บทที่ 2
ตรวจเอกสาร

2.1 ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (*Zea Mays.*)

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เป็นพืชอาหารที่มีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมการเลี้ยงสัตว์เป็นอย่างมาก ซึ่งการส่งออกในรูปเนื้อสัตว์จะมีมูลค่าเพิ่มมากกว่าการส่งออกในรูปข้าวโพดเมล็ดและความต้องการใช้ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในประเทศมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นมากหลังจากที่มีการขยายการเลี้ยงสัตว์ตั้งแต่ปี 2535 เป็นผลให้การส่งออกลดลงตามลำดับ ปัจจุบันการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้ภายในและมีปริมาณไม่แน่นอนเนื่องจากการผลิตขึ้นกับดินฟ้าอากาศ ทำให้มีความเสี่ยงต่อความเสียหายจากความแห้งแล้งมาก และพื้นที่ปลูกต้องแข่งขันกับพืชเศรษฐกิจอื่นที่ให้ผลตอบแทนที่ดีกว่าในระยะ 4 - 5 ปี ที่ผ่านมาประเทศไทยจำเป็นต้องนำเข้าเพื่อให้เพียงพอกับความต้องการการใช้ภายในทั้ง ๆ ที่ในอดีตไทยเคยเป็นประเทศผู้ส่งออกรายใหญ่รายหนึ่งของโลก และไทยมีศักยภาพด้านการผลิตการตลาดที่สามารถแข่งขันกับต่างประเทศได้ ดังนั้นจึงควรเร่งการผลิตภายในประเทศให้เพิ่มขึ้นทันกับความต้องการใช้และมีเหลือส่งออก

การแปรรูปและการใช้ประโยชน์

ข้าวโพด เป็นธัญพืชที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ หลายประเภท ไม่ว่าจะเป็นอาหารมนุษย์ หรืออาหารสัตว์ ได้แก่ สัตว์ปีก และปศุสัตว์ เนื่องจากเมล็ดข้าวโพดมีองค์ประกอบที่สำคัญหลายชนิดได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน และวิตามิน นอกจากนี้ยังใช้ในอุตสาหกรรมอื่นด้วย ส่วนสำคัญของเมล็ดข้าวโพด คือ ต้นอ่อน (germ) แป้ง และเปลือก (hull) ซึ่งในส่วนของต้นอ่อนนำมาสกัดน้ำมัน แป้งนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์แป้ง เอทานอล น้ำตาลฟรุกโตส หรือใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอได้ด้วย แม้แต่ในส่วนของลำต้นก็สามารถนำมาทำเป็นอาหารหยาบสำหรับสัตว์ได้ นับว่าข้าวโพดเป็นพืชที่นำมาใช้ประโยชน์ได้หลายประการ ได้แก่

1. เป็นอาหารมนุษย์

ข้าวโพดสามารถใช้เป็นอาหารมนุษย์ เนื่องจากเมล็ดประกอบด้วยแป้ง โปรตีน น้ำมัน เยื่อใย และน้ำตาล สามารถนำเอาเมล็ดข้าวโพดมาบดละเอียดทำเป็นอาหารได้โดยตรง เช่น ทำเป็นขนมปัง หรือ ทรอริลล่า นอกจากนี้แป้งข้าวโพดยังเป็นส่วนประกอบในอาหารสำเร็จรูปหลายประเภท เช่น เนยถั่ว ไส้กรอก และอาหารเด็กอ่อน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2. เป็นอาหารสัตว์

เมล็ด สามารถนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ได้อย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาหารสัตว์ ปีก เพราะมีสารคาโรทีนนอยด์มากกว่าอาหารสัตว์ ชนิดอื่นที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ดีขึ้น เช่น ช่วยให้ไข่แดงมีสีเข้ม เป็นที่ต้องการของตลาดในการนำไปทำขนม ทำให้ผิวหนังของไก่ มีสีเหลืองน่ารับประทาน จึงใช้เป็นวัตถุดิบในอาหารสัตว์ โดยมีสัดส่วนตั้งแต่ 20-60% ของสูตรอาหารแตกต่างกันไปตามประเภทของสัตว์เลี้ยง

2.2 เชื้อราในโรงเก็บ (Storage fungi)

เมล็ดพันธุ์เมื่อเก็บเกี่ยวจากแปลงแล้ว เมื่อนำมาเก็บไว้เพื่อรอราคาหรือแจกจ่ายแก่เกษตรกรก็ตาม มักจะพบว่ามีปัญหาเกี่ยวกับเชื้อราในโรงเก็บ ซึ่งจะทำให้เมล็ดพันธุ์มีคุณภาพต่ำและความงอกลดลง (สมบัติ, 2536) ความสูญเสียที่เกิดกับเมล็ดพันธุ์หลังเก็บเกี่ยวนับว่าสูงมาก ทั้งนี้เพราะว่าส่วนใหญ่แล้ว คนมักจะมองข้ามความสำคัญของเชื้อราในโรงเก็บแต่ไปเน้นที่แมลงมากกว่า ทั้งนี้เพราะว่าแมลงสามารถมองเห็นได้ชัดเจนด้วยตาเปล่า แต่เชื้อรานั้นเนื่องจากมีขนาดเล็กจึงมองไม่ค่อยเห็น ยกเว้นแต่ว่าเมื่อเข้าทำลายเมล็ดมากๆ จะพบเส้นใยขึ้นปกคลุมเมล็ดอยู่จะมีสีขาวจนถึงสีน้ำตาลดำแล้วแต่ชนิดของเชื้อราที่เข้าทำลาย ในประเทศออสเตรเลีย พบว่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นเนื่องจากเชื้อราหลังการเก็บเกี่ยวมีมูลค่าถึงปีละประมาณ 200 กว่าล้านบาททุกปี และจากการรายงานองค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ พบว่าความสูญเสียหลังเก็บเกี่ยวนั้นมีมากถึง 20% ของผลผลิตที่ได้ในแต่ละปี

เชื้อราในโรงเก็บนั้นสามารถพบได้โดยทั่วไปในอากาศ ไม่ว่าจะเป็นในรูปของเส้นใยหรือสปอร์ โดยเฉพาะในโรงเก็บรักษาเมล็ดจะเป็นแหล่งที่พบเชื้อราในโรงเก็บมากที่สุด ดังนั้นเมล็ดพืชทุกชนิดจึงมีโอกาสติดเชื้อโรคได้ง่าย ไม่ว่าเมล็ดนั้นจะอยู่ในช่วงขณะเก็บเกี่ยว ขณะอยู่ในลานตากเมล็ด ขณะทำการสี นวด คัดแยก บรรจุ ขนส่ง หรือเก็บไว้ในยุ้งฉางก็ตาม เชื้อราเหล่านี้อาจติดอยู่ตามฝัก ในเมล็ดหรือแทรกอยู่ตามรอยแตกของเปลือกเมล็ด ซึ่งอาจฟักตัวอยู่ในรูปของเส้นใยหรือสปอร์ หรือในรูปของโครงสร้างอื่นๆก็ได้ เมื่อสภาพแวดล้อมต่างๆเหมาะสม เชื้อราเหล่านี้ก็เจริญงอกเข้าทำงายเมล็ดให้เสียหายต่อไป

เชื้อราในโรงเก็บที่รู้จักและพบกันมากมีอยู่ 2 ชนิด คือ เชื้อราพวก *Aspergillus* และ *Penicillium* นอกจากนี้ยังมีพวก *Rhizopus* และ Yeast เป็นต้น การแพร่กระจายของเชื้อราในโรงเก็บนี้อาจจะอยู่ในรูปของเส้นใยหรือสปอร์ ซึ่งจะสามารถเข้าทำงายได้อย่างรวดเร็ว ถ้าสภาพแวดล้อมเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อรา ในเมล็ดพันธุ์คุณภาพต่ำมักจะพบว่ามีทั้งเชื้อรา *Aspergillus* และ *Penicillium* เข้าทำลายอยู่ เชื้อราเหล่านี้สามารถอาศัยอยู่ได้ในเมล็ดเป็นระยะเวลานานๆ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

นอกจากนี้ในไซโลใหญ่ๆแล้วแหล่งสะสมของเชื้อราในโรงเก็บที่สำคัญคือ สายพานที่ใช้ปล่อยเมล็ดไปในตัวไซโล

เชื้อราในโรงเก็บที่ตรวจพบเข้าทำลายเมล็ดพืช จนทำให้เกิดผลเสียหายทางเศรษฐกิจนั้นมีอยู่หลายชนิดด้วยกัน แต่เชื้อราที่สำคัญๆซึ่งพบเห็นอยู่เสมอและก่อให้เกิดผลเสียหายในหลายๆด้านนั้น ได้แก่ *Aspergillus restrictus, A. amstelodami, A. cheralieri, A. rubber, A. candicus, A. ochraceus, A. flavus* และ *Penicillium spp.* นอกจากนั้นยังพบเชื้อราอีกหลายชนิด เช่น *A. niger, Wallemia sebi* และ *Chrysosorium fastidium* เป็นต้น ซึ่งเป็นเชื้อราที่มักพบปะปนมาเสมอแต่ไม่มีความสำคัญหรือก่อให้เกิดความเสียหายต่อเมล็ดพืชในโรงเก็บแต่อย่างไร

A. restrictus เป็นเชื้อราที่เจริญเติบโตได้เมื่อความชื้นของเมล็ดพืชต่ำสุดในข้าวโพดและข้าวสาลี 13.5-14.5% ข้าวฟ่าง 12-12.5% เชื้อรานี้จะเข้าทำลายคัพภะหรือทำให้สีของคัพภะเปลี่ยนไป โดยทำให้เกิด “sick” หรือ “germ damage” ในข้าวสาลี ทำให้เกิด blue eye ในข้าวโพดที่มีความชื้นเมล็ด 14-14.5% เมื่อเก็บเมล็ดไว้นานหลายเดือนแต่ไม่ทำให้เกิดความร้อนในกองเมล็ด เนื่องจากเป็นเชื้อราที่เจริญเติบโตได้ช้ามาก แต่เป็นเชื้อราที่ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นอับได้ด้วย นอกจากนั้นยังมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับแมลงพวก granary weevil (*Sitophilus granarius*) และ rice weevil (*S. oryzae*) โดยถ้าพบแมลงเหล่านี้ทำลายเมล็ดพืชแล้วมักจะพบ *A. restrictus* เจริญบนเมล็ดนั้นเสมอ และเชื้อรานี้สามารถเจริญต่อไปได้อีก แม้ว่าแมลงจะถูกทำลายให้ตายไปแล้วก็ตาม (สมบัติ, 2536)

A. amstelodami, A. cheralieri และ *A. rubber* เชื้อรา *Aspergillus* ทั้ง 3 ชนิดนี้จัดอยู่ในกลุ่มของ *A. glaucus* ซึ่งเจริญได้เมื่อความชื้นของเมล็ดพืชต่ำสุดในข้าวโพดและข้าวสาลี 14-14.5% ข้าวฟ่าง 14.5-15% ถั่วเหลือง 12.5-13% เชื้อราเหล่านี้มักพบเสมอในเมล็ดพืชที่เก็บไว้ในระดับความชื้นของเมล็ดค่อนข้างต่ำ โดยทำให้คัพภะตายหรือเปลี่ยนสี เกิดลักษณะ blue eye ในข้าวโพดที่มีความชื้นในเมล็ด 14.5-45% และเป็นสาเหตุใหญ่ที่ทำให้เมล็ดเกิดกลิ่นเหม็นอับและจับกันเป็นก้อน การตรวจพบเชื้อราในกลุ่มนี้เพิ่มขึ้นจากเมล็ดที่สุ่มออกมาตรวจสอบ จะเป็นเครื่องชี้แสดงอย่างว่าเมล็ดพืชที่เก็บไว้เสียหายมากน้อยแค่ไหน เช่น ถ้าตรวจพบเชื้อราเพียง 10-20% อาจไม่มีปัญหามากนักในการเก็บรักษาเมล็ด แต่ถ้าพบเชื้อราในปริมาณสูงกว่า 40% แสดงว่าเมล็ดพืชเหล่านั้นเสื่อมคุณภาพหรือเสียหายมากจะต้องรีบทำการแก้ไขอย่างเร่งด่วน

A. candidus เจริญได้เมื่อความชื้นของเมล็ดพืชต่ำสุดในข้าวโพดและข้าวสาลี 15-15.5% ข้าวฟ่าง 14.5-15% ถั่วเหลือง 14.5-15% *A .candidus* ทำลายคัพภะทำให้สีของคัพภะเปลี่ยนไปอย่างรวดเร็ว ทำให้เปลือกนอกของเมล็ดเปลี่ยนไปได้ด้วย และบางครั้งทำให้เมล็ดเกิดการเน่าเปื่อยขึ้น รวมทั้งทำให้เกิดความร้อนสะสมขึ้นในกองเมล็ดที่เก็บสะสมไว้ ซึ่งอาจวัดได้สูงถึง 55 °C ในกอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมล็ดที่ตรวจพบว่ามีเชื้อรานี้เจริญอยู่มาก แสดงให้เห็นว่าสภาพการเก็บรักษาเมล็ดในโรงเก็บนั้นอยู่ในสภาพเลว จะต้องมีการแก้ไขปรับปรุงโดยรวดเร็ว มิฉะนั้นเมล็ดที่เก็บไว้อาจเกิดการเน่าเปื่อยเสียหายหมดก็ได้

A. ochraceaus ซึ่งเจริญได้เมื่อความชื้นของเมล็ดพืชต่ำสุดในข้าวโพดและข้าวสาลี 15-15.5% ข้าวฟ่าง 16-16.5% ถั่วเหลือง 14.5-15% ทำลายคัพภะทำให้สีของคัพภะเปลี่ยนไป เชื้อรานี้เคยมีรายงานในประเทศเม็กซิโกว่าเข้าทำลายข้าวโพดในโรงเก็บเสียหายมาก และพบเชื้อราเข้าทำลายสูงถึง 20-40% แต่ตามปกติแล้วการพบเชื้อรา *A .ochraceaus* แม้เพียง 25% ก็ถือได้ว่าเมล็ดที่เก็บไว้เริ่มเกิดการเสื่อมคุณภาพแล้ว โดยทำให้เมล็ดเสียหายในด้านต่างๆรวมทั้งเมล็ดเกิดกลิ่นเหม็นอับด้วย

A. flavus เชื้อรานี้จัดอยู่ในกลุ่มของ *A. candidus* ซึ่งเจริญได้เมื่อความชื้นของเมล็ดพืชต่ำสุดในข้าวโพดและข้าวสาลี 18-18.5% ข้าวฟ่าง 16-16.5% ถั่วเหลือง 17-17.5% ทำลายคัพภะทำให้สีของคัพภะเปลี่ยนไป ทำให้เปลือกนอกของเมล็ดเปลี่ยนสีและเมล็ดเน่า ถ้าเจริญมากจะทำให้กองเมล็ดนั้นเกิดการสะสมความร้อนอย่างรวดเร็วและอุณหภูมิอาจสูงถึง 55 °C เช่นเดียวกับ *A. candidus* และ *A. flavus* บาง isolate มีการสร้างสารพิษ aflatoxin ในเมล็ดพวกข้าวสาลี ข้าวโพด ข้าวฟ่าง ฝ้าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเมล็ดถั่วลิสงและผลิตภัณฑ์จากถั่วลิสงเกือบทุกชนิด

