

Experimental Study for the Irradiation Effect of High Energy X-ray on the Growth of Sprout Plants Seeds

Byeong-Kyou Jeon,¹ Jin-Dong Yeo^{2,*}

¹Department of Radiological Technology, Daegu Health University

²Department of Radiological Technology, Sorabol University

Received: October 17, 2017. Revised: November 23, 2017. Accepted: November 30, 2017

ABSTRACT

This study examined the irradiation effect of high energy x-rays on the growth of sprout plants seeds, particularly with regard to acidity, salinity and sugar content change. The experimental groups were one day old sprout plants seeds irradiated with 6MV x-rays at doses of 2, 5, 8, 10 Gy using a linear accelerator. The control group was not irradiated. After two weeks, sprout plants were grown and harvested for component analysis. The acidity of the x-ray irradiated radish and red radish groups were significantly higher than that of the control group and bok choi and buckwheat groups lower than that of the control group.

The salinity and sugar content of the x-ray irradiated 5 groups were significantly lower than that of the control group and Soybean and Red radish groups higher than that of the control group. The cause of plants component change were estimated to have occurred by generate basic ions and radiation sensitivity by moisture content. Further genetic studies will be needed to confirm the correlation between high energy x-rays and the cause of plants component change.

Keywords: Sprout plants seeds, Acidity, Salinity, Sugar content, Linear accelerator

I. INTRODUCTION

방사선은 오래전부터 의료분야에서 가장 많이 이용되고 있으며 나아가 식품멸균, 방사선 진단, 농업 분야 등 다양한 곳에서도 유용하게 사용되고 있다.^[1] 그러나 최근 일본 후쿠시마 원전 사고로 인해 많은 동물들이 죽음을 당하였고, 식물들은 알 수 없는 돌연변이가 나타나 농작물에 큰 피해를 주었을 뿐만 아니라 사람에게도 암 발생률을 높이는 등 모든 생물체에 영향을 미치고 있다.^[2] 이러한 고 선량의 전리방사선은 세포의 액화 및 사멸을 가져오며, 증식 중의 세포, 특히 유사분열 시의 DNA 손상은 회복할 시간이 없으므로 감수성이 가장 높다.^[3] 따라서 전 세계 사람들이 방사선 피폭과 그 위험

성에 대한 관심이 더욱더 많아지고 있으므로 방사선 피폭의 위험성과 차폐에 대한 중요성이 요구된다.

방사선 조사에 의한 식물의 생물학적 효과는 장, 단점이 있다. 저 선량 방사선은 식물의 생리활성을 촉진한다는 Hormesis 이론이다.^[4] 즉 "소량의 독은 자극 작용이 있다"고 보고하여 저 선량 방사선은 개체의 수명이 연장된다는 보고가 있는 반면에 고 선량의 방사선은 식물 생존에 심각한 피해를 주며 DNA 손상과 함께 돌연변이를 유발해 개체의 수명이 단축된다는 보고도 있다.^[5,6]

X-선이나 감마선을 식물의 종자에 조사하면 식물에 함유되어 있는 수분의 양에 의하여 감수성이 크게 영향을 받는다. 이러한 내용에 근거하여 물에

* Corresponding Author: Jindong-Yeo

E-mail: yjd1221@sorabol.ac.kr

Tel: +82-54-770-3672

담근 종자는 건조 종자보다 현저하게 감수성이 높다고 보고되었다.^[7] 방사선이 H₂O 함량이 많은 물질에 조사되면 방사선 에너지에 의해 H₂O가 이온화 되어 산소기가 발생하고 다른 H₂O 분자와 결합하여 H₂O₂을 생성하며 H₂O₂가 신진대사에 장애를 일으키는 작용을 한다.^[8] 수분함량이 많으면 방사선 조사과정에서 과산화물이 많이 생성되어 감수성이 높아 생장에 영향을 받게 된다. 식물의 물 함량에 따라 산도, 당도, 염도, 당산 비에 영향을 미친다.^[9,10] 방사선이 사람 및 동물에 미치는 영향에 대한 연구는 지속적으로 보고되고 있으나 식물에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

특히 방사선 조사 후에 변화되는 식물의 구성성분 분석에 관한 연구는 향후 관심도가 매우 높은 분야이다. 따라서 본 연구는 고 에너지 X-선이 식물의 산도, 당도, 염도, 당산 비의 변화에 미치는 영향을 분석하고자 시행하였다.

