บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

ข้าวโพด

ข้าวโพดจัดอยู่ในวงศ์ Poaceae และอยู่ในสกุล Zea มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Zea mays* L. มีชื่อสามัญว่า maize หรือ corn ข้าวโพดแบ่งออกได้หลายชนิดขึ้นอยู่กับลักษณะของเมล็ด ได้แก่ ข้าวโพดหัวแข็ง (flint corn) ข้าวโพดหัวบุบ (dent corn) ข้าวโพดหวาน (sweet corn) ข้าวโพดแป้ง (flout corn) ข้าวโพดคั่ว (pop corn) ข้าวโพดข้าวเหนียว (waxy corn) และข้าวโพดป่า (pod corn)

องค์ประกอบหลักของเมล็ดข้าวโพด ดังตารางที่ 2.1 และภาพที่ 2.1

1. Pericarp มีลักษณะเป็นเยื่อบางๆ ไม่มีสีหุ้มเมล็ด หรืออาจจะเรียกว่า hull หรือ bran

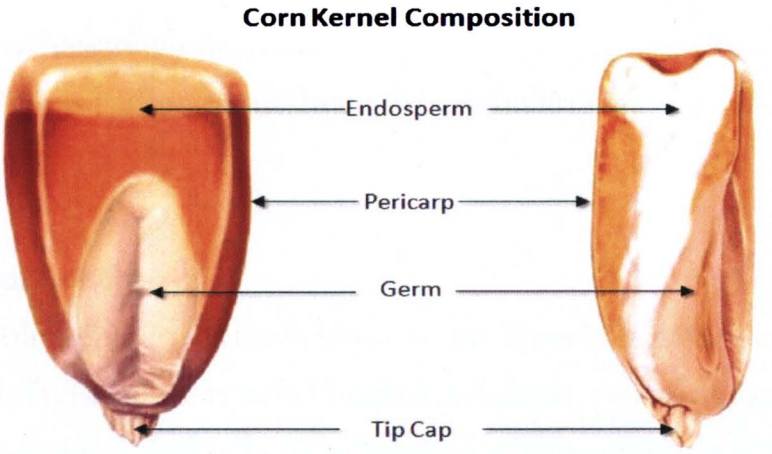
2. Endosperm เป็นส่วนที่เก็บสะสมอาหารของเมล็ด มีสีต่างๆ หลายสี เช่น เหลือง ขาว ส้ม อาหารที่สะสมส่วนใหญ่จะเป็นพวกแป้ง

3. Germ เป็นส่วนที่มีชีวิตในเมล็ด เป็นแหล่งสะสมสาระสำคัญของสารพันธุกรรม เป็นแหล่งเอนไซม์ วิตามิน แร่ธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของต้นอ่อน

4. Tip cap เป็นตำแหน่งของเมล็ดที่ไม่ได้หุ้มด้วย pericarp เป็นส่วนที่เชื่อมต่อแกนฝักข้าวโพดและเป็นทางเข้าหลักของสารต่างๆ สู่เมล็ด

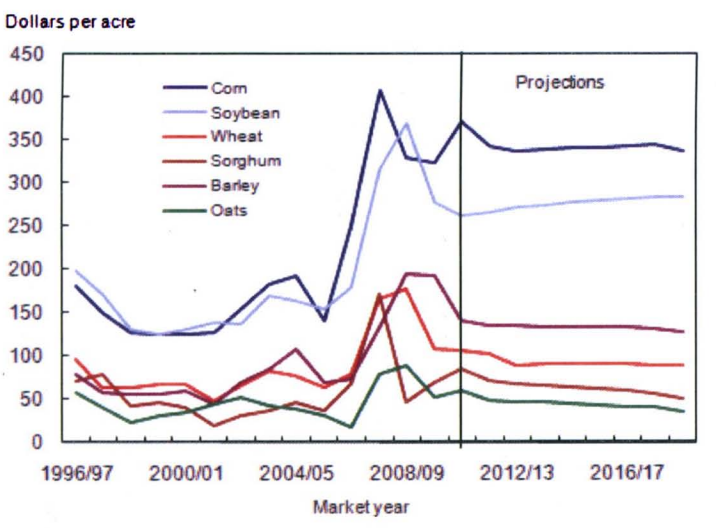
ตารางที่ 2.1 การกระจายน้ำหนักของส่วนประกอบหลักในเมล็ดข้าวโพด (FAO, 1992)

องค์ประกอบ	เปอร์เซ็นต์
Pericarp	5-6
Aleurone	2-3
Endosperm	80-85
Germ	10-12



ภาพที่ 2.1 ลักษณะองค์ประกอบของเมล็ดข้าวโพด (ที่มา: Cereal Process Technology, 2009)

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เป็นพืชอาหารที่มีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมการเลี้ยงสัตว์เป็นอย่างมาก โดยเฉพาะในประเทศอเมริกา ซึ่งใช้มากกว่า 90% ของการใช้ผลผลิตของข้าวโพดทั้งหมด และการปลูกข้าวโพดในอเมริกานั้นมากกว่า 80% ของพื้นที่การเกษตร โดยส่วนใหญ่แล้วข้าวโพดจะใช้เป็นพืชพลังงานและเป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์เป็นหลัก (USDA 2010) ข้าวโพดเป็นเมล็ดที่ใช้ในการผลิตเมล็ดพืชอาหารสัตว์มากที่สุด (ภาพที่ 2.2) ความต้องการใช้ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นมากหลังจากที่มีการขยายการเลี้ยงสัตว์ นิยมใช้เมล็ดในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ได้อย่างกว้างขวาง โดยมีสัดส่วนตั้งแต่ 20-60% ของสูตรอาหาร แตกต่างกันไปตามประเภทของสัตว์เลี้ยง



ภาพที่ 2.2 ความต้องการในการใช้เมล็ดในการผลิตเมล็ดพืชอาหารสัตว์ (USDA, 2010)

การจัดการหลังการเก็บเกี่ยวข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนใหญ่ ๆ คือ การเก็บเกี่ยว การลดความชื้น และการเก็บรักษาผลผลิต

วิธีการเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวโพด

โดยทั่วไปการเก็บเกี่ยวข้าวโพดยังใช้แรงงาน คน โดยจะใช้ไม้ปลายแหลมกรีดปลอกเปลือก แล้วหักฝักข้าวโพดโยนกองรวมกันไว้บนพื้นดินหรือในเข่ง จากนั้นจึงเทรวมใส่กระสอบแล้วขนเข้าไปกองรวมกันไว้ในยุ้งหรือบริเวณใกล้เคียงโดยไม่มีการจัดการใด ๆ ทั้งสิ้น ถ้าฝักข้าวโพดยังมีความชื้นสูงจะทำให้เกิดความร้อนในกองข้าวโพดเนื่องจากถูก เชื้อราเข้าทำลายและเกิดการปนเปื้อนของสารอะฟลาทอกซิน ในบางท้องที่ เช่น สระบุรี ลพบุรี นครสวรรค์ ซึ่งเป็นพื้นที่ราบ นิยมจ้างรถเก็บเกี่ยวแบบเครื่องเกี่ยวนวดชนิดขับเคลื่อนด้วยตนเอง (combine harvester) มาเก็บเกี่ยวข้าวโพด เครื่องชนิดนี้มีหัวเกี่ยวที่สามารถเกี่ยวข้าวโพดได้ครั้งละ 4 แถว ฝักข้าวโพดที่ถูกปลิดจะถูกลำเลียงด้วยชุดลำเลียงไปสู่ระบบนวดเพื่อนวดเมล็ด ให้ออกจากฝัก จากนั้นเมล็ดจะถูกลำเลียงไปเก็บไว้ในถังเก็บ เมื่อเต็มถังจะถูกถ่ายไปยังรถบรรทุกที่รออยู่ข้างแปลง จากการทดสอบพบว่า ชุดเก็บเกี่ยวข้าวโพดสามารถทำงานได้ดีมาก แต่เนื่องจากตัวถังมีขนาดใหญ่ (น้ำหนักประมาณ 10 ตัน) จึงไม่เหมาะกับแปลงปลูกที่มีขนาดเล็ก และในฤดูเก็บเกี่ยวดินยังมีความชื้นอยู่ ทำให้ติดหล่ม ทำงานไม่สะดวก อีกทั้งการขนย้ายเครื่องไปทำงานในท้องที่ต่าง ๆ ไม่คล่องตัว นอกจากนี้การที่เมล็ดยังมีความชื้นสูง ถ้าหากไม่สามารถลดความชื้นให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยได้ทัน (ตารางที่ 2.2) ก็จะ ทำให้เมล็ดเน่าเสียได้ง่าย ระยะที่เหมาะสมสำหรับการเก็บเกี่ยวข้าวโพด ด้วยเครื่องเกี่ยวนวด คือ เมื่อข้าวโพดมีความชื้นประมาณ 21-28 เปอร์เซ็นต์ การเก็บเกี่ยวข้าวโพดที่มีความชื้นสูงกว่าจะสิ้นเปลืองพลังงานในการลดความ ชื้นมาก แต่ถ้าเก็บเกี่ยวช้าเกินไปจะมีความเสียหายในแปลงเนื่องจากต้นล้ม นอกจากนี้ยังมีเครื่องเก็บเกี่ยวแบบปลิดฝัก ข้าวโพด (corn snapper) แบบปลิดและรูดเปลือกหุ้มฝัก ข้าวโพด (corn picker-husker) ซึ่งมีขนาดเล็กสามารถ เก็บเกี่ยวได้ครั้งละ 1-2 แถว

อายุที่เหมาะกับการเก็บเกี่ยว

การเก็บเกี่ยวข้าวโพดที่มีความชื้นที่ เหมาะสม คือ มีความชื้นต่ำกว่า 23 เปอร์เซ็นต์ จะช่วยรักษาคุณภาพของข้าวโพดขณะเก็บรักษาในยุ้งของเกษตรกร จากการทำลายเชื้อราและการปนเปื้อนของสารอะฟลาทอกซิน แต่เนื่องจากความชื้นของเมล็ดขณะเก็บเกี่ยว จะขึ้นอยู่กับอายุ พันธุ์และสภาพแวดล้อมในขณะเดียวกันมีพันธุ์ข้าวโพดที่จำหน่ายอยู่ในท้องตลาด เป็นจำนวนมาก ดังนั้น จึง

