บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

งาเป็นพืชน้ำมันที่สำคัญทางเศรษฐกิจพืชหนึ่งของประเทศและมีแนวโน้มที่จะทวีความสำคัญมากขึ้นทุกปี เนื่องจากงาเป็นพืชน้ำมันที่มีศักยภาพทางการตลาดสูงแต่ศักยภาพในการผลิตค่อนข้างต่ำ (60-80 กิโลกรัมต่อไร่) งามีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Sesamum indicum* เป็นพืชล้มลุกในวงศ์ Pedaliaceae มีถิ่นกำเนิดในแถบประเทศเอธิโอเปียในทวีปอัฟริกา จำนวนโครโมโซม 2n = 26 (รังสฤษดิ์, 2541)

ลักษณะทางพฤกษาศาสตร์

ราก งามีระบบรากแบบรากแก้ว ที่ยาวและหยั่งลึกลงในดินประมาณ 90 เซนติเมตร รากแขนงแตกออกมาจากรากแก้วแผ่ขยายออกในแนวราบ

ลำต้น งาเป็นไม้เนื้ออ่อน ลักษณะลำต้นสีเขียวเข้มตั้งตรงสูงประมาณ 1-2 เมตร รูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมมีร่องตรงกลางตลอดตามยาวของลำต้น ลำต้นอาจเป็นต้นเดี่ยวหรือมีการแตกกิ่งขึ้นอยู่กับพันธุ์ มีขนอ่อนขึ้นปกคลุมอยู่ทั่วลำต้นและกิ่ง

ใบ ใบเป็นใบเดี่ยวไม่มีหูใบ ก้านใบยาวประมาณ 3-11 เซนติเมตร รูปร่างใบมีหลายแบบ เช่น รูปไข่ รูปแฉก รูปหัวใจ ใบล่างมีขนาดใหญ่ความยาว 4-20 เซนติเมตร กว้าง 2-10 เซนติเมตร ใบบนมีลักษณะเรียวยาวกว่าใบล่าง ลักษณะใบเป็นรูปหอกความยาว 5-13 เซนติเมตร กว้าง 1-3 เซนติเมตร การเรียงตัวของใบมีทั้งแบบตรงข้ามและแบบสลับ

ดอก ดอกเป็นดอกเดี่ยวสมบูรณ์เพศแบบ zygomorphic เกิดตามมุมใบ มีจำนวน 1-3 ดอกต่อมุมใบ หากมี 1 หรือ 2 ดอกต่อมุมใบจะพบต่อมน้ำหวานสีเหลืองหรือดำบริเวณโคนของก้านดอก จำนวน 2 หรือ 1 ต่อม ก้านดอกสั้นมีความยาวประมาณ 5 มิลลิเมตร ดอกยาวประมาณ 1.5-4.0 เซนติเมตร ประกอบด้วยกลีบเลี้ยง (sepal) ซึ่งเป็นส่วนฐานเชื่อมติดกันเป็นรูปถ้วย (calyx tube) ส่วนปลายแยกเป็น 5 แฉก ยาวประมาณ 3-8 มิลลิเมตรหุ้มอยู่ที่ส่วนล่างของกลีบดอก (petal) กลีบดอกประกอบด้วยกลีบดอก 5 กลีบเชื่อมติดกันรูปร่างคล้ายระฆัง ดอกเริ่มบานจากส่วนล่างของ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ลำต้นขึ้นสู่ส่วนยอด กลีบดอกมีสีเขียวอ่อนในขณะที่ดอกยังไม่บาน เมื่อดอกบานแล้วจะมีสีขาวชมพู ม่วงอ่อนขึ้นกับพันธุ์ ส่วนดอกมีขนอ่อนกระจายปกคลุมทั่วบริเวณด้านนอกของกลีบเลี้ยงและกลีบดอก ภายในดอกประกอบด้วยเกสรตัวผู้ (stamen) 4 อัน แบบ didynamous กล่าวคือประกอบด้วยเกสรผู้จำนวน 2 คู่ ที่ก้านเกสรผู้ (filament) มีความยาวไม่เท่ากันเรียงกันอยู่ภายในกลีบดอกด้านบนเกสรตัวเมีย (pistil) ประกอบด้วยรังไข่ (ovary) แบบ superior ovary ประกอบด้วย 2 คาร์เพล (capel) แต่ละคาร์เพลมี 2 ลอคคุล (locule) ก้านเกสรตัวเมีย (style) เรียวบางมีสีครีม ส่วนยอดเกสรตัวเมีย (stima) มีขนขึ้นปกคลุมแยกออกเป็น 2-4 แฉก ตามจำนวนของคาร์เพล

ผลและเมล็ด ผลหรือฝักงาเป็นแบบแคปซูล (capsule) เกิดตามมุมใบมีจำนวน 1-3 ฝักต่อมุมใบทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับพันธุ์ ส่วนเปลือกฝักมีผิวเรียบหรือมีขนอ่อนขึ้นอยู่ ผนังเปลือกฝักมีลักษณะเป็นร่องลึกตามความยาวฝัก ฝักแก่มีสีน้ำตาลหรือม่วงอมดำเมื่อฝักแก่จะแตกจากส่วนปลายฝักลงมา

เมล็ด เมล็ดงามีลักษณะเป็นรูปไข่ หรือรูปหัวใจมีขนาดเล็กประมาณ 1.5 x 3.0 มิลลิเมตร เยื่อหุ้มเมล็ด (seed coat) เรียบหรือมีลักษณะคล้ายร่างแหปกคลุมอยู่มีทั้งสีขาว เหลือง เทา แดง น้ำตาล หรือดำ ฝักของเมล็ดพัฒนาจนมีขนาดโตเต็มที่ประมาณ 4-6 สัปดาห์หลังจากได้รับการผสม เก็บเกี่ยวเมื่อฝักเปลี่ยนเป็นสีเหลืองและเมล็ดมีการพัฒนาเป็นสีตรงตามพันธุ์อย่างสมบูรณ์ (รังสฤษดิ์และคณะ, 2541)

ปัญหาในการผลิตงา คือ ผลผลิตงาไม่เพียงพอกับความต้องการของตลาดประกอบกับผลผลิตที่ได้ไม่มีคุณภาพเนื่องมาจากปัญหาที่สำคัญ คือ การเกิดโรคเน่าดำที่เกิดจากเชื้อ *Macrophomina phaseolina* ในงา

