

Effect of Fractionated X-ray Irradiation on Sprouted Barley Growth and Chlorophyll Concentration

In Suck Park¹, Won-Jeong Lee², Sang-Bok Jeong^{2,*}

¹Founder of Hospital

²Department of Radiology, College of Radiology and Medical Science, Daejeon Health Institute of Technology

Received: November 29, 2023. Revised: December 27, 2023. Accepted: December 31, 2023.

ABSTRACT

In study, we investigated changes on growth and chlorophyll concentration on sprouted barley by fractionated X-ray irradiation (FXI). Group was divided into the control group (CG), 1-time irradiation group (30 Gy once), 2-time irradiation group (15 Gy 2 times), and 3-time irradiation group (10 Gy 3 times), and 20 grains were used per group. Experimental group (EG) was exposed by using linear accelerator (Clinac IS, VERIAN, USA), by 6 MV X-ray, SSD 100 cm, 18 x 10 cm², 600 MU/min. Length was measured every day until 9th day, and chlorophyll was analyzed using spectrophotometer(uv-1800, shimadzu, japan) in 9th day. Data analysis was performed the One-way ANOVA using SPSS ver 26.0(Chicago, IL, USA). In the pre-germination irradiation group (Pre-GIG), the CG had greater length than the EG on all measurement days, and as the number of FXI increased, the length became shorter. In the post-germination irradiation group (Post-GIG), the length of the CG was statistically significantly greater than that of the EG on all measurement days, and as the number of FXI increased, the length also became longer. The chlorophyll concentration was higher in the Post-GIG than in the Pre-GIG, and chlorophyll concentrations of EG was higher in the Pre-GIG than in the CG, as well as and Post-GIG. In addition, the smaller the number of FXI, the higher the chlorophyll concentration in both groups. FXI was found to affect the growth and chlorophyll concentration of sprouted barley.

Keywords: X-ray, Fractionated Irradiation, Barley Seed, Chlorophyll, Growth

I. INTRODUCTION

X선은 1895년 뢰트겐박사에 의해 발견된 이래, 의학 및 산업, 원자력 등에 널리 사용되어 왔으며, 특히 사람의 질병 진단 및 치료에 유용하게 사용되고 있지만, 방사선에 노출된 생명체의 내부에서는 물리화학적 과정에서 전리와 여기를 일으킴으로써 암, 돌연변이, 염색체 이상 등의 생물학적인 영향을 일으키는 것이 많은 연구를 통해 알려져 왔다.

암컷 흰쥐를 대상으로 한 연구에서는 고 에너지의 높은 선량률 X선은 선천성 기형을 유발하지만^[1], 고 에너지의 낮은 선량률 X선을 암컷 흰쥐 난소

에 조사 했을 때는 긍정적인 효과를 가져왔다^[2].

곤충을 대상으로 한 연구에서도 고 에너지 X선이나^[3] 감마선은^[4] 발육과 생존율에 부정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다.

식물을 대상으로 한 연구에서 고 에너지의 높은 선량률 X선은 생장과 엽록소 형성에 영향을 미치고^[5], 낮은 선량률에서는 발아율과 수량을 증가시키는 것으로 나타났다^[6].

방사선이 생명체에 미치는 영향은 방사선의 종류, 에너지 세기, 선량, 선량률, 개체의 종, 분할조사 방식, 동식물 등에 따라 나타나는 영향은 다르다. 특히, 동일한 선량의 방사선을 한번에 조사하는

* Corresponding Author: Sang-Bok Jeong

E-mail: jsb@hit.ac.kr

Tel: +82-42-670-9178

것 보다 분할 조사를 하게 되면 아치사장해 받은 세포의 회복으로 생존율이 증가한다.

분할조사에 대한 연구는 마우스의 피부세포, 마우스 공장 소낭선세포, 마우스의 비장세포 등을 통해 이루어 졌고^[7-9], 방사선을 이용한 암 치료 시 분할 조사에 따른 연구 결과도 보고된 바 있다^[10-12]. 이와 같이 동물과 사람에서 암치료에서 X선의 분할조사에 대한 연구결과는 보고된 바 있지만, X선 분할조사가 식물의 성장에 미치는 영향은 아직까지 보고된 바 없다.

