บทที่ 7
การถนอมอาหารโดยการฉายรังสี
(Food Preservation by Irradiation)

วัตถุประสงค์

หลังจากที่อ่านบทนี้แล้ว นักศึกษาควรทราบและเข้าใจในสิ่งต่อไปนี้

- ชนิดและคุณสมบัติของรังสีที่ใช้กับอาหาร
- กลไกการทำลายจุลินทรีย์
- แนวทางการนำรังสีมาใช้ในการถนอมอาหาร
- อาหารฉายรังสีปลอดภัยจริงหรือ ?
- ผลกระทบของรังสีต่อคุณภาพอาหาร

7.1 บทนำ

เทคโนโลยีการฉายรังสีอาหารไม่ใช่เรื่องใหม่ มีการศึกษาค้นคว้ามานานแล้ว นับตั้งแต่นาย Roentgen ค้นพบรังสีเอ็กซ์ ในปี พ.ศ. 2438 และนาย Becquerel พบสารกัมมันตรังสี ในปีถัดมา และในปี พ.ศ. 2448 นักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษได้จดสิทธิบัตรการฉายรังสีอาหาร สหรัฐอเมริกาเริ่มนำเทคโนโลยีการฉายรังสีอาหารมาใช้เป็นครั้งแรก ในปี พ.ศ. 2464 โดยใช้ทำลายพยาธิในเนื้อหมู หลังจากนั้นนับตั้งแต่ปี พ.ศ. 2483 ก็มีการศึกษาวิจัยการฉายรังสีอาหารกันอย่างกว้างขวาง จนกระทั่งเทคโนโลยีการฉายรังสีอาหารได้รับการยอมรับให้นำมาใช้ผลิตอาหารสำหรับให้กองทัพนำไปใช้ในสนามรบ ในปี พ.ศ. 2506 องค์การอาหารและยา หรือ FDA (Food and Drug Administration) ของสหรัฐอเมริกาให้การยอมรับการใช้รังสีในการควบคุมแมลงในเมล็ดข้าวสาลีและแป้งสาลี ในปี พ.ศ. 2515 อาหารของนักบินอวกาศอพอลโลที่17 ของสหรัฐอเมริกา คือ แฮมฉายรังสี ในปี พ.ศ. 2526 จากการประชุมร่วมระหว่างองค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) กับองค์การอนามัยโลก (WHO) ให้การยอมรับการฉายรังสีอาหารว่าเป็นเทคโนโลยีที่ปลอดภัยและมีประสิทธิภาพ ในปี พ.ศ. 2528 สหรัฐอเมริกา

โดยองค์การอาหารและยาได้ให้การรับรองว่าการฉายรังสีสามารถทำลายพยาธิ trichinosis ในเนื้อหมูได้ ในปี พ.ศ. 2530 สมาพันธ์เศรษฐกิจยุโรป ยกเว้น สหราชอาณาจักรอังกฤษและเยอรมันตะวันตก ยอมรับกระบวนการฉายรังสีกับอาหารเฉพาะอย่าง ปี พ.ศ. 2533 รับรองการฉายรังสีสามารถใช้ในการควบคุมเชื้อซาลโมเนลลาและเชื้อแบคทีเรียที่เป็นอันตรายชนิดอื่น ในเนื้อไก่ ไก่งวง และเนื้อสัตว์ปีกชนิดอื่นทั้งแบบสดและแช่เยือกแข็ง

สำหรับประเทศไทยเริ่มนำรังสีมาใช้ในการยับยั้งการงอกของหอมหัวใหญ่ และก่อตั้งสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติขึ้น เพื่อศึกษาวิจัยเกี่ยวกับอาหารฉายรังสีในปี พ.ศ. 2504 จนกระทั่งปัจจุบันได้ขยายงานจัดตั้งศูนย์ฉายรังสีอาหาร และผลิตผลการเกษตรขึ้น เพื่อให้บริการฉายรังสีอาหารและผลิตผลทางการเกษตร

จะเห็นได้ว่าเทคโนโลยีการฉายรังสีอาหารไม่ใช่ของใหม่ มีการศึกษาค้นคว้ากันมายาวนาน จนมั่นใจได้ในความปลอดภัย และเป็นเทคโนโลยีที่มีประโยชน์มหาศาล แต่เนื่องจากขาดการประชาสัมพันธ์ การทำความเข้าใจ และการให้ความรู้ที่ถูกต้องแก่ผู้บริโภค ผู้บริโภคส่วนใหญ่ยังมีความเชื่อผิดๆ ยังคงกลัว และไม่ยอมรับอาหารฉายรังสี

7.2 ชนิดและคุณสมบัติของรังสี

รังสีโดยทั่วไป หมายถึง พลังงานที่เปล่งหรือแผ่กระจายออกไปในอากาศหรือตัวกลางใดๆ ในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เช่น คลื่นวิทยุ รังสีความร้อน รังสีคอสมิก รังสีเอ็กซ์ รังสีอัลตราไวโอเลต และรังสีนิวเคลียร์ หรือในรูปอนุภาค เช่น แอลฟาและบีตา เป็นต้น

รังสีแบ่งตามระดับพลังงานเป็น 2 กลุ่ม คือ

(1) นอนไอออนไนซิงเรดิเอชัน หรือ รังสีไม่ก่อไอออน (Nonionizing radiation)

คือ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นสูง ความถี่ต่ำ ให้พลังงานไม่สูงพอที่จะกระตุ้นให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออน ได้แก่ รังสีคอสมิก รังสีอัลตราไวโอเลต และรังสีอินฟราเรด มีการใช้ค่อนข้างจำกัดในการถนอมอาหาร มีอำนาจการทะลุทะลวงต่ำ สามารถทำลายจุลินทรีย์ได้เฉพาะบริเวณผิวหน้า ไม่สามารถทำลายจุลินทรีย์ที่อยู่ภายในเนื้ออาหาร

(2) ไอออนไนซิงเรดิเอชัน หรือ รังสีก่อไอออน (Ionizing radiation,High energy radiation)

เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นสั้น ตั้งแต่ 3×10^{-12} ถึง 3×10^{-14} เมตร (ประมาณ 2000 ^{0}A) และมีความถี่ช่วงคลื่นสูงประมาณ $10^{19} - 10^{22}$ เฮิรตซ์ (Hz) มีระดับพลังงานที่สูงมากถึงขั้นทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากวงโคจรของอะตอม (Orbital) เกิดการ

แตกตัวเป็นไอออนของโมเลกุลหรืออะตอม ดังนั้นเมื่อเซลล์ของสิ่งมีชีวิตสัมผัสกับรังสีที่มีระดับพลังงานสูงเซลล์จะถูกทำลายได้

รังสีที่เป็นไอออนไนซิงเรดิเอชัน ยังแบ่งได้อีกเป็น 2 กลุ่ม คือ

1. รังสีอนุภาค (Particulated radiation) คือ รังสีที่มีมวลและพลังงาน ได้แก่ รังสีแอลฟา รังสีบีตา รังสีอิเล็กตรอน รังสีนิวตรอน และรังสีดิวเทอรอน

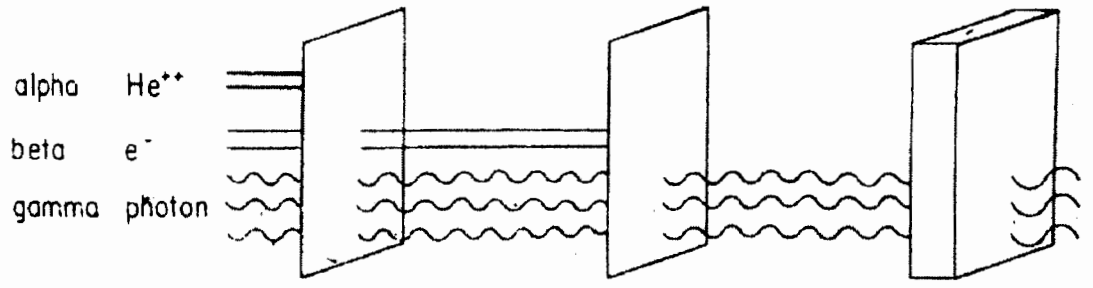
2. รังสีแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic radiation) คือ รังสีที่อยู่ในรูปคลื่น ไม่มีมวล มีแต่พลังงานอย่างเดียว ได้แก่ รังสีแกมมา รังสีเอ็กซ์ รังสีกลุ่มนี้เป็นพลังงาน เดินทางในรูปคลื่น เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงถึง 2.9998 x 10^8 เมตรต่อวินาที ระดับพลังงานขึ้นกับความถี่และความยาวช่วงคลื่น

รังสีชนิดไอออนไนซิงมีคุณสมบัติและอำนาจในการทะลุทะลวงแตกต่างกัน (ภาพที่ 7.1) ดังนี้

รังสีแอลฟา (α หรือ $_2^4He$) เป็นนิวเคลียสของอะตอมฮีเลียม มีคุณสมบัติในการเกิดไอออนไนเซชันต่อระยะทางสูง แต่มีอำนาจในการทะลุทะลวงผ่านวัตถุต่ำ ไม่สามารถทะลุผ่านแผ่นกระดาษได้ จึงไม่มีผลในการถนอมอาหาร

รังสีบีตา (β หรือ $_{-1}^{0}e$) มีคุณสมบัติในการเกิดไอออนไนเซชันต่อระยะทางต่ำกว่ารังสีแอลฟา แต่มีอำนาจในการทะลุทะลวงผ่านวัตถุสูงกว่ารังสีแอลฟาประมาณ 100 เท่า สามารถทะลุผ่านแผ่นอะลูมิเนียม

รังสีแกมมา(γ)และรังสีเอ็กซ์ มีคุณสมบัติในการเกิดไอออนไนเซชันต่อระยะทางน้อยกว่ารังสีแอลฟาและรังสีบีตา แต่มีอำนาจในการทะลุทะลวงผ่านวัตถุสูงมาก สามารถทะลุผ่านชั้นของแผ่นตะกั่วได้



ภาพที่ 7.1 อำนาจการทะลุทะลวงผ่านวัตถุของรังสีแอลฟา บีตา และแกมมา
ที่มา : Desrosier (1970)

รังสีอิเล็กตรอน ก็คือ รังสีบีตา แต่รังสีอิเล็กตรอนผลิตขึ้นจากเครื่องผลิตรังสีจะมีระดับพลังงานต่างๆ กัน รังสีอิเล็กตรอนที่มีระดับพลังงานสูง มีอำนาจในการทะลุทะลวงสูง สามารถทำให้เกิดการไอออนไนเซชัน และเปลี่ยนแปลงโมเลกุลได้มากกว่ารังสีอิเล็กตรอนที่มีระดับพลังงานต่ำ

รังสีนิวตรอน และรังสีดิวเทอรอน มีอำนาจในการทะลุทะลวงสูงมาก และมีระดับพลังงานที่สูงถึงขั้นทำลายอาหาร และเหนี่ยวนำให้อาหารกลายเป็นสารกัมมันตรังสี

คำว่า **"อาหารฉายรังสี"** หมายถึง อาหารที่ถนอมรักษาโดยการนำอาหารมาสัมผัสกับรังสีชนิดที่เป็นไอออนไนซ์ซิงเท่านั้น ดังนั้นการให้ความร้อนหรือการฆ่าจุลินทรีย์โดยใช้รังสีคอสมิก รังสีอินฟราเรด และรังสีอัลตราไวโอเลต ซึ่งเป็นรังสีชนิดนอนไอออนไนซิง ไม่จัดว่าเป็นอาหารฉายรังสี

7.2.1 ชนิดของรังสีที่อนุญาตให้ใช้กับอาหาร

รังสีที่จะนำมาใช้กับอาหารต้องเป็นรังสีชนิดไอออนไนซิง มีอำนาจในการทะลุทะลวงผ่านเข้าไปในอาหารได้ และมีพลังงานที่ไม่เกิน 10 ล้านอิเล็กตรอนโวลต์ ซึ่งเป็นระดับพลังงานที่ไม่สูงพอที่จะเหนี่ยวนำให้อาหารกลายเป็นสารกัมมันตรังสี รังสีที่มีคุณสมบัติดังกล่าวและได้รับอนุญาตให้ใช้กับอาหารมี 3 ชนิด คือ

1. รังสีแกมมา (Gamma rays) จากต้นกำเนิด คือโคบอลต์ – 60 (^{60}Co) และซีเซียม – 137 (^{137}Cs)

2. รังสีเอ็กซ์ (X-rays) จากเครื่องผลิตรังสีเอ็กซ์ที่ทำงานด้วยระดับพลังงานที่ไม่สูงกว่า 5 ล้านอิเล็กตรอนโวลต์

3. รังสีอิเล็กตรอน (Electron beam หรือ beta rays) จากเครื่องผลิตรังสีอิเล็กตรอนที่ทำงานด้วยระดับพลังงานที่ไม่สูงกว่า 10 ล้านอิเล็กตรอนโวลต์

ส่วนรังสีนิวตรอนและดิวเทอรอนมีระดับพลังงานที่สูงมากถึงขั้นทำลายอาหาร และมีแนวโน้มเหนี่ยวนำให้อาหารกลายเป็นสารกัมมันตรังสี จึงไม่ได้รับอนุญาตให้ใช้กับอาหาร

7.3 แหล่งกำเนิดรังสี

รังสีเกิดขึ้นได้ทั้งจากธรรมชาติและจากการกระทำของมนุษย์ โดยการประดิษฐ์เครื่องเร่งอนุภาคอิเล็กตรอนและเครื่องผลิตรังสีเอ็กซ์ ดังนั้นรังสีที่นำมาใช้ในการฉายรังสีอาหาร ก็มีแหล่งกำเนิดมาจาก 2 แหล่ง ดังนี้

7.3.1 สารกัมมันตภาพรังสี (Radioisotope หรือ Radionuclides)

คือ ธาตุหรือไอโซโทปที่สามารถเปลี่ยนแปลงตัวเองไปเป็นธาตุหรือไอโซโทปอื่น ในการเปลี่ยนแปลงจะเกิดการสลายตัวของอะตอมภายในนิวเคลียส มีการปลดปล่อยหรือส่งรังสีที่มีพลังงานสูงออกมา

