Korean J. Environ. Biol. 18(2) : 247~253(2000)

배추 유식물의 생장과 항산화효소의 활성도에 미치는 저선량 방사선의 효과

김재성* · 이영근 · 백명화 · 김동희 · 이영복[1]

(한국원자력연구소 동위원소, 방사선응용연구팀, [1]충남대학교 농과대학)

(2000년 4월 6일 접수, 2000년 6월 5일 채택)

적 요 - 저선량 γ선이 시판중인 배추 신규종자인 "만점" 배추와 묵은 종자인 "서림엇갈이" 배추의 발아와 초기생육 및 생리활성에 미치는 영향을 조사하였다. 배추종자의 발아와 초기생육에 있어 신규종자에서는 별효과가 없었으나 묵은 종자에서는 촉진효과가 있었고 그 적정 선량은 1.0 Gy와 2.0 Gy 였다. 배추유식물체의 엽록소 함량은 저선량 조사구가 대조구보다 높았으며 조사선량의 증가에 따라 대체로 증가하였고, 저선량 조사에 의한 배추유식물체의 항산화효소활성은 증가하였으나 낮은 선량에서 증가하였고 높은 선량에서는 감소하였다.

서 론

생물이 살고 있는 지구환경은 어디에서나 필연적으로 자연방사선이 존재하고 있다. 그러므로 방사선을 신체에 받지 않고는 살아갈 수 없으며 인류는 세상에 태어난 이래 자연방사선과 함께 생활하고 진화해 왔다고 말할 수 있다. 방사선 장해에 관한 우리들의 지식은 저선량율과 중 · 저선량 피폭에 대한 정보가 부족하여 고선량 급성피폭에 관한 정보에 근거하기 때문에 저수준의 방사선 작용을 잘못 해석하기가 쉽다. 생물체가 급성조사에서는 치사선량에 해당하는 총선량을 저선량으로 장기간에 걸친 피폭실험을 수행해보면 중대한 장해를 나타내지 않음을 볼 수 있다.

저선량 이온화방사선의 피폭효과는 hormesis의 일반적인 개념, 즉 유해작용을 가진 작용물질이 유해량 이하의 투여에서는 생물체를 자극한다는 법칙과 일치한다. 생물체가 최적이하의 상태에 있게되면 자극은 그 상태에서의 생물체의 반응을 변화시켜 적극적으로 대응케 한다. 방사선 hormesis에 대한 많은 실험결과는 이온화방사선의 종류에 상관없이 거의 비슷한 생화학적 영향을 보여주며 계통발생을 통해서 생물은 저선량의 이온화방사선에 의해 자극 받아 발아, 출아, 생장과 발육의 촉진, 수량구성요소의 증가 등이 식물에서 관찰되었고, 호흡, 한발, 분지, 개화, 결실 및 영양생산 등에서도 고유한 특성이 나타난다.

채소원예작물의 생장에 대한 연구는 상당한 변이를 보여주는데 토마토의 발아증가와 생육촉진 및 수량증가에 대해 많이 보고되어 있으며, Nirale과 Gaur (1973)는 고추, 양파, 상추에 대한 저선량 방사선 조사시 5.0 Gy와 10.0 Gy에서 생육촉진 효과가 있음을 보고하였다. 배추종자에 저선량 γ선을 조사하여 발아와 생육촉진 효과를 Kuzin 등(1976a)이 보고하였으며, 김 등(1997)이 고랭지와 엇갈이배추 및 알타리무의 시판종자에 저선량 γ선을 조사하여 발아와 초기생육에서 비슷한 효과를 관찰하였다. 저선량 방사선 조사에 의한 작물의 생장촉진 효과외에도 당근의 광합성과 핵산 합성 증가(Vlasyuk, 1964), 겨자의 호흡, catalase 활성, vitamin C와 질소 함량 증가(Garg *et al.* 1972), 홍화의 catalase와 lipase 활성 증가(Kuzin *et al.* 1976b) 등이 보고되었다. 본 실험에서는 저선량의 γ선을 조사한 배추종자의 발아와 초기생육 및 배추 유묘의 생리적 변화를 관찰하였다.

재료 및 방법

1. 공시품종

시험재배용 배추품종(*Brassica campestris* L.)으로는 1998년 생산한 서울종묘의 만점 배추와 1994년 생산하

* This project was carried out under the Nuclear R&D Program by MOST.