II. MATERIAL AND METHODS

2016년도에 생산된 밭아울 80%인 청경채(Bok choi), 무순(Radish), 콩나물(Soybean) 적무(Red radish), 메밀(Buckwheat), 브로콜리(Broccoli) 총 6종의 새싹식물종자를 구입하여 각 종자별로 대조군 1개군과 실험군 4개군을 구성하였으며, 군별 종자의 수는 무작위로 20개를 선택하여 플라스틱 용기에 넣어 각각의 샘플을 만들었다. 선형가속기(Linear accelerator Rapid Arc, Varian, USA)를 이용하여 SSD를 100cm로 설정 후 6MV-X선을 0, 2, 5, 8, 10Gy씩 각각 실험군 샘플을 조사하여 Fig. 1에 나타내었다.

상추와 청경채는 가로×세로(135×135cm), 높이(50cm)로 구성된 비닐하우스에서 파종하여 성장시켰으며, 콩나물은 햇빛이 쬐지 않는 그늘진 환경을 조성하여 키웠고, 무순, 적무, 메밀, 브로콜리는 화분에 화장수를 깔아 14일간 (2017. 07. 01-14) 재배하였다. 온습도계(TH OIC, Korea)를 이용하여 실내의 온도와 습도는 평균 25℃와 65%로 유지하였다. 매일 10시에 온도와 습도를 유지하기 위하여 분무기로 매회 16mL, 13회 일정량의 물을 공급하였다.

재배 14일째 식물을 수확하여 압축기를 사용하여 식물 액을 추출하고 염도(솔 밸런스 SB-1500, Korea),

산도(PH-80, Korea), 당도(HI-96811, Korea), 당산비를 측정하였다.

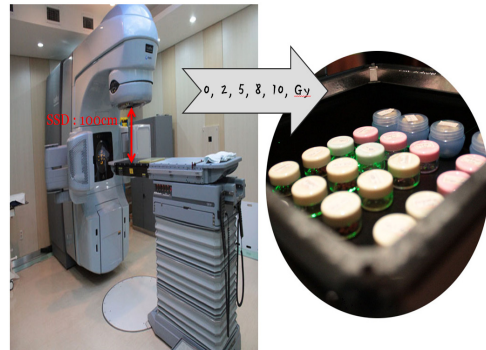


Fig. 1. Irradiation of seeds using Rapid Arc.

III. RESULT

1. 새싹식물의 구성성분 분석

새싹식물의 종자에 고에너지 X-선을 조사하여 파종하고 재배한 식물의 산도, 염도, 당도, 당산비를 측정하여 분석을 Table 1에 나타내었다.

2. 산도의 변화

무순 대조군의 산도는 5.4pH이고 실험군의 최고치는 10Gy에서 6pH, 최저치는 2, 8Gy에서 5.8pH이다. 적무 대조군의 산도는 5.2pH이고 실험군의 최고치는 10Gy에서 5.7pH, 최저치는 2Gy에서 5.4pH이다. 청경채와 메밀은 대조군보다 산도가 평균적으로 감소하였다. 다른 종자의 실험군은 대조군과 비슷한 산도로 분석하여 Fig. 2에 나타내고 있다.

3. 염도의 변화

청경채 대조군의 염도는 0.8%이고 실험군의 최고치는 5Gy에서 1.0%, 최저치는 8Gy에서 0.4%이다. 적무에서는 대조군 0.2%, 실험군의 최고치는 2,5,10 Gy 에서 각각 0.4%, 최저치는 8Gy에서 0.3%이다. 다른 종자의 실험군은 대조군과 비슷한 염도로 분석하여 Fig. 3에 나타내었다.

4. 당도의 변화

무순 대조군의 당도는 0.6Brix이고 실험군의 최고치는 10Gy에서 1.4, 최저치는 5Gy에서 0.4Brix이

다. 콩나물 대조군의 당도는 6.4Brix이고 실험군의 최고치는 2Gy에서 9.6, 최저치는 5Gy에서 6.1Brix이다. 청경채의 실험군은 대조군보다 당도가 감소하였으며, 다른 종자의 실험군은 대조군과 비슷한 당도로 분석하여 Fig. 4에 나타내었다.