Penicillium spp. เชื้อรา *Penicillium* หลาย species สามารถเข้าทำลายเมล็ดพืชในโรงเก็บได้เมื่อความชื้นของเมล็ดต่ำสุดในข้าวโพดและข้าวสาลี 16.5-19% ข้าวฟ่าง 17-19.5% ถั่ว 16-18.5% ทำลายและทำให้สีของคัพภะเปลี่ยนไปเช่นเดียวกับ *Aspergillus* ทำให้เกิดลักษณะ blue eye ในข้าวโพดที่มีความชื้นในเมล็ดสูงกว่า 18.5% บาง species เมื่อเข้าทำลายเมล็ดจะทำให้เกิดการเน่าเปื่อยเสียหายอย่างรวดเร็วที่ความชื้นของเมล็ดสูง เมื่อเก็บเมล็ดนั้นไว้ในสภาพที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่า 90% และอุณหภูมิต่ำ (-2 – 5 °C) (สมบัติ, 2536)

2.3 ผลของเชื้อราในโรงเก็บที่มีผลต่อเมล็ดพืชและเมล็ดพันธุ์ (Effect of storage fungi on grains and seeds)

เมล็ดพืชที่เก็บรักษาไว้ในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต และแพร่ขยายพันธุ์ของจุลินทรีย์ จะทำให้เกิดความเสียหายต่อเมล็ดพืชทั้งด้านปริมารและคุณภาพ ความเสียหายที่สำคัญที่เกิดขึ้นได้แก่ การทำลายความงอกของเมล็ด ทำให้สีของเมล็ดเปลี่ยนไปโดยเฉพาะในบริเวณคัพภะของเมล็ด การเกิดความร้อนขึ้นในกองสะสมเมล็ด การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีภายในเมล็ด การเกิดสารพิษจากเชื้อราขึ้น ความชื้นของเมล็ดเพิ่มขึ้น รวมทั้งเมล็ดพืชมีกลิ่นเหม็นอับ เกิดการจับกันเป็นก้อน และเกิดการเน่าเสียในที่สุด (วัลลภ, 2538)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3.1 ความงอกของเมล็ดลดลง (Decrease in germination)

เมล็ดพืชที่เก็บรักษาไว้เป็นเวลานานและเก็บในสภาพที่ไม่เหมาะสมจะเกิดความเสื่อมอย่างรวดเร็ว จนทำให้ความงอกของเมล็ดลดลงได้ การที่ความงอกของเมล็ดลดลงนั้น อาจเกิดจากสาเหตุหลายประการ เชื้อราในโรงเก็บที่เข้าทำลายเมล็ดก็เป็นสาเหตุหนึ่งที่มีส่วนทำให้เมล็ดพืชเสียหายไม่สามารถงอกเป็นต้นอ่อนได้ ทั้งนี้เนื่องจากเชื้อราจะเจริญเข้าไปในเมล็ดและทำลายส่วนที่เจริญ ต้นอ่อน หรือคัพภะ อาจทำเป็นสีน้ำตาลหรือสีดำแล้วแต่ชนิดของเมล็ดพืช เช่น ในเมล็ดข้าวสาลี หรือข้าวโพด เป็นต้น ความงอกของเมล็ดที่เก็บรักษาไว้จะลดลงอย่างรวดเร็วและมากน้อยแค่ไหนนอกจากจะขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อราแล้ว ยังขึ้นกับความชื้นของเมล็ดและอุณหภูมิในขณะเก็บรักษาเมล็ดนั้นๆด้วย โดยทั่วไปแล้วเมล็ดที่เก็บไว้ที่ความชื้นสูง และอุณหภูมิสูงจะสูญเสียความงอกรวดเร็วกว่าเมล็ดซึ่งเก็บที่ความชื้นและอุณหภูมิต่ำ

เชื้อราในโรงเก็บที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับความงอกของเมล็ดนั้นได้แก่ *Aspergillus* กลุ่มต่างๆ เช่น *A. candidus, A. flavus, A. glaucus, A. ocharaceau* และเชื้อราเหล่านี้สามารถทำลายความงอกของเมล็ดได้มากและรุนแรงที่สุด

2.3.2 สีของเมล็ดเปลี่ยนไป (Seed / germ discoloration)

เชื้อราในโรงเก็บหลายชนิดสามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนสีของเมล็ดขึ้นได้เมื่อมันเข้าทำลายเมล็ด สีของเมล็ดที่เปลี่ยวไปนี้อาจพบทั้งเมล็ดหรือเป็นบางส่วนเท่านั้น ในกรณีที่พบทั้งเมล็ดนั้นอาจเห็นไม่ชัดเจนนัก เพียงแต่สีของเมล็ดจะจางลงไม่สดใสเหมือนเมล็ดทั่วๆไป ส่วนความเสียหายที่เกิดเฉพาะแห่งนั้น จะพบที่บริเวณส่วนจะเจริญเป็นต้นอ่อนหรือคัพภะของเมล็ด ซึ่งอาจจะเห็นบริเวณนี้เป็นสีน้ำตาล-ดำหรือสีอื่นๆ เช่น ลักษณะที่เรียกว่า Sick wheat หรือ germ damage wheat ในข้าวสาลี ปรือ blue eye ในข้าวโพดเป็นต้น และผลที่เกิดขึ้นตามมาคือ ความงอกของเมล็ดจะลดลงด้วย

เชื้อราในโรงเก็บกลุ่มที่พบเข้าทำลายเมล็ดพืชแล้วทำให้เกิดอาการ Germ discoloration ขึ้นเสมอได้แก่ *A. restrictus, A. glaucus, A. ochraceus, A. flavus* และ *Penicillium spp.* ส่วนเชื้อราที่ทำลายเมล็ดข้าวโพดแล้วทำให้เกิดอาการ blue eye ในเมล็ดข้าวโพด ได้แก่ *A. glaucus*, *A. restrictus* และ *Penicillium spp.*

โดยปกติเชื้อราที่ติดมาจากในไร่ (Field fungi) ก็สามารถทำให้สีของเมล็ดเปลี่ยนไปได้เช่นกัน แต่อาการดังกล่าวจะเกิดขึ้นกับเมล็ดก่อนการเก็บเกี่ยวเท่านั้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพวกเมล็ดธัญพืชขนาดเล็ก มักเกิด discoloration อยู่ตาม glume หรือ pericarp มากกว่าบริเวณ embryo หรือ endosperm ของเมล็ด ซึ่งลักษณะเช่นนี้จะไม่พบในเมล็ดธัญพืชที่เก็บเกี่ยวมาแล้ว และเก็บ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รักษาไว้ในโรงเก็บ ทั้งนี้เนื่องจากโรงเก็บเมล็ดทั่วไปนั้นเมล็ดที่เก็บไว้มีความชื้นของเมล็ดต่ำ ซึ่งไม่เหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อราที่ติดมาจากในไร่

2.3.3 เกิดความร้อนสะสมขึ้น (Heating)

ในกองเมล็ดอาจพบว่ามีความร้อนสะสมเกิดขึ้นได้ ซึ่งความร้อนที่เกิดขึ้นนี้เนื่องมาจากคุณสมบัติของเมล็ด 2 ลักษณะคือ เมล็ดเป็นตัวนำความร้อนเองทำให้เกิดความร้อนสะสมเป็นจุดๆ เรียกว่า hot spot กับอีกลักษณะหนึ่งคือ เกิดจากการหายใจของสิ่งมีชีวิตที่อยู่ภายในโรงเก็บเมล็ดพืช เช่น แมลง ไร หรือ เชื้อราที่ไปทำลายเมล็ด สิ่งมีชีวิตเหล่านี้เมื่อหายใจจะปลดปล่อย CO_2 และความร้อนออกมา และเนื่องจากเมล็ดเป็นตัวนำความร้อนที่เลว จึงเกิดการสะสมขึ้นในบริเวณหรือจุดนั้น ซึ่งในโกดังเก็บเมล็ดบางแห่ง อาจวัดอุณหภูมิได้สูงถึง 45 - 62 °C

การเกิดความร้อนขึ้นในโกดังเก็บเมล็ดแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ dry grain heating ในกรณีนี้จะพบในกองเมล็ดพืชที่มีความชื้นของเมล็ดต่ำ (11 - 15%) และมีอุณหภูมิสูง (42 - 48%) ตัวการที่ทำให้เกิดความร้อนแบบนี้ขึ้นมาคือ แมลงชนิดต่างๆที่เข้าทำลายเมล็ด ส่วนความร้อนอีกลักษณะหนึ่งเรียกว่า damp grain heating กรณีนี้มักพบในกองเมล็ดพืชที่เก็บรักษาไว้ที่ความชื้นของเมล็ดค่อนข้างสูง (15 - 17%) และอุณหภูมิสูง (45 - 62°C) ตัวการที่ทำให้เกิดความร้อนแบบนี้ขึ้นมาคือ เชื้อราในโรงเก็บที่เข้าทำลายพืชนั่นเอง

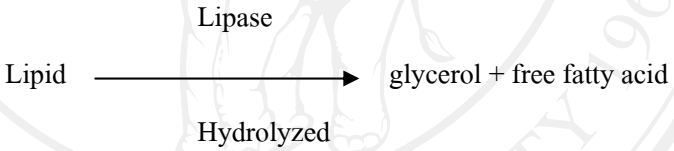
เชื้อราในโรงเก็บที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดความร้อนสนะสมขึ้นในโรงเก็บเมล็ดที่มักพบเสมอ คือ *A. flavus* และ *A. candidus* โดยพบในกองเมล็ดถั่วเหลืองที่มีเชื้อราทั้งสองชนิดเจริญอยู่มาก และวัดอุณหภูมิได้สูงถึง 50 - 55 °C ในประเทศไทยมีรายวานการเกิดสันดาปขึ้นในโกดังเก็บรักษาเมล็ดฝ้ายที่อำเภอคลองหลวง จังหวัดประทุมธานี เมื่อมีการสุ่มเมล็ดฝ้ายเหล่านั้นไปตรวจสอบพบว่ามีเชื้อราในโรงเก็บอยู่ 2 พวกคือ *Aspergillus* และ *Penicillium* ซึ่งเป็นที่ยอมรับกันว่าปรากฏการณ์ดังกล่าวเชื้อราทั้งสองชนิดนี้ที่ส่วนร่วมด้วย

2.3.4 การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี (Biochemical changes)

เมล็ดที่เก็บรักษาไว้หากถูกเชื้อราในโรงเก็บเข้าทำลาย นอกจากความงอกของเมล็ดจะลดลงและเกิดการ germ discoloration แล้ว ผลที่ตามมาคือ เมล็ดจะเกิดการเสื่อมอย่างรวดเร็วจนทำให้คุณภาพสารประกอบภายในเมล็ดพืชลดลงด้วย ทั้งนี้เนื่องจากเมล็ดเกิดการเสื่อมจะมีการเปลี่ยนแปลงภายในเมล็ดหลายอย่าง เช่น แป้ง หรือคาร์โบไฮเดรตเปลี่ยนเป็นกรดหรือก๊าซ โปรตีนถูกทำลาย ปริมารน้ำตาลลดลง รวมทั้งเกิดกลิ่นเหม็นหืนขึ้น เนื่องจากไขมันเปลี่ยนเป็นกรดไขมันอิสระ (free fatty acid) ซึ่งมักพบมากในเมล็ดพืชน้ำมันทั่วๆไป เช่น ถั่วลิสง ฝ้าย ถั่วเหลือง และข้าวโพด เป็นต้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีในหลายๆด้านของเมล็ดที่เสื่อม เนื่องจากการเข้าทำลายของเชื้อราในโรงเก็บนั้น การวัดปริมาณของกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นมีการศึกษาในเรื่องนี้กันมาก โดยวัดออกมาเป็นหน่วยของ Fat Acid Value (FAV) เชื้อราในโรงเก็บที่มีส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันอิสระขึ้นในเมล็ด ได้แก่ *A. amslelodami,A. flavus, A.candidus* และ *Penicillium solitum* ค่า FAV ที่วัดได้นั้นจะมีค่ามากหรือน้อยแค่ไหนขึ้นอยู่กับสิ่งเกี่ยวข้อง 2 ประการ คือ การเกิดกรดไขมันอิสระขึ้นนั้นจะเปลี่ยนแปลงไปตามสปีชี่ส์และสายพันธุ์ของเชื้อราและกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้น อาจจะเป็นแหล่งอาหารของเชื้อราที่เจริญอยู่ในบริเวณนั้นต่อไป ดังนั้นการใช้ค่า FAV ที่วัดได้เพื่อแสดงถึงการเสื่อมคุณภาพของเมล็ดจึงไม่สามารถบอกได้แน่นอนเสมอไป อย่างไรก็ตามถ้าเมล็ดพืชใดมีกรดไขมันอิสระเกิดขึ้นถึง 2% ขึ้นไป ก็แสดงว่าการเสื่อมคุณภาพของเมล็ดนั้นๆค่อนข้างสูง โดยปกติปริมาตรของกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นเมื่อเมล็ดที่เก็บไว้มีการเสื่อมคุณภาพมากขึ้น เนื่องจากกิจกรรมของ enzyme lipase จะไปย่อยสลายไขมันซึ่งอยู่ในรูปของ triglyceride ของกรดไขมันให้เป็น glycerol และ free fatty acid ดังสมการ **(ภาพที่2.1)**



ภาพที่ 2.1 สมการการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายไขมัน

2.3.5 การเกิดสารพิษขึ้น (Toxin production)

เชื้อราในโรงเก็บบางชนิดที่เข้าทำลายพืช อาจมีการสร้างสารพิษขึ้นมาก็ได้ ซึ่งเกิดขึ้นในกระบวนการเมตาโบลิซึม (Secondary metabolism) ของเชื้อรา เมื่อได้รับสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม สารพิษนี้จะทำให้เกิดโทษต่อคนหรือสัตว์ที่บริโภคเมล็ดที่มีสารพิษเข้าไป สารพิษจากเชื้อรา (Mycotoxin) ที่ถูกสร้างขึ้นนี้มีปัจจัยหลายอย่างที่เกี่ยวข้อง เช่น ชนิดและสายพันธุ์ของเชื้อรา แหล่งอาหารที่เชื้อราเจริญอยู่ อุณหภูมิ และความชื้นในขณะเก็บรักษา เป็นต้น เชื้อราที่สำคัญที่มีการสร้างสารพิษได้แก่

Aspergillus flavus (aflatoxin complex)

