเปลือก
2. การกะเทาะ (shelling หรือ hulling) เป็นการทำให้เปลือกหุ้มข้าวหลุดออกจากเมล็ด สิ่งที่ได้จากขั้นตอนนี้คือ แกลบและข้าวกล้อง
3. การขัดขาว (whitening) เพื่อทำให้รำหลุดจากเมล็ดข้าวกล้อง ซึ่งสิ่งที่ได้จากขั้นตอนนี้ คือ รำและข้าวสาร
4. การคัดแยก (grading) เพื่อแยกข้าวเต็มเมล็ด ต้นข้าวและข้าวหัก ขนาดต่าง ๆ ออกจากกัน (กัญญา, 2545)

2.1.2 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพการสี

คุณภาพการสีของข้าวแปรปรวนมากหรือน้อยขึ้นกับลักษณะของพันธุ์ สภาพแวดล้อมและการดูแลรักษาทั้งก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว (กัญญา, 2545) ดังนี้

1. พันธุ์ (rice variety) : คุณภาพการสีของข้าวอาจแปรปรวนได้ตามลักษณะต่าง ๆ ของพันธุ์ข้าว เช่น พันธุ์ที่มีขนาดเมล็ดชวามาก มีท้องไข่มาก จะทำให้ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวต่ำ หรือพันธุ์ข้าวที่มีเปลือกสีอ่อน เปลือกบาง เมื่อนำไปสีจะให้ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวสูง
2. การปฏิบัติดูแลก่อนเก็บเกี่ยว : การระบายน้ำออกจากแปลงนา ก่อนเก็บเกี่ยว 7-10 วัน เพื่อให้เมล็ดข้าวสุกอย่างสม่ำเสมอ พื้นนาไม่แฉะขณะเก็บเกี่ยวทำให้การเก็บเกี่ยวและการตากสะดวก ได้ข้าวแห้งสม่ำเสมอ เมื่อนำไปสีจะได้ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวสูง
3. ระยะเวลาและวิธีการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม : การเก็บเกี่ยวข้าวเร็วหรือช้าเกินไป จะทำให้ข้าวมีปริมาณและคุณภาพการสีต่ำ กล่าวคือ ข้าวที่เก็บเกี่ยวในขณะที่เมล็ดยังเขียวการสร้างแป้งยังไม่แน่นอนเต็มเมล็ด เมื่อตากแห้งแล้วนำไปสีข้าวเมล็ดเขียว หรือเมล็ดอ่อนเหล่านี้จะหักปนไปรวมอยู่กับส่วนรำ แกลบและข้าวหัก ทำให้ได้เนื้อของข้าวสารและข้าวเต็มเมล็ดต้นข้าว น้อย เช่นเดียวกันหลังจากเมล็ดแก่และแห้งแล้ว หากปล่อยทิ้งไว้ในนา เมล็ดจะถูกแดดในตอนกลางวันและได้รับสภาพชื้นจากน้ำค้างในตอนกลางคืนสลับกันเป็นเวลานาน ๆ ทำให้เกิดรอยร้าวขึ้นในเมล็ดเมื่อนำไปสีข้าวจะหักมาก ได้ข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าว น้อย การเก็บเกี่ยวข้าวควรกระทำหลังจากข้าวออกดอกแล้วประมาณ 28-35 วัน ขณะที่เมล็ดมีความชื้นประมาณ 22-26 เปอร์เซ็นต์ ลักษณะรวงข้าวจะโน้มลงเมล็ดในรวงมีสีฟางหรือเหลือง โคนรวงอาจมีเมล็ดเขียวบ้างเล็กน้อย ระยะเวลาดังกล่าวมีเมล็ดจะสุกแก่พอเหมาะ การเก็บเกี่ยวในระยะนี้จะได้น้ำหนักเมล็ดสูง ข้าวปริมาณมากและมีคุณภาพการสีดี

Huysman (1965) รายงานว่าถ้าเก็บเกี่ยวข้าวเมื่อยังไม่ถึงระยะสุกแก่จะทำให้ข้าวหักมาก เนื่องจากมีข้าวท้องไข่และเมล็ดที่ยังไม่สุกแก่เต็มที่ และถ้าเก็บเกี่ยวข้าวล่าช้าส่งผลให้ข้าวหักมากขึ้นเช่นกันเนื่องจากเมล็ดจะถูกแสงแดดนาน และการใช้เครื่องมือในการเก็บเกี่ยวข้าวจะสูญเสียทางกายภาพน้อยและทำให้ข้าวสารมีคุณภาพมากกว่าวิธีการเก็บเกี่ยวตามที่เกษตรกรปฏิบัติ และการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวที่ล่าช้าไม่ว่าจะเป็นในขั้นตอนของการลดความชื้นในแปลง , การมัดฟ่อนข้าว , การกอง ขึ้นตอนเหล่านี้จะทำให้สูญเสียผลผลิตข้าวถึง 110 Kg/ha (Toquero and Duff , 1985)

4. การตากข้าวเปลือก : เป็นการลดความชื้นในเมล็ดให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม ซึ่งเมื่อนำไปสีจะทำให้ข้าวมีคุณภาพการสีสูงและเก็บรักษาไว้ได้นานเสื่อมคุณภาพช้า การตากข้าวกระทำได้ทั้งก่อนและหลังการนวด แต่ควรคำนึงถึงคุณภาพของข้าวที่ตาก คือ ต้องทำให้ข้าวแห้งอย่างสม่ำเสมอ ความชื้นในเมล็ด 12-14 เปอร์เซ็นต์ สะอาด ไม่มีสิ่งเจือปน แต่ไม่ควรตากนานเกินไป

