



개갑된 인삼종자 휴면 조기타파에 미치는 GA₃ 및 변온처리 효과

이정우 · 김영창 · 김장욱 · 조익현 · 김기홍 · 김동휘[†]

농촌진흥청 국립원예특작과학원 인삼특작부

Effects of Gibberellic Acid and Alternating Temperature on Breaking Seed Dormancy of *Panax ginseng* C. A. Meyer

Jung Woo Lee, Young Chang Kim, Jang Uk Kim, Ick Hyun Jo, Kee Hong Kim and Dong Hwi Kim[†]

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

ABSTRACT

Background: Developing new ginseng cultivars is a significant time-consuming process owing to the three years of growth required for ginseng to flower. To shorten the ginseng breeding process, it is necessary to establish rapid progression through each generation. In this study, we examined it was possible to rapidly break ginseng seed dormancy using gibberellic acid (GA₃) treatment and alternating temperature.

Methods and Results: Seeds were obtained from local variety. Seeds were treated with either GA₃ at a concentration of 100 mg/l, constant temperature (-2°C and 2°C), alternating temperature (2°C followed by -2°C, followed by 2°C) or a combination GA₃ and temperature treatment. Following experimental treatment, seeds were sown into trays and placed in a greenhouse. Low germination rates were observed in seeds that did not receive GA₃ treatment, which were similar following 2°C and -2°C constant temperature treatment. Germination rates increased in proportion to GA₃ and more so when combined with alternating temperature treatment. In addition, stem and leaf lengths of the resulting ginseng plants were increased following GA₃ treatment, although no synergistic effect was observed with alternating temperature treatment.

Conclusions: These results suggest that a combination GA₃ and alternating temperature treatment enhances ginseng seed germination, which can contribute to shortening the time required to progress through a single ginseng generation for breeding.

Key Words: *Panax ginseng* C. A. Meyer, Alternating Temperature, Dormancy Breaking, GA₃, Seed

서 언

인삼 (*Panax ginseng* C. A. Meyer)은 초본성 다년생 작물로 한반도를 포함한 아시아의 극동지방 북위 34°-48° 사이에서 자생하고 있다. 우리나라는 문순운대 기후로서 사계절이 뚜렷한데 인삼은 이러한 기후에 적응하여 온도가 낮아지는 가을에는 인삼의 지상부가 지게 되면서 추운 겨울을 나게 되고 다시 온도가 높아지는 봄에 출현하여 여름에 열매를 맺히는 과정을 반복하게 된다.

자연 상태에서 인삼 종자는 열매가 성숙된 후 모식물체에서 분리되는데 아직 종자는 미숙배 상태로 수개월의 후숙과정을

거쳐야 종자내의 배가 발달하게 된다. 종자를 모래에 90일 동안 층적저장하면 육안으로도 종피가 벌어지는 것을 볼 수 있는데 이를 개갑이라고 한다.

개갑된 종자도 완전히 배가 성장한 상태가 아니므로 배의 추가적인 발달이 필요한데 개갑종자를 10월에 노지에 파종하면 가을과 초겨울의 서늘한 기후, 겨울의 저온, 봄철의 상대적으로 따뜻한 온도에 감응하여 배가 완전히 발달하는 동시에 저온에 노출되어 종자 휴면이 타파하게 된다. 개갑된 인삼 종자를 인위적으로 휴면 타파하기 위해서는 4°C 전후 저온이 90일 이상 필요하다고 보고되었다 (Kwon *et al.*, 2001).

인삼은 종자에서 꽃이 피고 열매가 맺히는데 생장이 좋은

[†]Corresponding author: (Phone) +82-43-871-5531 (E-mail) kimodh@korea.kr

Received 2016 June 14 / 1st Revised 2016 July 5 / 2nd Revised 2016 July 20 / 3rd Revised 2016 July 27 / Accepted 2016 August 2

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.

경우 2년생에서도 가능하지만 보통 3년생부터 채종이 가능하여 품종 육성을 위한 세대진전에 이용되고 있으며 많은 후대 종자를 생산하기 위해서는 4년생에도 채종하여야 충분한 종자를 확보할 수 있다. 또, 인삼의 종자 및 묘삼은 반드시 휴면 기간을 거쳐야 발아 및 출아가 가능하다는 특징이 있다. 이러한 특성으로 인해 교배를 통한 새로운 품종의 육성에는 더욱 오랜 시간이 소요되는데 신품종의 육성 기간을 단축하기 위해서는 인삼의 개화와 결실에 소요되는 시간을 줄일 수 있는 종자 및 묘삼의 조기 휴면 타파 기술의 확립이 요구된다.

종자 및 묘삼의 휴면단축에는 생장조절제 처리가 효과적이라는 보고가 있으며 (Kwon *et al.*, 1986), 저온과 지베렐린의 병행 처리 시 단순 저온처리에 비해 묘삼의 출현이 빨라졌다고 보고되어 있으며 (Park *et al.*, 1979), 최근 Kim 등 (2015)의 연구에서 변온과 GA₃의 병행 처리로 묘삼의 휴면기간을 단축시킨바 있다.

본 연구에서는 종자의 적정 저온처리 온도를 설정하고 종자 휴면 타파에 중요한 식물생장조절 물질인 지베렐린을 병행 처리하여 이에 대한 휴면 타파 효과를 검증하였으며, 우리나라 계절변화에 착안하여 겨울과 봄철의 온도변화의 주기를 인위적으로 처리하고 그 기간을 단축시켜 주면 인삼 종자의 조기 휴면 타파에 긍정적인 영향을 미칠 것으로 예상되어 변온처리 및 GA₃를 병행 처리하여 종자 휴면기간 단축을 통한 세대진전 촉진 가능성을 검토하였다. 또한, 변온 및 GA₃ 처리가 지상부의 생육에 미치는 영향을 조사하여 조기 휴면 타파된 유묘의 정상적인 생육 가능성을 검토하였다.

재료 및 방법

1. 시험 재료

본 시험의 재료는 충청북도 음성군에 소재한 농촌진흥청 국립원예특작과학원 인삼특작부 온실에서 2015년 12월부터 2016년 5월까지 수행되었다. 시험재료는 2015년 수확하여 개갑시킨 재래종 인삼 (*Panax ginseng* C. A. Meyer) 종자를 사용하였다. 재배온실의 온도는 생육기간 동안 일평균 19°C로 유지하였다.

2. 종자 처리 방법

종자의 휴면 타파를 위하여 GA₃ (MB Cell, Los Angeles, CA, USA)와 상시저온 및 변온처리를 하였다. GA₃ 처리는 저온 저장 전 24시간동안 종자를 100 mg/l 용액에 침지하였다. 저온 처리는 종자를 비닐 지퍼백에 넣고 상시저온 (2°C, -2°C) 및 변온 (2 → -2 → 2°C)으로 처리하였는데 상시저온은 2°C, -2°C 저장고에 15, 30, 45, 60, 90일 동안 처리하였다. 변온은 저장중에 온도의 차이를 인위적으로 줬는데 15일의 경우에는 5일 동안 2°C 처리한 종자를 -2°C 저장고로 옮겨 5일간 처리하고

Table 1. GA₃ and temperature treatments of dehiscid ginseng seeds.