A. candidus, A. fumigatus, A. ochraceus (ochratoxin complex)

Penicillium islandicum (islandtoxin)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

P. citrium (citrinin)

P. rubrum (rubratoxin)

P. viridicatum (hepatotoxin)

2.3.6 ความชื้นของเมล็ดเพิ่มขึ้น (Increase in moisture content)

เมล็ดที่ถูกเชื้อราในโรงเก็บเข้าทำลายและเมล็ดนั้นเก็บไว้นานขึ้น จะทำให้ความชื้นของเมล็ดเพิ่มมากขึ้นจากเดิมด้วย ทั้งนี้เนื่องจากการที่มีเชื้อราเข้าไปเจริญอยู่ในเมล็ดมาก การหายใจที่เกิดขึ้นจากทั้งในเมล็ดและเชื้อราจะมีการคายน้ำออกมามากด้วย ดังนั้นจึงทำให้เมล็ดดูดรับเอาความชื้นเข้าไป และมีการดูดซับจนกว่าจะถึงจุดสมดุล ความชื้นของเมล็ดจึงเพิ่มสูงขึ้นจากเดิม เมื่อความชื้นของเมล็ดสูงขึ้นจะทำให้เชื้อราเจริญได้มากขึ้น คายน้ำมากขึ้น เมล็ดจะดูดความชื้นเข้าไปอีกเป็นแบบนี้เรื่อยๆ ความชื้นของเมล็ดที่ถูกเชื้อราเข้าทำลายจึงค่อยๆเพิ่มสูงขึ้น

2.3.7 เมล็ดเกิดการเหม็นอับหรือจับกันเป็นแผ่นและเน่าเสีย (Mustiness, caking and total decay)

เมล็ดพืชที่ได้รับความเสียหายจากการเข้าทำลายของเชื้อราในโรงเก็บ เมื่อเก็บไว้นานขึ้นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงในทางเลวลงเรื่อยๆ จนในที่สุดเมื่อเมล็ดเสื่อมมากเข้าก็จะเกิดกลิ่นเหม็นอับเหม็นหืน ในบริเวณที่มีเชื้อราเจริญอยู่มาก อาจทำให้เมล็ดมีการจับกันเป็นแผ่นหรือเป็นก้อนคล้ายเค้ก และเกิดการเน่าเสียในที่สุด

2.3.8 ความเสียหายอื่นๆ

ในโรงเก็บหรือยุ้งฉางใหญ่ๆ ที่มีการเก็บเมล็ดพืช เชื้อราที่เข้าทำลายเมล็ดอยู่อาจทำให้เกิดความเสียหายด้านอื่นๆได้อีก เช่น ในยุ้งฉางที่อับทึบมีการระบายอากาศไม่ดี สปอร์ของเชื้อราที่ฟุ้งกระจายในบริเวณนั้นอาจเป็นอันตรายต่อคนที่เดินผ่านไปมา แล้วสูดเอาสปอร์เชื้อราเข้าไปในร่างกาย อาจทำให้เกิดอาการแพ้ คันตามผิวหนัง หรือเกิดอาการทางปอดได้ ในกรณีที่มีเชื้อราอยู่บนเมล็ดอาจทำให้วัสดุบรรจุเมล็ดนั้นเปื่อยฉีกขาดได้ นอกจากนี้เชื้อราที่เจริญติดอยู่ตามยุ้งฉางอาจทำลายยุ้งฉางส่วนที่เป็นไม้ให้เกิดการผุเปื่อยเสื่อมโทรมเร็วขึ้น

2.4 สารพิษจากเชื้อรา (Mycotoxin)

เชื้อราเป็นจุลินทรีย์ชนิดหนึ่งที่ชอบขึ้นทำลายพืช หรือขึ้นบนอาหารของคนและสัตว์ เชื้อราบางชนิดจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นบนสิ่งที่มันขึ้นอยู่ จนทำให้คุณสมบัติทางด้าน รส สี และรูป ร่างเปลี่ยนไป นอกจากนี้ยังมีเชื้อราอีกหลายชนิดที่สามารถสร้างสารเคมีต่างๆแล้วปลดปล่อยออกมาเจือปนอยู่ สารเคมีเหล่านี้ทั้งก่อให้เกิดประโยชน์และโทษแก่คนและสัตว์ สารเคมีที่เชื้อราสร้างขึ้นที่มีประโยชน์ทางการแพทย์มากได้แก่สารปฏิชีวนะ (antibotic) ต่างๆซึ่งถูกนำมาสกัดและ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

นำมาใช้ในการรักษาโรคติดเชื้อได้อย่างกว้างขวาง เช่น streptomycin, auriomycin และ penicillin เป็นต้น แต่สารเคมีบางชนิดที่เชื้อราสร้างขึ้นซึ่งเป็นพิษอย่างรุนแรงแก่คนและสัตว์ สารพิษเหล่านี้เรียกรวมๆกันว่า “mycotoxin” เมื่อคนหรือสัตว์ได้รับอาหารที่มีสารพิษนี้เจือปนอยู่ก็อาจทำให้เกิดอาการเป็นพิษขึ้นได้ เรียกอาการเป็นพิษเนื่องจากสารพิษของเชื้อรานี้ว่า “mycotoxicosis” ฉะนั้นจะเห็นได้ว่าเชื้อราเหล่านี้จะทำให้เกิดอาการเป็นพิษได้ก็ต่อเมื่อเชื้อราชนิดนั้นได้สร้างสารพิษขึ้นมาก่อนแล้วบนอาหารที่มันเจริญอยู่เมื่อคนหรือสัตว์กินอาหารนั้นเข้าไปจึงเกิดอาการเป็นพิษขึ้น เรียกเชื้อรานี้ว่า “mycotoxicgenic” (เชื้อราที่ทำให้เกิดพิษ) แตกต่างไปจากเชื้อราที่สามารถดำรงชีวิตอยู่อวัยวะต่างๆของสิ่งมีชีวิต และทำให้เกิดโรคขึ้น จะเรียกเชื้อราพวกนี้ว่า “mycopathogenic fungi” (เชื้อราที่ทำให้เกิดโรค)

สารพิษอาจสร้างขึ้นโดยเชื้อราที่เป็น Field fungi หรือ storage fungi ก็ได้ เชื้อราพวก field fungi ที่สร้างสารพิษ ได้แก่ *Fusarium* spp., *Alternaria* spp., *Bipolaris* spp., *Cercospora* spp., *Curvularia* spp., *Drechslera* spp. เป็นต้น

ปัจจุบันนี้การศึกษาและค้นพบสารพิษชนิดใหม่ๆ ที่สร้างจากเชื้อราได้รับความสนใจมากขึ้น เพราะสารพิษบางชนิดมีผลกระทบต่อเศรษฐกิจของโลกอย่างมากมาย รวมทั้งมีส่วนกระทบต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตด้วย อย่างไรก็ตามแม้ว่าจะมีสารพิษที่เกิดจากเชื้อรามากมาย แต่มีสารพิษบางชนิดเท่านั้นที่ถือว่ามีความสำคัญและมักพบเป็นปัญหาอยู่บ่อยๆที่เกิดขึ้นกับเมล็ดพันธุ์ที่เมล็ดอาหารต่างๆสารพิษเหล่านี้ได้แก่ alflatoxin,ochratoxins, zearalenone, trichothecences, patulin, penicillic acid, ergot alkaloids, sterigmatocystin และ citrin เป็นต้น (ธรรมศักดิ์, 2533)

2.5 ลักษณะทั่วไปของโรคเชื้อรา *Aspergillus flavus*

เชื้อรา *Aspergillus flavus* จัดเป็นเชื้อราที่สามารถผลิตสารพิษอะฟลาทอกซิน (aflatoxin) จัดเป็นชนิดที่สำคัญที่สุดในสกุลแอสเพอจิลลัส (*Aspergillus* spp.) สามารถเจริญเติบโตได้ดีในเมล็ดและดินที่ปลูกถั่วลิสง และถูกจัดเป็น storage fungi คือสามารถเข้าทำลายในโรงเก็บ มักเข้าไปทำลายเมล็ดพืชหลังการเก็บเกี่ยวเป็นต้นไป และเจริญเติบโตได้ดีในโรงเก็บ (ธรรมศักดิ์, 2533) การสังเกตเชื้อราด้วยตาเปล่าจะพบว่ามีสีเหลืองจนถึงสีเขียวเข้มบนเมล็ดถั่วลิสง และมีลักษณะชัดเจนเมื่อขึ้นบนอาหารเลี้ยงเชื้อซึ่งสีเขียวดังกล่าวเป็นสีของ conidial head ที่เจริญเส้นใย (hyphae) ส่วนของก้านชูสปอร์จะโป่งออกรูปร่างค่อนข้างกลม (vesicle) เป็นส่วนที่จะให้กำเนิดสปอร์(sterigme หรือ pialide) ซึ่งอาจมีชั้นเดียว หรือสองชั้น ในกรณีที่มี 2 ชั้น ชั้นในส่วนที่ติดกับ vesicle เรียกว่า metulae) ส่วนชั้นนอก ซึ่งเป็น phailide ตรงส่วนปลายเป็นที่เกิดของสปอร์ (conidia) ซึ่งส่วนมากมีรูปร่างกลมผนังขรุขระเล็กน้อย และเกิดต่อกันเป็นลูกโซ่ (Kenneth and Derothy, 1965 ; Alexophus

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

and Mims, 1979) เป็นเซลล์ที่ฟุ้งกระจายได้ดีในอากาศ (Diener , 1987) และบางไอโซเลท (isolate) สามารถคงอยู่ในดินได้นาน (ประสงค์, 2530) ถือเป็นแหล่งของเชื้อราในชั้นปฐมภูมิที่มีศักยภาพมากที่สุดเป็นที่อาศัยของสปอร์ ถือเป็นแหล่งผลิตโคนีเดียให้กระจายอยู่ในอากาศและแพร่กระจายไปอย่างรวดเร็ว โดยการพัดพาของอากาศ และกระแสลม (Diener , 987) *A. flavus* เจริญเติบโตได้น้อยเมื่ออากาศมีความชื้นสัมพันธ์ต่ำกว่า 85 % และมีช่วงอุณหภูมิที่สามารถเจริญได้ค่อนข้างกว้าง ถ้าความชื้นพอเพียง ตั้งแต่ช่วงอุณหภูมิ 6–46 °C (Shanta and Sreenivasmurthy, 1981 อ้างโดย ธรรมศักดิ์, 2533) แต่อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตดีในสภาวะที่มีความชื้นสูงกล่าวคือ เมื่ออากาศมีความชื้นสัมพันธ์เป็น 86 – 87 % เชื้อราสามารถเจริญและสร้างสารพิษอะฟลาทอกซิน (aflatoxin) ซึ่งจัดเป็น secondary metabolite ซึ่งถูกสร้างขึ้นโดยพวก mycotoxin storage fungi สารพิษอะฟลาทอกซินเป็นกลุ่มของสารเคมีพวก difranocoumarin ซึ่งแยกออกมาจากเชื้อราพวก *A.flavus* และ *A.parasiticus* ที่พบอยู่ทั่วไปจะเป็นอะฟลาทอกซินชนิดบี1 (AFB1), บี2 (AFB2), จี1 (AFG1), จี2 (AFG2) และอีกหลายชนิดในปริมาณเล็กน้อย มีคุณสมบัติประจำตัวที่สำคัญประการหนึ่งคือ อะฟลาทอกซินชนิด บี1 และ บี2 สามารถเรืองแสงสีน้ำเงิน (Blue-florescent) ภายใต้แสงอุลตราไวโอเลต (green-fluorescent) (WHO, 1979 อ้างโดย ดุษณี, 2530) อะฟลาทอกซินสามารถทำให้เกิดมะเร็งในคนและสัตว์ โดยจะทำให้เกิดทั้งอาการเฉียบพลันถ้ารับในปริมาณสูง และอาการเรื้อรัง เมื่อมีการสะสมในร่างกาย ทำให้เกิดมีการคั่งของไขมันตับ โรคตับแข็ง โรคตับพิการ และโรคมะเร็งตับ (ไมตรี, 2528 อ้างโดย ประสงค์, 2530) เมื่อบริโภคอาหารที่มีการสะสมสารพิษ โดยเฉพาะ *A.flavus* สามารถเจริญเติบโตบนอาหารที่มีความชื้น เช่น ข้าวเหนียว หรือข้าวเจ้าที่สุกแล้วรวมทั้งอาหารสัตว์ ข้าวโพด เป็นต้น โดยเฉพาะ ถั่วลิสง จัดเป็นแหล่งอาหารที่ถูกเจือปนด้วยสารพิษอะฟลาทอกซินในระดับสูงที่สุด (ธรรมศักดิ์, 2533)

ขบวนการเข้าทำลายของเชื้อรา *Aspergillus flavus*

โดยทั่วไปเชื้อราในโรงเก็บเช่น *A.flavus* จะเข้าทำลายเมล็ดหากมีสภาพแสดล้อมหรืออุณหภูมิ และความชื้นเหมาะสม แหล่งของเชื้อราในชั้นปฐมภูมิที่มีศักยภาพมากที่สุดอยู่ในรูปสปอร์ของเชื้อรา (conidia) จะเกิดการปนเปื้อนไปกับเมล็ดตั้งแต่ก่อนการเก็บเกี่ยว ขณะเก็บเกี่ยว รวมถึงการปนเปื้อนจากเชื้อราที่แพร่กระจายทั่วไปในอากาศ ติดไปกับภาชนะเคลื่อนตัวไปสู่ต่อที่ที่เหมาะสมต่อการเจริญ ขบวนการเข้าทำลายเริ่มต้นเมื่อสปอร์ตกลงไปหรือติดไปกับส่วนของพืช หากสภาพแวดล้อมเหมาะสมก็จะก่อให้เกิดขบวนการทางชีวเคมีขึ้นมีผลทำให้ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเชื้อราเปลี่ยนแปลงไป และต้องการพลังงานเพิ่มขึ้นเพราะฉะนั้นจุดที่รับเชื้อจึงกลายเป็นจุดที่ติดเชื้อขึ้นมาเป็น infection unit และมีขบวนการต่าง ๆ ต่อมาดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

- germ tube germination
- appessorium
- penetration hyphae หรือ stomatal penetration
- colonization

ขั้นแรกสปอร์จะงอกออกมาเป็น Germ tubes และงอกผ่าน cuticle ของพืชเข้าไปจะมีโครงสร้างชนิดหนึ่งเกิดขึ้น คือ มีการพองตัวเล็กน้อยของ germ tube และมีสารเหนียวเคลือบอยู่รอบนอกเป็นชั้นบางๆ โครงสร้างนี้เรียกว่า infection structure หรือ appressoria ซึ่งอาจแตกสาขาได้ตรงจุดที่เข้าทำลาย ซึ่งโดยทั่วไปสามารถสร้างโครงสร้างดังกล่าวได้ถ้า hyphae สัมผัสพื้นผิวที่มีลักษณะแข็ง