5. 당산 비의 변화

청경채 대조군의 당산 비는 0.20이고 실험군의 최고치는 2Gy에서 0.24, 최저치는 5, 8, 10Gy에서 0이다. 무순 대조군의 당산 비는 0.11이고 실험군의 최고치는 10Gy에서 0.23, 최저치는 2Gy에서 0.02이다. 콩나물 대조군의 당산 비는 1.14이고 실험군의 최고치는 2Gy에서 1.68, 최저치는 5Gy에서 1.02로 나타나 다른 종자의 실험군은 대조군과 비슷한 염도로 분석하여 Fig. 5에 나타내었다.

Table 1. Component analysis of sprout plants grown from irradiated seeds

	Radiation Exposure (Gy)	Acidity (pH)	Salinity (%)	Sugar Content (Brix)	Solid Acid Ratio
Bok choi	0	13.9	0.8	2.8	0.20
	2	11.7	0.8	2.8	0.24
	5	10.6	1.0	0.1	0.01
	8	13.7	0.4	0	0
	10	13.2	1.0	0	0
Radish	0	5.4	0.5	0.6	0.11
	2	5.8	0.4	0.1	0.02
	5	5.9	0.4	0.4	0.07
	8	5.8	0.4	0.5	0.09
	10	6	0.4	1.4	0.23
Soybean	0	5.6	0.4	6.4	1.14
	2	5.7	0.3	9.6	1.68
	5	6	0.3	6.1	1.02
	8	5.6	0.3	7	1.25
	10	5.8	0.3	6.8	1.18
Buck wheat	0	8	0.2	0	0
	2	5.8	0.2	0	0
	5	5.7	0.2	0.1	0.02
	8	5.6	0.2	0	0
	10	5.6	0.3	0	0
Broccoli	0	5.3	0.4	1.3	0.25
	2	5.3	0.3	0	0
	5	5.3	0.3	0	0
	8	5.1	0.4	0	0
	10	5.2	0.2	0	0
Red radish	0	5.2	0.2	0.1	0.02
	2	5.4	0.4	0	0
	5	5.6	0.4	0	0
	8	5.5	0.3	0	0
	10	5.7	0.4	0	0

* Solid Acid Ratio = Sugar Content / Acidity

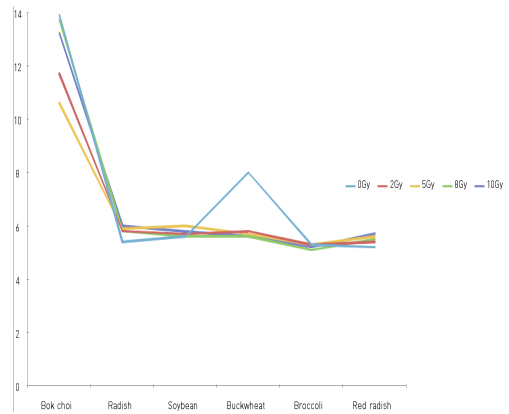


Fig. 2. Changes in acidity according to irradiation doses.

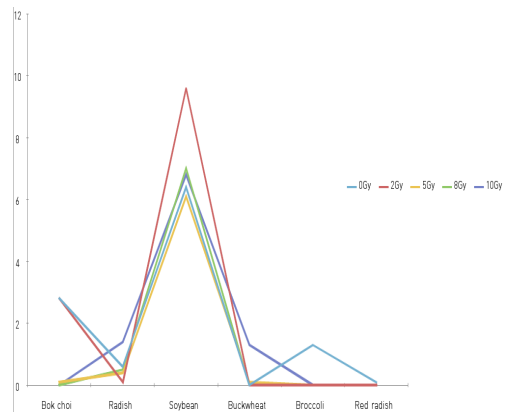


Fig. 3. Changes in salinity according to irradiation dose.

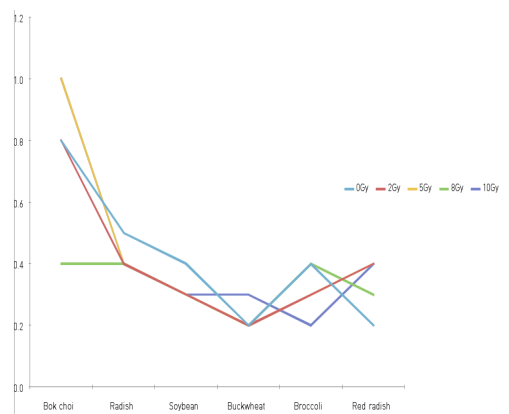


Fig. 4. Changes in sugar content according to irradiation doses.

