หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

บทที่ 3

ผลของรังสีต่อเชื้อและสารที่ใช้ทำเครื่องมือแพทย์

3.1 ผลของรังสีต่อเซลล์ของจุลินทรีย์[1]

ผลของรังสีที่เข้าไปทำอันตรายต่อจุลินทรีย์นั้น ยังไม่มีผู้ที่ทราบแน่นอนว่ารังสีทำลายจุลินทรีย์ได้อย่างไร แต่ก็มีเหตุผลที่พอจะเชื่อถือได้ว่ารังสีทำลายจุลินทรีย์ได้โดยวิธีการดังต่อไปนี้

ก. โดยการเข้าไปขัดขวาง (interference) การเจริญเติบโตของเซลล์ อาจจะโดยสาเหตุเข้าไปทำลายเซลล์โดยตรงหรือเข้าไปเปลี่ยนแปลงรูปร่างของส่วนประกอบที่สำคัญในการดำรงชีวิต (essential cell) อย่างเช่น กรดอะมิโน กรดนิวคลีนิค และสารประกอบของโปรตีน รวมทั้งเอนไซม์ต่าง ๆ ด้วย ทำให้จุลินทรีย์นั้น ๆ เจริญเติบโตไม่ได้ และตายในที่สุด

ข. โดยการ ionize น้ำในเซลล์เปลี่ยนรูปร่างเป็นรูป excited state แล้วไปทำให้จุลินทรีย์นั้นไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้อีกต่อหนึ่ง คือ รังสีถ่ายเทพลังงานให้แก่โมเลกุลของน้ำในเซลล์ซึ่งได้แก่ ไซโตปลาซึมของเซลล์ ทำให้โมเลกุลของน้ำนั้นมีพลังงานสูงกว่าระดับปกติ (ground state) เป็น excited state แล้วโมเลกุลของน้ำที่มีพลังงานเกินนี้ไปถ่ายเทพลังงานส่วนที่เกินให้แก่โมเลกุลข้างเคียงหรือนิวเคลียสของเซลล์ ทำให้โมเลกุลนั้นหรือนิวเคลียสเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมหรือแตกสลายไป ทำให้จุลินทรีย์นั้นไม่สามารถมีชีวิต หรือเจริญต่อไปได้

---

[1] Richards, J.W., "Introduction to Industrial Sterilization, Academic Press, London and New York, 1968.

การเปลี่ยนแปลงของน้ำเมื่อถูกรังสี

เมื่อน้ำถูกรังสีแจะถูกเปลี่ยนดังสมการดังต่อไปนี้

H_2O^+ ——————— $H_2O^+ + e^-$ [1]

ค้นพบโดย Dainton, 1959, 1962, Swallow, 1960, Vereshchinokii and Pikeav 1968 ซึ่งได้อธิบาย machanism พอสรุปได้ดังนี้

H_2O^+ ——————— $\cdot OH + H^+$

$e^- + H_2O$ ——————— $OH^- + H\cdot$

H_2O ——————— $H\cdot + \cdot OH$

ซึ่ง hydrogen radical กับ hydroxyl radical จะไม่อยู่ตัว มันจะพยายามทำตัวให้อยู่ตัวโดยรวมกันเอง และอะตอมอื่นข้างเคียง ดังฟอร์มต่อไปนี้

$2\cdot H$ ——————— H_2

$2\cdot OH$ ——————— H_2O_2

$H\cdot + \cdot OH$ ——————— H_2O

ถ้าใน Solution มี O_2 รวมอยู่ด้วย H. จะทำกับ O_2 เป็น

$H\cdot + O_2$ ——————— $\cdot HO_2$

$2\cdot HO_2$ ——————— $H_2O_2 + O_2$

H_2O_2 มีสภาพ stable คงอยู่ได้นาน O_2 อาจจะ form โดยปฏิกริยาระหว่าง .OH กับ H_2O_2

$2\cdot OH + H_2O_2$ ——— $2\ H_2O + O_2$

---

[1] Antoni, F., "The Effect of Ionizing Radiation on Some Molecules of Biological Importance," Manual on Radiation Sterilization of Medical and Biological Materials, Technical reports series No. 149, IAEA, VIENNA 1973(13-36).

