

저 선량 베타선의 조사에 의한 식물의 생장에 미치는 영향

— Influences of the Plant Growth under Beta-Rays Irradiation at Low Dose —

고려대학교 안암병원 방사선종양학과 · 가야대학교 방사선학과¹⁾이병구 · 임인철¹⁾ · 김종언¹⁾

— 국문초록 —

본 연구는 저 선량 베타선의 장기간(31일) 조사에 의한 춘향이 열무와 알타리 무의 생장에 미치는 영향을 분석하는데 목적이 있다.

실험은 알타리 무와 춘향이 열무에 대하여 각각 1개 샘플의 대조군과 11개 샘플의 실험군으로 구성하였다. 대조군과 실험군의 종자들은 각각의 샘플에서 8개씩 선택되어 같은 조건의 배양토에 파종하였다. 실험군 샘플의 누적선량은 31일 동안 매일 같은 시간에 측정하였다. 성장과정과 발아율은 매주 2회 같은 시간에 측정하였다. 잎사귀 수, 초장의 길이와 생체중은 파종 후 20일과 25일에 각각 측정하여 평균값을 얻었다.

25일 동안 측정된 실험군의 결과에서, 알타리 무의 길이와 무게는 누적선량 0.01 Gy에서 대조군보다 각각 5%와 36%로 증가하였다. 또한 춘향이 열무에서 길이는 누적선량 0.01~0.08 Gy와 0.3 Gy에서 대조군보다 각각 13~17%와 1%, 무게는 누적선량 0.05 Gy와 0.23 Gy에서 대조군보다 각각 36%와 2%로 증가하였다. 잎 수에 대하여, 알타리 무는 누적선량 0.01~0.32 Gy에서 대조군보다 0~50%로 증가하였다. 그리고 춘향이 열무는 0.01~0.02 Gy에서 대조군보다 0~67%로 증가하였다. 이 결과로부터, 알타리 무와 춘향이 열무는 대체적으로 낮은 누적선량영역(0.01~0.2 Gy)에서 길이와 무게 그리고 잎 수가 증가하였다. 그리고 실험군의 세포의 크기, 핵의 위치와 세포의 조밀도는 대조군과 거의 유사하게 현미경으로 관찰되었다.

결론적으로, 베타선에 조사된 알타리 무와 춘향이 열무는 방사선 호메시스 이론과 부합되어 낮은 누적선량 영역에서 더 많은 성장을 한 것으로 추정된다. 추후 연구에서 방사선 호메시스와 식물생장의 관련성을 입증하기 위한 추가적인 실험이 필요할 것으로 생각된다.

중심 단어: 베타선, 누적선량, 식물 성장, 방사선 호메시스

I. 서 론

방사선 피폭에 의한 개체의 생물학적 효과는 긍정적인 면과 부정적인 면, 모두가 보고 되었다. 고 선량 방사선

이 개체의 수명을 단축시킨다는 결과와 저 선량 방사선 피폭에 의해 개체의 수명이 연장된다는 결과가 보고 되고 있다¹⁻²⁾. 그러나 저 선량 피폭에 의한 생물학적 효과는 고 선량 피폭으로부터 얻은 생물학적 효과의 자료에 근거하여 해석한다. 이 과정에서 저 선량 피폭에 대한 방사선 작용을 잘못 해석 할 수 있다. 따라서 저 선량 피폭에 의한 개체의 생물학적 효과에 대한 연구가 더욱 필요한 실정이다.

럭키(Lucky)는 매우 적은 양의 방사선이 동·식물의

*접수일(2010년 3월 16일), 1차심사(2010년 5월 7일), 2차심사(2010년 6월 4일), 확정일(2010년 6월 17일)

교신저자: 김종언, (621-748) 경남 김해시 삼계동 60번지
가야대학교 방사선학과

TEL : 055-330-1184, 010-4185-8218

FAX : 055-330-1146, E-mail : kjepk@yahoo.co.kr

성장과 발달, 생식력, 수명 그리고 건강에 이로운 영향을 준다고 보고 하였다³⁾. 그러나 식물 성장에 대한 방사선의 영향을 발표한 논문들이 일시 조사에 의한 결과를 바탕으로 한 것이 대부분이다⁴⁻¹¹⁾. 따라서 본 연구는 저 선량 베타선의 장기간(31일) 조사에 의한 춘향이 열무와 알타리 무의 성장에 미치는 영향을 분석하는데 그 목적이 있다.

저 선량의 방사선 피폭에 대한 많은 기존 의 실험들은 이온화 방사선의 종류에 관계없이 거의 비슷한 생화학적 영향의 결과들을 나타내었다. 또한, 계통발생을 통해 생물은 저 선량의 이온화 방사선에 의해 자극 받아 발아, 출아, 성장과 발육의 촉진, 수량구성요소의 증가 등이 식물에서 관찰되었다. 그리고 결실 및 영양 생산 등에서도 고유한 특성들을 나타내었다⁴⁻⁵⁾. 곡물류 종자와 식물체에서 저 선량 방사선 조사에 의해 상당한 자극작용이 나타났다. 이것은 대조군에 비해 120%의 수량증가와 불량 조건 하에서의 발아증가, 병에 대한 저항성 증가 등이 보고 되었다⁶⁾. 또한 땅콩의 성장에 미치는 효과, 대두품종의 생육과 수량에 미치는 효과, 배추의 성장, 파종자의 발아, 고추에 대한 역병 저항성 효과 등이 보고 되었다⁷⁻¹¹⁾.

본 실험은 발아와 초기생육에서 비슷한 효과를 보이는 춘향이 열무와 알타리 무의 종자에 저 선량의 베타선을 조사한 후 종자를 파종하여 성장시키고, 성장된 종자의 생리 활성에 미치는 영향들을 정량적으로 분석한다.

II. 재료 및 방법

실험에 사용된 재료들은 다음과 같다. 무의 종자들은 2005년도에 생산된 “춘향이 열무”(홍농종묘)와 “알타리 무”(홍농종묘)이다. 누적선량을 측정하기 위해 사용한 측정기는 Ludlum measurements 사의 fan-cake type survey-meter(모델: 44-9)이다. 사용한 방사성동위원소는 저 준위 폐기물로서 저에너지 베타선 방출체인 P-32이다. 이 동위원소는 반감기가 14.28일이고, 에너지는 1.69 MeV이다. Fig. 1에서 보여주는 바와 같이, 종자에 베타선을 조사하기 위해 플라스틱 샘플용기(높이: 4 cm, 직경: 1.5 cm)와 이를 차폐하는 납 용기(높이 6 cm, 직경 4 cm)가 사용되었다. 사용한 토양은 파종을 위해 비료를 주지 않았다. 성장한 식물 초장의 길이 측정은 줄자, 초장의 무게는 한성 에이스 사의 천평 OHAUS 측정기를 사용하였다. 식물세포의 크기를 측정한 생물현미경은 Nikon사의 ALPHA PHOT-2 YS-2를 사용하여 관찰하였다.



Fig. 1. A photograph of sample and lead containers

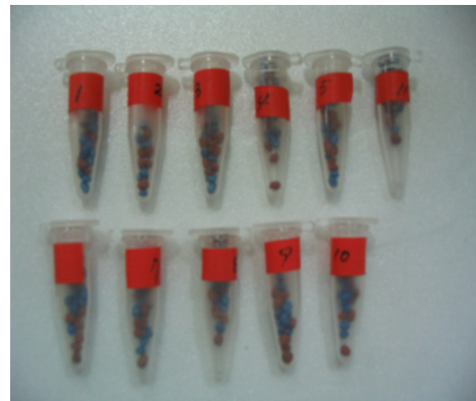


Fig. 2. A photograph of 11 samples

실험은 춘향이 열무와 알타리 무의 종자들에 대하여 대조군은 각각 1개의 샘플로, 실험군은 각각 11개의 샘플로 구성하였다. 대조군은 11개의 종자를 플라스틱 용기에 넣어 샘플을 만들고, 베타선에 조사에 노출되지 않게 하였다. 실험군은 10개의 종자에 1개의 방사성동위원소를 플라스틱 용기에 넣어 샘플을 만들었다. 이 샘플들은 Fig. 2에서 보여준다. 사용된 방사성동위원소의 방사능은 각각 서로 다르다. 각각의 종자에 대하여 11개의 실험군 샘플의 누적선량은 31일 동안 매일 같은 시간에 서베이미터(survey meter)로 측정하였다. 그리고 대조군과 실험군의 종자들은 각각의 샘플에서 8개씩 선택되어 같은 조건의 배양토에 파종되었다. 파종된 종자들은 25일 동안 성장시켰다. 성장과정과 발아율의 자료는 매주 2회 같은 시간에 측정하여 얻었다. 잎사귀 수, 초장의 길이와 생체중은 파종 후 20일과 25일의 측정으로부터 각각의 샘플에 대응하는 8개 파종된 종자에 대한 평균값을 산출하였다.

III. 결 과

Table 1과 Table 2는 춘향이 열무(chunhyang young radish)와 알타리 무(altari radish)에 대하여 파종 후 각각 20일과 25일에 측정된 길이, 무게와 잎 수 등의 평균값을 보여준다. 20일에 대한 25일에 측정된 결과들을 비교하면 다음과 같다. 대조군에서, 길이의 비율은 알타리 무에서 183%와 춘향이 열무에서 207%로 증가하였고, 무게의 비율도 알타리 무에서 337%와 춘향이 열무에서 284%로 증가하였다. 그러나 잎 수의 비율은 알타리 무에서 67%와 춘향이 열무에서 75%로 감소하였다. 실험군의 선량별 비교에서, 길이와 무게의 비율은 알타리 무와 춘향이 열무 모두에서 증가하였고, 잎 수의 비율은 선량별로 알타리 무와 춘향이 열무 모두에서 100%보다 크거나 작게 나타났다.

Table 2의 25일에 측정된 실험군의 결과에서 알타리 무의 길이와 무게는 누적선량 0.01 Gy에서 대조군보다 각각 5%와 36%로 증가하였다. 또한 춘향이 열무에서 길이는 누적선량 0.01~0.08 Gy와 0.3 Gy에서 대조군보다 각각

Table 1. The lengths, weights and number of leaves of plants growing for 20 days

Average value	Length (cm)		Weight (g)		Number of leaves (EA)	
	Altari radish	Chunhyang young radish	Altari radish	Chunhyang young radish	Altari radish	Chunhyang young radish
0.00	8.8	8.0	1.865	2.541	6	4
0.01	9.2	10.1	2.864	1.862	4	5
0.05	8.1	9.8	2.369	1.737	6	5
0.08	8.2	9.2	2.814	1.862	4	4
0.09	7.8	8.5	1.956	2.089	4	3
0.23	7.8	8.4	2.016	1.492	5	5
0.30	7.2	9.0	1.628	1.702	3	4
0.31	7.4	7.8	1.422	1.928	3	7
0.32	5.1	4.8	1.063	1.038	4	4
0.48	4.3	5.0	0.654	0.735	5	4
0.51	4.8	4.2	0.670	0.710	6	5
0.62	6.4	7.1	1.296	1.375	4	4

Table 2. The lengths, weights and number of leaves of plants growing for 25 days

Average value	Length (cm)		Weight (g)		Number of leaves (EA)	
	Altari radish	Chunhyang young radish	Altari radish	Chunhyang young radish	Altari radish	Chunhyang young radish
0.00	16.1	16.6	6.276	7.222	4	3
0.01	16.9	19.5	8.514	7.170	6	4
0.05	15	19.4	6.073	9.826	4	5
0.08	15.9	18.7	6.502	6.739	6	5
0.09	14.9	14.6	5.340	5.677	4	4
0.23	15.7	16.1	6.719	7.339	5	5
0.30	14.8	16.8	5.894	6.041	5	5
0.31	14.3	15.2	1.986	2.263	4	4
0.32	10.6	12	1.812	2.529	7	3
0.48	9.7	10.9	3.292	0.879	3	3
0.51	9.5	9.8	3.804	1.440	3	4
0.62	13.5	12.1	2.956	4.574	3	5

13~17%와 1%, 무게는 누적선량 0.05 Gy와 0.23 Gy에서 대조군보다 각각 36%와 2%로 증가하였다. 잎 수에 대하여, 알타리 무는 누적선량 0.01~0.32 Gy에서 대조군보다 0~50%로 증가하였다. 그리고 춘향이 열무는 0.01~0.62 Gy에서 대조군보다 0~67%로 증가하였다.

실험군의 세포의 크기, 핵의 위치와 세포의 조밀도는 대조군과 거의 유사하게 현미경으로 관찰되었다.

IV. 논 의

25일에 측정된 실험군의 결과로부터 알타리 무와 춘향이 열무는 낮은 누적선량 영역에서 대체적으로 길이와 무게 그리고 잎 수가 증가하였다. 이 근거는 이미 실험논문으로 발표되어 입증된 방사선 호메시스 이론과 부합된 것으로 추정된다. 그리고 UNSCEAR 보고서(1994)는 누적선량 0.2 Gy 이하를 저 선량 영역으로 분류하였다.

본 연구에서, 방사선 호메시스의 실험 대상으로 춘향이

열무와 알타리 무를 선정한 배경은 생장기간이 비교적 짧고, 종자를 구하기 쉽고, 재배를 쉽게 할 수 있고, 단기간 실험의 가능성 때문에 선택을 하였다. 실험군 샘플들의 누적선량 차이는 사용된 폐기물 방사성동위원소의 방사능이 각각 서로 다른 기반에 의해서 31일 동안 매일 같은 시간의 측정으로부터 얻은 결과이다. 이 차이를 더욱 세분화하지 못한 이유는 방사성동위원소는 폐기물로서 기기에 장착된 선원과 같이 직접 누적선량을 제어하여 조사하지 못하고, 또한 시간적인 배분에 의해 행해져야 하지만 현실적인 어려움 때문에 행하지 못하였다. 따라서 방사선 호메시스 효과가 나타나는 0.1Gy 전후의 선량을 세분화하지 못한 결과를 얻었다. 그리고 20일과 25일의 생장 차이는 알타리 무와 춘향이 열무의 생장기간이 대략 90일과 30~45일이므로 생장이 촉진되는 시기에 의해서 좀 더 큰 차이를 나타낸 것으로 추정된다. 또한 같은 누적선량에서, 발아는 0.3 Gy보다 더 큰 선량에서 늦게 되었고, 생장은 생장 기간이 가까울수록 더욱 성장되었다. 생장이 두드러지게 발생하기 시작한 시기는 20일부터이다. 본 실험은 25일 동안 무를 성장시켰다. 그러므로 완전한 성장을 이루지 못한 상태이다.

일반적인 실험은 저온 저장한 종묘, 또는 오랜 저장으로 발아율이 떨어지는 종묘를 파종하였을 때 발아율과 초기생육 및 생리활성도 등을 조사하는데 주안점을 두고 감마선 순간 조사를 한다. 이것은 호메시스 이론에 의한 병약하고 취약한 부분을 방사선이라는 적당한 자극으로 활성화 시키는데 있다.

본 실험은 단 한번만의 파종, 순간 조사가 아닌 방사선 동위원소 폐기물을 이용하여 장시간에 걸친 피폭, 토양 등의 문제와 여러 가지 변수를 고려하지 못하였다. 그리고 연구의 결과는 기존 발표된 방사선 호메시스 이론을 재현한 것으로 추정된다. 그러나 방사선 호메시스에 의한 결과임을 입증하기 위한 여러 가지 실험을 하지 못하였다. 따라서 추정된 연구의 결과를 증명하기 위한 추가적인 실험이 필요할 것으로 생각된다.

호메시스는 “소량의 독은 자극작용이 있다(Small dose of poison is stimulatory)”는 것을 언급한다. 이것은 유해량 이하의 유해한 작용물질이 생물체에 자극적인 반응을 일으킬 수 있다는 것이다. 여기에 대하여, 1945년 세계최초로 원폭에 의해 방사선에 피폭된 일본인 중 110~120 R 피폭된 사람은 전혀 피폭되지 않거나 또는 그 이상의 다량으로 피폭된 사람보다 장수하였다고 보고가 되었다. 저 선량에 대한 생물의 유익효과를 인체에서도 찾아

볼 수 있다. 그러나 인간에 대한 방사선 호메시스 효과는 그 발현까지의 기간이 너무 길기 때문에 단순히 어떤 하나의 자극 효과로 인해 결과가 만들어 졌다고 말하기 어렵다. 그리고 결과에 대한 개입요소가 너무 많기 때문에 좀 더 많은 연구와 자료가 모아져야 할 것이다.

고 선량 방사선이 개체의 수명을 단축시킨다는 결과들이 많이 보고 되었으나¹⁾ 1960년대부터 저 선량 방사선에 의해서 수명이 연장된다는 결과가 보고 되고 있다²⁾. 이것은 저 선량의 방사선이 다양한 생활사 및 세포 내 생체 방어 시스템에 영향을 미치기 때문으로 생각된다¹²⁾. 특히 개체의 수명을 증가시키는 원인의 하나로 가벼운 스트레스를 제시하였는데, 이처럼 가벼운 스트레스가 생명체에 이롭게 작용하는 현상은 저 선량의 방사선에서도 유사하게 나타난다. 이것을 ‘방사선 호메시스(Radiation hormesis)’라고 정의한다. Luckey(1982)의 논문에 따르면, 매우 적은 양의 방사선은 동·식물의 성장과 발달, 생식력, 수명 그리고 건강에 이로운 영향을 줄 수 있다는 것이다³⁾.

최근 들어 저 선량 방사선에 대한 위험성을 경고하는 논문도 등장하고 있다. 특히 방사선 치료 장치의 발달로 인해 종양과 주변 정상조직 간의 기하학적 정확도는 증가하여 치료부위에 정밀한 선량분포를 만들어 낼 수 있다. 그러나 예전에 비해 많아진 문(port) 수(3차원 입체 조형 치료), 그것으로 인한 치료시간의 증가(세기변조 방사선 치료, IMRT) 등의 변화로 인해 그 주변에서 2차적인 새로운 종양의 발생을 보고하였다¹³⁾. 이것은 호메시스 효과를 부정하는 것인지 또는 구경꾼 효과(bystander effect)에 기인한 것인지를 명확히 구분하기는 어렵다¹⁴⁾. 또한, 매우 낮은 선량(0.001~0.3 Gy)으로 인한 자극으로 장해를 유발할 수 있다는 연구 결과도 보고 되고 있다¹⁵⁾. 그러나 적은 선량의 전리방사선의 자극에 의해 포유류 세포의 특성 중 하나는 다시 회복되거나 장해를 조절하고 더 나아가 방사성 저항성을 갖는다는 결과의 보고도 있다¹⁶⁾. 물론 이것을 호메시스 효과라 말하기는 어렵고, 오히려 적응효과(adaptive responses)라 하는 것이 옳을지도 모른다.

저 선량의 전리방사선의 피폭효과는 호메시스나 식물 동종요법의 일반적인 개념이다. 이것은 유해 작용을 가진 작용물질이 유해량 이하의 투여에서는 생물체의 생장을 자극한다는 법칙으로 생물체는 최적이하의 상태에 있게 되면 자극은 그 상태에서 생물체의 반응을 변화시켜 적극적으로 대응케 한다는 것이 일반적인 이론이다¹⁷⁾.

V. 결 론

본 실험에서 알타리 무와 춘향이 열무는 대체적으로 낮은 누적선량영역(0.01~0.2 Gy)에서 길이와 무게 그리고 잎 수가 증가하였다. 이 근거는 이미 실험논문으로 발표되어 입증된 호메시스 이론과 부합된 것으로 추정된다. 그리고 실험군의 세포의 크기, 핵의 위치와 세포의 조밀도는 대조군과 거의 유사하게 현미경으로 관찰되었다.

