

## &lt;원저&gt;

## X선에 노출된 보리의 생장과 엽록소 측정

이원정<sup>1)</sup>·이모권<sup>2)</sup>·이중록<sup>1)</sup>·김하늘<sup>1)</sup>·유세종<sup>1)</sup>·이배원<sup>3)</sup>·정순철<sup>4)</sup><sup>1)</sup>대전보건대학교 방사선과·<sup>2)</sup>대전보건대학교 환경보건과·<sup>3)</sup>나은병원 영상의학과·<sup>4)</sup>대전보건대학교 의무부사관과

## Measurement of Growth and Chlorophyll in Barley Exposed by X-ray

Won-Jeong Lee<sup>1)</sup>·Mo-Kwon Lee<sup>2)</sup>·Lee Jung Rok<sup>1)</sup>·Kim Ha Neul<sup>1)</sup>·Se-Jong Yoo<sup>1)</sup>  
Bae-Won Lee<sup>3)</sup>·Sun-Cheol Jeong<sup>4)</sup><sup>1)</sup>Dept. of Radiological Technology, Daejeon Health Institute of Technology<sup>2)</sup>Dept. of Environmental Health, Daejeon Health Institute of Technology<sup>3)</sup>Dept. of Radiology, Naeun Hospital<sup>4)</sup>Dept. of Medical Non-commissioned, Daejeon Health Institute of Technology

**Abstract** The purpose of this study is to measure of growth and chlorophyll in barley exposed by X-ray. Barley seed was soaked 24h duration in water, then was classified into two group; pre-seed germination group (Pre-G) or post-seed germination group (Post-G). Also, divided as control subgroup and experimental subgroup(10Gy, 20Gy, 30Gy) in each group. Experimental subgroups were exposed by X-ray using linear accelerator (Clinac IS, VERIAN, USA). Expose condition was 6 MV X-ray, SSD 100 cm, 18×10 cm, 600 MU/min. Length was measured every day for 10 days and 10th day for weight. Chlorophyll was analyzed using spectrophotometer(uv-1800, shimadzu, japan) in 10th day. Data analysis was performed using SPSS ver 22.0(Chicago, IL, USA), ANOVA test (Dunnett\_T3) between control subgroup and experimental subgroup in group and Independent T-test between Pre-G and Post-G in subgroup. In Pre-G, length of barley was significantly difference between control and 30Gy in 4th day (4.3 vs. 1.5,  $p=0.011$ ). Length of 30Gy was statistical difference with control(10th day; 14.4 vs. 6.3,  $p < 0.01$ ), and was not in 10Gy or 20Gy in all day. In experimental subgroup, length was shorter as increasing radiation dose. In Post-G, length of barley was not difference statistically between control and experimental subgroup in first day, but more difference between two subgroup with increasing duration after exposing. Length of experimental subgroup was shorter significantly compared with control in 10th day, and no significant difference between experimental subgroup. Density of chlorophyll was increasing with increasing radiation dose in Pre-G and Post-G. Chlorophyll density of control was lower than 30Gy; 0.26ppm in Pre-G, 0.29ppm in Post-G). Growth and chlorophyll of barley was effected by X-ray. It is expected to be used as basic data for future radiobiological research.

**Key Words:** Radiation dose, X-ray, Barley seed, Chlorophyll, Growth**중심 단어:** 방사선 선량, X선, 보리종자, 엽록소, 생장

## I. 서론

방사선은 인류의 진화에도 영향을 미치고, 산업의 발달과 함께 의학 및 원자력, 농업 등 다양한 산업에 널리 사용되고

있으며 이용 범위도 넓어지고 있다. 또한 동,식물 연구를 통해 방사선은 생명체에 조사되었을 때 생물학적으로 다양한 영향을 미치는 것으로 알려져 왔다. 이러한 방사선의 영향은 동물 및 식물, 개체와 종, 조사 시간, 조사 시기, 선량,

Corresponding author: Sun-Cheol Jeong, Department of Medical Non-commissioned, Daejeon Health Institute of Technology, 21 Chungjeong-ro, Dong-gu, Daejeon, 34504, Republic of Korea / Tel: +82-42-670-9660 / E-mail: jsc1191@hit.ac.kr

Received 20 June 2021; Revised 25 June 2021; Accepted 28 June 2021

Copyright ©2021 by The Korean Journal of Radiological Science and Technology

선량률 등에 따라 다르게 나타난다. 지금까지 방사선과 관련된 대부분 연구는 위해성과 연관되어 연구되었으며, 그 중 고선량 X선을 임신한 흰쥐에 노출시켰을 때 선천성기형을 유발시키는 것도 있다[1]. 반면, 일부 연구자들은 저선량 X선에 대한 긍정적인 호르메시스(hormesis) 연구를 보고한 바 있다[2]. 장수풍뎅이 유충을 대상으로 한 최근 연구에서 높은 선량의 X선은 발육과 생존율에 영향을 미치는 것으로 보고되었으며[3], 무당벌레에 감마선을 조사했을 때도 생존과 발육에 유의한 영향을 미쳤다[4].

동물이나 곤충보다[5,6]는 실험이 비교적 용이한 식물에 대한 연구도 꾸준히 이루어지고 있다. 식물을 대상으로 한 연구는 대부분 저선량 감마선 조사로 인한 발아 및 수량 등 식물의 생장을 촉진시키는 결과를 보고하였다[7-9]. 반면 고선량 X선이 조사된 새싹 식물에서는 생장과 성분변화에 영향을 미치는 것으로 연구 보고되었으며[10]. 감마선의 고선량은 유전자와 성장에 영향을 주는 것으로 보고한 바 있다[11].

이처럼 식물에 대한 방사선에 대한 연구는 식량으로 사용되는 곡물에도 관심이 증가되고 있다. 최근에는 보리에 저선량의 감마선을 조사하여 순과 뿌리 길이를 측정하여 성장 정도를 확인한 연구 논문도 보고되었다[12]. 하지만, 씨앗에서 발아되는 발아율과 성장 정도를 확인한 연구 결과는 없었다. 또한, 빛은 식물의 광합성과 관계가 있는데 짧은 파장을 가진 방사선은 엽록소 돌연변이를 가져올 수 있고[13], 감마선과 광합성과 관련성에 대해 보고한 연구 결과도 있지만 [14, 15], 아직까지는 더 많은 연구가 필요하다.

이에 본 연구에서는 보리 종자에 고선량 X선을 조사했을 때 성장과 엽록소에 나타난 변화를 알아보았다.

## II. 대상 및 방법

### 1. 연구 대상

발아와 생장이 빠르고 수경재배에 적합한 보리 종자 (barley seed)를 실험 재료로 사용하였다.

보리 종자를 24시간 동안 물에 불린 후 발아하기 전에 조사한 그룹(발아전조사그룹, Pre-seed germination group)과 발아한 후 조사한 그룹(발아후조사그룹, Post-seed germination group)으로 나누었다. 각 그룹은 하위그룹(subgroup)으로 대조군(control group)과 실험군(10Gy군, 20Gy군, 30Gy군)으로 나누었고, 군당 15립씩 사용하였다.

새싹재배기 바닥에 젖은 종이 타월(paper towel)을 펴 놓

고 보리 종자를 각 군별로 분리하여 실온에서 재배하였다 [Fig. 1]. 1일에 2회 재배기에 물을 보충하고 환경적인 영향을 최소화하기 위해 동일 장소에서 재배하였다.

### 2. 연구 방법

#### 1) X선 조사

대조군을 제외한 실험군에 대해 각 군별로 방사선종양학과 의 선형가속기(Clinac IS, VERIAN, USA, 2011)를 이용하여 조사하였다. 조사는 6 MV X-ray, Source-surface distance 100 cm, field size 18 × 10 cm, dose rate 600 MU/min 조건에서 실시하였다[Fig. 2].

#### 2) 길이 및 무게 측정

보리의 기간별 생장을 관찰하기 위하여 개체별로 1일 간격으로 10일간 30 cm 자로 줄기의 길이를 동일한 연구자가 측정하여 평균을 구하였다[Fig. 3A]. 무게는 10일째 되는 날 수분을 제거 후 엽록소 측정 전에 군별로 저울을 이용하여 측정하였다[Fig. 3B]. 개체별로 측정할 수 없어 평균을 구하지 못했다.

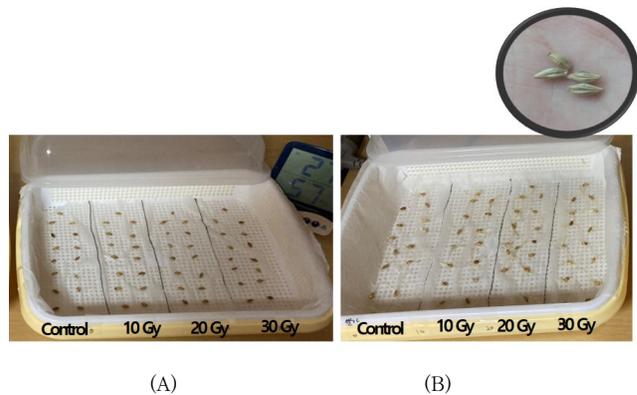


Fig. 1. Pre-seed germination group(A) and Post-seed germination group(B) in sprout cultivator and barley seed in circle

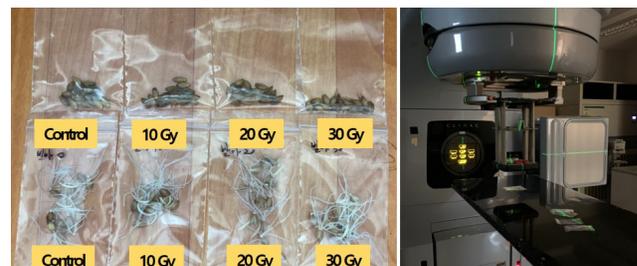


Fig. 2. Packing barley and X-ray exposing by linear accelerator (Clinac IS, VERIAN, USA)

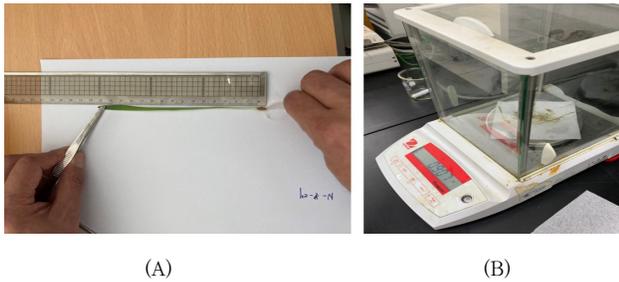


Fig. 3. Measurement of barley's length (A) and total weight (B)

### 3) Chlorophyll 측정

본 연구에서는 새싹보리 내의 주요 색소 중의 하나인 엽록소 a를 측정하기 위해 분광법을 이용하여 분석하였다(Aminot et al., 2000, 수질오염공정시험 기준 ES 04312, 1a). 새싹보리 내 클로로필 a 색소를 추출하기 위해 0.3 g의 시료를 막자사발(SC.J708, (주)대한과학, 한국)하여 분쇄하고 아세톤용액(90%)을 10 ml를 첨가하였다. 마쇄한 시료의 안정적인 색소 추출과 추가적인 반응을 방지하기 위해 마개있는 원심분리관에 넣고 밀봉한 뒤 4°C의 암실에 24시간 동안 방치하였다. 24시간 이후 500 g의 원심력으로 원심분리(Combi 508, 한일과학, 한국) 한 뒤 상등액을 층장 10 mm의 흡수셀에 옮겨 663 nm, 645 nm, 630 nm 및 750 nm의 파장에서 UV-1800 분광광도계를 이용(UV-1800, SHIMADZU, 일본)하여 측정하였고[Fig. 4], 아세톤(90%) 용액을 대조액으로 하였다. 흡광도의 계산은 아래의 식(1)과 같다.

$$\text{Chlorophyll a}(\text{mg}/\text{m}^3) = \frac{(11.64X_1 - 2.16X_2 + 0.10X_3) \times V_1}{V_2} \quad \text{식(1)}$$

X1 : OD663 - OD750

X2 : OD645 - OD750

X3 : OD630 - OD750

V1 : 상등액의 양(mL)

V2 : 여과한 시료의 양(L)

OD : optical density (흡광도)

※ 클로로필 : 광합성을 하는 생물이 가지는 동화색소의 일종으로 엽록소

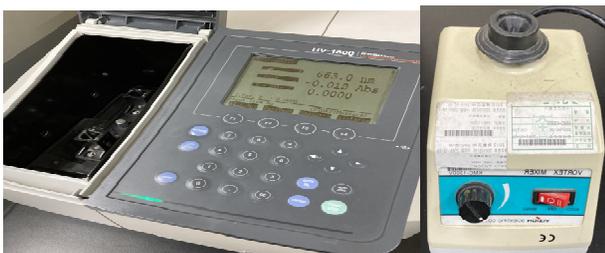


Fig. 4. Spectrophotometer (uv-1800, shimadzu, japan)

### 4) 통계 분석

모든 통계분석은 SPSS ver 22.0(Chicago, IL, USA)을 사용하여 길이는 평균과 표준오차로 나타내었다. 발아전조사그룹 또는 발아후조사그룹에서 대조군에 대해 실험군 간의 일차별 길이 차이는 일원배치분석(ANOVA test, 사후검정 Dunnett\_T3)을 실시하였고, 군내에서 발아전조사그룹과 발아후조사그룹 간에 일차별 길이 차이는 독립표본 T-검정(Independent T-test)을 실시하여 통계학적인 유의성을 검정하였다.

## III. 결과

### 1. 발아전조사그룹 생장 관찰

발아전조사그룹의 발아율은 조사 후 1일차에서 대조군 5개 발아(33.3%), 10Gy군 1개 발아(6.7%), 20Gy군 2개 발아(13.3%), 30Gy군 3개 발아(20%) 하였다. 2일차에서는 대조군 12개 발아(80%), 10Gy군 13개 발아(86.7%), 20Gy군 14개 발아(93.3%), 30Gy군 15개 발아(100%) 하였다. 3일차에서 대조군 13개 발아(86.7%), 10Gy군 14개 발아(93.3%) 하였다. 4일차에서 대조군 14개 발아(93.3%)하였고, 이후에는 모든 그룹에서 더 이상 발화하지 않았다.

발아전조사그룹 길이는 4일차부터 측정된 길이를 분석하였다[Table 1]. 조사 후 4일차에 대조군이 가장 길었고, 대조군과 30Gy군 간에는 통계학적으로 유의한 차이를 보였다(4.3 vs. 1.5,  $p=0.011$ ). 5일차와 6일차에도 대조군이 가장 길었고, 대조군과 30Gy군 간에는 10일차까지 통계학적으로 유의한 차이를 보였다( $p<0.01$ ). 7일차부터 10일차까지는 10Gy군이 가장 길었다. 모든 실험군에서 일차가 증가할수록 길이가 증가하였고, 4일차부터 10일차까지 통계학적인 유의한 차이를 보였다. 선량이 높은 군일수록 길이가 짧았다.

### 2. 발아후조사그룹 생장 관찰

발아후조사그룹은 조사 후 1일차부터 길이를 측정하였다[Table 2]. 1일차에는 30Gy군이 가장 길었고, 2일차까지는 군간에 통계학적인 유의한 차이를 보이지 않았다. 2일차부터 10일차까지는 대조군이 가장 길었고, 3일차에는 대조군은 20Gy군과 통계학적인 유의한 차이를 보였다(4.2 vs. 2.9,  $p=0.043$ ). 4일차에 대조군은 20Gy군과 30Gy군에 통계학적인 유의한 차이를 보였다( $p<0.05$ ). 5일차에서 10일차까지 대조군은 20Gy군과 30Gy군에 통계학적인 유의한 차이를 보였다( $p<0.01$ ). 대조군은 10Gy군과 7,8일차와( $p<0.05$ ),

**Table 1.** Length change after exposing X-ray in pre-seed germination group

Group	Duration after irradiation (day) unit: cm						
	4	5	6	7	8	9	10
Control ( <i>n</i> =14)	4.3 (0.7)	6.9 (0.8)	9.6 (0.9)	12.0 (1.0)	13.2 (0.9)	13.7 (1.0)	14.4 (1.0)
10Gy ( <i>n</i> =14)	4.0 (0.4)	6.5 (0.5)	9.4 (0.5)	12.2 (0.6)	13.8 (0.6)	14.6 (0.6)	15.3 (0.6)
20Gy ( <i>n</i> =14)	2.5 (0.2)	4.6 (0.3)	7.2 (0.4)	9.6 (0.5)	10.9 (0.6)	11.6 (0.6)	12.3 (0.7)
30Gy ( <i>n</i> =15)	1.5 (0.2)*	2.6 (0.3)**	3.8 (0.6)**	5.1 (0.9)**	5.8 (1.0)**	6.1 (1.1)**	6.3 (1.2)**

Data are expressed as mean with standard error and unit centimeter.

\**p*-value < 0.05, \*\**p*-value < 0.01 compared with control group after analyzing by ANOVA test (Dunnett\_T3)

**Table 2.** Length change after exposing X-ray in post-seed germination group

Group	Duration after irradiation (day) unit: cm									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Control ( <i>n</i> =15)	1.6 (0.2)	3.2 (0.3)	4.2 (0.3)	5.5 (0.5)	5.9 (0.5)	6.6 (0.6)	8.1 (0.7)	8.6 (0.8)	9.0 (0.8)	9.4 (0.9)
10Gy ( <i>n</i> =15)	1.7 (0.2)	2.8 (0.3)	3.6 (0.4)	4.3 (0.5)	4.7 (0.5)	4.9 (0.6)	5.2 (0.6)*	5.2 (0.6)*	5.2 (0.5)**	5.3 (0.5)**
20Gy ( <i>n</i> =15)	1.7 (0.6)	2.5 (0.2)	2.9 (0.2)*	3.3 (0.2)*	3.4 (0.2)**	3.4 (0.2)**	3.5 (0.2)**	3.6 (0.2)**	3.7 (0.3)**	3.7 (0.3)**
30Gy ( <i>n</i> =15)	2.0 (0.1)	3.0 (0.2)	3.4 (0.2)	3.7 (0.2)*	3.6 (0.2)**	3.6 (0.2)**	3.7 (0.2)**	3.8 (0.2)**	3.8 (0.2)**	3.8 (0.2)**

Data are expressed as mean with standard error and unit centimeter.

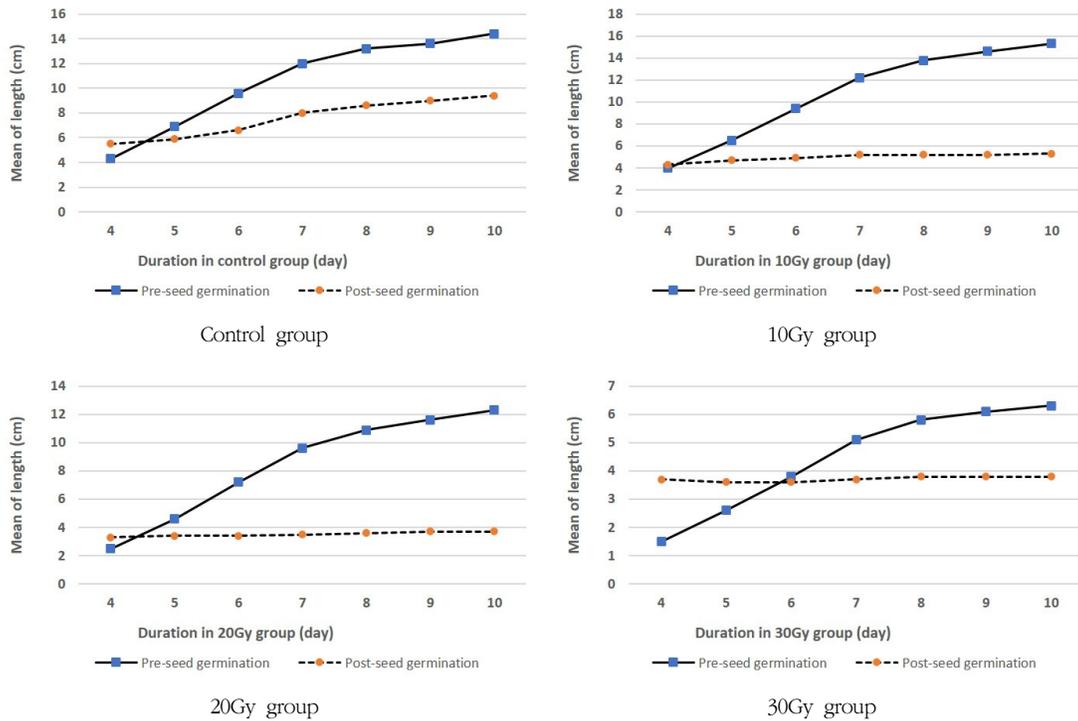
\**p*-value < 0.05, \*\**p*-value < 0.01 compared with control group after analyzing by ANOVA test (Dunnett\_T3)

9,10일차에도( $p < 0.01$ ) 통계학적인 유의한 차이를 보였다. 7일차 이후 대조군의 길이는 증가한 반면, 실험군에서는 큰 변화를 보이지 않았다. 모든 실험군에서 일차가 증가할수록 길이도 커졌지만, 군 간에 1일차부터 10일차까지 통계학적인 유의한 차이가 없었다. 10일차에서 10Gy군이 가장 길었고, 20Gy군과 30Gy군은 비슷했다.

### 3. 대조군과 실험군에서 발아 전-후 조사 간에 생장 비교

대조군과 실험군에서 발아전조사그룹과 발아후조사그룹 간에 기간에 따른 길이의 변화를 측정하여 비교하였다[Fig. 5]. 대조군에서 4일차에는 발아전조사그룹이 발아후조사그룹 보다 짧았다(4.3 vs. 5.5,  $p=0.197$ ). 5일차부터는 발아전조사그룹이 발아후조사그룹 보다 길었고, 일차가 증가할수록 차이가 커졌다. 발아후조사그룹의 길이 증가는 발아전조사그룹보다 완만하였다[Fig. 5 Control group]. 10Gy군 4일차에서 발아전조사그룹과 발아후조사그룹 간의 길이는 비슷하였다(4.0 vs. 4.3). 일차가 증가할수록 두 그룹 간에

차이는 커졌고, 5일차부터는 통계학적인 유의한 차이를 보였다(6.5 vs. 4.7,  $p=0.025$ ). 발아후조사그룹의 길이 증가는 발아전조사그룹보다 완만하였다[Fig. 5 10Gy group]. 20Gy군 4일차에서 발아전조사그룹이 발아후조사그룹 보다 길이가 짧았지만(2.5 vs. 3.3,  $p=0.043$ ), 급격한 성장을 보여 5일차부터는 더 길었다(4.6 vs. 3.4,  $p=0.009$ ). 일차가 증가할수록 발아전조사그룹은 급격한 성장을 보였지만, 발아후조사그룹은 성장에 큰 변화가 없어 두 그룹 간에 차이는 더 커졌다[Fig. 5 20Gy group]. 30Gy군 4일차에서 발아전조사그룹과 발아후조사그룹 간에 큰 차이를 보였다(1.5 vs. 3.7,  $p < 0.001$ ). 일차가 증가할수록 발아전조사그룹은 급격한 성장을 보였지만, 발아후조사그룹은 완만한 성장을 보임으로써 6일차에는 큰 차이가 없었다(3.8 vs. 3.6,  $p=0.748$ ). 6일차 이후에는 더 큰 차이를 보였지만 통계학적인 유의한 차이는 보이지 않았다[Fig. 5 30Gy group]. 모든 군에서 일차가 증가할수록 두 그룹 간에 차이는 커졌고, 실험군에서 선량이 높을수록 두 그룹 간에 역전되는 시기는 늦게 나타났다.



**Fig. 5.** Length comparison between pre and post-seed germination according to duration after exposing X-ray in group. Statistical analysis was performed by Independent T-test.

4. 대조군과 실험군 간에 무게 측정 비교

조사 후 10일 째 클로로필 a 측정 전에 군별 무게를 측정하여 비교하였다[Table 3]. 발아전조사그룹에서는 10Gy군이 가장 무거웠고, 20Gy군 대조군 30Gy군 순으로 가벼웠다. 발아후조사그룹에서는 대조군이 1.360 g 으로 가장 무거웠고, 20Gy군이 가장 가벼웠다. 발아후조사그룹이 발아

전조사그룹 보다 모든 군에서 가벼웠고, 10Gy군이 가장 큰 차이를 보였다.

5. 대조군과 실험군 간에 클로로필 a 측정 비교

선량에 따라 발아전조사그룹과 발아후조사그룹에서 클로로필 a 농도가 차이가 났다[Table 4]. 발아전조사그룹에서

**Table 3.** Total amount of barley's weight according to radiation dose by exposing X-ray

Group	Pre-seed germination group	Post-seed germination group
Control	2,232 g	1,360 g
10 Gy	2,712 g	0,997 g
20 Gy	2,252 g	0,813 g
30 Gy	1,560 g	0,904 g

**Table 4.** Chlorophyll a measurement according to radiation dose by exposing X-ray

Wavelength (nm)	Pre-seed germination group				Post-seed germination group			
	Control	10Gy	20Gy	30Gy	Control	10Gy	20Gy	30Gy
663	0,550	0,521	0,594	1,396	0,801	0,981	1,11	1,438
645	0,213	0,225	0,229	0,528	0,298	0,367	0,417	0,537
630	0,116	0,142	0,125	0,288	0,159	0,2	0,23	0,293
750	0,003	0,033	0,002	-0,001	-0,008	-0,003	0,002	-0,003
Chlorophyll a (ppm)	0,17	0,16	0,19	0,43	0,25	0,30	0,35	0,44

대조군이 10Gy군 보다 높게 나타났고(0.17 vs. 0.16), 실험군에서는 선량이 높은 군일수록 높은 농도를 보였다. 발아 후조사그룹에서 대조군에 비해 실험군에서 높게 나타났고, 실험군에서도 선량이 높을수록 높은 농도를 보였다. 발아전 조사그룹과 발아후조사그룹 간에는 발아후조사그룹이 모든 군에서 높게 나타났다.

#### IV. 고 찰

본 연구에서는 보리 종자에 고선량 X선을 조사하여 발아율 및 길이, 무게와 엽록소에 나타난 변화에서 의미있는 결과를 얻었다. 고선량 X선을 이용하여 식물의 성장과 엽록소 변화에 대한 연구는 매우 드물고 의미가 큰 연구라 여겨진다. 식물을 대상으로 한 방사선 연구는 대부분 저선량 감마선에 의한 긍정적인 영향을 밝힌 결과이다.

참박과 호박 종자의 발아촉진을 위한 저선량 감마선의 효과 연구[9]에서 저선량을 조사한 참박과 호박종자의 발아율은 대조군보다 증가하는 경향을 보임으로써 참박과 호박종자의 발아와 유묘생육 및 생리활성은 저선량 감마선 조사에 의해 촉진됨을 확인할 수 있었다. 묵은 배추종자에 저선량 감마선을 조사했을 때 발아율과 수량증가 효과를 가져왔다[8]. 본 연구의 발아전조사그룹에서 1일차에는 대조군의 발아율이 33.3%로 가장 높았지만, 4일차부터는 모든군에서 더 이상 발아하지 않았고, 군 간에 큰 차이를 보이지 않아 선량은 발아에 영향을 미치지 않았다.

저선량 감마선 조사된 밀과 보리의 뿌리와 순의 길이를 측정 한 연구[12]에서는 밀의 뿌리는 방사선 조사 후 2일까지 대조군과 실험군의 길이가 비슷했지만, 3일부터는 0.4 kGy와 0.5 kGy 군에서 성장이 지연되어 길이가 현저히 감소하였고, 선량이 증가할수록 길이가 감소하는 경향을 보였다. 보리 순의 길이도 조사 후 2일까지 조사선량 간에 유의한 차이가 없었지만, 3일부터 조사선량에 따른 차이를 보이기 시작하여 조사선량이 높을수록 순의 길이도 짧았다. 우리 연구의 발아전조사그룹에서는 일차가 증가할수록 모든 군에서 성장하였다. 대조군에 대해 10Gy군과 20Gy군은 통계적인 유의한 차이를 보이지 않았지만, 30Gy군과는 모든 일차에서 통계학적인 유의한 차이를 보였다. 따라서 우리 연구 결과는 Oh 등과(2001) 결과 유사하게 선량이 증가할수록 길이가 짧았다. 발아후조사그룹에서는 대조군에 대해 실험군의 차이가 일차가 증가할수록 더 큰 차이를 보였는데, 이는 발아전조사 보다 발아후조사 했을 때 X선 선량은 보리 성장에 더 큰 영향을 미치는 것임을 알 수 있었다.

밀의 뿌리는 순보다 방사선 조사에 더 민감하게 반응하여 0.2 kGy 이상부터 성장이 억제되어 완전한 성장곡선을 보였지만[12], 우리 연구에서는 뿌리의 길이를 측정하지 않아 비교할 수 없었다. 향후에는 뿌리의 길이도 측정하여 비교할 필요가 있었다. 저선량 베타선을 조사했을 때[16] 춘향이 열무와 알타리 무는 낮은 누적선량영역(0.01~0.2 Gy)에서 길이와 무게, 잎의 수가 증가하였지만, 실험군의 세포의 크기, 핵의 위치와 세포의 조밀도는 대조군과 유사하게 현미경으로 관찰되었다.

고선량 방사선에 대한 유해성은 이미 많은 동물실험결과를 통해 알려져 왔다. 우리 연구는 식물을 대상으로 고선량으로 실험하였기 때문에 직접 비교할 연구 결과가 부족한 편이지만, 식물에서는 성장을 방해하는 것으로 보고한 바 있다[10]. 귀리(*avena sativa*)에 고선량 감마선을 조사했을 때 생육은 감소하였고, 돌연변이는 증가하였고[11], 식물 6종의 새싹 식물 종자에 고에너지 X선을 조사한 연구에서 [10] 고에너지 X선은 식물의 성장에 직, 간접작용을 일으켜 구성 성분에 영향을 미치는 것으로 확인하였다.

벼의 종자 발아와 생육 및 광합성에 대한 저선량 감마선과 성장조절물질의 상승작용 효과에 대한 연구에서 광합성 능력은 성장조절물질 처리에 의해서만 부분적으로 차이를 보인 것으로 확인되었다[15]. 클로로필 a는 모든 광합성 식물 및 조류에 존재하는 녹색 색소로서 일반적으로 유기물의 건조량의 1~2%정도를 차지하고 있으며 바이오매스 또는 광합성 시 식물의 성장에 관하여 평가하는데 유용하다[17]. 클로로필 a 색소 분석 결과, 방사선 선량에 따라 발아한 시료와 미발아 시료에 엽록소 농도가 차이가 남을 확인할 수 있었다. 특히 가장 큰 차이를 보이는 0 Gy와 30Gy간에 A그룹은 -0.46 ppm, B그룹은 -0.67 ppm의 차이를 나타냈는데, 이는 감마선 조사에 따라 녹차잎 추출 물질 내 클로로필 a 양이 감소한다는 결과를 보고한 Son 등(2001)의 연구 결과와 유사하다고 할 수 있다. 하지만, 식품의 기능성을 향상시키기 위해 방사선을 조사하는 경우는 많이 있었지만 생물의 성장에 영향을 미치는 부분에 대한 연구는 거의 없기 때문에 이들의 결과로부터 보리 종자의 성장 및 무게, 성장 지표로 볼 수 있는 클로로필 a 등에 대해 영향을 미친다는 것은 유의미한 결과라 할 수 있다.

#### V. 결 론

X선에 노출된 보리의 성장과 엽록소를 측정된 결과, 아래 같은 결과를 얻었다.

발아전조사그룹의 길이는 조사 후 4일차에 대조군과 30Gy군 간에는 통계학적으로 유의한 차이를 보였다(4.3 vs. 1.5,  $p=0.011$ ). 모든 일차에서 대조군에 대해 10Gy군과 20Gy군은 유의한 차이를 보이지 않았지만, 30Gy군에는 통계학적으로 유의한 차이를 보였다(10 day; 14.4 vs. 6.3,  $p<0.01$ ). 실험군에서는 선량이 높은 군일수록 길이가 짧았다. 발아후조사그룹의 길이는 1일차에서 대조군에 대해 실험군은 통계학적인 유의한 차이를 보이지 않았으나, 조사 후 기간이 증가할수록 대조군에 대한 실험군의 차이는 커졌다. 10일차에서는 대조군에 대해 모든 실험군의 길이가 유의하게 짧았고( $p<0.01$ ), 실험군 간에는 유의한 차이가 없었다. 엽록소 분석 결과, 발아전조사그룹과 발아후조사그룹에서 방사선 선량이 높아짐에 따라 엽록소 농도는 높아졌다. 대조군은 30 Gy군에 비해 낮은 농도를 보였다(발아전조사 그룹 0.26 ppm, 발아후조사그룹 0.29 ppm).

따라서, X선은 보리의 생장 및 무게, 엽록소 형성에 영향을 미치는 것을 확인하였고, 향후 방사선 생물학 연구의 기초자료로 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

## REFERENCES

- [1] Lee WJ, Han SR, Jeong O, Kim SI, Cho MJ, Kim WS. Radiation-induced congenital anomalies in the rat fetuses. *Korean Journal of Physical Anthropology*. 2001;14(2):159-68.
- [2] Lee WJ, Son SK, Lee MA, Yang YS, Kim WS. Low-dose radiation-induced hormetic effect in the rat ovarian follicle. *Korean Journal of Physical Anthropology*. 2007;20(3):201-11.
- [3] Lee WJ, Lim DH, Park JS, Sim YE, Jeong YJ, Kim JH, et al. Effects of X-ray irradiation on the survival rate and weight of the rhinoceros beetle larvae. *J Korean Soc Radiol*. 2020;14(3):271-7.
- [4] Seo MJ, Lee HJ, Kang EJ, Kang SY, Yu YM, Youn YN. Effects of gamma irradiation on the survival and development of the multicolored asian ladybird beetle, *harmonia axyridis* (Coccinellidae, Coleoptera). *Korean Journal of Applied Entomology*. 2011;50(4):335-42.
- [5] Kim JO, Choi JH, Shin JH, Jung DY, Min BI. The effects of *cynanchi wilfordii* radix ethanol extracts upon irradiated rat's blood and organ. *J Radilo Sci Technol*. 2016;39(3):451-9.
- [6] Jung DY, Choi HS, Kim JO, Shin JH, Kim JH, Park GJ, et al. Radiation protective effect of selenium and folic acid mixtures in the development of congenital anomalies following radiation exposure to the fetus of perinatal female white rats. *J Radilo Sci Technol*. 2018;41(2):157-62.
- [7] Kim JS, Kim JK, Lee YK, Baek MH, Gim JK. Effects of low dose gamma radiation on the germination and yield components of chinese cabbage. *Korean Journal of Environmental Agriculture*. 1998;17(3):274-8.
- [8] Kim JS, Lee YK, Baek MH, Lee YB, Park YS. Influence of the low dose r-ray radiation on the old seed germination and growth of chinese cabbage. *Korean J Environ Biol*. 1999;17(1):11-5.
- [9] Kim JS, Baek MH, Lee YK, Lee HY, Yoo JC. Effect of low-dose gamma radiation to engance germination rate in bottle gourd and pumpkin seeds. *Korean Journal of Environmental Agriculture*. 2002;21(3):202-7.
- [10] Jeon BK, Yeo JD. Experimental study for the irradiation effect of high energy X-ray on the growth of sprout plants seeds. *J Korean Soc Radiol*. 2017;11(6):539-45.
- [11] Ryu JH, Kwon SJ, Im SB, et al. Effects of gamma-ray irradiation on radio sensitivity in oat (*Avena sativa*). *Korean J Plant Res*. 2016;29(1):128-35.
- [12] Oh KN, Kim KE, Yang JS. Germination properties of wheat and barley exposed to gamma irradiation. *J Fd Hyg Safety*. 2001;16(2):139-44.
- [13] Lee SB. Effect of radiation on the M1 plant growth and chlorophyll mutation in *brassica rapa* var. *pekinensis*. [master's thesis]. Perth: Chonbuk National University; 2007.
- [14] Koepp R, Kramer M. Photosynthetic activity and distribution of photoassimilated  $^{14}C$  in seedlings of *Zea mays* grown from gamma-irradiated seeds. *Photosynthetica*. 1981;15(1):484-93.
- [15] Baek MH, Chung BY, Kim JH, Wi SG, Kim JS, Lee IJ. Synergistic effects of low dose gamma irradiation and growth regulators on seed germination,

- growth and photosynthesis in rice(*Oryza sativa* L.), Korean J Environ Biol. 2005;23(1):64-70.
- [16] Lee BK, Im IC, Kim JE. Influences of the plant growth under beta-rays irradiation at low dose. J Korean Soc Radiol. 2010;33(2):143-8.
- [17] Aminot A, Rey F. Standard procedure for the determination of chlorophyll a by spectroscopic methods. International Council for the Exploration of the Sea; 2000.
- [18] Son JH, Jo C, Kim MR, Kim JO, Byun MW. Effect of gamma irradiation on removal of undesirable color from green tea extracts. J Korean Soc Food Sci Nutr. 2001;30(6):1305-8.

구분	성명	소속	직위
제1저자	이원정	대전보건대학교 방사선과	조교수
공동저자	이모권	대전보건대학교 환경보건과	조교수
공동저자	이배원	나은병원 영상의학과	팀장
공동저자	유세종	대전보건대학교 방사선과	조교수
공동저자	이중록	대전보건대학교 방사선과	학부생
공동저자	김하늘	대전보건대학교 방사선과	학부생
교신저자	정순철	대전보건대학교 의무부사관과	조교수