5. การกองข้าว : เป็นวิธีการที่เกษตรกรจะรวมฟ่อนข้าวที่ตากแล้วมัดรวมกันจึงนำมากองไว้ในแปลงเพื่อรอการนวดซึ่งเกษตรกรบางรายอาจรวมกองนานถึง 15 วัน แต่การรวมกองเพื่อรอการนวดนี้ข้าวจะมีโอกาสเสียคุณภาพได้ เนื่องจากกองข้าวจะถูกแสงแดดในตอนกลางวันและน้ำค้างในตอนกลางคืน และถ้าความชื้นในกองสูงเมื่อดอกแดดก็จะเกิดความร้อนภายในกองสูงด้วย ประกอบกับอากาศในกองข้าวขาดการหมุนเวียนเมล็ดจะเปลี่ยนสีเนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี และเมล็ดจะถูกทำลายโดยจุลินทรีย์ต่าง ๆ คุณภาพเมล็ดจะเลวลงและไม่สม่ำเสมอ (เบญจมาศ, 2526)

6. การนวดข้าว : เป็นการทำให้เมล็ดข้าวหลุดจากรวง ในแต่ละท้องถิ่นมีวิธีการปฏิบัติแตกต่างกัน เช่น นวดโดยการฟาด ใช้สัตว์ย่ำ นวดโดยใช้รถไถและนวดด้วยเครื่องจักรเป็นต้น การนวดนี้อาจทำให้เกิดรอยร้าวในเมล็ดข้าวซึ่งมีผลต่อคุณภาพการสี ข้าวหักมากขึ้น

7. การเก็บรักษา : เป็นขั้นตอนการปฏิบัติหลังจากเก็บเกี่ยว นวดและตาก เกษตรกรจะเก็บรักษาข้าวไว้เพื่อรอให้ราคาดีจึงจะขาย หรือเก็บไว้บริโภค การเสื่อมคุณภาพในระยะนี้สาเหตุส่วนใหญ่เกิดจากการทำลายของเชื้อรา การเกิดข้าวเมล็ดเหลืองหรือเมล็ดเสีย ซึ่งจะมีผลต่อคุณภาพการสีทำให้ได้ข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวน้อยลง

8. กระบวนการขัดสี : ขั้นตอนสำคัญในการสีข้าวที่มีผลต่อคุณภาพการสี คือ การกะเทาะเปลือกและการขัดขาวใน 2 ขั้นตอนนี้ ข้าวจะหักมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ

1. การตั้งระยะห่างระหว่างลูกยางหรือหินกากเพชรในเครื่องกะเทาะและระหว่างหินกากเพชรกับแท่นยางหรือแท่งเหล็กในเครื่องขัดข้าว ถ้าตั้งชิดเกินไปจะทำให้ข้าวหักมากขึ้น
2. อัตราการหมุนของลูกยางหรือหินกากเพชร ถ้าหมุนเร็วมากข้าวจะหักมาก
3. อัตราการไหลของข้าวสู่เครื่องกะเทาะหรือเครื่องขัด ถ้าสูงข้าวจะหักมาก

4. ระยะเวลาในการขัดสี ถ้าขัดนานข้าวจะหักมาก

2.2 การตากข้าวเปลือก

การตากข้าวหรือการลดความชื้นข้าว เป็นขั้นตอนสำคัญหนึ่งที่จะทำให้ได้ผลผลิตข้าวสูง เมล็ดมีคุณภาพดี กิติยาและคณะ(2539) พบว่าหลังการเก็บเกี่ยวให้รีบนำข้าวในวันนั้นหรือวันถัดไปแล้วจึงลดความชื้นข้าวภายหลัง ข้าวจะมีคุณภาพดี การตากข้าวไว้ในนานาน ทำให้ข้าวเสื่อมคุณภาพมากยิ่งขึ้น ซึ่งวิธีการลดความชื้นข้าวมี 2 วิธีคือ

1. **วิธีธรรมชาติ (Natural drying or sun drying)** ได้แก่ การใช้แสงอาทิตย์เป็นแหล่งของความร้อน โดยมีการเคลื่อนที่ของอากาศเป็นตัวช่วยพาความชื้นออกจากเมล็ดทำให้ความชื้นของเมล็ดลดลง เป็นวิธีการที่นิยมใช้กันมากที่สุดเพราะประหยัด ไม่ยุ่งยากและได้ผลดี แต่มีข้อเสียคือ บางสถานการณ์ เช่น ฤดูฝนไม่สามารถใช้วิธีนี้ได้ ต้องใช้แรงงานและพื้นที่ตากมาก รวมทั้งไม่สามารถควบคุมคุณภาพของข้าวที่ต้องการลดความชื้นได้ โดยเฉพาะเมื่อตากข้าวไว้ในแปลงนาและยังมีการสูญเสียเกิดขึ้นในขณะตากสูง จากการทำลายของนก หนู แมลง
2. **การใช้เครื่องอบ (Artificial drying)** เช่นการใช้เครื่องอบ ตู้อบ วิธีนี้มีข้อดี คือ สามารถปฏิบัติได้ทุกสภาวะอากาศไม่ว่าฝนจะตกหรือมีแสงแดดน้อย ไม่ต้องเปลืองลานตาก สามารถควบคุมป้องกันความเสียหายต่อคุณภาพข้าว (คุณภาพการสี) ได้ดีกว่าธรรมชาติ แต่มีข้อเสีย คือ เสียค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูงและมีวิธีการปฏิบัติยุ่งยากกว่าวิธีธรรมชาติ

การลดความชื้นในระดับเกษตรกร โดยวิธีธรรมชาติซึ่งนิยมปฏิบัติอยู่ 2 แบบใหญ่ คือ

1. ตากข้าวทั้งไว้ในนาหลังการเก็บเกี่ยว (ตากทั้งรวงก่อนนำไปนวด)
2. ตากในลานหลังนวดข้าวเสร็จแล้ว (ตากเป็นเมล็ดหลังจากนวด)

