

บทที่ 2 ตรวจเอกสาร

การฉายรังสีเป็นเทคโนโลยีที่มีการศึกษาวิจัยกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นวิธีการที่ปลอดภัยและหลายประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกา กำหนดให้ผลิตผลการเกษตรหลายชนิดต้องผ่านการฉายรังสีก่อนการนำเข้า รังสีที่นำมาใช้ในการเก็บรักษาผลิตผลทางการเกษตร และผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น รังสีแกมมา อิเล็กตรอน-บีม ไมโครเวฟ และอัลตราไวโอเล็ต (UV-C) เป็นต้น รังสีที่นิยมใช้คือ รังสีแกมมา เพื่อลดการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ นอกจากนี้ยังนำมาใช้กับผลิตผลทางการเกษตรเป็นจำนวนมาก เช่น เพื่อลดการงอกของจิงและหอมหัวใหญ่ ลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ และชะลอการชราภาพในผัก-ผลไม้ เมล็ดพืชอาหารและเมล็ดพันธุ์ รวมทั้งในผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น แหนม และเนื้อสัตว์ (WHO, 1999) เป็นต้น

2.1 รังสี (radiation)

คือพลังงานที่แผ่ออกมาจากต้นกำเนิดพลังงานใด ๆ ซึ่งสามารถเดินทางผ่านสุญญากาศมาได้ ด้วยวิธีการแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าดังกล่าวข้างต้น ต้นกำเนิดรังสีหรือพลังงานประเภทที่เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มนุษย์ได้สัมผัส แบ่งตามความถี่หรือตามความยาวคลื่นของแม่เหล็กไฟฟ้าประเภทนั้นๆ ซึ่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มาจากดวงอาทิตย์แบ่งเป็น 3 ย่าน ดังนี้

1) รังสีแกมมา (gamma rays) รังสีเอกซ์ (x-rays) และ อัลตราไวโอเล็ต (ultraviolet) คลื่นเหล่านี้ลงมาไม่ถึงพื้นโลกเพราะถูกดูดด้วยโอโซนในชั้นบรรยากาศ

2) คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นย่าน 290-1,400 นาโนเมตร ลงมาถึงพื้นโลก แต่มีทั้งชนิดที่มองเห็นและมองไม่เห็น ส่วนที่มองเห็นได้แก่ ความยาวคลื่นย่าน 380-760 นาโนเมตร ย่านที่ไวต่อสายตามากที่สุดได้แก่ ความยาวคลื่น 555 นาโนเมตร (คลื่นที่ความยาวนี้มีสีเหลือง)

3) ความยาวคลื่นมากกว่า 1,400 นาโนเมตร ถูกดูดด้วยละอองน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศ

หน่วยวัดปริมาณรังสี

- | | |
|--------------------|---|
| 1 แรด (rad) | = การดูดกลืนพลังงานรังสี 100 เอิร์ก (ergs) ต่อกรัมของสสาร |
| 1 เกรย์ (gray; Gy) | = 100 rad |
| | = 1 จูลต่อกิโลกรัม (J/Kg) |
| 1 กิโลเกรย์ (kGy) | = 1,000 Gy |

รังสีแกมมา คือโฟตอนของการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเช่นเดียวกับรังสีเอ็กซ์ แต่มีความยาวคลื่นสั้นกว่าและมีอำนาจในการทะลุทะลวงสูงมากกว่ารังสีเอ็กซ์ ไม่มีประจุไฟฟ้าและมวล ไม่เบี่ยงเบนในสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก และเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วแสง