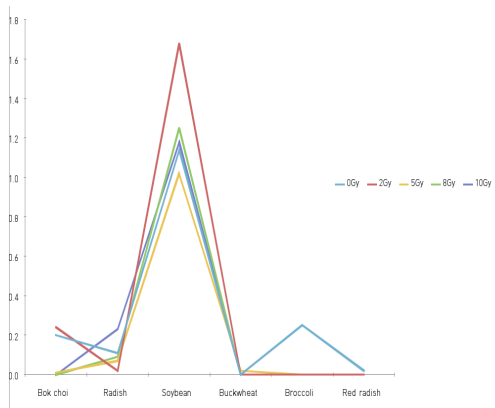


Fig. 5. Changes in solid acid ratio according to irradiation doses.

IV. DISCUSSION

고 에너지 X-선은 이온화 방사선의 범주 안에 속하며, 세포 안에 자유에너지 변환을 야기하는 분자 또는 원자와 상호작용한다. 이러한 자유에너지 변환은 식물 세포의 중요한 요소를 손상시키거나 변형시킬 수 있고, 방사선조사 단계에 따라, 식물의 생리학, 생화학, 형태학적으로 다르게 영향을 준다고 보고되어 왔다. 이러한 효과는 식물 세포 구조, 물질대사의 변화를 포함한다.^[10]

산성도의 강도는 pH로 나타내는데, 레몬즙은 pH2.3, 식용 식초는 pH 3.3, 중성은 pH 7이다. 용액의 산성, 알칼리성을 나타내는 척도. 수용액에 존재하는 수소이온농도는 1보다 훨씬 작은 수인 경우가 많으므로 수소 이온 농도의 역수에 대한 상용로그를 수소이온 지수로 나타내 사용한다. 이것이 pH다. pH는 0에서 14까지 있으며, 용액이 산성이면 pH는 7보다 작고, 알칼리성이면 7보다 크다.

무순 대조군의 산도는 5.4pH이고 실험군의 최고치는 10Gy에서 6, 최저치는 2, 8Gy에서 5.8pH이다. 적무 대조군의 산도는 5.2pH이고 실험군의 최고치는 10 Gy에서 5.7 최저치는 2Gy에서 5.4pH이다. 무순과 적무는 고 에너지 방사선의 영향으로 산도가 증가하는 것으로 분석 되었다. 산도의 변화가 가장 뚜렷한 것은 청경채이며, 대조군의 산도는 13.9pH이고 실험군의 최저치는 5Gy에서 10.6pH이다. 각 식물의 Gy당 pH변화는 다른 종자의 실험군은 대조군과 비슷한 산도로 뚜렷한 차이는 보이지 않았다.

브로콜리와 적무는 pH 성분 분석 시 식물의 크기가 작아 추출액이 타 식물에 비하여 적게 추출되어 측정에 어려움이 있었다. 방사선 조사 식물의 성분에서는 염기성 이온이 생성되어 pH가 증가하는 결과를 얻었다. 본 실험과 유사한 선행연구의 결과로 Cotterill 등은 1979년에 발표한 적이 있다.^[11] 청경채 대조군의 염도는 0.8%이고 실험군의 최고치는 5Gy에서 1.0%, 최저치는 8Gy에서 0.4% 이다. 적무에서는 대조군 0.2%, 실험군의 최고치는 2,5,10Gy에서 각각 0.4%, 최저치는 8Gy에서 0.3%이다. 청경채와 적무의 염도가 증가하는 것으로 나타났다. 다른 종자의 실험군은 대조군과 비슷한 염도로 분석되었다.

각 새싹식물의 염도는 평균적으로 그 차이가 0.1 ~ 0.2%로 방사선 감수성이 매우 적다고 추정하였다. 과도한 염분은 식물체의 성장과 발육을 제한할 뿐 아니라 형태적 변화 및 생리적 변화를 포함한 다양한 생물학적 변화를 유발하며, 식물의 평균길이와 최장 길이가 짧았다고 보고 하였다.^[10]