여 5년간 저온저장한 농진종묘의 서림엇갈이 배추종자를 사용하였다.

2. 방사선 조사

저선량 방사선 조사에 사용한 조사시설은 한국원자력연구소에서 보유중인 저준위조사시설(^{60}Co)을 이용하여 γ선을 0, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 8.0, 12.0, 16.0, 20.0 Gy의 9수준으로 건조종자에 직접 조사하였다. 조사선량율은 Fricke dosimeter로 측정하였다(Niels and Roger 1970).

3. 온실재배실험

1999년 5월 3일에 γ선을 조사한 직후에 종자 150립을 배양토와 마사토가 1:1로 섞인 소형 50구 연결 pot에 1립씩 3반복으로 파종한 후 온실에서 발아시켜 발아율을 조사하였고 파종 10일 후인 5월 13일과 20일 후인 5월 23일에 엽장·엽폭을 조사하였다. 엽장·엽폭은 제 2본엽을 택하여 실시하였으며, 1차 조사시엔 떡잎의 엽장을, 2차 조사시엔 지상부 생체중을 추가 조사하였다.

4. 엽록소 함량분석

엽록소 함량은 Arnon (1949) 방법을 참조하여 1차와 2차 생육조사시 배추 잎조직 0.5 g을 채취한 후, 액체질소를 사용하여 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.

5. 항산화효소 활성 분석

1) 조효소액의 추출

파종 10일과 20일 후의 배추 잎조직 0.5 g을 액체질소를 사용하여 얼린 다음 막자사발에서 마쇄한 후 0.05 M 인산완충액(pH 7.0) 1.0 ml을 첨가한 다음 4°C에서 10,000 rpm으로 10분간, 11,000 rpm에서 15분간 원심분리하여 얻은 상등액을 조효소액으로 사용하였다. 단백질 정량은 BSA를 표준단백질로 사용한 Bradford (1976)의 방법에 따라 측정하였다.

2) 항산화효소 활성 측정

Peroxidase (POD) 활성은 pyrogallol (Sigma, Cot# P-0381)을 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 H_2O_2 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) = [($\triangle A_{240}$/20 sec) × (희석배율)]/(12* × g시료/ml 반응액). 여기서 12*은 420 nm에서의 흡광계수이다.

Catalase (CAT) 활성은 기질인 H_2O_2의 감소량을 측정하는 방법(Aebi 1984)을 사용하였다. 효소측정을 위한 반응용액은 0.053 M H_2O_2 1 ml, 효소액 0.1 ml, 0.05 M 인산완충액(pH 7.0) 1.9 ml의 혼합액으로 하여, 효소활성(unit)은 cuvette내에서 효소에 의한 H_2O_2의 분해를 240 nm의 흡광도감소를 1분간 측정하여 다음의 식으로 계산하였다. CAT 활성(unit/g 건물중) = ($\triangle A_{240}$/min × 희석배율)/(2 × 43.6*). 여기서 43.6*은 240 nm에서 H_2O_2의 흡광계수이다.

결과 및 고찰

1. 배추의 초기생육

저선량 방사선이 시판중인 배추 신규종자 "만점" 배추와 묵은 종자인 "서림엇갈이" 배추의 초기생육에 미치는 영향을 보고자 저선량 γ선을 조사하여 온실의 소형 pot에 파종하여 파종 10일과 20일 후에 생육상황을 관찰하였다. 신규종자인 만점 배추의 경우는 표 1에서와 같이 발아율은 대조구의 발아율이 98%로 높아 8.0 Gy의 99%와 16.0 Gy의 98%를 제외하고는 저선량 조사구 모

Table 1. Early growth of Chinese cabbage grown from seeds (produced in 1998, cv. Manjeom) irradiated with different doses of gamma radiation

Traits / Dose (Gy)	Germination rate (%)	10 DAS			20 DAS		
		Cotyledon width	Leaf width	Leaf length	Leaf width	Leaf length	Fresh weight (g/plant)
		(cm)			(cm)		
0	98	2.11†	2.57	4.90	4.73	9.26	3.28
0.5	96	2.08	2.54	4.98	4.67	9.43	3.20
1.0	95	2.04	2.53	5.01	4.80	9.90**	3.46
2.0	94	2.03	2.54	4.76	4.53	9.14	3.18
4.0	90	2.00	2.46	4.61	4.77	9.64**	3.24
8.0	99	2.04	2.50	4.86	4.47	9.26	3.01
12.0	97	1.99	2.47	4.67	4.44	8.86	2.86
16.0	98	1.95	2.38	4.27	4.36	8.61	2.56
20.0	97	1.99	2.27	4.19	4.37	8.95	2.71

DAS ; days after sowing.
† ; Figure represents mean of 30 plants.
** ; Significant at 1% level.