Type	Temperature (°C)	GA ₃ (mg/l)	Method
Control I	-	0	Untreated
Control II		100	
Constant	2	0 100	15, 30, 45, 60, 90 days at 2°C
	-2	0 100	
Alternating 2 → -2 → 2		0 100	Each 5, 10, 15, 20, 30 days at 2°C, -2°C and 2°C

이후 다시 2°C 저장고로 옮겨 5일간 처리하였고 30, 45, 60, 90일 처리구에서는 각각 10, 15, 20, 30일간 동일한 방법으로 처리하였다 (Table 1). 대조구I는 저온처리를 하지 않은 종자를 파종하였고 대조구II는 저온처리를 하지 않고 GA₃ 처리된 종자를 파종하였다.

3. 종자 발아특성 조사

처리구별 파종은 12월 19일에 대조구를 시작으로 처리가 완료된 종자를 차례대로 온실에서 72구 트레이 2개에 파종하였으며, 시험구 배치는 완전임의 3반복 (반복 당 48개)으로 하였다. 발아는 지표면 위로 유아가 출현한 때로 하였으며 파종 50일후까지 조사하였다. 발아특성으로서 발아율 (germination percentage, GP), 평균발아일수 (mean germination time, MGT), 발아균일지수 (germination performance index, GPI)가 조사되었다. 발아율은 파종 종자수에 대한 발아 종자수의 백분율로 하였고, 평균발아일수는 $MGT = \sum(t_i n_i) / N$ 의 식을 이용하였는데 t_i 는 치상 후 조사일수, n_i 는 조사 당일의 발아수, N은 총 발아수를 의미한다 (Scott *et al.*, 1984). 발아균일지수는 Sundstrom 등 (1987)이 이용한 방법을 변형하여 $GPI = GP / MGT \times 100$ 으로 계산하였다.

4. 지상부 생육 조사

지상부 생육조사는 파종 후 60일 경과하였을 때 발아율이 10% 이상이었던 시험구를 대상으로 처리 당 10개체씩 조사하였고 지상부 생육의 조사항목은 경장, 경직경, 엽장, 엽폭으로 하였다.

5. 통계분석

처리별 시험결과는 R version 3.2.5 (The R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria)를 이용하였다. *t*-test는 등분산성을 먼저 검증한 후 등분산성이 인정되면 Two sample *t*-test, 인정되지 않으면 welch Two sample *t*-test를 수행하여 유의성을 검증하였고 필요한 경우 2요인 분석을 실

시하였다. 다변량은 분산분석 (ANOVA)을 실시하였으며 Duncan's Multiple Range Test (DMRT)로 유의성 검정을 수행하였다.

결과 및 고찰

1. 저온처리 온도 및 GA₃ 처리에 따른 종자 발아특성

저온처리된 인삼 (*Panax ginseng* C. A. Meyer) 종자를 트레이에 파종하였을 때 저온처리하지 않은 대조구에서는 전혀 발아가 일어나지 않았으며 최초의 발아는 저온처리 30일에서 나타났다. 2°C의 저온처리된 종자의 경우 발아율은 30일 처리한 종자가 3.1%, 45일 처리한 종자는 2.8%로 두 처리구 사이에서는 유의한 차이가 없었으며, 60일 처리한 종자는 6.3%로 유의하게 상승하였고, 90일 처리한 종자는 14.6% 발아하여 기간이 경과함에 따라 발아율이 상승하는 경향을 보였다 (Fig. 1).

-2°C 저온처리한 경우에도 2°C 처리와 비슷한 양상을 보였는데, 처리 30일 후 2.1%, 45일 후 4.2%, 60일 후 4.9% 발아하여 기간이 경과함에 따라 발아율이 상승하는 경향이 있었지만 서로 유의한 차이는 없었고 처리 90일 후에는 13.9% 발아하여 다른 처리구보다 유의성 있게 높았다 (Fig. 2).

평균발아일수는 발아한 30일부터 2°C 처리 시험구는 처리기간에 따라 각각 42.0일, 35.5일, 27.9일, 19.7일이었으며 -2°C 처리는 각각 41.5일, 43.0일, 29.0일, 18.8일로 처리기간이 늘어남에 따라 평균발아일수가 단축되는 경향이 있었다.

발아균일지수는 전반적으로 낮은 편으로 90일 처리에서 2°C는 0.75, -2°C는 0.74로 두 온도 모두 90일 처리하였을 때 다른 처리기간 보다 유의성 있게 높았다.

일반적으로 90일 저온처리하면 인삼 종자의 휴면이 타파된다고 알려져 있으나 본 시험에서는 발아율이 14% 내외로 매우 낮았다. 인삼 종자의 적정 발아온도는 15°C라고 알려져 있으며 (Lee *et al.*, 1986), 시험이 진행된 온실 온도는 19°C로 상대적으로 고온이어서 저온 감응을 받은 종자라도 고온에 노출됨에 따라 처리효과가 상쇄되어 2차 휴면을 한 것으로 추정된다. Kwon 등 (2001)의 연구에서도 4°C, 90일 처리하였을 때 34.4% 발아하여 비교적 발아율이 낮았는데 저온처리 기간을 106일로 늘렸을 때 종자의 발아율이 80%까지 상승하였다. 이것으로 보아 비교적 높은 환경 온도에서 파종할 때는 저온처리 기간을 더 늘려야 인삼종자가 안정적으로 발아할 것으로 생각된다. 실제로 GA₃ 처리 없이 2°C에서 120일 저장한 종자를 온실에 파종하였을 때 90%의 종자가 발아하는 것을 확인하였다 (자료 미제시).

지베렐린은 종자의 휴면을 타파하고 발아를 향상시키는데 관여하는 식물생장조절 물질로 (Finch-Savage and Leubner-Metzger, 2006; Kim and Lee, 2013; Toh *et al.*, 2008) 초

기 배 발달에 중요한 역할을 한다고 알려져 있다 (Alpi *et al.*, 1975; Picciarelli *et al.*, 1984). 인삼 종자에서는 GA₃를 처리하였을 때 개갑률이 향상되었으며 (Kim *et al.*, 2014) 발아율이 높아지고 발아에 소요되는 기간이 단축되는 효과가 있었다 (Son and Reuther, 1977).