결론적으로, 베타선에 조사된 알타리 무와 춘향이 열무는 방사선 호메시스 이론과 부합되어 낮은 누적선량 영역에서 더 많은 생장을 한 것으로 추정된다. 추후 연구에서 방사선 호메시스와 식물생장의 관련성을 확증하기 위한 추가적인 실험이 필요할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- Lamb MJ.: the Effect of Radiation on the Longevity of Female *Drosophila melanogaster*, *J. Ins. Physiol*, 10, 48-97, 1964
- Sacher GA.: Effects of X-rays on the Survival of *Drosophila imagoes*, *Phys. iol. Zool*, 36, 295-311, 1963
- Luckey TD.: Physiological Benefits from Low Level of Ionizing Radiation, *Health Phys*, 43, 771-789, 1982
- 김재성 외: 저선량 전리방사선에 의한 작물의 활성증진, *한국환경농학회지*, 17(1), 76-85, 1998
- Parsons PA.: Hormesis: an Adaptive Expectation with Emphasis on Ionizing Radiation, *J. Appl. Toxicol*, 20, 103-112, 2000
- 이은경 외: 저선량 감마선이 채소 발아 종자의 생리활성에 미치는 영향, *한국환경농학회지*, 19(1), 2000
- 김재성 외: 저선량 감마선이 땅콩 생장에 미치는 영향, *한국환경농학회지*, 17(3), 257-261, 1999
- 이영근 외: 저선량 이온화방사선이 대두품종의 생육과 수량에 미치는 영향, *한국환경농학회지*, 18(1), 66-69, 1999
- 김재성 외: 배추 유식물의 생장과 황산화 효소의 활성도에 미치는 저선량 방사선의 효과, *한국환경농학회지*, 18(2), 247-253, 2000
- 이은경 외: 저선량 감마선 조사가 파종자 발아에 미치는 영향, *한국환경농학회지*, 17(4), 346-351, 1998
- 김재성 외 : 저선량 감마선 조사에 의한 고추 역병 저항성 유기, *한국환경농학회지*, 18(1), 47-51, 2000
- Zainullin VG, Moskalev AA. : Radiation-induced Changes in the Lifespan of Laboratory *Drosophila Melanogaster* strain, *Genetika*, 37(9), 1304-1306, 2001
- Dorr W, Hermann T.: Cancer Induction by Radiotherapy : Dose Dependence and Spatial Relationship to Irradiated volu, *J. Radiol. Prot*, 22, A117-A121, 2002
- Dendy PP, Brugmans MJ.: Commentary, Low Dose Radiation Risk, *Br. J. Radiol*, 76, 674-677, 2003
- Cuttler JM.: Health Effect of Low Level Radiation When Will We Acknowledge the Relativity?, 27th Annual conference of the canadian nuclear society, Toronto, pp.11-14, 2006
- Joiner MC.: Induced Radioresistance: an Overview and Historical Perspective, *Int. J. Radiat. Biol.*, 65(1), 79-84, 1994
- Kim JS, Kim YK, Lee MH, *et al.*: Effects of Low Dose Gamma Radiation on the Germination and Yield Components of Chinese Cabbage, *J. Environ. Agri*, 17(3), 274-278, 1999

• Abstract

Influences of the Plant Growth under Beta-Rays Irradiation at Low Dose

Byung-Koo Lee · In-Chul Im¹⁾ · Jong-Eon Kim¹⁾

Dep. of Radiation Oncology, Korea University Anam Hospital

¹⁾*Department of Radiological Science, Kaya University*

This study is to analyze effects of the growth of Chunhyang Young Radish (CYR) and Altari Radish (AR) according to the exposure for 31 days at low dose β -rays. This test has one contrast sample and eleven test samples each as to AR and CYR. The seeds from contrast and test sample were planted in the culture soil after 8 seeds were chosen from each with identical condition.

The accumulated dose of test samples has been measured at consistent time on a daily basis for 31 days. The growing process and germination have been measured twice at consistent time in each week. The number of leaves, length of first leave and weight have been acquired average value by measuring for 20 and 25 days, respectively after being planted.

The result of test sample in case of 25 days shows that 5% increase in length and 36% increase in weight for AR each at accumulated dose 0.01 Gy compared to the contrast sample. And the length of CYR has increased by 13~17% and 1% at accumulated dose 0.01~0.08 Gy and 0.3 Gy compared to the contrast sample. For the weight at accumulated dose 0.05 Gy and 0.23 Gy has increased by 36% and 2% compared to contrast sample. As to the number of leaves, AR has increased by 0~50% at accumulated dose 0.01~0.32 Gy compared to contrast sample. It also shows that the CYR has increased to 0~67% at accumulated dose 0.01~0.62 Gy compared to contrast sample.

As a result of this study, it indicates that both AR and CYR has generally increased in their length, weight, and the number of leaves at low level accumulated dose part 0.01~0.2 Gy. The size of cell, area of nucleus and density of cell for test sample has been observed quite similar to the ones from contrast sample through microscope.

In conclusion, AR and CYR irradiated by β -rays have estimated that they are achieved a rapid growth at low level accumulated dose region corresponding to its radiation hormesis theory. Further studies need to confirm the correlation between the radiation hormesis and the growth of the plants.

Key Words : β -rays, Accumulated dose, Plant growth, Radiation hormesis