

## Effects of low dose $\gamma$ -ray on the early growth of tomato and the resistance to subsequent high doses of radiation

Jae Sung Kim, Jin Kyu Kim, Myung-Hwa Back and Dong-Hee Kim

### 저선량 $\gamma$ 선 조사가 토마토의 초기생육과 후속고선량 $\gamma$ 선 저항성에 미치는 영향

김재성 · 김진규 · 백명화 · 김동희

한국원자력연구소

(1999년 6월 21일 접수, 1999년 11월5일 채택)

**Abstract** - Tomato (*Lycopersicon esculentum* MILL. cv. Seokwang and cv. Housemomotaro) seeds were irradiated with the doses of 1~20 Gy from  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$ -ray source to investigate the effect of the low dose  $\gamma$ -ray radiation on the early growth and resistance to subsequent high dose of radiation. Germination rate of seeds irradiated with low dose  $\gamma$ -ray was enhanced in Seokwang cultivar but not in Housemomotaro cultivar. Seedling height increased in 4 Gy and 8 Gy irradiation group of both cultivars. Plant height of Seokwang cultivar was depressed in low dose irradiation group but fresh weight was increased in 2 Gy and 4 Gy irradiation group. In Housemomotaro cultivar, plant height increased in 12 Gy and 20 Gy irradiation group and fresh weight increased in 4 Gy and 20 Gy irradiation group. Growth inhibition of tomato plants by high dose radiation was noticeably reduced by pre-irradiation of low dose radiation. Resistance to subsequent high dose of radiation was enhanced in 2 Gy and 8 Gy irradiation group of Seokwang cultivar and in 2 Gy and 12 Gy irradiation group of Housemomotaro cultivar.

**Key words** : germination, growth stimulation, radiation hormesis, subsequent high dose, tomato

**요약** - 저선량  $\gamma$ 선 조사한 토마토 2품종, 서광과 하우스모모타로 종자의 발아와 초기생육 및 후속 고선량에 대한 생육효과를 조사하였다. 저선량에 의한 발아와 생육촉진효과는 품종에 따라 달랐다. 발아율의 경우 서광은 모든 저선량 조사구에서 증가되었으나, 하우스모모타로는 오히려 감소되었다. 유묘초장은 저선량 조사에 의해 증가되었으며 두 품종 모두 4 Gy와 8 Gy 조사구에서 가장 효과적이었다. 생육 2개월 후 서광의 초장은 억제되었으나 생체중은 4 Gy와 2 Gy에서 증가되었고, 하우스모모타로의 초장은 12 Gy와 20 Gy에서, 생체중은 20 Gy와 4 Gy에서 가장 높은 증가효과를 보였다. 토마토 식물체의 고선량 피폭에 의한 생육장해는 사전 저선량 조사에 의해 감소되었는데 서광의 경우 2 Gy와 8 Gy 조사구에서 저항성이 높았으며 하우스모모타로의 경우 모든 저선량 조사구에서 저항성 효과가 나타났으며 특히 2 Gy와 12 Gy 조사구에서 높았다.

중심어 : 발아, 생육촉진, 방사선 hormesis, 후속 고선량, 토마토

### 서론

지구상의 모든 생명체는 방사선, 특히 생명체 발생 초기에는 높은  $\gamma$ 선 존재하에서 진화해 왔으며, 일상생활 중에도 주변환경으로부터 일정량의 방사선에 항상 피폭되고 있다.

저선량 이온화 방사선에 의한 피폭효과는 hormesis의 일반적인 개념, 즉 유해작용을 가진 작용물질이 유해량 이하의 투여에서는 생물체를 자극한다는 법칙과 일치하는데, 생물체가 최적 이하의 상태에 있게 되면 자극은 그 상태에서의 생물체의 반응을 변화시켜 적극적으로 대응케 한다

는 것이다[1].

