

## 저선량 $\gamma$ 선 조사가 배추와 무 종자의 발아와 양분흡수에 미치는 영향

운영만 · 김남범 · 김재성<sup>1)</sup> · 김정규\*  
고려대학교 자연자원대학, <sup>1)</sup>한국원자력연구소

### Effects of low dose $\gamma$ radiation on the uptake of mineral nutrients in chinese cabbage and radish

Youngman Yoon · NamBum Kim · <sup>1)</sup>Jae-Sung Kim · Jeong-Gyu Kim (Korea University, Seoul, 136-701, \*lmonkim@mail.korea.ac.kr, <sup>1)</sup>Korea Atomic Energy Institute, Taejon, 303-353)

**ABSTRACTS** : To investigate hormetic effect of low dose  $\gamma$ -ray on the uptake of mineral nutrients in chinese cabbage (*Brassica campestris* var. Hckjinju var. Surim and) and radish (*Raphanus sativas* var. Chung-un), seeds of these plants were irradiated with the dose of 1 to 10 Gy. Germination rate and dry weight were examined at pot experiment in greenhouse. Samples for analysis of mineral nutrient were harvested at 17 days and at 59 days after seedling and were analyzed by ICP. *Brassica campestris* varieties showed higher germination rate and dry weight production with increasing  $\gamma$  ray dose. Dry weight of Hckjinju Surim and were 143% and 138% at 10Gy dose, respectively. There was no tendency in germination rate and dry weight production for *Raphanus sativas* var. Chung-un with  $\gamma$ -ray irradiation. The pattern of mineral nutrient content of these plants showed  $\gamma$  or  $\delta$  type of dose-reaction curve with no significant. This investigation suggests that the more results can be required to understand the hormetic effect of low dose  $\gamma$  ray on the uptake of mineral nutrient for these plants.

**Key words** : low dose  $\gamma$  radiation, mineral nutrients, hormesis, *Brassica campestris*, *Raphanus sativas*

## 서론

고선량의 방사선은 세포의 원형질유동과 막투과성을 변화시키고, 돌연변이를 유발하는 등 생명체에 유해한 작용을 한다. 방사선의 이런 성질은 의학과 농업 부분에서 널리 이용되어 왔다. 특히 식품멸균, 살충, 육종 등에 고선량의 방사선이 사용되었다.

그러나 저선량의 방사선은 생명체에 대한 자극작용(hormesis)이 있는 것으로 밝혀진 바 있다. Millera<sup>1)</sup>는 식물에 저선량의 방사선을 조사하면 뿌리혹 형성과 토양 중의 질산화작용이 증가하고 생장, 저항성 등이  $\gamma$ 선 조사로 인하여 증가하였다고 보고하였으며 또한 곡물류, 두류 그리고 괴경류에서는 적당한 저선량의 조사 수량의 증가를 보였다고 보고하였다. 즉, 곡물류의 경우 방사선 조사로 상당한 자극작용이 나타나 대조구에 비해 120%의 수량증가와 발아증가, 내병성의 증가 등이 보고된 바 있다. Sheppard와 Evenden<sup>2)</sup>은 보리와 밀 종자에 저선량의 방사선을 조사하여 재배작물의 생육촉진과 수량증가를 보고한 바 있다. 국내에서도 이 등<sup>3)</sup>과 김 등<sup>4)</sup>이 파, 배추 등의 작물에 대한  $\gamma$ 선의 자극작용에 관해 연구하여 종자의 발아율과 수량이 증가된다고 보고한 바 있다.

그러나 방사성 hormesis가 식물종과 온도, 토양수분, 영양조건과 같은 환경요인에 의해 다양하게 나타나는 특성을 가지기 때문에, 방사성 hormesis의 정확한 메커니즘이 확실히 밝혀지지 않은 실정이며, 방사선 자극작용에 대한 많은 증거에 비하여 식물 반응의 다양성 때문에 hormesis 메커니즘을 일반화하여 정의하기 어려운 실정이다.

따라서 본 연구에서는 방사성 hormesis에 대한 지식 축적의 일환으로 저선량  $\gamma$ 선에 의한 자극작용이 작물의 영양생리에 미치는 영향을 파악하고자 배추종자와 무종자에 저선량의  $\gamma$ 선을 조사하고 생육시기에 따른 작물내의 무기양분의 변화를 관찰하였다.

## 재료 및 방법

1998년산 흑진주배추(BC; *Brassica campestris* var. Hckjinju), 1995년산 서림엇같이 배추(SC; *Brassica campestris* var. Surim), 1998년산 청운무(CR; *Raphanus sativas* var. Chung-un) 종자를 공시재료로 하였다.

저선량 방사성 조사는 한국원자력연구소의 저준위 조사시설

$^{60}\text{Co}$ 를 이용하여 1Gy/h로 0, 2, 4, 6, 8, 10 Gy 수준으로 건조종자에 직접 조사하였고, 이때 Frincke dosimeter로 조사선량을 측정하였다. 방사선을 조사한 건조종자를 1998년 9월 20일 pot당 10립씩 5반복으로 파종하고 고려대학교 자연자원대 내 유리온실에서 재배하였다. 파종 후 3, 4, 5, 6, 7일째에 발아수를 측정하고, 17일째와 59일째에 공시식물을 각각 수확하여 생중량, 초장을 측정하였다. 수확한 식물체를 흐르는 물에 깨끗이 세척하고 105℃에서 48시간 oven-dry 한 후 건조량을 측정하고, 분쇄하여 무기성분 분석시료로 하였다. 총인 함량과 전질소함량은  $\text{H}_2\text{O}_2\text{-H}_2\text{SO}_4$  법으로 습식분해 후 각각 molybdenium청법(P)과 salicylate 발색법(N)을 측정원리로 하는 autoanalyser(BRAN-LEUBBE)를 이용하여 정량하였고, 기타 무기성분(K, Na, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn)에 대해서는 위 분해액을 가지고 ICP(GBC Integra XL)를 이용하여 측정하였다.

### 결과 및 고찰

#### 방사선조사가 발아율에 미치는 영향

저선량  $\gamma$ 선 조사가 98년산 흑진주배추(BC)와 95년산 서림엇같이 배추(SC), 98년산 청운무(CR)의 발아율에 미치는 영향을 파악하기 위하여 10립씩 6pot에 파종한 각각의 종자의 발아수를 파종 후 3일부터 계수하여 발아율을 구하였는데 그 결과는 Table 1과 같다. 98년산 흑진주배추의 경우 조사선량의 증가에 따라 발아율이 10~18%정도 증가하는 경향을 보였다. 95년산 서림엇같이 배추의 발아율은 특징적인 변화는 보이지 않았으나 6Gy 조사구에서 약간 높게 나타났으며 청운 무의 발아율은  $\gamma$ 선조사에 의한 발아율의 감소를 보였고 10Gy조사구에서 무처리구와 비슷한 정

Table 1 Germination rate according to the dose of  $\gamma$ -ray

| Plants                                   | Days after sowing | Germination(%) |    |    |     |    |    |
|--|-------------------|----------------|----|----|-----|----|----|
|  |                   | Dose(Gy)       |    |    |     |    |    |
|  |                   | 0              | 2  | 4  | 6   | 8  | 10 |
| <i>Brassica campestris</i> var. Hckjinju | 3                 | 56             | 70 | 74 | 76  | 74 | 76 |
|  | 4                 | 64             | 78 | 82 | 90  | 88 | 88 |
|  | 5                 | 68             | 88 | 82 | 92  | 88 | 88 |
|  | 6                 | 72             | 88 | 82 | 92  | 90 | 90 |
|  | 7                 | 72             | 90 | 82 | 92  | 90 | 90 |
| <i>Brassica campestris</i> var. Surim    | 3                 | 88             | 64 | 78 | 88  | 82 | 76 |
|  | 4                 | 96             | 94 | 88 | 96  | 96 | 94 |
|  | 5                 | 96             | 94 | 90 | 100 | 96 | 94 |
|  | 6                 | 96             | 94 | 90 | 100 | 96 | 98 |
|  | 7                 | 96             | 94 | 90 | 100 | 96 | 98 |
| <i>Raphanus sativas</i> var. Chung-un    | 3                 | 86             | 82 | 74 | 62  | 76 | 86 |
|  | 4                 | 90             | 84 | 74 | 68  | 78 | 90 |
|  | 5                 | 90             | 86 | 80 | 74  | 80 | 90 |
|  | 6                 | 90             | 88 | 82 | 74  | 82 | 90 |
|  | 7                 | 90             | 88 | 88 | 82  | 82 | 90 |

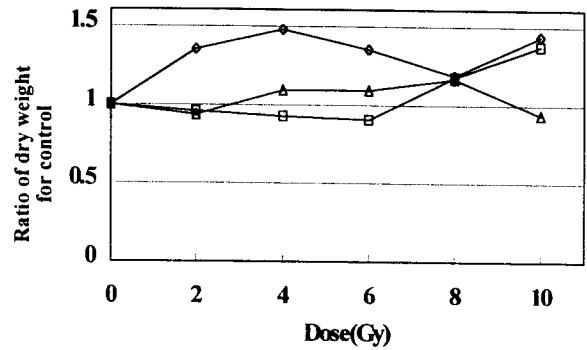


Fig.1 Dry weight at 59 days after germination according to the dose of  $\gamma$ -ray ( $\diamond$ -*Brassica campestris* var. Hckjinju  $\square$ -*Brassica campestris* var. Surim  $\triangle$ -*Raphanus sativas* var. Chung-un).

도의 발아율을 보였다. Kuzin<sup>5)</sup>의 배추에서 발아와 생육촉진에 관한 보고와 Pal<sup>6)</sup>의 무종자에서  $\gamma$ -ray 10Gy 조사구의 발아와 생장의 촉진효과에 관한 보고도 본 실험의 결과와 유사하였다.

#### 방사선조사가 건물 생산에 미치는 효과

저선량  $\gamma$ 선 조사가 흑진주배추, 서림엇같이 배추, 그리고 청운무의 건물생산량에 미치는 영향은 Fig. 1과 같다. 파종 후 59일째에 수거한 작물의 건조량은 98년산 흑진주배추의 경우  $\gamma$ 선 4Gy, 10Gy 조사구에서 각각 무처리구에 대하여 148%, 143%의 건물생산량 증가를 보이면서 그 밖의  $\gamma$ 선 조사구에서도 무처리에 비해 증가된 건물생산량을 보여  $\gamma$ 선 조사에 의한 자극효과가 가장 잘 나타났으며, 95년산 서림엇같이배추는 10Gy에서 138%의 건물생산의 증가를 보였다. 청운무는 8Gy에서 116%로 건물생산량이 증가되었을 뿐 그 밖의  $\gamma$ 선 조사구에서는 무처리와 비슷한 양을 보였다. 본 실험에 의하면 배추종자가 무에 비하여 저선량의  $\gamma$ 선 조사에 더 민감하게 반응하는 것으로 보이며 특히 묵은 종자에 비해 햇종자가  $\gamma$ 선에 더 민감한 것으로 생각된다.

#### 방사선조사가 양분흡수에 미치는 영향

저선량  $\gamma$ 선에 의한 자극효과가 작물의 영양생리에 미치는 영향을 파악하고자 조사일을 생육초기(파종후 17일)와 후반기(파종 후 59일)로 나누어 각 작물의 TKN, TP함량을 분석하였으며 그 밖의 무기양분인 K, Ca, Mg, Na 그리고 미량원소인 Zn, Cu, Fe, Mn의 함량을 분석하였다. 분석한 작물의 TKN과 TP의 함량은 Fig. 2, Fig. 3, Fig. 4와 같다.

흑진주배추의 TKN과 TP함량을 보면 생육초기에는  $\gamma$ 선 무처리구에 비하여 적은 N, P함량을 보이지만 파종 후 59일째에는 4Gy와 10Gy에서 각각 약 150%와 140%의 함량증가가 나타났으며 이는 흑진주배추의 건물생산량 결과와도 일치하는 경향을 보이고 있다. 서림엇같이배추는 파종 후 17일 째  $\gamma$ 선 2Gy 조사구에서 N, P가 각각 무처리에 비하여 112% 143%증가를 보였으나 파종 후 59일 째에는 10Gy 조사구에서 N, P함량이 증가하였다.

청운무에서는 파종 후 17일에는 8Gy에서 N의 함량이 무처리구에 대해 129% 함량증가를 보였으며 생육후기로 갈수록 2Gy, 4Gy에서의 N함량이 증가하였다. Haunold 등<sup>7)</sup>과 Korosi 등<sup>8)</sup>은 각각 봄밀과 덩굴강남콩에서  $\gamma$ -ray조사에 의한 질소와 인의 흡수 증가를 보고한바 있어 본 실험의 배추와 무 종자에서의 질소와 인의 함량 증가 또한  $\gamma$ -ray에 의한 자극효과로 보인다.

저선량  $\gamma$ 선 조사 작물의 TKN과 TP 함량을 살펴본 결과  $\gamma$ 선 처리에 의한 질소와 인의 흡수변화가 일관되게 나타나지 않고 생육시기에 따라 차이를 보이는 것으로 나타났다. 또한 생육후기에서 10Gy에서 질소와 인의 함량이 증가하는 것으로 보아  $\gamma$ 선에 의한 자극효과를 자세히 살펴보기 위해서는 10Gy이상에서의 변화를 더 관찰할 필요가 있을 것으로 생각된다.

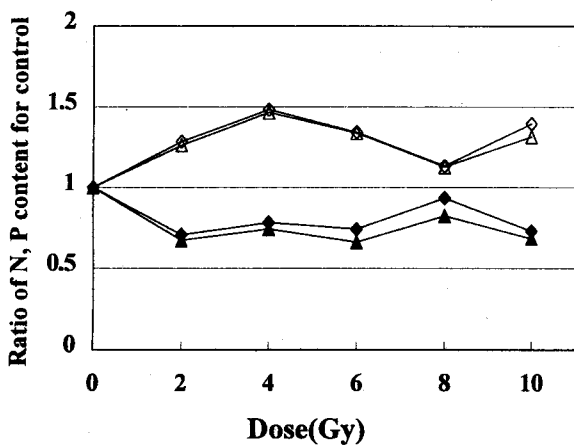


Fig.2 Contents of Nitrogen(N) and phosphate(P) in *Brassica campestris* var. Hckjinju at 17, 59days after germination according to the dose of  $\gamma$ -ray (◆17days-N ▲17days-P ◇59days-N △59days-P).

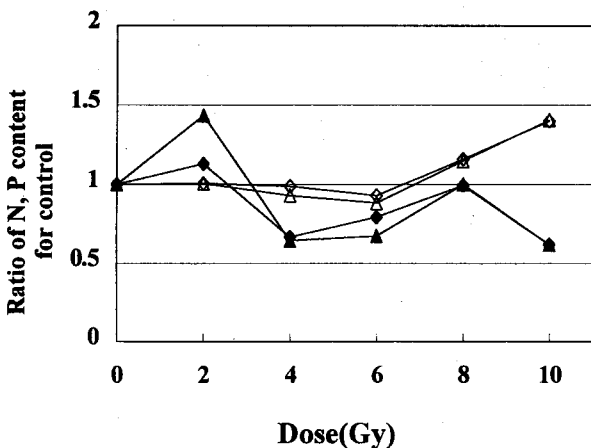


Fig.3 Contents of Nitrogen(N) and phosphate(P) in *Brassica campestris* var. Surim at 17, 59days after germination according to the dose of  $\gamma$ -ray (◆17days-N ▲17days-P ◇59days-N △59days-P).

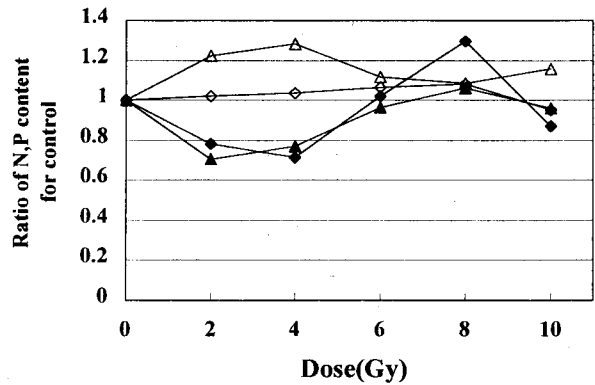


Fig.4 Contents of Nitrogen(N) and phosphate(P) in *Raphanus sativus* var. Chung-un at 17, 59days after germination according to the dose of  $\gamma$ -ray (◆17days-N ▲17days-P ◇59days-N △59days-P).

Table 2, 3, 4는 각각 파종 후 17일 째에 수거한  $\gamma$ 선 조사 작물내의 무기양분의 함량변화를 보이고 있다. 혹진주배추는 8Gy까지 Fe의 함량이 무처리의 297%로 증가하고 10Gy에서는 급격히 감소하는 경향을 보였으며 서림엇갈이배추는 2Gy에서 Cu와 Fe의 함량이 무처리구에 비하여 622%, 527%의 증가를 보였고 8Gy에서 972%, 409%의 증가를 보였다. 또한 청운무에서는 Cu의 함량이 6Gy, 8Gy, 10Gy에서 약 140%정도의 함량증가를 보여  $\gamma$ 선의 조사가 작물의 미량원소 특히 Cu와 Fe의 흡수촉진에 큰 영향을 주는 것으로 나타났다. 그 밖의 무기양분의 함량은 혹진주배추에서는 일관된 경향을 보이지 않았지만 서림엇갈이배추에서는 2Gy와 10Gy에서 약간의 증가 경향이 나타났으며 청운무에서는 8Gy에서 증가경향이 나타났다.

Table 2. Contents of mineral nutrient in *Brassica campestris* var. Hckjinju at 17 days after germination according to the dose of  $\gamma$ -ray

| Mineral nutrient | Nutrient content(g)      |                 |                 |                 |                 |                 |
|------------------|--------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                  | Dose of $\gamma$ ray(Gy) |                 |                 |                 |                 |                 |
|                  | 0                        | 2               | 4               | 6               | 8               | 10              |
| Na               | 23<br>(1.00)*            | 17<br>(0.74)    | 22<br>(0.94)    | 19<br>(0.83)    | 26<br>(1.13)    | 28<br>(1.21)    |
| K                | 86<br>(1.00)             | 53<br>(0.61)    | 80<br>(0.92)    | 62<br>(0.72)    | 77<br>(0.89)    | 89<br>(1.03)    |
| Ca               | 36<br>(1.00)             | 34<br>(0.96)    | 46<br>(1.28)    | 39<br>(1.09)    | 45<br>(1.24)    | 53<br>(1.48)    |
| Mg               | 7.3<br>(1.00)            | 6.0<br>(0.82)   | 7.7<br>(1.06)   | 6.1<br>(0.85)   | 8.0<br>(1.11)   | 9.6<br>(1.32)   |
| Zn               | 0.13<br>(1.00)           | 0.11<br>(0.82)  | 0.12<br>(0.92)  | 0.13<br>(1.01)  | 0.14<br>(1.03)  | 0.18<br>(1.36)  |
| Cu               | 0.030<br>(1.00)          | 0.028<br>(0.94) | 0.031<br>(1.04) | 0.036<br>(1.20) | 0.040<br>(1.34) | 0.043<br>(1.42) |
| Fe               | 0.30<br>(1.00)           | 0.33<br>(1.08)  | 0.54<br>(1.77)  | 0.66<br>(2.17)  | 0.90<br>(2.97)  | 0.31<br>(1.01)  |
| Mn               | 0.065<br>(1.00)          | 0.051<br>(0.78) | 0.062<br>(0.95) | 0.078<br>(1.19) | 0.095<br>(1.45) | 0.081<br>(1.25) |

\* the ratio to control

Table 3. Contents of mineral nutrient in *Brassica campestris* var. Surim at 17days after germination according to the dose of  $\gamma$ -ray

| Mineral nutrient | Nutrient content(g)      |                 |                 |                 |                 |                 |
|------------------|--------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                  | Dose of $\gamma$ ray(Gy) |                 |                 |                 |                 |                 |
|                  | 0                        | 2               | 4               | 6               | 8               | 10              |
| Na               | 434<br>(1.00)*           | 553<br>(1.27)   | 377<br>(0.87)   | 379<br>(0.87)   | 425<br>(0.98)   | 292<br>(0.67)   |
| K                | 1739<br>(1.00)           | 1944<br>(1.12)  | 1249<br>(0.72)  | 1240<br>(0.71)  | 1272<br>(0.73)  | 983<br>(0.57)   |
| Ca               | 514<br>(1.00)            | 961<br>(1.87)   | 602<br>(1.17)   | 585<br>(1.14)   | 695<br>(1.35)   | 630<br>(1.22)   |
| Mg               | 140<br>(1.00)            | 161<br>(1.15)   | 106<br>(0.76)   | 125<br>(0.89)   | 93<br>(0.66)    | 104<br>(0.74)   |
| Zn               | 2.63<br>(1.00)           | 2.70<br>(1.03)  | 1.89<br>(0.72)  | 2.53<br>(0.96)  | 3.26<br>(1.24)  | 1.64<br>(0.62)  |
| Cu               | 0.331<br>(1.00)          | 2.507<br>(6.22) | 0.631<br>(1.91) | 0.587<br>(1.78) | 3.212<br>(9.72) | 1.114<br>(3.37) |
| Fe               | 7.85<br>(1.00)           | 41.42<br>(5.28) | 14.63<br>(1.86) | 11.18<br>(1.42) | 32.12<br>(4.09) | 13.93<br>(1.78) |
| Mn               | 1.274<br>(1.00)          | 1.805<br>(1.42) | 1.109<br>(0.87) | 1.282<br>(1.01) | 1.545<br>(1.21) | 0.971<br>(0.76) |

\* the ratio to control

과종 후 59일 채 수거한 작물의 무기양분함량은 Table 5, 6, 7에 나타내었다. 흑진주배추와 서림엇같이배추는 각각 4Gy, 8Gy에서 1가 양이온인 Na<sup>+</sup>와 K<sup>+</sup>의 함량이 특이적으로 높게 나타나는 경향을 보였으며 청운무의 8Gy조사구에서도 K<sup>+</sup>의 함량증가가 나타났다. 이러한 1가 양이온의 증가는 Na<sup>+</sup>와 K<sup>+</sup>의 생리조절기능을 감안하고 토마토에서의 아미노산과 탄수화물 등의 함량증가를 보고한 Vlasjuk<sup>9)</sup>의 결과를 고려하면  $\gamma$ 선 조사로 인한 자극효과로 나타난 체내 유기산 또는 아미노산 함량의 증가로 기인한 것으로 추정된다.

Table 4. Contents of mineral nutrient in *Raphanus sativas* var. Chung-un CR at 17days after germination according to the dose of  $\gamma$ -ray

| Mineral nutrient | Nutrient content(g)      |                |                |                 |                |                |
|------------------|--------------------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|
|                  | Dose of $\gamma$ ray(Gy) |                |                |                 |                |                |
|                  | 0                        | 2              | 4              | 6               | 8              | 10             |
| Na               | 723<br>(1.00)*           | 549<br>(0.76)  | 575<br>(0.80)  | 718<br>(0.99)   | 867<br>(1.20)  | 759<br>(1.05)  |
| K                | 2055<br>(1.00)           | 1474<br>(0.72) | 1613<br>(0.78) | 1836<br>(0.89)  | 2680<br>(1.30) | 1917<br>(0.93) |
| Ca               | 832<br>(1.00)            | 623<br>(0.75)  | 679<br>(0.82)  | 840<br>(1.01)   | 998<br>(1.20)  | 1106<br>(1.33) |
| Mg               | 198<br>(1.00)            | 163<br>(0.82)  | 160<br>(0.81)  | 191<br>(0.96)   | 248<br>(1.25)  | 205<br>(1.04)  |
| Zn               | 4.60<br>(1.00)           | 3.58<br>(0.78) | 3.32<br>(0.72) | 3.88<br>(0.84)  | 5.09<br>(1.11) | 4.87<br>(1.06) |
| Cu               | 0.93<br>(1.00)           | 0.99<br>(1.06) | 0.88<br>(0.95) | 1.32<br>(1.42)  | 1.33<br>(1.43) | 1.28<br>(1.38) |
| Fe               | 10.50<br>(1.00)          | 9.20<br>(0.88) | 7.55<br>(0.72) | 10.54<br>(1.00) | 8.88<br>(0.85) | 9.80<br>(0.93) |
| Mn               | 1.69<br>(1.00)           | 1.51<br>(0.89) | 1.46<br>(0.86) | 1.74<br>(1.03)  | 2.10<br>(1.25) | 1.64<br>(0.97) |

\* the ratio to control

Table 5. Contents of mineral nutrient in *Brassica campestris* var. Hckjinju at 59days after germination according to the dose of  $\gamma$ -ray

| Mineral nutrient | Nutrient content(g)      |                 |                 |                 |                 |                 |
|------------------|--------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                  | Dose of $\gamma$ ray(Gy) |                 |                 |                 |                 |                 |
|                  | 0                        | 2               | 4               | 6               | 8               | 10              |
| Na               | 441<br>(1.00)*           | 713<br>(1.62)   | 769<br>(1.74)   | 652<br>(1.48)   | 569<br>(1.29)   | 700<br>(1.59)   |
| K                | 3689<br>(1.00)           | 5159<br>(1.40)  | 5379<br>(1.46)  | 5646<br>(1.53)  | 4182<br>(1.13)  | 5236<br>(1.42)  |
| Ca               | 2457<br>(1.00)           | 2820<br>(1.15)  | 3252<br>(1.32)  | 3056<br>(1.24)  | 3055<br>(1.24)  | 2946<br>(1.20)  |
| Mg               | 382.9<br>(1.00)          | 487.7<br>(1.27) | 546.2<br>(1.43) | 532.2<br>(1.39) | 457.6<br>(1.20) | 548.8<br>(1.43) |
| Zn               | 11.60<br>(1.00)          | 12.03<br>(1.04) | 15.51<br>(1.33) | 11.11<br>(0.96) | 13.38<br>(1.15) | 16.13<br>(1.39) |
| Cu               | 1.499<br>(1.00)          | 2.219<br>(1.48) | 2.262<br>(1.51) | 2.150<br>(1.43) | 1.832<br>(1.22) | 2.283<br>(1.52) |
| Fe               | 31.27<br>(1.00)          | 28.17<br>(0.90) | 43.35<br>(1.38) | 33.71<br>(1.07) | 34.33<br>(1.09) | 49.20<br>(1.57) |
| Mn               | 1.508<br>(1.00)          | 1.478<br>(0.98) | 2.008<br>(1.33) | 1.522<br>(1.01) | 1.640<br>(1.09) | 2.169<br>(1.44) |