ลักษณะโดยทั่วไปของเชื้อรา *Macrophomina phaseolina*

เชื้อรา *Macrophomina phaseolina* เป็นเชื้อราใน Class Deuteromycetes Order Sphaeropsidales เส้นใยของเชื้อรา *M. phaseolina* สามารถเข้าทำลายพืชได้หลายระยะการเจริญเติบโต ชีพจักรของเชื้อรามี 3 ระยะคือ mecelial stage, pycnidial stage และ sclerotial stage แต่มักพบ sclerotial stage มากกว่าระยะอื่นๆ โดยส่วนของเส้นใยรวมตัวเป็น sclerotia เม็ดเล็กๆ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50-300 ไมครอน ผนังมีลักษณะเรียบ เมื่อแก่มีสีน้ำตาลดำถึงสีดำ ระยะ mycelial stage พบเส้นใยสีน้ำตาล (brown) ถึงใสไม่มีสี (hyaline) แตกกิ่งก้านมีผนังกั้น (septate) และระยะ pycnidial stage เกิดการสร้าง pycnidia ภายในประกอบด้วย pycnidiospore ลักษณะรูปไข่ใส เป็นเซลล์เดี่ยวไม่มีผนังกั้น (non-septate) ผนังบางเรียบขนาด 5-10 x 14-30 ไมครอน (Neeraard , 1977)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

Winberg (1996) รายงานว่า เม็ด sclerotia จะเข้าสู่พืชโดยผ่านทาง stomata หรือแทงเข้าสู่ epidermal tissue ด้วย appressorium ที่มีลักษณะการเจริญของเชื้อราแบบ intercellular ไปจนถึงบริเวณ xylem แล้วจึงมีการเจริญต่อไปเป็นแบบ intracellular ในขณะเดียวกันจะมีการสร้าง microsclerotia ขึ้นไปอุดตันส่วนของท่อลำเลียง เมื่อสิ้นสุดฤดูการเพาะปลูกเม็ด sclerotia เข้าฝังตัวอยู่ในเศษซากพืชในดินกลายเป็นแหล่งระบาดของโรคในปีถัดไป (ภาพที่ 1) ต่อมา Shaner *et al.* (1997) รายงานว่า เม็ด sclerotia สามารถงอกได้ 2-3 เซลล์ในระยะเวลาอันสั้นและสามารถงอกซ้ำได้ในระหว่างฤดูปลูกเมื่อมีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม

ลักษณะของเชื้อรา *Macrophomina phaseolina* บนเนื้อเยื่อพืชที่เป็นโรค พบ pycnidium ซึ่งเป็น fruiting body ที่เชื้อราสร้างขึ้นมีรูปร่างกลม (globose) มีช่องภายใน 1 ช่อง (unilocular) เกิดขึ้นอยู่เดี่ยวๆ สีน้ำตาลเข้มมีปากเปิด (ostiole) ตรงกลาง รูปร่างเป็นวงกลม pycnidium ฝังจมลงไปในเนื้อเยื่อพืชบางส่วน (semisuperficial) ส่วนของผนังด้านนอกหนาประกอบด้วยเซลล์ที่มีรูปร่างหลายเหลี่ยม (angular) มีขนาดแตกต่างกันไปตามระยะการพัฒนาของเชื้อ

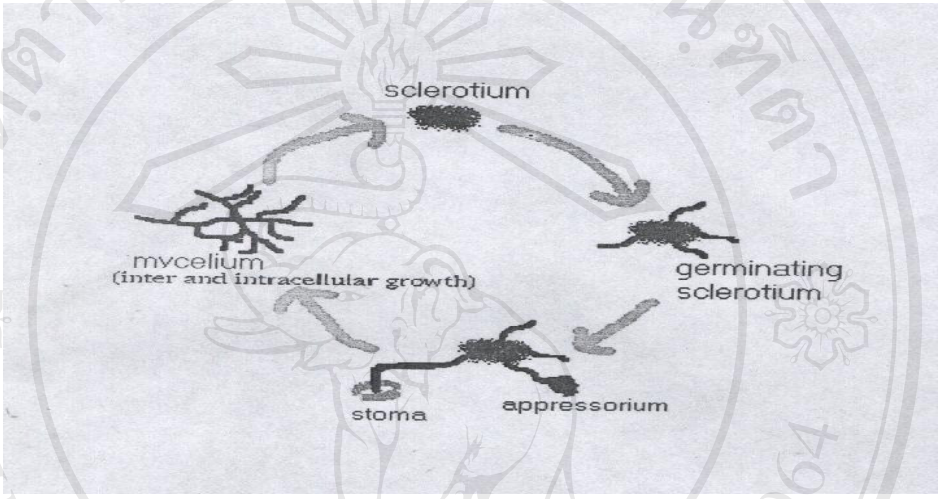
วัฏจักรของโรค การแพร่ระบาดและการถ่ายทอดโดยเมล็ด

Microsclerotium ของเชื้อราสามารถมีชีวิตอยู่ได้ในดินหรือฝังตัวอยู่ในเนื้อเยื่อพืชอาศัย โดยเฉพาะในดินที่แห้งเชื้อสามารถอยู่ได้นาน ในดินที่ชื้นหรือเปียกเชื้อสามารถอยู่ได้ไม่เกิน 7-8 สัปดาห์ เส้นใยอยู่ได้ไม่เกิน 7 วัน ส่วนของ Microsclerotium เจริญได้ดีเมื่อได้รับธาตุอาหารในดินต่ำและอุณหภูมิมากกว่า 30 องศาเซลเซียส ความรุนแรงของการแพร่เชื้อจะมากยิ่งขึ้นหากมีการปลูกพืชอาศัยของเชื้ออย่างต่อเนื่องในดินชุดเดิม (Sinclair, 1984) ต่อมา Smith and Krugman (1967) รายงานว่า เส้นใยของเชื้อรานี้มีชีวิตและช่วงเวลาการเจริญที่จำกัดซึ่งส่วนของเส้นใยสามารถทำให้เกิดโรคกับต้นกล้าได้ โดยส่วนมากโรคที่เกิดขึ้นมักมีสาเหตุจากการเข้าทำลายของส่วน Microsclerotium มากกว่า เมื่อความหนาแน่นของ Microsclerotium มากขึ้น การเกิดโรคในพืชปลูกก็มากขึ้นตามโดยเชื้อสามารถมีชีวิตอยู่ข้ามฤดูปลูกได้และมีชีวิตได้นานโดยมีการพัฒนาเป็นเม็ด sclerotia ภายในพืชอาศัยบริเวณรากและไฮโปคอททิล ต่อมาจะแพร่ลงสู่ดินโดยส่วนของ Microsclerotium จะแฝงอยู่ในดินจนกระทั่งเมื่อมีการเพาะปลูกพืชชนิดใหม่ในแปลงอีกครั้ง โรคจะกลับมาระบาดใหม่อีกครั้ง