이와 같은 배경 하에, 우리 연구에서는 X선을 새싹 보리에 분할조사 후 성장과 엽록소(클로로필) 농도의 변화를 알아보았다.

II. MATERIALS AND METHODS

1. 대상

식물 중 새싹보리는 생장이 빠르고, 수중으로 쉽게 재배할 수 있어 실험재료로 사용하였다^[5]. 보리 종자를 빛이 들지 않는 어두운 곳에서 하루 동안 물에 담근 후 발아전조사그룹(싹트기 전 X선 조사 그룹)과 발아후조사그룹(싹튼 후 X선 조사 그룹)으로 나누었다. 각 조사그룹은 대조군, 1회조사군(30 Gy 1회), 2회조사군(15 Gy 씩 2회), 3회조사군(10 Gy 씩 3회)으로 나누었다(20개 씩 사용/군). 종이 타월에 물을 적신 후 재배기 바닥에 펴 놓고 보리 종자를 각 군별로 분리하여 실온에서 Fig. 1-(a)과 같이 재배하였다. 하루에 두번 군별로 물을 보충하고 같은 장소에서 키우면서 온도나 습도 등이 일정한 환경에서 키웠다.

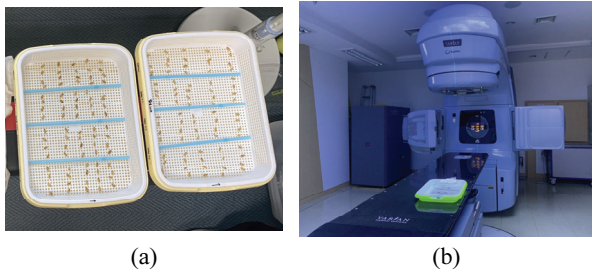


Fig. 1. (a) barley seed in experimental and control group, (b) barley seed exposed by X-ray using linear accelerator.

2. X선 조사

발아전조사그룹과 발아후조사그룹은 대조군을 제외한 실험군에 대해 선형가속기(Clinac IS, VERIAN, USA, 2011)를 이용하여(Fig. 1. B) 6 MV X-ray, Source-surface distance 100 cm, field size 18 x 10 cm², dose rate 600 MU/min 로 조사 하였다^[5]. 분할조사는 24시간 간격으로 동일조건에서 선량만을 변경시켜 조사하였다.

3. 줄기 길이 및 무게 측정

X선 조사 후 4일째 부터 1일 간격으로 9일째 까지 30 cm 자로 줄기의 길이(씨앗의 줄기가 시작된 부분부터 줄기 끝 까지 측정)를 동일한 연구자가 측정하여 평균과 표준편차를 구하였다.

4. 클로로필 a (Chlorophyll a) 측정

클로로필 a 농도는 분광광도법을 이용하여 측정 하였다. 보리시료를 무게 저울로 약 0.3 g 으로 측정 한 후, 조직마쇄기를 이용하여 분쇄하였다(SC.J708, (주)대한과학, 한국). 분쇄된 보리시료에 아세톤(9+1) 용액을 10 ml 첨가한 후, 보리 내 클로로필 a 색소를 추출하였다.

보리시료가 빛에 의한 광합성이 다시 일어나지 않도록 하기 위해 원심분리관에 넣고 마개를 닫은 후 24시간 동안 4°C의 어두운 곳에서 보관 하였다. 24시간 이후 상등액 추출을 위해 500 g 의 원심력을 가한 원심분리기(Combi 508, 한일과학, 한국)에서 상등액을 층장 10 mm 의 흡수셀에 옮겨 663 nm, 645 nm, 630 nm 및 750 nm의 파장에서 UV-1800 (SHIMADZU CO.) 분광광도계를 이용(UV-1800, SHIMADZU, 일본)하여 측정하였다. 대조액으로는 아세톤(9+1) 용액을 이용하였다. Chlorophyll a 의 측정을 위한 흡광도의 계산은 Eq. (1)과 같다.

