Journal of Radiation Industry 13(3) : 173~178(2019)

양성자빔 및 감마선 조사에 대한 벼 종자의 감수성 평가 및 돌연변이 유기 적정 선량 규명

이성일[1] · 박재완[1] · 한성민[2] · 김진백[1] · 강시용[1] · 최홍일[1,*]

[1]한국원자력연구원 첨단방사선연구소 방사선육종연구실, [2]국립생태원 LMO연구팀

Evaluation of Radiosensitivity of Rice (*Oryza sativa* L.) Seeds Exposed to Proton Beams and Gamma Rays and Investigation of Optimal Doses for Mutation Induction

Sung-Il Lee[1], Jae-Wan Park[1], Sung-Min Han[2], Jin-Baek Kim[1], Si-Yong Kang[1] and Hong-Il Choi[1,*]

[1]*Advanced Radiation Technology Institute, Korea Atomic Energy Research Institute, 29, Geumgu-gil, Jeongeup-si, Jeollabuk-do 56212, Republic of Korea*
[2]*LMO Research Team, National Institute of Ecology (NIE) Seocheon 33657, Republic of Korea*

Abstract - In mutation breeding, ionizing radiations are widely used as physical mutagens. Proton beams (PBs) are known to have physically intermediate properties between low linear energy transfer (LET) gamma rays (GRs) and high LET ion beams, but their mutational effects have still not been characterized. This study was conducted to estimate the biological effect of proton beam irradiation compared with gamma irradiation and investigate the optimal dose for mutation induction in rice. Rice seeds were irradiated using a 100 MeV Linear Accelerator (TR103) at the Korea Multi-Purpose Accelerator Complex for PBs and a ^{60}Co gamma irradiator at the Advanced Radiation Technology Institute for GRs, with doses of 50, 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 600, and 700 Gy in both cases. The PB irradiated seeds did not germinate from 500 Gy or higher doses, whereas the GR irradiated seeds did not germinate from 600 Gy or higher doses. The dose showing a half germination rate against the control was 200 Gy and 350 Gy for PBs and GRs, respectively. The median lethal dose and the median reduction dose (RD50) values estimated by analyzing the survival rates, and growth of the four-week-old seedlings was 150 Gy and 175 Gy for PBs, and 250 Gy and 300 Gy for GRs, respectively. These results suggest that the biological damage of PBs is more severe than that of GRs at the same dose. To induce mutations using PBs in rice, doses from 100 to 150 Gy seem to be proper.

Key words : Proton beams, Gamma-rays, Median lethal dose (LD_{50}), Median reduction dose (RD_{50})

서 론

쌀은 옥수수, 밀에 이은 세계 3대 주요 식량으로 세계 인구의 45%가 쌀을 주식으로 이용하며 쌀겨나 짚은 동물의 사료로 이용되고 있다(Maruyama *et al*. 2005; Scheibler *et al*. 2015; Singh *et al*. 2005). 전 세계의 인구는 2050년에 90억명까지 증가할 것으로 예측되고 있으나, 현재의 식량작물 생산량은 계속해서 늘어나는 세계 인구의 식량 수요를 충족시

* Corresponding author: Hong-Il Choi, Tel. +82-63-570-3298, Fax. +82-63-570-3319, E-mail. hichoi@kaeri.re.kr

키기에는 충분하지 않으며 제한적인 자원을 가지고 농업 생산성을 경제적으로 증가시키는 것 또한 어렵다(Green *et al*. 2005). 작물의 생산성 면에 있어 병충해, 가뭄, 고/저온, 염분, 자외선 등과 같은 생물학적 및 비생물학적 스트레스가 큰 영향을 미치기 때문에 생산성 증대를 위해 다양한 종류의 스트레스에 대응할 수 있는 유전자원이나 품종의 개발이 필요한 상황이다(Almeida *et al*. 2016; Mahmood *et al*. 2019).

최근 국내 쌀 생산량은 2018년 376만 톤으로, 2011년의 410만 톤 이후로 감소세를 보이고 있다(KOSIS, 2019). 국내 쌀 생산량 감소는 식생활의 다양화로 인한 쌀 소비량의 감소에 따른 재배면적의 감소가 주요 원인일 것으로 추정된다. 하지만 최근 식습관 및 삶의 질에 대한 인식 변화로 인해 고영양, 고기능성 쌀에 대한 선호도가 증대하고 있으며, 가공적성이 좋은 특수미 육성 및 이를 소재로 한 떡류, 주류, 과자류 등의 식품 개발 분야도 시장규모가 확대되고 있기 때문에 이에 대응하기 위한 새로운 유전자원 및 품종의 개발도 요구되고 있다(Yoon *et al*. 2011; Hong *et al*. 2012).

돌연변이 육종은 신규 유전 변이를 유도하여 육종적 가치를 높이는 방법으로 교배에 의한 전통 육종과 비교해 우량한 품종을 대상으로 소수의 형질 개량에 유리한 육종 방법이다(Aamir *et al*. 2018). 2019년 현재 FAO-IAEA 돌연변이 품종 데이터베이스에 3,300여 품종이 등록되어 있으며, 우리나라는 벼, 보리, 무궁화 등 41품종을 등록한 바 있다(FAO/IAEA 2019). 돌연변이 육종에 사용되는 돌연변이원은 크게 화학적 돌연변이원인 ethyl methane sulphonate, diethyl sulphate, ethyleneimine 등의 화학물질과 물리적 돌연변이원인 X선, 감마선, 중성자 등의 방사선으로 나눌 수 있다(Bae *et al*. 2005). 화학적 돌연변이원은 돌연변이가 높은 빈도로 유발되는 장점이 있지만 염기서열 치환 변이가 주로 일어나기 때문에 변이 양상이 제한적이며, 유해 물질로 다루기가 어렵고 처리가 어려운 단점이 있다(Penna *et al*. 2015). 방사선은 X선, 감마선 등의 저준위 선원과 이온빔, 우주선 등의 고준위 선원으로 나뉘는데, 방사선 조사로 인한 DNA 이중가닥의 결손, 역위, 전좌 등의 유전자 변이가 일어나게 된다(Penna *et al*. 2015). 감마선과 같은 물리적 돌연변이원은 취급이 쉽고, 다양한 종류의 식물체에 적용이 가능한 장점이 있으며 식물돌연변이 육종 연구는 감마선을 이용한 연구가 많이 진행되어 왔다(Sidrak and Suess 1973; Naito *et al*. 2005). 최근 감마선 외에도 이온빔, 고속중성자빔, 양성자빔 등다양한 방사선원을 활용한 식물돌연변이 연구가 보고되고 있으며, 대표적으로 모델식물인 애기장대나 주요 식량작물인 밀, 벼, 콩에 이용한 사례들이 보고되었다(Wu and Yu 2001; Qin *et al*. 2007; Kim and Kim 2013; Yamaguch 2018). 돌연변이원 처리시 돌연변이 유기를 위한 적정 선량은 일반적으로 M_1 세대의 생존율 및 초기 생육에 기반하여 결정되며, M_2 세대 이후에서 나타나는 돌연변이체의 개체비율을 통해 돌연변이율을 추산할 수 있다(Yamaguchi *et al*. 2009; Kang *et al*. 2013; Ryu *et al*. 2014).

본 연구는 벼에서 양성자가속기를 이용하여 돌연변이를 유기하고 육종에 활용하기 위한 가이드라인을 구축하고자 벼 종자를 대상으로 양성자빔과 감마선을 조사하여 감수성 및 생육 반응을 비교하였다.

재료 및 방법

1. 양성자빔 및 감마선조사

정읍 한국원자력연구원 첨단방사선연구소 시험 포장에서 수확한 '일품' 품종의 종자를 사용하였다. 겉겨를 벗겨낸 현미 상태의 종자를 35 × 10 mm 페트리 디시에 담아 조사시료를 준비하였다. 양성자빔 조사는 경주 양성자가속기연구센터의 TR103 가속기를 이용하여 빔 에너지 100 MeV로 50, 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 600, 700 Gy의 선량에 대해 spread-out Bragg peak 기술 미적용하여 조사하였다. 감마선 조사는 양성자빔과의 비교 목적으로 첨단방사선연구소 저준위 조사시설을 사용하였다. 8시간 동안 각 선량율을 6.25, 12.5, 18.75, 25, 31.25, 37.5, 50, 62.5, 75, 87.5 Gy h^{-1}로 조사하여 각 처리구별 총 조사선량은 양성자빔과 동일하게 하였다.

2. 감수성 및 생육반응 평가

양성자빔 및 감마선 처리 종자에 대하여 종자 소독 후 수도용 상토를 담은 포트에 각 선원 및 선량별로 1공당 5립씩 총 50립을 3반복으로 파종하였다. 파종 10일 후 유묘가 1 cm 이상 돌출한 것을 발아한 것으로 간주하여 발아율을 측정하였다. 파종 30일 후 생존율과 생육을 검정하였다. 생존율은 조사일 기준 생존한 개체의 수를 조사하였으며, 생육검정은 생존 개체를 대상으로 지상부와 지하부의 길이를 측정하였다.

결 과

1. 양성자빔 및 감마선 처리구 간 발아율과 생존율 검정 및 비교

새로운 돌연변이원으로써 양성자빔을 육종에 활용하기 위해 벼 종자를 대상으로 양성자 빔을 조사하여 감수성 및 생육 반응을 확인하였다. 양성자가속기연구센터에서 제공한 양성자빔의 실제 조사선량에 기반한 요구선량 대비 오차율(|(요구선량 − 실제 조사선량)|/요구선량 × 100)은 최소 0% 에서 최대 4.4%로, 대체로 요구선량과 비슷하게 조사된

Table 1. Proton beam irradiation to rice seeds using the TR103 beam line.

Asked dose (Gy)	Beam energy (MeV)	Irradiated dose (Gy)	Irradiation error rate (%)
50	97	50.09	0.2
100	97	99.91	0.1
150	97	149.9	0.1
200	97	200	0.0
250	97	250	0.0
300	97	300	0.0
400	97	400.2	0.0
500	97	481.1	3.8
600	97	573.4	4.4
700	97	698.1	0.3

것을 확인하였다(Table 1).

각 선원 및 선량별 발아율 검정 결과 양성자빔과 감마선 처리 모두 최소 조사선량보다 높은 선량에서 발아율이 높게 나타났다(Fig. 1). 양성자빔 처리구에서는 최소 조사선량인 50 Gy보다 100 Gy에서 높은 발아율을 보였으며, 이후 150, 200, 250, 300, 400 Gy로 선량이 높아짐에 따라 발아율이 감소하였다. 감마선 처리구에서는 50 Gy보다 100 Gy, 100 Gy보다 150 Gy에서 높은 발아율을 보였으며, 그 이후로는 양성자빔 처리와 유사하게 200, 250, 300, 400, 500 Gy로 선량이 높아질수록 발아율이 감소하였다. 동일 선량의 양성자빔과 감마선 처리구를 비교할 경우 양성자빔 처리구에서 감마선 처리구에 비해 발아율이 최소 6%부터 최대 42%까지 낮았으며, 양성자빔 150 Gy와 감마선 200 Gy에서 유사한 발아율을 보였다. 양성자빔과 감마선 처리구 모두 600 Gy 이상에서는 발아하지 못하였는데 양성자빔 처리구에서는 400 Gy와 500 Gy 모두 0.7%의 낮은 발아율을 보였다. 반면 감마선 처리구의 400 Gy 발아율은 32%로 대조구 대비 40% 수준을 보였으며, 500 Gy의 발아율은 2%로 크게 낮아졌다.

파종 30일 후 수행한 생존율 검정에서는 양성자빔과 감마선 처리구 사이에 약간 다른 양상을 나타내었다(Fig. 2). 감마선 처리구의 경우 발아율 양상과 유사하게 50 Gy에서 낮아졌다가 100, 150 Gy에서 높은 생존율을 보인 후 보다 높은 선량에서는 생존율이 감소하는 양상을 보였다. 양성자빔 처리구의 경우 발아율 양상과는 다르게 선량 증가에 따른 생존율의 선형 감소세가 뚜렷하였다. 생존율 검정에 기반한 치사선량은 양성자빔 쪽에서 더 낮게 나타났는데, 양성자빔 처리구는 400 Gy부터 식물체가 생존하지 못한 반면 감마선 처리구의 경우 500 Gy 처리구에서도 식물체가 생존하였다(Fig. 2). 감마선 500 Gy 처리구에서 발아율(2%)보다 생존율(3%)이 소폭 높게 나타났는데, 그 이유는 발아율 검정 시 출현하지 않았던 개체들이 후에 출현하여 생존한 것으로 보인다. 생존율이 방사선 미처리구에 비해 감소하는 어깨선량(shoulder dose)은 감마선에서 150~200 Gy 사이, 양성자빔에서 50 Gy였으며, 절반이 살아남지 못하는 LD50 (lethal dose 50%)은 감마선에서 약 250 Gy, 양성자빔에서는 150 Gy로 나타났다(Fig. 2).

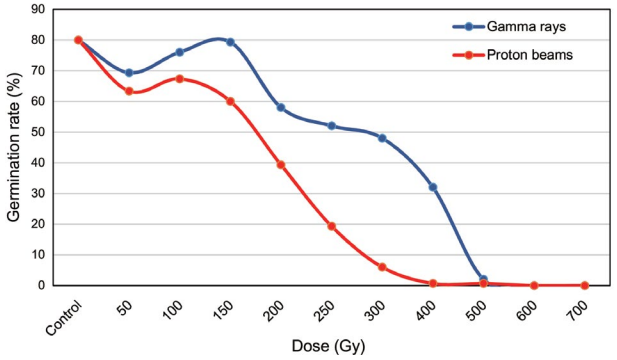

Fig. 1. Germination rates between gamma ray and 100 MeV proton beam irradiated rice seeds at ten days after sowing. One hundred and fifty seeds were used for each treatment.

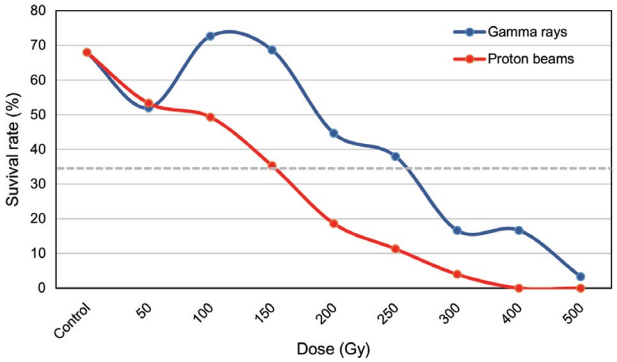

Fig. 2. Survival rates between gamma ray and 100 MeV proton beam irradiated rice seeds at four weeks after sowing. One hundred and fifty seeds were used for each treatment. One hundred and fifty seeds were used for each treatment. Gray dotted lines indicate 50% survival of the non-irradiated controls.

2. 양성자빔 및 감마선 처리구 간 생육 검정 및 비교

파종 30일 후 식물체의 지상부와 지하부 길이 측정을 통해 처리구별 생육 반응을 살펴보았다(Figs. 3 and 4). 지상부와 지하부 모두 양성자빔과 감마선 처리 선량이 증가할수록 생육이 감소하였다. 양성자빔 처리구에서는 선량이 증가할수록 생육이 저해되는 선형 감소세가 뚜렷하였다. 감마선 처리구의 경우 50, 100, 150 Gy 처리구에서는 유사한 수준으로 미처리구 대비 생육이 소폭 저해된 양상을 보이다가 200 Gy 이후부터 뚜렷한 감소 양상을 보였다. 선량을 기준으로 가장 높은 감마선 500 Gy 처리구 생존 식물체의 경우 지상부 평균 2.2 cm, 지하부 평균 0.44 cm로 생육이 미처리구 대비 12% 수준에 그쳤으며, 양성자빔 300 Gy 처리구에서 비슷한 수준

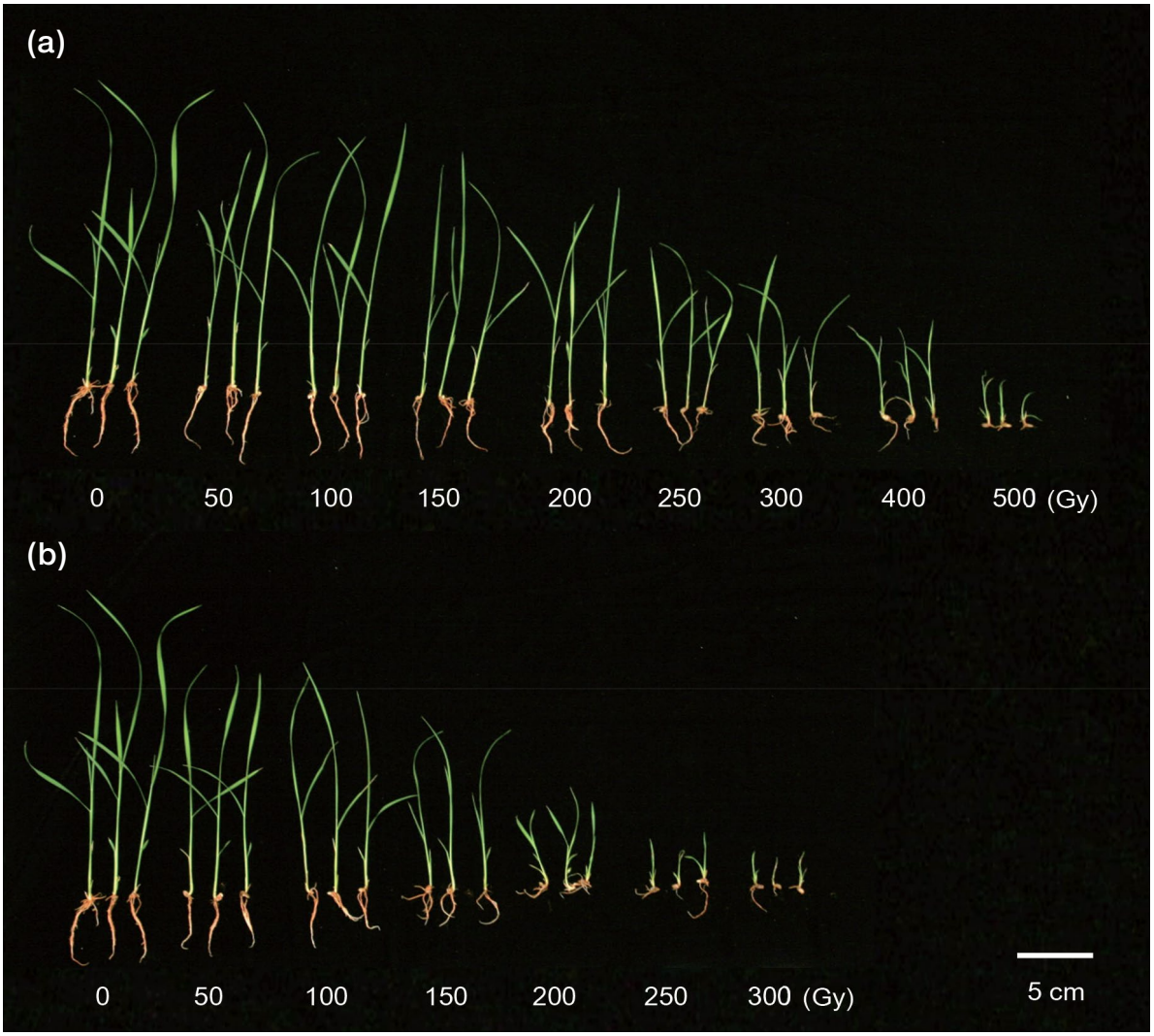

Fig. 3. Seedlings from (a) gamma ray and (b) 100 MeV proton beam irradiated rice seeds rice seeds at four weeks after sowing.

의 생육이 관찰되었다. 미처리구 대비 생육이 감소하기 시작하는 어깨선량은 감마선에서 150 Gy, 양성자빔에서 50 Gy로 볼 수 있으며, 생육이 절반으로 떨어지는 선량인 RD50 (reduction dose 50%)은 양성자빔 처리 시 150에서 200 Gy 사이, 감마선처리 시 250에서 300 Gy 사이로 추정된다.

고 찰

돌연변이 육종 연구 분야는 감마선을 이용한 연구가 50% 이상을 차지하고 있으며, 화학적 돌연변이원을 이용한 연구가 11%, 이온빔을 이용한 연구가 1% 미만으로 미비한 편이다(Penna *et al*. 2015). 방사선 육종 분야에서 선원의 다변화는 전 세계적인 추세이며, 새로운 선원을 이용할 경우 각각의 연구대상 식물을 대상으로 조사선량에 따른 감수성을 검정하고 돌연변이를 유기하기 위한 적정 조건을 탐색하게 된다. 본 연구에서 사용한 경주 양성자가속기센터의 100 MeV 양성자가속기는 2013년 준공되어 물리학 분야를 비롯한 소재, 나노, 바이오, 환경, 의료 등 각종 분야의 연구에 활용되고 있다(Kim 2016). 해당 가속기를 돌연변이 방사선 육종에 활용하기 위해 벼와 콩을 대상으로 57 MeV 양성자빔을 조사하여 생육반응을 살펴본 사례가 있다(Lee *et al*. 2015; Im *et al*. 2017). 요구선량에 근접하게 방사선을 조사하는 것은 돌연변이원으로의 활용에 있어 중요한 요인 중 하나인데, 앞서 보고된 벼와 콩 두 사례 모두 실제 조사선량이 애초 요구선량과는 상당한 차이가 있는 것으로 보인다. 본 연구 이전 예비실험으로 수행했던 빔조사에서도 최소 2%에서 최대 18.8%까지 요구선량 대비 조사선량의 오차율을 나타내었다(데이터 미공개). 반면 본 연구에서는 오차율이 0에서 최대 4.4%로 비교적 정확하게 조사되었다. 이는 빔라인 안정 및 빔조사 경험 증대 등으로 인해 개선이 된 것으

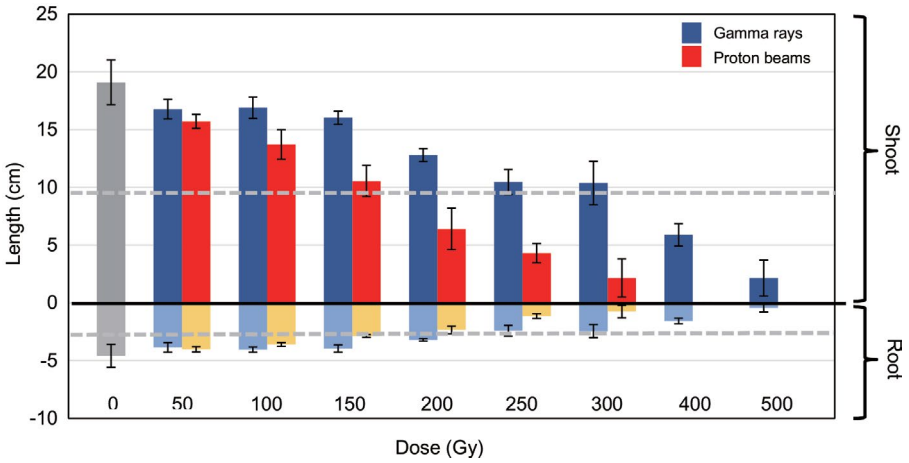

Fig. 4. Growth test between gamma ray and 100 MeV proton beam irradiated rice seeds at four weeks after sowing. Gray dotted lines indicate 50% growth of the non-irradiated controls.

로 추정되며, 향후 양성자빔이 방사선 육종을 위한 돌연변이원으로써 유용하게 사용될 수 있음을 의미한다.

돌연변이 유기를 위한 적정 선량은 생존 및 생육 감소 양상에 기반하여 결정하게 되는데, 보통 대조구에 비해 생존 및 생육이 감소하기 시작하는 어깨선량부터 절반이 되는 LD_{50}과 RD_{50} 선량 사이에서 결정된다(Yamaguchi *et al*. 2009; Cvejić *et al*. 2011; Ryu *et al*. 2012). 생존율과 생육 양상의 전반적인 그래프 형태 및 LD_{50}과 RD_{50} 값으로 미뤄볼 때, 같은 선량에서 감마선에 비해 100 MeV 양성자빔이 주는 생물학적 영향이 더 큰 것으로 보인다. 어깨선량과 LD_{50}, RD_{50} 선량에 근거하여 벼에서 100 MeV 양성자빔을 활용한 돌연변이 유기 적정 선량을 100~150 Gy로 결정하였으며, 이에 상응하는 감마선 조사선량은 170~250 Gy로 보인다.

결 론

벼 종자를 대상으로 양성자빔 및 감마선을 조사하여 발아율과 생존율 및 초기 생육 양상을 측정하여 비교하고, 돌연변이 유도를 위한 양성자빔 조사 적정 선량을 규명하였다. 기존 보고에 비해 양성자빔의 요구선량 대비 실제 조사선량의 정확도가 향상되었으며, 감마선 처리구와 비교했을 때 같은 선량에서 양성자빔 처리에 의해 받는 생물학적 영향이 더 큰 것을 확인하였다. 어깨선량 및 LD_{50}과 RD_{50} 선량 추정치를 기준으로 볼 때 100 MeV 양성자빔을 이용한 돌연변이 유기에는 100~150 Gy가 적정 조사선량으로 추정되며 이에 상응하는 감마선 조사선량은 170~250 Gy로 보인다. 본 연구를 통해 도출한 결과는 향후 벼에서 돌연변이 유기 및 집단 전개를 위한 양성자가속기 이용 빔조사에 활용될 것이다.

사 사

본 연구는 과학기술정보통신부 재원의 방사선기술개발사업(NRF-2017M2A2A6A05018543)을 지원받아 수행되었습니다.

참 고 문 헌

Aamir R, Rafiul AL, Roshan J, Ruhul A, Shahnawaz K, Mohd RW, Nahida TN and Samiullah K. 2018. Mutation breeding for crop improvement. In Introduction to challenges and strategies to improve crop productivity in changing environment. 303-317.

Almeida DM, Almadanim MC, Lourenco T, Abreu IA, Saibo NJ and Oliveira MM. 2016. Screening for abiotic stress tolerance in rice: salt, cold, and drought. *Methods Mol. Biol.* **1398**:155-182.

Bae CH, Chai JS, Kim JH, Yang TG, Lyu JI, Lee HY and Yang DC. 2015. Characteristics of tobacco and rice plants irradiated with neutron beam. *Korean J. Plant Res.* **18**(3):359-366.

Cvejić S, Afza R, Jocić S, Prodanović S, Miklič V, Škorić D and Dragin S. 2011. Radiosensitivity of sunflower inbred lines to mutagenesis. *HELIA*. **34**(54):99-106.

FAO/IAEA. 2019. http://mvd.iaea.org.

Green RE, Cornell SJ, Scharlemann JP and Balmford A. 2005. Farming and the fate of wild nature. *Science*. **307**(5709):550-555.

Hong HC, Kim YG, Choi YH, Yang SJ, Lee KS, Lee JH, Jung OY, Yang CI, Cho YC, Choi IS and Baek MK. 2012. New cultivar developed : A medium-maturing, giant-embryo, and

germination brown rice cultivar “Keunnun” *Plant Breed. Biotechnol*. **44**(2):160-164.

Im JH, Kim WJ, Kim SH and Ha BK. 2017. Effects of proton beam irradiation on seed germination and growth of soybean (*Glycine max* L. Merr.). *J. Korean Phys. Soc*. **71**(11):752-757.

Lee JH, Lee AR and Kwon SW. 2015. Effect of proton beam irradiation on M1 seeds and seedling growth in rice. *Plant Breed Biotechnol*. **3**(4):384-388.

Kang EJ, Lee YM, Sung SY, Ha BK, Kim SH, Kim DS, Kim JB and Kang SY. 2013. Analysis of the genetic relationship of gamma-irradiated in vitro mutants derived from standard-type chrysanthemum cv. Migok. *Hortic. Environ. Biotechnol*. **54**(1):76-81.

Kim KY. 2016. Future of the KOMAC 100-MeV proton accelerator. In *Physics & High Technology*. **25**(1/2):21-26

Kim SK and Kim HY. 2013. Effect of high proton beam irradiation on pasting properties of rice starch. *J. Crop Sci. Biotechnol*. **16**(2):161-166.

Kimura M and Ohta T. 1971. Protein polymorphism as a phase of molecular evolution. *Nature*. **229**(5285):467-469.

KOSIS. 2019. http://kosis.kr.

Mahmood ur R, Ijaz M, Qamar S, Bukhari SA and Malik K. 2019. Chapter 27 - Abiotic stress signaling in rice crop. In Advances in rice research for abiotic stress tolerance. 551-569. Woodhead publishing.

Maruyama S, Yokoyama I, Asai H, Sakaguchi S, Ohtani T, Yokota H and Kita K. 2005. Influence of ripening stages on the quality of whole crop silage and grain silage of fodder rice. *Asian-Australas. J. Anim. Sci*. **18**(3):340-344.

Naito K, Kusaba M, Shikazono N, Takano T, Tanaka A, Tanisaka T and Nishimura M. 2005. Transmissible and non-transmissible mutations induced by irradiating arabidopsis thaliana pollen with gamma-rays and carbon ions. *Genetics*. **169**(2):881-889.

Penna S, Mirajkar S and Bhagwat SG. 2015. Chapter 23 - Induced mutations and crop improvement. In Plant biology and biotechnology. 593-617.

Qin HL, Wang YG, Xue JM, Miao Q, Ma L, Mei T, Zhang WM, Guo W, Wang JY and Gu HY. 2007. Biological effects of protons targeted to different ranges in arabidopsis seeds. *Int. J. Radiat. Biol*. **83**(5):301-308.

Ryu JH, So HS, Lyu JI, Kwon OD, Lee YI, Jin ID, Lee HY and Bae CH. 2012. Genetic variation analysis of early-heading plant (*Oryza sativa* L.) lines derived from gamma-ray irradiation. *Korean J. Plant Res*. **25**(1):142-151.

Ryu JH, Im SB, Kim DS, Ahn JW, Kim JB, Kim SH and Kang SY. 2014. Effects of gamma-ray irradiation on growth characteristics and DNA damage in licorice (*Glycyrrhiza uralensis*). *J. Radiat. Indust*. **8**(2):89-95.

Scheibler RB, Schafhäuser J, Rizzo FA, Nörnberg JL, Vargas DP, Silva JLS, Fluck AC and Fioreze VI. 2015. Replacement of corn grain by brown rice grain in dairy cow rations: nutritional and productive effects. *Anim. Feed Sci. Technol*. **208**:214-219.

Sidrak GH and Suess A. 1973. Effects of low doses of gamma radiation on the growth and yield of two varieties of tomato. *Radiat. Bot*. **13**(6):309-314.

Singh N, Kaur L, Sodhi NS and Sekhon KS. 2005. Physicochemical, cooking and textural properties of milled rice from different Indian rice cultivars. *Food Chemistry*. **89**(2):253-259.

Wu L and Yu Z. 2001. Radiobiological effects of a low-energy ion beam on wheat. *Radiat. Environ. Biophys*. **40**(1):53-57.

Yamaguchi H. 2018. Mutation breeding of ornamental plants using ion beams. *Breed. Sci*. **68**(1):71-78

Yamaguchi H, Hase Y, Tanaka A, Shikazono N, Degi K, Shimizu A and Morishita T. 2009. Mutagenic effects of ion beam irradiation on rice. *Breed. Sci*. **59**(2):169-177.

Yoon MR, Chun AR, Oh SK, Ko SH, Kim DJ, Hong HC, Choi IS and Lee JH. 2011. Korean physicochemical properties of endosperm starch and bread making quality of rice cultivars. *J. Crop Sci*. **56**(3):219-225

Received: 20 May 2019
Revised: 13 June 2019
Revision accepted: 4 July 2019