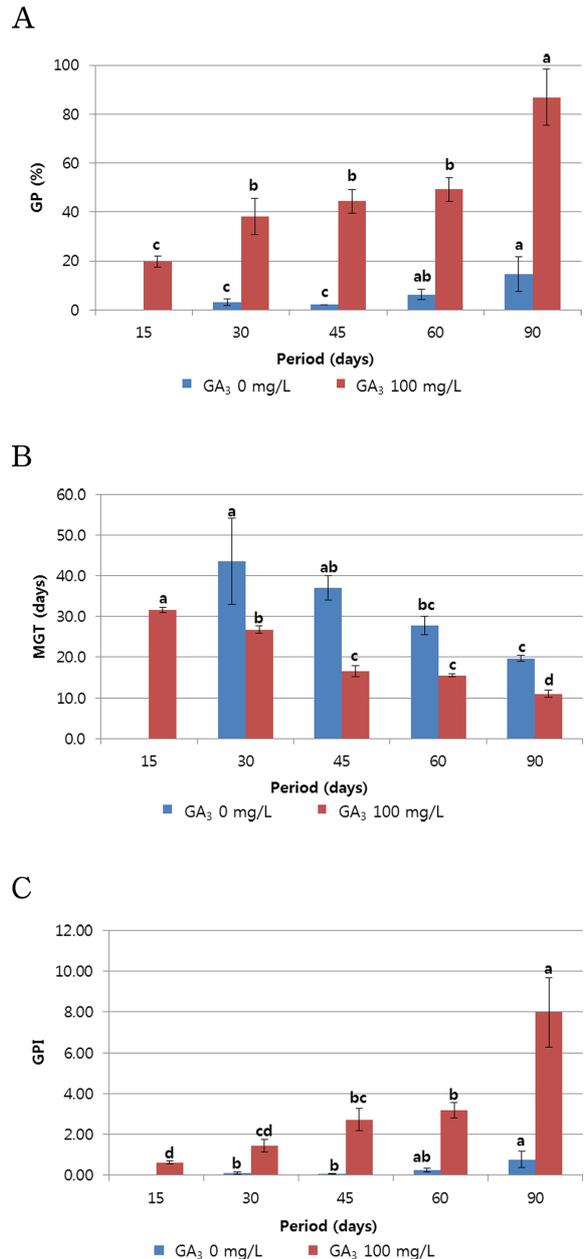


Fig. 1. The characteristics of *P. ginseng* C. A. Meyer seed germination by 2°C constant temperature. A; Germination percentage (GP), B; Mean germination time (MGT), C; Germination performance index (GPI). Values within a column followed by the same letters are not significantly different based on the DMRT ($p < 0.05$).

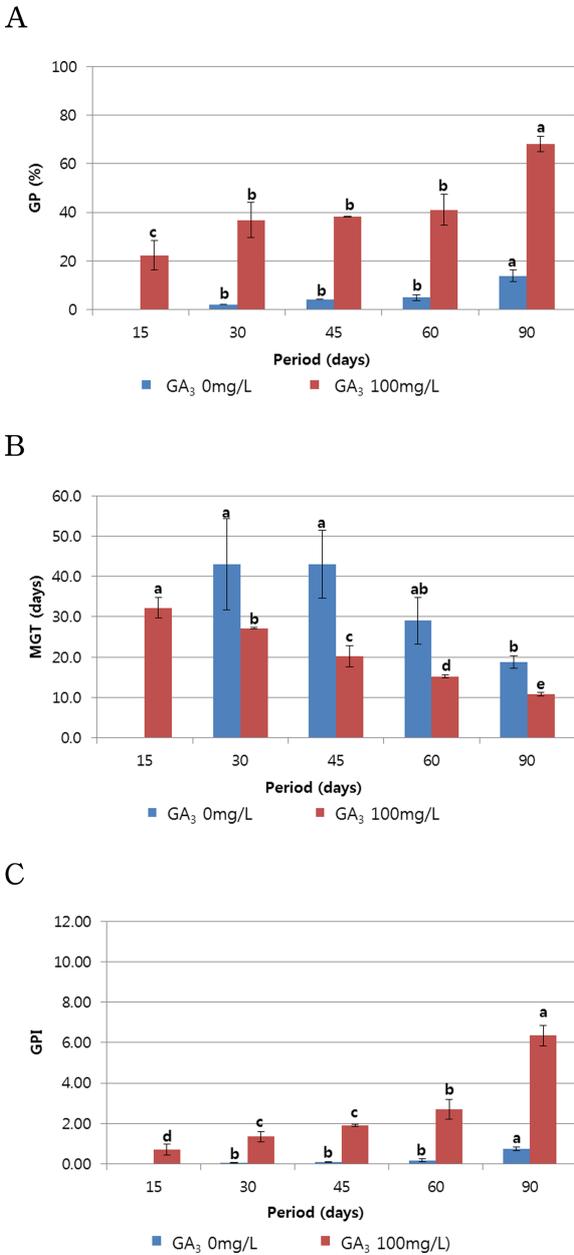


Fig. 2. The characteristics of *P. ginseng* C. A. Meyer seed germination by -2°C constant temperature. A; Germination percentage (GP), B; Mean germination time (MGT), C; Germination performance index (GPI). Values within a column followed by the same letters are not significantly different based on the DMRT ($p < 0.05$).

GA₃ 처리된 인삼 종자를 트레이에 파종하였을 때 종자를 저온처리 없이 GA₃를 처리한 대조구II에서 발아는 이루어졌으나 발아율은 4.2%로 매우 낮아 GA₃ 처리는 저온처리를 완벽하게 대체할 수 없었는데 이것은 Lee 등 (1986)의 연구 결과와도 일치하였다. GA₃ 처리된 종자를 2°C 저온에 처리하였

을 때 처리기간이 증가함에 따라 발아율이 상승하는 경향을 보였는데, 15일 처리는 19.7%, 30일은 38.2%, 45일은 44.4%, 60일은 49.3%, 90일은 86.8% 발아하였다 (Fig. 1). GA₃ 처리된 종자를 -2°C 에 처리하였을 때도 마찬가지로 처리 기간 별로 각각 22.3%, 36.8%, 38.2%, 41.0%, 68.1%로 점차 발아율이 증가하였는데 (Fig. 2), 2°C, -2°C 처리 모두 90일 처리하였을 때 발아율이 급격히 증가하였다.

평균발아일수는 2°C 처리구에서 처리기간별로 각각 31.6일, 26.8일, 16.5일, 15.5일, 11.0일이었고, -2°C 처리구에서 각각 32.2일, 27.2일, 20.2일, 15.2일, 10.8일로 저온처리 기간이 늘어남에 따라 발아에 소요된 일수가 점차 감소하였다.

발아균일지수는 2°C 처리하였을 때 일수별로 각각 0.62, 1.43, 2.72, 3.27, 7.99이었고, -2°C 처리는 일수별로 각각 0.70, 1.35, 1.89, 2.71, 6.34로 두 온도에서 모두 처리기간이 증가 할수록 발아균일지수가 상승하였다.

저장 온도 차이에 의한 종자 발아특성의 차이는 다른 약용 작물에서도 보고 (Kim *et al.*, 2016; Lee *et al.*, 2014)가 되어 있는데 인삼의 경우 GA₃를 처리하지 않았을 때, 2°C, -2°C 온도 차이에 따른 발아율, 평균발아일수, 발아균일지수 모두 유의한 차이는 발견되지 않았다. 처리기간과 변수간의 요인분석을 한 결과 처리기간은 발아율, 평균발아일수, 발아균일지수 모두와 유의성을 나타내었다. 2°C와 -2°C 간의 요인분석을 한 결과, 모든 변수에서 유의성을 나타내지 않았으며, 처리일수와 저온온도 사이의 상호작용도 모든 변수에서 유의하지 않았다 (Table 2).

GA₃를 처리하였을 때, 온도 차이에 따른 발아특성은 모든 처리기간에서 발아율, 평균발아일수, 발아균일지수에서 유의한 차이가 없었으나 90일 처리하였을 때는 2°C 처리 시험구의 발아율이 -2°C 보다 약 18% 높고 두 처리 사이의 *p*-value 값도 0.05258이어서 GA₃ 처리하였을 때 저온 저장온도에 따른 발아율의 차이가 있는 것으로 판단된다. 처리일수와 변수간의 요인분석을 한 결과 처리일수는 모든 변수와 유의성을 나타냈으며 2°C와 -2°C 온도간의 요인분석 결과 발아율과 발아균일지수에서 유의성을 나타내어 GA₃를 처리 안했을 때 유의성이 없었던 것과는 다른 양상을 보였다. 처리일수와 온도 처리간의 상호작용은 유의성이 없었다 (Table 2).

이상의 결과를 종합해 볼 때, 처리일수가 경과함에 따라 종자 발아특성이 향상되었으며, GA₃를 처리하지 않았을 때는 종자 발아특성이 저온처리 온도간에 유의한 차이는 없었지만 GA₃를 처리하면 발아율과 발아균일지수에서 온도간에 차이가 발생하여 추후 GA₃ 처리와 저온 저장온도 차이에 따른 종자 발아특성에 대한 정밀한 검토가 필요할 것으로 보인다.

상시저온 2°C 처리된 종자로 GA₃ 처리 유무에 따른 종자 발아특성을 비교한 결과는 Table 3과 같다. 종자 발아율은 모든 처리기간 동안 GA₃를 처리한 시험구에서 월등히 높아져서

Table 2. Effects of temperature on germination percentage, mean germination time and germination performance index of *P. ginseng* C. A. Meyer seeds.

Pre-treatment			GA ₃ (0 mg/ℓ)			GA ₃ (100 mg/ℓ)		
Period (days)	Type	Temp ¹⁾ (°C)	GP (%)	MGT (days)	GPI	GP (%)	MGT (days)	GPI
0	Control		0.0 ± 0.0	–	–	4.2 ± 2.1	48.6 ± 0.6	0.09 ± 0.04
15	CT	2	0.0 ± 0.0	–	–	19.7 ± 2.3	31.6 ± 0.7	0.62 ± 0.08
		–2	0.0 ± 0.0	–	–	22.3 ± 6.1	32.2 ± 2.5	0.70 ± 0.26
	<i>t</i> -test		ns	ns	ns	ns	ns	ns
30	CT	2	3.1 ± 1.5	42.0 ± 8.5	0.08 ± 0.05	38.2 ± 7.3	26.8 ± 1.0	1.43 ± 0.30
		–2	2.1 ± 0.0	41.5 ± 9.1	0.05 ± 0.01	36.8 ± 7.3	27.2 ± 0.2	1.35 ± 0.26
	<i>t</i> -test		ns	ns	ns	ns	ns	ns
45	CT	2	2.8 ± 0.0	35.5 ± 2.1	0.06 ± 0.00	44.4 ± 4.8	16.5 ± 1.3	2.72 ± 0.53
		–2	4.2 ± 0.0	43.0 ± 8.5	0.10 ± 0.02	38.2 ± 4.3	20.2 ± 2.7	1.89 ± 0.05
	<i>t</i> -test		ns	ns	ns	ns	ns	ns
60	CT	2	6.3 ± 2.1	27.9 ± 2.3	0.23 ± 0.09	49.3 ± 4.8	15.1 ± 0.4	3.27 ± 0.40
		–2	4.9 ± 1.2	29.0 ± 5.8	0.18 ± 0.08	41.0 ± 6.3	15.2 ± 0.4	2.71 ± 0.49
	<i>t</i> -test		ns	ns	ns	ns	ns	ns
90	CT	2	14.6 ± 7.2	19.7 ± 0.8	0.75 ± 0.40	86.8 ± 11.5	11.0 ± 0.9	7.99 ± 1.71
		–2	13.9 ± 2.4	18.8 ± 1.6	0.74 ± 0.08	68.1 ± 3.2	10.8 ± 0.4	6.34 ± 0.50
	<i>t</i> -test		ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Period (P)		***	***	***	***	***	***
	Temp (T)		ns	ns	ns	*	ns	*
	(P) × (T)		ns	ns	ns	ns	ns	ns

¹⁾Temp; Temperature, CT; Constant temperature, GP; Germination percentage, MGT; Mean germination time, GPI; Germination performance index. Values in a column with a different letter are significantly different (ns; None significant, **p* < 0.05, ***p* < 0.01, ****p* < 0.001).

Table 3. Effects of GA₃ on germination percentage, mean germination time and germination performance index of *P. ginseng* C. A. Meyer seeds with different treatment period.

Pre-treatment			GA ₃ (mg/ℓ)	GP (%)	MGT (days)	GPI
Period (days)	Temp ¹⁾ (°C)	Type				
15	2	CT	0	–	–	–
		<i>t</i> -test	100	19.7 ± 2.3	31.6 ± 0.7	0.62 ± 0.08
				–	–	–
30	2	CT	0	3.1 ± 1.5	42.0 ± 8.5	0.08 ± 0.05
		<i>t</i> -test	100	38.2 ± 7.3	26.8 ± 1.0	1.43 ± 0.30
				**	ns	**
45	2	CT	0	2.8 ± 1.2	37.0 ± 3.0	0.07 ± 0.03
		<i>t</i> -test	100	44.4 ± 4.8	16.5 ± 1.3	2.72 ± 0.53
				***	***	*
60	2	CT	0	6.3 ± 2.1	27.9 ± 2.3	0.23 ± 0.09
		<i>t</i> -test	100	49.3 ± 4.8	15.1 ± 0.4	3.27 ± 0.40
				***	***	***
90	2	CT	0	14.6 ± 7.2	19.7 ± 0.8	0.75 ± 0.40
		<i>t</i> -test	100	86.8 ± 11.5	11.0 ± 0.9	7.99 ± 1.71
				***	***	**
	Period (P)			***	***	***
	GA ₃ (G)			***	***	***
	(P) × (G)			**	ns	***

¹⁾Temp; Temperature, CT; Constant temperature, GP; Germination percentage, MGT; Mean germination time, GPI; Germination performance index. Values in a column with a different letter are significantly different (ns; None significant, **p* < 0.05, ***p* < 0.01, ****p* < 0.001).