สารกัมมันตภาพรังสีในธรรมชาติมีมากมาย เช่น เรเดียม – 226 และยูเรเนียม– 238 เป็นต้น แต่ละชนิดเมื่อสลายตัวจะให้รังสีชนิดต่าง ๆ มีระดับพลังงานต่าง ๆ ทั้งรังสีนิวตรอน ดิวเทอรอน รังสีแกมมา รังสีบีตา และรังสีแอลฟา แต่สารกัมมันตภาพรังสีที่จะนำมาใช้เป็นต้นกำเนิดรังสีที่จะใช้กับอาหารได้นั้น เมื่อสลายตัวจะให้เฉพาะรังสีที่อนุญาตให้ใช้กับอาหารเท่านั้น สารกัมมันตภาพรังสีที่มีคุณสมบัติดังกล่าวและได้รับอนุญาตให้ใช้กับอาหาร เป็นสารกัมมันตภาพรังสีที่มนุษย์ผลิตขึ้น มี 2 ชนิด คือ โคบอลต์– 60 และซีเซียม – 137

1. โคบอลต์ – 60 (^{60}Co)

เป็นไอโซโทปกัมมันตรังสีของธาตุโคบอลต์ ได้จากการยิงธาตุโคบอลต์ – 59 (^{59}Co) ด้วยนิวตรอน กลายเป็นโคบอลต์ – 60 เมื่อสลายตัวจะให้รังสีแกมมาที่มีพลังงาน 2 ระดับ คือ 1.17 และ 1.33 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ (Mega electron volt, MeV) และรังสีบีตาที่มีพลังงาน 0.31 MeV รังสีบีตาที่เกิดขึ้นไม่มีความสำคัญในการใช้งาน เพราะไม่สามารถทะลุผ่านท่อโลหะที่ใช้เป็นภาชนะบรรจุสารกัมมันตรังสี

โคบอลต์ – 60 มีการสลายตัวตลอดเวลา มีครึ่งชีวิต 5.27 ปี (ระยะเวลาที่สารกัมมันตรังสีจะสลายตัวไปครึ่งหนึ่งของปริมาณเริ่มต้น) พลังงานจะลดลงในอัตรา 12.5 % ต่อปี ดังนั้นการนำมาใช้งานจะต้องทราบพลังงานที่เหลืออยู่ โดยพลังงานรังสีแกมมา 1 กิโลวัตต์ ได้จากโคบอลต์ – 60 ที่มีพลังงาน 67,480 คูรี (Curie,Ci)

2. ซีเซียม – 137 (^{137}Cs)

เป็นไอโซโทปกัมมันตรังสีของซีเซียมได้จากปฏิกิริยาฟิชชันของธาตุยูเรเนียมและธาตุอื่นๆ ภายในเตาปฏิกรณ์ปรมาณู ^{137}Cs เมื่อสลายตัวจะให้รังสีแกมมาที่มีระดับพลังงาน 0.66 MeV และรังสีบีตาที่มีพลังงาน 2 ระดับ คือ 1.17 และ 0.81 MeV ^{137}Cs มีการสลายตัวตลอดเวลา มีครึ่งชีวิต 30.2 ปี พลังงานลดลงในอัตรา 2.3 % ต่อปี แม้ว่า ^{137}Cs จะมีครึ่งชีวิตที่ยาวนาน แต่การแยก ^{137}Cs ออกจากของผสมของผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาฟิชชันอื่นๆ ภายในเตาปฏิกรณ์ปรมาณูทำได้ไม่ง่ายนัก มีการผลิตน้อย นอกจากนี้ซีเซียมละลายน้ำได้ อาจไม่ปลอดภัยทำให้เกิดการปนเปื้อนออกมาในสิ่งแวดล้อม

การใช้โคบอลต์–60 และซีเซียม – 37 จะไม่ทำให้อาหารกลายเป็นสารกัมมันตรังสี ทั้งนี้เพราะว่ารังสีแกมมาจากโคบอลต์– 60 มีและซีเซียม – 137 พลังงานไม่สูงพอที่จะกระตุ้น (Activation) ให้อาหารกลายเป็นสารกัมมันตรังสี

ในอุตสาหกรรมอาหารนิยมใช้โคบอลต์ – 60 มากกว่า เพราะหาง่าย ไม่ละลายน้ำ และให้รังสีแกมมาที่มีระดับพลังงานสูงกว่า ประเทศแคนาดาเป็นผู้ผลิตโคบอลต์ – 60 รายใหญ่ที่สุดในโลก โดยสามารถผลิตได้ประมาณร้อยละ 80 ของความต้องการของทั้งโลก

การเตรียมโคบอลต์ – 60 โดยใช้โคบอลต์ที่ทำเป็นผง และมีความบริสุทธิ์ถึงร้อยละ 99.9 เคลือบด้วยนิเกิล เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาระหว่างโคบอลต์ – 59 กับออกซิเจนในอากาศ บรรจุเข้าไปในท่อที่ทำด้วยโลหะผสมของเซอร์โคเนียม เรียกว่า เซอร์คัลลอย (Xircalloy) หลังจากบรรจุ ปิดผนึกโดยการเชื่อม ได้เป็นแท่งต้นกำเนิด นำมารวมกันให้เป็นมัด มัดของแท่งต้นกำเนิดเหล่านี้นำไปใส่ลงในช่องอาบนิวตรอนในเครื่องปฏิกรณ์ เพื่อที่จะเปลี่ยนโคบอลต์ – 59 ให้เป็นโคบอลต์ – 60

7.3.2 เครื่องผลิตรังสี

มี 2 ชนิด คือ เครื่องผลิตรังสีเอ็กซ์และเครื่องผลิตรังสีอิเล็กตรอน

1. เครื่องผลิตรังสีเอ็กซ์

ประกอบด้วยหลอดแก้วสุญญากาศที่ปลายทั้งสองของหลอดจะมีแท่งโลหะติดอยู่ โดยปลายหนึ่งจะเป็นแคโทด (cathode) อีกปลายหนึ่งจะเป็นแอโนด(anode) ปล่อยกระแสไฟฟ้าเข้าทางด้านแคโทด จะให้กระแสอิเล็กตรอนที่มีพลังงานสูง พุ่งดรงมาดกกระทบโลหะด้านที่เป็นแอโนด ที่เป็นเป้าก็จะได้รังสีเอ็กซ์ที่มีพลังงาน $10^3 – 10^5$ อิเล็กดรอนโวลต์ เพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้

อาหารฉายรังสีถูกเหนี่ยวนำให้กลายเป็นสารกัมมันตรังสี จึงมีข้อกำหนดให้เครื่องผลิตรังสีเอ็กซ์ทำงานด้วยระดับพลังงานที่ไม่สูงกว่า 5 ล้านอิเล็กตรอนโวลต์

2. เครื่องเร่งอนุภาคอิเล็กตรอนความเร็วสูง

(Electron beam accelerator machine)

ประกอบด้วย หลอดสุญญากาศภายในบรรจุก๊าซซัลเฟอร์เฮกซะฟลูโอไรด์ และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงสูง อนุภาคอิเล็กตรอนเกิดจากการปล่อยกระแสไฟฟ้าเข้าไปในหลอดสุญญากาศ และอนุภาคอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นจะถูกเร่งให้มีความเร็วสูงขึ้น ซึ่งขึ้นกับความต่างศักย์ของขั้วทั้งสองภายในหลอดสุญญากาศ ถ้าความต่างศักย์ยิ่งสูงอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ได้เร็วและให้พลังงานที่สูง แต่การนำมาใช้กับอาหารจะกำหนดให้เครื่องผลิตรังสีอิเล็กตรอนทำงานด้วยระดับพลังงานที่ไม่สูงกว่า 10 ล้านอิเล็กตรอนโวลต์

เครื่องผลิตรังสีเอ็กซ์และรังสีอิเล็กตรอนเป็นแหล่งกำเนิดรังสีที่ดี ราคาถูก ให้ความแรงสูง ทำให้ใช้เวลาสั้นมากในการฉายรังสี พลังงานรังสีคงที่ไม่เสื่อมสลาย สามารถควบคุมการทำงานได้ โดยเมื่อต้องการรังสีก็สามารถเปิดเครื่องผลิตรังสี เมื่อไม่ต้องการใช้ก็ปิด และที่สำคัญคือไม่มีกากกัมมันตรังสีที่ต้องกำจัด เหมือนการใช้สารกัมมันตรังสี การกำจัดกากกัมมันตรังสีนั้นค่อนข้างยุ่งยากและมีค่าใช้จ่ายสูง

รังสีทั้งสามชนิดมีคุณสมบัติ ข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกัน การเลือกใช้รังสีต้องคำนึงถึงคุณสมบัติของรังสี ลักษณะอาหาร ลักษณะของงานที่นำรังสีมาใช้ ดังนี้

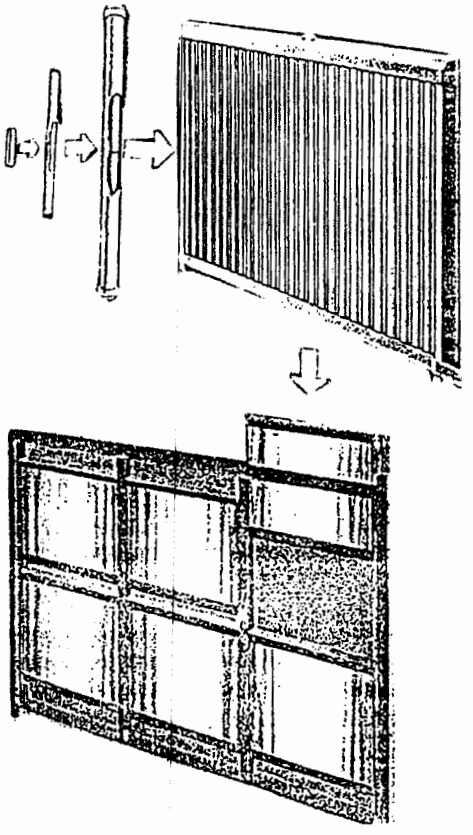
รังสีแกมมามีอำนาจในการทะลุทะลวงผ่านอาหารสูง เหมาะที่จะใช้กับอาหารที่มีขนาดใหญ่ มีความหนามาก หรืออาหารที่บรรจุในกล่องหรือหีบห่อขนาดใหญ่ แต่รังสีแกมมาถูกปล่อยจากต้นกำเนิดตลอดเวลาในทุกทิศทาง ไม่ว่าจะใช้งานหรือไม่ก็ตาม จึงไม่เหมาะจะใช้ในกรณีที่มีผลิตผลป้อนโรงงานน้อย หรือใช้ร่วมกับกระบวนการผลิตอื่น เพราะจะเป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงาน

ส่วนรังสีอิเล็กตรอนที่ได้จากเครื่องเร่งอนุภาคอิเล็กตรอนที่ทำงานด้วยระดับพลังงานที่ไม่สูงกว่า 10 ล้านอิเล็กตรอนโวลต์ จะมีอำนาจในการทะลุทะลวงต่ำกว่ารังสีแกมมา สามารถแทรกซึมเข้าไปในเนื้ออาหารได้เพียง 5 เซนติเมตร ไม่เหมาะที่ใช้กับอาหารที่มีขนาดใหญ่และมีความหนาแน่นมาก ทำให้ชิ้นอาหารได้รับรังสีไม่สม่ำเสมอ แต่เหมาะที่จะใช้ในการฉายรังสีอาหารที่มีขนาดเล็ก เช่น เมล็ดพืชและเมล็ดธัญชาติ (สายสนม ประดิษฐ์ดวง, 2539) นอกจากนี้การผลิตรังสีอิเล็กตรอนต้องใช้กระแสไฟฟ้าสูง ไม่เหมาะในกรณีที่ที่ตั้งโรงงานมีค่าไฟฟ้าสูง แต่ก็มีข้อดี คือ ลำแสงอิเล็กตรอนพุ่งออกมาในทิศทางเดียวกัน สามารถปรับทิศทาง

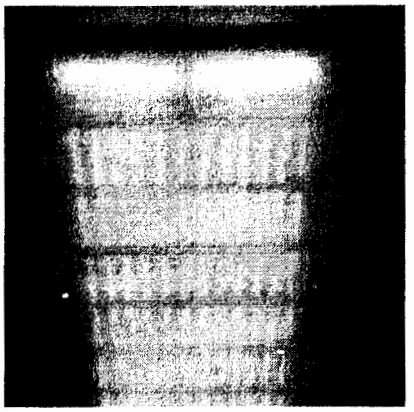
ของลำแสงและระดับพลังงานได้ตามต้องการ เหมาะจะใช้ร่วมกับกระบวนการผลิตอื่น เมื่อเลิกใช้งานก็สามารถปิดเครื่องได้ทันที ทำให้ไม่สิ้นเปลือง

7.4 โรงงานฉายรังสี

มีลักษณะและระบบการทำงานดังนี้ คือ บริเวณหรือห้องฉายรังสีจะถูกปิดล้อมด้วยผนังคอนกรีตที่มีความหนา 1.8 – 3 เมตร ทั้งผนัง เพดาน และพื้น เพื่อป้องกันรังสีไม่ให้ทะลุผ่านออกไปก่อให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม ต้นกำเนิดรังสีนิยมใช้โคบอลต์– 60 บรรจุอยู่ในท่อเหล็กไร้สนิม 2 ชั้น (ภาพที่ 7.2) แขวนบนแผงเหล็กอยู่กลางห้องฉายรังสี เมื่อไม่มีการฉายรังสีจะเก็บอยู่ในบ่อน้ำที่ลึก 7.6 เมตร(ภาพที่ 7.3) ผนังบ่อน้ำทำด้วยคอนกรีตหนาประมาณ 0.6 เมตร เมื่อต้องการฉายรังสีแผงเหล็กจะถูกดึงขึ้นจากบ่อ

