

씨감자 “대지” 품종의 휴면타파와 생리활성에 미치는 저선량 방사선 효과

김재성* · 김동희 · 백명화 · 정혁¹⁾ · 이영복²⁾

한국원자력연구소 동위원소 방사선응용연구팀, ¹⁾생명공학연구소, ²⁾충남대학교 농과대학

(2001년 3월 29일 접수, 2001년 6월 14일 수리)

Effect of Low Dose γ Radiation on the Dormancy Breaking and Physiological Activity of “Dejima” Seed Potato (*Solanum tuberosum* L.)

Jae-Sung Kim*, Dong-Hee Kim, Myung-Hwa Back, Hyouk Joung¹⁾, Young-Bok Lee²⁾ (Korea Atomic Energy Research Institute, Taejon, 305-353, Korea, ¹⁾Korea Research Institute of Bioscience and Biotechnology, Taejon, 305-333, Korea, ²⁾Chungnam National University, Taejon, 305-764, Korea)

ABSTRACT : To observe the stimulating effects of low dose γ - radiation on the dormancy breaking and physiological activity, potato (*Solanum tuberosum* L. cv. Dejima) were irradiated at the dose of 0.5~30 Gy. Low dose γ - radiation exhibited promoting effects on the sprouting rate within the range of optimum dose of 1 Gy and 2Gy and on the sprout length within the range of optimum dose of 2 Gy and 4 Gy. Regardless of storage duration and irradiation doses, the number of sprouts was enhanced. The number of sprouts, which were reserved for 15 days after production (DAP), were significantly increased under 4, 8 and 16 Gy irradiation. The growth of 45 DAP sprouts was extremely stimulated under 4 Gy irradiation accompanying the increase of peroxidase activity in the plantlet. In this study, it was also suggested that the activities of antioxidative enzymes of potato plantlets were not related to the irradiation dose during the plantlet development with the exception of decrease in catalase activity.

Key words : low dose radiation, potato, dormancy, antioxidative enzymes.

서 론

생물이 살고있는 지구 환경은 어디에서나 필연적으로 자연 방사선이 존재하고 있다. 그러므로 생물은 방사선을 받지 않고는 살아갈 수 없으며 적당한 저선량의 방사선으로 피폭 될 경우 일반적으로 자극작용을 나타낸다¹⁾. 저선량 이온화 방사선의 피폭효과는 hormesis의 일반적인 개념, 즉 유해 작용을 가진 물질이 유해량 이하의 투여에서는 생물체를 자극한다는 법칙과 일치한다. 이온화 방사선의 종류에 상관없이 거의 비슷한 생물학적 영향을 보여주며 발아, 출아, 성장과 발육의 촉진, 수량구성요소의 증가 등이 식물에서 관찰되었다^{1,2)}. 곡물류와 두류 및 괴경류에서는 적정 저선량으로 조사되었을 때 상업적으로 실용적 가치가 있는 수량 증가를 가져왔다^{3,4)}.

감자 괴경에 대한 저선량 γ 선 조사와 X선 조사는 수십년 동안 일관되게 방사선 자극 효과를 보고하고 있으며 휴면타파⁵⁾, 발아 촉진^{6,8)}, 생육기간 단축⁹⁾, 괴경크기 증대¹⁰⁾ 및 수량 증가^{9,10)}효과가 인정되고 있다. 또한 감자 괴경의 저선량 γ 선 조사시 수량 증가와 함께 비타민C 함량 증가에 대한 보고도 있다¹¹⁾.

본 실험은 저장기간이 다른 대지 품종의 씨감자에 저선량 γ 선

을 조사하여 맹아율과 맹아생육, 수량구성요소 및 생리활성에 미치는 저선량 방사선의 효과를 확인하여 방사선 hormesis를 규명하는 연구의 일환으로 포장재배실험을 수행하였다.