Table 2. Early growth of Chinese cabbage grown from seeds (produced in 1994, cv. Sulim eockari) irradiated with different doses of gamma radiation

Traits / Dose (Gy)	Germination rate (%)	10 DAS			20 DAS		
		Cotyledon width	Leaf width	Leaf length	Leaf width	Leaf length	Fresh weight (g/plant)
		(cm)				(cm)	
0	85	2.18†	2.35	3.97	4.24	7.96	2.29
0.5	85	2.27**	2.42	4.25**	4.57***	8.51***	2.51
1.0	86	2.25*	2.55***	4.55***	4.68***	9.08***	2.66***
2.0	89	2.27*	2.57***	4.67***	4.68***	8.97***	2.53**
4.0	85	2.21	2.50**	4.52***	4.44*	8.56***	2.43
8.0	84	2.21	2.61***	4.65***	4.43*	8.46**	2.41
12.0	86	2.13	2.42	4.30**	4.62***	8.66***	2.64***
16.0	87	2.13	2.47**	4.43***	4.35	8.42**	2.31
20.0	87	2.02	2.15	3.85	4.03	7.68	1.92

DAS ; days after sowing.
† ; Figure represents mean of 30 plants.
*, **, *** ; Significant at 5%, 1% and 0.1% level, respectively.

두가 대조구보다 다소 낮은 경향을 보여 저선량 방사선에 의한 발아율 증가효과를 볼 수 없었다. 파종 10일 후에 조사한 떡잎의 폭은 저선량 조사구 모두가 대조구의 2.11 cm보다 낮은 값을 보였다. 엽폭에서도 떡잎과 같은 경향이었다. 엽장의 경우는 1.0 Gy와 0.5 Gy 조사구가 각각 5.01 cm와 4.98 cm로 대조구의 4.90 cm보다 다소 증가하였다. 파종 20일 후에 조사한 엽폭은 1.0 Gy 조사구만이 4.80 cm로 대조구의 4.73 cm보다 높고 나머지 조사구는 모두 낮았다. 엽장의 경우는 1.0 Gy와 4.0 Gy 조사구가 각각 9.90 cm와 9.64 cm로 높은 통계적 유의성 있는($p<0.01$) 증가효과를 보였고 0.5 Gy 조사구에서도 9.43 cm로 대조구의 9.26 cm보다 높은 생육을 보였다. 유식물체 생체중에서는 1.0 Gy 조사구만이 3.46 g으로 대조구의 3.28 g보다 높았고 나머지 조사구에서는 모두 낮은 생체중을 보여 신규종자에서는 저선량 γ선 조사에 의한 발아율과 초기생육에서 뚜렷한 증가효과를 볼 수 없었으나 다만 γ선 1.0 Gy 조사구가 초기생육을 다소 촉진하는 효과를 보여주었다. 묵은 종자인 서림엇갈이 배추(Table 2)에서는 만점 배추와는 다르게 저선량 조사에 의한 뚜렷한 효과를 보여주었다. 발아율의 경우 84%을 보인 8.0 Gy 조사구를 제외한 저선량 조사구 모두가 대조구 85% 보다 다소 높은 발아율을 보였는데 2.0 Gy 조사구가 89%로 가장 높았으나 통계적 유의성은 없었다. 파종 10일 후의 떡잎의 폭은 대조구 2.18 cm에 비해 2.27 cm를 보인 0.5 Gy ($p<0.01$)와 2.0 Gy ($p<0.05$) 조사구가 높은 통계적 유의성 있는 생육증가를 보였고 다음이 1.0 Gy 조사구의 2.25 cm ($p<0.05$)였으나 저선량 조사구 중 높은 수준인 12.0 Gy 이상 조사구에서는 대조구보다 낮은 값을 보였다. 엽폭에서는 20.0 Gy 조사구를 제외한 전체 저선량 조사구가 대조구의 2.35 cm보다 높아 통계적으로 유의성 있는 생육증가 효과를 보였는데 8.0 Gy 조사구가 2.61 cm ($p<0.001$)로 가장 높은 11% 정도 증가효과를 보였고 다음이 2.0 Gy 조사구의 2.57 cm ($p<0.001$)였다. 엽장에서도 엽폭과 비슷한 경향으로 20.0 Gy 조사구를 제외한 전체 조사구에서 대조구 3.97 cm보다 높은 값을 보였고 2.0 Gy 조사구의 4.67 cm ($p<0.001$)와 8.0 Gy 조사구의 4.65 cm ($p<0.001$)가 고도의 유의성 있는 18% 정도의 증가효과를 나타내었다. 파종 20일 후의 생육조사에서도 20.0 Gy 조사구만을 제외한 저선량 조사구 전체가 대조구보다 양호한 생육양상을 보였다. 엽폭의 경우 대조구의 4.24 cm에 비해 1.0 Gy와 2.0 Gy 조사구가 4.68 cm로 10% 이상의 고도의 유의성 있는($p<0.001$) 증가효과를 보였고 다음이 12.0 Gy 조사구의 4.62 cm ($p<0.001$)와 0.5 Gy 조사구의 4.57 cm ($p<0.001$) 순이었다. 엽장에서도 엽폭과 같은 경향을 보였는데 1.0 Gy 조사구가 9.08 cm로 대조구의 7.96 cm보다 고도의 유의성 있는 ($p<0.001$) 가장 높은 14%의 생육증가를 보였고 2.0 Gy와 12.0 Gy 조사구가 각각 8.97 cm ($p<0.001$)와 8.66 cm ($p<0.001$)로 다음순이였다. 유식물체 생체 중에서도 유사한 경향으로 2.66 g의 1.0 Gy 조사구가 2.29 g의 대조구에 비해 16% 정도 유의성 있는 ($p<0.001$) 증가효과를 보였고 다음이 12.0 Gy 조사구의 2.64 g ($p<0.001$)과 2.0 Gy 조사구의 2.53 g ($p<0.01$) 순이였다. 이상의 결과로 볼 때 저 선량 γ선 조사가 배추 종자의 발아와 초기생육에 미치는 효과는 신규종자에서는 별효과가 없었으나 묵은 종자에서는 발아와 초기생육을 상당히 촉진하는 효과를 보였다. 김(1996)과 Luckey (1980)는 저선량 방사선 조사에 의한 채소종자의 발아

