บทที่ 2
การตรวจเอกสาร

ข้าวขาวดอกมะลิ 105

ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 จัดอยู่ในประเภทข้าวขาว เพราะเปลือกข้าวมีสีขาวหรือสีฟาง และมีกลิ่นหอมคล้ายใบเตย โดยลักษณะที่สำคัญของข้าวหอมมะลิคือ เมล็ดข้าวเปลือกเรียวได้มาตรฐานข้าวชั้นหนึ่ง เมื่อขัดสีเป็นข้าวสารจะได้เมล็ดที่เรียวยาว ขาว ใส เป็นเงาแกร่ง และมีท้องไข่น้อย เมื่อหุงเป็นข้าวสุกก็จะได้ข้าวที่มีความเลื่อมมัน อ่อนนุ่ม และมีกลิ่นหอม

โครงสร้างทั่วไปของข้าว

ข้าวเปลือก (Rough rice) เป็นส่วนผลของต้นข้าว ซึ่งอาจจำแนกเป็นส่วนต่างๆ ดังนี้

1. เปลือกนอก หรือแกลบ (Hull) เป็นส่วนที่ป้องกันเมล็ดข้าวจากเชื้อราและแมลงในระหว่างการเก็บรักษา ส่วนนี้มีน้ำหนักเฉลี่ยประมาณร้อยละ 20 ของน้ำหนักเมล็ดข้าวเปลือก ประกอบด้วย Lemma และ Palea 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) แบ่งออกเป็นชั้นๆ ดังนี้

- เยื่อหุ้มผล (Pericarp) เป็นส่วนผิวนอกของข้าวกล้อง มีความหนาประมาณ 10 ไมครอน หรือประมาณร้อยละ 4 – 5 ของน้ำหนักเมล็ด ผิวชั้นนอกมีลักษณะเป็นคลื่น
- เยื่อหุ้มเมล็ด (Seed coat) เป็นส่วนที่อยู่ต่อจากเยื่อหุ้มผล เซลล์ชั้นเดียวมีความหนาประมาณ 0.5 ไมครอน
- ชั้นอลูโลน (Aleurone layer) มีลักษณะเป็นเซลล์รูปสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ ผนังเซลล์หนา ในอลูโลนเซลล์มีสารประกอบโปรตีนและไขมันมากที่สุด
- คัพพะ (Embryo) เป็นส่วนที่เจริญเป็นต้นอ่อนต่อไป ประกอบด้วย Embrionic axis และ Scutellum ส่วนนี้มีโปรตีน ไขมัน เถ้าและวิตามินในปริมาณสูงแต่ไม่มีแป้ง
- เอนโดสเปิร์ม (Endosperm) คือส่วนที่เป็นข้าวสาร ในส่วนนี้มีแป้งเป็นองค์ประกอบหลัก แป้งข้าวจะอยู่รวมกันเป็นกลุ่ม (Starch compound) กลุ่มแป้งหลายๆ กลุ่มจะอยู่รวมกันเป็น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

Micelles โดยมีกลุ่มโปรตีน (Protein body) แทรกอยู่ภายในเมล็ดข้าวสารนี้มีแป้งอยู่ประมาณร้อยละ 84 – 93 โดยน้ำหนัก แป้งข้าวแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ อะไมโลส (Amylose) และอะไมโลเปกติน (Amylopectin)

การตลาดของข้าว

ประเทศไทยมีปริมาณผลผลิตข้าวเปลือกประมาณ 29.19 ล้านตัน โดยแยกเป็นข้าวนาปี 23.30 ล้านตัน ข้าวนาปรัง 5.89 ล้านตัน สามารถส่งออกข้าวสารได้ 7.5 ล้านตัน คิดเป็นมูลค่า 93,000 ล้านบาท โดยข้าวนาปี 5% ราคาเฉลี่ยตันละ 6,604 บาท ข้าวนาปรังความชื้น 14-15% เฉลี่ยตันละ 6,617 บาท ซึ่งส่วนใหญ่แล้วจะมีราคาสูงกว่าปีที่ผ่านมา ทั้งนี้ก็เพราะผลจากมาตรการรับจำนำข้าวเปลือกของรัฐบาลที่กำหนดราคาจำนำไว้สูงประมาณตันละ 6,500 – 10,000 บาท สำหรับข้าวหอมมะลิไทย (ข้าวเปลือกเจ้าคุณภาพดี) ที่ตลาดมีความต้องการมากแต่ผลผลิตยังไม่เพียงพอกับความต้องการของตลาด มีการส่งออกข้าวขาวหอมมะลิประมาณ 2.3 ล้านตัน คิดเป็นมูลค่า 35,165 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2548) ตลาดการค้าข้าวเปลือกหอมดอกมะลิส่วนใหญ่จะเป็นตลาดกึ่งผูกขาด ผู้รับซื้อส่วนใหญ่จะมีโควตาการส่งออกข้าวสารไปยังต่างประเทศ ทำให้ราคาข้าวเปลือกที่ซื้อขายกันหน้าโรงสีเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย การขึ้นลงของราคาข้าวสารทุกๆ 1 บาทต่อตันข้าวสาร ทำให้ราคาข้าวเปลือกที่จำหน่ายหน้าโรงสีเปลี่ยนไป 1.08 – 1.20 บาทต่อตัน (อารีย์และสมคิด, 2542) การซื้อขายข้าวเปลือกระหว่างเกษตรกรและโรงสี รวมทั้งการจำนำข้าวเปลือกระหว่างเกษตรกรกับหน่วยงานรัฐ จะมีกำหนดราคาโดยพิจารณาจากคุณภาพการสีและความชื้นของข้าวเปลือกเป็นหลัก เช่นโครงการรับจำนำข้าวเปลือกขาวดอกมะลิ 105 ปีการผลิต 2548/2549 ได้ประกันราคาข้าวเปลือกที่มีความชื้นไม่เกิน 15 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อนำไปสีได้ข้าวต้น 42 เปอร์เซ็นต์ มีราคาจำนองที่ 10,000 บาทต่อตันข้าวเปลือก และมีเป้าหมายในการรับจำนำปริมาณ 5 ล้านตันข้าวเปลือก (กรมการค้าภายใน, 2548)

นอกจากนี้ส่วนใหญ่เกษตรกรจะประสบปัญหาราคาข้าวเปลือกตกต่ำ ในช่วงต้นฤดูการเก็บเกี่ยว ทั้งนี้เพราะมีข้าวเปลือกออกสู่ตลาดเป็นจำนวนมาก (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2542) หากมีการเก็บรักษาข้าวเปลือกในระยะหนึ่งเพื่อให้ราคาขายสูงขึ้น เกษตรกรก็จะสามารถขายข้าวเปลือกได้ในราคาที่สูงขึ้น โดยราคาข้าวในตลาดมักจะเริ่มขยับตัวสูงขึ้นในเดือน มิถุนายน และสูงไปเรื่อยๆ จนถึงช่วงเดือนตุลาคม ราคาข้าวเปลือกจะสูงที่สุด ดังนั้นการเก็บรักษาข้าวเปลือกของเกษตรกรจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง แต่จากการศึกษา ดาเรศร์ (2543) พบว่าการเก็บรักษาข้าวเปลือกของกลุ่มเกษตรกรและสหกรณ์การเกษตรในระยะยาวทั้ง 32 แห่ง มีเกษตรที่ใช้ประโยชน์จากฉางเก็บข้าวของกลุ่มเกษตรเพียง 34.38 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น ส่วนสหกรณ์การเกษตรใช้ประโยชน์ถึง 90.6

