

늘어진장대(*Arabis pendula* L.) 종자의 형태적 특성 및 발아조건

신소림, 임윤경, 권혁준, 김유리, 김수영*

국립생물자원관

Morphological Characteristics and Germination Conditions of Seeds in *Arabis pendula* L.

So Lim Shin, Yun Kyung Lim, Hyuk Joon Kwon, Yu Ri Kim and Soo-Young Kim*

National Institute of Biological Resources, Incheon 22689, Korea

Abstract - This study aimed to investigate the morphological characteristics and optimal germination conditions in seeds of *Arabis pendula* L., a traditionally edible and medicinal plant. The external seed shape was circular-obovate with narrow wings and dark brown. The seed length and width were 1.25 mm and 1.47 mm, respectively. The seeds were exalbuminous and the embryo was a bent type. Seed germination was the highest (49.7%) at 20°C under dark conditions among the various temperature and light conditions applied. However, under the dark condition, the seedling was weak, overgrown, and the cotyledons were small and folded. To improve the germination and growth of seedlings, the seeds were pre-treated with GA₃ solutions of varying concentrations (0, 200, 500, and 1,000 mg/L). The seed germination and seedling growth were effectively improved by GA₃ pre-treatment. The germination rate was the highest (97.3%), mean germination time was the shortest (8.1 days), and a vigorous growth of seedlings was observed upon pre-soaking the seeds in 500 mg/L GA₃ solution. In conclusion, the best method for germination was pre-soaking in 500 mg/L GA₃ (4°C, dark, 24 h) and incubating the seeds at 20°C for 15 days.

Key words - Brassicaceae, Dark germination, Gibberellic acid, Tetrazolium test

서 언

늘어진장대(*Arabis pendula* L.)는 십자화과 장대나물속의 다년생 초본으로, 우리나라 중부 이북의 산과 들의 습한 곳에서 자라며, 국외에서는 러시아, 몽골, 일본, 중국, 유럽에 분포한다(Lee, 1996). 국내 자생하는 장대나물속 식물은 갯장대, 늘어진장대, 뿔장대, 바위장대, 산장대, 섬장대, 자주장대나물, 장대나물, 주걱장대, 참장대나물, 털장대 및 흰장대나물 등 총 12종이 있으며(NIBR, 2011), 이 중 식용식물은 3종(늘어진장대, 장대나물 및 털장대)(MFDS, 2016)이고, 약용식물은 늘어진장대뿐이다(Moon, 1999). 늘어진장대의 어린 잎은 식용으로 먹을 수 있으며, 민간에서 전초를 달여 위염, 여성질환, 두통, 관절염, 해독 및 해열에 사용해왔다(Moon, 1999). 중국에서는 늘어진장대

미숙과를 수과남개(垂果南芥)라 하여 청열(淸熱), 해독(解毒) 및 소종(消腫)에 효과가 있고 특히 부기를 가라앉히고 피부溃양, 부스럼, 종기의 치료에 사용한다(NBTCMEB, 1999). 또한 수과남개를 달여 결절종의 치료약으로 사용하거나, 수과남개와 형개, 만형자, 익모초, 등굴레, 쑥을 함께 곱게 분쇄한 후 달여 질염(특히 *Trichomonas*에 의한 질염)의 치료에 사용하고 있다(NUTCM, 2006).

최근 천연물 유래 약리물질 탐색 연구가 증가하면서 야생식물의 유용 생리활성에 관한 연구 및 이를 이용한 천연물신약개발 등 산업화가 증가하고 있는데(Yoo *et al.*, 2016), 식물 소재를 산업화하기 위해서는 반드시 대량 증식 방법이 확립되어야 한다. 초본식물은 주로 종자로 증식하는데, 늘어진장대와 같은 야생종자는 재배작물에 비해 강한 휴면상태인 경우가 많으므로 발아효율이 낮으며, 상대적으로 복잡한 휴면체계를 가지고 있어 발아효율이 낮기 때문에 효율적 증식 방법에 어려움이 많다

*교신저자: sy7540@korea.kr

Tel. +82-32-590-7111

(Koorneef *et al.*, 2002). 따라서 야생식물을 산업적으로 재배하기 위해서는 발아율을 높이고, 짧은 기간 안에 발아될 수 있는 발아조건을 확립하여 입묘과정에서 빠르게 적정 입묘율을 확보할 수 있는 방법이 개발되어야 한다(Kim *et al.*, 2014).