จากการทดลองของ Ganopadhyay *et al.* (1970) พบว่า เชื้อราชนิดนี้สามารถปนเปื้อนได้ทั้งภายในและภายนอกของเมล็ดโดยอาศัยเนื้อเยื่อบริเวณเปลือกหุ้มเมล็ด (seed coat) เป็นที่อาศัยของเชื้อรา และสามารถมีชีวิตอยู่ได้เป็นระยะเวลานาน 2-3 ปีในส่วนของเปลือกหุ้มเมล็ด บางครั้งในเมล็ดที่ติดเชื้ออาจยังไม่แสดงอาการแต่ส่วนของเชื้อราจะแฝงอยู่ในเมล็ดจนกระทั่งเมื่อ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

สภาพแวดล้อมเหมาะสมต่อการงอกของเมล็ดเชื้อที่แฝงตัวในเมล็ดจะมีการพัฒนาเป็นเม็ด Microsclerotium หลังจากเมล็ดงอกและเกิดการติดเชื้อ 3-4 วัน ส่วนของ Microsclerotium จะเจริญในส่วนของใบเลี้ยงและแพร่ไปยังส่วนไฮโปคอททิล ในเมล็ดงามีรายงานว่าพบ Microsclerotium ในส่วนของเปลือกหุ้มเมล็ดและในต้นอ่อนซึ่งจะมีผลไปกระตุ้นการแบ่งเซลล์ในชั้น palisade ของต้นอ่อน (Kunwar *et al.*, 1986)



ภาพที่ 1 วงจรชีวิตของเชื้อรา *Macrophomina phaseolina* (ที่มา: Winberg, 1996)

ความสัมพันธ์ของความชื้นต่อคุณภาพของเมล็ดพันธุ์และการเก็บรักษา

การเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ที่มีความชื้นสูงมีผลให้เมล็ดเกิดการเสื่อมคุณภาพอย่างรวดเร็ว เนื่องจาก

1. เร่งอัตราการเสื่อมคุณภาพ เมล็ดพันธุ์ที่มีความชื้นสูงจะมีอัตราการหายใจที่สูงขึ้น ส่งเสริมให้เชื้อราและแมลงเจริญได้ดี

2. เกิดการสะสมความร้อนในกองเมล็ดพันธุ์ เนื่องจากเมล็ดพันธุ์ที่มีความชื้นสูงมีอัตราการหายใจ การเจริญของเชื้อราและแบคทีเรียสูงขึ้น เกิดการปลดปล่อยความร้อนสูงและเร็วขึ้น ประกอบกับเมล็ดพันธุ์ที่มีความชื้นสูงจะขัดขวางการระบายอากาศซึ่งเป็นการเพิ่มการสะสมความร้อนให้สูงขึ้น

3. เกิดการทำลายของโรคและแมลงที่สามารถจะเจริญได้ดีในกองเมล็ดพันธุ์ที่มีความชื้นสูง (วัลลภ, 2538)

การเสื่อมคุณภาพของเมล็ดพันธุ์นั้นเริ่มจากอาการทางสรีรวิทยา (Physiological symptoms) ภายในเมล็ด การรั่วไหลของสารเคมีจากภายในเซลล์ของเมล็ดที่เสื่อมเพิ่มขึ้นสะท้อนให้เห็นถึง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ความรุนแรงของการเสื่อมสภาพของผนังเมมเบรน การหายใจเป็นอีกกระบวนการที่เกิดการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเสื่อมสภาพของเมล็ด ในเมล็ดที่เสื่อมสภาพจะมีอัตราการหายใจลดลง กิจกรรมของเอนไซม์ลดลงโดยเฉพาะเอนไซม์ที่เกี่ยวกับการสังเคราะห์เนื้อเยื่อใหม่ๆ การเปลี่ยนแปลงอีกประการหนึ่ง คือ การเพิ่มขึ้นของกรดไขมันอิสระโดยเฉพาะกรดไขมันไม่อิ่มตัว ซึ่งเป็นสารตัวกลางในกระบวนการ autoxidation หรือ peroxidation ก่อให้เกิดสารพิษที่มีผลในการทำลายโครงสร้างต่างๆ ภายในเมล็ด ซึ่งอาการทางสรีรวิทยาเหล่านี้ส่งผลถึงลักษณะที่ปรากฏออกมาภายหลัง (performance symptoms) เช่น อัตราเร็วในการงอก การเจริญเติบโตของต้นกล้า ความสม่ำเสมอของการเจริญเติบโตและพัฒนาการระหว่างต้นภายในประชากรกลุ่มนั้นลดลง สูญเสียความทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่แปรปรวน ความงอกและผลผลิตลดลง ต้นกล้ามีความผิดปรกติมากขึ้นและตายในที่สุด (Delouche, 1981)

ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและคุณภาพเมล็ดพันธุ์

ความชื้น

40-80 %	ระดับความชื้นเมล็ดพันธุ์ที่กำลังพัฒนาเข้าสู่ระยะสุกแก่ เมล็ดยังไม่สุกแก่เต็มที่ ไม่เหมาะสมต่อการเก็บเกี่ยว
18-40%	เมล็ดสุกแก่ทางสรีรวิทยาอัตราการหายใจสูงขึ้นการเสื่อมสภาพเกิดขึ้นได้ง่าย หากมีการระบายอากาศไม่เพียงพอจะเกิดการสะสมความร้อนในกองเมล็ดพันธุ์ ในเมล็ดที่เก็บเกี่ยวโดยใช้เครื่องจักรเมล็ดเกิดความเสียหาย เชื้อราและแมลงเข้าทำลายได้ง่าย
13-18%	เมล็ดมีอัตราการหายใจสูงขึ้นที่ระดับความชื้นมากกว่า 13 เปอร์เซ็นต์ เกิดการสะสมความร้อนในระดับที่เป็นอันตรายต่อเมล็ด เชื้อราและแมลงสามารถเจริญได้ดี หากใช้เครื่องจักรกลในการเก็บเกี่ยวเมล็ดพันธุ์ได้รับความเสียหายน้อย
10-13%	ในเมล็ดพันธุ์ที่มีอายุการเก็บรักษายาวสามารถรักษาคุณภาพได้ในสภาพอุณหภูมิห้องประมาณ 6-12 เดือน แมลงสามารถเจริญได้ดี เมล็ดพันธุ์ได้รับความเสียหายจากการใช้เครื่องมือเนื่องจากเมล็ดเปราะเกินไป
8-10%	เมล็ดพันธุ์แห้งพอที่จะสามารถเก็บรักษาได้อย่างปลอดภัย แมลงเจริญได้น้อยมาก เมล็ดพันธุ์เกิดความเสียหายได้ง่ายจากเครื่องจักรและการปฏิบัติการต่างๆ
4-8%	สามารถเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ได้อย่างปลอดภัยในสภาพการเก็บในภาชนะปิด
0-4%	เมล็ดพันธุ์แห้งมากจนอาจเกิดอันตรายแก่เมล็ดพันธุ์และอาจเกิดเมล็ดแข็งในพืชบางชนิด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

33-60% เมล็ดพันธุ์สามารถงอกได้เมื่อได้รับความชื้นจนถึงระดับนี้ (Delouche , 1973)

หลักการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์

การลดความชื้นเมล็ดพันธุ์เกี่ยวข้องกับบทบาทของความชื้น 2 บริเวณ คือ ความชื้นในเมล็ดและความชื้นในอากาศ กระบวนการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์เป็นการนำน้ำหรือความชื้นที่อยู่ภายในเมล็ดให้เคลื่อนที่ออกสู่อากาศแล้วระเหยกลายเป็นความชื้นในอากาศ ประกอบไปด้วย 2 ขั้นตอน คือ น้ำหรือความชื้นจากบริเวณใจกลางเมล็ดเคลื่อนที่ออกสู่บริเวณผิวเมล็ดซึ่งเป็นการเคลื่อนย้ายความชื้นโดยวิธีการแพร่ (diffusion) และอีกขั้นตอนหนึ่ง คือ น้ำบริเวณผิวเมล็ดเกิดการเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอ (water vapor) โดยการระเหย (evaporation) ออกสู่บรรยากาศ

กระบวนการลดความชื้นในเมล็ดพันธุ์แต่เดิมประกอบด้วย 2 วิธีหลัก คือ การลดความชื้นด้วยวิธีธรรมชาติ (natural drying) โดยอาศัยพลังงานจากแสงอาทิตย์และลมและการลดความชื้น-เทียม (artificial drying) โดยใช้เครื่องอบลดความชื้น การลดความชื้นโดยวิธีนี้สามารถควบคุมอุณหภูมิและอัตราการลดความชื้นได้ดี อุณหภูมิที่ใช้แบ่งเป็น 3 ระดับคือ ระดับอุณหภูมิต่ำ (low temperature drier), อุณหภูมิปานกลาง (medium temperature drier) ประมาณ 30-50 องศาเซลเซียส และระดับอุณหภูมิสูง (high temperature drier) กว่า 60 องศาเซลเซียส อุณหภูมิระดับนี้ไม่นิยมใช้ในการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ เนื่องจากว่าอุณหภูมิที่สูงมีผลทำลายความมีชีวิตเกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างทางเคมีได้ (วันชัย, 2542) ในระหว่างการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์อาจได้รับความเสียหายจากความร้อนหรือความชื้นสัมพัทธ์ที่อยู่ในระดับที่ไม่เหมาะสม ความเสียหายที่เกิดขึ้นเนื่องจากอัตราการคายความชื้นที่ไม่สัมพันธ์กันระหว่างการระเหยน้ำที่ผิวเมล็ดกับการเคลื่อนที่ของน้ำจากบริเวณใจกลางเมล็ดออกสู่ผิวเมล็ด หากการระเหยน้ำที่ผิวเกิดขึ้นเร็วกว่าการเคลื่อนที่ของน้ำจากภายในเมล็ดยิ่งมากเท่าไรยิ่งทำให้เกิดความเสียหายมากขึ้นเท่านั้นเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า rapid drying ผลที่เกิด คือ เมล็ด เอน โดสเปิร์มเกิดการแตกร้าว เกิดการปริของส่วนเยื่อหุ้มเมล็ด เมล็ดสูญเสียความมีชีวิตไม่สามารถงอกได้หรืองอกเป็นต้นกล้าที่ผิดปรกติ การลดความชื้นเมล็ดให้แห้งลงอย่างเร็วเกินไป (rapid drying) หรือเมล็ดแห้งเกินไป (over drying) ในบางกรณีเป็นเสมือนการกระตุ้นให้เมล็ดเกิดการพักตัวโดยเฉพาะในพืชตระกูลถั่วซึ่งมักพบอาการเมล็ดแข็ง (hard seed) การทำให้เมล็ดแห้งอย่างรวดเร็วทำให้บริเวณส่วนผิวเมล็ดเกิดการหดตัวก่อนที่บริเวณใจกลางเมล็ดจะมีการคายความชื้นออกมาก่อให้เกิดความแตกต่างของความชื้นอย่างมากระหว่างส่วนใจกลางเมล็ดและส่วนผิวส่งผลให้เกิดสภาวะเครียดทางกายภาพ (physical stress) ขึ้นบริเวณผิวเมล็ด เกิดการแตกร้าวในส่วนของเยื่อหุ้มเมล็ด (seed coat) และ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ใบเลี้ยง (coteledons) (Overhults *et al.*, 1973) ในการลดความชื้นเมล็ดโดยการใช้อุณหภูมิสูง มีผลให้ความแข็งแรงของเมล็ด น้ำหนักแห้งของรากและต้นกล้าลดลง ผนังเมมเบรนสูญเสียสภาพ ส่งผลให้ความแข็งแรงลดลงซึ่งมีผลต่อเอมบริโอโดยตรง (Navratil and Burris, 1984)