2.2 รังสีแกมมาต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์

ในปี 1995 Hilmy และคณะ ได้ทำการทดลองฉายรังสีแกมมาในถั่วลิสงเพื่อลดเชื้อรา *A. flavus* พบว่า ความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity; RH) ที่ร้อยละ 85 เชื้อราไม่สามารถเจริญได้หรือสามารถเจริญได้น้อยมาก นอกจากนี้การฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสี 3-5 กิโลเกรย์ สามารถยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *A. flavus* ในถั่วลิสงได้อย่างสมบูรณ์ (Hilmy และคณะ, 1995) แต่รังสีปริมาณ 0.5 และ 1 กิโลเกรย์ ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าร้อยละ 91 ไม่สามารถยับยั้งการสร้างสารแอลฟาโทกซินในถั่วลิสงได้อย่างสมบูรณ์ แต่สามารถชะลอการผลิตสารพิษได้ประมาณ 14 วัน ดังนั้นการฉายรังสีที่ 3 กิโลเกรย์ หรือมากกว่า สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเส้นใยได้อย่างสมบูรณ์ ประมาณ 60 วัน ที่อุณหภูมิ 29 ± 2 องศาเซลเซียส จึงไม่มีการผลิตสารพิษขึ้นเนื่องจากการผลิตสารแอลฟาโทกซิน B_1 จะเกิดขึ้นหลังจากมีการเจริญเติบโตของเส้นใยเท่านั้น (Hilmy และคณะ, 1995)

Al-Bachair (2004) ได้ทำการทดลองฉายรังสีแกมมาเพื่อลดปริมาณเชื้อราของเมล็ดวอลนัท ที่ปริมาณรังสี 0 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 กิโลเกรย์ และเก็บรักษาไว้นาน 12 เดือน พบว่า การฉายรังสีที่ 1.5 และ 2.0 กิโลเกรย์ สามารถลดปริมาณเชื้อราลงได้อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม นอกจากนี้ยังพบว่าการฉายรังสีแกมมาที่ 2.5 กิโลเกรย์ สามารถลดจำนวนประชากรของเชื้อราที่บริเวณ เมล็ดถั่วลิสงได้ (Chiou, 1994) การฉายรังสีแกมมาที่ 6 กิโลเกรย์ สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา *Aspergillus* sp. *Penicillium* sp. *Rhizopus* sp. *Mucor* sp. *Alternaria* sp. และ *Fusarium* sp. บนเมล็ด Black cumin (*Nigella sativa*) ได้อย่างสมบูรณ์ (Zeinab และคณะ, 2001) แต่อย่างไรก็ตาม EL-Bazza และคณะ (1988) พบว่าสปอร์ของเชื้อรา *A. flavus* ที่ได้รับการฉายรังสีแกมมามีการผลิตสารแอลฟาโทกซินเพิ่มขึ้น ตามปริมาณรังสีที่เพิ่มขึ้น และเพิ่มสูงสุดที่ปริมาณรังสี 1 กิโลเกรย์ แต่การฉายรังสีที่ 3 กิโลเกรย์ ไม่ตรวจพบการผลิตสารแอลฟาโทกซิน EL-Bazza และคณะ (1991) การฉายรังสีแกมมาที่ระดับความเข้มแสง 4 กิโลเกรย์ สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อราได้ถึง 9 เดือน

การฉายรังสีมีผลต่อเชื้อจุลินทรีย์ทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยผลทางตรงทำให้เซลล์รวมถึง DNA เสียหาย ส่วนผลทางอ้อมนั้นจะทำให้เกิดปฏิกิริยาเรดิโอไลซิส (radiolysis) เนื่องจากพลังงานของรังสีทำให้เกิดสารอนุมูลอิสระขึ้น

2.2.1 ผลทางตรง

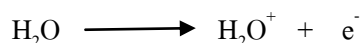
การฉายรังสีจะมีผลต่อ DNA โดยตรง โดยจะทำให้กรดอะมิโน purine และ pyrimidine ซึ่งจับอยู่กับน้ำตาลดีออกซีไรโบส (deoxyribose) เกิดการเปลี่ยนแปลง ทำให้พันธะคู่ระหว่างคาร์บอนในกรดอะมิโนเกิดการ cross-link กันในโมเลกุล (Lado, 2002) และยังทำให้พันธะระหว่างน้ำตาลและหมู่ฟอสเฟต (phosphodiester backbond) หลุดออกจากกัน โดยขั้นแรกจะทำลายพันธะคู่ให้เป็นพันธะเดี่ยว (single-strand break) และอีกร้อยละ 5-10 อาจทำลายพันธะคู่ (double-strand break) ได้อีก (Moseley, 1989) ดังนั้นจึงส่งผลกระทบต่อการทำงานของ DNA และทำให้รูปร่างของเกลียวคู่ DNA ผิดปกติไป ขยับยั้งการแบ่งเซลล์และทำให้โปรตีนเกิดความเสียหายอีกด้วย นอกจากนี้ยังทำให้คุณสมบัติในการเป็นเยื่อเลือกผ่านของเยื่อหุ้มเซลล์สูญเสียไป จึงทำให้การไหลเข้าออกของสารประกอบต่างๆ เปลี่ยนไป (Bintsis และคณะ, 2000) แต่อย่างไรก็ตาม เชื้อจุลินทรีย์ทั้งยูคาริโอติกและโปรคาริโอติก สามารถที่จะซ่อมแซมตัวเองได้หลังจากได้รับการฉายรังสี แต่ถ้าพันธะคู่ถูกทำลาย เชื้อจุลินทรีย์จะไม่สามารถซ่อมแซมตัวเองได้อีก

