

# Cold Stratification, Gibberellic Acid, and Priming Treatments to Promote Germination of *Lychnis wilfordii* (Regel) Maxim. Seeds

Hyun Jin Kim<sup>1</sup>, Yoon Ju Cho<sup>2</sup>, Ah Ram Cho<sup>2</sup>, and Yoon Jin Kim<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>National Institute of Biological Resources, Ministry of Environment, Incheon 22689, Korea

<sup>2</sup>Department of Horticulture, Biotechnology and Landscape Architecture, Seoul Women's University, Seoul 01797, Korea

## 제비동자꽃 종자 발아 향상을 위한 저온습윤, 지베렐린, 프라이밍 처리의 이용

김현진<sup>1</sup> · 조윤주<sup>2</sup> · 조아람<sup>2</sup> · 김윤진<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>환경부 국립생물자원관, <sup>2</sup>서울여자대학교 원예생명조경학과

Received 4 December 2019; Revised 2 March 2020; Accepted 5 March 2020

Copyright © 2020 by The Korean Society for Floricultural Science

**Abstract** This study was carried out to identify effective germination pretreatments for the mass propagation of *Lychnis wilfordii*. Seeds were treated with cold stratification (0, 4, 8, 12, and 16 weeks at 5°C), GA<sub>3</sub> (0, 500, and 1000 mg·L<sup>-1</sup>), and priming treatment (0.1 M and 0.2 M with NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, KCl, and KNO<sub>3</sub>). All seeds were germinated at 25°C and 12 h photoperiod (40 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>). GA<sub>3</sub> treatment was also carried out in greenhouse. The highest final germination percentage (FGP) was 20.4% in 8-week-cold stratified seeds, whereas cold stratification for over 12 weeks decreased FGP of *L. wilfordii*. Seeds treated with 0, 500, and 1000 mg·L<sup>-1</sup> GA<sub>3</sub> showed germination percentages of 3.3, 44.0, and 62.0% at 25°C in a growth chamber, and 5.3, 16.7, and 42% under greenhouse conditions, respectively. As the GA<sub>3</sub> concentration increased, FGP increased. Furthermore, *L. wilfordii* seeds showed the highest FGP (54.7%) when primed with 0.2 M KNO<sub>3</sub>, but, MGT did not show any significant difference among treatments. Therefore we recommend soaking the seeds in 1000 mg·L<sup>-1</sup> GA<sub>3</sub> or 0.2 M-KNO<sub>3</sub> priming for 24 h as a proper treatment for effective seed germination in *L. wilfordii*.

**Additional key words:** KNO<sub>3</sub>, mass propagation, native plant, ornamental plant, seed germination

## 서 언

제비동자꽃은 석죽과(Caryophyllaceae) 식물로 *Lychnis*속에 속하는 여러해살이 초본이다. *Lychnis*속은 약 30종이 유럽, 중앙 및 동아시아 등에 분포하고 있으며, 우리나라에는 가는동자꽃(*Lychnis kiusiana* Makino), 제비동자꽃[*L. wilfordii* (Regel) Maxim.], 동자꽃(*L. cognate* Maxim.), 털동자꽃(*L. fulgens* Fisch. ex Spreng), 총 4종이 자생한다고 보고되어 있다(Lee 2003; Oxelman et al. 2000). 제비동자꽃은 강원도 비교적 높은 산지에서 서식하며 우리나라에서 확인된 자생지는 10곳 미만으로 총 개체수는 약 300개체 미만으로 추정되고 있다(NIBR 2018). 현재 제비동자꽃은 환경부에서는 멸종위기 야생생물 2급으로, 산림청에서는 지정 위기종으로 각각 분류되고 있다(Lee et al. 2012; NIBR 2018).