Table 3. Total chlorophyll contents (mg/g fresh weight) of Chinese cabbage leaves grown from seeds irradiated with different doses of gamma radiation

Cultivar / Dose (Gy)	Manjeom		Sulim eockari	
	10 DAS	20 DAS	10 DAS	20 DAS
0	7.22(100)†	6.69(100)	8.02(100)	7.23(100)
1.0	7.45(103)	6.87(103)	8.08(101)	7.12(98)
2.0	7.57(105)	6.99(104)	8.15(102)	7.34(102)
16.0	7.36(102)	7.10(106)	8.52(106)	7.66(106)
20.0	7.71(107)	7.05(105)	8.37(104)	7.97(110)

DAS ; days after sowing.
† ; The values in the parentheses are the ratio to the control.

율과 초기생육 촉진 및 생장증대에 관해 종합 고찰하였고, Kuzin (1976a)은 배추종자에 5.0～10.0 Gy의 X선을 조사하여 발아와 생육촉진 및 20% 이상의 수량증가 효과를 보고하였다. 김 등(1997)은 시판중인 몇 가지 배추와 무의 종자에 저선량 γ선을 조사하여 0.2～4.0 Gy 범위에서 발아와 초장 등이 증가하였으나 품종에 따라 적정선량이 다르다고 하였다. 이 등(1998a, b)은 고추와 파종자에 저선량 γ선을 조사하여 발아율과 초기생육을 조사한 보고에서 신규종자보다도 묵은 종자에서 그 효과가 뚜렷하였다. 본 실험에서도 신규종자인 만점 배추에서는 1.0 Gy를 제외하고는 저선량 효과는 미미하였으나 묵은 서림엇갈이 배추에서는 저선량에 의한 발아율과 초기생육 촉진효과를 보여 주었고 γ선 1.0 Gy와 2.0 Gy가 가장 효과적이었다.

