

방사선 처리가 메밀 종자 수확에 미치는 영향

최정민¹⁺, 한경덕²⁺, 허 성³, 정용석^{4*}

¹제주대학교 식물자원환경학과 대학원생, ²제주대학교 아열대원예산업연구소 연구원, ³공주대학교 원예학과 교수, ⁴제주대학교 식물자원환경학과 교수

Effect of Radiation Treatment on Buckwheat Seed Harvest

Jung Min Choi¹⁺, Gyung Deok Han²⁺, Seong Heo³, Yong Suk Chung^{4*}

¹Graduate Student, Plant Resources and Environment major, Jeju National University, Jeju 63243, Korea

²Researcher, Subtropical Horticulture Research Institute, Jeju National University, Jeju 63243, Korea

³Professor, Department of Horticulture, Kongju National University, Cheonan 32588, Korea

⁴Professor, Plant Resources and Environment major, Jeju National University, Jeju 63243, Korea

*Corresponding author: Yong Suk Chung (E-mail: yschung@jejunu.ac.kr)

†These authors contributed equally to this work.

ABSTRACT

Received: 8 June 2021

Revised: 17 June 2021

Accepted: 7 July 2021

The need for crop breeding to cope with population growth and climate change is increasing. Securing various genetic resources would be essential for solving these near-future problems. However, securing genetic resources in pseudo-cereals, such as buckwheat, has been relatively neglected. Buckwheat is mainly consumed in Asia. In Republic of Korea, approximately 50 % of the consumption is self-sufficient. However, research on buckwheat breeding is limited, and artificial irradiation-related research on buckwheat is also lacking. When exposed to low-dose radiation, atypical in nature, the hormesis effect could be observed in crops. This study describes the low-dose (10, 15, and 30 Gy) irradiation of buckwheat. As a result, the number of seeds harvested per plant decreased with the low-dose radiation treatment. However, the one-hundred-seed weight was the highest upon the 10 Gy treatment, showing weight gain compared to the control. This result could be used for increasing yield in buckwheat production.

Keywords: Grain, Hormesis, Irradiation, Mutation, Pseudo-cereal

서론

기후변화와 인구폭증으로 인해, 식량 안보가 중요한 문제로 떠오르고 있으며, 이를 해결하기 위해서는 생산성을 극대화시킨 식량 작물의 육종이 반드시 필요하다(Diouf, 2009; Ceccarelli et al., 2010). 이러한 상황에 맞춘 빠른 육종을 위해서는 우선 다양한 유전자원을 확보하고 있는 것이 필요하다(Ahmar et al., 2020). 이러한 다양한 유전자원은 소위 주요 작물이라고 불리는 벼 밀 옥수수 등에서는 활발하게 이루어지고 있으나, 그 외 Pseudo-cereal 이라고 불리는



주요 곡물에 포함되지 못한 작물에서는 상대적으로 유전자원의 확보가 미흡한 편이다. 모든 곡물에서 다양한 유전자원을 확보하기 위해서 돌연변이 육종의 필요성이 강하게 대두되고 있다.

세계 원자력 기구(IAEA)가 1964 년 원자력의 평화로운 이용을 위해, 방사선을 이용한 농업분야 국제 협력을 주창하면서 전 세계적으로 방사선을 이용한 돌연변이 육종이 보급되기 시작했다(Kang et al., 2020). 돌연변이 육종은 유전자 변형 생물(GMO)에 비해 몇 가지 장점을 가지는데, 그 중 하나는 돌연변이를 이용한 육종은 인간의 수 세대에 걸쳐 널리 재배되어 GMO 작물에 비해 안정성이 확보되었다는 것이다(Jain, 2010). 또한 이러한 방법은 화학 약품을 이용해 돌연변이를 만들어내는 방식과 달리 사용 후에 처리 작물에서 화학 약품을 세밀하게 씻어내거나, 사용 후, 오염을 방지하기 위해 화학적으로 독성을 제거하지 않아도 된다는 장점을 가진다(Khan et al., 2000; Mba, 2013). 2021 년 5 월기준 전 세계 돌연변이품종 수는 총 220 종 식물 3,365 개에 이르며, 주요 곡물에 속하는 밀은 291 종, 쌀은 861 종, 옥수수 96 종이 등록되어 있으나 이와 대조적으로 메밀은 오직 10 품종이 돌연변이를 통해 만들어져 등록되어 있는 상황이다(FAO 돌연변이품종 데이터베이스, <http://mvd.iaea.org>).

메밀 생산량은 전 세계 곡물 중 12 번째로 많으며, 국내에서는 2,000 년 이후 메밀 재배 면적이 계속 늘어나고 있고, 국내 수요의 대략 50%를 자급하고 있다(Kim et al., 2017). 메밀의 각종 성인병 예방과 치료 효과가 알려지면서 메밀의 생산과 수요가 더욱 증가하고 있는 실정이다(Park, 2006). 그럼에도 불구하고 메밀 육종에 관한 국내 연구는 매우 제한적인 수준에 이르며, 특히 방사선을 이용한 돌연변이를 이용한 메밀 육종 연구는 찾아보기 힘든 실정이다.

이 연구에서는 메밀에 저선량 방사선을 조사한 뒤, 그 수확량을 조사하여 저선량 방사선이 메밀 수확량에 미치는 영향을 확인하고자 한다.

재료 및 방법

재배방법

본 실험은 2020 년 10 월 5 일 부터 2021 년 1 월 26 일 까지 진행되었으며, 제주대학교 전작재배육종 실험실의 유리 온실에서 진행되었다. 메밀품종은 대관 14 호를 이용하였으며, 높이 11 cm 상부 지름 5.5 cm 하부 지름 2 cm 인 32 구 육묘트레이 3 개에 배양토(독심이, 상토 2 호, 농우바이오)를 충전하여 깊이 3 cm 로 종자를 파종하였다. 온실 내부의 온도는 평균 28 / 30°C 를 유지되었고, 오전 9 시, 오후 16 시에 각각 50 mL 씩 1 일 2 회 급수했으며, 육묘트레이 아래 물쟁반을 배치하였다. 방사능 조사 전 Control로 사용할 개체를 각 트레이에서 2 개씩 6 개체를 다른 화분으로 이식하였다.

방사능 조사

방사능 조사는 꽃봉오리가 70% 이상 개화하였을 때 진행되었으며, 제주대학교 아라캠퍼스 방사선응용과학연구소에서 감마선(^{60}Co) 조사장치로 10 Gy, 15 Gy, 30 Gy 선량을 조사하였다. 방사능 조사 시 32 구 육묘트레이를 반으로 나누어 16개씩 조사하였다.

통계 처리

통계 처리는 R 프로그램을 이용하여 처리하였다. 이 프로그램을 이용하여 수확 종자 수 데이터와 백립중 데이터가 정규성과 등분산성을 확보하는지 확인한 결과, 정규성을 확보하지 못하였다. 그러므로 Agricolae 패키지를 설치하여

비모수적인 방법으로 분산분석을 진행하였다. Kruskal – Wallis test를 이용하였고, Dunn test를 통해 사후 분석을 진행하였다. *P*-value는 Benjamini-Hochberg 방법을 이용해 보정하였다($p < 0.05$). 상관관계 분석에는 Hmisc 패키지가 이용되었으며, 회귀식은 엑셀을 이용하여 분석하였다.

결과 및 고찰

Table 1에서 확인할 수 있는 것처럼, 방사선 조사 후 15 Gy의 방사선량 조사 메밀에서부터 수확할 수 있는 종자의 수가 무처리구와 비교했을 때 유의하게 감소하는 것을 확인할 수 있다. 10 Gy 방사선이 처리된 메밀은 유의하게 수확한 종자수가 줄어들지는 않았지만, 무처리구에 비해 적은 수를 수확한 것을 확인할 수 있다. 특히 15 Gy 이상의 방사선을 처리한 결과 무처리구 대비 절반에도 미치지 못하는 수의 종자를 얻었다. 하지만 종자의 백립중에서는 방사능 조사 후 종자의 수확량과는 다른 결과를 얻을 수 있었다. 유의한 차이는 아니지만 10 Gy 와15 Gy를 처리한 식물에서 대조군보다 무거운 종자를 얻었다. 30 Gy로 상대적으로 가장 높은 방사선을 쬐 경우에는 종자의 수와 무게 모두 다른 처리구에 비해 감소한 것을 확인할 수 있었다.

이는 Table 2에서 확인할 수 있듯, 상관관계 분석에서도 같은 경향이 나타났다. 방사선 처리의 세기는 종자 수와 유의하게 높은($p > 0.001$) 음의 상관관계(Rho = -0.76)가 있었다. 백립중의 경우도 유의하나($p > 0.01$), 중간 정도의 상관관계(Rho = -0.48)에 그쳤다. 또한 종자의 수와 백립중 역시 유의하며($p > 0.01$), 양의 상관관계가 중간 정도의 상관관계(Rho = 0.42) 가 있다는 것을 확인할 수 있었다. Fig. 1의 회귀 분석 결과에서 이러한 경향을 더욱 확실하게 확인할 수 있다. 처리 방사선이 세질수록 종자의 수가 줄어드는 정도는 백립중이 줄어드는 정도보다 더 급격하게 감소한다는 것이 확인 가능하다. R^2 값은 종자 수에 대해서는 0.775로 상당히 높은 편이나, 백립중에 대해서는 R^2 값이 0.4772로 상대적으로 낮다.

이 실험에서 10 Gy 방사선 처리구에서 종자의 수는 무처리구와 비교했을 때 유의하지 않게 줄어들면서, 유의하지는 않지만 종자의 무게는 무처리구에 비해 증가하는 것을 확인할 수 있었는데, 이것은 저선량 방사선의 hormesis 효과일 것으로 추측된다. 이러한 효과는 퀴노아에서도 관찰된 바 있으며, 50 Gy의 저선량 방사선 처리로 인한 hormesis 효과

Table 1. The number of Buckwheat seed (unit) and hundred-seed weight (g) harvesting after treatment

Treatment	Number of seed (unit)	Hundred seed weight (g)
Control	90.33 ± 5.78 ^{a1)}	1.74 ± 0.31 ^{ab}
10 Gy	73.45 ± 7.15 ^a	2.20 ± 0.11 ^a
15 Gy	28.55 ± 2.96 ^b	2.00 ± 0.19 ^{ab}
30 Gy	24.93 ± 2.97 ^b	1.76 ± 0.05 ^b

¹⁾Means of ± standard errors followed by different letters within columns are significantly different by Dunn test with Benjamini-Hochberg. Non-parametric rank data were used for statistical analysis; however, untransformed data are presented.

Table 2. Spearman's rank correlation among treatment, number of seeds, and hundred-seed weight in Buckwheat

	Number of seed (unit)	Hundred seed weight (g)
Radiation treatment (Gy)	-0.76 ^{***1)}	-0.48 ^{**}
Number of seed (unit)	1.00	0.42 ^{**}

¹⁾*Significant at the 0.05, **Significant at the 0.01, and ***Significant at the 0.001 probability level.

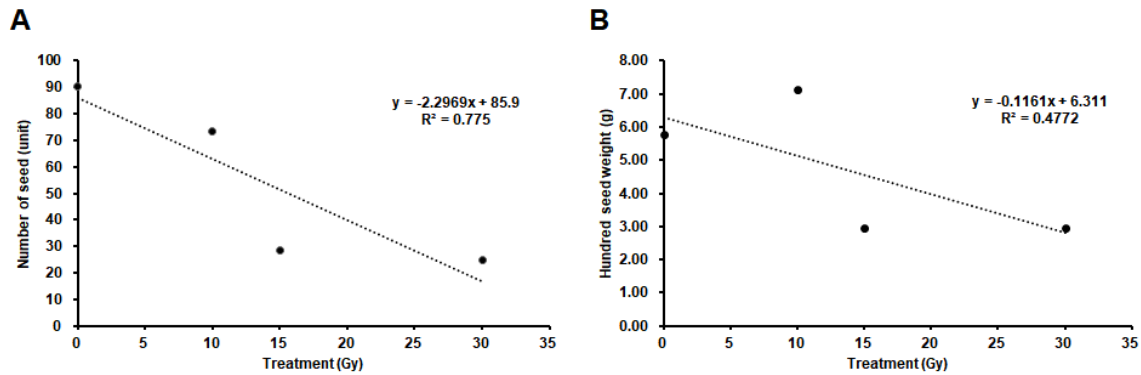


Fig. 1. Regression analysis to estimate the effect of radiation treatment on buckwheat. (A) effect on the number of seeds, (B) hundred-seed weight.

과로 퀴노아 종자의 생력이 증진되는 것을 확인 할 수 있었다(Song et al., 2021). 이러한 현상은 퀴노아 외에도 주요 곡물인 쌀, 보리, 밀에서도 나타났으며, 조사된 방사선량의 범위가 10 Gy에서 50 Gy 사이에서 종자의 생력이 증가하거나, 저선량 방사선 처리 종자가 발아 후 무처리구보다 왕성한 생육활성이 나타나는 것으로 나타났다(Melki and Marouani, 2010; Churyukin et al., 2018; Abdelnour-Esquivel et al., 2020).

이 연구에서 메밀에서도 위 연구들과 같은 방사선으로 인한 hormesis 효과가 나타난다는 것을 확인했고, 그 범위가 50 Gy 수준에서부터 hormesis 효과를 나타낸 다른 작물들과는 달리 조금 더 낮은 10 Gy에서 15 Gy 사이의 방사선 조사에서 나타난다는 것을 확인할 수 있었다. 이를 바탕으로 내릴 수 있는 결론은 hormesis 효과를 얻기 위한 방사선 조사는 각 작물의 특성에 따라 다르게 설정해야 한다는 것이다. 또한, 향후 연구에서는 메밀의 생산량을 늘릴 다양한 메밀 품종 개발을 위한 방사선 처리시, hormesis 효과를 얻는 것이 목적이려면 10 Gy에서 20 Gy로 방사선 조사 수치를 줄여야 할 것이다. 이 외에도 메밀에서 돌연변이로 인한 다양한 유전자원을 얻기 위해 더 많은 방사선 조사 처리와 실험을 진행해야 할 것이다. 더불어 hormesis를 통해 얻은 생육 증진 효과가 유전되는지 아닌지에 대한 연구도 많이 이루어져 있지 않으므로 이를 확인하기 위한 연구가 반드시 이루어져야 한다.

이번 연구를 통해 주요 곡물이 아닌 작물에서 방사선 처리를 통한 hormesis 효과가 나타난다는 것을 다시 한번 확인할 수 있었으므로, 이 연구는 메밀 외 다른 Pseudo-cereal을 이용한 저선량 방사선 처리 hormesis 연구 및 방사선 육종 연구에도 기여할 수 있을 것이다.

요약

인류 증가와 기후 변화로 인해 작물 육종의 필요성이 크게 대두되고 있으며, 이를 위해 다양한 유전자원을 확보하는 것이 요구되고 있다. 하지만 Pseudo-cereal에서의 유전자원 확보는 상대적으로 소홀히 이루어지고 있다. Pseudo-cereal에 속하는 메밀은 주로 아시아에서 소비되는 작물로, 국내에서는 소비량의 약 50%를 자급하고 있다. 그러나 이러한 메밀의 육종에 대한 연구는 매우 제한되어 있으며 방사선 조사를 이용한 연구는 거의 찾아볼 수 없는 실정이다. 자연 상태에서는 받을 수 없는 저선량 방사선을 작물에 노출시킬 경우 hormesis 효과가 나타난다고 한다. 본 연구에서는 10 Gy, 15 Gy, 30 Gy의 저선량 방사선을 메밀에 조사하였을 때, 메밀의 생산량에 영향을 미칠 수 있는지

를 시험하였다. 실험 결과 식물 개체당 수확 종자의 숫자가 저선량 방사선 처리에 따라 감소하는 것을 확인할 수 있었으며, 백립종의 경우는 10 Gy 처리에서 가장 높게 나타나며 이후 줄어들었으며, 10 Gy 방사선 처리구에서 종자의 무게가 무처리구보다 유의하지는 않지만, 높게 나타나는 것을 관찰할 수 있었다.

사 사

이 논문은 2018년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(과제번호: 2018R1A4A1025169).

인용문헌 (References)

- Abdelnour-Esquivel, A., Perez, J., Rojas, M., Vargas, W., Gatica-Arias, A. (2020) Use of gamma radiation to induce mutations in rice (*Oryza sativa* L.) and the selection of lines with tolerance to salinity and drought. *In Vitro Cell Dev Biol Plant* 56:88-97.
- Ahmar, S., Gill, R. A., Jung, K. H., Faheem, A., Qasim, M. U., Mubeen, M., Zhou, W. (2020) Conventional and molecular techniques from simple breeding to speed breeding in crop plants: Recent advances and future outlook. *Int J Mol Sci* 21:2590.
- Ceccarelli, S., Grando, S., Maatougui, M., Michael, M., Slash, M., Haghparast, R., Rahmanian, M., Taheri, A., Al-yassin, A., Benbelkacem, A. Labid, M., Mimoun, H., Nachit, M. (2010) Plant breeding and climate changes. *J Agric Sci* 148:627-637.
- Churyukin, R., Volkova, P., Geras'kin, S. (2018) Radiation Exposure of Barley Seeds Can Improve Plants' Development (IAEA).IAEA_CN-263-1.
- Diouf, J. (2009) FAOs Director-General on How to Feed the World in 2050. *Popul Dev Rev* 35:837-839.
- Jain, S. M. (2010) Mutagenesis in crop improvement under the climate change. *Romanian biotech lett* 15:88-106.
- Kang, S. Y., Kim, S. H., Ryu, J., Kim, J. B. (2020) Brief History, Main Achievements and Prospect of Mutation Breeding in Korea. *Korean Soc Breeding Sci* 52:49-57.
- Khan, S. J., Khan, H., Khan, R. D., Iqbal, M. M., Zafar, Y. (2000) Development of sugarcane mutants through in vitro mutagenesis. *Pakistan J Biol Sci (Pakistan)*. 7:1123-1125.
- Kim, S. J., Sohn, H. B., Suh, J. T., Kim, G. H. (2017) Domestic and overseas status of buckwheat production and future trends. *J Korean Soc Int Agric* 3:226-233.
- Mba, C. (2013) Induced mutations unleash the potentials of plant genetic resources for food and agriculture. *Agronomy* 3:200-231.
- Melki, M., Marouani, A. (2010) Effects of gamma rays irradiation on seed germination and growth of hard wheat. *Environ Chem Lett* 8:307-310.
- Park, C. (2006) Development of new cultivar and technology of cultivation and utilization in tartary buckwheat as a new agricultural material. *Ministry of Agriculture* 12:197.
- Song, K. E., Lee, S. H., Jung, J. G., Choi, J. E., Jun, W., Chung, J. W., Hong, S. H., Shim, S. (2021) Hormesis effects of gamma radiation on growth of quinoa (*chenopodium quinoa*). *Int J Radiat Biol* 97:906-915.