제비동자꽃은 짙은 홍색의 꽃이 7~8월에 개화한다. 특히 꽃잎의 끝이 잘게 갈라지고 취산화서로 꽃이 많이 피어 분화 및 정원용으로서 활용가치가 높다(NIBR 2018). 제비동자꽃의 무분별한 채취를 막고 보존과 원예적 활용을 위해서는 대량번식 기술 연구가 필요하다. 제비동자꽃은 근경과 종자로 번식이 가능하다. 그러나 근경 번식은 발근까지 오랜 시간이 요구되며, 종자의 기내·외 발아 소요기간은 약 2~3개월로 발아율 또한 낮다고 보고되고 있다(Bae et al. 2014). 제비동자꽃과 같은 속에 속하는 *L. senno*의 경우, 낮은 발아율로 종자 번식은 비효율적 방법으로 제시되었고, *L. cognate*와 *L. fulgens*의

\*Corresponding author: Yoon Jin Kim

Tel: +82-2-970-5620

E-mail: yj1082@swu.ac.kr

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2260-1563>

GA 처리된 종자도 1개월 내 발아율이 30% 미만으로 상업적 이용으로는 다소 낮은 편이다(Bae and Yoon 2015; Chen et al. 2006).

그러나 종자 번식은 대량번식 시, 공간, 관리 및 투입 노동력이 적게 드는 경제적인 측면에서 가장 많이 이용되는 방법이다. 제비동자꽃이 속하는 *Lychnis*속 식물들의 종자는 Baskin and Baskin(2014)에 의해 생리적 휴면(physiological dormancy, PD)을 가지고 있다고 밝혀졌다. PD는 온대지방에서 가장 흔한 휴면 유형(Baskin and Baskin 2004)으로, 휴면의 깊이에 따라 deep PD, intermediate PD, non-deep PD, 총 3가지로 분류하고 있다(Nikolaeva 1977). 제비동자꽃의 종자는 non-deep PD 유형으로 보고되었다(Ryu et al. 2017). Non-deep PD는 저온습윤 처리, GA<sub>3</sub>처리 등의 종자 전처리로 휴면을 타파하여 발아 촉진이 가능하다(Baskin and Baskin, 2004; Lee et al. 2015). 제비동자꽃 종자 발아 조건으로 Bae et al.(2014)은 25°C에서 GA<sub>3</sub> 100mg·L<sup>-1</sup>가 첨가된 MS 배지로 기내번식을 제안하였고, Ryu et al.(2017)은 GA<sub>3</sub> 1000mg·L<sup>-1</sup>과 6주 이상의 저온습윤 처리를 제시하였다. 그러나 성공적인 기내번식을 위해서는 숙련된 기술이 요구되며, 저온습윤 처리는 일정한 기간이 소요되어야만 한다. 또한 다양한 재배조건에서도 효과적이고 실용적인 종자 번식을 위해서는 새로운 종자 전처리 기술 개발 시도가 필요하다.

종자 프라이밍(seed priming) 처리는 종자 내부의 다양한 효소 활성화, 호르몬 변화 등 발아 전 대사과정을 진행시킴으로써 휴면을 타파하여 발아율을 향상시킬 수 있다(Paparella et al. 2015). 형태생리적 휴면 유형을 갖고 있는 독미나리(*Cicuta virosa* L.) 종자는 프라이밍 처리를 하여 무처리구에 비해 약 60%까지 발아율을 증가시켰으며(Cho et al. 2018), 프라이밍 처리된 벌개미취 종자는 불리한 온도 조건에서도 높은 발아율을 나타냈다(Kim et al. 2010).

따라서 본 연구는 제비동자꽃의 대량번식 기술 개발을 위해 GA<sub>3</sub>, 저온습윤 처리와 프라이밍 처리를 비교하여 효과적인 종자 발아 처리 조건을 선별하고자 수행하였다.

## 재료 및 방법

### 식물재료

본 연구에서 사용된 제비동자꽃 종자 [*Lychnis wilfordii* (Regel) Maxim.]는 2014년 10월 경상남도 거창군에 위치한 금원산생태수목원에서 채종하였다. 채종한 종자는 약 1달가량 음건 후 정선하여 실험 전까지 냉장(5°C) 보관되었다. 일부 종

자는 절단하여 배와 배유의 상태를 확인하였으며, 외형적 손상이 없는 종자를 선별하여 실험을 진행하였다.