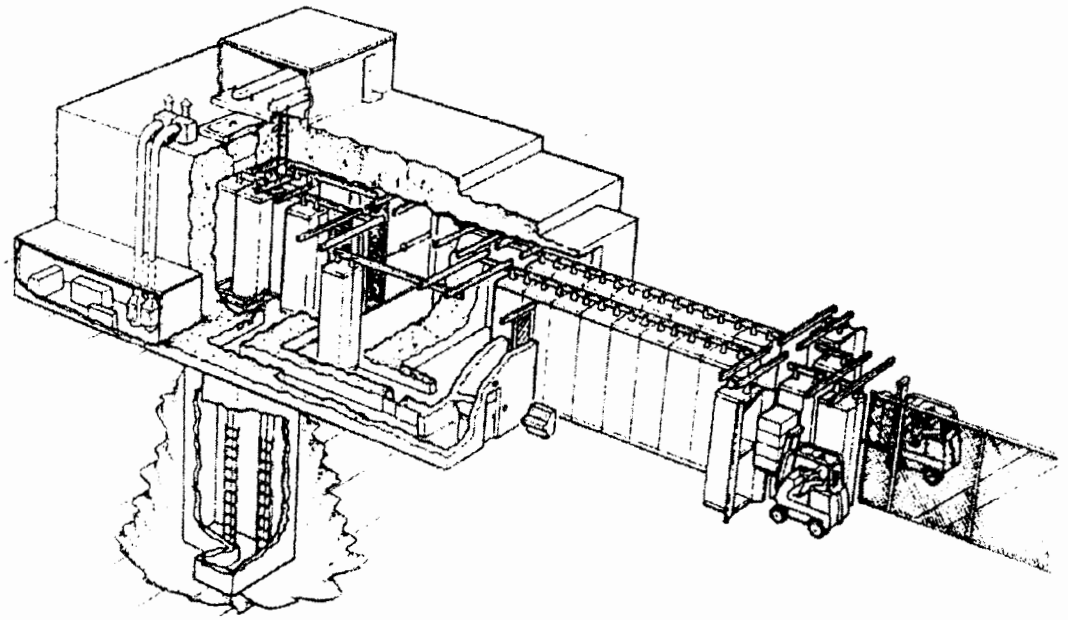


ภาพที่ 7.2 ต้นกำเนิดรังสีบรรจุในท่อปลอดสนิมสองชั้น



ภาพที่ 7.3 ต้นกำเนิดรังสีเก็บในบ่อน้ำ
ที่มา : สมาคมนิวเคลียร์แห่งประเทศไทย (2554)

ผลิตภัณฑ์ที่จะฉายรังสีถูกบรรจุอยู่ในตู้บรรจุภัณฑ์เป็นชุดๆ ละ 9 ตู้ ขับเคลื่อนด้วยระบบลม (Pneumatic conveying system) ส่งเข้ารับรังสีรอบๆ ต้นกำเนิดรังสี การทำงานภายในห้องฉายรังสีถูกควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ (ภาพที่ 7.4)



ภาพที่ 7.4 โรงงานฉายรังสีต้นแบบ
ที่มา : Murano (1995)

การควบคุมปริมาณรังสีที่ให้กับวัตถุหรืออาหาร ทำได้โดยควบคุมความแรงของต้นกำเนิดรังสี เวลาในการฉายรังสี ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ และตำแหน่งในการเคลื่อนที่เข้ารับรังสีจากต้นกำเนิดรังสี

7.5 หน่วยของรังสี

การฉายรังสีอาหารมีหน่วยที่นิยมใช้ คือ

1. แรด (Rad, Radiation Absorbed Dose)

เป็นหน่วยวัดปริมาณพลังงานที่สารดูดซับไว้ (dose) โดยกำหนดให้ 1 แรด คือ ปริมาณรังสีที่ทำให้เกิดการดูดกลืนพลังงาน 100 เอิร์กต่อวัตถุ 1 กรัม ณ.จุดที่กำหนด

2. เรนท์เก้น (Roentgen , R)

เป็นหน่วยที่ใช้วัดรังสีสัมผัส ใช้เฉพาะรังสีแกมมาและรังสีเอ็กซ์ที่มีความยาวคลื่นไม่เกิน 3 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ (MeV) โดยกำหนดให้

1 เรนท์เก้น คือ ปริมาณของรังสีเอ็กซ์หรือรังสีแกมมาที่ทำให้อากาศ 1 ลบ.ซม.ที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐานแตกตัวเป็นไอออน 2.08×10^{9} คู่

ปริมาณรังสี 1 แรด จะมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณรังสี 1 เรนท์เก้น โดย 1 แรด มีค่าเท่ากับ 1.07 เรนท์เก้น

3. คูรี (Curie , Ci)

เป็นหน่วยวัดการแผ่กัมมันตรังสีหรือความแรงของสารกัมมันตรังสี โดยกำหนดให้ 1คูรี เป็นการสลายตัวของสารกัมมันตรังสี 3.7×10^{10} ครั้งต่อวินาที แต่ไม่ได้กำหนดจำนวนและพลังงานของอนุภาคที่ถูกปล่อยออกมาจากการแตกตัว

ดังนั้นสารกัมมันตรังสี 2 ชนิด วัดการแตกตัวในหน่วยคูรีได้เท่ากัน อาจมีปริมาณรังสีที่ถูกปลดปล่อยออกมาต่างกัน

4. เกรย์ (Grey)

เป็นหน่วยของการดูดกลืนรังสี โดยกำหนดให้ 1 เกรย์ คือ การดูดกลืนพลังงาน 1 จูลต่ออาหาร 1 กิโลกรัม หน่วยเกรย์เป็นหน่วยใหม่ 1 เกรย์ มีค่าเท่ากับ 100 แรด

5. เรม (Rem , Roentgen Equivalent Man)

เป็นหน่วยวัดปริมาณรังสีที่มนุษย์ได้รับ

บุคคลใดได้รับรังสี แล้วรังสีก่อให้เกิดผลทางชีววิทยาเทียบเท่ากับผลที่เกิดจากรังสีเอ็กซ์หรือรังสีแกมมา 1 แรด บุคคลนั้นได้รับรังสีปริมาณ 1 เรม

ปัจจุบันมีการปรับเปลี่ยนหน่วยของรังสีใหม่ดังนี้

แรด เปลี่ยนเป็น เกรย์

เรม เปลี่ยนเป็น Sievert (Sv)

1 เรม = 0.01 Sv = 10^{4} micro Sv

คูรี เปลี่ยนเป็น Becquerel (Bq)

1Ci = 3.7 x 10^{10} Bq

Roentgen (R) = Coulomb (C) / Kilogram (Kg)

1R = 2.58 x 10^{-4} C/Kg

นอกจากนี้ยังมีหน่วยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับรังสีที่ควรทราบ คือ

พลังงานโฟตอน(Photon energy) คือ พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า วัดเป็นหน่วยอิเล็กตรอนโวลต์ (Electron volt, eV) ซึ่งเป็นหน่วยที่เล็กที่สุด

พลังงาน 1 eV คือ พลังงานที่เทียบเท่ากับพลังงานจลน์ที่เร่งให้อิเล็กตรอนเกิดความต่างศักย์ 1 โวลต์

การวัดปริมาณรังสี

ปริมาณรังสีที่อาหารได้รับ (absorbed dose) สามารถวัดได้โดยใช้เครื่องวัดปริมาณรังสี (dosimeter) ซึ่งทำจากวัสดุพวกพีวีซีผสมด้วยสี เมื่อได้รับรังสีไฮโดรคาร์บอนจะหลุดออกมา เกิดการเปลี่ยนสีในด้านปริมาณและคุณภาพ ซึ่งแสดงถึงปริมาณรังสีที่ได้รับ

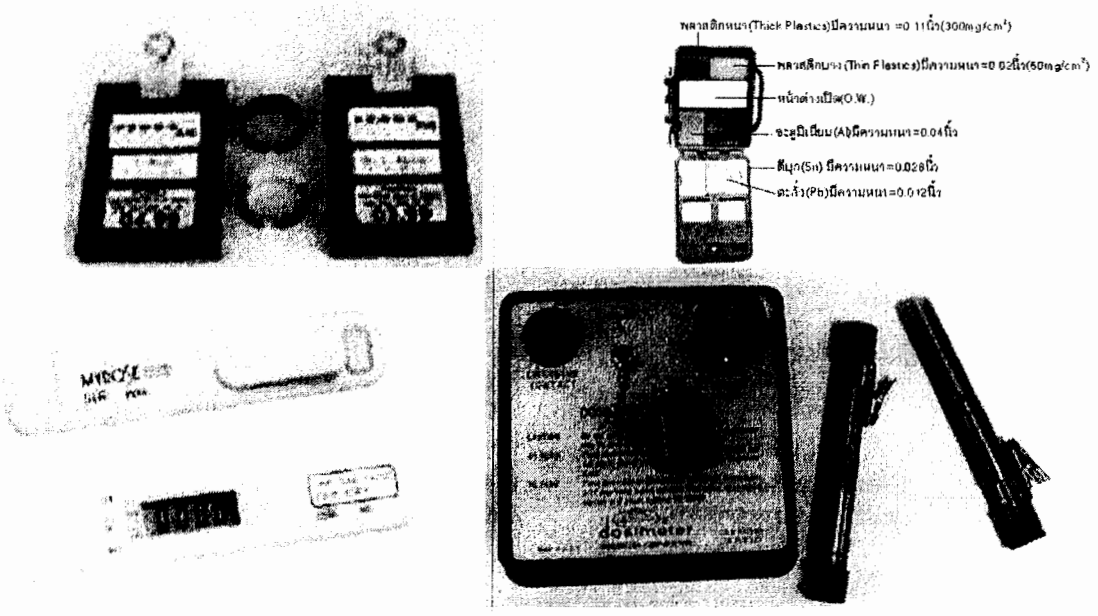
เครื่องมือตรวจสอบโดยเฉพาะเรียกว่าไกเกอร์มูลเลอร์เคาน์เตอร์ (Geiger-Muller counter) ประกอบด้วยกระบอกรับรังสี และมิเตอร์ที่มีหน้าปัดบอกปริมาณรังสีได้ ลักษณะของไกเกอร์ประกอบด้วยกระบอกซึ่งบรรจุก๊าซอาร์กอนไว้ เมื่อนำไปวางไว้ในบริเวณที่มีการแผ่รังสี รังสีจะผ่านเข้าทางช่องด้านหน้าของกระบอก กระทบกับอะดอมของอาร์กอน ทำให้อิเล็กตรอนของอาร์กอนหลุดออกไปกลายเป็นAr + ก่อให้เกิดความต่างศักย์ระหว่าง Ar + กับ e - ในหลอด ซึ่งจะแปลงค่าความต่างศักย์ออกมาเป็นตัวเลขบนหน้าปัด ค่าที่ได้นี้จะมากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับชนิดของรังสี และความเข้มข้นของรังสีที่จะทำให้Ar กลายเป็น Ar + ได้มากหรือน้อย(การตรวจสอบสารกัมมันตรังสีและเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการใช้สารกัมมันตรังสี,2554)

เครื่องวัดปริมาณรังสีที่ใช้ในกระบวนการผลิตอาหาร (routine dosimeter) มีหลายชนิด และใช้วัดปริมาณรังสีในช่วงต่าง ๆ กัน ดังตารางที่ 7.1 และมีลักษณะหลากหลายรูปแบบ (ภาพที่ 7.5)

ตารางที่ 7.1 ชนิดของเครื่องวัดปริมาณรังสี ช่วงของปริมาณรังสีที่วัด และผู้ผลิต

ชนิด	ปริมาณรังสี (กิโลเกรย์)	ผู้ผลิต
OPTI chromic	0.1-10	Farwest
GAF chromic	0.1-40	AECL
FWT-60	0.1-10	USA
Harwell Amber 3042	1-20	UK
Harwell Perspex HX	1-50	UK
Harwell Red 4034	5-50	UK
Red Acrylic	5-50	AECL

ที่มา : กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม (2542)



ภาพที่ 7.5 เครื่องตรวจวัดปริมาณรังสี

ที่มา :นฤพนธ์ เพ็ญศิริ และ กิดติพงษ์ สายหยุด 2554

7.6 ปฏิกิริยาของการแผ่รังสี

เมื่อรังสีชนิดไอออนไนซ์ชิงเคลื่อนที่ผ่านอาหาร เกิดการชนกันระหว่างรังสีกับอาหารที่ระดับโมเลกุลและอะตอม ถ้าพลังงานที่เกิดจากการชนมากเพียงพอ ก็จะดึงอิเล็กตรอนให้หลุดจากวงโคจรของอะตอม (atomic orbit) ได้คู่ไอออนมากมาย นับเป็นพันๆ คู่ ภายในระยะเวลาสั้นๆ ไม่เกิน 0.001 วินาที และถ้าพลังงานที่เกิดจากการชนสูงถึงขั้นทำให้พันธะทางเคมีแตกก็จะเป็นผลให้เกิดอนุมูลอิสระ (Free radical) ขึ้น อนุมูลอิสระนี้อาจเป็นส่วนหนึ่งของโมเลกุล กลุ่มอะตอม หรืออะตอมเดี่ยวๆ ที่มีอิเล็กตรอนอิสระซึ่งเป็นโครงสร้างที่ไม่เสถียร และอนุมูลอิสระเหล่านี้มีแนวโน้มสูงที่จะรวมตัวกันเอง หรือจับกับโมเลกุลอื่น เพื่อให้เกิดคู่อิเล็กตรอน ทำให้เกิดความเสถียร การเกิดคู่ไอออนของอนุมูลอิสระ ปฏิกิริยาระหว่างอนุมูลอิสระกับโมเลกุลอื่น ปรากฏการณ์ทางเคมีและกายภาพ ทำให้กลไกที่เกิดขึ้นโดยจุลินทรีย์ เอนไซม์ และองค์ประกอบของอาหารเกิดการเปลี่ยนแปลงระหว่างการฉายรังสี

7.6.1 ผลของปฏิกิริยาการแผ่รังสีต่อเซลล์

ผลทางตรง

ในกรณีของเซลล์และเนื้อเยื่อที่มีชีวิต รังสีมีผลในการทำลายและภารผ่าเหล่าเนื่องมาจากการสัมผัสโดยตรงกับรังสีที่มีพลังงานสูงตรงจุดที่เป็นจุดศูนย์กลางที่มีความสำคัญต่อชีวิต สำหรับสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวพวกจุลินทรีย์ เมื่อเซลล์ถูกทำลายจุลินทรีย์จะตาย แต่ถ้าเป็นสิ่งมีชีวิตหลายเซลล์ การทำลายเซลล์เพียงบางส่วนไม่ทำให้ตาย แต่อาจเกิดลักษณะที่ผิดไปจากเดิม ในสิ่งที่ไม่มีชีวิตก็จะมีผลเช่นเดียวกัน ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงสี เนื้อสัมผัสของอาหาร เป็นผลมาจากการชนกันระหว่างรังสีแกมมาหรืออนุภาคบีตาที่มีพลังงานสูงกับเม็ดสีหรือโมเลกุลของโปรตีน

ผลทางอ้อม

ผลของรังสีที่มีต่อสิ่งมีชีวิตและไม่มีชีวิตไม่จำเป็นต้องเกิดจากการดกกระทบโดยตรงเท่านั้น แต่อาจเกิดจากการชนกับเซลล์หรือโมเลกุลของอาหารโดยเฉพาะน้ำ ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่มีอยู่มากที่สุดในอาหาร เมื่อรังสีที่มีพลังงานสูงผ่านเข้าไปจะถ่ายเทพลังงานให้โมเลกุลของน้ำหรือโมเลกุลอื่นๆ ทำให้เกิดการแตกตัวให้คู่ไอออนและอนุมูลอิสระเกิดขึ้นมาก ถ้าเป็นโมเลกุลของน้ำจะเกิดอนุมูลไฮโดรเจนและไฮดรอกซิลที่มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยา

อนุมูลอิสระเหล่านี้จะทำปฏิกิริยากันเอง ทำปฏิกิริยากับออกซิเจน และทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของอินทรีย์สารหรืออนินทรีย์สารที่ละลายหรือแขวนลอยในน้ำ ดังนี้

อนุมูลไฮดรอกซิล สองกลุ่มรวมตัวกัน เกิดเป็นไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์

$$\cdot OH + \cdot OH \longrightarrow H_2O_2$$

อนุมูลไฮโดรเจน 2 ตัว รวมกันเป็นก๊าซไฮโดรเจน

$$\cdot H + \cdot H \longrightarrow H_2$$

อนุมูลไฮโดรเจนรวมกับออกซิเจน เกิดเป็นอนุมูลเพอร์ออกไซด์

$$\cdot H + O_2 \longrightarrow \cdot HO_2$$

อนุมูลเพอร์ออกไซด์ 2 ตัว รวมกัน เกิดไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์และออกซิเจน

$$\cdot HO_2 + \cdot HO_2 \longrightarrow H_2O_2 + O_2$$

ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์เป็นตัวออกซิไดซ์ที่รุนแรงและเป็นพิษ อนุมูลไฮโดรเจนและไฮดรอกซิลเป็นทั้งตัวออกซิไดซ์และรีดิวซิงที่รุนแรงสามารถเข้าร่วมปฏิกิริยา และเปลี่ยนโครงสร้างโมเลกุลของสิ่งมีชีวิต และสารอาหารที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบ ผลของรังสีเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญทำให้เซลล์เป็นอันตรายถึงขั้นเซลล์ตายหรือเกือบตาย และเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของอาหาร

เป้าหมายหลักในการถนอมอาหารโดยการฉายรังสี คือ ทำลายจุลินทรีย์และเอนไซม์ที่ไม่เป็นที่ต้องการ โดยทำให้องค์ประกอบของอาหารเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด การทำลายจุลินทรีย์และเอนไซม์ที่ไม่เป็นที่ต้องการ สามารถทำได้โดยการดกกระทบโดยตรงของรังสีและผลทางอ้อม แต่องค์ประกอบของอาหารส่วนใหญ่อยู่ในรูปสารละลายและมีน้ำเป็นส่วนประกอบ 70 – 85 % ดังนั้นผลที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จะเป็นผลทางอ้อมที่เกิดจากอนุมูลอิสระ ถ้าต้องการลดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของอาหารระหว่างการฉายรังสี จะต้องควบคุมผลทางอ้อมให้เกิดขึ้นน้อยที่สุด

7.7 กระบวนการฉายรังสี

การฉายรังสีอาหารเป็นกระบวนการถนอมอาหาร เช่นเดียวกับกระบวนการถนอมอาหารวิธีอื่นๆ ที่ใช้ความร้อนหรือความเย็น จะประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ คือ การคัดเลือก คัดคุณภาพของวัตถุดิบ การทำความสะอาดเพื่อขจัดสิ่งแปลกปลอมและลดจำนวนจุลินทรีย์ และการบรรจุ ขั้นตอนเหล่านี้จะต้องปฏิบัติตามข้อกำหนดและหลักสุขาภิบาลที่ดี อาหารฉายรังสีต้องบรรจุในภาชนะบรรจุที่เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ในการฉายรังสี เพื่อหลีกเลี่ยงการปนเปื้อนภายหลังการฉายรังสี

ภาชนะบรรจุที่สามารถนำมาใช้กับอาหารฉายรังสีมีหลายชนิด เช่น กระดาษ พลาสติก และกระป๋อง ต้องเลือกให้เหมาะสมโดยคำนึงถึงวัตถุประสงค์และต้นทุนในการผลิต ในบางครั้งบรรจุภัณฑ์ไม่จำเป็นต้องมีราคาแพง เช่น หอมฉายรังสี วัตถุประสงค์เพื่อยับยั้งการงอก อาจใช้เข่งหรือถุง ส่วนบรรจุภัณฑ์ที่ทำจากแก้วไม่เหมาะที่จะนำมาใช้บรรจุอาหารฉายรังสี เพราะมีความหนามาก และเมื่อได้รับรังสี จะเกิดอิเล็กตรอนอิสระในเนื้อแก้ว ทำให้เกิดการเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาลจางๆ จนเกือบดำ ถ้ามีการเติมซีรีเนียมลงไปในการผลิตแก้ว จะช่วยป้องกันการเปลี่ยนสี

หลังการบรรจุนำไปผ่านรังสีในห้องกำบังรังสี เพื่อให้อาหารได้รับรังสีในปริมาณที่กำหนด ซึ่งขึ้นกับวัตถุประสงค์ในการฉายรังสี (ข้อ 7.8) การควบคุมปริมาณรังสีทำได้โดยควบคุมเวลาในการฉายรังสีที่ได้จากการคำนวณ โดยจะต้องมีข้อมูลการวัดการกระจายรังสี ความแรงของต้นกำเนิดรังสี ความหนาแน่นของอาหาร ลักษณะการบรรจุ ระยะห่างระหว่างอาหารและต้นกำเนิดรังสี การกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ของอาหารภายในห้องฉายรังสี ตำแหน่งและระยะเวลาที่สัมผัสกับรังสีที่ตำแหน่งต่างๆ แต่สิ่งที่สำคัญที่ต้องคำนึงถึง คือ ถ้าต้นกำเนิดรังสีเป็นสารกัมมันตรังสี เช่น ^{60}Co มีการสลายตัวตลอดเวลา พลังงานของรังสีไม่คงที่มีค่าลดลง ดังนั้นเวลาในการฉายรังสีจะต้องมีการปรับเปลี่ยน เพื่อให้อาหารได้รับรังสีในปริมาณที่กำหนด

อาหารที่ผ่านการฉายรังสีและยังไม่ผ่านการฉายรังสี ไม่สามารถแยกความแตกต่างได้ ดังนั้นเพื่อป้องกันการปะปนกันหรือการฉายรังสีซ้ำ โรงงานควรมีระบบเพื่อแยกหรือป้องกันการปะปนกันระหว่างอาหารก่อนและหลังการฉายรังสี โดยอาจมีการแยกบริเวณหรือติดกระดาษที่สามารถเปลี่ยนสีได้เมื่อได้รับรังสีไว้ที่ภาชนะบรรจุอาหาร เพื่อเป็นเครื่องชี้หรือแสดงว่าอาหารนั้นผ่านกระบวนการฉายรังสี

อาหารหลังการฉายรังสีแล้วนำไปเก็บรักษาในสถานที่และสภาวะที่เหมาะสมสำหรับอาหารชนิดนั้นๆ จนกว่าจะจำหน่าย เช่น อาหารแช่เยือกแข็งหลังการฉายรังสีต้องเก็บในห้อง

เย็นที่อุณหภูมิต่ำกว่า – 18 องศาเซลเซียส ผักและผลไม้สดเก็บที่อุณหภูมิแช่เย็น พืชตระกูลถั่วและธัญชาติเก็บในบรรยากาศปกติ เป็นต้น

7.8 การใช้รังสีในการถนอมอาหาร

รังสีถูกนำมาใช้ในการถนอมอาหารในลักษณะต่างๆ โดยมีวัตถุประสงค์ ดังนี้

7.8.1 การใช้รังสีลดและทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสื่อมเสีย

รังสีสามารถทำลายจุลินทรีย์ได้ทั้งโดยทางตรงและทางอ้อม ผลทางตรง คือ เมื่อเซลล์ของจุลินทรีย์ได้รับรังสีที่มีระดับพลังงานที่สูงมาก ทำให้พันธะทางเคมีแตก โครงสร้างโมเลกุลถูกทำลาย ถ้าโมเลกุลนั้นเป็นดีเอ็นเอ (DNA, deoxyribonucleic acid) ซึ่งเป็นรหัสทางพันธุกรรมที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มจำนวน เมื่อดีเอ็นเอถูกทำลายหรือมีลักษณะผิดปกติ จุลินทรีย์ไม่สามารถแบ่งเซลล์เพื่อเพิ่มจำนวนหรือใช้สารอาหารในการเจริญเติบโต เมื่อกระบวนการล้มเหลวจุลินทรีย์ก็จะตายไปในที่สุด ส่วนผลทางอ้อมเมื่ออาหารได้รับรังสี น้ำในอาหารแตกตัวให้อนุมูลอิสระที่มีพลังงานสูงดังที่ได้กล่าวมาแล้ว อนุมูลอิสระเหล่านี้จะคงอยู่ในระยะเวลาสั้นๆ น้อยกว่า 10^{-5} วินาที แต่เพียงพอสำหรับทำลายจุลินทรีย์โดยจะไปทำลายโครงสร้างของเซลล์เมมเบรน ดีเอ็นเอ และอาร์เอ็นเอ(RNA) ของจุลินทรีย์ จุลินทรีย์บางชนิดมีดีเอ็นเอมากกว่าหนึ่งหน่วย และจุลินทรีย์บางชนิดสามารถซ่อมแซมดีเอ็นเอที่ถูกทำลายได้ ทำให้มีความทนทานรังสีสูง จุลินทรีย์จะมีความทนทานต่อรังสีแตกต่างกันตามชนิดและลักษณะของจุลินทรีย์ ดังนี้ ไวรัสมีความทนทานต่อรังสีสูงกว่าสปอร์ของแบคทีเรีย สปอร์ของแบคทีเรียมีความทนทานต่อรังสีสูงกว่าเซลล์แบคทีเรีย(Vegetative cell) เซลล์ของแบคทีเรียมีความทนทานต่อรังสีสูงกว่าเซลล์ของยีสต์และรา โดยเฉพาะ *Cl. botulinum* ทนรังสีได้มาก และสามารถซ่อมแซมดีเอ็นเอที่ถูกทำลายได้ ส่วนแมลงและปรสิต (parasites) ทนรังสีได้น้อยสุด

นอกจากชนิดของจุลินทรีย์แล้ว ยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับความทนทานรังสีของจุลินทรีย์ ดังนี้ คือ จำนวน อายุ และรูปร่างของจุลินทรีย์ องค์ประกอบและสถานะของอาหาร เช่น จุลินทรีย์ในอาหารแห้งและอาหารแช่เยือกแข็งจะทนรังสีได้สูงกว่าอาหารสด นอกจากนี้วิธีการบรรจุอาหารก็มีผลต่อความทนทานรังสีของจุลินทรีย์ด้วย เช่น การบรรจุอาหารแบบสุญญากาศทำให้จุลินทรีย์ทนทานรังสีเพิ่มขึ้น

ค่าความต้านทานรังสีของจุลินทรีย์บอกเป็นค่าดี (D-Value) หมายถึง ปริมาณรังสีที่สามารถลดจำนวนจุลินทรีย์ลงไปจากเดิม 10 เท่า คือ ร้อยละ 90 หรือ 1 ล็อกไซเคิล ดังนั้น

จุลินทรีย์ที่มีค่าดี 0.5 กิโลเกรย์ จะมีความทนทานรังสีมากกว่าจุลินทรีย์ที่มีค่าดี 0.25 กิโลเกรย์ เพราะต้องการรังสีในปริมาณที่สูงกว่าถึง 2 เท่าในการทำลาย

การใช้รังสีลดหรือทำลายจุลินทรีย์แบ่งตามปริมาณรังสีได้ ดังนี้

1. แรดแอปเปอร์ไทเซชัน (Radappertization)

เป็นการใช้รังสีในระดับสูง 10 – 50 กิโลเกรย์ เพื่อทำลายจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในอาหาร โดยเฉพาะ *Cl. botulinum* ทำให้เกิดสภาพปลอดเชื้อทางการค้าเช่นเดียวกับการใช้ความร้อน แต่อุณหภูมิของอาหารหลังการฉายรังสีจะเพิ่มขึ้นน้อยมาก เรียกกระบวนการฉายรังสีระดับนี้ว่า Cold sterilization อาหารที่ผ่านการฉายรังสีในระดับนี้ สามารถเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องได้โดยไม่เสื่อมเสีย แต่การใช้รังสีในระดับสูงอาจทำให้ลักษณะและคุณภาพของอาหารเปลี่ยนแปลงไป การแช่เยือกแข็งอาหารก่อนนำมาฉายรังสีจะช่วยลดความเสียหายจากการใช้รังสีในระดับสูง แต่มีค่าใช้จ่ายสูง

สำหรับไวรัส เอนไซม์ และสารพิษที่เกิดจากจุลินทรีย์ ไม่สามารถทำลายได้โดยใช้รังสีในระดับนี้ การจะทำลายต้องใช้รังสีในระดับที่สูงมาก ไม่เป็นที่นิยม เพราะมีผลต่อคุณภาพอาหารและความปลอดภัย จึงควรใช้วิธีการอื่นแทน

2. ราดิซิเดชัน (Radicidation)

เป็นการใช้รังสีในระดับกลาง 1 – 10 กิโลเกรย์ เพื่อทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคชนิดไม่สร้างสปอร์ ซึ่งทนรังสีน้อยกว่าพวกสร้างสปอร์ รังสีระดับนี้เทียบเท่าการพาสเจอร์ไรซ์ นอกจากนี้ยังสามารถทำลายปรสิตได้ด้วย

การใช้รังสี 2 – 3 กิโลเกรย์ เพียงพอที่จะทำลายเชื้อซาลโมเนลลาที่ปนเปื้อนในอาหารชนิดต่างๆ เช่น แหนม กุ้งแช่เยือกแข็ง สัตว์ปีก ไก่ ไข่ ผลิตภัณฑ์นม ผลิตภัณฑ์เนื้อ ผลิตภัณฑ์ปลา ผลิตภัณฑ์มะพร้าว ช็อกโกแลต เครื่องเทศ ผัก และผลิตภัณฑ์อาหารสัตว์ที่ทำจากสัตว์ เป็นต้น โดยไม่ทำให้คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลง

3. เรดูไรเซชัน (Radurization)

เป็นการใช้รังสีในระดับต่ำกว่า 1 กิโลเกรย์ เพื่อลดปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้นในอาหารให้น้อยลง ช่วยยืดอายุของอาหารเพื่อประโยชน์ในการวางตลาดและการส่งไปจำหน่าย ปริมาณรังสีที่ใช้แตกต่างกันไปตามชนิดของอาหาร ชนิดและจำนวนจุลินทรีย์

