

저선량 감마선이 채소 발아종자의 생리활성에 미치는 영향

김재성*, 이은경, 백명화, 김동희, 이영복¹

*한국원자력연구소 동위원소·방사선응용연구팀, ¹충남대학교 원예학과

Influence of low dose γ radiation on the physiology of germinative seed of vegetable crops

Jae-Sung Kim*, Eun-Kyung Lee, Myung-Hwa Back, Dong-Hee Kim, Young-Bok Lee¹⁾ (Korea Atomic Energy Research Institute, Taejon, 305-353, Korea, ^{1)Dept. of Horticulture, Chungnam National University, Taejon 305-764, Korea, *e-mail : jskim8@naranet.kaeri.re.kr)}

ABSTRACTS : This study was conducted to determine the effect of low dose γ -ray on the germination rate and physiology of germinative seeds of welsh onion (*Allium fistulosum* L. cv. Sukchangwoidae) and spinach (*Spinacia oleracea* L. cv. Chungrok). The germination rate of irradiation group was much higher than that of the control. Especially it was noticeably higher in 1 or 2 Gy irradiation groups in the sowing spinach seeds on paper towel. On the welsh onion, the germination rate of the 1 Gy irradiation group increased by 17% compared to that of the control. Ion leakage from seeds irradiated with low dose of γ -ray was decreased compared to that from the control especially at the early stage of incubation when examined by means of electric conductance. This tendency was confirmed in seeds of welsh onion and spinach. Starch hydrolysis was stimulated by γ -ray irradiation in welsh onion. Furthermore γ -ray irradiation was beneficial to keeping the vitality of seeds as determined through decarboxylation of glutamic acid.

Key words : Radiation hormesis, γ -ray, welsh onion, spinach, physiology

서 론

생물이 살고 있는 지구환경은 어디에서나 필연적으로 자연방사선이 존재하고 있다. 그러므로 방사선을 신체에 받지 않고는 살아갈 수 없으며 인류는 세상에 태어난 아래 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. 생물체는 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.^{1,2)}

채소원예작물에 대한 연구는 배추종자에 저선량 γ 선을 조사하여 발아와 생육촉진 효과를 Kuzin 등³⁾이 보고하였으며, 김 등⁴⁾이 고랭지와 엷갈이배추 및 알타리무와 이 등^{5,6)}의 파와 고추 시판종자에 저선량 γ 선을 조사하여 발아와 초기생육에서 비슷한 효과를 관찰하였는데, 본 실험에서는 발아와 초기생육에서 촉진 효과를 보인 파와 시금치 종자에 저선량의 γ 선을 조사하여 발아중인 종자의 생리활성에 미치는 영향을 관찰하였다.

재료 및 방법

공시품종 및 방사선 조사 : 저선량 조사하여 발아종자의 생리 활성을 조사하기 위한 채소종자는 1992년에 생산하여 저장해온 “석청외대”(중앙종묘)파와 “청록”(흥농종묘)시금치 종자를 선정하여, 한국원자력연구소에서 보유중인 저준위 조사시설(⁶⁰Co)을 이용하여 γ 선을 0, 1, 2, 4, 10 Gy의 5수준으로 건조종자에 직접조사하였다. 조사선량은 Fricke dosimeter로 측정하였다.⁷⁾

발아율 조사 : 저선량 방사선이 조사된 파와 시금치 종자 50립씩을 3번복으로 시료를 준비한 후 젖은 paper towel 2매를 wax paper 한 장 위에 놓은 후 일정 간격으로 종자 50립씩을 치상한

후 한 장의 축축한 paper towel를 종자 위에 덮었다. 파종을 마친 paper towel은 28°C 배양기에 두고 1주일 후 발아율을 조사하였다. 발아조사는 유근이 1.0 mm이상 신장하였을 때 발아한 것으로 결정하였다.

전기전도도(Electric conductivity : EC) : 저선량 조사한 파와 시금치 종자 0.5g 씩을 각각 정선하여 50mℓ의 70% 에탄올에 10초간 그리고 2% sodium hypochlorite에 10분간 표면소독하여 수세한 후, 중류수로 3회 씻어 주었다. 표본종자를 100mℓ의 비이커에 넣고 50mℓ의 중류수를 넣은 후 종자가 비이커에 고르게 가라 앉도록 가볍게 흔들어 준 후 비이커를 20°C의 발아기내에 넣고 침지 시간별로 배양시킨 후 conductivity meter로서 전기전도도를 측정하였다.

