วิชา การแปรรูปอาหาร
Food Processing
รหัส 07-412-204

อาจารย์ผู้สอน

ชมภูนุช เผื่อนพิภพ CHOMPOONUCH PHUENPIPOB

15

หลักการใช้รังสีในการแปรรูปอาหาร

- การกำหนดปริมาณรังสีที่ใช้ สามารถคำนวณโดยการหาค่าเฉลี่ยของโดสในตำแน่งที่ได้รับโดสสูงสุด เรียกว่า D_{max} และตำแหน่งที่ไดรับโดสต่ำสุด เรียกว่า D_{min} ส่วนค่าเฉลี่ย เรียกว่า D_{av}

ตัวอย่างเช่น ต้องการฉายรังสีแหนมดอนเมืองที่ 10 kGy ค่า D_{max} ต้องเกินกว่า 10 kGy ซึ่งถ้าใช้การคำนวณก็จะได้ว่า $D_{max} + D_{min}/2 = 15+5/2 = 10$ kGy ทั้งนี้ปริมาณโดสที่ยอมให้ใช้สำหรับฉายรังสีอาหารจะอยู่ในช่วง 0.05-30 kGy

ตารางที่ 1 ค่า D ของจุลินทรีย์บางชนิดเมื่อผ่านการให้รังสี

จุลินทรีย์	ค่า D (kGy)
Aeromonas hydrophila	0.04 – 3.40
Bacillus cereus (vegetative cells)	0.02 – 0.58
B. cereus (spores)	1.25 – 4.00
Campylobacter jejuni	0.08 – 0.32
Clostridium botulinum (vegetative cells)	0.41 – 3.20
C. perfringens (spores)	0.29 – 0.85
Escherichia coli	0.23 – 0.45
E. coli O157 : H 7	0.24 – 0.47
Listeria monocytogenes	0.25 – 0.77
Salmonella	0.37 – 0.80
Staphylococcus aureus	0.26 – 0.45
Yersinia enterocolitica	0.04 – 0.39
Vibrio	0.08 – 0.44
Clostridium sporogenes	2.30 – 10.90
Micrococcus radiodurans	12.70 – 14.10
Moraxella phenylpyruvica	0.63 – 0.88
Pseudomonas putida	0.08 – 0.11
Sporolactobacillus inulinus (spores)	2.10 – 2.58
S. inulinus (vegetative cells)	0.35 – 0.53

วิธีการใช้รังสีในการแปรรูปอาหาร จะต้องเป็นวิธีที่สามารถทำการควบคุมปริมาณรังสีที่ใช้ ควบคุมเวลาที่ใช้ในการฉายรังสี และความถูกต้องของมาตรวัดโดส แบ่งเป็น 5 วิธี

โดส (dose) หน่วย คือ เกรย์ (Gy) หมายถึง ปริมาณพลังงาน 1 จูล ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ในสมัยก่อนจะใช้หน่วย แร็ด (rad) หมายถึง อาหารปริมาณ 1 กรัม ดูดซับรังสีไว้ 100 เอิร์ก (erg)

1 Gy = 100 rad = 1 J/kg = 107 erg/kg = 6.242 x 1018 eV/kg = 0.24 gram-calorie/kg

จุดประสงค์และระดับของรังสีที่ใช้

1. ใช้รังสีระดับสูงเพื่อทำลายจุลินทรีย์ทุกชนิดในอาหาร (radappertization) เป็นการฉายรังสีที่มุ่งทำลายเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดในอาหาร ซึ่งต้องใช้รังสีในระดับสูง ประมาณ 10-50 กิโลเกรย์ (kilogray) อาหารที่ฉายรังสีในระดับนี้จะปลอดเชื้อ สามารถเก็บไว้ได้นาน 1 ปี ที่อุณหภูมิห้อง วิธีนี้เทียบได้กับ การสเตอริไลส์ด้วยความร้อน แต่อาหารที่ฉายรังสีแล้วจะมีอุณหภูมิที่ไม่เปลี่ยนแปลงจึงเรียกวิธีนี้ว่า cold-sterilization

2. ใช้รังสีระดับกลางเพื่อทำลายจุลินทรีย์บางชนิดในอาหาร (radurization) เป็นการฉายรังสีที่มุ่งทำลายเชื้อจุลินทรีย์บางชนิดในอาหารโดยใช้รังสีในระดับกลางประมาณ 0.4-10 กิโลเกรย์ ซึ่งเทียบได้กับการพาสเจอร์ไรส์ด้วยความร้อน จึงเรียกวิธีนี้ว่า cold-pasteurization อาหารที่ฉายรังสีโดยวิธีนี้จะต้องเก็บที่อุณหภูมิต่ำ

