

온탕침지법과 석회유황합제 처리가 유기농 밀 종자의 발아와 소독효과 미치는 영향 평가

김민정¹ · 박원성² · 심창기^{3,†} · 이재형⁴

Assessment of Hot Water Treatment and Lime Sulfur Mixture on Germination and Disinfection Efficacy of Organic Wheat Seeds

Min-Jeong Kim¹, One-Sung Park², Chang-Ki Shim^{3,†}, and Jae-Hyeong Lee⁴

ABSTRACT This study aimed to estimate optimal treatment for enhancing the germination rate and disinfections effect of organic wheat varieties, Jokyoung, Geumgang, Saegumgang, and Baekgang using hot water treatment and lime sulfur mixture. Before disinfection, the germination rates of the seeds averaged $86.3 \pm 2.5\%$ to $87.5 \pm 2.9\%$, while the infection levels caused by fungi and bacteria were observed to be $22.5 \pm 2.9\%$ to $38.3 \pm 2.5\%$ and $18.8 \pm 4.8\%$ to $23.8 \pm 2.5\%$, respectively. The germination rates of four wheat varieties under hot water treatments were either the same or higher compared to untreated seeds. As the temperature and treatment time of hot water treatment increased, the contamination levels of fungi and bacteria decreased. The optimal hot water treatment for the seeds was observed at 55°C for 10 minutes, resulting in germination rates averaging $90.0 \pm 0.0\%$ to $97.5 \pm 2.9\%$, which were either the same or higher than untreated seeds. The disinfection effectiveness against fungi and bacteria was high, averaging $83.3 \sim 93.5\%$ and 100% , respectively. Additionally, an investigation was conducted on the germination rates and microbial disinfection efficacy of 0.2% and 0.4% lime-sulfur mixture with varying treatment times, 3 to 10 minutes for each wheat variety. As the treatment time elapsed, no significant differences in germination rates were observed among four wheat varieties. However, the germination rates were higher compared to the untreated group ($86.3 \sim 87.5\%$), and the optimal treatment time was found to be 7 minutes or 10 minutes, resulting in an average reduction of $90.0 \sim 96.0\%$ in contamination levels of fungi and bacteria. Therefore, the germination rates and disinfection effects varied depending on the treatment conditions of hot water treatment and lime-sulfur mixture applied for the disinfection of the four varieties of organic wheat seeds. However, it is considered that treating the seeds with hot water treatment at 55°C for 10 minutes or with 0.2% or 0.4% lime-sulfur compound for 10 minutes enhances germination rates and reduces the contamination rate of fungi and bacteria compared to untreated seeds. Thus, these environmentally friendly seed disinfection technologies are likely to be highly useful in agricultural fields.

Keywords : disinfection, germination, hot-water treatment, lime-sulfur mixture, wheat

OECD 국가 중에서 우리나라의 곡물 자급률은 22.6%로 만 톤이 수입되고 있으나 사료용 밀을 포함한 자급률이 하위권에 머물러 있으며, 2011년 밀의 경우 연간 평균 350 1.1%로 식량안보차원에서 곡물 자급률 제고가 필요하다

¹국립농업과학원 박사후전문연구원 (Ph. D., Organic Agriculture Division, National Institute of Agriculture Sciences, Wanju 55365, Republic of Korea)

²국립농업과학원 석사후전문연구원 (MS., Organic Agriculture Division, National Institute of Agriculture Sciences, Wanju 55365, Republic of Korea)

³국립농업과학원 농업연구관 (Senior Researcher, Organic Agriculture Division, National Institute of Agriculture Sciences, Wanju 55365, Republic of Korea)

⁴국립농업과학원 농업연구사 (Researcher, Organic Agriculture Division, National Institute of Agriculture Sciences, Wanju 55365, Republic of Korea)

[†]Corresponding author: Chang-Ki Shim; (Phone) +82-63-238-2554; (E-mail) ckshim@korea.kr

<Received 26 October, 2023; Revised 24 November, 2023; Accepted 24 November, 2023>

(Seong, 2012).

하지만, 전세계적으로 매년 주요 작물의 병해충, 잡초, 및 곡물 감염으로 인해 경제적 손실의 약 40%가 발생하며, 이로 인해 큰 경제적 피해와 화학 농약 사용량 증가하고 물과 농산물을 포함한 농업 환경의 오염이 발생하고 있다(Gaur *et al.*, 2020).

2011년부터 2012년까지 국산미를 재배한 전국 175개 농가를 대상으로 재배 현황을 분석한 보고에 의하면, 농가당 평균 재배면적이 2.4~3.3 ha로 영세하며 재배 품종도 금강밀과 같은 품종이 단일 재배되고 있어 붉은곰팡이병과 같은 병해 대 발생이나 개화기 장마와 같은 기상이변 등이 수확량 감소의 새로운 문제가 되었다(Kang *et al.*, 2014).

밀, 보리와 같은 맥류의 수량 감소에 가장 큰 영향을 주는 생물적 요인으로 식물병해 19종이 보고되었다. 이 중에서 줄기녹병(*Puccinia graminis*), 마름병(*Gaeumannomyces graminis*), 붉은곰팡이병(*Fusarium graminearum*), 흰가루병(*Blumeria graminis*), 줄무늬병(*Drechslera graminea*) 및 겉깜부기병(*Ustilago tritici*) 등이 경제적 피해를 주는 중요한 병해로 보고되었다(Lee, 1986; KSPP, 2009).

대부분의 작물은 육묘 또는 재배기간 중에 다양한 식물병원균과 해충에 의해 종자의 오염 또는 감염되어 생산량에 큰 피해를 입고 있다(Gitaitis & Walcott, 2007). 국내·외에서 종자 전염성 및 감염성 식물병원균을 소독하기 위한 친환경 종자소독기술로 온탕침지법을 기반으로 물리적 방법(Walker, 1923; Winter *et al.*, 1994; Miller *et al.*, 2004)이 가장 먼저 개발되었다.

관행의 농산물 생산에서는 종자 및 토양전염성병으로 인한 종자 및 육묘 손실을 줄이기 위해 종종 화학농약을 처리하고 있다. 일반적으로 사용되고 있는 종자 소독제는 유기재배에서 적합한 선택이 아니다. 미국의 국립 유기농 프로그램(NOP)에서는 유기재배 농가는 종자의 건전성을 높이기 위해 프라이밍, 펠레팅, 온탕침지법 등의 종자 처리 방법을 사용할 수 있도록 권장하고 있다(Liatukas *et al.*, 2019; Orsini *et al.*, 2020; Kim *et al.*, 2022a).

식량작물 종자에 적용 가능한 종자소독기술 중에서 가장 대중화 되어 있는 온탕침지법은 미국에서 양배추에 발생하는 뿌리마름병(*Phoma lingam*)을 방제하기 위해 개발되어 지금까지도 널리 이용되고 있다(Walker, 1923). 또한 생물학적 방법(Vannacci & Harman, 1987), 식물성 분말과 추출물(de Lima *et al.*, 2016; Choi, 2017) 이용법 및 수증기(Forsberg, 2004; Forsberg *et al.*, 2005; Ann *et al.*, 2018), 전자파(Gaurilickiene *et al.*, 2013)와 플라즈마(Los *et al.*, 2018; Moore *et al.*, 2020)를 이용하는 물리적 방법 등 다양

한 친환경 종자소독기술들이 개발되었다.

우리나라에서 온탕침지법에 의한 종자소독기술은 주로 벼 키다리병(*Gibberella fujikuroi*)을 소독하기 위해 사용되고 있다(Park *et al.*, 2003). 최근에 미산성차아염소산나트륨(Goo & Koo, 2020), 황토유황합제(Kim *et al.*, 2022b; Lee, 2017; So *et al.*, 2017) 등에 의한 친환경 종자소독기술이 추가적으로 개발되고 있다. 하지만, 국내에서는 밀, 보리와 같은 맥류작물에 대한 친환경 종자소독기술 연구와 실용적인 기술개발이 매우 드문 실정이다.

본 연구는 유기농 밀의 안정적 생산을 위한 건전한 종자를 확보하고자 기존의 온탕침지법을 개선하고 광범위 친환경 병해 방제용 유기농업자재인 석회유황합제를 이용하여 실용적인 밀 종자 친환경 소독기술을 개발하고자 하였다.

재료 및 방법

종자재료

본 연구에 사용한 4종(조경밀, 금강밀, 새금강밀, 백강밀)의 밀종자는 2021년 10월에 국립식량과학원 밀연구팀으로부터 분양 받았으며 2021년 10월 30일 품종별로 혼종되지 않도록 국립농업과학원 유기농 밀재배 포장에서 파종 후, 유기농법으로 재배 및 병해충 관리를 하였으며 2022년에 6월 수확한 후, 풍건 후 정선한 종자를 4°C 저온저장고에 보관하면서 실험에 사용할 종자는 무작위로 선별하여 실험에 사용하였다.

유기농업자재

본 연구에서 밀 종자 소독용으로 사용한 액상 석회유황합제는 국립농업과학원 생물제어연구실에서 유기농업자재 자가제조방법(NAAS, 2010)에 의거 분말 유황(99%, 25 kg/100L)과 분말 생석회(95%, 12.5 kg/100L)를 재료로 실험실에서 직접 제조한 25% (w/v) 액상 석회유황합제를 실험에 사용하였다.

밀 품종별 종자 오염도 검정

본 연구에서 밀 종자 소독 전 곰팡이와 세균의 감염 정도를 파악하고자 유기적으로 재배한 4종의 밀 품종에서 임의적으로 50립씩 3반복으로 추출하여 무균상자에서 직경 14 cm의 물한천배지(Water agar)에 25 립씩 3반복으로 균일하게 치상하여 25°C 저온배양기에서 배양하였다. 밀 품종별로 곰팡이나 세균의 발생은 7일간 육안으로 관찰하였으며, 감염된 곰팡이와 세균은 각각 감자한천배지(Potato dextrose agar)와 TSA배지(Trypticase soy agar)에 3회 계대배양하여

순수 분리하였다(Barnett & Hunter, 1998).

결 과

밀 종자 온탕침지 소독처리

온탕침지법에 의한 유기재배 포장에서 생산한 조경밀, 금강밀, 새금강밀 및 백강밀 품종별로 종자의 소독 효과를 검정하고자 기존에 식량작물 종자의 소독방법으로 보고된 온탕침지방법 중에서 온탕의 온도를 45, 48, 52, 55°C로 4개의 수준으로 조절하였고 처리하는 시간도 3, 5, 7, 10분으로 4개의 수준으로 나누어 처리하였다. 각 밀 품종별로 20립씩 무작위로 선발하여 온도가 잘 전달될 수 있도록 가정용 다시팩에 넣고 각각의 처리 온도와 시간 별로 3반복씩 일괄 처리하였다. 온탕침지 처리 조건 별로 실온에서 풍건한 후, 1.6% (w/v) 한천(Junsel, Japan)만을 첨가하여 121°C, 1.5기압(atm/kg)에서 15분간 고압 멸균한 후 일회용 멸균 페트리디쉬(150×20 mm)에 분주하여 제조한 물한천배지에 일정한 간격으로 치상한 후 발아율과 소독효과를 조사하였다. 온탕침지 조건에 대한 밀 품종별 발아율과 종자에 오염도 곰팡이와 세균의 살균효과를 3반복으로 전수 조사하였다.

밀종자 석회유황합제 소독처리

0.2% (v/v)와 0.4% (v/v) 석회유황합제의 농도별로 처리 시간은 3, 5, 7, 10분으로 온탕침지와 동일한 4개의 수준으로 나누어 처리하였다. 각 밀 품종별로 20립씩 무작위로 선발하여 석회유황합제가 잘 처리될 수 있도록 가정용 다시팩에 넣고 각각의 처리 농도와 시간별로 3반복씩 일괄 처리하였다. 발아율과 소독효과 조사용 한천배지는 온탕침지 실험과 동일하게 1.6% (w/v) 한천(99%, Junsei Co., Japan)만을 첨가하여 121°C, 1.5기압(atm/kg)의 고온고압으로 15분간 멸균하여 60°C까지 천천히 식힌 후, 일회용 멸균 페트리디쉬(150×20 mm)에 분주하여 물한천배지를 제조하였다. 0.2% (v/v)와 0.4% (v/v) 석회유황합제를 처리시간 별로 처리한 후 밀종자를 실온에서 풍건한 후, 물한천배지에 일정한 간격으로 치상하여 발아율과 소독효과를 3반복으로 전수 조사하였다.

통계처리

본 연구는 지온탕침지법과 석회유황합제의 처리 농도와 시간에 따른 밀 품종별 발아율과 소독효과에 대한 실험을 4반복으로 진행하여 조사한 결과를 Excel (Microsoft 2016)로 정리한 후 처리 평균 간의 효과를 비교하고자 SAS 통계 패키지의 던컨의 다중검정(Duncan's Multiple Range Test, $p=0.001$)을 이용하여 처리 간 평균의 유의성을 검정하였다.

온탕침지 처리가 조경밀의 발아율과 미생물 소독효과에 미치는 영향

2022년 국립농업과학원 유기농 밀재배 포장에서 생산한 조경밀 품종을 대상으로 무처리 조경밀 종자의 평균 발아율은 87.5±2.9%이었고 한천배지에 나타난 미생물에 의한 감염 정도는 곰팡이와 세균이 각각 평균 26.3±2.5%, 18.8±4.8%로 오염도가 높았다(Table 1).

온탕침지법의 온도 조건(45, 48, 52, 55°C)과 처리 시간(3, 5, 7, 10분)에 따른 조경밀 종자의 발아율에 미치는 영향을 조사하였더니, 종자의 발아율은 온탕침지소독 온도(F ($p<0.001$))와 시간(F ($p<0.001$))에 따라 차이가 있으며, 상호 발아율에 유의적(F ($p<0.01$))으로 영향을 주어 평균 81.3~97.5%이었다. 52°C에서 3분간 처리할 경우 평균 81.3%인 것을 제외하고 무처리(평균 87.5±2.9%)에 비해 발아율이 동일하거나 높았고 48°C에서 3분 또는 5분간 처리하는 것이 평균 97.5±2.9%로 유의적(F ($p<0.05$))으로 가장 높은 발아율을 보였다(Table 1).