เป็นการยากที่จะศึกษาเพื่อหาอายุเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมของแต่ละพันธุ์ได้ แต่อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาเพื่อหาตัวชี้วัดอายุเก็บเกี่ยวในข้าวโพดลูก ผสมเดี่ยวจำนวน 4-5 พันธุ์ พบว่า หลังจากที่ใบข้าวโพดแห้งหรือเปลี่ยนเป็นสีฟางข้าวหมดทั้งแปลงแล้ว ข้าวโพดจะมีความชื้นในเมล็ดต่ำกว่า 25%

ตารางที่ 2.2 การเก็บรักษาเมล็ดข้าวโพดที่อุณหภูมิและความชื้นในเมล็ดระดับต่าง ๆ กัน

อุณหภูมิในโรงเก็บ (°C)	ความชื้นใน เมล็ด (%)			
	15	20	25	30
23.9	116	12	4	2
21.1	155	16	5	3
18.3	207	21	7	4
15.6	259	27	9	5
12.8	337	35	12	7
10.0	466	48	17	10
7.2	726	75	27	16
4.4	906	94	34	20
1.7	1140	118	42	25

ที่มา: สถาบันวิจัยพืชไร่ (2552)

วิธีการลดความชื้น

วิธีการลดความชื้นแบ่งออกเป็น 2 วิธีการ ดังนี้

1. การลดความชื้นแบบธรรมชาติ (Natural drying) เป็นวิธีที่นิยมใช้กันการลดความชื้นแบบธรรมชาติ คือ การลดความชื้นเมล็ดพันธุ์โดยใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์และลมธรรมชาติ ซึ่งมีข้อเสียหลายประการ เช่น อุณหภูมิอาจสูงเกินไป ซึ่งบางครั้งอาจสูงถึง 70°C จะทำให้เปลือกเมล็ดร้าวหรือแตกได้ทำให้เกิดการสูญเสีย ทั้งน้ำหนัก และคุณภาพข้าว น้ำหนักข้าวลดลง เนื่องจากถูกนก หนู ทำลายขณะตาก เกิดการร่วงหล่นขณะตาก และขนย้าย ส่วนการสูญเสียคุณภาพ เพราะการตากข้าวทิ้งไว้ในนา อัตราการแห้งของเมล็ดไม่คงที่และไม่สามารถควบคุมได้ นอกจากนี้ ยังต้องใช้แรงงานในการตากและเก็บเมล็ดในแต่ละวันจำนวนมากอีกด้วย ขณะที่ช่วงกลางคืน อุณหภูมิลด

ต่ำลง ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศสูงขึ้น ข้าวจึงดูดความชื้นกลับเข้าไปอีกครั้ง การเปลี่ยนแปลงความชื้นภายในเมล็ดข้าวแห้งและชื้นสลับกัน ทำให้เกิดการร้าวใน เมล็ด เมื่อนำข้าวไปนวดหรือสี จึงเกิดการแตกหัก คุณภาพการสีลดลง นอกจากนี้ยังได้รับผลกระทบจากสภาพแวดล้อม เช่น ข้าวเปียกน้ำค้างในเวลากลางคืน หรือเปียกฝนในระหว่างการตาก ถึงแม้ว่าการลดความชื้นแบบนี้แม้จะมีการออกแบบเครื่องอบที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้งานได้ดีกว่าการตากแดดธรรมชาติ แต่ในทางการค้าเมล็ดพันธุ์ก็ยังไม่เป็นที่นิยม เยาวเรศ (2541) ได้ศึกษาวิธีการลดความชื้นก่อนการเก็บเกี่ยวต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าวต้นฝนเพื่อลดการ สูญเสียคุณภาพเมล็ดพันธุ์เนื่องจากความชื้นสูง พบว่าในด้านความรวดเร็วของการลดความชื้นของเมล็ดข้าวจากระยะ สุกแก่ทางสรีรวิทยาสู่ระดับความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นระดับความชื้นขั้นต่ำทีเหมาะสมในการเก็บรักษานั้น การลดความชื้นโดยการพ่นสารไดเมทธิพิน 750 มิลลิลิตรต่อเฮกตาร์ที่ระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยาเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดโดยที่วิธีการนี้ใช้ระยะเวลาในการลดความชื้นเพียง 4.25 วัน ในพันธุ์สุพรรณบุรี 60 และ 4 วัน ในพันธุ์ กข.10

2. **การลดความชื้นโดยใช้เครื่องอบ (Artificial drying)** การลดความชื้นด้วยเครื่องอบมีข้อได้เปรียบ คือ สามารถควบคุมอัตราการแห้งได้ดีกว่าวิธีธรรมชาติและลดความชื้นเมล็ดได้คราวละมากๆ สามารถปฏิบัติได้ในทุกสภาวะอากาศ แม้ว่าฝนจะตกหรือมีแสงแดดน้อย ใช้พื้นที่น้อย สามารถควบคุมการลดความชื้น ให้อยู่ในระดับตามต้องการสามารถควบคุมป้องกันความเสียหายต่อคุณภาพข้าวได้ ในการผลิตเมล็ดพันธุ์เป็นการค้าจึงนิยมวิธีการลดความชื้นด้วยเครื่องอบ (artificial drying) บุญมี และ โสภณ (2546)ได้ทำการศึกษาวิธีการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วลิสงด้วยวิธีการแตกต่างกัน 3 วิธี คือ การใช้เครื่องอบแห้งชนิดลมร้อนของศูนย์ขยายพันธุ์พืชที่ 16 จ.สุรินทร์ การตากแดดโดยตรงทั้งวันและการผึ่งในร่มโดยตลอด หลังการลดความชื้นนำเมล็ดพันธุ์ที่ได้ในแต่ละวิธีการบรรจุกระสอบป่านเก็บไว้ในสภาพห้องที่ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ ทำการสุ่มตัวอย่างเมล็ดพันธุ์ในแต่ละวิธีการมาตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์และเปอร์เซ็นต์เมล็ดติดเชื้อรา *A. flavus* ทุกเดือน เป็นเวลานาน 6 เดือน ผลการทดลองพบว่า การลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งชนิดลมร้อน ทำให้เมล็ดพันธุ์ถั่วลิสงที่มีความชื้น 27 เปอร์เซ็นต์ ลดลงเหลือ 5.7 เปอร์เซ็นต์ ภายในระยะเวลา 36 ชั่วโมง ขณะที่การตากแดดและผึ่งในร่มต้องใช้เวลา 60 และ 90 ชั่วโมง ตามลำดับ จึงจะทำให้ความชื้นอยู่ในระดับเดียวกัน และเมล็ดที่ลดความชื้นด้วยเครื่องอบมีความงอกและความแข็งแรงเริ่มต้นมากกว่าการลดความชื้นแบบอื่น แต่ไม่แตกต่างทางสถิติ เมื่อนำมาเก็บรักษาไว้นาน 6 เดือน พบว่าเมล็ดพันธุ์ถั่วลิสงที่ลดความชื้นด้วยเครื่องอบ ยังคงมีเปอร์เซ็นต์ความงอกสูง ค่าการนำไฟฟ้าต่ำ เปอร์เซ็นต์ต้นกล้าที่เจริญผิดปกติและมีเปอร์เซ็นต์เมล็ดติดเชื้อรา *A.*

flavus น้อยกว่าเมล็ดที่ลดความชื้นด้วยวิธีอื่นการลดความชื้นด้วยเครื่องอบสามารถแบ่งออกตามระดับการใช้อุณหภูมิได้เป็น 3 ระดับ คือ

- การลดความชื้นด้วยเครื่องอบที่ใช้อุณหภูมิต่ำ การลดความชื้นด้วยเครื่องอบที่ใช้อุณหภูมิต่ำ (low temperature drier) เป็นการลดความชื้นเมล็ดโดยการเป่าลมผ่านอากาศเข้าสู่เมล็ด เป็นการเพิ่มอัตราการไหลของอากาศ (airflow rate) โดยไม่มีการเพิ่มอุณหภูมิ ข้อดีของเครื่องอบอากาศเหล่านี้ คือ ไม่สิ้นเปลืองพลังงานในการเพิ่มอุณหภูมิ เมล็ดพันธุ์ไม่ได้รับอันตรายจากความร้อน (heat damage) และไม่ประสบปัญหาเมล็ดที่แห้งเกินไป (over drying)

- การลดความชื้นด้วยเครื่องอบที่ใช้อุณหภูมิปานกลาง การลดความชื้นด้วยเครื่องอบที่ใช้อุณหภูมิปานกลาง (Medium temperature drier) มีหลักการ คือ การเป่าลมอุณหภูมิปานกลาง (30–50°C) ผ่านชั้นเมล็ดพันธุ์ที่มีความหนาไม่มากหรือน้อยเกินไป วิธีนี้ผู้ปฏิบัติต้องมีความรู้ในการจัดการจึงจะอบเมล็ดพันธุ์ได้ผลดี ต้องระมัดระวังการอบลดความชื้นอย่างรวดเร็ว (rapid drying) และการอบลดความชื้นเมล็ดจนแห้งเกินไป (over drying) การอบวิธีนี้จำเป็นต้องทราบความชื้นเริ่มต้นของเมล็ดพันธุ์เพื่อพิจารณาปรับอุณหภูมิให้เหมาะสมกับความชื้นเมล็ดพันธุ์

- การลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งที่ใช้อุณหภูมิสูง การลดความชื้นของเมล็ดด้วยเครื่องอบที่ใช้อุณหภูมิสูง (high temperature drier) ไม่สามารถใช้กับการผลิตเมล็ดพันธุ์ได้ เนื่องจากอุณหภูมิสูงจะทำลายความงอกของเมล็ดพันธุ์ เครื่องอบประเภทนี้มักใช้อบเมล็ดพืช (grain) ที่จะนำไปใช้บริโภคหรือทำผลิตภัณฑ์อื่นๆ ซึ่งต้องการลดความชื้นของเมล็ดภายในระยะเวลาอันสั้น อย่างไรก็ตาม การอบที่อุณหภูมิสูงกว่า 60°C อาจทำให้โครงสร้างทางเคมีของเมล็ดเปลี่ยนไป ทำให้คุณค่าทางอาหารลดลงได้ ข้อจำกัดของการลดความชื้นด้วยเครื่องอบที่ใช้อุณหภูมิสูงนี้ขึ้นอยู่กับชนิดพืชและวัตถุประสงค์ของอุตสาหกรรม