ทั้ง $\cdot HO_2$ กับ H_2O_2 เป็นทั้ง oxidizing และ reducing agent ซึ่งเป็นตัวที่จะไปทำลายหรือเปลี่ยนแปลงโมเลกุลอื่นให้เปลี่ยนสภาพไปจากเดิม ถ้าเป็นโมเลกุลของเซลล์ก็จะทำให้เซลล์นั้นเปลี่ยนแปลงไปและถึงตายได้

3.2 ความต้านทานของเชื้อต่อรังสี

รังสีทำลายเชื้อได้ทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยทางตรงทำลายนิวเคลียสของเซลล์ให้เปลี่ยนแปลงจากรูปเดิมหรือแตกทำลายโดยตรง โดยทางอ้อมก็โดยการ activate โมเลกุลข้างเคียง ส่วนใหญ่จะเป็นน้ำให้เป็นตัวไปทำลายนิวเคลียสของเซลล์หรือส่วนที่สำคัญในการดำรงชีวิตของเซลล์ให้เปลี่ยนไปหรือแตกทำลายไปอีกทีหนึ่ง จากการทดลองและรวบรวมจากผู้ที่ได้ทำการทดลองค้นคว้าไว้แล้ว จากการสังเกตค่าจำนวนรังสีที่ใช้ทำลายกับจำนวนเชื้อที่เหลือหลังจากอาบรังสีแล้วมาเขียนเป็นกราฟ ทั้งจากการเลี้ยงเชื้อเหล่านั้นด้วยอาหารต่าง ๆ กัน และในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ กัน พอจะสรุปความต้านทานของจุลินทรีย์ต่อรังสีได้ดังนี้

ก. ชนิดของจุลินทรีย์ จุลินทรีย์แต่ละชนิดจะมีความต้านทานต่อรังสีไม่เหมือนกัน บางชนิดจะต้านทานรังสีได้ต่ำ บางชนิดต้านทานได้สูง ซึ่งขึ้นอยู่กับสปอร์ที่มันสร้างขึ้นมาป้องกันตัวเองในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ แต่ละสปอร์มีความต้านทานแตกต่างกัน มีข้อสังเกตุดังนี้

1. ในสปอร์จะมีเปอร์เซนต์ของน้ำปนอยู่ ถ้ามีน้ำปนอยู่ในเปอร์เซนต์ต่ำ สปอร์นั้นจะมีความต้านทานสูง ถ้าสปอร์มีน้ำปนอยู่ในเปอร์เซนต์สูงสปอร์นั้นจะมีความต้านทานต่อรังสีต่ำ

2. ในสปอร์จะมีสารเคมีบางชนิดช่วยป้องกันไม่ให้รังสีเข้าไปทำลายเซลล์ภายในได้ เช่น dipicolinic acid เป็นต้น

3. DNA ของสปอร์มีส่วนประกอบที่ทนต่อรังสีมาก แม้สปอร์จะถูกทำลายไปบาง DNA ของสปอร์ก็สามารถสร้างมาเสริมให้เหมือนเดิมได้ จากการทดลองสกัดเอา DNA

ที่บริสุทธิ์มาทดลองอาบรังสีดู พบว่ามีความต้านต่อรังสีสูงกว่าอยู่ในสปอร์อีก คือไม่ถูกทำลายด้วยรังสีปริมาณที่ทำให้ปลอดเชื้อ

4. ในสปอร์มีขบวนการที่จะซ่อมแซม (repair machanism) ส่วนที่ถูกทำลายไปให้กลับเหมือนเดิมได้ เมื่อสปอร์ถูกทำลายด้วยปริมาณรังสีไม่มากนักทำให้สปอร์บางส่วนถูกทำลายไปบ้าง ขบวนการนี้ก็จะซ่อมแซมส่วนที่ถูกทำลายไปนั้นให้กลับสู่สภาพเดิมได้

