

벼의 종자 발아와 생육 및 광합성에 대한 저선량 감마선과 생장조절물질의 상승작용 효과

백명화 · 정병엽* · 김진홍 · 위승곤 · 김재성 · 이인중¹

한국원자력연구소 방사선이용연구부, ¹경북대학교 농학과

Synergistic Effects of Low Dose Gamma Irradiation and Growth Regulators on Seed Germination, Growth and Photosynthesis in Rice (*Oryza sativa* L.)

Myung-Hwa Baek, Byung Yeoup Chung*, Jin-Hong Kim, Seung Gon Wi,
Jae-Sung Kim and In-Jung Lee¹

Radiation Application Research Team, Korea Atomic Energy Research Institute, Daejeon 305-353, Korea

¹Department of Agronomy, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

Abstract - To investigate the synergistic effects of low dose gamma irradiation and growth regulators on the growth and photosynthesis in rice (*Oryza sativa* L.), laboratory and greenhouse experiments were conducted using 4-year-old rice seeds. In the laboratory experiment, the germination rate was increased in 0.001 ppm IBA treatment, showing the synergistic effect of gamma irradiation and growth regulators. The seedling growth was increased by treatment of GA₃ and IBA, the irradiated groups having higher than the non-irradiated ones. Particularly, it was remarkable in 0.001 ppm IBA. In greenhouse experiment, seedling growth was increased in response to a combination of gamma irradiation and 0.001 ppm IBA. Effective quantum yield of PSII (Φ_{PSII}) and photochemical quenching (qP) were increased, while non-photochemical quenching (qN) was decreased by 0.001 ppm IBA. A synergistic effect of gamma irradiation and IBA was only found in seedling growth. The present results suggest that low dose gamma irradiation and growth regulator could synergistically stimulate seedling growth.

Key words : synergistic effect, low dose gamma irradiation, growth regulator, photosynthesis, rice

서 론

새로운 작물과 의약품 개발에 필요한 우량 유전자원의 확보와 보존은 각국의 농업 경쟁력 확보와 꾸준히

늘어나는 세계 인구의 만성적인 영양부족 상태를 극복하기 위해 요구되고 있으며, 이와 더불어 종자의 경쟁력 확보 또한 농업생산성 향상에 매우 필요하다.

종자의 경쟁력은 품질과 가격에 의해 결정될 수 있는데 품질 가운데 중요한 요인이 높은 발아력이다(강 등 2000). 종자의 발아력을 향상시키는 방법에는 화학적 중피파상 처리(Hemmat *et al.* 1985), 생장조절물질 처리

* Corresponding author: Byung Yeoup Chung, Tel. 042-868-8691, Fax. 042-868-8061, E-mail. bychung@kaeri.re.kr

(Karssen 1995), 유기용매 처리(Persson 1993), priming 처리(Dahal *et al.* 1990) 등이 있으며, 이 중 생장조절물질을 이용한 종자처리는 휴먼타파와 함께 불량조건에서 발아증진 및 유효 생장촉진에 유용하다고 알려져 있다(Karssen 1995).