\* the ratio to control

지금까지 Lucky<sup>10)</sup>와 김 등<sup>11)</sup>에 의해 저선량방사선에 의한 식물종자의 발아와 초기생육의 촉진 및 수량 증가에 대한 고찰이 있었지만, Miller 등<sup>1)</sup>이 저선량 방사선의 조사에 의한 식물의 생육촉진과 수량증가를 인정하면서도 반복실험에서의 재현성과 오차의 문제를 지적한 바와 같이 본 실험에서도 식물종에 따라 적정 선량이 다르게 나타났으며 반복간의 편차가 크게 나타났다. 또한 본 실험의 결과를 선량-반응 곡선의 형태<sup>11)</sup>로 비교해 보면 TKN, TP 함량은 98년산 흑진주 배추에서 TP 함량반응을 제외

Table 6. Contents of mineral nutrient in *Brassica campestris* var. Surim at 59days after germination according to the dose of  $\gamma$ -ray

| Mineral nutrient | Nutrient content(g)      |                 |                 |                 |                 |                 |
|------------------|--------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                  | Dose of $\gamma$ ray(Gy) |                 |                 |                 |                 |                 |
|                  | 0                        | 2               | 4               | 6               | 8               | 10              |
| Na               | 954<br>(1.00)*           | 743<br>(0.78)   | 1172<br>(1.23)  | 1200<br>(1.26)  | 1552<br>(1.63)  | 1416<br>(1.48)  |
| K                | 8907<br>(1.00)           | 8171<br>(0.92)  | 6723<br>(0.75)  | 6801<br>(0.76)  | 9654<br>(1.08)  | 11011<br>(1.23) |
| Ca               | 4647<br>(1.00)           | 4341<br>(0.93)  | 3743<br>(0.81)  | 3989<br>(0.86)  | 5201<br>(1.12)  | 5560<br>(1.20)  |
| Mg               | 737<br>(1.00)            | 710<br>(0.96)   | 671<br>(0.91)   | 704<br>(0.95)   | 874<br>(1.19)   | 977<br>(1.33)   |
| Zn               | 16.46<br>(1.00)          | 14.32<br>(0.87) | 14.83<br>(0.90) | 12.78<br>(0.78) | 21.35<br>(1.30) | 20.24<br>(1.23) |
| Cu               | 2.577<br>(1.00)          | 2.316<br>(0.90) | 2.011<br>(0.78) | 1.679<br>(0.65) | 3.674<br>(1.43) | 4.953<br>(1.92) |
| Fe               | 74.66<br>(1.00)          | 64.51<br>(0.86) | 57.71<br>(0.77) | 68.23<br>(0.91) | 75.89<br>(1.02) | 95.71<br>(1.28) |
| Mn               | 3.209<br>(1.00)          | 2.972<br>(0.93) | 3.173<br>(0.99) | 2.946<br>(0.92) | 3.547<br>(1.01) | 4.245<br>(1.32) |

\* the ratio to control

Table 7. Contents of mineral nutrient in *Raphanus sativas* var. Chung-un at 59days after germination according to the dose of  $\gamma$ -ray

| Mineral nutrient | Nutrient content(g)      |                 |                 |                 |                 |                 |
|------------------|--------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                  | Dose of $\gamma$ ray(Gy) |                 |                 |                 |                 |                 |
|                  | 0                        | 2               | 4               | 6               | 8               | 10              |
| Na               | 1255<br>(1.00)*          | 1233<br>(0.98)  | 1358<br>(1.08)  | 1236<br>(0.98)  | 1276<br>(1.02)  | 1146<br>(0.91)  |
| K                | 3384<br>(1.00)           | 3771<br>(1.11)  | 3610<br>(1.07)  | 3666<br>(1.08)  | 4196<br>(1.24)  | 3204<br>(0.95)  |
| Ca               | 3335<br>(1.00)           | 3460<br>(1.04)  | 3575<br>(1.07)  | 3493<br>(1.05)  | 3355<br>(1.01)  | 3102<br>(0.93)  |
| Mg               | 565<br>(1.00)            | 584<br>(1.03)   | 603<br>(1.07)   | 610<br>(1.08)   | 612<br>(1.08)   | 546<br>(0.97)   |
| Zn               | 13.27<br>(1.00)          | 12.35<br>(0.93) | 15.27<br>(1.15) | 13.03<br>(0.98) | 13.39<br>(1.01) | 12.51<br>(0.94) |
| Cu               | 1.47<br>(1.00)           | 1.44<br>(0.97)  | 1.52<br>(1.03)  | 1.35<br>(0.92)  | 1.52<br>(1.03)  | 1.44<br>(0.98)  |
| Fe               | 30.92<br>(1.00)          | 31.84<br>(1.03) | 32.16<br>(1.04) | 31.72<br>(1.03) | 32.75<br>(1.06) | 28.31<br>(0.92) |
| Mn               | 3.34<br>(1.00)           | 3.76<br>(1.13)  | 3.63<br>(1.09)  | 3.39<br>(1.01)  | 3.89<br>(1.16)  | 3.18<br>(0.95)  |

\* the ratio to control

하고는 선량-반응곡선이  $\gamma$  또는  $\delta$  형태를 보였으며, 대부분의 무기원소함량과 17일 째 수거한 작물체내의 Cu, Fe 함량반응도  $\gamma$  또는  $\delta$  형태의 선량-반응곡선의 형태를 보여  $\gamma$ 선에 의한 자극효과(hormesis)가 일부 나타나기는 하지만 일반적 현상이라고 인정하기에는 모호하였다. 따라서  $\gamma$ 선 조사가 영양생리에 미치는 영향을 좀 더 구체적으로 파악하기 위한 더 많은 연구결과의 집적이 필요할 것으로 판단된다.

## 요 약

배추와 무의 영양생리에 대한 저선량  $\gamma$ 선에 의한 자극작용의 영향을 파악하고자 1998년산 흑진주배추, 1995년산 서림엇같이 배추, 1998년산 청운무 종자에 1에서 10 Gy의 저선량  $\gamma$ 선을 조사하고 생육시기에 따른 성장량과 무기양분의 변화를 분석하였다. 공시된 배추품종들은 조사선량의 증가에 따라서 발아율과 건물생산량이 증가하는 경향을 보였다. 건물생산의 증가는 흑진주배추에서 가장 현저하여 10Gy 처리구에서 143%로 증가되었고, 서림엇같이배추는 10Gy에서 138%로 증가하였다. 청운무는  $\gamma$ 선 조사에 따른 발아율과 건물생산량의 일관된 경향성을 보이지 않았다. 무기영양소들의 함량변화는 선량-반응 곡선의  $\gamma$  또는  $\delta$  형태를 나타내  $\gamma$ 선에 의한 자극효과가 일부처리구에서 나타나기는 하였지만 일반적 현상이라고 인정하기 어려웠다. 따라서, 저선량  $\gamma$  조사가 배추와 무의 영양생리에 미치는 영향을 정확하게 파악하기 위한 연구결과의 집적이 필요할 것으로 판단된다.

## 사 사

본 연구는 과학기술부의 원자력연구개발사업의 일환으로 수행되었습니다.

## 참 고 문 헌

1. Miller, M. W. and Miller W. M. (1987) Radiation hormesis in plants. Health physics, 52(5) : 607.
2. Sheppard, S. C. and Evenden, W. G. (1986) Factors controlling the response of field crops to very low doses of gamma irradiation of the seed, Can. J. Plant Sci., 66 : 431.
3. Lee, E.-K., Kim, J.-S., Lee, Y.-K., Lee, Y.-B. (1998) The Acceleration of Germination in Welsh Onion Seed Irradiated with The Low Dose  $\gamma$ -Ray Radiation, Korean Journal of Environmental Agriculture, 17(4) : 346-351.
4. Kim, J.-S., Kim, J.-K., Lee, Y.-K., Back, M.-W., and Kim J.-G. (1998) Effects of Low Dose Gamma Radiation on Germination and Yield Components of Chinese Cabbage, Korean Journal of Environmental Agriculture, 17(3) : 274-278.
5. Kuzin, A. M., E. K. Uzorin and V. I. Chirkovskii (1963) Remote effects of  $\gamma$  irradiation of seeds on the development of various *Nicotina* plants, Radiobiology(Moscow), 3 : 903-904.
6. Pal, I. (1975) Investigation on the effects of seed irradiation of plants in a phytotron, I. Tomato. Stim. Newsl., 8 : 23-36
7. Haunold, E. and J. Zebra (1980) Nitrogen content of two spring wheat varieties as by seed irradiation, Stim. Newsl., 3 : 30-36.
8. Korosi, F. and I. Krakkai (1983) Effects of gamma irradiation in *Phaseolus vulgaris* L. seed on  $^{32}\text{PO}_4^{-3}$  uptake of seedlings and its translocation pattern, Enviro. Exp. Bot., 23 : 149-152.
9. Vlasyuk, P. A. (1964) Effects of ionizing irradiation on the physiological-biochemical properties and metabolism of agricultural plants, Inst. Fizion. Biokhim. Rast., SSR, pp. 24-31.
10. Luckey, T. D. (1980) Hormesis with ionizing irradiation, CRC press, Inc., Boca Raton, Fla.
11. Kim, J.-S., Lee, Y.-B. (1998) Ionizing Radiation Hormesis in Crops, Korean Journal of Environmental Agriculture, 17(1) : 76-83.