การใช้รังสีเพื่อลดและทำลายจุลินทรีย์ในอาหารชนิดต่าง ๆ

ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์และสัตว์ปีก

สหรัฐอเมริกาให้การยอมรับการฉายรังสีเนื้อสดเพื่อทำลายเชื้อซาลโมเนลลาในสัตว์ปีก ปริมาณรังสีที่ใช้อยู่ในช่วง 1.5 – 3 กิโลเกรย์ ส่วนการทำลายพยาธิในเนื้อหมูปริมาณรังสีที่ใช้อยู่ในช่วง 0.3 – 1 กิโลเกรย์ การฉายรังสีในระดับนี้นอกจากจะสามารถทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคและพยาธิแล้ว ยังช่วยลดปริมาณจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสีย ช่วยยืดอายุการเก็บรักษา เช่น การฉายรังสีเนื้อไก่ 2.5 กิโลเกรย์ ทำให้อายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จาก 6 วันในเนื้อไก่ที่ไม่ฉายรังสีเป็น 15 วัน ในไก่ฉายรังสี โดยลดจำนวนจุลินทรีย์ที่พบในไก่ เช่น พวกมีโซฟิลิกที่ต้องการออกซิเจนมีจำนวนลดลงจาก 10,000 เหลือ 44 เซลล์ต่อตารางเซนติเมตรเมื่อฉายรังสี 2.0 กิโลเกรย์ สำหรับเนื้อหมูการฉายรังสีก็ให้ผลเช่นเดียวกันกับเนื้อไก่ เนื้อสันในหมูฉายรังสี 3.0 กิโลเกรย์ ในสภาพสุญญากาศและเก็บที่ 2 – 4 องศาเซลเซียส จะเสื่อมเสียภายใน 90 วัน ในขณะที่เนื้อที่ไม่ผ่านการฉายรังสีจะเกิดการเสื่อมเสียภายใน 41 วัน

แหนมเป็นอาหารพื้นบ้านทางภาคเหนือและภาคอีสานของไทยทำจากเนื้อดิบ การฉายรังสี 2.0 กิโลเกรย์ สามารถทำลายเชื้อซาลโมเนลลา และพยาธิตัวกลมในเนื้อหมูซึ่งปกติใช้รังสี 0.3 กิโลเกรย์ ก็เพียงพอ (สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ,2554)

ผลิตภัณฑ์อาหารทะเล

จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคที่สำคัญในอาหารทะเล ได้แก่ *Vibrio parahaemolyticus* *Vibrio cholerae* และ *Aeromonas hydrophila* สามารถทำลายจุลินทรีย์เหล่านี้ได้โดยการใช้รังสีในระดับกลาง การใช้รังสี 1.5 – 3 กิโลเกรย์ เท่ากับที่ใช้ในสัตว์ปีก สามารถลดจำนวนจุลินทรีย์ในอาหารทะเลลงถึง 3 ล็อกไซเคิล

การฉายรังสีขากบ 0.5 – 1 กิโลเกรย์ สามารถทำลาย *Vibrio cholerae* ได้อย่างสมบูรณ์ อาหารทะเลฉายรังสี 1.3 กิโลเกรย์ ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาออกไปได้ เช่น ปลาเฮกแดงมีอายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นจาก 6 เป็น 13 วัน เมื่อเก็บที่ 3.3 องศาเซลเซียส และปลาคอดที่แล่เป็นชิ้นสามารถเก็บในน้ำแข็งได้นาน 9 วัน (Murano,1995)

การผลิตปลารมควันจาก ปลาซามอน ปลาแฮริง และปลาแมคเคอเรล ในประเทศอียิปต์นิยมรมควันที่อุณหภูมิต่ำ 28 – 30 องศาเซลเซียส ความชื้นสูงและความเข้มข้นของเกลือต่ำ ซึ่งในสภาวะเช่นนี้ไม่สามารถทำลายจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในธรรมชาติ อาหารเก็บไว้ไม่ได้นาน

เนื่องจากมีปริมาณจุลินทรีย์สูงและสูงกว่าที่มาตรฐานกำหนด การใช้รังสีในระดับต่ำจะช่วยลดจำนวนจุลินทรีย์ให้เหลืออยู่ในระดับมาตรฐาน อาหารมีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนาน (Hammad & El-Mongy,1992)

นมและผลิตภัณฑ์นม

การฉายรังสีนมและผลิตภัณฑ์นม เพื่อทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค ไม่ได้รับความนิยม เพราะความร้อนในระดับพาสเจอไรซ์ สามารถทำลายจุลินทรีย์เหล่านี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่อย่างไรก็ตามการฉายรังสีผลิตภัณฑ์เหล่านี้ยังมีความจำเป็น เช่น ในกรณีที่มีการปนเปื้อนของน้ำนมหลังการพาสเจอไรซ์ เมื่อนำน้ำนมไปทำผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น เนยแข็งและไอศกรีม มักพบจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคที่สำคัญ คือ *Listeria monocytogenes* ซึ่งจะทำให้เกิดการดายเกิดขึ้น ปริมาณรังสีที่สามารถทำลายจุลินทรีย์ชนิดนี้ในผลิตภัณฑ์เนยแข็งในระดับที่เทียบเท่าค่า 12 D คือ 16.8 กิโลเกรย์ และ 24.4 กิโลเกรย์ ในไอศกรีม นอกจากนี้ยังสามารถใช้รังสีในระดับต่ำ เพื่อทำลายเชื้อราในเนยแข็ง ช่วยยืดอายุการเก็บรักษา รังสี 0.5 กิโลเกรย์ ยืดอายุการเก็บรักษาของเนยแข็งที่มีเชื้อ *Penicillium sp.*ได้ 5 วัน และเนยแข็งที่มีเชื้อ *Aspergillus sp.* ได้ 52.2 วัน

ไข่

จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคที่พบปนเปื้อนในไข่ คือ *Samonella enteritidis* แม้ว่าการใช้ความร้อนสามารถทำลายจุลินทรีย์ชนิดนี้ได้ แต่การบริโภคหรือการประกอบอาหารตามร้านอาหารหรือภัตตาคาร มักจะไม่ได้ทำให้ไข่สุกอย่างทั่วถึง เช่น ในกรณีของไข่ลวก ไข่ดาว นอกจากนี้การใช้ไข่ดิบในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมทำให้มีจุลินทรีย์หลงเหลือและปนเปื้อนอยู่ก่อให้เกิดโรค รังสี 2.0 กิโลเกรย์ สามารถลดจำนวนจุลินทรีย์ชนิดนี้ลง 4 ล็อกไซเคิล

เครื่องเทศ เครื่องปรุงรส

เครื่องเทศ เครื่องปรุงรส และเอนไซม์ มีปัญหาการปนเปื้อนของแบคทีเรีย เชื้อโรค และเชื้อราในปริมาณสูง แต่เดิมนิยมใช้การรมด้วยควันของเอทิลีน บางประเทศห้ามใช้หรือจำกัดปริมาณการใช้ เพราะเป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้บริโภคและมีปัญหาด้านมลภาวะ

ถ้าใช้ความร้อนสูงในการแปรรูปหรือทำแห้งเครื่องเทศ เครื่องปรุงรส กลิ่นอาจจะเหยหรือเปลี่ยนไป เครื่องเทศหลายๆ ชนิดนิยมใช้ปรุงรสโดยเติมลงไปโดยตรง เช่น พริกไทย และพริกป่น เป็นต้น ถ้ามีการปนเปื้อนของจุลินทรีย์สูงก็จะเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค และมีอายุการ

เก็บรักษาสั้น โดยทั่วไปจะพบจุลินทรีย์ปนเปื้อนในเครื่องเทศสูงถึง 10^6 – 10^8 เซลล์ต่อกรัม สูงกว่ามาตรฐานที่กำหนดให้มีปริมาณจุลินทรีย์ได้ไม่เกิน 10^3 เซลล์ต่อกรัม

พริกไทยดำ พริกแดง และขมิ้น เป็นเครื่องเทศที่ใช้กันมากในการประกอบอาหาร การฉายรังสี 10 กิโลเกรย์ สามารถลดจำนวนจุลินทรีย์ให้เหลือน้อยกว่า 100 เซลล์ต่อกรัม และสามารถทำลายสปอร์ของ *Bacillus cereus* ได้อย่างสมบูรณ์ นอกจากนี้ยังสามารถทำลายสปอร์ของแบคทีเรียลง 10^5 – 10^7 สปอร์ต่อกรัม และคงสภาพปลอดเชื้อที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6 เดือน สำหรับการทำลายสปอร์ของเชื้อราใช้รังสีเพียง 5.0 กิโลเกรย์ ก็เพียงพอ

ถ้าเปรียบเทียบระหว่างการใช้รังสี 6.5 กิโลเกรย์กับการใช้เอทิลีนออกไซด์แล้ว การใช้รังสีมีประสิทธิภาพดีกว่า สามารถลดจำนวนจุลินทรีย์ให้มีปริมาณลดลงถึงระดับที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน โดยไม่ทำให้กลิ่นรสและคุณสมบัติอื่นๆ เปลี่ยนแปลง (Murano,1995)

ผัก ผลไม้

จุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุหลักของการเสื่อมเสียของผลไม้ คือ เชื้อราและยีสต์ ส่วนแบคทีเรียเป็นสาเหตุรอง ปกติผลไม้มีผิวป้องกันการทำลายจากจุลินทรีย์ แต่เมื่อเกิดบาดแผลขึ้นจากการเก็บเกี่ยวหรือการขนส่ง จุลินทรีย์สามารถเข้าทำลายได้ ปริมาณรังสีที่สามารถทำลายเชื้อราอยู่ในช่วง 1.5 – 6 กิโลเกรย์ ส่วนยีสต์อยู่ในช่วง 4 – 20 กิโลเกรย์ สำหรับผักมีจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุหลักของการเสื่อมเสีย คือ แบคทีเรีย เช่น *Erwinia caratova* ที่เป็นสาเหตุให้เกิดโรคเน่า แต่ราและยีสต์ก็มีส่วนเกี่ยวข้องกับการเน่าเสียในผักด้วย ปริมาณรังสีที่สามารถทำลายแบคทีเรียชนิดนี้ค่อนข้างสูง ตัวอย่างเช่น ผัก Artichoke การใช้รังสีในปริมาณที่สูงถึง 4 กิโลเกรย์ ยังไม่สามารถทำลายแบคทีเรียตัวนี้ได้

การใช้รังสีทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้ผักและผลไม้เกิดการเน่าเสีย ไม่ค่อยได้รับความนิยม เพราะปริมาณรังสีที่สามารถทำลายจุลินทรีย์ในผักและผลไม้ดังที่กล่าวมาแล้วนั้น เป็นระดับที่สูงเกินไปสำหรับผักและผลไม้ ทำให้ผักและผลไม้เกิดการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสจนไม่เป็นที่ยอมรับ นอกจากนี้การใช้รังสีในระดับสูงแทนที่จะชะลอการเน่าเสียกลับจะไปเร่งให้เกิดการเน่าเสียเร็วยิ่งขึ้น เพราะรังสีไปทำลายเนื้อเยื่อทำให้เซลล์ฉีกขาด (Urbain,1986)

7.8.2 การทำลายพยาธิ

พฤติกรรมการบริโภคอาหารของคนบางกลุ่ม นิยมบริโภคอาหารดิบหรือกึ่งดิบ ในเนื้อสัตว์ดิบหรือผ่านความร้อนไม่เพียงพอ พบโปรโตซัวชนิดต่างๆ เช่น พยาธิตัวแบน (*Toxoplasma gondi*) พยาธิสาคู (*Trichinella spiralis*) พยาธิตัวตืดในเนื้อหมู (*Cysticercus cellulosae*) และในเนื้อวัว (*Cysticercus bovis*) พยาธิเส้นด้ายในเนื้อหมู (*Taenia solium*) และในเนื้อวัวและเนื้อกระบือ (*Taenia saginata*) การบริโภคเนื้อสัตว์ที่มีโปรโตซัวเหล่านี้เข้าไป เมื่อเข้าสู่กระเพาะอาหารผนังหุ้มตัวอ่อนของพยาธิจะถูกย่อยและปล่อยตัวอ่อนออกมา และตัวอ่อนจะโตเต็มที่ภายใน 2 – 4 วัน และผลิตรุ่นที่ 2 มีจำนวนมากกว่า 1,000 ตัว กระจายไปทั่วร่างกายในบางกรณีอาจทำให้ถึงตายได้

ปัจจุบันยังไม่มีเทคโนโลยีใดๆ ที่ใช้ผลิตเนื้อดิบที่ปราศจากเชื้อโรคและพยาธินอกจากการใช้รังสี รังสีในระดับต่ำสามารถทำลายพยาธิที่มีอยู่โดยที่เนื้อยังคงเป็นเนื้อดิบและคงลักษณะเดิม ทำให้ปลอดภัยต่อสุขภาพ ลดปัญหาการถูกกักกันในผลิตภัณฑ์อาหารส่งออก

รังสี 0.2 – 0.6 กิโลเกรย์ สามารถทำลายพยาธิเส้นด้ายในเนื้อหมู เนื้อวัว และเนื้อกระบือ รังสี 0.4 – 0.6 กิโลเกรย์ สามารถทำลายพยาธิตัวตืดในเนื้อหมูและในเนื้อวัว รังสี 0.3 – 1.0 กิโลเกรย์ สามารถทำลายพยาธิสาคู รังสี 0.3 – 1.0 กิโลเกรย์ สามารถทำลายพยาธิตัวแบนในเนื้อหมู รังสีปริมาณต่ำ 0.15 กิโลเกรย์ หยุดการเจริญของพยาธิในเนื้อหมู (Murano, 1995)

7.8.3 การใช้รังสีควบคุมการทำลายของแมลง

แมลงเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้อาหารเสียหาย สูญเสียคุณค่า โดยการกัดแทะทำลายอาหาร การสูญเสียจากการทำลายของแมลงจะมีมากถึง 5 – 10 % ในระหว่างการเก็บรักษา แม้ไม่ทำให้อาหารเน่าเสียแต่ผู้บริโภคก็ไม่ยอมรับอาหารที่ถูกแมลงทำลายหรือมีแมลงปนเปื้อน นอกจากนี้การที่แมลงสามารถแพร่กระจายไปกับอาหาร ยังก่อให้เกิดปัญหาการกีดกันทางการค้าระหว่างประเทศขึ้น