유해작용을 가진 물질이 유해량 이하의 투여에서는 생물체를 자극한다는 법칙과 관련한 방사선 hormesis 연구가 방사선 생물학 분야에서 활발히 수행되고 있는데(Luckey 1980), 작물의 발아 증진 효과가 벼, 콩, 들깨 등의 곡물류 종자와 배추, 고추 등의 채소종자에서 보고되고 있다(김과 이 1998; 김 등 2001a, b). 이러한 방사선 hormesis 작용은 대상식물, 종자상태, 환경 및 재배조건, 측정하는 생리적 기능, 선량율과 선량에 따라 다르게 나타나며(Luckey 1980), 특히 종자 수준에서는 신규종자보다 묵은 저장종자에서 발아가 촉진되고(김 등 2000a), 채종 종자에서도 활력이 낮은 종자의 발아율이 더 증가되는 것으로 보고되어 있다(김 등 2002a). 저선량 방사선에 의한 hormesis 작용은 종자의 발아 증대 이외에 초기생육 및 수량 증가(김과 이 1998, 김 등 2000b), 기내에서의 묘 생장(Charbaji and Nabulsi 1999)과 괴경형성 촉진(Bassam *et al.* 2000) 그리고 약배양 증진(Ding *et al.* 1991) 등에 대해 보고되어 있다. 이외에도 당근의 광합성과 핵산 합성(Vlasyuk 1964), 겨자의 호흡과 catalase 활성(Garg *et al.* 1972), 파와 시금치의 전분분해와 glutamic acid decarboxylase 활성(김 등 2000a), 해바라기의 탄수화물 함량(Thiede *et al.* 1995), 옥수수의 광합성(Koepp and Kramer 1981) 등이 저선량 방사선에 의해 증가되었다고 보고되어 있다. 또한 95%의 자가 작물인 벼는 게놈 크기가 작아 gene bank 사업 및 genomics 등의 연구가 활발히 이루어 지고 있는데 이들 연구는 게놈 크기가 큰 보리 및 밀 등의 연구에 기초가 되고있다. 이런 관점에서 벼의 hormesis 연구는 경제적 이익이 크나 유통기한이 지나면 회수되어 폐기 처분되는 채소종자의 활용도를 높이기 위한 hormesis 연구에 효율적으로 활용될 수 있어 종묘회사에 경제적인 이익을 창출 할 수 있다.

한편, 종자 발아나 생육 촉진에 관여하는 여러 물질들은 단독처리에 의한 효과와 더불어 다른 물질과의 복합처리에 의해 상승작용을 나타내기도 하는데, 식물 생장조절물질 중 부정근 형성에 주도적인 역할로 상업적으로도 발근촉진물질로서 많이 이용되는 옥신의 경우 앱시스산과와 혼용 처리 시, 두 호르몬간의 복합작용으로 식물 발근에 상승적인 작용을 한다고 보고되어 있다(Davis 1998). 그러나, 방사선 hormesis 작용은 주로 종자나 식물체에 저선량 방사선을 직접 조사하여 그 효과를 규명하는데 주력 해 왔으며, 다른 물리·화학적 물질

과의 복합작용에 의한 연구는 수행된 바가 없다.

이에 본 실험에서는 종자 발아 향상에 기여하는 저선량 방사선과 생장조절물질 간의 상승작용을 확인하기 위해 4년간 저장한 벼 묵은 종자에 저선량 방사선을 조사한 후 지베렐린, 옥신, 시토키닌 류의 생장조절물질을 농도별로 처리하여 기내에서 발아와 생육 양상을 관찰하였다. 또한 기내 실험에서 상승작용 효과가 가장 뚜렷이 나타난 처리구를 선발하여 온실생육과 더불어 열록소 형광을 통해 광합성 효율을 측정하였다.

재료 및 방법

1. 기내 실험

본 시험의 공시재료로는 4년간 실온 저장한 설악벼(*Oryza sativa* L.) 종자를 사용하였다. 저선량 방사선 조사는 한국원자력연구소에서 보유중인 저준위조사시설을 이용하여 γ 선을 4 Gy와 8 Gy 수준으로 건조종자에 직접 조사하였는데(^{60}Co irradiator, AECL, dose rate: 2 Gy h^{-1}), 이는 Luckey (1980)가 보고한 종자의 LD₅₀ 수준인 200~400 Gy보다 25~100배 정도 낮은 선량이다. 또한 선량율은 5 mm 직경의 알라닌 도시미터(Bruker Instruments, Rjeomstettem, Germany)를 이용하여 측정하였으며, 자유라디칼은 Bruker EMS 104 EPR 분석기를 이용하여 측정하였다. 실제 선량과 목적 선량 사이의 편차는 $\pm 2\%$ 이었다. 방사선 조사 직후 직경 9 cm petridish에 여과지(Whatman No. 2) 2장씩을 깔고, 3% hypochlorite 용액에서 15분간 소독한 종자를 50립씩 5반복으로 파종한 후, 생장조절물질인 GA₃(Gibberellic acid), BAP(6-Benzylaminepurine), IBA(indole-3-butyric acid)를 0, 0.0001, 0.001 ppm 세 수준의 농도로 하여 petridish에 10 mL씩 공급하였다. 30°C에서 초기 3일은 암상태, 이후에는 16시간의 광주기를 가지는 조건에서 실시하였다. 발아율 조사는 파종 2일 후부터 실시하였으며 발아개체 판정은 유근이 2mm 이상 신장된 것으로 하였다. 파종 6일 후에는 임의표본추출에 의해 30개체에 대한 초장과 근장을 조사하였다.