เชื้อราในโรงเก็บ (Storage fungi)

เมล็ดพันธุ์เมื่อเก็บเกี่ยวจากแปลงแล้ว เมื่อนำมาเก็บไว้เพื่อรอราคาหรือแจกจ่ายแก่เกษตรกรก็ตาม มักจะพบว่ามีปัญหาเกี่ยวกับเชื้อราในโรงเก็บ ซึ่งจะทำให้เมล็ดพันธุ์มีคุณภาพต่ำและความงอกลดลง ความสูญเสียที่เกิดกับเมล็ดพันธุ์หลังเก็บเกี่ยวนับว่าสูงมาก ทั้งนี้เพราะว่าส่วนใหญ่แล้วคนมักจะมองข้ามความสำคัญของเชื้อราในโรงเก็บแต่ไปเน้นที่แมลงมากกว่า ทั้งนี้เพราะว่าแมลงสามารถมองเห็นได้ชัดเจนด้วยตาเปล่า แต่เชื้อรานั้นเนื่องจากมีขนาดเล็กจึงมองไม่ค่อยเห็น ยกเว้นแต่ว่าเมื่อเข้าทำลายเมล็ดมากๆ จะพบเส้นใยขึ้นปกคลุมเมล็ดอยู่จะมีสีขาวจนถึงสีน้ำตาลดำแล้วแต่ชนิดของเชื้อราที่เข้าทำลาย ในประเทศออสเตรเลีย พบว่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นเนื่องจากเชื้อราหลังการเก็บเกี่ยวมีมูลค่าถึงปีละประมาณ 200 กว่าล้านบาททุกปี และจากการรายงานองค์การอาหารและ

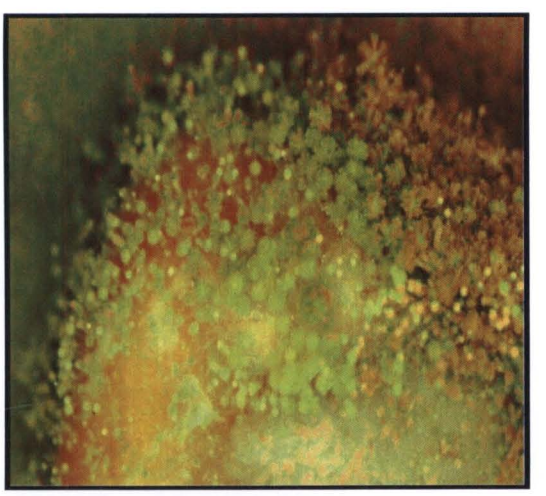
เกษตรแห่งสหประชาชาติ พบว่าความสูญเสียหลังเก็บเกี่ยวนั้นมีมากถึง 20% ของผลผลิตที่ได้ในแต่ละปี เชื้อราในโรงเก็บนั้นสามารถพบได้โดยทั่วไปในอากาศ ไม่ว่าจะเป็นในรูปของเส้นใยหรือสปอร์ โดยเฉพาะในโรงเก็บรักษาเมล็ดจะเป็นแหล่งที่พบเชื้อราในโรงเก็บมากที่สุด ดังนั้นเมล็ดพืชทุกชนิดจึงมีโอกาสติดเชื้อโรคได้ง่าย ไม่ว่าเมล็ดนั้นจะอยู่ในช่วงขณะเก็บเกี่ยว ขณะอยู่ในลานตากเมล็ด ขณะทำการสี นวด คัดแยก บรรจุ ขนส่ง หรือเก็บไว้ในยุ้งฉางก็ตาม เชื้อราเหล่านี้อาจติดอยู่ตามฝัก ในเมล็ดหรือแทรกอยู่ตามรอยแตกของเปลือกเมล็ด ซึ่งอาจฟักตัวอยู่ในรูปของเส้นใยหรือสปอร์ หรือในรูปของโครงสร้างอื่นๆก็ได้ เมื่อสภาพแวดล้อมต่างๆเหมาะสม เชื้อราเหล่านี้ก็เจริญงอกเข้าทำงายเมล็ดให้เสียหายต่อไป (สมบัติ, 2536)

เชื้อราในโรงเก็บที่รู้จักและพบกันมากมีอยู่ 2 ชนิด คือ เชื้อราพวก *Aspergillus* และ *Penicillium* นอกจากนี้ยังมีพวก *Rhizopus* และ Yeast เป็นต้น การแพร่กระจายของเชื้อราในโรงเก็บนี้อาจจะอยู่ในรูปของเส้นใยหรือสปอร์ ซึ่งจะสามารถเข้าทำงายได้อย่างรวดเร็ว ถ้าสภาพแวดล้อมเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อรา ในเมล็ดพันธุ์คุณภาพต่ำมักจะพบว่ามีทั้งเชื้อรา *Aspergillus* และ *Penicillium* เข้าทำลายอยู่ เชื้อราเหล่านี้สามารถอาศัยอยู่ได้ในเมล็ดเป็นระยะเวลานานๆ นอกจากนี้ในไซโลใหญ่ๆแล้วแหล่งสะสมของเชื้อราในโรงเก็บที่สำคัญคือ สายพานที่ใช้ปล่อยเมล็ดไปในตัวไซโล เชื้อราในโรงเก็บที่ตรวจพบว่าเข้าทำลายเมล็ดพืชจนทำให้เกิดความเสียหายทางเศรษฐกิจมีอยู่หลายชนิด แต่เชื้อราที่สำคัญๆ ซึ่งพบเห็นอยู่เสมอและก่อให้เกิดผลเสียหายในหลายๆด้านนั้น ได้แก่ เชื้อราต่อไปนี้ *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 (Murray, 1999) โดย Christensen and Sauer (1982) รายงานว่าผลของการเข้าทำลายของเชื้อราในเมล็ดธัญพืชนั้น ทำให้เมล็ดสูญเสียคุณภาพและสูญเสียมูลค่าของผลิตภัณฑ์

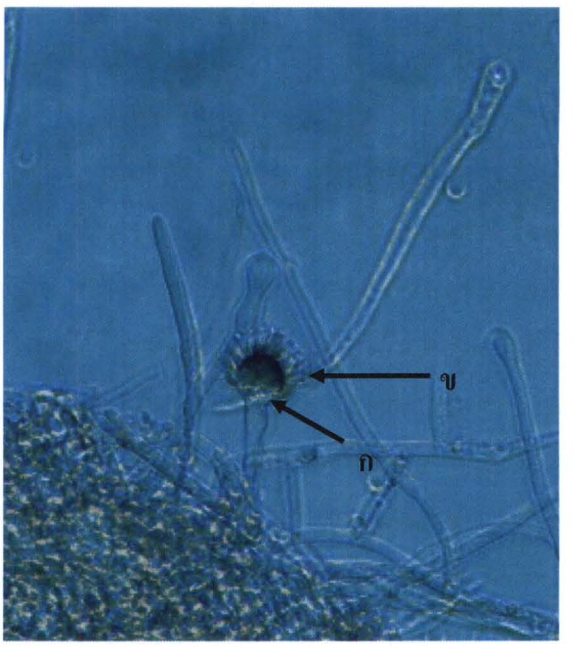
เชื้อรา *Aspergillus flavus*

เชื้อรา *A. flavus* จัดเป็นเชื้อราที่สามารถผลิตสารอะฟลาทอกซิน (aflatoxin) ซึ่งเป็นชนิดที่สำคัญที่สุดในสกุลแอสเปอร์จิลลัส (*Aspergillus* spp.) สามารถเจริญเติบโตได้ดีในเมล็ดเช่นเมล็ดข้าวโพด ถั่วลิสง และดินที่ปลูก ถูกจัดเป็น storage fungi คือสามารถเข้าทำลายในโรงเก็บ มักเข้าไปทำลายเมล็ดพืชหลังการเก็บเกี่ยวเป็นต้นไป และเจริญเติบโตได้ดีในโรงเก็บ (ธรรมศักดิ์, 2533) การสังเกตด้วยตาเปล่าพบว่ามีสีเหลืองจนถึงสีเขียวเข้มบนเมล็ด(ภาพที่ 2.3) และมีลักษณะชัดเจนเมื่อขึ้นบนอาหารเลี้ยงเชื้อซึ่งสีเขียวดังกล่าวเป็นสีของ conidia head ที่เจริญจากเส้นใย (hyphae) ที่ไม่มี