2. 엽록소 함량 변화

저선량 γ선을 조사하여 재배한 배추유식물체중 생육에 다소 차이를 보이는 저선량 조사구 1.0 Gy, 2.0 Gy, 16.0 Gy, 20.0 Gy와 무조사한 대조구를 선정하여 파종 10일 후와 20일 후에 배추 유식물체의 잎을 채취하여 전체 엽록소 함량을 분석하였다(Table 3). 만점 배추의 경우 저선량 조사구 모두가 대조구에 비해 높은 함량을 보였는데 파종 10일 후의 전체 엽록소 함량으로 볼 때 대조구의 7.22 mg/g에 비해 생육이 저조하였던 20.0 Gy가 7.71 mg/g으로 가장 높았고 다음이 2.0 Gy 조사구와 1.0 Gy 조사구로서 각각 7.57 mg/g과 7.45 mg/g 이였다. 파종 20일 후에는 생육과 뚜렷한 반대 경향을 보였는데 생육이 가장 저조하였던 16.0 Gy와 20.0 Gy 조사구가 각각 7.10 mg/g와 7.05 mg/g으로 높은 함량을 보인 반면에 생육이 양호하였던 1.0 Gy 조사구가 6.87 mg/g으로 저선량 조사구 중 가장 낮은 함량을 보였다.

서림엇갈이 배추의 파종 10일 후의 전체 엽록소 함량도 20일 만점 배추와 동일한 경향으로 저선량 조사구 모두가 대조구 보다 높았다. 즉, 생육이 저조하였던 16.0 Gy와 20.0 Gy 조사구의 전체 엽록소 함량이 각각 8.52 mg/g와 8.37 mg/g으로 가장 낮은 대조구의 8.02 mg/g보다 4～6% 높았다. 또한 생육이 양호하였던 2.0 Gy와 1.0 Gy 조사구는 각각 8.15 mg/g와 8.08 mg/g으로 대조구 보다 낮은 함량을 보였다. 파종 20일 후에도 비슷한 경향으로 20.0 Gy와 16.0 Gy 조사구의 전체 엽록소 함량이 각각 7.97 mg/g와 7.66 mg/g으로 대조구 7.23 mg/g보다 6～10% 높은 함량을 보였으나 생육이 가장 양호하였던 1.0 Gy 조사구가 대조구 보다도 낮은 7.12 mg/g로 가장 낮은 함량을 보였다. 저선량 방사선 조사에 의한 식물의 생리활성 증진효과 중에는 광합성능(Zhezhel 1958; Vlasyuk 1964), 엽록소 함량(Gorlanov 1973; Pal 1975) 및 효소 활성(Zhezhel 1958; Garg *et al.* 1972; Sah and Pramanik 1996) 증가 등 많은 결과들이 보고되어 있다. Gorlanov (1973)는 강낭콩 종자에 저선량 γ을 10.0 Gy～20.0 Gy 조사하여 발근촉진 효과와 함께 잎의 엽록소 함량이 대조구에 비해 높았다고 하였으며, Pal (1975)도 저선량 조사한 토마토의 생육촉진과 엽록소 함량이 증가하였다고 보고하였다. 본 실험의 경우 저선량 조사에 의한 배추 유식물체의 엽록소 함량은 저선량 조사에 의해 증가하였고 조사선량의 증가에 따라 증가하였다.

3. 항산화효소 활성 변화

저선량 조사하여 재배한 배추의 엽록소 함량 분석을 위해 채취한 시료에서 항산화 효소도 함께 분석하였다. 만점 배추의 POD 활성은 그림 1A에서 보는바와 같이 저선량 조사구 전체가 대조구에 비해 높은 활성을 보였으며 파종 20일 후가 10일 후에 비해 훨씬 높았다. 파종 10일 후의 경우 생육이 양호한 2.0 Gy와 1.0 Gy 조사구간에 각각 0.437 unit와 0.430 unit로 대조구의 0.334 unit보다 30% 정도 증가하였으나 생육이 불량한 20.0 Gy와 16.0 Gy 조사구는 0.345 unit와 0.341 unit로 낮았다. 파종 20일 후에는 대조구에 비해 유의성 있는 높은 POD 활성을 보였으나 생육과는 어떤 경향을 보이지 않았다. 즉, 생육이 가장 불량한 16.0 Gy 조사구는 2.05 unit로 저선량 조사구 중 가장 낮은 활성을 보였으나 다음으로 생육이 불량한 20.0 Gy 조사구는 POD 활성이 가장 높은 4.19 unit로 대조구의 1.31 unit에 비해 3배 이상 유의성 있게 ($p<0.01$) 증가하였다. 그림 1B는 서림엇갈이 배추의 POD 활성을 보여주는 것인데 저선량 조사구 모두가 대조구보다 높은 활성을 보였다. 파종 10일 후의 경우 생육이 양호하였던 2.0 Gy와 1.0 Gy 조사구가 각각 0.538 unit ($p<0.01$)와 0.445 unit ($p<0.05$)로 대조구 0.372 unit보다 각각 45%와 20% 정도 유의성 있게