ในกระบวนการทำให้แห้งโดยทั่วไปขึ้นอยู่กับปัจจัยพื้นฐาน 2 ปัจจัยคือ Heat Transmission และ MatterTransmission โดยทั่วไปการเปลี่ยนแปลงความร้อนเกิดขึ้นในทิศทางที่สวนทางกัน กล่าวคือ ความร้อนถูกส่งมาจากภายนอกเข้าสู่ภายในวัตถุแล้วความชื้นเกิดการเคลื่อนที่จากภายในของวัตถุออกมาสู่ผิวแล้วเกิดการระเหยไป แต่การใช้พลังงานความร้อนจากคลื่นเรดิโอฟรีควอนซี่และคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าอื่นๆ เช่น คลื่นไมโครเวฟและคลื่นอินฟาเรดกลับส่งผลจากด้านในกระบวนการเกิดความร้อนเกิดบริเวณใจกลางของวัตถุ ความชื้นสามารถระเหยออกมาในรูปของความดันที่ต่ำกว่าเนื่องจากไม่ก่อให้เกิดความร้อนจากบริเวณรอบนอกของวัตถุ ทำให้การดึงน้ำออกจากวัตถุเป็นไปอย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพแต่ในการทำให้แห้งโดยวิธีปรกติทำให้ส่วนผิวของวัตถุแห้งเป็นเสมือนฉนวนที่รบกวนการผ่านเข้าออกของน้ำจากภายในสู่ภายนอกในขณะที่การทำให้แห้งโดยการใช้คลื่นเรดิโอฟรีควอนซี่และคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าอื่นๆ ไม่ก่อให้เกิดการแห้งของผิววัตถุเพราะน้ำและความชื้นเคลื่อนที่จากใจกลางออกมาทำให้ผิวของวัตถุยังคงเปียกอยู่

ลักษณะของคลื่นเรดิโอฟรีควอนซี่

คลื่นเรดิโอฟรีควอนซี่เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่อยู่ในช่วงระหว่าง 3 เมกกะเฮิรต์ – 300 เมกกะเฮิรต์ ส่วนคลื่นความถี่ที่ใช้ในคลื่นเรดิโอฟรีควอนซี่อยู่ที่ระดับ 13, 27 และ 40 เมกกะเฮิรต์ สามารถกระจายความร้อนผ่านวัตถุที่มีความหนาได้ดีกว่าคลื่นไมโครเวฟ สามารถนำมาใช้ในกระบวนการที่ทำกับวัตถุที่มีขนาดใหญ่หลายชิ้นพร้อมๆ กันหรือมีองค์ประกอบที่ถูกกำจัดทิ้งมากๆ เช่น มีน้ำในตัววัตถุมาก ปัจจุบันมีการใช้ประโยชน์จากพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นอย่างมาก เช่น การใช้คลื่นไมโครเวฟในกระบวนการแปรรูปผลผลิตจากพืชและสัตว์ เช่น ใช้เพื่อการออกฤทธิ์ของ inactivated enzymes ที่มีอยู่ในเมล็ดของพืชผลต่างๆ เช่น ถั่วเหลือง เมล็ดฝ้าย รำข้าว ใช้ในการฆ่าเชื้อโรคและแมลงต่างๆ ที่ปนเปื้อนมากับวัตถุดิบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

หลักการทำงานของคลื่นเรดิโอฟรีควอนซี่

การให้ความร้อนโดยคลื่นเรดิโอฟรีควอนซี่อาศัยหลักการเดียวกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าอื่นๆ กล่าวคือ การเปลี่ยนแปลงพลังงานในรูปของสนามคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามาเป็นพลังงานความร้อนในตัววัตถุโดยไม่มีการกระจายของประจุในวัตถุนั้นในสนามคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูง โมเลกุลของวัตถุเกิดการสั่นสะเทือนตามการเหนี่ยวนำไปในทิศทางเดียวกับสนามไฟฟ้าเป็นจำนวนล้านๆ ครั้งในเวลา 1 วินาทีทำให้เกิดปรากฏการณ์ 2 รูปแบบ คือ

1. Intermolecule Friction ที่เกิดจากแรงดึงดูดกันระหว่างโมเลกุล

2. Hysteresis เป็นแรงต้านทางประจุไฟฟ้าเนื่องมาจากแรงเฉื่อยซึ่งขึ้นกับจำนวนประจุ มวล และรูปร่างของโมเลกุล

เมื่อวัตถุมีการดูดซับพลังงานจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าก่อให้เกิดความร้อนได้ 2 แบบร่วมกัน ได้แก่

1. Ionic Polarization เป็นการเกิดความร้อนเนื่องจากผลของการเคลื่อนที่ของไอออนในสารละลายเมื่อเข้าไปอยู่ในสนามไฟฟ้า โดยแต่ละไอออนที่มีประจุไฟฟ้าประจำตัวถูกกระตุ้นและเร่งให้เกิดการเคลื่อนที่ทำให้เกิดการเสียดสีกันระหว่างไอออน ในขณะเดียวกันเกิดการเปลี่ยนรูปของพลังงานจลน์เป็นพลังงานความร้อนขึ้น แล้วเกิดการกระจายความร้อนไปยังส่วนอื่นๆ ซึ่งการเกิดความร้อนลักษณะนี้เกิดขึ้นในส่วนของของเหลวภายในเซลล์ที่อยู่ในรูปของสารละลายต่างๆ

2. Dipole Rotation เป็นการเกิดความร้อนกับสารประกอบที่มีขั้ว (polar) ซึ่งได้แก่ น้ำ ในสภาพปรกติการเรียงตัวของประจุบวกและประจุลบของสารประกอบที่มีขั้วนี้เรียงตัวอย่างไม่มีระเบียบ (random oriented) เมื่อเข้าไปอยู่ในสนามไฟฟ้า ประจุบวกและประจุลบของสารเกิดการเคลื่อนที่เพื่อเปลี่ยนทิศทางการเรียงตัวที่เป็นระเบียบขึ้น