สปอร์ของ *A. flavus* ที่ปนเปื้อนจะเจริญเติบโตได้ดีบนเมล็ดถั่วลิสง (ประสงค์, 2530) ตั้งแต่ช่วงเวลาก่อนการเก็บเกี่ยวในดินที่อยู่รอบๆ ที่เกิดฝักจะเริ่มทำลายฝักถั่วลิสงโดยตรง และเป็นสาเหตุของการเข้าทำลายเมล็ดและเป็นสาเหตุของการสะสมสารพิษในเวลาต่อมา เชื้อราที่ปนเปื้อนอาจอยู่ในรูปสปอร์ที่พักตัวติดมากับส่วนนอกของเมล็ด เมื่อเก็บในสภาพที่เหมาะสมต่อการเจริญและลุกลามได้อย่างรวดเร็ว (Mycock and Berjak, 1995) เชื้อราที่อยู่นอกเมล็ดจะเกิดขบวนการย่อยและลุกลามเข้าทำลายเนื้อเยื่อเมล็ดได้ โดยอาจใช้วิธีผ่านผิวของชั้นนอกเมล็ดที่ชำรุดเสียหาย แต่หากสภาพสมบูรณ์ดี เชื้อก็สามารถเจริญผ่านขั้วเมล็ด และแทงผ่านรูเปิดทางธรรมชาติหรือ micorpyle เข้าสู่เมล็ด (Mycock *et al.* 1988) ซึ่งเชื้อราจะลุกลามเข้าไปทีละเล็กละน้อยเจริญไปที่ส่วน micro Pyle end โดยเฉพาะส่วนเนื้อเยื่อ peduncle ที่เสียหายชำรุดจะทำให้เชื้อเจริญเข้าสู่แหล่งสะสมอาหารของเมล็ดได้อย่างรวดเร็ว (Mycock and Berjak,1995) *A. flavus* columnaris มีรายงานว่าเข้าทำลายเมล็ดทางบาดแผลได้ดี นอกจากนี้เส้นใยยังแทงผ่านรูทางธรรมชาติของเมล็ดได้ดี (Mycocik *et al.* 1985) หลังจากนั้น Mycock *et al.* (1990) ยังสังเกตว่า *A. flavus* สายพันธุ์ต่างๆ ที่ทำการศึกษาทั้งหมดสามารถย่อยสลาย cellulose และ polygalacturonicacid ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักของผนังเซลล์ของพืชได้ (Mclean *et al.* 1985 อ้างโดย Mycock and Berjak, 1995) จึงถือเป็นความสามารถเฉพาะเชื้อที่จะเข้าทำลายพืชได้อย่างง่ายดายมีหลักฐานยืนยันว่าเมล็ดของพันธุ์ Florunner มีการผลิตสาร phytoalexinb ซึ่งยับยั้งการสร้างอะฟลาทอกซิน และเป็นกลไกของเมล็ดถั่วลิสงในการต่อการเข้าทำลายของเชื้อรา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.6 การใช้ความร้อนในการกำจัดเชื้อรา (Seed treatment by heating)

Thermotherapy หรือ heat treatment เป็นการใช้ความร้อนในหลายๆรูปแบบ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ ในการควบคุมการติดเชื้อใน เครื่องมือปลูก รวมทั้งเมล็ดพันธุ์ ด้วย (Baker, 1962) การใช้ความร้อน (heat treatment) กับเมล็ดเป็นวิธีง่ายๆที่ใช้ในการควบคุมโรคและแมลงที่ติดมากับเมล็ด heat treatment เป็นวิธีที่เก่าแก่ในการควบคุมโรคและแมลงที่ติดมากับเมล็ดจะใช้เมื่อไม่สามารถหาสารเคมีชนิดที่จะนำมาใช้ได้ ซึ่งโดยหลักการของการใช้ความร้อน ในการควบคุมโรคและแมลงที่ติดมากับเมล็ดนั้นจะใช้ความร้อนในการทำลายเชื้อที่ติดมากับเมล็ดโดยที่อุณหภูมิที่ใช้นั้นจะต้องไม่ทำลายหรือทำให้เกิดความเสียหายต่อเมล็ด (จินตนา, 2531) ซึ่งมีหลายวิธีที่ใช้ความร้อนในการควบคุมโรคและแมลงที่ติดมากับเมล็ด มีทั้งรูปแบบการใช้ความร้อนเปียก (wet form) เช่น การใช้น้ำร้อน (hot water) การใช้ไอน้ำผสมอากาศ (arrested steam) คาร์บอนเตตระคลอไรด์ (carbon tetrachloride) น้ำมันปิโตรเลียม (petroleum oil) และการใช้ความร้อนแห้ง (dry form) เช่น ลมร้อนหรืออากาศแห้ง (hot air or dry air) คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (microwave radiation) การใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์ (solar heat) (Baker, 1962)

วิธีการในการใช้ความร้อนมาประยุกต์ใช้ กับเมล็ดพันธุ์มีดังนี้

2.6.1 การฆ่าเชื้อโรคที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์โดยการแช่เมล็ดพันธุ์โดยใช้น้ำร้อน (Hot water treatment)

หลักการง่ายๆในการใช้น้ำร้อนเพื่อควบคุมโรคและแมลง เป็นการใช้น้ำร้อนโดยที่อุณหภูมิความร้อนของน้ำจะไปมีผลต่อการกำจัดโรคและแมลง โดยที่ความร้อนนั้นจะต้องไม่ทำลายเนื้อเยื่อของเมล็ดให้เกิดความเสียหาย (Cohen, 1972) การใช้น้ำร้อนจะนิยมใช้กันอย่างกว้างขวางมากในการควบคุมโรคที่ติดมากับเมล็ด ซึ่งโดยเฉพาะโรคที่ติดเชื้อมากับแบคทีเรียและจากไวรัส (Baker, 1962) และจะมีขั้นตอนในการปฏิบัติดังนี้

2.6.1.1 Selection of seeds วิธีใช้น้ำร้อนนี้จำเป็นจะต้องคำนึงถึงลักษณะของเมล็ดที่จะนำมาใช้ด้วย ในการเลือกเมล็ดที่มาใช้นั้นจะต้องมีความสามารถในการทนความร้อนที่ใช้ในการ treat ได้ดี พวกเมล็ดถั่ว เช่น ถั่วเหลือง นั้นไม่สามารถที่จะนำมาใช้กับวิธีการนี้ได้ เพราะถั่วเหลืองจะมีเปลือกหุ้มเมล็ดบางมาก ถ้านำมาแช่น้ำร้อนจะทำให้เปลือกหุ้มเมล็ดนั้นบวมและหลุดออกมา และวิธีการนี้ไม่สามารถที่จะควบคุมเชื้อสาเหตุของโรคได้ทุกชนิด เช่นเดียวกับการใช้สารเคมี และจะมีข้อด้อยตรงที่ว่าไม่สามารถกำจัดเชื้อที่เข้าทำลายเมล็ดถึงในระดับเนื้อด้านในของเมล็ด แต่วิธีนี้จะสามารถควบคุมเชื้อโรคได้ดีในระดับผิวนอกของเมล็ด

2.6.1.2 Presoaking the seed ก่อนที่จะมีการแช่เมล็ดในน้ำร้อนบางครั้งอาจจะต้องปรับสภาพของตัวเมล็ดก่อนที่จะใช้น้ำร้อนที่อุณหภูมิโดยการนำเมล็ดไปแช่น้ำ (presoak) ก่อน แต่เมล็ด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

บางครั้งอาจจะไม่ต้องการทำ presoak ซึ่งจะขึ้นอยู่กับชนิดของพืชที่จะใช้และโรคที่เป็นหรือโรคที่ต้องการกำจัด การทำ presoak นั้นจะเป็นการทำให้น้ำนั้นเข้าไปอยู่แทนที่อากาศที่อยู่ระหว่าง ต้นอ่อน และเปลือกหุ้มเมล็ด เพราะน้ำจะเป็นที่นำความร้อนได้ดีกว่า ซึ่งจะทำให้ลดอุณหภูมิและเวลาในการใช้ และเพื่อเป็นการป้องกันเมล็ดไม่ให้ได้รับความเสียหายจากความร้อนอีกทางหนึ่ง ส่วนเวลาที่ใช้ในการ soak นั้นอาจจะไม่แน่นอน แต่โดยปกติแล้วจะอยู่ในช่วงประมาณ 4 -12 ชั่วโมง ซึ่งก็จะขึ้นอยู่กับลักษณะโครงสร้างของเนื้อเยื่อที่มีความสามารถในการดูดซึมน้ำและเชื้อที่เข้าทำลายเมล็ดว่าเจริญอยู่ในระดับใด

2.6.1.3 Preheating หลังจากที่มีการแช่เมล็ดในน้ำเย็นแล้ว เมล็ดจะถูกนำไปผ่านความร้อนเป็นเวลา 1- 2 นาที ที่อุณหภูมิ 90- 100 °C

2.6.1.4 Hot water soak การแช่เมล็ดในน้ำที่มีอุณหภูมิและช่วงเวลาที่จะใช้ฆ่าเชื้อโรคบนเมล็ดได้ โดยปกติทั่วไป อุณหภูมิที่ใช้ประมาณ 50 °C ระยะเวลาอาจลดลงถ้าน้ำเมล็ดมาแช่น้ำ (presoak) ก่อน treat อุณหภูมิและเวลาสำหรับการ treat เมล็ดและขึ้นอยู่กับ

- แบบการเข้าทำลาย (type of infection)
- ชนิดและขนาดของเมล็ด (kind and size of seed)

อุณหภูมิและเวลาที่ต้องการแตกต่างกันนั้น ซึ่งบางทีเวลาที่ใช้อาจจะทำให้เมล็ดสูญเสียความมีชีวิตได้ น้ำที่ใช้นั้นควรจะมีตัวควบคุมอุณหภูมิ และปริมาตรน้ำที่มากพอ ก็จะช่วยทำให้อุณหภูมิคงที่ด้วย

2.6.1.5 Cooling หลังจากการ treat เมล็ดแล้วรีบนำเมล็ดมาแผ่เพื่อให้เมล็ดเย็นลงและทำให้แห้งอย่างรวดเร็ว

2.6.1.6 Drying จะต้องทำให้เมล็ดแห้งอย่างรวดเร็วเพื่อป้องกันการงอกของเมล็ด

2.6.1.7 Post-treatment อาจจะมีการป้องกันเมล็ดด้วยการคลุกสารฆ่าเชื้อราเพื่อรักษาความมีชีวิตของเมล็ดและเป็นการเลี่ยงการเสียหายจาก seed borne fungi

Hot water treatment นี้จะไม่นำมาใช้กับเมล็ดที่มี seed coat ที่จะแตกหรือร้าวง่ายในช่วงที่มีการดูดน้ำ อย่างเช่นเมล็ดถั่ว หรือเมล็ดที่จะมียางเหนียวๆไหลออกมาในช่วงที่มีการลดความชื้น อย่างเช่นเมล็ดป่าน ส่วนการใช้ carbon tetrachloride และ oil ก็จะคล้ายกับการใช้ hot water treatment เช่นกัน นอกจากนี้น้ำร้อนสามารถใช้กำจัดพวกเชื้อที่มาจากเมล็ดและวัสดุปลูกเช่น พลั่ว ปลูก ถุงบรรจุเมล็ดพันธุ์ได้ กรรมวิธีนี้มีประสิทธิภาพกับพวกเมล็ดพันธุ์หอมหัวใหญ่ มะเขือเทศ และเมล็ดพันธุ์บางชนิด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.1 The use of hot water in the treatment of seed borne disease (Maude, 1966)

Crop, disease and pathogen	treatment	Reference
Brassica canker *(Leptosphaeria maculans)*	30 min at 50 °C	Walker,1969
Brassica canker (*Leptosphaeria maculans*)	25 min at 50 °C	Milard,1945
Brassica dark leaf spot (*Alternaria brassica*)	20 min at 50 °C	Randawa andAulakh,1984
Brassica dark leaf spot (*Alternaria brassica*)	18 min at 50 °C	Schimmer,1993
Celery leaf blight (*Septoria apiicola*)	30 min at 48-49°C	Krout,1921
Celery leaf blight (*Septoria apiicola*)	25 min at 50 °C	Bant and Storey,1952
Cereal loose smut (*Ustilago segetum var. tritici*)	5 min at 50 °C	Jenes,1988
Cereal loose smut (*Ustilago segetum var. tritici*)	1.5-2 h at 49 °C or 5-6 h at 41°C	Doling,1965
Cereal loose smut (*Ustilago segetum var. tritici*)	5 h at 21 °C presoak +1 min at 49°C +11 min at 52°C	Walker,1969
Millet downy mildew (*Sclerospora graminicola*)	30 min at 50 °C	Thakur and Kanwar,1977
Nasturtium leaf spot (*Acroconidiella tropaeoli*)	1 h in water+30 min at 51.7 °C	Baker and Davis ,1950
Rice blast (*Magnaporthe grisea*)	6-12 h in cool water +1-2min at 50 °C	Nakamura,1986
Rice Bakanae disease (*gibberella fujikuroi*)	7 min at 57 °C	Zaaaerini et al.,1985
Rice leaf spot (*Cochliobolus miyabeanus*)	7 min at 51°C	Gries,1946
Safflower leaf spot (*Alternaria alternate, A.chrthami)*	30 min at 50 °C	Walker,1923

ACA, 0.25% or 0.5% acetate acidified with acetic acid: AZS, 0.1 M acidified zinc sulphate

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.6.2 การฆ่าเชื้อโรคที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์โดยใช้ลมร้อน (Hot air treatment or Dry heat treatment)

วิธีนี้นำมาใช้น้อยมากถึงแม้ว่าการใช้อุณหภูมิหลายๆระดับร่วมกัน Hot air treatment เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการควบคุมโรคที่ติดมากับเมล็ดน้อยกว่า Hot water treatment และมีการใช้เวลาในการปรับสภาพเมล็ด มากกว่าการใช้น้ำร้อนถึง 5 เท่า แต่การให้ความสนใจในวิธี Hot air treatment นี้ เพราะเป็นวิธีที่ง่ายและเมล็ดมีการสูญเสียที่น้อยกว่า วิธี Dry heat นี้ ซึ่งโดยปกติจะใช้เตาอบลมร้อนในการ ปรับสภาพเมล็ด ซึ่งจะสามารถฆ่า spore ของเชื้อราที่อยู่บนผิวของเมล็ดได้ เช่นในการกำจัด uredospore ของ *Puccinia antirrbini* ใน snapdragon seed (Baker, 1962)

ในการใช้ความร้อนด้วยวิธีนี้สามารถนำมาประยุกต์เพื่อใช้ในการควบคุมเชื้อราที่ติดมากับเมล็ดโดยที่เกิดความเสียหายให้กับเมล็ดน้อยกว่าการใช้ความร้อนในรูปของความร้อนเปียก เมื่อมีการใช้ในอุณหภูมิเดียวกัน **(ตารางที่ 2.2)** ในการ Dry heat นี้จะสามารถกำจัดหรือทำให้เชื้อแบคทีเรียนั้นลดลงได้ ซึ่งบางครั้งอาจจะทำให้การงอกของเมล็ดได้รับความเสียหายได้ก็เพียงเล็กน้อยเท่านั้น