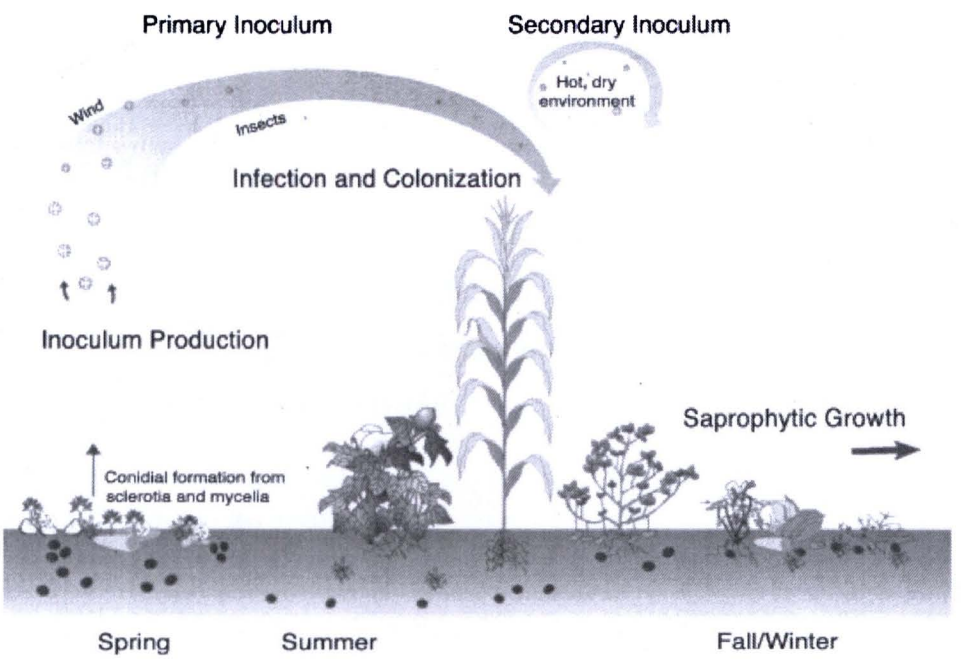
สีเหลืองอ่อน (hyaline หรือ subhyaline) และมีผนังกั้น (septum hyphae) ส่วนของก้านชูสปอร์ (conidiophore) ยาวและไม่แตกกิ่งก้านสาขาเจริญมาจากเส้นใยโดยตรง ที่ปลายก้านชูสปอร์จะโป่งออก รูปร่างค่อนข้างกลม (vesicle) (ภาพที่ 2.4) เป็นส่วนที่จะให้กำเนิดสปอร์ (sterigma หรือ pialide) ซึ่งอาจมีชั้นเดียว (uniseratiate) หรือสองชั้น (biseratiate) ในกรณีที่มีสองชั้น ชั้นในส่วนที่ติดกับ vesicle เรียกว่า metulae (primary sterigma) ส่วนชั้นนอกซึ่งเป็น phailide (secondary sterigma) ตรงส่วนปลายเป็นที่เกิดของสปอร์ (conidia) ซึ่งส่วนมากมีรูปร่างกลมผนังขรุขระเล็กน้อยและเกิดต่อเป็นลูกโซ่ (Kenneth and Derothy, 1965) เป็นเซลล์ที่ฟุ้งได้ดีในอากาศ (Diener *et al.*, 1987) และบางไอโซเลท (isolate) สามารถคงอยู่ในดินได้นาน(ประสงค์, 2530) ถือเป็นแหล่งของเชื้อราในชั้นปฐมภูมิที่มีศักยภาพมากที่สุดเป็นที่อาศัยของสปอร์ ถือเป็นแหล่งผลิต conidia ให้กระจายอยู่ในอากาศและแพร่กระจายไปอย่างรวดเร็วโดยการพัดพาของอากาศและกระแสลม ดังภาพที่ 2.5 (Diener *et al.*, 1987) เชื้อ *A. flavus* เจริญเติบโตได้น้อยเมื่ออากาศมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า 85 เปอร์เซ็นต์และมีช่วงอุณหภูมิที่สามารถเจริญได้ค่อนข้างกว้างถ้าความชื้นเพียงพอตั้งแต่ช่วงอุณหภูมิ 6-46°C (Shanta and Sreenivasmurthy, 1981 อ้างโดยธรรมศักดิ์, 2533) แต่อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตดีในสภาวะที่มีความชื้นสูงกล่าวคือ เมื่ออากาศมีความชื้นสัมพัทธ์เป็น 86-87 เปอร์เซ็นต์ เชื้อราสามารถเจริญและสร้างสารพิษอะฟลาทอกซิน ซึ่งจัดเป็น secondary metabolite ถูกสร้างขึ้นโดยพวก mycotoxin storage fungi สารพิษอะฟลาทอกซิน



ภาพที่ 2.3 ลักษณะของเชื้อรา *Aspergillus flavus* ที่เจริญบนเมล็ดข้าวโพด เพาะบนอาหารเลี้ยงเชื้อ



ภาพที่ 2.4 ลักษณะของ *Aspergillus flavus* แสดง conodiophore (ก) ที่มีปลายโป่งเป็น vesicle รอบๆ เป็นที่เกิดของ phialide (ข) รูปร่าง flask-shaped ภาพภายใต้กล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 400 เท่า



ภาพที่ 2.5 การแพร่กระจายของเชื้อรา *Aspergillus flavus* (PathInfo Project , 2009)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

ปัจจัยที่ส่งเสริมให้การเจริญเติบโตของเชื้อรา

1. ความชื้นของเมล็ด (moisture content) พวกเชื้อราในโรงเก็บกลุ่มต่างๆ ต้องการความชื้นในเมล็ดแตกต่างกันไปตามชนิดของเมล็ดพืช เพื่อใช้ในการเจริญเติบโต ขยายปริมาณ และเข้าทำลายเมล็ด เชื้อราบางชนิดต้องการความชื้นต่ำ บางชนิดต้องการความชื้นสูง อย่างไรก็ตามเชื้อราในโรงเก็บบางชนิดก็ยังเจริญบนเมล็ดได้แม้ความชื้นของเมล็ดสูงขึ้น แต่การที่เชื้อราไม่สามารถเจริญออกมาให้เห็นได้เนื่องมาจากเชื้อรากลุ่มอื่นๆ ซึ่งเจริญได้รวดเร็วกว่าเข้าปกคลุมเมล็ดเสียก่อน เช่นเมล็ดธัญพืชที่มีความชื้น มากกว่า 13%, เมล็ดถั่วที่มีความชื้น มากกว่า 11%

2. ความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity) ภายในโรงเก็บ พวกเชื้อราในโรงเก็บกลุ่มต่างๆ สามารถเจริญได้ดีที่ความชื้นสัมพัทธ์แตกต่างกันไป เชื้อราบางชนิดเจริญได้ดีในช่วงที่ความชื้นสัมพัทธ์ค่อนข้างต่ำ แต่บางชนิดต้องการความชื้นสัมพัทธ์สูงในการเจริญเติบโต โดยทั่วไปแล้วเชื้อราสามารถเจริญเจริญได้ดีที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 65-90% ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความชื้นของเมล็ดในเมล็ดพืชชนิดต่างๆ ด้วย

3. อุณหภูมิ (temperature) ภายในโรงเก็บ พวกเชื้อราในโรงเก็บโดยทั่วไปต้องการอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญในช่วง 30-40°C อุณหภูมิสูงสุดประมาณ 50-55°C และอุณหภูมิต่ำสุดประมาณ 0-5°C *Aspergillus* บางชนิดสามารถเจริญได้ที่อุณหภูมิค่อนข้างสูง เช่น *A. flavus* ที่ 45°C และ *A. candicus* ที่ 50-55°C แต่มีเชื้อรา *Penicillium* บางชนิด รวมทั้ง *A. glaucus* และ *A. restictus* ยังสามารถเจริญได้อย่างช้าๆ ที่อุณหภูมิ 0-5°C ซึ่งสมดุลกับความชื้นสัมพัทธ์ที่ 90% ขึ้นไป

4. ระยะเวลาที่เก็บรักษา ความชื้นของเมล็ด อุณหภูมิในโรงเก็บ และระยะเวลาในการเก็บรักษาจะมีความสัมพันธ์กันอย่างมากในการเจริญของเชื้อราในเมล็ดพืชที่เก็บไว้ ถ้าเมล็ดที่เก็บไว้มีความชื้นสูง อุณหภูมิสูงและเก็บไว้เป็นระยะเวลานาน เมล็ดจะเสียหายจากการเข้าทำลายของเชื้อราในโรงเก็บมากยิ่งขึ้น ตัวอย่างเช่น ข้าวสาลีมีความชื้นเมล็ด 14.5-15% ถ้าเก็บที่อุณหภูมิ 20-25°C จะถูกเชื้อราเข้าทำลายในเวลา 2-4 เดือน แต่ถ้าเก็บที่อุณหภูมิต่ำ 10-15°C สามารถเก็บเมล็ดไว้นานเป็นปีโดยปราศจากการเข้าทำลายจากเชื้อราในโรงเก็บ

การป้องกันกำจัดเชื้อราในโรงเก็บ

การเกิดความเสียหายต่อเมล็ดพืชที่เนื่องมาจากเชื้อราในโรงเก็บนั้น อาจเกิดขึ้นได้ตั้งแต่ก่อนการเก็บเกี่ยว แล้วต่อเนื่องมาถึงยุ้งฉางหรือโรงเก็บเมล็ดพันธุ์ ดังนั้นการป้องกันการสูญเสียของเมล็ดพันธุ์ให้ปลอดภัยหรือลดความเสียหายจากการเข้าทำลายของเชื้อรา จึงต้องเริ่มกระทำตั้งแต่ก่อนการเก็บเกี่ยว และหลังการเก็บเกี่ยวจนกระทั่งเมล็ดนั้นถูกนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 18 ก.ย. 2554
เลขทะเบียน 242208
เลขเรียกหนังสือ

การป้องกันขณะทำการเก็บเกี่ยวและการปฏิบัติต่างๆ ก่อนนำเมล็ดไปเก็บรักษาไว้

การป้องกันเชื้อราในขั้นตอนนี้ถือว่าเป็นช่วงที่สำคัญมาก เพราะจะมีผลกระทบต่อคุณภาพของเมล็ดที่จะเก็บรักษาไว้ให้ปลอดภัยจากการเข้าทำลายของเชื้อราในโรงเก็บ โดยมีวิธีการปฏิบัติดังนี้

1. เก็บเกี่ยวเมล็ดเมื่อแก่เต็มที่และเก็บเกี่ยวในขณะอากาศแห้ง
2. นวด ทำความสะอาดเมล็ด อย่าให้เมล็ดเกิดการแตกร้าว
3. ลดความชื้นเมล็ดให้ต่ำ
4. ในกรณีเก็บเมล็ดใส่ภาชนะ ภาชนะต้องสะอาดและมิดชิด
5. ภายในโรงเก็บเมล็ด ควรมีความชื้นสัมพัทธ์ ต่ำกว่า 70% อุณหภูมิ ไม่เกิน 15°C ภายในโรงเก็บต้องสะอาด มิดชิด ป้องกันแดดและฝนได้ มีการถ่ายเทอากาศ
6. กรณีที่เมล็ดมีความชื้นสูงและต้องเก็บเมล็ดไว้ในระยะเวลาสั้นๆ คือ 1-2 เดือน และต้องคลุกเมล็ดด้วยสารเคมี เช่น propinoic acid, calcium propionate และ sodium propionate แต่จะมีข้อเสียคือ ทำให้เมล็ดมีกลิ่น