방사선 hormesis에 대한 많은 실험결과는 이온화방사선의 종류에 상관없이 거의 비슷한 생물학적 영향을 보여준다. 저선량의 이온화 방사선에 의한 자극으로 발아, 출아, 생장과 발육촉진, 수량구성요소의 증가 등이 식물에서 관찰되었고 호흡, 한발, 뿌리혹생성, 개화, 분지, 결실 및 영양생산 등에서도 고유한 특성이 나타난다. 특이한 점은 저선량의 이온화방사선에 의한 피폭은 그 이후의 고선량 방사선 피폭에 대해서 저항성을 증가시킨다는 것이다[1, 2]. 약간의 실험조건 변화가 선량반응곡선의 hormesis 위치와 특성을 변화시킬 가능성이 있으며, 또한 피검물의 조건과 환경조건 및 방사선 조사조건 등에 따라서 달라질 수 있으나, 일반적으로 사용하는 선량은 환경선량의 약 100배 (10~1000배), 또는 확실한 유해작용이 있는 선량의 100 (10~1000)분의 1 정도이다[2, 3]. 식물의 반치사선량 (LD<sub>50</sub>)은 고등동물에 비해서 최소 수백배 정도의 높은 값을 갖는데[4], 본 실험에서는 작물의 종자발아와 생육촉진 및 수량증가 등에 대한 방사선 hormesis를 규명하기 위한 연구의 일환으로 반치사선량이 300~400 Gy 정도인 토마토 종자에 저선량  $\gamma$  선을 조사하여 초기생육을 관찰한 후, 후속으로 고선량의 방사선을 조사하여 생육에 미치는 효과를 관찰하였다.

## 재료 및 방법

**공시품종** : 저선량 조사한 토마토 (*Lycopersicon esculentum*, MILL.) 종자의 발아와 초기생육을 품종별로 알아보고자 홍농종묘(주)의 "서광" 품종과 일본 다끼이종묘(주)의 "하우스모모타로" 품종의 시판종자를 선정하여 방사선조사 재료로 사용하였다.

**저선량조사** : 저선량  $\gamma$  선 조사에 사용한 시설은 한국원자력연구소에서 보유중인 저준위조사시설 (<sup>60</sup>Co)을 이용하여  $\gamma$ -선을 0, 1, 2, 4, 8, 12, 16, 20 Gy의 8단계로 건조종자에 직접 조사하였다. Fricke dosimeter로 측정된 조사선량율은 0.44 Gy/hr였다[5].

**온실재배실험** :  $\gamma$  선 조사 당일엔 종자 100립씩을 배양토와 모래가 1 : 1로 충전된 100공 plug tray에 파종하여 유리온실에서 발아시켰다. 파종 1주일 후 발아율을 조사하고, 각각의 선량별로 중간크기의 유묘를 선발하여 동일한 토양으로 충전된 직경 7 cm의 비닐 pot 24개에 3주씩 이식하여 3주 후에 임의로 4개 pot씩 12주를 선발하여 초

장을 조사하였다.

**후속고선량조사** : 토마토 식물체의 생육조사를 끝낸 직후, 저선량 조사구 중에서 생육에 차이가 있는 0, 2, 4, 8, 12 Gy 조사구를 선정하여 후속고선량조사에 대한 생육상황을 관찰하고자 각각의 저선량 조사구에 후속고선량 50, 100, 150 Gy의  $\gamma$  선을 조사하여 1개월 후에 토마토 식물체의 초장과 생체중을 측정하였다.

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

## 결과 및 고찰

### 저선량에 의한 생육효과

토마토 2품종의 시판종자에 저선량  $\gamma$  선을 조사하고 온실재배하여 생육상황을 관찰한 결과는 표 1에서와 같이 서광품종의 경우, 발아율은 저선량 조사한 모든 시험구가 63~72 %로 저선량 조사하지 않은 대조구의 발아율 55 %에 비해 15~30 % 정도 증가하였다. 조사선량별로는 1 Gy 조사구가 72 %로 가장 높았으며, 다음이 20 Gy 조사구로 71 %였고, 8 Gy와 12 Gy의 두 조사구는 모두 68 %였다. 파종 30일 후의 유묘초장은 대조구의 9.7 cm에 비해 저선량 조사구가 모두 양호한 생육을 보였다. 4 Gy와 8 Gy 조사구가 10.6 cm ( $p < 0.05$ )로 가장 높았고, 다음이 2 Gy와 1 Gy 조사구로 각각 10.5 cm ( $p < 0.05$ )와 10.3 cm를 나타내어 초기생육은 저선량  $\gamma$  선 조사에 의해 통계적으로 유의성있는 촉진효과를 볼 수 있었다. 파종 60일 후 성숙식물체의 생육관찰에서는 초장의 경우, 대조구의 61.1 cm에 비해 1 Gy 조사구의 61.4 cm를 제외하고는 저선량 조사구 모두에서 조사선량 증가에 따라 초장이 통계적으로 유의성있게 감소하였는데, 특히 12 Gy 이상 조사구에서는 대조구에 비해 초장이 25 % 정도까지 감소하여 생육을 억제하는 경향을 보였다. 식물체 주당 생체중에서는 대조구의 31.3 g에 비해 4 Gy와 2 Gy 조사구에서는 각각 33.6 g와 33.4 g으로 7 % 정도 증가하였으나, 8 Gy 이상 조사구에서는 감소하여 초기생육에서 보여준 생육촉진효과를 볼 수 없었다.

하우스모모타로 품종의 경우 발아율은 4 Gy 조사구의 78 %를 제외하고는 저선량 조사구 전체가 대조구의 74 %보다 낮은 발아율을 보였다. 특

히 1 Gy 조사구에서는 39 %로 가장 낮은 발아율을 보였고, 16 Gy와 20 Gy 조사구에서도 각각 46 %와 49 %로 매우 낮아 서광품종과는 다른 발아율 양상을 보여 품종간에도 차이가 있음을 나타내었다. 유포초장은 발아율과 다르게 대조구의 10.8 cm에 비해 저선량 조사구 전체가 양호한 생육을 보였다. 특히, 발아율이 가장 높았던 4 Gy 조사구의 초장은 15.1 cm로 대조구에 비해 40 % 정도가 고도의 유의성 있게 ( $p < 0.001$ ) 증가하였고, 다음이 8 Gy와 12 Gy 조사구로 각각 14.7 cm ( $p < 0.001$ )와 14.5 cm ( $p < 0.001$ )의 초장으로 35 % 정도 증가하였다. 파종 60일 후 성숙식물체의 초장은 대조구의 52.3 cm에 비해 저선량 조사구가 대체로 양호한 생육을 보였으나 유의성은 없었다. 저선량 조사구 중 높은 선량에 속하는 12 Gy 이상 조사구에서 7~8 % 정도의 초장증가효과를 보였으나, 1 Gy와 8 Gy 조사구에서는 각각 49.3 cm와 51.4 cm로 대조구에 비해 낮은 초장을 보였다. 토마토 식물체 주당 생체중에서는 대조구의 32.9 g에 비해 20 Gy 조사구에서 37.2 g으로 13 % 정도 증가하였고, 다음이 4 Gy와 2 Gy 조사구로 각각 35.6 g와 34.9 g으로 7 % 정도의 증가를 보였으나 1 Gy, 8 Gy, 12 Gy 조사구에서는 감소하였다.

Luckey[1]는 저선량 이온화방사선에 의한 작물의 초기생육촉진과 수량증가효과를 정리하여 발표하였고[3], 국내에서도 김과 이[2] 및 김 등[6]이 주곡작물과 채소류 등의 종자에 저선량  $\gamma$  선을 조사하여 발아와 초기생육에 대한 효과를 보여주었으며, 작물과 품종에 따라 그 효과가 다르다고 하였다. Daskalov 등[7]은  $\gamma$  선 8 Gy 조사에서 토마토 종자의 발아와 초장이 증가하였으며, Brezhner와 Tagmazjan[8]은 10~30 Gy 조사에서 토마토 생육이 촉진되었다고 보고하였다. 본 실험에서는 서광 품종의 발아와 초장 증가가 8 Gy와 12 Gy에서 양호하였고 하우스모모타로 품종은 4 Gy 조사에서 가장 양호하였다. Sidrak과 Suess[9]의 보고에 의하면 저선량 조사한 토마토 종자에서 생육한 식물체의 생체중 증가 효과가 품종에 따라서 다르며 2~10 Gy 범위였고 본 실험에서도 품종별로 다르게 나타나 서광 품종은 2~4 Gy에서, 하우스모모타로 품종은 다소 높은 20 Gy에서 생체중이 가장 높았다. Pal[10]은 50 Gy에서도 토마토의 생장촉진 및 건물중과 생체중이 증가하였다고 보고하였으나, 본 실험에서는 종실수량에 대한 조사를 수행하지 않았고 작물종자의 재배환경과 토양조건 및 종자의 상태에 따라서 저선량의 효과가 다르게 나타나므로 이를 고려한 실험이 계속 수행

되어야 할 것이다.

### 후속 고선량에 대한 효과

저선량 조사하여 재배한 토마토 작물체의 후속 고선량 피폭에 의한 생육장해 정도를 알아보고자 저선량  $\gamma$  선 조사구에서 생육촉진 효과가 나타난 2, 4, 8, 12 Gy 조사구를 대조구와 함께 1개월된 각각의 토마토 작물체에  $\gamma$  선 50, 100, 150 Gy를 조사하고 한달 후에 생육상황을 관찰하였다. 서광 품종의 초장은 그림 1에서와 같이 후속 50 Gy 조사구에서는 저선량 무조사구인 대조구의 초장 35.1 cm에 비해 8 Gy와 2 Gy 조사구에서는 각각 40.3 cm와 36.9 cm로 약 5~15 % 정도 초장이 높았으나 저선량 12 Gy 조사구에서는 대조구에 비해 생육이 억제되었다. 후속 100 Gy 조사구에서는 전체 저선량 조사구에서 대조구 초장 25.3 cm 보다 월등하게 초장이 높았다. 즉, 저선량 8 Gy와 12 Gy 조사구에서는 각각 30.9 cm ( $p < 0.05$ )와 30.3 cm의 초장으로 20 % 정도 높았고, 2 Gy와 4 Gy에서도 10 % 정도 높았다. 후속 150 Gy 조사구에서는 12 Gy 조사구가 32.4 cm로 대조구 26.8 cm보다 20 % 정도 높았으나, 나머지 저선량 조사구는 대조구와 비슷하거나 낮았다. 서광 품종의 토마토 식물체의 주당 생체중 (그림 2)에서도 초장과 유사한 경향으로 저선량 조사구 모두가 대조구보다 높아 생육장해 경감 효과가 뚜렷하였다. 후속 50 Gy 조사구의 경우 2 Gy와 4 Gy 조사구가 각각 20.2 g과 18.8 g으로 대조구의 16.4 g보다 23 %와 15 % 정도 높았으며, 8 Gy와 12 Gy 조사구도 각각 18.1 g과 17.1 g으로 대조구보다 높았으나 유의성은 없었다. 후속 100 Gy와 150 Gy 조사구도 비슷한 경향으로 저선량 조사구 모두가 대조구에 비해 높았는데, 100 Gy 조사구에서는 8 Gy 조사구가 가장 높은 15.7 g으로 대조구의 9.1 g에 비해 70 % 정도 유의성 있게 ( $p < 0.05$ ) 높았다. 150 Gy 조사구에서는 2 Gy와 12 Gy 조사구가 가장 높은 생체중으로 각각 11.9 g 과 11.5 g으로 대조구의 9.0 g보다 30 % 정도 높았다.

그림 3은 하우스모모타로 품종의 초장을 나타낸 것인데, 저선량 조사구 모두가 대조구보다 높아 서광 품종보다는 뚜렷한 고선량 방사선 피폭에 대한 저항성을 나타냈다. 초장의 경우 후속 50 Gy 조사구에서는 저선량 조사구 모두가 대조구 30.9 cm 보다 높은 초장을 보였는데 2 Gy 조사구가 37.2 cm로 가장 높았고, 다음이 4 Gy와 12 Gy의 36.7 cm와 36.4 cm 순이었다. 후속 100 Gy와 150 Gy 조사구에서도 비슷한 경향으로 높은 유의

성있는 초장생육을 보여주었다. 즉 후속 100 Gy 조사구에서는 12 Gy 조사구의 초장이 33.7 cm ( $p < 0.001$ )로 대조구의 27.3 cm보다 23 % 증가된 가장 높은 초장을 보였고, 다음이 2 Gy와 4 Gy 조사구로 각각 33.2 cm ( $p < 0.01$ )와 29.8 cm ( $p < 0.05$ )의 초장을 보였다. 후속 150 Gy 조사구에서는 2 Gy 조사구가 가장 높은 31.3 cm로 대조구의 22.7 cm에 비해 38 % 정도 유의성 있는 ( $p < 0.01$ ) 높은 초장을 보였고, 다음이 4 Gy와 8 Gy 조사구로 각각 30.3 cm ( $p < 0.05$ )와 30.2 cm ( $p < 0.05$ )로 대조구에 비해 30 % 이상 높은 초장을 보였다. 하우스모모타로 품종의 주당 생체중 (그림 4)도 초장과 비슷한 경향을 보이면서 저선량 조사가 후속 고선량 피폭에 대한 내성 효과를 나타냈다. 후속 50 Gy 조사구에서는 4 Gy 조사구가 20.1 g으로 가장 높았고, 8 Gy와 12 Gy가 19.6 g으로 다음순이었다. 후속 100 Gy와 150 Gy 조사구에서는 저선량 조사구 모두가 대조구보다 높은 생체중을 보였는데, 100 Gy 조사구에서는 2 Gy ( $p < 0.01$ )와 12 Gy ( $p < 0.05$ ) 조사구가 14.9g으로 가장 높았고, 통계적으로 유의성있는 생육장애 경감효과를 나타냈다. 후속 150 Gy 조사구에서도 8 Gy와 4 Gy 조사구가 각각 14.0 g ( $p < 0.05$ )과 13.9 g의 생체중으로 대조구의 8.4 g에 비해 65 % 정도로 유의성있는 생육장애 감소를 보였다.

저선량 조사하여 재배한 식물체에 후속 고선량을 조사한 식물의 생육장애에 관한 보고가 미진하나, Luckey[1]와 김과 이[2]는 저선량 조사한 종자에서 생육한 식물체는 영양, 생리 대사 활성화로 병 저항성과 한발 내성 및 후속 고선량에 대한 저항성이 증가한다고 하였으며, 저자가 수행한 몇가지 실험결과에서도 고추의 역병저항성과 고추와 대두의 산성비 장애에 대한 피해경감을 확인할 수 있었다[12, 13]. 박 등[14]은 고준위로 조사하기 전 저준위로 먼저 조사할 경우 세포의 생존율은 3.7 배로, 효소활성은 120~130 % 증가하였다고 보고 하였다. 본 실험에서도 저선량 조사한 토마토 식물체가 후속 고선량 조사에 대하여 초장과 생체중으로 관찰한 생육에서 저선량을 조사하지 않은 대조구에 비해 양호하게 나타났고 품종에 따라 서로 다른 경향을 보였는데, Sidrak과 Suess[9]도  $\gamma$ 선 조사한 토마토의 생육과 수량이 품종에 따라 다르다고 하였다. 저선량 방사선에 의한 식물 유익효과에 대한 명확한 작용기구가 밝혀지지 않은 상태 인지라 생리적 또는 생화학적 해석을 위한 몇가지 후속실험을 수행중에 있다.

## 결론

저선량 방사선에 의한 식물활성 증진효과를 규명하기 위한 실험의 일환으로 시판중인 토마토 두 품종의 종자에 저선량  $\gamma$ 선을 조사하여 온실에서 재배하며 초기생육에 대한 효과를 관찰하였고, 또한 후속 고선량 조사에 대한 토마토 식물체의 생육장애를 조사하였다.

저선량 조사에 대한 효과는 토마토 품종에 따라서 다른 경향을 보였는데, 서광 품종의 경우 종자 발아율과 초기생육에서는 뚜렷한 증가효과를 보였으나 후기생육에는 효과가 없었다. 하우스모모타로 품종의 경우 발아율에서는 저선량에 의한 효과를 볼 수 없었으나, 초기생육과 후기생육에서는 양호한 증가효과를 나타내었다.

후속고선량에 대한 생육영향은 저선량조사에 의해 토마토 식물체의 초장과 생체중으로 확인한 결과, 방사선 저항성이 상당히 증가하였다. 후속 고선량 조사에 의한 토마토 식물체의 생육장애는 서광 품종의 경우 초장은 8 Gy와 12 Gy 조사구에서, 생체중은 2 Gy와 8 Gy 조사구에서 감소되었고, 하우스모모타로는 대체로 저선량 조사에 의해 피해가 경감되었으나 2 Gy와 12 Gy 조사구가 효과적이었다.

## 감사의 글

본 연구는 과학기술부에서 주관하는 원자력중 장기개발사업의 일환으로 수행되었습니다.

## 참고문헌

1. T. D. Luckey, "Hormesis with ionizing radiation", CRC press. Inc. Boca. Raton. Fla.(1980).
2. 김재성, 이영복, "저선량 전리방사선에 의한 작물의 활성증진", 한국환경농학회지, 17(1), 76-85(1998).
3. M. W. Miller and W. M. Miller, "Radiation hormesis in plants", *Health physics*, 52(5), 607(1987).
4. 심상철, 윤상현, 정원채, "방사선농학", p42, 향문사(1977).
5. W. H. Niels and J. B. Roger, "Manual on radiation dosimetry", Marcle Dekker Inc. New York(1970).

6. 김재성, 송희섭, 이영근, 김진규, "저선량  $\gamma$ 선 조사에 의한 곡물류와 채소류의 생육촉진효과", 한국원자력학회 '98춘계학술발표회 논문집(II), p645-650, 1998. 5. 29-30, 경희대학교, 수원(1998).
7. K. Daskalov, K. Moynova and M. Popava-Konstantinova, "Effect of UV and gamma ray irradiation of pollen on the manifestation of the heterosis effect on *Fa* tomatoes", *Inst. Genet. Plant Breed, Sofia* (1973).
8. D. D. Brezhner and V. A. Tagmazjan, "The effect of ionizing radiation on the tomato plant", *Dokl. Sov. Uchen, 17 Congr., Moscow*, 377(1966).
9. G. H. Sidrak and A. Suess, "Effects low doses of gamma radiation on the growth and yield of two varieties of tomato", *Radiation Botany*, 13, 309-314(1973).
10. I. Pal, "Investigation on the effects of seed irradiation of plants in a phytotron, I, Tomato", *Stim, Newsl*, 8:23(1975).
11. Z. Menyhart, "Radiation stimulation of tomatoes", *Stim, Newsl*, 1, 17(1970).
12. 김재성, 이은경, 이영복, "저선량 감마선이 조사된 고추작물의 생육에 미치는 산성강우효과", *원예과학기술지*, 17(2), 203(1999).
13. 김재성, 이영근, 이은경, 이영복, 구자형, "저선량 감마선이 조사된 대두작물의 생육에 미치는 산성강우효과", 한국환경생물학회 '99 춘계학술대회 보문집, pp.132, 1999. 5. 14-15, 대구대학교(1999).
14. 박상희, 조철구, 유성렬, 이연희, "저준위 방사선에 의해 유도된 방사선저항의 기전", 방사선방어학회지, 21(2), 99-105(1996).

Table 1. Effects of low dose  $\gamma$ -ray on the early growth of tomato cultivars

Cultivars	Agronomic traits	Irradiation dose (Gy)							
		0	1	2	4	8	12	16	20
Seokwang	Germination rate (%)	55	72	63	63	68	68	64	71
	Plant height (cm) <sup>†</sup>	9.7±0.3 <sup>†</sup>	10.3±0.4	10.5*±0.3	10.6*±0.2	10.6*±0.2	9.7±0.2	10.0±0.2	9.9±0.2
	Plant height (cm) <sup>‡</sup>	61.1±1.5	61.4±1.6	59.1±1.6	54.8±3.1	53.5*±1.8	45.6***±0.7	47.9**±1.7	45.7***±1.3
	Fresh weight (g/plant) <sup>‡</sup>	31.3±4.5	31.8±4.6	33.4±6.2	33.6±3.1	29.1±5.1	27.8±4.2	21.8±1.3	26.4±4.0
House-momotaro	Germination rate (%)	74	39	55	78	60	66	46	49
	Plant height (cm) <sup>†</sup>	10.8±0.4	13.7***±0.3	14.3***±0.3	15.1***±0.3	14.7***±0.3	14.5***±0.2	14.0***±0.3	12.6**±0.3
	Plant height (cm) <sup>‡</sup>	52.3±5.1	49.3±1.8	55.1±1.7	52.5±2.9	51.4±4.6	56.5±0.4	55.9±0.8	56.3±1.2
	Fresh weight (g/plant) <sup>‡</sup>	32.9±4.0	26.7±1.5	34.9±6.7	35.6±5.8	30.2±11.1	31.5±2.4	33.3±3.2	37.2±6.0

\* ; Significant at 5% level, \*\* ; Significant at 1% level, \*\*\* ; Significant at 0.1% level

† ; Standard error in plant height and fresh weight

‡ ; before high dose  $\gamma$ -radiation (30 days after sowing)§ ; after high dose  $\gamma$ -radiation (60 days after sowing)

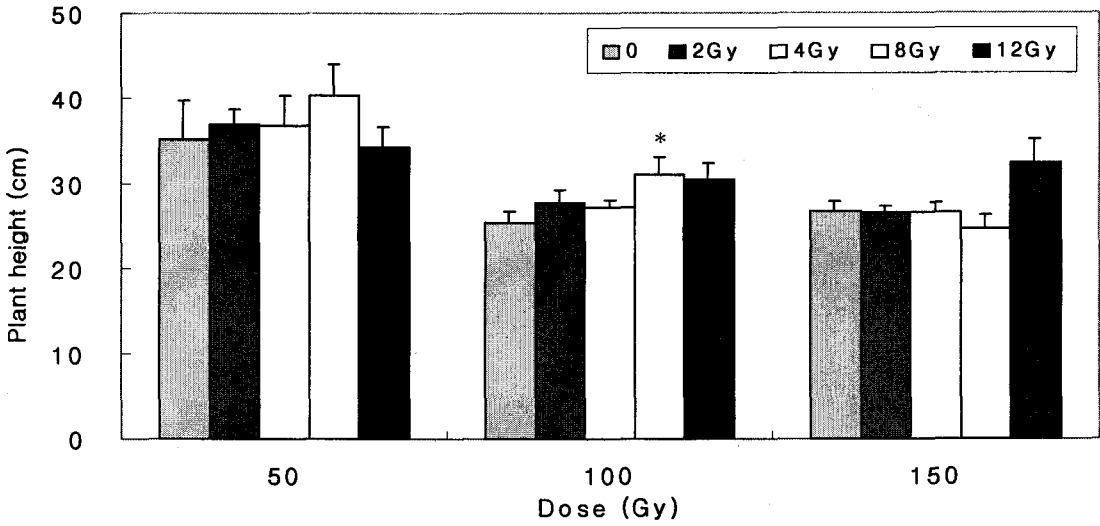


Fig. 1. Effects of subsequent high dose radiation on the plant height grown from seed irradiated with low dose of  $\gamma$  -ray on Seokwang cultivar. Bars represent the standard error of the mean. \* ;  $p < 0.05$ .

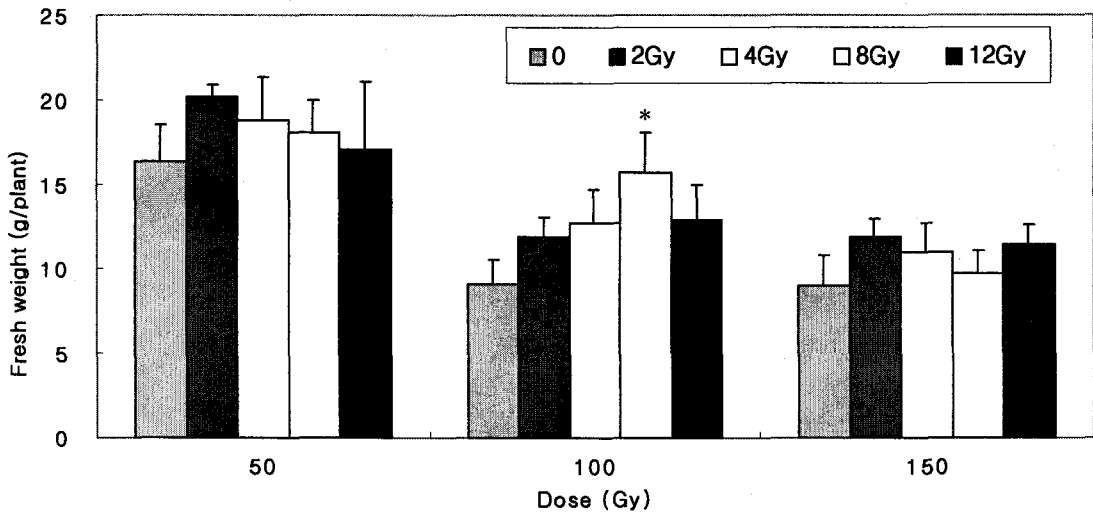


Fig. 2. Effects of subsequent high dose radiation on the fresh weight of plant grown from irradiated with low dose of  $\gamma$  -ray on Seokwang cultivar. Bars represent the standard error of the mean. \* ;  $p < 0.05$ .

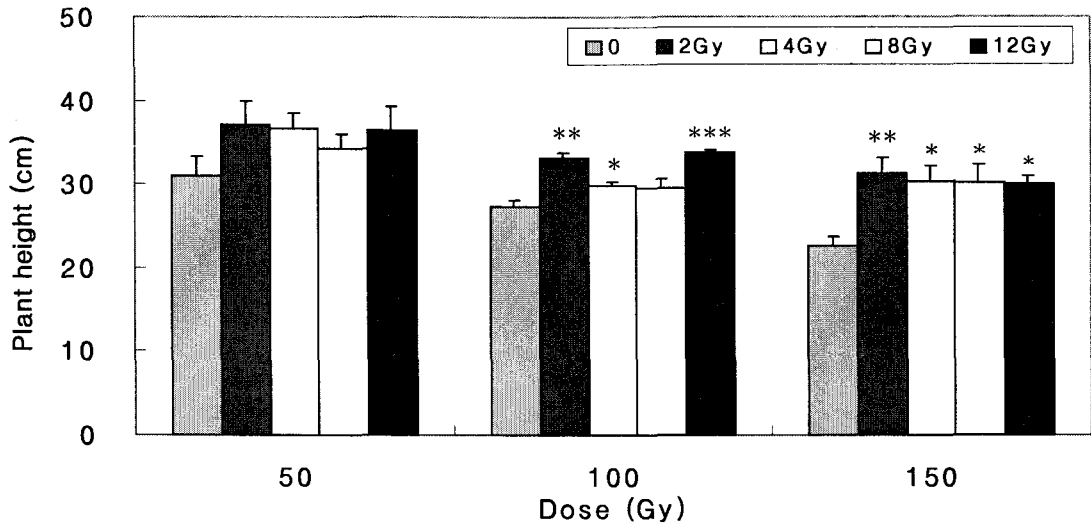


Fig. 3. Effects of subsequent high dose radiation on the plant height grown from seed irradiated with low dose of  $\gamma$ -ray on Housemomotaro cultivar. Bars represent the standard error of the mean. \* ;  $p < 0.05$ , \*\* ;  $p < 0.01$ , \*\*\* ;  $p < 0.001$ .

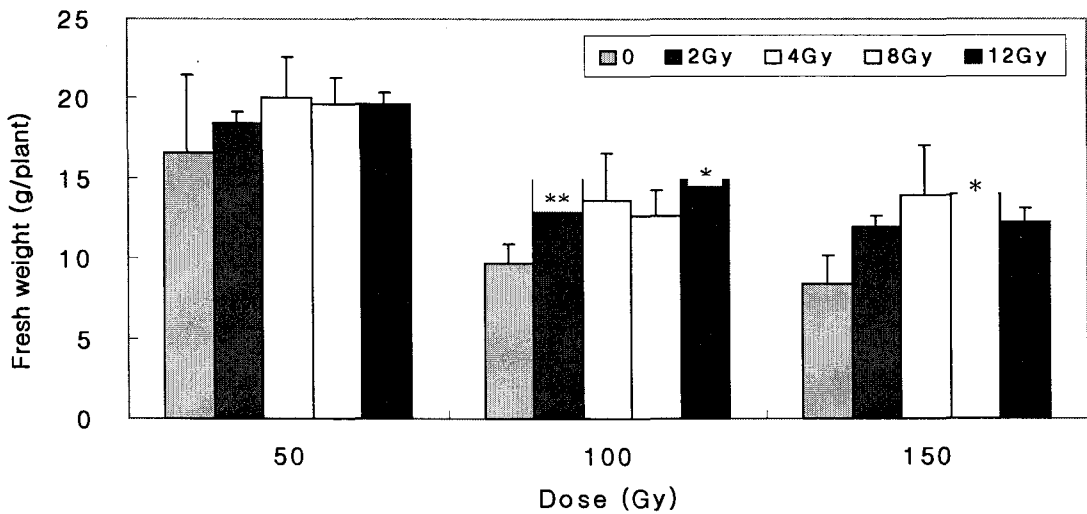


Fig. 4. Effects of subsequent high dose radiation on the fresh weight of plant grown from seed irradiated with low dose of  $\gamma$ -ray on Housemomotaro cultivar. Bars represent the standard error of the mean. \* ;  $p < 0.05$ , \*\* ;  $p < 0.01$ .