จากข้อพิจารณาข้างบนได้มีผู้ค้นคว้าทดลองและสรุปไว้ดังนี้ Bacillus pumilus E 601 ซึ่งมักพบในอากาศมีความต้านทานต่อรังสีสูงกับ Streptococcus faecium $A_2$1 ซึ่งมักพบ contaminate จากคนมีความต้านทานสูง จึงใช้เป็น index ในการตั้งมาตรฐานสำหรับการทำลายเชื้อ ซึ่งมีข้อกำหนดว่า Bacillus pumilus E 601 ที่มีเชื้อไม่เกิน 10^{12} ต่อ item ในสภาวะแห้ง (dry state) ใช้ปริมาณรังสีไม่น้อยกว่า 2.5 Mrad[1] และ Streptococcus faecium $A_2$1 ซึ่งมีเชื้อไม่เกิน 50 ต่อ item ใช้ปริมาณรังสีไม่น้อยกว่า 3.5 Mrad หรือที่มีเชื้อไม่เกิน 500 และไม่น้อยกว่า 50 ต่อ item ใช้ปริมาณรังสีไม่น้อยกว่า 4.5 Mrad หรือมีมากกว่า 500 แต่ไม่เกิน 5000 ต่อ item ก็ใช้รังสีไม่น้อยกว่า 5.0 Mrad[2] เป็นต้น

ข. อาหารที่ใช้ recover เชื้อ อาหารที่ recover เชื้อมีผลต่อการศึกษาเกี่ยวกับความต้านทานต่อรังสีของเชื้อมาก เนื่องจากเมื่อเชื้อโดนรังสีก็จะอ่อนกำลังลง บางครั้งยังไม่ถึงกับเสียคุณสมบัติในการ reproduce แต่เมื่อไม่ได้รับอาหารที่ดี

[1,2]Christensen, E.A., "Hygienic Requirement, Sterility Criteria, and Quality and Sterility Control," Manueal on Radiotion Sterilization of Medical and Biological Meterials, Technical reports series No 149, IAEA, VIENNA, 1973 (131-152).

ก็อาจทำให้ไม่สามารถ recover ได้ จุลินทรีย์ที่ถูกรังสีทำลายส่วนประกอบที่ไม่สำคัญในเซลล์สามารถ recover ได้โดยผ่าน repair machanism ในการทดลองนี้ใช้ Tryptic Soy Agar ของ Difco ซึ่งเป็น general purpose medium สำหรับ Fastidious microorganism.

ค. ปริมาณรังสีที่ใช้ปริมาณรังสีมากก็ทำลายเชื้อได้มาก ปริมาณรังสีน้อยก็ทำลายเชื้อได้น้อย

ง. จำนวนของเชื้อเริ่มต้น (initial count) ถ้าจำนวนเชื้อเริ่มต้นมีมากก็ต้องใช้ปริมาณรังสีมาก ถ้าจำนวนเชื้อเริ่มต้นมีน้อยก็ใช้ปริมาณรังสีน้อย

3.3 ปริมาณรังสีที่ใช้ในกิจการต่าง ๆ บางอย่างสำหรับควบคุมจำนวนของจุลินทรีย์

Objective	Means of Attainment	Dose recommended[1] (Mrad).
Long-term preserveation of meat, fish and other non-acid foods.	Inactivation of spoilage organisma and pathogens, in particular Cl.botulinum	4 - 6
Prevention of Infection in medical use of devices, pharmaceuticals and biological tissues	Sterilization to standards required by health authorities.	2.5-4.5

[1] Ley, F.J., "The Effect of Ionizing Radiation on Bacteria," Manual on Radiation Sterilization of Madical and Biological Materials, Technical reports series No. 149, IAEA, VIENNA, 1973 (32-64).

Objective	Means of Attainment	Dose recommended (Mrad).
To attain public health standards required in animal hair etc. used in carpet manufactors	Elimination of pethongens particularly anthracis	2.0-2.5
Supply of specific pethogen-free diets for laboratory experimental animals	high degree of inactivation of all contaminants	1.2-1.5
To prevent contamitration of contents of pre-packed producta, pharmaceutical or food by packaging material itself.	Sterilization of packaging.	1.0-2.5

ที่เกี่ยวกับเครื่องมือแพทย์ที่แนะนำไว้คือ ในคอลัมน์ที่ 2 ใช้รังสีในการทำให้ปลอดเชื้อ (sterilization) ใช้ปริมาณรังสี 2.5 - 4.5 Mrad และคอลัมน์ที่ 5 แนะนำเกี่ยวกับการทำให้ปลอดเชื้อกับวัสดุที่นำมาบรรจุหีบห่อ ก็แนะนำว่า ควรใช้ปริมาณรังสีทำลาย 1.0 - 2.5 Mrad เป็นต้น.

3.4 ความต้านทานต่อรังสีของเชื้อรา

เชื้อราที่มักพบในอากาศและก่อให้เกิดปัญหาในการทำให้ปลอดเชื้อ มีอยู่ 2 ตระกูล คือ[1]

ก. ตระกูล Phycomycetes และส่วนมากมักจะพบ Rhizopus sp. กับ Mucor sp.

