



봄파종을 위한 인삼 종자 저장 적정 온도 연구

서수정¹ · 장인배² · 장인복³ · 문지원⁴ · 유진^{5*}

Optimum Storage Temperature for Spring Sowing of *Panax ginseng* Seeds

Su Jeoung Suh¹, In Bae Jang², In Bok Jang³, Ji Won Moon⁴ and Jin Yu^{5*}

ABSTRACT

Received: 2019 October 28
1st Revised: 2019 November 21
2nd Revised: 2019 December 1
3rd Revised: 2019 December 9
Accepted: 2019 December 9

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: Usually ginseng seeds are sown during autumn and spring. Sowing in spring often results in poorer seedling establishment than in autumn. One of the reasons for poor germination could be cold-treatment condition for breakage of physiological dormancy during winter. Here we tested the effects of storage temperature used during cold treatment on germination.

Methods and Results: Germination properties were observed after dehiscent seeds were stored as wet and dry at 2 °C, -2 °C, -3.5 °C and alternating temperature (AT). Seed dryness and storage temperature affected germination properties ($p < 0.01$). Wet and AT condition germinated highest, and wet and -3.5 °C condition germinated lowest, which was 91.2% and 1.4% respectively. Mean germination time (MGT) of the wet and AT condition was faster than other treatments at 2.4 days, and the dry and -2 °C condition was the longest. Germination performance index (GPI) was highest for wet and AT condition (37.7%) and the lowest for wet and -3.5 °C condition (0.5%). The growth of above-ground and below-ground were the best for wet and 2 °C condition, and wet seeds showed better growth than dry seeds ($p < 0.01$).

Conclusions: For cold treatment, ginseng seeds may not be stored below -2 °C for successful germination during spring sowing.

Key Words: *Panax ginseng* C. A. Meyer, Dormancy, Dry Seeds, Germination, Spring-sowing, Storage, Temperature

서 언

인삼 (*Panax ginseng* C. A. Meyer) 종자는 탈립이 일어난 후에도 발아를 할 수 없는데 아직 배가 미숙해 상태이기 때문이다 (Won *et al.*, 1988). 형태적 휴면 (morphological dormancy)이 종료된 후에도 생리적 휴면 (physiological dormancy)이 있어 일정 기간 저온에 노출되어야 휴면이 타파 되고 발아가 가능해진다 (Baskin and Baskin, 1988). 이러한 형태생리학적 휴면을 (morphophysiological dormancy) 벗어나기 위한 적정 온도 및 기간에 대한 연구 결과 형태적 휴면 타파는 15°C -20°C에서 약 3 개월, 생리적 휴면타파는 4°C -5°C에서 약 100 일 정도가 소요된다고 알려져 있으며 길게는

2 년까지도 소요가 된다고 한다 (Lee *et al.*, 1986; Won *et al.*, 1988; Kwon *et al.*, 2001; Lee *et al.*, 2016).

대부분의 농가에서는 개갑, 즉 배가 발달하고 내과피가 갈라지면 가을에 파종을 하므로 인삼 종자는 노지에서 자연스럽게 저온에 노출이 되고 봄에 기온이 상승하면 출아를 하게 된다. 그러나 봄에 파종을 해야 할 경우에는 인위적으로 저온에 저장을 하였다가 파종을 해야 한다.

봄파종은 출아가 불량하거나 생육이 부진한 문제가 발생하기도 하여 대부분 가을 파종을 선호하지만 강우, 노동시간 분배 등의 이유로 봄파종을 선택하기도 한다. 하지만 아직까지 봄파종의 출아율과 생육 저하 원인에 대해서는 자세히 연구된 바가 없다. 인위적 저장 조건에서의 휴면타파나 종자 건전도

*Corresponding author: (Phone) +82-43-871-5611 (E-mail) Yujin8605@korea.kr

¹국립원예특작과학원 인삼특작부 인삼과 박사 후 연구원 / Post-doc, Department of Herbal Crop Research, NIHHS, RDA, Eumseong 27709, Korea.

²국립원예특작과학원 인삼특작부 인삼과 연구사 / Researcher, Department of Herbal Crop Research, NIHHS, RDA, Eumseong 27709, Korea.

³국립원예특작과학원 인삼특작부 인삼과 연구원 / Researcher, Department of Herbal Crop Research, NIHHS, RDA, Eumseong 27709, Korea.

⁴국립원예특작과학원 인삼특작부 인삼과 연구사 / Researcher, Department of Herbal Crop Research, NIHHS, RDA, Eumseong 27709, Korea.

⁵국립원예특작과학원 인삼특작부 인삼과 연구사 / Researcher, Department of Herbal Crop Research, NIHHS, RDA, Eumseong 27709, Korea.