수분흡수율(Water uptake) : 저선량 조사된 종자에서의 수분 흡수율을 알아보고자 '석창외대' 파 품종의 종자를 정확하게 0.2g씩 준비하여 중류수 50mℓ에 2시간 침지시킨 후 여과자로 표면의 물기를 제거한 다음 각각의 조사구별로 중량을 측정하였다.

전분량 : 전기전도도 측정을 마친 종자 '석창외대' 파와 '청록' 시금치 종자를 일정량씩 취하여 마쇄하고 중류수를 가하여 혼합한 후 이를 여과하였다. 한편 반응액은 0.1%의 starch 용액(potato starch 150mg, KH₂PO₄ 600mg, CaCl₂ · 2H₂O 0.2 mM을 가열한 후 여과하여 사용)을 16mℓ씩 실험관에 넣고 위의 효소추출물 4mℓ를 가하여 30분간 반응시켰다. 반응을 마친 후 5mℓ를 취하여 1% iodine 용액(6g KCl, 0.6g I / 100mℓ로 조제한 후 이 중 1mℓ만 채취하여 0.05N HCl 99.9mℓ과 혼합하여 총 100mℓ로 조제하였다.)을 2~3 방울 가하여 발색시킨 후 620 nm에서 O.D 값을 측정하였다.

Glutamic acid decarboxylase activity(GADA) : 저선량의 γ -ray가 조사된 '석창외대' 파종자 0.2g을 마쇄한 후 0.1M의 L-glutamic acid와 0.5M sodium phosphate (pH 5.2) 10mℓ를 첨가하여 30°C 배양기에서 약 8분간 밀봉하여 진탕한 후 gas chromatograph (Shimadzu CR6A)를 이용하여 head space에서 가스로 표본을 취하여 CO₂ 발생량을 4반복으로 조사하였다.

결과 및 고찰

발아율

저선량 γ 선이 조사된 종자 50립씩을 paper towel에 파종하고 1주일 후에 조사한 발아율은 표 1에서 보는바와 같이 파의 경우 1 Gy 조사구가 72.6%로 대조구의 62.0%에 비해 유의성있는 증가를 보였으나 나머지 조사구는 대조구와 비슷한 발아율을 보였다. 시금치에서는 저선량 조사구 전체가 대조구보다도 높은 발아율을 보여 저선량에 의한 발아촉진 효과가 나타났으나 통계적으로 유의성은 없었다. 2 Gy 조사구가 68.5%로 가장 높았고 다음이 1 Gy 조사구의 64.7%였으며 대조구는 55.3%로 가장 낮은 발아율을 보였다. 김과 이²⁾ 및 Luckey¹⁾는 저선량 방사선 조사에 의한 채소

Table 1. Effect of low dose γ radiation on the germination in 6 years old vegetable crop seeds. Seeds were sowed on paper towel.

| Vegetables | Germination rate (%) | | | | |
|-------------|----------------------|--------|---------|---------|---------|
| | 0 | 1 | 2 | 4 | 10 |
| welsh onion | 62.0 ab ^z | 72.6 a | 60.0 ab | 60.6 ab | 61.4 ab |
| spinach | 55.3 a | 64.7 a | 68.5 a | 62.7 a | 64.0 a |

^zMean separation with rows by Duncan's multiple range test at 5% level

종자의 발아율과 초기생육 촉진 및 생장증대에 관해 종합 고찰하였고, Kuzin³⁾은 배추종자에 5~10 Gy의 X선을 조사하여 발아와 생육촉진 및 20%의 수량증가 효과를 보고하였다. 김 등⁴⁾은 시판종인 몇 가지 배추와 무의 종자에 저선량 γ 선을 조사하여 0.2~4 Gy 범위에서 발아와 초장 등이 증가하였으나 품종에 따라 적정선량이 다르다고 하였다. 이 등^{5,6)}은 고추와 파종자에 저선량 γ 선을 조사하여 발아율과 초기생육을 조사한 보고에서 신규종자보다도 묵은 종자에서 그 효과가 뚜렷하였다.

발아종자의 전기전도도

종자 침출물의 전기전도도 검사 방법은 종자의 퇴화를 가름하는 지수로서 세포막의 손상정도를 간접적으로 측정하는 방법이다. 오래된 종자이나 죽은 종자의 세포는 세포막의 구조적 변화로 세포 내용물의 투과성을 높여 결과적으로 전기전도도를 증가시킨다는데 근거를 두고 있다. 종자 침출물의 전기전도도 변화는 종자세 검사결과와 잘 일치하며 종자가 발아력을 높기 전에 활력 상실이 선행되기 때문에 전기전도도의 경미한 증가도 활력 저하의 징후로 볼 수 있다. 따라서 본 실험에서는 저선량 방사선 조사가 종자 침출물의 전기전도도에 미치는 영향을 알아보고자 저선량의 γ -ray가 조사된 파와 시금치 종자 0.5g을 70% 에탄올에 10초간 그리고 2% sodium hypochlorite에 10분간 표면소독하여 수세한 후, 중류수 50mℓ에 침지시켜 시간별로 전기전도도를 조

Table 2. Changes of electric conductivity of welsh onion seeds between doses of γ -ray irradiation.

| Imbibition (hrs) | Electric conductivity (m · S/m) | | | | |
|---------------------|---------------------------------|---------|---------|---------|---------|
| | Dose(Gy) | | | | |
| 0 | 1 | 2 | 4 | 10 | |
| 2 hr | 2.32 ab ^z | 2.42 a | 1.58 c | 1.74 c | 1.86 bc |
| 4 hr | 4.42 a | 4.06 ab | 3.15 c | 3.33 bc | 3.49 bc |
| 8 hr | 7.04 a | 5.94 ab | 5.23 b | 5.36 b | 5.56 b |
| 12 hr | 8.17 a | 7.33 ab | 6.50 b | 6.63 b | 6.69 b |
| 24 hr | 10.36 a | 9.40 a | 8.85 a | 8.86 a | 9.02 a |
| 36 hr | 13.24 a | 12.40 a | 11.98 a | 11.59 a | 11.57 a |

^zMean separation within rows by Duncan's multiple range test at 5% level.

사하였다. 표 2에서 보는 바와 같이 파종자의 경우 침지 2시간 후에 조사한 전기전도도는 1 Gy 조사구가 2.42 m·s/m로 대조구의 2.32 m·s/m 보다 다소 높았고 다른 저선량 조사구에서는 모두 대조구 보다 작은 값을 보였으나 조사선량 증가에 따라 증가하여 발아율과 비슷한 경향을 보였다. 그러나 침지 4시간 이후부터 36시간까지는 비슷한 경향으로 대조구에 비해 저선량 조사구가 모두 낮은 값을 보였다. 침지 36시간 후에는 대조구가 13.24 m·s/m로 가장 높았고 다음이 1 Gy 조사구의 12.40 m·s/m로 이후 조사선량의 증가에 따라 감소하였다. 침지 시간별로 전기전도도의 변화는 저선량 무조사한 대조구의 경우 2시간 침지후의 전기전도도는 2.32 m·s/m에서 36시간 침지후에는 13.24 m·s/m까지 증가하였으며, 조사선량과 무관하게 비슷한 경향으로 침지시간의 증가에 따라 전기전도도는 증가하였다. 시금치에서도 침지시간에 따른 전기전도도는 파와 비슷한 경향으로 침지시간의 증가에 따라 증가하였다. 조사 선량에 따라서는 전체 침지시간에서 비슷한 경향을 보였는데 침지 1시간후의 경우 1 Gy 조사구만이 5.31 m·s/m로 대조구 4.96 m·s/m 보다 높았고 나머지 저선량 조사구는 모두 낮았다. 침지 90시간 후에도 1 Gy 조사구가 16.26 m·s/m로 대조구의 15.93 m·s/m 보다 높았고 나머지 저선량 조사구는 조사선량의 증가에 따라 감소하였다(표 3). 이상의 결과로 대조구에 비해 저선량의 방사선 조사구에서 EC 값이 낮았는데 EC 변화는 침지 초기에 현저한 차이를 나타내는 것으로 판단되었으며 저선량의 방사선 조사가 종자 내부의 세포막에 어떤 변화를 줌으로서 세포막 투과성을 변화시키는 것으로 판단되었다. Bebawi⁸⁾는 저선량의 γ -ray 조사는 형태적 그리고 생리적 과정의 변화를 일으킨다고 보고하였는데 본 실험의 결과에서도 저선량의 γ -ray 조사에 의해 파와 시금치 종자에서의 전기전도도 변화를 확인 할 수 있었다.

