

# 동아시아 특산식물 애기닥나무 *Broussonetia kazinoki* Siebold ex Siebold & Zucc (Moraceae) 종자의 발아특성

김건모<sup>1†</sup>, 정재민<sup>2†</sup>, 정지영<sup>2</sup>, 최혁재<sup>3</sup>, 이승연<sup>4,5\*</sup>

<sup>1</sup>국립안동대학교 원예육종학과, 대학원생, <sup>4</sup>교수, <sup>2</sup>국립수목원 식물자원연구과, 연구사,  
<sup>3</sup>국립창원대학교 생물·화학융합학부, 교수, <sup>5</sup>국립안동대학교 원예·생약융합학부, 교수

## Germination Characteristics in Seeds of *Broussonetia kazinoki* Siebold ex Siebold & Zucc (Moraceae) Native to East Asia

Gun Mo Kim<sup>1†</sup>, Jae Min Chung<sup>2†</sup>, Ji Young Jung<sup>2</sup>, Hyeok Jae Choi<sup>3</sup> and Seung Youn Lee<sup>4,5\*</sup>

<sup>1</sup>Graduate Student and <sup>4</sup>Professor, Department of Horticulture and Breeding, Andong National University, Andong 36792, Korea

<sup>2</sup>Researcher, Division of Plant Resources, Korea National Arboretum, Yangpyeong 12519, Korea

<sup>3</sup>Professor, Department of Biology and Chemistry, Changwon National University, Changwon 51144, Korea

<sup>5</sup>Professor, Division of Horticulture & Medicinal Plant, Andong National University, Andong 36792, Korea

**Abstract** - This research was conducted to develop a seed propagation protocol for the use of *Broussonetia kazinoki* Siebold ex Siebold & Zucc, which native to East Asia. Light and temperature conditions, GA<sub>3</sub> treatment, and low-temperature stratification were performed to evaluate the germination characteristics. The germination percentage at 4, 15/6, 20/10 and 25/15°C was 0, 42.5, 44.4 and 91.7%, respectively. Thus, the optimal germination temperature of the *B. kazinoki* seeds was 25/15°C. Although germination was delayed by relatively low temperature conditions, GA<sub>3</sub> treatment allowed for increased germination rates even under the low temperature conditions. Cold stratification reduced time to germination. Relatively low germination percentages at 20/10°C and 15/6°C indicated that the seeds had been under the state of conditional dormancy. Through this study, *B. kazinoki* seeds have conditional dormancy because they can be germinated through GA<sub>3</sub> treatment even under relatively low temperature conditions and it is judged that it will support the commercial propagation practice in the future.

**Key words** – Cold stratification, Dormancy type, GA<sub>3</sub>, Moraceae, Propagation protocol

### 서 언

뽕나무과(Moraceae) 닥나무속(*Broussonetia*)의 수종들은 전통적 종이 제조의 중요한 원료로 사용되어 왔다(Kim *et al.*, 2019). 닥나무속(*Broussonetia*)은 동남아시아와 동아시아에 걸쳐서 5종이 분포하고 있는데, 우리나라에는 애기닥나무(*Broussonetia kazinoki* Siebold ex Siebold & Zucc)와 꾸지나무(*B. papyrifera* (L.) L' Hér. Ex Vent.), 닥나무(*B. × kazinoki*

Siebold) 등 3종이 자생하고 하고 있다(Chung *et al.*, 2017). 애기닥나무는 우리나라를 비롯하여 중국과 대만, 일본에만 분포하는 동아시아 지역 특산식물로서, 자연 교잡종인 닥나무(*B. × kazinoki*)의 양친중 모계(maternal parent)이다(Kim *et al.*, 2019). 자웅이주(Dioecy)인 꾸지나무와 닥나무와는 달리 자웅동주(Monoecy)로서 4월 중순~5월 초순에 개화하고, 6월말~7월 초순에 결실한다. 열매는 집합과로서 둥글고 지름 1~1.5 cm 크기로 붉게 익으며, 새들에 의해 주로 산포되고, 하나의 열매에 1.3~1.5 mm 크기의 10~30개의 종자가 들어 있다.

최근에는 전세계 제약회사들이 천연물을 이용하여 신약개발에 중요한 원천소재로써 사용하고 있으며, 야생식물의 유용 생

\*교신저자: E-mail mrbig99@anu.ac.kr

Tel. +82-54-820-5472

† These authors contributed equally to this work.