ตารางที่ 2.2 The comparative of wet and dry heat* upon germination and *Mycospherella pinodes* infection of pea seeds (Maude, 1966)

Pea type	Temperature (ºC) use	Wet heat method		Dry heat method	
		Peas Germination (%)	Peas Infected (%)	Peas Infected (%)	Peas Infected (%)
Round seed	Control	94	14	97	41
	55	95	7	97	34
	65	0	0	93	19
	75	0	0	98	38
Wrinkle seed	Control	82	19	83	26
	55	78	6	86	20
	65	41	0	76	15
	75	0	0	73	17

***All heat treatment applied for 20 min.**

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.6.3 การฆ่าเชื้อโรคที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์โดยการแช่เมล็ดในน้ำภายใต้สภาพที่ไม่มีออกซิเจน (Anaerobic water treatment)

โดยการแช่เมล็ดในน้ำในสภาพอากาศปกติหลังจากนั้นเก็บในที่ๆเป็น Anaerobic ในระยะเวลาหนึ่ง ใช้ได้ดีกับโรค loose smut ของข้าวบาร์เลย์ โดยการแช่เมล็ดที่ 24 ºC หรือ 28 ºC เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จากนั้นเทน้ำออกแล้วเก็บในภาชนะที่อากาศไม่สามารถเข้าได้เป็นเวลา 31- 42 ชั่วโมง โดยบรรจุเมล็ดพันธุ์ลงในภาชนะเพียงครึ่งหนึ่ง (Hebert, 1955) วิธีการนี้จะลดความเสียหายในเรื่องความงอกของเมล็ดเมื่อได้รับความร้อนสูงเกินไป

2.6.4 การฆ่าเชื้อโรคที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์โดยผ่านไอน้ำร้อน (Aerated steam treatment)

หลักการที่เกี่ยวข้องของ Aerated stream treatment จะนำมาประยุกต์ใช้กับ ดิน วัสดุเพาะ ซึ่งรวมทั้งเมล็ดพันธุ์ด้วย (Maude, 1966) หลักการของการฆ่าเชื้อโดยวิธีนี้คือปรับสภาพเมล็ดที่แห้งด้วยไอน้ำร้อนผสมอากาศ โดยใช้ความดันต่ำผ่านเข้าไปในกองเมล็ดพันธุ์จากนั้นนำเมล็ดออกมาทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็ว เพื่อไม่ให้เมล็ดเสียความงอก ปกติวิธีการนี้จะใช้ความร้อนประมาณ 56-57 ºC โดยใช้เวลาประมาณ 30 นาทีที่มีความเหมาะสมกับเมล็ดพันธุ์ วิธีนี้มีความปลอดภัยและประสิทธิภาพดีกว่า hot water treatment คือเมล็ดที่ถูก treat ด้วยไอน้ำร้อนจะแห้งกว่า ผลเสียหายต่อความงอกน้อยกว่า ควบคุมอุณหภูมิได้ง่ายกว่าและถูกต้องมากกว่า อย่างไรก็ตามเมล็ดที่จะปรับสภาพเมล็ดด้วยไอน้ำร้อนจะต้องสด แข็งแรง และไม่มีรอยแตกหัก เนื่องจาก mechanical injuries วิธีนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการควบคุมเชื้อราและแบคทีเรีย **(ตารางที่ 2.3)**

ความชื้นของเมล็ดมีผลต่อการควบคุมโรคของเชื้อราที่ติดมากับเมล็ดจากวิธี Aerated steam เพราะว่าทั้งโรคและเมล็ดนั้นมีความรู้สึกไวต่อความชื้น เป็นการยากที่จะกำจัดโรคในเมล็ดที่มีความชื้นต่ำ เมล็ดที่จะทำการ treat ครั้งแรกนั้นจะต้องได้รับอุณหภูมิต่ำเป็นเวลา 60 นาที แล้วตามด้วยอุณหภูมิสูงเป็นเวลา 30 นาที

ความจุจำเพาะของไอน้ำจะมีประมาณครึ่งหนึ่งของน้ำและใช้เวลาเป็น 2.5 เท่า ของอากาศ ดังนั้นความร้อนและเวลาที่ใช้ของ Aerated steam จะมากกว่าการใช้น้ำร้อน แต่จะใช้เวลาและความร้อนน้อยกว่าการใช้ลมร้อน (Baker,1962) เป็นการกำจัดเชื้อที่ง่าย มีการสูญเสียความงอกในระดับที่ต่ำ การควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ก็ง่าย และ เยื่อหุ้มเมล็ดจะคงยังไม่มีการเปลี่ยนแปลง

ในการปรับสภาพเมล็ดเพื่อควบคุมหรือกำจัดเชื้อราที่ติดมากับเมล็ด หรือแบคทีเรียนั้น การใช้ไอน้ำร้อน นั้นจะมีข้อได้เปรียบกว่าการใช้น้ำร้อน เพราะว่าไม่ต้องนำเมล็ดมาแช่น้ำก่อนทำการ treat ซึ่งเป็นการหลีกเลี่ยงการเกิดความเสียหายให้กับเมล็ดโดยเฉพาะในพืชตระกูลถั่ว และการลดความชื้นอย่างรวดเร็ว และการลดอุณหภูมิเมล็ด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.3 The use of aerated steam for the control of seed borne disease (Maude, 1966)

Crop and Pathogen	Treatment	Reference
Celery (*Septoria apiicola*)	56 ºC for 30 min	Navaratnam et al.,1980
Clover (*Fusarium avenaceum*)	49-60 ºC for 5-30 min	McGee and Kellock,1974
Corn (*Drechslera maydis*)	54-55 ºC for 17 min	Prichard,1974
Crucifers (*Leptosphaeria maculans*)	56 ºC for 30 min (H)	Baker,1969
Crucifers (*Alternaria brasscicae*)	56 ºC for 30 min (±H)	Baker,1969
Lenti (*Ascochyta lentis*)	45-75 ºC for 30 min	Kaiser and Hannan,1978
Lettuce (*Septoria lactucae*)	54.4ºC for 20-25 min	Bertus,1972
Lobelia (*Alternaria tenuis*)	50-51 ºC for 15-20 min	Hall and Taylor,1983
Parsnip (*Itersonilis pastinacae*)	45.5 ºC for 30 min	Smith,1966
Pea (*Ascochyta pisi*)	55-75ºC for 20-80 min	Maude,1966
Pea (*Mycosphaerella pinodes*)	55-75 ºC for 20-80 min	Maude,1966
Red beet (*Pleospora betae*)	56 ºC for 30 min	Baker,1969
Red beet (*Pleospora betae*)	52.7 ºC for 20min	Miller and Hannan ,1987
Sweet corn (*Fusarium moniliformae*)	60-64 ºC for 30 min	Navaratnam et al.,1980
Wheat (*Septoria nodorum*)	52-62 ºC for 30 min	Navaratnam et al.,1980
Zinnia (*Ascochyta Zinniae*)	57 for 30 min	Baker,1969

H, moisture level of seeds raised before treatment

2.6.5 การฆ่าเชื้อโรคที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์โดยใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์ (Solar heat treatment)

คือการตากแห้งธรรมดา ในประเทศที่มีความร้อนสูงหรืออากาศร้อนจะทำโดยการแช่เมล็ดในน้ำ 4 -5 ชั่วโมงในร่มหรือในห้อง จากนั้นทำให้แห้งโดยเกลี่ยบนพื้นให้บางๆแล้วนำไปตากแดดทิ้งไว้1 ชั่วโมง (เวลาประมาณ 12.00 น.) วิธีนี้พิสูจน์ให้เห็นว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดโรค Loose smut ของข้าวสาลีและข้าวบาร์เลย์ (Bedi, 1957) แต่ใช้เล็กน้อยในทางปฏิบัติในประเทศอินเดีย โดยเฉพาะทางตอนเหนือ เช่น แคว้นปัญจาบ และในประเทศปากีสถานในช่วงแสงอาทิตย์สุดท้ายของเดือนพฤษภาคม หรือ ช่วงอาทิตย์แรกของเดือนมิถุนายน ซึ่งในช่วงนี้จะมีอุณหภูมิประมาณ 35 ºC (Luthra, 1953) โดยวิธีดังกล่าวใช้เฉพาะเดือนพฤษภาคมหรือเดือนมิถุนายน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

วิธีนี้ใช้ฆ่าเชื้อรา Smut ของข้าวฟ่างในประเทศพม่า อินเดีย และแทนซาเนีย (Tarr, 1972) แต่สำหรับ smut พวกนี้ ฆ่าเชื้อด้วยสารเคมีจะนิยมมากกว่า

สำหรับการใช้ ความร้อนจากแสงแดดนี้ กับ Cowpea seeds จะแช่เมล็ดก่อนเป็นเวลา 4 ชั่วโมง ในน้ำที่อุณหภูมิ 38 ºC ในช่วงเช้าเวลา 08.00 - 12.00 น. หลังจากนั้นนำเมล็ดไปตากแดดเป็นเวลา 5 ชั่วโมง เพื่อควบคุมเชื้อ X. *vignicola* ซึ่งวิธีนี้จะเหมาะสำหรับใช้ในบริเวณที่อุณหภูมิ 45 ºC หรือสูงกว่านี้ตลอดทั้งวัน (Jindal, 1989)

2.6.6 การฆ่าเชื้อโรคที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์โดยการใช้รังสี (Radiation)

มีการศึกษาคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อควบคุมโรคที่ติดมากับเมล็ดในเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง การฆ่าเชื้อด้วยรังสี ,ไฟฟ้าความต่างศักย์สูง, คลื่นเสียงความถี่สูง และ คลื่นความถี่วิทยุความถี่สูง (VHF) radio waves จะมีประสิทธิภาพอย่างมาก การใช้กระแสไฟฟ้าที่ 4 kW/g เป็นเวลา 30 วินาที กับเมล็ดจะสามารถลดการเข้าทำลายของแบคทีเรียจาก 2 ถึง 5.9 % และ degree ของการปราศจากเชื้อนั้นขึ้นอยู่กับ แรงดันไฟฟ้า และ ระยะเวลาในการปล่อยกระแสไฟฟ้า การเข้าทำลายของแบคทีเรียในพืชที่มีการเจริญเติบโตจากเมล็ดที่ผ่าน ultrasonic radiation 21.3 kc/sec เป็นเวลา 15 นาที จะทำให้หารเข้าทำลายของแบคทีเรียในเมล็ดพืชลดลง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.7 คลื่นความถี่วิทยุ (Radio-Frequency, RF)

คลื่นความถี่วิทยุถูกนำมาประยุกต์ใช้กับกิจการด้านต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ด้านการสื่อสารทางไกล โดยแต่ละคลื่นความถี่จะมีความเหมาะสมกับกิจการแต่ละชนิด เช่น คลื่นความถี่ 88-108 MHz สำหรับวิทยุกระจายเสียงระบบ FM คลื่นความถี่ 800, 900, 1800 MHz สำหรับโทรศัพท์เคลื่อนที่ เป็นต้น สำหรับการประยุกต์ใช้ RF กับผลิตผลทางการเกษตรนั้นได้เริ่มมีการศึกษามาประมาณ 40 ปีมาแล้ว ราวปี ค.ศ.1965

2.7.1 การเกิดความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุ

เมื่อคลื่นความถี่วิทยุ มีหลักการในการสร้างความร้อนโดยการใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในระดับความถี่คลื่นวิทยุ ถูกปล่อยผ่านไปยังวัตถุ ที่ประกอบด้วยสารที่มีพันธะโมเลกุล 2 ขั้ว เช่น น้ำ ที่มีพันธะไฮโดรเจน 2 พันธะ เมื่อโมเลกุลขวางทิศทางของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จะเกิดการสั่นสะเทือน ความถี่ในการสั่นจะขึ้นอยู่กับ ความถี่ของคลื่นวิทยุที่ใช้ การสั่นสะเทือนจะทำให้เกิดการสะสมพลังงาน เป็นความร้อนจากการเสียดทานภายในโมเลกุล เรียกว่า Intermolecular friction และ กระบวนการ Hysteresis

2.7.2 ศักยภาพของคลื่นความถี่วิทยุสำหรับผลิตผลทางการเกษตร (Radio-Frequency Potential for Agricultural Application)

มีการใช้ RF เพื่อปรับสภาพเมล็ดพันธุ์ แทนวิธีกล และการใช้สารเคมีที่ใช้คลุกเมล็ดพันธุ์ เพราะใช้เวลาน้อยและไม่มีสารเคมีตกค้างในเมล็ด เมล็ดพันธุ์พืชบางชนิดที่มีการพักตัวแบบที่เปลือกหุ้มเมล็ดไม่ยอมให้น้ำซึมผ่าน (hard seed) เช่น เมล็ดพันธุ์ถั่ว alfalfa สามารถใช้ RF ทดแทนการใช้ heat treatment ในการแก้การพักตัวได้ และสำหรับพืชปลูกโดยทั่วไป เช่น ข้าวโพด, ฝ้าย (*Gossypium hirisutum*) และข้าวสาลี (*Triticum aestivum*) การใช้ RF treatment จะทำให้เพิ่มอัตราความงอกของเมล็ดพันธุ์ได้ (Nelson,1985) สำหรับ การใช้ RF เพื่อทำลายเชื้อรา และแบคทีเรีย ที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์ (seed decontamination) ได้มีการศึกษาวิจัยและประสบผลสำเร็จในการทำลายเชื้อราบางชนิดที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์ ทดแทนการใช้สารเคมีที่เป็นอันตรายได้ เช่น เชื้อรา *Phoma betae* ในเมล็ดพันธุ์ ผักกาดหวาน (sugar-beet ; *Beta vulgaris*) และ เชื้อรา *Fusarium culmorrum* ในเมล็ดพันธุ์ข้าวสาลี (Cwikilinski M. and K. von Hörsten, 1999) ซึ่งสามารถทำลายเชื้อราที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์ได้โดยไม่ทำให้เมล็ดพันธุ์สูญเสียความงอก

การใช้ RF กระบวนการผลิต (product processing) เพื่อปรับปรุงคุณภาพของผลิตผล เช่น ถั่วเหลือง (*Glycine max* L.) ซึ่งมักจะพบว่ามี trypsin inhibitor เป็นองค์ประกอบซึ่งถ้าจะนำมาเป็นอาหารคนหรือสัตว์ต้องกำจัดออกให้หมดเพื่อให้ได้คุณค่าทางอาหารอย่างเต็มที่ สามารถการทำลาย tripsin inhibitor โดยใช้ RF การใช้ RF ยังทำให้เอนไซม์ lipoxygenase ที่ทำให้รสชาติของอาหาร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ไม่ดี (off-flavors) หายไปด้วย แต่ยังคงพบเอนไซม์ peroxidase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่มีประโยชน์อยู่ในตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองอีกด้วย (Borchers, *et al*., 1972; Nelson, *et al.,* 1981)