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

X1 :	OD663-OD750	OD :	optical density(흡광도)
X2 :	OD645-OD750	V1 :	상등액의 양(mL)
X3 :	OD630-OD750	V2 :	여과한 시료의 양(L)

5. 통계분석

모든 데이터는 SPSS ver 26.0(Chicago, IL, USA)으로 평균과 표준편차로 나타낸 후 One-way ANOVA 분산 분석을 실시하여 각 그룹 내에서 대조군에 대해 실험군의 줄기 길이 차이를 분석하였으며, 사후 검정으로 Dunnett T3를 시행하였다.

III. RESULTS

1. 발아전조사그룹에서 대조군과 실험군 간에 보리 생장 비교

Table 1은 발아전조사그룹에서 대조군과 실험군의 줄기 길이를 X선 조사 후 4일째부터 9일째 까지 측정된 결과이다.

측정 기간 내내 대조군이 실험군 보다 길이가 컸고, 1회조사군에서 2회조사군, 3회조사군으로 갈수록 줄기길이가 짧게 나타나 분할조사 횟수가 증가할수록 길이는 짧았다. 대조군과 1회조사군은 모든 측정일차에서 대조군의 길이가 컸지만, 통계학적인 유의한 차이를 보이지는 않았다.

대조군에 대해 4일째에는 2회조사군과 유의한 차이를 보였고(5.69 vs. 3.26, $p=0.047$), 5일째, 6일째, 8일째, 9일째에는 2회조사군과 3회조사군과 유의한 차이를 보였다($p < 0.05$). 7일째에는 대조군과 3회조사군 간에 유의한 차이를 보였다(10.53 vs. 7.01, $p=0.055$).

4일차와 9일차의 길이 차이는 대조군 7.13 cm (5.69 vs. 12.82), 1회조사군 6.90 cm(4.15 vs. 11.05), 2회조사군 5.94 cm(3.26 vs. 9.20), 3회조사군 4.15 cm(3.68 vs. 7.83) 으로 나타남으로써 대조군이 가장 큰 차이를 보였고, 실험군에서는 분할횟수가 가장 많은 3회조사군이 가장 작은 차이를 보였다.

2. 발아후조사그룹에서 대조군과 실험군 간에 보리 생장 비교

Table 2는 발아후조사그룹에서 대조군과 실험군의 줄기 길이를 X선 조사 후 4일째 부터 9일째 까지 측정된 결과이다.

대조군이 실험군 보다 측정기간 내내 통계학적

으로 유의하게 길이가 컸고, 1회조사군에서 2회조사군, 3회조사군으로 갈수록 줄기길이가 길게 나타나 분할조사 횟수가 증가할수록 길이도 길었다.

4일차와 9일차의 길이 차이는 대조군 5.63 cm (9.12 vs. 14.75), 1회조사군 1.17 cm(1.91 vs. 3.08), 2회조사군 1.61 cm(4.06 vs. 5.67), 3회조사군 1.87 cm(6.80 vs. 8.67) 으로 나타남으로써 대조군이 가장 큰 차이를 보였고, 실험군에서는 분할횟수가 가장 많은 3회조사군이 가장 큰 차이를 보였다.

3. 발아전조사그룹과 발아후조사그룹에서 대조군과 실험군 간에 클로로필 농도 비교

Table 3은 발아전후 조사그룹의 1회조사군, 2회조사군, 3회조사군에 따른 클로로필 a 농도를 나타내었다.

발아전조사그룹에서 클로로필 a 농도는 대조군 0.231로 가장 낮았고, 3회조사군 0.267, 2회조사군 0.274, 1회조사군 0.309로 나타났다.

발아후조사그룹의 클로로필 a 농도는 대조군 0.247로 가장 낮았고, 3회조사군 0.248, 2회조사군 0.287, 1회조사군 0.322로 나타났다.