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

เปอร์เซ็นต์ และต้นทุนของการเก็บรักษาข้าวขนาด 500 ตัน 1000 ตัน และ 1500 ตัน เป็นเงิน 280 บาท 140 บาท และ 94 บาท ตามลำดับ ซึ่งในการจัดการข้าวเปลือกของสหกรณ์แต่ละแห่งนั้นก็จัดการแตกต่างกันไป โดยจากรายงานของ ทรงเชาว์ และคณะ (2546) ได้รายงานว่าในการจัดการของสหกรณ์การเกษตร ในภาคเหนือตอนบนส่วนใหญ่เป็นการเก็บแบบบรรจุกระสอบและเทกอง ซึ่งบางแห่งยังประสบปัญหาการเข้าทำลายของแมลงศัตรูในโรงเก็บเช่น ผีเสื้อข้าวเปลือกและหนู ก่อให้เกิดความเสียหายในระหว่างการเก็บรักษา สำหรับกลุ่มเกษตรกรในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ อารีย์ (2544) รายงานว่าจากการศึกษาสภาพทั่วไปของการทำธุรกิจโรงสีของกลุ่มเกษตรกรที่มีขนาดใหญ่น่าจะมีไซโลข้าวเปลือกเพื่อรองรับผลผลิตเนื่องจากเป็นพื้นที่ที่มีกำลังการผลิตสูง ทั้งนี้ยังเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการเก็บรักษาข้าวเปลือกของกลุ่มเกษตรกรด้วย

คุณภาพการสีของข้าว

ผู้บริโภคส่วนใหญ่นิยมบริโภคข้าวที่ผ่านกระบวนการสีเป็นข้าวสารที่มีข้าวหักน้อย ดังนั้นคุณภาพของข้าวเปลือกจะต้องคำนึงถึงปริมาณข้าวสาร ต้นข้าว และข้าวหักที่ได้จากการสีข้าวด้วย ในการสีข้าวจะได้แกลบ 20 – 28% รำประมาณ 10% ส่วนที่เหลือคือ ข้าวสาร ในส่วนของข้าวสารนี้ประกอบด้วย ข้าวเต็มเมล็ด ต้นข้าว และข้าวหัก มาตรฐานข้าวไทยได้กำหนดสัดส่วนของเมล็ดข้าวเป็น 10 ส่วน โดยข้าวเต็มเมล็ดคือข้าวที่มีส่วนของเมล็ดเต็ม 10 ส่วน ข้าวต้น (head rice) คือข้าวที่มีส่วนของเมล็ด 8 – 9.9 ส่วน ข้าวหักใหญ่ คือข้าวที่มีส่วนของเมล็ด 5 – 7.9 ส่วน ข้าวหักเล็ก คือข้าวที่มีส่วนของเมล็ด 2.5 – 4.9 ส่วน ซึ่งข้าวคุณภาพดีควรสีได้ข้าวสารมาก และมีข้าวหักน้อย งามชื่น (2545) ได้รายงานว่าปัจจัยที่ทำให้ข้าวหักในระหว่างการสีได้แก่ เมล็ดยาวมาก เมล็ดบิดเบี้ยวหรือไม่สมบูรณ์ เมล็ดมีท้องไข่มาก เมล็ดอ่อน การเกิดเมล็ดร้าวก่อนการสี อาจเนื่องจากการเก็บเกี่ยวข้าวที่แช่น้ำหรือแก่จัดเกินไป รวมทั้งการปฏิบัติการหลังการเก็บเกี่ยวที่ไม่เหมาะสม เช่น การลดความชื้นข้าวจนแห้งมากเกินไป อย่างไรก็ตามความชื้นของข้าวมีผลต่ออายุการเก็บรักษา ถ้าเมล็ดข้าวมีความชื้นสูงทำให้เชื้อราและจุลินทรีย์เจริญเติบโตได้ ข้าวจะเสื่อมคุณภาพเร็ว ดังนั้นมาตรฐานข้าวของแต่ละประเทศจึงได้กำหนดระดับความชื้นของข้าวไว้ โดยประเทศไทยกำหนดความชื้นไม่เกินร้อยละ 14 สำหรับประเทศที่มีอากาศหนาวเย็น ยอมรับระดับความชื้นสูงถึงร้อยละ 16

การพิจารณาคุณภาพข้าวจะพิจารณาจากข้าวสารที่ได้จากการสี ซึ่งเกณฑ์ที่นิยมใช้ในการตัดสินใจในการซื้อขายกัน นอกจากเปอร์เซ็นต์ข้าวต้นแล้ว ยังมีความขาวของข้าวที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการจำแนกเกรดข้าวด้วยเช่นกัน แต่การใช้ระดับความขาวยังไม่มีการกำหนดที่ชัดเจน ทั้งนี้เนื่องจากความต้องการของตลาดผู้บริโภคแต่ละประเทศไม่เหมือนกัน สำหรับประเทศไทยระดับความขาวของข้าวที่ยอมรับได้ในการซื้อขายคือ ระดับความขาวสูงกว่า 35 (วัดโดยใช้เครื่อง Kett Whiteness

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

Meter model C- 300) (อรรถพร, 2538) และนอกจากนี้ในการวัดค่าสีของข้าวยังใช้ระบบมาตรฐานของระบบ CIELAB ที่วัดโดยใช้เครื่อง Color Quest XE โดยใช้หลักของความยาวคลื่นแสงช่วง 400 – 700 นาโนมิเตอร์ ซึ่งเป็นระบบสีที่ครอบคลุมสีที่ตามนุษย์สามารถมองเห็นได้ โดยแต่ละค่าสีของระบบนี้จะมีข้อมูล spectrum ของแสงรองรับ ซึ่งแต่ละค่าจะเป็นตัวแทนลักษณะของสีที่แน่นอนตายตัว ค่าสีแบบนี้จึงเป็นสากลเหมาะกับการใช้เป็นค่ามาตรฐานของระบบการจัดการสี (Color Management System; CMS)

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพและเคมีของข้าวในระหว่างการเก็บรักษา

คุณภาพข้าวมีความหมายครอบคลุมถึง คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมี ในการกำหนดมาตรฐานการส่งออก ปัจจุบันยังคงใช้คุณสมบัติทางกายภาพในการจำแนกเกรดของข้าวทุกชนิด ซึ่งคุณภาพเมล็ดทางกายภาพ หมายถึง คุณสมบัติต่างๆ ของเมล็ดที่สามารถมองเห็น หรือวัดตวงได้ เช่น น้ำหนักเมล็ด (grain weight) สีข้าวเปลือก (hull color) สีข้าวกล้อง (pericarp color) ขนาดและรูปร่างเมล็ด (grain dimension) ลักษณะท้องไข่ (chalkiness) ความขุ่นใสของข้าวสาร (grain translucency) ความแกร่งของเมล็ด (grain hardness) ความขาวของข้าวสาร (whiteness of milled rice) และคุณภาพการสี (milling quality) เป็นต้น ซึ่งในการซื้อขายข้าวมักใช้คุณสมบัติทางกายภาพในการจำแนกเกรดของข้าวทุกชนิด ทั้งนี้เพราะมีความชัดเจนและสามารถตรวจสอบได้รวดเร็ว (กัญญา, 2545) สำหรับคุณภาพเมล็ดทางเคมีหมายถึงคุณสมบัติและส่วนประกอบต่างๆ ของเมล็ดที่มีผลต่อคุณภาพการหุงต้มโดยมีผลทำให้ข้าวสุกนุ่ม เหนียว หรือร่วนขึ้นหม้อ และมีผลต่อการนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ซึ่งคุณภาพของเมล็ดทางเคมีได้แก่ ชนิดและปริมาณของแป้ง (starch) โปรตีน ไขมันและกลิ่นหอมเป็นต้น

การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเมล็ดระหว่างการเก็บรักษา พบว่าลักษณะของข้าวใหม่และข้าวเก่ามีคุณภาพการหุงต้มแตกต่างกัน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้จะเกิดขึ้นในระยะ 3 – 4 เดือนหลังการเก็บเกี่ยว โดยการเปลี่ยนแปลงในเมล็ดข้าวเกิดขึ้นจากกระบวนการที่เกี่ยวข้อง 3 องค์ประกอบ คือ แป้ง ไขมัน โปรตีน ผลการเปลี่ยนแปลงนี้มีผลต่อคุณสมบัติการหุงต้มและข้าวสุกของเมล็ด กล่าวคือ ข้าวสุกแข็งและร่วนมากขึ้น หรือเหนียวเกาะติดกันน้อยลง และมีผลทำให้ข้าวสุกขยายปริมาตรรวม (bulk volume) ได้มากขึ้น หรือขึ้นหม้อดีขึ้น ทั้งนี้เมล็ดข้าวจะดูดน้ำได้มากขึ้น โดยไม่แตกตัว น้ำข้าวจะใสขึ้น เมล็ดข้าวอาจต้องใช้เวลาต้มสุกนานขึ้นเล็กน้อย สีของข้าวจะคล้ำขึ้น จากปฏิกิริยาเติมออกซิเจน (oxidation reaction) ในไขมันทำให้เกิดไขมันอิสระและสาร carbonyl เพิ่มขึ้นทำให้เกิดกลิ่นสาบในข้าวเก่า (งามชื่น ,2545)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

สำหรับลักษณะทางกายภาพที่สามารถมองเห็นได้คือ การเก็บรักษาข้าวเปลือกในระยะเวลาที่นานขึ้นทำให้ค่าความสว่างลดลง (ทรงเชาว์ และคณะ, 2546) ดรรชนีความขาวของข้าวลดลง (บุญมี และคณะ, 2546) และค่าความเป็นสีเหลืองของข้าวเพิ่มขึ้น (พัสกร, 2545) ซึ่งตัวแปรที่มีผลต่ออัตราการเหลืองของข้าวได้แก่ ความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือก ความชื้นสัมพันธ์ของอากาศ และลักษณะหรือรูปแบบของกองข้าวเปลือกที่มีผลต่อการระบายอากาศในกองข้าวเปลือก และอาจเกิดจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในอาหารซึ่งการเกิดสีเหลืองของเมล็ดข้าวเกิดจากปฏิกิริยาที่ไม่มีเอนไซม์แต่ กลไกการเกิดดังกล่าวยังไม่มีการศึกษาที่ชัดเจน นอกจากนี้เชื้อราบางพวกเช่น Aspergillus, Curvularia ที่เจริญบนเมล็ดข้าวก็สามารถสร้างรงควัตถุสีเหลืองอันเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เมล็ดข้าวมีสีเหลืองและเชื้อราบางพวกสร้างเส้นใยปกคลุมแล้วดูดอาหารจากเมล็ดทำให้ข้าวมีจุดสีเหลือง

สภาพการเก็บรักษาข้าวเปลือก

การเก็บรักษาเมล็ดพืชมีจุดประสงค์ในทางการตลาดคือเพื่อสร้างมูลค่าให้กับเมล็ดพืชในระดับเล็กจนถึงระดับอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ นอกจากนี้ก็เพื่อเก็บไว้เป็นเมล็ดพันธุ์หรือสำรองไว้เมื่อเกิดการขาดแคลน การเก็บรักษาเมล็ดพืชในอดีตจะเก็บโดยการมัดแขวนไว้หรือเก็บในยุ้งฉาง รวมถึงการเก็บในถังที่ทำจากโคลนหรือดิน ซึ่งปัจจุบันยังมีการเก็บในลักษณะนี้ในแถบอเมริกาเหนือและบางส่วนของประเทศอินเดีย ในปัจจุบันได้มีวิธีการเก็บหลายวิธี คือ (Bala, 1997)

1. เก็บในกระสอบ (Bagged storage system) โดยการบรรจุในกระสอบแล้วเก็บในโกดังมีข้อเสียคือเกิดการดูดความชื้นกลับเมื่ออากาศมีความชื้นสูง โดยเฉพาะข้างนอกถุงเกิดการสูญเสียของเมล็ดในระหว่างการเก็บรักษาเนื่องจากอากาศโดยรอบ

2. เก็บในไซโล (Silo storage system) การเก็บในไซโลนี้จะมีการติดตั้งอุปกรณ์หลายอย่างเช่น elevator เพื่อใช้ในการเคลื่อนย้ายเมล็ด ไซโลอาจทำจากอลูมิเนียม เหล็กหรือคอนกรีต

3. เก็บในที่อากาศผ่านไม่ได้ (Airtight storage system) เป็นการเก็บที่ไม่ให้มีออกซิเจนเนื่องจากออกซิเจนจะทำให้เกิดการเสียหายของเมล็ด เพราะพืชและแมลงต่างๆ จะใช้ออกซิเจนในการหายใจ ทำให้เกิดความร้อนและความเสียหาย ข้อเสียของการเก็บแบบนี้คือต้องเก็บเมล็ดพืชที่มีความชื้นต่ำๆ ประมาณ 13% และเก็บในที่อุณหภูมิสูงไม่ได้

4. การเก็บในที่มีระบบระบายอากาศ (Aerated storage system) เป็นการเก็บที่รักษาอุณหภูมิและความชื้นคงที่โดยให้มีค่าเท่ากับสภาพบรรยากาศรอบๆ ในระหว่างการเก็บรักษา ข้อเสียคือถ้าอุณหภูมิบรรยากาศสูงจะทำให้เมล็ดพืชเกิดความเสียหายได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

5. เก็บในสภาพอุณหภูมิต่ำ (Low temperature storage system) เป็นระบบที่ให้ความเย็นแก่เมล็ดพืชที่เก็บรักษา (Grain chilling by refrigeration) ระบบนี้สามารถเก็บรักษาเมล็ดพืชที่มีความชื้นสูงได้โดยไม่ต้องใส่สารเคมีเพื่อป้องกันแมลง หรือลดความชื้น

6. เก็บในที่ควบคุมบรรยากาศ (Controlled atmosphere storage system) เป็นระบบที่มีการควบคุมสภาพบรรยากาศในระบบโดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ไนโตรเจน และก๊าซอื่นๆ เพื่อที่จะควบคุมการเติบโตของเชื้อราและแมลง

7. เก็บโดยใส่สารเคมี (Damp grain storage system with chemicals) เป็นการเคลือบสารเคมีบนผิวของเมล็ดพืช โดยไม่ต้องลดความชื้นเพื่อป้องกันการทำลายของพวกแมลงและเชื้อรา ข้อเสียคือเป็นวิธีที่ยุ่งยากและสารเคมี ไม่เหมาะกับการบริโภคของคน

การเก็บรักษาแต่ละวิธีมีข้อดีและข้อเสียต่างกัน ซึ่งข้อควรคำนึงในการตัดสินใจว่าจะเลือกการเก็บรักษาวิธีใดคือวัตถุประสงค์ในการใช้ประโยชน์ ระยะเวลาในการเก็บรักษา ปริมาณผลผลิต ภูมิอากาศ ระบบขนส่ง แมลงศัตรูที่เข้าทำลาย ต้นทุนผันแปรและต้นทุนคงที่ เป็นต้น

เมล็ดพืชบางชนิดจำเป็นต้องมีการปรับและรักษาสภาพให้เหมาะสมกับการเก็บรักษา แต่โกดังเก็บผลผลิตที่มีอยู่ทั่วๆ ไปมักก่อให้เกิดความสูญเสียในคุณภาพของสินค้าอยู่เสมอ ไม่ว่าจะเป็นการเก็บรักษาแบบเทกองรวมกัน(Bulk) หรือการบรรจุกระสอบ แม้ว่าการเพิ่มช่องว่างเพื่อให้อากาศถ่ายเทในระหว่างช่องของกระสอบ จะช่วยลดปัญหาการสูญเสียคุณภาพได้ระดับหนึ่งก็ตาม แต่การปฏิบัติด้วยวิธีนี้ก็ไม่สามารถรักษาคุณภาพของเมล็ดพืชได้ และทำให้ต้องเสียเวลาในการดำเนินการและค่าใช้จ่ายสูงขึ้นอีก จนในที่สุดได้ก่อให้เกิดธุรกิจประเภทหนึ่งขึ้นคือไซโลเป็นเครื่องมือในการอำนวยความสะดวกในการเก็บรักษาคุณภาพเมล็ดอย่างหนึ่ง โดยใช้เพื่อการเก็บและรักษาคุณภาพของเมล็ดพืชโดยไม่ต้องบรรจุภาชนะ และมีความแตกต่างจากโกดังและยุ้งฉางทั่วไปก็คือ ไซโลมีเครื่องควบคุมความชื้นและอุณหภูมิอันเป็นปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิดความสูญเสียคุณภาพเมล็ดพืช ซึ่งกิจการไซโลเริ่มมีขึ้นราว พ.ศ. 2403 ที่แหล่งเพาะปลูกรอบๆ เมืองชิคาโก สหรัฐอเมริกา และหลังจากนั้นได้มีการใช้กันอย่างแพร่หลายทั่วโลกตั้งแต่นั้นมา สำหรับประเทศไทยได้เริ่มเปิดกิจการไซโลตั้งแต่ พ.ศ. 2507 และได้ขยายการดำเนินงานออกไปเรื่อยๆ (อำนาจ, 2524)

ไซโลจะต้องมีประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนและความชื้นไม่ให้สูงเกินไปจนเป็นสาเหตุให้เกิดความเสียหายกับพืชผลที่บรรจุ สำหรับข้าวเปลือกถึงแม้ว่าเป็นวัสดุที่ค่อนข้างคงตัวทางด้านเคมี แต่ความร้อนและความชื้นก็มีผลทำให้เกิดความเสียหายได้เช่นเดียวกัน เพราะถ้าอยู่ในในช่วงที่เหมาะสม เมล็ดข้าวเปลือกซึ่งพ้นระยะการพักตัวแล้วจะสามารถงอกได้อย่างรวดเร็ว ทั้งนี้ไซโลต้องมีความแข็งแรงทนทานสามารถรับน้ำหนักของวัสดุที่บรรจุและมั่นคงพอที่รับแรง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ภายนอกที่มากระทำได้เช่น แรงลม สำหรับอายุการใช้งานของไซโลควรอยู่ในช่วง 20 – 30 ปี โดยมีการซ่อมแซมเพียงเล็กน้อย (การุญ, 2524) แต่อย่างไรก็ตามการเก็บรักษาเมล็ดพืชในไซโลเหล็กเป็นระยะเวลานานกว่า 3 เดือน ตามสภาพอากาศร้อนชื้นดังเช่นประเทศไทย เชื่อกันว่าจะเกิดปัญหาเรื่องการเสื่อมคุณภาพเนื่องจากเชื้อราเข้าทำลาย ทำให้เกิดการเน่าเสียบริเวณส่วนบน ที่พื้น และตรงกลางของไซโล (ไมตรี และคณะ 2537 อ้างโดยนิภาพร, 2546) ดังนั้นการใช้ไซโลในประเทศไทยจำเป็นต้องมีการศึกษาอีกมากเพื่อให้ไซโลอยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน และไม่ทำให้ผลผลิตเสียหาย โดยเฉพาะอุณหภูมิภายในไซโล ทั้งนี้เพราะไซโลจะมีขนาดใหญ่และส่วนมากนิยมตั้งอยู่กลางแจ้ง ดังนั้นความร้อนจากแสงอาทิตย์จึงเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่ออุณหภูมิข้าวเปลือกภายในถังเก็บ ซึ่งเมื่ออุณหภูมิของเมล็ดข้าวสูงจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าวเปลือกทั้งทางกายภาพและเคมี ก่อให้เกิดการพาความร้อน การเคลื่อนย้ายของความชื้น จนเกิดการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำซึ่งเป็นสาเหตุของการเสื่อมคุณภาพของข้าวในระหว่างการเก็บรักษา

เชื้อราในโรงเก็บ

เชื้อราที่พบบนเมล็ดข้าวหลังการเก็บเกี่ยว แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ field fungi และ storage fungi แต่จะพบเชื้อราแต่ละกลุ่มมากน้อยแค่ไหนขึ้นอยู่กับปัจจัยทั้งก่อนการเก็บเกี่ยว ขณะทำการเก็บเกี่ยว การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวและสภาพของโรงเก็บรักษาเมล็ดข้าว field fungi เป็นเชื้อราที่ติดมาจากในไร่ ส่วนใหญ่เป็นสาเหตุของโรคต่างๆ ของข้าวในแปลงปลูก ซึ่งถ้าติดมาแล้วจะมีผลต่อคุณภาพของเมล็ดข้าว เปอร์เซ็นต์ความงอกของเมล็ด และการเกิดโรคในระยะต้นกล้าของข้าว เชื้อราเหล่านี้ได้แก่ *Fusarium* spp., *Drechslera* spp., *Curvularia* spp., *Alternaria* spp. และ *Trichoconis padwickii* (อรุณีและคณะ, 2523; Gora *et al*., 1987) ส่วน storage fungi เป็นกลุ่มเชื้อราซึ่งเข้าทำลายเมล็ดข้าวหลังเก็บเกี่ยวแล้วโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงการเก็บรักษา เชื้อราเหล่านี้ได้แก่เชื้อรา Aspergillus, Penicillium, Rhizopus และ Mucor (Neergaard, 1977) Raper และ Fennell (1975) ได้รายงานว่า *Aspergillus flavus* และ *A. glaucus* เป็นกลุ่มที่พบเข้าทำลายเมล็ดข้าวในโรงเก็บมากที่สุด ส่วนในญี่ปุ่นพบว่า Penicillium เป็นเชื้อราที่มีบทบาทสำคัญในการทำให้เกิดโรคข้าวในโรงเก็บ (Tatsomo, 1963)

การเกิดโรคของเมล็ดข้าวที่เก็บรักษาไว้เป็นผลจากการเข้าทำลายของเชื้อราต่างๆ ทำให้เกิดการสูญเสียทั้งทางด้านปริมาณและคุณภาพ เมื่อนำไปใช้ทำเป็นเมล็ดพันธุ์และการบริโภค นอกจากนี้เชื้อราที่เข้าทำลายข้าวในโรงเก็บยังสามารถสร้างสารพิษบางชนิดได้ ซึ่งจะเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเชื้อรา *A. flavus* ซึ่งสร้าง aflatoxin และ *P. islandicum* ซึ่งสร้างสารพิษหลายชนิด เช่น islanditoxin, patulin, leteoskyrin และ citrinin เป็นต้น (Salunkhe *et*

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

al., 1985) นอกจากนี้เมล็ดมีคุณสมบัติเป็นฉนวนความร้อนอย่างดี เมื่อเกิดไอน้ำและความร้อนจึงสะสมอยู่ภายในกองเก็บและเป็นตัวการทำให้เกิดการเจริญเติบโตของเชื้อราได้ดี ซึ่งการเจริญเติบโตของเชื้อราภายในกองเมล็ดทำให้เมล็ดเสื่อมคุณภาพ คือ เกิดเมล็ดเหลืองและอะฟลาทอกซินหรือเน่าเสียในที่สุด

ความชื้นสมดุล (equilibrium moisture content)

ความชื้นเป็นปัจจัยสำคัญในการเก็บรักษา โดยเฉพาะการเก็บรักษาในระยะยาว ความชื้นเมล็ดจะเปลี่ยนไปตามความชื้นของบรรยากาศ ทั้งนี้เนื่องจากเมล็ดพืชมีสภาพเป็น hygroscopic ซึ่งมีการแลกเปลี่ยนความชื้นภายในเมล็ดตามอุณหภูมิและความชื้นของสิ่งแวดล้อม หากนำเมล็ดที่แห้งไปเก็บรักษาในสภาพที่มีความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศสูงเมล็ดก็จะดูดรับเอาความชื้นเข้าไป ในทางตรงกันข้ามหากนำเมล็ดพืชที่มีความชื้นสูงไปเก็บไว้ในที่มีความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศต่ำ เมล็ดก็จะคายความชื้นออกมา (Matthes *et al*., 1969) ดังนั้นความชื้นเมล็ดในระหว่างการเก็บรักษาจึงขึ้นกับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์อากาศรอบๆ เมล็ด ซึ่งความชื้นสมดุลนี้เป็นดัชนีที่บ่งชี้ว่าผลผลิตจะได้รับความชื้นเข้ามาหรือคายความชื้นออกมาภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศและอุณหภูมิที่กำหนด สภาวะสมดุลกับสภาพแวดล้อมจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่ออัตราการคายความชื้นของผลผลิตสู่บรรยากาศเท่ากับอัตราการรับความชื้นจากบรรยากาศโดยรอบ (หรือความดันไอน้ำในผลผลิตมีค่าเท่ากับความดันไอน้ำของอากาศที่อยู่โดยรอบ) ค่าความชื้นของผลผลิตขณะที่อยู่ในสภาวะสมดุลนี้เรียกว่า ความชื้นสมดุล (Equilibrium moisture content หรือ Hygroscopic equilibrium) และความชื้นสัมพัทธ์ในสภาวะสมดุลนี้เรียกว่า ความชื้นสัมพัทธ์สมดุล (Equilibrium relative humidity) ซึ่งความชื้นสมดุลของข้าวเปลือกที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆ แสดงในตาราง 2.1 จะเห็นว่าความชื้นสมดุลของเมล็ดจะมีค่าแตกต่างกันไปตามอุณหภูมิและความชื้นในบรรยากาศ หากเก็บเมล็ดไว้ในภาชนะที่ปิดสนิท (sealed storage) บรรยากาศรอบเมล็ดถูกปิดไม่ได้ถ่ายเทกับอากาศภายนอกได้ ความชื้นภายในเมล็ดก็จะเป็นตัวกำหนดความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศในภาชนะที่เก็บ (จวงจันทร์, 2529)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.1 ความชื้นสมดุลของข้าวเปลือกภายใต้สภาพการเก็บรักษาที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆ (IRRI, 2004)

ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)						
	22°	24°	28°	32°	36°	40°	44°
50	11.2	10.9	10.7	10.5	10.2	10.0	9.9
55	11.7	11.5	11.2	11.0	10.8	10.6	10.4
60	12.3	12.0	11.8	11.6	11.4	11.2	11.0
65	12.7	12.6	12.4	12.2	12.0	11.8	11.6
70	13.5	13.3	13.1	12.8	12.6	12.5	12.3
75	14.3	14.0	13.8	13.6	13.4	13.2	13.0
77	14.6	14.3	14.1	13.9	13.7	13.5	13.4
79	14.9	14.7	14.5	14.3	14.1	13.9	13.7
81	15.3	15.1	14.9	14.6	14.5	14.3	14.1
83	15.7	15.7	15.3	15.1	14.9	14.7	14.5
85	16.1	15.9	15.7	15.5	15.3	15.1	15.0
87	16.6	16.4	16.2	16.0	15.8	15.6	15.5
89	17.2	17.0	16.8	16.6	16.4	16.2	16.1
91	17.9	17.7	17.5	17.3	17.1	16.9	16.7

การเคลื่อนย้ายของความชื้น (Moisture migration)

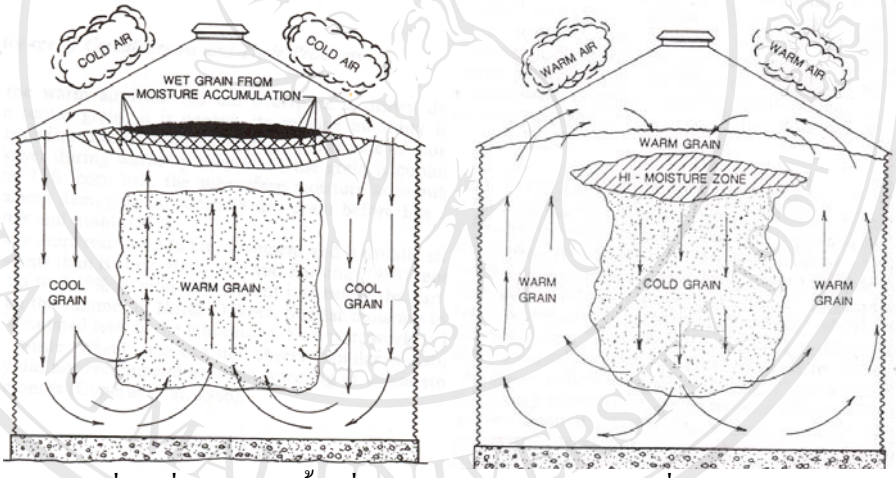
การเก็บรักษาเมล็ดพืชหรือผลผลิตจะเก็บรักษาได้เป็นเวลานานถ้าเมล็ดพืชนั้นได้รับการเก็บเกี่ยวที่ถูกต้องในเวลาที่เหมาะสม และเมล็ดพืชได้รับการทำให้แห้งก่อนเก็บรักษา นอกจากนี้ยังอยู่ภายใต้สภาพบรรยากาศการเก็บของเมล็ดพืชคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง แต่โดยปกติสภาพอากาศที่เก็บเมล็ดพืชจะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพสิ่งแวดล้อมและอากาศภายนอกที่เก็บรักษา

เมล็ดพืชที่ถูกเก็บรักษาในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูงนั้น เมื่ออากาศภายนอกของที่เก็บรักษามีอุณหภูมิต่ำกว่าสภาพเมื่อเริ่มเก็บเมล็ดไว้ในถังเก็บ จะทำให้เกิดอุณหภูมิแตกต่างกันขึ้นที่ผนังด้านนอกและด้านในของถังหรือที่ใช้เก็บเมล็ดพืชลักษณะเช่นนี้อุณหภูมิของอากาศและเมล็ดพืชตรงบริเวณใกล้ผนังของถังเก็บจะลดลง ความหนาแน่นของอากาศในถังเก็บจะเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอากาศลงเบื้องล่างตามผนังของถังเก็บเนื่องจากการพาความร้อนตามธรรมชาติ (natural convection) อากาศภายในถังจะเคลื่อนที่ไปตามบริเวณส่วนล่างของถังเก็บและตรงกึ่งกลางของถัง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

