

방사능 노출과 방사선 보호 사례 연구

민영실

중원대학교 식품제약학과 부교수

Case Study of Radiation Protection and Radiation Exposure

Young Sil Min

Associate Professor, Dept. of Pharmaceutical Science, Jungwon University

요약 최근 방사능 노출에 대한 염려에 대한 이슈가 높아지고 있다. 토양, 물, 공기, 작물등에 영향을 주며 장기적으로 환경오염 및 식량오염이 발생하며 나아가 사회적인 혼란 및 경제적 타격을 초래할 것으로 여겨진다. 방사능 노출로 질병을 일으키기도 하지만, 질병진단을 위한 방법으로, X선촬영, CT, PET-CT등 핵의학 검사를 실시하고, 암치료 목적으로 방사선 동위원소에 노출시키기도 한다. 후쿠시마 방사능 폐기물 방류소식으로 물, 특히 식수에 포함되는 방사선에 대한 헝가리의 사례 연구 및 남극 대륙의 Larsemann Hills 지역 검사에서 세계 보건 기구에서 권장하는 음용수의 규정된 방사능 한계 내에 있었다. DNA손상, 세포 및 장기손상, 암에 관련된 내용을 중심으로 방사선 보호제를 살펴보고, 또한 복구물질중 ACE억제제, 항산화제, 천연물질등에 관하여 여러 문헌을 조사하였다. 일상에서 방사능에 노출되지만 안전할 수 있는 이유는 아마도 방사선보호물질, 방사능 피폭에 대한 복구 물질이 있을 것으로 여겨, 가능한 물질들을 찾아보고자 한다.

주제어 : 방사능 노출, 질병 진단, 음용수, 방사선 보호, 방사선 보호제

Abstract Recently, it is increasing that a issue of concern about radiation exposure. It affects soil, water, air, crops, etc., and in the long term, environmental pollution and food pollution occur, and it is considered to cause social problems and economic damage. Radiation exposure causes diseases and health problems, but as a method for diagnosing diseases, nuclear medicine tests such as X-ray imaging, CT, and PET-CT are conducted, and radiation isotopes are exposed for the purpose of cancer treatment. A Hungarian case study on radiation in water, particularly drinking water, following the release of radioactive waste from Fukushima, and an examination of the Larsemann Hills area in Antarctica, found that it was within the prescribed radioactivity limits of drinking water recommended by the World Health Organization. We looked at radioprotective agents, focusing on DNA damage, cell and organ damage, and cancer, and also investigated various literatures on ACE inhibitors, antioxidants, and natural substances among restoration materials. Although exposed to radiation in everyday life, the reason why it can be safe is probably because there is a radiation protection material and a recovery material for radiation exposure, so we are trying to find possible materials.

Key Words : Radiation exposure, Diseases diagnosis, Drinking water, Radiation protection, Radioprotective agents

*Corresponding Author : Young Sil Min (youngsil31@jwu.ac.kr)

Received June 13, 2023

Revised July 5, 2023

Accepted September 20, 2023

Published September 30, 2023

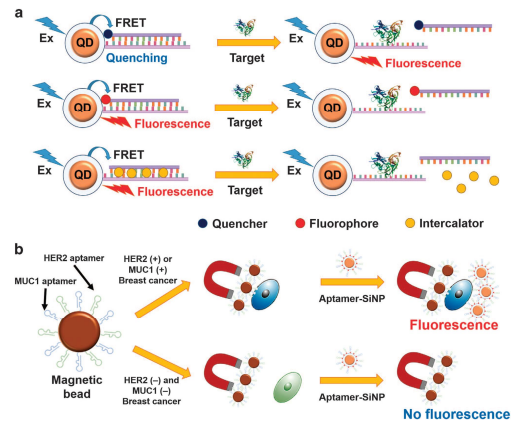
1. 서론

2011년 후쿠시마 원자력 발전소 사고, 1986년 체르노빌 원자력 발전소 사고, 우크라이나-러시아 전쟁으로 핵에 대한 관심이 높아지고, 후쿠시마 원전의 핵폐기물 방류에 대한 보도로 일상생활에서의 방사능노출에 대한 이슈가 주목되고 있다.