발아전과 발아후조사그룹 간에 대조군(0.231 vs. 0.247), 3회조사군(0.267 vs. 0.248), 2회조사군(0.274 vs. 0.287), 1회조사군(0.309 vs. 0.322)은 차이를 보였다.

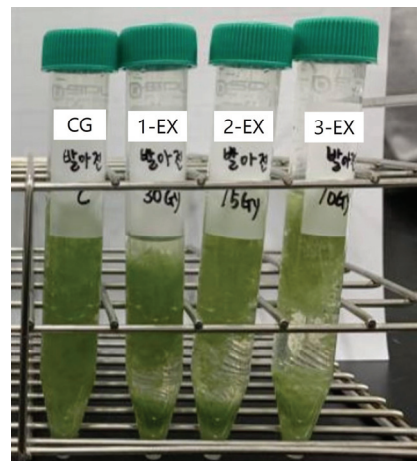


Fig. 2. Chlorophyll a comparison between control group (CG) and experimental group (1-Ex, 2-Ex, 3-Ex) in pre-seed germination group.

Table 1. Length comparison of CG and EG in pre-seed germination group

Group	Duration after irradiation (day)												[unit: cm]	
	4		5		6		7		8		9			
	M(SE)	P	M(SE)	P	M(SE)	P	M(SE)	P	M(SE)	P	M(SE)	P		
CG(n=16)	5.69 (2.74)	-	8.26 (3.33)	-	9.90 (3.53)	-	10.53 (4.34)	-	12.03 (3.75)	-	12.82 (3.91)	-		
1-Ex(n=20)	4.15 (1.92)	0.329	6.74 (2.78)	0.612	8.39 (3.12)	0.697	9.60 (3.36)	0.978	10.43 (3.34)	0.701	11.05 (3.49)	0.643		
EG 2-Ex(n=17)	3.26 (2.10)	0.047	4.99 (2.80)	0.028	6.34 (3.12)	0.027	7.44 (3.23)	0.155	8.47 (3.07)	0.035	9.20 (3.04)	0.036		
3-Ex(n=18)	3.68 (2.26)	0.150	5.36 (2.75)	0.057	6.51 (2.78)	0.026	7.01 (2.63)	0.055	7.62 (2.65)	0.003	7.83 (2.54)	0.001		

M = mean, SE = standard deviation, CG = control group, EG = experimental group, Ex = exposed. P = p-value. P-value was calculated by ANOVA with Dunnett T3 using gold standard the CG.

Table 2. Length comparison of CG and EG in post-seed germination group

Group	Duration after irradiation (day)												[unit: cm]	
	4		5		6		7		8		9			
	M(SE)	P	M(SE)	P	M(SE)	P	M(SE)	P	M(SE)	P	M(SE)	P		
CG(n=20)	9.12 (2.33)	-	11.11 (2.37)	-	12.71 (2.71)	-	13.85 (2.82)	-	14.72 (2.67)	-	14.75 (2.83)	-		
1-Ex(n=18)	1.91 (0.78)	< .001	2.23 (0.89)	< .001	2.52 (0.99)	< .001	2.80 (1.06)	< .001	2.94 (0.96)	< .001	3.08 (0.95)	< .001		
EG 2-Ex(n=18)	4.06 (1.71)	< .001	4.63 (1.69)	< .001	5.02 (1.65)	< .001	5.36 (1.67)	< .001	5.52 (1.72)	< .001	5.67 (1.81)	< .001		
3-Ex(n=20)	6.80 (1.71)	< .001	7.59 (1.96)	< .001	8.00 (2.13)	< .001	8.44 (2.23)	< .001	8.61 (2.29)	< .001	8.67 (2.28)	< .001		

M = mean, SE = standard deviation, CG = control group, EG = experimental group, Ex = exposed. P = p-value. P-value was calculated by ANOVA with Dunnett T3 using gold standard the CG.