(กิติยาและคณะ, 2545)

ในงานทดลองนี้จะเน้นการลดความชื้นแบบวิธีแรกซึ่งเป็นวิธีการลดความชื้นแบบธรรมชาติที่เกษตรกรปฏิบัติอยู่ และเป็นลักษณะพื้นฐานของการกองข้าวเพื่อรอการนวด วิธีการตากกระทำได้หลายวิธี เช่น

ก) การตากในนา

มีทั้งตากสุมซัง ตากเป็นกอง ๆ หรือทำราวแขวนตาก การตากสุมซัง มักทำตอนนาแห้งหรือดินเป็นโคลนแข็ง ๆ ไม่มีน้ำ สิ่งที่ต้องระวังของการตากชนิดนี้ คือ ไม่ตากนานเกินไป 2-3 แดดก็พอ ระวังอย่าให้รวงข้าวห้อยลงไปเปื้อนโคลนเพราะเมล็ดจะสกปรก ประเจ็ดและคณะ (2526) รายงานว่า ส่วนมากลักษณะการกองเพื่อตากที่เป็นที่นิยมก็คือ

1. กองไว้กลางแจ้ง ไม่มีสิ่งปกคลุม คือ กองบนลานนวดโดยไม่มีสิ่งปกคลุม ส่วนวิธีการกองอาจจะกองรอบลานนวดทั้ง 4 ด้านก็ได้ หรือกองเป็นหย่อม ๆ รอบลานนวด หรืออาจจะกองเป็นระยะ ๆ ในแปลงนา
2. กองไว้กลางแจ้ง แต่มีผ้าคลุม ลักษณะการกองเหมือนกับวิธีแรก แต่ต่างกันตรงที่มีผ้าปกคลุมในเวลากลางคืนเพื่อป้องกันฝนหรือน้ำค้าง หรือป้องกันสัตว์บางชนิดที่อาจมาจิกกินได้

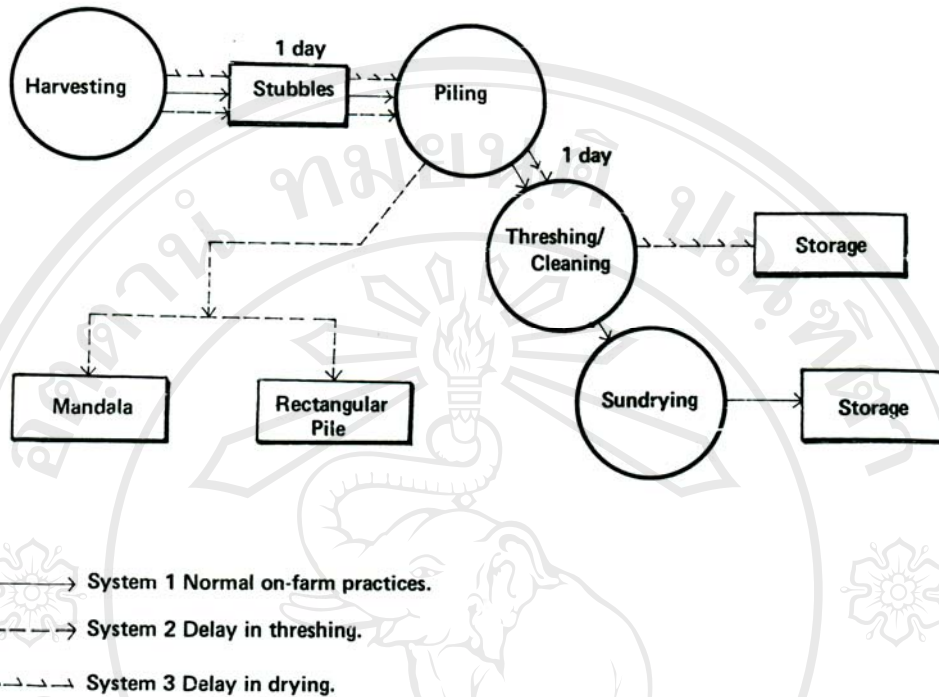
ปทุม(2524) พบว่า ในเวลากลางคืนหรือฝนตกควรใช้ผ้าใบหรือพลาสติกคลุมกันฝน แต่ถ้าคลุมทิ้งไว้นานเกินไป แม้ว่าข้าวจะแห้งดีแต่ก็สามารถดูดความชื้นเข้าไปใหม่ ทำให้เกิดเชื้อราภายในกองข้าวและมีความร้อนเกิดขึ้น การตากวิธีนี้ต้องให้แน่ใจว่า พื้นที่รองรับกองข้าวแห้งสนิทและสะอาด การกองข้าวอย่าให้สูงนัก (ประมาณ 50 เซนติเมตร) ต้องหมั่นกลับกองข้าวเพื่อให้แห้งสม่ำเสมอ ไม่ตากนานเกินไป 2-3 แดด การตากข้าวกองสูง ๆ ไว้นาน ๆ โดยไม่กลับกองข้าวและไม่ใช้วัสดุปิดตอนกลางคืนข้าวจะเสียคุณภาพ เมล็ดส่วนบนของกองซึ่งแห้งมากเพราะถูกแดดตอนกลางวัน ถูกน้ำค้างตอนกลางคืน สภาพเช่นนี้หลาย ๆ วันจะเกิดรอยร้าวในเมล็ดเมื่อสีจะแตกหักมาก ในประเทศฟิลิปปินส์ก็มีลักษณะการตากและกองข้าวเพื่อรอกการนวดเช่นเดียวกัน ซึ่ง Mendoza et al. (1982) ได้ศึกษาระบบการปฏิบัติงานในแปลงของเกษตรกรที่มีผลต่อการเสื่อมคุณภาพของข้าว ซึ่งได้ทำการทดลองในแปลง 3 ระบบ คือ