### 저온습윤 처리

정선된 종자는 직경 9cm의 페트리디쉬에 거름종이(Whatman No.2) 2장을 깔고 증류수로 충분히 습윤시킨 후에 치상되었다. 종자가 마르지 않도록 필요 시 증류수를 공급하였으며, 0, 4, 8, 12, 16주 동안 암상태, 5°C를 유지시켰다.

### GA<sub>3</sub> 처리

종자는 25°C, 암상태에서 0, 500, 1000mg·L<sup>-1</sup> 농도의 GA<sub>3</sub> 수용액에 24시간 동안 침지 처리되었다. 침지된 종자는 몇 차례 증류수로 세척한 후 거름종이로 물기를 제거하였다. 무처리구는 GA<sub>3</sub> 처리구와 비교하기 위해 대조구로 사용되었다.

### 프라이밍 처리

종자는 25°C, 암상태에서 24시간 동안 0.1M과 0.2M의 NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, KCl, KNO<sub>3</sub> 수용액에 침지되었다. 프라이밍 처리 종자는 처리 중 종자 유근 돌출을 막고 종자 저장성 향상과 기계 파종의 용이성을 위해 원래의 종자 수분함량으로 건조시킨다(Parera and Cantliffe 1994). 프라이밍 처리 후 종자는 9cm의 페트리디쉬에 거름종이(Whatman No.2) 2장을 깔고 치상하여, 25°C, 암상태에서 24시간 동안 건조시켰다.

### 발아조건

모든 발아 실험은 25°C, 광주기 12시간, 광량 40μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>으로 유지한 챔버(DS-13MCLP, Hanback, Hwaseong, Korea)에서 진행되었다. 직경 9cm의 페트리디쉬에 거름종이(Whatman No. 2) 2장을 깔고 종자를 치상한 후 완전임의배치법으로 배치하였다. 발아립은 유근이 약 1mm 출현한 것으로 산정하였고 종자가 마르지 않도록 증류수를 공급하였다.

챔버 실험 결과와 비교하기 위해 GA<sub>3</sub> 처리 종자는 2015년 5~9월까지(평균 23.4°C) 공통동에 위치한 서울여자대학교 비닐온실에서 발아 실험을 수행하였다. 비닐온실 내부는 35% 흑색차광막 1장으로 차광하였다. 종자는 플러그트레이(105공)에 원예범용상토(Baroker, SeoulBio, Eumseong, Korea)를 채워 파종되었다. 파종된 종자는 약 1cm의 깊이로 복토를 하였으며, 매일 관수하여 흙이 마르지 않도록 관리하였다. 떡잎이 완전히 전개된 종자를 출현립으로 선정하였다.

모든 발아실험은 50립 3반복으로 진행되었다. 발아율 측정

은 매일 진행되었으며 필요 시 발아한 종자는 측정된 후 즉시 제거하였다. 처리 간 발아율과 평균발아일수를 비교하였으며, 평균발아일수(MGT, mean germination time)는 다음과 같은 식으로 산출하였다.

$$MGT = \frac{\sum(ti \times gi)}{\sum(gi)}$$

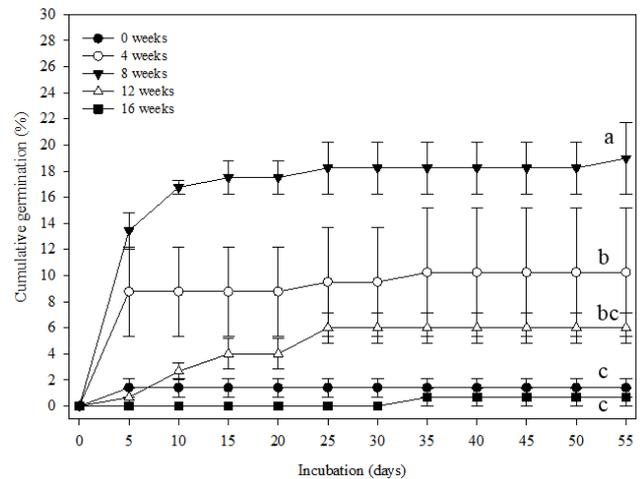
위 수식에서,  $t_i$ 는 발아실험을 진행한 기간(일)을 의미하며,  $g_i$ 는 각 배양일에 발아한 발아립의 수를 의미한다(Ellis and Roberts 1981).