Table 3. Comparison of chlorophyll a density between X-ray radiation dose

Wavelength(nm)	Pre-seed germination group				Post-seed germination group			
	Control	3-Ex(n=18)	2-Ex(n=17)	1-Ex(n=20)	Control	3-Ex(n=20)	2-Ex(n=18)	1-Ex(n=18)
663	0.885	1.025	1.050	1.175	0.948	0.950	1.100	1.225
645	0.185	0.205	0.220	0.185	0.205	0.195	0.220	0.195
630	0.180	0.200	0.215	0.185	0.195	0.195	0.215	0.195
750	0.002	0.005	0.002	0.004	0.002	0.002	0.004	0.005
Chlorophyll a (ppm)	0.231	0.267	0.274	0.309	0.247	0.248	0.287	0.322

IV. DISCUSSION

방사선의 유해한 영향 연구는 체르노빌이나 후쿠시마 등 원자력발전 사고 등에서 높은 선량에 피폭된 집단을 대상으로 오랜 시간이 경과 후 발생하는 암 등의 질병 발생 조사를 통한 역학 연구가 이루어지지만, 실험 연구는 짧은 기간 내에 결과를 얻어야 하기 때문에 동물실험에서는 쥐(rat)^{1,2,6}, 식

물실험에서는 보리 등^{5,13,14}이 생장 주기(life cycle)가 빨라 실험대상으로 많이 사용되고 있다.

동물을 대상으로 한 방사선 영향 연구에서 고 선량 X선에서는 선천적인 기형이 유발되었지만¹, 저 선량 X선은 호르메시스 효과가 나타나는 것으로 보고된 바 있다². 식물에 방사선의 영향에 대한 연구에서^{5,14} 새싹보리에 고 선량 X-선을 조사 후 생장의 변화를 보기 위해 길이를 측정된 결과, 대조

군에 비해 유의하게 짧게 나타났고, 무게 또한 낮게 나타남으로써 고 선량 X선은 생장에 영향을 주는 것으로 나타났다.

방사선의 분할조사에 대한 연구는 사람^[10,11] 및 동물^[7,8,9]을 대상으로 이루어져 왔다.

저선량 방사선을 마우스에 전신 분할 조사한 후 면역계통의 변화에 대한 연구에서^[7] 방사선에 의해 혈소판과 적혈구 수는 큰 변화가 나타나지 않았고, 선량에 따라 감소를 보인 백혈구 수는 시간이 지남에 따라 점차 정상 수치를 보였다. 방사선이 조사된 군에서 눈에 띄는 임상 증상이나 체중이 크게 감소되지 않았고, 마우스에서 저선량 분할조사는 면역학적 변화가 일어나는 것을 알 수 있었다.

전골반 방사선 분할 조사 시 방사선량에 따른 염색체이상 빈도의 변화 양상에 대한 연구에서는^[10] 자궁경부암환자의 말초혈액을 채취하여 말초혈액 림프구의 염색체 이상 빈도를 측정된 결과, 신체 일부에 X선을 분할조사 할 경우 일정범위 이하의 방사선량에서는 방사선에 의한 염색체 이상 빈도가 직선적으로 증가하는 것으로 나타났다.

방사선의 분할조사는 암치료에 많이 이용되는데, 분할조사 후 시간 경과에 따른 피폭 받은 세포의 회복이 일어나기 때문이다. 미분화 및 미성숙한 암세포의 감수성이 정상 세포 보다 높아 여러 차례 분할 조사 하면 암세포는 사멸하고 정상세포는 회복하는 기전을 이용하여 치료효과를 높일 수 있다. 뇌종양 세포와 정상 간뇌 세포, 간암 세포와 정상 간세포에 대한 분할조사 연구에서^[12] *In vitro* 실험을 통해 방사선 조사 후 G2/M phase arrest가 최대가 되는 시간과 조사 시간간격을 일치시키는 최적 분할조사에서 암 세포 살상효과(cell killing effect)의 증가를 확인했으며, V-shaped dose pattern 적용 시 Triangle shaped dose pattern에 비해 생존율이 증가함을 확인하였다.

방사선조사에 따른 식물의 생리변화에서 발아율과 생장, 발현 등에 관한 연구 결과는 보고되어 왔지만^[15], 분할조사가 식물의 생장 및 클로로필 농도 변화 등에 관한 연구는 보고된 바 없다.