อะฟลาทอกซิน

อะฟลาทอกซินเป็นสารพิษที่เกิดจากเชื้อรา *A. flavus* ซึ่งเจริญเติบโตบน ผลิตผลทางการเกษตรโดยเฉพาะข้าวโพดและถั่วลิสง สารอะฟลาทอกซินเป็นสารก่อมะเร็งที่ร้ายแรงที่สุดสารหนึ่ง จากการประเมินของนักวิชาการหลายท่าน พบว่าในด้านอาหารสัตว์ สารอะฟลาทอกซินได้ทำลายเศรษฐกิจของประเทศไทยในแต่ละปีคิดเป็นมูลค่านับหลาย พันล้านบาท ในด้านการเลี้ยงสัตว์ สารอะฟลาทอกซินทำให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากสัตว์เลี้ยงโดยเฉพาะสัตว์ปีก สุกร และสัตว์น้ำ (กุ้ง) มีการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารลดลง อัตราการตายสูง มีภูมิคุ้มกันโรคต่ำ ทำให้ใช้วัคซีนป้องกันโรคไม่ได้ผล ตลอดจนการใช้ยาป้องกันโรคในระดับสูงขึ้น พ่อแม่พันธุ์ผสมพันธุ์ไม่ติดหรือมีการคัดทิ้งสูงมากในฟาร์ม และมีผลทำให้คุณภาพของเนื้อสัตว์ไม่ได้มาตรฐานเนื่องจากเกิดสารพิษตกค้างในเนื้อสัตว์ นอกจากนี้สารอะฟลาทอกซินยังสามารถถ่ายทอดไปยังผลผลิต เช่น ไข่ นม ได้อีกด้วย ซึ่งเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคโดยเฉพาะเด็กและผู้สูงอายุ

จากสาเหตุดังกล่าวทำให้การศึกษาเกี่ยวกับบทบาทของสารพิษมากขึ้น และพบว่าอะฟลาทอกซินยังเป็นสาเหตุทำให้เกิดโรคมะเร็งได้ด้วย สารพิษจากเชื้อรา หรือ mycotoxins เป็นสารพิษที่มีผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์และสัตว์มากและเกิดอยู่ทั่วไปในอาหารหลายชนิด รวมทั้งผักและผลไม้ด้วย การได้รับสารพิษจากเชื้อราอาจจะเกิดผลกระทบชนิดเฉียบพลัน หรือแบบเรื้อรัง และ

อาจจะทำให้เสียชีวิตได้ หรือมีผลกระทบต่อระบบประสาทส่วนกลาง ระบบหัวใจและหลอดเลือด ทั่วโลกหันมาสนใจเนื่องจากมีสัมพันธ์โดยตรงกับสุขภาพของมนุษย์ การผลิตสัตว์ และการค้าทั้งในและระหว่างประเทศ และปัญหานี้มีความสำคัญมากในเขตประเทศที่กำลังพัฒนา ซึ่งอาหารมีโอกาสที่จะปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์ได้ง่าย สารพิษจากเชื้อราเป็น secondary metabolites ซึ่งผลิตได้โดยเชื้อราหลายสกุล (ตารางที่ 2.3) โรคที่เกิดจากสารพิษจากเชื้อรานั้นรวมเรียกว่า mycotoxicoses

ตารางที่ 2.3 สารพิษจากเชื้อราและชนิดของเชื้อราที่สำคัญ

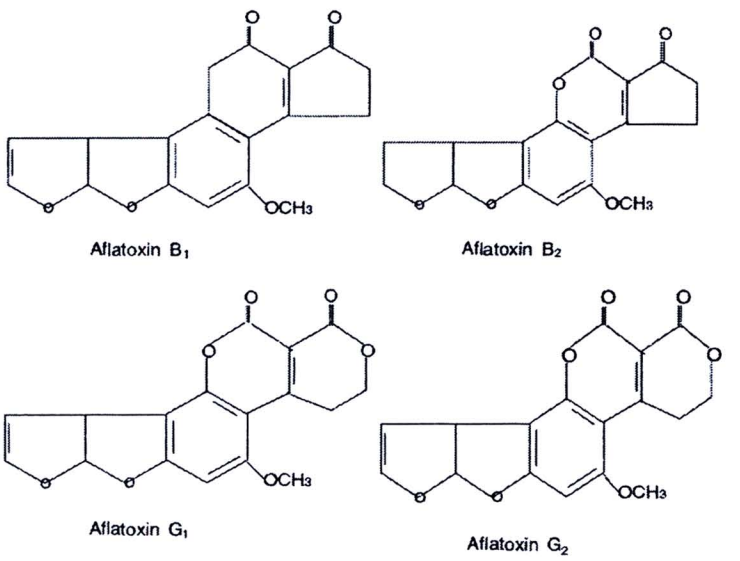
ชนิดของสารพิษ	ชนิดของเชื้อราที่สร้าง
Aflatoxin B_1, B_2, G_1, G_2	*Aspergillus parasiticus*
Aflatoxin B_1, B_2	*Aspergillus flavus*
T-2 toxin	*Fusarium sporotrichioides*
Deoxynivalenol หรือ nivalenol	*Fusarium graminearum*
Fumonisin B_1	*Fusarium moniliforme*
Ochratoxin A	*Penicillium verrucosum*
	Aspergillus ochraceus

ที่มา: Wareing, 1999

ลักษณะทางเคมีของสารอะฟลาทอกซิน

อะฟลาทอกซิน เป็น Secondary metabolites ของเชื้อรา *A. flavus* และ *A. parasiticus* เป็นอนุพันธุ์ของฟิวราโนคัวมาริน (Furano-coumarin) และได้รับการจำแนกแล้วว่ามีประมาณ 17 ชนิด ซึ่งมีความเป็นพิษสูง เป็นสารที่ก่อให้เกิด mutagenie teratogenic และเป็นสารก่อมะเร็งที่พบแพร่หลายในพืชทางเกษตรที่สำคัญ เช่นถั่วลิสง ข้าวโพด ข้าว อะฟลาทอกซิน พบมากในหลายประเทศ โดยเฉพาะในเขตร้อนชื้นที่มีอุณหภูมิ ความชื้นที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและการสร้างสารพิษของเชื้อรา อะฟลาทอกซินที่พบอยู่ทั่วไป มีอยู่ 4 ชนิดคือ อะฟลาทอกซิน B_1 B_2 G_1 และ G_2 อะฟลาทอกซินทั้ง 4 ชนิด (ภาพที่ 2.6) มักจะถูกสร้างขึ้นพร้อมๆ กัน ตามปกติ อะฟลาทอกซิน B_1 จะพบมากและมีปริมาณสูงที่สุดส่วนที่พบรองลงมาได้แก่ อะฟลาทอกซิน B_2 G_1 และ G_2 ตามลำดับ อะฟลาทอกซิน B_1 จะมีพิษรุนแรงมากที่สุดสามารถทนทานความร้อนได้สูงถึง 500 องศาฟาเรนไฮต์ (260°C) (Christiansen and Kaufman, 1969) อะฟลาทอกซินมีสมบัติเรืองแสงเมื่อส่องด้วยแสงอัลตราไวโอเลต (ultraviolet) กล่าวคือ อะฟลาทอกซิน B_1 และ B_2 ให้แสงสีน้ำเงินส่วนอะฟลาทอกซิน G_1 และ G_2 ให้แสงสีเขียว อะฟลาทอกซินนอกจากจะเกิดจากการสร้างขึ้นโดยตรง

ของเชื้อราที่เจริญบนอาหารแล้วยังเกิดกับสัตว์ที่ได้รับอาหารปนเปื้อนอะฟลาทอกซิน แล้วสะสมไว้ยังส่วนต่างๆ เช่น น้ำนม กล้ามเนื้อ และไข่ ในน้ำนมสัตว์พบอะฟลาทอกซิน M_1 และ M_2 ซึ่งเป็น metabolic form ของอะฟลาทอกซิน B และ G อย่างไรก็ตาม อะฟลาทอกซิน M_1 จะมีความเข้มข้นต่ำกว่า อะฟลาทอกซิน B_1 ที่ปนเปื้อนในอาหารสัตว์ถึง 30 เท่า ความรุนแรงของอะฟลาทอกซินขึ้นอยู่กับสูตรโครงสร้างอะฟลาทอกซิน แบ่งเป็น 3 กลุ่มตามสูตรโครงสร้างและความรุนแรงของอาการเป็นพิษ



ภาพที่ 2.6 โครงสร้างของอะฟลาท็อกซิน (Wogan and Busby, 1980)

ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของเชื้อรา *Aspergillus flavus* และการสร้างอะฟลาทอกซิน

1. ชนิดของเชื้อรา

เชื้อราที่สร้างอะฟลาทอกซินเมื่อเจริญเติบโตเต็มที่แล้วจะเป็นเส้นใยสีขาวตรงปลายมีตุ่มสีเขียว สำหรับสปอร์ที่สร้างขึ้นที่สภาวะไม่เหมาะสมจะมีสีเหลืองหรือเขียว โคโลนีของเชื้อรา *A. flavus* ที่มีการสร้าง sclerotia สีน้ำตาลจะมีการสร้างอะฟลาทอกซิน ได้มากกว่าเชื้อรา *A. flavus* ที่มีโคโลนีสีเขียวขี้ม้าในเชื้อรา *A. flavus* ยังมีหลายพันธุ์ ซึ่งแต่ละพันธุ์มีความสามารถสร้างอะฟลาทอกซินได้ในปริมาณแตกต่างกัน และมีบางพันธุ์ไม่สร้างอะฟลาทอกซินเลย เชื้อรา *A. flavus* บางสายพันธุ์เท่านั้นที่สามารถสร้างอะฟลาทอกซินได้ จากการตรวจสอบเชื้อรา *A. flavus* ที่แยกได้จากผลิตผลนานาชนิดความสามารถในการสร้างอะฟลาทอกซินของเชื้อรามากกว่า 1,000 isoletes พบว่าประมาณร้อยละ35.6 เท่านั้นที่สามารถสร้างอะฟลาทอกซินได้ (กรมวิชาการเกษตร, 2545)และจากการสำรวจและจำแนกชนิดของเชื้อรา *A. flavus* ของข้าวกล้องในเขตกรุงเทพฯ พบว่าข้าวกล้อง 20 ตัวอย่างตรวจพบเชื้อรา *A. flavus* 15 isolates และมีเพียง 11 isolates ที่สร้างอะฟลาทอกซิน B_1และ 2

isolates ที่สร้างอะฟลาทอกซิน B_1 สูงมากกว่า 10,000 ppb (Pradubsri *et al.*, 2004) ดังนั้นสายพันธุ์ของเชื้อราเป็นปัจจัยสำคัญในการสร้างอะฟลาทอกซินซึ่งอาจทำให้อาหารที่มีเชื้อราขึ้นอยู่ อาจไม่มีอะฟลาทอกซินปะปนอยู่ก็ได้ นอกจากเชื้อรา *A. flavus* และ *A. parasiticus* ที่สามารถสร้างอะฟลาทอกซินแล้วยังมีเชื้อราอีกหลายชนิด ได้แก่ *A. niger*, *A. wentii*, *A. rubber*, *A. ostianus*, *A. ochraceous*, *Penicillium puberrulum, P. frequentans*, *P. citrinum* และ *P. ariable* เป็นต้น ที่สร้างอะฟลาทอกซินได้เหมือนกัน ปริมาณและชนิดของอะฟลาทอกซินที่สร้างขึ้นแตกต่างไปตามชนิดของเชื้อรา สำหรับเชื้อรา *A. flavus* สร้างได้เฉพาะอะฟลาทอกซิน B_1 และ อะฟลาทอกซิน B_2 ส่วน *A. parasiticus* สามารถสร้างอะฟลาทอกซินได้ทั้งอะฟลาทอกซิน B1 G1 B2 และ G2 ส่วนเชื้อราอื่นๆสร้างได้เฉพาะอะฟลาทอกซิน B_1 และ G_1 เป็นส่วนใหญ่ แต่สร้างอะฟลาทอกซิน B_2 และ G_2 ได้เพียงเล็กน้อย