ข. ตระกูล Deuteromycetes โดยเฉพาะพวก Ascomycetes เช่น Penicillium, Aspergillus, Cladsporium.

อย่างไรก็ตามเชื้อราพวกนี้มีความต้านทานต่อรังสีไม่มากนัก อย่างเช่น Rhizopus Stolonifer ในสปอร์ที่สร้างขึ้นมาใหม่ ๆ ปริมาณรังสี 0.3 Mrad ก็สามารถทำลายได้ แต่ถ้าให้สปอร์เจริญถึง 48 ชั่วโมง ปริมาณรังสีที่ใช้ต้องใช้ถึง 0.5 Mrad จึงจะสามารถทำลายสปอร์ของ Rhizopus stolonifer ได้

โดยสรุปแล้วสปอร์ของเชื้อราไม่มีปัญหาในการอาบรังสีทำลายเชื้อ เพราะว่าสปอร์ของเชื้อรามีความต้านทานต่อรังสีน้อยกว่าของเชื้อบักเตรี [1]

3.5 ความต้านทานต่อรังสีของไวรัส

การศึกษาเกี่ยวกับความต้านทานต่อรังสีของเชื้อไวรัสยังมีไม่มากนัก แต่ก็พอจะสรุปได้ว่าเชื้อไวรัสไม่มีปัญหาในการทำลายเชื้อด้วยรังสีมากนัก ดังจะเห็นได้จากเชื้อโปลิโอมี lethal dose ประมาณ 0.14 Mrad[2] (Lethal dose คือปริมาณ

---

[1] Sommer, N., "The Effect of Ionizing Radiation on Fungi," Manual on Radiation Sterilization of Medical and Biological Materials, Technical reports series No. 149, IAEA,VIENNA, 1973(65-80).

[2] Pollard, E.C., "The Effect of Ionizing Radiation on Viruses," Manual on Radiation Sterilization of Medical and Biological Materials, Technical reports series No. 149, IAEA, VIENNA, 1973(65-[illegible]).

รังสีที่สามารถลดจำนวนเชื้อลงได้ 37% จากจำนวนเชื้อเริ่มต้น) จะเห็นได้ว่า ปริมาณรังสียังน้อยกว่า B pumilus E 601 คือ 2.5 Mrad อยู่มาก หรือของเชื้อไข้หวัด (Influenza) มี lethal dose 0.065 Mrad ก็ยังน้อยกว่าของ B pumilus E 601 จึงพอจะสรุปได้ว่าเชื้อไวรัสไม่มีปัญหาในการทำลายเชื้อด้วยรังสี

3.6 ผลของรังสีต่อพลาสติก[1]

มีเครื่องมือแพทย์บางชนิดที่ใช้พลาสติกเป็นส่วนประกอบ เช่นสายให้เลือด สายให้น้ำเกลือ เป็นต้น พลาสติกเป็นส่วนประกอบสำคัญที่ใช้แพร่หลายในอุตสาหกรรมผลิตเครื่องมือแพทย์ แม้มิใช่เครื่องมือแพทย์เองก็อาจจะเป็นภาชนะใส่เครื่องมือแพทย์ ในการทดลองนี้ ใช้ผ้ากอซและสำลี ซึ่งเป็น cellulosic material และมีภาชนะใส่เป็นพลาสติกที่มี Polyethylene เป็นส่วนประกอบ

จากการบันทึกการประชุมเกี่ยวกับการทำลายเชื้อด้วยรังสีกับผลิตผลทางการแพทย์ที่ Bhabha Atomic Research Centre เมื่อ 17 - 18 สิงหาคม 1973 ในหัวข้อเรื่องChemical Effect of Radiation on Plastic and Pharmaceutical โดย Gopal, and Rajagopalan. S, Dr. G. Sharma ISOMED[1] ได้สรุปผลของรังสีต่อพลาสติกไว้ดังนี้

ก. Polyethylene เมื่ออาบรังสีที่ 2.5, 5 และ 10 Mrad พบว่าสีไม่เปลี่ยนไปจากเดิม มีกลิ่นผิดปกติเล็กน้อย และการละลายผิดปกติ คือต่ำกว่ามาตรฐาน

---

[1] Gopal, N.B.S., and Rajagopalan, S., and Sharma G., "Chemical Effect of Radiation on Plastic and Pharmaceutical," Radiation Sterilization of Medical Products, Report on the Colloquim Held at Bhabha Atomic Research Centre on August 17/18, 1973(105-148).