การเคลื่อนที่ด้วยการหมุนตัวกลับไปมาเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วตามระดับความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ให้ ซึ่งในคลื่นเรดิโอฟรีควอนซี่การเคลื่อนที่ของประจุ 3-300 ล้านครั้งต่อ 1 วินาที ซึ่งผลของความเร็วในการหมุนตัวและการเสียดสีกันก่อให้เกิดเป็นความร้อนขึ้นมาอย่างรวดเร็วภายในระยะเวลา 2-3 วินาทีหรือประมาณ 1 นาทีหลังจากได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ต่อจากนั้นความร้อนที่เกิดขึ้นเกิดการกระจายตัวไปยังส่วนอื่นๆ เนื่องจากผลจากการเดือดของน้ำโดยกระบวนการนำความร้อน และสามารถเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อเปรียบเทียบกับการลดความชื้นโดยใช้ลมร้อนแล้วการใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะใช้เวลาและพลังงานในปริมาณน้อยมาก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในเมล็ดพันธุ์กับการใช้คลื่นเรดิโอฟรีควอนซี่ ในการทำลายเชื้อสาเหตุของโรคที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์และคุณภาพเมล็ดพันธุ์

เชื้อราหรือเชื้อแบคทีเรียตลอดจนแมลงที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์สามารถทำลายได้ด้วยการใช้คลื่นความร้อนเรดิโอฟรีควอนซี่ การให้คลื่นเรดิโอฟรีควอนซี่ถึงระดับหนึ่งทำให้ได้ค่าระดับอุณหภูมิที่สามารถทำลายเชื้อและแมลงที่ติดมาได้โดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อเมล็ดพันธุ์ แต่ทั้งนี้จะมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาที่ให้คลื่นความร้อนแก่เมล็ดด้วย หากใช้ระยะเวลาที่ไม่เหมาะสมจะทำให้ความงอกและความแข็งแรงของเมล็ดลดลงได้ (Robert and Nelson, 2003)

การใช้คลื่นเรดิโอฟรีควอนซี่และไมโครเวฟประสบความสำเร็จอย่างดีในการควบคุมเชื้อราแบคทีเรีย 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 นอกจากนี้พบว่าความสำเร็จมีความสัมพันธ์กับชนิดและความชื้นในเมล็ดซึ่งมีความสัมพันธ์กับความสามารถในการดูดซับพลังงานและระดับอุณหภูมิในเมล็ด Nelson (1961) ศึกษาถึงผลของการใช้คลื่นเรดิโอฟรีควอนซี่ต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าวสาลี ข้าวโพด และพืชตระกูลถั่ว พบว่า ค่าความชื้นเป็นปัจจัยสำคัญที่กำหนดระดับอุณหภูมิสูงสุดที่เมล็ดสามารถทนได้โดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหายแก่เมล็ด ในขณะเดียวกันมีผลลดการเกิดเมล็ดแข็งทำให้ความงอกของเมล็ดอัลฟาฟ่า และ red cover เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Lambert *et al.,* (1950); Iritani *et al.,* (1954); Jonas (1952), (1953) ที่พบว่า การให้คลื่นเรดิโอฟรีควอนซี่แก่เมล็ดวัชพืช อัลฟาฟ่า และ red clover ช่วยให้เมล็ดมีความงอกสูงขึ้นโดยในเมล็ดพันธุ์ผักต้องใช้คลื่นความร้อนที่ระดับ 43-44 megacycles (mc) ต่อนาทีจึงมีผลให้ความงอกเพิ่มขึ้น Nelson (1968) พบว่า การให้คลื่นเรดิโอฟรีควอนซี่และอินฟาเรดแก่เมล็ดอัลฟาฟ่า 27 ชนิดสามารถลดการเกิดเมล็ดแข็ง ทำให้เปอร์เซ็นต์ความงอกเพิ่มขึ้นจาก 40-60 เปอร์เซ็นต์เป็น 80-90 เปอร์เซ็นต์ จึงกล่าวได้ว่าระยะเวลาในการให้คลื่นความร้อนแก่เมล็ดมีความสัมพันธ์กับค่าความชื้นในเมล็ด Stuart *et al.*, (1985) ให้คลื่นเรดิโอฟรีควอนซี่ที่ระดับ 40 และ 10 เมกกะเฮิรต์ และคลื่นไมโครเวฟที่ระดับ 2450 เมกกะเฮิรต์ แก่เมล็ดพันธุ์พืช 80 ชนิด พบว่าในเมล็ดขนาดเล็กเช่น legumes alfalfa (*Medicao sativa* L) red clover (*Trifolium pratense* L.)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

arrowleaf clover (*Trifolium vesicullosum Savi*) ทำให้ได้ต้นอ่อนปกติมากขึ้นและช่วยลดการเกิดเมล็ดแข็งได้เช่นกัน

Joliceur *et al.,* (1986) พบว่า การให้คลื่นไมโครเวฟ 675 วัตต์ต่อ 100 เมล็ด นาน 160 วินาที แก่เมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่ความชื้นเมล็ดพันธุ์เริ่มต้น 8.5 เปอร์เซ็นต์ สามารถช่วยลดการปนเปื้อนของเชื้อ *mosaic virus* จากที่เคยปนเปื้อนสูงถึง 45-70 เปอร์เซ็นต์ลงได้ ในขณะเดียวกัน Stephenson *et al.,* (1994) ทำการทดลองในข้าวบาร์เล่ย์ พบว่า สามารถทำลายโรค loose smut ได้โดยไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความงอกของเมล็ด