2. อาหารที่เชื้อราเจริญ

อาหารแต่ละชนิดมีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและการสร้างอะฟลาทอกซินได้ต่างกัน อาหารพื้นฐานที่ต้องการคือ คาร์บอน ไนโตรเจน เกลือแร่ และวิตามิน จากการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการสร้างอะฟลาทอกซินโดยเชื้อรา *A. flavus* พบว่าสารตั้งต้นที่มีคาร์โบไฮเดรตสูง เช่น ข้าว ข้าวสาลี จะส่งเสริมการสร้างอะฟลาทอกซินมากกว่าเมล็ดพืชน้ำมัน เช่น ถั่วลิสง เมล็ดฝ้าย ถั่วเหลือง สาเหตุเนื่องจากเชื้อราไม่สามารถจะย่อยสลายน้ำมันที่มีอยู่สูงในเมล็ดพืชน้ำมันได้โดยทันที (Goldblatt, 1969) สำหรับ ธัญพืชและเมล็ดพืชน้ำมันโดยเฉพาะอย่างยิ่งข้าวและถั่วลิสงจะเป็น substrate ที่ดีที่สุดรองลงมาได้แก่ ข้าวโพดและข้าวสาลี สำหรับถั่วเหลืองเป็นสารตั้งต้นที่เชื้อราสร้างอะฟลาทอกซินได้ค่อนข้างต่ำ

3. อุณหภูมิ

อุณหภูมิมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตและการสร้างอะฟลาทอกซิน เช่นเดียวกับความชื้น เชื้อรา *A. flavus* เจริญเติบโตได้ในช่วงอุณหภูมิ 6-46°C และอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 36-38°C อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการสร้างอะฟลาทอกซินอยู่ในช่วง 25-35 °C (อรพิน, 2526) นอกจากนี้ Joffe and Lisker (1969) รายงานว่าที่อุณหภูมิ 45°C จะยับยั้งการสร้างอะฟลาทอกซิน และที่อุณหภูมิต่ำกว่า12-15°C พบว่าไม่มีการสร้างอะฟลาทอกซิน หรือมีการสร้างเพียงเล็กน้อย ส่วนที่อุณหภูมิ 24°C เชื้อราสามารถสร้างอะฟลาทอกซินได้มากที่สุด และมีการเจริญเติบโตสูงสุดที่อุณหภูมิ 29-35°C ภายหลังจากการปลูกเชื้อราบนอาหารเลี้ยงเชื้อเป็นเวลา 5 วัน แต่ปริมาณอะฟลาทอกซินที่เกิดขึ้นไม่มีความสัมพันธ์กับอัตราการเจริญเติบโตของเชื้อรา *A. flavus* แต่อย่างใด

แนวทางการป้องกันการปนเปื้อนเชื้อรา *Aspergillus flavus* และการสร้างอะฟลาทอกซิน

การป้องกันและการควบคุมการปนเปื้อนเชื้อรา *A. flavus* และการสร้างอะฟลาทอกซิน สามารถทำได้หลายทางเช่น การใช้สารเคมี และการไม่ใช้สารเคมี ได้แก่ การลดความชื้น การฉายรังสี การใช้สารสกัดจากพืช และการใช้พันธุ์ต้านทาน

การควบคุมการปนเปื้อนโดยการใช้สารเคมี

ปัจจุบันการใช้สารเคมีเพื่อควบคุมโรคหลังการเก็บเกี่ยวที่ใช้กันแพร่หลาย มีปัญหามาก เนื่องจากการต้านทานของเชื้อจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ มากขึ้นตลอดจนการตกค้างของสารพิษ (Plazt *et al.*, 2001) มีรายงานว่าเชื้อราบางสายพันธุ์มีความต้านทานต่อสารเคมีและทำให้ประสิทธิภาพของยาต่อการทำลายของเชื้อลดลงและไม่ได้รับอนุญาตให้ใช้ อนาคตการห้ามใช้สารเคมีคงมีมากขึ้น ดังนั้นการเลือกใช้สารเคมีกำจัดเชื้อรา เพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงสุดในการป้องกันกำจัดเชื้อรา ความสามารถของสารเคมีในการผ่านเนื้อเยื่อของผลผลิตไปสู่บริเวณที่เชื้อราเข้าทำลาย และความทนต่อสารเคมีในแง่การเกิดพิษต่อผลิตผลและผลกระทบที่อาจจะเกิดกับรสชาติของผลผลิต สารเคมีที่นิยมใช้คลุกเมล็ดเพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราในโรงเก็บมีหลายชนิด เช่น Propanoic acid และ Calcium propionate สารเคมีเหล่านี้ส่วนใหญ่นิยมใช้ผสมกับเมล็ดพืชที่ใช้เป็นอาหารสัตว์เท่านั้น เช่น การใช้ Propanoic acid 1% ผสมกับเมล็ดข้าวโพดที่มีความชื้น 26% พบว่าสามารถควบคุมเชื้อราได้นั้น เป็นเพราะกรดนี้แตกตัวให้ Free carboxyl group ซึ่งมีผลในการยับยั้งและฆ่าเชื้อรา การใช้ Calcium หรือ Sodium propionate 0.3% ผสมลงไปในเมล็ดข้าวโพดที่มีความชื้น 18% สามารถยืดอายุการเก็บรักษาข้าวโพดได้นาน 2-3 เดือน บุญเลิศ (2528) พบว่าผลการใช้ Sodiumacetate ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.2 และ 0.3 สามารถลดการเจริญเติบโตของเชื้อรา *A. flavus* และไม่มีผลต่อการสร้างอะฟลาทอกซิน ส่วนการใช้ Propanoic acid ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.6 0.8 และ 1 สามารถควบคุมการเจริญเติบโตของเชื้อรา *A. flavus* และการสร้างอะฟลาทอกซิน ในขณะที่การใช้ Sodiumchloride ที่ระดับร้อยละ 2 4 และ 8 สามารถควบคุมการสร้างอะฟลาทอกซินแต่ไม่สามารถควบคุมการเจริญเติบโตของเชื้อรา *A. flavus* ได้ (อาทิตยะและคณะ, 2543)

Moreno-Martnez *et al.* (1985) ได้ทำการศึกษาถึง Protective effect ของสารกำจัดเชื้อรา (fungicide) ได้แก่ Captan, Chlorothalonil, pentachloronitrobenzene, Thiram และ Commercial moisture ของ Captan+ Carboxin เพื่อต่อต้าน storage fungi และศึกษาผลกระทบของสารกำจัดเชื้อราเหล่านี้ที่อาจเป็นไปได้ต่อ ความมีชีวิตของเมล็ดพันธุ์ (seed viability) โดยได้ทำการทดลองในเมล็ดข้าวสาลีพันธุ์ Salamanca ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 21°C ที่ความชื้นเมล็ดสูงและต่ำ ผลการทดลองสรุปได้ว่าสารฆ่าเชื้อรา Chlorothalonil, Captan และ Captan+Carboxin ช่วยขัดขวาง

กิจกรรมของเชื้อราในโรงเก็บและรักษาความงอกของเมล็ดข้าวสาลีที่เก็บรักษาที่ความชื้นสัมพัทธ์ 85% ได้ดี

การควบคุมการปนเปื้อนโดยการลดความชื้น

เมล็ดข้าวที่มีความชื้นสูงจะทำให้มีการหายใจและส่งเสริมการแพร่ระบาดของเชื้อรา ความชื้นภายในเมล็ดที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อรา *A. flavus* อยู่ระหว่างร้อยละ 15-30 (Diener, 1983) ดังนั้นการลดความชื้นให้ต่ำกว่าร้อยละ 15 จึงเป็นวิธีลดการระบาดและการเจริญเติบโตของเชื้อรา *A. flavus* ได้ Siriacha *et al.* (1989) พบว่าเมื่อกระเทาะเมล็ดออกจากฝักแล้วทำการลดความชื้นอย่างรวดเร็วโอกาสในการปนเปื้อนของเชื้อราจะลดลงเมื่อเทียบกับเมล็ดที่ยังไม่ได้ทำการลดความชื้น และ Kaaya *et al.* (2005) ยังพบว่าการเก็บเกี่ยวที่ล่าช้าจะเพิ่มโอกาสในของการเข้าทำลายของทั้งเชื้อรา แมลงและปริมาณอะฟลาท็อกซินด้วย

