



저장온도 및 종자 처리가 봄파종 인삼 출아와 생장에 미치는 영향

서수정 · 유 진 · 장인복 · 문지원 · 이성우 · 장인배[†]

농촌진흥청 국립원예특작과학원 인삼특작부

Effects of Storage Temperature and Seed Treatment on Emergence and Growth Properties of *Panax ginseng* at Spring-sowing

Su Jeoung Suh, Jin Yu, In Bok Jang, Ji Won Moon, Sung Woo Lee and In Bae Jang[†]

Department of Herbal Crop Research, NIHHS, RDA, Eumseong 27709, Korea.

ABSTRACT

Background: In Korea, seeds of *Panax ginseng* C. A. Meyer need to be stored under cold temperature and high humidity condition for months to break physiological dormancy, making storage difficult until spring-sowing. This study was conducted to test the effects of seed storage conditions and seed treatment on the emergence of seedling after spring-sowing in a nursery greenhouse.

Methods and Results: After dehiscence, endocarp dried seeds in mild or completely, and wet seeds were stored in 2°C and -3.5°C during winter. Storage at -3.5°C resulted in a lower emergence rate (ER) than that at 2°C, and additional cold (2°C) treatment before or after storage at -3.5°C increased the ER. Endocarp dehydration prevented pre-germination at 2°C storage and increased the ER of seeds stored at -3.5°C. ER was also dependent on the batch of seeds. However, seed treatments before sowing had only limited effects on ER. Root loss was the main reason for damping-off; prolonged cold storage of seeds increased damping-off, as the detection of pathogens was not high.

Conclusions: This study showed that storage conditions such as temperature and moisture content of seeds, affect the ER after spring-sowing and vitality of seedlings, suggesting further attention on seed control for secure seedling stands after spring-sowing.

Key Words: *Panax ginseng* C. A. Meyer, Damping-off, Emergence, Nursery Greenhouse, Seed Storage, Seed Treatment, Spring-sowing

서 언

인삼 (*Panax ginseng* C. A. Meyer)은 영년생 식물로, 종자 번식을 하며 직파 또는 이식 재배를 한다. 이식 재배는 모밭을 형성하여 1 년근 묘삼을 생산한 후 본밭에 이식한다. 이식 후 수확할 때까지 한곳에서 3 - 5년을 자라며, 묘삼의 소질은 인삼의 품질과 수량을 좌우하므로 건전한 묘삼 생산은 매우 중요하다.

인삼 종자는 수확 당시 배 (embryo) 발달이 불완전하여 형태적 휴면을 가지고 있으며 개갑이라는 과정을 통해 배가 형성되어도 생리적 휴면을 가지고 있어 저온감응을 거쳐야 발아가 가능한데 모두 최소 6 개월 이상 소요된다 (Lee *et al.*,

1986; Kwon *et al.*, 2001).

10 월말이나 11 월초에 개갑이 완료된 종자는 가을에 파종하여 노지에서 자연적으로 저온 감응을 받지만, 다음해 봄에 파종하는 경우에는 파종할 때까지 생리적 휴면타파를 위해 저온에 저장 한다. 봄파종은 종자 저장이 어렵고, 출아가 불량하거나 생육이 부진한 경우가 종종 발생하여 대부분 가을에 파종하는데, 개갑시기가 맞지 않거나, 강우, 노동력 부족 등의 이유로 봄파종을 선택하기도 한다.

육묘산업에서 종자 관리는 입묘율과 생산성에 지대한 영향을 미침에도 불구하고 묘삼 생산에서 종자 관리에 대한 연구는 미흡한 실정이며, 특히 최근 들어 새싹삼 재배 등 인삼의 친환경적 재배에 대한 요구가 커지고 있는데 이에 따른 종자

[†]Corresponding author: (Phone) +82-43-871-5610 (E-mail) ikanet0923@korea.kr

Received 2018 July 24 / 1st Revised 2018 August 7 / 2nd Revised 2018 August 29 / 3rd Revised 2018 September 19 / Accepted 2018 September 26
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.

관리 기술에 대한 검토가 필요하다.

인삼 종자의 저장이 어려운 것은 인삼 종자가 난저장성 종자로서 종자의 수분함량이 높게 유지되어야 하며, 저장기간 동안 생리적 휴면타파가 이루어져야 하는데, 수분함량이 높으므로 휴면이 종료되면 파종하기 전에 저온에서도 발아가 시작되거나 (선발아, pre-germination) 종자질이 안 좋으면 쉽게 부패하기 때문이다 (Ziezold *et al.*, 1998). 이러한 저장성 문제는 가을파종을 선호하게 하는 원인 중 하나임에도 아직까지 봄파종을 위한 종자 저장법에 대한 연구는 많지 않으며, 종자 건조에 따른 저장성 향상에 관한 연구가 있었지만 (Suh *et al.*, 2017) *in vitro* 실험으로 노지재배와 같은 복합적인 환경에서의 재배 검증은 이루어지지 않았다.

종자 처리 (seed treatment)란 종자를 열탕 처리 등 물리적으로 처리하거나 화학적 또는 생물학적 제재로 처리를 하는 것을 말하며, 종자 내 병원균의 살균 및 토양 속 병원균으로부터의 감염을 방지하여 출아율 향상 및 출아 후 발생하는 입고병 방지에 효과가 있어 이미 다양한 작물에서 활용하고 있다 (Harman, 1991; Howell, 2007; Mancini and Romanazzi, 2014).

인삼은 심기 전에 1-2년의 예정지 관리에 노력을 많이 기울여야 하고, 연작 장애를 피하기 위해 초작지를 선호하는데 근래에는 초작지 부족이 문제가 되고 있어 묘삼 생산에도 어려움을 주고 있다. 이를 해결하기 위해 최근 들어 하우스시설과 인공상토를 사용한 공정육묘 시스템이 개발 중에 있다 (Park *et al.*, 2014a; Kim *et al.*, 2014). 인삼 공정육묘는 초기 시설비 및 재료비가 많이 드는 단점이 있지만, 초작지 부족 해결과 친환경 묘삼 생산을 할 수 있다는 장점이 있다.

본 연구는 인삼 공정육묘에서 개입된 종자를 봄파종을 위해 생리적 휴면타파 목적으로 동절기 저온 저장 시 건조 처리와 온도 및 종자 처리가 출아율과 생육에 미치는 영향을 조사하였고 그 결과를 논의하고자 한다.

재료 및 방법

1. 종자 건조

종자 건조 시험은 2016년에 음성 두 지점과 (음성-1, 음성-2), 진부에서 수확한 재래종 종자를 한 개입장에서 개입 후 사용하였다. 종자 건조는 Suh 등 (2017)에 준하여 하였는데, 종자를 건조시키지 않은 무건조 (WS), 진정 종자는 건조되지 않고 내과피만 약간 건조되어 희끗해진 정도로 건조된 반건조 (EDM), 내과피를 완전히 건조시킨 완전건조구 (EDH)를 처리구로 하였다.

종자 건조는 음성-1 종자는 2016년 11월 23일, 음성-2 종자는 12월 2일, 진부 종자는 12월 13일에 하였으며 차광막을 설치한 유리온실에서 (18-25°C, 40-60% RH) 수행하였고,

대형 선풍기 (Hanil, Seoul, Korea)로 바람을 불어주어 건조가 쉽게 되도록 하였다. 건조 후 내과피의 수분함량은 WS 51%, EDM 44%, EDH 11%였으며, 진정 종자의 수분함량은 WS 55.6%, EDM 55.2%, EDH 52.8%이었다.

각 처리구들은 반으로 나누어 지퍼백 (Cleanwrap, Kimhae, Korea)에 담아 2°C와 -3.5°C에 저장하였다.

2. 종자 처리

종자 처리 약제는 인삼 (*Panax ginseng* C. A. Meyer)이나 다른 작물에서 모잘록 방제에 효과가 있었던 약제를 문헌 조사를 통해 선발하였는데, 락스는 차아염소산을 유효성분으로 가지고 있어 종자 살균에 많이 사용되고 있으므로 대조구로서 사용하였다 (Vaartaja, 1956; Sauer and Burroughs, 1986; Lee and Yu, 2011; Lee *et al.*, 2014; Shin *et al.*, 2015; Park *et al.*, 2014b, 2017). 약제 정보는 Table 1에 표기하였다.

-3.5°C에 저장하였던 음성-1 종자를 파종 전에 종자 처리하였는데, 처리 방법을 간단히 서술하면 플루디옥소닐은 사용법에 따라 분의처리 하였고, 락스 소독은 시판 락스를 1/4 희석하여 10 분간 처리 후 물로 충분히 세척하였으며, 친환경 약제로는 CJ4 (*Burkholderia ambifaria*)와 ES17 (*Paenibacillus polymyxa*) 미생물 부유액에 1 시간 침지 하였으며, 무기유황 수용액, 목초액, 석회브르도액에 설정 농도에 따라 30 분간 침지 후 물기를 제거하여 1 일 2°C에 보관하였다가 파종하였다.

3. 냉장 순화

-3.5°C 저장 종자를 파종 전에 2°C에 보관하였는데 이를 '냉장 순화'라 하였으며, 처리 일수는 건조 저장 시험구는 1 일, 기간별 시험은 3-14 일, 그 외 시험은 14 일간 하였다. 냉장 순화 기간 동안 종자에 수분 공급을 위해 순화 3 일째에 흐르는 물에 4 시간 침지하였다가 파종하거나 나머지 순화 일수 동안 다시 2°C에 저장하여 순화시켰다.

4. 파종

종자 파종은 음성 인삼특작부 시험지에 설치된 연동 비닐하우스와 유리온실에서 수행하였다. 건조 종자 시험구는 3월 중순 연동 비닐하우스에 파종하였으며, 그 외 시험구는 5월 이후 유리온실에 파종하였다. 5월 이후는 기온이 상승하여 발아에 불리할 수 있으므로 (Won *et al.*, 1988), 10-15°C로 유지되는 생장상 (와이즈산전, Seoul, Korea)에 백색 LED (LEO, Cheongju, Korea)를 12 시간씩 조사하면서 2 주간 배양하다가 온실로 이동하였다.

생육조사가 필요한 시험구는 33×51×20 cm 크기의 화분에, 출아 조사만 한 시험구는 22×32×7 cm 화분에 인삼 전용상토 (황금뿌리, 농경, Jincheon, Korea)를 채우고 3×3 cm 간격

으로 종자를 파종하였다.

파종 후에는 수분함량을 30% (V/V) 이상으로 높게 유지하다가 2 개월 후에는 20 - 25% (V/V)로 관리하였는데 수분 측정은 WP-1000N (미래센서, Seoul, Korea)을 이용하였다. 시험은 4 반복으로 수행하였으며, 난괴법으로 배치하였다.

5. 생육 특성 조사

출아율은 파종 종자 수 대비 지상부가 출아한 수의 백분율을 구한 후 개갑율로 나누어 출아율을 보정하였으며, 입고병 발생률은 출아수 대비 이병주 발생수의 백분율로 구하였다. 지상부 생육은 파종 후 4 개월에, 지하부 생육은 파종 후 7 개월에 하였으나, 파종 전 종자 처리구는 기간이 짧아 파종 후 5 개월에 조사하였다. 엽록소 함량은 엽색계 (SPAD-502Plus, Konica Minolta, Tokyo, Japan)을 이용하여 측정하였다.

6. 병원균 분리 및 균동정

입고병 이병주를 물로 씻은 후 1% NaOCl (Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, USA)에 담가 표면을 2 분간 살균하였다. 멸균수로 2 회 세척한 다음 멸균 여과지에서 10 분간 건조하였다. 감염 부위의 절편을 얻어 100 mg/ℓ의 chloroampenicol 이 첨가된 PDA (potato dextrose agar) 배지에 올려놓고 20°C에 배양하여 시료로부터 균사가 자라나오면 PDA배지에 계대 배양 하여 20°C에 배양하였다.

분리된 각 균사체로부터 gDNA를 추출하여 16s rRNA ITS (intergene specific) 영역의 primer (5'-GGATTAGATACCCTGGTA-3', 5'-CCGTCAATTCMTTTRAGTTT-3')로 PCR하여 절편의 염기서열을 결정하였다 (Macrogen, Daejeon, Korea). 결정된 염기서열을 NCBI nucleotide blast기능을 이용하여 유사성 검색을 통해 분리한 균을 동정하였다.

7. 통계처리

인삼의 출아율과 입고병 발생률 및 생육 조사 결과를 SAS v9.2 (SAS Institute inc., Cary, NC, USA)을 이용하여 DMRT (Duncan's Multiple Range Test)로 일원 또는 이원 분산 분석하였으며, 생육 조사 결과는 반복 당 15 개체의 평균을 구하고 반복들 간의 통계처리를 하였다.

결과 및 고찰

1. 내과피 건조에 따른 출아 특성

2°C에 저장한 WS는 3월 초, 저장 상태에서 이미 발아를 시작하여 3월 18일에는 50% 이상 발아하였다. EDM은 저장기간 동안 파종일 (3월 18일)까지 발아하지 않았지만 3월 말에는 상당수 발아 하였고, EDH는 다음해까지도 저장고에서 미발아 상태를 유지하였다.

2°C에 저장한 WS는 종자부족으로 파종하지 않아 출아 특성을 조사할 수 없었으며, EDM과 EDH는 파종 후 각각 76.5%, 53.3% 출아하였다 (Table 1). EDM은 WS에 비해 내과피 수분함량이 낮아 발아를 억제하면서도 출아에 큰 지장을 주지 않았지만 EDH는 내과피 건조가 심하여 발아에도 불리하였던 것으로 생각된다. Suh 등 (2017)의 연구에서 EDH는 90%이상 지상부 출현을 보인 것과 대조적인데, 해마다 생산되는 종자의 특성 차이나 종자 침지, 파종 후 환경, 즉 종자의 수분흡수나 발아 온도 등 *in vitro*와의 조건 차이가 작용하였을 것으로 생각된다.

생리적 휴면타파를 위해 5°C에서 100 일 정도가 소요되는 것을 밝힌 바 있지만 (Won *et al.*, 1988), 농가 실정에서는 냉장 온도에서 저장할 경우 저장 중 발아하여 파종에 지장을 주므로 냉동 저장을 하고 있다. 그러므로 냉동 저장 시 건조 처리가 출아율에 미치는 영향을 조사할 필요가 있었다.

본 시험은 묘삼을 저장하는 저장고를 공동 사용하여 -3.5°C에서 종자 저장을 하였는데 -3.5°C에 저장하였던 WS는 파종 후 13.1%, EDM은 45.0%, EDH는 27.1% 출아하여 냉동 조건에서도 내과피를 건조시키는 것이 출아율 향상에 도움이 되었다.

그러나 -3.5°C저장 종자는 전체적으로 2°C에 저장한 종자들보다 출아율이 낮아 문제가 되었다. RDA (2013) 자료에 따르면 가을 파종을 권장하고 있으며 저온저장고 사용시 -2 - 0°C 저장을 권장하고 있지만 이를 뒷받침하는 연구 자료는 찾기 어렵다. Suh 등 (2017)의 실험 결과는 -2°C에서 115 일 저장 결과 지상부 출현에 문제가 없었는데 이는 *in vitro* 시험으로 발아 조건에 차이가 있을 수 있으며, 본 연구에서는 저장 114 일로 저장기간은 비슷하지만 저장 온도가 낮은 것이 문제가 될 수 있을 것 같다. 한편 RDA (2017)에서도 -2°C에 저장하였을 때 봄파종 결과 출아율이 낮았다.

Lee 등 (2016)의 연구에서는 -2°C에서 90 일 저장 후 모두 출아율이 20%미만으로 저조하였는데, 저온 처리 일수가 짧아 해석에 한계가 있지만 휴면타파에 관여하는 GA₃ 처리로 인해 출아율이 증가한 것으로 볼 때 냉동온도에서는 휴면타파가 원활하지 않았을 가능성도 있다. 또한 난저장성 종자의 특성으로 인해 종자의 활력이 저하되었을 가능성도 고려해야 한다 (Bonner, 1990). 그러므로 안정적 봄파종을 위해 무엇보다 인삼 (*Panax ginseng* C. A. Meyer) 종자의 생리적 휴면타파를 위한 최저온도 한계와 감응시간에 대한 연구 필요성을 제시하는 결과라 할 수 있겠다.

2°C에 저장한 EDM의 경장이 6.8 cm로 가장 높았고 엽폭, SPAD, 근장, 근경 또한 다른 처리구에 비해 높았으며, 근중은 2°C에 저장한 EDH가 0.7 g으로 가장 높았다 (Table 1). 출아율이 높을수록 경장이 높은 상관관계를 보였으나 ($R^2=0.9437$, $r=0.971$), 근중 등 다른 생육과는 연관성이 없었다.

저장 온도는 출아율, 지상부 생육, 근경, 근중에 영향을 주었으며, 종자 건조도는 출아율, 지상부 생육, 근경에 영향을 준 것으로 분석되었다 ($p < 0.05$).

출아가 완료되기 전에 5월 초부터 모가 쓰러지면서 입모가 감소되었다. 잎은 싱싱해 보이지만 줄기가 탄력을 잃고 쓰러졌는데, 집단을 이루지 않고 개별적으로 발생하였으며 뽑아보면 대부분 뿌리가 소실된 상태로 뿌리 썩음병에 의한 입고병 증상을 보였다. 일반적으로 노지 모밭에서 발생한 입고병은 10-30% 발생하는 것으로 알려졌는데 (Choi and Chung, 1971; Lee *et al.*, 1978), 본 실험에서는 2°C저장 EDH가 6.2%로써 가장 높아 노지의 입고병 발생률보다 낮았다 (Table 1). 입고병 발생은 저장 온도에 영향을 받아 2°C에 저장한 종자에서 높았는데 종자 건조도는 영향을 주지 않았다 ($p < 0.05$).

2. 냉장 순화에 따른 냉동 종자의 출아 특성

Suh 등 (2017)은 20%로 건조된 종자를 침지 후 추가로 2°C에 저장하여 출아를 증가시킬 수 있었으며, -2°C 저장 종자를 파종 전에 2°C에 저장함으로써 출아율을 높일 수 있었다 (RDA, 2017). 본 연구에서도 -3.5°C 저장 종자들을 추가적으로 냉장 처리, '냉장 순화', 해주었을 때 출아율이 증가되는지 조사하였다.

냉동 저장하였던 EDM 종자를 냉동고에서 꺼내 2°C에 3 일, 1 주, 2 주, 4 주, 6 주간 보관하였다가 파종하였는데, 출아율이 각각 74.2%, 82.9%, 82.9%, 85.0%, 94.6%으로 조사되어 -3.5°C 저장 종자들도 냉장 순화하였을 때 출아가 성공적이었으며, 냉장 처리 일수가 길수록 효과가 좋았다 (Table 2).

3 일 냉장 순화 처리구의 입고병 발생은 11.9%였으며 냉장 순화처리가 길수록 점차 증가하여 4 주 처리구는 20.6%, 6 주차에는 다소 감소하여 19.6%였다. 냉장 순화처리를 2달 넘

게 처리하면 역시 저장 중에 발아를 시작하고 입고병 발생이 더욱 증가하였다 (자료 미제시).

WS와 EDH에서도 냉장 순화처리 효과를 조사하였는데, 냉장 순화처리를 2 주 하였을 때 WS와 EDH는 각각 82.7%, 86.4% 출아하여 WS 역시 출아가 향상되었다. 그러나 생산지가 달랐던 음성-2와 진부 종자의 경우 냉장 순화 처리 후 음성-2의 WS와 EDH의 출아율은 40.1%, 93.8%으로, 진부 종자의 WS와 EDH는 82.7%, 96.9% 출아하여 종자의 생산지에 따라 출아율에 영향을 줄 수 있으며 저온 저장 전 내과피 건조처리는 출아율 저하를 방지하는데 효과적임을 알 수 있었다 (Table 3).

2°C와 -3.5°C 저장 모두 짧은 순화 조건에서는 EDM이 EDH보다 높았지만 순화를 어떻게 하느냐에 따라 EDH가 EDM보다 출아율이 높은 경우도 있어 (자료 미제시), EDM과 EDH 중 무엇이 유리한 조건인지는 추후 연구가 필요하다.

Table 2. Enhance of emergence rate and damping-off by pre-sowing cold treatment on the -3.5°C stored EDM¹⁾ seeds.

Pre-cold treatment (days)	Emergence rate (%)	Damping-off (%)
3 days	74.2±3.4 ^d	11.9±4.7 ^{b*}
1 week	81.9±4.6 ^{cd}	11.9±2.5 ^b
2 weeks	82.9±10.2 ^{bcd}	16.6±4.3 ^{ab}
4 weeks	85.0±7.4 ^{bcd}	20.6±4.9 ^a
6 weeks	94.6±0.8 ^a	19.0±4.5 ^{ab}

¹⁾EDM; endocarp of seeds were dried mildly. Data presented are means ± SD of 4 replicates. *Means within a column followed by the same letters are not significantly different based on the Duncan's Multiple Range Test (DMRT, $p < 0.05$). Seeds that produced in Eumseong-1 were used.

Table 1. Effects of endocarp dry on seedling emergence rate, growth properties and damping-off.

Storage temperature (°C)	Seed endocarp dryness	Emergence rate (%)	Stem length (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	SPAD	Root length (cm)	Root diameter (mm)	Root weight (g/root)	Damping-off (%)
2°C	WS ¹⁾	ND ⁷⁾								
	EDM ²⁾	76.50±1.70 ^a	6.80±0.30 ^a	4.50±0.10 ^{ab}	2.30±0.00 ^a	39.10±0.60 ^a	12.10±1.10 ^a	4.70±0.20 ^a	0.65±0.04 ^{ab}	4.90±2.30 ^{ab*}
	EDH ³⁾	53.30±3.60 ^b	6.50±0.20 ^a	4.60±0.00 ^a	2.20±0.00 ^a	36.90±0.40 ^b	11.80±0.80 ^a	4.20±0.20 ^{bc}	0.70±0.02 ^a	6.20±2.70 ^a
-3.5°C	WS	13.10±1.30 ^e	4.60±0.30 ^d	4.00±0.10 ^c	2.00±0.10 ^d	30.50±0.40 ^d	11.40±0.50 ^a	3.90±0.20 ^d	0.60±0.06 ^b	3.10±3.70 ^{ab}
	EDM	45.00±3.40 ^e	6.00±0.30 ^b	4.50±0.20 ^a	2.20±0.10 ^b	33.20±1.10 ^c	11.60±0.60 ^a	4.10±0.00 ^{cd}	0.63±0.06 ^b	1.50±1.90 ^b
	EDH	27.10±3.60 ^d	5.10±0.30 ^c	4.30±0.10 ^b	2.10±0.00 ^c	32.50±0.90 ^c	11.80±0.80 ^a	4.50±0.10 ^{ab}	0.64±0.03 ^{ab}	3.10±3.80 ^{ab}
	TM ⁴⁾	< 0.0001	< 0.0001	< 0.01	< 0.0001	< 0.0001	NS	NS	< 0.05	< 0.05
	ED ⁵⁾	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	NS	< 0.05	NS	NS
	TM*ED	NS ⁶⁾	NS	NS	NS	NS	NS	< 0.01	NS	NS

¹⁾WS; seeds were not dried, ²⁾EDM; endocarp of seeds were dried mildly, ³⁾EDH; endocarp of seeds were dried highly, ⁴⁾TM; storage temperature, ⁵⁾ED; Endocarp dryness, ⁶⁾NS; Not significant, ⁷⁾ND; Not determined. Data presented are means ± SD of 4 replicates. *Means within a column followed by the same letters are not significantly different based on the Duncan's Multiple Range Test (DMRT, $p < 0.05$). Seeds that produced in Eumseong-1 were used.

Table 3. Emergence and damping-off rate of -3.5°C stored WS and EDH seeds of different batches after 2 weeks pre-sowing cold treatment.

Batch of seeds	Seed dry	Emergence rate (%)	Rate of seedling loss (%)
Ginbu	WS ¹⁾	82.7±4.6 ^b	7.4±3.1 ^{ab}
	EDH ²⁾	96.9±1.0 ^a	4.4±4.7 ^b
Eumseong 1	WS	82.7±12.3 ^b	12.1±3.1 ^a
	EDH	86.4±5.7 ^{ab}	7.7±4.9 ^{ab}
Eumseong 2	WS	40.1±3.8 ^c	6.0±2.0 ^{ab}
	EDH	93.8±7.5 ^{ab}	2.5±2.8 ^b
	SL ⁴⁾	< 0.001	NS
	ED ⁵⁾	< 0.0001	NS
	SL*ED ⁶⁾	< 0.0001	NS

¹⁾WS; seeds were not dried, ²⁾EDH; endocarp of seeds were dried highly, Data presented are mean of triplicates, ³⁾NS; Not significant, ⁴⁾SL; Seed lot, ⁵⁾ED; Endocarp dry, ⁶⁾SL*ED; interaction of SL and ED. *Means within a column followed by the same letters are not significantly different based on the Duncan's Multiple Range Test (DMRT, $p < 0.05$). Seed lots produced in Ginbu and Eumseong were used.

위 결과들을 검토해보면 냉동 종자의 출아율 저조는 휴면 타파 (Table 2, 3)와 종자의 활력 저하 (Table 3, 음성-2 WS)를 모두 고려해야 할 것으로 생각된다. 그러나 한편 냉장 순화 기간이 짧아도 영향을 주는 점은 냉동 저장 시험구의 출아율 저조를 단순히 휴면타파의 문제로 보기에는 의문이 남는다. 또한 냉장 순화 처리를 하여도 출아율이 크게 회복되지

않는 경우가 발생하기도 하는데 (결과 미제시) 봄파종 출아율 불량을 일으키는 원인은 복합적인 요소들이 작용하는 것 같으며, 좀 더 안정적인 봄파종을 위해서는 추후 연구가 필요할 것으로 생각된다.

음성-1 WS의 입고병 발생이 12.1%으로 최고치였으며 그 외 처리구는 그 미만으로 생산지별 차이와 종자 건조처리는 병발생에 영향을 미치지 않았다.

3. 종자 처리에 따른 출아 특성

파종 전 종자 처리 효과를 보는 시험에서는 플루디옥소닐, 락스 소독, 길항균 외에 무기유황 0.5%, 목초액 50 배, 100 배 희석액, 석회보르도 0.5%, 1%를 처리하였다. 종자 처리 후 4월 7일 비닐하우스에 파종을 하였으나 무처리구의 출아가 불량하였고 (15% 미만), 종자 처리구에 따른 출아율 변동은 거의 없었다.

출아율을 높이기 위해 2 주간 냉장 순화를 한 후 종자처리를 하여 재시험을 하였는데 무처리가 86.9% 출아한 것에 비하여 종자 처리구들의 출아율이 크게 다르지 않았으며, 지상부 생육과 근장, 근경 또한 처리구들 간에 큰 차이가 나지 않았다. 다만 석회보르도 1% 처리구의 근중이 무처리보다 적었다.

무처리의 입고병 발생률은 19.6%였는데 무기유황 0.5%가 입고병이 24.5% 발생하여 다소 높았고, 락스 소독, ES17, 목초액, 석회보르도 1%는 플루디옥소닐과 비슷한 수준으로 무처리보다 다소 낮았으나 통계상 차이는 없었다 (Table 4).

종자 처리에 의한 출아율 향상이나 입고병 감소효과가 뚜렷

Table 4. Effects of seed treatments before sowing on seedling emergence rate, growth properties and damping-off.

Seed treatment	Emergence rate (%)	Stem length (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	SPAD	Root length (cm)	Root diameter (mm)	Root weight (g/root)	Damping-off (%)
Control	86.90±8.10 ^{ab}	5.60±0.30 ^{ab}	3.90±0.10 ^a	2.00±0.10 ^a	27.30±1.50 ^a	11.20±0.30 ^a	4.05±0.23 ^{ab}	0.49±0.04 ^{ab}	19.60±6.50 ^{ab*}
Fludioxonil	88.60±7.00 ^{ab}	5.80±0.40 ^{ab}	4.00±0.20 ^a	2.00±0.10 ^a	26.90±1.50 ^a	10.40±0.50 ^a	3.91±0.32 ^{ab}	0.45±0.06 ^{bc}	14.60±2.30 ^b
Bleach	90.80±5.40 ^{ab}	5.90±0.20 ^{ab}	4.00±0.10 ^a	2.00±0.10 ^a	28.70±1.80 ^a	11.10±0.90 ^a	4.22±0.13 ^a	0.54±0.04 ^a	15.10±3.60 ^b
B.C. (CJ4)	92.30±8.10 ^{ab}	5.70±0.20 ^{ab}	4.00±0.00 ^a	2.00±0.10 ^a	26.40±2.90 ^a	11.00±0.60 ^a	3.99±0.34 ^{ab}	0.53±0.05 ^a	16.90±2.70 ^{ab}
B.C. (ES17)	84.10±7.70 ^b	6.00±0.30 ^a	4.00±0.10 ^a	2.00±0.10 ^a	28.00±2.00 ^a	10.70±1.00 ^a	3.75±0.33 ^b	0.48±0.04 ^{ab}	14.70±6.50 ^b
Inorganic sulfur 0.5%	92.50±9.50 ^{ab}	5.70±0.30 ^{ab}	4.00±0.20 ^a	2.10±0.10 ^a	28.00±0.90 ^a	10.60±0.40 ^a	4.20±0.22 ^a	0.47±0.04 ^{abc}	24.50±5.90 ^a
Wood vinegar 50x	90.30±6.80 ^{ab}	5.80±0.40 ^{ab}	4.00±0.10 ^a	2.00±0.00 ^a	27.80±1.70 ^a	10.90±0.50 ^a	4.03±0.12 ^{ab}	0.51±0.04 ^{ab}	13.70±4.20 ^b
Wood vinegar 100x	90.50±6.80 ^{ab}	5.60±0.30 ^{ab}	3.90±0.10 ^a	2.00±0.10 ^a	27.00±2.10 ^a	10.80±0.70 ^a	3.93±0.26 ^{ab}	0.44±0.06 ^{bc}	15.20±5.70 ^b
Bordo Mix 0.5%	97.60±8.60 ^a	5.50±0.30 ^b	3.80±0.10 ^a	2.00±0.10 ^a	26.80±2.00 ^a	10.40±0.80 ^a	4.06±0.22 ^{ab}	0.44±0.06 ^{bc}	20.00±4.80 ^{ab}
Bordo Mix 1%	84.70±9.50 ^b	5.70±0.30 ^{ab}	3.90±0.10 ^a	1.90±0.10 ^a	27.00±2.20 ^a	10.60±0.50 ^a	3.74±0.05 ^b	0.38±0.00 ^c	13.10±4.00 ^b

¹⁾B.C; Biological control, ²⁾CJ4; Seeds treated with *Burkholderia ambifaria*, ³⁾ES17; seeds treated with *Paenibacillus polymyxa*. Data presented are means ± SD of 4 replicates. *Means within a column followed by the same letters are not significantly different based on the Duncan's Multiple Range Test (DMRT, $p < 0.05$). Seeds that produced in Eumseong-1 were used.

Table 5. Fungi list isolated from the damping-off seedlings of ginseng in the nursery greenhouse.

Species	Count	
	Number	%
<i>Penicillium</i> sp.	6	24
<i>Pythium irregulare</i>	5	20
<i>Fusarium solani</i>	5	20
<i>Plectosphaerella cucumerina</i>	3	12
<i>Fusarium oxysporum</i>	2	8
<i>Mucor strictus</i> strain	2	8
<i>Trichoderma viride</i> strain	1	4
<i>Umbelopsis isabellina</i>	1	4
Total	25	100
No recovery ¹⁾	23	

¹⁾Damping-off seedlings showing no fungi recovery.

하게 없었으나, 화기삼 (*Panax quinquefolius* L) 종자에서 뿌리 썩음병을 유도할 수 있는 병원균들이 발견된 바 있어 (Ziezold *et al.*, 1998; Reeleder *et al.*, 2002), 종자를 통한 병 발생 방지를 위해 종자 처리에 대한 연구는 지속되어야 할 것으로 생각된다.

4. 입고병 원인균 분리 동정

본 연구에서는 인공 상토를 사용하였으므로 국내 인삼 노지 묘포에서 발생하는 입고병 원인균과는 차이가 있을 수 있으므로, 본 실험 중 발생한 입고병 이병주로부터 균분리를 하고 동정하였다. 48 개 이병주에서 균분리를 시도하였는데, 그 중 25 개체에서 균이 분리되었고, ITS 염기서열 조사 결과 *Pythium irregulare*과 *Fusarium solani*가 각각 20% 검출되었는데 (Table 5) 이들은 인삼의 뿌리 썩음병에 관련된다는 보고된 바 있다 (Lee, 2004; Ivanov and Bernards, 2012).

그 외 *Penicillium* sp.가 24%, *Plectosphaerella cucumerina*가 12%, *Mucor strictus* strain이 8%, *Fusarium oxysporum*이 8%, *Trichoderma viride* strain, *Umbelopsis isabellina*가 각각 4% 검출되었다. *F. oxysporum*은 인삼 내생균으로 알려져있으며 뿌리 썩음병을 일으킨다는 보고도 있는데 (Punja *et al.*, 2008; Park *et al.*, 2012), 그 외 균들은 일반적으로 토양 부생균으로 알려져 있으며 인삼에서의 뿌리 썩음병 발생 사례는 알려져 있지 않다.

인삼 공정육묘 입고병 원인에 대한 추후 연구가 필요한 것은 명확하나, 병발생이 기주와 숙주, 환경의 요소가 함께 작용함을 감안할 때 본 연구는 입고병의 발병 원인으로 종자 활력을 고려해야 할 것으로 보인다.

Ziezold 등 (1998)의 연구에서 파종 전 종자에서 뿌리썩음병 유발 병원균이 다수 발견되었으나 이들의 연구에서도 인공 상토에 파종 후 종자 처리에 의한 입고병 저감 효과는 없었으며,

이병주로부터 병원균 발견이 없었다. 본 연구 결과 역시 종자 처리 효과는 미비하였으며 (Table 4), 병원균의 분리율은 낮았는데 (Table 5), 입고병 증가 요인으로 파종 전 종자 냉장 처리 기간이 증가되었을 때 입고병 발생이 증가하는 것을 관찰하였다 (Table 2).

저온 장해를 받으면 활성산소의 증가로 세포막이 손상되며 세포활성에 변화가 오고 (Han *et al.*, 2017), 발아에 지장을 받거나 생육이 불량하기 쉽다 (Jha *et al.*, 2017). 일반적으로 종자는 휴면 상태에서는 건조와 저온에 저항성을 가지지만, 휴면이 종료된 종자는 저항성을 상실하여 장기 저온에 노출되었을 때 스트레스를 받았을 가능성이 높다.

종자 활력 저하는 묘 생장 불량으로 이어지고 토양내의 병원균 또는 부생균들로부터 감염되기 쉽다 (Ziezold *et al.*, 1998; Howell, 2007). 즉, 인삼 종자는 생리적 휴면타과를 위해 저온을 필요로 하지만 종료 후 너무 오래 저온에 노출되면 입모율을 떨어뜨릴 수 있음을 제시한다.

본 연구 결과는 개갑이 끝난 인삼 종자를 봄에 파종하기 위해 생리적 휴면타과 목적으로 저온에 저장할 때 내과피를 건조 후 저장하는 것이 유리하며, 냉동 저장 시 파종 전에 냉장 순화하면 출아율을 높일 수 있음을 보여 주어 봄파종 입모율 확보에 도움이 될 것으로 생각되는 바이다.

감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(과제번호: PJ01094301)과 2018년도 농촌진흥청 국립원예특작과학원 전문연구원 과정 지원 사업에 의해 이루어진 결과로 이에 감사드립니다.

REFERENCES

Bonner FT. (1990) Storage of seeds: Potential and limitations for germplasm conservation. *Forest Ecology and Management*. 35:35-43.

Choi HJ and Chung HS. (1971). Effects of fungicide drenches on damping-off organisms in ginseng seed bed and yield of the seedling root. *Korean Journal of Plant Protection*. 10:7-12.

Han QH, Huang B, Ding CB, Zhang ZW, Chen YE, Hu C, Zhou LJ, Huang Y, Liao JQ, Yuan S and Yuan M. (2017). Effects of melatonin on anti-oxidative systems and photosystem II in cold-stressed rice seedlings. *Frontiers in Plant Science*. 8:785. doi: 10.3389/fpls.2017.00785 (cited by 2018 Jun 20).

Harman GE. (1991). Seed treatments for biological control of plant disease. *Crop Protection*. 10:166-171.

Howell CR. (2007). Effect of seed quality and combination fungicide-*Trichoderma* spp. seed treatments on pre- and postemergence damping-off in cotton. *Phytopathology*. 97:66-71.

Ivanov DA and Bernards MA. (2012). Ginsenosidases and the pathogenicity of *Pythium irregulare*. *Phytochemistry*. 78:44-53.

- Jha UC, Bohra A and Jha R.** (2017). Breeding approaches and genomics technologies to increase crop yield under low-temperature stress. *Plant Cell Reports*. 36:1-35.
- Kim DW, Kim JY, You DH, Kim CS, Kim HJ, Park JS, Kim JM, Choi DC and Oh NK.** (2014). Effect of cultivation using plastic-film house on yield and quality of ginseng in paddy field. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 22:210-216.
- Kwon WS, Lee JH and Lee MG.** (2001). Optimum chilling terms for germination of the dehisced ginseng(*Panax ginseng* C. A. Meyer) seed. *Journal of Ginseng Research*. 25:167-170.
- Lee CH, Kim HJ and Bae HW.** (1978). Chemical control of damping-off of ginseng caused by *Rhizoctonia solani*. *Korean Journal of Plant Protection*. 17:143-147.
- Lee CK and Yu CY.** (2011). Selection of natural materials for eco-friendly control for blight of wood-cultivated ginseng (*Panax ginseng*). *Journal of Agriculture and Life Science*. 45:9-13.
- Lee JC, Byen JS and Proctor JTA.** (1986). Dormancy of ginseng seeds as influenced by temperature and gibberellic acid. *Korean Journal of Crop Science*. 31:220-225.
- Lee JW, Kim YC, Kim JU, Jo IH, Kim KH and Kim DH.** (2016). Effects of gibberellic acid and alternating temperature on breaking seed dormancy of *Panax ginseng* C. A. Meyer. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 24:284-293.
- Lee SG.** (2004). *Fusarium* species associated with ginseng(*Panax ginseng*) and their role in the root-rot of ginseng plant. *Research in Plant Disease*. 10:248-259.
- Lee SW, Lee SH, Park KH, Jang IB, Jin ML and Kim KH.** (2014). Effect of irrigation of sulfur solution before sowing on growth and root rot disease of seedling in ginseng nursery. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 22:391-397.
- Mancini V and Romanazzi G.** (2014). Seed treatments to control seed borne fungal pathogens of vegetable crops. *Pest Management Science*. 70:860-868.
- Park HW, Jang IB, Kim YC, Mo HS, Park KC, Yu J, Kim JU, Lee EH, Kim KH and Hyun DY.** (2014a). Growth characteristics of ginseng seedlings as affected by mixed nursery soil under polyethylene film covered greenhouse. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 22:363-368.
- Park KH, Lee SH, Huh JW, Lee SW, Kim YC, Kim KH and Kim MR.** (2014b). *Paenibacillus polymyxa* strain effective against root rot pathogen of ginseng and use thereof. Korea. Patent. 10-1677513.
- Park KH, Lee SH, Lee SW, Kim MR and Huh JW.** (2017). *Burkholderia ambifaria* CJ4 strain possessing antifungal activity against root rot pathogen of ginseng and use thereof. Korea. Patent under examination. 10-2017-0054158.
- Park SU, Lim HS, Park KC, Park YH and Bae H.** (2012). Fungal endophytes from three cultivars of *Panax ginseng* Meyer cultivated in Korea. *Journal of Ginseng Research*. 36:107-113.
- Punja ZK, Wan A and Goswami RS.** (2008). Root rot and distortion of ginseng seedling roots caused by *Fusarium oxysporum*. *Canadian Journal of Plant Pathology*. 30:565-574.
- Reeleder RD, Roy R and Capell B.** (2002). Seed and root rots of ginseng(*Panax quinquefolius* L) caused by *Cylindrocarpon destructants* and *Fusarium* spp. *Journal of Ginseng Research*. 26:151-158.
- Rural Development Administration(RDA).** (2013). Guide for seedling cultural of ginseng. Rural Development Administration, Jeonju, Korea. p.10-13.
- Rural Development Administration(RDA).** (2017). Improvement of seed production effectiveness and development of *in-vitro* masspropagation technology in *Panax ginseng*. Rural Development Administration. Jeonju, Korea. p.54-55.
- Sauer DB and Burroughs R.** (1986). Disinfection of seed surfaces with sodium hypochlorite. *Phytopathology*. 76:745-749.
- Shin JS, Lee SH, Cho HS, Cho DH, Kim KJ, Hong TK, Park CS, Lee SK and Jung HY.** (2015). Screening of seed treatment fungicide for control of damping-off caused by *Rhizoctonia solani* on *Panax ginseng*. *Korean Journal of Pesticide Science*. 19:424-427.
- Suh SJ, Jang IB, Yu Jin, Jang IB, Park HW, Seo TC and Kweon KB.** (2017). Effect of seed dehydration and temperature during cold-stratification on the seed quality of *Panax ginseng* C. A. Meyer. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 25:209-216.
- Vaartaja O.** (1956). Screening fungicides for controlling damping-off of tree seedlings. *Phytopathology*. 46:387-390.
- Won JY, Jo JS and Kim HH.** (1988). Studies on the germination of Korean ginseng(*Panax ginseng* C. A. Meyer) seed. Part 2. Influence of temperature and seed treatment on embryo growth and germination. *Korean Journal of Crop Science*. 33:59-63.
- Ziezold AM, Reeleder RD, Hall R and Proctor JTA.** (1998). Seedborne fungi and fungicide seed treatment of ginseng. *Journal of Ginseng Research*. 22:229-236.