### 통계처리

실험의 결과들은 SAS version 9.2(SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)를 이용하여 ANOVA(analysis of variance) 및 Tukey의 다중검정으로 5% 유의수준에서 각 처리 간의 유의성을 검증하였다. 그래프는 SigmaPlot version 10.0(SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하였다.

### 결과 및 고찰

종자의 PD 휴면은 주로 저온습윤 처리에 의해 휴면이 타파되어 발아하게 된다(Geneve 2003). 저온습윤 과정에서 발아에 관여하는 GA 생합성이 활성화되기 때문이다(Yamauchi et al. 2004). 제비동자꽃 종자는 저온습윤 0, 4, 8, 12, 16주 처리에서 각각 1.3, 12.7, 20.4, 8.9, 1.8% 발아하였다. 저온습윤 처리 8주에서 발아율이 가장 높았으며 12주 이후에는 오히려 발아율이 급격하게 감소하였다(Fig. 1). Ryu et al.(2017)의 결과에서 3주 이상의 저온습윤 처리에 의해 약 80%까지 발아한 것과 비교하면 본 연구에서 저온습윤 처리에 의한 제비동자꽃 종자의 발아 향상 효과가 굉장히 낮은 것으로 나타났다. 종자는 다양한 환경조건에 의해 발아에 영향을 받는다. 개맥문둥(*Liriope spicata*) 종자의 경우, 10~12월까지 채종한 종자는 11.5~93.2% 범위로 다양하게 발아하였다(Lee et al. 2006). 벌개미취 종자는 가을 채종 후 저장 3개월 미만일 때 특정 온도에서 종자 발아율이 약 30% 미만이었으나, 11개월 이상 저장 시 발아율은 70% 이상 증가하였다(Kim et al. 2010). 본 연구에서 제비동자꽃 종자는 10월에 채종하고 저온(5°C)에 저장된 후 25°C에서 발아시켰으나, Ryu et al.(2017)의 연구에서는 8월에 채종하여 바로 20°C에서 발아시켰다. 제비동자꽃 종자의 저온습윤 처리에 대한 상이한 결과는 채종 및 저장 조건에 따

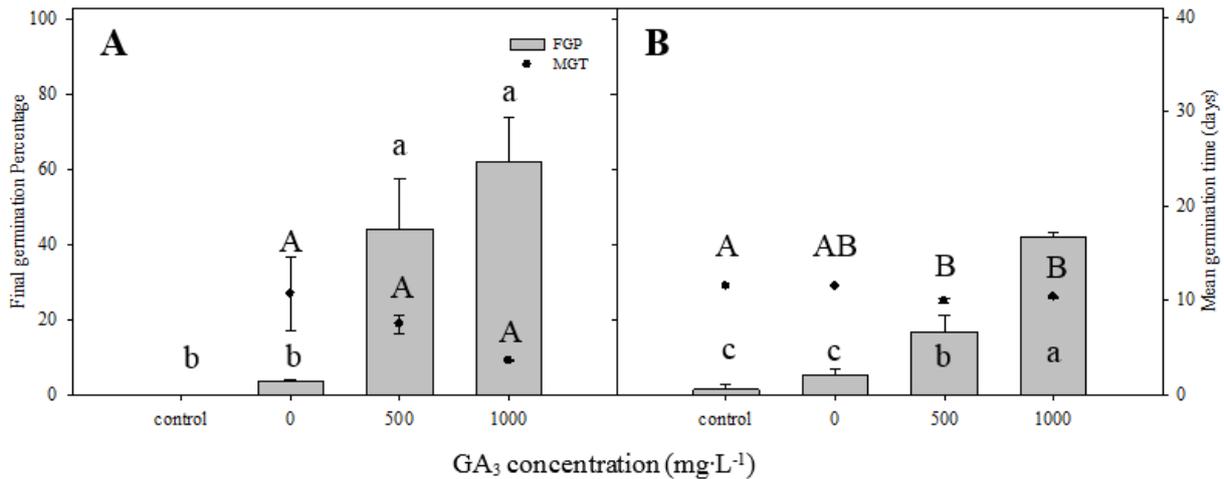


**Fig. 1.** Cumulative germination of *Lychnis wilfordii* seeds as influenced by cold stratification. Error bars represent means  $\pm$  S.E. (n = 3). Values designated by different small letters are significantly different at  $p \leq 0.05$  (Duncan's multiple range test).