การใช้คลื่นความถี่วิทยุ และไมโครเวฟประสบความสำเร็จอย่างดีในพืชหลายชนิด ในการควบคุมเชื้อรา แบคทีเรียและเชื้อไวรัสที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์ ในการศึกษาการใช้แม่เหล็กไฟฟ้าในการกำจัดเชื้อที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์จำเป็นต้องพิจารณาความสัมพันธ์ของค่า AMP (absorbed microwave power), DC (duty cycle) และ IMC (initial moisture content)ที่จะมีผลต่อความงอกและความแข็งแรงของเมล็ด ที่อุณหภูมิระดับหนึ่งสามารถจะกำจัดเชื้อที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์ได้แต่กลับมีผลให้ความงอกและความมีชีวิตของเมล็ดลดลงได้ในส่วนของระยะเวลาหากใช้ระยะเวลาในการให้คลื่นความร้อนมากไปก็จะส่งผลทางด้านลบแก่เมล็ดพันธุ์เช่นกัน นอกจากนี้ยังพบว่าความสำเร็จในการทำจะมีความสัมพันธ์กับชนิดและความชื้นในเมล็ดซึ่งจะมีความสัมพันธ์ต่อความสามารถในการดูดซับพลังงานที่ให้ไปและระดับของอุณหภูมิในส่วนของเมล็ด(Seaman and Wallen, 1966 ; Joliceur *et al*., 1982; Lozano *et al*., 1985; Cavalcante and Muchovej, 1993)

2.7.3 แนวทางการประยุกต์ใช้คลื่นความถี่วิทยุทางการเกษตร

2.7.3.1 การปรับสภาพเมล็ดพันธุ์ (Seed Treatment) มีการใช้ RF เพื่อทดแทนกรรมวิธีดั้งเดิม และทดแทนการใช้สารเคมีต่าง ๆ ที่ใช้คลุกเมล็ดพันธุ์ ได้และมีข้อได้เปรียบที่ใช้เวลาน้อย และไม่มีสารเคมีตกค้างในเมล็ด เช่น เมล็ดพันธุ์พืชบางชนิดที่มีการพักตัวแบบที่เปลือกหุ้มเมล็ดไม่ยอมให้น้ำซึมผ่าน (impermeability seed coat) เช่นเมล็ดพันธุ์ถั่ว alfalfa สามารถใช้ RF ทดแทนการใช้ Heat Treatment ในการแก้การพักตัวได้ และสำหรับพืชปลูกโดยทั่วไป เช่น ข้าวโพด, ฝ้าย และข้าวสาลี การใช้ RF treatment จะทำให้เพิ่มอัตราความงอกของเมล็ดพันธุ์ได้ (Nelson,1985) สำหรับ การใช้ RF เพื่อทำลายเชื้อรา และแบคทีเรียที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์ ได้มีการศึกษาวิจัยอย่างกว้างขวางและประสบผลสำเร็จในการทำลายเชื้อราบางชนิดที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์ทดแทนการใช้สารเคมีที่เป็นอันตรายได้ เช่น เชื้อรา *Phoma betae* ในเมล็ดพันธุ์ ผักกาดหวาน (Cwiklinski, 1999) และ เชื้อรา *Fusarium culmorrum* ในเมล็ดพันธุ์ข้าวสาลี (Hoersten, 1995) ซึ่งสามารถทำลายเชื้อราที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์ได้โดยไม่ทำให้เมล็ดพันธุ์สูญเสียความงอก

2.7.3.2 การควบคุมแมลงในขณะเก็บรักษา (Stored-Grain Insect Control) Nelson and Charity (1972) รายงานว่า การใช้คลื่นความถี่ 39 MH_z 3 วินาที และ 2,450 MH_z 13 วินาทีสามารถทำลายตัวเต็มวัยของ Rice weevils ในเมล็ดข้าวสาลีได้ 100% ซึ่งเรียกความถี่ดังกล่าวว่าเป็น Selective condition สำหรับ Rice weevils ซึ่งสามารถใช้ทดแทนการรมด้วยสารเคมี (fumigation) ได้และไม่ทำให้มีสารพิษตกค้างในผลิตผลอีกต่อไป อย่างไรก็ตาม ต้นทุนในการ ใช้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

RF ที่ความถี่ดังกล่าว นั้นสูงกว่าการใช้การรมสารเคมีหลายเท่าตัว ดังนั้นจึงจำเป็นจะต้องศึกษาวิจัยหา Selective condition ที่ประหยัดและเหมาะสมสำหรับแมลงแต่ละชนิดและชนิดผลิตผลต่าง ๆ ต่อไป (Nelson and Stetson, 1974)

2.7.3.3 กระบวนการผลิต (Product Processing) มีความพยายามหาวิธีในการใช้ RF เพื่อปรับปรุงคุณภาพของผลิตผล ตัวอย่างเช่นถั่วเหลือง (*Glycine max L.*) ซึ่งมักจะพบว่ามี trypsin inhibitor เป็นองค์ประกอบซึ่งถ้าจะนำมาเป็นอาหารคนหรือสัตว์จำเป็นจะต้องกำจัดออกให้หมดเพื่อให้ได้คุณค่าทางอาหารอย่างเต็มที่ Borchers *et al*. 1972; Pour–El *et al*., 1981; Nelson, *et al. 1981* ประสบความสำเร็จในการทำลาย Trypsin inhibitor โดยใช้ RF การใช้ RF ยังทำให้ Lipoxygenase ซึ่งเป็นเอนไซม์ ที่ทำให้รสชาติของอาหารไม่ดี (off-flavors) หายไปด้วย แต่ยังคงพบ peroxidase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่มีประโยชน์อยู่ในสิ่งทดลองอีกด้วย

2.7.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในเมล็ดพันธุ์กับการใช้ RF ในการทำลายเชื้อสาเหตุของโรคที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์และคุณภาพเมล็ดพันธุ์

เชื้อราหรือเชื้อแบคทีเรียตลอดจนแมลงที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์สามารถทำลายได้ด้วยการใช้ความร้อนจาก RF ถึงระดับหนึ่งทำให้ได้ค่าระดับอุณหภูมิที่สามารถทำลายเชื้อและแมลงที่ติดมาได้โดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อเมล็ดพันธุ์ แต่ทั้งนี้จะมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาที่ให้คลื่นความร้อนแก่เมล็ดด้วย หากใช้ระยะเวลา ที่ไม่เหมาะสมจะทำให้ความงอกและความแข็งแรงของเมล็ดลดลงได้ (Robert and Nelson, 2003)

การใช้คลื่น Radio Frequency และไมโครเวฟประสบความสำเร็จอย่างดีในการควบคุมเชื้อรา แบคทีเรีย และเชื้อไวรัสที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์พืชหลายชนิด (Seaman and Wallen, 1966; Joliceur *et al.,*1982; Lozano *et al.,* 1985: Cavalcante and Muchovej, 1993) การศึกษาถึงการใช้คลื่นความร้อนในการกำจัดเชื้อที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์จำเป็นต้องพิจารณาถึงความสัมพันธ์ของค่า Absorbed Microwave Power (AMP), Duty Cycle (DC) และ Initial Moisture Content (IMC) ที่มีผลต่อความงอกและความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ ที่ระดับอุณหภูมิหนึ่งสามารถกำจัดเชื้อที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์ได้แต่กลับมีผลให้ความงอกและความชีวิตของเมล็ดลดลงได้ และระยะเวลาในการให้คลื่นความร้อนที่นานเกินไปส่งผลทางด้านลบแก่เมล็ดพันธุ์เช่นกัน นอกจากนี้พบว่าความสำเร็จ มีความสัมพันธ์กับชนิดและความชื้นในเมล็ดซึ่งมีความสัมพันธ์กับความสามารถในการดูดซับพลังงานและระดับอุณหภูมิในเมล็ด Nelson (1961) ศึกษาถึงผลของการใช้คลื่น RF ต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าวสาลี ข้าวโพด และพืชตระกูลถั่ว พบว่า ค่าความชื้นเป็นปัจจัยสำคัญที่กำหนดระดับอุณหภูมิสูงสุดที่เมล็ดสามารถทนได้โดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหายแก่เมล็ดในขณะเดียวกันมีผลลด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การเกิดเมล็ดแข็งทำให้ความงอกของเมล็ดอัลฟาฟ่า และ red clover เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Lambert *et al.,* (1950); Iritani *et al.* (1954); Jonas, (1953) ที่พบว่า การให้ RF แก่เมล็ดวัชพืช อัลฟาฟ่า และ red clover ช่วยให้เมล็ดมีความงอกสูงขึ้นโดยในเมล็ดพันธุ์ผักต้องใช้ RF ที่ระดับ 43-44 megacycles (mc) ต่อนาทีจึงมีผลให้ความงอกเพิ่มขึ้น Nelson (1968) พบว่า การให้ RF และอินฟาเรดแก่เมล็ดอัลฟาฟ่า 27 ชนิดสามารถลดการเกิดเมล็ดแข็ง ทำให้เปอร์เซ็นต์ความงอกเพิ่มขึ้นจาก 40-60 % เป็น 80-90 % จึงกล่าวได้ว่าระยะเวลาในการให้คลื่นความร้อนแก่เมล็ดมีความสัมพันธ์กับค่าความชื้นในเมล็ด Stuart *et al*, (1985) ให้ RF ที่ระดับ 10 และ 40 MH_z และคลื่นไมโครเวฟที่ระดับ 2.45 MH_z แก่เมล็ดพันธุ์พืช 80 ชนิดพบว่าในเมล็ดขนาดเล็กเช่น legumes alfalfa (*Medicao sativa* L) red clover (*Trifolium pratense* L.) arrowleaf clover (*Trifolium vesicullosum Savi*) ทำให้ได้ต้นอ่อนปกติมากขึ้นและช่วยลดการเกิดเมล็ดแข็งได้เช่นกัน

Joliceur *et al.,* (1982) พบว่า การให้คลื่นไมโครเวฟ 675 วัตต์ต่อ 100 เมล็ด นาน 160 วินาที แก่เมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่ความชื้นเมล็ดพันธุ์เริ่มต้น 8.5 % สามารถช่วยลดการปนเปื้อนของเชื้อ *mosaic virus* จากที่เคยปนเปื้อนสูงถึง 45-70 % ลงได้ ในขณะเดียวกัน Stephenson*et et al.* (1994) ทำการทดลองในข้าวบาร์เลย์ พบว่า สามารถทำลายโรค loose smut ได้โดยไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความงอกของเมล็ด

Lozano *et al.,* (1986) ศึกษาผลของการใช้คลื่นไมโครเวฟในการกำจัดเชื้อสาเหตุโรคที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์ Cassava true seed ที่พลังงาน 1400 วัตต์, 2.45 MH_z นาน 120 นาทีพบว่า ที่ระดับอุณหภูมิ 77 องศาเซลเซียสเหมาะสมต่อการทำลายเชื้อที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์โดยเมล็ดพันธุ์ยังคงมีความงอกสูงถึง 95 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งในการใช้ความร้อนโดยวิธีปกติไม่สามารถลดการปนเปื้อนของเชื้อ *Fusalium* sp. และ *Collectotricum* sp. ได้ Cavalcante and Muchovej (1993) ศึกษาถึงการให้ความร้อนแก่เมล็ดเพื่อควบคุมเชื้อที่ติดมากับเมล็ดถั่วเหลือง, ถั่วลิสง, ถั่ว (*Phaseolus vugaris* L.), ข้าวสาลี และข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ โดยให้คลื่นความร้อนที่ 1420 วัตต์ 2.45 MH_z นาน 0-7 นาที พบว่าระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นมีผลให้ปริมาณเชื้อที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์และเปอร์เซ็นต์ความงอกลดลงและปรากฏลักษณะจุดด่าง (chlorotic spot) เกิดขึ้นที่ส่วนของใบเลี้ยงแต่ไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อเอมบริโอ การให้คลื่นความร้อนมีผลให้ความมีชีวิตของสปอร์เชื้อราที่อยู่แบบเดี่ยวลดลง ในขณะที่สปอร์ที่อยู่รวมกันเป็นกลุ่มมีการตอบสนองที่ช้ากว่าและใน dark spore จะได้รับผลกระทบน้อยกว่า hyaline spore ต่อมา Bhaskara *et al.,* (1995) ใช้คลื่นไมโครเวฟในการกำจัดเชื้อ *Diaporthe Phasrolorum* ในเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองโดยให้พลังงานที่ระดับ 750 วัตต์ 2.45 MH_z พบว่าปริมาณความชื้นในเมล็ดมีผลต่อการดูดซับพลังงานของเมล็ด ที่ความชื้นเมล็ดพันธุ์สูงเมล็ดสามารถดูดซับคลื่นความร้อนได้ดี และโมเลกุลของน้ำมีส่วนช่วยป้องกันการสูญเสียความงอกและความแข็งแรง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ของเมล็ดได้ ประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อมีความสัมพันธ์กับตำแหน่งของเชื้อในเมล็ดหากเชื้อปนเปื้อนอยู่บริเวณส่วนนอกสามารถกำจัดได้ดีกว่าเชื้อที่อาศัยอยู่ในเมล็ด ต่อมา Bhaskara*et al.,* (1998) พบว่า การให้คลื่นไมโครเวฟแก่เมล็ดพันธุ์ข้าวที่ความชื้นเมล็ดพันธุ์เริ่มต้น 8 14 และ20 % โดยให้ AMP ที่ระดับ 0.3 0.4 0.5 0.6 w/g ในระยะเวลา Duty Cycle ที่ 20 30 40 และ 50 s/m สามารถลดการปนเปื้อนของเชื้อ *Fusarium graminearum* ได้ 4-7 % โดยที่เมล็ดพันธุ์ยังคงมีเปอร์เซ็นต์ความงอกสูงถึง 85 % และที่ระดับความชื้นเมล็ดพันธุ์เริ่มต้น 14 %เหมาะสมที่สุด ณัฐศักดิ์ (2544) พบว่า การให้คลื่นไมโครเวฟที่ระดับพลังงาน 800 วัตต์ นาน 40 วินาทีแก่เมล็ดพันธุ์ถั่วลิสงสามารถลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ จาก 6.0 % เหลือ 5.27 % โดยที่สามารถรักษาความมีชีวิตของเมล็ดพันธุ์ไว้ได้