ระบบที่ 1 เป็นรูปแบบการปฏิบัติทั่วไปตามปกติของเกษตรกร คือเก็บเกี่ยวแล้วตากบนตอซัง (1 วัน) จากนั้นนำไปกองรวมกัน (1 วัน) จึงทำการนวดและทำความสะอาด และทำการตากแดดหลังการนวดอีกครั้งหนึ่ง จากนั้นจึงนำไปเก็บรักษา

ระบบที่ 2 เป็นระบบที่มีการชะลอการนวดออกไป โดยหลังจากรวมกองแล้วจะนำข้าวไปกอง 2 วิธีคือ แบบ Mandala (กองข้าวทรงกรวยคว่ำ) และแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า เพื่อรอกการนวดต่อไป

ระบบที่ 3 เป็นระบบที่ไม่มีการตากแดดหลังการนวด แต่จะนำข้าวเปลือกที่ได้ไปเก็บรักษาทันที โดยชะลอการลดความชื้นออกไปภายหลัง

ระบบทั้ง 3 ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แผนผังการทดลองวิธีการปฏิบัติในแปลง ในประเทศฟิลิปปินส์ (Mendoza et al., 1982)

ข) การตากแผ่รวง

Teter (1987) รายงานว่า การลดความชื้นข้าวที่ยังไม่ได้นวด ทำได้โดยการตากแผ่รวงข้าว ซึ่งวิธีการการความชื้นด้วยการตากแผ่รวงข้าวนี้สามารถทำได้ด้วยมือ ด้วยวิธีที่แตกต่างกัน 2 วิธี คือ

1. นำรวงข้าวที่ยังไม่ได้นวดมากองรวมกันเป็นกองข้าว (stack) ในแปลงเพื่อที่รอจนถึงระยะเวลาที่เหมาะสมที่สามารถนำไปนวดได้อาจจะนำไปนวดทันทีหลังจากเก็บเกี่ยวหรือหลังจากเก็บเกี่ยวแล้ว 1 สัปดาห์

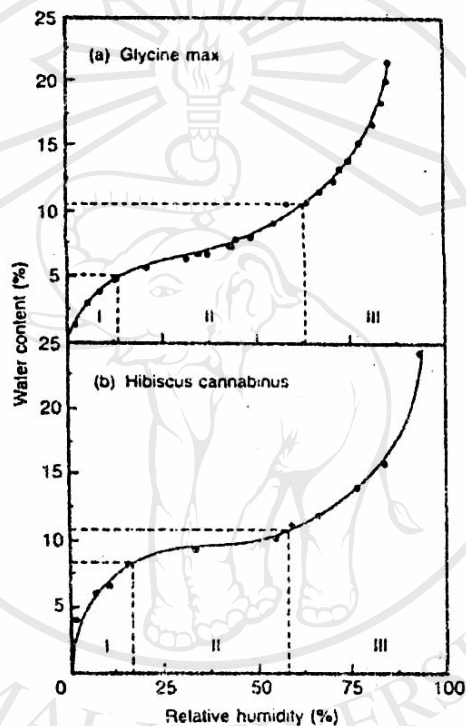
2. ทำการมัดฟ่อนข้าวและนำไปตากในร่มหรืออาจจะตากบนชั้น

ค) การตากบนคันทนา โดยแผ่ตากเป็นกอง ๆ ไว้บนคันทนา

ง) ตากที่อื่น ๆ ซึ่งไม่ใช่บริเวณตากเช่น อาจตากริมถนน ตากรอบ ๆ ลานนวดข้างบ้านและที่อื่น ๆ ไม่ว่าจะตากวิธีใดก็ตาม สิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือ คุณภาพข้าวที่ตาก การตากต้องทำให้ข้าวแห้งสม่ำเสมอ แห่งพอเหมาะมีความชื้นในเมล็ดประมาณ 12-14 เปอร์เซ็นต์ (เกรือวัลย์, 2534)

2.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิ, ความชื้นสัมพัทธ์และความชื้นเมล็ด

ความชื้นเมล็ดถูกกำหนดหรือควบคุมโดยความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศรอบ ๆ เมล็ด ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์กับความชื้นเมล็ดมีลักษณะเป็น Sigmoid curve (รูปที่ 2.2) โดยแบ่งเป็น 3 ช่วง คือในช่วงที่ 1 เป็นช่วงความชื้นสัมพัทธ์ที่ต่ำมาก ความชื้นเมล็ดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น การเพิ่มขึ้นจะชะลอตัวลงในช่วงที่ 2 แล้วเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วอีกครั้งในช่วงที่ 3



รูปที่ 2.2 รูปแสดง Sorption isotherm ของเมล็ดถั่วเหลือง (*Glycine max*) และปอแก้วควบา (*Hibiscus cannabinus*) ที่ 20 °C (Priestley, 1986 อ้างโดย วันชัย, 2537)

เมล็ดเป็น Hygroscopic material ที่สามารถแลกเปลี่ยนความชื้นกับบรรยากาศได้ ทำให้เมล็ดมีความชื้น ณ จุดสมดุล (Equilibrium moisture content) แตกต่างกันไปตามความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิของอากาศ เมล็ดพืชแต่ละชนิดจะมีความชื้นเมล็ด ณ จุดสมดุลต่างกัน (ตารางภาคผนวก ข-2) ปัจจัยที่ทำให้ความชื้นของเมล็ด ณ จุดสมดุลต่างกัน ได้แก่