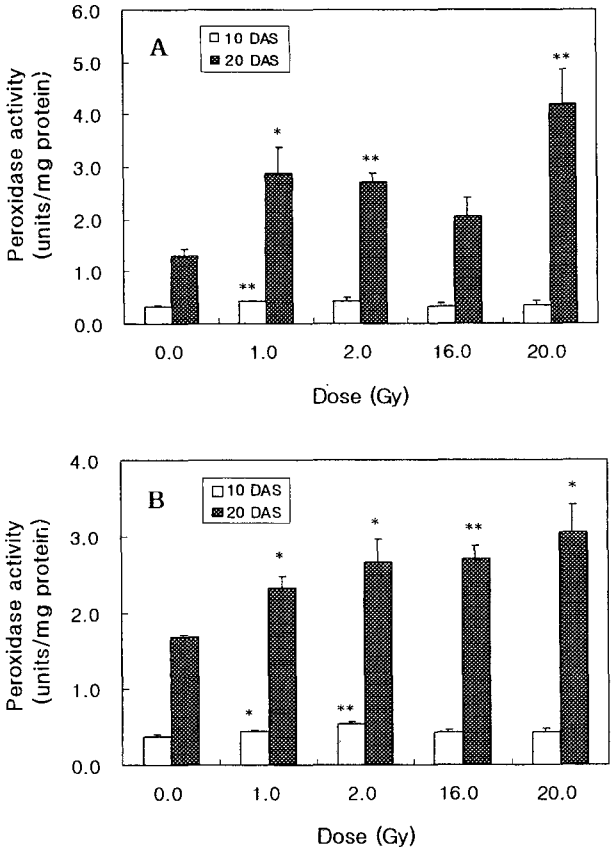

Fig. 1. Peroxidase activity of chinese cabbage grown from seeds irradiated with different doses of gamma radiation.
A; Manjeom cv. produced in 1998, B; Sulim eockari cv. produced in 1994. Data represents mean± standard error. DAS; days after sowing. *, **; significant at 5%, 1% level, respectively.

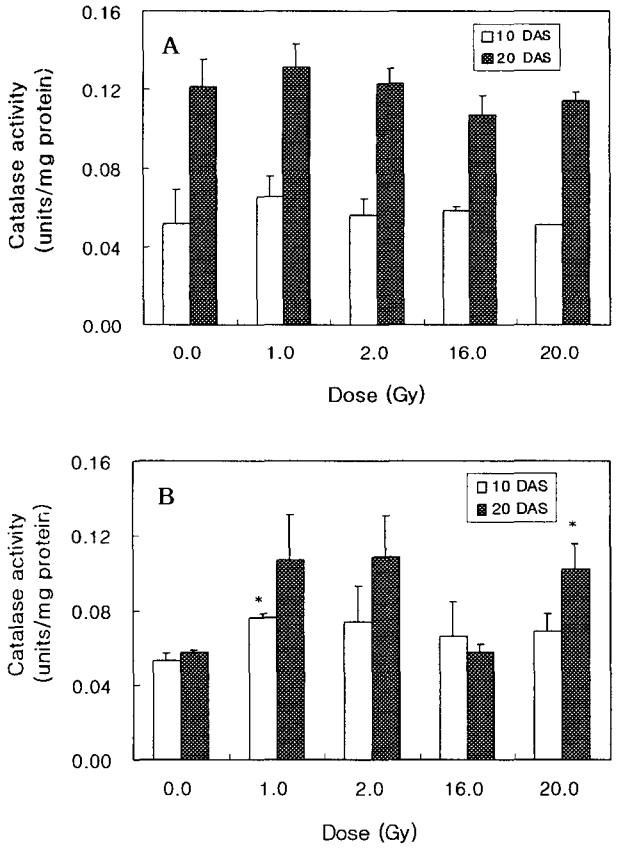

Fig. 2. Catalase activity of chinese cabbage grown from seeds irradiated with different doses of gamma radiation.
A; Manjeom cv. produced in 1998, B; Sulim eockari cv. produced in 1994. Data represents mean± standard error. DAS; days after sowing. *; significant at 5% level.

