J. Fd Hyg. Safety 16(1), 76–81 (2001)

감마선 조사된 벼와 찰벼의 검지를 위한 발아특성 비교

오경남 · 김경은 · 양재승†
한국원자력 연구소 식품검지실

Germination Properties of Rice and Glutinous Rice Exposed to Gamma Irradiation

Kyeong-Nam Oh, Kyeung-Eun Kim and Jae-Seung Yang†
Detection Lab. of Irradiated Food, Korea Atomic Energy Research Institute, Taejon 305-353, Korea

ABSTRACT – The germination test was used to detect biological changes in irradiated rice and glutenous rice at low doses. Grains were irradiated at below 0.5 kGy, husked and placed on distilled water moistend filter paper in a covered petri-dish. A germination test of 20 grains was carried out at room temperature for 5 days. The shoots and roots of non-irradiated rices grew well in comparison with those of irradiated rices above 0.3 kGy. The roots of rices were more sensitive to irradiation than the shoots, and the growth of roots was significantly decreased with the increasing doses. In glutinous rices, the growth of shoots and roots was retarded by irradiation at 0.2 kGy or more after 3rd days. We concluded that if the shoot or root length is 10 mm or longer within 5 day, the rices and glutinous rices are identified as non-irradiated.

Key words □ Rice, Glutinous Rice, γ-irradiation, Germination

식품의 방사선 조사는 살충, 발아억제, 선도 연장 등의 목적으로 1.0 kGy 이하의 저선량으로 많은 국가에서 허용되어 사용되고 있다[1]. 방사선 조사는 이미 여러 국가에서 허가되고 있지만 몇몇 국가에서는 수출입 교역에서 제한하고 있거나 조사 품목에 대해서 표시화를 요구하는 입장을 표명하고 있기 때문에 이에 대해 정확한 정보를 제공할 필요가 있다. 방사선 조사 식품에 대한 검지방법은 1993년 FAO/IAEA 그리고 BCR(Community Bureau of Reference)에 의해 국제적인 연구가 수행되어 지금까지 급속하게 진행되어 왔다.[2-5] 방사선 조사에 대한 검지방법 중 몇 가지는 European Standard로 확립되어 있고 이들은 지방을 함유한 식품에서 hydrocarbon5) 또는 2-alkylcyclobutanone과 같은 지방산 유래의 물질을 검사하는 GC분석[6,7], 그리고 식품의 광물질을 측정하는 thermoluminescence(TL)[8,9] 방법, 뼈가 있는 식품 또는 섬유소가 많은 조사 식품의 electron spin resonance (ESR) 방법[10,11] 및 DNA comet assay[12,13] 등이 있다. 이러한 방법들은 정교하지만 비교적 비싼 장비가 요구되며 시료의 준비와 분석에 시간이 상당히 소요되는 단점이 있다. 이들 방법 중 비교적 간단하고 신속한 방법은 DNA comet assay와 발아법인데 발아법은 매우 낮은 선량에서의 변화도 비교적 민감하게 검지할 수 있다[13,14]. 발아법(germination test)은 생물학적 방법으로 방사선 조사에 의한 생물학적 변화 즉, 발아억제, 뿌리 및 줄기의 생장억제, 그리고 씨 활성의 손실과 같은 변화를 검지하는 screening test이다.[14] 이 방법은 열 및 화학처리와 같은 다른 처리에서도 이와 유사한 변화를 보여서 특이성이 없다고 할 수 있지만 screening test로써 다른 방법에서 검지하기 어려운 1.0 kGy 이하의 매우 낮은 선량에서 나타나는 미세한 변화를 민감하게 검지할 수 있다.[15,16]

발아법의 일종인 반배아법(half-embryo test)은 발아기간을 단축시켜 발아법을 개선시킨 방법으로써 감귤류[17,18], 사과 그리고 체리[19]의 방사선 조사 여부 검지 방법으로 적용되어 왔다. 이의 원리는 감마선 조사에 의해 뿌리 및 줄기의 발아가 지연되거나 저해되는 현상을 관찰함으로써 조사 유무를 판정하는 것인데, 과일에서는 0.15 kGy에서도 발아가 억제되어 매우 낮은 저선량에서의 변화도 검지가능하다. 따라서 반배아법 및 발아법은 과일류 및 곡류의 저선량 조사 검지방법으로써 매우 유용하고 민감한 방법으로 이용될 수 있다.[20]

곡류의 방사선 조사 여부 검지에 대한 연구는 일부 수행되어 왔지만 발아법에 관한 연구는 아직 미흡한 상태이고 국내에서는 전무한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 국내산 벼와 찰벼의 방사선 조사 여부 검지를 위해 whole seeds로써

†Author to whom correspondence should be addressed.

발아법을 적용하여 비조사 시료와 조사시료를 비교하였다. 조사선량은 0.5 kGy 이하의 저선량으로 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 그리고 0.5 kGy로 하였고 뿌리와 순의 길이 성장으로 방사선 조사 여부를 판정하고자 하였다.

재료 및 방법

시 료

본 실험에 사용한 곡류는 벼와 찰벼로써 대전시 유성구 농촌진흥원에서 제공받았고, 이들의 종류는 각각 동안벼(1999년 수확)와 신선찰벼(1999년 수확)이었다.

방사선 조사

시료의 방사선 조사는 저장 해충 및 기생충 구제를 목적으로 하는 선량을 기준하여 1.0 kGy 이하의 저선량으로 정하고 한국원자력연구소의 Co 60 감마선 조사 시설을 이용하여 0.1, 0.2, 03, 0.4 및 0.5 kGy의 선량으로 시간당 일정한 선량률로 조사하였다. 벼와 찰벼는 예비실험결과 0.3 kGy에서도 발아가 상당히 억제되어 최대 조사선량을 0.5 kGy까지로 하였다. 총 흡수선량은 ceric cerous dosimeter의 변법으로 확인하였다.

발아방법

각각의 곡류는 증류수로 세척한 다음 배아와 눈에 상처가 나지 않도록 조심스럽게 겉 껍질을 벗기고 petri-dish에 여과지(Whatman Cat. No. 1001 110 mmØ)를 깐 다음 증류수 15 mL를 부어 여과지를 적셨다. 각 선량마다 2개의 petri-dish를 준비하고 각각 10알씩 여과지 위에 놓아 20알을 실험에 사용하여 실온에서 발아시켰다[16]. 5일 동안 매일 5 mL의 증류수를 부어 Petri-dish에 물이 마르지 않도록 하였고 각 선량마다 뿌리와 순의 길이를 측정하여 통계처리 하였다. 모든 실험은 3회 반복 실시하였다.

통계처리

3회 반복 실험을 통해 측정된 뿌리와 순의 길이는 PC-SPSS (version 9.0 for windows)를 사용하여 각각 통계분석하였다[21]. 통계분석은 ANOVA 프로그램의 Tukey's Honestly Significant Difference (HSD) test를 이용하여 각 조사선량에서 5일간의 길이성장에 대한 유의성과 각 발아일에 대해서(1일~5일) 조사선량에 따른 길이성장의 유의성을 검정하였다.

결과 및 고찰

벼

벼를 방사선 조사한 후 발아시켜 뿌리(root)와 순(shoot)의 길이를 측정해 본 결과, 순과 뿌리 모두 방사선 조사에 의해 길이 성장이 억제되었다. 순은 모든 선량에서 5일 동안 지속적인 성장을 하였지만 비 조사시료가 가장 급속하게 성장하였고(Fig. 1a) 0.3 kGy 이상시료들은 완만히 성장하였다. 비조사시료, 0.1 kGy, 그리고 0.2 kGy 조사시료는 5일 동안 유의적인 차이로 지속적인 성장을 하였지만($p<0.05$) 0.3 kGy 이상 시료들은 3일부터 성장이 매우 지연되어 5일 동안 길이성장에 유의적인 차이를 보이지 않았다(Table 1). 각 발아일에서 조사선량에 따른 길이는 발아 2일부터 선량간에 길이차이가 나기 시작하면서 발아 4일부터는 비 조사시료와 조사시료들간에 길이차이가 많이 나고 조사선량이 높을수록 길이가 짧아져 비 조사시료와 조사시료의 구분이 뚜렷하였다(Fig. 1a). 조사선량에 따른 순의 길이의 유의적인 차이를 검증한 결과, 3일까지 순의 길이는 비 조사시료와 조사시료간에 유의적인 차이를 보이지 않았으나 4일부터 유의적인 차이를 보이면서 길이가 감소한 것으로 나타났다($p<0.05$, Table 1).

뿌리의 길이는 순의 길이보다 방사선 조사에 의해 더 민감하게 반응하여 3일 이후 성장이 지연되는 경향을 보였고 비 조사시료의 뿌리는 조사시료의 뿌리보다 좋은 성장 양상을 보였다(Fig. 1b). 각 선량에서 5일 동안 뿌리의 길이성장에 대한 유의성을 검증한 결과(Table 2), 모든 선량에서 뿌리는 3일까지 유의적인 차이로 성장하다가($p<0.05$) 3일 이후부터는 서서히 성장하여 유의적인 차이를 보이지 않았다.

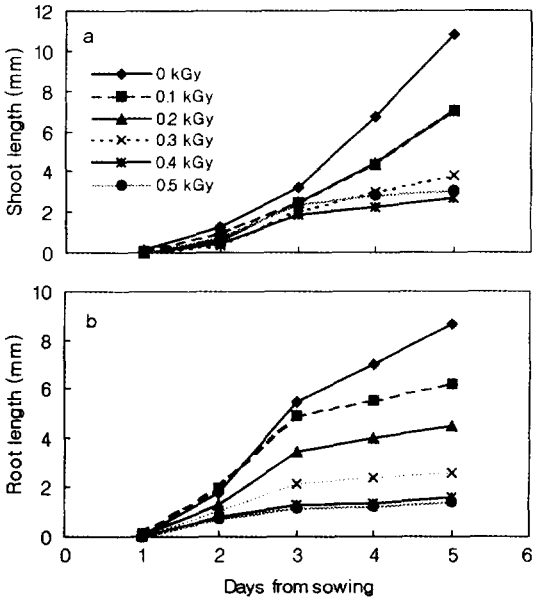

Fig. 1. Effect of γ-irradiation on growth curve of rices without husks.
a: shoot, b: root

Table 1. Shoot length* of rice irradiated at various doses.

(unit : mm)

Irradiation dose (kGy)	Germination period (day)				
	1	2	3	4	5
0	$^{A}0.150 \pm 0.075^{a}$	$^{A}1.233 \pm 0.271^{ab}$	$^{A}3.217 \pm 0.305^{b}$	$^{A}6.683 \pm 0.640^{c}$	$^{A}10.817 \pm 1.024^{d}$
0.1	$^{A}0.067 \pm 0.046^{a}$	$^{AB}0.933 \pm 0.212^{ab}$	$^{A}2.483 \pm 0.298^{b}$	$^{B}4.350 \pm 0.517^{c}$	$^{B}7.017 \pm 0.874^{d}$
0.2	$^{A}0.033 \pm 0.033^{a}$	$^{AB}0.633 \pm 0.154^{ab}$	$^{A}2.500 \pm 0.2608^{bc}$	$^{B}4.417 \pm 0.485^{c}$	$^{B}7.033 \pm 1.208^{d}$
0.3	$^{A}0.000 \pm 0.000^{a}$	$^{B}0.383 \pm 0.892^{a}$	$^{A}2.000 \pm 0.237^{b}$	$^{BC}2.950 \pm 0.309^{bc}$	$^{C}3.767 \pm 0.428^{c}$
0.4	$^{A}0.000 \pm 0.000^{a}$	$^{B}0.433 \pm 0.099^{a}$	$^{A}1.900 \pm 0.249^{b}$	$^{C}2.200 \pm 0.274^{b}$	$^{C}2.683 \pm 0.306^{b}$
0.5	$^{A}0.000 \pm 0.000^{a}$	$^{AB}0.767 \pm 0.133^{a}$	$^{A}2.350 \pm 0.251^{b}$	$^{BC}2.933 \pm 0.266^{b}$	$^{C}3.083 \pm 0.279^{b}$

*Mean value and standard error of shoot length.
[a-d] Means with different superscripts in the same row differ significantly ($p<0.05$).
[A-C] Means with different superscripts in the same column differ significantly ($p<0.05$).

Table 2. Root length* of rice irradiated at various doses.

(unit : mm)

Irradiation dose (kGy)	Germination period (day)				
	1	2	3	4	5
0	$^{A}0.083 \pm 0.049^{a}$	$^{AB}1.783 \pm 0.291^{a}$	$^{A}5.433 \pm 0.996^{b}$	$^{A}6.983 \pm 1.141^{b}$	$^{A}8.633 \pm 1.363^{b}$
0.1	$^{A}0.117 \pm 0.048^{a}$	$^{A}1.967 \pm 0.289^{a}$	$^{AB}4.933 \pm 0.687^{b}$	$^{AB}5.550 \pm 0.729^{b}$	$^{AB}6.200 \pm 0.748^{b}$
0.2	$^{A}0.033 \pm 0.023^{a}$	$^{BC}1.317 \pm 0.245^{a}$	$^{B}3.466 \pm 1.231^{b}$	$^{BC}3.967 \pm 0.587^{b}$	$^{BC}4.450 \pm 0.662^{b}$
0.3	$^{A}0.000 \pm 0.000^{a}$	$^{BC}1.017 \pm 0.149^{ab}$	$^{BC}2.117 \pm 0.336^{bc}$	$^{CD}2.367 \pm 0.369^{c}$	$^{CD}2.600 \pm 0.387^{c}$
0.4	$^{A}0.000 \pm 0.000^{a}$	$^{C}0.767 \pm 0.155^{ab}$	$^{C}1.317 \pm 0.280^{b}$	$^{D}1.367 \pm 0.272^{b}$	$^{CD}1.600 \pm 0.299^{b}$
0.5	$^{A}0.000 \pm 0.000^{a}$	$^{C}0.755 \pm 0.140^{b}$	$^{C}1.167 \pm 0.763^{b}$	$^{D}1.233 \pm 0.230^{b}$	$^{D}1.383 \pm 0.219^{b}$

*Mean value and standard error of root length.
[a-c]Means with different superscripts in the same row differ significantly ($p<0.05$).
[A-D]Means with different superscripts in the same column differ significantly ($p<0.05$).

각 발아일에서 조사선량이 뿌리의 성장에 미치는 영향을 살펴보면, 2일 째 0.4 kGy 이상 조사시료와 비 조사시료의 길이차이가 뚜렷하였고 2일 이후부터 비 조사시료와 0.2 kGy 이상 조사시료간에 유의적인 차이를 보이면서 조사선량이 증가할수록 유의적으로 감소된 결과를 보였다(Table 2). Kawamura 등[16]의 연구에서 방사선의 효과는 순의 길이 성장보다 뿌리의 길이 성장에 더 많은 영향을 미치는 것으로 보고하였는데 0.15 kGy 이상부터 뿌리의 길이성장이 지연되다가 0.3 kGy 이상부터는 3일 이후에도 10 mm 이상 자라지 않아서 비 조사시료와 조사시료의 판정이 가능하였다고 하였다. 본 연구에서는, 뿌리와 순 모두 3일째 이의 길이에 미치지 못하였지만 5일째 비 조사시료의 순은 약 11 mm, 뿌리는 약 9 mm로 10 mm에 가깝게 성장하여 벼의 경우, 뿌리 또는 순의 길이를 5일째 10 mm 정도 자라는 것을 기준하여 조사시료와 비 조사시료를 구분하였다. 또한, Kawamura 등[16]의 연구와 마찬가지로 순보다 뿌리가 방사선 조사에 더 민감하여 조사선량이 증가할수록 뿌리의 길이가 유의적으로 감소되는 결과를 나타냈다.

한편, 순과 뿌리의 성장정도로 방사선 조사 여부를 살펴보

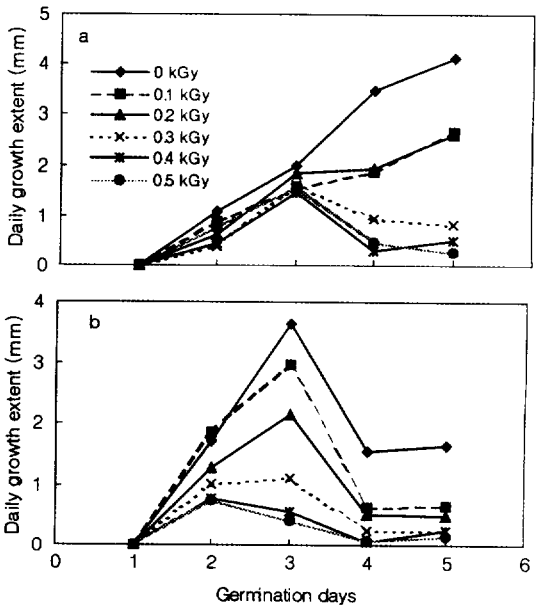

Fig. 2. Comparison of the daily growth extent of rices depending on irradiation dose.
a : shoot, b : root

