

저선량 감마선 조사가 벼 유묘의 염 스트레스 경감에 미치는 영향

백명화 · 김진홍 · 위승곤 · 김재성* · 이인중¹⁾ · 이규성²⁾

한국원자력연구소 방사선이용연구부, ¹⁾경북대학교 농학과, ²⁾농촌진흥청 작물과학원
(2004년 12월 15일 접수, 2005년 6월 10일 수리)

Effects of Low Dose Gamma-irradiation on Alleviation of Salt Stress in Rice (*Oryza sativa* L.) Seedling

Myung-Hwa Baek, Jin-Hong Kim, Seung Gon Wi, Jae-Sung Kim*, In-Jung Lee¹⁾, and Kyu-Seong Lee²⁾ (Division of Radiation Application Research, Advanced Radiation Technology Institute, Korea Atomic Energy Research Institute, Jeongseup 580-185, Korea, ¹⁾Department of Agronomy, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea, ²⁾National Institute of Crop Science, R.D.A., Suwon 441-707, Korea)

ABSTRACT: To investigate alleviation effects of salt stress by low dose gamma-irradiation on seedling growth of rice (*Oryza sativa* L.), in plants of two rice cultivars (Ilpumbyeo and Gancheokbyeo), seeds were irradiated with the different doses (0~32 Gy) of gamma-ray by irradiator (⁶⁰Co, ca.150 TBq of capacity, AECL).

The salt stress caused a remarkable decrease of seedling growth, particularly for dry weight. In addition, relative growth rate was decreased over 50% by the salt stress. However, the salt stress-induced inhibition of growth was alleviated by gamma-irradiation. Especially, the relative growth rate of shoot showed the reduction effect over 30% at 4 Gy-irradiated groups as compared with that of control. Also, electrolyte leakage and relative water content were damaged, respectively 4 times and 30% by the salt stress, but the damages were alleviated by the gamma-irradiation. These alleviation effects were observed similarly in both the cultivars tested. These results suggest that the low dose gamma-irradiation may have a better protection of the salt stress.

Key Words: Alleviation effects, low dose gamma-irradiation, salt stress, seedling growth, electrolyte leakage, relative water content

서 론

염분축적은 작물의 생육을 억제하는 동시에 최종적으로 생산성을 감소시키는데, 전세계적으로 염분 피해 면적은 재배 면적의 약 20%, 관개토양의 약 50%가 해당된다¹⁾. 이러한 염분 토양은 강우량보다 증발량이 과다하여 다량의 염류가 토양에 집적되는 열대 및 아열대 지방의 건조 또는 반건조 지대에 많이 분포되어 있는데, 이들 지방과는 달리 우리나라는 강우량이 증발량보다 많아 염류 축적에 의한 염분 토양 보다는 주로 간척지에 국한되어 있으며 현재 간척지는 개발예정 면적까지 약 16만 ha가 존재하는 것으로 보고되어 있다^{2,3)}. 염분 토양에서 작물의 생산성 감소를 최소화시키기 위한 방

법으로는 첫 번째로, 간척지의 염분을 제거하는 즉, Na⁺을 치환 침출 시키는 환수제염 작업과 개간, 배수 등의 재배법 개선에 의한 방법이 있으나 이 방법은 실질적이고 경제적인 면에서 실효성이 적은 단점이 있다²⁾. 특히 타 작물에 비해 염 스트레스 지역에 재배가 용이하다는 벼도 근본적으로 염을 완전히 제거시키는데 최소 5년 이상이 소요되는 것으로 알려져 있다⁴⁾. 이러한 재배 개선 방법 이외에 두 번째로는, 기존 육종방법이나 생명공학 기술을 이용한 내염성 품종 개발이 있는데 이는 주로 국제 미작연구소를 중심으로 이루어지고 있으며 국내에서는 호남농업시험장 개화도 출장소와 작물시험장 남양출장소에서 주로 연구를 하고 있다^{2,3)}.

오래 전부터 의학이나 식품, 농업 분야에서 두각을 나타내고 있는 생물에 대한 방사선 연구는 저선량 보다 고선량을 중심으로 멸균, 살충, 육종 등에 유익하게 이용되어 왔으나, 최근 많은 연구자들에 의해 유효량 이하의 적정농도에서 생물활성을 촉진하는 효과, 즉 hormesis 이용 연구가 수행되

*연락처:
Tel: +82-63-570-3330 Fax: +82-63-570-3339
E-mail: jskim8@kaeri.re.kr

고 있다^{5,6)}. 이온화 방사선은 그 종류에 상관없이 거의 비슷한 생물학적 영향을 미치는 것으로 나타나는데 저선량 방사선 자극에 의해 종자발아^{7,8)} 및 생리활성 촉진^{9,10)}, 물질의 함량 증가¹¹⁾, 수량의 증가^{12,13)} 등과 같은 촉진효과가 입증되고 있다. 이러한 생리활성 촉진 효과 이외에도 저선량 방사선은 산성비¹⁴⁾ 나 광¹⁵⁾ 그리고 UV-B¹⁶⁾ 등과 같은 환경 스트레스에 대해 경감효과를 나타내는 것으로도 보고되어 있다.

최근 환경 스트레스 중 많은 연구가 이루어지고 있는 염 스트레스 하에서의 피해 경감 효과는 보고된 바가 없기에 본 실험에서는, 저선량 방사선이 염분 토양에서 작물의 생산성 감소를 최소화시키기 위한 방법의 일환으로 활용 가능한지를 판단하기 위해 저선량 방사선을 조사한 벼의 유묘에 NaCl을 처리하여 생육양상과 함께 생리학적 차이를 확인하였다.

재료 및 방법

본 시험의 공시재료로는 일품벼와 호남농업시험장 계화도 출장소에서 분양 받은 간척벼를 사용하였으며, 벼 종자를 파종한 방법은 다음과 같다. 직경 0.5 cm의 구멍이 있는 plastic tray를 수경액으로 채워진 21×15×12.5 cm(가로×세로×높이)의 plastic pot 위에 띄운 다음, 30°C에서 3일간 최아시킨 일정한 크기의 종자를 치상하였다. 치상 후 방사선 조사와 염 처리를 위해 벼 식물체를 유리온실에서 3주간 생육시켰으며, 수경액은 기본 영양기준을 유지하기 위해 1/2 MS(Murashige & Skoog) 배지를 사용하였고 일주일에 2회씩 교환하였다.

저선량 방사선 조사는 한국원자력연구소에서 보유중인 저준위조사시설(⁶⁰Co)을 이용하여 0(대조구), 2, 4, 16, 32 Gy의 감마선을 벼 식물체에 직접 조사하였고, 조사선량률은 Fricke dosimeter로 측정하였다¹⁷⁾. 염 처리를 위해서는 방

사선 조사 후 바로 NaCl 40 mM의 수경액이 담겨있는 동일한 plastic pot에 벼 식물체를 옮겨 주었으며, NaCl 무처리구(0 mM)로는 증류수를 사용하였다. 또한, NaCl 농도를 일정하게 유지하기 위해 40 mM의 농도를 매일 재조정해 주었고 산도(pH 5.5)도 매일 조절하였다.

식물체의 생육 지표 측정을 위해 NaCl 처리 7일 후 식물체를 수확하여 초장과 생체중은 바로 측정하였고 건물중과 상대생장율은 식물체를 70°C 건조기에 3일 간 건조시킨 후 측정하였다. 또한 상대생장율은 염 처리 직 전의 건량과 염처리 7일 후 건량을 측정하여 계산하였다¹⁸⁾. 식물체의 전기전도도 측정에 의한 막투과성 정도를 측정하기 위해 NaCl 처리 7일 후의 벼 잎의 표본추출 염 100 mg을 0.5 cm크기로 잘라 증류수 5 mL이 들어있는 tube에 넣고 32°C에 2시간 방치 후와 121°C에 20분간 고압멸균 후의 EC를 각각 측정하여 Maribel 등¹⁸⁾에 의한 방법으로 계산하였다. 또한 벼 잎의 상대수분함량은 Barr와 Weatherley 방법에 의해 측정하였다¹⁹⁾.

데이터의 통계적 유의성은 SPSS 통계 프로그램(SPSS 10.0)을 이용하여 분석하였다.

결과 및 고찰

염 스트레스 하에서 작물의 생산성 감소를 최소화시키기 위한 방법의 일환으로 벼 유묘에 저선량 방사선을 조사하여 생장 반응을 관찰하였다. 염 처리 7일 후 측정된 초장은 염 처리에 관계없이 대체로 간척벼가 일품벼보다 높은 생육을 보였으며, 염 처리에 대한 생육 감소는 대조구(0 Gy)에서 비교 시 간척벼 보다 일품벼에서 유의성 있는 감소를 보였다(Table 1). 초장에 대한 염 처리 시 방사선 효과는 다음과 같

Table 1. Effects of the gamma-irradiation on shoot length, fresh weight and dry weight under the salt stress in two rice cultivars

NaCl (mM)	Dose (Gy)	Shoot length (cm)		Fresh weight (mg)		Dry weight (mg)	
		Ilpumbyeo	Gancheokbyeo	Ilpumbyeo	Gancheokbyeo	Ilpumbyeo	Gancheokbyeo
0	0	10.6 ± 0.1 ^{ab}	14.3 ± 0.4 ^{abc}	172.0 ± 0.8 ^{abc}	175.6 ± 6.1 ^{ab}	57.4 ± 0.6 ^a	45.2 ± 1.8 ^a
	2	10.9 ± 0.2 ^a	14.9 ± 0.2 ^a	167.4 ± 7.2 ^{abcd}	171.8 ± 4.8 ^b	53.0 ± 2.3 ^{ab}	47.6 ± 1.3 ^a
	4	10.8 ± 0.1 ^{ab}	14.5 ± 0.2 ^{ab}	185.0 ± 7.3 ^a	188.8 ± 5.0 ^a	56.8 ± 2.4 ^a	45.6 ± 1.8 ^a
	16	10.0 ± 0.2 ^c	13.7 ± 0.2 ^c	152.8 ± 8.5 ^{de}	156.4 ± 3.5 ^{cd}	45.2 ± 2.3 ^{cd}	40.2 ± 1.5 ^b
	32	10.0 ± 0.2 ^c	12.4 ± 0.1 ^d	145.8 ± 4.7 ^e	172.6 ± 3.8 ^b	43.6 ± 1.6 ^{cd}	46.8 ± 1.3 ^a
40	0	10.2 ± 0.2 ^c	13.9 ± 0.2 ^{bc}	156.2 ± 5.2 ^{bcd}	147.8 ± 6.5 ^d	43.0 ± 1.4 ^d	36.8 ± 1.6 ^b
	2	10.3 ± 0.1 ^{bc}	12.5 ± 0.1 ^d	166.2 ± 6.3 ^{bcd}	170.8 ± 7.4 ^{bc}	48.4 ± 2.4 ^{bcd}	39.4 ± 1.5 ^b
	4	10.7 ± 0.0 ^{ab}	14.7 ± 0.3 ^a	174.6 ± 5.3 ^{ab}	180.4 ± 3.3 ^{ab}	49.6 ± 1.7 ^{bc}	45.0 ± 1.8 ^a
	16	1.01 ± 0.2 ^c	12.0 ± 0.1 ^d	143.4 ± 6.1 ^e	148.0 ± 2.2 ^d	47.2 ± 1.9 ^{bcd}	38.5 ± 1.1 ^b
	32	10.4 ± 0.1 ^{bc}	11.8 ± 0.3 ^d	154.2 ± 5.1 ^{cde}	147.4 ± 6.2 ^d	46.8 ± 2.1 ^{cd}	39.8 ± 1.5 ^b

Values indicate mean ± SE. Values with same letters are not significantly different within each column at 5% level by DMRT.

다. 두 품종 모두 무 처리구(0 mM)에서는 2 Gy와 4 Gy에서 대조구보다 약간씩 증가하였으나 다소 높은 선량인 16 Gy와 32 Gy에서는 감소하였다. 또한, 염 처리구에서는 저선량 방사선에 의한 증가 효과가 뚜렷하였는데 특히 4 Gy에서 유의성 있는 증가를 보였다. 다음으로, 생체중에서는 간척벼가 일품벼보다 초장이 높았던 것과는 달리 품종간에 차이가 거의 없었으나, 염 처리에 의한 생육억제는 초장에서보다 높아 10% 이상 생육이 감소되었다. 또한 저선량 방사선에 의한 생육 증가 효과는 간척벼의 염 처리구에서만 나타나 2 Gy와 4 Gy에서 각각 170.8 mg과 180.4 mg으로 대조구 147.8 mg 보다 16-22% 정도 증가하였다. 생체중을 측정할 식물체를 바로 70°C 건조기에서 3일간 건조시킨 후 측정할 건물중의 결과는 다음과 같다. 무 처리구에서는 초장과 생체중의 결과와 비슷하게 다소 높은 선량인 16 Gy와 32 Gy에서는 생육이 대체로 감소하였고 2 Gy와 4 Gy에서는 대체로 증가하는 경향을 보였다. 그러나, 염 처리구에서는 일품벼와 간척벼의 대조구 43.0 mg과 36.8 mg 보다 모든 선량에서 건물중이 증가하였으며, 그 중 가장 높은 값은 4 Gy의 49.6 mg과 45.0 mg으로 각각 15%와 22%의 증가를 보였다.

식물체가 염 스트레스를 받으면 줄기와 뿌리 생육이 모두 감소하게 되는데, 염해 발생 시 뿌리 발달의 촉진은 염 스트레스에 대해 내성 증진을 유도하는 것으로 알려져 있다^{20,21}. 이에, 저선량 방사선에 의한 염 스트레스 경감 효과를 줄기와 뿌리에서 초기전량에 대한 단위시간당 건물중의 증가를 나타내는 상대생장을 검정을 통해 관찰하였다(Table 2). 전체 상대생장은 염 처리와 관계없이 일품벼가 간척벼보다 높았으며, 염 처리에 의해서는 두 품종 모두 50% 정도 억제되었다. 무 처리구에서의 저선량 방사선 효과는 줄기와 뿌리에서 모두 2 Gy와 4 Gy에서 나타났으나 유의적인 차이를 보이지는 않았

고, 줄기에서의 간척벼 32 Gy를 제외하고는 16 Gy와 32 Gy에서 모두 낮은 상대생장을 보였다. 무 처리구와는 달리 염 처리구에서의 저선량 방사선 효과는 유의적인 차이를 보였다. 특히 4 Gy에서 줄기 상대생장의 경우는 일품벼와 간척벼 각각 대조구 0.094%와 0.054%에 비해 32-48%까지 증가하였으며, 뿌리의 상대생장은 일품벼보다 간척벼에서 뚜렷한 차이를 보여 저선량 방사선의 효과를 확인 할 수 있었다.

이상의 결과로 볼 때, 염 스트레스에 일반적으로 약한 작물로 알려진 벼에서 40 mM의 염 처리는 일품벼와 간척벼 두 품종 모두에서 생육을 억제시키는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 벼의 유묘생존율이 34 mM에서 감소한다고 보고한 Yeo와 Flowers²²의 결과와 일치함을 알 수 있었다. 또한 염 스트레스에 대한 생육억제는 저선량 방사선에 의해 경감 효과를 보이는 것으로 나타났는데 이는 저선량 방사선 조사에 의해 다양한 환경 스트레스에서 작물의 생육과 광합성 억제가 경감되었다고 보고한 결과와 일치하는 것으로 나타났다¹⁴⁻¹⁶. 또한 Hwangbo 등²³은 인위적인 노화 처리를 한 콩종자에서 4 Gy의 저선량 방사선 조사에 의해 초기발아율이 향상되었음을 보고하였고, 이외에도 Kim 등²⁴은 4 Gy를 조사한 배추에서 병해 발생이 억제되었다는 보고하였는데, 본 실험에서도 4 Gy 조사구에서 염 스트레스에 대해 경감효과가 나타나, 다양한 스트레스에서 경감 효과를 나타내는 저선량 방사선의 적정 선량이 4 Gy임을 확인 할 수 있었다. 또한 비교적 높은 선량인 16 Gy와 32 Gy에서는 대체로 낮은 생장을 보였는데 이는 고추의 초기생육이 비교적 낮은 선량에서 향상되었다고 보고한 결과와 일치함을 알 수 있었다⁸.

염 스트레스를 받은 식물체는 조직 내에서 이온의 저해 작용 및 불균형과 삼투압 장애로 탈수가 발생하면서 생육이 억제된다고 보고되어 있다²⁵. 이러한 염 스트레스 시 발생하는

Table 2. Effects of the gamma-irradiation on relative growth rate under the salt stress in two rice cultivars

NaCl (mM)	Dose (Gy)	Relative growth rate (%)					
		Shoot		Root		Total	
		Ilpumbyeo	Gancheokbyeo	Ilpumbyeo	Gancheokbyeo	Ilpumbyeo	Gancheokbyeo
0	0	0.129 ± 0.002 ^{ab}	0.082 ± 0.006 ^{abc}	0.124 ± 0.001 ^a	0.086 ± 0.009 ^{ab}	0.128 ± 0.001 ^a	0.084 ± 0.006 ^a
	2	0.129 ± 0.006 ^{ab}	0.092 ± 0.005 ^a	0.091 ± 0.007 ^{bc}	0.093 ± 0.004 ^a	0.114 ± 0.007 ^{ab}	0.092 ± 0.004 ^a
	4	0.135 ± 0.005 ^a	0.085 ± 0.006 ^{ab}	0.107 ± 0.008 ^{ab}	0.085 ± 0.008 ^{ab}	0.124 ± 0.006 ^a	0.085 ± 0.006 ^a
	16	0.099 ± 0.009 ^c	0.063 ± 0.006 ^{cde}	0.078 ± 0.006 ^{cd}	0.075 ± 0.007 ^{abc}	0.091 ± 0.007 ^{cd}	0.067 ± 0.006 ^b
	32	0.097 ± 0.005 ^c	0.099 ± 0.003 ^a	0.071 ± 0.007 ^{cd}	0.068 ± 0.010 ^{bc}	0.087 ± 0.006 ^d	0.090 ± 0.004 ^a
40	0	0.094 ± 0.007 ^c	0.054 ± 0.007 ^e	0.070 ± 0.003 ^{cd}	0.054 ± 0.008 ^{cd}	0.085 ± 0.004 ^d	0.054 ± 0.006 ^b
	2	0.122 ± 0.006 ^{ab}	0.063 ± 0.007 ^{de}	0.065 ± 0.010 ^d	0.065 ± 0.008 ^{bcd}	0.101 ± 0.007 ^{bcd}	0.064 ± 0.006 ^b
	4	0.124 ± 0.004 ^{ab}	0.080 ± 0.007 ^{abcd}	0.075 ± 0.008 ^{cd}	0.089 ± 0.006 ^{ab}	0.106 ± 0.005 ^{bc}	0.084 ± 0.006 ^a
	16	0.110 ± 0.007 ^{bc}	0.070 ± 0.004 ^{bcde}	0.079 ± 0.004 ^{cd}	0.045 ± 0.007 ^d	0.098 ± 0.006 ^{bcd}	0.062 ± 0.004 ^b
	32	0.112 ± 0.006 ^{bc}	0.068 ± 0.007 ^{bcde}	0.069 ± 0.011 ^{cd}	0.060 ± 0.003 ^{cd}	0.096 ± 0.007 ^{cd}	0.066 ± 0.006 ^b

Values indicate mean ± SE. Values with same letters are not significantly different within each column at 5% level by DMRT.

피해에 대해 식물체의 내성 정도를 판단할 수 있는 여러 생리적 지표 중, 세포막에서의 물질 이동 능력을 확인 할 수 있는 전기전도도 측정과 세포의 수분평형 관계를 비교할 수 있는 상대수분함량 측정은 비교적 간단하게 확인할 수 있는 지표들이다^{19,26)}. 이에 저선량 방사선에 의한 염 스트레스 경감 효과를 조직의 막투과성 정도와 상대수분함량의 변화를 통해 확인한 결과는 다음과 같다. 두 품종 모두에서 조직의 막투과성은 40 mM의 염 처리에서 무 처리구에 비해 4배 이상 피해가 증가한 것으로 나타났는데(Fig. 1), 이는 염 농도가 증가하면서 막투과성의 피해가 증가한다고 보고한 Maribel 등¹⁸⁾의 결과와 일치한다. 그러나 생육에서 염 스트레스에 대해 경감 효과를 보인 4 Gy 조사구는 40 mM의 대조구에 비해 일품벼는 24%, 간척벼는 10% 정도의 피해 억제 효과를 보였다. 다음으로, 상대수분함량의 변화는 Fig. 2에서 보는 바와 같다. Gadallah²⁷⁾는 염 스트레스가 상대수분함량의 감소를 유도한다고 하였는데 본 연구에서도 염 처리에 의해 상대수분함량이 30% 정도 감소하였다. 또한 막투과성 피해 억제 효과와 같이 상대수분함량에서도 저선량 방사선 조사 효과를 확인할

수 있었다.

이러한 저선량 방사선에 의한 효과는 식물 이외에도 동물이나 세포 수준에서 많은 연구가 이루어지고 있으나 저선량 방사선이 생체내에의 어떠한 기작에 관여하여 활성이 일어나는지는 아직 뚜렷하게 밝혀지지 않아 좀 더 구체적인 연구가 필요하며 는 아직 알 수 없으나 방사선의 이용측면에서도 지속적인 연구가 수행되어야 할 것으로 사료된다.

요 약

염 스트레스 하에서 벼 생육에 대한 저선량 방사선의 경감효과를 확인하기 위해 일품벼와 간척벼 두 품종에 저선량 감마선을 0-32 Gy 수준으로 조사하였다. 염 처리에 따른 생장반응은 무 처리구에 비해 두 품종 모두 염 처리구에서 생육이 감소하였으며, 조장과 생체중보다 건물중에서 더 많은 감소를 보였다. 이외에도 초기건량에 대한 단위시간당 건물 증가를 나타내는 상대생장율을 관찰한 결과, 전체 상대생장율이 염 처리구에서 50% 이상 억제되었다. 그러나 이러한

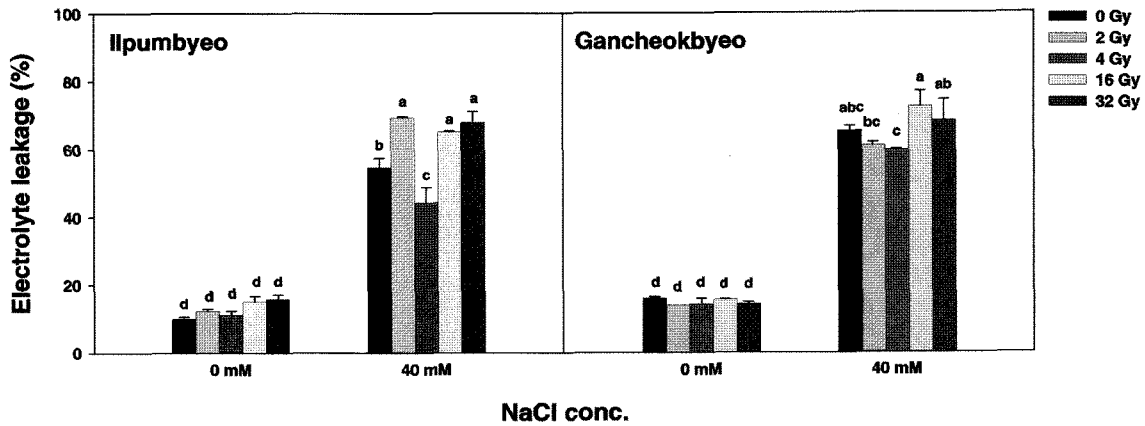


Fig. 1. Effects of the gamma-irradiation on electrolyte leakage under the salt stress in two rice cultivars. Vertical bars indicate ± SE. Bars with same letters are not significantly different within each column at 5% level by DMRT.

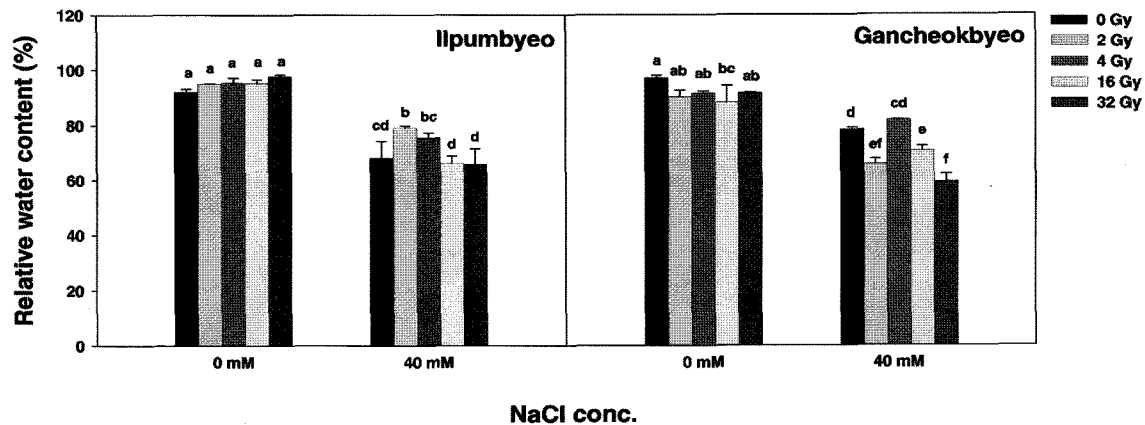


Fig. 2. Effects of the gamma-irradiation on relative water content under the salt stress in two rice cultivars. Vertical bars indicate ± SE. Bars with same letters are not significantly different within each column at 5% level by DMRT.

생육억제는 저선량 방사선에 의해 경감됨을 확인할 수 있었다. 특히, 줄기 상대생장율의 경우 염 처리시 4 Gy 조사구가 대조구보다 30% 이상의 경감효과를 보였다. 또한 염 스트레스에 대한 조직의 막투과성 정도는 염 처리에 의해 4배 정도 피해를 보였으나 4 Gy 조사구에서 10% 이상의 경감효과를 보였으며, 상대수분함량도 30% 정도의 감소를 보인 염 처리구에서 저선량 방사선의 효과를 확인할 수 있었다. 이러한 결과를 통해, 저선량 방사선이 염 스트레스에 대한 저해 효과를 경감시키는 것으로 사료된다.

감사의 글

이 연구는 과학기술부의 원자력연구개발사업의 일환으로 수행되었음.

참고문헌

- Flowers, T. J. and Yeo, A. R. (1995) Breeding for salinity resistance in crop plants: where next?, *Aust. J. Plant Physiol.* 22, 875-884.
- Choung, J. I., Yu, S. J., Oh, M. K., Baek, N. H., Ko, J. K. and Lee, J. K. (2002) Varietal responses of rice growth and yield to soil salt content, *Kor. J. Crop Sci.* 47, 422-426.
- Lee, I. S. (2002) In vitro selection and characterizations of gamma radiation-induced salt tolerance lines in rice, Ph.D. Thesis, Chungnam National University, Daejeon.
- Balasubramanian, V. and Rac, S. (1977) Physiology basis of salt tolerance in rice, *Pl. physiol. section, Tamil Nagada Agri. Univ. India.* 26, 291-294.
- Luckey, T. D. (1980) Hormesis with ionizing radiation, CRC press. Inc. Boca Raton, Florida.
- Kim, J. S. and Lee, Y. B. (1998) Ionizing radiation hormesis in crops, *Kor. J. Environ. Agri.* 17, 76-85.
- Kim, J. S., Lee, Y. K., Back, M. W., Lee, Y. B. and Park, Y. S. (1999) Influence of the low dose γ -ray radiation on the old seed germination and growth of chinese cabbage, *Kor. J. Environ. Biol.* 17, 11-15.
- Lee, E. K., Kim, J. S., Lee, Y. K. and Lee, Y. B. (1998) Effect of low dose γ -ray irradiation on the germination and growth in red pepper (*Capsicum annuum* L.), *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 39, 670-675.
- Campos, F. F. and Velasco, E. G. (1962) Comparative effect of cobalt⁶⁰ on plant character of two recommended Philippine lowland rice varieties, *Philipp. Agric.* 46, 93-95.
- Kaiwdl, K. and Rosner, M. (1965) The accelerating effect of small radiation doses on plant, *Bayerisches Landwirtschaftliches Jahrbuch* 42, 11-29.
- Vlasyuk, P. A. (1964) Effect of ionizing radiation on the physiological-biochemical properties and metabolism of agricultural plants, *Inst. Fiziol. Biokhim, Rast. SSR.* 24-31.
- Kim, J. S., Lee, E. K., Back, M. H., Park, H. S. and Kim, K. H. (1999) Effect of low dose of gamma radiation on the growth of groundnut (*Arachis hypogaea* L.), *Kor. J. Environ. Biol.* 17, 257-261.
- Kim, J. S., Lee, Y. K., Park, H. S., Back, M. H. and Kim, D. H. (2000) Influence of low dose gamma radiation on the growth of maize (*Zea mays* L.) varieties, *Kor. J. Environ. Agri.* 19, 328-331.
- Kim, J. S., Lee, E. K., Lee, Y. K. and Lee, Y. B. (1999) Influence of artificial acid rain on the growth of soybean irradiated with low dose gamma radiation, *Kor. J. Environ. Agri.* 18, 245-249.
- Lee, H. Y., Kim, J. S., Baek, M. H., Park, S. C. and Park, Y. I. (2002) Effects of low dose γ -radiation on photosynthesis of red pepper (*Capsicum annuum* L.) and the reduction of photoinhibition, *Kor. J. Environ. Agri.* 21, 83-89.
- Lee, H. Y., Kim, J. S., Baek, M. H., Yoo, J. C. and Kwon, S. T. (2003) Effects of low dose γ irradiation on physiological activities of radish (*Raphanus sativus*) during early growth and reduction of ultraviolet-B stress, *Kor. J. Horti. Sci.* 44, 314-320.
- Niels, W. H. and Roger, J. B. (1970) *Manual on Radiation Dosimetry*, Mard Dekker Inc., New York.
- Maribel, L., Dionisio, S. and Satoshi, T. (1998) Antioxidant responses of rice seedlings to salinity stress, *Plant Sci.* 135, 1-9.
- Barr, H. D. and Weatherley, P. E. (1962) A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficit in leaves, *Aust. J. Biol. Sci.* 15, 413-428.
- Chuan, C. L. and Ching, H. K. (1996) Proline accumulation is associated with inhibition of rice seedling root growth caused by NaCl, *Plant Sci.* 114, 121-128.
- Aeschbacher, R. A., Schiefelbein, J. W. and Benfey, P. N. (1994) The genetic and molecular basis of root development, *Ann. Rev. of Plant Physiol. and Plant Mol. Biol.* 45, 25-45.
- Yeo, A. R. and Flowers. T. J. (1982) Accumulation

- and localization of sodium ions within the shoots of rice (*Oryza sativa* L.) varieties differing in salinity resistance, *Physiol. Plant* 56, 189-195.
23. Hwangbo, J. K., Kim, J. S., Lim, J. H., Baek, M. H. and Chung, B. Y. (2003) Alterations in seed vigour and viability of soybean related with accelerated seed aging and low dose gamma irradiation, *Kor. J. Crop Sci.* 48, 334-338.
24. Kim, J. S., Lee, E. K., Song, J. Y., Kim, H. K. and Lee, Y. B. (2000) Induction of resistance against *Phyphthora Blight* of pepper by low dose gamma ray radiation, *Kor. J. Environ. Biol.* 18, 47-51.
25. Dubey, R. S. (1994) Protein synthesis by plants under stressful conditions, In: M. Pessarakli (Ed), *Handbook of Plant a Crop Stress*, Marcel Dekker, New York. Pp 277-299.
26. Shin, S. H. (2002) Physiological and anatomical characteristics of salt-tolerance of rice (*Oryza sativa* L.) varieties, Ph.D. Thesis, Chonnam National University, Kwangju.
27. Gadallah, M. A. A. (1999) Effect of proline and glycine-betain on *Vicia faba* responses to salt stress, *Biol. Plant.* 42, 247-279.