재료 및 방법

공시품종과 방사선 조사

시험재배용 감자 (*Solanum tuberosum* L.) 품종으로는 생명공학연구소 인공씨감자실에서 기내 배양한 microtuber를 재배하여 생산한 대지 (Dejima cultivar) 품종 씨감자를 분양 받아 5℃, 암상태의 incubator에서 저장하면서 생산 후 15일 (15 DAP; days after production), 30일 (30 DAP), 45일 (45 DAP) 간격으로 방사선을 조사하였다. 방사선 조사는 한국원자력연구소에서 보유중인 저준위 조사시설 (⁶⁰Co)을 이용하여 γ 선을 0, 0.5, 1, 2, 4, 8, 16, 30 Gy 8수준으로 저장중인 씨감자에 직접 조사하였다. 조사선량은 Fricke dosimeter로 측정하였다¹²⁾.

맹아생육

방사선 조사후 맹아출현 적은인 20℃, 암상태의 incubator에서 맹아 생성 최초일로부터 5일 간격으로 맹아율을, 방사선 조사 후 90일에 맹아길이와 맹아수를 확인하였다.

포장재배실험

씨감자 생산 약 4개월 후인 2000년 4월 1일에 한국원자력연구소 시험포장에 80 cm×20 cm 간격으로 파종하여 일반관행에 따라 재배한 후, 파종 30일 후에 초기생육을 조사하였고 파종 95일 후에 수확하여 포장생육과 수확구성요소를 조사하였다.

항산화효소 활성 분석

포장에 파종하여 60일간 생육한 감자 식물체 잎조직 0.5 g을 액체질소를 사용하여 얼린 다음 막자사발에서 마쇄 한 후 0.05 M 인산 완충액 (pH 7.0) 1.0 mL을 첨가한 후 4℃에서 10,000 g로 10분간, 11,000 g에서 15분간 원심분리하여 얻은 상등액을 조효소액으로 사용하였다. 단백질정량은 BSA를 표준단백질로 사용한 Bradford¹³⁾의 방법에 따라 측정하였다. peroxidase (POD) 활성은 pyrogallol을 기질로 사용한 Sigma사의 방법에 따라 측정하였다. 조효소액 100 μL를 3 mL cuvette에 넣고 0.1 M 인산완충액 (pH 6.0) 0.32 mL, 0.147 M H₂O₂ 0.16 mL, 5% pyrogallol 용액 0.32 mL과 증류수 2.1 mL을 함께 섞은 후, 420 nm에서 20초간 상온에서 흡광도 변화를 측정하여 구하였다. UV 측정시 반응액의 흡광도가 0.4~0.7이 되도록 조효소액을 희석하여 효소활성을 측정하였다. POD 활성은 다음의 식으로 구하였다. POD 활성 (unit/g 건물중)=[(ΔA₄₂₀/20 sec) × (희석배율)]/(12 × g시료/mL 반응액). 여기서 12는 420 nm에서의 흡광계수이다. Catalase (CAT) 활성은 기질인 H₂O₂의 감소량을 측정하는 방법¹⁴⁾을 사용하였다. 효소측정을 위한 반응용액은 0.053 M H₂O₂ 1 mL, 효소액 0.1 mL, 0.05 M 인산완충액 (pH 7.0) 1.9 mL의 혼합액으로 하여, 효소활성 (unit)은 cuvette내에서 효소에 의한 H₂O₂의 분해를 240 nm의 흡광도감소를 1분간 측정하여 다음의 식으로 계산하였다.

CAT 활성 (unit/g 건물중)=(ΔA₂₄₀/min × 희석배율)/(2×43.6).
여기서 43.6은 240 nm에서 H₂O₂의 흡광계수이다.

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

맹아율과 맹아생육에 대한 저선량 방사선 효과

저선량 γ선이 대지 씨감자의 휴면 타파에 미치는 영향을 알아보기 위하여 저선량 γ선 조사한 후의 맹아율을 조사한 결과는 그림 1과 같다. 15일 저장구는 0.5 Gy를 제외한 모든 저선량 조사구에서 대조구에 비해 빠른 맹아 출현율을 보였는데 방사선 조사후 25일 (25 DAI)에 1, 2, 4, 8, 16 Gy에서 80~88%로 대조구의 68%에 비해 17.6~29.4% 정도의 증가를 보였다. 30일 저장구는 0.5, 1, 2, 16 Gy에서 빠른 맹아출현을 나타냈는데 방사선 조사 후 15일 (15 DAI)에 0.5, 1, 2 Gy에서 80~84%로 대조구의 72%에 비해 11.1~16.6% 정도의 맹아율 증가를 보였다. 45일 저장구에서는 0.5, 1, 2, 4 Gy에서 대조구에 비해 빠른 맹아 출현을 보였는데 방사선 조사 후 15일 (15 DAI)에 1, 2, 4 Gy에서 88~92%로 대조구의 80%에 비해 10.0~15.0% 정도의 맹아율 증가를 보였다. 맹아출현은 모든 저장기간의 1 Gy와 2 Gy에서 증가효과가 있었다.

저선량 조사가 씨감자의 맹아길이에 미치는 효과는 그림 2에서 나타내는 바와 같다. 15일 저장구에서는 2, 4, 8 Gy에서 대조구에 비해 각각 18% (p<0.05), 23% (p<0.01), 30% (p<0.01)정도의 고도의 유의성있는 증가효과를 보였고, 30일 저장구에서는 2, 4, 8 Gy에서 각각 14% (p<0.05), 20% (p<0.01), 17% (p<0.01)정도의 유의

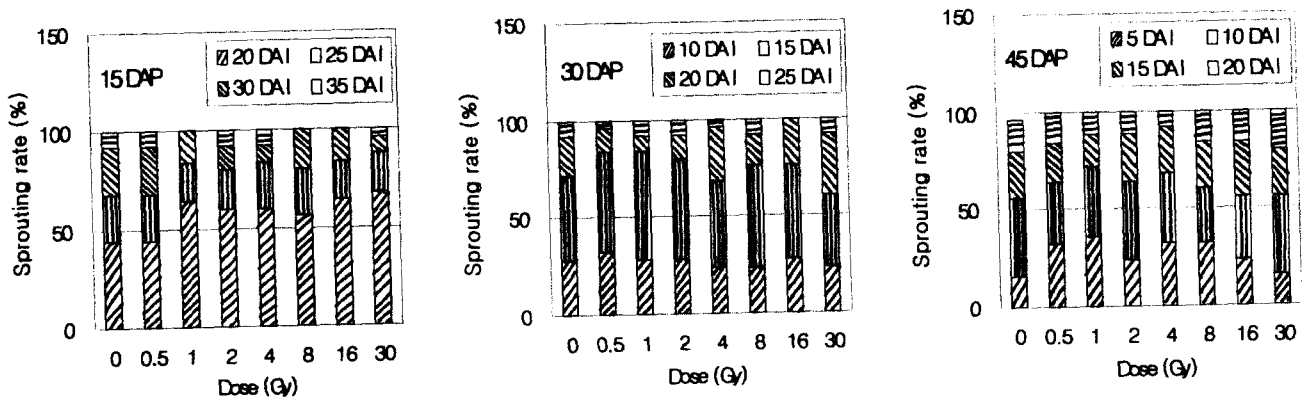


Fig. 1. Effect of low dose γ radiation on the sprouting rate of minituber, Dejima cultivar, stored with different DAP at 5°C on dark condition. DAP ; days after production. DAI ; days after γ irradiation.

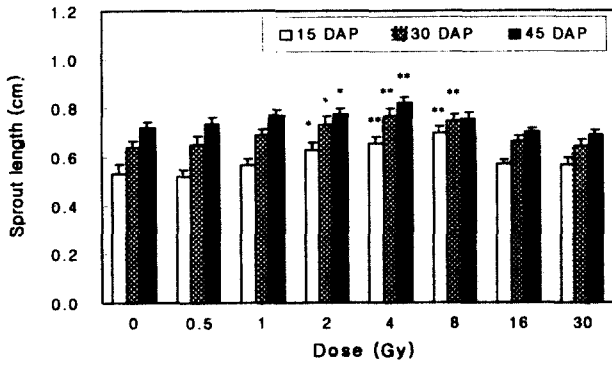


Fig. 2. Effect of low dose γ radiation on the sprout length of minituber, Dejima cultivar, stored with different DAP at 5°C on dark condition. DAP ; days after production. Bars represent the standard error of the mean. *, ** ; Significant at 5% and 1% level, respectively.

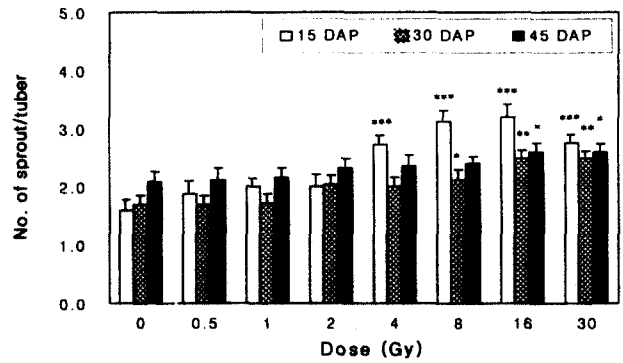


Fig. 3. Effect of low dose γ radiation on the number of sprout of minituber, Dejima cultivar, stored with different DAP at 5°C on dark condition. DAP ; days after production. Bars represent the standard error of the mean. *, **, *** ; Significant at 5%, 1% and 0.1% level, respectively.

성있는 증가를 보였으며, 45일 저장구에서는 1, 2, 4 Gy에서 각각 7%, 8% ($p < 0.05$), 14% ($p < 0.01$)의 유의성있는 증가를 보였다. 저장 기간별 맹아길이는 대체로 2 Gy와 4 Gy에서 유의성있는 증가 효과를 보였다.

저선량 조사가 씨감자 괴경의 맹아수에 미치는 효과는 그림 3에서와 같다. 15일 저장구에서는 모든 저선량 조사구에서 뚜렷한 맹아수의 증가를 보였는데 특히 4, 8, 16, 30 Gy에서 대조구에 비해 70~100% ($p < 0.001$)의 고도의 유의성있는 증가를 보였고, 30일 저장구에서는 8, 16, 30 Gy에서 26~48% ($p < 0.001$)의 높은 유의성있는 증가를 보였으며, 45일 저장구에서는 16 Gy와 30 Gy에서 25% ($p < 0.05$)의 높은 증가효과를 보였다. 저선량 γ 선 조사한 대지 씨감자의 맹아수는 생산일로부터 저장 기간이 짧아질수록, 선량이 높아질수록 유의성있는 증가를 보였다. Luckey¹⁾와 Kim & Lee²⁾는 저선량 방사선 조사에 의한 채소 종자의 발아율과 초기 생육촉진에 대하여 보고하였으며, Caldera⁹⁾와 Suess & Grosse⁹⁾는 저선량 γ 선 조사한 감자의 연구에서 수량증가효과 및 발아촉진과 휴면기간의 단축으로 인한 1년에 여러번에 걸친 수확의 가능성을 보여 주었다. Metlitskii¹⁰⁾는 저선량 γ 선이 감자 발아를 촉진시키고 중간선량은 지연시키며 고선량은 저해한다고 하였다. 또한 Jaarma⁷⁾와 Avakyan 등⁸⁾은 감자 괴경에 X선 조사시 휴면타파에 대한 효과가 있음을 보고하였다.

본 실험에서도 저선량 방사선 조사에 의해 맹아율과 맹아수 및 맹아길이가 증가하였는데, 특히 씨감자 저장기간에 상관없이 맹아율은 1 Gy와 2 Gy에서, 맹아수는 16 Gy와 30 Gy에서 유의성 있는 효과를 보여 저선량 방사선에 의한 감자 휴면조절의 가능성을 보여 주었다.

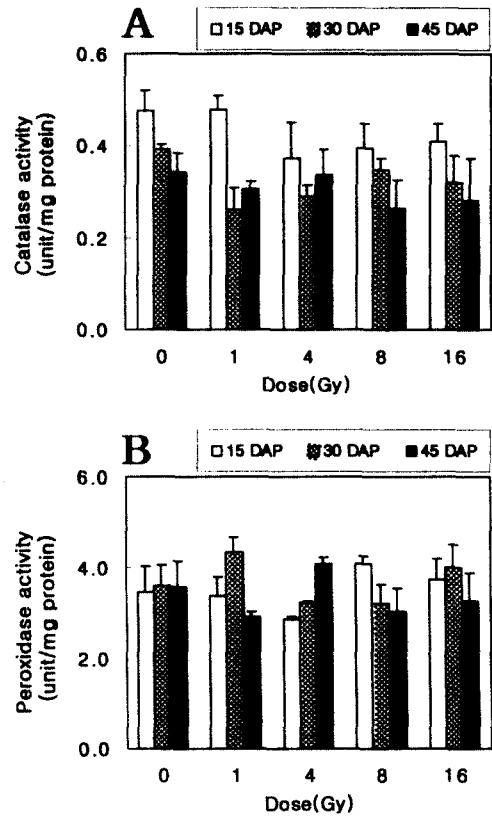


Fig. 4. Effect of low dose γ radiation on enzyme activity of minituber plantlet, Dejima cultivar, stored with different DAP at 5°C on dark condition. DAP ; days after production. A ; Catalase activity. B ; Peroxidase activity. Bars represent the standard error of the mean.

포장생육과 수량에 대한 저선량 방사선 효과

저장 기간이 다른 대지 씨감자에 저선량 γ 선 조사가 포장생육과 수량에 미치는 영향을 조사한 결과는 표 1에서 보는 바와 같다. 파종 30일 후에 조사한 유묘 초장에서 15일 저장구의 경우는 8 Gy와 16 Gy에서 16.6 cm와 15.7 cm로 대조구의 14.5 cm에 비해 각각 15% ($p<0.05$)와 8% 정도 증가하였고, 30일 저장구에서는 대조구의 15.4 cm에 비해 1 Gy에서 17.7 cm로 15% ($p<0.05$) 정도의 유의성있는 증가를 보였으며, 45일 저장구에서는 별다른 증가효과가 없었다.

저선량 γ 선을 조사한 15일 저장구의 포장 수량구성요소중 식물체당 괴경수에 있어서는 4 Gy와 30 Gy에서 각각 14.2개와 14.1개로 대조구 13.0개에 비해 10%와 9% 정도 증가하였으며, 괴경중은 1, 2, 8, 16 Gy에서 대조구에 비해 5~8% 정도 증가하였다.

30일 저장구의 초장은 저선량 조사가 대조구와 대체로 비슷한 생육을 보였고, 지상부 식물체 생체중은 0.5 Gy에서 대조구의 443.7 g에 비해 495.6 g으로 12% 정도 증가하였으며 마디수의 경우는 모든 저선량구에서 대조구에 비해 감소하였다. 식물체당 괴경수에 있어서는 0.5 Gy와 2 Gy에서 17.3개와 17.2개로 대조구의 16.3개보다 각각 6%와 5%의 증가를 보였으며, 괴경중은 대조구의 911 g과 비교해 0.5 Gy에서 1066 g으로 17% 정도 증가하였다. 30일 저장구에서는 대체로 0.5 Gy와 2 Gy에서 양호한 생육을 보였고 시험구 선량중 비교적 높은 선량에서는 저조한 포장생육을 보였다.

45일 저장구에서의 초장은 대조구에 비해 모든 선량에서 유의성있는 증가효과를 보였는데 특히 1 Gy에서 67.2 cm로 대조구의 61.3 cm에 비해 10% ($p<0.01$) 정도로 가장 높은 증가효과를 보였으며, 지상부 생체중의 경우도 대조구에 비해 저선량 조사가 뚜렷한 증가효과를 보였는데 0.5, 1, 4 Gy에서 639.6 g, 643.8 g,

650.0 g으로 대조구의 531.3 g에 비해 각각 20%, 21%, 22% ($p<0.05$)로 모두 유의성있는 증가효과를 보였고, 마디수는 모든 선량에서 대조구의 18.8개에 비해 19.8~20.1개로 4~7% ($p<0.01$)의 유의성있는 증가효과를 보였다. 식물체당 괴경수는 대조구의 14.2개에 비해 1 Gy와 4 Gy에서 17.2개로 21% ($p<0.05$) 정도 증가하였고 괴경중도 다른 포장 구성요소와 마찬가지로 모든 선량에서 대조구에 비해 양호한 생육을 보였는데 특히 4 Gy에서 대조구의 1037 g에 비해 1226 g으로 18% ($p<0.05$) 정도의 유의성있는 증가효과를 보였다. 저선량 γ 선 조사한 45일 저장구의 포장생육에 있어서는 다른 저장기간과 달리 모든 선량에서 대조구에 비해 뚜렷하게 유의성있는 생육증가 효과를 보였다. Miller & Miller³⁾와 Sheppard & Evenden⁴⁾은 저선량 조사한 작물의 초기 생육촉진 및 생장중대와 수량증가에 대해 보고하였고 Menyheret & Balian¹¹⁾은 저선량 γ 선 조사가 감자에서 수량증가를 가져온다고 하였다. Avakyan 등⁹⁾과 Johnson¹⁰⁾은 저선량의 X선 조사에서 감자 괴경의 크기 중대 및 수량의 증가에 대한 보고를 하였으나, Sprague & Lenz¹⁶⁾는 X선 조사에 의하여 괴경 크기는 중대되나 전체 수량증가에는 효과가 없었다고 하였다.

본 실험에서는 저선량 방사선 조사에 의해 감자 식물체의 초장과 생체중 및 괴경수 등이 증가하는 경향을 보였는데, 특히 45일 저장구의 4 Gy에서 유의성있는 증가효과를 보였다.

항산화효소 활성 변화

식물은 환경 스트레스에 의해 생체내의 산소가 반응성이 높은 활성산소로 변화하여 생리적 장애를 유발하나 POD, CAT, superoxide dismutase 등의 항산화효소 작용에 의해 이들 활성산소를 제거하는 방어적 기능도 동시에 보유하고 있는 것으로 알려져 있다. 저선량 방사선에 의한 식물 자극작용도 이들 효소 작용

Table 1. Effect of low dose γ radiation on the growth of minituber, Dejima cultivar, stored with different DAP at 5°C on dark condition

Dose (Gy)	Seedling height (cm)			Plant height (cm)			Foliage weight (g/plant)			No. of nods /plant			No. of tuber /plant			Tuber weight (g/plant)		
	15 DAP	30 DAP	45 DAP	15 DAP	30 DAP	45 DAP	15 DAP	30 DAP	45 DAP	15 DAP	30 DAP	45 DAP	15 DAP	30 DAP	45 DAP	15 DAP	30 DAP	45 DAP
0	14.5	15.4	15.6	49.5	47.6	61.3	427.1	443.7	531.3	18.9	19.2	18.8	13.0	16.3	14.2	905.2	910.8	1037
0.5	14.3	15.7	15.9	50.0	48.8	63.3*	424.4	495.6	639.6*	18.4	18.8	19.6*	13.2	17.3	15.0	890.8	1066.0	1082
1	14.1	17.7*	16.1	50.6	48.2	67.2**	445.2	416.4	643.8*	18.5	18.7	19.5*	13.2	13.5	17.2*	933.2	921.2	1180
2	14.7	15.1	16.6	51.2	48.0	64.7*	467.6	462.4	579.2	19.2	17.9	19.8**	12.0	17.2	14.8	932.8	946.4	1104
4	14.2	14.9	15.6	49.4	46.7	66.3*	442.0	425.6	650.0*	18.5	18.1	20.1**	14.2	14.6	17.2*	903.6	856.4	1226*
8	16.6*	14.8	15.5	48.6	47.0	65.3*	430.0	434.8	587.5	18.2	18.0	19.8**	12.9	15.4	15.0	936.3	856.4	1130
16	15.7	16.0	14.5	48.6	47.7	64.5*	444.0	450.4	613.0	19.0	18.2	19.5*	12.6	14.0	13.8	960.0	902.0	1127
30	14.5	15.1	14.8	46.8	47.9	64.9*	442.8	436.8	593.8	18.6	18.4	19.7**	14.1	14.7	15.3	900.4	904.4	1094

DAP ; days after production.

*, ** ; Significant at 5% and 1% level, respectively.

에 의한 것으로 일부 보고되어 있어^{17,19}, 본 실험에서도 저선량 방사선에 의한 식물 자극효과를 규명하고자 이들 항산화효소의 활성을 분석하였다.

저선량 γ 선 조사하여 포장에 파종한 대지 감자 품종의 생육중인 잎에서의 CAT 활성과 POD 활성은 그림 4와 같다. CAT 활성은 모든 저장기간과 선량에서 대조구에 비해 낮은 활성을 보였다. POD 활성은 15일 저장구에서 대조구의 3.46 unit에 비교하여 4 Gy에서 4.08 unit로 18% 정도, 16 Gy에서는 3.75 unit로 8% 정도 증가하였으며, 30일 저장구에서는 1 Gy에서 4.33 unit로 대조구의 3.62 unit에 비해 20% 정도, 16 Gy에서 3.99 unit로 10% 정도 증가하였다. 45일 저장구는 4 Gy에서 4.08 unit로 대조구의 3.57 unit보다 14% 정도의 증가를 나타냈다. 45일 저장구에서 양호한 생육을 보인 4 Gy의 POD 활성이 다소 증가한 것을 제외하고는 항산화 효소와 식물체 포장 생육과의 어떤 뚜렷한 상관관계를 나타내지 않았다. Zhezhe¹⁷은 식물에 저선량 방사선을 조사하면 POD 활성과 단백질 함량이 증가한다고 하였으며, Sah & Pramanik¹⁸은 보리종자에 유해 선량으로 방사선을 조사한 결과 유묘 초장은 감소하였으나 POD 활성은 35~100% 증가하였다고 보고하였다. Garg 등¹⁹은 겨자 종자에 방사선 조사시 저선량에서는 발아와 생장이 촉진되고 CAT 활성도 증가하였으나 고선량에서는 감소하였다고 하였다.

본 실험에서는 생육이 뚜렷하게 증가하였던 45일 저장구의 4 Gy 조사구에서 POD 활성이 증가한 것을 제외하고는 발아 촉진 및 생육증가와 항산화효소 활성과는 어떤 명확한 상관 관계를 찾을 수 없어 향후 작물의 생육 시기별로 좀 더 세밀한 연구가 필요하다.

감사의 글

이 연구는 과학기술부의 원자력연구개발사업의 일환으로 수행되었음.

요 약

저선량 γ 선 조사가 기내 유기한 감자 소괴경에서 생산한 “대지 (*Solanum tuberosum* L. cv. Dejima)” 품종 씨감자의 맹아발생과 포장에서의 생육과 수량 및 생리활성에 미치는 효과 등을 알아보려 저온 저장한 감자 괴경에 γ 선을 0.5~30 Gy 까지 조사하여 수행한 결과는 다음과 같다. 저선량 γ 선 조사한 감자 괴경의 맹아 출현율은 저장 기간에 관계없이 대체로 1 Gy와 2 Gy 조사구에서 높았고 맹아 길이는 2 Gy와 4 Gy 조사구에서 유의성있는 증가효과를 보였으며 맹아수에서는 15일 저장구의 4, 8, 16 Gy 조사구에서 유의성있는 증가효과를 보였다. 포장생육에서는 45일 저장구가 모든 선량에서 유의성있는 생육 및 수량 증가효과를 보였는데 특히 4 Gy 조사구에서 뚜렷한 증가효과를 보였다. 항산화효소 활성은 저선량 조사와 생육에

따라 어떠한 경향을 보이지 않았으나 catalase는 모든 저선량 조사구가 대조구에 비해 낮았고, peroxidase는 생육이 양호하였던 45일 저장구의 4 Gy 조사구에서 증가하였다.

참 고 문 헌

1. Luckey, T. D. (1980) *Hormesis with ionizing radiation*, CRC press. Inc., Boca Raton, Fl.
2. Kim, J. S. and Lee, Y. B. (1998) Ionizing radiation hormesis in crops, *Kor. J. 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. Sheppard, S. C. and Evenden, W. G. (1986) Factors controlling the response of field crops to very low dose of gamma irradiation of the seed, *Can. J. Plant Sci.* 66, 431-435.
5. Sparrow, A. H. (1960) Uses of large sources of ionizing radiation in botanical research and some possible practical application, in *Large Radiation Sources in Industry*. International Atomic Energy Agency, Vienna :IAEA, 195-219.
6. Caldera, P. G. (1970) Gamma stimulation of potato tubers, *Stim. Newsl.* 1, 6.
7. Jaarma, M. (1958) Influence of ionizing radiation on potato tubers, *Ark. Kem.* 13, 97-101.
8. Suess, A. and Grosse, W. (1968) The effect of low doses of γ radiation of plant growth, *Abt. Strahlennutzung*, December, 1.
9. Avakyan, T. M., Semerdzhyan, S. P. and Atayan, R. R. (1964) Results concerning the removal of newly gathered potato tubers for the dormant stage, *Radiobiology(USSR)*. 4, 463 ; NSA 18, 33376.
10. Johnson, E. L. (1936) Susceptibility of seventy species of flowering plants to X radiation, *Plant Physiol.* 11, 319-322.
11. Menyhart, Z. and Balian, A. (1965) Radiostimulation - experiments with potato. *Bayor. Landwirtsch. Jahrb.* 42, 61.
12. Niels, W. H. and Roger, J. B. (1970) *Manual on Radiation Dosimetry*, Mard Dekker Inc., New York.
13. Bradford, M. M. (1976) A rapid sensitive method for quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding, *Anal Biochem.* 72, 248-254.
14. Aebi, H. (1984) Catalase in vitro, *Methods Enzyme.* 105, 121-126.
15. Metlitskii, L. V. (1967) Irradiation of potatoes and other

- vegetables to prevent sprouting, *Radiat. Obrabotka Pisch. Prod. Izdatel. Ekon. Moscow, NSA 23, 12249.*
16. Sprau, H. B. and Lenz, M. (1929) The effects of X-rays on potato tubers for "seed", *Science. 69, 606.*
17. Zhezhel, N. G. (1958) Studies on the mechanism of the biological effect of small doses of ionizing radiation in plant, *Vestsel'Skokhoz Nauk. 8, 123.*
18. Sah, N. K. and Pramanik, S. S. (1996) Peroxidase changes in barley induced by ionizing and thermal radiation, *Int. J. Radiat Biol. 69, 107-111.*
19. Garg, C. K., Tirwari, B. and Singh, O. (1972) Effect of presowinggamma irradiated seeds in relation to the germination behavior of Indian colza (*Brassica campestris L. var. Sarson Prain*), *Indian J. Agric. Sci. 42, 553.*