เมล็ดธัญชาติ ถั่ว กาแฟ ผัก ผลไม้ และผลิตภัณฑ์อาหารแห้งชนิดต่างๆ เช่น ผักและผลไม้แห้ง ปลาแห้ง ปลารมควัน เสียหายเนื่องจากแมลงภายหลังการเก็บเกี่ยวและเก็บรักษาเป็นจำนวนมาก

การกำจัดแมลงทำได้หลายวิธี เช่น การใช้ยาฆ่าแมลง การใช้ความร้อน หรือความเย็น การใช้ยาฆ่าแมลง การรมด้วยควันเอทิลีนไดโบรไมด์ แม้ว่าจะเป็นวิธีที่ใช้ได้ผล แต่เมื่อใช้ต่อเนื่องไปนานๆ แมลงจะสามารถสร้างภูมิต้านทานขึ้น นอกจากนี้ยังเป็นอันตรายทั้งต่อผู้ใช้และมีสารพิษตกค้างเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค

การใช้รังสีกำจัดแมลงเป็นวิธีการหนึ่งที่มีการวิจัยมาแล้วว่าเป็นวิธีที่สามารถใช้ได้และมีประสิทธิภาพ โดยสามารถใช้รังสีระดับต่ำในการทำลายแมลง ช่วยแก้ปัญหาพิษภัยที่เกิดจากการใช้ยาฆ่าแมลง นอกจากนี้รังสียังสามารถทำลายแมลงได้ทุกระยะของการเจริญเติบโต ไม่ว่าจะอยู่ในรูปไข่ ตัวหนอน ดักแด้ และตัวโตเต็มวัย รังสีมีอำนาจทะลุทะลวงสามารถทำลายแมลงที่อยู่ภายในที่ยาฆ่าแมลงเข้าไปไม่ถึง แต่การใช้สารเคมีมีผลป้องกันแมลง ตราบเท่าที่ยังมีสารเคมีตกค้างอยู่ ในขณะที่การใช้รังสีไม่มีผลคุ้มครอง ดังนั้นผลิตภัณฑ์จะต้องบรรจุอยู่ในภาชนะบรรจุหรือมีวัสดุหุ้มห่อที่เหมาะสมก่อนนำไปฉายรังสี เพื่อป้องกันการเข้าทำลายซ้ำของแมลงจากภายนอก

ปริมาณรังสีที่เหมาะสมแตกต่างกันไปตามชนิดของอาหารและแมลง รังสี 0.2 – 0.7 กิโลเกรย์สามารถทำลายไข่แมลงและควบคุมการแพร่พันธุ์ของแมลง รังสี 0.21 กิโลเกรย์ สามารถทำลายหนอนในปลาแห้งและปลาเค็ม แมลงวันผลไม้ในมะม่วง ป้องกันไข่และตัวอ่อนเจริญเป็นตัวเต็มวัย รังสี 0.33 กิโลเกรย์ทำลายเพี้ยด้วง มอด และทำให้เลน ไร (mite) ทั้งตัวผู้และตัวเมียเป็นหมัน และยังสามารถใช้ทำลายแมลงในกล้วย ฝรั่ง ลำไย ลิ้นจี่ มะละกอ สับปะรด เงาะ และมะเขือเทศ แต่ไม่เหมาะสำหรับผลไม้บางชนิด เช่น อะโวกาโด จะเกิดความเสียหาย พืชตระกูลส้มการใช้รังสีในระดับที่ต่ำกว่า 0.1 กิโลเกรย์ นอกจากจะไม่สามารถทำลายแมลงแล้ว ยังจะทำให้เปลือกมีสีคล้ำ เกิดเป็นรอยบุ๋ม

มะขามหวานที่ลดความชื้นด้วยการผึ่งแดดหรืออบไอร้อน แล้วบรรจุในกล่องพลาสติกที่ปิดสนิท และป้องกันแมลงได้ เมื่อนำไปฉายรังสีปริมาณ 1 กิโลเกรย์ จะสามารถควบคุมการเจริญของเชื้อรา และทำลายแมลงที่ติดมาได้หมด มะขามหวานที่ผ่านการฉายรังสีแล้ว สามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องได้นานกว่า 8 เดือน โดยยังมีรสชาติเป็นที่ยอมรับของผู้ชิม (ยุทธพงศ์ ประชาสิทธิศักดิ์ และวชิรา พริ้งศุลกะ,2537)

ผลไม้ไทยที่ส่งออกไปประเทศสหรัฐอเมริกา 6 ชนิด ได้แก่ มังคุด เงาะ ลำไย ลิ้นจี่ มะม่วง และสับปะรด ถูกระงับการนำเข้าเนื่องจากปัญหาเรื่องโรคและแมลง หลังจากที่ประเทศไทยได้นำผลไม้มาฉายรังสีโดยใช้รังสีแกมมาจากต้นกำเนิดโคบอลต์-60 ในปริมาณ 0.2 - 0.7 กิโลเกรย์ รัฐบาลสหรัฐอเมริกาก็ได้ออกประกาศอนุญาตให้ประเทศไทยสามารถส่งออกผลไม้สด 6 ชนิด ดังกล่าวไปยังสหรัฐอเมริกาได้(สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ(องค์การมหาชน),2554)

7.8.4 การใช้รังสีเพื่อชะลอการสุกและยืดอายุการเก็บรักษาของผักและผลไม้

ผลไม้แบ่งเป็น 2 ประเภท ตามลักษณะการหายใจ คือ ไคลแมกเทอริก (Climacterlic) และนอนไคลแมกเทอริก (non-climacterlic) ผลไม้ประเภทไคลแมกเทอริกจะเก็บเกี่ยวตอนแก่จัดแต่ยังไม่สุก ได้แก่ มะม่วง มะละกอ และกล้วย เป็นต้น ส่วนผลไม้พวกนอนไคลแมกเทอริกจะเก็บเกี่ยวในขณะที่สุกเต็มที่แล้ว เช่น ผลไม้ตระกูลส้ม และองุ่น เป็นต้น ผลไม้สุกเมื่อปล่อยทิ้งไว้ก็จะงอมและเข้าสู่สภาวะของการเสื่อมเสีย คุณภาพและเนื้อสัมผัสจะเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นผลไม้เมื่อสุกแล้วก็จะต้องรับประทานเลยไม่สามารถเก็บไว้ได้อีก แต่ถ้าชะลอการสุกของผลไม้ได้ก็จะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของผลไม้ ผลไม้พวกนอนไคลแมกเทอริกจะเก็บเกี่ยวในขณะที่สุกเต็มที่แล้ว ไม่มีการสุกเพิ่มขึ้น จึงไม่สามารถชะลอการสุกได้อีก

การสุกของผลไม้เกิดจากก๊าซเอทิลีนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการทางชีวเคมีของผลไม้ การชะลอการสุกสามารถทำได้โดยชะลอการผลิตก๊าซเอทิลีน หรือกำจัดก๊าซเอทิลีนในบรรยากาศที่เก็บรักษา รังสีช่วยชะลอการสุกและการเสื่อมเสียโดยรังสีมีผลยับยั้งการผลิตฮอร์โมนที่เร่งการสุก และไปรบกวนกระบวนการทางชีวเคมีของการแบ่งเซลล์และการเจริญเติบโต การชะลอการสุกของผลไม้จะให้ผลดีเฉพาะผลไม้ประเภทไคลแมกเทอริกเท่านั้น และจะต้องเลือกช่วงเวลาและปริมาณรังสีให้เหมาะสม โดยจะต้องฉายรังสีก่อนที่ไคลแมกเทอริกจะเริ่มปริมาณรังสีที่เหมาะสมแตกต่างกันไปตามชนิดและพันธุ์ ดังนี้

กล้วยโดยทั่วๆ ไปใช้รังสี 0.1 – 0.3 กิโลเกรย์ ช่วยชะลอการสุกได้ 4 – 15 วัน แต่ถ้าเป็นกล้วยพันธุ์แล็กแทน (Lactan) ระดับของรังสีที่เหมาะสม คือ 0.25 – 0.3 กิโลเกรย์ ถ้าใช้ในระดับต่ำกว่านี้จะเร่งการสุก แต่ถ้าใช้ระดับที่สูงขึ้นจะเร่งการเน่าเสีย

ฝรั่งและมะเขือเทศใช้รังสี 0.2 – 0.25 กิโลเกรย์ ช่วยชะลอการสุก 5 วัน

การฉายรังสีเห็ดจะช่วยชะลอการบาน การยืดตัวของก้านเห็ด และยังทำให้ครีบเห็ดไม่เกิดสีดำ เห็ดจะมีลักษณะสดและมีอายุการวางตลาดเพิ่มขึ้น เห็ดฟางฉายรังสี 1 กิโลเกรย์ และเก็บที่อุณหภูมิ 17 องศาเซลเซียส สามารถเก็บได้นาน 4 วัน โดยยังคงมีลักษณะเหมือนเห็ดสด (เชวงศักดิ์ พรหมภูเบศร์, 2515)

มะม่วงหนังกลางวันเมื่อนำไปฉายรังสี 0.6 กิโลเกรย์ และเก็บที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส สามารถชะลอการสุกออกไปได้นานถึง 10 วัน (Vachira et al,1990)

พืชตระกูลส้ม เช่น ส้ม องุ่น มะนาว พีช และเน็กทาริน อยู่ในกลุ่มนอนไคลแมกเทอริก หลังการเก็บเกี่ยวถ้านำมาฉายรังสี รังสีจะไปเร่งการเสื่อมเสีย โดยเร่งการหายใจและการผลิต

เอทิลีนทำให้เสื่อมเสียเร็วขึ้น ดังเช่นในกรณีของมะนาวที่ผลยังเป็นสีเขียว ถ้านำไปฉายรังสีจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองอย่างรวดเร็ว

7.8.5 การใช้รังสียับยั้งการงอกของพืชหัว

พืชหัว เช่น มันฝรั่ง มันเทศ หอม กระเทียม ขิง และข่า เมื่อนำมาเก็บไว้จะงอกภายใน 3 เดือน แม้ว่าจะเก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำถึง 0 องศาเซลเซียสก็ตาม (Murano,1995) การงอกเป็นปัญหาสำคัญของการสูญเสียนอกจากการเน่า ทำให้เกิดการขาดแคลนและมีราคาสูง เดิมใช้สารเคมี เช่น มาเลอิกไฮดราไซด์ หรือ ไอโซโพรพิล-เอ็น-คลอโรเฟนิลคาร์บาเมต ยับยั้งการงอก แต่ในบางประเทศห้ามใช้เนื่องจากมีสารพิษตกค้าง

รังสีสามารถยับยั้งการงอกโดยรังสีไปมีผลต่อการแบ่งเซลล์และการเติบโตของเนื้อเยื่อ โดยระงับการสังเคราะห์เอทีพี (ATP, Adenosine triphosphoric acid) และกรดนิวคลีอิก (Nucleic acid) ในเนื้อเยื่อเหล่านี้

รังสีปริมาณต่ำๆ 0.05 – 0.12 กิโลเกรย์ สามารถยับยั้งการงอกของพืชหัว ลดการสูญเสียน้ำหนักจากการแตกหน่อ แตกราก และการงอกได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ปริมาณที่เหมาะสมจะแตกต่างกันไปตามชนิดของพืช มันฝรั่งฉายรังสี 0.1 กิโลเกรย์ จะไม่เกิดการงอกอีกเลยแม้จะนำไปปลูกในดินก็ตาม หัวหอมมีความไวต่อรังสีสามารถใช้รังสีเพียง 0.05 – 0.06 กิโลเกรย์ เพื่อชะลอการงอกและควรจะฉายรังสีในช่วงสัปดาห์แรกหลังการเก็บเกี่ยว ในขณะที่มันฝรั่งสามารถฉายรังสีในเวลาใดก็ได้หลังการเก็บเกี่ยว กระเทียมต้องใช้รังสี 0.05 – 0.12 กิโลเกรย์ ถั่วลิสงฉายรังสี 2 – 20 กิโลเกรย์ สามารถเก็บที่อุณหภูมิปกติโดยไม่เกิดการงอกนานถึงหนึ่งปีและสามารถทำลายเชื้อราได้อย่างสมบูรณ์ (Murano,1995)

7.8.6 การใช้รังสีช่วยกระบวนการผลิต แปรรูป พัฒนา และปรับปรุงคุณภาพ

การฉายรังสีนอกจากจะช่วยถนอมอาหารแล้ว ยังสามารถช่วยปรับปรุงกระบวนการผลิตให้ง่ายและสะดวกขึ้น เช่น องุ่นที่ผ่านการฉายรังสี เมื่อนำไปคั้นน้ำจะได้น้ำองุ่นเพิ่มขึ้น โดยรังสีไปทำให้สารประกอบเพ็กทินที่เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์เปลี่ยนแปลง เซลล์มีความอ่อนนุ่มขึ้น หรือถึงขั้นทำให้ผนังเซลล์แตกแยกน้ำออกได้ง่าย

ผักแห้งที่ผ่านการฉายรังสีมีความสามารถในการดูดซับน้ำเพื่อการคืนรูปได้ดี ลดเวลาที่ใช้ในการคืนรูป ปริมาณรังสีที่ใช้อยู่ในช่วง 10 กิโลเกรย์

ข้าวกล้องเมล็ดยาวและเมล็ดขนาดกลางเมื่อนำไปฉายรังสี 1 – 2 กิโลเกรย์ ช่วยลดเวลาในการหุงต้มและมีเนื้อนุ่มไม่แข็งกระด้าง

การฉายรังสีวิสกี้ช่วยลดระยะเวลาการบ่มให้น้อยลง

นอกจากนี้รังสียังช่วยปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น การฉายรังสีแป้ง เมื่อนำแป้งมาทำเป็นผลิตภัณฑ์จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาตรมาก โครงสร้างนุ่ม และสม่ำเสมอ

การปรับปรุงคุณภาพของอาหารหรือช่วยปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยรังสี มีรากฐานจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมี โดยทำให้เกิดการเปลี่ยนลักษณะที่สำคัญของอาหาร เช่น ลักษณะเนื้อสัมผัส การเกิดเจล ความข้นหนืด การจับตัวเป็นโด ความคงตัว และความยืดหยุ่น โดยทั่วๆ ไปแล้วการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ส่วนใหญ่จะเกี่ยวข้องกับการทำให้โมเลกุลที่มีขนาดใหญ่ เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต แตกตัวเป็นโมเลกุลที่เล็กลง หรือการที่เซลล์ถูกทำลายทำให้สารหรือส่วนประกอบภายในเซลล์ถูกปล่อยออกมา