การควบคุมการปนเปื้อนโดยใช้สารสกัดจากพืชและ biocontrol

ทวัช และ นุชนารถ (2552) พบว่าการแช่เมล็ดข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ในสารสกัดน้ำจากเหง้าขมิ้นแห้ง สามารถลดความเสียหายของเชื้อราที่เกิดกับเมล็ดพันธุ์ข้าวได้ดีกว่าวิธีการนำน้ำจากเหง้าขมิ้นคลุกเมล็ดและชุดควบคุม Ngueface *et al.* (2004) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของพืชที่มีกลิ่นหอม 5 ชนิด เพื่อทดสอบกับเชื้อรา 3 ชนิดที่ทำให้อาหารเสื่อมเสีย คือ *A. flavus*, *Fusarium moniliforme* และ *A. fumigatus* พบว่าสารระเหยจากขิงความเข้มข้น 500 ppm สามารถลดการเจริญเติบโตของเชื้อรา *F. moniliforme*, *A. fumigatus* และ *A. flavus* ได้ร้อยละ 69, 56 และ 40 ตามลำดับ Kishore *et al.* (1993) ได้ทำการทดลองนำ essential oil ที่แยกได้จากใบของ *Anethium graveolens, Chenopodium ambrosiodes, Citrus media* และ *Lippia alba* เพื่อทดสอบความสามารถในการเป็น fumigant เพื่อป้องกันการกำจัดเชื้อราที่ทำให้เมล็ดข้าวสาลีเกิดการเสื่อมในระหว่างที่ทำการเก็บรักษา จากการทดลองพบว่า essential oil จาก *C. ambrosiodes* ให้ผลดี ในการป้องกันกำจัดเชื้อราได้ดีมากที่ระดับความเข้มข้น 1,000 ppm โดยไม่มี phytotoxic ต่อเมล็ด สารสกัดจาก *Azadirachta indica and Morinda lucida* สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของ *A. flavus* รวมไปถึงลดการสร้างสารพิษอะฟลาท็อกซินในเมล็ดข้าวโพดลงด้วย (Bankole, 1997) Adegoke *et al.* (2000) ทำการทดลองที่ทิศตะวันตกเฉียงใต้ของประเทศไนจีเรีย โดยทำเก็บรักษาเมล็ดข้าวโพดและถั่วเหลืองโดยใช้สารสกัดจาก *Framomunt danielli* (Zingiberaceae) สามารถควบคุมการเจริญของเชื้อราและการเข้าทำลายของแมลง ทำให้เก็บรักษาได้มากกว่า 15 เดือน เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง

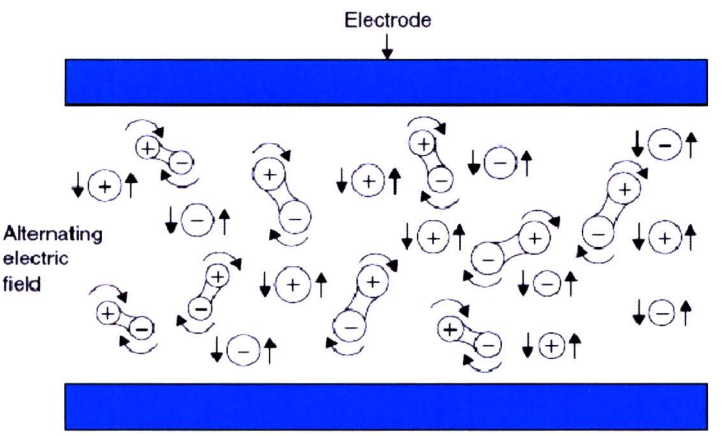
การควบคุมการปนเปื้อนโดยการใช้ความร้อน

ในการกำจัดเชื้อโดยการใช้น้ำร้อนนั้น พบว่าที่อุณหภูมิ 50°C สามารถลดการเข้าทำลายของเชื้อราที่ติดมากับเมล็ดในข้าวโพดได้ 71.07% (Rahman *et al.*, 2008) อย่างไรก็ตามวิธีการนี้ไม่สะดวกในการปฏิบัติเพราะต้องนำตัวอย่างลงไปจุ่มในน้ำอุณหภูมิปกติก่อน 3-4 ชั่วโมง จากนั้นจึงค่อยนำไปจุ่มในน้ำร้อนเพิ่มการควบคุมเชื้อราในเมล็ด ซึ่งทำให้เมล็ดผ่านการทำให้ชื้นแล้วแห้งมีผลต่อเนื่องให้มีความชื้นสูงขึ้นยากต่อการเก็บรักษาและต้องนำไปใช้ประโยชน์ให้เร็วขึ้น ขณะที่วิธีการให้ลมร้อนก็มีปัญหาในด้านการกระจายความร้อน ทำให้เมล็ดได้รับความร้อนไม่สม่ำเสมอ ใช้พลังงานและเวลามาก (ณัฐศักดิ์, 2543) ในปัจจุบันได้มีการใช้ความร้อนในการควบคุมโรคในเมล็ดพันธุ์ อีกวิธีหนึ่งคือ การให้ความร้อนด้วยคลื่นความถี่วิทยุ เป็นการใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทำให้เกิดความร้อนโดยอาศัยหลักการการสั่นสะเทือนของโมเลกุลที่มีขั้ว แล้วเกิดพลังงานความร้อนขึ้นมาในวัตถุที่มีองค์ประกอบของน้ำมากจะสามารถเกิดความร้อนได้สูงและเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว และมีความสม่ำเสมอกว่าการใช้ความร้อนโดยทั่วไป (Punidase *et al.*, 2003; Valerie and Vijaya Raghavan, 2005) มีรายงานงานวิจัยหลายฉบับที่มีการใช้คลื่นความถี่วิทยุในการควบคุมโรคทั้งในผลิตภัณฑ์เกษตรและในอุตสาหกรรมอาหาร (Cwikilinsk and von Hörsten, 2001; Clear *et al.*, 2002; Forsberg, 2004)

การใช้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุ (Radio Frequency)

เป็นการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกทำงานโดยอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ย่านความถี่คลื่นวิทยุ (Radio frequency, RF: 13.56 MHz, 27.12 MHz และ 40.68 MHz) ส่งผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุ ซึ่งจะผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุได้แตกต่างกันขึ้นอยู่กับคุณสมบัติวัสดุและความถี่คลื่น สนามของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะทำให้โมเลกุลของวัสดุที่มีโครงสร้างแบบมีขั้ว (dipolar molecules) ซึ่งมีขั้วไฟฟ้าที่เป็นขั้วบวกและขั้วลบพยายามเรียงตัวตามทิศทางของสนามคลื่นที่ส่งผ่านเข้ามา ทำให้เกิดการเสียดสีกันของโมเลกุล เกิดเป็นความร้อนกระจายทั่วภายในเนื้อวัสดุหรือการถ่ายเทพลังงานจากคลื่นไปยังวัสดุ (ภาพที่ 2.7) วัสดุที่สามารถใช้การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกได้จะต้องเป็นวัสดุ ที่มีคุณสมบัติที่ตอบสนองต่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า กล่าวคือ จะต้องเป็นวัสดุที่มีโครงสร้างโมเลกุลแบบมีขั้วหรือประกอบไปด้วยน้ำซึ่งมีโมเลกุลแบบมีขั้วเช่นกันเป็นองค์ประกอบ วัสดุที่มีโครงสร้างโมเลกุลแบบไม่มีขั้ว เช่น อากาศ เทฟล่อน หรือแก้ว จะไม่สามารถดูดซับพลังงานจากคลื่นได้ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2552) ซึ่งการให้ความร้อนแบบนี้จะมีประสิทธิภาพสูง ซึ่งเมื่อปล่อยคลื่นความถี่วิทยุจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าหมุนเวียนสลับระหว่างของทั้งสองขั้ว electrodes ซึ่งมีผลทำให้วัตถุเกิดความร้อนขึ้น ถ้าคลื่นความถี่วิทยุ สามารถ

ทำงานได้ที่ความถี่ 27.12 MHz ซึ่งคือ เกิดการเปลี่ยนแปลง 27.12 ล้านครั้งต่อวินาที ทำให้วัตถุที่มีพันธะโมเลกุล 2 ขั้ว เช่น โมเลกุลของน้ำ เมื่อโมเลกุลขวางทิศทางของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะเกิดการสั่นสะเทือนโดยขึ้นอยู่กับความถี่ที่ใช้ การสั่นสะเทือนจะทำให้เกิดการสะสมพลังงานเป็นความร้อนจากการเสียดทานของโมเลกุล (Ryynänen, 1995; Nijhuis *et al.*, 1998; Francesco *et al.*, 2009) โดยทำให้ความร้อนเกิดขึ้นภายในวัสดุ (inside out) และมีการกระจายความร้อนเป็นไปอย่างสม่ำเสมอทั่วถึงภายในเนื้อวัสดุพร้อม ๆ กัน โดยมีความสามารถในการถ่ายเทพลังงานมีประสิทธิภาพสูงและลดระยะเวลาการให้ความร้อน ส่งผลให้ช่วยลดการใช้พลังงาน ซึ่งแตกต่างจากการให้ความร้อนโดยใช้อากาศซึ่งจะเกิดความร้อนจากบริเวณผิววัสดุก่อนแล้วจึงนำความร้อนสู่ภายใน (outside in) (Birla *et al.*, 2004; Wang *et al.*, 2003) เมล็ดพืชมีความสามารถในการนำไฟฟ้าต่ำ (dielectric properties)



ภาพที่ 2.7 ทิศทางการเคลื่อนที่ของโมเลกุลที่มีขั้วภายในวัตถุ ภายใต้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Orsat and Raghavan, 2005)

เมื่อได้รับพลังงานจากคลื่นความถี่วิทยุที่มีความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงผ่านเข้าไปแบบกระแสสลับที่ความถี่ 27.12 MHz หรือ 27,120,000 ครั้งต่อวินาที ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ความถี่ต่ำและความยาวคลื่นที่ยาวส่งผลให้มีการควบคุมทิศทางของคลื่นได้ดี ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำให้โมเลกุลภายในเมล็ดพืชเกิดการสั่นสะเทือนตามความถี่ของคลื่น คือวัตถุที่มีโมเลกุล 2 ขั้ว เช่น น้ำมีพันธะ 2 พันธะคือไฮโดรเจน โดยการสั่นสะเทือนทำให้เกิดการสะสมพลังงานภายในโมเลกุลจากกระบวนการ intermolecular friction และ hysteresis โดยขึ้นอยู่กับความถี่และความยาวคลื่นของคลื่นความถี่วิทยุ ซึ่งแรงเสียดทานภายในระหว่างโมเลกุลของน้ำที่อยู่ระหว่างช่องว่างภายในเมล็ดทำให้เกิดความฝืดระหว่างอนุภาค ผลที่ได้คือความร้อนจะเกิดขึ้นตรงโมเลกุลของน้ำ ความร้อนที่สูง