상실 (Suh *et al.*, 2017), 봄가뭄으로 인한 수분 부족, 종자와 토양의 밀착정도 등으로 인해 가을파종에 비해 불리할 수 있을 것으로 생각된다. 또한 *in vitro* 상에서 인삼종자의 발아 적정온도는 10°C로 알려져 있는데 파종시기가 늦어질 경우 이 또한 종자 발아에 영향을 줄 수 있을 것이다 (Won *et al.*, 1988; Lee *et al.*, 2004).

인삼 종자의 생리적 휴면타파 적정 온도가 4°C - 5°C 상태에서 60 일에서 100 일 정도가 소요된다고 하였으나 (Lee *et al.*, 1986; Won *et al.*, 1988; Kwon *et al.*, 2001) 농가 작업시기를 고려하였을 때 개갑이 끝난 종자를 노지에 묻거나 4°C - 5°C에 겨울동안 보관하면 봄에 파종이 이루어지기 전에 발아하거나 부패하는 하는 문제가 발생할 수 있어 -2 - 0°C을 권장하고 있다 (RDA, 2013). 그러나 영하의 온도에서 적정 온도 및 기간에 대한 연구 결과는 찾아보기 어렵다.

Lee 등 (2016)의 연구에서는 -2°C에서 90 일까지 저장할 경우 휴면타파가 충분하지 않았으며, 이때 GA₃을 처리하였을 때 발아율이 증가한다고 하였으며, 30 일 간격으로 총 90 일 간 2°C, -2°C, 2°C의 번은 처리 하였을 때 일정 온도에서 저장한 경우보다 출아가 증가한다 하였다. Suh 등 (2017, 2018)의 결과에 따르면 115 일 이상 저장하였을 때 -2°C까지는 2°C에 비해 크게 지장을 받지 않았지만, -3.5°C에 저장 시 봄파종 후 출아가 저조하였는데, 파종 전 2°C에서 1 주 - 2 주 저장 하여 순화 과정을 통해 출아율을 일정 수준 회복할 수 있다고 하였다 (RDA, 2017; Suh *et al.*, 2018).

인삼 종자의 동절기 저장성에 영향을 미치는 또 다른 요소의 하나로 종자 수분함량이 있다. 자연 상태에서 인삼 종자의 수분함량 변화를 조사한 연구결과는 없지만 형태적 휴면타파, 즉 개갑 후와 생리적 휴면타파가 종료되는 시점까지의 종자의 수분함량은 약 60%로 거의 건조가 일어나지 않아 비나 콩 등의 일반종자와는 차이가 있으며 이때 수분함량은 저장성 및 휴면타파에도 영향을 미치게 된다 (Han *et al.*, 2016; Suh *et al.*, 2017).

본 연구에서는 파종 시기 조절 및 순화 처리가 봄파종 출아율에 미치는 영향을 일차적으로 조사하였다. 그러나 이 연구 결과 종자의 파종시기보다 저장 온도가 봄파종에 미치는 영향이 클 것으로 판단되어 저장 온도 및 종자의 건조도가 출아율

에 미치는 영향을 조사하였고 이에 대한 연구 결과를 보고하고자 한다.

재료 및 방법

1. 종자 저장

본 실험에 쓰인 종자는 2018년 (Table 1, 2), 2017년 (Fig. 1), 또는 2016년 (Fig. 3) 가을에 재래종 종자를 수확하여 개갑한 후 저온 저장고에 저장하였다가 이듬해 봄에 파종을 하였다. 종자 건조도가 저장성에 영향을 미친다고 하였으므로 (Suh *et al.*, 2017, 2018) 시험에 따라 종자를 건조시켜 종자 수분함량을 조절하고 종자를 지퍼백에 담아 스티로폼 상자에 넣어 저장고에 저장하였다 (Table 1).

파종 시기를 조사하기 위한 2017년 수확종자는 내과피를 반 정도 건조시킨 후 (Half-Dry)에 -3.5°C 저장고에 넣어 보관하였고, 저장 온도를 조사한 2016년과 2018년도 수확 종자는 무 건조 (Wet)와 내과피를 완전 건조 시킨 상태로 (Dry) 각 온도, 즉 2°C, -2°C, 그리고 -3.5°C 저장고에 넣어 보관하였는데, 2°C와 -3.5°C는 저장고 (Serbingo, Cheonan, Korea)를 사용하였고 -2°C는 김치 냉장고 (LG Electronics Inc., Seoul, Korea)를 사용하였다. 데이터로거 (T&D Co., Matsumoto, Japan)를 통해 실제 온도를 측정하였을 때 2°C, -2°C, 그리고 -3.5°C 저장고의 실측치는 각각 2.4 ± 0.2°C, -2.1 ± 0.4°C, -3.8 ± 0.2°C이었다.

2. 파종

종자 파종은 국립원예특작과학원 인삼특작부에 설치된 비닐 하우스와 유리온실에서 수행하였다. 비닐하우스는 90% 차광율을 가진 검정 차광막을 쳐서 광량을 조절하였고, 유리온실은 18°C - 28°C을 유지하는 것을 목표로 하여 상부차광커튼과 하부 보온커튼, 지열 냉·난방 시스템을 이용하여 일사량과 온도를 조절하였다.

파종 시기별 출아율 조사는 2017년 11월과 2018년 3월 - 4월에 비닐하우스에 파종하였다. -3.5°C 저장고에서 꺼낸 종자를 3 일간 2°C에 보관하였다가 파종 전 4 시간 침지 후 파종하였다. 51 cm (W) × 33 cm (L) × 20 cm (H) 크기의 화분에

Table 1. Seed moisture content used for each experiment.

Experimental purpose	Harvest	Seeding	Seed moisture content (%)			Storage temperature
			Treatment	Endocarp	Seed	
Storage temperature	2018	2019	Wet	54.5	56.7	2, -2, -3.5°C
			Dry	16.3	53.1	
Seeding time	2017	2018	Half-Dry	39.3	55.6	-3.5°C
Storage temperature and duration	2016	2017	Wet	52.8	56.3	-3.5°C
			Dry	11.9	52.0	

인삼 전용상토 (Hwanggmpuri, Nongkyung Co., Jincheon, Korea)에 3 cm × 3 cm 간격으로 파종 후 난괴법 4 반복으로 배치하였다.

저장온도 시험은 2019년 3월과 2016년 7월에 유리온실에 파종하였다. 종자를 각 저장고에서 꺼내 물에 24 시간 침지하여 2°C에서 2 주간의 순화과정을 거친 후 32 cm (W) × 22 cm (L) × 7 cm (H) 화분에 위와 같은 방법으로 파종 후 난괴법 4 반복으로 배치하였다. 유리온실에서 시험한 경우 기온이 높아 발아에 불리할 수 있어 10°C - 15°C로 유지되는 식물생장상 (WISE Control Inc., Seoul, Korea)에 2 주간 LED (LEO Co., Ltd., Cheongju, Korea)로 12 시간씩 백색광을 공급하며 배양하다가 온실로 이동하였다. 파종 후에는 물을 충분히 주어 수분함량이 35% (v/v) 이상이 되게 하였고 이후 상면이 건조하면 관수하였다.

3. 생육 특성 조사

출아율 (emergence rate, ER)은 파종 종자 수 대비 지상부가 출아한 수의 백분율을 구하였고 미개갑 종자가 있을 경우 개갑율로 나누어 출아율을 보정하였다. 평균발아일수 (mean germination time, MGT)는 $MGT = \sum(t_i \times n_i) / N$ 의 식을 이용하였는데 t_i 는 치상 후 조사일수, n_i 는 조사일 출아수, N은 총출아수이며, 발아균일지수 (germination performance index, GPI)는 $GPI = ER / MGT \times 100$ 으로 구하였다.

2019년 수행한 저장 온도 시험구의 경우 파종 후 2 개월에 생육조사를 하였으며, 엽록소 함량은 엽색계 (SPAD-502Plus, Konica Minolta Inc., Tokyo, Japan)를, 엽면적은 WindDIAS image analysis system (Delta-T Devices Ltd., Cambridge, England)을, 근장은 디지털 캘리퍼스 (Caliper 500-182, Mitutoyo Co., Kawasaki, Japan)를 이용하여 측정하였다. 지상부 무게는 잎과 줄기무게를, 근중은 뿌리 전체 무게를 전자저울 (Re260, CAS Co., Ltd., Sungnam, Korea)을 이용하여 측정하였다.

4. 기상 분석

동절기 지역 별 기온과 지중 온도를 분석하기 위해 기상청 (KMA, 2019)에서 제공하는 기상관측 정보를 활용하였는데, 기온은 지상에서 0.5 m 높이의 온도를 조사하였고 지중온도는 종자 파종 후 종자 위치에 해당하는 지중 5 cm 깊이의 온도를 조사하여 월별 평균온도를 구하였다.

가을 파종을 한 모포의 지온을 측정하기 위해 2017년 11월 말에 충북 지역의 모포에 토양 센서 (SMEC 300, Spectrum Technologies Inc., IL, USA)를 두둑 내 종자가 위치한 약 5 cm 깊이에 묻었으며 데이터 로거 (Watchdog 1000, Spectrum Technologies Inc., IL, USA)에 연결하여 온도를 측정하였다. 두둑은 짚으로 덮고 비닐을 피복하였다.

5. 통계처리

인삼의 출아율과 생육 조사 결과의 통계분석을 위하여 SAS v9.2 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)을 이용하여 ANOVA분석 (Analysis of Variance)을 수행하였으며, DMRT (Duncan's Multiple Range Test) 5% 수준에서 일원분산분석과 이원분산분석을 하여 유의성을 검증하였다 ($p < 0.05$). 생육 조사 결과는 반복 당 15 개체의 평균을 구하고 반복들 간의 통계처리를 하였다.

결과 및 고찰

1. 파종 시기에 따른 종자 출아율

가을 파종 대조구는 2017년 11월에 파종하였고, 같은 종자를 -3.5°C에 저장하였다가 2018년 봄에 10 일 간격으로 파종을 하여 출아율을 비교하였다. 가을에 파종 한 종자의 경우 73.1%의 출아율을 보인 반면 2018년 3월 2일 파종한 종자는 24.8%에 그쳤다 (Fig. 1). 이후 파종시기가 늦어질수록 출아율도 낮아져서 4월 12일은 0.2% 출아하였다.

봄파종 전에 2°C에 1 주 - 2 주 저장하였다가 파종할 경우 출아율이 증가한다고 하였는데 (RDA, 2017, Suh *et al.*, 2017), 본 시험에서는 3월 12일 파종분 중 1 주일 순화구는 (3/22-A1W) 무처리 대비 약 3.5 배 출아율이 증가하였으나 여전히 저조하였으며, 4월 12일 파종분 중 2 주일 순화구도 (4/12-A2W) 무처리 대비 20 배 이상 높아졌지만 출아율이 향상되었다고 할 수는 없었다 (Fig. 1).

파종 후 출아하는데 소요되는 시간을 감안하여 파종일로부터 3 주간의 평균 온도를 조사하였는데 (KMA, 2019), 3월 2일은 5.3°C, 3월 12일은 8.4°C, 3월 22일은 10.2°C이었으며, 3월 2일과 3월 12일의 최고 기온은 각각 11.9°C와 15.9°C이었다. 이것은 3월 초 봄파종 출아율 하락 원인을 파종기 온도로 해석하는 것은 문제가 있으며, 더불어 본 실험 결과는 파종 시기에 따른 출아율을 조사하기에는 적절하지 않다고 판단되었다.

종자 염색법을 이용한 예비 실험결과는 종자 활력은 문제가 주요 원인이 아니었던 것으로 생각되었다. 종자 발아 시 수분 공급이 중요한데, 본 연구에서는 모든 처리구에서 파종 후 토양수분은 35% 정도가 되도록 충분히 관수하였고 일정 정도의 답압도 가하였으므로 수분 부족은 원인에서 배제하였다.

각기 다른 연구에서 얻어진 결과이지만 선행 연구에서 -2°C에 저장한 종자에 비해 (Suh *et al.*, 2017) -3.5°C에 저장한 종자의 출아율이 낮았던 점을 고려하면 (Suh *et al.*, 2018), 파종 시기 시험에 사용한 종자의 저장 온도가 문제가 되었을 것으로 추측되어 저장 온도가 발아에 미치는 영향을 조사할 필요가 있었다.

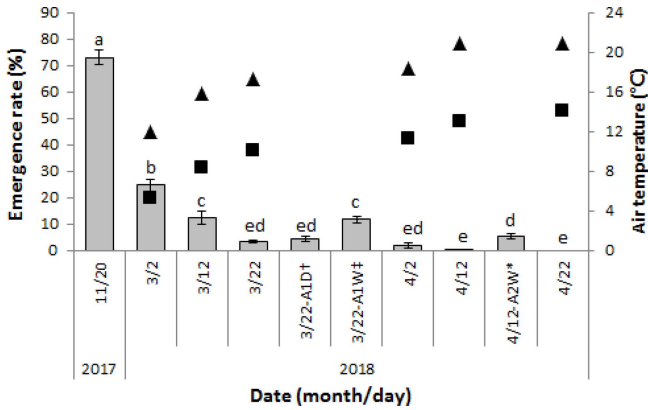


Fig. 1. Emergence rate of ginseng seeds depending on the seeding date. Left Axis; bar indicates emergence rate. Data presented are means \pm SE of 4 replicates. *Means on the bar followed by the same letters are not significantly different based on the Duncan's Multiple Range Test (DMRT, $p < 0.05$). Right axis; dot indicates average air temperature (■) and average of daily maximum air temperature (▲) for three weeks after sowing. †A1D; acclimation for 1 day. †A1W; acclimation for 1 week, †A2W; acclimation for 2 weeks.

2. 종자 저장온도에 따른 출아 특성 조사

적정 온도 시험 전에 가을 파종 후 종자가 겪는 온도를 알아볼 필요가 있었다. 2012년 12월에서 2017년 3월까지 동절기 기온과 지온을 조사하였을 때 익산과 오창의 경우 기온이 영하로 내려가도 지온은 0°C 이상이었으며 동절기 동안 0°C - 3°C를 유지하였다. 철원의 경우는 기온이 다른 지역보다 낮았으며 동절기 지온도 영하로 떨어져 -3°C - 0°C를 유지하였다 (Fig. 2A). 지역에 따라 온도는 다르지만 1월에 최저 기온을 보여주는 것은 공통적이었다. 한파가 닦쳤던 2017년 가을 파종을 한 음성 지역의 한 모밭의 종자 위치에서 지온을 측정 한 결과 1월에 일평균 최저 -4°C를 기록하기도 하였지만 월평균은 -0.6°C에 머물렀으며 2월에는 다시 영상이 되는 온도 변

화를 보였다 (Fig. 2B).

Suh 등 (2017, 2018)의 결과와 지온 정보 (Fig. 2)를 토대로 볼 때 -3.5°C는 가을 파종 시 종자가 겪게 되는 온도보다 낮아 발아 장애를 일으킬 수 있다는 가설 하에 저장 온도의 영향을 조사하였다. 개갑이 끝난 인삼 종자를 2°C, -2°C, -3.5°C에 보관하거나 12월 까지 2°C에 보관하다가 이듬해 1월은 -3.5°C로, 다시 2월에 2°C로 저장하는 변온 처리를 한 후 출아율을 조사하였다.

전반적으로 종자 건조는 출아율에 영향을 주어 ($p < 0.001$) 내과피 건조구의 출아율이 높았으며, 저장 온도도 출아율에 영향을 주었지만 ($p < 0.001$) 저장온도에 따른 출아율 순위는 종자 건조 여부에 따라 달라 무건조 종자 중에서는 변온 처리구에서, 건조 종자 중에서는 -2°C 저장구에서 출아율이 가장 높았다 (Table 2).

각 처리구별로 살펴보면 출아율이 가장 높은 것은 무건조 종자를 변온 (2°C \rightarrow -3.5°C \rightarrow 2°C)으로 저장한 처리구로써 91% 출아하였다. 다음 순으로 출아율이 높은 것은 내과피를 건조하고 2°C, -2°C, 변온에 저장한 처리구로 각각 81.5%, 86.6%, 81.0% 출아하였다. 2°C에 저장한 무건조 종자는 파종 전에 발아를 시작하였는데 파종 시 이들을 포함하여 무작위로 파종하였으며 이때 출아율은 73.6%에 그쳤는데, 이는 파종 시기를 놓친 것으로 파종시기를 앞당기거나 더 늦어졌을 때는 출아율이 달라질 가능성을 배제할 수 없다. 무건조 상태로 -2°C에 저장한 종자는 70.4% 출아하여 2°C 저장구보다 다소 낮았다. -3.5°C에 보관한 종자는 무건조구와 내과피 건조구 모두 출아율이 매우 저조하였으며 내과피 건조구가 무건조구 보다 높았다.

MGT도 종자 건조와 저장온도 및 이들의 교호 작용에 유의한 영향을 받았다 (Table 2, $p < 0.01$). 전반적으로 MGT는 무건조구가 내과피 건조구보다 짧았으며, 2°C 저장구가 -2°C 저장구보다 짧았다. 종자를 건조시키거나 0°C 이하의 온도에

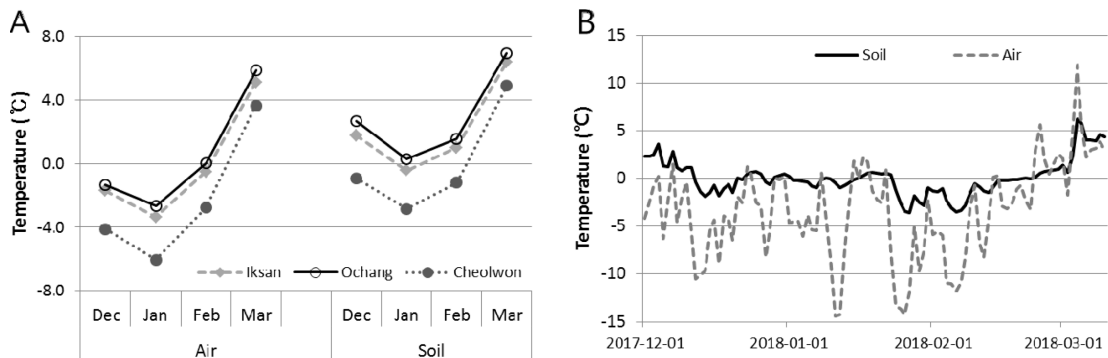


Fig. 2. Average temperature in the air and soil during winter (2012 Dec - 2017 Mar) in Iksan, Ochang, and Cheolwon (A) and a ginseng nursery bed in Chungbuk (B). A; air temperature 0.5 m above from the ground and soil temperature 5 cm beneath soil surface were obtained from the web site of KMA (2019). B; temperature 0.5 m from the ground and 5 cm beneath soil surface in the ginseng nursery field were obtained using data logger.

Table 2. Germination characteristics for ginseng seedlings depending on the endocarp dryness and temperature during storage in winter.

Storage		Emergence rate (%)	MGT ²⁾	GPI ³⁾
Endocarp	Temperature			
Wet	2°C	73.6±4.3 ^{bc}	2.8±0.2 ^e	27.0±2.6 ^b
	-2°C	70.4±5.3 ^c	7.3±0.2 ^c	9.6±0.5 ^c
	-3.5°C	1.4±0.9 ^e	2.4±0.1 ^e	0.5±0.3 ^e
	Alternating ¹⁾	91.2±1.9 ^a	2.4±0.1 ^e	37.7±2.6 ^a
Dry	2°C	81.5±2.3 ^{ab}	8.8±0.4 ^b	9.3±0.4 ^{cd}
	-2°C	86.6±2.7 ^a	10.8±0.6 ^a	8.1±0.3 ^{cd}
	-3.5°C	28.2±3.7 ^d	5.5±0.5 ^d	5.1±0.3 ^d
	Alternating	81.0±2.4 ^{ab}	9.1±0.5 ^b	9.1±0.7 ^{cd}
Two-way Anova analysis	SD ⁴⁾	**	**	**
	TM ⁵⁾	**	**	**
	SD × TM	**	**	**

¹⁾Alternating; storage temperature was alternated as 2°C → -3.5°C → 2°C, ²⁾MGT; mean germination time, ³⁾GPI; germination performance index, ⁴⁾SD; seed dry, ⁵⁾TM; storage temperature. Data presented are mean 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, **; *p* < 0.01).

저장하는 것은 발아속도를 저하시키는 것으로 보인다. 변온 처리구는 무건조구와 내과피 건조구 모두 2°C 저장구와 비슷한 것으로 조사되었다.

GPI도 종자 건조와 저장온도 및 이들의 교호 작용에 유의한 영향을 받았다 (Table 2, *p* < 0.01). 2°C와 변온에서 무건조 상태로 저장된 종자들은 GPI가 각각 27.0%와 37.3%으로

같은 온도에서 저장된 내과피 건조 종자나, -2°C에 무건조 상태로 저장되었던 종자에 비해서도 높았다.

-3.5°C 처리구는 MGT가 짧으면서 GPI도 낮았는데 특히 무건조 -3.5°C 저장구의 GPI는 매우 낮아 0.5%밖에 되지 않았다. 이는 전반적으로 출아가 불량한 가운데 소수의 발아력이 좋은 종자들이 일부 발아하고 대부분은 제대로 발아하지 못해 발생한 것으로 보인다.

출아율만으로는 -3.5°C를 제외하면 무건조 또는 내과피 건조 상태와 상관없이 2°C, -2°C, 변온 조건 모두 양호하다고 할 수 있다. 그러나 MGT나 GPI 결과를 보면 2°C나 변온 조건에서 무건조 상태로 저장하는 것이 이후 묘삼의 균일성면에서 유리할 것으로 보인다. 특히 무건조 변온 처리구는 파종 전 발아를 방지하고 출아율, 발아 균일성 등에서 우수한 조건으로 판단된다.

파종 후 약 70 일에 생육 조사를 하였는데 엽록소 함량, 지상부 무게, 엽면적, 근장, 근중이 처리구간에 큰 차이를 보이지 않았으나, 내과피 건조구는 모든 항목에 대해 무건조구 보다 생육이 저조한 경향이었고 (*p* < 0.01), SPAD, 근장, 근중은 저장 온도에 영향을 받는 것으로 조사되었다 (*p* < 0.05) (Table 3). 2°C에 저장한 무건조구가 엽록소 함량을 포함한 모든 생육에서 가장 높은 값을 보여, 출아율이 높고 MGT, GPI는 유사하였던 무건조 변온 처리구에 비해 생육이 우수하였다.

3. 변온 저장 변형

계절적 변온에 따른 저장 온도 시험을 수행하기 전에 2°C에 일정 시간을 저장하였다가 -3.5°C에 저장하는 2 단계 변온 시험을 수행한바 있었다. 개갑이 끝난 종자를 2°C에서 저장하였다가 -3.5°C로 옮겨 저장하는 시기를 달리하여 각각 11월 30

Table 3. Growth characteristics for ginseng seedlings depending on the endocarp dryness and temperature during storage in winter.

Storage		SPAD	Weight of above ground (g)	Leaf area (cm ²)	Root length (cm)	Root weight (g)
Endocarp	Temperature					
Wet	2°C	37.2±0.6 ^a	0.147±0.006 ^a	16.6±0.5 ^a	9.4±0.3 ^a	0.27±0.02 ^a
	-2°C	34.7±0.5 ^b	0.139±0.005 ^{ab}	16.3±0.5 ^a	9.0±0.3 ^{ab}	0.21±0.01 ^b
	-3.5°C	ND	ND	ND	ND	ND
	Alternating ¹⁾	34.7±0.4 ^b	0.136±0.005 ^{ab}	15.9±0.5 ^{ab}	7.4±0.4 ^c	0.20±0.02 ^b
Dry	2°C	33.5±0.4 ^{bc}	0.128±0.005 ^b	15.4±0.5 ^{ab}	7.9±0.3 ^c	0.20±0.01 ^b
	-2°C	33.2±0.4 ^c	0.126±0.004 ^b	15.0±0.4 ^{ab}	8.1±0.4 ^{bc}	0.18±0.01 ^b
	-3.5°C	33.0±0.4 ^c	0.126±0.006 ^b	14.7±0.6 ^b	8.1±0.4 ^{bc}	0.20±0.01 ^b
	Alternating	33.7±0.5 ^{bc}	0.126±0.005 ^b	15.1±0.4 ^{ab}	7.6±0.3 ^c	0.21±0.01 ^b
Two-way Anova analysis	SD ²⁾	**	**	**	**	**
	TM ³⁾	*			**	*
	SD × TM	**				**

¹⁾Alternating; storage temperature was alternated as 2°C → -3.5°C → 2°C, ²⁾SD; seed dry, ³⁾TM; storage temperature. Data presented are mean 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, **; *p* < 0.01). ND; not determined.

일, 12월 20일, 1월 10일에 저장을 하였는데, 이때 종자 건조도와 상관없이 1월 10일 > 12월 20일 > 11월 30일 순으로 -3.5°C 로 옮기는 시기가 늦춰질수록 출아율이 높았다. 이때 내과피를 건조하는 경우가 무건조 보다 출아율이 높은 결과를 얻었다 (Fig. 3). 수분이 높은 무건조 상태로 영하의 온도에 저장하면 시간이 경과할수록 점차 출아율이 감소하는 경향이 있는데, 이 시험에서 무건조구와 내과피 건조구의 차이가 큰 것은 이 시험이 7월에 수행되어 무건조 종자의 출아율이 더 많이 감소하였기 때문으로 보인다.

휴면타파기간이나 발아 기간 동안 변온을 처리하는 것은 일정한 온도에 두는 것보다 발아를 촉진하는 결과를 낳기도 한다 (Christian and Goggi, 2012; Kumar *et al.*, 2013; Duclos *et al.*, 2014). 대부분의 변온 체계 (alternating temperature regime)는 밤낮의 일주기 안에서 이루어지는 온도 체계로써 본 연구에서 사용한 변온 체계는 이와 차이가 있다. 본 연구에서 시험한 변온은 계절 변화에 따른 변온 체계로써 가을에 노지에 파종된 종자가 겨울에 되는 저온감응과 유사하다 (Kwon *et al.*, 2001; Lee *et al.*, 2016)(Fig. 2). 일부 농가에서는 저장고를 사용하지 않고 개갑이 끝난 후 종자를 개갑장에 보관하여 겨울을 지냈을 때 출아율이 높았다고 한다. 이 경우 개갑장내 일정 수분이 유지되면서 기온의 급격한 변화를 받지 않으면서 변온의 영향을 받았기 때문일 것으로 추측이 된다.

무건조-변온 처리구의 장점은 출아율 향상도 있지만, 2°C 에만 저장하는 것에 비해 약 한 달 정도 저장 중 발아를 지연시켜 선발아한 종자들이 파종 중에 손상되는 것을 방지할 수 있을 것으로 기대된다. 이는 -3.5°C 저장으로 인해 생리적 현상이 둔화되어 발아를 지연시킬 수 있었기 때문인 것으로 추측된다. 본 연구에서 0°C 저장의 영향에 대해서는 조사하지 못하였는데 앞으로 영하의 온도에서 인삼 종자의 휴면타파를 담보할 수 있는 온도 한계와 기간에 대한 좀 더 체계적인 연구가 필요하다.

인삼 종자 발아에 있어 영하의 온도에 저장할 경우 크게 두 가지 문제가 발생할 수 있는데 하나는 동결에 따른 피해와 휴면타파의 지연을 들 수 있다. 인삼 종자의 동결 한계 온도는 종자의 수분함량에 따라 다른데 -3.5°C - -9.6°C 에 분포한다고 한다 (Lee and Proctor, 1996). 동결에 따른 손상은 세포 내 수분이 얼었을 때 보다 해빙이 될 때 발생하게 되며 특히 동결과 해빙이 지속적으로 반복될 때 더 크게 발생하게 된다 (Lee and Proctor, 1996). 무건조 종자의 경우 -3.5°C 보다는 Lee 등 (2016)과 같이 -2°C 를 변온 체계로 사용하는 것이 더 안정성을 확보할 수 있을 것으로 보인다.

본 시험에서 동절기 저장에 영향을 주는 또 다른 요소는 종자 수분함량이었는데 Suh 등 (2017)의 연구 결과와도 일치한다. 인삼 종자는 건조에 민감하지만 적정 수분조건하에서는 장

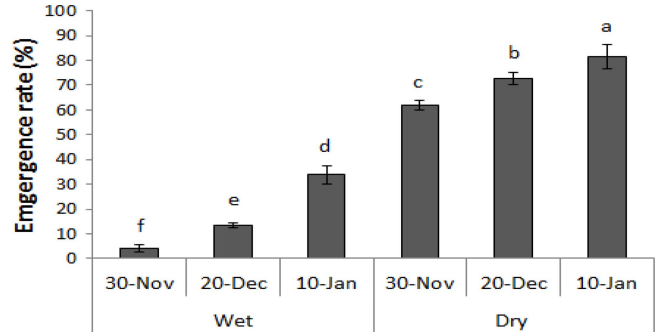


Fig. 3. Emergence rate of endocarp wet and dry seeds stored at -3.5°C after holding at 2°C for different duration. Data presented are means \pm SE of 4 replicates. Means on the bar followed by the same letters are not significantly different based on the Duncan's Multiple Range Test (DMRT, $p < 0.05$).

기 저장에도 도움을 주는 것으로 알려져 있다 (Lee *et al.*, 2004; Proctor and Stechshyn-Nagasawa, 2008; Han *et al.*, 2016). 종자 건조가 선발아를 억제하고 출아율을 담보해주며 장기간 저장에 유리하지만, 적정 수분함량으로 건조하는 것이 일반 농가에서 어려울 수 있으며 대량 건조 시 건조 균일성이 떨어지고, 건조 작업 및 파종 전 침지 작업 등으로 인해 노동 시간을 증가시키는 요인으로 작용할 수 있다. 변온 처리 역시 종자 저장에 있어 번거로움을 줄 수도 있으나 저장 중 발아를 막으면서 출아율과 출아 균일성을 높여 줄 수 있으므로 봄파종을 위한 저장 조건이 될 수 있을 것으로 생각된다.

위 결과를 통해 봄파종을 위해 인삼 종자를 저온 저장할 경우 저장 온도가 -2°C 이하로 내려가지 않도록 주의를 기울여야 하며, 좀더 높은 안정 입모율을 위해 변온 저장을 제시하고자 한다. 또한 저온창고가 크거나 환기가 원활이 이루어지지 않으면 위치에 따라 온도차가 생기며, 설정온도와 실측온도와의 차이가 심할 경우 저장이 종자의 생리적 상태가 봄파종에 부적합할 수 있기 때문에 저장고 내 온도 관리에 주의를 기울일 필요가 있다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 연구사업(과제번호: PJ01431601)과 2019년도 농촌진흥청 국립원예특작과학원 전문연구원과정지원에 의해 이루어진 결과로 이에 감사드립니다.

REFERENCES

- Baskin CC and Baskin JM. (1998). Seeds: Ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination. Academic Press. San Diego, CA, USA. p.119-143.
- Christian EJ and Goggi AS. (2012). Alternating temperatures

- promote seed germination of *Miscanthus sinensis*. Seed Technology. 34:249-256.
- Duclos DV, Altobello CO and Taylor AG.** (2014). Investigating seed dormancy in switchgrass(*Panicum virgatum* L.): Elucidating the effect of temperature regimes and plant hormones on embryo dormancy. Industrial Crops and Products. 58:148-159.
- Han EJ, Popova E, Cho GT, Park SU, Lee SC, Pritchard HW and Kim HH.** (2016). Post-harvest embryo development in ginseng seeds increases desiccation sensitivity and narrows the hydration window for cryopreservation. CryoLetters. 37:284-294.
- Korea Meteorological Administration(KMA).** (2019). Automated agriculture observing system. Korea Meteorological Administration. <https://data.kma.go.kr/data/grnd/selectAgrRltnList.do?pgmNo=72> (cited by 2019 September 23).
- Kumar B, Gupta E, Mali H, Singh HP and Akash M.** (2013). Constant and alternating temperature effects on seed germination potential in *Artemisia annua* L. Journal of Crop Improvement. 27:636-642.
- 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 JC and Proctor JTA.** (1996). Low temperature tolerance of *Panax quinquefolium*. Korean Journal of Ginseng Science. 20:179-183.
- Lee JC, Byen JS and Proctor JTA.** (1986). Dormancy of ginseng seed as influenced by temperature and gibberellic acid. Korean Journal of Crop Science. 31:220-225.
- Lee JH, Lee SS, Ahn IO, Kang JY and Lee MG.** (2004). Relationship between storage periods and germination ability of dehisced seeds of *Panax ginseng* C. A. Meyer. Journal of Ginseng Research. 28:215-218.
- 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.
- Proctor JTA and Stechyshyn-Nagasawa A.** (2008). Extended stratification of north american ginseng seed. Journal of Ginseng Research. 32:155-160.
- 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.
- 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.
- Suh SJ, Yu Jin, Jang IB, Moon JW, Lee SW and Jang IB.** (2018). Effects of storage temperature and seed treatment on emergence and growth properties of *Panax ginseng* at spring-sowing. Korean Journal of Medicinal Crop Science. 26:401-407.
- Won JY, Jo JS and Kim HH.** (1988). Studies on the germination of Korean ginseng(*Panax ginseng* C. A. Meyer) seed. II. Influence of temperature and seed treatment on embryo growth and germination. Korean Journal of Crop Science. 33:59-63.