새싹 보리의 생장에 X선의 분할조사가 미치는

영향을 알아본 본 연구에서 발아전조사그룹에서 대조군과 실험군 간에 보리 생장 비교하였다. 대조군이 실험군 보다 측정 기간 내내 길이가 컸고, 1회 조사군에서 2회조사군, 3회조사군으로 갈수록 줄기 길이가 짧게 나타나 분할조사 횟수가 증가할수록 길이는 짧았다. 따라서, X선은 생장을 저해 시키고, 분할조사가 오히려 더 부정적인 영향을 가져 오는 것으로 나타나, 사람 세포에서 나타난 긍정적인 효과^[12]와는 상반된 결과가 나타났다.

발아후조사그룹에서 대조군과 실험군 간에 보리 생장 비교한 결과에서는 대조군이 실험군 보다 측정 기간 내내 통계학적으로 유의하게 길이가 컸고, 1회조사군에서 2회조사군, 3회조사군으로 갈수록 줄기 길이가 길게 나타나 분할조사 횟수가 증가할수록 길어도 길게 나타남으로써 사람 세포에서 나타난 긍정적인 효과^[12]와 부합하였다. 이는 분할조사가 조사시간 간격에 따라 아치사장해 받은 세포가 회복함으로써 나타난 결과로 여겨진다. 우리 연구에서 분할조사는 발아전조사그룹과 발아후조사그룹간에 상반된 결과를 얻을 수 있었다.

380 ~ 750 nm 범위의 빛의 파장은 식물의 생장에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 왔고^[13], 전자기파인 X-선은 0.01 ~ 10 nm 파장 범위이다.

클로로필(chlorophyll)은 식물에서 빛에 의한 광합성을 정량평가 하는데 많이 이용되고 있다. X선이 클로로필 농도에 미치는 영향 연구에서^[5,14] 선량이 높아질수록 농도가 높아지는 결과를 보였고, 실험재료의 생산 년도에 따른 연구에서는 묵은보리 보다 햇보리의 클로로필 농도가 높은 결과를 보였다^[14].

X선의 분할조사에 따른 클로로필 농도 변화를 알아 본 우리 연구에서는 발아전조사그룹 보다 발아후조사그룹이 클로로필 농도가 높았고, 발아전조사그룹과 발아후조사그룹 모두 대조군에 비해 실험군에서 모두 클로로필 농도가 높았다. 또한, 분할횟수가 적을수록 클로로필 농도는 높아지는 결과를 보였다.

본 실험은 연구자가 상용화된 줄자로 길이를 측정하여 오차가 있을 수 있는 제한점을 갖고 있고, 모든 식물에 적용하기에는 적절치 않고, 다양한 식물에 대한 추가 연구가 수행되어야 할 것이다.

V. CONCLUSION

동물에 대한 X선의 분할조사 효과에 대한 연구는 많이 수행되어 왔지만, 식물에 대해서는 우리 연구가 처음으로 의미 있는 결과를 얻었다. 새싹 보리에 대해 X선 분할조사를 실시한 결과, 발아전조사그룹에서 분할조사가 오히려 더 부정적인 영향을 가져 오는 것으로 나타났지만, 발아후조사그룹에서는 분할조사 횟수가 증가할수록 길이도 길게 나타나 분할조사가 조사시간 간격에 따라 아치사장해 받은 세포가 회복함으로써 나타난 결과로 여겨진다. 이와 같은 결과는 향후 X선의 분할조사가 식물에 미치는 영향 연구에 도움이 될 것으로 판단되고, 보다 다양한 조건 변화를 통한 지속적인 연구가 수행되어야 할 것이다.

Acknowledgement

본 논문은 2023학년도 대전보건대학교 마이스터대 지원사업의 지원을 받아 작성되었습니다.