2.7.5 ผลของการใช้ RF ต่อลักษณะโครงสร้างภายในเซลล์ของเมล็ดพันธุ์

John (1970) ศึกษาถึงผลของการให้คลื่น Radio Frequency ต่อการเปลี่ยนแปลงของสิ่งมีชีวิต พบว่า การให้คลื่น Radio Frequency ที่ระดับพลังงานสูงๆ มีผลยับยั้งกระบวนการแบ่งเซลล์ อย่างชั่วคราวในเซลล์ที่ทำการเพาะเลี้ยงในหลอดทดลอง ชักนำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านพันธุกรรม เช่น การกลายพันธุ์ของโครโมโซม เกิดลักษณะผิดปรกติในเซลล์ที่มีชีวิตทั้งเซลล์พืชและเซลล์สัตว์ ชักนำให้เกิดการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนของสารพันธุกรรม (crossing over) ในเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้ (male germ cell) แต่การให้พลังงานในระดับที่เหมาะสมสามารถช่วยทำลายการพักตัวของหัวพันธุ์แกลดิโอลัส ส่วนผลต่ออวัยวะภายในเซลล์ (intracellular organelles) พบว่า มีผลต่อการแบ่งเซลล์แบบ mitosis เกิดโครโมโซมผิดปรกติเป็นจำนวนมาก เกิดลักษณะ bridging fragmentation และ micronuclei ในเซลล์ส่วนปลายราก (root tip) ของกระเทียม

การให้คลื่น Radio Frequency แก่พืชในกลุ่มปอ ป่าน สามารถชักนำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงชนิดของเซลล์สืบพันธุ์ โดยทำให้เกิดต้นตัวเมียได้สูงขึ้น 20-25 % และช่วยลด oxidative processes ในเนื้อเยื่อพืช นอกจากนี้ Pittman (1963) พบว่า การให้คลื่น Radio Frequency มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของการเกิดเพศในพืชใบเลี้ยงเดี่ยว เช่น ข้าวโพด แตงกวา กระตุ้นให้เกิดเพศผู้ (masculinity)

2.7.6 ผลของการใช้ RF ต่อการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบทางเคมีและการเกิดกิจกรรมของเอมไซม์ในเมล็ดพันธุ์

การใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโดยเฉพาะ คลื่น Microwave และ RF เป็นที่นิยมอย่างสูงในกระบวนการผลิตอาหารของผลิตภัณฑ์จากพืชและสัตว์ เพื่อใช้ในการยับยั้งการเกิดกิจกรรมของเอมไซม์ที่ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพ เช่น ในเมล็ดฝ้ายและข้าว (Tao and Liuzzo, 1993; Conkerton *et al.,* 1994) Lazarenko and Gorbatovskaya (1966) รายงานว่าการให้คลื่นความร้อนแก่เมล็ดพันธุ์พืช

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สามารถทำลายการพักตัวของเมล็ดได้ โดยเฉพาะในพืชที่มีอัตราการงอกต่ำการเกิดกระบวนการทางเคมีภายในต้นกล้าเกิดได้ดีขึ้น โดยเมล็ดมีอัตราการหายใจและการเกิดกิจกรรมของเอนไซม์ไฮโดรไลติกสูงขึ้น ในเมล็ดที่ผ่านการให้คลื่นความร้อนที่ 2-4 KV/cm และ 8 KV/cm นาน30 วินาที ถึง 1 นาที ภายหลังจากเก็บรักษาไว้ 10-17 วัน ส่งผลให้ต้นกล้าที่ได้มีปริมาณคลอโลฟิลล์สูงขึ้นถึง 86 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณคาโรทีนอยด์สูงขึ้นถึง 50 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับต้นกล้าปรกติที่เกิดจากเมล็ดที่ไม่ได้รับคลื่นความร้อน (Kozhevnikova and Stank, 1966) นอกจากนี้พบว่าในเมล็ดเก่าการให้คลื่นความร้อนสามารถทำให้เมล็ดมีความงอกสูงขึ้น ปริมาณแป้ง invert sugar อัตราการแตกหน่อต่อพื้นที่ และปริมาณอัลบูมินเพิ่มขึ้น การให้คลื่น high-frequency สามารถยับยั้งการเกิดกิจกรรมของเอนไซม์บางชนิดในผักและผลไม้ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการกำหนดช่วงของการเก็บเกี่ยวผลผลิต (Robert and Nelson, 1996) และพบการเพิ่มขึ้นของสารเร่งการเจริญเติบโตที่คล้ายกับ Phenylalanine Ammonia-lypase (PAL) ในถั่วฝักสด และมันฝรั่ง (Jones *et al.,* 1986)

Irfan (1999) รายงานการให้คลื่น Radio Frequency ที่ระดับพลังงาน 140 วัตต์ และคลื่น Microwave ที่ระดับพลังงาน 1200 วัตต์ ความถี่ 2.45 MH_Z แก่เมล็ด Rape seed พบว่าการให้คลื่น Radio Frequency ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ไม่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันและการไหม้ของสารหอมระเหย (aroma) ในขณะที่ Pour *et al.,* (1981) กลับพบว่า การให้คลื่นไมโครเวฟแก่ถั่วเหลืองที่ระดับพลังงาน250-300 cal/g. มีผลให้การเกิดกิจกรรมของ trypsin inhibitor urease และ lypoxyenase ในถั่วเหลืองและถั่วฝักสด ลดลง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นมีความสัมพันธ์โดยตรงจากการดูดซับพลังงานและระยะเวลาที่ให้แก่เมล็ด

2.7.7 Heat Shock Proteins (HSPs)

Heat Shock Proteins คือ โปรตีนที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นในสิ่งมีชีวิตบางชนิดเพื่อตอบสนองต่อสภาวะเครียดที่เกิดขึ้น (Heikkila *et al*., 1984) การสังเคราะห์ HSPs ถือเป็นการตอบสนองที่เกิดขึ้นชั่วคราวในระดับเซลล์ที่แสดงออกเมื่อสิ่งมีชีวิตได้รับสภาพเครียด (Perdrizet, 1997) หรือความร้อนในระดับที่ไม่เกิดอันตรายถึงระดับเสียชีวิต การได้รับสารเคมีหรือโลหะหนัก การมีอนุมูลอิสระจำนวนมาก ความเครียดจากค่าออสโมติกของน้ำ การได้รับแสงมากเกิน การขาดอาหารและขาดออกซิเจน (Novel, 1991) การเจ็บป่วยและการติดเชื้อไวรัสเป็นต้น (Perdrizet, 1997) ซึ่งการสังเคราะห์ HSPs เป็นอีกกลไกหนึ่งในการรักษาตัวเองของเซลล์ให้สามารถมีชีวิตรอดจากสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม (ดนัย, 2540) ในสัตว์ที่มีกระดูกสันหลังและแบคทีเรียนั้น พบว่า HSPs ถูกสังเคราะห์ขึ้นเมื่ออุณหภูมิของสภาพแวดล้อมเพิ่มสูงขึ้น 5-10 องศาเซลเซียสจากอุณหภูมิปรกติ (Novel, 1991)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.7.7.1 ชนิดของ Heat Shock Proteins (HSPs) ในพืช

HSPs ในพืชตรวจพบครั้งแรกในถั่วเหลือง (Barnett *et al*., 1980) HSPs ที่พบในพืชตระกูลสูงและพืชทั่วไปโดยมากเป็น HSPs ที่มีมวลโมเลกุลต่ำหรือเป็น Small Heat Shock Proteins (smHSPs) ในพืชบางชนิดอาจพบ smHSPs ที่ต่างกันได้ถึง 40 ชนิด (Viering, 1991) ซึ่ง smHSPs นี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 5 กลุ่มตามอวัยวะที่เกิดการสังเคราะห์ คือ

กลุ่มที่ 1 Cytosolic *I* สังเคราะห์ที่ไซโตซอล
กลุ่มที่ 2 Cytosolic *II* สังเคราะห์ที่ไซโตซอล
กลุ่มที่ 3 สังเคราะห์ที่คลอโลพลาสต์
กลุ่มที่ 4 สังเคราะห์ที่ไมโตคอนเดรีย
กลุ่มที่ 5 สังเคราะห์ที่เอนโดพลาสมิคเรติคิวลัม

2.7.7.2 หน้าที่และบทบาทของ Heat Shock Proteins (HSPs)

การตอบสนองต่อสภาพเครียดเป็นปฏิกิริยาตอบสนองของเซลล์และอวัยวะต่างๆ เมื่อได้รับสภาพเครียดจากอุณหภูมิที่ระดับต่างๆ ซึ่งสภาพเครียดเนื่องจากการได้รับความร้อนส่งผลให้เซลล์ตาย ในขณะเดียวกันเกิดการชักนำให้เซลล์ตอบสนองต่อความเครียดจากความร้อนที่เกิดขึ้นเรียกว่า The Heat-Shock Response ซึ่งมีผลดังนี้

1. เกิดกระบวนการปกป้องและป้องกันความเสียหายที่จะเกิดแก่เซลล์และอวัยวะต่างๆ
2. เกิดกระบวนการเริ่มต้นใหม่ (resumption) ของการกลับมาเป็นเซลล์ปกติ และการเกิดกิจกรรมทางด้านสรีรวิทยาของเซลล์
3. นำไปสู่การทนทานความร้อนที่สูงขึ้น ระดับความสามารถในการทนความร้อนของเซลล์สูงขึ้น

ความสัมพันธ์ของการแสดงออกของ HSPs ในสิ่งมีชีวิตต่อการต้านทานต่ออุณหภูมิสูงนำไปสู่การตั้งสมมุติฐานที่ว่า HSPs เป็นปัจจัยหลักในการป้องกันหรือต้านทานต่อความเสียหายของเซลล์เมื่อได้รับอุณหภูมิสูง (Lavoie *et al.,* 1995) การตอบสนองต่อความร้อน (Heat shock response) เมื่อเซลล์ได้รับอุณหภูมิที่สูงเกิน HSPs ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นจะทำหน้าที่ซ่อมแซมโปรตีนที่เกิดการเสื่อมสภาพ นอกจากนี้พบว่าเซลล์หลายชนิดมีความสามารถสังเคราะห์ DNA repair enzyme ได้ (ดนัย และ อังสนา, 2540) กระบวนการในการปรับตัวต่อการตอบสนองต่อความร้อนเพื่อสามารถมีชีวิตอยู่ได้ของเซลล์ โดยเกิดการป้องกันเซลล์จากผลของสภาวะเป็นพิษของโปรตีน (protein toxic effect) จากสภาพเครียดจากความร้อน ความสามารถในการทนทานต่อสภาวะเครียดจากสิ่งแวดล้อมในระดับที่สูงขึ้น การตอบสนองของเซลล์ในระดับโมเลกุลต่อสภาพ heat shockทำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ให้เกิดกระบวนการตอบสนองชั่วคราวของเซลล์ (transition reprogramming) เกิดการสังเคราะห์ HSPs ขึ้น ในขณะเดียวกันการสังเคราะห์โปรตีนปรกติจะหยุดลงชั่วคราว การสะสมของปริมาณ HSPs ที่พบได้ขึ้นกับจำนวน HSPs ที่เพียงพอสำหรับป้องกันเซลล์และสามารถกระตุ้นให้เซลล์มีระดับความทนทานความร้อนที่สูงขึ้น (Bostonet *et al.,* 1996; Schoffl *et al.,* 1998a, 1998b, 1998c) ในการศึกษาในหลอดแก้ว (*in vitro*) พบว่า HSPs บางชนิดสามารถทำหน้าที่ได้เช่นเดียวกับ molecular chaperone (Jinn *et al.,* 1989) ซึ่งในสภาพปรกติ molecular chaperone ทำหน้าที่จับกับโปรตีนที่เพิ่งสังเคราะห์เสร็จ แล้วเกิดการรวมตัวกันเป็นโครงสร้างขนาดใหญ่ก่อให้เกิดเป็น conformation ของโปรตีนได้อย่างปกติ (ดนัย และ อังสนา, 2540; วีรพล, 2546) ส่วนของ HSPs chaperone ทำหน้าที่จับกับโปรตีนที่เสียสภาพเนื่องจากสภาวะเครียดต่างๆ แล้วทำให้เกิดการรวมตัวเป็นโปรตีนที่สมบูรณ์แบบอีกครั้ง ตลอดจนป้องกันไม่ให้เกิดการรวมตัวกันของโปรตีนอย่างผิดระเบียบ (Landy and Gierash, 1994; Forrieter *e., al* 1997)

Nadja *et al.,* (1996) ศึกษาถึงการชักนำและสะสม HSPs ในเมล็ดพันธุ์ *Arabidopsis thaliana* ในระยะการสุกแก่ภายใต้สภาพเครียดเนื่องจากการสูญเสียน้ำ พบว่า เกิดการสะสมของ HSPs class I ยีน Athsp 17.4 ซึ่งเป็น HSPs หลักที่มีการสะสมในระยะการสุกแก่ของเมล็ดขึ้น และพบว่า ตลอดระยะเวลาการพัฒนาของเมล็ดและระยะเวลาที่เมล็ดงอกเกิดการสังเคราะห์ และสะสม HSPs ทั้งชนิด class I และ class II ในส่วนของ mRNA และโปรตีนในเมล็ดถั่ว pea (Vierling and Sun, 1989; DeRocher and Vierling, 1994) ข้าวสาลี (Helm and Aber-anthy, 1990) ทานตะวัน (Almonguera and Jordono, 1993; Coca *et al.,*1994) อัลฟาฟ่า (Howarth, 1990)

อย่างไรก็ตามการใช้ RF กับผลิตผลทางการเกษตรต่าง ๆ ยังมีปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณภาพผลิตผล โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ความชื้นของผลิตผล (moisture content) ,อุณหภูมิสูงสุดที่ไม่ทำให้ผลิตผลสูญเสียคุณภาพ (Lethal temperature), ความถี่ของคลื่น RF ที่ใช้, กำลังไฟฟ้า (electric power ; Watt), ระยะเวลา (processing time) ,ปริมาณของตัวอย่าง (sample size) ดังนั้นการประยุกต์ใช้ RF เพื่อวัตถุประสงค์ต่าง ๆ จึงยังจำเป็นจะต้องศึกษาวิจัย โดยละเอียดต่อไป (http://www.phtnet.org/newsletter/Issue15/pht_tips.asp)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.8 คุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดที่เกี่ยวเนื่องกับการให้ RF แก่เมล็ด

2.8.1 ผลของอุณหภูมิต่อเมล็ด (Thermo sensitivity)

ความสามารถในการงอกของเมล็ด บางครั้งอาจสูญเสียไปได้โดยง่าย ถ้าหากไม่ทำให้เมล็ดแห้งก่อนจะนำไปทำการเก็บรักษา โดยเมล็ดที่ได้จากการเก็บเกี่ยวใหม่ๆจะมีความชื้นสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเก็บเกี่ยวมาทั้งต้นแล้วนำไปผ่านเครื่องนวดเพื่อแยกเมล็ดออก เศษต่างๆได้แก่ ใบ ลำต้น และวัชพืชที่ติดมา สามารถผลิตความร้อนในปริมาณที่มากพอในเวลาไม่กี่ชั่วโมง ซึ่งความร้อนดังกล่าวจะมีผลในกาทำลายความมีชีวิตของเมล็ด ทำให้เมล็ดมีคุณภาพไม่ดี ดังนั้น การอบเมล็ดให้แห้งก่อนการเก็บรักษาจึงเป็นวิธีที่จะช่วยลดระดับการสูญเสียความงอกของเมล็ดได้เป็นอย่างดี