방사능 노출에 대한 염려는 질병과 건강문제를 일으키고, 원전사고와 같이 대량 방사능에 노출될 경우 토양, 물, 공기, 작물등에 영향을 주며 장기적으로 환경오염 및 식량오염이 발생한다. 또한, 방사능 노출에 따른 인구가동이 발생하는 등 사회적인 혼란 및 경제적 타격을 초래하였다.

그러나, 우리는 의도적으로 방사능에 노출되기도 한다. Fig. 1와 같이 질병진단을 위한 방법으로, X선촬영, CT, PET-CT등 핵의학 검사를 실시하고, 암치료 목적으로 방사선동위원소를 노출시키고, 종양내부에 방사선 소자를 직접 삽입하기도 한다[1,2]. 암치료 목적으로 사용되는 방사선 요법에 의한 세포손상, 조직손상, 기능장애등이 세대를 이어갈 수 있는 가능성이 없지 않고, 또 다른 암발생을 유발할 수 있어 방사선 보호제를 고려하고 있는 것이다. 소량의 방사능 노출에 의한 효과로 알려져 있는 피부미용 및 피로회복을 위하여 라돈탕과 같은 방사선 포함 온천을 찾아다니기도 한다. 일상에서 방사능에 노출되지만 안전할 수 있는 이유는 아마도 방사선보호물질, 방사능 피폭에 대한 복구 물질이 있을 것으로 여겨, 가능한 물질들을 찾아보고자 한다.

이제까지 알려진 방사선 보호약물로는 방사선 치료중 발생하는 부작용을 줄여주고 방사선 영향을 최소화하는 Aminostine과 Aminothiols, 심장조직에 방사선 손상을 감소시키고, 심장기능을 보존하는데 도움이 되는 Cardioprotectants[3], 방사선 노출로부터 세포 및 조직을 보호하고 세포생존율을 높여준다는 Radioprotects등이 있다. 방사선 보호 약물은 자유라디칼 생성을 억제하여 손상을 감소시키는 메커니즘이 대표적이다[4,5]. 방사선 보호제로서 효과적인 역할을 하는 물질들도 오심, 구토, 저혈압, 저칼슘혈증등의 부작용은 피할 수 없는 상황이다. 전신 독성이 낮고 효율이 높은 방사선 보호제 및 완화제를 찾는 것도 방사선노출에 대한 염려를 줄이기 위한 우리들의 중요한 관심 중 하나라고 여긴다.



(a) Three types of FRET-based detection using QDs. (b) Detection platform for breast cancer using dual-aptamer-modified SiNPs.

Fig 1. Diagnostic applications of biomolecule-nanomaterial complexes[1]

2. 본론

2.1 DNA 및 세포손상에 대한 방호

방사선 조사로 DNA에 직접적인 영향을 주어 다양한 손상을 일으키는데, 염기 변형, 염기 결손, 염기 연결의 단절, 염기 교체 등으로 생체내 유전 정보가 변형되고 세포의 기능과 발생에 직접 영향을 미친다[6,7]. DNA 손상복구시 반드시 필요한 효소 Deoxyribonucleotide의 변화를 중심으로 관찰하였을 때, 간에서 데옥시리보뉴클레오티드(dNTP)합성이 원활하게 이루어져 생존을 위한 DNA 및 단백질의 합성이 증가하도록 하는 방사선 보호제로써 역할을 할 수 있는 물질로 항산화제를 제시하기도 한다[6]. 유기체의 보상 및 회복 반응의 발달에 필수적인 리보뉴클레오티드 환원효소 활성 및 dNTP, DNA 및 총 단백질 생산의 통합적 증가를 복원한다. 방사선 보호제는 리보뉴클레오티드 환원효소 활성을 상당히 증가시켰고, 이 환원효소의 활성에 의해 결과적으로 단백질의 증가를 복원합니다.