กว่าจุดอื่นภายในเมล็ดนี้ จะเกิดการถ่ายเทความร้อน (heat transfer) ความร้อนที่เกิดขึ้นจะมีการถ่ายเทความร้อนแบบนำความร้อน ซึ่งเป็นการถ่ายเทพลังงานในรูปของอนุภาค ผ่านตัวกลางที่ไม่มีการเคลื่อนที่ เช่น ของแข็งและของเหลวที่มีความหนืดสูง โดยที่ความร้อนจะเริ่มเกิดขึ้นที่น้ำในเมล็ดก่อน หลังจากนั้นความร้อนจากน้ำที่มีอุณหภูมิสูงกว่าจะมีการถ่ายความร้อนไปสู่จุดที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า เพื่อรักษาสมดุลของอุณหภูมิ (equilibrium temperature) จนถึงระดับความร้อนที่ต้องการ (target temperature)

ปัจจัยที่มีผลต่อการให้ความร้อนคลื่นความถี่วิทยุ

Dielectric Properties เป็นคุณสมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุ โดยจะมีความสัมพันธ์กับการให้ความร้อนโดยคลื่นความถี่วิทยุ โดยจะเป็นตัวที่บ่งบอกว่าวัสดุที่เราทำการให้คลื่นนั้นมีความสามารถในการนำไฟฟ้าและมีความสามารถในการรับและถ่ายทอดอิเลคตรอนในตัววัสดุได้มากน้อยเพียงใดคุณสมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุที่เป็นอาหารนั้นจะแบ่งออก เป็น 2 ส่วน คือ permeability และ permittivity ซึ่งค่า permeability จะเป็นค่าที่บอกถึงพื้นที่ว่างที่ไม่เกิดความร้อน (Zhang and Datta, 2001) และค่า permittivity จะวัดได้จาก Dielectric constant (ε') และ Dielectric loss factor (ε'') dielectric constant (ε') เป็นการวัดพลังงานจากสนามภายนอกที่ถูกเก็บไว้ในวัสดุ, dielectric loss factor (ε'') เป็นการวัดการสูญเสียของวัสดุสู่สนามไฟฟ้าภายนอก ซึ่งจะมีค่ามากกว่าศูนย์เสมอและจะมีค่าน้อยกว่า dielectric constant (ε') ยังมีค่าการนำไฟฟ้า (σ) ซึ่งจะมีผลต่อความสามารถของวัสดุกับกระแสไฟฟ้า ค่า loss tangent ที่เกิดขึ้น และการทะลุผ่านของวัสดุที่คลื่นสามารถผ่านเข้าไปได้ Nelson and Stetson (1972) ได้พบว่าระดับของคลื่นที่เลือกได้มีผลจากค่าอัตราส่วนระหว่าง ε' ε'' ทั้งของแมลงและวัตถุ ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ค่า dielectric properties ของเมล็ดพันธุ์และเมล็ดพืช ที่ 24°C

Grain or seed	Moisture content, %	Bulk density kg/m³	Bulk density lb/bu		Dielectric constant (ε'_r) and loss factor (ε''_r) Frequency, kHz 0.25	1	5	10	20
Alfalfa, 'Ranger' (*Medicago sativa* L.)	6.0	804	62.5	ε'_r	5.5	4.3	4.0	3.8	3.7
				ε''_r	3.33	1.48	0.53	0.39	0.26
	7.8	802	62.3		10.4	6.0	4.4	4.2	4.0
					5.9	3.6	1.4	0.92	0.60
Bluegrass, Kentucky (*Poa pratensis* L.)	8.8	295	22.9		4.3	3.0	2.4	2.3	2.2
					3.0	1.6	0.72	0.52	0.38
	10.4	298	23.2		9.5	5.5	3.7	3.0	2.8
					5.6	4.0	2.0	1.4	0.95
Corn, field, yellow-dent (*Zea mays* L.)	12.0	699	54.3		12.0	8.5	6.3	5.6	5.3
					4.4	3.6	2.0	1.5	1.1
	14.2	687	53.4		17.8	13.8	9.6	8.3	7.2
					6.1	5.1	3.6	3.0	2.6
Cotton, acid-delinted (*Gossypium hirsutum* L.)	7.9	567	44.0		10.5	8.1	4.8	3.9	3.4
					2.2	3.5	2.8	2.0	1.5
	9.9	553	43.0		11.9	10.6	7.8	6.2	5.0
					2.6	2.4	3.2	3.1	2.6
Grain sorghum (*Sorghum bicolor* [L.] Moench)	12.0	783	60.8		11.2	8.6	6.2	5.8	5.4
					2.5	3.0	1.8	1.3	0.96
	15.1	785	61.0		14.2	13.9	12.4	11.1	9.4
					0.00	1.1	2.6	3.0	3.1
Oats, spring 'Neal' (*Avena sativa* L.)	12.6	603	46.8		15.9	13.5	9.1	7.1	5.6
					2.6	3.9	4.3	3.8	3.9
	14.0	558	43.3		18.7	16.9	13.1	11.1	8.8
					3.0	3.4	4.5	4.6	4.3
Soybean, 'Wayne' (*Glycine max* L.)	7.8	678	52.7		4.9	3.8	3.3	3.2	3.1
					2.4	1.3	0.62	0.46	0.34
	9.5	671	52.1		11.0	8.2	5.5	4.8	4.4
					2.8	3.2	2.2	1.7	1.3
Wheatgrass, western (*Agropyron smithii* Rydb.)	8.5	214	16.6		2.4	2.0	1.9	1.8	1.8
					1.2	0.63	0.31	0.22	0.15
	10.0	212	16.5		4.8	3.1	2.4	2.2	2.1
					3.1	2.1	1.1	0.74	0.48

ที่มา: Nelson and Stetson (1972)

ปัจจัยที่มีผลต่อ dielectric Properties

dielectric Properties ของวัสดุอาหารจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลัก ดังนี้ ความถี่, อุณหภูมิ, องค์ประกอบของน้ำและองค์ประกอบทางเคมี

- ความถี่ (frequency) การดูดซับพลังงานของวัสดุนั้นจะขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ของ relaxation time กับ periodic time เมื่อเกิดการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาของขั้วภายในสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งอุณหภูมิและความถี่มีความสัมพันธ์ที่ใกล้เคียงกันต่อการกระจายของขั้วไฟฟ้า (Ohlsson *et al.*, 1974)

- อุณหภูมิ (temperature) เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่า relaxation time จะลดลง ค่า loss factor จะเพิ่มขึ้นหรือลดลงจะขึ้นอยู่กับการจัดการความถี่ว่าสูงหรือต่ำกว่า relaxation frequency ซึ่ง dielectric constant จะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ ถึงแม้ว่าอุณหภูมิจะเปลี่ยนแปลงความร้อนในวัสดุได้แต่ในบางกรณีค่า dielectric properties ไม่เปลี่ยนแปลงซึ่งอาจจะขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุด้วย

- องค์ประกอบของน้ำ(water content) ในวัสดุ ซึ่งจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่า permittivity ทั้งนี้ แต่ในวัสดุอาหาร น้ำอาจจะมีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบของน้ำที่จะมีผลต่อโครงสร้างและคุณสมบัติ

- องค์ประกอบทางเคมี (chemical composition) ค่าการนำไฟฟ้าของวัสดุจะเพิ่มขึ้นเมื่อเราเพิ่มเกลือลงไปในองค์ประกอบของวัสดุ ซึ่งจะทำให้ค่า dielectric loss factor เพิ่มมากขึ้น

การประยุกต์ใช้ความร้อนด้วยคลื่นความถี่วิทยุในการควบคุมเชื้อรา

การใช้คลื่น Radio Frequency (RF) และไมโครเวฟประสบความสำเร็จอย่างดีในการควบคุมเชื้อรา แบคทีเรีย และเชื้อไวรัสที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์พืชหลายชนิด (Seaman and Wallen, 1966; Joliceur *et al.*,1982; Lozano *et al.*, 1986: Cavalcante and Muchovej, 1993) Birla *et al.* (2004) พบว่าการใช้ RF มีประโยชน์ในการสร้างความร้อนรวดเร็วกว่าวิธีการดั้งเดิม เช่น การใช้อากาศร้อนและน้ำร้อน สำหรับผลไม้ โดยมีความเป็นไปได้ว่าสามารถลดระยะเวลาในกระบวนการและช่วยประหยัดพลังงาน ได้มีรายงานการใช้ความร้อนโดยคลื่นความถี่วิทยุ ในการควบคุมเชื้อราที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์หลายชนิด เช่น การใช้คลื่นความถี่วิทยุในการกำจัดเชื้อรา *Phoma betae* ในเมล็ดพันธุ์ผักกาดหวาน (sugar-beet; *Beta vulgaris*) และ เชื้อรา *Fusarium culmorrum* ในเมล็ดพันธุ์ข้าวสาลี พบว่าคลื่นความถี่วิทยุสามารถทำลายเชื้อราที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์ได้โดยไม่ทำให้เมล็ดพันธุ์สูญเสียความงอก (Cwikilinski and von Hörsten , 1999) Cwikilinsk และ von Hörsten (2001) ได้ศึกษาการใช้คลื่นความถี่วิทยุในการกำจัดเชื้อรา *Fusarium graminearum* ที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์ข้าวสาลี พบว่าคลื่นความถี่วิทยุสามารถกำจัดเชื้อราโดยไม่ทำให้เมล็ดพันธุ์สูญเสียความงอก Janhang *et*

al. (2005) ได้ศึกษาการใช้คลื่นความถี่วิทยุในการกำจัดเชื้อรา *Trichoconis padwickii* ในข้าวขาวดอกมะลิ 105 พบว่าคลื่นความถี่วิทยุสามารถกำจัดเชื้อราได้ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อความมีชีวิตของเมล็ดและ Vassanacharoen *et al.* (2006) พบว่าการใช้คลื่นความถี่วิทยุในเมล็ดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ความชื้นเมล็ด 14% อุณหภูมิ 85°C เป็นเวลา 10 นาที สามารถลดอัตราการเข้าทำลายของเชื้อ *F. semitectum* เหลือเพียง 2%