3. ใช้รังสีระดับกลางเพื่อทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค (radicidation) เป็นการใช้รังสีในระดับพาสเจอร์ไรส์เช่นกัน คือ ประมาณ 0.1-8.0 กิโลเกรย์ แต่มุ่งทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดอาหารเป็นพิษ เช่น ซาลโมเนลลา ไมโคแบคทีเรียม (*S. mycobacterium)* สแตฟิโลค็อกคัส (*Staphylococcus sp.*)

4. ใช้รังสีระดับกลางเพื่อทำลายแมลงและตัวอ่อน (radiation disinfestation) เป็นการฉายรังสีระดับกลาง คือประมาณ 0.3-1 กิโลเกรย์ เพื่อทำลายไข่แมลงหรือหนอนที่เป็นศัตรูของเมล็ดธัญพืชในช่วงการเก็บรักษาหลังการเก็บเกี่ยว หรือในผลไม้บางชนิด

6. ใช้รังสีระดับต่ำเพื่อควบคุมการงอก (radiation sprout inhibitor) เป็นการฉายรังสีระดับต่ำ ประมาณ 0.01-1 กิโลเกรย์ กับพืชผักบางชนิด เช่น หอมหัวใหญ่ มันฝรั่ง ขิง กระเทียม หรือยืดอายุการเก็บรักษา หรือป้องกันการงอกของพืชหัว

อาหารที่ผ่านการฉายรังสีมาแล้วจะนำมาฉายรังสีซ้ำอีกไม่ได้ ยกเว้นอาหารที่มีความชื้นต่ำ เช่น ผลิตภัณฑ์ประเภทธัญพืช ถั่วเมล็ดแห้งและอาหารแห้ง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อกำจัดแมลงที่เข้าไปภายหลังจากที่ได้มีการใช้รังสีแล้ว ทั้งนี้ปริมาณรังสีดูดกลืนสูงสุดโดยรวมไม่เกิน 10 kGy และต้องได้รับความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา

ตารางที่ 2 ปริมาณรังสีที่มีผลต่อสิ่งมีชีวิตและการเปลี่ยนแปลงของสิ่งมีชีวิต

กระบวนการ	ปริมาณรังสี (kGy)
ยับยั้งการงอก	0.05 – 0.15
ชะลอการสุกของผลไม้ชนิดต่างๆ	0.20 – 0.50
ทำลายแมลง	0.20 – 1.00
ทำลายปรสิต	0.03 – 6.00
ยืดอายุการเก็บรักษาโดยการลดปริมาณจุลินทรีย์	0.50 – 5.00
ทำลายเชื้อโรคที่สร้างสปอร์	3.00 – 10.00
สเตอริไลซ์เซชัน	ไม่เกิน 50.00

ที่มา : Hackwood, S. (1991)

ตารางที่ 3 ปริมาณรังสีเฉลี่ยสูงสุดที่ได้รับการอนุญาตตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข

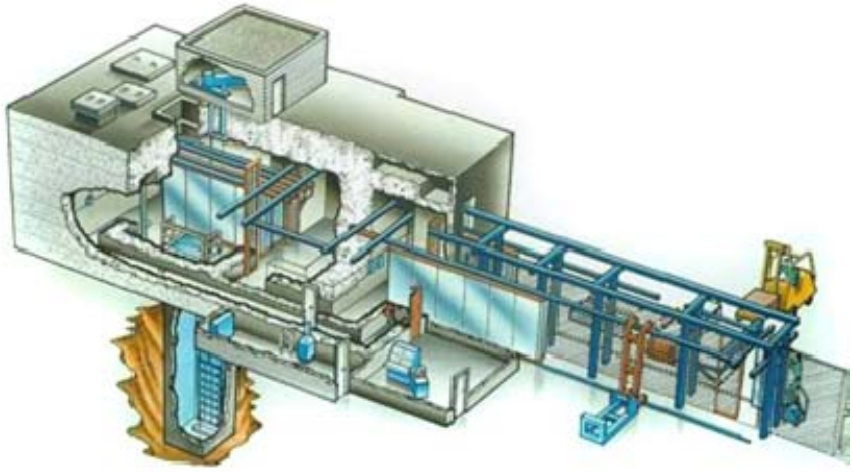
ชนิดอาหาร	วัตถุประสงค์	ปริมาณรังสีเฉลี่ยสูงสุดที่อนุญาต (KGy)
เมล็ดโกโก้	- ควบคุมการแพร่พันธุ์ของแมลงระหว่างการเก็บรักษา	1
	- ลดปริมาณจุลินทรีย์ในเมล็ดที่หมักไว้ทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านความร้อน	5
พุทราแห้ง ถั่ว ข้าว	- ควบคุมการแพร่พันธุ์ของแมลงระหว่างเก็บรักษา	1
มะม่วง	- ควบคุมการแพร่พันธุ์ของแมลงระหว่างเก็บรักษา	1
	- ชะลอการสุก	1
	- ลดปริมาณจุลินทรีย์ โดยการใช้ร่วมกับความร้อน	1