Lozano *et al.,* (1986) ศึกษาผลของการใช้คลื่นไมโครเวฟในการกำจัดเชื้อสาเหตุโรคที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์ Cassava true seed ที่พลังงาน 1400 วัตต์, 2450 เมกกะเฮิรต์ นาน 120 นาที พบว่า ที่ระดับอุณหภูมิ 77 องศาเซลเซียสเหมาะสมต่อการทำลายเชื้อที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์ โดยเมล็ดพันธุ์ยังคงมีความงอกสูงถึง 95 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งในการใช้ความร้อนโดยวิธีปกติไม่สามารถลดการปนเปื้อนของเชื้อ *Fusarium* sp. และ *Collectotricum* sp. ได้ Cavalcante and Muchovej (1993) ศึกษาถึงการให้ความร้อนแก่เมล็ดเพื่อควบคุมเชื้อที่ติดมากับเมล็ดถั่วเหลือง (*Glycine max* L.), ถั่วลิสง (*Archis hypogaea* L.), ถั่ว (*Phaseolus vugaris* L.), ข้าวสาลี (*Triticum astivum* L.) และข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (*Zea may* L.) โดยให้คลื่นความร้อนที่ 1420 วัตต์ 2450 เมกกะเฮิรต์ นาน 0-7 นาที พบว่า ระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นมีผลให้ปริมาณเชื้อที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์และเปอร์เซ็นต์ความงอกลดลง และปรากฏลักษณะจุดด่าง (chlorotic spot) เกิดขึ้นที่ส่วนของใบเลี้ยงแต่ไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อเอมบริโอ การให้คลื่นความร้อนมีผลให้ความมีชีวิตของสปอร์เชื้อราที่อยู่แบบเดี่ยวลดลง ในขณะที่สปอร์ที่อยู่รวมกันเป็นกลุ่มมีการตอบสนองที่ช้ากว่าและใน dark spore จะได้รับผลกระทบน้อยกว่า hyaline spore ต่อมา Bhaskara *et al.,* (1995) ใช้คลื่นไมโครเวฟในการกำจัดเชื้อ *Diaporthe Phasrolorum* ในเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองโดยให้พลังงานที่ระดับ 750 วัตต์ 2.45 เมกกะเฮิรต์ พบว่า ปริมาณความชื้นในเมล็ดมีผลต่อการดูดซับพลังงานของเมล็ด ที่ความชื้นเมล็ดพันธุ์สูงเมล็ดสามารถดูดซับคลื่นความร้อนได้ดี และโมเลกุลของน้ำมีส่วนช่วยป้องกันการสูญเสียความงอกและความแข็งแรงของเมล็ดได้ ประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อมีความสัมพันธ์กับตำแหน่งของเชื้อในเมล็ด หากเชื้อปนเปื้อนอยู่บริเวณส่วนนอกสามารถกำจัดได้ดีกว่าเชื้อที่อาศัยอยู่ในเมล็ด ต่อมา Bhaskara *et al.,* (1998) พบว่า การให้คลื่นไมโครเวฟแก่เมล็ดพันธุ์ข้าวที่ความชื้นเมล็ดพันธุ์เริ่มต้น 8 14 และ 20 เปอร์เซ็นต์ 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 เปอร์เซ็นต์ โดยที่เมล็ดพันธุ์ยังคงมีเปอร์เซ็นต์ความงอกสูงถึง 85 เปอร์เซ็นต์ และที่ระดับความชื้นเมล็ดพันธุ์เริ่มต้น 14 เปอร์เซ็นต์เหมาะสมที่สุด ณัฐศักดิ์ (2544) พบว่า การให้คลื่นไมโครเวฟที่ระดับพลังงาน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

800 วัตต์ นาน 40 วินาทีแก่เมล็ดพันธุ์ถั่วลิสงสามารถลดความชื้นเมล็ดพันธุ์เหลือ 5.27 เปอร์เซ็นต์ โดยที่สามารถรักษาความมีชีวิตของเมล็ดพันธุ์ไว้ได้

ผลของการให้คลื่นเรดิโอฟรีควอนซี่ต่อลักษณะโครงสร้างภายในเซลล์ของเมล็ดพันธุ์

John (1970) ศึกษาถึงผลของการให้คลื่นเรดิโอฟรีควอนซี่ต่อการเปลี่ยนแปลงของสิ่งมีชีวิต พบว่า การให้คลื่นเรดิโอฟรีควอนซี่ที่ระดับพลังงานสูงๆ มีผลยับยั้งกระบวนการแบ่งเซลล์อย่างชั่วคราวในเซลล์ที่ทำการเพาะเลี้ยงในหลอดทดลอง 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

การให้คลื่นเรดิโอฟรีควอนซี่แก่พืชในกลุ่มปอ ป่าน สามารถชักนำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงชนิดของเซลล์สืบพันธุ์ โดยทำให้เกิดต้นตัวเมียได้สูงขึ้น 20-25 เปอร์เซ็นต์ และช่วยลด oxidative processes ในเนื้อเยื่อพืช นอกจากนี้ Pittman (1963) พบว่า การให้คลื่นเรดิโอฟรีควอนซี่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของการเกิดเพศในพืชใบเลี้ยงเดี่ยว เช่น ข้าวโพด แตงกวา กระตุ้นให้เกิดเพศผู้ (masculinity) ในส่วน embryonic radicle ในข้าวโพดในรูปแบบการตอบสนองต่อแรงดึงดูดของโลกของต้นพืช ในส่วนของ embryo radicle แบบ S geomagnetic pole จะทำให้ได้ I-rotary seeds ซึ่งจะมีการตอบสนองต่อการเจริญเติบโต อัตราการหายใจเกิดได้ดีขึ้น การเกิดกิจกรรมของเอมไซม์สูงขึ้น 50 เปอร์เซ็นต์ และในส่วนของ embryo radicle แบบ D-rotary seeds มีการตอบสนองเพิ่มขึ้นถึง 50 เปอร์เซ็นต์เมื่อ embryo tips อยู่ในลักษณะ N pole

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลของการให้คลื่นเรดิโอฟรีควอนซี่ต่อการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบทางเคมีและการเกิดกิจกรรมของเอมไซม์ในเมล็ดพันธุ์

การใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโดยเฉพาะคลื่นไมโครเวฟ คลื่นเรดิโอฟรีควอนซี่เป็นที่นิยมอย่างสูงในกระบวนการผลิตอาหารของผลิตภัณฑ์จากพืชและสัตว์ เพื่อใช้ในการยับยั้งการเกิดกิจกรรมของเอมไซม์ที่ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพ เช่น ในเมล็ดฝ้ายและข้าว (Tao and Liuzzo, 1993; Conkerton *et al.,* 1994) Lazarenko และ Gorbatovskaya (1966) รายงานว่าการให้คลื่นความร้อนแก่เมล็ดพันธุ์พืชสามารถทำลายการพักตัวของเมล็ดได้ โดยเฉพาะในพืชที่มีอัตราการงอกต่ำ การเกิดกระบวนการทางเคมีภายในต้นกล้าเกิดได้ดีขึ้น โดยเมล็ดมีอัตราการหายใจและการเกิดกิจกรรมของเอนไซม์ไฮโดรไลติกสูงขึ้น ในเมล็ดที่ผ่านการให้คลื่นความร้อนที่ 2-4 KV/cm และ 8 KV นาน 30 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 ES สามารถยับยั้งการเกิดกิจกรรมของเอนไซม์บางชนิดในผักและผลไม้ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการกำหนดช่วงของการเก็บเกี่ยวผลผลิต (Robert and Nelson, 1996) และพบการเพิ่มขึ้นของสารเร่งการเจริญเติบโตที่คล้ายกับ Phenylalnine Ammonia-lypase (PAL) ในถั่ว beans และมันฝรั่ง (Jones *et al.,* 1986)

Irfan (1999) การให้คลื่นเรดิโอฟรีควอนซี่ที่ระดับพลังงาน 140 วัตต์ และคลื่นไมโครเวฟที่ระดับพลังงาน 1200 วัตต์ ความถี่ 2.45 เมกกะเฮิรต์ แก่เมล็ด rape seed พบว่าการให้คลื่นเรดิโอฟรีควอนซี่ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ไม่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันและการไหม้ของสารหอมระเหย (aroma) ในขณะที่ Pour *et al.,* (1981) กลับพบว่า การให้คลื่นไมโครเวฟแก่ถั่วเหลืองที่ระดับพลังงาน 250-300 cal/g มีผลให้การเกิดกิจกรรมของ trypsin inhibitor urease และ lypoxyenase ในถั่วเหลืองและถั่ว bean ลดลง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นมีความสัมพันธ์โดยตรงจากการดูดซับพลังงานและระยะเวลาที่ให้แก่เมล็ด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

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)

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

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

หน้าที่และบทบาทของ Heat Shock Proteins (HSPs)

การตอบสนองต่อสภาพเครียดเป็นปฏิกิริยาตอบสนองของเซลล์และอวัยวะต่างๆ เมื่อได้รับสภาพเครียดจากอุณหภูมิที่ระดับต่างๆ ซึ่งสภาพเครียดเนื่องจากการได้รับความร้อน ส่งผลให้เซลล์ตาย ในขณะเดียวกันเกิดการชักนำให้เซลล์ตอบสนองต่อความเครียดจากความร้อน ที่เกิดขึ้นเรียกว่า The Heat-Shock Response ซึ่งมีผลดังนี้

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

ความสัมพันธ์ของการแสดงออกของ HSPs ในสิ่งมีชีวิตต่อการต้านทานต่ออุณหภูมิสูง นำไปสู่การตั้งสมมุติฐานที่ว่า HSPs เป็นปัจจัยหลักในการป้องกันหรือต้านทานต่อความเสียหาย ของเซลล์เมื่อได้รับอุณหภูมิสูง (Lavoie *et al.,* 1995) การตอบสนองต่อความร้อน (Heat shock response) เมื่อเซลล์ได้รับอุณหภูมิที่สูงเกิน HSPs ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นจะทำหน้าที่ซ่อมแซมโปรตีน ที่เกิดการเสื่อมสภาพ นอกจากนี้พบว่าเซลล์หลายชนิดมีความสามารถสังเคราะห์ DNA repair enzyme ได้ (ดนัย และ อังสนา, 2540) กระบวนการในการปรับตัวต่อการตอบสนองต่อความร้อน เพื่อสามารถมีชีวิตอยู่ได้ของเซลล์ โดยเกิดการป้องกันเซลล์จากผลของสภาวะเป็นพิษของโปรตีน (proteintoxic effect) จากสภาพเครียดจากความร้อน ความสามารถในการทนทานต่อสภาวะเครียด จากสิ่งแวดล้อมในระดับที่สูงขึ้น การตอบสนองของเซลล์ในระดับโมเลกุลต่อสภาพ heat shock ทำให้เกิดกระบวนการตอบสนองชั่วคราวของเซลล์ (transition reprogramming) เกิดการสังเคราะห์ HSPs ขึ้น ในขณะเดียวกันการสังเคราะห์โปรตีนปรกติจะหยุดลงชั่วคราว การสะสมของปริมาณ HSPs ที่พบได้ขึ้นกับจำนวน HSPs ที่เพียงพอสำหรับป้องกันเซลล์และสามารถกระตุ้นให้เซลล์ มีระดับความทนทานความร้อนที่สูงขึ้น (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 ทำหน้าที่จับกับ โปรตีนที่เพิ่งสังเคราะห์เสร็จ แล้วเกิดการรวมตัวกันเป็นโครงสร้างขนาดใหญ่ก่อให้เกิดเป็น conformation ของโปรตีนได้อย่างปกติ (ดนัย และ อังสนา, 2540; วีรพล, 2546) ส่วนของ HSPs chaperone ทำหน้าที่จับกับโปรตีนที่เสียสภาพเนื่องจากสภาวะเครียดต่างๆ แล้วทำให้เกิด การรวมตัวเป็นโปรตีนที่สมบูรณ์แบบอีกครั้ง ตลอดจนป้องกันไม่ให้เกิดการรวมตัวกันของโปรตีน อย่างผิดระเบียบ (Landy and Gierash, 1994; Forrieter *e., al* 1997) พบว่า ในสภาพ *in vitro*

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

HSPs chaperones ในเซลล์ของ *Arabidopsis* ทำหน้าที่ป้องกันและกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ luciferase

Nadja *et al.,* 1996 ศึกษาถึงการชักนำและสะสม HSPs ในเมล็ดพันธุ์ *Arabidopsis thaliana* ในระยะการสุกแก่ภายใต้สภาพเครียดเนื่องจากการสูญเสียน้ำ พบว่า เกิดการสะสมของ HSPs class I ยีน Athsp 17.4 ซึ่งเป็น HSPs หลักที่มีการสะสมในระยะการสุกแก่ของเมล็ดขึ้น และพบว่า ตลอดระยะเวลาการพัฒนาของเมล็ดและระยะเวลาที่เมล็ดงอกเกิดการสังเคราะห์และสะสม 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) และในถั่วชนิดต่างๆ (Hernandez and Vierling, 1993)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved