

종자 소독처리와 광질에 따른 약용작물 잔대 종자의 발아특성

이혜리¹ · 김현민¹ · 정현우¹ · 오명민⁵ · 황승재^{1,2,3,4*}

¹경상대학교 대학원 응용생명과학부, ²경상대학교 농업생명과학대학 농업식물과학과,
³경상대학교 농업생명과학연구원, ⁴경상대학교 생명과학연구원, ⁵충북대학교 축산·원예·식품공학부 원예학전공

Germination Characteristics of Medicinal Crop *Adenophora triphylla* var. *japonica* Hara as Affected by Seed Disinfection and Light Quality

Hye Ri Lee¹, Hyeon Min Kim¹, Hyeon Woo Jeong¹, Myung Min Oh⁵, and Seung Jae Hwang^{1,2,3,4*}

¹Division of Applied Life Science, Graduate School of Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

²Department of Agricultural Plant Science, College of Agriculture & Life Sciences, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

³Institute of Agriculture & Life Sciences, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

⁴Reserch Institute of Life Science, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

⁵Division of Animal, Horticultural and Food Sciences, Chungbuk National University, Cheongju 28644, Korea

Abstract. This study was performed to investigate the seed morphological characteristics and dormancy type of *Adenophora triphylla* var. *japonica* Hara that high valued medicinal crop and to select the disinfectants and light quality for germination rate improvement. The seed disinfection was carried out using distilled water (control), NaClO 4%, H₂O₂ 4%, and benomyl 500 mg·L⁻¹. The light quality treatments were set to dark condition (control I), fluorescent lamp (control II), LEDs [red, blue, green, and combined RB LEDs (red:blue = 8:2, 6:4, 4:6, 2:8)] with a photoperiod of 12/12 (light/dark) and light intensity 150 ± 10 μmol·m⁻²·s⁻¹ photosynthetic photon flux density. Although the *Adenophora triphylla* var. *japonica* Hara seed was an underdeveloped embryo (E) and seed (S) with an embryo (E):seed (S) ratio of 0.4, it is germinated within 30 days, and seed moisture saturation was reached within 6 hours after immersion. After seed disinfection, the mold incidence rate was significantly inhibited, and the final germination rate was the highest at 87% in the benomyl seed disinfection. The final germination rate was the highest at 92% in the red light, and the mean daily germination was the lowest in the R2B8. Therefore, there is almost no dormancy in the *Adenophora triphylla* var. *japonica* Hara seed, and benomyl seed disinfectant and red light were effective in the improvement of germination rate. So it is considered to the high value of use for medicinal crop *Adenophora triphylla* var. *japonica* Hara cultivation.

Additional key words : benomyl, dormancy, mean daily germination, underdeveloped embryo

서 론

잔대(*Adenophora triphylla* var. *japonica* Hara)는 초롱과 다년생 초본식물로써, 털잔대, 넓은잔대, 왕잔대 등 국내에 10종 이상이 자생하고 있다. 잔대는 한국, 중국, 일본 등지에 분포하고 있으며, 배수가 양호하고 양지바른 산기슭에서 주로 자생한다. 이른 봄에 나오는 어린싹은 나물로 이용되어지며, 뿌리는 '사삼'이라 하여 인삼과 비슷한 약효가 있는 것으로 알려져 식용 및 약용작물로써 이용되고 있다(Ham 등, 2009a; Park, 2010). 잔대는

saponin, inulin, polysthicol, lupenone, daucosterol 등을 함유하고 있으며(Gorovoi 등, 1971), 잔대 에탄올 추출물과 그 분획물의 항돌연변이와 항종양 효과(Ham 등, 2009b)와 잔대 뿌리의 에틸아세테이트 추출물의 항산화 효과 등이 보고되어 있다(Choi 등, 2008). 또한 잔대는 해독과 거담 개선, 뇌신경세포 보호 등의 효과가 있어 한방 약재로써 소비가 증가되고 있다(Choi 등, 2008; Chung 등, 2016a, 2016b). 잔대는 건강기능 식품으로써 관심이 높아지고 있어 자연채취만으로는 급증하는 수요를 채울 수 없어 대량생산이 시도되고 있지만, 주로 분류적인 측면(Ji 등, 2009; Ji 등, 2010)과 영양성분 및 기능성(Kim, 2007) 측면에 관한 연구가 대부분이며, 잔대의 종자발아, 육묘, 재배 생리와 같은 재배기술에 관한 연구가 미흡하여 상업화가 어려운 실정이다.

*Corresponding author: hsj@gnu.ac.kr

Received August 22, 2019; Revised October 02, 2019;

Accepted October 08, 2019

종자는 휴면유형과 발아특성에 따라 발아시기와 유묘의 생존율에 영향을 준다(Baskin과 Baskin, 2014; Nikolaeva, 1999). 종자의 휴면유형은 배의 발달 상태와 수분 흡수 등에 따라 다양하게 분류되며, Baskin과 Baskin(2004)에 의하면 종자 휴면유형은 생리적 휴면(physiological dormancy, PD), 형태적 휴면(morphological dormancy, MD), 형태생리적 휴면(morphophysiological dormancy, MPD), 물리적 휴면(physical dormancy, PY), 그리고 조합 휴면(combinational dormancy, PY+PD)으로 구분된다. 휴면유형에 따라 저온 또는 고온층적, 식물생장조절물질, 프라이밍, 종피파상 등 종자 전처리가 필요하다. 종자발아의 환경조건으로 온도와 함께 광은 중요한 요소로 호광성과 혐광성 종자로 구분되는데(Kwack과 Kang, 1985), 명발아 종자는 종피에 있는 phytochrome이 발아생리에 관여하여(Hopkins, 1999; Kendrick과 Kronenberg, 1994), 식물 종에 따라 적색광에 가장 발아가 촉진되며 근적외선광에서는 광발아 억제 현상 등이 발생한다(Borthwick 등, 1954; Carpita와 Nabors, 1976). 또한 오염 또는 감염된 종자는 재배기간 동안 식물체에 병을 발생시켜 작물 생산에 큰 피해를 줄 수 있어(Giraitis와 Walcoot, 2007), 오염 또는 감염된 종자를 소독하기 위해 화학적 처리나 물리적 처리를 시행한다. 화학적 처리 방법으로는 아세트산($C_2H_4O_2$, acetic acid), 염소(Cl, chlorine), 오존수(ozone water), 차아염소산나트륨($NaClO$, sodium hypochlorite), 과산화수소(H_2O_2 , hydrogen peroxide), 에탄올(C_2H_6O , ethanol) 등이 있고(Delaquis 등, 1999; Fett, 2002; Kim과 Kim, 2001; Kim 등, 2001; Hwang과 Choi, 2008), 물리적 처리 방법은 온탕 침지법, 냉수 온탕 침지법, 건열처리법 등이 있다. 따라서 본 연구의 목적은 고부가가치 작물인 잔대의 종자 휴면특성을 조사하고, 광질과 소독처리에 따른 잔대 종자의 발아특성을 구명하기 위해 수행되었다.

재료 및 방법

1. 종자의 형태 및 휴면특성

잔대(*Adenophora triphylla* var. *japonica* Hara) 종자의 형태를 측정하기 위해 버니어캘리퍼스(CD-20DPX, Mitutoyo Co. Ltd., Kawasaki, Japan)를 이용하여 길이와 폭을 측정하였고, 1,000립중은 전자저울(EW220-3NM, Kern&Sohn GmbH., Balingen, Germany)을 이용하여 측정하였다. 종자를 장축 방향으로 절단한 다음 광학현미경(Eclipse E200, Nikon Instrument Inc., Chiyoda, Japan)과 TouPView software(version 3.7, TouPtek Photonics Co. Ltd., Hangzhou, China)를 이용하여 미숙배의 신장을 명확하게 표현하기 위해 배(embryo)와 종자(seed)의 비율

인 Embryo:Seed(E:S) ratio (Vandelook 등, 2007)를 계산하였다. 잔대 종자의 물리적 휴면특성 여부를 판단하기 위해 종자를 증류수에 침지시켜 수분 흡수 전 초기 무게와 침지 24시간 동안의 경시적인 무게 변화를 전자저울로 측정하여 종피의 불투수성을 검정하였다.

2. 종자 소독처리

소독제 종류에 따라 잔대 종자의 일반 세균수(total plate count), 곰팡이 발생률(incidence rate of mold), 그리고 발아특성을 조사하기 위해 차아염소산나트륨($NaClO$)(Yuhanrox, Yuhancolorox Co. Ltd., Seoul, Korea) 4%, 과산화수소(H_2O_2)(Hydrogen peroxide, Daejung chemicals & metals Co. Ltd., Siheung, Korea) 4%와 베노밀 수화제(Farmhannong Benomyl, Farm Hannong Co. Ltd., Seoul, Korea)를 $500mg \cdot L^{-1}$ 으로 희석하여 사용하였고, 대조구로는 증류수를 이용하였다. 잔대 종자를 소독제 또는 증류수에 5분간 침지시킨 후 증류수에 10회 이상 세척하여 petri-dish에 filter paper 2장을 깔고 100립씩 4반 복으로 치상하였고, 건조하지 않도록 증류수를 보충해주었다. 밀폐형 식물생산시스템(C1200H3, FC Poibe Co. Ltd., Seoul, Korea)에서 형광등(FHF32SSEX-D, Osram Co. Ltd., Munich, Germany) 하에서 온도 $29 \pm 1^\circ C$, 광주기 12/12(light/dark)와 광도계(HD2101.1, Delta OHM Co. Ltd., Padova, Italy)를 이용하여 광도 $150 \pm 10 \mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ photosynthetic photon flux density(PPFD)로 발아 환경을 설정하였다. 소독 후 종자의 일반 세균수(total plate count)를 확인하기 위해 Tryptone Soy Borth(TSB) 배지에 도말한 다음 $28^\circ C$ 에서 24시간 배양하였고, 배지 위에 형성된 균총을 colony forming unit(CFU)/g으로 표시하였다. 그리고, 곰팡이 발생률은 잔대 종자의 발아 기간 동안 곰팡이가 발생된 잔대 종자 개수를 조사하여 %로 나타냈다.

3. 광질 처리

잔대 종자의 광질에 따른 발아특성을 조사하기 위해 밀폐형 식물생산 시스템에서 형광등과 LEDs(LEDs, ES LEDS Co. Ltd., Seoul, Korea) 하에 온도 $29 \pm 1^\circ C$, 광주기 12/12(light/dark)와 광도 $150 \pm 10 \mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ PPFD로 발아환경을 설정하였다. 광질 처리는 단색광인 red, blue, green LEDs와 혼합광인 RB LEDs(red:blue = 8:2, red:blue = 6:4, red:blue = 4:6, red:blue = 2:8)처리 그리고 대조구로 암조건 및 형광등 처리의 총 9개의 광질 처리로 실험을 진행하였다. 광질을 측정하기 위해 분광복사계(ILT950, International Light Co. Ltd., MA, USA)를 이용하였고, 각각의 광파장을 Fig. 1에 나타냈다. 각 처리는 petri-dish에 filter paper 2장을 깔고 100립씩 4반

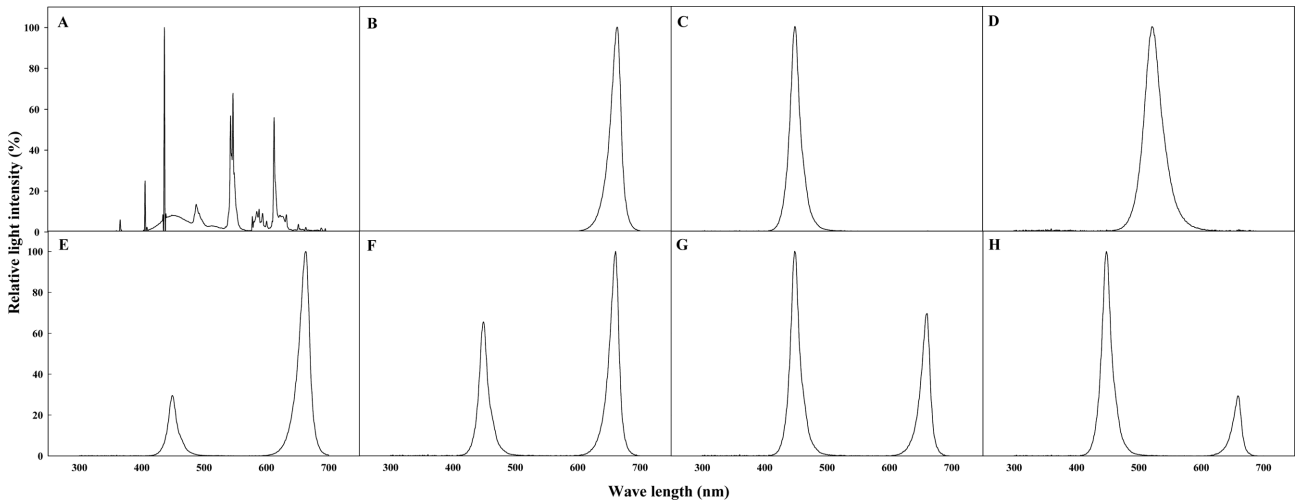


Fig. 1. The relative spectral distributions of light used in a closed-type plant factory. A, fluorescent lamp; B, red LEDs, C, blue LEDs; D, green LEDs; E, R8B2 LEDs (red:blue = 8:2); F, R6B4 LEDs (red:blue = 6:4); G, R4B6 LEDs (red:blue = 4:6); and H, R2B8 LEDs (red:blue = 2:8).

복으로 치상하였고, 건조하지 않도록 증류수를 보충해주었다.

4. 발아특성 조사

소독제의 종류와 광질에 따른 잔대의 초기 발아율(initial germination)은 파종 후 4일째까지 발아된 종자 수를 조사하였고, 최종 발아율(final germination)은 파종 후 10일째까지의 총 발아 수를 조사하였다. 최종 발아율에 대한 50% 발아에 소요되는 일수(T_{50}), 일일평균발아수(mean daily germination, MDG), 총 공시 종자 수 대비 가장 많이 발아한 날까지의 총 발아 종자 수 비율인 발아속도(germination energy, GE)를 계산하였다(Edward, 1934; Gordon, 1971).

5. 실험설계 및 통계분석

모든 발아실험은 100립씩 4반복으로 수행하였으며, 실험결과의 통계분석은 SAS 프로그램(SAS 9.4, SAS Institute Inc., USA)을 이용하여 분산분석(ANOVA)을 실시하였고, 평균 간 비교는 던컨의 다중검정(Duncan's multiple range test)을 이용하여 5% 유의수준에서 각 처리 간 유의성을 검증하였다. 그래프는 SigmaPlot 프로그

램(Sigma Plot 12.0, Systat Software Inc., USA)을 이용하여 나타냈다.

결과 및 고찰

잔대 종자는 평균 길이 1.3mm, 폭 0.6mm, 1,000립중이 252mg이며, E:S ratio가 0.4로 배의 크기가 종자 크기의 50%를 넘지 않고 종피가 짙은 갈색의 타원형 미세 종자이다(Table 1과 Fig. 2). Martin(1946)에 의하면 종자 내의 배 크기가 작고 종자의 하단부에 위치한 기저형(basal type), 배의 길이가 길어 종피를 따라 휘거나 말려 배가 배유를 감싸고 있는 형태인 지협형(peripheral type), 배가 배유 가운데를 관통하는 형태인 중축형(axile type)으로 배의 형태에 따라 종자가 크게 3가지로 분류된다. 초롱꽃과 잔대속 식물인 잔대는 배의 형태가 중축형으로 판단된다. 발아 과정에서 종자는 배의 길이가 신장하고 종피가 찢어진 후 유근이 돌출하면서 발아하였다(Fig. 2C와 2D). 파종 전 잔대 종자의 배의 크기는 종자 크기 대비 약 40% 크기였으나, 발아 직전 80% 이상 배가 신장하는 것으로 보아 미숙배(underdeveloped embryo)로 판단된다. 미숙배를 가진 종

Table 1. Seed characteristics of *Adenophora triphylla* var. *japonica* Hara.

Length (mm)	Width (mm)	1,000 seeds weight (mg)	E:S ratio ²
1.3 ± 0.05 ³	0.6 ± 0.03	252 ± 3.36	0.4 ± 0.03

²Embryo:Seed ratio.

³Values are mean ± SE (n=10).

종자 소독처리와 광질에 따른 약용작물 잔대 종자의 발아특성

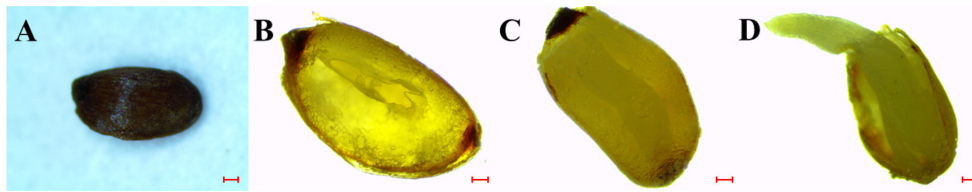


Fig. 2. Microscopic view of seed (A), underdeveloped embryo (B), developed embryo (C), and radicle emergence (D) of *Adenophora triphylla* var. *japonica* Hara (scale bar = 100 µm).

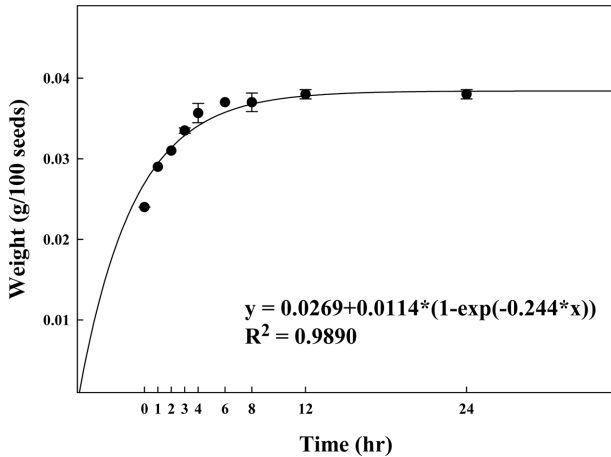


Fig. 3. Changes of imbibition rate on *Adenophora triphylla* var. *japonica* Hara seeds during water soaking time. Bars represent standard errors (n = 4).

지는 일반적으로 형태적 휴면 또는 형태생리적 휴면특성을 가지고 있지만, 잔대 종자는 파종 후 30일 내 발아를 완료하여 형태생리적 휴면은 아닌 것으로 판단된다. 종자의 휴면 유형 검정을 위하여 수분 흡수율을 분석한 결과 3시간 만에 종자의 무게가 60% 이상 증가하였고, 6시간 후부터는 수분 흡수 포화상태가 되어 더 이상 증가하지 않았다(Fig. 3). 한편, 난쟁이버위솔 종자는 침지 24시간 후 39.8% 증가하였으며, 혈떡이풀 종자는 12시간 만에 약 41% 증가하여 포화상태에 도달한 것으로 구명된 바 있어 식물 종에 따라 적정 침지 시간은 차이가 있는 것으로 판단된다(Cho 등, 2014; Choi 등, 2018). Baskin과 Baskin(2004)에 의하면 물리적으로 종자 내부로 수분이 흡수되지 못하여 발아가 지연되는 것을 물리적 휴면이라 하며 초기 종자 무게보다 비해 수분 흡수 후 종자 무게가 20% 이상 증가하면 투수성이 있다고 판단한다. 잔대 종자는 3시간 만에 초기 무게보다 약 60% 이상 증가되고 6시간 만에 포화상태에 도달하였다. 따라서 잔대 종자는 물리적 휴면이 없는 것으로 판단된다.

소독제 종류에 따른 잔대 종자의 일반 세균수와 곰팡

Table 2. Total plate count and incidence rate of mold of *Adenophora triphylla* var. *japonica* Hara seeds as affected by disinfectant type.

Treatment ^z	Total plate count (CFU/g)	Incidence rate of mold (%)
Control	6.52 a ^y	6.00 a
NaClO	5.60 c	3.67 ab
H ₂ O ₂	6.20 b	4.67 ab
Benomyl	6.26 b	2.67 b

^zControl, distilled water; NaClO, sodium hypochlorite 4%; H₂O₂, hydrogen peroxide 4%; and Benomyl, benomyl 500 mg·L⁻¹.

^yMean separation within columns by Duncan's multiple range test at P ≤ 0.05.

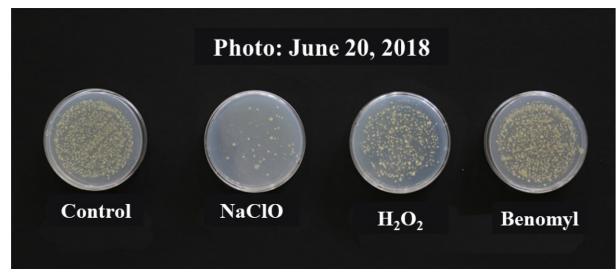


Fig. 4. Antimicrobial activity of *Adenophora triphylla* var. *japonica* Hara seeds as affected by disinfectant type. Control, distilled water; NaClO, sodium hypochlorite 4%; H₂O₂, hydrogen peroxide 4%; and Benomyl, benomyl 500 mg·L⁻¹.

이 발생률은 Table 2와 Fig. 4에 나타냈다. 일반 세균수와 곰팡이 발생률은 대조구에 비해 모든 소독처리에서 감소하는 결과가 나타났다. 일반 세균수는 NaClO에서 5.60CFU/g으로 소독 효과가 가장 높게 나타났으며, 곰팡이 발생률은 benomyl에서 2.67%로 가장 발생이 억제되었다. NaClO를 포함한 염소수를 이용한 연구에 의하면 무 종자에 염소수 100mg·L⁻¹을 처리한 결과 총 세균수가 무처리구에 비해 1log 감소하였고(Park 등, 2007), 브로콜리와 클로버 종자에 calcium hypochlorite 20,000mg·L⁻¹를 처리하였을 때 일반 세균수가 유의적으로 감소되었다

Table 3. The germination rate of *Adenophora triphylla* var. *japonica* Hara seeds as affected by disinfectant type in a closed-type plant production system.

Treatment ^z	Initial germination rate ^y (%)	Final germination rate ^x (%)	T ₅₀ ^w	MDG ^v	GE ^u (%)
Control	1.2 a ^s	81.7 b	3.7 a	11.6 b	37.5 b
NaClO	1.2 a	83.0 ab	4.5 a	11.8 ab	44.2 ab
H ₂ O ₂	- ^t	86.5 ab	3.7 a	12.3 ab	44.2 ab
Benomyl	1.0 a	87.2 a	4.5 a	12.4 a	58.7 a

^zControl, distilled water; NaClO, sodium hypochlorite 4%; H₂O₂, hydrogen peroxide 4%; and Benomyl, benomyl 500 mg·L⁻¹.

^yInitial germination rate: germination rate at 4th day after the sowing.

^xFinal germination rate: germination rate at the 10th day after the sowing.

^wT₅₀: days to attain 50% of the final germination rate.

^vMDG: mean daily germination (number of total germination/total measuring days).

^uGE: germinative energy (total number of germinated seeds until the date of most germination/number of total seeds) × 100.

^tNo germination observed.

^sMean separation within columns by Duncan's multiple range test at $P \leq 0.05$.

Table 4. The germination rate of *Adenophora triphylla* var. *japonica* Hara seeds as affected by light quality in a closed-type plant production system.

Treatment	Initial germination rate ^z (%)	Final germination rate ^y (%)	T ₅₀ ^x	MDG ^w	GE ^v (%)
Dark	0.5 ab ^u	88.2 ab	3.7 a	12.6 ab	47.0 a
FL	- ^t	83.7 bcd	3.0 b	11.9 bdc	48.7 a
Red	1.5 a	92.0 a	3.0 b	13.1 a	54.5 a
Blue	-	80.2 cde	4.0 a	11.4 cde	43.2 a
Green	-	88.5 ab	3.5 ab	12.6 ab	57.5 a
R8B2	0.2 b	85.5 abc	4.0 a	12.2 abc	46.7 a
R6B4	0.2 b	77.7 de	4.0 a	11.1 de	46.5 a
R4B6	0.5 ab	86.0 abc	3.7 a	12.2 abc	43.2 a
R2B8	1.0 ab	74.5 e	3.7 a	10.6 e	47.7 a

^zInitial germination rate: germination rate at the 4th day after the sowing.

^yFinal germination rate: germination rate at the 10th day after the sowing.

^xT₅₀: days to attain 50% of the final germination rate.

^wMDG: mean daily germination (number of total germination/total measuring days).

^vGE: germinative energy (total number of germinated seeds until the date of most germination/number of total seeds) × 100.

^uMean separation within columns by Duncan's multiple range test at $P \leq 0.05$.

^tNo germination observed.

(Park 등, 2009). 소독제 종류에 따라 초기 발아율과 T₅₀에서 유의적인 차이가 없었지만, 최종 발아율, MDG와 GE는 대조구보다 소독 처리구에서 발아율이 향상된 결과가 나타났다(Table 3). Moon 등(2003)의 연구에서 고추 종자에 병원균을 접종한 후 소독효과를 조사한 결과 대조구보다 benomyl에서 발아율이 약 30% 향상되었으며, 발병률이 감소된 것으로 보고된 바 있다.

광질에 따른 잔대 종자의 발아특성은 Table 4에 나타났다. 적색광에서 초기 발아율과 최종 발아율이 각각 1.5%와 92.0%로 가장 높았으며, 총 발아율에 50% 발아까지 소요되는 일수인 T₅₀은 3일로 형광등과 적색광에서

가장 짧게 소요되었다. MDG는 R2B8 LEDs에서 10.6으로 일일평균발아수가 가장 적었으며, GE는 모든 처리구가 43% 이상으로 유의적인 차이가 없었다. Hwang 등(2008)의 연구에서 백색광과 적색광에서 상추의 초기 발아율이 높았으며, 근적외선광에서 발아율이 낮았지만, 품종에 따라 차이가 있었다. 해당화 종자는 청색광에서 90%, 백색광과 녹색광에서 60%의 발아율을 보였으나 적색광과 황색광은 20% 미만으로 발아율이 낮았다고 보고되었다(Lee 등, 2011). 또한 브로콜리 종자는 초기 발아율이 청색광과 녹색광 7.3%로 높았으나 파종 3일째는 광질과 관계없이 100% 발아되었다고 보고되었다(Cho

등, 2008). 본 연구에서는 적색광에서 가장 발아율이 높았으나 모든 처리구에서 70% 이상의 발아율을 보여 잔대 종자는 광의 유무와 광질 등에 크게 영향을 받지 않는 것으로 판단된다.

결과적으로 본 연구에서 잔대는 1mm 내외의 미세 종자임을 알 수 있었고, 휴면하지 않거나 휴면을 하더라도 매우 얇은 휴면을 하는 것으로 판단된다. 또한 benomyl 소독제는 잔대종자의 곰팡이 발생을 억제하고 발아율 향상에 효과적인 소독제로써 약용작물 잔대 생산에 이용이 가능할 것으로 판단된다. 뿐만 아니라, 잔대 종자는 광에 크게 영향을 받지 않지만 적색광에서 가장 발아율이 우수한 것을 확인하였다.

적 요

본 연구는 고부가가치 약용작물인 잔대(*Adenophora triphylla* var. *japonica* Hara)의 종자 형태특성과 휴면 유형을 조사하고, 발아율 향상을 위한 소독제와 광질을 선별하기 위해서 수행되었다. 종자 소독은 증류수(대조구), NaClO 4%, H₂O₂ 4%와 benomyl 500mg·L⁻¹를 이용하여 실시하였으며, 광질처리는 암조건(control I), 형광등(control II), LEDs[red, blue, green, RB LEDs(red:blue = 8:2, 6:4, 4:6, 2:8)]를 광주기 12/12(light/dark), 광도 150μmol·m⁻²·s⁻¹ photosynthetic photon flux density로 설정하였다. 잔대 종자는 emryo (E):seed (S) ratio가 0.4로 미숙배 종자지만 30일 이내에 발아가 되며, 침지 6시간 만에 포화상태에 도달하였다. 종자 소독 후 benomyl 처리에서 곰팡이 발생이 유의적으로 억제되었으며, 최종 발아율이 87%로 가장 높았다. 적색광에서 최종 발아율이 92%로 가장 높았으며, 일일평균발아수는 R2B8에서 가장 적었다. 따라서 잔대 종자는 휴면이 거의 없으며, benomyl 소독제와 적색광이 발아율 향상에 효과적이며, 향후 약용작물 잔대 재배에 이용가치가 높을 것이라 판단된다.

추가 주제어: 미숙배, 베노밀, 일일평균발아수, 휴면

사 사

본 연구는 농촌진흥청 연구사업(과제번호: PJ01385201)의 지원에 의해 수행되었음.

Literature Cited

Baskin, C.C., and J.M. Baskin. 2014. Seeds: ecology, biogeography, evolution of dormancy and germination. Academic

Press, San Diego, USA.

Baskin, J.M., and C.C. Baskin. 2004. A classification system for seed dormancy. *Seed Sci. Res.* 14:1-16.

Borthwick, H.A., S.B. Hendricks, E.H. Toole, and V.K. Toole. 1954. Action of light on lettuce seed germination. *Bot. Gaz.* 115:205-225.

Carpita, N.C. and N.W. Nabors. 1976. Effects of 35°C heat treatments on photosensitive 'Grand Rapid' lettuce seed germination. *Plant Physiol.* 57:612-616.

Cho, G.Y., D.M. Son, J.M. Kim, B.S. Seo, S.Y. Yang, J.H. Bae, and B.G. Heo. 2008. Effect of LED as light quality on the germination, growth and physiological activities of broccoli sprouts. *J. Bio-Environ. Con.* 13:81-89. (in Korean)

Cho, J.S., J.H. Jeong, S.Y. Kim and C.H. Lee. 2014. Temperature, light and chemical treatment promoting seed germination of *Meterostachys sikokiana* (Makino) Nakai. *J. Flower Res.* 22:54-59. (in Korean)

Choi, H., S.Y. Lee, Y.H. Rhie, J.H. Lee, S.Y. Kim, and K.C. Lee. 2018. Seed dormancy type and germination characteristics in *Tiarella polyphylla* D. Don native to Korea. *Korean J. Plant Res.* 31:363-371. (in Korean)

Choi, H.J., S.H. Kim, H.T. Oh, M.J. Chung, C.B. Cui, and S.S. Ham. 2008. Effects of *Adenophora triphylla* ethylacetate extract on mRNA levels of antioxidant enzymes in human HepG2 cells. *Korean J. Soc. Food Sci. Nutr.* 37:1238-1243. (in Korean)

Chung, M.J., S. Lee, Y.I. Park, and K.H. Kwon. 2016a. Antioxidative and neuroprotective effects of extract and fractions from *Adenophora triphylla*. *Korean J. Soc. Food Sci. Nutr.* 45:1580-1588. (in Korean)

Chung, M.J., S. Lee, Y.I. Park, and K.H. Kwon. 2016b. Neuroprotective effects of phytosterols and flavonoids from *Cirsium setidens* and *Aster scaber* in human brain neuroblastoma SK-N-SH cells. *Life Sci.* 148:173-182. (in Korean)

Delaquis, P.J., P.L. Sholberg, and K. Stanich. 1999. Disinfection of mung bean seed with gaseous acetic acid. *J. Food Prot.* 62:953-957.

Edwards, T.I. 1934. Relations of germinating soybeans to temperature and length of incubation time. *Plant Physiology* 9:1-30.

Fett, W.F. 2002. Reduction of *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella* spp. on laboratory inoculated mung bean seed by chlorine treatment. *J. Food Protection* 65:848-852.

Gitaitis, R. and R. Walcott. 2007. The epidemiology and management of seedborne bacterial diseases. *Annu. Rev. Phytopathol.* 45:371-397.

Gordon, A.G. 1971. The germination resistance test-A new test for measuring germination quality of cereals. *J. Canadian Plant Sci.* 51:181-183.

Gorovoi, P.G., G.I. Ponomarchuk, and L.I. Strigina. 1971. Chemotaxonomic study of *Codonopsis* (Family Campanulaceae) and its related genera. *Bio. chem. System. Ecol.*

- 23:809-812.
- Ham, Y.A., H.J. Choi, M.J. Chung, and S.S. Ham. 2009a. Component analysis and antioxidant activity of *Adenophora triphylla*. Korean J. Soc. Food Sci. Nutr. 38: 274-379. (in Korean)
- Ham, Y.A., H.J. Choi, M.J. Chung, and S.S. Ham. 2009b. Antimutagenic and antitumor effects of *Adenophora triphylla* extracts. Korean J. Soc. Food Sci. Nutr. 38: 25-31. (in Korean)
- Hopkins, W.G. 1999. Introduction to plant physiology. John Wiley & Sons, Inc., USA.
- Hwang, H.J., and G.W. Choi. 2008. Improvement of in vitro seed germination in chicory (*Cichorium intybus* L.) and garland chrysanthemum (*Chrysanthemum coronarium* L.). J. Bio-Environ. Con. 17:297-305. (in Korean)
- Hwang, H.J., J.M. Lee, S.Y. Kim, and G.W. Choi. 2008. Seed germination in lettuce affected by light quality and plant growth regulators. J. Bio-Environ. Con. 17:51-59. (in Korean)
- Ji, Y.U., B.C. Moon, A.Y. Lee, J.M. Chun, B.K. Choo, and H.K. Kim. 2010. Molecular phylogenetic position of *Adenophora racemosa*, an endemic species in Korea. Korean J. Med. Crop Sci. 18:379-388. (in Korean)
- Ji, Y.U., B.C. Moon, A.Y. Lee, T.S. Yoon, H.K. Song, B.K. Choo, and H.K. Kim. 2009. A study on classification and ordination of *Adenophora racemosa* population. Korean J. Environ. Res. Tech. 12:86-98. (in Korean)
- Kendrick, R.E., and G.H.M. Kronenberg. 1994. Photomorphogenesis in plants. Kluwer Academic, Dordrecht, The Netherlands.
- Kim, I.D., and S.D. Kim. 2001. Changes in quality of soybean sprouts grown by ozone water treatment during storage. Korean J. Postharvest Sci. Tech. 8:279-384. (in Korean)
- Kim, I.D., M.J. Park, J.W. Cho, S.S. Soe, M.K. Kim, J.B. Lee, S.K. Lee, and S.D. Kim. 2001. Effect of ozone treatment on the quality of soybean sprouts. Korean J. Food Preserv. 5:177-185. (in Korean)
- Kim, J.H. 2007. The study on the nutrients and function of *Adenophora triphylla* var. *japonica* Hara. Master Thesis. Yeungnam Univ.. (in Korean)
- Kwack, B.H., and H. Kang. 1985. Effects of specific light qualities on the seed germination of *Amaranthus hypochondriacus*. Korean J. Soc. Hort. Sci. 26:158-162.
- Lee, J.Y., J.H. Lee, G.Y. Ki, S.T. Kim, and T.H. Han. 2011. Improvement of seed germination in *Rosa rugosa*. Korean J. Hortic. Sci. Technol. 29:352-357. (in Korean)
- Martin, A. 1946. The comparative internal morphology of seeds. The Amer. Midl. Nat. 36:513-660.
- Moon, J.S., H.M. Kim, D.C. Choi, Y.K. Hong, M.H. Sung, Y.J. Jang, B.R. Go, N.K. Oh, and Y.G. Choi. 2003. Disinfection of seed borne black leg disease (*Phoma Wasabiae*) in wasabi (*Wasabia japonica* Mutsum). J. Bio-Environ. Con. 12:180-183. (in Korean)
- Nikolaeva, M.G. 1999. Pattern of seeds dormancy and germination as related to plant phylogeny and ecological and geographical conditions of their habitats. J. Russ. Plant Physiol. 46:369-373.
- Park, D.S. 2010. The edible wild vegetable containing biological active substances. euliiglobal. Korea. pp 231-234.
- Park, E.J., J.H. Kwon, and Y.K. Lee. 2009. Germination rate and microbial safety during cultivation of disinfected seeds. Korean J. Food Preserv. 16:292-298. (in Korean)
- Park, K.J., J.H. Lim, J.H. Kim, J.W. Jung, J.H. Jo, and S.W. Jung. 2007. Reduction of microbial load on radish (*Raphanus sativus* L.) seeds by aqueous chlorine dioxide and hot water treatments. Korean J. Food Preserv. 14:487-491. (in Korean)
- Vandelook, F., N. Bolle, and J.A. V. Assche. 2007. Seed dormancy and germination of the European *Chaerophyllum temulum* (Apiaceae), a member of a trans-atlantic genus. Ann. Bot. 100:233-139.