1. องค์ประกอบทางเคมี (Chemical Composition) เมล็ดที่มีแป้งและโปรตีนเป็นองค์ประกอบจะดูด - คายความชื้นได้ดีกว่าเมล็ดที่มีน้ำมันเป็นองค์ประกอบ ทำให้เมล็ดมีความชื้น ณ จุดสมดุลอยู่ในระดับที่สูงกว่า
2. อุณหภูมิ (Temperature) ณ ระดับความชื้นสัมพัทธ์คงที่ระดับหนึ่ง อุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้เมล็ดมีความชื้นที่จุดสมดุลต่ำลง

3. ปรากฏการณ์ hysteresis คือ กราฟการดูดน้ำ (absorption) และการคายน้ำ (desorption) ของเมล็ดพืชจะไม่เท่ากัน เส้นกราฟของการคายน้ำจะสูงกว่าเล็กน้อย ความแตกต่างนี้เรียก hysteresis

นอกจากนั้นอุณหภูมิมีผลกระทบต่อการทำงานของเมล็ด เนื่องจากอุณหภูมิมีผลโดยตรงต่อปฏิกิริยาเคมีและกิจกรรมของเอนไซม์ในกระบวนการทางสรีรวิทยาและชีวเคมีต่าง ๆ อุณหภูมิที่สูงขึ้นจะส่งเสริมให้กิจกรรมทางเมตาบอลิซึม เช่น การหายใจและการทำงานของเอนไซม์มีสูงขึ้น (วันชัย, 2537) จวงจันทร (2529) รายงานว่า ความชื้นของเมล็ดพันธุ์เป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่มีผลต่อคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ เนื่องจากความชื้นเป็นสาเหตุสำคัญสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เมล็ดเสื่อมคุณภาพ เมล็ดพันธุ์จะมีชีวิตได้ยาวนานหากมีความชื้นต่ำเพราะกระบวนการทางชีวเคมีต่าง ๆ ภายในเมล็ด เช่น การหายใจจะเกิดขึ้นน้อย ทำให้ยืดเวลาการมีชีวิตออกไป Thompson (1998) พบว่า ข้าวจะยังคงมีความชื้นหรือสูญเสียความชื้นขึ้นอยู่กับความชื้นเมล็ดและความชื้นของบรรยากาศรอบ ๆ เมล็ด ถ้าความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศต่ำ ข้าวที่มีความชื้นสูงจะคายความชื้นจนเข้าสู่ความชื้นสมดุล แต่ถ้าความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศสูงข้าวที่มีความชื้นต่ำก็จะมีเพิ่มความชื้นเพิ่มขึ้น

2.4 อุณหภูมิและความชื้นที่มีผลต่อคุณภาพข้าวเปลือก

การตากข้าวทิ้งไว้ในนาหลังการเก็บเกี่ยวเป็นระยะเวลาหนึ่งพบว่าทำให้เกิดความสูญเสียในด้านน้ำหนัก คือน้ำหนักข้าวลดลง เกิดการร่วงหล่นขณะตากและขนย้ายไปนวดสูงและยังทำให้คุณภาพการสีและคุณภาพของเมล็ดพันธุ์เสื่อมมากยิ่งขึ้น เพราะข้าวจะได้รับผลกระทบจากสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เช่น ข้าวเปียกน้ำค้างในเวลากลางคืน ข้าวเปียกฝนขณะตาก หรือช่วงกลางวันได้รับอุณหภูมิสูงจากแสงแดด ความชื้นลดต่ำข้าวจะแห้ง แต่ในเวลากลางคืนอุณหภูมิจากอากาศต่ำลงและมีความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศสูงข้าวจะดูดความชื้นกลับเข้าไปใหม่ มีการเปลี่ยนแปลงความชื้นภายในเมล็ดข้าวแห้งและชื้นสลับกันไป ทำให้เมล็ดเกิดการแตกร้าว (cracking) เมื่อนำข้าวไปนวดหรือสีจะเกิดการแตกหัก (กิตติยา, 2545)

ทรงเชาว์(2531) พบว่าการเก็บเกี่ยวข้าวเมื่อความชื้นเมล็ดสูงเกิน 20 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ข้าวมีคุณภาพเลว คือจะเกิดข้าวท้องไข้และทำให้เมล็ดข้าวหักง่ายเมื่อนำไปสีหรือเมล็ดอาจเสื่อมคุณภาพเนื่องจากน้ำฝนรวมทั้งอาจมีโรคและแมลงเข้าทำลาย ซึ่งอุณหภูมิและความชื้นเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเสื่อมคุณภาพของเมล็ด ปฐม(2524) รายงานว่าเพื่อให้ได้ข้าวมีคุณภาพดี สีได้ต้นข้าวมาก ควรเก็บเกี่ยวก่อนที่ข้าวจะแห้งเกินไป ควรเก็บเกี่ยวเมื่อข้าวมีความชื้นสูงกว่า 17 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นนำไปตากแดดเมื่อแห้งได้ที่แล้ว (ความชื้นน้อยกว่า 14 เปอร์เซ็นต์) รีบเก็บไปนวดหรือนวดแล้วเก็บ

ทันที เพราะถ้าความชื้นลดเหลือ 14 เปอร์เซ็นต์แล้วยังตากทิ้งไว้ เวลากลางคืนมีน้ำค้างตกหรือฝน
 ข้าวจะดูดความชื้นเข้า ทำให้เกิดการร้าวในข้าวสารทำให้มีข้าวหักมากเมื่อนำไปสี ทำให้ข้าวเป็นสี
 น้ำตาลและกลายเป็นข้าวคุณภาพต่ำได้

สำหรับข้าวเปลือกที่จะเก็บเป็นเมล็ดพันธุ์ ควรจะตากแดดเพื่อลดความชื้นให้ต่ำจนเหลือ
 ประมาณ 9-10 เปอร์เซ็นต์จึงค่อยนำไปเก็บรักษาไว้ (กิตติยา, 2545) สุภศักดิ์และวิบูลย์(2536) พบว่า
 ความชื้นของข้าวเปลือกของข้าวญี่ปุ่นซึ่งยังคงอยู่บนต้นพืช มีการลดลงอย่างช้า ๆ แต่หากมีการตัด
 ต้น (เก็บเกี่ยว) ความชื้นข้าวเปลือกจะลดลงอย่างรวดเร็ว ความชื้นของข้าวเปลือกที่เก็บเกี่ยวมาใหม่
 มีค่าในช่วง 20-23 เปอร์เซ็นต์ (wet basis) ในระหว่างฤดูร้อน และ 24-32 เปอร์เซ็นต์ระหว่างฤดูฝน
 ภายใต้อากาศเดียวกันนี้การเสื่อมสภาพของข้าวเปลือกเป็นไปอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้เกิดการสูญเสีย
 ทางคุณภาพ โดยจากการถูกทำลาย, สีที่เปลี่ยนแปลงไปและความงอกของเมล็ด (Rosendo et al.,
 1978)

McNeal (1960) พบว่าอุณหภูมิในช่วง 10 - 38 °C ข้าวเปลือกมีความชื้น 24 เปอร์เซ็นต์
 หรือสูงกว่านี้จะแสดงความเสียหายภายใน 1 วัน Islam et al. (2003) พบว่า หลังจากลดความชื้น
 ข้าวที่นวดแล้วตากบนลานเป็นเวลา 2 วัน ความชื้นเมล็ดลดลงถึง 9 เปอร์เซ็นต์

2.5 ผลของการลดความชื้นโดยการกองฟ่อนข้าวต่อคุณภาพการสี

การลดความชื้นโดยธรรมชาติจะอาศัยความร้อนจากแสงอาทิตย์และมีกระแสลมธรรมชาติ
 ซึ่งทำให้เมล็ดแห้งได้เฉพาะในเวลาที่มีแสงแดดจัดและลมพัด แต่ไม่สามารถลดความชื้นให้ต่ำมาก
 ได้ (Copeland, 1976) ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นการลดความชื้นของข้าวเปลือกในแปลงในลักษณะเป็น
 ฟ่อนข้าวกองรวมกันไว้ เพื่อรอการนวด สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย(2538) รายงานว่า
 ในขณะที่รวมกองฟ่อนข้าวหอมมะลิเพื่อรอการนวดนี้ หากฟ่อนข้าวได้รับแสงแดดโดยตรงเป็น
 ระยะเวลาที่ยาวนานจะทำให้ข้าวแห้งกรอบ ซึ่งเมื่อสีเป็นข้าวสารจะได้เปอร์เซ็นต์ข้าวสารเต็มเมล็ด
 ลดลง แต่หากมีการบังแดดกองฟ่อนข้าวจะทำให้ได้เปอร์เซ็นต์ข้าวสารเต็มเมล็ดมากขึ้น Stahel
 (1935) อ้างโดย Toquero and Duff (1985) รายงานว่าการลดความชื้นด้วยการกองข้าว พบว่าข้าว
 ที่เก็บเกี่ยวแล้วตากในแปลงมีอิทธิพลต่อการกองข้าว หลังจากการเก็บเกี่ยวและตากแผ่ฟ่อนข้าวใน
 แปลงข้าวจะแห้งเร็วมากหลังจากตากแผ่ 3 วัน จากการที่ข้าวแห้งเร็วมากส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ต้นข้าว
 ลดลงเนื่องจากข้าวที่ตากแผ่ในแปลงจะได้รับความชื้นอีกครั้งในช่วงเวลากลางคืน และถ้ากองข้าว
 โดยมีการคลุมมัดฟ่อนข้าว ความชื้นจะลดลงช้าหลังจาก 8 วัน ความชื้นจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงมาก
 นัก ซึ่งห่างไกลจากจุดวิกฤตต่อการแตกหักของเมล็ดข้าวที่เกิดจากแสงอาทิตย์ ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์
 ต้นข้าวไม่เปลี่ยนแปลง นอกจากนั้น Runte and Abdullah (1973) พบว่าสามารถลดเปอร์เซ็นต์การ

แตกหักของข้าวที่สีแล้ว จากการลดความชื้นโดยวิธีธรรมชาติได้ ถ้าอุณหภูมิข้าวเปลือกที่นำมากองต่ำกว่า 40 °C

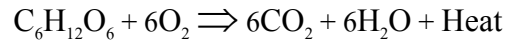
ศุภศักดิ์และวิบูลย์(2536) พบว่าเมื่อมีการตากข้าวญี่ปุ่นข้ามคืนนานขึ้น เปอร์เซ็นต์ข้าวหักจะยิ่งเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ถ้าตากข้าวทิ้งไว้ข้ามคืน 1 คืนจะมีเปอร์เซ็นต์ข้าวหักประมาณ 9 เปอร์เซ็นต์ใกล้เคียงกับการตากข้าวทิ้งไว้ในแปลง 1 วัน แสดงว่าถ้าตากข้าวข้ามคืน 1 คืนจะยังไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพการสี แต่เมื่อมีการตากข้ามคืนเป็น 2-5 คืน เปอร์เซ็นต์ข้าวหักจะสูงขึ้นมาก คือ มีการหักตั้งแต่ 14-28 เปอร์เซ็นต์และข้าวเปลือกที่เก็บไว้ 3 และ 15 วันหลังการตากแล้วจึงนำมาสี เปอร์เซ็นต์การหักน้อยกว่าข้าวเปลือกที่นำมาสีเมื่อเก็บไว้ 3 วันหลังการตาก กิตยาและคณะ(2539) พบว่า การลดความชื้นในแปลง ทำให้เมล็ดเกิดการร้าวได้ถึงประมาณ 20-25 เปอร์เซ็นต์และ Francisco(1983) พบว่าการตากข้าวในนานานวันทำให้เมล็ดข้าวเกิดการร้าวเมื่อนำไปสี บางเมล็ดจะหักและบางส่วนที่หักปนจะถูกคัดออกไปรวมในส่วนของรำข้าว ทำให้น้ำหนักข้าวสารลดลง Kunze and Calderwood(1980)อ้างโดย Toquero and Duff(1985) พบว่า สาเหตุที่เมล็ดเกิดการแตกหักเนื่องจากผิวหน้าของเมล็ดมีการดูดและคายความชื้นจากสิ่งแวดล้อมหรือจากภายในเมล็ด ซึ่งถ้าอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงอาจทำให้เมล็ดแตกหักได้ มักพบระหว่างการเก็บเกี่ยว, การจัดการทั้งก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว

กิตยาและไพฑูรย์(2539) พบว่าหลังการเก็บเกี่ยวข้าวเสร็จแล้ว ถ้านำข้าวไปนวดทันทีแล้วลดความชื้นภายหลัง โดยไม่มีการตากข้าวทิ้งไว้ในนาจะทำให้ได้ข้าวที่มีคุณภาพการสีดีที่สุด จากงานทดลองของ Angledatte (1962) พบว่าการลดความชื้นของกองฟ่อนข้าวโดยวิธีธรรมชาติที่ต่างกัน ทั้งในโรงเก็บและใช้แสงอาทิตย์ โดยเปรียบเทียบกับอัตราการสีเป็นข้าวสารได้ข้อสรุปโดยทั่วไปคือ

- อัตราการสีเป็นข้าวสารระหว่างลดความชื้นในโรงเก็บและลดความชื้นโดยใช้แสงอาทิตย์ไม่แตกต่างกัน
- เปอร์เซ็นต์การหักจะเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บเกี่ยวจากแปลงล่าช้ามากขึ้น
- เปอร์เซ็นต์การหักมีน้อยเมื่อทำการมัดฟ่อนข้าวและกองทันทีหลังจากเก็บเกี่ยว

2.6 อุณหภูมิ, ความชื้นสัมพัทธ์และการหายใจกับการเกิดเชื้อรา

หลังจากที่เก็บเกี่ยวข้าวแล้วข้าวเปลือกจะยังคงมีการหายใจอยู่ ซึ่งเป็นขบวนการ oxidation โดยที่ภายนอกเอนโดสเปิร์มจะมีส่วนประกอบของแป้งเป็นส่วนใหญ่และจะมีขบวนการหายใจโดยที่มีการนำออกซิเจนจากภายนอกเข้าสู่ภายในทำปฏิกิริยากับแป้งผลที่ได้คือน้ำ, คาร์บอนไดออกไซด์ และพลังงาน ดังสมการนี้



การหายใจทำให้เกิดความร้อนขึ้นและมีการแพร่กระจาย ลักษณะเช่นนี้เหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อรา และถ้าเชื้อราจำนวนมากมีการหายใจจะทำให้เกิด “hot spot” จุดนี้จะเกิดแรงดันไอน้ำและการพาความร้อนจากจุดที่ร้อนไปสู่จุดที่เย็น เรียกว่า “การแพร่กระจายความร้อน (Heat diffusion)” ถ้าขบวนการนี้ควบคุมไม่ได้จะทำให้ข้าวเปลือกที่มีความชื้นสูงเกิดการเสียหายได้ (De padua, 2005) เมล็ดหลังเก็บเกี่ยวจะได้รับความเสียหายจากเชื้อราเข้าทำลายเป็นส่วนใหญ่ ปัจจุบันพบว่าเชื้อรามากกว่า 150 ชนิด เชื้อราที่พบเข้าทำลายเมล็ดพืชอาจพบได้จากเชื้อรา 3 class คือ Phycomycetes , Ascomycetes และ Deuteromycetes เชื้อราในกลุ่มหลังนี้จะพบมากที่สุดและบ่อยที่สุดในการเข้าทำลายเมล็ดพืช โดยเฉพาะอย่างยิ่งเชื้อรา *Aspergillus* และ *Penicillium* เป็นกลุ่มเชื้อราที่ทำให้เกิดความเสียหายภายในโรงเก็บมากที่สุด (สมบัติ, ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์)

Osman et al.(1998) อ้างโดย สุพรรณ (2540) ได้ศึกษาการติดเชื้อที่มีผลต่อการมีชีวิตภายใต้สภาพการเก็บรักษาที่แตกต่างกันในข้าวฟ่าง 4 พันธุ์ พบว่าในทุกพันธุ์จะมีการเจริญของเชื้อรา โดยพบเชื้อรา 5 ชนิดได้แก่ *Aspergillus* , *Alternaris* , *Fusarium Drechslera* และ *Trichothecium* และพบว่าการเพิ่มขึ้นของความชื้นเมล็ด , อุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษามีผลทำให้เชื้อราที่มีจำนวนมากขึ้น และ Quitco et al. (1982);Cooney and Emerson(1964)อ้างโดย Phillips et al.(1989) พบว่าข้าวที่เก็บรักษาแบบกองจะมีอุณหภูมิสูงกว่าเก็บรักษาแบบใส่กระสอบ การเก็บรักษาแบบกองจะพบเชื้อราเกิดขึ้นเร็วมาก, ข้าวที่เปียกและมีความร้อนเกิดขึ้นจะพบเชื้อ *Alternaria*, *Heminthosporium* , *A. flavus* และ *Rhizopus sp.*

2.7 การเกิดข้าวเหลือง (Rice yellowing kernels)

การสูญเสียน้ำหนักแห้งของเมล็ด อาจเรียกได้ว่าเป็นการเสื่อมคุณภาพและความมากน้อยของการเสื่อมคุณภาพขึ้นอยู่กับเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักแห้ง อัตราการเสื่อมคุณภาพซึ่งเป็นผลมาจากกิจกรรมของ จุลินทรีย์ , แมลง และกิจกรรมภายในเมล็ด การเสื่อมคุณภาพอย่างหนึ่งของข้าวเปลือกที่กองทิ้งไว้รอการนวด คือ การเหลืองของข้าว การเกิดสีเหลืองของเมล็ดข้าวเกิดจากปฏิกิริยาที่ไม่มีเอนไซม์ กลไกการเกิดยังไม่มีการศึกษาที่ชัดเจน นอกจากนี้เชื้อราบางพวกเช่น *Aspergillus*, *Curvularia* ที่เจริญบนเมล็ดข้าว และเชื้อราบางพวกสร้างเส้นใยปกคลุมแล้วดูดอาหารจากเมล็ดทำให้ข้าวมีจุดสีเหลืองได้เช่นกัน (รัชนี, 2536)

Teter(1987) รายงานว่า การลดความชื้นฟ่อนข้าวซึ่งกองทิ้งไว้ในแปลงโดยไม่มีลมพัดฟ่อนข้าว ทิ้งไว้ประมาณ 1 อาทิตย์แล้วนำไปนวด พบว่าวิธีนี้เป็นอันตรายต่อเมล็ดโดยเกิดจากเชื้อราและความร้อนและเป็นสาเหตุทำให้เกิดสีเหลืองบริเวณคัพพะ ความร้อนภายในกองสูงมากมี

อุณหภูมิสูงเกิน 70 °C ลักษณะแบบนี้จะเกิดกับข้าวเปลือกที่ยังเปียกอยู่ และถ้าจะรักษาคุณภาพข้าวเปลือกให้ได้นานขึ้น บริเวณที่กองควรมีความชื้นต่ำและปลอดภัยจากฝนและความชื้นจากพื้น Mendoza et al.(1982) พบว่าการนำฟ่อนข้าวที่มีक्रमกันแล้วมากองทิ้งไว้ในแปลงเพื่อรอการนวด เสี่ยงต่อการที่เมล็ดข้าวจะถูกทำลายจากเชื้อราและความร้อนซึ่งทั้งสองอย่างนี้เป็นสาเหตุเริ่มแรกของการเกิดข้าวเหลือง ถ้าเมล็ดข้าวอยู่ในสภาพเปียกชื้นก่อนกองและขนาดกองมีขนาดใหญ่จะทำให้เกิดความร้อนภายในกองสูงถึง 70 °C แต่ถ้าความชื้นเมล็ดต่ำก่อนนำมากองและกองข้าวได้รับการป้องกันจากฝนและความชื้นจากดินก็จะทำให้การลดความชื้นข้าวได้ผลดี Quitco and Liag (1982) รายงานว่าการลดความชื้นข้าวล่าช้า (ความชื้น 20-25 เปอร์เซ็นต์) ตรวจพบข้าวเมล็ดเหลือง 2 เปอร์เซ็นต์ภายใน 1 สัปดาห์ ข้าวมีความชื้น 15-16 เปอร์เซ็นต์ พบข้าวเมล็ดเหลือง 2-3 เปอร์เซ็นต์ภายใน 5 สัปดาห์และข้าวที่มีความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์ไม่มีข้าวเมล็ดเหลืองเกิดขึ้น เมื่อเก็บไว้นาน 1 ปี การเก็บรักษาข้าวที่มีความชื้นสูง เมล็ดข้าวเกิดเชื้อรา การเจริญเติบโตของเชื้อราพร้อมกับความชื้นและความร้อนภายในกองข้าวทำให้เกิดข้าวเมล็ดเหลือง Quitco et al.(1982) อ้างโดย Phillip et al.(1989) พบว่าเชื้อราเป็นสาเหตุของการเกิดข้าวเหลืองและสีข้าวที่เปลี่ยนแปลงไปทั้งในข้าวเปลือกและข้าวสาร และ Phillip et al.(1989) รายงานว่าช่วงก่อนการลดความชื้นสามารถพบข้าวเหลืองได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ในการเก็บรักษาข้าวแบบกองไว้โดยเฉพาะบริเวณตรงกลางกองข้าวจะพบข้าวเหลืองเมื่อกองข้าวเป็นเวลา 5 วันและพบเมล็ดติดเชื้อราหลังจากกองเป็นเวลา 2 วัน อุณหภูมิภายในกองเพิ่มสูงถึง 60°C เมื่อกองข้าวเป็นเวลา 6 วัน นอกจากนั้นความชื้น , พันธุ์และอายุ มีผลต่อการเกิดข้าวเหลืองของข้าวเปลือกและข้าวสาร ค่า b* (yellowness) เพิ่มขึ้นเมื่อความชื้นข้าวเปลือกเพิ่มขึ้น และถ้ากองข้าวที่เก็บเกี่ยวจากแปลงทันที (freshly harvest) จะทำให้เกิดข้าวเหลืองและถ้าชะลอการลดความชื้น ข้าวเปลือกที่มีความชื้นสูงจะมีสีคล้ำขึ้น (De padua, 2005)