앞 실험과 동일한 온탕침지 온도와 시간이 조경밀 종자의 곰팡이와 세균의 소독효과에 미치는 영향을 조사하였더니, 온탕침지 온도(F ($p<0.001$))와 처리 시간(F ($p<0.001$))이 증가할수록 무처리에 비해 곰팡이와 세균의 오염이 감소하였다(Table 1). 45°C에서 3~10분간 처리하였을 때 무처리에 비해 곰팡이는 28.6~61.9%, 세균은 0~46.7% 감소하였다(Table 1). 48°C에서 3~10분간 처리하였을 때 무처리에 비해 곰팡이는 33.3~61.9%, 세균은 13.3~66.7% 감소하였다(Table 1). 52°C에서 3~10분간 처리하였을 때 무처리에 비해 곰팡이는 52.4~76.2% 감소하였으며 세균은 33.3~73.3% 감소하였다(Table 1). 55°C에서 3~10분간 처리하였을 때 무처리에 비해 곰팡이는 61.9~85.7%, 세균은 46.7~100% 감소하였다(Table 1). 특히, 조경밀 품종의 경우 곰팡이와 세균의 소독효과를 우선적으로 고려하여 발아율이 높은 온탕침지 조건은 55°C에서 10분간 처리하는 것이 무처리(87.5±2.9%)에 비해 90.0±0.0%로 발아율을 증진하고 다른 처리에 비해 곰팡이(3.8±2.5%)와 세균(0±0.0%)의 소독효과를 가장 유의적($p<0.05$)으로 증진시켰다.

온탕침지 처리가 금강밀의 발아율과 미생물 소독효과에 미치는 영향

앞 실험과 포장에서 생산한 금강밀 품종을 대상으로 발아율을 조사하였을 때 평균 86.3±2.5%이었고 한천배지에 나타난 미생물에 의한 감염 정도는 곰팡이와 세균이 각각 평

Table 1. Effect of hot water treatment on germination and contamination rates of *Triticum aestivum* L. ‘Jokyeongmil’.

Tm (°C)	Treatment		Average percentage of germination (%±SE)	Average percentage of contamination (%±SE)	
	Time (min.)			Fungi	Bacteria
Control	-		87.5±2.9 d ^x	26.3±2.5 a	18.8±4.8 a
	3		95.0±7.1 ab	18.8±4.8 b	18.8±2.5 a
	5		87.5±2.9 d	12.5±2.9 cde	12.5±2.9 bc
	7		95.0±0.0 ab	11.3±2.5 def	10.0±0.0 cd
	10		90.0±4.1	10.0±1.0 defg	10.0±0.0 cd
45	3		97.5±2.9 a	17.5±2.9 b	16.3±2.5 ab
	5		97.5±2.9 a	16.3±2.5 bc	12.5±2.9 bc
	7		93.8±2.5 abc	13.8±2.5 cd	8.8±2.5 cde
	10		87.5±2.9 d	10.0±0.0 defg	6.3±2.5 def
48	3		88.8±4.8 cd	12.5±2.9 cde	12.5±2.9 bc
	5		81.3±2.5 e	11.3±2.5 def	8.8±2.5 def
	7		90.0±0.0 bcd	8.8±2.5 efgh	7.5±2.9 d
	10		92.5±2.9 abcd	6.3±2.5 ghi	5.0±0.0 ef
52	3		93.8±2.5 abc	10.0±0.0 defg	10.0±4.1 cd
	5		90.0±5.8 bcd	7.5±2.9 fghi	6.3±2.5 def
	7		93.8±2.5 abc	5.0±0.0 hi	2.5±2.9 fg
	10		90.0±0.0 bcd	3.8±2.5 i	0.0±0.0 g
F-value (p) ^y					
Temperature (Te)			6.981***	25.467***	16.844***
Time (Ti)			10.262***	138.175***	50.883***
Te×Ti			4.318***	2.175**	1.372**

^yF-value (p): *Means with significant at 5% level, ** Means with significant at 1% level, *** Means with significant at 0.1% level
^xDifferent letters indicate significantly different at 5% level by DMRT.

균 22.5±2.9%, 13.8±2.5%로 오염도를 나타내었다(Table 2).

앞 실험과 동일한 온탕침지 처리 조건에서 금강밀 종자를 온탕침지 처리한 결과, 종자의 발아율은 온탕침지 온도 (F (p)<0.01)와 시간(F (p)<0.001)에 따라 차이가 있으며, 상호 발아율에 유의적(F (p)<0.01)으로 영향을 주어 평균 91.3~100%이었으며 무처리(평균 87.5±2.9%)에 비해 발아율이 높았고 48°C에서 10분간 처리하는 것이 발아율이 평균 100%로 유의적(F (p)<0.05)으로 가장 높았다(Table 2).

앞 실험과 동일한 온탕침지 처리에 따른 금강밀 종자의 곰팡이와 세균 살균 효과에 미치는 영향을 조사하였더니, 온탕침지 온도(F (p)<0.001)와 처리 시간(F (p)<0.001)이 증가할수록 무처리에 비해 곰팡이와 세균의 오염이 감소하며, 처리 온도와 시간이 상호 유의적(F (p)<0.01)으로 곰팡이와 세균의 감소에 영향을 주는 것으로 나타났다(Table 2). 45°C에서 3~10분간 처리하였을 때 무처리에 비해 곰팡이는 16.7~55.6%, 세균은9.1~27.3% 감소하였다(Table 2). 48°C

에서 3~10분간 처리하였을 때 무처리에 비해 곰팡이는 22.2~50.0%, 세균은 0~54.5% 감소하였다(Table 2). 52°C에서 3~10분간 처리하였을 때 무처리에 비해 곰팡이는 50.0~72.2%, 세균은 54.5~72.7% 감소하였다(Table 2). 또한 55°C에서 3~10분간 처리하였을 때 무처리에 비해 곰팡이는 55.6~83.3%, 세균은 63.6~100% 감소하였다(Table 2). 따라서 금강밀 품종의 경우 곰팡이와 세균의 소독효과를 우선적으로 고려하여 발아율이 높은 온탕침지 조건은 55°C에서 10분간 처리하는 것이 무처리(86.3±2.5%)에 비해 97.5±2.9%로 발아율을 증진하고 다른 처리에 비해 곰팡이(3.8±2.5%)와 세균(0.0±0.0%)의 소독효과를 가장 효과적(p<0.05)으로 증진시켰다(Table 2).

온탕침지 처리가 새금강밀의 발아율과 미생물 소독효과에 미치는 영향

앞 실험과 동일한 포장에서 생산한 새금강밀 품종을 대

Table 2. Effect of hot water treatment on germination and contamination rates of *Triticum aestivum* L. ‘Geumgangmil’.

Treatment		Average percentage of germination (%±SE)	Average percentage of contamination (%±SE)	
Tm (°C)	Time (min.)		Fungi	Bacteria
Control		86.3±2.5 e ^x	22.5±2.9 a	13.8±2.5 a
45	3	96.3±4.8 abc	18.8±4.8 b	12.5±2.9 ab
	5	93.8±2.5 bcd	12.5±2.9 def	12.5±2.9 ab
	7	97.5±5.0 ab	11.3±2.5 efg	11.3±2.5 ab
	10	91.3±2.5 d	10.0±0.0 efgh	10.0±0.0 bc
48	3	97.5±2.9 ab	17.5±2.9 bc	13.8±2.5 a
	5	95.0±0.0 abcd	16.3±2.5 bcd	10.0±0.0 bc
	7	98.8±2.5 ab	13.8±2.5 cde	7.5±2.9 cd
	10	100.0±0.0 a	11.3±2.5 efg	6.3±2.5 de
52	3	92.5±2.9 cd	11.3±2.5 efgh	6.3±2.5 de
	5	95.0±4.1 abcd	8.8±2.5 fghi	6.3±2.5 de
	7	96.3±2.5 abc	7.5±2.9 ghij	5.0±0.0 def
	10	97.5±2.9 ab	6.3±2.5 hij	3.8±2.9 ef
55	3	92.5±2.9 cd	10.0±0.0 efgh	5.0±0.0 def
	5	98.8±2.5 ab	7.5±2.9 ghij	3.8±2.5 ef
	7	98.8±2.5 ab	5.0±0.0 ij	2.5±2.9 fg
	10	97.5±2.9 ab	3.8±2.5 j	0.0±0.0 g
F-value (p) ^y				
Temperature (Te)		3.099**	26.910***	38.918***
Time (Ti)		38.870***	77.507***	34.837***
Te×Ti		2.389**	2.134**	3.204***

^yF-value (p): *Means with significant at 5% level, ** Means with significant at 1% level, *** Means with significant at 0.1% level
^xDifferent letters indicate significantly different at 5% level by DMRT.

상으로 발아율을 조사하였더니 평균 86.3±2.5%이었고 한 천배지에 나타난 미생물에 의한 감염 정도는 곰팡이와 세균이 각각 평균 26.3±7.5%, 22.5±2.5%로 오염도를 나타내었다(Table 3).

앞 실험과 동일한 온탕침지 처리 조건에서 새금강밀 종자를 온탕침지 처리한 결과, 종자의 발아율은 온탕침지 온도(F (p)<0.05)와 시간(F (p)<0.001)에 따라 차이가 있으며, 상호 발아율에 유의적(F (p)<0.05)으로 영향을 주어 평균 91.3~98.8%이었으며 무처리(평균 86.3±2.5%)에 비해 발아율이 높았고 55°C에서 5분 또는 7분간 처리하는 것이 발아율이 평균 98.8±2.5%로 유의적으로 가장 높았다(Table 3).

앞 실험과 온탕침지 처리에 따른 새금강밀 종자의 곰팡이와 세균 살균효과에 미치는 영향을 조사하였더니, 온탕침지 온도(F (p)<0.001)와 처리 시간(F (p)<0.001)이 증가할수록 무처리에 비해 곰팡이와 세균의 오염이 감소하며, 처리 온도와 시간이 상호 유의적(F (p)<0.05)으로 곰팡이와 세균의 감

소에 영향을 주는 것으로 나타났다(Table 3). 45°C에서 3~10분간 처리하였을 때 무처리에 비해 곰팡이는 7.0~28.6%, 세균은 16.7~38.9% 감소하였다(Table 3). 48°C에서 3~10분간 처리하였을 때 무처리에 비해 곰팡이는 9.5~57.1%, 세균은 27.8~72.2% 감소하였다(Table 3). 52°C에서 3~10분간 처리하였을 때 무처리에 비해 곰팡이는 57.1~85.7%, 세균은 72.2~83.3% 감소하였다(Table 3). 55°C에서 3~10분간 처리하였을 때 무처리에 비해 곰팡이는 61.9~90.5%, 세균은 77.8~100% 감소하였다(Table 3). 특히, 새금강밀 품종의 경우 곰팡이와 세균의 소독효과를 우선적으로 고려하여 발아율이 높은 온탕침지 조건은 55°C에서 10분간 처리하는 것이 무처리(86.3±2.5%)나 다른 처리에 비해 96.3±2.5%로 발아율을 증진하고 다른 처리에 비해 곰팡이(2.5±2.9%)와 세균(0.0±0.0%)의 소독효과를 가장 유의적 (p<0.05)으로 증진시켰다.

Table 3. Effect of hot water treatment on on germination and contamination rates of *Triticum aestivum* L. ‘Saegeumgangmil’.

Tm (°C)	Treatment		Average percentage of germination (%±SE)	Average percentage of contamination (%±SE)	
	Time (min.)			Fungi	Bacteria
Control			86.3±2.5 c ^x	26.3±7.5 ab	22.5±5.0 a
45	3		96.3±4.8 ab	27.5±2.9 a	18.8±2.5 b
	5		95.0±5.8 ab	22.5±2.9 bcd	17.5±2.9 bc
	7		97.5±2.9 a	21.3±2.5 cd	15.0±0.0 cd
	10		97.5±2.9 a	18.8±2.5 de	13.8±2.5 d
48	3		98.8±2.5 a	23.8±4.8 abc	16.3±2.5 bcd
	5		98.8±2.5 a	16.3±2.5 ef	10.0±0.0 e
	7		97.5±5.0 a	13.8±2.5 fg	7.5±2.9 ef
	10		95.0±4.1 ab	11.3±2.5 fgh	6.3±2.5 efg
52	3		95.0±4.1 ab	11.3±2.5 fgh	6.3±2.5 efg
	5		91.3±2.5 bc	8.8±2.5 ghi	6.3±2.5 efg
	7		97.5±2.9 a	6.3±2.5 hij	5.0±0.0 fg
	10		93.8±4.8 ab	3.8±2.5 ij	3.8±2.5 fg
55	3		93.8±2.5 ab	11.3±2.5 fgh	5.0±0.0 fg
	5		98.8±2.5 a	7.5±2.9 hij	3.8±2.5 fg
	7		98.8±2.5 a	5.0±0.0 ij	2.5±2.9 gh
	10		96.3±2.5 ab	2.5±2.9 j	0.0±0.0 h
F-value (p) ^y					
Temperature (Te)			2.045*	42.782***	51.095***
Time (Ti)			29.149***	42.755***	78.804***
Te×Ti			1.257*	2.888**	4.042***

^yF-value (p): *Means with significant at 5% level, ** Means with significant at 1% level, *** Means with significant at 0.1% level
^xDifferent letters indicate significantly different at 5% level by DMRT.

온탕침지 처리가 백강밀의 발아율과 미생물 소독효과에 미치는 영향

앞 실험과 동일한 포장에서 생산한 백강밀 품종을 대상으로 발아율을 조사하였더니 평균 86.7±2.5%이었고 한천 배지에 나타난 미생물에 의한 감염정도는 곰팡이와 세균이 각각 평균 38.3±2.5%, 23.8±2.5%로 4종의 밀종자 중에서 오염도가 가장 높았다(Table 4).

앞 실험과 동일한 온탕침지 처리 조건에서 백강밀 종자를 온탕침지 처리한 결과, 종자의 발아율은 온탕침지소독 온도(F (p)<0.05)와 시간(F (p)<0.001)에 따라 차이가 있으며, 상호 발아율에 유의적(F (p)<0.05)으로 영향을 주어 평균 92.5~98.8%이었으며 무처리(평균 86.3±2.5%)에 비해 발아율이 높았고 처리 조건에 따른 유의미한 발아율의 차이는 없었다 (Table 4).

앞 실험과 동일한 온탕침지 처리 조건에 따른 백강밀 종자의 곰팡이와 세균 살균효과에 미치는 영향을 조사하였더

니, 온탕침지 온도와 처리시간이 증가할수록 무처리에 비해 곰팡이와 세균의 오염이 감소하며, 처리 온도와 시간이 상호 유의적(F (p)<0.001)으로 곰팡이와 세균의 감소에 영향을 주는 것으로 나타났다(Table 4). 45°C에서 3~10분간 처리하였을 때 무처리에 비해 곰팡이는 22.6~45.2%, 세균은 0~36.8% 감소하였다(Table 4). 48°C에서 3~10분간 처리하였을 때, 무처리에 비해 곰팡이는 25.2~64.5%, 세균은 42.1~73.3% 감소하였다(Table 4). 52°C에서 3~10분간 처리하였을 때 무처리에 비해 곰팡이는 54.8~87.1%, 세균은 42.1~84.2% 감소하였다(Table 4). 55°C에서 3~10분간 처리하였을 때 무처리에 비해 곰팡이는 58.1~93.5%, 세균은 52.6~100% 감소하였다(Table 4). 특히, 백강밀 품종의 경우 곰팡이와 세균의 소독효과를 우선적으로 고려하여 발아율이 높은 온탕침지 조건은 55°C에서 10분간 처리하는 것이 무처리(86.7±2.5%)에 비해 97.5±2.9%로 발아율이 높고 곰팡이(2.5±2.9%)와 세균(0.0±0.0%)의 소독효과가 다른 처

Table 4. Effect of hot water treatment on on germination and contamination rates of *Triticum aestivum* L. 'Baeggangmil'.

Tm (°C)	Treatment		Average percentage of germination (%±SE)	Average percentage of contamination (%±SE)	
	Time (min.)			Fungi	Bacteria
	Control		86.7±2.5 b ^x	38.3±2.5 a	23.8±2.5 a
45		3	98.8±2.5 a	30.0±4.1 b	23.8±2.5 a
		5	93.8±2.5 a	28.8±4.8 b	22.5±2.9 a
		7	97.5±5.0 a	27.5±2.9 b	20.0±0.0 a
		10	92.5±5.0 a	21.3±2.5 de	15.0±4.1 b
48		3	98.8±2.5 a	28.8±2.9 b	13.8±2.5 b
		5	98.8±2.5 a	26.3±2.5 bc	13.8±2.5 b
		7	98.8±2.5 a	22.5±2.9 cd	11.3±2.5 bc
		10	97.5±5.0 a	13.8±2.5 gf	6.3±2.5 d
52		3	97.5±2.9 a	17.5±2.9 ef	13.8±2.5 b
		5	98.8±2.5 a	10.0±0.0 gh	11.3±2.5 bc
		7	98.8±2.5 a	6.3±2.5 hij	7.5±2.9 cd
		10	96.3±2.5 a	5.0±0.0 ij	3.8±2.5 d
55		3	95.0±5.8 a	16.3±2.5 f	11.3±2.5 bc
		5	97.5±5.0 a	7.5±2.9 hi	7.5±2.9 cd
		7	96.3±4.8 a	6.3±2.5 hij	5.0±0.0 d
		10	97.5±2.9 a	2.5±2.9 j	0.0±0.0 e
F-value (p) ^y					
Temperature (Te)			1.639*	149.889***	79.508***
Time (Ti)			31.097***	247.500***	108.814***
Te×Ti			0.861*	11.417***	5.356***

^yF-value (p): *Means with significant at 5% level, ** Means with significant at 1% level, *** Means with significant at 0.1% level
^xDifferent letters indicate significantly different at 5% level by DMRT

리에 비해 유의적(p<0.05)으로 높았다.

0.2%와 0.4% 석회유황합제 처리가 밀 품종별 발아율과 미생물 소독효과에 미치는 영향

유기농업자재인 0.2%와 0.4% 석회유황합제의 처리시간 (3, 5, 7, 10분)에 따른 4종의 밀 품종(조경밀, 금강밀, 새금강밀, 백강밀)별 종자의 발아율과 미생물(곰팡이, 세균)의 소독효과에 미치는 영향을 조사하였더니, 0.2%와 0.4% 석회유황합제 처리 시간의 경과에 따라 밀 품종 간에 큰 차이는 없으나, 석회유황합제 농도(F (p)<0.05)와 처리 시간(F (p)<0.001)이 각각 또는 상호간(F (p)<0.05)에 발아율과 종자에 오염된 곰팡이와 세균의 밀도 감소에 유의적으로 영향을 주는 것으로 나타났다(Tables 5-8).

0.2%와 0.4% 석회유황합제 처리 농도에서 조경밀의 발아율은 10분간 처리하였을 때 각각 100%와 92.5±2.9%로 다른 처리에 비해 유의적(P<0.05)으로 높은 것으로 나타났

다(Table 5). 또한 0.2%와 0.4% 석회유황합제를 10분간 처리하였을 때 곰팡이와 세균의 감염율이 0%로 처리 중에서도 가장 유의(P<0.05)하게 감소시키는 것으로 나타났다. 따라서, 조경밀 종자의 경우 0.2% 또는 0.4% 석회유황합제를 10분간 처리할 경우 100% 곰팡이와 세균의 오염도를 낮출 수 있었다(Table 5).

0.2%와 0.4% 석회유황합제 처리조건 중에서 금강밀의 발아율은 0.2% 석회유황합제를 10분간 처리하였을 100±0.0%로 유의적(P<0.05)으로 가장 높게 나타났다(Table 6). 또한 0.2%와 0.4% 석회유황합제를 각각 10분간의 처리하였을 때 금강밀 종자의 곰팡이와 세균의 오염도는 각각 0%로 처리 중에서도 가장 유의적(P<0.05)으로 높게 나타났다. 따라서, 금강밀 종자의 경우 0.2% 또는 0.4% 석회유황합제를 10분간 처리할 경우 100% 곰팡이와 세균의 오염도를 효과적으로 낮출 수 있었다(Table 6).

0.2%와 0.4% 석회유황합제 처리조건 중에서 새금강밀의

Table 5. Effect of 0.2% and 0.4% lime sulfur mixture on on germination and contamination rates of four wheat (*Triticum aestivum* L.) variety, Jokyungmil.

Contents of Lime Sulfur Mixture	Treatment time (min.)	Average percentage of germination (%±SE)	Average percentage of contamination (%±SE)	
			Fungi	Bacteria
Control	-	87.5±2.9 c ^x	26.3±2.5 a	18.8±4.8 a
	3	96.3±2.5 ab	12.5±5.0 b	16.3±2.5 b
	5	93.8±2.5 ab	8.8±2.5 bc	3.8±2.5 cd
	7	90.0±5.8 a	2.5±2.9 cd	1.3±0.7 ef
	10	100.0±0.0 a	0.0±0.0 e	0.0±0.0 f
0.20%	3	95.0±0.0 a	12.5±2.9 bc	13.8±2.5 c
	5	92.5±5.0 b	7.5±2.9 cd	7.5±2.9 cd
	7	91.3±2.5 a	2.5±2.9 de	0.0±0.0 def
	10	92.5±2.9 a	0.0±0.0 e	0.0±0.0 f
	F-value (p) ^y			
Concentration (Co)		13.776***	0.625*	0.086*
Time (Ti)		18.153***	860.000***	81.771***
Co×Ti		3.214**	0.625*	1.371*

^yF-value (p): *Means with significant at 5% level, ** Means with significant at 1% level, *** Means with significant at 0.1% level
^xDifferent letters indicate significantly different at at 5% level by DMRT.

Table 6. Effect of 0.2% and 0.4% lime sulfur mixture on on germination and contamination rates of four wheat (*Triticum aestivum* L.) variety, ‘Geumgangmil’.

Contents of Lime Sulfur Mixture	Treatment time (min.)	Average percentage of germination (%±SE)	Average percentage of contamination (%±SE)	
			Fungi	Bacteria
Control	-	86.3±2.5 d	22.5±2.9 a	13.8±2.5 a
	3	97.5±2.9 ab	11.3±4.8 bc	12.2±2.5 a
	5	92.5±2.9 c	10.0±0.0 bc	5.0±0.0 c
	7	97.5±2.9 ab	7.5±2.9 cd	1.3±2.5 d
	10	100.0±0.0 a	0.0±0.0 e	0.0±0.0 d
0.20%	3	93.8±2.5 bc	12.5±2.9 b	8.8±4.8 b
	5	95.0±4.1 bc	7.5±2.9 cd	6.3±2.5 bc
	7	96.3±2.5 abc	3.8±2.5 de	0.0±0.0 d
	10	96.3±2.5 abc	0.0±0.0 e	0.0±0.0 d
	F-value (p) ^y			
Concentration (Co)		2.143*	2.027*	4.154**
Time (Ti)		24.129***	69.608***	61.327***
Co×Ti		1.929*	1.014*	4.442**

^yF-value (p): *Means with significant at 5% level, ** Means with significant at 1% level, *** Means with significant at 0.1% level
^xDifferent letters indicate significantly different at at 5% level by DMRT.

발아율은 0.2% 석회유황합제를 10분간 처리하였을 100±0.0%로 유의적(P<0.05)으로 가장 높게 나타났다(Table 7). 또한 0.2%와 0.4% 석회유황합제를 각각 10분간의 처리하였을 때 새금강밀 종자의 곰팡이와 세균의 오염도는 각각

0%로 처리 중에서 가장 유의적(P<0.05)으로 높게 나타났다. 따라서, 새금강밀 종자의 경우 0.2% 또는 0.4% 석회유황합제를 10분간 처리할 경우 100% 곰팡이와 세균의 오염도를 낮출 수 있었다(Table 7).

Table 7. Effect of 0.2% and 0.4% lime sulfur mixture on on germination and contamination rates of four wheat (*Triticum aestivum* L.) variety, ‘Saegeumgangmil’.

Contents of Lime Sulfur Mixture	Treatment time (min.)	Average percentage of germination (%±SE)	Average percentage of contamination (%±SE)	
			Fungi	Bacteria
Control	-	86.3±2.5 c	26.3±7.5 a	22.5±5.0 a
	3	97.5±2.9 ab	13.8±2.5 a	16.3±2.5 b
	5	96.3±4.8 ab	10.0±0.0 bc	5.0±0.0 cde
	7	98.8±2.5 a	7.5±2.9 cd	1.3±2.5 ef
	10	98.8±2.5 a	0.0±0.0 e	0.0±0.0 f
0.20%	3	98.8±2.5 a	11.3±4.8 bc	8.8±4.8 c
	5	93.8±2.5 b	7.5±2.9 cd	6.3±2.5 def
	7	98.8±2.5 a	3.8±2.5 de	3.7±0.0 def
	10	98.8±2.5 a	0.0±0.0 e	0.0±0.0 f
	F-value (p) ^y			
Concentration (Co)		0.077*	2.341*	0.574*
Time (Ti)		28.000***	44.030***	670.85***
Co×Ti		0.462*	0.238*	3.128**

^yF-value (p): *Means with significant at 5% level, ** Means with significant at 1% level, *** Means with significant at 0.1% level
^xDifferent letters indicate significantly different at at 5% level by DMRT.

Table 8. Effect of 0.2% and 0.4% lime sulfur mixture on on germination and contamination rates of four wheat (*Triticum aestivum* L.) variety, ‘Baeggangmil’.

Contents of Lime Sulfur Mixture	Treatment time (min.)	Average percentage of germination (%±SE)	Average percentage of contamination (%±SE)	
			Fungi	Bacteria
Control	-	86.7±2.5 c	38.8±2.5 a	23.8±2.5 a
	3	96.3±4.8 ab	17.5±2.9 b	13.8±2.5 b
	5	98.8±2.5 a	8.8±2.5 c	8.8±2.5 cd
	7	97.5±5.0 ab	6.3±2.5 cd	5.0±0.0 e
	10	98.5±2.5 a	0.0±0.0 f	0.0±0.0 f
0.20%	3	92.5±2.9 b	15.0±0.0 b	11.3±2.5 bc
	5	93.8±2.5 ab	7.5±2.9 c	6.3±2.5 de
	7	96.3±4.8 ab	3.8±2.5 de	0.0±0.0 e
	10	97.5±2.9 ab	0.0±0.0 f	0.0±0.0 f
	F-value (p) ^y			
Concentration (Co)		4.263**	4.154**	3.571**
Time (Ti)		15.132***	336.635***	152.000***
Co×Ti		0.711*	0.404*	0.714*

^yF-value (p): *Means with significant at 5% level, ** Means with significant at 1% level, *** Means with significant at 0.1% level
^xDifferent letters indicate significantly different at at 5% level by DMRT

0.2%와 0.4% 석회유황합제 처리조건 중에서 백강밀의 발아율은 0.2% 석회유황합제의 경우 5분 또는 10분간 처리할 때, 각각 98.8±2.5%와 98.5±2.5%로 처리 중에서 유의적(P<0.05)으로 가장 높게 나타났다. 또한 0.4% 석회유황

합제는 10분간 처리할 때 발아율이 97.5±2.9%로 처리 중에서 유의적(P<0.05)으로 가장 높았다(Table 8). 또한 0.2%와 0.4% 석회유황합제를 각각 10분간의 처리하였을 때 백강 밀 종자의 곰팡이와 세균의 오염도는 각각 0%로 처리 중에

서 가장 유의적($P < 0.05$)으로 높게 나타났다. 따라서, 백강 밀 종자의 경우 0.2% 또는 0.4% 석회유황합제를 10분간 처리할 경우 100% 곰팡이와 세균의 오염도를 낮출 수 있다(Table 8).

고찰

생태학적 관점에서의 유기농업은 안전한 농산물 생산뿐만 아니라 농업생태계 내에 서식하고 있는 생물들의 서식 환경 및 다양성 보존에 있어 매우 중요한 역할을 차지하고 있어 미래의 농업에 중요한 역할을 할 수 있는 지속가능한 농업으로써 가치를 가지고 있다(Hwang, 2012; Gamage *et al.*, 2023).

하지만, 유럽에서 유기농 밀을 위한 종자는 화학적 종자 처리가 사용된 식물에서 생산될 수 없고, 특히 영국에서는 유기농 종자가 주로 비린깜부기병 포자(*Tilletia setariae*)로 오염되어 있으며 처리되지 않은 종자를 사용하면 *T. setariae*에 의한 발병률이 70~80%에 이를 수 있으며 이로 인해 유기 농업인에게 경제적인 파탄을 초래할 수 있다고 경고한 바 있다(Leonard & Williams, 2011).

Agroscope는 유럽에서 주요 곡물의 병해 진단을 위해 피해 허용수준을 개발하고, 1990년대 이후로 유기농 종자에 일관되게 적용해 왔다. 종자의 건강 검사와 피해 허용수준의 적용은 씨앗 처리에 추가된 중요한 요소로 밀 종자의 경우 10% 미만이 비린깜부기병(Stinkin smut disease)에 감염되어 있지 않다면 종자 소독이 필요하지 않은 것으로 판단하였다(Bänziger *et al.*, 2023).

국립농업과학원에서 친환경 종자소독기술은 다양한 원예작물을 대상으로 온탕침지법과 유기농업자재를 활용한 종자소독기술이 선행적으로 연구되었다(Kim *et al.*, 2022a; 2022b).

온탕침지법은 다양한 식물병원균 중에서도 *Alternaria* spp.나 *Phoma* spp.와 같은 식물병원균의 살균효과가 80~95%인 것으로 보고하였다(Nega *et al.*, 2003). 벼 키다리병을 대상으로 온탕침지법을 이용한 소독효과 검정에서 Kim *et al.* (2008)과 Park *et al.* (2003)은 온탕 온도별 방제 효과에서 온도가 높을수록 방제 효과가 높았다고 보고하였다.

또한 Bänziger *et al.* (2022)에 의하면 깜부기병원균(*U. muda*)에 오염된 저 품질의 밀 종자로 발아율이 감소되어 미생물(*Microdochin* spp.)과 온탕침지법과 유사한 고온 증기를 각각 처리한 결과 *Microdochin* spp. 처리에서 유의미한 소독효과가 나타나지 않았으나 고온의 증기를 처리했을 때 깜부기병원균(*U. muda*)에 대해 소독 효과가 우수하여

밀 종자의 발아율이 향상되었음을 제시하였다.

본 연구에서는 4종의 밀품종에 대해 동일한 조건의 온탕침지 조건으로 소독처리하였을 때 무처리에 비해 발아율은 동일하거나 상승되었으며 소독효과는 45°C처리보다 점차 55°C로 높여 처리하는 것이 곰팡이와 세균의 밀도를 유의적($P < 0.05$)으로 감소시켰으며 처리 시간($P < 0.001$)이 온도 조건($P < 0.05$)보다 더 높은 상관관계가 있는 것으로 나타났으며 온탕침지 온도와 시간이 상호 밀종자의 발아와 오염균의 소독 효과에 유의적($P < 0.05$)으로 영향을 주는 것으로 나타났으며 이러한 결과들은 다른 선행 연구들과 유사한 경향을 나타내었다.

Winter *et al.* (1994)도 밀과 보리 종자에서 나타나는 *Ustilago muda*에 의한 깜부기병을 방제하기 위해 온수를 처리한 조건으로 처리시간 및 온도의 다양한 조합에서 얻은 정된 결과를 얻은 것으로 보고한 바 있다.

So *et al.* (2017)은 벼 키다리병을 친환경적으로 소독하고자 본 실험에서 사용한 석회유황합제와 유사한 기능을 가진 황토유황합제를 사용했을 때, 2% 이상의 황토유황합제를 처리할 경우 벼 키다리병의 소독효과는 높았으나 벼 종자가 발아율이 낮고 발아 후 생육이 억제되어 황토유황합제의 처리 농도를 0.5%와 1%로 설정한 바 있다.

또한 본 연구에서는 4종의 밀품종 소독에 유기농업자재로 현장에서 많이 사용하고 있는 석회유황합제를 처리하였더니 온탕침지 처리와 유사하게 무처리에 비해 종자의 발아율이 대등하거나 높게 나타났으며 밀 품종별로 오염균인 곰팡이와 세균에 대한 소독효과가 있는 것으로 나타나 농업 현장의 조건에 따라 두가지의 기술을 각각 또는 상호보완적으로 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

특히, Lee (2017)는 온탕처리와 황토유황합제를 복합처리하는 것이 실험에 공시한 ‘대보’벼 품종의 출아율과 입모율 및 키다리병 방제효과가 93.7%로 매우 높게 나타나 보다 효율적으로 키다리병을 방제할 수 있는 대안이 될 수 있다고 보고한 바 있다.

본 연구에서도 황토유황합제와 유사한 기능을 하는 석회유황합제의 농도를 0.2%와 0.4%로 설정하고 처리시간을 달리하여 처리하였을 때 밀 품종별로 종자의 발아율에 영향을 주지 않았으나 석회유황합제의 처리 시간($P < 0.001$)이 석회유황합제의 처리 농도($P < 0.05$)보다 더 높은 상관관계가 있는 것으로 나타났으며 석회유황합제의 농도와 시간이 상호 밀 종자의 발아와 오염균의 소독 효과에 유의적($P < 0.05$)으로 영향을 주는 것으로 나타났다. 이러한 결과를 바탕으로 본 실험에서 구명한 석회유황합제의 처리 조건이 4종의 밀 품종의 발아율을 높이고 오염된 곰팡이와 세균을

제거할 수 있을 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서 개발한 55°C, 10분 온탕침지 처리를 하거나 0.2% 또는 0.4% 석회유황합제를 10분간 처리하는 것이 유기농 밀 종자 소독에 효과적으로 사용할 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 본 연구에서 개발한 기술을 농업현장에서 활용도를 높이기 위해서는 55°C 온탕침지법과 0.2% 또는 0.4% 석회유황합제를 혼용 처리하는 방법도 좋은 대안이 될 수 있을 것으로 판단된다.

적 요

본 연구는 온탕침지법과 석회유황합제 처리가 유기농 조경밀, 금강밀, 새금강밀 및 백강밀 종자의 발아와 소독에 미치는 영향을 구명하고자 수행하였다. 4종의 밀 품종은 소독 전 종자의 발아율이 평균 86.3±2.5~87.5±2.9%이었으나 곰팡이와 세균에 의한 감염 정도는 각각 평균 22.5±2.9~38.3±2.5%, 18.8±4.8~23.8±2.5%로 나타났다.

4종의 밀 품종에 대한 온탕침지 조건에 따른 종자의 발아율은 무처리에 비해 동일하거나 높았으며 온탕침지 온도와 처리 시간이 증가할수록 곰팡이와 세균의 오염도가 감소하였다. 밀 종자에 대한 최적 온탕침지 조건 55°C에서 10분간 처리하는 것이 무처리에 비해 발아율이 평균 90.0±0.0~97.5±2.9%로 동일하거나 높았고 곰팡이와 세균의 소독효과는 각각 평균 83.3~93.5%와 100%로 높았다.

또한, 0.2%와 0.4% 석회유황합제의 처리시간에 따른 밀 품종별 발아율과 곰팡이, 세균의 소독효과를 조사하였더니, 처리 시간의 경과에 따라 밀 품종 간에 발아율의 차이를 보이지 않았으나 무처리(86.3~87.5%)에 비해 발아율이 높았고 최적 처리 시간은 7분 또는 10분으로 곰팡이와 세균의 오염도를 평균 90.0~96.0% 감소시켰다.

따라서 4종의 유기농 밀 종자 소독을 위해 적용한 온탕침지와 석회유황합제의 처리 조건에 따라 발아율과 소독효과와의 차이는 있으나 55°C, 10분 온탕침지 처리를 하거나 0.2% 또는 0.4% 석회유황합제를 10분간 처리하는 것이 무처리에 비해 발아율을 증진하고 종자에 오염된 곰팡이와 세균의 밀도를 감소시켜 친환경적인 밀 종자 소독기술로 농업현장에서 활용도가 높을 것으로 판단된다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 어젠다 과제 PJ01677001 지원에 의해 이루어진 연구결과의 일부임.

인용문헌(REFERENCES)

- Ann, H. D. Heather, C. Erica, M. Gabriella, and M. Rory. 2018. Germination in spring grains treated with organic seed amendments and aerated steam. *Northwest Crops & Soils Program*. 301.
- Barnett, H. L. and B. B. Hunter. 1998. *Illustrated genera of imperfect fungi*. 4th APS Press, USA. p. 218.
- Bänziger, I., A. Kagi, S. Vogelgsang, S. Klaus, T. Hebeisen, A. B. Mainil, and K. S. Sullam. 2022. Comparison of thermal seed treatments to control snow mold in wheat and loose smut of barley. *Frontiers in Agronomy*. 3 : 775243.
- Bänziger, I., H. Hebeisen, D. Amrein, S. Vogelgsang, and K. Sullam. 2023. Investigation of seed grain health allows to reduce the application of plant protection products. *Swiss Agr. Res.* 14 : 33-42.
- Choi, J. S. 2017. Seed-surface disinfection and germination effects of grapefruit seed extract (GSE) on *Lactuca sativa* seeds. *Toxicol. Environ. Health Sci.* 9 : 169-175.
- de Lima, C. B., L. L. A. Rentschler, J. T. Bueno, and A. C. Boaventura. 2016. Plant extracts and essential oils on the control of *Alternaria alternata*, *Alternaria dauci* and on the germination and emergence of carrot seeds (*Daucus carota* L.). *Cienc. Rural. Santa Maria*. 46 : 764-770. <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20141660>.
- Forsberg, G. 2004. Control of Cereal Seed-Borne Diseases by Hot Humid Air Seed Treatment. Ph. D. Thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden. https://pub.epsilon.slu.se/516/1/Sammanfattning_slutkorrigerad.pdf. Last accessed on January 4, 2022.
- Forsberg, G., L. Johnsson, and J. Lagerholm. 2005. Effects of aerated steam seed treatment on cereal seed-borne diseases and crop yield. *J. Plant Dis. Prot.* 112 : 247-256.
- Gamage, A., R. Gangahagedara, J. Gamage, N. Jayasinghe, N. Kodikara, P. Suraweera, and O. Merah. 2023. Role of organic farming for achieving sustainability in agriculture. *Farming System*. 1 : 100005.
- Gaur, A., A. Kumar, R. Kiran, and P. Kumari. 2020. Importance of seed-borne diseases of agricultural crops: Economic losses and impact on society. In: *Seed-borne Diseases of Agricultural Crop: Detection, Diagnosis & Management*. pp. 3-23.
- Gaurilickiene, I., J. Ramanauskienė, M. Dagys, R. Simniskis, Z. Dabkevičius, and S. Supronienė. 2013. The effect of strong microwave electric field radiation on: (2) wheat (*Triticum aestivum* L.) seed germination and sanitation. *Zemdirb. Agric.* 100 : 185-190.
- Gitaitis, R. and R. Walcott. 2007. The epidemiology and management of seedborne bacterial diseases. *Annu. Rev. Phytopathol.* 45 : 371-397.
- Goo, S. G. and J. H. Koo. 2020. Establishment of rice bakanae disease management using slightly acidic hypochlorous acid

- water. *J. Life Sci.* 30 : 178-185.
- Hwang, Y. S. 2012. Agriculture/agricultural policy trends and improvement of food self-sufficiency rate. In : Korean wheat industry symposium. Korean Wheat Industry Association, Seoul, Korea. pp. 20-35.
- Kang, C. S., K. H. Kim, Y. W. Seo, S. H. Woo, M. R. Heo, B. K. Choo, J. N. Hyun, K. J. Kim, and C. S. Park. 2014. Current regional cultural situation and evaluation of grain characteristics of Korean wheat. I. Survey of production practices in Korean wheat cultivar growers by region. *Korean J. Crop Sci.* 59 : 1-15.
- Kim, M. J., C. K. Shim, and J. H. Lee. 2022a. Research on eco-friendly disinfection technologies of vegetable seeds for safe production of agricultural crops. *J. Korean Soc. Int. Agric.* 34 : 122-136.
- Kim, M. J., C. K. Shim, J. H. Lee, and C. Wangchuk. 2022b. Hot water treatment as seed disinfection techniques for organic and eco-friendly environmental agricultural crop cultivation. *Agriculture.* 12 : 1081.
- Kim, S. J., J. G. Won, D. J. Ahn, S. D. Park, and C. D. Choi. 2008. Occurrence of bakanae disease (*Gibberella fujikuroi*) growth characteristics of rice by different disinfection methods. *Korean J. Crop Sci.* 53 : 417-420.
- Lee, D. H. 1986. Barley and wheat grains infectious diseases and control strategies; insufficient plant pathogens testing easily facilitates spread. *Life and Pesticides.* 7 : 91-98
- Lee, S. W. 2017. Fungicidal and insecticidal activity of loess-sulfur complex against *Gibberella fujikuroi* and *Nilaparvata lugens*. The Master Degree Thesis of Paichai University. Daejeon, Korea. p. 41.
- Leonard, G. and A. Williams. 2011. European organic wheat suffers from “stinking smut” disease due to lack of fungicide seed treatment. *International Pesticide Benefits Case Study* No. 13.
- Liatukas, Z., S. Suproniene, V. Ruzgas, and A. Leistrumaite. 2019. Effects of organic seed treatment methods on spring barley seed quality, crop, productivity and disease incidence. *Zemdirb. Agric.* 106 : 241-248.
- Los, A., D. Ziuzina, and S. Akkermans. 2018. Improving microbiological safety and quality characteristics of wheat and barley by high voltage atmospheric cold plasma closed processing. *Food Research International.* 106 : 509-521. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.01.009>.
- Miller, S. A., I. Lewis, and L. Melanie. 2004. Hot water treatment of vegetable seeds to eradicate bacterial plant pathogens in organic production systems. Ohio State University Extension Factsheet HYG-3086-05. <http://onionline.osu.edu/hygfact/3000/pdf/3086.pdf>.
- Moore, J. M., K. E. Ileleji, and K. Keener. 2020. Factors that affect high voltage atmospheric cold plasma treatment efficacy on wet distillers' grains: Shelf-life and nutrient composition. *J. Cereal Sci.* 95 : 103034.
- NAAS (National Institute of Agricultural Sciences). 2010. Easy to follow organic farming techniques. Dongshinmunhwasa, Suwon, Korea. p. 83.
- Nega, E., R. Ulrich, S. Werner, and M. Jahn. 2003. Hot water treatment of vegetable seed: an alternative seed treatment method to control seed-borne pathogens in organic farming. *J. Plant Dis. Protec.* 10 : 220-234.
- Orsini, S., A. Costanzo, F. Solfanelli, R. Zanoli, S. Padel, M. M. Messmer, E. Winter, and F. Schaefer. 2020. Factors affecting the use of organic seed by organic farmers in Europe. *Sustainability.* 12 : 8540. <https://doi.org/10.3390/su12208540>.
- Park, H. G., H. R. Shin, Y. Lee, S. W. Kim, O. D. Kwon, I. J. Park, and Y. I. Kuk. 2003. Influence of water temperature, soaking period, and chemical dosage on Bakanae disease of rice (*Gibberella fujikuroi*) in seed disinfection. *Korean J. Pest. Sci.* 7 : 216-222.
- Seong, M. H. 2012. International grain prices rise and the short-term and long-term countermeasures. *KREI Agricultural Policy Focus.* 33 : 1-33.
- So, H. K., Y. K. Kim, S. J. Hong, E. J. Han, J. H. Park, C. K. Shim, M. J. Kim, and S. C. Kim. 2017. Effect of rice seed disinfection of loess-sulfur on the suppression of bakanae disease caused by *Fusarium fujikuroi*. *Korean J. Org. Agric.* 25 : 345-355.
- The Korean Society of Plant Pathology (KSPP). 2009. List of plant disease in Korea (5th). The Korean Society of Plant Pathology, Korea. pp. 22-26.
- Vannacci, G. and G. E. Harman. 1987. Biocontrol of seed-borne *Alternaria raphani* and *A. brassicicola*. *Canadian J. Microbiol.* 33 : 850-856.
- Walker, J. C. 1923. Seed treatment and rainfall in relation to the control of cabbage black leg. United States Department of Agriculture Bulletin 1029.
- Winter, W., I. Bänziger, H. Krebs, A. Rügger, P. Frei, and D. Gindrat. 1994. Warm water treatment of wheat seed. *Agrarforschung.* 1 : 492-495.