ปริมาณรังสีที่ใช้เพื่อวัตถุประสงค์นี้จะอยู่ในช่วง 0.1 – 10 กิโลเกรย์

7.9 การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจากการฉายรังสี

7.9.1 การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับองค์ประกอบของอาหาร

1. น้ำ

อาหารประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำเป็นจำนวนมาก เมื่อได้รับรังสีโมเลกุลของน้ำจะสูญเสียอิเล็กตรอนเกิดอนุมูลอิสระและแตกตัวต่อไป ให้อนุมูลไฮโดรเจนและไฮดรอกซิล ซึ่งจะไปทำปฏิกิริยากับองค์ประกอบอื่นๆในอาหาร และอาจรวมตัวกันเกิดเป็นเรดิโอไรดิกโปรดัก (Radiolytic product) แต่ปริมาณที่พบน้อย และเป็นชนิดเดียวกับที่พบในอาหารที่ไม่ได้ฉายรังสี เช่น อนุมูลอิสระที่เกิดจากปฏิกิริยาของเอนไซม์ ปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันและกรดไขมัน และปฏิกิริยาการแตกตัวของวิตามินและรงควัตถุในอาหาร

2. คาร์โบไฮเดรต

รังสีมีผลต่อคาร์โบไฮเดรตในอาหาร เช่นเดียวกับที่เกิดขึ้นในกระบวนการแปรรูปวิธีอื่นๆ โดยทำให้เกิดการแตกตัวของโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่และมีโครงสร้างซับซ้อนเป็นโมเลกุลที่มีขนาดเล็กลง พอลีแซ็กคาไรด์จะแตกตัวให้โมเลกุลที่เล็กลง เช่น เด็กซ์ทริน กลูโคส มอลโทส และเรดิโอไรดิกโปรดัก เป็นผลให้คุณสมบัติของคาร์โบไฮเดรตเปลี่ยนแปลงไป เช่น ข้าวบาร์เลย์กระเทาะเปลือกที่ผ่านการฉายรังสี 100 กิโลเกรย์ แป้งจะแตกตัวเป็นหน่วยที่เล็กลง

ง่ายต่อการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ ข้าวกล้องฉายรังสี 1 – 3 กิโลเกรย์ ใช้เวลาในการดูดซับน้ำและเวลาในการหุงต้มน้อยลง

คาร์โบไฮเดรตในอาหารเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติในด้าน สี กลิ่น รส และเนื้อสัมผัส ตลอดจนคุณสมบัติทางหน้าที่ เช่น การพองตัว การเกิดเจลของแป้ง และความข้นหนืด การแตกตัวของคาร์โบไฮเดรตทำให้คุณสมบัติเหล่านี้เปลี่ยนแปลงไป

รังสีไม่เกิน 10 กิโลเกรย์ มีผลต่อคาร์โบไฮเดรตน้อยมาก ไม่ทำให้คุณสมบัติและคุณค่าทางอาหารของคาร์โบไฮเดรตเกิดการเปลี่ยนแปลง (Urbain, 1986)

3. โปรตีน

รังสีในระดับสูงสามารถทำให้โปรตีนเสียสภาพ กรดอะมิโนแตกตัว และเกิดอนุมูลโปรตีน ซึ่งเป็นผลมาจากปฏิกิริยาระหว่างอนุมูลอิสระของน้ำและปฏิกิริยาระหว่างกรดอะมิโนที่เกิดขึ้น การเปลี่ยนแปลงของโปรตีนที่เกิดขึ้นทำให้ลักษณะ คุณสมบัติของอาหาร หน้าที่ของโปรตีนในอาหาร ตลอดจนโครงสร้างและการทำงานของเซลล์เสียไป แต่การฉายรังสีไม่เกิน 10 กิโลเกรย์ ไม่ทำให้โปรตีนและกรดอะมิโนเกิดการเปลี่ยนแปลง และการเปลี่ยนแปลงอื่นๆ ก็ไม่ต่างไปจากการถนอมอาหารวิธีอื่นๆ

4. ไขมัน

รังสีในระดับสูงก่อให้เกิดการออกซิเดชันของไขมันซึ่งเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดไฮโดรเพอร์ออกไซด์และพัฒนาเป็นกลิ่นหืน และเกิดการพอลีเมอร์ไรซ์ของไขมัน เกิดการแตกตัวของไขมันเป็นไฮโดรคาร์บอน แอลดีไฮด์ เอสเทอร์ และคีโทน ในเวลาต่อมาหลังการเก็บรักษา

เนื้อไก่ฉายรังสี 3 กิโลเกรย์ เพื่อลดปริมาณจุลินทรีย์ ปริมาณรังสีในระดับนี้ไม่ทำให้ปริมาณกรดไขมันเปลี่ยนแปลง ยกเว้น ปริมาณของกรดปาลมิติกและโอลิอิกจะเพิ่มขึ้น แต่ค่าทีบีเอ (TBA,Thiobarbituric acid) ในไก่ฉายและไม่ฉายรังสีไม่แตกต่างกัน

การฉายรังสีมันฝรั่ง 1 – 10 กิโลเกรย์ ทำให้ปริมาณน้ำมันดิบ (Crude oil) และฟอสฟอลิพิดในมันฝรั่งลดลง

การฉายรังสีถั่วเหลือง 20 – 100 กิโลเกรย์ ทำให้ปริมาณฟอสฟอลิพิดในถั่วเหลืองลดลง โดยจะเปลี่ยนไปเป็นฟอสฟาทิดิลคลอรีน กรดฟอสฟาทิดิก และฟอสฟอรัส

ไข่ผงทั้งไข่แดงผงและไข่ทั้งฟองผง เมื่อนำไปฉายรังสี 2.5 กิโลเกรย์ในบรรยากาศปกติจะมีปริมาณไฮโดรเพอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้น

โดยสรุปแล้วการฉายรังสีอาหารที่มีไขมันทำให้เกิดเพอร์ออกไซด์ นำไปสู่การเกิดกลิ่นหืนร่วมกับปฏิกิริยาเคมีอื่นๆ เช่น ปฏิกิริยาการไฮโดรไรซิสและการพอลีเมอร์ไรซ์ ไขมันที่มีกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวสูงมีแนวโน้มสูงในการเกิดกลิ่นหืน การกำจัดออกซิเจนออกจากอาหารก่อนการฉายรังสีโดยบรรจุในภาชนะที่ป้องกันออกซิเจนหรือการฉายรังสีภายใต้สุญญากาศ การเติมสารเคมีป้องกันออกซิเจน เช่น วิตามินอี หรือ BHA จะช่วยยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของไขมัน

5. วิตามิน

รังสีในปริมาณที่เพียงพอที่จะทำลายวิตามินทำให้เกิดการสูญเสียวิตามิน โดยไปทำลายพันธะในโมเลกุลของวิตามิน หรือทำให้สูญเสียคุณสมบัติ เช่น วิตามินที่ป้องกันการเกิดออกซิเดชันจะไปจับกับอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้น วิตามินแต่ละชนิดมีความทนทานต่อรังสีในระดับที่ต่างกัน

ในกลุ่มวิตามินที่ละลายน้ำด้วยกันนั้น ไทอามิน (บี1) ไวต่อรังสีมากที่สุด รองลงมาคือ วิตามินซี (กรดแอสคอร์บิก) โดยการสูญเสียไทอามินเป็นผลมาจากอนุมูลอิสระ ส่วนกรดแอสคอร์บิกจะเปลี่ยนไปเป็นกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิกแต่ยังคงคุณสมบัติอยู่ ส่วนวิตามินที่ละลายน้ำตัวอื่นๆ เช่น ไนอาซิน ไพริดอกซิน วิตามินบี12 โฟลาซิน และแพนโททีนิก มีความทนทานต่อรังสีสูง

สำหรับวิตามินที่ละลายได้ในไขมัน ได้แก่ วิตามินเอ ดี อี และเค วิตามินอีถูกทำลายโดยรังสีได้ง่ายที่สุด รองลงมาคือวิตามินเอ และเค ส่วนวิตามินดีนั้นค่อนข้างทนต่อรังสี

การฉายรังสีไม่เกิน 1 กิโลเกรย์ ทำให้คุณค่าทางอาหารสูญเสียไปน้อยมาก รังสี ในช่วง 1 – 10 กิโลเกรย์ จะทำให้เกิดการสูญเสียวิตามิน บี1 เอ อี และเค

แต่อย่างไรก็ตามการสูญเสียของวิตามิน นอกจากจะขึ้นกับปริมาณรังสีที่ใช้แล้ว ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น วิตามินในรูปสารละลายบริสุทธิ์จะเกิดการสูญเสียมากกว่าวิตามินที่มีอยู่ในอาหาร ชนิด ลักษณะ สภาวะในการเก็บรักษาอาหาร และสภาวะในการฉายรังสี เช่น อาหารแห้ง อาหารแช่เยือกแข็ง อาหารที่เก็บในสภาพสุญญากาศ การสูญเสียวิตามินก็จะแตกต่างกันไป เพื่อให้วิตามินมีความคงตัวสูงควรฉายรังสีที่อุณหภูมิต่ำในสภาวะที่ไม่มีแสงและออกซิเจน (Murano,1995)

ไทอามินในเนื้อหมูฉายรังสีมีปริมาณลดลง เมื่อใช้รังสีในปริมาณที่สูงในช่วง 2.5 – 75 กิโลเกรย์ แต่จะมีความคงตัวสูงถ้าฉายรังสีที่อุณหภูมิต่ำ – 45 องศาเซลเซียส ในไก่ต้มสุกที่ฉายรังสี 6 กิโลเกรย์ ไทอามินและวิตามินอีลดลงน้อยมาก ข้าวสาลีฉายรังสี 0.2 – 2 กิโลเกรย์ จะ

มีปริมาณไทอามิน ไรโบฟาวิน และไนอาซิน เหลืออยู่สูงถึง 90 % ผลไม้ เช่น ส้ม มะเขือเทศ มะขาม และมะละกอ ที่ฉายรังสี 3 กิโลเกรย์ ไม่มีผลต่อปริมาณวิตามินซี

นมสดและนมข้นระเหยฉายรังสี 9.6 กิโลเกรย์สูญเสียวิตามินไป 85 และ 60 % ตามลำดับ

เนยแข็งผ่านการฉายรังสี 4.8 กิโลเกรย์ วิตามินลดลง 47 % การพ่นไนโตรเจนลงในน้ำนม การดึงอากาศออก บรรจุด้วยไนโตรเจน หรือการฉายรังสีในสภาวะเยือกแข็งจะช่วยเพิ่มความคงตัวของวิตามิน และป้องกันการสูญเสียวิตามินเอในอาหาร (Kung et al,1953)

7.9.2 การเปลี่ยนแปลงทางประสาทสัมผัส

การเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกิดขึ้น ขึ้นกับ องค์ประกอบของอาหาร เมื่อได้รับรังสีจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางประสาทสัมผัส ทั้งในด้าน กลิ่น รส สี และเนื้อสัมผัส ดังนี้

1. กลิ่นรสของอาหาร

การเปลี่ยนแปลงทางเคมีทำให้กลิ่นรสของอาหารเปลี่ยนแปลง ซึ่งขึ้นกับ ชนิดของอาหาร ปริมาณรังสี และปัจจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้อง เช่น อุณหภูมิและปริมาณออกซิเจนในระหว่างฉายรังสี การฉายรังสีในสภาวะเยือกแข็ง แม้จะยังทำให้เกิดอนุมูลอิสระขึ้นแต่มีปริมาณน้อยลง และในสถานะที่เป็นน้ำแข็งการแพร่และการเคลื่อนที่ของอนุมูลอิสระจากจุดที่เกิดไปยังองค์ประกอบของอาหารเป็นไปได้ยาก การเกิดปฏิกิริยาที่ไม่ต้องการถูกจำกัด การฉายรังสีในสภาวะที่เป็นสุญญากาศหรือในบรรยากาศของก๊าซเฉื่อย ทำให้อนุมูลของไฮโดรเจนไม่มีออกซิเจนในการทำปฏิกิริยาจึงไม่เกิดอนุมูลเพอร์ออกไซด์และไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ องค์ประกอบของอาหารไม่เปลี่ยนแปลง แต่ในขณะเดียวกันการกำจัดออกซิเจนก็จะเป็นประโยชน์ต่อจุลินทรีย์ จุลินทรีย์ไม่ได้รับอันตรายจากอนุมูลอิสระเหล่านี้ อาหารบางชนิดโดยเฉพาะผลิตภัณฑ์นมมีความไวต่อรังสีมาก การฉายรังสีปริมาณเล็กน้อยเพียง 0.1 กิโลเกรย์ เกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นรสจนไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค การเกิดกลิ่นรสผิดปกติในผลิตภัณฑ์นมฉายรังสีมักเกี่ยวข้องกับการออกซิเดชันของไขมันและโปรตีน ไขมันที่ไม่อิ่มตัวในฟอสฟอลิพิด เช่น กรดลิโนเลนิกที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์นมอยู่ในรูปที่มีความไวในการส่งผ่านออกซิเจน ทำให้เกิดปฏิกิริยาจากอนุมูลอิสระเหล่านั้น Hsu et al.(1972) พบว่า เมทิลซัลไฟด์และอะเซทาดีไฮด์เกี่ยวข้องกับการเกิดกลิ่นรสผิดปกติในหางนมที่ผ่านการฉายรังสี 20 – 50 กิโลเกรย์ และกลุ่มซัลไฟดริลอิสระมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อฉายรังสีสูงกว่า 16 กิโลเกรย์ ทำให้เกิดกลิ่นผิดปกติที่เรียกว่า กลิ่นสุนัขเปียกน้ำ (Wet dog flavor)

น้ำส้มที่ผ่านการฉายรังสี 10 กิโลเกรย์ เกิดกลิ่นผิดปกติ ส่วนมะม่วงจะสูญเสียกลิ่นรส (Thakur & Arya, 1993)

การใช้รังสีระดับสเตอริไรซ์ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์และปลาทำให้เกิดรสชาติที่ไม่ต้องการ และเกิดกลิ่นหืน แต่ถ้านำเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์ไปแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิต่ำ (– 30 องศาเซลเซียส) และยับยั้งเอนไซม์ก่อนนำมาฉายรังสี 50 กิโลเกรย์ มีการเปลี่ยนแปลงกลิ่นรสน้อย ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภค

2. เนื้อสัมผัส

เนื้อสัมผัสของผักและผลไม้เกี่ยวข้องกับความเต่งของเซลล์ ความเต่งของเซลล์ ขึ้นกับความดันภายในเซลล์ อะไรก็ตามที่มีผลทำให้ความดันภายในเซลล์เปลี่ยนแปลง ก็จะทำให้เนื้อสัมผัสเปลี่ยนแปลงด้วย ถ้าความดันภายในเซลล์ลดลงทำให้ความเต่งของเซลล์ลดลง เนื้อนุ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงของผนังเซลล์มีผลต่อความดันภายในเซลล์และการซึมผ่าน ทำให้ความเต่งเปลี่ยนแปลง นอกจากนี้การอ่อนตัวของผักและผลไม้เกิดจากการแตกตัวของคาร์โบไฮเดรต เซลลูโลส เพ็กทิน และแป้ง การแตกตัวมีผลต่อเนื้อสัมผัสโดยทำให้เนื้อเยื่อที่มีโครงสร้างแข็งอ่อนตัวลง ผนังเซลล์เปลี่ยนแปลงมีความเต่งลดลง รังสีมีผลทำให้เอนไซม์ที่อยู่ภายในเซลล์ (endogenous enzyme) ถูกปลดปล่อยออกมาจากตำแหน่งเดิมแล้วเข้าทำปฏิกิริยากับคาร์โบไฮเดรต หรือเปลี่ยนคาร์โบไฮเดรตให้อยู่ในรูปที่เหมาะสมต่อปฏิกิริยาของเอนไซม์

การฉายรังสีผักและผลไม้เพื่อทำลายจุลินทรีย์ จุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุหลักของการเสื่อมเสียของผลไม้ คือ เชื้อรา รองลงมาคือ ยีสต์และแบคทีเรีย ปริมาณรังสีที่สามารถทำลายเชื้อราอยู่ในช่วง 1.5 – 6 กิโลเกรย์ ส่วนยีสต์อยู่ในช่วง 4 – 20 กิโลเกรย์ แต่ปริมาณรังสีในระดับนี้สูงเกินไปสำหรับผลไม้ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสจนไม่เป็นที่ยอมรับ นอกจากนี้ถ้าใช้รังสีในระดับสูง แทนที่จะช่วยลดการเน่าเสีย กลับจะไปเร่งให้เกิดการเน่าเสียเร็วขึ้น เพราะรังสีทำให้เนื้อเยื่อถูกทำลาย เซลล์ฉีกขาด ตัวอย่างเช่น การใช้รังสี 2.5 – 5 กิโลเกรย์ เพื่อทำลายเชื้อราในกล้วยจะทำให้เปลือกมีสีคล้ำ เนื้อนิ่ม และเร่งการเสื่อมเสีย การฉายรังสีสตรอเบอรีมากกว่า 1.7 กิโลเกรย์มีผลต่อพอลีแซ็กคาไรด์ที่เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์ คือ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และโปรโทเพ็กทิน โดยทำให้องค์ประกอบที่มีขนาดใหญ่แตกตัวเป็นโมเลกุลที่เล็กลง โปรโทเพ็กทินที่ไม่ละลายน้ำลดลง เนื้อสัมผัสนิ่ม รังสี 2 – 3 กิโลเกรย์ ทำให้เนื้อสัมผัสของผักและผลไม้เปลี่ยนแปลงโดยทำให้แคลเซียมหลุดออกจากสารประกอบของแคลเซียม-เพ็กเทต แก้ไขโดยจุ่มผักและผลไม้ในแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.5 % เป็นเวลา 30 นาที ก่อนการฉายรังสี นอกจากนี้การฉายรังสีผักและผลไม้ยังทำให้กรดแอสคอร์บิก

ในปัจจุบันประเทศไทยได้มีการค้าขายกับประเทศต่างๆ ทั่วโลก กฎหมายเกี่ยวกับอาหารฉายรังสีจึงได้รับการปรับปรุงแก้ไขกฎระเบียบและข้อกำหนดต่าง ๆ ให้มีความทันสมัยและสอดคล้องกับมาตรฐานอาหารฉายรังสีสากล (Codex) สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา จึงได้ปรับปรุงแก้ไข และออกประกาศกระทรวงฯ (ฉบับที่ 297) พ. ศ. 2549 เรื่อง อาหารฉายรังสีมาแทน โดยอ้างอิงข้อกำหนดตามมาตรฐานอาหารสากล ฉบับปัจจุบัน คือ Codex General Standard for Irradiation Food (CODEX-STAN 106-1983, Rev.1-2003) และ Recommended International Code of Practice for Radiation Processing of Food (CAC/RCP 19-1979, Rev.2-2003) (ยุทธพงศ์ ประชาสิทธิศักดิ์,2554)

ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับใหม่นี้ ได้กำหนดปริมาณรังสีดูดกลืนสูงสุดที่อนุญาตให้ใช้ตามวัตถุประสงค์การใช้ฉายรังสี ซึ่งเป็นระดับที่ปลอดภัยต่อผู้บริโภคและไม่ทำให้คุณค่าอาหารเสียไปไว้ 6 ประเภท ดังนี้

(1) ใช้เพื่อยับยั้งการงอกระหว่างการเก็บรักษา ไม่เกิน 1 กิโลเกรย์

(2) ใช้เพื่อชะลอการสุก ไม่เกิน 2 กิโลเกรย์

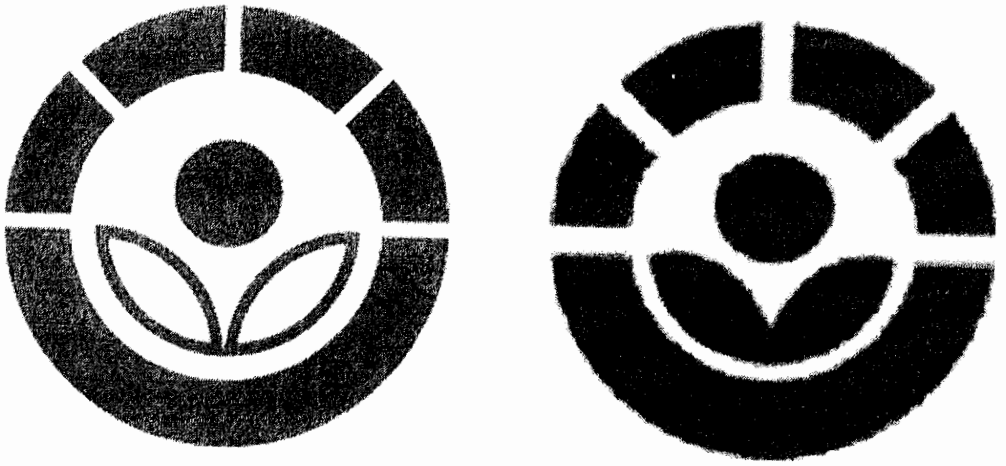
(3) ใช้เพื่อควบคุมการแพร่พันธุ์ของแมลง ไม่เกิน 2 กิโลเกรย์

(4) ใช้เพื่อลดปริมาณปรสิต ไม่เกิน 4 กิโลเกรย์

(5) ใช้เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา ไม่เกิน 7 กิโลเกรย์ และ

(6) ใช้เพื่อลดปริมาณจุลินทรีย์ และจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค ไม่เกิน 10 กิโลเกรย์

อาหารฉายรังสีเป็นอาหารควบคุม การวางจำหน่ายต้องมีฉลาก และมีข้อกำหนดสำหรับฉลากอาหารฉายรังสี คือ ต้องแสดงปริมาณรังสีที่ใช้ พร้อมทั้งบอกวัตถุประสงค์การใช้ไว้บนฉลากและต้องแสดงข้อความ "ผ่านการฉายรังสีแล้ว" และเครื่องหมายการฉายรังสีบนฉลากอาหาร ตามประกาศฉบับใหม่ได้มีการปรับเปลี่ยนสัญลักษณ์ของอาหารฉายรังสี จากเดิมตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 103 (พ. ศ. 2529) ดังภาพที่ 7.6 (ก) มีลักษณะเป็นรูปวงกลมวงกลมขอบหนาทึบสีเขียว ขอบของครึ่งวงกลมช่วงบนไม่ติดกันแบ่งเป็นสี่ส่วน ภายในครึ่งวงกลมมีวงกลมทึบสีเหลืองขนาดเล็ก ภายในครึ่งวงกลมด้านล่างมีรูปวงรีโปร่ง 2 วง โดยมีเส้นรอบวงเป็นสีเขียว และมีการปรับเปลี่ยนมาใช้ตามประกาศกระทรวงฯ (ฉบับที่ 297) พ. ศ. 2549 ดังภาพที่ 7.6 (ข) ซึ่งมีลักษณะเดียวกับเครื่องหมายการฉายรังสีที่เป็นสากล คือ วงกลมขอบหนาทึบสีเขียว ขอบของครึ่งวงกลมช่วงบนไม่ติดกันแบ่งเป็นสี่ส่วน ภายในครึ่งวงกลมมีวงกลมทึบสีเขียวขนาดเล็ก ภายในครึ่งวงกลมด้านล่างมีรูปวงรีทึบสีเขียว 2 วงแยกกัน



ก ข

ภาพที่ 7.6 เครื่องหมายการฉายรังสี ก) เดิม ข)ใหม่
ที่มา : ดัดแปลงจากราชกิจจานุเบกษา (2529 และ2553)

7.13 อนาคตของอาหารฉายรังสี

เทคโนโลยีการฉายรังสีอาหารก่อให้เกิดประโยชน์ในการถนอมอาหารอย่างมาก สรุปได้ดังนี้ คือ ช่วยลดการสูญเสียของอาหาร ลดปัญหาการถูกกักกันสินค้าที่ส่งไปจำหน่ายต่างประเทศ เนื่องจากปัญหาของโรคและแมลง เสริมสร้างหลักประกันความปลอดภัยจากเชื้อโรค พยาธิ และสารเคมีตกค้าง ยืดอายุการเก็บรักษาและการวางตลาด ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายจากการขนส่งและการเน่าเสียของอาหารก่อนเวลาอันสมควร ทำให้สามารถส่งไปจำหน่ายในท้องที่ห่างไกลจากแหล่งผลิต ลักษณะภายนอกของอาหารฉายรังสีไม่เปลี่ยนแปลง ก่อนฉายรังสีเป็นอย่างไรหลังการฉายรังสีก็เป็นอย่างนั้น ซึ่งเป็นลักษณะเด่นของการฉายรังสีอาหารที่ไม่พบในการถนอมอาหารวิธีอื่น นอกจากนี้ยังสามารถทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพเป็นไปตามข้อกำหนดมาตรฐานในด้านจุลินทรีย์เป็นการส่งเสริมการส่งออก แม้ว่าเทคโนโลยีการฉายรังสีอาหารจะก่อให้เกิดประโยชน์มากมาย แต่ยังมีการใช้กันน้อย ยังไม่อย่างแพร่หลายทั่วโลก ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากข้อจำกัดของการใช้รังสีซึ่งไม่สามารถใช้กับอาหารทุกชนิด และปริมาณรังสีที่เหมาะสมในการใช้มีช่วงค่อนข้างจำกัด การใช้ในปริมาณสูงและในอาหารบางชนิด เช่น อาหารที่มีโปรตีนสูงมีน้ำมาก และอาหารประเภทผักและผลไม้ อาจเกิดการเปลี่ยนแปลง สี กลิ่น รส และเนื้อสัมผัส นอกจากนี้การใช้รังสีไม่สามารถทำลายสารพิษที่มีอยู่ในอาหารแล้วได้ และใน

บางกรณีจำเป็นต้องใช้ความร้อนหรือความเย็นร่วมด้วย ทำให้ต้นทุนของอาหารฉายรังสีสูงขึ้น แต่ปัญหาสำคัญที่สุด คือ การยอมรับของผู้บริโภคที่ทำให้ตลาดของอาหารฉายรังสียังอยู่ในวงจำกัด ผู้บริโภคยังมีความกลัวและยังไม่มั่นใจในความปลอดภัยในการบริโภคอาหารฉายรังสี เพราะไม่เข้าใจในอาหารฉายรังสี และความตระหนกในเหตุการณ์ที่เกี่ยวกับรังสี ไม่ว่าจะเป็นระเบิดปรมาณู เหตุระเบิดของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู การระเบิดของโรงไฟฟ้าเชอร์นาบิล และเหตุการณ์ล่าสุดที่เกิดขึ้นที่โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ฟุกุชิมะไดอิจิ ประเทศญี่ปุ่น แม้นักวิทยาศาสตร์จะได้พยายามแสดงให้เห็นว่า การฉายรังสีอาหารจะไม่สามารถเหนี่ยวนำให้อาหารกลายเป็นสารกัมมันตรังสี เพราะเวลาที่อาหารสัมผัสกับรังสีและระดับพลังงานที่ใช้ไม่สูงพอที่จะเหนี่ยวนำให้อาหารกลายเป็นสารกัมมันตรังสี นอกจากนี้ผู้บริโภคยังมีความเข้าใจสับสนระหว่างอาหารฉายรังสีกับอาหารปนเปื้อนสารกัมมันตรังสี อาหารฉายรังสีเป็นการนำพลังงานจากแหล่งกำเนิดรังสีมาใช้ในการถนอมอาหาร ส่วนอาหารปนเปื้อนสารกัมมันตรังสีเป็นการที่อาหารสัมผัสกับสารกัมมันตรังสีโดยตรง ยกตัวอย่างง่ายๆ คือ ในการย่างเนื้อด้วยถ่าน ถ่านจะเปรียบเสมือนสารกัมมันตรังสีให้พลังงานความร้อน ทำให้เนื้อสุก ในกรณีนี้เทียบได้กับอาหารฉายรังสี แต่ถ้ามีผงถ่านปลิวมาตกบนเนื้อ ในกรณีนี้เทียบได้กับอาหารปนเปื้อนสารกัมมันตรังสี

ในปัจจุบันการฉายรังสีอาหารได้รับการยอมรับใน 36 ประเทศ และมีการใช้กับอาหารมากกว่า 50 ชนิด แต่ในบางประเทศ ได้แก่ ออสเตรเลีย เยอรมัน และนิวซีแลนด์ ยังคงห้ามการใช้รังสีกับอาหาร แม้ในประเทศสหรัฐอเมริกาซึ่งศึกษาค้นคว้าและยอมรับอาหารฉายรังสี ก็ยังมีองค์กรที่ออกมาต่อต้านอาหารฉายรังสีในหลายๆ มลรัฐ (Murano, 1995) ดังนั้นอนาคตของอาหารฉายรังสีจึงจำเป็นต้องพึ่งพาการให้ความรู้และความเข้าใจแก่ผู้บริโภค เพื่อให้เกิดความมั่นใจในอาหารฉายรังสี และนำไปสู่การยอมรับของผู้บริโภค