무순 대조군의 당도는 0.6Brix이고 실험군의 최고치는 10Gy에서 1.4 최저치는 5Gy에서 0.4Brix이다. 콩나물 대조군의 당도는 6.4Brix이고 실험군의 최고치는 2Gy에서 9.6Brix, 최저치는 5Gy에서 6.1Brix이다. 당도의 변화는 콩나물이 가장 뚜렷하게 차이를 보였다. 청경채의 실험군은 대조군보다 당도가 감소하였으며, 다른 종자의 실험군은 대조군과 비슷한 당도로 분석 되었다. 당도의 수치가 낮은 브로콜리, 적무의 당도 측정 시 추출액이 타 새싹식물에 비하여 적게 추출되어 정확한 측정에 어려움이 있었다. 당도가 증가하는 이유는 방사선이 물을 이온화시켜 생긴 성분이 당 성분을 만드는데 소비되어 수분은 감소하고 당이 증가한다고 생각된다. 당도 측정 방식이 물질의 밀도의 변화에 따라서 빛의 굴절율이 달라지는 것을 이용하는 것이므로 온도가 높은 장소에서 굴절률을 측정하면 굴절률이 낮게 되어 당도가 낮게 측정됩니다. 따라서 당도를 측정할 때 온도에 따라서 측정되는 당도가 달라지게 나올 수 있으므로 측정 장소의 실내온도를 20°C에서 측정하였다. 청경채 대조군의 당산비는 0.20이고 실험군의 최고치는 2Gy에서 0.24, 최

저치는 5,8,10Gy에서 0이다. 무순 대조군의 당산 비는 0.11이고 실험군의 최고치는 10Gy에서 0.23, 최저치는 2Gy에서 0.02이다. 콩나물 대조군의 당산 비는 1.14이고 실험군의 최고치는 2Gy에서 1.68, 최저치는 5Gy에서 1.02이다. 당산 비는 단맛에 대한 신맛의 비율을 의미하며, 과일의 경우 높을수록 달고 맛있게 느껴지며, 산 함량이 너무 적으면 상큼한 맛을 느낄 수 없다. 위와 같이 식물성분이 변화된 돌연변이 식물을 만드는 방법으로는 비교적 쉬운 변이를 일으키는 고 에너지 방사선의 조사가 현재 주로 사용되고 있으며 방사선 육종기술이 식물 재배 및 돌연변이에 중요한 방법으로 이용되고 있다.^[12,13]

향후 식물에 관한 연구는 방사선 조사로 인하여 DNA 수준에서 변이가 증가되는 기전에 의거하여 방사선 저항성이 크고, 의학적으로 높은 항암 및 항종양에 효과가 있는 식물을 재배하고 실제 임상 의학에 활용되는 연구를 적극적으로 추진하여야 할 것이다.^[14,15]

식물은 수많은 외부 자극에 노출되기 때문에 생장에 다양한 영향을 받아 구성 성분의 변화가 발생할 것으로 판단된다.

따라서 고 에너지 X-선은 새로운 유전자 발견 및 유전학 연구뿐만 아니라 새로운 돌연변이의 발생을 위하여 사용될 수 있다고 생각된다.

V. CONCLUSION

본 연구를 통하여 고 에너지 X-선은 식물의 생장에 직, 간접작용을 일으켜 구성성분에 영향을 미친다는 것을 확인할 수 있었다. 특히 무순과 적무의 산도는 증가하였고, 청경채와 메밀은 산도가 평균적으로 감소하였다. 다른 종자의 실험군은 대조군과 비슷한 산도로 분석되었다. 새싹식물의 염도, 당도는 평균적으로 감소하였으나, 적무의 염도는 2배 증가하였고, 수분 함량이 높은 콩나물은 당도가 모두 증가하였다. 따라서 고 에너지 X선은 식물의 성분에서 엽기성 이온을 생성하고, 수분 함량이 높은 식물은 방사선 감수성이 높아 생장에 영향을 받아 과산화물이 생성되어 식물의 성분 변화에 영향을 미친다고 판단된다. 향후 고 에너지 방사선의

조사에 따른 식물성분의 변화 원인을 알아내기 위한 지속적인 유전학적 연구가 필요할 것이다.

Reference

- [1] M. W. Byun, J. W. Lee, "Application of Irradiation Technology for Food Safety and Security", *Food SciInd*, Vol. 36, No. 7, pp. 25-40, 2003.
- [2] M. W. Byun, "Application of Irradiation Technology for Food Safety and Security", *Food SciInd*, Vol. 30, No. 5, pp. 89-100, 1997.
- [3] T. C. Yang, M. K. Mei, A. George, L. M. Craise, "DNA Damage and Repair in Oncogenic Transformation by Heavyion Radiation", *Adv Space Res.* Vol. 18, No. 5, pp. 149-155, 1996.
- [4] T. D. Luckey Hormesis with ionizing radiation. CRC Press, Inc. Boca Raton. Fla., Vol. 15, No. 13, pp. 149-155, 1980.
- [5] M. J. Lamb, The Effect of Radiation on the Longevity of Female Drosophilasu Bob Ecura, *J. Ins. Physiol*, Vol. 10, No. 12, pp. 48-97, 1999.
- [6] G. A. Sacher, Effects of X-ray on The Survival of Drosophila Imagoes, *Phys. Iol.* Vol. 36, No. 8, pp. 295-311, 2001.
- [7] M. P. Palekar, Cabrera-Diaz C, Kalbasi-Ashtari A, Maxim JE, Miller RK, Cismeros-Zevallos L, Castillo A. Effect of Electron Beam Irradiation on The Bacterial Load and Sensorial Quality of Sliced Cantaloupe. *Food Microbiol Safety* Vol. 69, No. 5, pp. 267-273, 2004.
- [8] M. Zhao, J. Moy, R. E. Paull Effect of Gamma-Ionization on Ripening Papaya Pectin. *Postharvest Biol Technol* Vol. 9, No. 5, pp. 209-222, 1996.
- [9] B. Mitcham, M. Cantwell, A. Kader. 1996. Methods for Determining Quality of Fresh Commodities. *Perishables Handling Newsletter Issue* Vol. 185, No. 8, pp. 1-5, 1996.
- [10] J. I Choi ·J. K. Kim , "Effect of Irradiation on The Biological System in Plants". *J Plant Biotechnol*, Vol. 40, No. 5, pp. 111-124, 2013.
- [11] J. Cotterill, J. L. Glauent, Nutrient Values for linear Regression Analysis and Conversion Factors, *Poultry Sci.* Vol. 58, No. 16, pp. 131-137, 2000.

- [12] N. E. Mroczka, K. R. Mercer, W. A. Bernhard, "The Effects of lattice Water on Free Radical Yields in X-irradiated Crystalline Pyrimidines and Purines, a Low-Temperature Electron Paramagnetic Resonance Investigation", *Radiat Res*, Vol. 147, No. 16, pp. 560-568, 1997.
- [13] S. Ptasinska, L. Sanche, "On the Mechanism of Anion desorption from DNA Induced by Low Energy Electrons", *J. Chem. Phys.* Vol. 125, No. 18, pp. 125-144, 2006.
- [14] R. Barrios, P. Skurski, J. Simons, "Mechanism for Damage to DNA by Low-Energy Electrons", *J. Phys. Chem. B*, Vol. 106, No. 11, pp. 7991-7994, 2002.
- [15] B. Boudaiffa, P. Cloutier, D. Hunting, M. Sanche, "Resonant Formation of DNA Strand Breaks by Low-Energy(3-20 eV) Electrons", *Science*, Vol. 102, No. 13, pp. 287, 2007.

고 에너지 X-선이 새싹식물 종자의 생장에 미치는 영향

전병규,¹ 여진동^{2,*}

¹대구보건대학교 방사선과

²서라벌대학교 방사선과

요약

본 연구는 고 에너지 X-선을 조사한 새싹식물 종자를 파종 및 재배하여 산도, 염도, 당도, 당산비의 변화를 분석하고 식물의 생장에 미치는 영향을 알아보려고 하였다.

새싹식물 6종의 종자에 각 종자별로 대조군 1개군과 실험군 4개군을 구성하여 6MV X-선을 0, 2, 5, 8, 10 Gy 각각 조사하였다. 조사된 종자들을 파종하고 재배하여 식물의 액을 추출 및 성분분석을 실시하였다. 무순과 적무의 산도는 모두 증가하였고, 청경채와 메밀은 산도가 평균적으로 감소하였다. 다른 종자의 실험군은 대조군과 비슷한 산도로 분석되었다.

새싹식물의 염도, 당도는 평균적으로 감소하였으나, 적무의 염도는 2배 증가하였고, 수분 함량이 높은 콩나물은 당도가 모두 증가하였다. 따라서 고 에너지 X선은 식물의 성분에서 염기성 이온을 생성하고, 수분 함량이 높은 식물은 방사선 감수성이 높아 생장에 영향을 받아 과산화물이 생성되어 식물의 성분 변화에 영향을 미친다고 판단된다. 향후 고 에너지 방사선의 조사에 따른 식물성분의 변화 원인을 알아내기 위한 지속적인 유전학적 연구가 필요할 것이다.

중심단어: 새싹식물 종자, 산도, 염도, 당도, 선형가속기