เก็บซึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่าบริเวณขอบถัง จะเคลื่อนที่ขึ้นด้านบน สภาพเช่นนี้อากาศจะนำเอาความชื้นบริเวณตรงกลางของถังเก็บขึ้นมาข้างบนด้วย ทำให้เกิดการจับตัวของความชื้นเป็นน้ำตรงส่วนบนของถัง เป็นบริเวณลึก 1 ถึง 2 ฟุต และทำให้เกิดการเสียหายของเมล็ดพืชในถังเก็บได้

เมื่ออากาศภายนอกถังเก็บเมล็ดพืชมีอุณหภูมิสูงกว่าและเมล็ดพืชมีอุณหภูมิต่ำ การเคลื่อนที่ของอากาศภายในถังเก็บจะเกิดขึ้นและตรงข้ามกับการเคลื่อนที่ของอากาศภายในถังเก็บเมื่ออุณหภูมิของอากาศภายนอกถังเก็บเย็น อากาศภายในถังเก็บจะเคลื่อนที่ลงตรงบริเวณส่วนกลางของถังเก็บและเคลื่อนที่ขึ้นตรงบริเวณขอบใกล้ๆ ผนังของถังเก็บ ซึ่งจะทำให้เกิดการเสียหายของเมล็ดพืชตรงบริเวณข้างล่างของถังเก็บ ดังรูป 2.1 (Hall, 1970)



รูป 2.1 การเคลื่อนที่ของความชื้นเมื่ออุณหภูมิอากาศภายนอกต่ำกว่า(ซ้าย) และสูงกว่า (ขวา) อุณหภูมิอากาศภายในถังเก็บข้าวเปลือก

การป้องกันการเคลื่อนที่ของความชื้นภายในถังเก็บเนื่องจากการพาความร้อนตามธรรมชาตินี้อาจแก้ไขโดยลดอุณหภูมิที่แตกต่างตรงบริเวณผนังของถังเก็บให้น้อยลง ด้วยการทำให้เมล็ดพืชเย็นลงช้าๆ ในขณะที่อากาศภายนอกเย็นลงและทำให้เมล็ดพืชร้อนขึ้นช้าๆ ในขณะที่อากาศภายนอกร้อนขึ้น โดยการระบายอากาศเข้าถังเก็บ ซึ่งเป็นวิธีการเช่นเดียวกับการทำแห้งแต่ใช้การไหลของอากาศที่ช้ากว่ามาก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การระบายอากาศ

สภาพการเก็บรักษาที่เหมาะสมจะต้องเก็บไว้ในสภาพที่อุณหภูมิต่ำหรือความชื้นเมล็ดต่ำ (Yamashita *et al.,*1988) เพราะการเสื่อมคุณภาพของข้าวจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูง และจากการศึกษาของ Dillahunty *et al.* (2000) พบว่าความชื้นเมล็ดและอุณหภูมิมีผลต่อการหายใจของข้าวเปลือกในระหว่างการเก็บรักษา ส่งผลให้เกิดความร้อนภายในกองข้าวเปลือก ดังนั้นการระบายอากาศภายในกองข้าวเปลือกเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถลดความร้อนภายในกองข้าวเปลือกได้ โดยทั่วไปอากาศที่ใช้ในการระบาย คือ อากาศแวดล้อม ทั้งนี้เนื่องจากมีอุณหภูมิไม่ค่อยสูงมากนัก คือประมาณ 25°C – 30 °C แต่เนื่องจากช่วงอุณหภูมินี้เหมาะต่อการเจริญและและการทำลายจากพวกแมลง การใช้อากาศเย็นเป่าให้อุณหภูมิเฉลี่ยของข้าวเปลือกมีอุณหภูมิน้อยกว่า 25°C เป็นวิธีการหนึ่งซึ่งนอกจากจะลดอุณหภูมิภายในกองข้าวเปลือกแล้ว ยังสามารถลดการสูญเสียมวลแห้งเมล็ดข้าว ลดการแตกหักของเมล็ดข้าว และการทำลายจากพวกแมลงได้ด้วย

Maier *et al* (1993) ได้ศึกษาการระบายอากาศในกองข้าวเปลือกที่บรรจุในไซโลขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 เมตร สูง 10 เมตร โดยใช้อากาศเย็นและอากาศแวดล้อม ความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือก 13% มาตรฐานเปียก อัตราการไหลอากาศ 0.05 – 0.5 $ม^3$/นาที/ตันของข้าวเปลือก โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Michl ในการทำนายการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความชื้นข้าวเปลือก พบว่าการระบายอากาศอย่างต่อเนื่องโดยใช้อากาศเย็นสามารถทำให้อุณหภูมิกองข้าวเปลือกลดลงเหลือ 15 °C ใช้เวลา 110 – 144 ชั่วโมง โดยความชื้นข้าวเปลือกลดลงเล็กน้อย และสามารถลดความเสียหายจากแมลงได้ สำหรับการระบายอากาศอย่างต่อเนื่องโดยใช้อากาศแวดล้อมไม่สามารถทำให้อุณหภูมิข้าวเปลือกลดลงถึง 25 °C (ทั้งในฤดูร้อนและฤดูฝน) และได้ศึกษาการระบายอากาศโดยเป่าด้วยอากาศแวดล้อมเป็นช่วงๆ โดยวิธีควบคุมการทำงานของพัดลม (ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเกิน 75% พัดลมจะหยุดทำงานและความชื้นสัมพันธ์ของอากาศต่ำกว่า 75% พัดลมจะทำงานตามปกติ) พบว่าวิธีระบายอากาศโดยการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิของกองข้าวเปลือกสูงกว่า 26 °C ความชื้นลดลง 0.8% จากความชื้นเริ่มต้นและใช้พลังงานน้อยกว่าวิธีการระบายอากาศอย่างต่อเนื่องถึง 38% - 64%

กรมวิชาการเกษตร (2543) ศึกษาถึงการระบายอากาศเพื่อลดอัตราการหายใจและป้องกันการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำที่ผนังและใต้หลังคา โดยการระบายอากาศในไซโลโลหะด้วยอัตรา 0.45 $ม^3$/min-ton ที่ความชื้นสัมพันธ์ของอากาศแวดล้อมต่ำกว่า 85% โดยเริ่มระบายอากาศเมื่ออุณหภูมิในกองข้าวเปลือกสูงถึง 35°C และหยุดเมื่ออุณหภูมิในกองข้าวเปลือกลดลงเหลือ 33°C ทำให้สามารถเก็บข้าวเปลือกได้นาน 4 เดือนโดยไม่เกิดเมล็ดข้าวสีเหลืองและเมื่อเก็บไว้นาน 12 เดือนเกิดเมล็ดข้าวเหลือง 0.37% และไม่เกิดการควบแน่นเป็นหยดน้ำ ดังนั้นในการเก็บรักษาข้าวเปลือก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

จึงควรมีการระบายความร้อนออกจากกองข้าวเปลือกเป็นระยะๆ (สมเกียรติ และคณะ, 2537) สำหรับปัญหาที่มักเกิดขึ้นกับการเก็บรักษาข้าวเปลือกในไซโลเหล็กที่ไม่มีการระบายอากาศ เกิดจากการหายใจของเมล็ด ทำให้เกิดการสะสมความร้อนและความชื้นของบรรยากาศในไซโลซึ่งกลั่นตัวเป็นหยดน้ำที่ผนังด้านในของไซโลเมื่ออุณหภูมิของอากาศภายนอกต่ำกว่าอุณหภูมิของอากาศในไซโลทำให้เมล็ดพืชที่ผนังไซโลเกิดเน่าเสีย(นิทัศน์ และไมตรี, 2541)

จากการศึกษาของ ไมตรี และคณะ อ้างโดย นิภาพร (2546) พบว่าลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและกายภาพของข้าวเปลือกระหว่างเก็บรักษาในไซโลเหล็กเป็นระยะเวลา 7 เดือน โดยบันทึกการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความชื้นระหว่างเก็บรักษา สาเหตุการเสื่อมคุณภาพของเมล็ดระหว่างการเก็บรักษาในไซโลเกิดจากการหายใจของเมล็ดและแมลง ซึ่งในกระบวนการหายใจจะเกิดการคายความร้อนและความชื้นจากเมล็ดและแมลงสู่บรรยากาศภายในกองเมล็ด ทำให้อุณหภูมิบริเวณกึ่งกลางของไซโลสูงกว่าอุณหภูมิที่ผนัง 5 – 10 ˚C อากาศร้อนชื้นจะลอยตัวขึ้น จึงทำให้เกิดการหมุนเวียนของบรรยากาศภายในไซโล และอาจเกิดการควบแน่นเป็นหยดน้ำที่ผนังซึ่งเย็นกว่า โดยความชื้นข้าวเปลือกบริเวณริมผนังไซโลเริ่มสูงขึ้นหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน แม้ว่าตัวอย่างข้าวเปลือกยังคงอยู่ในสภาพดีหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 7 เดือน จึงไม่ควรเก็บข้าวเปลือกนานกว่า 4 เดือน และจากการศึกษาของ สมชาติ และคณะ (2540) ได้ทำการเป่าลมในฉางเก็บของสหกรณ์การเกษตร จังหวัดฉะเชิงเทรา โดยมีการเป่าอากาศแวดล้อมผ่านกองข้าวเปลือกทุกๆ 1 เดือน เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ใช้อัตราไหลอากาศ 1.6 $m^3/min\text{-}m^3$ พบว่าการระบายอากาศช่วยให้อุณหภูมิภายในกองข้าวเปลือกสม่ำเสมอทั่วกอง ซึ่งก็เป็นอีกแนวทางหนึ่งที่จะช่วยควบคุมอุณหภูมิภายในกองได้ในกรณีที่อุณหภูมิภายในกองสูง สำหรับการเก็บรักษาข้าวเปลือกในกรณีที่ไม่มีการระบายอากาศ Nour *et al* (1988) พบว่าจะเกิดการควบแน่นของน้ำภายในกองข้าวเปลือก และเกิดเชื้อรา นอกจากนี้มักจะพบการเข้าทำลายของพวกแมลงร่วมด้วย

กระบวนการถ่ายเทความร้อน

กระบวนการถ่ายเทความร้อนและมวลสารภายในถังเก็บเก็บมีผลโดยตรงต่อคุณภาพของเมล็ดที่เก็บรักษา ซึ่งจากรายงานของ Abe and Basunia (1996) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและการกระจายความชื้นในสภาวะอากาศที่แปรผันตามฤดูกาล ในถังเก็บข้าวเปลือกทรงกระบอกโดยสร้างแบบจำลองการกระจายอุณหภูมิและความชื้นภายในถัง ซึ่งสามารถทำนายโดยใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข (Numerical method) เปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้ พบค่าอุณหภูมิมีความแตกต่าง 1.5 – 1.8 ˚C ผลจากการวิจัยชี้ให้เห็นว่าเมื่อเมล็ดมีความชื้นพอเหมาะ และไม่มีการถ่ายเทความชื้นผ่านผนังของถังเก็บ จะสามารถเก็บรักษาผลผลิตได้โดยไม่มีแมลงรบกวนตลอดช่วงฤดูหนาว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(อุณหภูมิต่ำกว่า 20°C) นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาระบบจำลองการกระจายอุณหภูมิในสภาวะไม่คงตัวในถังเก็บข้าวสาลีโดยใช้วิธี finite element ซึ่งมีประโยชน์ในการพัฒนาและออกแบบกระบวนการระบายอากาศภายใน ทำให้ลดปริมาณการใช้สารเคมีระหว่างการเก็บรักษาลงได้ (Jia *et al*., 2001)

Kusinka (1999) รายงานว่าอุณหภูมิภายนอกไซโลมีผลต่อการเก็บรักษาเมล็ดพืชโดยทำการทดลองกับ ข้าวโอ๊ต และข้าวบาร์เลย์ที่อุณหภูมิภายนอกไซโล 17 และ 25 องศาเซลเซียส ในสภาพอุณหภูมิสูงทำให้เกิดความร้อนภายในที่สูงกว่าในสภาพอุณหภูมิต่ำ สำหรับการเก็บรักษาข้าวเปลือกในถังขนาดใหญ่มีรายงานว่า ทั้งถังรูปกลมหรือสี่เหลี่ยมส่งผลทำให้ความชื้นเมล็ดเปลี่ยนแปลงไปและมีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา ซึ่งความชื้นบริเวณตรงกลาง ด้านบนและในระดับที่ลึกลงไปมีความชื้นสูงกว่าบริเวณอื่นๆ (Howell *et al.,* 2000)

หลักการถ่ายเทความร้อน

ลักษณะการถ่ายเทความร้อนแบ่งออกได้เป็น 3 แบบ ดังต่อไปนี้ (เมธินี, 2535)

1. การนำความร้อน (conduction)

เกิดขึ้นโดยอนุภาคของสสารเป็นตัวถ่ายเทความร้อนให้กับอนุภาคที่อยู่ใกล้เคียงกันหรือให้กับอนุภาคที่วิ่งเข้ามาชนโดยบังเอิญ โดยทั่วไปเราไม่สามารถมองเห็นการเคลื่อนไหวของอนุภาคเหล่านี้ด้วยตาเปล่า แต่เราก็สามารถพิสูจน์ได้ว่ามีการถ่ายเทความร้อนด้วยกลไกแบบนี้ การถ่ายเทความร้อนลักษณะนี้เกิดขึ้นได้ดีในสสารที่เป็นของแข็ง ทั้งนี้เพราะอนุภาคของของแข็งอยู่ใกล้ชิดกันมากกว่าของเหลวหรือแก๊ส

การคำนวณหาปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทแบบนี้ใช้สมการของฟูเรียร์ (Fourier) ดังนี้

$$q = -KA\frac{dT}{dx} \tag{2.1}$$

เมื่อ q คือ ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทได้หนึ่งหน่วยเวลา (J/s)

k คือ ค่าการนำความร้อน (W/m°C)

A คือ พื้นที่ที่ตั้งฉากกับทิศทางการถ่ายเทความร้อน (m^2)

$\frac{dT}{dx}$ คือ ความแตกต่างของอุณหภูมิในทิศทาง x

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2. การพาความร้อน (convection)