References

- [1] W. J. Lee, S. R. Han, O. Jeong, S. I. Kim, M. J. Cho, W. S. Kim, "Radiation-induced congenital anomalies in the rat fetuses", *Korean Journal of Physical Anthropology*, Vol. 14, No. 2, pp. 159-168, 2001. <https://doi.org/10.11637/kjpa.2001.14.2.159>
- [2] W. J. Lee, S. K. Son, M. A. Lee, Y. S. Yang, W. S. Kim, "Low-dose radiation-induced hormetic effect in the rat ovarian follicle", *Korean Journal of Physical Anthropology*, Vol. 20, No. 3, pp. 201-211, 2007. <https://doi.org/10.11637/kjpa.2007.20.3.201>
- [3] W. J. Lee, D. H. Lim, J. S. Park, Y. E. Sim, Y. J. Jeong, J. H. Kim, S. J. Yoo, "Effects of X-ray irradiation on the survival rate and weight of the rhinoceros beetle larvae", *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 14, No. 3, pp. 271-277, 2020. <https://doi.org/10.7742/jksr.2020.14.3.271>
- [4] M. J. Seo, H. J. Lee, E. J. Kang, S. Y. Kang, Y. M. Yu, Y. N. Youn, "Effects of gamma irradiation on the survival and development of the multicolored asian ladybird beetle, *harmonia axyridis* (Coccinellidae, Coleoptera)", *Korean Journal of Applied Entomology*, Vol. 50, No. 4, pp. 335-342, 2011. <https://doi.org/10.5656/KSAE.2011.10.0.60>
- [5] W. J. Lee, M. K. Lee, J. R. Lee, H. N. Kim, S. J. Yoo, B. W. Lee, S. C. Jeong, "Measurement of growth and chlorophyll in barley exposed by X-ray", *Journal of radiological science and technology*, Vol. 44, No. 3, pp. 253-260, 2021. <https://doi.org/10.17946/JRST.2021.44.3.253>
- [6] J. S. Kim, M. H. Baek, Y. K. Lee, H. Y. Lee, J. C. Yoo, "Effect of Low-Dose Gamma Radiation to Enhance Germination Rate in Bottle Gourd and Pumpkin Seeds", *Korean Journal of Environmental Agriculture*, Vol. 21, No. 3, pp. 202-207, 2002. <https://doi.org/10.5338/KJEA.2002.21.3.202>
- [7] M. H. Kim, S. Y. Rhu, D. S. Lim, J. Y. Song, "Effects of Low-Dose Fractionated Total Body Irradiation on Murine Immune System", *Journal of Radiation Protection and Research*, Vol. 39, No. 3, pp. 134-141, 2014. <http://dx.doi.org/10.14407/jrp.2014.39.3.134>
- [8] B. H. Koh, C. K. Hahm, J. J. Kim, "Radiation Effect on Mouse Jejunal Crypt Cells by Single and Split Irradiation", *Journal of Korean Society for Radiation Therapy*, Vol. 3, No. 1, pp. 1-8, 1985.
- [9] K. H. Jung, M. S. Kim, "Total dose effect on normal skin of hybrid mice by conventional fractionated irradiation", *Journal of Yeungnam Medical Science*, Vol. 3, No. 1, pp. 261-267, 1986.
- [10] H. G. Yun, S. W. Ha, "Chromosomal aberration in fractionated radiotherapy", *The Journal of the Korean Society for Therapeutic Radiology and Oncology*, Vol. 16, No. 2, pp. 115-123, 1998.
- [11] H. G. Wu, S. M. Hong, S. S. Shin, C. I. Park, "Hypofractionated Radiation Therapy for Early Glottic Cancer: Preliminary Results", *The Journal of the Korean Society for Therapeutic Radiology and Oncology*, Vol. 19, No. 4, pp. 301-305, 2001.
- [12] M. H. Lee, "A study on the optimized irradiation time interval and beam intensity modulation in fractionated radiation therapy", Master's Degree, Department of Energy Systems Engineering, College of Engineering/Engineering Practice School, The Graduate School Seoul National University, 2012.
- [13] J. S. Kim, "The effect of artificial lights on the

growth and quality of hydroponic cultivated barley (Hordeum vulgare L.) sprouts", Journal of Plant Biotechnology, Vol. 48, No. 1, pp. 62-70, 2021.
<https://doi.org/10.5010/JPB.2021.48.1.062>

