

## 옥수수 생육에 미치는 저선량 감마선 조사효과

김재성\* · 이영근 · 박홍숙 · 백명화 · 김동희

한국원자력연구소 동위원소 방사선응용연구팀

### Influence of Low Dose Gamma Radiation on the Growth of Maize (*Zea mays* L.) Varieties

Jae-Sung Kim\*, Young-Keun Lee, Hong-Sook Park, Myung-Hwa Back, Dong-Hee Kim (Korea Atomic Energy Research Institute, Taejeon, 305-353, Korea)

**ABSTRACT** : Maize (*Zea mays* L. cv. kosungjaerae and cv. youngwoljaerae) seeds were irradiated with the dose of 0.5~20 Gy by <sup>60</sup>Co  $\gamma$ -ray radiation to investigate the effect of the low dose  $\gamma$ -ray radiation on the germination rate, early growth and yield. The low dose radiation was able to improve the germination rate and early growth in maize, but the optimal radiation doses were different depended on kinds of cultivars. High stimulatory effect in early growth of maize was observed in 2 Gy irradiation group of kosungjaerae cultivar and in 12 Gy irradiation group of youngwoljaerae cultivar. The optimal radiation dose for the enhancement of yield and yield components in maize was 8 Gy in kosungjaerae cultivar and 4~12 Gy in youngwoljaerae cultivar.

**Key words** : Germination, Growth, Low dose radiation, Maize, Stimulatory effect

## 서론

전리방사선의 생물자극에 관한 많은 연구결과는 방사선 hormesis가 hormesis 일반원리에 일치하는 개념임을 확인시켜주었다. 전리방사선은 저선량으로 피폭될 경우 일반적으로 자극작용을 나타내며 hormesis를 일으키는 선량은 대상, 조건, 측정하는 생리적 기능, 선량 등에 따라 다르게 나타난다<sup>1,2)</sup>. 생리적 기능감퇴, 방사선 증후군 및 사망을 가져오는 고선량 방사선에 대한 고전적인 연구에서는 예측할 수 없는 방사선 hormesis 선량은 식물에서 발아 및 발육의 촉진, 환경제해와 조사후 방사선에 대한 저항력 상승, 성장증대 및 수량증가 등의 효과를 가져온다<sup>1,2,3)</sup>.

Hormesis는 개체에 변화를 일으켜 환경의 자극이나 스트레스에 대해서 전보다 다르게 반응시킨다. 이상적 상태에 있는 건강한 개체보다 최적이하의 상태에 있는 개체에 활력과 체력의 증가를 일으키며 허약하거나 부실한 개체는 최대반응을 보이는 것으로 기대된다.

방사선 hormesis는 고선량영역에서 영점으로부터 유해선량까지 직선적으로 선량에 비례하여 유해한 영향을 일으킨다는 고전적인 논리의 부당성을 지적하며 측정하는 식물 특성에 따라 저선량 영역에서 자극작용을 보여주는 분명한 문턱선량이 있음을 나타낸다. 그 한계선량으로는 영점상등점 (zero equivalent point ; ZEP)이 될 수 있으며 이 선량이하에서는 중대한 장애를 유발하지 않는다<sup>4)</sup>. 문턱선량의 개념은 방사선이 저선량인 경우에는 일반적으로

생각하는 것보다 위험이 적다는 것을 의미하며 환경보다도 다소 높은 선량에 의한 피폭에서도 생물에 유익하다는 것이다. 일관된 결과를 얻기 위해서는 관여하는 변수에 대해 표준화가 되어야 할 것이다.

곡물류 종자와 식물체에서 저선량 방사선 조사에 의해 상당한 자극작용이 나타났는데, 대조구에 비해 120%의 수량증가와 불량 조건하에서의 발아증가와 병에 대한 저항성 증가 등이 많이 보고되었다<sup>3,4)</sup>. 김 등<sup>5)</sup>은 벼, 콩, 들깨, 배추, 무 등의 종자에 저선량 방사선을 조사하여 발아력 증가와 성장증대 및 수량증수 등을 보고하였다<sup>6,7)</sup>. 옥수수 종자에 저선량 방사선 조사시 종자의 발아율 증가<sup>8)</sup>와 식물체 생육촉진<sup>9)</sup> 및 수량증가<sup>10)</sup>가 보고되었으며, Degner 와 Schacht<sup>11)</sup>는 옥수수 수량증가는 최적 재배조건하에서 가장 양호하였다고 하였다. 본 실험은 국내에서 재배되고 있는 옥수수 품종에 저선량  $\gamma$ 선을 조사하여 종자의 발아력과 초기생육 및 포장에서의 수량구성요소를 관찰하고자 하였다.

## 재료 및 방법

공시품종 : 저선량 방사선을 조사하여 포장에서의 수량구성요소에 미치는 영향을 조사하기 위한 옥수수 (*Zea mays* L.) 품종은 일반농가에서 재배하여 1년간 보존한 영월재래종과 고성재래종을 선정하였다.

방사선조사 : 저선량 방사선 조사에 사용한 조사시설은 한국원자력연구소에서 보유중인 저준위조사시설 ( $^{60}\text{Co}$ )을 이용하여 선량을 1Gy/h로 0, 0.5, 1, 2, 4, 8, 12, 20 Gy의 8수준으로 건조종자에 직접 조사하였다. 조사선량은 Fricke dosimeter로 측정하였다<sup>12)</sup>. 포장재배실험 : 방사선 조사 다음날인 4월 7일에 종자 150립을 배양토와 마사토가 1:1로 섞인 소형 50구 연결 pot에 1립씩 3반복으로 파종한 후 온실에서 발아시켜 발아율을 조사하였다. 파종 20일 후에 식물체 일부는 초장과 생체중의 조사자료로, 일부는 시험포장에 재식거리 60×30 cm 간격으로 2열 20주씩, 3반복으로 이식하였으며, 그 외의 경종법은 농촌진흥청 표준경농법에 준하였다. 3요소 (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O) 시비량은 20-15-15 kg·10a<sup>-1</sup> 이었으며 전량기비로 사용하였다. 파종 20일 후 발아율과 유효초장 및 생체중을 조사하였고, 파종한 뒤 3개월 후에 생육상황을 포장에서 직접 조사하였다. 옥수수 품종별로 각 열 중앙의 10주씩 30주에서 옥수수 이삭을 수확하여 수량과 수량구성요소를 측정하였다.

결과 및 고찰

초기생육에 미치는 영향

저선량 방사선 조사가 일반농가에서 재배하고 있는 재래종 옥수수의 생육에 미치는 영향을 보고자  $\gamma$  선을 조사하여 온실의 소형 pot에 파종하여 20일 후에 발아율과 초기생육을 조사한 결과 저선량 효과는 품종별로 다소 차이를 보였다. 발아율의 경우 그림 1에서 보논바와 같이 고성재래종은 0.5 Gy 조사구를 제외하고는 저선량 조사구 모두가 대조구 90% 보다 높은 발아율을 보였는데 20 Gy 조사구가 100%로 가장 높았다. 영월재래종에서는 대조구 92%에 비해 저선량 조사구 모두가 높았으며 1 Gy, 8 Gy, 12 Gy 조사구가 같은 100%의 발아율을 보였다. 유효초장 (그림 2)과 생체중 (그림 3)에서도 고성재래종의 경우 0.5 Gy 조사구를

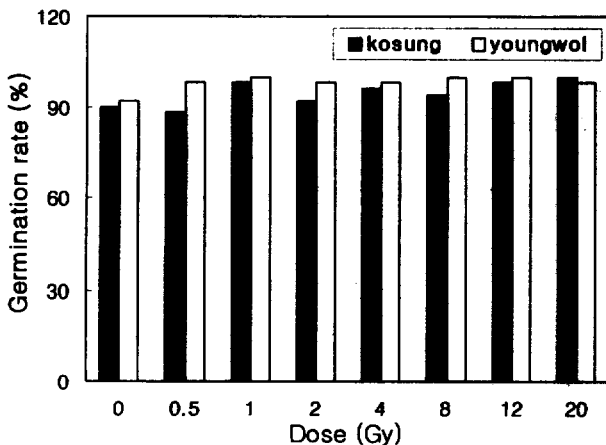


Fig. 1. Germination rate of corn developed from seeds irradiated with different doses of gamma radiation.

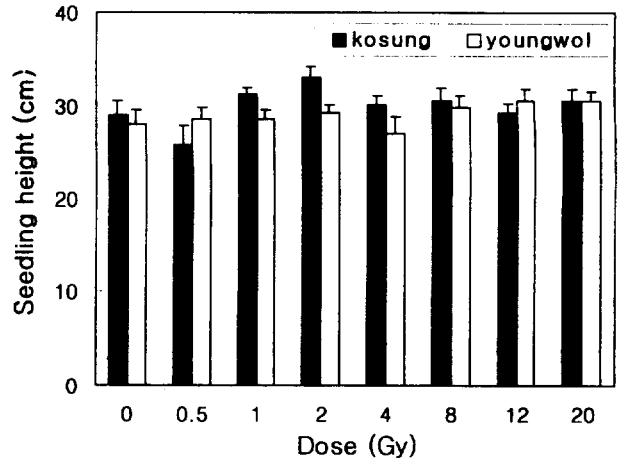


Fig. 2. Seedling height of corn developed from seeds irradiated with different doses of gamma radiation. Bars represent the standard error of the mean.

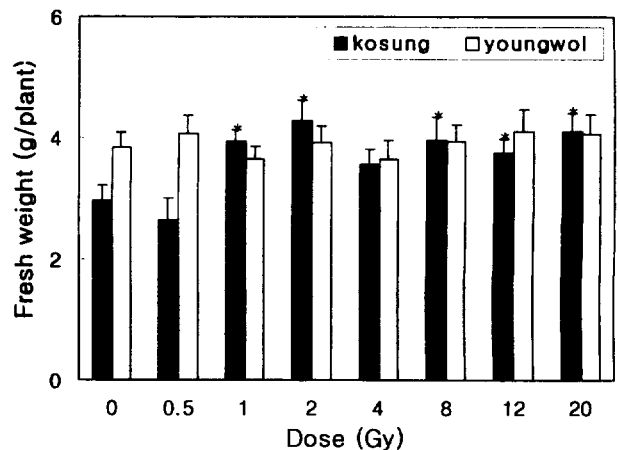


Fig. 3. Fresh weight of corn developed from seeds irradiated with different doses of gamma radiation. Bars represent the standard error of the mean. \* : Significant at 5% level.

제외하고는 저선량 조사구가 모두 대조구보다 높았는데 2 Gy 조사구가 30.5 cm의 초장으로 대조구 29.0 cm보다 10% 정도 증가하였고, 생체중도 대조구 3.0 g에 비해 2 Gy 조사구와 20 Gy 조사구가 각각 4.3 g과 4.1 g으로 대조구보다 4% 정도 통계적으로 유의성있는 (p<0.05) 증가효과를 보였다. 영월재래종의 유효초장은 12 Gy와 20 Gy 조사구가 30.6 cm로 대조구 28.0 cm보다 10% 정도 증가하였고, 생체중은 0.5 Gy, 12 Gy, 20 Gy 조사구가 모두 4.1 g으로 대조구 3.8 g보다 8% 정도 증가하였으나 유의성은 없었다. 옥수수 종자에 저선량 방사선을 조사하여 발아율 증가<sup>13)</sup>와 생육촉진<sup>14)</sup> 효과에 관한 보고가 있으며 김 등<sup>5)</sup>도 작물과 채소종자에 저선량  $\gamma$  선을 조사하여 종자 발아율과 초기생육 촉진효과를 보고하였다<sup>15)</sup>.

옥수수 생장과 수량에 미치는 영향

저선량 방사선을 조사하여 포장재배한 옥수수의 생장에서도 초기생육과 비슷하게 생장촉진 효과를 보였으나 적정선량은 품종에 따라 다른 경향을 보였다. 고성재래종의 경우 표 1에서 보는바와 같이 저선량 조사구의 간장과 엽면적 (엽장 X 엽폭) 등이 대조구에 비해 생장이 증대되었다. 간장은 대조구 151.5 cm에 비해 저선량 조사구 모두가 높았는데 8 Gy 조사구가 162.9 cm로 가장 높았고 다음이 2 Gy 조사구의 159.4 cm이었다. 엽면적에서도 대조구 63.5 cm<sup>2</sup>에 비해 20 Gy 조사구를 제외하고 저선량 조사구가 높았으며 8 Gy 조사구가 72.1 cm<sup>2</sup>로 대조구에 비해 10% 이상 증가하였으나 통계적 유의성은 없었다. 수량구성요소 중 이삭길이는 0.5 Gy와 1 Gy 조사구가 가장 높은 18.7 cm로 대조구 17.8 cm에 비해 5% 정도 증가하였고 이삭두께와 열수는 8 Gy 조사구가 각각 4.72 cm와 12.6개로 대조구의 4.40 cm와 10.8개에 비해 통계적으로 유의성있는 (p<0.05) 증가효과를 보여주었다. 수량구성요소 중 열당 종실수만이 저선량 조사구 모두가 대조구 32.2개에 비해 적은 값을 보여주었으며 100립중은 8 Gy 조사구가 38.5

g으로 대조구의 34.2 g에 비해 13% 정도 통계적으로 유의성있게 (p<0.05) 증가하였다. 옥수수 주당 이삭수는 1 Gy 조사구가 1.9개로 가장 높았고 다음이 0.5 Gy 조사구의 1.8개이었으며 8 Gy와 20 Gy 조사구는 대조구와 같은 1.7개를 나타내었다. 고성재래종의 생장과 수량증대 효과는 8 Gy 조사구가 적정선량으로 나타났다. 저선량 조사에 의한 영월재래종의 생장과 수량증대 효과는 고성재래종 같이 뚜렷한 적정선량을 보여주지 않았으나 4~12 Gy 범위로 나타났다(표 2). 간장의 경우 4 Gy 조사구가 대조구 218.9 cm에 비해 6% 정도 증가된 232.6 cm로 가장 높았고 다음이 0.5 Gy 조사구의 227.6 cm이었다. 엽면적에서는 8 Gy 조사구가 832.3 cm<sup>2</sup>로 가장 높았고 다음이 12 Gy 조사구의 801.3 cm<sup>2</sup>였으나 나머지 저선량 조사구는 대조구 770.0 cm<sup>2</sup>보다 낮은 값을 보였다. 수량구성요소 중 이삭길이는 2 Gy 조사구가 20.4 cm로 대조구의 20.0 cm와 비슷한 경향이었고 나머지 저선량 조사구는 모두 대조구보다 낮았다. 이삭두께와 열수는 4 Gy 조사구가 각각 5.09 cm와 13.3개로 가장 높았고, 0.5 Gy 조사구가 각각 5.4 cm와 13.2개로, 8 Gy 조사구가 각각 5.03 cm와 13.0개로 다음순이었으

Table 1. Growth response of corn (cv. Kosungjaerae) developed from seeds irradiated with different doses of gamma radiation

Dose (Gy)	Stem height (cm)	Ear height (cm)	Leaf area (cm <sup>2</sup> )	Ear length (cm)	Ear width (cm)	Kernel row/ear	No. of Kernel/row	100 kernel weight(g)	No. of ear
0	151.5±6.4 <sup>†</sup>	63.5±4.3	440.7±25.0	17.8±0.8	4.40±0.13	10.8±0.3	32.2±1.9	34.2±1.5	1.7±0.2
0.5	154.0±4.4	59.7±4.5	442.0±23.8	18.7±0.6	4.54±0.12	11.6±0.6	30.7±1.3	34.1±2.8	1.8±0.1
1	159.3±6.5	58.1±5.1	458.8±25.5	18.7±0.8	4.60±0.09	12.2±0.7	31.9±1.6	34.5±2.2	1.9±0.2
2	159.4±5.4	62.0±3.9	460.0±17.2	18.3±0.8	4.58±0.07	11.8±0.7	31.0±1.5	33.6±1.6	1.3±0.1
4	157.9±4.5	63.6±5.1	480.9±27.1	17.3±0.8	4.27±0.14	11.6±0.5	30.4±1.3	30.6±2.2	1.6±0.1
8	162.9±5.6	72.1±5.1	498.6±23.8	17.6±0.6	4.72 <sup>*</sup> ±0.07	12.6 <sup>*</sup> ±0.5	30.2±1.4	38.5 <sup>*</sup> ±1.6	1.7±0.2
12	158.9±5.7	64.4±4.9	455.2±27.9	17.3±0.9	4.73 <sup>*</sup> ±0.14	11.8±0.7	31.3±1.9	33.8±2.1	1.6±0.2
20	151.9±8.2	55.9±5.2	351.7±33.7	17.8±0.7	4.69±0.11	12.0 <sup>*</sup> ±0.4	30.4±1.2	31.5±2.8	1.7±0.2

† ; Figure represents the mean and the standard error of 30 plants.

\* ; Significant at 5% level.

Table 2. Growth response of corn (cv. Youngwoljaerae) developed from seeds irradiated with different doses of gamma radiation

Dose (Gy)	Stem height (cm)	Ear height (cm)	Leaf area (cm <sup>2</sup> )	Ear length (cm)	Ear width (cm)	Kernel row/ear	No. of Kernel/row	100 kernel weight(g)	No. of ear
0	218.9±6.4 <sup>†</sup>	112.6±5.1	770.0±31.2	20.0±0.9	5.01±0.14	12.6±0.5	31.2±1.9	39.9±1.6	1.1±0.1
0.5	227.6±5.8	113.3±5.4	673.3±40.9	18.4±0.4	5.04±0.12	13.2±0.7	29.3±1.3	34.6±2.5	1.3±0.1
1	224.1±6.0	119.4±4.1	728.6±36.6	19.3±0.7	4.80±0.12	12.4±0.6	32.3±2.3	35.9±2.3	1.2±0.2
2	220.8±5.9	109.4±5.3	732.4±34.6	20.4±0.6	4.96±0.11	12.6±0.8	32.3±1.0	34.8±2.2	1.2±0.1
4	232.6±5.5	115.7±5.5	697.1±27.3	18.7±0.9	5.09±0.15	13.3±0.6	32.5±1.2	35.2±1.9	1.2±0.1
8	222.6±6.0	111.1±4.2	832.3±26.1	19.8±0.7	5.03±0.16	13.0±0.7	33.5±1.3	38.0±3.1	1.4±0.2
12	213.2±6.2	114.1±4.3	801.3±28.9	19.8±0.4	4.89±0.18	12.2±0.5	33.1±1.0	40.1±2.6	1.5 <sup>*</sup> ±0.2
20	223.3±5.7	111.2±5.6	687.6±27.7	17.8±0.7	4.72±0.12	12.0±0.6	29.0±1.3	33.1±2.6	1.3±0.1

† ; Figure represents the mean and the standard error of 30 plants.

\* ; Significant at 5% level.

며, 나머지 저선량 조사는 대조구의 5.01 cm와 12.6개 보다 낮은 값을 보였다. 옥수수 종실 100립중에서도 12 Gy 조사의 4.01 g을 제외하고는 저선량 조사구 모두가 대조구의 39.9 g보다 낮은 값을 보였고 주당 이삭수에서는 저선량 조사구 모두가 대조구보다 높은 수량을 보였는데 12 Gy 조사가 대조구의 1.1개에 비해 36% 정도 높은 1.5개로 통계적으로 유의성있는 ( $p < 0.05$ ) 증가효과를 보였고 다음이 8 Gy 조사의 1.4개였다. Caldera<sup>10)</sup>는 옥수수 종자에 저선량 방사선을 조사하여 수량이 증가되었다고 보고하였으며<sup>11)</sup>, Berezina 등은 옥수수 종자에 5 Gy의  $\gamma$  선을 조사하여 초장과 수량 등이 증대되었다고 하였으나 본 실험에서는 품종에 따라 다소 차이를 보이나 8 Gy를 전후한 선량에서 성장촉진효과를 나타내었다.

## 요 약

국내에서 재배중인 옥수수 재래종 (고성, 영월) 품종의 종자에 저선량  $\gamma$  선을 조사하여 초기생육과 수량에 미치는 영향을 온실과 포장실험으로 조사하였다.

저선량 방사선 조사가 옥수수 종자발아 및 초기생육에서 뚜렷한 촉진효과를 보였으나 품종별로 다소 차이가 있었으며 고성재래종은 2 Gy, 영월재래종은 12 Gy가 가장 효과적이었다.

포장생장과 수량에서도 저선량 조사에 의해 증가하는 경향을 보였는데 적정선량은 고성재래종은 8 Gy, 영월재래종은 4~12 Gy 범위로 나타났다.

## 감사의 글

본 연구는 과학기술부의 원자력연구개발사업의 일환으로 수행되었음.

## 참 고 문 헌

1. Luckey, T. D. (1980). *Hormesis with ionizing radiation*. CRC press. Inc. Boca Raton. Fla.
2. Kim, J. S., and Y. B. Lee (1998). Ionizing radiation hormesis in crops. *Korean J. of Environ. Agri.* 17(1):76-85.
3. Miller, M. W., and Miller, W. M. (1987). Radiation hormesis in plants. *Health Physics.* 52(5):607-616.
4. Simon, J., M. Digleria, and Z. Lang (1981). Comparative studies on the effects of low doses X-ray and gamma irradiation on the amylase activity of maize seedling *Proc. European Soc. for Nuclear Methods in Agriculture.* Aberdeen. U. K.
5. Kim, J. S., H. S. Song, J. K. Kim, Y. K. Lee, and Y. B. Lee (1998). Stimulation effect of early growth in crops by low dose radiation. *Korean J. of Environ. Agri.* 17(2):156-159.
6. Kim, J. S., J. K. Kim, Y. K. Lee, M. H. Back, and J. K. Kim (1998). Effects of low dose gamma radiation on the germination and yield components of chinese cabbage. *Korean J. of Environ. Agri.* 17(3):274-278.
7. Kim, J. S., Y. K. Lee, H. S. Song, H. S. Park, and J. K. Kim (1999). Effects of low dose ionizing radiation on the growth and yield of soybean cultivars. *Korean J. of Environ. Agri.* 18(1):66-69.
8. Kaindl, K., and M. Fosner (1965). The accelerating effect of small radiation doses on plants, *Bayer. Landwirtsch. Jahrb. Sonderh.* 42 : 11.
9. Berezina, N. M., E. I. Kornova, and R. R. Riza-Zade (1962). Result of production testing maize seeds irradiated prior to sowing with <sup>137</sup>Cs gamma rays. *Radiobiology (USSR).* 2 : 180.
10. Caldera, P. G. (1971). Gamma stimulation of maize. *Stim. Newsl.*, 2:5.
11. Degner, W., and W. Schacht, (1974). Specific effects of low doses of ionizing radiation on seed of cultivated plants. *Radibiol. Rodiother.*, 15:661.
12. Niels, W. H., and J. B. Roger (1970). *Manual on radiation dosimetry.* Marced Derker Inc. New York.