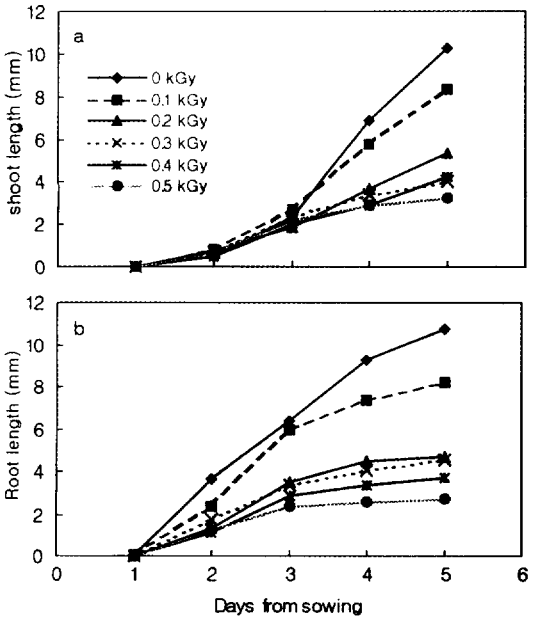

Fig. 3. Effect of γ-irradiation on growth curve of glutinous rices without husks.
a: shoot, b: root

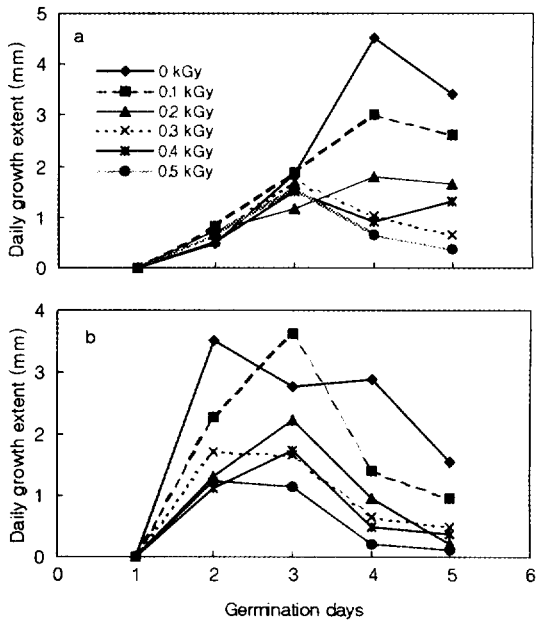

Fig. 4. Comparison of the daily growth extent of glutinous rices depending on irradiation dose.
a: shoot, b: root

면, 순과 뿌리 모두 5일 동안 비 조사시료구의 성장정도가 가장 컸으며(Fig. 2), 0.1 kGy 이상 시료들에서는 선량이 증가할수록 성장정도가 현저히 감소하였다. 그리고 5일째 비조사시료구의 성장정도가 조사시료구의 성장정도보다 현저히 높았고, 조사선량이 높을수록 성장정도도 감소하여 조사시료간의 구분도 가능하였다.

찰벼

찰벼를 방사선 조사한 후 발아시키고 뿌리와 순의 길이를 측정해 본 결과, 순과 뿌리 모두 방사선 조사에 의해 성장이 억제되었다. 0.2 kGy 이상 조사시료들의 순은 5일 동안 완만한 성장을 한 반면, 비 조사시료와 0.1 kGy 시료는 비교적 급격히 성장한 경향이었다(Fig. 3a). 각 조사선량에 있어서 발아기간에 대한 순의 성장의 유의적인 상관성을 살펴보면, 5일 동안 유의적인 차이로 꾸준히 성장한 경향을 보여 ($p<0.05$, Table 3) 비교적 성장이 양호한 것으로 나타났다. 각 발아일에서 조사선량이 순의 길이성장에 미치는 영향을 살펴보면, 순의 성장은 비교적 방사선 조사에 민감하지 않아서 3일까지 방사선 조사와 상관없이 성장이 양호하여 시료들간에 차이를 보이지 않다가 4일부터 비 조사시료와 조사시료들간에 뚜렷한 차이를 보이면서 조사선량이 높을수록 길이가 현저히 감소하는 경향을 보여 확실한 구분이 가능하였

Table 3. Shoot length* of glutinous rice irradiated at various doses.

(unit : mm)

Irradiation dose (kGy)	Germination period (day)				
	1	2	3	4	5
0	$^{A}0.033 \pm 0.023^{a}$	$^{A}0.5167 \pm 0.144^{a}$	$^{A}2.350 \pm 0.320^{a}$	$^{A}6.867 \pm 1.012^{b}$	$^{A}10.267 \pm 1.120^{c}$
0.1	$^{A}0.033 \pm 0.023^{a}$	$^{A}0.850 \pm 0.178^{ab}$	$^{A}2.733 \pm 0.369^{b}$	$^{AB}5.733 \pm 0.728^{c}$	$^{AB}8.350 \pm 1.053^{d}$
0.2	$^{A}0.000 \pm 0.000^{a}$	$^{A}0.733 \pm 0.184^{ab}$	$^{A}1.900 \pm 0.299^{b}$	$^{BC}3.700 \pm 0.553^{c}$	$^{BC}5.350 \pm 0.795^{c}$
0.3	$^{A}0.017 \pm 0.017^{a}$	$^{A}0.667 \pm 0.146^{a}$	$^{A}2.383 \pm 0.295^{b}$	$^{BC}3.400 \pm 0.389^{bc}$	$^{C}4.050 \pm 0.503^{c}$
0.4	$^{A}0.000 \pm 0.000^{a}$	$^{A}0.500 \pm 0.110^{a}$	$^{A}2.000 \pm 0.260^{b}$	$^{C}2.917 \pm 0.360^{b}$	$^{C}4.217 \pm 0.546^{c}$
0.5	$^{A}0.000 \pm 0.000^{a}$	$^{A}0.667 \pm 0.123^{a}$	$^{A}2.233 \pm 0.246^{b}$	$^{C}2.900 \pm 0.288^{bc}$	$^{C}3.267 \pm 0.299^{c}$

*Mean value and standard error of shoot length.
$^{a-c}$Means with different superscripts in the same row differ significantly ($p<0.05$).
$^{A-C}$Means with different superscripts in the same column differ significantly ($p<0.05$).

Table. 4. Root length* of glutinous rice irradiated at various doses

(unit : mm)

Irradiation dose (kGy)	Germination period (day)				
	1	2	3	4	5
0	$^{A}0.100 \pm 0.039^{a}$	$^{A}3.617 \pm 1.282^{b}$	$^{A}6.367 \pm 0.833^{b}$	$^{A}9.233 \pm 1.121^{b}$	$^{A}10.767 \pm 1.257^{b}$
0.1	$^{A}0.100 \pm 0.046^{a}$	$^{AB}2.367 \pm 0.350^{a}$	$^{A}5.983 \pm 0.788^{b}$	$^{A}7.383 \pm 0.966^{b}$	$^{A}8.183 \pm 1.051^{b}$
0.2	$^{A}0.017 \pm 0.017^{a}$	$^{AB}1.317 \pm 0.235^{a}$	$^{B}3.533 \pm 0.539^{b}$	$^{B}4.483 \pm 0.624^{b}$	$^{B}4.683 \pm 0.634^{b}$
0.3	$^{A}0.017 \pm 0.017^{a}$	$^{AB}1.733 \pm 0.285^{ab}$	$^{B}3.400 \pm 0.425^{bc}$	$^{B}4.05 \pm 0.475^{c}$	$^{B}4.55 \pm 0.523^{c}$
0.4	$^{A}0.000 \pm 0.000^{a}$	$^{B}1.133 \pm 0.202^{ab}$	$^{B}2.867 \pm 0.369^{bc}$	$^{B}3.367 \pm 0.406^{c}$	$^{B}3.717 \pm 0.436^{c}$
0.5	$^{A}0.017 \pm 0.017^{a}$	$^{B}1.250 \pm 0.180^{b}$	$^{B}2.400 \pm 0.317^{c}$	$^{B}2.600 \pm 0.340^{c}$	$^{B}2.717 \pm 0.340^{c}$

*Mean value and standard error of root length.

[a-c]Means with different superscripts in the same row differ significantly ($p<0.05$).

[A-B]Means with different superscripts in the same column differ significantly ($p<0.05$).

다($p<0.05$, Table 3). 찰벼의 비 조사시료와 조사시료의 구분은 벼에서와 마찬가지로 5일째 순의 길이를 10 mm 이상 기준하여 10 mm 이상 자라면 비조사 시료, 10 mm 이내로 자라면 조사시료로 판정하였다.

찰벼의 뿌리성장은 순보다 더 뚜렷한 차이를 보였는데, 0.2 kGy 이상 조사시료는 방사선의 영향을 받아 2일부터 성장이 지연되어 비 조사시료와 확실한 차이를 나타내면서 5일 동안 성장이 비교적 완만하였다(Fig. 3b). 비 조사시료 및 조사시료들은 3일까지 유의적인 성장을 하였지만 3일~5일까지는 서서히 성장하여 유의적인 차이를 보이지 않았다(Table 4). 각 발아일에서 방사선 조사가 뿌리의 길이성장에 미치는 영향을 살펴본 결과, 2일부터 0.4 kGy이상 조사시료들에서 성장이 억제되어 비 조사시료와 유의적인 차이를 보였으며 ($p<0.05$) 3일부터 비 조사시료와 0.2 kGy 이상 조사시료들과 유의적인 차이를 보여 방사선 조사에 의해 길이성장이 많이 지연된 것으로 나타났다($p<0.05$)(Table 4). 그러나, 0.2 kGy 이상의 조사시료들간에는 선량이 증가할수록 길이가 감소되는 경향을 보였지만 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 벼의 뿌리에서 방사선 조사 여부의 확인은 순에서와 마찬가지로, 5일째 10 mm 이상 자란 것으로 기준하여 비 조사시료와 조사시료를 판별하였다.

또한, 순과 뿌리의 일일간의 길이성장 정도로 방사선 조사 여부를 판별해 본 결과, 순과 뿌리 모두 비 조사시료의 성장정도가 5일 동안 가장 높았다(Fig. 4). 순은 4일과 5일째 비 조사시료와 조사시료간의 성장정도 차이가 많이 났고 조사선량이 증가할수록 성장정도가 감소하여 비 조사시료와 조사시료의 구분이 가능하였다. 뿌리에서도 순과 마찬가지로 비조사시료에서 5일 동안 성장정도가 가장 크게 나타나 방사선 조사 여부의 판단이 가능하였다.

감사의 글

본 연구는 2000년도 과학기술부의 원자력 중장기 연구비 지원으로 수행된 연구결과의 일부로서 이에 감사드립니다.

국문요약

벼와 찰벼의 방사선 조사 여부를 검지하기 위해 생물학적 방법인 발아법을 이용하였다. 벼와 찰벼를 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 kGy의 조사선량으로 방사선 조사하고 뿌리와 순의 길이를 측정하여 비 조사시료와 비교하였다. 벼의 순은 비 조사시료의 경우 5일 동안 지속적인 성장을 보였고 성장정도도 조사시료에 비해 컸으며 0.3 kG 이상 시료들은 3일째부터 서서히 성장하여 성장이 매우 지연되는 결과를 나타냈다. 한편, 3일까지는 비 조사시료와 조사시료들의 순의 길이에 유의적인 차이를 보이지 않다가 4일부터 유의적인 차이를 나타냈으며 5일째 0.3 kGy 이상 조사시료들은 방사선 조사에 영향을 받아 성장이 매우 저조하여 비 조사시료와 뚜렷한 유의적인 차이를 나타냈다. 벼의 뿌리는 순보다 방사선 조사에 더 민감한 반응을 보였으며 비 조사시료만 5일째 10mm 이상 자랐기 때문에 이의 기준으로 비 조사시료와 조사시료를 구분하였다. 찰벼의 순은 비 조사시료와 0.1 kGy 조사시료만 5일 동안 지속적인 성장을 보였고 0.2 kGy 이상 조사시료들은 3일부터 완만하게 성장하여 길이성장에서 유의성을 보이지 않았고, 4일부터 비 조사시료와 조사시료의 길이에 유의적인 차이를 보이면서 조사선량이 증가할수록 길이가 짧은 것으로 나타났다. 찰벼의 뿌리도 순보다 방사선 조사에 더 민감하게 반응하여 0.2 kGy 이상 조사시료부터 성장이 지연되는 것으로 나

타났다. 조사시료의 길이성장이 비 조사시료보다 뚜렷하게 저하되었다. 찰벼의 방사선 조사 여부의 판별은 찰벼의 뿌리가 5일째 10 mm 이상 자란 것을 기준하여 비 조사시료와 조사시료를 판별하였다.

참고문헌

1. IAEA: Use of irradiation to control infective of food-born parasites. (STI/PUB)/933. International Atomic Energy Agency, Vienna (1993).
2. Loaharanu, P.: Food irradiation : *current status and future prospects*. Blackie Academic & Professional, Glasgow, 90-111 (1995) [in New methods of food preservation. Gould. G.W.]
3. WHO. Wholesomeness of Irradiated Food. Report of a Joint FAO/IAEA/WHO Expert Committee, Technical Report Series, Geneva, Switzerland (1981).
4. 양재승: 방사선 조사식품의 검출기법, 한국식품위생안정성학회지, **12**, 160-174 (1997).
5. Schreiber, G.A., Helle, N., and Bögl, K.W.: Detection of irradiated food method of routine applications. *Int. J. Radiat. Biol.*, **63**, 105-107 (1993).
6. Boyd, D.R., Crone, A.V.J., Hamilton, J.T.G., Hand, M.V., Stevenson, M.H., and Stevenson, P.J.: Synthesis, characterization, and potential use of 2-dodecylcuclobutanone as a marker for irradiated chicken. *J. Agric. Food Chem.*, **39**, 789-793 (1991).
7. Crone, A.V.J., Hamilton, J.T.G., and Stevenson, M.H.: Effect of storage and cooking on the dose response of 2-dodecylcyclobutanone, a potential marker for irradiated chicken. *J. Sci. Food Agric.*, **58**, 249-257 (1992).
8. Schreiber, G.A., Ziegelmann, B., Quitzsch, G., Helle, N., and Bögl, K.W.: Luminescence techniques to identify the treatment of foods by ionizing radiation. *Food Structure* **12**, 385-396 (1993).
9. Schreiber, G.A., Helle, N., and Bögl, K.W. An interlaboratory trial on the identification of irradiated spices, herbs and spice-herb mixtures by thermoleuminescence analysis. *J. AOAC Int.*, **78**, 88-93 (1995).
10. Raffi, J.J. and Benzaria, S.M.: Identification of irradiated foods by electron spin resonance techniques. *J. Radiation sterilization*, **1**, 282-304 (1993).
11. 남혜선, 이선영, 양재승: 게류의 방사선 조사 검지를 위한 ESR spectrometry의 이용, 한국식품위생안전성학회지, **15**, 1-4 (2000).
12. Cerda, H., Delinc e, H., Haine, H., and Rupp, H. The DNA Comet Assay as a rapid screening technique to control irradiated food. Mutation Res., 375, 167-181 (1997).
13. 오경남, 김경은, 양재승: DNA Comet Assay를 이용한 콩류의 방사선 조사 확인, 한국식품영양과학회지, **29**, 843-848 (2000).
14. Raffi, J., Delincée, H., Marchioni, E., Hasselmann, C., Sjöberg, A.M., Leonardi, M., Kent, M., Bögl, K.W., Schreiber, G., Stevenson, H., and Meier, W. Concerted action of the Community Bureau of Reference on methods of identification of irradiated food. Final Report, EUR-15261, European Commission, Luxembourg, 1-119 (1994).
15. Delincée, H., Marchioni, E., and Hasselmann, C. Changes in DNA for the detection of irradiated food. EUR-15012, Commission of the European Communities, Luxembourg, 1-24 (1993).
16. Kawamura Y., Murayama, M., Uchiyama, S., and Saito, Y.: Development of Half-Embryo Test and Germination Test for Detection of Irradiated Fruits and Grains. Detection Method for Irradiated Foods-Current Status, 383-391 (1996).
17. Kawamura, Y., Uchiyama, S., and Saito Y.: A Half-Embryo Test for Identification of Gamma-Irradiated Grape fruit. *J. Food Sci.*, **54**, 379-382 (1989).
18. Kawamura, Y., Uchiyama, S., and Saito Y.: Improvement of the Half-embryo Test for Detection of Gamma-irradiated Grapefruit and Its Application to Irradiated Oranges and Lemons. *J. Food Sci.*, **54**, 1501-1504 (1989).
19. Kawamura, Y., Uchiyama, S., and Saito Y.: A half-embryo test for identification of irradiated citrus fruit: collaborative study. *Radiat. Phys. Chem.*, **48**, 665-668 (1996).
20. Zhu, S., Kume, T., and Ishigaki, I.: Detection of irradiated wheat by germination. *Radiat. Phys. Chem.*, **42**, 421-424 (1993).
21. 강병서, 김계수: 한글 SPSS 사회과학통계분석, SPSS 아카데미, 고려정보산업 (1998).