증가하였다. 파종 20일 후에는 초기와는 반대로 생육이 불량한 20.0 Gy와 16.0 Gy 조사구가 각각 3.044 unit ($p<0.05$)와 2.700 unit ($p<0.01$)로 대조구의 1.680 unit보다 60~80% 정도 유의성 있게 증가하였다. 생육이 양호하였던 2.0 Gy 조사구와 1.0 Gy 조사구는 각각 2.660 unit ($p<0.05$)와 2.320 unit ($p<0.05$)로 다소 낮은 활성을 보여 저선량 γ선 조사선량의 증가에 따라 POD 활성도 증가하였다. 만점 배추의 CAT 활성(Fig. 2A)은 파종 10일 후의 경우 어떤 경향을 보이지 않고 1.0 Gy 조사구가 0.065 unit로 대조구의 0.052 unit보다 25% 정도 높았고 다음이 16.0 Gy 조사구의 0.058 unit였으나 20.0 Gy 조사구는 가장 적은 0.051 unit로 대조구보다 활성이 낮았다. 파종 20일 후의 CAT 활성은 생육이 가장 좋았던 1.0 Gy 조사구가 0.131 unit로 가장 높았고 다음이 2.0 Gy 조사구의 0.123 unit였다. 생육이 불량한 16.0 Gy와 20.0 Gy 조사구는 각각 0.107 unit와 0.114 unit로 대조구의 0.122 unit보다 낮은 활성을 보였다. 서림엇갈이 배추의 CAT 활성(Fig. 2B)은 저선량 조사구 모두가 대조구보다 높은 활성을 보였으며, 저선량 조사구중 낮은 선량에서는 높고 높은 선량에선 낮았다. 파종 10일 후의 경우 1.0 Gy와 2.0 Gy 조사구는 각각 0.076 unit ($p<0.05$)와 0.074 unit로 대조구의 0.053 unit보다 약 40% 정도 증가하였다. 파종 20일 후에는 2.0 Gy와 1.0 Gy 조사구가 각각 0.108 unit와 0.107 unit로 대조구의 0.058 unit보다 약 85% 정도 증가하였으나 통계적 유의성은 없었으며 20.0 Gy 조사구는 0.102 unit로 대조구보다 약 75% 정도 유의성 있는($p<0.05$) 증가를 보였다. 저선량 조사에 의한 배추유식물체의 항산화효소 활성은 POD와 CAT 모두 저선량 조사구가 대조구보다 대체로 높은 활성을 보였다. 항산화 효소 POD는 조사선량의 증가에 따라 활성

도 증가하였으나 CAT 는 낮은 선량에서는 높고 높은 선량에서는 활성이 감소하였다. Zhezhel (1958)은 식물에 저선량 방사선을 조사하면 POD 활성과 단백질 함량이 증가한다고 하였으며 이 등(1999)의 보고에 의하면 카사바 세포덩어리에 방사선 조사시 선량 증가에 따라 생육이 감소하였으나 POD 활성은 증가하여 70.0 Gy 조사구에서는 250% 증가하였다. Sah와 Pramanik (1996)는 보리 종자에 유해한 방사선량을 조사한 결과 유묘초장은 감소하였으나 POD 활성은 35~100% 증가하였다고 보고하였다. Garg 등(1972)은 겨자종자에 방사선 조사시 저선량에서는 발아와 생장이 촉진되고 CAT 활성도 증가하였으나 고선량에선 감소하였다고 하였고, 이 등(1999)은 CAT 활성이 방사선 조사에 별 영향이 없다고 하였다.

참 고 문 헌

김재성 (1996) 고등식물에서의 방사선 hormesis. KAERI/AR-435/96. 한국원자력연구소.

김재성, 김진규, 이은경, 이영복 (1997) 전리방사선에 의한 배추와 무의 생육촉진 효과. 한국환경농학회지 **16**(4): 390-393.