DNA연결 단절 연구를 위하여 감마선 조사로 유발한 DNA 단절 연구에서 효모에 적용한 단일 세포 겔 전기영동 분석(SCGE)의 유용성과 다른 진핵생물에서는 실현할 수 없는 양의 화학물질에 의한 방사선 보호를 동물 및 생체 내/시험관 내 연구 및 임상 시험을 사용하여 진행하고 있다[7]. Salmonella typhimurium 세포를 조직 배양, X선을 조사한 후 Salmonella typhimurium

세포를 과산화수소로 처리하는 등 다양한 산소 라디칼 생성물질 처리시 세포 DNA 복구 가능성을 보인다[8]. real time RT-PCR 및 Western blot 분석으로 방사선 요법의 후유증인 방사선 장염 환자의 섬유성 장 조직으로 염기배열 분석을 하였다. 이 분석은 섬유증, 스트레스 반응, 염증, 세포 부착, 세포내 및 핵 신호 전달, 대사 경로와 관련된 많은 차별적으로 발현되는 유전자변형을 확인해서 했고 이런식으로 섬유화과정과 관련될 것이라 시사한다[9]. 이 외에도 세포손상에 대한 연구를 진행하면서 항산화제 이외에도 다당류, 지질다당류등이 방사선 저항성이 커지거나, 방사선 보호효과가 있음을 보고하고 있다. 방사선 유발 세포 손상은 주로 자유 라디칼의 유해한 영향에 기인하기 때문에 직접적인 자유 라디칼 소거 특성을 가진 물질은 방사선 보호제로서 유망하다.

DNA 복구가 암 예방의 핵심이며 셀레늄의 항암 증거는 p53 경로의 DNA 복구가 활성화시키는 것으로 여겨진다[10].

2.2 장기손상에 대한 대책

제어된 오존 관리 처리한 쥐를 이용하여 방사선 유발 장기 손상을 일으키고 혈장, 간 및 회장을 적출하여 조직병리학적 변화를 관찰하였더니 오존이 쥐의 내인성 항산화 방어 메커니즘을 증가시켜 방사선 유발 장기 독성으로부터 동물을 보호할 수 있음을 나타냈다[6].

Fig. 2에서 보는 바와 같이 건강한 장과 방사선 노출에 의한 장염의 조직을 염색하여 보면 방사선 노출 장염에서 콜라겐 섬유 염색의 녹색 염색으로 심각한 경층 섬유증을 보여주고 있다.

I kappa B-kinase beta 의존성 NF-kappa B 활성화는 장 상피에 방사선 보호를 제공한다[11]는 보고도 있다. 복부 방사선 요법의 부작용이기도 하고 합병증으로 발생하는 장 점막의 급성 손상모델에서 생체 내 장 상피에서 방사선 유발 세포 사멸에 대한 보호에서 전사인자 NF-kappa B의 역할을 연구하였고, 일반적으로 방사선 보호제인 세균성 지질다당류는 IKK beta 결핍 장 상피 세포에서 방사선 민감성을 나타내는 결과를 보였는데, 이는 생체 내 장 상피에서 IKK beta를 통한 NF-kappa B의 선택적 사전 활성화는 암 방사선 치료 중에 고용량의 방사선을 허용하는 치료 양식을 제공할 수 있을 것이다[11].

2.3 암발생 및 암치료

암치료 과정중 방사선 요법은 매우 효과적인 방법이며 방사선 노출에 있어 총 선량, 선량률, 분류 체계, 조사된 조직의 유형과 부피, 치료받은 개인의 방사선 감수성을 포함한 많은 치료 요인에 따라 치료효과는 다르고, 환자의 면역체계, 세포주기, 라디칼 소거체계의 역할도 중요하다[12]. IR(ionizing radiation, 이온화 방사선, 전리방사선)에 의한 부작용을 줄이고 방사선 치료 효과를 높이는 새로운 생물학적 방사선 방호 접근법을 연구하여 인체에 주입되는 광활성화제라는 일부 합성 약물을 활성화할 수 있다고 제안했다. 광활성화제는 DNA 복구 및 면역자극 경로, 손상 신호 차단과 같은 생물학적 경로를 활성화하여 세포와 조직에서 생존할 수 있다[13].