ของประเทศอินเดียเล็กน้อย สรุป รังสีไม่มีผลต่อ polyethylene มากนัก นอกจากมีกลิ่นเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยแล้ว ไม่พบการเปลี่ยนแปลงอย่างอื่นหรือเกิดสารอื่นแปลกปลอมขึ้นเลย เมื่ออาบรังสี 2.5, 5 และ 10 Mrad Polyethylene สามารถนำมาแผ่เป็นแผ่นบาง ๆ (film) ได้ดี จึงเหมาะสำหรับนำมาเป็นวัสดุสำหรับห่อหรือทำเป็นถุงบรรจุของที่จะนำมาทำให้ปลอดเชื้อได้ดี

ข. Polypropylene ในสภาพบริสุทธิ์จะเปราะที่คุณหภูมิต่ำ เมื่อนำมาใช้ประโยชน์จึงมักเติมพวก Plasticizer ลงไปเพื่อให้เหนียวขึ้น เมื่ออาบรังสี 2.5 Mrad แล้วผลไม่มีอะไรเปลี่ยนแปลง แต่พอถึง 5 Mrad จะเปราะและ 10 Mrad จะแตกเป็นแผ่น ๆ (flake) เพราะ polypropylene มี tertiary carbon มากทำให้ไวต่อการ oxidative degradation จึงสรุปว่า polypropylene ไม่เหมาะที่จะนำมาอาบรังสี

ค. Polystyrene จากการทดลองปรากฏว่า ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอะไรเลย ที่ 2.5 Mrad และที่สูง ๆ ขึ้นก็ไม่เปลี่ยนแปลง จึงสรุปว่า Polystyrene ทนต่อรังสีมาก ปัจจุบัน disposable sysring of polystyrene นิยมทำลายเชื้อด้วยรังสีแกมมาอยู่หลายประเทศ

ง. Polyvinyl Chloride (PVC) ที่บริสุทธิ์จะเปราะจึงมักเติมพวก plasticizer เพื่อให้เหนียวขึ้นและบางอย่างอาจเปลี่ยนแปลงเมื่อถูกรังสี PVC นี้มีอันตราย toxic ต่อผู้ใช้มาก การเลือกใช้ควรเลือกใช้พวกที่เป็น non - toxic grade และทนต่อรังสีด้วย สรุป PVC ไม่เหมาะนำมาใช้และอาบรังสี

จ. Polyamide ทดสอบแล้วเกิด cross-link เมื่ออาบรังสี อย่างไรก็ดี พวก intravenous infusion sets (ชุดสายยางให้เลือด) มักมี polyamide ประกอบด้วย เมื่ออาบรังสีขนาด 2.5 Mrad แล้วไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง

ฉ. Polytetra fluoroethylene (Teflon) ไม่ทนต่อรังสีเปลี่ยนแปลงมาก เมื่อได้รับรังสีขนาด 4 Mrad 98 เปอร์เซ็นต์จะเกิด loss of tensile strength

3.7 ผลของรังสีต่อพวก Cellulose[1]

สำลีและผ้ากอซตัวอย่างในการทดลองนี้มีจุดกำเนิดมาจาก Cellulose จากการทดลองใช้รังสีปริมาณ 2.5, 5 Mrad อาบพวก Cellulose และทดสอบคุณสมบัติของ Cellulose หลังจากอาบรังสีแล้ว กับความร้อน กรด สารพวก oxidizing substances, water absorbancy แล้วปรากฏว่า มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากในคุณสมบัติของ cellulose จึงสรุปว่า พวกผ้าพันแผล สำลี bandage, swab sanitary pads และอื่น ๆ ที่ผลิตจาก cellulose ที่นำมาใช้ครั้งเดียวแล้วสามารถนำมาอาบรังสีทำให้ปลอดเชื้อได้โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงใด ๆ

---

[1] Gopal, N.G.S., and Rajapopalan, S., and Sharma, G., "Chemical Effect of Radiation on Celluloses," Radiation Sterilization of Medical Products, Report on the Colloquim Held at Bhabha Atomic Research Centre on August 17/18, 1973 (148).