지베렐린 처리에 의한 인삼 종자의 발아율 증가를 확인할 수 있었는데 이것은 Son 과 Reuther (1977)의 연구 결과와 일치하였다. 외부에서 투입된 지베렐린에 의한 배 생장의 축진이 종자 휴면 타파에도 긍정적인 영향을 끼쳐서 발아율이 향상된 것으로 추정된다. 반면 Kwon 등 (1986)은 GA₃에 의한 종자 발아율 향상을 인정하지 않았으며 사이토키인 종류에 의하여 종자 발아율이 향상된다는 보고하였다. 추후 사이토키인과 저온처리를 병행하여 처리기간에 따른 종자발아율에 미치는 영향에 대한 검토도 필요할 것으로 생각된다.

평균발아일수는 저온처리 45일 이후부터 GA₃를 처리한 시험구에서 GA₃를 처리하지 않은 시험구에 비해 유의성 있게 줄어들었으며 발아균일지수는 모든 처리기간 동안 GA₃를 처리하였을 때 유의성 있게 수치가 높아졌다.

GA₃ 처리와 변수간의 요인분석을 한 결과 GA₃ 처리는 모든 변수와 유의성을 나타냈으며 처리일수와 GA₃ 처리간의 상호작용은 발아율, 발아균일지수에서 유의성을 나타내었다 (Table 3).

종자가 발아하기 위해서는 종자 내에 일정 농도의 지베렐린이 있어야 하는데 (Groot and Karssen, 1987; Karssen *et al.*, 1989) 저온처리 기간이 경과하면서 종자 내에서 합성된 지베렐린의 농도가 증가하여 종자가 발아 된다 (Ross and Bradbeer, 1971). 본 시험에서 GA₃ 처리에 의하여 종자 발아 특성이 전반적으로 향상되었는데 외부에서 투입된 GA₃가 저온처리 효과를 일부 대체할 수 있어서 저온처리 기간이 충분하지 않았더라도 발아가 이루어진 것으로 추정된다.

2. 변온처리 및 처리기간별 종자 발아특성

인삼 종자를 변온(2 → -2 → 2°C) 처리하여 트레이에 파종하였을 때 종자 발아특성은 상시저온처리 하였을 때와 마찬가지로 처리기간이 증가함에 따라 발아특성 대부분이 증가하는 경향을 보였다.

발아는 처리기간 30일 이상에서 나타났으며 발아율은 30일 처리하였을 때 2.1% 발아하였고, 45일 처리는 4.9%, 60일 처리는 7.3%로 유의한 차이가 없었지만 90일 처리하였을 때 71.5%로 급격히 상승하여 저온저장 90일 전후가 인삼의 종자 휴면 타파에 중요한 시점으로 추정된다.

평균발아일수는 30일부터 처리기간에 따라 각각 38.3일, 42.0일, 27.3일, 17.0일로 처리 30일과 45일 사이에는 유의한 차이가 없었지만 이후 처리기간이 증가함에 따라 평균발아일수가 유의성 있게 감소하였다.

발아균일지수는 30일 처리부터 각각 0.06, 0.12, 0.26, 4.23으로 60일까지는 처리기간에 따른 유의한 차이가 없었지만 90일 변온처리 하였을 때 발아균일지수가 유의성 있게 높았다 (Fig. 3).

GA₃를 변온처리와 병행하여 처리하였을 때 처리기간별 발

아특성 중 발아율은 처리 15일 46.0%, 30일 67.4%, 45일 79.2%, 60일 95.1%, 90일 90.3%로 처리 60일까지는 유의성 있게 증가하였다.

평균발아일수는 각각 31.2일, 28.0일, 19.4일, 13.0일, 11.1일로 처리기간이 늘어나면서 점차 유의성 있게 감소하였고, 발아균일지수는 각각 1.47, 2.41, 4.09, 7.31, 8.12로 처리기간이

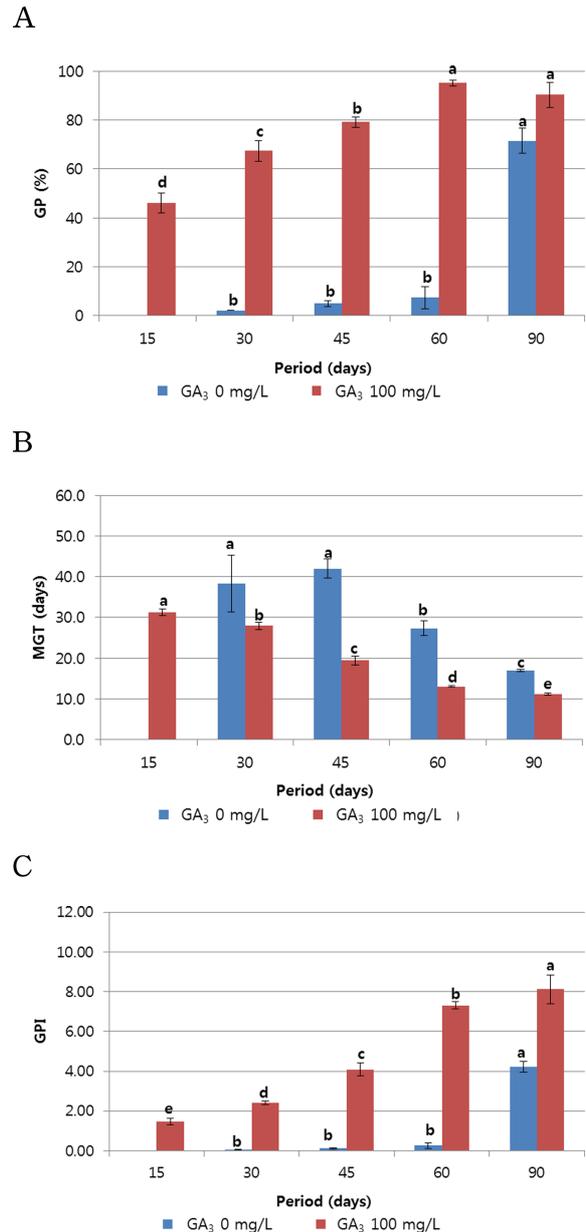


Fig. 3. The characteristics of *P. ginseng* C. A. Meyer seed germination by alternating temperature. A; Germination percentage (GP), B; Mean germination time (MGT), C; Germination performance index (GPI). Values within a column followed by the same letters are not significantly different based on the DMRT ($p < 0.05$).

Table 4. Effects of alternating temperature on germination percentage, mean germination time and germination performance index of *P. ginseng* C. A. Meyer seeds with different treatment period.

Pre-treatment			GA ₃ (0 mg/l)			GA ₃ (100 mg/l)		
Period (days)	Type	Temp ¹⁾ (°C)	GP (%)	MGT (days)	GPI	GP (%)	MGT (days)	GPI
15	CT	2	0.0 ± 0.0	–	–	19.7 ± 2.3	31.6 ± 0.7	0.62 ± 0.08
	AT	2 → -2 → 2	0.0 ± 0.0	–	–	46.0 ± 4.0	31.2 ± 0.8	1.47 ± 0.17
	t-test		–	–	–	***	ns	**
30	CT	2	3.1 ± 1.5	42.0 ± 8.5	0.08 ± 0.05	38.2 ± 7.3	26.8 ± 1.0	1.43 ± 0.30
	AT	2 → -2 → 2	2.1 ± 0.0	38.3 ± 7.0	0.06 ± 0.01	67.4 ± 4.3	28.0 ± 0.9	2.41 ± 0.09
	t-test		ns	ns	ns	**	ns	**
45	CT	2	2.8 ± 1.2	37.0 ± 3.0	0.07 ± 0.03	44.4 ± 4.8	16.5 ± 1.3	2.72 ± 0.53
	AT	2 → -2 → 2	4.9 ± 1.2	42.0 ± 2.3	0.12 ± 0.03	79.2 ± 2.1	19.4 ± 1.1	4.09 ± 0.33
	t-test		ns	ns	ns	***	*	*
60	CT	2	6.3 ± 2.1	27.9 ± 2.3	0.23 ± 0.09	49.3 ± 4.8	15.1 ± 0.4	3.27 ± 0.40
	AT	2 → -2 → 2	7.3 ± 4.4	27.3 ± 1.8	0.26 ± 0.14	95.1 ± 1.2	13.0 ± 0.2	7.31 ± 0.18
	t-test		ns	ns	ns	***	***	***
90	CT	2	14.6 ± 7.2	19.7 ± 0.8	0.75 ± 0.40	86.8 ± 11.5	11.0 ± 0.9	7.99 ± 1.71
	AT	2 → -2 → 2	71.5 ± 5.2	17.0 ± 0.3	4.23 ± 0.26	90.3 ± 5.2	11.1 ± 0.3	8.12 ± 0.73
	t-test		***	**	***	ns	ns	ns
Period (P)			***	***	***	***	***	***
Type (T)			***	ns	***	*	ns	*
(P) × (T)			***	ns	***	ns	ns	ns

¹⁾Temp; Temperature, CT; Constant temperature, GP; Germination percentage, MGT; Mean germination time, GPI; Germination performance index, AT; Alternating temperature. Values in a column with a different letter are significantly different (ns; None significant, **p* < 0.05, ***p* < 0.01, ****p* < 0.001).

Table 5. Comparison of aerial characteristics according to AT treatment.

Pre-treatment				SL	SD	LL	LW
Period (days)	GA ₃ (mg/l)	Type	Temp ¹⁾ (°C)				
90	0	CT	2	5.8 ± 0.6	1.08 ± 0.12	3.0 ± 0.4	2.1 ± 0.3
		AT	2 → -2 → 2	6.7 ± 0.6	1.20 ± 0.15	3.7 ± 0.6	2.1 ± 0.2
		t-test		ns	ns	ns	ns
	100	CT	2	7.1 ± 0.6	1.13 ± 0.11	3.8 ± 0.3	2.0 ± 0.2
		AT	2 → -2 → 2	6.8 ± 0.7	1.15 ± 0.12	3.9 ± 0.5	2.1 ± 0.2
		t-test		ns	ns	ns	ns

¹⁾Temp; Temperature, CT; Constant temperature, AT; Alternating temperature, SL; Stem length, SD; Stem diameter, LL; Leaf length, LW; Leaf width. Values in a column with a different letter are significantly different (ns; None significant, **p* < 0.05, ***p* < 0.01, ****p* < 0.001).

증가할수록 값이 유의하게 증가하였다.

GA₃와 변온을 병행처리 하였을 때도 다른 처리하였을 때와 마찬가지로 처리기간이 늘어남에 따라 종자 발아특성이 증가하는 경향을 보였다.

인삼에서도 변온처리시 종자 발아특성 차이가 발생하는지 확인하기 위하여 2°C 상시저온에 저장되었던 시험구와 처리기간별로 비교한 결과는 Table 4와 같다. 처리 60일까지는 변온과 2°C 사이에 모든 종자 발아특성에서 유의한 차이가 없었으

나 90일 처리하였을 때는 발아율, 평균발아일수, 발아균일지수 모두 변온처리에 의하여 특성이 유의하게 증가하였다.

변온처리에 따른 처리기간과 변수간의 요인분석을 한 결과 모든 변수와 유의성을 나타냈으며, 변온과 상시저온간의 요인분석 결과 발아율과 발아균일지수에서만 유의성이 확인되었다. 저온처리 방법과 처리기간의 상호작용도 발아율과 발아균일지수에서만 유의성이 확인되었다.

이상의 결과를 요약하면 변온처리는 GA₃ 만큼은 아니었지

만 인삼 종자의 휴면 타파에 필요한 저온감응기간과 발아에 필요한 기간의 단축에 효과가 있었으며 종자의 균일한 발아에도 긍정적인 영향을 끼쳤다. 이것은 계절변화에 의한 변온으로 인삼 종자의 저온감응기간 단축되었다는 보고 (Kwon *et al.*, 2001)와 일치하며 본 연구를 통해 인위적으로 조성한 변온처리도 휴면기간 단축에 효과가 있다는 것을 확인할 수 있었다. 발아율 외에도 평균발아속도를 향상시켰는데 다른 작물에서도 변온처리가 발아를 촉진하였다는 보고 (Bello *et al.*, 1998; Duclos *et al.*, 2014; Lippai *et al.*, 1996)가 있다.

GA₃와 변온의 병행처리에 의한 효과를 알아보기 위해 GA₃를 처리한 상시저온 2°C 시험구와 비교하였을 때 발아율은 처리 60일까지는 변온처리를 병행한 시험구에서 GA₃를 단독 처리한 시험구보다 약 1.7배 이상 유의하게 높았으나 처리 90일에서는 차이가 없었다.

평균발아일수는 처리 30일까지는 유의한 차이가 없었으나 45일과 60일 처리하였을 때는 변온처리와 GA₃를 병행처리한 시험구의 평균발아일수가 유의성 있게 줄었으며 처리 90일에서는 유의한 차이가 없었다.

발아균일지수는 처리 60일까지 변온처리와 GA₃를 병행처리하였을 때 유의하게 높았으며 처리 90일에서는 차이가 없었다.

GA₃와 변온의 병행처리에 따른 처리기간과 변수간의 요인 분석을 한 결과 모든 변수와 유의성을 나타냈으며, 변온과 상

시저온간의 요인분석 결과 발아율과 발아균일지수에서만 유의성이 확인되었다. 저온처리 방법과 처리기간의 상호작용은 변온 단독처리 하였을 때와는 다르게 모든 변수에서 유의성이 없었다 (Table 4).

인삼 묘삼을 GA₃와 변온으로 병행처리 하였을 때 출아율이 향상되었던 것처럼 (Kim *et al.*, 2015) 인삼종자에 GA₃와 변온을 병행처리 하였을 때도 발아율을 포함한 종자 발아특성이 크게 향상되었는데, 15일 처리만으로도 종자발아가 46% 가능하였다. GA₃와 변온의 병행처리를 인삼 육종프로그램에 적용하면 종자 휴면 조기타파를 가능하게 하여 인삼의 세대진전에 필요한 기간을 크게 단축시킬 수 있을 것으로 판단되며 이로 인한 육종기간 단축효과도 기대된다.

3. GA₃ 및 변온처리에 따른 지상부 생육 특성

지금까지 대부분의 인삼 종자 휴면 타파 연구는 발아율 등 같은 종자 발아특성 (Kwon *et al.*, 2001; Lee *et al.*, 1986)과 종자 내 성장조절물질의 측정에 관한 연구 (Kwon and Lee, 1997; Kwon *et al.*, 1997)가 대부분이었다. 인삼 묘삼을 이용하여 GA₃와 변온을 병행한 후 지상부 생육 차이를 보고한 연구결과 (Kim *et al.*, 2015)는 있으나 휴면이 초기에 타파된 종자에서 발아한 유묘의 정상적인 생육 가능성에 대한 검토는 이루어지지 않아 GA₃와 변온처리를 통해 종자휴면이

Table 6. Comparison of aerial characteristics according to the GA₃ treatment.

Pre-treatment				SL	SD	LL	LW
Period (days)	Temp ¹⁾ (°C)	Type	GA ₃ (mg/l)				
90	2	CT	0	5.8 ± 0.6	1.04 ± 0.09	3.0 ± 0.4	2.1 ± 0.3
			100	7.1 ± 0.6	1.13 ± 0.11	3.8 ± 0.3	2.0 ± 0.2
			<i>t</i> -test	***	ns	***	ns
	2 → -2 → 2	AT	0	6.7 ± 0.6	1.20 ± 0.15	3.7 ± 0.6	2.1 ± 0.2
			100	6.8 ± 0.7	1.15 ± 0.12	3.9 ± 0.5	2.1 ± 0.2
					<i>t</i> -test	ns	ns

¹⁾Temp; Temperature, CT; Constant temperature, AT; Alternating temperature, SL; Stem length, SD; Stem diameter, LL; Leaf length, LW; Leaf width. Values in a column with a different letter are significantly different (ns; None significant, **p* < 0.05, ***p* < 0.01, ****p* < 0.001).

Table 7. Effects of GA₃ and alternating temperature on aerial characteristics according to the different period.

Pre-treatment			Period (days)	SL	SD	LL	LW
Type	Temp ¹⁾ (°C)	GA ₃ (mg/l)					
AT	2 → -2 → 2	100	15	5.4 ± 0.9c	1.23 ± 0.16a	3.3 ± 0.3b	1.8 ± 0.2b
			30	6.1 ± 0.4b	1.26 ± 0.16a	3.9 ± 0.3a	2.0 ± 0.2ab
			45	6.4 ± 0.4ab	1.27 ± 0.07a	3.8 ± 0.4a	2.1 ± 0.3a
			60	6.9 ± 0.7a	1.13 ± 0.17a	4.0 ± 0.4a	2.1 ± 0.3a
			90	6.8 ± 0.7a	1.15 ± 0.12a	3.9 ± 0.5a	2.1 ± 0.2ab

¹⁾Temp; Temperature, AT; Alternating temperature, SL; Stem length, SD; Stem diameter, LL; Leaf length, LW; Leaf width. Values within a column followed by the same letters are not significantly different based on the DMRT (*p* < 0.05).

조기에 타파된 유묘의 지상부 생육을 조사하였다.

변온이 지상부 생육에 미치는 영향을 검토하기 위하여 변온 90일 저장된 시험구와 상시저온 2°C에서 90일 저장된 시험구와 비교하였다. 변온을 처리한 시험구는 GA₃의 처리 유무에 상관없이 상시저온 처리된 시험구의 유묘와 유의한 차이가 없어 변온에 의한 유묘의 지상부 생육 변화는 없는 것으로 판단된다 (Table 5).

GA₃ 처리에 의한 유묘의 지상부 생육 특성이 변화하였는지 확인하기 위하여 시험구를 GA₃ 처리 유무별로 비교한 결과는 Table 6과 같다. GA₃를 처리한 상시저온 2°C 시험구에서 경장과 엽장이 유의성이 있게 커졌는데, 종자에 처리되었던 GA₃가 종자 내 지베렐린 농도를 증가시켜 지상부의 크기가 증가한 것으로 추정된다.

지베렐린은 줄기, 엽신 등의 생장을 조절하는 물질로 지베렐린 처리에 의한 유묘생육이 촉진되는 사례가 많이 보고되고 있는데 (Choi and Lee, 1995; Kang and Choi, 2006; Lee *et al.*, 2014; Oh and Kim, 2014; Tzortzakis, 2009), 종자의 GA₃ 침지처리가 발아를 촉진시키는 것은 물론 발아묘의 생육 특성에도 긍정적인 영향을 끼쳤다는 보고와도 일치하였다 (Balaguera-López *et al.*, 2009). 반면 GA₃와 변온처리를 병행하여 발아된 유묘의 경우 변온처리 없이 GA₃를 처리한 유묘와 유의한 차이가 없었다. GA₃ 처리에 의한 부작용은 비정상적인 웃자람으로 유묘의 품질이 저하되는 것을 생각할 수 있으나 본 연구에서는 비정상적인 개체는 발견되지 않았다.

종자의 휴면기간 단축에 가장 크게 기여하였던 변온과 GA₃를 병행처리한 시험구에서 발아한 유묘가 처리기간별로 지상부 생육이 변화하였는지 조사한 결과는 Table 7과 같다. 경장은 처리 45일까지는 처리기간이 증가함에 따라 길이도 유의하게 증가하였으나 그 이후에는 유의한 차이가 없었다. 경직경은 처리기간별 생육 차이가 없었으며 엽장과 엽폭은 처리 15일을 제외하고는 처리기간별로 차이가 없었다.

이상으로 결과를 종합해보면, 변온처리의 지상부 생육에 미치는 영향은 미미한 것으로 판단되며 GA₃에 의한 효과가 더 큰 것으로 추정된다. 변온과 GA₃를 병행처리한 종자에서 발아한 유묘는 15일처리 하였을 때의 경장이 상시저온 90일 처리하여 발아한 유묘보다 다소 작았지만 나머지 특성은 비슷하였으며 처리 30일 이후부터는 저온처리가 되어 발아한 유묘와 생육이 비슷하거나 우수하여 안정적인 생육이 가능하였다. 변온과 GA₃ 병행처리에 의한 비정상적인 개체도 발견되지 않은 것으로 보아 인삼 육종 프로그램에 도입하여 이용하여도 큰 무리는 없을 것으로 판단된다. 다만 Kim 등 (2015)의 연구에서 GA₃와 변온처리 된 묘삽에서 별도의 휴면 없이 지상부 출현이 관찰된 것으로 보아 종자에서도 같은 현상이 발견되는지 추후 검토가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 인삼 육종효율 증진을 위한 기반기술 개발 연구과제(과제번호: PJ01018702)의 지원에 의해 이루어진 결과로 이에 감사드립니다.

REFERENCES

- Alpi A, Tognoni F and D'Amato F. (1975). Growth regulator levels in embryo and suspensor of *Phaseolus coccineus* at two stages of development. *Planta*. 127:153-162.
- Balaguera-López HE, Cárdenas-Hernández JF and Álvarez-Herrera JG. (2009). Effect of gibberellic acid(GA₃) on seed germination and growth of tomato(*Solanum lycopersicum* L.). *Acta Horticulture*. 821:141-148.
- Bello IA, Hatterman-Valenti H and Owen MDK. (1998). Effects of stratification, temperature, and oxygen on woolly cupgrass (*Eriochloa villosa*) seed dormancy. *Weed Science*. 46:526-529.
- Choi SY and Lee KS. (1995). Effect of plant growth regulators on the germination and seedling growth of *Wasabia japonica* Matsum seeds. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 3:111-115.
- 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.
- Finch-Savage WE and Leubner-Metzger G. (2006). Seed dormancy and the control of germination. *New Phytologist*. 171:501-523.
- Groot SP and Karssen CM. (1987). Gibberellins regulate seed germination in tomato by endosperm weakening: A study with gibberellin-deficient mutants. *Planta*. 171:525-531.
- Kang JS and Choi IS. (2006). Effect of plant growth regulators and seed priming treatment on the germination and early growth of snapdragon(*Antirrhinum majus* L.). *Korean Journal of Life Science*. 16:493-499.
- Karssen CM, Zagorski S, Kepczynski J and Groot SPC. (1989). Key role for endogenous gibberellins in the control of seed germination. *Annals of Botany*. 63:71-80.
- Kim DH, Kim YC, Bang KH, Kim JU, Lee JW, Cho IH, Kim YB, Son SW, Park JB and Kim KH. (2015). Effects of GA₃ and alternating temperature on breaking bud dormancy of *Panax ginseng* C. A. Meyer seedling. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 23:379-384.
- Kim MS, Kim YS, Choi JG, Park HG, Shin HR, Kim SI, Kim YG, Park CG, Ahn YS, Cha SW and Kim KS. (2016). Effects of different germination characteristics, sowing date and rain sheltered cultivation on stable seed production in *Scutellaria baicalensis* Georgi. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 24:101-109.
- Kim YC, Kim YB, Park HW, Bang KH, Kim JU, Jo IH, Kim KH, Song BH and Kim DH. (2014). Optimal harvesting time of ginseng seeds and effect of gibberellic acid(GA₃) treatment for improving stratification rate of ginseng(*Panax ginseng* C. A. Meyer) seeds. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 22:423-428.

- Kim YH and Lee IJ.** (2013). Influence of plant growth regulator application on seed germination of dandelion(*Taraxacum officinale*). *Weed and Turfgrass Science*. 2:152-158.
- Kwon WS, Beak NI and Lee JM.** (1997). Identification and changes of physiologically active substances during chilling storage of dehisced ginseng seeds. *Journal of Ginseng Research*. 21:13-18.
- Kwon WS, Jung CM, Ahn SD and Choi KT.** (1986). Effects of growth regulators on the germination of *Panax ginseng* C. A. Meyer. *Journal of Ginseng Research*. 10:159-166.
- 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.
- Kwon WS and Lee JM.** (1997). Changes of cytokinins and gibberellin contents during low temperature storage of dehisced ginseng seeds. *Journal of Korea Society Horticulture Science and Biotechnology*. 38:111-115.
- Lee JC, Byen JS and Proctor JTA.** (1986). Dormancy of ginseng seed as influenced by temperature and gibberellic acids. *Korean Journal of Ginseng Science*. 31:220-225.
- Lee SG, Kim Hy and Ku JJ.** (2014). Effects of seed storage temperature and pre-treatment on germination, seedling quality on wild *Trichosanthes kirilowii* Maxim and *Trichosanthes kirilowii* var. *japonica* Kitam. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 22:53-59.
- Lippai A, Smith PA, Price TV, Weiss J and Lloyd CJ.** (1996). Effects of temperature and water potential on germination of horehound(*Marrubium vulgare*) seeds from two Australian localities. *Weed Science*. 44:91-99.
- Oh W and Kim KS.** (2014). Light intensity and temperature regulate petiole elongation by controlling the content of and sensitivity to gibberellin in *Cyclamen persicum*. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*. 55:175-182.
- Park H, Kim KS and Bae HW.** (1979). Effect of gibberellin and kinetin on bud dormancy breaking and growth of Korean ginseng root(*Panax ginseng* C. A. Meyer). *Korean Journal of Ginseng Science*. 3:105-112.
- Picciarelli P, Alpi A, Pistelli L and Scalet M.** (1984). Gibberellin-like activity in suspensors of *Tropaeolum majus* L. and *Cytisus laburnum* L. *Planta*. 162:566-568.
- Ross JD and Bradbeer JW.** (1971). Studies in seed dormancy. V. The content of endogenous gibberellins in seeds of *Corylus avellana* L. *Planta*. 100:288-302.
- Scott SJ, Jones RA and Williams WA.** (1984). Review of data analysis methods for seed gemination. *Crop Science*. 24:1192-1199.
- Son ER and Reuther G.** (1977). Preliminary studies on breaking of dormancy and germination of *Panax ginseng* seeds. *Korean Journal of Crop Science*. 22:45-51.
- Sundstrom FJ, Reader RB and Edwards RL.** (1987). Effect of seed treatment and planting method on tabasco pepper. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 112:641-644.
- Toh S, Imamura A, Watanabe A, Nakabayashi K, Okamoto M, Jikumaru Y, Hanada A, Aso Y, Ishiyama K, Tamura N, Iuchi S, Kobayashi M, Yamaguchi S, Kamiya Y, Nambara E and Kawakami N.** (2008). High temperature-induced abscisic acid biosynthesis and its role in the inhibition of gibberellin action in *Arabidopsis* seeds. *Plant Physiology*. 146:1368-1385.
- Tzortzakis NG.** (2009). Effect of pre-sowing treatment on seed germination and seedling vigour in endive and chicory. *Horticultural Science(Prague)*. 36:117-125.