2. 온실재배 실험

저선량 방사선과 생장조절물질의 상승작용에 대한 기내 실험에서 효과가 가장 뚜렷이 나타난 처리구를 선발하여 온실 실험을 수행하였다. 기내 실험과 동일한 조건으로 방사선 조사와 소독을 마친 종자는 다음과 같은 방법으로 파종하였다. 직경 2 cm의 구멍 96개가 뚫린 2

cm 두께의 스티로폼에 망사를 부착하여 0.001 ppm IBA를 포함한 수경액이 채워진 plastic tray 위에 띄운 다음 각 구멍마다 1립씩 치상 하였다. IBA 무처리구로는 수경액을 사용하여 동일한 방법으로 파종하였다. 수경액은 기본 영양 기준을 충족하는 1/2 MS (Murashige and Skoog 1962) 배지를 사용하였다. 파종 20일 후 임의표본 추출에 의해 30개체의 유향을 선별하여 초장과 근장을 측정하였다.

3. 엽록소 형광 측정

엽록소 형광은 IMAGING-PAM (Walz, Germany)을 이용하여 측정하였다. 잎 절편을 10분간 암 적용 시킨 후 Fo(반응중심이 열려 있을 때의 형광)와 Fm(암 적용 후 최대 형광)을 측정하였다. 엽록소 형광 소멸은 actinic light 조건에서 잎 절편이 지속적으로 광합성을 수행하는 동안 포화광을 조사하여 분석하였다. 광계 2의 최대 광화학 효율인 Fv/Fm, 광계 2의 양자수율인 ΦPSII, 그리고 광화학·비광화학적 형광소멸인 qP와 qN이 각각 Krause와 Weis (1991), Genty 등 (1989), van Kooten와 Snel (1990)의 정의에 기초하여 다음과 같이 계산되었다.

$$\Phi_{PSII} \text{ (effective quantum yield)} = (Fm' - F) / Fm'$$

$$qP \text{ (photochemical quenching)} = (Fm' - F) / (Fm' - Fo')$$

$$qN \text{ (non-photochemical quenching)} = (Fm - Fm') / (Fm - Fo')$$

4. 데이터 분석

데이터의 통계적 유의성은 통계 프로그램인 SPSS Release 11 (SPSS Inc. Illinois, USA)를 이용하여 분석하였다.

결과 및 고찰

1. 종자발아에 대한 상승작용 효과

저선량 방사선을 조사한 벼 종자에 생장조절물질을 처리하여 기내 실험을 통해 관찰한 발아율은 Fig. 1에서와 같다. 발아 초기인 파종 2일 후의 발아율을 조사한 결과, 대조구 21.3%에 비해 방사선 조사구에서는 9% 정도 증가하였고 생장조절물질 처리에 의해서는 종류와 상관없이 0.001 ppm 농도에서 초기발아가 향상되었는데 유의적인 차이는 부분적으로 생장조절물질 처리에서만 인정되었다. 또한, 저선량 방사선과 생장조절물질을 혼합 처리 했을 시는 BA 처리에서만 발아가 증가하였다. 파

종 3일 후부터 조사한 발아율에서는 저선량 방사선과 생장조절물질 각각에 대해서는 별다른 차이를 보이지 않았으나, 혼합처리 시에는 IBA 0.001 ppm을 공급한 처리구에서 최종 발아 시까지 가장 높은 값을 보여 종자 발아에 대한 저선량 방사선과 생장조절물질 간의 상승작용 효과를 확인할 수 있었다. 초장의 경우는 방사선 조사구에서 2.54 cm로 대조구 2.22 cm에 비해 14% 증가하여 유의성 있는 효과를 보였으나 근장에서는 별다른 차이를 보이지 않았다. 또한, 생장조절물질 처리에 의해서는, GA₃의 경우는 대조구와 방사선 조사구 모두