른 영향으로 추정된다.

Non-deep PD 휴면 유형의 종자들은 ABA와 GA의 양적 변화, 민감도 등에 의해 발아가 조절된다(Baskin and Baskin 2004; Finch-Savage and Leubner-Metzger 2006). 종자에 인위적으로 처리한  $GA_3$ 는 발아율을 증가시키거나 발아를 촉진시킨다(Kim et al. 2016). 본 연구에서 제비동자꽃 종자는 무처리구와  $GA_3$   $0mg \cdot L^{-1}$  처리구에서 거의 발아하지 않았다(Fig. 2A). 그러나  $GA_3$   $500, 1000mg \cdot L^{-1}$  처리구에서 각각 약 44, 62% 발아하였다. 또한  $GA_3$   $0, 500, 1000mg \cdot L^{-1}$  처리구에서 평균발아일수는  $GA$  농도가 증가함에 따라 수치상으로는 감소하였으나, 통계적 유의성은 없었다. 제비동자꽃 종자의 발아율은  $GA_3$  농도가 증가할수록 향상되었다. 발아율에서  $GA_3$   $500mg \cdot L^{-1}$  이상의 처리구가 무처리구와  $GA_3$   $0mg \cdot L^{-1}$  처리구와 비교하여 유의한 차이를 나타낸 것으로 보아, 제비동자꽃 종자의 발아 향상 효과는 종자의 수분 흡수에 의한 것이 아닌  $GA_3$ 에 의한 것으로 판단된다. 또한 Ryu et al.(2017)에 의하면 0, 100,  $1000mg \cdot L^{-1}$   $GA_3$  용액에 처리한 제비동자꽃 종자는 광조건, 20°C에서 발아율이 각각 0, 0, 56.3%이었으며, Bae et al.(2014)의 연구 결과에서는 0,  $100mg \cdot L^{-1}$   $GA_3$  처리 종자가 광조건, 25°C에서 각각 약 20, 46% 발아하였다. 제비동자꽃 종자는 20°C보다는 25°C에서 발아가 향상되는 것으로 보이며, 발아 온도가 높아져도 종자 전처리 없이는 발아가 촉진되지 않는 것을 알 수 있다.

온도, 습도, 광조건 등이 유동적인 환경에서도 제비동자꽃 종자의  $GA_3$  처리 효과가 유지되는지 알아보기 위해 비닐온실



**Fig. 2.** Final germination percentage (FGP) and mean germination time (MGT) of *Lychnis wilfordii* seeds as influenced by GA<sub>3</sub> treatment at 25°C (A) or under greenhouse conditions (B) for 20 days. Error bars represent means ± S.E. (n = 3). Values designated by different small letters (for FGP) and capital letters (for MTG) are significantly different at  $p \leq 0.05$  (Duncan's multiple range test).

에서 발아 실험을 수행하였다. GA<sub>3</sub> 처리를 한 제비동자꽃 종자는 챔버 실험 결과와 비슷한 경향을 보였다(Fig. 2B). 챔버 실험 결과와 비교하여 발아율이 다소 감소하였지만, 무처리, GA<sub>3</sub> 0, 500, 1000mg·L<sup>-1</sup> 처리구에서 각각 2.2, 5.3, 16.7, 42% 발아하였다. 평균발아일수는 무처리, GA<sub>3</sub> 0, 500, 1000mg·L<sup>-1</sup> 처리구에서 각각 11.5, 11.5, 9.9, 10.4일로 나타났다. 비닐온실 환경에서도 GA<sub>3</sub> 농도가 증가할수록 제비동자꽃의 종자 발아율은 증가되었다.

효과적인 종자 번식을 위해서는 다양한 환경조건에 무관하게 발아율이 유지되어야 한다. 따라서 제비동자꽃 종자는 저온습윤 처리보다 GA<sub>3</sub> 처리가 종자 전처리 방법으로 더욱 안정적이라고 생각된다.

프라이밍 처리는 효과적이고 균일한 발아 촉진을 위해 상업용 종자에 이용되는 대규모 종자 전처리 기술로 야생식물 종자에도 그 이용 범위를 확대해가고 있다(Paparella et al. 2015). 효과적인 프라이밍 처리 조건은 종자마다 다르다. 자생 속은 노루오줌 [*Astilbe koreana* (Kom.) Nakai] 종자의 경우, 무처리구와 비교하여 KCl-프라이밍 처리는 발아를 오히려 감소시켰으나, KNO<sub>3</sub>-프라이밍 처리는 약 37% 증가시켰다(Jang et al. 2016). 반면, *Nigella sativa* 종자는 NaCl-프라이밍 처리가 KNO<sub>3</sub>와 CaCl<sub>2</sub>-프라이밍 처리보다 발아와 초기 생육에 더욱 효과적이었다(Gholami et al. 2015). 제비동자꽃 종자 발아 향상을 위한 프라이밍 처리 조건을 선별하기 위해 NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, KCl, KNO<sub>3</sub>을 각각 0.1M과 0.2M 농도로 처리하였다. 그 결과, 무처리구

**Table 1.** Final germination percentage (FGP) and mean germination time (MGT) of *Lychnis wilfordii* seeds as affected by different priming treatments.

Chemicals	Concentrations (M)	FGP	MGT (days)
Control	- <sup>z</sup>	12.0 c <sup>y</sup>	4.10 a
	0.0	41.3 ab	4.10 a
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	0.1	48.0 ab	4.00 a
	0.2	46.0 ab	4.00 a
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	0.1	40.0 ab	4.00 a
	0.2	32.0 bc	4.00 a
KCl	0.1	34.7 ab	4.13 a
	0.2	43.0 ab	4.00 a
KNO <sub>3</sub>	0.1	37.3 ab	4.13 a
	0.2	54.7 a	4.00 a

<sup>z</sup>The hyphen (-) indicated that no information was available for this field.

<sup>y</sup>The different letters are significantly different ( $p \leq 0.05$ ) using Tukey's studentized range test (n = 3).

(12.0%)에 비해 0.2M KNO<sub>3</sub> 프라이밍 처리가 54.7%로 가장 높은 발아율을 나타냈다(Table 1). 평균발아일수는 약 4.0일로 처리 간의 통계적 유의성은 발견되지 않았으나 1주일 내로 발아가 원활하게 이뤄지는 것을 알 수 있다. KNO<sub>3</sub>는 프라이밍 삼투조절제로 가장 많이 이용되며, 특히 질산염은 종자 내로 흡수되어 항산화 효소와 배의 대사작용을 활성화시킨다(Lara et al. 2014). 또한 흡수된 질산염은 종자의 영양분으로 이용되고 발아에 관여하는 ABA와 GA 조절에 영향을 준다고 한다(Duermeyer et al. 2018; Hamidi and Pirasteh-Anosheh 2013). 24시간 0.2M KNO<sub>3</sub>-프라이밍 처리는 제비동자꽃 종자를 대량으로 발아 촉진시키기 위한 기술로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

이상의 결과, 제비동자꽃 종자는 저온습윤 8주 처리에 의해 발아가 향상되었으나, 12주 이상의 처리는 오히려 발아가 감소됨을 알 수 있었다. 안정적인 종자 전처리를 위해 저온습윤 처리보다는 24시간 GA<sub>3</sub> 1000mg·L<sup>-1</sup>, 또는 0.2M 농도의 KNO<sub>3</sub>-프라이밍 처리를 추천한다. 본 연구는 제비동자꽃의 종자 대량번식 기술 개발에 유용한 자료가 될 것으로 생각된다.

## 초 록

본 연구는 제비동자꽃의 대량번식을 위한 효과적인 발아 조건을 선별하고자 수행되었다. 제비동자꽃 종자는 저온습윤 처리(5°C, 0, 4, 8, 12, 16주), GA<sub>3</sub> 처리(0, 500, 1000mg·L<sup>-1</sup>), 프라이밍 처리(0.1M, 0.2M의 NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, KCl, KNO<sub>3</sub>)를 하였다. 모든 종자는 25°C, 12시간 광조건(40μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>)에서 발아 실험이 진행되었으며, GA<sub>3</sub> 처리구는 비닐온실(평균 23.4°C)에서도 비교실험이 진행되었다. 저온습윤 8주 처리구에서 20.4%로 가장 높은 발아율을 나타냈으며, 12주 이상의 저온습윤 처리는 오히려 제비동자꽃의 발아율을 감소시켰다. GA<sub>3</sub> 0, 500, 1000mg·L<sup>-1</sup> 처리된 종자는 25°C에서 각각 3.3, 44.0, 62.0%, 비닐온실에서 각각 5.3, 16.7, 42% 발아하였다. 제비동자꽃 종자는 GA<sub>3</sub> 농도가 높아질수록 발아율이 증가하였다. 또한 제비동자꽃 종자는 0.2M KNO<sub>3</sub>-프라이밍 처리구에서 가장 높은 발아율(54.7%)을 나타냈으며, 평균발아소요일수는 처리 간 유의성을 보이지 않았다. 이상의 결과로 효과적인 제비동자꽃 종자 번식을 위한 전처리 조건으로 24시간 GA<sub>3</sub> 1000mg·L<sup>-1</sup> 침지 처리 또는 0.2M-KNO<sub>3</sub> 프라이밍 처리를 추천한다.

**추가 주요어:** 질산칼륨, 대량번식, 자생식물, 관상식물, 종자 발아

## 사 사

이 논문은 2020학년도 서울여자대학교 교내연구비(2020-0197)의 지원을 받았다.

## References

- Bae KH, Lee MH, Choi YE, Yoon ES (2014) Callus induction and plant regeneration of *Lychnis wilfordii* (Regel) Maxim a critically endangered plant in Korea. J Plant Biotechnol 41:33-37 DOI: 10.5010/JPB.2014.41.1.33
- Bae KH, Yoon ES (2015) Seed germination and in vitro plant regeneration through callus culture of two *Lychnis* species. Plant Tissue Cult Biotech 25:1-12 DOI: 10.3329/ptcb.v25i1.24110
- Baskin CC, Baskin JM (2014) Seeds: Ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination, 2nd ed, Academic Press, San Diego, CA, USA
- Baskin JM, Baskin CC (2004) A classification system for seed dormancy. Seed Sci Res 14:1-16 DOI: 10.1079/SSR2003150
- Chen L, Wang Y, XU C, Zhao M, Wu J (2006) In vitro propagation of *Lychnis senno* Siebold et Zucc., a rare plant with potential ornamental value. Sci Hort 107:183-186 DOI: 10.1016/j.scienta.2005.09.002
- Cho JS, Jang BK, Lee CH (2018) Seed dormancy and germination characteristics of the endangered species *Cicuta virosa* L. in South Korea. Hort Environ Biotechnol 59:473-481 DOI: 10.1007/s13580-018-0062-7
- Duermeyer L, Khodapanhi E, Yan D, Krapp A, Rothstein SJ, Nambara E (2018) Regulation of seed dormancy and germination by nitrate. Seed Sci Res 28:150-157 DOI: 10.1017/S096025851800020X
- Ellis RH, Roberts EH (1981) The quantification of ageing and survival in orthodox seeds. Seed Sci Technol 9:373-409
- Finch-Savage WE, Leubner-Metzger G (2006) Seed dormancy and the control of germination. New Phytol 171:501-523 DOI: 10.1111/j.1469-8137.2006.01787.x
- Geneve RL (2003) Impact of temperature on seed dormancy. HortScience 38:336-341 DOI: 10.21273/HORTSCI.38.3.336
- Gholami M, Mokhtarian F, Baninasab B (2015) Seed halopriming improves the germination performance of black seed (*Nigella sativa*) under salinity stress conditions. J Crop Sci Biotechnol 18:21-26 DOI: 10.1007/s12892-014-0078-1
- Hamidi R, Pirasteh-Anosheh H (2013) Comparison effect of different seed priming methods on sunflower germination and seedling growth. Intl J Agron Plant Prod 4:1247-1250 DOI: 10.20546/ijcmas.2017.612.388
- Jang BK, Cho JS, Lee CH (2016) Effect of environmental

- conditions and chemical treatments on seed germination of *Astilbe koreana* (Kom.) Nakai, Korean J Plant Res 29:235-240 (in Korean) DOI: 10.7732/kjpr.2016.29.2.235
- Kim HJ, Jung HH, Kim KS (2010) Influence of dry storage duration, gibberellic acid, and priming on germination of *Aster koraiensis* at low temperature. Hort Environ Biotechnol 51:471-576
- Kim HJ, Lee KC, Kim HJ, Kim YJ (2016) Seed germination response to temperature, cold stratification period, and gibberellin treatment in *Spiraea fritschiana*. Korean J Hortic Sci Technol 34:557-563 DOI: 10.12972/kjhst.20160057
- Lara TS, Lira JMS, Rodrigues AC, Rakocevic M, Alvarege AA (2014) Potassium nitrate priming affects the activity of nitrate reductase and antioxidant enzymes in tomato germination. J Agri Sci 6:72-80 DOI: 10.5539/jas.v6n2p72
- Lee BC, Son SW, Kim SS, Yang HH (2012) Rare plants in Korea. Korean National Arboretum, Korea, p 251 (in Korean)
- Lee TB (2003) Coloured flora of Korea. Hyangmunsa, Seoul, Korea, pp 320-322 (in Korean)
- Lee CH, Lee J, Kim KS (2006) Change of phenolic compounds and abscisic acid in *Liriope spicata* seeds according to cold stratification and seed harvesting date and their relationships to germination. Hort Environ Biotechnol 47:34-40
- Lee SY, Rhie YH, Kim KS (2015) Non-deep simple morphophysiological dormancy in seeds of *Thalictrum rochebrunianum*, an perennial herb in the Korea peninsula. Hort Environ Biotechnol 56:366-375 DOI: 10.1007/s13580-015-0150-x
- NIBR (2018) Endangered wildlife. Ministry of Environment, Incheon, Korea, pp 520-521
- Nikolaeva MG (1977) Factors controlling the seed dormancy pattern. In: Khan AA (ed) The physiology and biochemistry of seed dormancy and germination. North-Holland, Amsterdam, The Netherlands, pp 51-74
- Oxelmann B, Liden M, Rabeler RK, Popp M (2000) A revised generic classification of the tribe Sileneae (Caryophyllaceae). Nord J Bot 20:743-748 DOI: 10.1111/j.1756-1051.2000.tb00760.x
- Paparella S, Aratijo SS, Rossi G, Wijayasinghe M, Carwoner D, Balestrazzi A (2015) Seed priming: state of the art and new perspectives. Plant Cell Rep 34: 1281-1293 DOI: 10.1007/s00299-015-1784-y
- Parera CA, Cantliffe DJ (1994) Presowing seed priming. Hort Rev 16:109-141
- Ryu SH, Rhie YH, Lee SY, Ko CH, Lee JH, Lee HJ, Lee KC (2017) Effect of after-ripening, cold stratification, and GA<sub>3</sub> treatment on *Lychnis wilfordii* (Regel) Maxim, seed germination. Hort Sci Technol 25:525-533 (in Korean) DOI: 10.12972/kjhst.20170057
- Yamauchi Y, Ogawa M, Kuwahara A, Hanada A, Kamiya Y, Yamaguchi S (2004) Activation of gibberellin biosynthesis and response pathways by low temperature during imbibition of *Arabidopsis thaliana* seeds. The Plant Cell 16:367-378 DOI: 10.1105/tpc.018143