방사선 노출 후 세포 자가형광은 방사선 보호 및 방사선 치료 효과를 위한 특정 약물의 source로 사용될 수 있다. 이러한 치료적 접근은 개인의 방사선 감수성에 기초한 치료로 제공될 수 있다. 또 다른 연구에서 우리는 임상 방사선에 관찰로 MCF-7 유방암 세포에서 유발되는 분자 메커니즘과 방사선 저항 및 종양 재발, 재발을 조율하는 세포 내 및 세포 간 신호 전달의 관련 조정을 조사했다. 유전자 조작 접근법은 방사선이 NF- κ B 매개 TNF- α 전사 활성을 유발한다는 것을 밝혔고 TNF- α 차단 접근법은 TNF- α 의 de novo 합성 및 분비가 NF- κ B 활성화 및 지속적인 유지에 역할을 한다는 것이다. 골반 악성 종양에 대한 방사선 요법을 받는 환자에게서 3-Hydroxy-methylglutaryl coenzyme-a 환원 효소 억제제(스타틴)는 생존율을 향상시킨다고도 한다.

또한, 식물에서 발견되는 활성화 물질인 페닐프로파노이드는 항암 작용과 비교적 안전한 수준의 세포 독성으로 인해 잠재적인 방사선보호제로서 가능성을 보인다[15]. 암 치료에서 방사선 요법과 함께 페닐프로파노이드의 사용에 대한 조사는 계속 진행 해 보아야 할 것이다. 방사선 및 약물 내성은 국소 진행성, 재발성 및 전이성 유방암의 치료에서 치료저항 및 사망원인이고, PLD(포스포리파제 D)의 조절 장애가 항암제에 대한 내성과 관련이 있을 것으로 추정하여 IR (이온화 방사선)에 노출 후 PLD 억제한 결과는 PLD가 방사선 치료 효과의 향상을 위한 유용한 표적 분자일 수 있음을 시사한다[14].

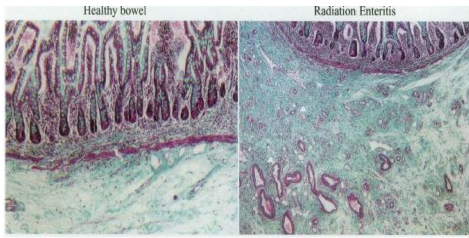


Fig. 2. Masson's trichrome staining of healthy bowel(original magnification 100x) and radiation enteritis (original magnification 100x). In radiation enteritis, the green staining of the collagen fibers showed a severe transmural fibrosis[9]

2.4 ACE(Acetylcholine converting enzyme)억제제

방사선 조사가 심폐 독성을 강화할 때 ACE 억제효과는 방사선 유발 심폐 손상을 약화시킨다[3]. ACE 저해제인 captopril은 방사선 유발 흉막 및 심낭 삼출 및 심장 섬유증을 감소시켰고, 심폐독성의 위험 인자인 급성 심장 손상을 줄임으로써 심폐의 형태와 기능을 개선하였다. ACE 억제제는 흉부에 대한 방사선 요법에 의해 유발된 심폐 합병증을 줄이는 약물로 사용된다. 골반 악성 종양환자가 방사선 요법 부작용인 위장 독성 감소를 유발하는데, ACE 억제제를 적용하여 급성 위장 증상이 상당히 감소하고 정상 조직 손상을 예방할 수 있음을 시사한다[16].

2.5 방사선 보호제로써의 항산화제

종양 조직을 표적으로 하는 방사선 요법에 의한 정상 세포의 독성을 감소시키고자 항산화제를 사용하고 있다. 자유 라디칼(활성 산소종)은 IR과 생물학적 시스템의 상호 작용의 주요 산물이며 정상 조직에 손상을 줄 수 있다. 최근 방사선치료에 의해 위험에 처한 장기(즉, 물리적 방법)를 보호하고 약제 및 천연 제제(즉, 화학적 방법)를 사용하여 장기를 보호하려는 많은 시도가 있었다[6]. 비타민 C 및 E, 카로티노이드를 포함하여 다중 미량 영양소를 보충하면 암관리를 증가시키고 정상 세포에 대한 일부 독성을 감소시켜 방사선 요법의 효능을 향상시킬것이라 여기지만, 한편에서는 방사선으로부터 암 세포도 보호하기 때문에 방사선 치료 중에 항산화제(식이 또는 내인성 생성)를 사용해서는 안된다는 보고도 있

다[5]. 한편, 항산화제인 글루타티온은 감마-글루타미실스테인 합성 효소 또는 글루타티온 합성 효소의 유전적 결함이 있는 환자의 인간 림프구 세포, 정상 인간 피부 섬유아세포 및 섬유아세포로 효과적으로 수송되지 않았다[20]. 글루타티온 에스테르는 방사선 조사의 치명적인 영향에 대해 인간 림프구 세포를 보호하는 것으로 밝혀졌고, 방사선 조사 후 에스테르의 첨가는 부분적으로 효과가 있는 것으로 이는 GSH가 수리 과정에서도 기능할 수 있음을 시사한다.

티올 함유 약물은 악성 및 비악성 세포 모두에서 지연된 방사선 보호효과를 나타내는 것으로 알려져 있다. 항산화 인자 SOD(Superoxide dismutase)의 발현이 증가시키고, NF-kappa B를 활성화시켜 세포에서 산화환원 핵 전사로 방사선 저항성이 향상되어진다[17].

2.6 천연물질로써의 방사선 보호제

아직 실험적으로 충분히 입증된 것을 아니지만, 식물이나 식물성분이 방사선 보호효과를 갖는다고 주장하기도 한다. 향신료로 사용되는 사프란(*Crocus sativus*)가 방사선에 의한 세포손상을 완화하고 방사선 보호 기능에 대한 보고가 있다. 양치식물인 *Adiantum capillus-veneris*는 고사리종류로 폴리페놀 성분이 방사선에 의한 DNA손상을 감소시키는 효과가 있다고 한다. 녹차의 추출물인 카테킨, 에피카테킨등이 DNA 손상을 감소하고, 세포보호 효과를 나타낸다고 *Camellia sinensis*를 방사선 보호제로서 역할일 가능하다고 주장하기도 한다. 또, 효모나 버섯에 풍부한 beta-glucan은 면역력을 높여주는데, 방사선으로 인한 세포손상 완화효과가 있을 수 있다.

커큐민과 일부 탄소 물질은 정상 세포의 방사선 보호에 중요한 역할을 하는 항산화효과를 보인다. 커큐민은 시험관 및 생체 내에서 더 나은 화학-광열 시너지효과를 보이며, 대나무 숲과 같은 탄소와 함께 d- α -토코페롤함 유물질은 생체내의 자유라디칼 소거능력으로 방사선 보호를 제공한다[18]. 자유 라디칼은 정상 조직도 손상하는 물질로 생물학적 보호 시스템으로 제거되기 때문에, 천연물에서 효율이 높은 방사선 보호제 및 완화제가 있을 것으로 여겨진다.

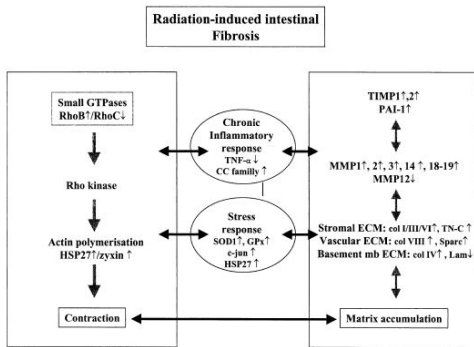


Fig. 3. Hypothesis concerning the pathogenic pathway involved in radiation enteritis[9].