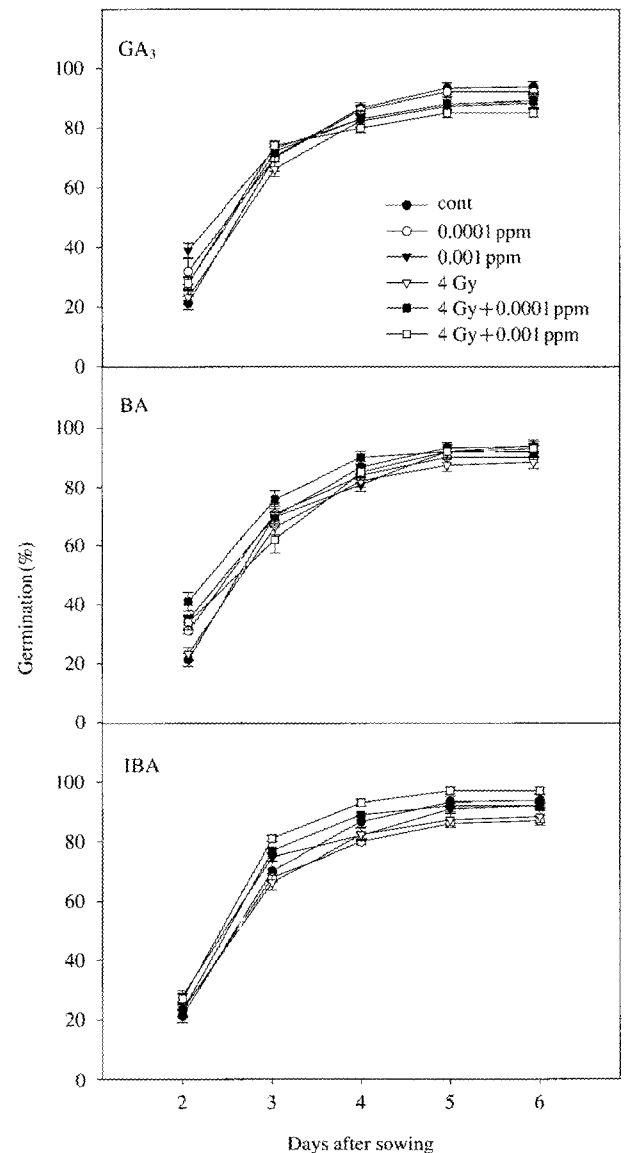


Fig. 1. Changes in the germination rate of the rice by low dose gamma irradiation and growth regulators. GA₃: Gibberellic acid, BA: Benzyladenin, IBA: Indole-3-butyric acid. Mean ± SE (n=5).

Table 1. Changes in the shoot and root length of the rice seedling by low dose gamma irradiation and growth regulators

Dose (Gy)	Conc. (ppm)	GA ₃		BA		IBA	
		Shoot	Root	Shoot	Root	Shoot	Root
Control	0	2.22 ± 0.05 ^{cd}	2.74 ± 0.11 ^{ab}	2.22 ± 0.05 ^{bc}	2.74 ± 0.11 ^a	2.22 ± 0.05 ^c	2.74 ± 0.11 ^a
	0.0001	2.47 ± 0.13 ^{abc}	2.07 ± 0.19 ^c	1.98 ± 0.08 ^c	2.87 ± 0.18 ^a	2.36 ± 0.09 ^{abc}	3.14 ± 0.22 ^a
	0.001	2.09 ± 0.13 ^d	2.51 ± 0.17 ^{bc}	2.13 ± 0.06 ^{bc}	2.90 ± 0.16 ^a	2.30 ± 0.08 ^{bc}	2.73 ± 0.21 ^a
4	0	2.54 ± 0.07 ^{ab}	2.76 ± 0.12 ^{ab}	2.54 ± 0.07 ^a	2.76 ± 0.12 ^a	2.54 ± 0.07 ^{ab}	2.76 ± 0.12 ^a
	0.0001	2.60 ± 0.14 ^a	3.05 ± 0.15 ^a	2.28 ± 0.08 ^b	2.52 ± 0.16 ^a	2.42 ± 0.08 ^{abc}	2.80 ± 0.18 ^a
	0.001	2.27 ± 0.12 ^{bcd}	2.42 ± 0.18 ^{bc}	2.12 ± 0.07 ^{bc}	2.71 ± 0.19 ^a	2.61 ± 0.10 ^a	2.94 ± 0.18 ^a

GA₃: Gibberellic acid, BA: Benzyladenin, IBA: Indole-3-butyrac acid. Mean ± SE (n = 30). Values with same letters are not significantly different within each column at 5% level by DMRT.

0.0001 ppm에서 10% 이상의 증가를 보였는데 그 효과가 방사선 조사구에서 더 현저하였다. 한편, BA 처리에 의해서는 별다른 차이를 보이지 않았다. 다음으로, IBA의 경우는 발아에서도 확연한 차이를 보인 방사선 조사구의 0.001 ppm에서 2.61 cm로 대조구 2.22 cm보다 18% 증가하였고 이와 더불어 대조구의 0.001 ppm보다도 유의성 있는 증가를 보여, 모든 처리구 중 가장 뚜렷한 차이를 보였다(Table 1).

이상의 결과로 저선량 방사선과 생장조절물질 처리에 의해 묵은 벼 종자의 발아율과 유묘 생육이 증가됨을 확인하였는데, 그 효과는 저선량 방사선과 생장조절물질을 각각 처리 한 것보다는 혼합처리 시 더 뚜렷하였다. 특히 방사선을 조사한 후 IBA 0.001 ppm을 처리했을 시 가장 뚜렷한 상승작용 효과를 보였다. 저선량 방사선 조사한 작물에서의 종자 발아와 초기생육 촉진에 대한 효과는 김과 이(1998) 및 Luckey (1980)에 의해 종합적으로 고찰되었으며, 특히 묵은 종자에서의 초기발아와 생육이 저선량 방사선에 의해 향상되었다고 하였는데(김 등 2001a, b), 본 실험에서도 묵은 벼 종자에서 저선량 방사선 효과를 확인 할 수 있었다. 또한 저선량 방사선과 생장조절물질 간의 상승작용 효과가 생장조절물질의 종류에 따라 다르게 나타났는데 이는 저선량 방사선에 의한 hormesis 작용이 대상 식물, 종자 상태, 환경 및 재배 조건 등에 따라 다르게 반응한다고 보고한 Luckey (1980)와 일치하였다. 특히, 생장조절물질에 의한 효과가 GA₃와 IBA 처리에 비해 BA처리에서 별다른 차이를 보이지 않았는데 이는 시토키닌이 단독으로는 발아를 촉진시키지 못하나 지베렐린이 존재할 때 발아촉진의 상승효과를 가진다고 한 Khan(1975)의 보고와 일치하였다.

2. 유묘 생육과 광합성 효율에 대한 상승작용 효과

기내 실험에서 저선량 방사선과 생장조절물질 간의 상승작용 효과가 가장 뚜렷이 나타난 처리구를 선발하

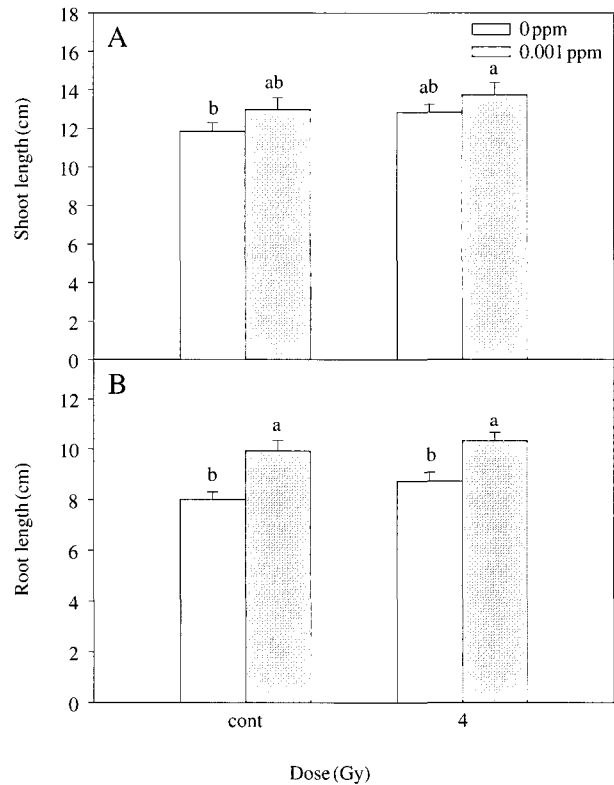


Fig. 2. Changes in the shoot and root length of the rice seedling by low dose gamma irradiation and IBA treatment. IBA: Indole-3-butyrac acid. Mean ± SE (n = 30). Data with same letters are not significantly different within each column at 5% level by DMRT.

여 온실에서 유묘 생육과 더불어 광합성 효율을 측정하였다. 초장의 경우, 대조구 11.9 cm에 비해 방사선 조사구와 IBA 처리구에서 8~9% 증가하였으며 저선량 방사선을 조사 한 후 IBA를 공급한 처리구에서는 16% 증가한 13.8 cm로 가장 높은 생육을 보였다(Fig. 2A). 또한, 근장에서도 같은 경향을 보여 유묘 생육에 대한 저선량 방사선과 생장조절물질 간의 상승작용 효과를 확인할

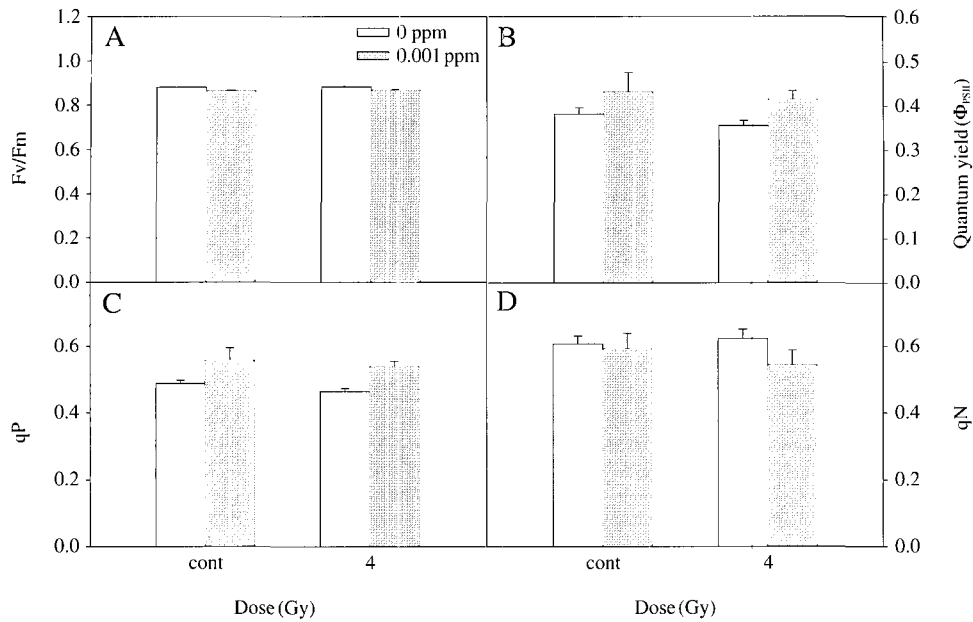


Fig. 3. Changes of the chlorophyll fluorescence parameters in the rice leaves by low dose gamma irradiation and IBA treatment. Fv/Fm: the maximum photochemical efficiency of PSII, Φ_{PSII} : the effective quantum yield of PSII, qP and qN: the photochemical and non-photochemical quenching. IBA: Indole-3-butryic acid. Mean \pm SE (n = 3).

수 있었다(Fig. 2B).

저선량 방사선과 성장조절물질을 처리한 벼 유묘에서의 광합성 효율의 변화를 알아보기 위해 엽록소 형광을 측정하였다. 엽록소 형광은 주로 엽록소 a에서 방출되며 광합성과 밀접한 관계가 있다는 것이 밝혀진 이후로 여러 가지 엽록소 형광지표들이 광합성 분석을 위해 개발 및 사용되고 있다. 이러한 형광지표들 중 Fo는 반응중심이 열려 있을 때의 최소형광을 말하며, Fm은 QA를 완전히 환원시킬 수 있는 포화형광을 조사했을 때에 최대형광을 말한다. Fv는 Fm-Fo를 뺀 값을 말하는데, Fv/Fm는 광계 2의 활성을 나타내주는 지표로 일반적으로 최대 광합성 효율을 의미한다(김재성 2002b). Fig. 3A에서 보는 바와 같이 Fv/Fm 값은 대조구의 경우 0.88로 저선량 조사와 성장조절물질 처리 간에 차이가 거의 없었다. 그러나 광계 2의 양자 수율을 나타내주는 Φ_{PSII} 는 대조구의 값이 0.380인 반면, IBA 처리구와 저선량 조사한 후 IBA를 공급한 처리구에서 각각 14%와 11% 증가하여 빛 에너지의 실이용률이 증가됨을 확인할 수 있었다(Fig. 3B). 식물체가 빛을 흡수하면 광화학 반응에 이용하거나 비광화학적 과정을 통해 에너지를 발산시키기 때문에 광화학적 소멸과 비광화학적 소멸을 측정하여 벼 식물체의 에너지 분산 변화에 대해 확인할 수 있다. 이에 각각 광화학적 소멸과 비광화학적 소멸을 나타내는 형광지표인 qP와 qN을 측정하였다. qP는 대조구

0.487에 비해 IBA 처리에 의해서는 10% 정도 증가하였으나 저선량 방사선에 의한 효과는 보이지 않았다(Fig. 3C). 이외는 달리 qN은 IBA 처리구에서 낮은 값을 보였는데 그 값이 저선량 방사선 조사에 의해 더 감소되었다(Fig. 3D).

이상의 결과를 종합해 보면, 기존에 확인되었던 저선량 방사선의 효과가 성장조절물질과의 혼합처리에 의해서도 상승작용 효과를 나타내 유묘 생육을 촉진시킬 수 있었으나, 광합성 능력에서는 성장조절물질 처리에 의해서만 부분적으로 차이를 보이는 것으로 확인되었다. 그러나 이 두 요인이 어떠한 기작에 영향을 미쳐 상승작용 효과를 나타내는지는 작물의 성장 단계별로 좀 더 구체적인 연구가 수행되어야 할 것이다.

적 요

벼의 유묘 생육과 광합성 효율에 대한 저선량 방사선과 성장조절물질 간의 상승작용 효과를 확인하기 위해 4년 된 종자로 기내실험과 온실실험을 수행하였다. 기내실험에서 관찰한 종자 발아의 경우 방사선을 조사한 IBA 0.001 ppm 처리구에서 가장 높은 값을 보였다. 또한, 파종 6일 후 측정된 유묘 생육은 방사선 무 조사구보다 방사선을 조사한 GA₃와 IBA 처리구에서 대체로 높은

값을 보였으며, 그 중 IBA 0.001 ppm 처리에서 저선량 방사선과 생장조절물질간의 유의성 있는 상승작용 효과를 확인 할 수 있었다. 저선량 방사선을 조사 한 후 IBA 0.001 ppm을 처리하여 관찰한 온실 실험에서도 유묘 생육에서의 상승작용 효과를 확인할 수 있었다. 광합성 효율을 확인하기 위해 측정된 엽록소 형광은 생장조절물질에 의해서만 차이를 보여, IBA 처리에 의해 광계 2의 양자 수율을 나타내주는 Φ_{PSII} 와 광화학적 소멸을 나타내는 qP는 증가하였고 비광화학적 소멸을 나타내는 형광지표인 qN은 감소하였다.

이러한 결과를 통해 저선량 방사선을 조사한 후 생장 조절물질을 처리하였을 때 벼의 종자 발아와 더불어 생육이 두 요인간의 상승작용 효과로 촉진됨을 확인할 수 있었다.

사 사

이 연구는 과학기술부의 원자력연구개발사업의 일환으로 수행되었음.

참 고 문 헌

- 강재순, 최영환, 손병구, 안종길, 조정래. 2000. 박 종자의 발아촉진을 위한 Hydropriming 처리 효과. 한국원예과학기술지. 41:559-564.
- 김재성, 이영복. 1998. 저선량 전리방사선에 의한 작물의 활성 증진. 한국환경농학회지. 17:76-85.
- 김재성, 이은경, 백명화, 김동희, 이영복. 2000a. 저선량 감마선이 채소 발아종자의 생리활성에 미치는 영향. 한국환경농학회지. 19:58-61.
- 김재성, 이영근, 박홍숙, 백명화, 김동희. 2000b. 옥수수 생육에 미치는 저선량 감마선 조사효과. 한국환경농학회지. 19:328-331.
- 김재성, 백명화, 김동희, 이영근, 정규희. 2001a. 묵은 채소 종자의 발아와 생육 및 효소활성에 미치는 γ 선의 영향. 한국환경생물학회지. 19:205-210.
- 김재성, 백명화, 이해연, 이영근. 2001b. 묵은 고추종자의 발아와 생리활성에 미치는 저선량 방사선조사 효과. 대한방사선 방어학회지. 26:409-415.
- 김재성, 백명화, 이영근, 이해연, 유준철. 2002a. 참박과 호박 종자의 발아촉진을 위한 저선량 감마선의 효과. 한국환경농학회지. 21:202-207.
- 김재성, 이해연, 백명화, 김재호, 김승열. 2002b. 씨감자의 휴면조절과 생육 및 생리활성에 미치는 저선량 γ 선의 효과. 한국원예학회지. 43:596-602.
- Bassam A-S, A Zouheer and J Dana. 2000. The effect of gamma irradiation on potato microtuber production in vitro. Plant cell, Tissue and Organ Culture 61:183-187.
- Charbaji T and I Nabulsi. 1999. Effect of low doses of gamma irradiation on *in vitro* growth of grapevine. Plant cell, Tissue and Organ Culture 57:129-132.
- Dahal P, KJ Bradford, RA Jones. 1990. Effects of priming and endosperm integrity on seed germination rates of tomato genotypes. J. Exp. Bot. 41:1431-1439.
- Davis TD. 1998. Effect of shoot growth retardants and inhibitors on adventitious rooting. pp 174-184. In Adventitious root formation in cuttings (Davis TD, BE Haissing and N Sankhla eds.). Dioscorides Press, Oregon.
- Ding XL, DJ Luckett and NL Darvey. 1991. Low-dose gamma irradiation promotes wheat anther culture response. Aust. J. Bot. 39:467-74.
- Garg CK, B Tirwari and 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., 42:53.
- Genty B, JM Briantais and NR Baker. 1989. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. Biochim. Biophys. Acta 90:87-92.
- Hemmat M, GW Zeng and AA Khan. 1985. Responses of intact and scarified culy dock (*Rumex crispus*) seeds to physical and chemical stimuli. Weed Sci. 33:658-664.
- Karssen CM. 1995. Hormonal regulation of seed development, dormancy, and seed germination studied by genetic control. pp.333 ~ 350. In Seed development and germination (Kigel J and G Gali eds.). Marcel Dekker, Inc. New York.
- Khan AA. 1975. Primary, preventive and permissive roles of hormones in plant systems. Bot. Review 41:391-420.
- Koepp R. and M Kramer. 1981. Photosynthetic activity and distribution of photoassimilated ^{14}C in seedlings of *Zea mays* grown from gamma-irradiated seeds. Photosynthetica 15:484-493.
- Krause GH and E Weis. 1991. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics. Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 42:313-349.
- Luckey TD. 1980. Hormesis with ionizing radiation, CRC Press, Florida.
- Murashige T and Skoog F. 1962 A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue culture. Physiol. Plant 15:473-497.
- Persson B. 1993. Enhancement of seed germination in ornamental plants by growth regulators infused via acetone. Seed Sci. Technol. 21:218-290.
- Thiede ME, O Link, RJ Fellows and PA Beedlow. 1995. Effects of gamma radiation on stem diameter growth, carbon gain and biomass partitioning in *Helianthus annuus*. Environ.

Exp. Bot. 35:33-41.

van Kooten O and FH Snel. 1990. The use of chlorophyll fluorescence nomenclature in plant stress physiology. Photosynth. Res. 25:147-150.

Vlasyuk PA. 1964. Effect of ionizing radiation on the physiological biochemical properties and metabolism of agricul-

tural plants. Inst. Fiziol. Biokhim. Rast. SSR. 24-31.

Manuscript Received: November 3, 2004

Revision Accepted: January 20, 2005

Responsible Editorial Member: Jin Kyu Kim
(KAERI)