



녹비작물 종자의 온탕침지를 통한 소독 효과 비교

김민정¹ · 심창기^{2†} · 김연복³ · 이재형⁴ · 홍성준⁵ · 송재경⁶

Comparative Study on The Disinfection Effect of Green Manure Crop Seeds Through Hot Water Soaking

Min-Jeong Kim¹, Chang-Ki Shim^{2†}, Yeon-Bok Kim³, Jae-Hyeong Lee⁴, Sung-Jun Hong⁵, and Jaekyeong Song⁶

ABSTRACT

Received: 2024 October 06

1st Revised: 2024 October 26

2nd Revised: 2024 November 10

3rd Revised: 2024 November 20

4th Revised: 2024 November 28

Accepted: 2024 November 28

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Background: Green manure crops are cultivated to address the challenge of continuous medicinal plants cropping. However, fungal and bacterial growth during seed storage hinders their use. To mitigate this, seed disinfection methods such as hot water treatment are used to reduce microbial contamination and enhance germination rates.

Methods and Results: We studied the effects of seed storage on contamination and germination of three green manure crops, six rye varieties, and one hairy vetch variety. Along with germination rates, fungal and bacterial infection rates were assessed by plating seeds on water agar and identifying the through culture, microscopy, and morphology. Hot water treatments for varying durations at 45°C, 50°C, and 55°C were tested to evaluate sterilization and germination impacts. *Alternaria* sp. and *Pseudomonas* sp. were common across taxa and affected germination and growth. ‘Nemajanghwang’ had low levels of infection and high germination. Meanwhile, hairy vetch had higher levels of infection and an 82.2% germination rate. Rye varieties varied, with ‘Egreen’ having the most successful results. Hot water treatment at 50°C for 20 min was the most effective method for balancing disinfection and germination.

Conclusions: This study has demonstrated that microbial infection and germination rates vary among green manure crops. Hot water treatment at 50°C for 20 min effectively sterilized the seeds while maintaining their germination rate. These findings suggest that optimized disinfection techniques can enhance seed quality and support sustainable agriculture.

Key Words: Green Manure, Hot-Water Treatment, Seed Disinfection, Germination



서 언

최근 국내에서 인삼 (Lee *et al.*, 2023)과 지황 (Lee *et al.*, 2024), 뿐만 아니라 외국에서도 인삼 (Wang *et al.*, 2016), 쓴메밀 (Zhou *et al.*, 2019), 블랙마카 (Wang *et al.*, 2019), 지황 (Yin *et al.*, 2009) 등 약용작물은 3 년에서 5 년까지 동일한 재배지에서 재배하기 때문에 연작으로 인해 수량감소, 병해충 증가 등 피해가 많이 발생하고 있다.

이러한 피해를 줄이기 위해 농약과 비료를 과다 사용하는

것으로 나타났다. 지나친 농약과 비료 사용은 약용작물 재배 시, 잔류 농약 및 중금속 문제가 발생하며, 이로 인해, 소비자 들은 농약과 화학비료 사용에 대해 부정적으로 인식하고 있다 (Seo *et al.* 2009).

이러한 문제를 해결하기 위해 화학비료 대신 친환경 자재를 사용하는 방안이나 (Kim and Park, 2013), 화학 농약을 대체 할 *Bacillus* sp.와 *Streptomyces* sp. 같은 세균성 내생균 (endophyte)을 활용한 생물학적 방제 방법 (Lee *et al.*, 2012; Wu *et al.*, 2021; Lee *et al.*, 2023) 등 친환경 재배 기술

[†]Corresponding author: (Phone) +82-63-238-2319 (E-mail) ckshim@korea.kr

¹농촌진흥청 국립농업과학원 유기농업과 박사후연구원 / Postdoctoral researcher, Organic Agricultural Division, NIAS, RDA, Wanju 55365, Korea.

²농촌진흥청 국립농업과학원 기술지원과 연구관 / Researcher, Technology Services Division, NIAS, RDA, Wanju 55365, Korea.

³한국농수산대학교 약용작물학과 교수 / Professor, Major of Medicinal and Industrial Crop, Korean National University of Agriculture and Fisheries, Jeonju 54874, Korea.

⁴농촌진흥청 국립농업과학원 유기농업과 연구사 / Researcher, Organic Agricultural Division, NIAS, RDA, Wanju 55365, Korea.

⁵농촌진흥청 국립농업과학원 유기농업과 연구관 / Researcher, Organic Agricultural Division, NIAS, RDA, Wanju 55365, Korea.

⁶농촌진흥청 국립농업과학원 유기농업과 연구관 / Researcher, Organic Agricultural Division, NIAS, RDA, Wanju 55365, Korea.

연구가 이루어지고 있으나, 그 성과는 아직 충분하지 않다.

하지만, 녹비 작물 (옥수수, 해바라기, 수단그라스 등)을 재배하여 토양에 환원한 후 태양열 소독을 실시하면 토양의 온도가 상승하여 토양 병원균, 특히 뿌리썩음병을 유발하는 *Cylindrocarpon destructans*의 밀도를 유의미하게 줄일 수 있어 인삼의 수확량이 증가하는 긍정적인 결과가 두 연구에서 공통적으로 보고되었다 (Lee *et al.*, 2016; Seo *et al.*, 2019).

또한, 약용 작물 재배 시, 녹비 작물의 활용은 토양 개선 및 연작장애 개선뿐만 아니라 보리를 윤작 작물로 재배한 처리구에서 백수오 (*Cynanchum wilfordii*) 뿌리의 수확량, 총 폴리페놀 함량, 및 DPPH 항산화 활성이 가장 높았으며, 토양 미생물도 증가시켜, 보리를 녹비 작물로 활용할 경우 백수오의 수광과 항산화 활성을 향상하는 데 효과적인 것으로 보고한 바 있다 (Yeon *et al.*, 2017).

또한, 오늘날 지속 가능한 농업을 유지하기 위한 토양, 수질 등 다양한 농업 환경의 질적 개선은 유기농업뿐만 아니라 농업 분야에서 중요한 실천과제로 대두되고 있다 (Yang *et al.*, 2018; Jansson and Hofmocker, 2020; Wittwer and van der Heijden, 2020). 이러한 농업 환경의 개선을 위한 실천 방법 중에서 농업 현장에서 적용 가능한 요인 하나가 토양 유기물 함량과 특성은 개선하는 것이며 이러한 유기물의 함량과 특성은 토양에 혼입된 식물잔사의 양과 종류에 의해 영향을 많이 받는 것으로 보고되었다 (Francis *et al.*, 1995; Cherr *et al.*, 2006; Banerjee and van der Heijden, 2023) 이러한 긍정적 영향을 주는 식물잔사로 다양한 기능을 가지고 있는 녹비 작물에 주목하고 있다 (Kuo *et al.*, 1997; Choi *et al.*, 2010; Walker *et al.*, 2023).

녹비 작물은 천연비료로서 농경지에 양분을 공급하여 비옥도를 증진시키고 (Jeong *et al.*, 1995; Lee *et al.*, 2008; Kim *et al.*, 2013; Kim *et al.*, 2022), 감자 시들음병 (*Verticillium dahliae*), 배추 클로버씨스트선충 (*Heterodera trifolii*)과 같은 토양 병해충 발생을 경감 하거나 (Wyland *et al.*, 1996; Ochiai *et al.*, 2008; Lee 2023; Ko *et al.*, 2024) 토양의 염류를 제거하며, 토양의 통기성을 개선하고 수분을 조절하는 역할을 한다 (Baer and Birgé, 2018). 또한, 화학비료 사용량을 줄여 아산화질소 배출을 저감하고 (Lyu *et al.*, 2023), 토양을 피복하여 제초 효과를 제공함으로써 제초제 사용을 절감하는 효과가 있다고 보고되기도 하였으며 (Wagger, 1989; Creamer *et al.* 1996; Reddy *et al.*, 2003; Choi *et al.*, 2009) 이에 따라 생물다양성이 증진되어 농업생태계가 보호되며 (Zhong *et al.*, 2010; Lee 2023; Walker *et al.*, 2023), 높은 이산화탄소 흡수 능력을 바탕으로 농업 분야에서 온실가스 저감에도 기여한다고 보고되고 있다 (Seo *et al.*, 2012).

‘2050 탄소중립’이 글로벌 기본 패러다임으로 대두되면서 한국도 2050까지 에너지 전환, 산림녹화 등을 통한 탄소중립을

선언한 바 (Beckman *et al.*, 2020), 농업 부문 온실가스 감축을 위해 저탄소 농업기술 개발 및 보급 필요, 농경지 이용 온실가스 흡수 기능 강화, 농축산분야 탄소중립 등에 기여할 것으로 기대한다 (Park *et al.*, 2018; Lee 2023; Kim *et al.* 2023).

하지만, 위와 같은 긍정적 효과에도 불구하고 저탄소 농업기술 실천으로 활용도가 높은 자운영, 헤어리베치 등과 같은 녹비 작물의 종자를 매년 중국 및 일본에서 수입해서 사용하고 있어 수입 의존도가 매우 높으며 수입량은 녹비 작물의 재배 면적과 더불어 증가하고 있어 이를 대체하기 위한 국산화가 필요하다(Kim *et al.*, 2011).

수입된 자운영, 헤어리베치, 라이그리스, 크림손클로버 종자는 상온 보관 시, 1년 후 발아율이 헤어리베치는 18% - 32%, 크림손클로버는 30% - 40%가 낮아져 농가의 손실이 크고 2년 후에는 거의 발아가 안 된다고 보고되었다 (Kim *et al.*, 2011; Kim *et al.* 2013).

특히, 녹비 작물을 비롯한 작물에 발생하는 다양한 식물 병원성 곰팡이, 세균, 바이러스는 종자를 통해 전염될 수 있어서, 유기농업 실천 시 병원체가 오염되지 않은 건전한 종자의 확보가 중요하다 (Song *et al.*, 2010; Bakker *et al.*, 2016; Dell’Olmo *et al.*, 2023).

종자 전염성 곰팡이는 종자의 부패와 변색을 유발하거나, 작물의 수확량에 영향을 미치는 유묘기에 병해를 일으켜 직접적 또는 간접적으로 영향을 미칠 수 있다 (NIAS, 2011; Zelechowski *et al.* 2019). 오랜 기간 동안 많은 병원균이 콩류 작물이 관련됐으며, 때로는 심각한 감염으로 인해 상당한 경제적 손실이 발생한 사례도 보고되었다 (Jha *et al.*, 2020; Sampaio *et al.*, 2020).

녹비 작물로 재배된 작물에서 발생한 병해충이 토양에 남아 있어 후작물인 약용 작물에 영향을 미칠 수도 있으므로 녹비 작물 선택 시 해당 작물의 병해충 발생 여부를 고려하고, 적절한 관리 방안을 마련하는 것이 중요한 것으로 보고되었다 (Lee *et al.*, 2017).

친환경, 유기농업을 실천하는 농가 현장에서 사용하는 녹비 종자의 건전성 확보를 위해 활용할 수 있는 일반적인 친환경 종자 소독 기술로 냉수온탕침지법, 온탕 침지법, 온탕 침지와 유기화합물 침지법, 염수선법 등이 있으나 녹비 작물에 대한 친환경 종자 소독 기술의 개발은 매우 미진하다 (Hayasaka *et al.*, 2001; Kim *et al.*, 2013; Kim *et al.*, 2022).

Lee 등 (2012)은 종자 오염 방지를 위한 친환경 종자 소독 방법을 보고하였다. 종자 소독은 식물의 초기 성장 과정에서 중요한 역할을 한다고 보고하였으며 종자 소독은 종자 표면에 존재하는 곰팡이나 세균을 제거하여 발아율을 높이고, 작물의 생산성을 향상하기 위해 다양한 방법이 연구되고 있다. 그 중 1 가지 방법으로 온탕냉수침지법은 상대적으로 간단하고 효과적인 방법으로 알려져 있으며, 다양한 작물에 적용 가능하다

(Kim *et al.*, 2013; Kim *et al.*, 2022).

콩과 녹비 작물은 토양 비옥도를 향상시키는 중요한 작물로 널리 활용되고 있다. 그러나 녹비 종자에 부착된 곰팡이와 세균은 발아율 및 초기 생육에 악영향을 미칠 수 있다. 이에 따라, 종자 소독은 중요한 농업 기술 중 하나로, 곰팡이와 세균을 제거하여 녹비 종자의 생육을 극대화하는 데 중요한 역할을 한다 (Gitaitis and Walcott, 2007; Kim *et al.*, 2022).

따라서, 본 연구는 녹비 작물의 종자를 대상으로 다양한 온도와 시간에서 온탕침지 소독 처리 조건 탐색을 통해 살균 효과 및 발아율에 미치는 영향을 분석하여 다양한 병원균으로 오염된 녹비 종자를 약용 작물 재배지에 이용할 경우, 2 차적으로 약용 작물에 병해를 유발할 수 있으므로 이를 더욱 효율적으로 대처할 수 있는 기초자료로 제공코자 한다.

재료 및 방법

1. 종자 재료

본 연구에서는 녹비 작물의 종자 중에서 농업 현장에서 수요가 가장 많은 헤어리베치, 자운영, 네마장황 등의 녹비 작물 종자를 시험대상으로 선정하였다.

공시한 시험 재료는 수입산 헤어리베치 (Namoi, Sustain Seeds+Soil Co. Ltd., Sidney, Australia), 자운영 (Common, China National Seed Group Co. Ltd., Shandong, China), 네마장황 (Sun Hemp, Advanta Co. Ltd., Telangana, India) 등으로 시험 전 4°C 저온저장고에 보관하면서 시험에 사용하였다.

또한 녹비 작물 종자의 저장 기간에 따른 종자 오염 정도와 발아율에 미치는 영향을 분석하고자 6 개 호밀 품종 (곡우, 두루호밀, 씨드그린, 윈터그린, 이그린, 춘추호밀)과 1 개 헤어리베치 품종 (토익)을 국립식량과학원으로부터 분양받았으며, 국립농업과학원 유기농 격리포장에서 2022년 생산한 4 종의 헤어리베치 품종 (유기1, 유기2, 유기3, 유기4)을 시험에 공시하였다.

2. 녹비 작물 종자의 종자감염균 분리

본 연구에서는 콩과 녹비 작물 4 종을 대상으로 곰팡이 및 세균 감염률과 발아율을 측정하고자 공시한 녹비 종자를 선별하지 않고 한천배지 (agar 20 g, 증류수 1 ℓ)만을 넣어 만든 배지에 치상하였다. 치상한 후, 각 종자별 발아율 조사와 더불어 종자에 나타난 곰팡이와 세균을 순수분리과정을 거쳐 광학현미경 (Nikon, Alphas2, Tokoy, Japan) 검경과 형태적 특성에 따라 곰팡이와 세균의 종을 동정하여 미생물 감염이 종자 발아에 미치는 영향을 분석하였다.

녹비 종자로부터 순수 분리한 곰팡이의 분류는 곰팡이 분류책자인 “The identification of fungi (Dugan, 2015)”와 “Illustrated

genera of imperfect fungi (Barnett and Hunter, 1998)”를 참조하여 균주별로 균사와 포자의 형태적 특성을 고려하여 속 (Genera) 수준에서 분류하였다.

녹비 종자로부터 순수분리한 세균의 경우는 그람염색과 현미경 관찰을 통해 “Methods for general and molecular bacteriology (Murray *et al.*, 1994)”를 참조하여 세균의 형태적 특성을 조사하였고 추가로 16s rRNA 분석을 통해 동정하였다.

3. 온탕침지 소독에 따른 녹비작물 종자의 살균 효과와 발아율 분석

녹비 작물 종자에 대한 온탕침지 처리는 45°C, 50°C, 55°C의 온도에서 10분, 15분, 20분, 25분 동안 소독을 실시하였다. 이후 곰팡이와 세균의 살균 효과 및 발아율 변화를 측정하였다.

무처리 대조군을 설정하여 소독 처리와 비교 분석하였다. 온탕침지 조건에 따른 살균 효과는 처리 후, 종자에 존재하는 곰팡이와 세균의 비율을 측정하여 소독 처리에 따른 살균 효과를 분석하였다.

또한 발아율에 미치는 영향은 콩과 녹비작물 온탕 침지 소독 처리 후 종자의 발아율을 측정하여 온도와 시간이 살균 효과 및 발아에 미치는 영향을 평가하였다. 각 품종별로 20 립씩, 3 반복하여 조사하였으며, 미생물 감염률과 발아율 간의 상관성을 분석하였다.

4. 통계 분석

통계 분석은 SAS Enterprise 7.2 (SAS Institute Inc. Cary, NC, USA)를 이용하여 일원분산분석을 실시했으며 Duncan's Multiple Range Test (DMRT)와 Student *t*-test를 이용하여 처리 간 평균값의 유의성을 검정하였다.

결과 및 고찰

1. 녹비작물의 미생물 감염률과 발아율 검정

콩과 녹비작물 4 종의 곰팡이 및 세균 감염률과 발아율은 Table 1과 같다.

헤어리베치에서 곰팡이 감염률은 46.7%, 세균 감염률은 62.2%, 곰팡이와 세균의 동시 감염률은 37.8%로 가장 높은 감염률을 나타냈다 (Table 1).

반면, 네마장황은 곰팡이 감염률 28.9%, 세균 감염률 44.4%, 곰팡이+세균 동시 감염률 17.8%로 가장 낮은 수치를 보였다. 발아율은 네마장황에서 91.1%로 가장 높았으며, 자운영에서 75.6%로 가장 낮았다 (Table 1).

한편, 각 종자에서 검출된 곰팡이 및 세균의 종류는 Table 2와 같다. 곰팡이는 네 종의 녹비 작물에서 공통적으로 연한 갈색의 격벽이 있는 다세포 균사 (hyphae)와 타원형에서 곤봉

Table 1. Comparison of mold and bacterial infection rates and germination rates of four types of leguminous and green manure crops.

Green manures	Contamination rate (%)			Germination rate (%)
	Fungi	Bacteria	Fungi+Bacteria	
Hairy vetch	46.7±4.4 ^a	62.2±5.9 ^a	37.8±3.0 ^a	82.2±3.0 ^b
Crotalaria	28.9±3.0 ^c	44.4±3.0 ^b	17.8±3.0 ^c	91.1±3.0 ^a
Alfalfa	35.6±5.9 ^{bc}	37.8±3.0 ^c	15.6±3.0 ^c	80.0±4.4 ^b
Chinese milk vetch	40.0±8.9 ^{ab}	35.6±3.0 ^c	24.4±3.0 ^b	75.6±3.0 ^d
Mean	37.8	45.0	23.9	82.2

Means ± standard deviation (SD). Survey conducted with 20 seeds per crop in 3 repetitions. Means separation within columns at 5% level by Duncan's Multiple Range Test (DMRT, ^{*}*p* < 0.05).

Table 2. Mold and bacterial isolates detected in leguminous and green manure crop seeds.

Green manures	Fungi	Bacteria.
Hairy vetch	<i>Alternaria</i> sp.	<i>Pseudomonas</i> sp., <i>Bacillus</i> sp.
Crotalaria	<i>Alternaria</i> sp. <i>Cladosporium</i> sp.	<i>Pseudomonas</i> sp., <i>Bacillus</i> sp.
Alfalfa	<i>Alternaria</i> sp. <i>Botrytis</i> sp.	<i>Pseudomonas</i> sp.
Chinese milk vetch	<i>Alternaria</i> sp.	<i>Pseudomonas</i> sp.

형의 다양한 형태의 분생포자 (conidia)를 갖는 *Alternaria* sp.가 검출되었다.

네마장황에서는 연한 갈색에서 올리브색을 띠며, 멜라닌 색소로 인해 착색을 보이는 격벽이 있는 다세포 균사와 연속적으로 짧은 사슬 모양으로 배열되며, 주로 단세포이고 타원형에서 원통형 분생포자가 특징인 *Cladosporium* sp.가 검출되었다.

알팔파에서는 투명하거나 연한 갈색을 띠며 격벽이 있는 다세포 균사와 분생자경 (conidiophore)의 끝에 다발 형태로 형성되며, 포도송이와 유사한 집합체를 이루는 분생포자가 특징적인 *Botrytis* sp.가 추가로 확인되었다.

세균의 경우, 모든 녹비 작물에서 일반적으로 영양 한천배지 (nutrient agar)에서도 배양 가능하며, 형성된 균총은 평활하고 반투명하며 가장자리가 불규칙하며 현미경 관찰에서 그람 음성 (-)으로 염색되며, 막대 모양의 간균 형태를 보이는 *Pseudomonas* sp.가 검출되었다.

헤어리베치와 네마장황에서는 영양 한천배지에서 쉽게 배양이 되며 배양 후 크고 불규칙한 가장자리와 주름진 표면을 가지는 집락을 형성하고 현미경 관찰에서 그람 양성 (+)으로 염색되며, 보라색을 띠는 막대 모양의 간균 형태를 보이는 *Bacillus* sp.가 추가적으로 검출되었다 (Table 2).

본 연구 결과, 콩과 녹비 작물의 곰팡이 및 세균 감염률은 종에 따라 상이한 양상을 보였다. 또한, *Alternaria* sp.와 *Pseudomonas* sp.는 모든 종에서 공통적으로 검출되어, 이들 미생물이 콩과 녹비 작물의 발아 및 초기 생장에 주요한 영향

을 미칠 가능성이 있을 것으로 본다. 이로 인해 네마장황은 상대적으로 미생물 감염률이 낮고 발아율이 높은 반면 헤어리베치는 세균을 제외하고 곰팡이가 단독 및 세균과 곰팡이 복합 감염률이 상대적으로 낮은 경향을 보여 발아율이 82.2%로 두 번째로 높게 나타났다 (Table 1).

종자에 병원균이 감염되면 발아율이 낮아지고 작물의 생육에 심각한 영향을 줄 수 있음을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 곰팡이 병원균이 종자 품질과 수명을 저하시킬 수 있는 작용기작은 다르지만, 곰팡이가 종자에 감염되면 발아율이 낮아지고, 특히 저장 중에 병원균이 퍼질 위험성이 높아질 수 있다 (Martin *et al.*, 2022; Asghar and Katoka, 2023; Dell'Olmo *et al.*, 2023)는 결과와 일치한다.

2. 녹비종자 저장기간에 따른 미생물 감염률과 발아율

코로나 이후, 국제물류의 어려움과 녹비 작물의 종자 수입 의존도가 높아 녹비종자의 저장 기간이 매우 중요하여 녹비 작물의 종자 저장 기간이 미생물 감염률과 발아율에 미치는 영향을 조사한 바, 호밀 7 개 품종의 곰팡이 감염률은 춘추호밀이 10.0%로 가장 낮았고, 윈터그린이 25.7%로 가장 높았다.

세균 감염률은 곡우 (2013년 생산)와 두루호밀 (2012년 생산)이 각각 5.2%와 5.1%로 가장 낮았으며, 씨드그린이 15.1%로 가장 높았다. 곰팡이와 세균 동시 감염률은 씨드그린이 5.6%로 가장 높았고, 이그린이 1.5%로 가장 낮았다.

발아율은 이그린이 79.5%로 가장 높았고, 곡우 (2013년 생산)가 63.6%로 가장 낮았다. 호밀 품종의 평균 발아율은 69.8%로 나타났다 (Table 3).

또한, 헤어리베치 5 개 품종의 곰팡이 감염률은 유기2 (7.5%)와 유기3 (7.6%)가 가장 낮았고, 토익이 26.0%로 가장 높았다. 세균 감염률은 유기1이 3.3%로 가장 낮고, 토익이 6.8%로 가장 높았다. 곰팡이와 세균 동시 감염률은 유기4가 2.1%로 가장 낮았으며, 토익이 5.6%로 가장 높았다.

발아율은 유기4가 95.0%로 가장 높았으며, 토익이 68.7%로 가장 낮았다. 헤어리베치 품종의 평균 발아율은 94.0%로 나타났다 (Table 4).

헤어리베치에서 발생하는 휘발성 화합물이 토양의 미생물

Table 3. Comparison of mold and bacterial infection rates and germination rates for seven rye green manure seed varieties.

Varieties of Rye	Production year	Contamination rate (%)			Germination rate (%)
		Fungi	Bacteria	Fungi + Bacteria	
Goku	2012	16.3±2.3 ^c	8.2±1.7 ^b	2.8±1.0 ^{bc}	64.2±3.0 ^{de}
	2013	15.2±2.1 ^c	5.2±0.8 ^c	2.6±0.8 ^{bcd}	63.6±2.9 ^e
Duru	2012	15.6±2.3 ^c	5.1±1.9 ^c	2.4±0.9 ^{bcd}	64.2±4.9 ^{de}
	2014	20.3±2.6 ^b	5.2±1.0 ^c	3.1±0.8 ^b	68.5±3.9 ^c
	2018	21.0±1.5 ^b	14.1±1.0 ^a	4.8±1.0 ^a	76.0±3.4 ^{ab}
Seed Green	2019	15.2±2.7 ^c	15.1±1.9 ^a	5.6±1.2 ^a	75.4±4.4 ^b
Winter Green	2011	25.7±3.1 ^a	7.8±1.0 ^b	2.4±1.0 ^{bcd}	68.0±2.4 ^{cd}
Egreen	2017	15.8±2.2 ^c	5.6±1.9 ^c	1.5±1.9 ^d	79.5±2.9 ^a
Chunchu	2012	10.0±1.1 ^d	7.5±1.0 ^b	2.0±1.0 ^{cd}	68.5±1.5 ^c
Means±SD		17.2±4.5	8.2±1.4	3.0±1.1	69.8±3.3

Means ± standard deviation (SD). Survey conducted with 20 seeds per crop in 3 repetitions. Means separation within columns at 5% level by Duncan's Multiple Range Test (DMRT, $p < 0.05$).

Table 4. Comparison of mold and bacterial infection rates and germination rates for five hairy vetch green manure seed varieties.

Varieties of Hairy vetch	Contamination rate (%)			Germination rate (%)
	Fungi	Bacteria	Fungi+Bacteria	
Toeic1	26.0±4.2 ^a	6.8±1.9 ^a	5.6±0.5 ^a	68.7±2.3 ^e
Organic1	8.2±1.1 ^c	3.3±0.9 ^e	2.6±0.5 ^d	93.7±1.5 ^c
Organic2	7.5±0.9 ^e	5.5±1.2 ^b	4.5±0.9 ^c	93.0±1.0 ^d
Organic3	7.6±1.2 ^d	5.1±1.3 ^c	4.8±0.9 ^b	94.3±1.5 ^b
Organic4	8.8±1.4 ^b	3.6±0.5 ^d	2.1±0.5 ^e	95.0±2.0 ^a
Means±SD	8.0±1.2	4.4±1.0	3.0±0.7	94.0±1.5

Means ± standard deviation (SD). Survey conducted with 15 seeds per crop in 3 repetitions. Means separation within columns at 5% level by Duncan's Multiple Range Test (DMRT, $p < 0.05$).

환경에 미치는 영향과 토양 내 곰팡이 활동이 작물 성장과 발아에 어떤 긍정적인 영향을 미치는지 분석하였다 (Asghar and Katoka, 2023).

시험재료 수확 연도가 달라 곰팡이 등의 발생과 종자의 발아율의 차이가 있을 수 있음에도 불구하고 본 연구 결과, 호밀과 헤어리베치 품종 간의 미생물 감염률과 발아율에서 차이가 나타났다. 호밀 품종 중 이그린은 높은 발아율과 낮은 감염률을 보였으며, 윈터그린과 씨드그린은 높은 곰팡이 및 세균 감염률을 보였음에도 불구하고 상대적으로 높은 발아율을 유지하였다.

일반적으로 곰팡이나 세균 감염이 종자 발아율에 부정적 영향을 미치지만, 일부 연구에서는 특정 곰팡이와 세균이 발아율에 영향을 주지 않거나 오히려 발아에 긍정적인 영향을 줄 수 있다고 보고하였다. 예를 들어, *Epichloë* 같은 내부 공생균이 종자의 산화 손상을 줄여주며, 환경 스트레스에 대한 내성을 높여 발아를 돕는 역할을 하는 경우가 있다. 이는 특히 다양한 식물에서 스트레스 조건 하에서도 발아율을 유지하는 데 기여하는 것으로 보고되었다 (Prado *et al.*, 2012; Lugtenberg

et al., 2016; Li *et al.*, 2019; Rétif *et al.*, 2023).

따라서, 헤어리베치의 경우 유기 품종들은 전반적으로 낮은 미생물 감염률과 높은 발아율을 보였으며, 이는 유향합제를 사용하여 관리하는 유기농 방식의 생산 관리가 미생물 감염률을 억제하고 발아율을 향상되는 긍정적인 영향을 미쳤음을 시사한다.

3. 녹비종자 온탕침지처리에 따른 소독효과와 발아율에 미치는 영향

호밀 종자의 온탕침지처리에 따른 소독 효과와 발아율에 미치는 영향을 조사한 결과, Table 5에 나타난 바와 같이, 호밀 종자의 경우 온도가 증가할수록 소독 효과가 뚜렷하게 증가하는 경향을 보였다.

특히 50°C에서 20 분 처리 시 곰팡이와 세균이 모두 0%로 감소하여 가장 높은 소독 효과를 나타냈고 발아율도 75.8%로 가장 높았다. 그러나 55°C에서 20 분 이상의 처리는 발아율이 급격히 감소하는 결과를 보였으며, 25 분 처리 시 발아율은 20.4%까지 감소하였다. 이는 고온에 의해 종자의 손상이 발생

녹비작물 종자의 온탕침지 소독 효과

Table 5. Seed disinfection effects and germination rates based on temperature and duration of hot water-cold water immersion treatment for rye.

Treatments		Contamination rate (%)		Germination rate (%)	
Temperature (°C)	Time (minutes)	Fungi (%)	Bacteria (%)		
Control	-	17.8±1.2 ^b	7.5±1.0 ^d	69.8±2.0 ^c	
	45	10	18.2±1.4 ^a	8.2±1.4 ^b	69.5±2.0 ^d
		15	15.4±1.5 ^c	7.7±1.0 ^c	65.6±2.5 ^b
		20	8.3±1.5 ^e	8.3±1.2 ^a	60.2±2.0 ^j
		25	5.7±1.0 ^f	6.7±1.0 ^e	60.4±2.0 ^h
50	10	8.4±1.1 ^d	2.3±0.5 ^f	68.2±2.2 ^f	
	15	3.2±1.0 ^g	1.5±0.2 ^g	70.4±4.0 ^b	
	20	0.0±0.0 ⁱ	0.0±0.0 ⁱ	75.8±3.5 ^a	
	25	0.0±0.0 ⁱ	0.0±0.0 ⁱ	60.2±3.0 ^j	
55	10	1.0±0.2 ^h	0.7±0.1 ^h	68.4±2.5 ^d	
	15	0.0±0.0 ⁱ	0.0±0.0 ⁱ	50.2±3.0 ^j	
	20	0.0±0.0 ⁱ	0.0±0.0 ⁱ	20.5±2.4 ^k	
	25	0.0±0.0 ⁱ	0.0±0.0 ⁱ	20.4±1.8 ^l	

Means ± standard deviation (SD). Survey conducted with 20 seeds per crop in 3 repetitions. Means separation within columns at 5% level by Duncan's Multiple Range Test (DMRT, **p* < 0.05).

한 것으로 판단된다.

헤어리베치 종자의 온탕침지처리에 따른 소독 효과와 발아율에 미치는 영향을 조사한 결과 Table 6과 같다. 헤어리베치 종자 역시 온도가 증가함에 따라 소독 효과가 증가하였다. 50°C에서 20 분 처리 시 곰팡이와 세균이 모두 0%로 발생하지 않았으며, 발아율은 92.5%로 비교적 높게 유지되었다. 그러나

55°C에서 20 분 이상의 처리에서는 발아율이 66.7%에서 51.7%까지 급격히 감소하였다. 이는 호밀 종자와 마찬가지로 종자 내부 구조가 높은 온도에 의해 손상된 결과로 추정된다.

호밀과 헤어리베치 종자의 온탕침지 처리 온도와 시간의 최적 조건에 관한 연구에 따르면, 50°C에서 20 분간의 처리는 대부분의 작물에서 균과 세균을 효과적으로 제거하면서도 발

Table 6. Seed disinfection effects and germination rates based on temperature and duration of hot water-cold water immersion treatment for hairy vetch.

Treatments		Contamination rate (%)		Germination rate (%)	
Temperature (°C)	Time (minutes)	Fungi (%)	Bacteria (%)		
Control	-	9.0±1.0 ^{bc}	4.5±1.5 ^d	94.3±2.0 ^a	
	45	10	8.5±1.5 ^c	4.5±1.5 ^d	94.0±2.0 ^{ab}
		15	34.0±2.0 ^a	46.7±2.3 ^a	94.2±2.5 ^a
		20	10.0±1.0 ^b	11.7±1.3 ^b	90.4±2.0 ^c
		25	6.7±1.3 ^d	10.0±1.0 ^c	90.2±3.5 ^c
50	10	1.3±1.2 ^{ef}	3.3±1.7 ^{de}	93.5±3.0 ^{abc}	
	15	1.7±1.3 ^{ef}	2.3±0.7 ^{ef}	94.2±2.1 ^a	
	20	0.0±0.0 ^f	0.0±0.0 ^g	92.5±2.5 ^{abc}	
	25	0.0±0.0 ^f	0.0±0.0 ^g	85.2±2.3 ^d	
55	10	0.7±0.3 ^{ef}	1.7±1.3 ^f	90.6±3.4 ^{bc}	
	15	0.0±0.0 ^f	0.0±0.0 ^g	90.4±2.4 ^c	
	20	0.0±0.0 ^f	0.0±0.0 ^g	66.7±2.3 ^e	
	25	0.0±0.0 ^f	0.0±0.0 ^g	51.7±2.1 ^f	

Means ± standard deviation (SD). Survey conducted with 15 seeds per crop in 3 repetitions. Means separation within columns at 5% level by Duncan's Multiple Range Test (DMRT, **p* < 0.05).

아울에 큰 영향을 주지 않는 최적의 조건으로 나타났다. 당근, 브로콜리, 콜리플라워 등의 종자도 50°C에서 20 분 - 25 분 처리 시 소독 효과가 뛰어나고 발아율이 유지되는 것으로 보고되었다 (Kim *et al.* 2022). 이는 본 연구에서 호밀과 헤어리베치 종자에서도 동일하게 관찰된 결과이다.

특히, 고온에 의한 종자 손상은 대부분 연구에서 55°C 이상의 온도에서 처리된 경우, 종자의 발아율이 급격히 감소하는 경향은 본 연구뿐만 아니라 다양한 작물에서도 나타났다. 옥수수, 피망 및 콩과 같은 종자는 고온 처리에 민감하여, 55°C 이상의 온도에서 발아율이 크게 감소하는 것으로 보고되었다 (Singh *et al.*, 2020).

온탕 처리와 종자 발아율 간의 관계를 살펴보면, 일부 연구에서는 52°C - 54°C의 온도에서 장시간 (30 분 이상) 처리 시 곰팡이 및 세균을 완전히 제거할 수 있지만, 그에 따른 발아율 감소가 발생할 수 있다고 보고되었다 (Kim *et al.*, 2022). 이는 본 연구에서 호밀과 헤어리베치가 55°C에서 20 분 이상 처리되면 발아율이 급격히 감소한 결과와 유사하다.

본 연구는 콩과 녹비 작물 4 종의 미생물 감염률과 발아율을 비교 분석하였으며, 종자에서 검출된 주요 곰팡이와 세균을 동정하였다. 연구 결과, 네마장황은 미생물 감염률이 낮고 발아율이 높은 반면, 헤어리베치는 감염률이 높고 발아율이 낮은 경향을 보였다. 호밀과 헤어리베치 종자에 온탕냉수침지법을 적용하여 소독 효과와 발아율에 미치는 영향을 분석하였다. 2 종 모두 50°C에서 20 분 처리 시 소독 효과가 최대치에 도달하면서 발아율도 유지되는 최적의 조건을 보였다. 그러나 55°C 이상의 고온에서는 발아율이 급격히 감소하는 경향이 나타났으므로, 소독을 위한 적정 온도와 시간이 매우 중요함을 확인하였다.

이러한 결과는 친환경 약용작물을 재배하기 위한 초작지를 조성하고자 하는 농업 현장에서 녹비 작물 종자 소독에 대한 유용한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 연구개발사업(과제번호: RS-2022-RD010400)의 지원에 의해 수행된 결과로 이에 감사드립니다.

REFERENCES

Asgar W and Kataoka R. (2023). Fungal volatiles from green manure-incorporated soils promote the growth of lettuce (*Lactuca sativa*) and mediate antifungal activity against *Fusarium oxysporum* in vitro. *Plant and Soil*. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-023-06158-5> (cited by 2023 July 14).

Baer SG and Birgé HE. (2018). Soil ecosystem service: An

overview. In Reicosky D. (ed.), *Managing soil health for sustainable agriculture*. Burleigh Dodds Science Publishing, Cambridge, England. p.17-38.

Barnett HL and Hunter BB. (1998). *Illustrated genera of imperfect fungi*. APS Press. St. Paul. Minnesota. U.S.A. p.218.

Bakker MG, Acharya J, Moorman TB, Robertson AE and Kaspar TC. (2016). The potential for cereal rye cover crops to host corn seedling pathogens. *Phytopathology*. 106:591-601.

Banerjee S and Van Der Heijden MGA. (2023). Soil microbiomes and one health. *Nature Reviews Microbiology*. 21:6-20.

Beckman J, Ivanic M, Jeliffe JL, Baquedano FG and Scott SG. (2020). Economic and food security impacts of agricultural input reduction under the European Union Green Deal's farm to fork and biodiversity strategies. *Economic* 30. U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service.

Cherr CM, Scholberg JMS and McSorle R. (2006). Green manure approaches to crop production: A synthesis. *Agronomy Journal*. 98:302-319.

Choi BS, Hong GC, Nam JJ, Lim JE, Lee HY, Choi YB, Ho JJ, Yang HE and Ok YS. (2009). Effect of rapeseed(*Brassica napus*) incorporated as green manure on weed growth in rice paddy : A pot experiment. *Korean Journal of Weed Science*. 29:39-45.

Choi BS, Jung JA, Oh MK, Jeon SH, Goh HG, Ok YS and Sung JK. (2010). Effects of green manure crops on improvement of chemical and biological properties in soil. *Korean Journal of Soil Sciences Fertilizer*. 43:650-658.

Creamer NG, Bennett MA, Stinner BR, Cardina J and Regnier EE. (1996). Mechanisms of weed suppression in cover crop-based production systems. *Hortsciences*. 31:410-413.

Dell' Olmo E, Tiberini A and Sigillo L. (2023). Leguminous seedborne pathogens: Seed health and sustainable crop management. *Plants*. 12:2040. <https://www.mdpi.com/2223-7747/12/10/2040> (cited by 2023 May 19).

Dugan F (2017). *The identification of fungi : an illustrated introduction with keys, glossary, and guide to literature*. APS Press, St. Paul Minnesota, U.S.A. p.176.

Francis GS, Haynes RJ and Williams PH. (1995). Effects of the timing of ploughing-in temporary leguminous pastures and two winter cover crops on nitrogen mineralization, nitrate leaching and spring wheat growth. *The Journal of Agricultural Science*. 124:1-9.

Gitaitis R, Walcott R. 2007. The epidemiology and amnagement of seedborne bacterial disease. *Annual Review Phytopathology*. 45:371-397.

Hayasaka T, Ishiguro K, Shibutani K and Namai T. (2001). Seed disinfection using hot water immersion to control several seed-borne diseases of rice plants. *Japanese Journal of Phytopathology*. 67:26-32.

Jansson JK and Hofmockel KS. (2020). Soil microbiomes and climate change. *Nature Reviews Microbiology*. 18:35-46.

Jeong JH, So JD, Rhee GS and Kim HJ. (1995). Soil improvement and rice yield productivity by milk vetch (*Astragalus sinicus* L.) in paddy soil. *RDA Journal of Agricultural Sciences*. 37:255-258.

Jha UC, Bohra A, Pandey S and Parida SK. (2020). Breeding, genetics, and genomics approaches for improving fusarium wilt

- resistance in major grain legumes. *Frontiers in Genetics*. 11: 1001. <https://www.frontiersin.org/journals/genetics/articles/10.3389/fgene.2020.01001/full> (cited by 2020 October 23).
- Kim MJ, Shim CK, Lee JH and Wangchuk C.** (2022). Hot water treatment as seed disinfection techniques for organic and eco-friendly environmental agricultural crop cultivation. *Agriculture*. 12:1081. <https://www.mdpi.com/2077-0472/12/8/1081> (cited by 2022 July 22).
- Kim MT, Lee YH, Jeon WT, Kim SJ, Yun DH, Ku JH, Song H, Lee HB, Seo MC and Kang HW.** (2013). Effects of water-soaking and mechanical and chemical scarifications on seed germination of hairy vetch (*Vicia villosa* Roth). *Korean Journal of Soil Sciences Fertilizer*. 46:49-52.
- Kim SH, Jeon HJ, Choi JY, Seo IH, Jeon JB and Kim TG.** (2023). Estimating GHG emissions from agriculture at detailed spatial-scale in geographical unit. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*. 65:69-80.
- Kim SW, Seo YH, Choi YB, Ahn MS and Kang AS.** (2011). Effect of mixed sowing of Hairy Vetch and Rye on green manure yield in mountainous highland. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*. 44:442-447.
- Kim SY, Oh SH, Hsn SI, Seo WD, Jang KC, Na JE, Lee JH, Cho JH, Lee JY, Choi KJ, Song YC, Yeo US and Kang HW.** (2011). Germination and viability of green manure crop seeds produced from domestic and foreign countries. *Korean Journal of Crop Sciences*. 56:308-314.
- Kim WS and Park JS.** (2013). Selection and control effect of environmental friendly organic materials for controlling the ginseng alternaria blight. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 21:388-393.
- Ko HR, Kim JW, Park SK, Karthi N, Park BY, Kim SH and Kim JC.** (2024). Resistance screening of white mustard (*Sinapis alba*) plant resources against clover cyst nematode, *Heterodera trifolii*. *Korean Journal of Environmental Biology*. 42:135-142.
- Kuo S, Sainju UM and Jellum EJ.** (1997). Winter cover crop effects on soil organic carbon and carbohydrate. *Soil Sciences Society of America Journal*. 61:145-152.
- Lee D, Park TH, Lim K, Jeong M, Nam G, Kim WC and Shin JH.** (2024). Biofumigation-derived soil microbiome modification and its effects on tomato (*Solanum lycopersicum* L.) health under drought. *Agronomy*, 14:2225. <https://www.mdpi.com/2073-4395/14/10/2225> (cited by 2024 July 17).
- Lee HJ, Parl KC, Lee SH, Bang KH, Park HW, Hyun DY, Kang SW, Cha SW and Chung IM.** (2012). Screening of antifungal *Bacillus* spp. against alternaria blight pathogen (*Alternaria panax*) and anthracnose pathogen (*Colletotrichum gloeosporioides*) of ginseng. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 20:339-344.
- Lee IB, Kang SB and Park JM.** (2008). Effect of soil incorporation of graminaceous and leguminous manures on tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) growth and soil nutrient balances. *Korean Journal of Environmental Agriculture*. 27:343-348.
- Lee SW, Park KH, Lee SH, Jang IB and Jin ML.** (2017). Effect of green manure crop cultivation on soil chemical properties and root rot disease in continuous cropping field of ginseng. *Korean Journal of Medicinal Crop Sciences*. 25:1-9.
- Lee SW, Lee SH, Lan JM, Park GH and Jang IB.** (2016). Control of soil-borne pathogens in ginseng cultivation through the use of cultured green manure crop and solarization in greenhouse facilities. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 24:136-142.
- Lee JY, Kim SM, Jung HS, Koo BK, Han JA and Lee HS** (2023). Exploiting bacterial genera as biocontrol agents: Mechanisms, interactions and applications in sustainable agriculture. *Journal of Plant Biology*. 66:485-498.
- Lee SW, Sim SY, Lee SD, Lee YS, Chung LH and Kim SK. (2012). Development of eco-friendly method for seed sterilization and washing treatments for sprouts. *Korean Society of Horticultural Sciences*. 10:80-81.
- Li H, Parmar S, Sharma VK and White JF.** (2019). Seed endophytes and their potential applications. In Verma SK, Francis JWJ. (eds) *Seed endophytes: Biology and biotechnology*. Springer International Publishing, Charm, Switzerland. p.35-54.
- Lugtenberg BJJ, Caradus JR and Johnson LJ.** (2016). Fungal endophytes for sustainable crop production. *FEMS Microbiology Ecology* 92:fiw194. <https://academic.oup.com/femsec/article/92/12/fiw194/2570446?login=false> (cited by 2023 March 01).
- Lyu H, Li Y, Wang Y, Wang P, Shang Y, Yang X, Wang F and Yu A.** (2023). Drive soil nitrogen transformation and improve crop nitrogen absorption and utilization - a review of green manure applications. *Frontiers Plant Sciences*. 14:1305600. <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2023.1305600/full> (cited by 2024 January 04).
- Martín I, Gálvez L, Guasch L and Palmero D.** (2022). Fungal pathogens and seed storage in the dry state. *Plants*. 11:3167. <https://www.mdpi.com/2223-7747/11/22/3167> (cited by 2022 November 18).
- Murray RGE, Doetsch RN and Robinow CF.** (1994). Determinative and cytological light microscopy. In Gerhardt P, Murray RGE, Wood WA and Krieg NR (eds). *Methods for general and molecular bacteriology*. American Society for Microbiology, Washington D.C., U.S.A. p.21-41.
- National Institute of Agricultural Sciences(NIAS).** (2011). *Organic seed production manual*. National Institute of Agricultural Sciences. Rurla Development Administration. Suwon, Korea. https://lib.rda.go.kr/search/mediaViewChk.do?mets_no=000000012566. (cited by 2024 September 2).
- Ochiai N, Powelson ML, Crowe FJ, Dick RP.** (2008). Green manure effects on soil quality in relation to suppression of *Verticillium* wilt of potatoes. *Biology and Fertility of Soils*. 44:1013-1023.
- Park EB, Song CH, Ham BY, Kim JW, Lee JY, Choi SE and Lee WK.** (2018). Comparison of sampling and wall-to-wall methodologies for reporting the GHG inventory of the LULUCF sector in Korea. *Journal of Climated Change Research*. 9:385-398.
- Prado S, Li Y, Nay B.** (2012). Diversity and ecological significance of fungal endophyte natural products. *Studies in Natural Products Chemistry*. 36:249-296.
- Reddy KN, Zablotowicz RM, Locke MA and Koger CH.** (2003). Cover crop, tillage, and herbicide effects on weeds, soil properties, microbial populations, and soybean yield. *Weed Sciences*. 51:987-994.

- Rétif F, Kunz C, Calabro K, Duval C, Prado S, Bailly C and Baudouin E.** (2023) Seed fungal endophytes as biostimulants and biocontrol agents to improve seed performance. *Frontiers in Plant Sciences*. 14:1260292. <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2023.1260292/full> (cited by 2023 October 24).
- Sampaio AM, Araújo S, Rubiales D and Vaz Patto MC.** (2020). Fusarium wilt management in legume crops. *Agronomy*. 10:1073. <https://www.mdpi.com/2073-4395/10/8/1073> (cited by 2020 July 25).
- Seo CS, Hwang DS, Lee JK, Ha HK, Chun JM, Um YR, Jang S and Shin HK.** (2009). Concentration of heavy metals, residual pesticides and sulfur dioxide of before/after a decoction. *The Korea Journal of Herbology*. 24:111-119.
- Seo MW, Lee SW, Lee SH, Jang IB and Heo HJ.** (2019). Effect of green manure incorporation and solarization on root rot disease of 3-year-old ginseng in soil of continuous cropping ginseng. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 27:284-291.
- Seo YH, Kim SW, Choi SC, Kim IJ, Kim GH and Kim GY.** (2012). Effect of green manure crop and biochar on nitrous oxide emission from red pepper field. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*. 45:540-543.
- Singh S, Singh H, and Bharat NK.** (2020). Hot water seed treatment: A review. *In* Dekebo A. (ed.), *Capsicum*. IntechOpen. London, England. p.43-51.
- Song BH, Lee KA, Chang YK, Kim YG, Ahn TJ, Ahn YS and Park CB.** (2010). Studies on early seedling establishment and early growth responses of *Astragalus membranaceus* Bunge with different seeding times, application conditions, and green manure crops for developing organic agriculture relating to cropping system. *Korean Journal of Soil Sciences and Fertilizer*. 43:667-673.
- Wagger MG.** (1989). Time of desiccation effects on plant composition and subsequent nitrogen release from several winter annual cover crops. *Agronomy Journal*. 81:236-241.
- Walker BA, Powell SM, Tegg RS, Doyle RB, Hunt IG and Wilson CR.** (2023). Ten years of green manuring and biofumigation alters soil characteristics and microbiota. *Applied Soil Ecology*. 187:104836. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0929139323000343> (cited by 2023 July 1).
- Wang M, Sun Y, Liu QM, Li Z, Wei MC and Zhao FR.** (2016). Causes of continuous cropping obstacles and biological control of *Panax quinquefolium* L. *China Journal of Chinese Materia Medica*. 39:2665-667.
- Wang S, Dong LQ, Luo YY, Jia WJ and Qu Y.** (2019). Characterization of rhizosphere microbial communities in continuous cropping maca (*Lepidium meyenii*) red soil, Yunnan, China. *Archives of Agronomy Soil Science*. 66:805-818.
- Wittwer RA and Van Der Heijden MGA.** (2020). Cover crops as a tool to reduce reliance on intensive tillage and nitrogen fertilization in conventional arable cropping systems. *Field Crops Research* 249:107736. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378429019315412> (cited by 2020 April 1).
- Wu W, Chen W, Liu S, Wu J, Zhu Y, Qin L and Zhu B** (2021). Beneficial relationships between endophytic bacteria and medicinal plants. *Frontiers in Plant Sciences*. 12:646146. <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2021.646146/full> (cited by 2021 April 22).
- Wyland LJ, Jackson LE, Chaney WE, Klonsky K and Koike ST.** (1996). Winter cover crops in a vegetable cropping system: impacts on yield, nitrate leaching, pests and management costs. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 59:1-17. <http://pascal-francis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=3228818> (cited by 1996 October 29).
- Yang SK, Park PS, Son JH and An KN.** (2018). Environment-friendly and low-carbon agriculture for demand-supply control and food security of Korean rice. *Korean Journal of Organic Agriculture* 26:99-128.
- Yeon CG, Kim GH, Kim IJ, Hong ST, Hong UY and Kim YG.** (2017). Effects of incorporation of green manure crops on growth and quality in *Cynanchum wilfordii* Hemsley. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 25:115-120.
- Yin W, Du J, Li J and Zhang Z.** (2009). Effects of continuous cropping obstacle on growth of *Rehmannia glutinosa*. *China Journal of Chinese Materia Medica*. 34:18-21.
- Zelechowski M, Olszewski J and Kulik TA.** (2019). Preliminary survey of cultured fusaria from symptomatic legume grains in North-Eastern Poland. *Toxins*. 11:569. <https://www.mdpi.com/2072-6651/11/10/569> (cited by 1996 October 29).
- Zhong W, Gu T, Wang W, Zhang B, Lin X, Huang Q and Shen W.** (2010). The effects of mineral fertilizer and organic manure on soil microbial community and diversity. *Plant and Soil*. 326:511-522. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-009-9988-y> (cited by 2009 April 23).
- Zhou X, Li C, Liu L, Zhao J, Zhang J, Cai Z, Huang X.** (2019). Control of *Fusarium* wilt of lisianthus by reassembling the microbial community in infested soil through reductive soil disinfection. *Microbiological Research*. 220:1-11.