3. 논의 및 결론

항암목적으로 혹은 평소 건강검진시 정확한 진단을 위한 다양한 첨단 기술 중 Fig. 1에서 보여지는 것처럼 압타머-나노물질 하이브리드가 과학자와 의사들의 관심을 받았다[1]. 특히, 암세포 파괴에 대한 방사선 요법의 긍정적인 효과에도 불구하고, 방사선 노출에 의한 DNA 손상으로 시작되어 치명적인 세포손상, 장기손상등 광범위한 부작용을 유발할 수 있다. 방사선 보호 물질들의 방사선 보호 역할은 방사선을 대신 흡수하거나, 방사선을 차단하고, 항산화효과가 있는 성분들은 자유라디칼의 생성을 억제하여 세포손상을 감소시킨다. 베타글루칸과 같은 다당류로 방사선의 부작용을 감소시키고 세포생존율을 높이며 심장조직이나 신장조직등을 방사선으로부터 보호하기 위해 특정 약물이 사용되기도 한다. 다양한 물질과 약물들이 방사선 치료 또는 방사선 노출과 관련된 부작용을 감소하여 인체 조직을 보호하고 부작용을 최소화 하는데 공헌한다는 것을 보여준다. 후쿠시마 방사능 폐기물 방류소식으로 물, 특히 식수에 포함되는 방사선에 대한 우려가 있다. 식수의 낮은 수준의 우라늄으로 암발생, 신장질환 등 건강에 대한 연구가 광범위하게 진행되고 있으며, 공중 보건 위협하지 않도록 관심을 가져야 할 것이다[19]. 식수로 주로 사용되는 강둑과 카르스트 우물이 있는 헝가리의 사례 연구를 통하여 여과방식 및 여과시스템의 특성을 강조하였다[28]. 호수물의 안전성파악을 위하여 남극 대륙의 Larsemann Hills 지역(위도 69°20' S ~ 69°25' S, 경도 76°6' E ~ 76°23' E)에서 토양, 암석 및

호수 물의 자연 방사능 농도에 대해 분석하여 방사능의 수준을 알고자 수행하였으며 세계 보건 기구에서 권장하는 음용수의 규정된 방사능 한계 내에 있었다[29]. 사람들은 방사선 치료 중 또는 핵의학에서 방사성 핵종에 노출된 후 이온화 방사선(IR)에 노출될 수 있다. 방사능 보호제는 IR 조사에 건강 위협을 줄이기 위해 사용되었다. 독성이 낮고 보호 범위가 확장된 방사선 보호제의 개발이 많은 관심을 끌었고 천연 화합물은 방사선 보호제로 평가되어 왔으며 항산화 및 면역 자극 활성을 통해 그 효과를 발휘하는 것으로 여겼다. 암세포, 정상세포 모두 보호효과를 보인다고 하여, 방사선 보호제의 사용에 대하여 논란이 없지 않으나 환자의 방사선 노출 부작용을 줄일 수 있고, 일상에서 피폭되고 있는 방사능에 대한 지속적 보호를 한다는 의미가 있어 방사선 보호제에 대한 연구는 꾸준히 지속되고 있는 경향이다. DNA손상, 세포 및 장기손상, 암에 관련된 내용을 중심으로 방사선 보호제를 살펴보고, 또한 복귀물질중 ACE 억제제, 항산화제, 천연물질등에 관하여 여러 문헌을 조사하여 정리하였으며, 식수에 관련하여 방사능 노출에 대한 염려 및 복구방법도 살펴보고, 다양한 특징과 메커니즘을 좀 더 관찰연구하여 구체적인 작용기전으로 효과를 특정할 수 있도록 지속적인 연구가 필요하다고 여겨진다.

REFERENCES

- Jo, H., & Ban, C. (2016). Aptamer-nanoparticle complexes as powerful diagnostic and therapeutic tools. *Exp Mol Med.*, 48(5), e230. DOI : 10.1038/emmm.2016.44.
- Hosseinimehr, S. J. (2007). Trends in the development of radioprotective agents. *Drug Discov Today*, 12(19-20), 794-805 DOI : 10.1016/j.drudis.2007.07.017
- van der Veen, S. J. et al. (2015). ACE inhibition attenuates radiation-induced cardiopulmonary damag. *Radiother Oncol*, 114(1), 96-103. DOI : 10.1016/j.radonc.2014.11.017.
- Gultekin, F. A. et al. (2013). Effects of ozone oxidative preconditioning on radiation-induced organ damage in rats. *Eur J Cancer.*, 48(14), 2117-2124. DOI : 10.1093/jrr/rrs073