เกิดขึ้นโดยสสารเคลื่อนที่และพาความร้อนติดไปด้วย เราสามารถมองเห็นการเคลื่อนไหวของสสารได้ค่อนข้างชัดเจนในหลายๆ กรณี การเคลื่อนไหวนี้อาจเกิดขึ้นได้เองเนื่องจากอุณหภูมิที่ต่างกัน ทำให้สสารมีความหนาแน่นต่างกัน จึงถูกเหนี่ยวนำโดยแรงลอยตัว (buoyancy force) การพาความร้อนด้วยกลไกดังกล่าวนี้เรียกว่าการพาความร้อนแบบธรรมชาติ (nature convection) ถ้าการเคลื่อนไหวของสสารเกิดจากแรงกระทำภายนอก เช่นจากการใช้พัดลมหรือการใช้ปั๊ม จะเรียกการพาความร้อนแบบนี้ว่า การพาความร้อนแบบถูกบังคับ (forced convection) โดยทั่วไปการพาความร้อนนี้พบมากในของไหล

การคำนวณหาปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทแบบพาความร้อน ใช้กฎการเย็นตัวของนิวตัน (Newton's law of cooling) นั่นคือ

$$q = hA(T - T_a) \tag{2.2}$$

เมื่อ q คือ ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทได้หนึ่งหน่วยเวลา (J/s)

h คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน ($W/m^2.^\circ C$)

A คือ พื้นที่ที่ตั้งฉากกับทิศทางการถ่ายเทความร้อน(m^2)

T คือ อุณหภูมิของพื้นที่ผิวที่มีของไหลเคลื่อนที่ผ่าน ($^\circ C$)

T_a คือ อุณหภูมิของของไหล ($^\circ C$)

3. การแผ่รังสี (radiation)

เป็นการถ่ายเทความร้อนโดยอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในลักษณะเดียวกันกับการถ่ายเทพลังงานแสงด้วยคลื่นแสง การถ่ายเทแบบนี้ต่างจากแบบอื่นๆ ในแง่ที่ไม่จำเป็นต้องมีตัวกลางความร้อนและสามารถถ่ายเทผ่านสุญญากาศได้ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า วัตถุใดก็ตามที่มีความร้อนจะสามารถส่งพลังงานในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาได้ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าวัตถุนั้นสามารถแผ่รังสีได้ พลังงานหรือรังสีที่ส่งออกมานี้จะแผ่ออกไปทุกทิศทาง และเมื่อใดก็ตามที่พลังงานนี้ไปกระทบกับวัตถุอื่น บางส่วนของพลังงานจะถูกวัตถุนั้นดูดไว้ บางส่วนจะสะท้อนกลับคืน และส่วนที่เหลือจะทะลุผ่านเลยไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การถ่ายเทความร้อนในสภาวะไม่คงตัว

การถ่ายเทความร้อนในสภาวะคงตัว (steady state) เกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิที่ตำแหน่งใดๆ ภายในวัตถุไม่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาแต่เมื่อใดก็ตามที่อัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างวัตถุกับสิ่งแวดล้อมแปรผันตามเวลา การถ่ายเทความร้อนจะอยู่ในสภาวะไม่คงตัว (unsteady state หรือ transient) ซึ่งอุณหภูมิและปริมาณความร้อนของวัตถุจะแปรผันตามเวลาและระยะทาง ปัญหาการถ่ายเทความร้อนซึ่งแปรผันกับเวลาถือว่าพบได้ในง่ายทางวิศวกรรมทั้งในด้านการลดอุณหภูมิและการเพิ่มอุณหภูมิ

การคำนวณการถ่ายเทความร้อนในสภาวะไม่คงตัวค่อนข้างซับซ้อนจึงนิยมแสดงในเทอมที่ไม่มีมิติ (dimensionless number) โดยกำหนดสภาวะเริ่มต้น (initial condition) และสภาวะที่ขอบเขต (boundary condition) ให้ชัดเจน โดยทั่วไปสภาวะไม่คงตัวดังกล่าวเกิดขึ้นเมื่อสภาวะที่ผิวของวัตถุเปลี่ยนไป ตัวอย่างเช่นเมื่ออุณหภูมิที่ผิวหน้าวัตถุเปลี่ยนแปลง อุณหภูมิที่ตำแหน่งใดๆ จะเริ่มเปลี่ยนตาม การเปลี่ยนแปลงจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งถึงจุดหนึ่งซึ่งการกระจายอุณหภูมิอยู่ในสภาวะคงตัว

โดยทั่วไปการถ่ายเทความร้อนจะมีความสัมพันธ์ในรูปแบบของสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยดังนี้

สำหรับวัตถุแผ่นบาง (slab)

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{k}{\rho C_p}\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}\right) \tag{2.3}$$

สำหรับทรงกระบอก (cylinder)

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{k}{\rho C_p}\left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial T}{\partial r}\right) \tag{2.4}$$

สำหรับทรงกลม (sphere)

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{k}{\rho C_p}\left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{2}{r}\frac{\partial T}{\partial r}\right) \tag{2.5}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อ T คือ อุณหภูมิของผลผลิต (°C)

t คือ เวลา (s)

x,y,z คือ ระยะทางตามทิศทางการถ่ายเทความร้อนในแนวตั้งฉาก (m)

r คือ คือระยะทางในแนวรัศมี (m)

k คือ ค่าการนำความร้อนของผลผลิต (W/m°C)

ρ คือ ความหนาแน่นของผลผลิต (kg/m^3)

C_p คือ ค่าความร้อนจำเพาะของผลผลิต (kJ/kg.°C)

การหาผลเฉลยของสมการเชิงอนุพันธ์ย่อย

การหาผลเฉลยของสมการเชิงอนุพันธ์ย่อย (Partial Differential Equation) สามารถทำได้โดย

1. การใช้ระเบียบวิธีทางคณิตศาสตร์ชั้นสูง (Advanced Mathematics) เพื่อหาผลเฉลยแม่นตรง (Exact Solution)
2. การใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขเพื่อหาผลเฉลยโดยประมาณ (Approximate Solution)

ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขที่นิยมใช้อาจแบ่งได้ 2 ระเบียบวิธี คือ ระเบียบวิธีผลต่างสืบเนื่อง (finite difference) และระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (finite element)

ระเบียบวิธี finite difference เป็นระเบียบวิธีเชิงตัวเลขเพื่อใช้คำนวณหาผลเฉลยโดยประมาณของปัญหาที่กำหนดมาให้ หลักการของระเบียบวิธีนี้คือการแทนค่าของตัวอนุพันธ์ต่างๆ ที่ปรากฏในสมการเชิงอนุพันธ์ด้วย สมการทางพีชคณิตโดยประมาณ (algebraic approximation) ซึ่งอยู่ในรูปของตัวแปรตาม ตามจุดต่อต่าง (grid points) ในขอบเขตรูปร่างของปัญหานั้น

ระเบียบวิธีfinite element เป็นระเบียบวิธีเชิงตัวเลขเพื่อใช้คำนวณหาผลเฉลยโดยประมาณของปัญหาที่กำหนดมาให้เช่นกัน โดยแบ่งรูปร่างขอบเขตปัญหาออกเป็นชิ้นส่วนย่อยๆ ที่เรียกว่าเอลิเมนต์ (element) แล้วสร้างสมการของแต่ละเอลิเมนต์ให้สอดคล้องกับสมการเชิงอนุพันธ์ของปัญหานั้น เอลิเมนต์ต่างๆ เหล่านี้เชื่อมต่อกันที่จุดต่อ (node) ซึ่งเป็นตำแหน่งที่จะคำนวณหาค่าของตัวแปรตามที่ต้องการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved