

저선량 γ 선 조사가 대두 식물체의 방사선 감수성에 미치는 영향

김재성* · 채성기 · 백명화 · 김동희
한국원자력연구소 동위원소 방사선응용연구팀

Effects of Low Dose γ Radiation on the Radiosensitivity of Soybean (*Glycine max* L.) Plant

Jae-Sung Kim*, Sung-Ki Chae, Myung-Hwa Back and Dong-Hee Kim(Korea Atomic Energy Research Institute, Taejon, 305-353, Korea)

ABSTRACT : Soybean (*Glycine max* L. cv. Hwangkeum) seeds were irradiated with the dose of 0~20 Gy to investigate the effect of the low dose γ -ray radiation on the early growth and resistance to subsequent high dose of radiation. Germination rate was not enhanced in the seeds irradiated with low dose γ -ray but plant height and fresh weight increased in the low dose irradiation group. The optimal radiation dose for the growth increasing was 8 Gy in soybean plant. Growth inhibition of soybean plants by high dose radiation was noticeably reduced by pre-irradiation of low dose radiation. Resistance to subsequent high dose of radiation was effective in 8 Gy and 20 Gy irradiation group.

Key words : Germination, Growth increasing, Low dose radiation, Resistance, Soybean, Subsequent high dose

서 론

지구상의 생물은 강한 방사선의 존재 하에서 진화하여 왔으며 현재 일상생활에서도 저수준의 방사선에 계속 피폭되고 있어 사람을 포함한 모든 생물체는 이온화 방사선을 피할 수 없다. 생체의 대사중인 조직에는 물이 중량으로서 약 70%, 분자수로서 99%를 구성하고 있기 때문에 조직에서의 이온화방사선 영향의 대부분은 간접작용이다. 물에서 생성된 이온과 radical은 SH 화합물과 같은 포집제가 형성될 때까지 분자에서 다른 분자로 계속해서 주변 분자에 작용할 것이다. 대부분의 물리적, 화학적, 생물학적 작용물질들은 각각 특유한 방법으로 작용하지만 이온화방사선은 유리 radical, 이온 및 파괴된 분자와 같은 공통인자를 통해서 반응을 시작하는 것으로 생각된다^{1,2)}. 이온화방사선에 의해 생성된 이온, radical 및 특이분자들은 산소 존재 시에는 더욱 복잡해져서 과산화물, hydroperoxides 및 여러 가지 산화분자가 생성되는데 이들 속에는 비교적 유독한 화합물질도 포함될 것이다. Kuzin 등³⁾은 이온화방사선의 특유의 독소로서 여러 가지 quinone 또는 과산화물을 들고 있는데 아마 이들 물질은 저농도에서 자극작용을 나타낼 것이다. 보고되어있는 방사선 hormesis에 관한 다른 생화학적 요소에는 당질대사, 광합성, 영양소농도, 산화적 인산화반응 및 효소활성의 변화 등이 있으나 증거가 확실치 않으며 작용기작에 관계없이 방사선 자극작용이 hormesis 일반법칙과 일치한다는 것이다⁴⁾. 방사선 hormesis에 대한 많은 실험결과는 이온화방사

선의 종류에 상관없이 거의 비슷한 생물학적 영향을 보여주며 계통발생을 통해서 생물은 저선량의 이온화방사선에 의해 자극 받아 발아, 성장과 발육의 촉진, 수량 구성요소의 증가 등과 호흡, 한발, 개화, 결실 및 영양생산 등에서도 고유한 특성이 나타나며 특이한 점은 저선량의 이온화방사선에 의한 피폭은 그 이후의 고선량 방사선에 대해서 저항력을 증가시킨다는 것이다⁴⁾. 본 실험에서는 국내 재배종인 황금콩 종자에 저선량 γ 선을 조사하여 초기생육에 미치는 영향을 관찰한 후, 후속으로 고선량의 방사선을 대두식물체에 조사하여 방사선 감수성의 변화를 조사하였다.

재료 및 방법

공시품종 : 공시재료로 사용한 대두 (*Glycine max* L.) 품종은 한국원자력연구소 시험농장의 포장에서 생산하여 6개월간 실온에서 저장한 황금콩을 선정하였다.

저선량조사 : 저선량 γ 선 조사에 사용한 시설은 한국원자력연구소에서 보유중인 저준위조사시설 (⁶⁰Co)을 이용하여 γ 선을 0, 4, 8, 12, 20 Gy 5수준으로 건조종자에 직접 조사하였다. 조사선량은 Fricke dosimeter로 측정하였다.

온실재배실험 : γ 선 조사 당일에 종자 100립씩을 배양토와 모래가 1:1로 충전된 100공 plug tray에 파종하여 유리온실에서 발아시켜 파종 7일 후에는 발아율을, 파종 15일 후에는 초장과 생체중 등 초기생육을 조사하였다. 생육조사 직후 각각의 선량별로

비슷한 크기의 유묘를 선발하여 동일한 토양으로 충전된 직경 15cm의 비닐 pot 30개에 3주씩 이식하여 후속고선량 조사시료로 사용하였다.

후속고선량조사 : 저선량 조사하여 재배한 대두 식물체를 이식한 다음 날 임의 선택한 각각의 저선량 조사구 10개 pot에 후속고선량으로 50, 100, 200 Gy의 γ 선을 조사하여 45일 후에 초장과 생체중 및 엽록소 함량을 측정하였다.

엽록소함량분석 : 후속고선량 조사 45일 후에 Arnon 방법⁵⁾을 참조하여 조사 선량별로 동일 부위의 대두식물체 잎을 채취하였다. 잎시료 0.5 g씩을 액체질소로 얼린 다음 막자사발에서 마쇄하여 15 ml falcon tube에 옮긴 후 10 ml의 80% acetone으로 암상태(4°C)에서 24시간 추출한 다음 여과지(watman No. 41)로 여과하여 80% acetone으로 10배 희석한 후 shimazu사의 UV-1601pc spectrophotometer를 사용하여 파장 652 nm에서 흡광도를 측정하였다.

통계분석 : 통계적 유의성은 student *t*-test로 각 실험구의 값을 비교하였으며 p값이 0.05, 0.01, 0.001 보다 적은 경우로 나누어 각각의 유의성을 평가하였다.

결과 및 고찰

저선량에 대한 대두의 초기생육 효과

저선량 조사하여 비닐 pot에 파종하여 온실에서 재배한 대두 신규종자의 발아율은 표 1에서 보는바와 같이 대조구와 저선량 조사구 모두 비슷하게 98% 이상으로 양호하였으며 방사선 조사에 따른 어떤 차이를 보이지 않았다. 파종 15일 후에 조사한 초기생육 중 초장 또한 대조구 20.0 cm에 비해 저선량 조사구 모두 대조구 보다 2~4% 증가하여 다소 양호한 생육양상을 보였으나 뚜렷한 차이를 보이지는 않았다. 생체중에서는 대조구의 2.27 g에 비해 저선량 조사구가 다소 양호한 경향을 보였는데 8 Gy 조사

구가 2.44 g으로 7% 정도 증가하였으며 12 Gy 조사구가 2.34 g으로 저선량 조사구에서는 가장 낮은 3% 정도 증가효과를 보였다. 파종 60일 후에 조사한 초장은 저선량 조사구 모두가 대조구에 비해 통계적으로 유의성있는 양호한 생육을 보였다. 저선량 조사구 중 20 Gy 조사구가 가장 높은 84.5 cm로 대조구 67.2 cm에 비해 26% 정도의 고도의 유의성있는 ($p < 0.001$) 생육 증가를 보였고 4 Gy와 8 Gy 조사구에서도 비슷한 유의성있는 ($p < 0.001$) 효과를 보였으며, 12 Gy 조사구에서는 75.5 cm로 대조구에 비해 12% 정도 증가하였으나 유의성은 없었다. 생체중에서도 저선량 조사 효과가 나타났으나 초장과는 다른 경향을 보였다. 8 Gy 조사구가 가장 높은 74.7 g의 생체중으로 대조구의 55.1 g에 비해 36% 정도 유의성 있는 ($p < 0.05$) 증가효과를 보였고 다음이 4 Gy 조사구가 72.5 g으로 32% 정도 유의성있게 ($p < 0.05$) 증가하였으나 저선량 조사구중 초장이 가장 낮았던 12 Gy 조사구는 생체중에서도 대조구보다 3% 정도 감소한 53.6 g으로 가장 낮았다. 김등⁶⁾은 4 Gy의 γ 선 조사구에서 대두종자의 발아율과 초기생육이 촉진되었으며 Stan과 Jinga⁷⁾도 10 Gy 이하의 γ 선 조사에 의해 대두 종자의 발아율이 증가되었다고 하였으나 저선량 조사한 종자의 재배환경과 토양조건¹⁾ 및 종자의 상태와 품종⁶⁾에 따라서 저선량 조사효과가 다르게 나타났는데 본 실험에서는 저선량 조사에 의해 발아율 증가효과는 나타나지 않았다. Luckey¹⁾와 Miller⁴⁾는 작물종자에 저선량 방사선을 조사하면 초기 생육속진과 수량 증가에 대한 효과가 있었다고 하였고, Stan과 Croitoru⁶⁾는 대두종자에 γ 선 3~9 Gy 조사에서 생육과 pod 형성이 증가되었다고 보고하였다⁷⁾. 저선량의 γ 선을 대두종자에 조사한 Gaur와 Desai⁴⁾도 대두의 생장과 수량증가 효과를 인정하였다. 본 실험에서는 8 Gy 조사구에서 대두작물의 생장 증대효과가 가장 높게 나타났다.

대두작물체의 방사선 감수성 변화

저선량 조사한 종자로부터 생육한 대두 작물체의 후속고선량에

Table 1. Growth response of soybean developed from seeds irradiated with different doses of gamma radiation

Traits	Irradiation dose (Gy)				
	0	4	8	12	20
Germination rate (%)	98.5 ± 0.6 [†]	98.3 ± 0.6	98.8 ± 0.5	98.8 ± 0.5	98.5 ± 0.6
Plant height (cm) [‡]	20.0 ± 0.3	20.4 ± 0.3	20.8 ± 0.5	20.5 ± 0.3	20.3 ± 0.3
Fresh weight (g/plant) [‡]	2.27 ± 0.07	2.38 ± 0.07	2.44 ± 0.08	2.34 ± 0.06	2.39 ± 0.06
Plant height (cm) [§]	67.2 ± 2.9	83.7 ± 2.4 ^{***}	84.0 ± 2.2 ^{***}	75.5 ± 3.6	84.5 ± 2.5 ^{***}
Fresh weight (g/plant) [§]	55.1 ± 7.0	72.5 ± 4.1 [†]	74.7 ± 6.1 [†]	53.6 ± 7.8	63.6 ± 4.0

*, **, *** : Significant at 5%, 1% and 0.1% level, respectively.

† : Mean ± standar error.

‡ : Before high dose γ -radiation (15 days after sowing)

§ : After high dose γ -radiation (60 days after sowing)

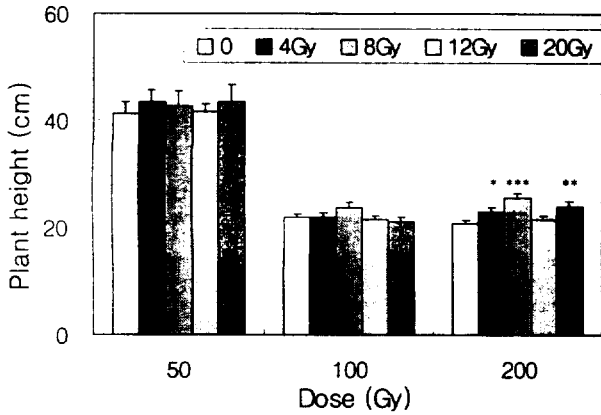


Fig. 1. Effects of subsequent high dose radiation on the plant height of soybean grown from seed irradiated with low dose of γ -ray (Bars represent the standard error of the mean, *, **, *** : Significant at 5%, 1% and 0.1% level, respectively).

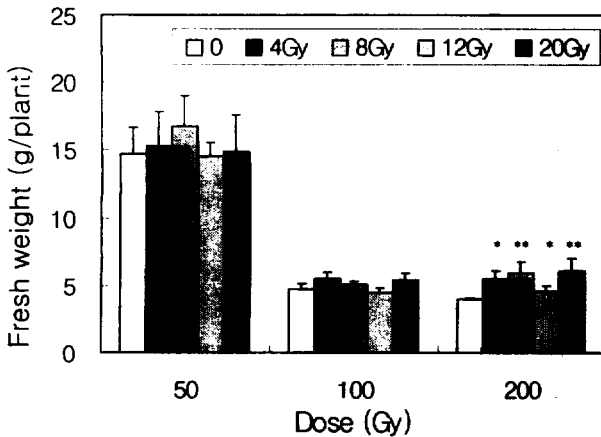


Fig. 2. Effects of subsequent high dose radiation on the fresh weight of soybean grown from seed irradiated with low dose of γ -ray (Bars represent the standard error of the mean, *, ** : Significant at 5% and 1% level, respectively).

대한 방사선 감수성 변화를 알아보려고 저선량 조사하여 파종한 후 15일째에 대두 유식물체에 γ 선 50, 100, 200 Gy를 조사하고 45일 후에 생육상황을 관찰하였다. 초장의 경우는 그림 1에서 보듯이 50 Gy를 조사한 경우 대조구의 41.3 cm에 비해 저선량 조사구 모두가 양호한 생육으로 저선량 조사에 의한 후속고선량에 대한 저항성을 보였고 20 Gy 조사구가 43.5 cm로 5% 정도 증가하였으나 통계적으로 유의성은 없었다. 100 Gy 조사구에서는 8 Gy 조사구가 23.7 cm로 8% 정도로 증가하였으나 나머지 저선량 조사구에서는 대조구 21.8 cm와 비슷하거나 낮은 초장을 보여 다른 고선량 조사구와는 차이를 보였다. 200 Gy 조사구에서는 대조구 20.7 cm에 비해 저선량 조사구 모두가 높은 초장을 보

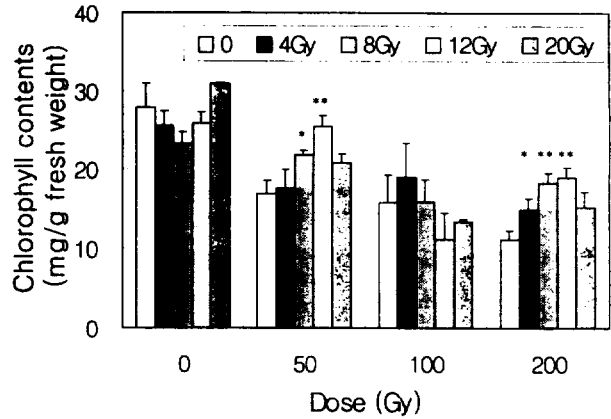


Fig. 3. Effects of subsequent high dose radiation on the chlorophyll contents of soybean grown from seed irradiated with low dose of γ -ray (Bars represent the standard error of the mean, *, ** : Significant at 5% and 1% level, respectively).

였고 8 Gy 조사구가 25.5 cm로 23%의 통계적으로 고도의 유의성있는 ($p < 0.001$) 증가효과를 보였다. 다음이 20 Gy와 4 Gy 조사구로 각각 23.8 cm와 22.8 cm의 초장으로 통계적으로 유의성있게 각각 15% ($p < 0.01$)와 10% ($p < 0.05$)의 증가효과를 나타내었다. 생체중 (그림 2)에서도 초장과 비슷한 경향을 보였으며 50 Gy 조사구에서는 8 Gy 조사구가 16.7 g으로 대조구 14.7 g에 비해 14% 정도 증가하였으나 유의성은 없었다. 100 Gy 조사구에서도 4 Gy와 20 Gy 조사구가 5.5 g으로 대조구 4.7 g에 비해 17% 정도 증가하였으나 유의성은 없었고 12 Gy 조사구는 4.5 g으로 대조구보다 4% 정도 감소하였다. 200 Gy 조사구에서는 저선량 조사에 의해 후속고선량에 대한 뚜렷한 저항성을 보였는데 8 Gy와 20 Gy 조사구가 6.1 g으로 대조구 3.9 g에 비해 50% 이상 높은 통계적 유의성있는 ($p < 0.01$) 증가효과를 보였다. 다음이 4 Gy와 12 Gy 조사구에서도 각각 5.5 g과 4.6 g으로 통계적으로 유의성있는 41% ($p < 0.05$)와 18% ($p < 0.05$)의 증가를 보였다. 본 실험의 결과로 볼 때 저선량 조사가 대두 유식물체의 후속고선량에 대한 방사선 내성을 증가시키며 적정 저선량은 8 Gy 정도인 것으로 나타났다. 그림 3은 대두 식물체의 엽록소 함량을 보여주는 것인데 고선량 방사선 조사에 의한 생육장애로 함량이 다소 낮아지는 경향을 보였다. 고선량 조사 않은 대조구 식물체에서는 생육경향과는 다르게 20 Gy의 31.0 mg을 제외하고는 저선량 조사구 모두가 대조구의 27.9 mg 보다 낮은 함량을 보였다. 고선량 50 Gy 조사구에서는 저선량 조사구 모두가 대조구 16.8 mg보다 높은 함량을 보였는데 12 Gy 조사구가 25.5 mg으로 50% 정도 높은 유의성있는 ($p < 0.01$) 증가를 보였고 다음이 8 Gy 조사구의 21.8 mg으로 30% 정도 유의성있게 ($p < 0.05$) 증가하였다. 100 Gy 조사구에서는 생육이 불량하였는데 엽록소 함량에서도 비슷한 경향을 보였으며 4 Gy 조사구가 19.0 mg으로 대조구 15.8 mg보다 20% 정도 증가하였으나 다른 저선량 조사구에서는 대조구와 비슷하거나 크

게 감소하였다. 200 Gy 조사구에서는 저선량 조사구 모두가 대조구 11.1 mg보다 매우 높은 함량을 보였는데 12 Gy와 8 Gy 조사구는 각각 19.1 mg과 18.3 mg으로 대조구보다 각각 72%와 65% 증가하여 통계적으로 높은 유의성($p < 0.01$)을 나타냈다. 이상의 결과로 볼 때 저선량 방사선 조사에 의해 후속고선량에 대한 방사선 저항성이 증가한 것으로 나타났다. 저선량 조사한 식물의 후속고선량 저항성에 관한 보고가 많지는 않으나 Luckey¹⁾와 김과 이²⁾는 저선량 조사한 종자에서 생육한 식물체는 영양, 생리대사 활성화로 병 저항성과 한발 내성 및 후속고선량에 대한 저항성이 증가한다고 하였으며 김 등¹⁰⁾이 저선량 조사한 토마토 식물체의 초장과 생체중이 후속고선량에 대하여 저선량 무조사구에 비하여 양호하였으며 품종에 따라 다르다고 하였다. 저자가 수행한 몇 가지 실험결과에서도 저선량 조사에 대해 고추 역병 저항성¹¹⁾과 대두의 산성비 장애에 대한 피해 경감효과¹²⁾ 등을 확인할 수 있었다.

요 약

저선량 조사한 대두종자의 초기생육과 대두 유식물체의 후속고선량에 대한 방사선 감수성 변화를 알아보고자 저선량 0, 4, 8, 12, 20 Gy를 조사하여 재배한 대두 유식물체에 γ 선 50, 100, 200 Gy를 조사한 후 생육상황을 관찰하였다.

저선량 조사에 의해 대두 신규종자의 발아율 증가효과는 없었으나 작물 성장 증대효과는 있었으며 저선량 8 Gy 조사구가 가장 효과적이었다.

대두유식물체의 고선량 방사선에 의한 생육장애는 사전 저선량 조사에 의해 크게 감소되었으며 저선량 조사에 의한 고선량 방사선 저항성 증가는 8 Gy와 20 Gy 조사에서 가장 효과적이었다.

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. Kuzin, A. M., V. A. Kopylov, and M. E. Vagobova (1976) On the role played by radiotoxins in stimulation of the growth and development of irradiated seeds. Stim. Newsl. 9:27-31.
4. Miller, M. W., and W. M. Miller (1987) Radiation hormesis in plants. Health Phys. 52(5):607-616.
5. Arnon, D. L. (1949) Copperenzymes in isolated chloroplasts polyphenoloxidase in veta vulgaris. Plant Phys. 24:1-15.
6. 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.
7. Stan, S., and S. A. Jinga (1966) The effects of low gamma ray dose of ⁶⁰Co on bean and soybean plants. Ann. Inst. Cercet. Pentru, Cereale Plante The. Fundulea, 34:369.
8. Stan, S., and A. Croitoru (1970) Effect of low, moderate and high levels of gamma radiations (⁶⁰Co) on soybean plants. I. Analysis of growth and yield. Stim. Newsl. 1:23-25.
9. Gaur, B. I. and B. M. Desai (1971) Screening of crop plants for radiation induced stimulation. I. Kidney bean, onion and lettuce. Stim. Newsl. 3.
10. Kim, J. S., J. K. Kim, M. H. Back, and Kim, D. H. (1999) Effects of low dose γ -ray on the early growth of tomato and the resistance to subsequent high doses of radiation. Korean J. of Asso. Radiat. Prot. 24(3):123-129.
11. Kim, J. S., E. K. Lee, J. Y. Song, H. G. Kim, and Y. B. Lee (2000) Induction of resistance against *Plytophthora Blight* of pepper by low dose gamma ray radiation. Korean J. of Environ. Bio. 18(1):47-51.
12. Kim, J. S., E. K. Lee, Y. K. Lee, and Y. B. Lee (1999) Influence of artificial acid rain on the growth of soybean irradiated with low dose gamma radiation. Korean J. of Environ. Agri. 18(3):245-249.