ชนิดอาหาร	วัตถุประสงค์	ปริมาณรังสีเฉลี่ยสูงสุดที่อนุญาต (KGy)
หอมหัวใหญ่	- ยับยั้งการงอกระหว่างเก็บรักษา	0.15
มะละกอ	- ควบคุมการแพร่พันธุ์ของแมลง	1
	- ชะลอการสุก	1
สตอเบอร์รี่	- ลดจุลินทรีย์ที่ทำให้เน่าเสียบางส่วน	3
มันฝรั่ง	- ยับยั้งการงอกระหว่างเก็บรักษา	0.15
กระเทียม	- ยับยั้งการงอก	5
เครื่องเทศ	- ควบคุมการแพร่พันธุ์ของแมลง	1
เครื่องปรุงรส	- ลดปริมาณของจุลินทรีย์	1
หอมแห้งและหอมผง	- ลดปริมาณจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค	10
ไก่	- ยืดอายุการเก็บรักษา	7
	- ลดปริมาณจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค	7
ปลาและผลิตภัณฑ์ปลา	- ควบคุมการแพร่พันธุ์ของแมลงในปลาแห้งระหว่างเก็บรักษาและรอจำหน่าย	1
	- ลดปริมาณจุลินทรีย์ในปลาที่บรรจุภาชนะหรือรอบบรรจุ	2.2
ข้าวสาลีและผลิตภัณฑ์	- ควบคุมการแพร่พันธุ์ของแมลงระหว่างการเก็บรักษา	1
กุ้งแช่แข็ง	- ลดปริมาณจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค	5
ไส้กรอก	- ทำลายจุลินทรีย์และพยาธิที่ทำให้เกิดโรค	0.15
แหนม	- ทำลายจุลินทรีย์และพยาธิที่ทำให้เกิดโรค	5
หมูยอ	- ยืดอายุการเก็บ	5

ที่มา: ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 103 (พ.ศ. 2529)

เครื่องมือสำหรับการแปรรูปอาหารโดยการใช้รังสี

- การเตรียมอาหารก่อนการแปรรูปด้วยความร้อนหรือความเย็น คือ มีการคัดเลือกวัตถุดิบหรืออาหาร มีการทำความสะอาดด้วยการใช้ลมเป่า การเขย่า และนำไปสู่การแปรรูปตามแต่ละประเภทของผลิตภัณฑ์ จากนั้นจะนำอาหารเข้าสู่บริเวณฉายรังสี นิยมใช้เป็นระบบสายพานเคลื่อนที่รอบแหล่งกำเนิดรังสี
- เครื่องมือการฉายรังสี จะมีแหล่งกำเนิดรังสีอยู่ภายในอุโมงค์สำหรับบังคับรังสีไม่ให้แผ่กระจายเป็นวงกว้างมากเกินไป และเครื่องมือที่ใช้สำหรับนำตัวอย่างอาหารเข้าไปฉายรังสีจะเป็นระบบสายพานที่ใช้วางบรรจุภัณฑ์บนสายพานหรือห้อยบรรจุภัณฑ์บนราวสายพานแล้วเคลื่อนที่ผ่านแหล่งกำเนิดรังสี ซึ่งจะผ่านเพียงรอบเดียวหรือหลายรอบก็ได้ ทั้งนี้หลักสำคัญของการเคลื่อนที่ คือ อัตราความเร็วของการเคลื่อนที่จะต้องเหมาะสมกับการกระจายตัวของรังสีที่กระทบกับอาหาร เพื่อให้เกิดการดูดซับรังสีเข้าสู่อาหารอย่างทั่วถึงและสม่ำเสมอตามระดับพลังงานที่ต้องการ



การใช้บรรจุภัณฑ์หรือภาชนะบรรจุอาหารฉายรังสี ต้องใช้ภาชนะบรรจุที่มีสมบัติเหมาะต่อการใช้รังสี อยู่ในสภาพที่ถูกหลักสุขลักษณะ ไม่เกิดการฉีกขาดของวัสดุ และมีคุณภาพมาตรฐานตรงตามวัตถุประสงค์ในการใช้รังสี และเป็นไปตามหลักเกณฑ์วิธีการที่ดีในการผลิตอาหาร (Good Manufacturing Practices)