เมล็ดที่มีความชื้น ก่อนจะนำไปอบแห้งเพื่อลดความชื้น ก่อนการเก็บรักษา ควรจะนำไปบ่มที่อุณหภูมิต่ำก่อนเพื่อทำให้เมล็ดแห้งไปบางส่วน เนื่องจากเอนไซม์ต่างๆที่มีอยู่ภายในเมล็ดนั้นง่ายต่อการถูกทำลายมาก ถ้าหากนำเมล็ดไปผ่านความร้อนโดยทันที อาจทำให้เอนไซม์ต่างๆเสียสภาพได้ และความร้อนในระหว่างทำการอบเมล็ดอาจทำให้เมล็ดเสียความมีชีวิตได้

2.8.2 การถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer)

โดยธรรมชาตินั้น ความร้อนจะมีการถ่ายเทระหว่างสสาร 2 ชนิด หรือ ระหว่างบริเวณ 2 บริเวณ ที่มีความแตกต่างกันของอุณหภูมิ ความร้อน จะมีการถ่ายเทจากจุดที่มีอุณหภูมิสูง ไปยังที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า เนื่องผลต่างของอุณหภูมิ และความร้อนจะมีการถ่ายเทผ่านตัวกลางเสมอ ซึ่งเป็นได้ทั้งของแข็ง ของเหลว และก๊าซ ซึ่งการถ่ายเทความร้อนในวัสดุที่เป็นของแข็งนี้ จะเป็นแบบ การนำความร้อน (Conduction) ซึ่งจะเกิดขึ้นโดยที่อนุภาคของสาร เป็นตัวถ่ายเทความร้อนให้กับอนุภาคที่อยู่ใกล้เคียงกัน หรือให้กับอนุภาคที่วิ่งเข้ามาชนกันโดยบังเอิญ โดยทั่วไปเราไม่สามารถมองเห็นการเคลื่อนไหวของอนุภาคเหล่านี้ด้วยตาเปล่า แต่เราก็สามารถพิสูจน์ได้ว่ามีการถ่ายเทด้วยกลไกแบบนี้ การถ่ายเทลักษณะนี้เกิดขึ้นได้ดีในสสารที่เป็นของแข็ง ทั้งนี้เพราะอนุภาคของแข็งอยู่ใกล้ชิดกันมากกว่า ของเหลว หรือก๊าซ

ในความเป็นจริง การถ่ายเทความร้อนจะเป็นลักษณะแบบไม่คงตัว (Unsteady state heat transfer) นั่นคือในการถ่ายเทความร้อนให้กับสสาร หรือถ่ายเทออกจากสสารใดๆก็ตาม อย่างน้อยในระยะเริ่มต้นของกระบวนการ ความร้อนจะมีการเปลี่ยนแปลงแบบที่ละน้อยแปรผันกับเวลาที่ผ่านไป อุณหภูมิจะค่อยๆเปลี่ยนแปลงไปเรื่อยๆ จนกระทั่งผ่านไปได้ระยะเวลาหนึ่ง จึงจะได้อุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิที่เป็นเป้าหมาย (Target Temperature) ความสัมพันธ์ระหว่าอุณหภูมิ กับเวลานี้ ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติในการถ่ายเทความร้อนของระบบ ในการเพิ่มอุณหภูมิให้กับวัสดุทางการเกษตร ซึ่งเป็นวัสดุที่มีการถ่ายเทความร้อนที่ไม่ดี จะใช้เวลาที่นาน อุณหภูมิที่จุดต่างๆภายในระบบจะไม่สม่ำเสมอ อุณหภูมิจะมีความแตกต่างกันมาก ซึ่งกว่าที่ความร้อนภายในแต่ละจุดจะมี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การถ่ายเทความร้อน จนกระทั่งทุกๆจุด มีอุณหภูมิใกล้เคียงกัน และเท่ากันในที่สุด (Equilibrium Temperature)

ในการให้ RF แก่เมล็ดจนเกิดความร้อนนั้น ความร้อนจะเกิดขึ้นตรงส่วนที่มีความชื้น และตรงจุดที่มีความชื้นสูง จะเกิดความร้อนได้มากกว่าจุดที่มีความชื้นต่ำ หลังจากนั้น ก็จะเกิดการถ่ายเทความร้อนจากจุดที่มีความชื้นสูงกว่าไปยังส่วนที่มีความชื้นต่ำกว่าเพื่อรักษาสมดุล ในการเตรียมเมล็ดเพื่อทำการให้ RF จึงต้องมีการปรับความชื้นให้มีความสม่ำเสมอเท่ากัน เพื่อที่ในขณะที่ให้ RF เมล็ดจะมีการเพิ่มอุณหภูมิในอัตราที่สม่ำเสมอทั่วทั้งภาชนะบรรจุเมล็ด (Container) ถ้าหากเมล็ดมีความชื้นที่ไม่เท่ากันแล้ว ในขณะที่ให้ RF เมล็ดบางจุดที่มีความชื้นต่ำก็จะมีอุณหภูมิต่ำกว่าความเป็นจริง การใช้ RF ตามการทดลองอาจผิดพลาดได้ แต่ถ้าเกิดความชื้นเมล็ดบางจุดสูงก็จะมีอุณหภูมิสูงกว่าความเป็นจริง อาจทำให้เมล็ดบริเวณนั้นเกิดความเสียหายจากความร้อนได้

2.8.3 ความชื้น (Moisture content)

เป็นการอธิบายปริมาณความชื้น (น้ำ) ที่สามารถออกจากเมล็ดโดยการลดความชื้น แสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักเริ่มต้น ในการคิดคำนวณเพื่อใช้ในการให้ RF จะใช้ความชื้นฐานแห้ง (dry basis) เพราะ ต้องการทราบถึงปริมาณน้ำทั้งหมดที่มีในเมล็ด เนื่องจาก น้ำคือสารที่จะเกิดความร้อนจากการให้ RF แก่เมล็ดนั้นๆ ระดับความร้อนที่เกิดขึ้นจะสัมพันธ์กับ ปริมาณน้ำที่มีในเมล็ด

2.8.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้น (Moisture relationships)

เป็นที่ทราบกันมานานแล้วว่า ถ้าเมล็ดถูกเก็บไว้ในสภาพบรรยากาศคงที่ระยะเวลาหนึ่ง ปริมาณความชื้นจะเข้าสู่สมดุลภายในสภาพนั้นๆ ความชื้นสมดุลจะขึ้นอยู่กับความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิ ซึ่งอุณหภูมิจะเป็นปัจจัยที่สำคัญเนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ จะเห็นได้ว่าทั้งความชื้นของเมล็ด ความชื้นสัมพัทธ์ และความชื้นสมดุล ต่างก็มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน

ความชื้นสมดุลของเมล็ดจะแตกต่างกันไปแล้วแต่ชนิดของเมล็ดพันธุ์ และที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆ องค์ประกอบทางเคมีภายในเมล็ดที่แตกต่างกันไปตามชนิดของเมล็ดพันธุ์ก็จะไปมีผลต่อการดูดซับน้ำ น้ำมันและไขมันจะไม่ดูดซับน้ำ โปรตีนและการดูดซับน้ำมากที่สุดต่อ 1 หน่วยน้ำหนัก ส่วนแป้งจะดูดซับน้ำน้อยกว่าโปรตีนแต่มากกว่าไขมัน ดังนั้น เมล็ดพืชที่มีปริมาณไขมันต่ำ เช่น ข้าวสาลี จะมีความชื้นสมดุลสูงกว่าเมล็ดพืชที่มีไขมันสูง เช่น กะล่ำปลี ที่มีความชื้นเดียวกัน คือ ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 60% ข้าวสาลี (ไขมัน 2%) จะมีความชื้นสมดุลเท่ากับ 12% สวนกะหล่ำปลี (ไขมัน 35%) จะมีความชื้นสมดุลเท่ากับ 7%

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ขนาดของเมล็ด ความหนาบางของ Seed coat ก็จะส่งผลให้เกิดความแตกต่างของปริมาณสารประกอบทางเคมีภายในเมล็ด เมล็ดพืชชนิดเดียวกันแต่มาจากคนละแหล่งกัน จึงมีความชื้นสมดุลที่แตกต่างกันที่ความชื้นสัมพัทธ์เดียวกัน

ปริมาณความชื้นของเมล็ดที่จุดสมดุลที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆจะขึ้นอยู่กับการดูดซับความชื้น (Adsorption) และการคายความชื้น (Desorption) ของเมล็ด ความแตกต่างของปริมาณความชื้นระหว่างการดูดซับความชื้น และการคายความชื้นนี้ เรียกว่า hysteresis

ความชื้นสมดุลของเมล็ดชนิดต่างๆอาจจะมีความแตกต่างกันประมาณ ± 2 % ขึ้นอยู่กับความแตกต่างขององค์ประกอบทางเคมี hysteresis และอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาเมล็ด รวมทั้งความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศก็จะมีผลต่อปริมาณความชื้นของเมล็ด

ในการเตรียมเมล็ดก่อนการให้ RF จะต้องมีการปรับสภาพเมล็ดต่างๆซึ่งรวมทั้งความชื้นด้วย โดยในการหาความชื้นที่ได้จากการคำนวณนั้น จะเป็นความชื้นรวมทั้งหมด แต่ ในแต่ละเมล็ดความชื้นอาจจะยังไม่มีความสม่ำเสมอ เราจึงต้องเก็บเมล็ดไว้ในภาชนะปิด มีช่องว่างน้อยที่สุด และเก็บไว้ในที่เย็น เพื่อให้ความชื้นในเมล็ดทั้งหมดมีการแลกเปลี่ยน ถ่ายเทความชื้นกันภายในเมล็ดทั้งชุด โดยใช้เวลาระยะหนึ่ง เมื่อเมล็ดมีความสมดุลความชื้นแล้ว เมล็ดทุกเมล็ดจะมีความชื้นเท่ากันทั้งหมด เมื่อนำเมล็ดที่มีความชื้นสม่ำเสมอไปทำการให้ RF จะทำให้อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นระหว่างการทดลองเพิ่มขึ้นเท่าๆกันสม่ำเสมอทุกเมล็ด

2.8.3.2 จุดสมดุลความชื้น (Hygroscopic equilibrium)

คือการดูดน้ำและคายความชื้นระหว่าเมล็ดกับบรรยากาศรอบๆจนถึงจุดสมดุล ณ อุณหภูมิหนึ่ง เมล็ดจะมีความชื้นคงที่

หลังการให้ RF กับเมล็ด ภายในเมล็ดจะยังคงมีความร้อนสูงอยู่ระยะหนึ่ง และน้ำในเมล็ดจะมีการเคลื่อนที่อย่างไม่เป็นระเบียบอันเนื่องจากแรงดันไอของน้ำในเมล็ดมีสูง เมล็ดจะมีการคลายพลังงานพร้อมกับรักษาสภาพสมดุลความชื้นจนกระทั่งถึงจุดๆหนึ่งที่เมล็ดมีอุณหภูมิลดต่ำลงจนไม่มีการคายพลังงานอีก แรงดันไอภายในและภายนอกเมล็ดจะเท่ากัน ทำให้ปริมาณน้ำในเมล็ดคงที่ หลังจากที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของความชื้นแล้ว เราจึงจะสามารถนำเมล็ดไปตรวจผลการทดลองได้

2.8.4 รูปร่างของเมล็ด

2.8.4.1 ปริมาตร และความหนาแน่น (Volume and density)

ในภาชนะที่เก็บรักษาเมล็ดจะมีทั้งส่วนของเมล็ดและอากาศรวมอยู่ ความหนาแน่นของเมล็ดจะแสดงออกมาเป็นกิโลกรัมต่อเฮกโตลิตร (kg/hl) ปริมาตรของเมล็ดก็จะเพิ่มขึ้นประมาณ 1.4% ต่อความชื้นของเมล็ดที่เพิ่มขึ้น 1% อันเนื่องจากการอวบน้ำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปริมาตร และความหนาแน่น เป็นปัจจัยสำคัญในการถ่ายเทพลังงาน โดยเกี่ยวข้องกับจุดสัมผัสระหว่างกันของเมล็ดในการให้ RF เพราะ พลังงานที่ให้จะไหลไปตามการสัมผัสตั้งแต่ผิว aluminum plate ผ่าน เมล็ดข้าวโพด ไปจนถึง aluminum plate อีกด้านหนึ่ง ซึ่งหากเมล็ดมีการสัมผัสกันมาก การไหลของพลังงานดี การเกิดความร้อนก็จะเป็นไปได้ดีเช่นกัน ความร้อนที่เกิดขึ้นก็จะเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอทั่วทุกเมล็ด แต่ถ้าเมล็ดมีการสัมผัสกันน้อย การไหลของพลังงานเป็นไปได้อย่างไม่สะดวก พลังงานจะมีทางไหลผ่านน้อยด้วยเช่นกัน หากให้ RF ไปในเมล็ด พลังงานจะไหลรวมไปยังจุดสัมผัสที่น้อยอาจทำให้เกิดการไหม้ตามจุดสัมผัสได้ หรือไม่ก็พลังงานไม่สามารถไหลผ่านจนไม่เกิดความร้อนขึ้นมาได้

2.8.4.2 ปริมาณช่องว่างระหว่างเมล็ด (Porosity)

เกิดจากอิทธิพลของความชื้นและลักษณะการบรรจุ สำคัญต่อการให้ RF โดยเฉพาะ หลังการให้ RF ช่องว่างระหว่างเมล็ดจะเป็นที่อยู่ของไอน้ำที่ออกมาจากเมล็ด ซึ่งเมื่อเมล็ดมีการคายพลังงานจนหมดจะมีการกลับเข้าสู่จุดสมดุลความชื้น หากช่องว่างในเมล็ดเล็กเกินไป ความชื้นที่ออกมาจากเมล็ดจะไม่มีที่พอที่จะอยู่รอบๆเมล็ดได้ เมื่อเมล็ดเริ่มเย็นตัวลง จะมีการควบแน่นเข้าด้วยกันจนกลายเป็นหยดน้ำรอบๆเมล็ด ทำให้เมล็ดมีความชื้นสูงบริเวณผิวจากการดูดเอาหยดน้ำเข้าไปได้ แต่ถ้าหากช่องว่างในเมล็ดใหญ่เกินไป เมื่อความชื้นในเมล็ดออกมาแล้วจะแทรกเข้าไปในอากาศที่มีอยู่มากพอรอบๆเมล็ด เมื่อเมล็ดเย็นลง จะไม่สามารถดูดกลับความชื้นได้ ทำให้เมล็ดสูญเสียความชื้นไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved