



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

碩士學位論文

방사선 처리가 메밀 종자 수확에
미치는 영향

Effect of Radiation Treatment on Buckwheat Seed Harvest

濟州大學校 大學院

農學科

崔正民

2022年 2月

碩士學位論文

방사선 처리가 메밀 종자 수확에
미치는 영향

Effect of Radiation Treatment on Buckwheat Seed Harvest

濟州大學校 大學院

農學科

崔正民

2022年 2月



방사선 처리가 메밀 종자 수확에 미치는 영향

指導教授 鄭 鏞 碩

崔 正 民

이 論文을 農學 碩士學位 論文으로 提出함

2021 年 12 月

崔正民의 農學 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長 _____ ①

委 員 _____ ①

委 員 _____ ①

濟州大學校 大學院

2021 年 12 月

목 차

List of Tables	ii
List of Figures	iii
ABSTRACT	1
I. 서 론	2
II. 연 구 사	4
1. 메밀의 생태 및 특성	4
2. 농업에서의 방사선의 이용	5
III. 재 료 및 방 법	7
1. 재배방법	7
2. 방사선조사	7
3. 통계처리	7
IV. 결 과 및 고 찰	10
V. 인 용 문 헌	26
VI. 부 록	35

List of Tables

Tables 1. The number of Buckwheat seed(unit) and hundred-seed weight harvesting after treatment 13

Table 2. Spearman's rank correlation among treatment, number of seed, and hundred-seed weight in Buckwheat 13

List of Figures

Figure. 1. After filling the 32-hole pot with culture soil, buckwheat seeds were sown.	8
Figure. 2. The buckwheat was treated with radiation after about 70% of flowering had progressed.	9
Figure. 3. Regression analysis to estimate the effect of radiation treatment on buckwheat. (A) effect on the number of seeds, (B) hundred-seed weight	11

방사선 처리가 메밀 종자 수확에 미치는 영향

ABSTRACT

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.

I. 서 론

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). 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(Koh, 2020; Yoon et al., 2008; Yoon et al., 2010). 많은 작물에서 다양한 유전자원을 확보하기 위해서 돌연변이 육종의 필요성이 대두되고 있다(Luz et al., 2020).

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 화학약품을 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 월 기준 전 세계 돌연변이품종 수는 총 220 종 식물 3,365 개에 이르며, 주요 곡물에 속하는 밀은 291 종, 쌀은 861 종, 옥수수는 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. 따라서, 이 연구에서는 메밀에 저선량 방사선을 조사한 뒤, 그 수확량을 조사하여 저선량 방사선이 메밀 수확량에 미치는 영향을 확인한 후 쓴메밀의 방사선 육종을 위한 적정 조사량 범위를 조사하고자 한다.

II. 연 구 사

1. 메밀의 생태 및 특성

메밀은 쌍자엽 식물 마디풀과 한해살이풀이다. 메밀은 단메밀(*Fagopyrum esculentum*) 과 쓴메밀(*Fagopyrum tataricum*) 두가지로 나누어지고, 단메밀의 경우 한국, 일본, 중국 등의 아시아와 미국, 캐나다, 브라질, 유럽지역에서 재배되고 있으며 자가 불화합성에 타가수정이 이루어지고 있다(Kim et al., 2020b). 쓴메밀은 히말라야의 고산지대와 인도북부, 네팔, 부탄, 중국북부, 동북부에서 재배가 되고 있으며, 자가 화합성과 자가 수정이 가능하다(Kim et al., 2020b). 단메밀과 쓴메밀은 종자의 형태적 특성에서도 차이를 보인다. 단메밀 종자는 쓴메밀 종자에 비해서 형태적으로 크고 사면체의 형태를 나타내며, 절단면은 삼각형의 형태를 보여준다. 종자의 색은 갈색부터 검은색의 색상을 나타낸다. 쓴메밀 종자는 일반적으로 단 메밀 종자보다 작으며 종자에 길쭉한 형태의 골이 깊게 패어 있다. 종자를 수직으로 절단하였을 때 종자는 원형에 가까운 형태를 보여준다. 종자의 색은 회색부터 갈색, 검은색으로 다양하게 나타낸다(Kim and Kim., 2005). 메밀은 서늘한 기후에서 잘 자라며, 전 세계적으로 각지에서 재배가 진행되고 있다(Hwang et al., 2017). 메밀은 생육기간이 짧아 종자를 파종 후 60 - 140일 의 짧은 기간으로 수확이 가능하다(Hyun et al., 2018). 메밀은 척박한 환경에서도 생육이 좋으며 국내에서 구황작물로 메밀을 재배한다(Kim et al., 2005).

최근 메밀의 식량적 관점을 넘어서 메밀 내의 유효성분에도 많은 관심을 두고 있다. 아미노산, 단백질, 지질, 섬유소, 미네랄, 비타민 등이 풍부하며, 또한 단메밀 보다 쓴메밀에서 유효성분의 함량이 더 많은 것으로 드러났으며, 총 페놀의 함량 약2배정도 높게 나타났으며, rutin의 경우에는 70-100배 이상 함유량의 차이를 보이기도 하였다(Kim et al., 2020). 메밀에 함유되어 있는 유효성분인 flavonoid화합물과 flavones화합물의 성분들이 항산화효과 및 돌연변이 억제 효과가 있다(Kwak et al., 2004; Park et al., 2005). Flavonoid 화합물 중 rutin 은 angiotensin-converting enzyme의 저해 활성을 저하시키며 혈압 및 혈당조

정, 콜레스테롤 저하 이와 같은 질병을 제어하는데 주요역할을 할 것이며 나아가 이와 같은 질병을 예방하는데 조절 인자로 사용이 가능하다(Choi et al., 2000). 또한 혈전증 예방효과는 아스피린보다 더 효율적인 효과를 보이는 것이 연구되었으며, 혈전성 마비억제, 혼수방지 및 치사억제에 활성을 보인다(Sun et al., 2006). 이 와 같이 메틸은 기능성 작물로도 이용되고 있다.

2. 농업에서 방사선의 이용

방사선은 에너지를 가지고 있는 입자 또는 파동이 매질이나 공간에 전파해가는 일련의 과정을 이야기하다. 방사선은 일종의 에너지의 흐름이다. 방사선은 입자 형태의 알파선, 베타선, 중성자선 등이 있고, 빛 혹은 전파 형태를 가지는 감마선, X선이 있다(The Korea Association for Raddiaition Protection., www.karp.or.kr). 현재 방사선은 의료적인 목적, 산업현장, 농업적 측면 등에서 이용되고 있다(Kim, 2010). 우리 주변에서는 방사선을 이용하는 것을 종종 볼 수 있다. X선은 빌헬름 콘트라 뢰트겐이 발견되었다(Als-Nielsen and McMorrow, 2011). X선은 의료분야와 비파괴 분야에 이용되고 있다. 의료적인 분야에서는 X선 일반영상 검사, 투시검사, 혈관조영 검사, CT검사 등 의료분야의 여러 방면 이용되고 있다(Choi et al., 2015; Park and Cho, 2019; Kim and Shin, 2021; Park et al., 2019) 산업현장에서는 부속이나 용접 부위에 X선 촬영을 실시하여 각 부위의 검사를 실시하여 무결점 여부를 검사하며, 공항에서 실시하는 수화물 검색 시에도 X선을 이용한 수하물에 투영하여 위험물 여부를 검사등 산업현장에서 이용되고 있다(Kim, 1998; Noh and Kim, 2021). 감마선은 프랑스의 화학자 폴 올리치 빌라드에 의해서 발견되었다(Gerward, 1999). 감마선을 이용하여 의료기기 등의 살균에 사용하며, 암세포를 제거하는 데에 이용된다(Chang et al., 2008; Jeong and Park, 2020).

농업적 측면에서 방사선은 많은 분야에서 사용하게 된다(Kim, 2010). 감마선은 식품 내의 박테리아와 세균의 살균을 실시하여 저장 및 운송을 용이하게 하 다(Kim et al., 2008). 식물체의 돌연변이를 발현하게 하여 새로운 특성을 획득 하고 육종적인 측면으로 활용이 가능하다. 하지만, 자연 상태에서 돌연변이가 나타날 가능성은 매우 희박하며, 방사선이나 화학물질을 통해서 돌연변이를 발생시

켜서 빠르게 육종재료를 만들고 사용을 용이하게 한다(Song, 1994; Kim et al., 2008; Kang et al., 2020). 해충의 유전자를 영향을 주어 불임성을 가지게 하는 등 해충 구제적 측면에서 이용이 가능하다(Balock et al., 1963). 방사선을 이용하여 발아억제(Jeon et al., 1985) 등의 부분에 이용되고 있다. 위와 같은 작용들은 고선량 방사선을 이용하기 때문에 저선량을 이용하였을 때 오는 hormesis 효과를 보기가 힘들다(Kim et al., 1998).

방사선의 hormesis 효과는 저선량의 방사선을 조사하였을 시에 생명체의 생리적 활성이 촉진되며 수명이 연장되거나 성장촉진 또는 종양의 발생률이 저하되는 등의 유익한 영향을 주는 효과를 이야기한다(Kim et al., 1998; Feinendegen, 2005; Scott et al., 2007). 저선량의 방사선은 작물에 처리하였을 때 뿌리혹의 형성, 토양 질산화작용, 생장, 번식, 저항성, 생존율 등이 증가하였으며, 식량자원에서 저선량 방사선 조사로 인해서 120%의 수확량증가, 종자의 환경적응 및 발아력, 병 저항성이 상승하는 것으로 보고되었다(Kim et al., 1998).

III. 재료 및 방법

1) 재배방법

본 실험은 2020년 10월 5일부터 2021년 1월 26일까지 진행되었으며, 제주대학교 전작재배육종 실험실의 유리온실에서 진행되었다. 메밀품종은 대관 14호를 이용하였으며, 높이 11 cm 상부 지름 5.5 cm 하부 지름 2 cm인 32구 육묘트레이 3개에 배양토(뚝심이, 상토 2호, 농우바이오)를 충전하여 깊이 3 cm로 종자를 파종하였다(Figure 1). 온실 내부의 온도는 평균 28 ~ 30°C를 유지되었고, 오전 9시, 오후 16시에 각각 50 mL 씩 1일 2회 급수했으며, 육묘트레이 아래 물 쟁반을 배치하였다. 방사선 조사 전 Control로 사용할 개체를 각 트레이에서 2개씩 6개체를 다른 화분으로 이식하였다.

2) 방사선 조사

방사선 조사는 꽃봉오리가 70% 이상 개화하였을 때 진행되었으며, 제주대학교 아라 캠퍼스 방사선응용과학연구소에서 감마선(^{60}Co) 조사장치로 10 Gy, 15 Gy, 30 Gy 선량을 조사하였다(Figure 2). 방사선 조사 시 32구 육묘트레이를 반으로 나누어 16개씩 조사하였다.

방사능 조사 후 종자 수확 시 메밀 종자를 하나씩 수확을 진행하였다. 수확한 종자의 개수와 총무게를 측정하였으며, 수확한 종자의 수가 100개가 되지 않는 종자에서 백립중을 확보하기 위해서 수확한 종자의 무게를 측정 후 수확한 종자의 수로 나누고, 100을 곱해주어 보정하였다.

3) 통계처리

통계처리는 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 방

법을 이용해 보정하였다(p -value < 0.05). 상관관계 분석에는 Hmisc 패키지가 이용되었으며, 회귀식은 엑셀을 이용하여 분석하였다.



Figure 1. After filling the 32-hole pot with culture soil, buckwheat seeds were sown.



Figure 2. The buckwheat was treated with radiation after about 70% of flowering had progressed. (A) 70% of buckwheat flowers are in bloom. (B) Radiation treatment was performed using r-ray(^{60}Co).

IV. 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 방사선 조사 후 종자의 수확량과는 다른 결과를 얻을 수 있었다. 유의한 차이는 아니지만 10 Gy와 15 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.

상관관계 분석에서도 같은 경향이 나타났다(Table 2). 방사선 처리의 세기는 종자 수와 유의하게 높은(P-value > 0.001) 음의 상관관계(Rho = -0.76)가 있었다. 백립중의 경우도 유의하나(P-value > 0.01), 중간 정도의 상관관계(Rho = -0.48)에 그쳤다. 또한 종자의 수와 백립중 역시 유의하며(P-value > 0.01), 양의 상관관계가 중간 정도의 상관관계(Rho = 0.42)가 있다는 것을 확인할 수 있었다. 회귀 분석 결과에서 이러한 경향을 더욱 확실하게 확인할 수 있다(Figure 3). 처리 방사선이 세질수록 종자의 수가 줄어드는 정도는 백립중이 줄어드는 정도보다 더 급격하게 감소한다는 것이 확인 가능하다. R² 값은 종자 수에 대해서는 0.775로 상당히 높은 편이나, 백립중에 대해서는 R² 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 효과로 퀴노아 종자의 생력이 증진되는 것을 확인할 수 있었다(Song et al., 2021). 이러한 현상은 퀴노아 외에도 주요 곡물

인 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 목적이라면 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 이루어져있지 않으므로 이를 확인하기 위한 연구가 반드시 이루어져한다. 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 육종연구에도 기여할 수 있을 것이다.

Table 1. The number of Buckwheat seed(unit) and hundred-seed weight 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 ± 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 seed, and hundred-seed weight in Buckwheat

	Number of seed(unit)	Hundred seed weight(g)
Radiation(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.

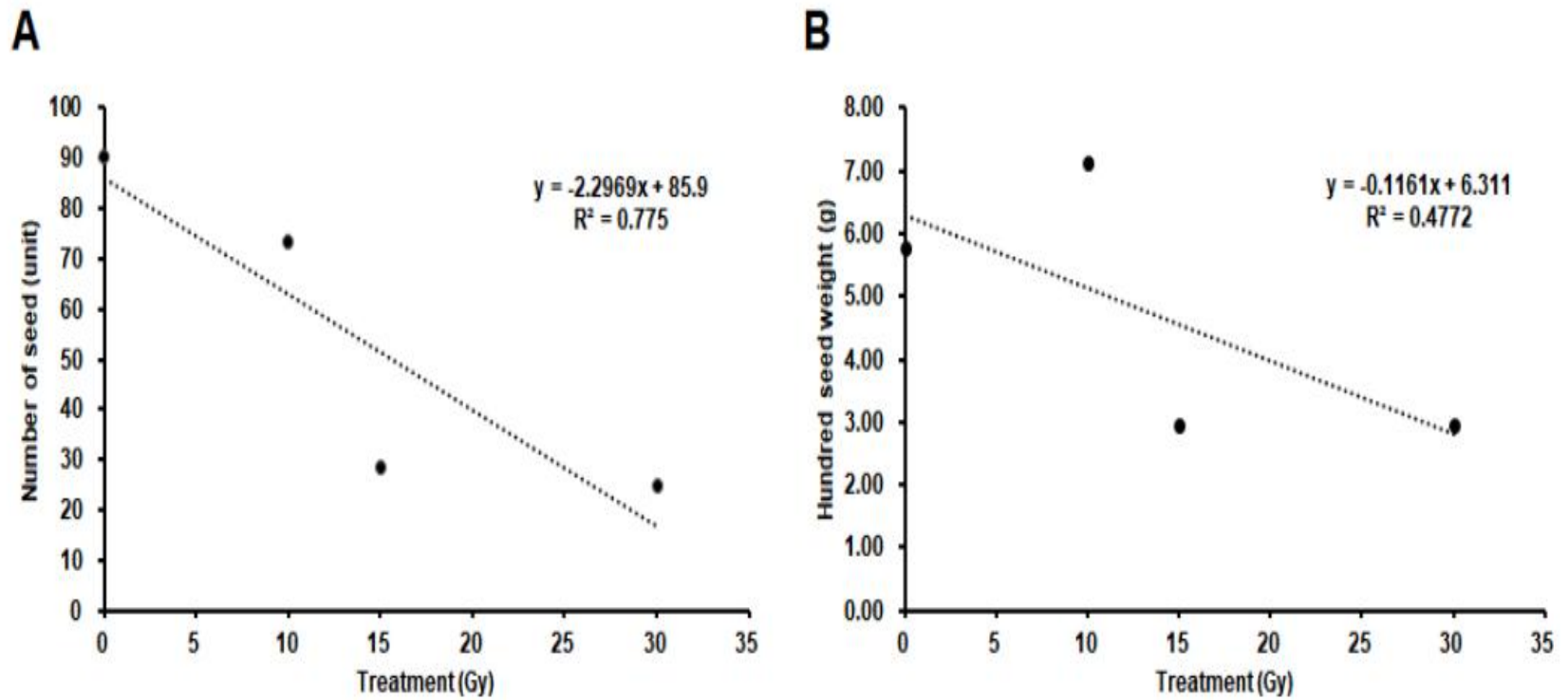


Figure 3. Regression analysis to estimate the effect of radiation treatment on buckwheat. (A) effect on the number of seeds, (B) hundred-seed weight.

V. 인용 문헌

- Abdelnour-Esquivel, A., Perez, J., Rojas, M., Vargas, W., and 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 Cellular & Developmental Biology-Plant*. 56(1): 88-97.
- Ahmar, S., Gill, R. A., Jung, K. H., Faheem, A., Qasim, M. U., Mubeen, M., and Zhou, W. 2020. Conventional and molecular techniques from simple breeding to speed breeding in crop plants: Recent advances and future outlook. *International Journal of Molecular Sciences*. 21(7): 2590.
- Als-Nielsen, J., & McMorrow, D. 2011. *Elements of modern X-ray physics*. John Wiley & Sons.
- Balock, J. W., Burditt Jr, A. K., and Christenson, L. D. 1963. Effects of gamma radiation on various stages of three fruit fly species. *Journal of Economic Entomology*. 56(1): 42-46.
- Chang, J. H., Kim, D. H., Jeon, G. R., & Kwon, H. Y. 2008. Gamma irradiation induces a caspase-dependent apoptotic mechanism in human prostate cancer PC-3 Cells. *Journal of Life Science*. 18(8): 1042-1048.
- 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., and Nachit, M. 2010. Plant breeding and climate changes. *The Journal of Agricultural Science*. 148(6): 627-637.
- Choi, I. H., Kim, K. T., Heo, Y. J., Kang. S. S., Noh. S. C., Jung. B. J., Nam. S. H., Park, J. K., 2015. The study of forward scattering dose according to the thickness of filter in general radiography. *Journal of the Korean Society of Radiology*. 9(7): 445-448.
- Choi, Y. S., Kim, B. R., Jin, L. H., Lee, B. H., Shim, T. H., Lee, T. Y., 2000. In vitro Screening of dietary factors on buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) influencing the regulation of blood rressure, glucose and cholesterol level. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*. 29(2): 280-287.
- Churyukin, R., Volkova, P., and 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. *Population and Development Review*. 35: 837-839.
- Feinendegen L. E. 2005. Evidence for beneficial low level radiation effects and radiation hormesis. *The British journal of radiology*. 78(925): 3-7.
- Gerward, L. 1999. Paul villard and his discovery of gamma rays. *Physics in Perspective*. 1(4): 367-383.

- Hyun, D. Y., Rauf, M., Oh, S. J., Lee, M. C., Choi, Y. M., Lee, S. Y. 2018. comparison of growth characteristics and flavonoids content by different cultivation seasons in buckwheat germplasm. The Plant Resources Society of Korea. 176-176.
- IEAE, The Joint FAO/IAEA mutant variety database, <http://mvd.iaea.org>
- Jain, S. M. 2010. Mutagenesis in crop improvement under the climate change. Romanian biotech letters. 15(2): 88-106.
- Jeon, J. H., Byun, S. M., Chang, Y. S. P., Chung, K. H., Cho, H. O 1985. Biochemical effect on potato tubers irradiated by gamma - ray at sprout - inhibition dose. The Korean Society for Applied Biological Chemistry. 28(1): 28-35.
- Jeong, K. H., Park, C. H. 2020. Comparative study of sterilization by gamma-ray and electron-Beam. Journal of the Korean Society of Radiology(JKSR). 14(5): 537-543.
- Kang, S. Y., Kim, S. H., Ryu, J., Kim, J. B. 2020. Brief history, main achievements and prospect of mutation breeding in korea. Korean Society of Breeding Science. 52: 49-57.
- Kang, M. S. 2004. Breeding: Genotype-by-environment interaction. Encyclopedia of plant and crop science. Marcel-Dekker, New York. 218-221.
- Khan, S. J., Khan, H., Khan, R. D., Iqbal, M. M., Zafar, Y. 2000.

- Development of sugarcane mutants through in vitro mutagenesis. Pakistan Journal of Biological Sciences (Pakistan). 7: 1123-1125.
- Kim, D. H. 2006. Principles of radiation sterilization of food Materials. Food Industry and Nutrition. 11(3): 21-29.
- Kim, H. Y., Woo, S. Y., Seo, W. D., Lee, M. J. 2020b. Changes of antioxidant activity as affected by cultivation period in buckwheat (*Fagopyrum* species) sprouts. Journal of The Korean Society of Food Culture. 35(6): 590-596.
- Kim, I. J., Kim, O. R., Kim, H. W., Lee, S. H., Kim, K. M., Lee, H. Y. 2008. Status of Citrus Mutation Breeding with Gamma Ray Irradiation. Journal of subtropical agriculture and biotechnology. 24(1): 37-42.
- Kim J. H., and Shin E. H. 2021. Spatial dose distribution for C-arm examination within operation room using monte carlo Method. Journal of Radiological Science and Technology. 44(3): 205-210.
- Kim, J. S., Kim, J. K., Lee, Y. K., Back, M. W., and Gim, J. K. 1998. Effects of low dose gamma radiation on the germination and yield components of Chinese cabbage. Korean Journal of Environmental Agriculture. 17(3): 274-278.
- Kim, J. M. 2006. Innovative strategies on farmer education for the agricultural and rural development. Journal of Agricultural Education and Human Resource Development. 38(3): 75-111.

- Kim, S. J., Sohn, H. B., Hong, S. Y., Lee, J. N., Kim, K. D., Suh, J. T., Nam, J. H., Chang, D. C., Park, M. W., Kim, T. Y. 2020. Construction of data system on seed morphological traits and functional component in tartary buckwheat germplasms. *Korean Journal of Plant Resources*. 33(5): 446-459.
- Kim, S. J., Sohn, H. B., Suh, J. T., Kim, G. H. 2017. Domestic and overseas status of buckwheat production and future trends. *The Journal of the Korean Society of International Agriculture*. 3: 226-233.
- Kim, J. K., Kim, S. K. 2005. Compositions and pasting properties of *Fagopyrum esculentum* and *Fagopyrum tartaricum* endosperm flour. *Korean Journal of Food Science and Technology*. 37(2): 149-153.
- Kim, Y. E. 1998. Nondestructive Testing of Concrete for its Strength, Chemical Degradation, and Damage due to Fire. *Magazine of the Korea Concrete Institute*. 10(2): 50-64.
- Kim, Y. K. 2010. Estimation for Economic Scale of Radioactive Usage in Korea using Input-Output Table 2005. *Journal of Korea Technology Innovation Society*. 13(4): 772-793.
- Kim, Y. S., Han, S. M., Kim, C. K., Lee, Y. J., Kang, I. J. 2005. Quality Characteristics of Noodles by Addition of Buckwheat Sprout Powder. *Journal of the East Asian Society of Dietary Life*. 15(4): 450-456.
- Koh, H. J. 2020. "Achievements and outlook of crop breeding in korea.". *Korean Society of Breeding Science*. 52: 1-7.

- Kwak, C. S., Lim, S. J., Kim, S. A., Park, S. C., Lee, M. S., 2004. Antioxidative and Antimutagenic Effects of Korean Buckwheat, Sorghum, Millet and Job's Tears. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*. 33(6): 921-929.
- Hwang, K. A., Hwang, I. G., Hwang, Y. J., Cho, S. M., Song, J., Choe, J. S. 2017. Anti-Obesity Effect of Buckwheat Ethanol Extract. *Food Industry and Nutrition*. 22(2): 36-39.
- Mba, C. 2013. Induced mutations unleash the potentials of plant genetic resources for food and agriculture. *Agronomy*. 3(1): 200-231.
- Melki, M., Marouani, A. 2010. Effects of gamma rays irradiation on seed germination and growth of hard wheat. *Environmental Chemistry, Letters*. 8(4): 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.
- Park, B. J., Kwon. S. M., Park. J. I., Chang. K. J., Park. C. H. 2005. Phenolic Compounds in Common and Tartary Buckwheat. *Korean Society Of Crop Science*. 50(1): 175-180.
- Park, K. J., Byeon, Y. H., Kwak, K. C. 2019. Analysis of Domestic Research Trends of X-ray and CT based Dental Medical Imaging Processing. *Proceedings of KIIT Conference*. 357-359.
- Luz, V. K. D., Oliveira, V. F. D., Maltzahn, L. E., Venske, E. 2020.

Mutation breeding for rice grain quality: aspects, considerations, and promising results. *The Future of Rice Demand: Quality Beyond Productivity*. Springer, Cham. 349-368.

Noh. C. N., Kim. K. S. 2021. A Study on the Improvement for the Service Quality of Airport Security Screening System - Based on the X-ray screening -. *Journal of the Aviation Management Society of Korea*. 19(3): 21.

Scott, B. R., Haque, M., Di Palma, J. 2007. Biological basis for radiation hormesis in mammalian cellular communities. *International Journal of Low Radiation*. 4(1): 1-16.

Song. H. S. 1994. Mutation Breeding in Soybean. *Korea Soybean Digest*. 11(2): 5-12.

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*). *International Journal of Radiation Biology*. 97: 906-915.

Song, W. K., Yoon, B. S. 2012. The Food Crisis and the Historical Development of Global Agri-Food system-From Food Security to Food Sovereignty. *The Journal of Rural Society*. 22(1): 265-310.

Sohn, H. Y., H. Y., Kwon, C. S., Son. K. H., Kwon, G. S., Ryu, H. Y., Kum, E. J. 2006. Antithrombin and Thrombosis Prevention Activity of Buckwheat Seed, *Fagopyrum esculentum* Moench. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*. 35(2): 132-138.

The Korea Association for Radiation Protection, radiation information,
www.karp.or.kr

Yoon, S. T., Xu, Z. Y., Kim, S. M., Kim, C. Y. 2008. Agronomic characteristics of common millet germplasm. Korean Journal of Crop Science. 53(4): 394-400.

Yoon, S. T., Xu, Z. Y., Zhang, Q. Y., Kim, I. S., Kim, T. H., Nam, J. C. 2010. Agronomic characteristics of sorghum bicolor (L.) Moench Germplasm. Korean Journal of Crop Science. 55(1): 83-90.

VI. 부 록

Addendum 1. Raw data of eirradiation on Buckwheat

Gy ¹	Number of pot	Number of plant	Number of seed	weight(g)	Hweight ²
10	1	1	98	2.15	2.19
10	1	2	125	2.79	2.23
10	1	3	60	1.83	3.05
10	1	4	81	2.03	2.51
10	1	5	75	1.58	2.11
10	1	6	60	1.35	2.25
10	1	7	56	1.28	2.29
10	1	8	34	0.71	2.09
10	1	9	74	1.47	1.99
10	1	10	79	1.37	1.73
10	1	11	66	1.16	1.76
10	2	1	44	1.06	2.41
10	2	2	78	1.69	2.17
10	2	3	74	1.34	1.81
10	2	4	62	1.22	1.97
10	2	5	42	0.90	2.14
10	2	6	49	1.22	2.49
10	2	7	13	0.61	4.69
10	2	8	17	0.36	2.12
10	2	9	49	0.99	2.02
10	2	10	19	0.56	2.95
10	2	11	48	0.87	1.81
15	1	1	38	0.72	1.89
15	1	2	29	0.63	2.17
15	1	3	31	0.59	1.90
15	1	4	41	0.80	1.95
15	1	5	38	0.70	1.84
15	1	6	12	0.45	3.75
15	1	7	30	0.57	1.90
15	1	8	34	0.67	1.97
15	1	9	28	0.51	1.82
15	1	10	13	0.18	1.38

15	1	11	20	0.29	1.45
15	2	1	41	0.84	2.05
15	2	2	52	1.01	1.94
15	2	3	76	1.55	2.04
15	2	4	62	1.20	1.94
15	2	5	44	0.88	2.00
15	2	6	47	1.05	2.23
15	2	7	29	0.58	2.00
15	2	8	31	0.65	2.10
15	2	9	23	0.46	2.00
15	2	10	37	0.79	2.14
15	2	11	4	0.08	2.00
15	2	12	37	0.70	1.89
30	1	1	15	0.28	1.87
30	1	2	27	0.45	1.67
30	1	3	32	0.58	1.81
30	1	4	43	0.81	1.88
30	1	5	26	0.54	2.08
30	1	6	38	0.71	1.87
30	1	7	42	0.72	1.71
30	1	8	21	0.42	2.00
30	1	9	25	0.45	1.80
30	1	10	10	0.15	1.50
30	1	11	28	0.45	1.61
30	1	12	19	0.31	1.63
30	1	13	7	0.13	1.86
30	1	14	32	0.56	1.75
30	1	15	9	0.12	1.33
30	2	1	53	0.96	1.81
30	2	2	43	0.88	2.05
30	2	3	65	1.25	1.92
30	2	4	76	1.52	2.00
30	2	5	34	0.68	2.00
30	2	6	22	0.52	2.36
30	2	7	38	0.69	1.82
30	2	8	34	0.62	1.82

30	2	9	21	0.42	2.00
30	2	10	30	0.62	2.07
30	2	11	26	0.57	2.19
30	2	12	30	0.52	1.73
30	2	13	48	0.93	1.94
Control	1	1	100	1.13	1.13
Control	2	1	66	0.99	1.50
Control	1	1	91	1.91	2.10
Control	2	1	106	2.20	2.08
Control	1	1	80	1.60	2.00
Control	2	1	62	1.34	2.16

Gy¹ = radioactivity unit

Hweight² = hundred grain weight

Addendum 2. Data of eirradiation on buckwheat for data analysis

Gy	Yield ¹	Hweight
0	100	1.13
0	91	2.10
0	80	2.00
10	98	2.19
10	125	2.23
10	60	3.05
10	81	2.51
10	75	2.11
10	60	2.25
10	56	2.29
10	34	2.09
10	74	1.99
10	79	1.73
10	66	1.76
15	38	1.89
15	29	2.17
15	31	1.90
15	41	1.95
15	38	1.84
15	12	3.75
15	30	1.90
15	34	1.97
15	28	1.82
15	13	1.38
15	20	1.45
30	15	1.87
30	27	1.67
30	32	1.81
30	43	1.88
30	26	2.08
30	38	1.87
30	42	1.71
30	21	2.00
30	25	1.80

30	10	1.50
30	28	1.61
30	19	1.63
30	7	1.86
30	32	1.75
30	9	1.33

¹Unit: Number of seed

Addendum 3. data analysis of eirradiation on Buckwheat

Gy	Yield ¹		Hw		Mean	Standard deviation
	Number of Pot	Mean	Standard deviation	Mean		
10	1	73.45	7.15	2.20	0.11	
10	2	45.00	6.57	2.42	0.25	
15	1	28.55	2.96	2.00	0.19	
15	2	40.25	5.36	2.03	0.03	
30	1	24.93	2.97	1.76	0.05	
30	2	40.00	4.61	1.98	0.05	
Control	1	90.33	5.78	1.74	0.31	
Control	2	64.00	1.63	1.91	0.21	

		Mean	Standard deviation	Mean	Standard deviation
Control	1.00	90.33	5.78	1.74	0.31
10.00	1.00	73.45	7.15	2.20	0.11
15.00	1.00	28.55	2.96	2.00	0.19
30.00	1.00	24.93	2.97	1.76	0.05

		Mean	Standard deviation	Mean	Standard deviation
Control	2.00	64.00	1.63	1.91	0.21
10.00	2.00	45.00	6.57	2.42	0.25
15.00	2.00	40.25	5.36	2.03	0.03
30.00	2.00	40.00	4.61	1.98	0.05

¹Unit: Number of seed

감사의 글

농학과 석사과정에 입학하여 육종학 실험실에 함께 하게 된 것이 엇그제 같은데, 어느덧 지난 시간들이 쌓이고 쌓여 이렇게 2년이라는 시간이 지나 뒤를 돌아 볼 수 있는 시간에 도달해 있습니다. 이렇게 지난날 들을 생각해 보니 정말 많은 사건들이 있었고, 추억이었던 날들, 경험이었던 날들, 많은 날들이 기억나며 마음 한 부분이 아련해 옵니다. 석사과정 동안 정말 좋은 사람들을 만난 것, 경험해 볼 수 없는 일들을 경험해 보고 느낀 것, 지난 2년이라는 기간 동안 크고 작은 감사한 일이 많은 것 같습니다. 이렇게 논문의 마지막 장을 빌어서 감사함을 조금이나마 표현하려 합니다.

석사과정에 있어서 부족하고 실수투성이라서 실망스러운 모습을 가장 많이 보신 지도 교수님이신 정용석 교수님께 먼저 감사를 전하고 싶습니다. 교수님의 지도의 과정으로 이렇게 부족한 제가 조금씩 성장하여 이 자리에 도달할 수 있었습니다. 또한 학생의 필요를 누구보다 잘 아시고 상황에 맞는 적절한 이야기들로 더욱 성장시켜주시는 교수님의 모습에서 정말 감명을 받았고, 감사했습니다. 또한 육종학 실험실에서 함께 배우고, 일하며 많은 정말 많은 사건사고들을 함께 견디고 이겨낸 재영이 형, 지은이, 지현이, 뚜안, 기본이, 윤석이 에게 감사한 마음을 전합니다.

그리고 식물자원환경 전공의 김동순 교수님, 전용철 교수님, 김주성 교수님, 박원표 교수님 석사과정에 입학하여 알찬 강의들로 부족한 제 부족한 지경을 조금씩 넓혀주셔서 감사합니다. 또한 서류작업과 같은 많은 일들로 저희를 도와주시는 이종훈 선생님, 이희선 선생님 감사합니다. 그리고 같은 실험실은 아니더라도 크고 작은 일로 도움을 주셨던 농학과의 선배님들, 동기들, 후배님들 정말 감사합니다.

끝으로 이 자리까지 올 수이도록 끝없는 지지로 함께해 주신 저희 가족들 그리고 부모님께 감사의 마음을 전하려 합니다.