이은경, 김재성, 이영복 (1998a) 저선량 γ-ray 조사에 의한 고추의 발아와 생육 촉진효과. 한국원예학회지 **39**(6): 670-675.

이은경, 김재성, 이영근, 이영복 (1998b) 저선량의 감마선 조사가 파종자의 발아에 미치는 영향. 한국환경농학회지 **17**(4): 215-219.

이행순, 유순희, 권석윤, 김재성, 곽상수 (1999) 감마선에 의한 카사바 (*Manihot esculenta Crantz*) 배양세포의 항산화효소 활성 변화. 식물조직배양학회지 **26**(1): 53-58.

Arnon DL (1949) Copperenzymes in isolated chloroplasts polypheoloxidase in veta vulgaris. *Plant Physiol.* **24**: 1-15.

Bradford MM (1976) A rapid sensitive method for quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal Biochem.* **72**: 248-254.

Garg CK, B Tirwari & O Singh (1972) Effect of presowing gamma irradiated seeds in relation to the germination behavior of Indian colza (*Brassica campestris* L. var. Sarson Prain). *Indian J. Agric. Sci.* **42**: 553.

Gorlanov NA (1973) Change in chlorophyll and its properties in the leaves of rotting kidney bean cuttings, grown from gamma irradiated seeds. *Radiobiology (Moscow).* **13**: 634.

Kuzin AM, VA Kopylov & ME Vagobova (1976a) On the role played by radiotoxins in stimulation of the growth and development of irradiated seeds. Stim. Newsl. 9:27-31. The utilization of ionizing radiation in agriculture. Proc. Int. Conf. Peaceful Uses Atomic Energy, *United Nations, Geneva.* **12**: 149-151.

Kuzin AM, ME Vagobova & AF Revin (1976b) Molecular mechanism of stimulating action of an ionizing radiation on seeds. II. Activation of protein and high molecular weight RNA synthesis. *Radiobiology (Moscow).* **16**: 259.

Luckey TD (1980) Hormesis with ionizing radiation. CRC press. Inc. Boca Raton. Fla.

Niels WH & JB Roger (1970) Manual on Radiation Dosimetry. Mard Dekker Inc. New York.

Nirale AS & BK Gaur (1973) Radiation-induced stimulation in crop plant. INSA Symp. on Use of Isotopes and Radiation in Agriculture, Biology and Animal Sciences. *Chandigarp, Jan.* **1**(2): 60-63.

Pal I (1975) Investigation on the effects of seed irradiation of plants in a phytotron. I. Tomato. *Stim. Newsl.* **8**: 23-36.

Sah NK & SS Pramanik (1996) Peroxidase changes in barley induced by ionizing and thermal radiation. Int. *J. Radiat Biol.* **69**: 107-111.

Vlasyuk PA (1964) Effect of ionizing radiation on the physiological-biochemical properties and metabolism of argicultural plants. Inst. Fiziol. Biokhim. Rast. SSR. 24-31.

Zhezhel NG (1958) Studies on the mechanism of the biological effect of small doses of ionizing radiation in plant. *Vestsel'Skokhoz Nauk.* **8**: 123.

Effects of Low Dose Gamma Radiation on the Growth and Antioxidant Enzyme Activities of Chinese Cabbage (*Brassica campestris* L.) Seedlings

Jae-Sung Kim*, Young-Keun Lee, Myung-Hwa Back, Dong-Hee Kim and Young-Bok Lee[1]

(Korea Atomic Energy Research Institute, Taejon, 305-353, Korea
[1]College of Agriculture, Chungnam National University, Taejon 305-764, Korea)

Abstract - In order to investigate the stimulatory effect (hormesis) of low dose gamma-radiation on the seeding growth of old seeds with respect to antioxidant defense systems, various doses of gamma radiation to the 5-year-old dried seeds of Chinese cabbage (Brassica campestris L. cv Sulin eockaei). Compared to the new, 1-year-old seeds, old seeds irradiated by low does gamma radiation in the range of 1~2 Gy showed vigor growth as revealed by statistically significant increases both in the germination rates and the leaf size and fresh weight. Further, seedlings grown from seeds treated by low dose gamma radiation showed higher peroxidase and catalase activities than non-treated seedlings. These results suggest that the antioxidant defense systems could be closely related to the stimulatory effects of low dose radiation. [antioxidant enzyme, chinese cabbage, gamma radiation, germination rate, hormesis]