수분 흡수율의 변화

저선량 γ 선이 조사된 '석창외대' 파 종자 0.2g씩을 정선하여 중류수 50mℓ에 2시간 침지시킨 후 여과지 (Whatman No. 2)를 이용하여 표면의 물기를 제거하고 중량을 조사한 결과(표 4), 대조

Table 3. Changes of electric conductivity in spinach (cv. Chungrok) seeds between doses of γ -ray irradiation.

| Imbibition (hrs) | Electric conductivity (m·S/m) | | | | |
|---------------------|-------------------------------|---------|----------|----------|---------|
| | 0 | 1 | 2 | 4 | 10 |
| 1 | 4.96 ab ^z | 5.31 ab | 4.35 ab | 4.21 ab | 3.50 b |
| 2 | 5.36 ab | 5.79 a | 5.08 ab | 4.71 ab | 4.23 b |
| 15 | 11.53 a | 12.31 a | 11.68 a | 10.66 a | 10.69 a |
| 20 | 12.42 a | 13.03 a | 12.38 a | 11.40 a | 11.46 a |
| 45 | 12.71 a | 13.23 a | 12.78 a | 11.74 a | 11.64 a |
| 90 | 15.93 ab | 16.26 a | 15.59 ab | 14.66 ab | 14.33 b |

^zMean separation within rows by Duncan's multiple range test at 5% level.

Table 4. Changes of water uptake in welsh onion (cv. Sukchangwoidai) seeds between doses of γ -ray irradiation.

| Dose(Gy) | 0 | 1 | 2 | 4 | 10 |
|-------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Water content (g) | 0.061 b | 0.076 a | 0.067 b | 0.062 b | 0.059 b |

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

구의 흡수율에 비해 1 Gy와 2 Gy 조사구에서 생체중이 증가하는 경향을 보였다. 특히 1 Gy 조사구에서는 대조구의 0.061g에 비해 0.076g으로 증가하였으나 10 Gy 조사구에서는 0.059g으로 대조구 보다 낮은 값을 보여 조사선량의 증가에 따라 감소하였다. 이는 Levengood⁹⁾가 함수종자에 전자장을 조사하면 종피의 셀룰로오스 미소립자의 구조가 변화되어 교류전장으로 극성을 변화시키는 것 보다도 종자로의 수분침투를 촉진하여 발아 및 초기 생장을 촉진시키는 것이라고 보고한 바 있어 본 실험에서 얻어진 생체중 증가는 저선량의 γ -ray 조사에 의해 수분 흡수율이 증가된 것이라고 판단하였다.

전분량 변화

저선량 γ 선을 0, 1, 2, 4, 10 Gy 5단계로 조사한 종자에서 추출한 조효소액의 전분가수분해력을 조사한 결과는 표 5에서와 같다. 파종자의 경우 비색반응으로 측정한 OD 값은 대조구가 1.569로 가장 높은 반면에 저선량 조사구 중 1 Gy 조사구가 1.304를 보이면서 조사선량 증가에 따라 감소하는 경향을 보였다. 시금치 종자에서도 대조구가 0.976으로 가장 높은 반면에 1, 2 및 4 Gy 조사구는 각각 0.837, 0.743, 0.740으로 조사선량 증가에 따라 감소하였다. 저선량 γ 선이 조사된 조사구에서 OD 값이 감소하는 것은 대조구에 비해 α -amylase의 활성이 높아져 전분의 가수분해력이 증가된 것으로 추정된다.

Glutamic acid decarboxylase activity (GADA)

종자 내의 glutamic acid는 decarboxylase의 호흡기질로 이용되어 이산화탄소를 발생시키고 따라서 이 효소의 활력차이는 종

Table 5. Comparison of starch hydrolysis of vegetable crop seeds between doses of γ -ray irradiation.

| Dose(Gy) | O.D (620 nm) | |
|----------|----------------------|----------------------|
| | Welsh onion | Spinach |
| 0 | 1.569 a ^z | 0.976 a ^z |
| 1 | 1.304 b | 0.837 ab |
| 2 | 1.056 c | 0.743 b |
| 4 | 1.200 bc | 0.740 b |
| 10 | 1.105 c | 0.724 b |

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

Table 6. CO₂ concentration of welsh onion seeds according to the irradiated doses of γ -ray.

| Dose(Gy) | 0 | 1 | 2 | 4 | 10 |
|----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| CO ₂ (mℓ) | 0.3915 b | 0.6230 a | 0.4610 b | 0.6715 a | 0.5965 a |

^aMean separation with rows by Duncan's multiple range test at 5% level

자외 활력 검정에 활용할 수 있다는 사실이 밝혀져 있어 γ -ray 조사 종자의 GADA를 조사하였다. 조사 선량별로 0.2g의 '석창외대' 파 종자를 취하여 실시한 GADA 결과는 대조구에 비해 조사 구에서 CO₂의 생성량이 증가하는 경향을 보였는데 특히 4 Gy 조사구에서 0.67mℓ로 대조구의 0.39mℓ에 비해 크게 증가하였다(표 6). 그러나 다른 조사구에 비해 2 Gy 조사구에서는 0.46mℓ으로 다소 낮은 경향을 보이기도 했으며 비교적 높은 선량으로 조사하여 억제효과를 기대했던 10 Gy 조사구에서도 대조구보다 높은 0.60mℓ를 보여 비교적 높은 선량의 조사에서도 CO₂ 농도는 감소하지 않는 것으로 판단되었다. Lee와 Kwon¹⁰⁾은 *Azotobacter*에 X선을 조사하여 그 호흡량을 측정한 결과 낮은 선량에서는 호흡이 무조사구와 비슷하게 나타난다고 하였으나 Hutchinson과 Newton¹¹⁾은 자외선을 조사한 결과 호흡율과 증식율이 촉진되었다고 보고하였으며 Nadson¹²⁾은 *Zygosaccharomyces*, *Mucoraceae* 등에 자외선을 조사한 결과 낮은 선량에서는 생장을 촉진시킨다고 하였다. Lee와 Kwon¹⁰⁾은 *Saccharomyces*에 낮은 선량을 조사하였을 때 Manometric 상의 호흡량, 증식율, 산소량에서 다소간 차극 반응을 볼 수 있었고 높은 선량인 경우는 큰 장해를 받았다고 발표하였다.

사사

본 연구는 과학기술부에서 주관하는 원자력증장기개발사업의 일환으로 수행되었습니다.

요약

목은 파와 시금치 종자에 저선량 γ 선을 조사하여 종자 발아율과 발아종자의 생리활성 변화를 관찰하였다.

시금치 종자의 발아율은 대조구에 비해 저선량 조사구에서 증가하는 경향을 보였고 특히 2 Gy와 1 Gy에서 효과적이었으나 파종자에서는 1 Gy 조사구만이 대조구에 비해 높은 발아율을 보였다.

저선량 γ 선이 조사된 파와 시금치종자의 ion leakage 조사에서는 대조구에 비해 저선량 γ 선 조사구에서 감소하는 경향을 보였는데 이는 특히 배양 초기 단계에서 뚜렷하였다. 전분 분해 또한 γ 선 조사에 의해 촉진되었고 저선량의 γ 선은 glutamic acid의 decarboxylation으로 인해 종자의 활력을 유지하는 잇점이 있는 것으로 나타났다.

참고문헌

- Luckey, T. D. (1980) Hormesis with ionizing radiation. CRC press. Inc. Boca Raton. Fla.
- Kim, J. S. and Lee, Y. B. (1998) Ionizing radiation hormesis in crops. J. Korea. Enviro. Agri. 17(1):76-85.
- Kuzin, A. M., Kopylov, V. A. and Vagobova, M. E. (1976) On the role played by radiotoxins in stimulation of the growth and development of irradiated seeds. Stim. News. 9:27-31.
- Kim, J. S., Kim, J. K., Lee, E. K. and Lee, Y. B. (1997) Radiation hormesis on the growth of chinese cabbage and radish. J. Korea Enviro. Agri. 16(4):390-393.
- Lee, E. K., Kim, J. S. and Lee, Y. B. (1998) Effect of low dose γ -ray irradiation on the germination and growth in red pepper (*Capicum annuum L.*). J. Kor. Soc. Hort. Sci. 39(6):670-675.
- Lee, E. K., Kim, J. S., Lee, Y. K. and Lee, Y. B. (1998) The acceleration of germination in welsh onion seed irradiated with the low dose γ -ray radiation. Korean J. of Environmental Agriculture, 17(4) : 215-219
- Niels, W. H. and Roger, J. B. (1970) Manual on Radiation Dosimetry Mard Dekker Inc. New York.
- Bebawi, F. F. (1984) Effects of gamma irradiation on *Sorghum Bicolorstriga hermonthica* relation. Environm. and Exper. Botany. 24 : 123-129.
- Levengood, W. C. (1985) Ion transport in the testa of germinating seeds. J. Exp. Bot. 36: 1053-1063.
- Lee, M. and Kwon, O. Y. (1964) Effects of neutron radiation on the metabolism of *Saccharomyces cerevisiae*. Kor. Jour. Bot. VII. 4:1481-1483.
- Hutchinson, S. H. and Newton, D. (1930) The specific effects of monochromatic light on the growth of yeast. Can. J. Research. 2: 249-263.
- Nadson, G. A. and Phillipov, G. S. (1925) Action excitante des rayons ultraviolets sur le developpement de levures et des moisures. Compt. Rend. Soc. Biol. 95:443-445.