2.2.2 ผลทางอ้อม

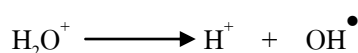
การฉายรังสีมีผลทำให้โมเลกุลของน้ำเกิดการแตกตัว ได้สารอนุมูลอิสระ (free radicals) ได้แก่ hydrogen atom ($\text{H}^\bullet$) hydroxyl radicles ($\text{OH}^\bullet$) และ solvated electrons (e^-) แต่อย่างไรก็ตาม $\text{OH}^\bullet$ จะมีบทบาทต่อการเกิดความเสียหายมากที่สุด เนื่องจาก $\text{OH}^\bullet$ จะรวมตัวกันอยู่บริเวณ hydration layer ซึ่งมีผลทำให้เกิดความเสียหายถึงร้อยละ 90 (WHO, 1999)

2.2.3 สมการการเกิดอนุมูลอิสระ

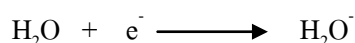
เมื่อผ่านรังสีลงไปในน้ำ จะเกิดปฏิกิริยากับอนุภาคอิเล็กตรอนในโมเลกุลของน้ำ ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากวงโคจร



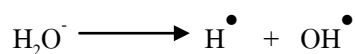
โมเลกุลของน้ำซึ่งมีประจุบวกนี้ (H_2O^+) ไม่อยู่ตัว จะสลายตัวต่อไปเป็นไฮโดรเจนบวก (H^+) กับไฮดรอกซิลเรดิคัล ($\text{OH}^\bullet$)



ส่วนอนุภาคอิเล็กตรอน (e^-) ที่หลุดออกมาจากวงโคจรจะเคลื่อนที่ไป และถูกจับไว้ด้วยโมเลกุลของน้ำ กลายเป็นโมเลกุลของน้ำที่มีประจุลบ (H_2O^-)



โมเลกุลของน้ำที่มีประจุลบ (H_2O^-) จะไม่อยู่ตัว จะสลายต่อไปเป็นไฮโดรเจนเรดิคัล ($\text{H}^\bullet$) กับไฮดรอกซิลเรดิคัล ($\text{OH}^\bullet$)



2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อความต้านทานการฉายรังสีของเชื้อจุลินทรีย์ (WHO, 1999)

- 1) ชนิด และปริมาณของเชื้อจุลินทรีย์ที่ได้รับรังสีโดยตรง
- 2) ปริมาณของรังสี และความสามารถในการต้านทานของเชื้อจุลินทรีย์
- 3) สภาพแวดล้อม ได้แก่ อุณหภูมิ ระยะเวลาเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ ก๊าซ water activity (a_w) pH และองค์ประกอบทางเคมีของอาหาร

2.4 ผลของรังสีต่อแอลฟาทอกซิน

Frank และ Grunewald (1970) พบว่า รังสีมีผลต่อการทำลายแอลฟาทอกซินน้อยมากในสภาพแห้ง แต่ในสภาพของเหลวหรือสารละลายรังสีสามารถทำลายแอลฟาทอกซินได้ดีกว่า สำหรับแอลฟาทอกซินที่ปะปนอยู่กับอาหารนั้น จากการทดลองฉายรังสีในข้าว และขนมปังที่มีสารแอลฟาทอกซินปะปนอยู่ในปริมาณรังสี 1-50 กิโลเกรย์ พบว่า ปริมาณรังสี 1 กิโลเกรย์ ไม่มีผลต่อการทำลายแอลฟาทอกซิน แต่รังสีปริมาณ 2.5-5 กิโลเกรย์ สามารถลดแอลฟาทอกซินได้ร้อยละ 50-100