- [14] S. B. Jeong, S. C. Jeong, M. K. Lee, Y. H. Choi, K. U. Byun, S. A. Yu, S. E. Han, J. B. Heo, W. S. Shin, W. J. Lee, "Effects for Growth and Chlorophyll in Old-barley and New-barley Seed exposed by X-ray", Journal of the Korean Society of Radiology, Vol. 17, No. 1, pp. 149-156, 2023.
<https://doi.org/10.7742/jksr.2023.17.1.149>
- [15] H. J. Lee, "A Study on the Regulation of Plant Stress Gene Expression Following Radiation Irradiation", Korea University(20090078046), 2011.

X선의 분할조사가 새싹보리 성장과 클로로필 농도에 미치는 영향

박인석¹, 이원정², 정상복^{2,*}

¹에프에이치컨설팅

²대전보건대학교 방사선의과학대학 방사선(학)과

요 약

X선 분할조사가 식물의 성장에 미치는 영향은 아직까지 보고된 바 없어, 우리 연구에서는 X선을 새싹보리에 분할조사 후 성장과 클로로필 농도의 변화를 알아보았다. 각 조사그룹은 대조군, 1회조사군(30 Gy 1회), 2회조사군(15 Gy 씩 2회), 3회조사군(10 Gy 씩 3회)으로 나누었고, 군당 20립 씩 사용하였다. 대조군을 제외한 실험군에 대해 방사선종양학과의 선형가속기(Clinac IS, VERIAN, USA, 2011)를 이용하여 총 선량 30 Gy X선을 조사하였다. 조사 조건은 6 MV X-ray, 조사거리(Source-surface distance) 100 cm, 조사면적(field size) 18 x 10 cm², 선량률(dose rate) 600 MU/min 에서 실시하였다. 분할조사는 24시간 간격으로 동일조건에서 선량만을 변경시켜 조사하였다. 보리의 생장은 종자별로 X선 조사 후 4일차 부터 1일 간격으로 9일차 까지 줄기의 길이를 측정하였다. X선이 보리 싹의 엽록소 형성에 미치는 영향을 알아보기 위하여 분광광도법을 이용하여 클로로필 a 농도를 측정하였다. 통계분석은 SPSS ver. 26.0(Chicago, IL, USA)을 사용하여 분산분석(One-way ANOVA)을 실시하여 대조군(gold standard)에 대해 실험군의 줄기 길이 차이를 분석하였다(사후 검정 Dunnett T3). 발아전조사그룹에서 대조군이 실험군 보다 모든 측정일차에서 길이가 컸고, 1회조사군에서 2회조사군, 3회조사군으로 갈수록 줄기길이가 짧게 나타나 분할조사 횟수가 증가할수록 길이는 짧았다. 대조군과 1회조사군은 모든 측정일차에서 대조군의 길이가 컸지만, 통계학적인 유의한 차이를 보이지는 않았다. 발아후조사그룹에서는 대조군이 실험군 보다 모든 측정일차에서 통계학적으로 유의하게 길이가 컸고, 1회조사군에서 2회조사군, 3회조사군으로 갈수록 길이가 길게 나타나 분할조사 횟수가 증가할수록 길이도 길었다. 발아전조사그룹 보다 발아후조사그룹이 클로로필 농도가 높았고, 발아전조사그룹과 발아후조사그룹 모두 대조군에 비해 실험군에서 모두 클로로필 농도가 높았다. 또한, 분할횟수가 적을수록 클로로필 농도는 높아지는 결과를 보였다. X선의 분할조사는 새싹보리의 성장과 클로로필 농도에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

중심단어: X-선, 분할조사, 새싹보리, 클로로필, 성장

연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(제1저자)	박인석	에프에이치컨설팅	대표
(공동저자)	이원정	대전보건대학교 방사선의과학대학 방사선(학)과	부교수
(교신저자)	정상복	대전보건대학교 방사선의과학대학 방사선(학)과	조교수