การเกิดปฏิกิริยาขณะใช้รังสีแปรรูปอาหาร

- ลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางตรงกับโมเลกุลของสารประกอบต่างๆ ที่มีอยู่ในอาหาร เมื่อฉายรังสีไปยังวัตถุดิบหรืออาหาร รังสีจะเกิดการกระทบกับสารในวัตถุชีวภาพ
- การเปลี่ยนแปลงทางอ้อมกับโมเลกุลของสารประกอบต่างๆ ที่มีอยู่ในอาหาร เมื่อรังสีไปกระทบกับโมเลกุลของน้ำจะทำให้น้ำเกิดการแตกตัวเป็นอนุภาคของไฮโดรเจนและไฮดรอกซิลที่เป็นตัวออกซิไดซ์และตัวรีดิวซ์ ทำให้สามารถไปรวมตัวกับออกซิเจนในธรรมชาติเกิดเป็นสารใหม่

$$H_2O \rightarrow HO^- + H^+$$
$$H^+ + O_2 \rightarrow HO_2$$
$$2HO_2 \rightarrow H_2O_2 + O_2$$
$$OH + OH \rightarrow H_2O_2$$

การควบคุมและตรวจสอบการใช้รังสีในการแปรรูปอาหาร

ปี ค.ศ. 1983 The Joint Food and Agriculture Organization (FAO) World Health Organization (WHO) และ International Atomic Energy Agency (IAEA) ได้ทำการรับรองอาหารฉายรังสีว่ามีความปลอดภัยและตั้งข้อกำหนด Codex General Standard for lrradiated Foods ที่เกี่ยวกับอาหารฉายรังสี รวมถึงทดสอบความปลอดภัยโดยการใช้สัตว์ทดลอง โดยใช้ปริมาณรังสีในการถนอมรักษาอาหารสูงสุดไม่เกิด 10 kGy และใช้เครื่องวัดปริมาณของรังสีที่เรียกว่า Dosimeter และในบางประเทศจะต้องระบุบนฉลากอาหารด้วยคำว่า “ฉายรังสีหรือถนอมรักษาโดยการใช้รังสี” (irradiated, treated with radiation, radura, protected by ionization/ treated byirradiation) และมีเครื่องหมายแรดูรา (radura)

- ในปี พ.ศ. 2500 ประเทศไทยได้มีการจัดตั้งหน่วยงานราชการที่เรียกชื่อว่า “สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ”
- ในปี พ.ศ. 2532 ได้มีหน่วยงานฉายรังสีอาหารเชิงพาณิชย์ที่จังหวัดปทุมธานีที่ชื่อว่า “ศูนย์ฉายรังสีอาหารและผลิตผลการเกษตร”
- ประเทศที่มีการรับรองอาหารฉายรังสี ได้แก่ เกาหลี คิวบา แคนาดา โครเอเทีย จีน ชิลี ซีเรีย ญี่ปุ่น เดนมาร์ก ไทย นอร์เวย์ นิวซีแลนด์ เนเธอร์แลนด์ บังคลาเทศ บัลแกเรีย เบลเยี่ยม บราซิล ปากีสถาน โปแลนด์ ฝรั่งเศส ฟินแลนด์ ฟิลิปปินส์ เม็กซิโก ยูโกสลาเวีย ยูเครน เยอรมันนี รัสเซีย เวียดนาม สเปน สหรัฐอเมริกา สหราชอาณาจักร สาธารณรัฐเชค อาร์เจนตินา อิตาลี อินเดีย อิสราเอล อิหร่าน อุรุกวัย แอฟริกาใต้ แอลจีเรีย ไอร์เวอรี่โคสต์ ฮังการี (Canovas et al.,1998)

ผลของการใช้รังสีที่มีต่ออาหารและคุณค่าทางโภชนาการ

- ผลของการใช้รังสีที่มีต่ออาหาร
  - ✓ใช้รังสีทำลาย *Taenia Trichinella* และ *Entamoeba* ในแหนม
  - ✓ใช้รังสีทำลายแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรคบางชนิด เช่น *Salmonella* และ *Shigella* โดยพบว่าการใช้รังสีปริมาณต่ำ 2 kGy จะไม่ทำให้คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของแหนมเปลี่ยนไป
  - ✓ในหลายๆ ประเทศได้มีการประยุกต์ใช้รังสีเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของวิธีการแปรรูปต่างๆ ช่วยในการเพิ่มอัตราการทำแห้งของผักเพื่อใช้ในซุปผง เพิ่มอัตราการทำแห้งผลไม้ เช่น ลูกพรุน และลูกเกด ลดเวลาในการทำถั่วอบแห้ง เพิ่มขนาดของขนมปังที่ทำจากแป้งในสูตรที่เติมน้ำตาลน้อย และช่วยลดปริมาณของข้าวบาร์เลย์ที่ต้องใช้ในการผลิตเบียร์โดยเพิ่มผลผลิตของมอลต์

ผลของการใช้รังสีที่มีต่อคุณค่าทางโภชนาการ

- โปรตีน
- ไขมัน
- คาร์โบไฮเดรต
- วิตามินและแร่ธาตุ

ถาม - ตอบ

Test_3 10 คะแนน