늘어진장대는 민간에서 식·의약 소재로 활용해 왔지만, 발아 및 증식에 대한 체계적인 연구는 보고된 바 없다. 우리나라에서는 장대나물속 식물의 발아 및 재배에 대한 연구가 보고된 바 없지만, 해외에서는 일부 *Arabis*속 종자의 휴면유형과 발아에 대해 보고되었다. *Arabis laevigata*의 종자는 저온층적처리에 의하여 휴면타파가 가능한 생리적 휴면(Physiological dormancy, PD)이며, 5°C에서 10주 저온층적처리하여 20/10°C의 변온조건에 파종했을 때 발아가 가장 왕성하였다(Bloom *et al.*, 1990). 한편 *A. hirsuta*, *A. scabra* 및 *A. glabra* 종자는 전처리 없이 10~20°C에서 80% 이상 발아하였고, *A. petraea*는 23/9°C의 변온조건에서 90% 발아하는 것으로 보고되었다(MSB, 2016). 따라서 *Arabis*속 종자는 비교적 저온에서 발아가 왕성하지만 종에 따라 발아적온이 다르며, 휴면의 유무도 다르므로 각 종에 적합한 발아 및 증식조건을 확립할 필요가 있다.

본 연구는 우리나라에서 자생하는 늘어진장대의 종자를 이용한 효율적 증식방법 확립을 위해 종자의 형태적 특성 관찰과 활력 검정을 수행하였으며, 발아율과 발아효율을 증가시킬 수 있는 적정 발아온도와 지베렐린 처리농도 등 최적 발아조건을 규명하고자 수행되었다.

재료 및 방법

실험재료

연구재료로 사용된 늘어진장대 종자는 2013년 9월에 강원도 태백시에서 채집되었고, 파쇄립, 저질, 병충해립, 감염립, 이물질 등을 제거하여 건조실(15°C, 10%)에서 수분함량 5~10% 미만으로 건조 후 밀봉하여 국가야생식물종자은행 증기수장고(4°C, 상대습도 40%)에 보존 후 연구에 사용하였다.

종자의 형태학적 특성 및 활력검증

종자 형태는 해부현미경(SMZ1500, Nikon, Tokyo, Japan)으로 관찰하였다. 종자의 외부 형태를 디지털카메라(DS-RiI, Nikon, Tokyo, Japan)로 촬영하였고, 이미지 분석 프로그램(NIS-Elements BR 3.10 software, Nikon GmbH, Vienna, Austria)을 이용하여 무작위 선발한 종자 20립의 길이와 너비를 측정하여 평균과 표준오차를 구하였다. 종자의 천립중은 종자

계수기(Contador, Pfeuffer GmbH, Waldenburg, Germany)로 계수한 후 정밀전자저울(MS1003S, Mettler Toledo GmbH, Greifensee, Switzerland)로 무게를 3회 반복 측정하여 평균과 표준오차를 구하였다.

종자의 활력은 국제종자검정협회(International Seed Test Associate)의 Tetrazolium Test (이하, TZ 테스트) 방법을 응용하여 검증하였다(ISTA, 2014). 늘어진장대 종자 상단에 단면도(Single edge blades DN-52, Dorco, Korea)로 얇은 칼집을 내고 멸균수에 침지한 후(20°C, 18시간), 1%의 2, 3, 5-Triphenyl tetrazolium chloride (T8877, Sigma Chemical Co., St. Louis, MO., USA) 용액에 넣어 30°C에서 18시간동안 침지 후 종단면을 잘라 해부현미경(SMZ1500, Nikon, Tokyo, Japan)으로 종자 내부 배의 염색 정도와 상태를 관찰하여 활력을 판단하였다.

종자 발아 특성 분석

종자는 파종 전 70% 에탄올을 넣고 30초 흔들어 준 다음 에탄올과 이물질을 제거하고 2%의 NaOCl을 넣어 10분 동안 소독 후 멸균수로 5회 수세(1회 당 1분 이내)하고 멸균수를 제거하여 침지처리에 사용하였다. 침지처리는 연구목적에 따라 침지용액을 멸균수 또는 GA₃ 희석액으로 달리하였으며, 저온저장고(NRD-450RF, Lassele, Ansan, Korea)에서 침지처리(4°C, 암조건, 24시간)하였다. 침지처리 후 침지용액을 모두 제거하고 종자를 멸균수로 1회 수세하여 파종하였다. 파종은 종자 50립을 무작위 선발하여 여과지(Whatman No. 2, Whatman Ltd., Kent, England)를 넣은 페트리디쉬(10090, SPL Life Science Co., Pocheon, Korea) 내에 치상하였으며, 이를 3반복으로 수행하였다. 종자 발아는 4실 배양기(WIM-R4, Daihan Labtech, Namyangju, Korea)에서 수행하였으며, 배양기는 광주기 24시간으로 명조건(100 μmol·m⁻²·s⁻¹, Fluorescent) 또는 배양기에 조명을 하지 않은 암조건으로 설정하였다.

늘어진장대 종자의 발아적온 및 온도별 발아특성을 규명하고자 종자를 멸균수에 침지처리 후 파종하여 각기 다른 온도조건(15, 20, 25, 30°C)의 명조건에서 30일 동안 발아연구를 수행하였다.

종자 발아에 영향을 미치는 광조건을 규명하기 위하여 멸균수에 침지처리한 종자를 파종하여 20°C의 명조건 또는 암조건에서 30일 동안 발아연구를 수행하였다.

식물생장조절물질 중 하나인 GA₃의 발아촉진 효과를 연구하기 위하여 소독된 종자를 각기 다른 농도의 GA₃ 희석액(0, 200, 500 및 1,000 mg/L)에 침지처리 후 20°C의 광조건에서 발아연구

를 수행하였다.

종자 파종 후 2~3일 간격으로 발아 상태를 조사하였으며, 발아율(Germination percentage, GP), 평균발아소요일수(Mean germination time, MGT), 발아속도지수(Germination speed index, GSI), 발아균일도(Germination uniformity, GU)와 T₅₀ (파종 후 최종 발아율에 대한 50% 발아까지 도달하는데 소요되는 기간)을 아래와 같은 공식을 이용하여 구한 후 발아 특성을 분석하였다(Coolbear *et al.*, 1984; Gavassi *et al.*, 2014).

$$GP = (\sum n/N) \times 100$$

$$MGT = \sum(Tx \times Nx) / \sum n$$

$$GSI = \sum(Nx/Tx)$$

$$GU = \sum[MGT - Tx]^2 \times Nx / (\sum n - 1)$$

$$T_{50} = Ti + [(N/2) - ni] (Tj - Ti) / (nj - ni)$$

N: 총 치상한 종자 수, n: 발아 수, Tx: 치상 후 조사일수, Nx: 조사 당일 발아 수, Ti: ni까지 소요된 기간, Tj: nj까지 소요된 기간, ni: 최종 발아율 대비 50% 미만까지의 누적 발아 수, nj: 최종 발아율 대비 50% 초과된 누적 발아 수

통계처리

연구에 사용된 소독된 종자는 50립씩 무작위 선발하여 치상하였으며, 3반복으로 발아 실험을 수행하였다. Microsoft™ Office Excel 2007 (Microsoft Corporation, Redmond, WA, USA)을 사용하여 평균과 표준오차를 구하고, 통계프로그램 (Statistical Analysis System version 9.2, SAS Institute, Cary, NC., USA)을 이용하여 ANOVA (Analysis of variance) 및 DMRT (Duncan's multiple range test)를 수행하였으며, 5% 유의수준에서 각 처리간의 유의성을 비교하였다.

결과 및 고찰

종자의 형태학적 특성 및 활력검증

늘어진장대 종자는 원형~계란형(circular ~ obovate)에 날개가 붙어있는 형태였으며, 종피는 진갈색이다(Fig. 1A). 크기는 길이 1.25±0.020 mm, 너비 1.47±0.011 mm이고, 천립중은 320.96±8.151 mg이었다. 종자의 단면을 확인한 결과, 배는 굴곡형(bent type)이었으며, 무배유종자로 TZ 테스트에서 모두 배가 전체적으로 붉은색으로 염색되었고 배의 성숙과 발달 상태가 매우 양호하여 활력이 있는 것으로 판단되었다(Fig. 1B).

발아적온 및 온도조건에 의한 발아특성

늘어진장대 종자는 종피가 열개된 후 유근이 먼저 돌출하는 유형으로 발아하였다(Fig. 2). 명조건(24시간)에서 온도조건을 달리하여 실험한 결과, 20℃에서 가장 먼저 발아가 시작되었다. 발아는 파종 5일 후부터 시작되었으며, 발아율은 3.9%였으며, 최종 발아율 또한 20℃에서 가장 높았으며, 파종 16일 후 27.4% 발아되었다(Fig. 3). 최종 발아율은 20℃와 25℃에서 통계적으로 유의차가 없었으나, 20℃에서 발아소요기간이 가장 짧고, 발아속도가 가장 빠르며, 발아균일도가 낮았다. 발아가 빨라져 전체적인 발아일수가 짧아지고 발아균일도가 낮아지는 경우에는 파종포지에서 효율적인 생산관리가 가능하므로(Jeon *et al.*, 2013), 발아효율을 고려하여 늘어진장대의 발아적온을 20℃로 판단하였다(Table 1).

온도는 종자 발아율 및 발아속도에 영향을 미치는 중요한 요인으로(Washitani, 1985; Phartyal *et al.*, 2003), 종자는 일반적으로 15~30℃의 범위에서 발아하는 것으로 알려져 있고 야생식물은 재배종보다 발아적온이 낮은 경향을 보이는 것으로 보고되어 있다(Copeland and McDonald, 2001). 본 연구에서

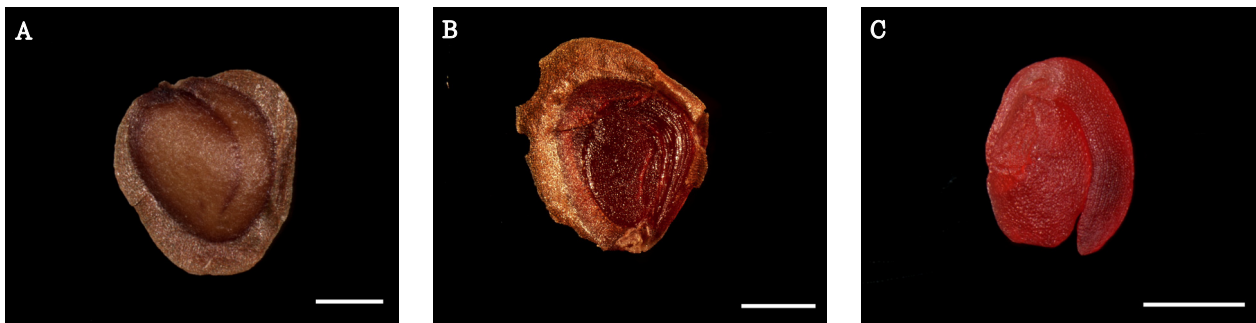


Fig. 1. Seed morphology and viability by tetrazolium test of *Arabis pendula*. (A) Seed morphology, Bar, 0.5 mm, (B) Median longitudinal section through the seed after TZ test, (C) Tetrazolium-stained embryo. All bars = 0.5 mm.

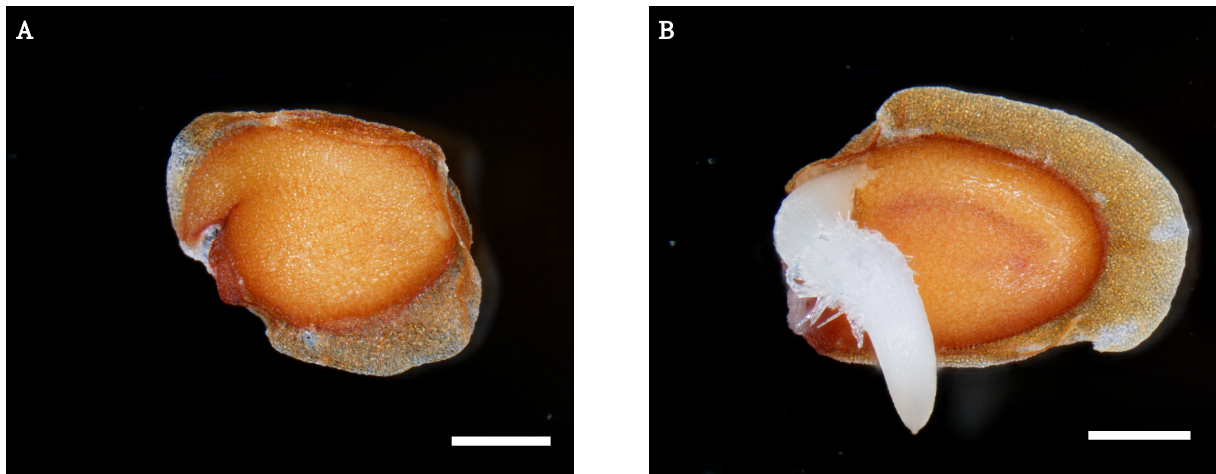


Fig. 2. Seed germination of *A. pendula*. (A) Sowing after 7 days at 20°C with water pre-treatment, (B) Sowing after 7 days at 20°C with GA3 500 mg/L pre-treatment. All bars = 0.5 mm.

Table 1. Effects of temperature on the seed germination percentage, time, speed and uniformity in *A. pendula*

Temperature (°C)	GP ^z (%)	MGT ^y (day)	GSI ^x	GU ^w	T ₅₀ ^v (day)
15	N.G ^u	N.G	N.G	N.G	N.G
20	27.3 a ^l	9.8 b	3.2 a	12.5 b	9.3 b
25	26.7 a	12.1 a	2.7 b	20.7 a	12.0 a
30	16.0 b	10.3 b	1.8 c	13.2 b	9.1 b

^zGP: Germination percentage of 20 days after sowing.

^yMGT: Mean germination time.

^xGSI: Germination speed index.

^wGU: Germination uniformity.

^vT₅₀: The time to 50% of final germination.

^uNG: Not germinated.

^lData represent the means ± S.D (n=3). Different letters are significantly different according to Duncan's Multiple Range Test ($p < 0.05$).

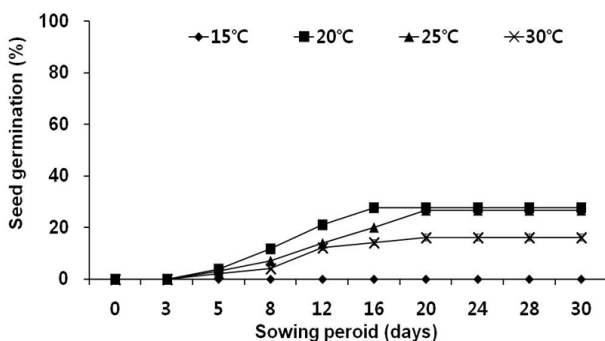


Fig. 3. Effect of temperature on the germination of *A. pendula* under continuous fluorescent light for 30 day. Bars represent means±SD, n=3 replicates, each with 50 seeds.

늘어진장대는 저온(15°C)에서는 발아하지 않았으며, 20~25°C에서 발아율이 높았으나 발아속도는 20°C에서 가장 빠르고 온도가 상승할수록 발아속도는 낮아지는 것으로 나타났다.

광조건에 따른 발아율 및 발아특성

광조건에 의한 늘어진장대 종자의 발아특성을 확인하고자 20°C에서 파종 후 24시간 광조건 또는 암조건에서 발아특성을 분석하였다. 늘어진장대 종자는 암조건에서 발아율이 높았으며, 특히 파종 5일에서 10일 사이에 다수의 종자가 발아되었다 (Fig. 4). 암조건을 최종 발아율은 49.7%로 명조건보다 발아율이 1.8배 높았다. 특히 암조건에서는 발아 속도가 높고 종자가

Table 2. Effects of light on the seed germination percentage, time, speed and uniformity in *A. pendula*

	GP ^z (%)	MGT ^y (day)	GSI ^x	GU ^w	T ₅₀ ^v (day)
Light	27.0 a ^u	9.8 a	3.2 b	12.5 a	8.5 a
Dark	49.7 b	8.0 b	6.9 a	6.6 b	6.5 b

^zGP: Germination percentage of 20 days after sowing.

^yMGT: Mean germination time.

^xGSI: Germination speed index.

^wGU: Germination uniformity.

^vT₅₀: The time to 50% of final germination.

^uData represent the means ± S.D (n=3). Different letters are significantly different according to Duncan's Multiple Range Test ($p < 0.05$).

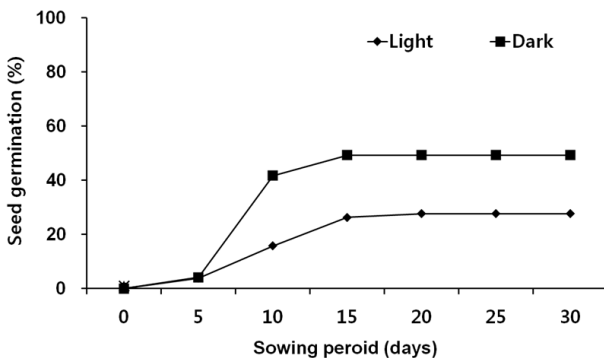


Fig. 4. Effect of light on the germination of *A. pendula*. Bars represent means ± SD, n=3 replicates, each with 50 seeds.



Fig. 5. The seedling of *A. pendula* grown under light (left) and dark conditions (right) at 20°C sowing after 10 days. In dark conditions, seedling showed long and emaciated stems with tiny yellow cotyledon. Bar, 5 mm.

짧은 기간에 동시에 발아하여 발아효율이 우수한 것으로 확인되었다(Table 2). 그러나 발아된 유묘의 줄기가 길고 가늘게 웃자랐으며, 자엽 크기가 명조건에서 자란 종자보다 작아 유묘의 생육이 비정상적인 것으로 판단되었다(Fig. 5).

일반적으로 야생종자는 호광성으로 알려져 있으나(Park and Chung, 1996), 식물 종에 따라 발아에 필요한 광 요구도가 다르며 일부 야생종자 및 다수의 재배종은 광조건에 노출될 경우 발아가 억제되는 것으로 보고되어 있다(Rollin, 1972). 광에 의해 발아가 억제되는 혐광성 종자는 GA₃ 처리를 통해 광조건에서 발아율이 회복되기도 하는데(Chen and Chang, 1972; Macchia *et al.*, 2001; Yamaguchi and Kamiya, 2002), 본 연구에서는 늘어진장대 종자의 GA₃ 처리를 통한 발아율 및 발아효율 향상을 확인하고자 GA₃ 처리 농도를 달리하여 발아시험을 수행하였다.

GA₃처리에 의한 발아촉진 및 발아특성

Gibberellic acid (GA₃)는 종자 휴면을 제어하고 발아를 유도하는 주요 호르몬으로(Iglesias and Babiano, 1997), 종자 내 가수분해효소인 α-amylase 활성을 증진시켜 배의 발달을 촉진하고 발아를 유도하는 것으로 알려져있다(Abeles, 1986; Kim *et al.*, 2009; Kim and Lee, 2013). GA₃에 의해 발아가 촉진되는 종자의 유형으로는 광발아종자, 암발아종자, 층적처리가 필요한 종자 및 후숙이 필요한 종자 등 다양한 유형의 종자가 GA₃에 의해 발아가 촉진되며(Chen and Chang, 1972), GA₃의 발아촉진 효과는 예냉처리를 동시에 처리했을 때 상승하는 것으로 알려져 있다(Bretzlöff and Pellett, 1979).

늘어진장대 종자를 24시간 동안 다양한 농도의 GA₃ 희석액 (0, 200, 500, 1,000 mg/L)에 침지 후(4°C, 암조건) 파종한 결과,

Table 3. Effects of gibberellic acid (GA₃) treatment on the seed germination percentage, time, speed and uniformity in *A. pendula*

GA ₃ (mg/L)	GP ^z (%)	MGT ^y (day)	GSI ^x	GU ^w	T ₅₀ ^v (day)
0	27.4 d ^u	9.8 a	3.3 d	12.5 a	8.3 a
200	61.7 c	8.5 b	6.8 c	8.2 b	8.8 a
500	97.3 a	8.1 b	13.6 a	7.8 b	6.6 b
1,000	85.0 b	8.4 b	12.0 b	11.7 a	7.6 ab

^zGP: Germination percentage of 20 days after sowing.

^yMGT: Mean germination time.

^xGSI: Germination speed index.

^wGU: Germination uniformity.

^vT₅₀: The time to 50% of final germination.

^uData represent the means ± S.D (n=3). Different letters are significantly different according to Duncan's Multiple Range Test ($p < 0.05$).

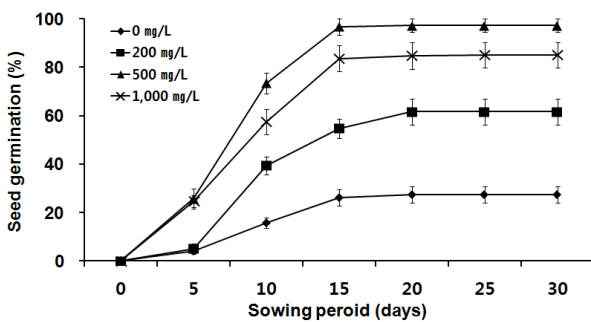


Fig. 6. Effect of GA₃ on the germination of *A. pendula*. Bars represent means ± SD (n=3), each with 50 seeds.

GA₃ 처리에 의하여 발아세와 발아율이 증가되었으며, GA₃ 500 mg/L에서 최종 발아율이 97.3%로 가장 높았다(Fig. 6). GA₃ 500 mg/L 처리는 발아속도와 발아동시성도 크게 향상시켰으며, 평균 발아소요기간이 8일 내외로 암조건에 파종했을 때와 같은 기간 동안 2배 이상의 유묘를 생산할 수 있었다(Table 3). 또한 GA₃는 유묘의 자엽 분화 및 뿌리 생육을 촉진하여 유묘의 생육에도 효과적이었다.

GA₃는 대체로 종자발아를 향상시키지만 식물 종과 처리농도에 따라 발아에 미치는 영향이 크게 다르다. 속은노루오줌 (*Astilbe koreana*) 종자와 눈잣나무(*Pinus pumila*) 종자는 GA₃ 침지처리에 의하여 발아가 촉진되어 본 연구와 유사한 경향을 보였다(Lim *et al.*, 2015; Jang *et al.*, 2016). 반면 배풍등 (*Solanum lyratum*) 종자는 저농도(10 mg/L)에서 발아가 촉진되었으나, 처리농도가 증가할수록 발아가 억제되었다(Lee *et al.*, 2014). 따라서 종자 발아율 및 발아속도 증진을 위해서는 각 식

물에 적합한 처리조건과 방법에 따라 적용할 필요가 있다.

본 연구에서 늘어진장대 종자는 종피에 날개가 있는 구형 또는 심방형의 무배유종자이며, 4°C에서 2년 이상 저장하여도 활력이 유지되었다(Fig. 1B, Tables 1-3). 발아적온은 20°C였으며, GA₃ 희석액(500 mg/L)에 침지(암조건, 4°C, 24시간) 후 20°C 광조건에서 파종했을 때 97.3% 발아하여 발아율이 가장 높았으며, 발아속도 또한 향상되어 효율적인 생산관리가 가능할 것으로 판단되었다.

적 요

본 연구는 식의약소재로 활용 가치가 높은 늘어진장대 (*Arabis pendula* L.)의 대량증식을 위한 기초연구로 종자의 형태적 특성과 발아특성을 규명하고, 최적 발아조건을 규명하고자 수행되었다. 늘어진장대 종자는 종피에 날개가 있는 원형으로 색은 진갈색이며, 너비 1.47 mm, 길이 1.25 mm이고, 배는 굴곡형이며 무배유종자이다. 온도와 광조건 실험에서, 종자 발아는 20°C, 암조건에서 가장 우수하였다(49.7%). 그러나 암조건에서는 유묘가 약하고 웃자랐으며, 자엽이 작고 말려있는 특징을 보였다. 종자 발아와 유묘의 생육을 촉진하기 위하여 종자를 다양한 농도의 GA₃ 희석액(0, 200, 500, 1,000 mg/L)에 침지하여 전처리 한 후 파종하였다. 연구 결과, GA₃ 희석액 500 mg/L 처리구에서 종자 발아율이 가장 높고(97.3%), 발아소요기간이 짧았으며(8.1일), 유묘의 생육 또한 왕성하였다. 연구의 결과, 늘어진장대 종자의 최적 발아조건은 GA₃ 500 mg/L 희석액에 침지처리(4°C, dark, 24시간)하여 20°C에 파종하

여 15일 동안 발아시키는 것으로 확인되었다.

사 사

본 연구는 국립생물자원관 “국가 야생식물 종자 확보 및 은행 운영(NIBR201619101)”사업의 지원을 받아 수행되었습니다.

References

- Abeles, F.B. 1986. Role of ethylene in *Lactuca sativa* cv ‘Grand Rapids’ seed germination. *Plant Physiol.* 81:780-787.
- Bloom, C.T., C.C. Baskin and J.M. Baskin 1990. Germination ecology of the facultative biennial *Arabis laevigata* variety *laevigata*. *American Midl. Nat.* 124:214-230.
- Bretzlöff, L.V. and N.W. Pellett. 1979. Effect of stratification and gibberellic acid on the germination of *Carpinus caroliniana* Walt (angiosperm trees). *HortScience* 14:621-622.
- Chen, S.S.C. and J.L.L. Chang. 1972. Does gibberellic acid stimulate seed germination via amylase synthesis?. *Plant Physiol.* 49:441-442.
- Coolbear, P., A. Francis and D. Grierson. 1984. The effect of low temperature pre-sowing treatment on the germination performance and membrane integrity of artificially aged tomato seeds. *J. Experim. Bot.* 35:1609-1617.
- Copeland, L.O. and M. McDonald. 2001. Principles of Seed Science and Technology. Springer Science Business Media LLC, New York, USA. p. 78.
- Gavassi, M.A., G.C. Fernandes, C.C. Monteiro, L.E.P. Peres and R.F. Carvalho 2014. Seed germination in tomato: A focus on interaction between phytochromes and gibberellins or abscisic acid. *American J. Plant Sci.* 5:2163-2169.
- Iglesias, R.G. and M.J. Babiano. 1997. Endogenous abscisic acid during the germination of chickpea seed. *Physiol. Plant* 100:500-504.
- International Seed Testing Association (ISTA). 2014. International Rules for Seed Testing. Chapter 6: The tetrazolium test. International Seed Testing Association. Bassersdorf, Switzerland. pp. 1-25.
- Jang, B.K., J.S. Cho and C.H. Lee. 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).
- Jeon, K.S., K.S. Song, C.H. Kim, J.H. Yoon and J.J. Kim. 2013. Effects of seed pre-treatment and germination environments on germination characteristics of *Ligularia fischeri* seeds. *Protected Hort. Plant Fact.* 22:262-269 (in Korean).
- Kim, D.H., B.J. Ahn, H.J. Ahn, Y.S. Ahn, Y.G. Kim, C.G. Park, C.B. Park, S.W. Cha and B.H. Song. 2014. Studies on seed germination characteristics and patterns of protein expression of *Lithospermum erythrorhizon* by plant growth regulators and seed primings. *Korean J. Med. Crop Sci.* 22:435-441 (in Korean).
- Kim, Y.H. and I.J. Lee. 2013. Influence of plant growth regulator application on seed germination of dandelion (*Taraxacum officinale*). *Weed & Turfgrass Science* 2:152-158 (in Korean).
- Kim, Y.H., M. Hamayun, A.L. Khan, C.I. Na, S.M. Kang, H.H. Han and I. Lee. 2009. Exogenous application of plant growth regulators increased the total flavonoid content in *Taraxacum officinale* Wigg. *African J. Biotech.* 8:5727-5732.
- Koornneef, M., L. Bentsink and H. Hilhorst. 2002. Seed dormancy and germination. *Curr. Opin. Plant Biol.* 5:33-36.
- Lee, S.G., H.Y. Kim and J.J. Ku. 2014. Effects of seed storage methods and GA₃ application on seed germination and seedling growth of *Solanum lyratum* Thunb. *Korean J. Plant Res.* 27:365-370 (in Korean).
- Lee, W.C. 1996. Coloured Standard Illustrations of Korean Plants. Academy Publishing Co., Seoul, Korea. p. 350 (in Korean).
- Lim, H.I., G.N. Kim, K.H. Jang and W.G. Park. 2015. Effect of wet cold and gibberellin treatments on germination of dwarf stone pine seeds. *Korean J. Plant Res.* 28:253-258 (in Korean).
- Macchia, M., L.G. Angelini and L. Ceccarini. 2001. Study on germination characteristics of *Phacelia tanacetifolia* Bentham seeds obtained from different growing seasons. *Italian J. Agron.* 4:61-66.
- Millennium Seed Bank (MSB). 2016. UK germination toolbox. Royal Botanic Gardens, Royal botanic gardens, Kew. <http://www.kew.org/science-conservation/research-data/resources/uk-germination-toolbox> (cited by November 07, 2016).
- Ministry of Food and Drug Safety (MFDS). 2016. Standards and Specifications for Food Contact Materials: Attached Table 1. Osong, Korea. pp. 25-96 (in Korean).
- Moon, G.S. 1999. Constituents and Uses of Medicinal Herbs. Ilweolseogak. Seoul, Korea. p. 322 (in Korean).
- Nanjing University of Traditional Chinese Medicine (NUTCM). 2006. Dictionary of Traditional Chinese Medicine (中药大辞

- 典). Shanghai Science and Technology Press, Shanghai, China (in Chinese).
- National Bureau of Traditional Chinese Medicine Editorial Board (NBTCMEB). 1999. Chinese Materia Medica (中华本草). Shanghai Science and Technology Publishers. Shanghai, China (in Chinese).
- National Institute of Biological Resources (NIBR). 2011. National List of Species of Korea. National Institute of Biological Resources. Incheon, Korea. pp. 168-169 (in Korean).
- Park, Y.J. and Y.O. Chung. 1996. Studies on the characteristics of seed germination of *Lycoris genera*. Korean J. Med. Crop Sci. 4:163-171 (in Korean).
- Phartyal, S.S., R.C. Thapliyal, J.S. Nayal, M.M.S. Raeat and G. Joshi. 2003. The influences of temperatures on seed germination rate in Himalayan elm (*Ulmus wallichiana*). Seed Sci. Technol. 31:83-93.
- Rollin, P. 1972. Phytochrome Control of Seed Germination. In Mitrakos, K. and W. Shropshire Jr. (eds.), Phytochromes, Academic Press, New York, USA. pp. 229-254.
- Washitani, I. 1985. Germination-rate dependency on temperature of *Geranium carolinianum* seeds. J. Exp. Bot. 36:330-337.
- Yamaguchi, S. and Y. Kamiya. 2002. Gibberellins and light-stimulated seed germination. J. Plant Growth Regul. 20:369-376.
- Yoo, B.K., K. Kwon, Y.H. Ko, H.G. Kim, S. Lee, K.H. Park and O.Y. Kwon. 2016. Screening of natural product libraries for the extension of cell life-span through immune system. J. Life Sci. 26:359-363 (in Korean).

(Received 16 August 2016 ; Revised 9 November 2016 ; Accepted 7 December 2016)