- [5] Prasad, K N., Cole, W. C., Kumar, B., & Prasad, K. C. (2002). Pros and cons of antioxidant use during radiation therapy. *Cancer Treat Rev*, 28(2), 79-91. DOI : 10.1053/ctrv.2002.0260
- [6] Sharygin, V. L., Pulatova, M. K., Shliakova, T. G., Mitrokhin, Y. I., & Todorov, I. N. (2005). Activation of Deoxyribonucleotide Synthesis by Radioprotectants and Antioxidants as a Key Stage in Formation of Body Resistance to DNA-Damaging Factors. *Izv Akad Nauk Ser Biol*, (4), 401-422. PMID: 16212261.
- [7] Nemavarkar, P. S., Chourasia, B. K., & Pasupathy, K. (2004). Detection of γ -Irradiation Induced DNA Damage and Radioprotection of Compounds in Yeast Using Comet Assay. *J Radiat Res.*, 45(2), 169-174. DOI : 10.1269/jrr.45.169
- [8] Kasai, H., Crain, P. F., Kuchino, Y., Nishimura, S., Ootsuyama, A., & Tanooka, H. (1986). Formation of 8-hydroxyguanine moiety in cellular DNA by agents producing oxygen radicals and evidence for its repair. *Carcinogenesis*, 7(11), 1849-1851. DOI: 10.1093/carcin/7.11.1849
- [9] Vozenin-Brottons, M. C., Milliat, F., Linard, C., Strup, C., François, A., Sabourin, J. C., ... & Mathé, D. (2004). Gene expression profile in human late radiation enteritis obtained by high-density cDNA array hybridization. *Radiation Research*, 161(3), 299-311. DOI : 10.1667/rr3128
- [10] Y. R. Seo, M. R. Kelley, M. L. Smith. (2002). Selenomethionine regulation of p53 by a ref1-dependent redox mechanism. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 99(22), 14548-14553. DOI : 10.1073/pnas.212319799
- [11] L. J. Egan, L. Eckmann, F. R. Greten, S. Chae, Z. Li, G. M. Myhre, S. Robine, M. Karin, M. Kagnoff. (2004). IkappaB-kinasebeta-dependent NF-kappaB activation provides radioprotection to the intestinal epithelium. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 101(8), 2452-2457. DOI : 10.1073/pnas.0306734101
- [12] Abdollahi, H. (2014). Probiotic-based protection of normal tissues during radiotherapy. *Nutrition*, 30(4), 495-496. DOI : 10.1016/j.nut.2013.09.006
- [13] Abdollahi, H. (2015). Beneficial effects of cellular autofluorescence following ionization radiation: Hypothetical approaches for radiation protection and enhancing radiotherapy effectiveness. *Med Hypotheses*, 84(3), 194-198. DOI : 10.1016/j.mehy.2014.12.021
- [14] Son, J. C. (2013). Phospholipase D inhibitor enhances radiosensitivity of breast cancer cells. *Exp Mol Med*, 45(8), e38. DOI : 10.1038/emm.2013.75
- [15] W. Kim, K. Seong, B. Youn. (2011). Phenylpropanoids in radioregulation: double edged sword. *Exp Mol Med*, 43(6), 323-333. DOI : 10.3858/emm.2011.43.6.034
- [16] Wedlake, L. J. et al. (2012). Evaluating the efficacy of statins and ACE-inhibitors in reducing gastrointestinal toxicity in patients receiving radiotherapy for pelvic malignancies. *Br J Pharmacol*, 164(8), 2064- 2072. DOI : 10.1016/j.ejca.2011.12.034
- [17] Murley, J. S., Nantajit, D., Baker, K. L., Kataoka, Y., Li, J. J., & Grdina, D. J. (2008). Maintenance of manganese superoxide dismutase (SOD2)-mediated delayed radioprotection induced by repeated administration of the free thiol form of amifostine. *Radiat Res*, 169(5), 495-505. DOI : 10.1667/RR1194.1
- [18] Xie, J. et al. (2017). Therapeutic Nanoparticles Based on Curcumin and Bamboo Charcoal Nanoparticles for Chemo-Photothermal Synergistic Treatment of Cancer and Radioprotection of Normal Cells. *ACS Appl Mater Interfaces*, 9(16), 14281-14291 DOI : 10.1021/acsami.7b02622
- [19] Bjørklund, G., Semenova, Y., Pivina, L., Dadar, M., Rahman, M. M., Aaseth, J., & Chirumbolo, S. (2020). Uranium in drinking water: a public health threat. *Arch Toxicol*, 94(5), 1551-1560. DOI : 10.1007/s00204-020-02676-8
- [20] V P Wellner, M E Anderson, R N Puri, G L Jensen, A Meister (2012). Radioprotection by glutathione ester: transport of glutathione ester into human lymphoid cells and fibroblasts. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 81(15), 4732-4735. DOI: 10.1073/pnas.81.15.4732
- [21] Yu, H., Aravindan, N., Xu, J., & Natarajan, M. (2017). Inter- and intra-cellular mechanism of NF-kB-dependent survival advantage and clonal expansion of radio-resistant cancer cells. *Cell Signal*, 31, 105-111. DOI : 10.1016/j.cellsig.2017.01.011
- [22] Sitko, J. C. et al. (2008). SOCS3 regulates p21 expression and cell cycle arrest in response to

DNA damage. *Cellular signalling*, 20(12), 2221-2230.

DOI : 10.1016/j.cellsig.2008.08.011

- [23] Nalla, A. K., Gogineni, V. R., Gupta, R., Dinh, D. H., & Rao, J. S. (2011). Suppression of uPA and uPAR blocks radiation-induced MCP-1 mediated recruitment of endothelial cells in meningioma. *Cell Signal*, 23(8), 1299-1230
DOI : 10.1016/j.cellsig.2011.03.011

- [24] Floyd, R. A. (1990). The role of 8-hydroxyguanine in carcinogenesis. *Carcinogenesis*, 11(9), 1447-1450
DOI : 10.1093/carcin/11.9.1447

- [25] T. Kim, T. Huang, J. Jang, M. Kim, H. Kim, J. Lee, J. Pack, J. Seo, W. Park. (2008). Local exposure of 849 MHz and 1763 MHz radiofrequency radiation to mouse heads does not induce cell death or cell proliferation in brain. *Exp Mol Med*, 40(3), 294-303.

DOI: 10.3858/emm.2008.40.3.294

- [26] Gerschman, R., Gilbert, D. L., Nye, S. W., Dwyer, P., & Fenn, W. O. (1954). Oxygen poisoning and x-irradiation: a mechanism in common. *Science*, 119(3097), 623-626.

DOI: 10.1126/science.119.3097.623

- [27] Xu, W., Yang, F., Shen, X., Fan, S., Liu, Q., & Wang, D. (2014). Polysaccharide isolated from *Parmelia tinctorum* ameliorates ionizing irradiation-induced damage in mice. *J Radiat Res*, 55(4), 641-647.

DOI : 10.1093/jrr/rrt224

- [28] Csondor, K., Baják, P., Surbeck, H., Izsák, B., Horváth, Á., Vargha, M., & Eröss, A. (2020). Transient nature of riverbank filtered drinking water supply systems - A new challenge of natural radioactivity assessment. *J Environ Radioact*, 211, 106072.

DOI : 10.1016/j.jenvrad.2019.106072

- [29] Pal, R., Patra, A. C., Bakshi, A. K., Dhabekar, B., Reddy, P. J., Sengupta, P., & Sapra, B. K. (2021). Investigations on baseline levels for natural radioactivity in soils, rocks, and lakes of Larsemann Hills in East Antarctica. *Environ Monit Assess*, 193(12), 822.

DOI : 10.1007/s10661-021-09446-8

민 영 실(Young Sil Min)

[정회원]



- 1992년 2월 : 중앙대학교 (약학사)
- 2001년 2월: 중앙대학교 (약학석사)
- 2004년 2월: 중앙대학교 (약학박사)
- 2009년 3월 ~ 현재 : 중원대학교 식품제약학과 부교수
- 관심분야 : 약학, 천연물, 식생활
- E-Mail : youngsil31@jwu.ac.kr