

## 저선량 감마선이 조사된 대두작물의 생육에 미치는 산성강우 효과

김재성 · 이은경 · 이영근 · 이영복<sup>1)</sup>  
한국원자력연구소, <sup>1)</sup>충남대학교 원예학과

### Influence of Artificial Acid Rain on the Growth of Soybean Irradiated with Low Dose Gamma Radiation

Jae-Sung Kim, Eun-Kyung Lee\*, Young-Keun Lee, Young-Bok Lee<sup>1)</sup> (Korea Atomic Energy Research Institute, Taejeon, 305-353, Korea, <sup>1)</sup>Dept. of Horticulture, Chungnam National University, Taejeon 305-764, Korea)

**ABSTRACT** : This study was carried out to investigate the influence of artificial acid rain on the growth of soybean irradiated with the low dose gamma radiation. The growth patterns of Hwangkumkong and Bangsakong were not dependent on the acid rain treatment and the period of seed storage but the radiation dose. In Hwangkumkong, the optimal irradiation dose for the growth promotion was lower in the acid rain treatment group than the control group. The symptom of acid rain damage appeared broadly around pH 2.20, were higher in Hwangkumkong than in Bangsakong, and were more effective in the seeds of 1997 than 1995. But the damage symptom of Bangsakong was not dependent on the acid rain treatment and the irradiation of gamma radiation.

Key word : artificial acid rain, radiation hormesis, gamma radiation, Hwangkumkong, Bangsakong,

## 서론

많은 학자들에 의해 유해한 물질도 유해량 이하의 적정 농도에서는 생물활성을 촉진시킨다는 hormetic effect가 인정되고 있으며, 방사선도 물리적 작용물질의 하나로서, X선과  $\gamma$ 선 등에 의한 식물의 발아력 향상과 초기생육 촉진 및 작물의 수량 증가 등에 관한 방사선 hormesis가 많이 보고되고 있다.<sup>1)</sup>

대두의 감마선 조사에 의한 자극 효과는 숙기단축, 뿌리혹생성 효과 및 수량 증가 등이 보고되어 있으며<sup>2)</sup>, 300~900 rad의 감마선을 조사한 대두종자에서 112%의 생육 촉진효과와 117%의 pod 형성 증가 및 단백질 함량이 증가되었다는 보고도 있다<sup>3)</sup>. 저선량 감마선이 조사된 종자에서 생육한 식물의 생육촉진과 생장중대 외에도 옥수수 등에서 감염에 대한 저항력이 증대되었다는 보고도 있으며<sup>4, 5)</sup>, 콩과식물에서 한발에 대한 저항성 증가 보고도 있다<sup>6)</sup>. 또한 감자 괴경에 저선량 감마선을 조사하여 수량증가와 함께 비타민 C 함량과 역병 저항성을 증가시킬 수 있다는 보고도 있다<sup>7, 8)</sup>. 콩과식물의 X선 조사 역시 감마선 조사에서 보인 발아력, 생육, 수량증가를 보였으며<sup>9)</sup>, X선 조사하여 재배한 콩 식물체의 비타민 C 함량이 자연에서는 대조구에

비하여 높았으나, 뿌리에서는 낮았다는 결과를 보고하기도 하였다<sup>10)</sup>. 따라서 본 실험에서는 대기오염 물질 등 급격한 산업의 발달로 야기되는 산성강우가 저선량의 감마선이 조사된 종자에서 생육한 식물에 미치는 영향을 알아보기 위하여 대두작물을 공시재료로 사용하여 품종별, 종자 저장기간 및 산성강우 pH 등에 따라 나타나는 생육과 피해를 조사하였다.

## 재료 및 방법

**공시재료** : 저선량의 감마선이 조사된 대두종자에서 생육한 식물체에 산성강우가 미치는 영향을 알아보기 위하여 황금콩은 1995년산과 1997년산 종자를, 그리고 방사콩은 한국원자력연구소 시험농장에서 보유중인 1994년산, 1995년산, 1996년산, 1997년산 종자를 공시재료로 사용하였다.

**방사선 조사** : 저선량의 방사선 조사에 사용한 조사선원은 한국원자력연구소의 저준위 감마선 조사시설(<sup>60</sup>Co, 약 400 Ci 용량, Panoramic irradiator, Atomic Energy of Canada Ltd.)를 이용하여 상온 공기 중에서 종자를 0, 0.5, 1, 2, 4, 8, 12, 16, 24Gy의 선량으로 건조종자에 직접 조사하였다. Fricke dosimeter로 측정된 조사선량은 0.44Gy/hr 이었다<sup>11)</sup>.

재배방법 : 저선량의 감마선이 조사된 각각의 대두종자를 한국원자력연구소 온실주변의 비경작 척박 토양을 충진한 소형 연결 pot(직경 11cm)에 20립씩 3반복으로 파종한 후 발아시켰다. 파종 30일 후 마사토와 모래를 1:1(v/v)로 배합하여 충진한 직경 15cm pot에 pot당 3주씩 3반복으로 이식한 후 산성강우 처리에 이용하였다.

산성강우 처리 : 산성강우는 Blanpied 방법<sup>12)</sup>에 준하여 pH 2.20, 2.45, 6.00(일반비 수준의 대조구)의 인위적으로 조제한 산성강우를 매일 1회 10일에 걸쳐 작물체에 골고루 살포하였으며, 마지막 처리 후 5일되는 날 각각의 초장과 피해정도를 조사하였다. 피해 정도는 잎에서의 피해 증상(엽록소 파괴, 위조 현상)을 육안으로 조사하였으며 피해가 심한 정도를 1부터 5까지 5단계로 구분한 증상지수(SI: symptom index)를 사용하였는데, 피해 정도가 심한 경우를 SI 5로 판단하였다.

## 결과 및 고찰

### 산성강우 처리에 따른 생육양상

파종 30일 후 이식한 황금콩과 방사콩에 인위적으로 조제한 산성강우를 대조구(pH 6.00)와 pH 2.45, 2.20으로 각각 처리한 후 생육양상을 조사한 결과 황금콩과 방사콩의 생육양상은 표 1과 같다. 황금콩과 방사콩의 생육양상은 품종간에 초장 차이를 보여 방사콩에 비해 황금콩에서 초장이 다소 큰 것으로 나타났다. 황금콩에서의 생육양상은 산성강우 pH 처리에 큰 영향을 받지 않아 대조구(pH 6.00)와 처리구(pH 2.45와 2.20)간의 초장차이는 크지 않았다. 그러나 산성강우 무처리구와 처리구 모두 감마선 조사선량에 따라서는 큰 생육 차이를 보여 대조구에 비해 저선량 조사구에서 초장이 증가하는 경향을 보였다. 또한 저선량의 감마선 조사로 초장 증가를 보이는 선량은 pH 처리구에 따라 차이를 보였는데 산성강우 무처리구(pH 6.00)에서의 효과적인 선량은 12Gy로 1995년산과 1997년산 각각 39.63cm과 36.93cm의 초장을 보인 반면 대조구에서는 각

Table 1. Effect of  $\gamma$ -ray irradiation on the plant height induced by artificial acid rain in soybean cultivars and seed ages.

Dose(Gy)	Plant height (cm)					
	Cultivars and seed ages (production years)					
	Hwangkum			Bangsa		
	1995	1997	1994	1995	1996	1997
			<u>pH 6.00</u>			
0	31.69 bz	30.58 c	27.73 c	26.48 d	25.88 c	27.94 c
0.5	33.69 b	31.56 c	30.35 bc	28.76 bc	29.25 cd	28.63 bc
1	34.63 b	33.15 bc	30.70 bc	30.10 b	30.38 bc	29.00 bc
2	34.19 b	32.50 bc	30.08 bc	33.50 a	33.38 a	29.13 bc
4	34.06 b	26.45 d	34.11 a	28.94 bc	27.69 dc	30.31 ab
8	34.19 b	32.53 bc	32.23 ab	27.25 cd	28.88 cd	28.25 bc
12	39.63 a	36.93 a	29.65 bc	27.63 cd	30.69 bc	30.38 ab
16	32.13 b	35.03 ab	30.48 bc	30.00 b	31.69 ab	32.31 a
24	32.69 b	34.48 ab	28.40 c	26.19 d	29.00 cd	30.38 ab
			<u>pH 2.45</u>			
0	34.36 a	27.79 d	30.14 a	27.93 de	25.00 d	28.86 ab
0.5	36.21 a	35.64 a	30.71 a	28.79 cde	29.29 b	29.14 ab
1	37.07 a	35.57 a	28.50 a	31.43 bc	29.07 b	29.29 ab
2	34.00 a	32.50 bc	28.36 a	31.93 ab	31.71 a	28.93 ab
4	34.71 a	28.07 d	30.79 a	29.07 cde	26.50 cd	29.93 ab
8	34.70 a	30.86 c	29.57 a	26.29 e	28.14 bc	28.00 bc
12	34.00 a	33.71 ab	28.36 a	29.64 bcd	33.00 a	30.64 a
16	30.43 b	31.57 bc	30.43 a	34.43 a	31.71 a	29.57 ab
24	29.07 b	33.29 abc	28.64 a	28.36 de	25.00 d	26.21 c
			<u>pH 2.20</u>			
0	29.89 d	29.57 d	28.16 a	28.29 bc	27.37 d	28.77 c
0.5	35.23 ab	32.57 bc	30.07 a	27.46 c	29.11 cd	29.77 abc
1	38.26 a	35.26 a	27.86 a	31.33 a	31.27 bc	32.06 ab
2	36.23 ab	34.54 ab	29.37 a	33.46 a	32.14 b	28.49 c
4	34.60 ab	29.23 d	29.77 a	30.80 ab	28.86 cd	29.06 bc
8	33.97 bc	29.57 d	28.40 a	27.74 c	27.63 d	25.20 d
12	38.29 a	31.24 cd	28.16 a	33.20 a	34.49 a	27.94 cd
16	33.74 bc	32.74 bc	30.60 a	32.37 a	31.06 bc	32.49 a
24	30.77 cd	32.71 bc	28.03 a	32.16 a	28.06 d	28.49 c

<sup>a</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

Fig. 1. Growth response of soybeans (cv. Hwangkum) to artificial acid rain treatment (pH 2.20). Seeds were irradiated with  $\gamma$ -ray prior to sowing. Irradiation doses from left to right were 0, 0.5, 1, 2, 4, 8, 12, 16 and 24 Gy. A; 1997 production years, B; 1995 production years

각 31.69cm와 30.58cm를 보여 대조구에 비해 12Gy 조사구에서 초장이 크게 증가하는 것으로 나타났다. pH 2.45와 2.20 처리구에서도 감마선 무조사구에서는 각각 34.36cm(1995년산), 27.79cm(1997년산) 및 29.89cm(1995년산) 그리고 29.57cm(1997년산)를 보인 반면 1Gy 조사구에서는 37.07cm와 35.57cm 그리고 38.26cm와 35.26cm를 보

Table 2. Comparison of  $\gamma$ -ray irradiation on the sensitivity of injury induced by artificial acid rain in soybean cultivars and seed age

Dose(Gy)	Injury symptom indices					
	Cultivars and seed ages (production years)					
	Hwangkum		Bangsa			
	1997	1995	1994	1995	1996	1997
	<u>pH 6.00</u>					
0	1.75z	1.33	1.75	1.25	1.25	1.50
0.5	2.25	1.33	1.25	1.50	1.25	1.50
1	1.25	1.33	1.50	1.50	1.25	1.25
2	1.50	1.67	1.25	1.50	1.00	1.50
4	1.25	1.67	2.00	1.50	1.25	1.00
8	1.50	1.33	1.25	1.25	1.00	1.25
12	1.75	1.33	1.50	1.00	1.25	1.50
16	1.75	1.75	1.50	1.25	1.25	1.00
24	1.50	2.25	1.25	1.25	1.50	1.25
	<u>pH 2.45</u>					
0	1.67	2.33	1.67	1.67	1.00	2.00
0.5	1.33	1.33	1.33	1.67	1.00	2.00
1	1.33	1.67	1.33	2.00	1.00	1.33
2	1.67	1.67	1.33	1.67	1.00	1.33
4	1.33	2.00	1.00	2.00	1.33	1.67
8	1.67	2.00	1.00	1.67	1.00	1.67
12	1.33	1.33	1.67	1.67	1.67	1.33
16	1.33	1.67	1.33	1.00	1.00	1.33
24	2.00	1.67	1.33	1.67	1.25	1.67
	<u>pH 2.20</u>					
0	4.67	5.00	4.67	4.67	4.67	4.67
0.5	3.33	4.33	5.00	4.67	4.33	4.67
1	2.67	3.67	5.00	5.00	4.67	4.67
2	3.00	3.67	4.33	5.00	3.67	4.67
4	3.33	3.00	4.67	5.00	4.33	4.67
8	3.00	3.67	4.33	4.67	4.67	4.33
12	3.00	4.67	4.67	5.00	4.67	4.67
16	3.00	4.33	4.67	5.00	4.67	4.67
24	3.33	4.67	4.67	5.00	4.67	4.33

zSensitivity of injury was determined in the range from 1 (sound) to 5 (severe).

여 역시 대조구에 비해 1Gy 조사구에서 초장이 증가하는 것으로 나타났다. 이것으로 산성강우 pH 처리 농도에 따라서는 초장차이가 크지 않은 것으로 나타났으나 초장 증가를 보이는 조사선량이 산성강우 무처리구에서는 12Gy인 반면 산성강우 처리구에서는 pH 2.45와 2.20 처리구 모두 1Gy로 적정 조사선량이 낮아지는 경향을 보였다. 그리고 종자 저장기간에 따라서도 산성강우 처리가 초장에 미치는 영향은 크지 않은 것으로 나타났다.

또한, 1994년산 방사콩의 생육 양상은 산성강우 무처리구(일반비 수준의 pH 6.00)에서만 초장 차이를 보였는데 감마선 무조사구에서는 27.73cm인 반면 4Gy 조사구에서 34.11cm로 초장이 크게 증가하였으며, 유의성도 인정되었다. 그러나 pH 2.45와 2.20 처리구에서는 pH 농도 차이에 따라서 큰 차이를 보이지 않았으며, 또한 방사선 조사선량에 따라서도 생육 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다. 1995년산과 1996년산 방사콩 역시 pH 처리 농도에 따라서 생육차이는 크지 않았으나 초장 증가를 보이는 조사선량은 큰 차이를 보여 대조구 (pH 6.00)에서 효과적이었던 선량은 2Gy였던 것에 비해 pH 2.45와 2.20 처리구에서는 12~16Gy로 적정 조사선량이 다소 높아지는 것으로 나타났다. 그러나 1997년산 방사콩에서는 pH 처리 농도에 큰 차이없이 12~16Gy 조사구에서 가장 효과적인 생육 증가 양상을 보였다. 이상의 결과로 방사콩에 비해 황금콩에서의 초장이 다소 증가한 것으로 나타났으며, 산성강우 pH와 종자 저장기간에 따라서는 큰 차이를 보이지 않았다. 그러나 초장 증가를 보이는 감마선 적정 조사선량이 산성강우 처리 유무에 따라 달라지는 것으로 나타났다.

### 산성강우 처리별 병징 양상

인공 산성강우를 처리하여 판단한 가시적 피해정도는 표 2와 같다. 산성강우 처리별 병징은 황금콩과 방사콩 모두 pH 6.00과 2.45 처리구에 비해 pH 2.20 처리구에서 피해중상이 심하게 나타났는데 산성강우 무처리구(pH 6.00)와 pH 2.45 처리구에서는 황금콩과 방사콩의 피해 정도가 비슷한 수준을 보였으나 pH 2.20 처리구에서는 저선량의 감마선이 조사된 방사콩에 비해 저선량의 감마선이 조사된 황금콩에서 피해 증상지수가 낮아져 산성강우 처리에 따른 내성이 방사콩 보다 다소 강한 것으로 나타났다. 또한 pH 2.20이 처리된 1997년산 황금콩의 경우, 감마선이 조사되지 않은 대조구의 병징 지수가 4.67인 반면 저선량 조사구에서 모두 2.67~3.33 범위 내에서의 지수를 보인 반면 1995년산은 1~8Gy 조사구에서 병징 지수가 감소하는 것으로 나타나 1995년산 구 종자에 비해 1997년산 신 종자에서 산성강우 내성이 다소 강하게 나타났다. 그러나 방사콩에서의 병징 지수는 종자 저장기간과 조사 선량에 따라 큰 차이를 보이지 않았으며 pH 2.20 처리구에서의 피해 정도는

매우 큰 것으로 나타났다. 이상의 결과로 황금콩과 방사콩 모두 산성강우 무처리구와 pH 2.45 처리구에 비해 pH 2.20 처리구에서 피해 정도가 심하게 나타났으며 저선량의 감마선이 조사된 방사콩에 비해 저선량의 감마선이 조사된 황금콩에서 피해 정도가 다소 감소하는 것으로 나타났다.

## 요 약

저선량의 감마선이 조사된 대두종자로부터 자라난 작물체에 인공 산성강우가 미치는 영향을 알아보기 위하여 황금콩과 방사콩의 생육 양상을 조사한 결과 초장은 감마선 조사 선량에 따라서만 생육 차이를 보였을 뿐 산성강우 무처리구(pH 6.00)와 처리구(pH 2.45와 2.20)간에는 큰 차이를 보이지 않았으며, 종자 저장기간에 따라서도 큰 차이를 보이지 않았다. 그러나 황금콩의 경우 생육 촉진을 위한 적정 조사선량이 산성강우 무처리구에 비해 처리구에서 낮아지는 경향을 보였다. 또한 피해 병징 양상은 산성강우 pH 2.20 처리구에서 심하게 나타났으며 방사콩에 비해 황금콩에서 산성강우 내성 효과가 컸으며, 종자 저장기간에 따라서도 차이를 보여 1995년산에 비해 1997년산 작물체에서 효과가 큰 것으로 나타났다. 그러나 방사콩의 생육 양상은 산성강우 처리 농도와 감마선 조사에 따라 큰 차이를 보이지 않았다.

## 참 고 문 헌

1. Luckey, T. D. 1980. Hormesis with ionizing radiation. CRC press. Inc., Boca Raton. Fla.
2. tan, S. and A. Croitoru. 1970. Effect of low, moderate and high levels of gamma radiation (60Co) on soybean plants I. Analysis of growth and yield. Stim. Newsl. 1:23-25.
3. Miller, M. W. 1987. Radiation hormesis in plants. Health physics. 52:607.
4. Grisenko, G. V. and V. M. Mazhara. 1968. Ionizing and other types of radiation and their influence on the resistance of corn to stalk and root. Tr. Vses. Sovesch. Immunitetu Rast. 2:21-25.
5. Koeppe, R. and M. Kramer. 1981. Photosynthetic activity and distribution of photo assimilated  $^{14}C$  in seedlings of *Zea mays* grown from gamma-irradiated seeds. Photosynthetica, 15:484-493.
6. Savin, V. N. and O. G. Stepanenko. 1967. Change of drought resistance of plants irradiated with  $^{60}Co$  gamma ray. Radiobiology(Moscow), 7:619-622.
7. Jaarma, M. 1958. Influence of ionizing radiation on potato tubers. Ark. Kemi. 13 : 97-101.
8. Zeimalov, I. I., A. A. Aliev and R. R. Riza-Zade. 1972. Effect of presowing gamma-irradiation on yield and photophthorosis of

- potatoes. *Radiobiology (Moscow)*, 12:311-313.
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.* 3:13-16.
10. Weber, F. 1952. Bitamin C content of X-rayed seedlings. *Phyton (AM. Rev. Bot.)*. 4:144-148.
11. Niels, W. H. and J. B. Roger. 1970. *Manual on Radiation Dosimetry* Marcle Dekker Inc. New York.
12. Blanpied, G. D. 1975. Effect of artificial rain water pH and calcium concentration on the calcium and potassium in apple leaves. *Hortiscience*. 14(6): 706-708.