리활성에 관한 연구를 통해 신약개발 산업화가 증가되는 추세이다(Yoo *et al.*, 2016). 애기닥나무 줄기에서 추출한 *B. kazinoki* stem extract (BKSE)를 통해 collagenase 활성을 억제하여 피부의 콜라겐 함량을 유지하는데 도움을 줄 수 있다고 보고되었다(Kwon *et al.*, 2019). 또한 열매에서 추출한 *B. kazinoki* fruit extract (BKFE)는 당뇨병을 예방할 수 있다고 알려져 있으며(Kim *et al.*, 2020), 옅은 아토피 피부염을 완화하는데 효과가 있다고 알려져 있기 때문에(Lee *et al.*, 2014), 부위별로 이용 가치가 높다는 것을 알 수 있다. 식물 소재를 산업화하기 위해서는 대량 증식 방법이 확립되어야 하는데(Shin *et al.*, 2017), 이를 위해 번식 프로토콜을 만드는 것이 중요하다.

휴면을 가진 종자는 발아하기에 유리한 환경이 조성되기 전까지 지연시간을 가진다(Graeber *et al.*, 2017). 야생의 종자는 다양한 휴면유형을 가지고 있으며, 종자휴면의 종류로는 생리적 휴면(physiological dormancy, PD), 형태적 휴면(morphological dormancy, MD), 형태생리적 휴면(morphophysiological dormancy, MPD), 물리적 휴면(physical dormancy, PY), 조합휴면(combinational dormancy, PY+PD)으로 크게 다섯 가지로 나뉘어져 있다(Baskin and Baskin, 2004). 이러한 종자의 휴면을 타파하기 위해서는 고온충적, 저온충적, 식물생장조절물질 등의 인위적인 처리를 해야 한다(Baskin and Baskin, 2004; Bewley and Black, 1982). 이외에도 휴면(dormancy)과 비휴면(non-dormancy)의 전환 단계로서 종자가 좁은 범위의 발아 적온에서만 발아하는 conditional dormancy(CD) 유형이 있다(Hartmann *et al.*, 2002).

애기닥나무는 뽕나무과(Moraceae)에 속하며, 뽕나무과(Moraceae)의 종자 내부 형태는 배가 구부러져 있으며, 완전히 발달된 배를 가지고 있다고 보고되었다(Barbour *et al.*, 2008). 닥나무속(*Broussonetia*)에 속하는 중국의 *Broussonetia papyrifera* 종자의 발아 최적온도는 30°C로 보고되었다(Yan *et al.*, 2019). 터키에서는 근연종인 *Morus nigra* L. 종자를 연구하여, 대조구에서는 33%의 발아율을 보인 반면, 100일 동안 저온충적처리를 한 결과 88%의 높은 발아율을 나타냈다고 보고하였다. 또한 GA<sub>3</sub> 처리를 통해, 1000 mg/L에서 60%의 발아율을 보이며 휴면이 타파되었다(Koyuncu, 2005). 미국에서는 *Morus rubra* 종자를 발아시키기 위해서는 광이 요구되며(Dirr and Heuser, 1987), 30일 동안의 저온충적처리를 통해 88%의 높은 발아율을 보였다고 하였다(USDA FS, 2002). 그러나 애기닥나무의 종자번식에 대한 연구는 없었다.

자생식물에 대한 번식 프로토콜 데이터베이스를 북미에서

구축하고 있으며(Dumroese and Landis, 2016), 이를 통해 대량 증식 방법을 확립하고 있다. 국내의 경우도, 자생식물의 종자기반 대량번식 프로토콜을 만들기 위해서 지속적인 기초자료의 확보가 필요하다. 본 연구는 기능성 소재 자원으로 유망한 애기닥나무 종자의 휴면과 발아특성을 조사하고, 추후 대량번식에 활용할 수 있는 기초자료를 제공하고자 수행하였다.

## 재료 및 방법

### 식물 재료

실험에 사용된 애기닥나무 종자는 2019년 6월 15일 국립수목원에서 수집되었다(Table 1, Fig. 1). 수집한 후 실험실 내(21~25°C)에서 2019년 7월 6일까지 건조하였다. 건조된 종자는 실험에 사용되기 전까지 저온저장고(mean ± SE: 0 ± 0.5°C)에 보관하였다.

### 기본 특성

버니어캘리퍼스를 이용하여 종자의 길이와 너비를 측정하였다. 종자의 무게는 100립 중(mg)으로 측정하였다. 종자의 내·외부 형태 조사를 위해 종자를 면도칼을 이용하여 종단으로 자른 후 USB현미경(AM3111 Dino-Lite premier, ANMO Electronics Co., Taiwan)을 사용하여 관찰하였다. 종피에 불투수성이 있는지 판단하기 위하여 수분흡수 실험이 진행되었으며, 90 × 15 mm의 Petridish에 여과지 2매를 깔고 증류수를 충분히 주입한 후 20립 3반복으로 치상하였다. 치상된 종자는 0, 3, 6, 9, 12, 24, 시간 후의 무게가 조사되어 수분흡수율이 계산되었다. 수분흡수율은 %Ws = [(Wh - Wi) / Wi] × 100을 통해 계산되었으며(Lee *et al.*, 2015), Ws = 증가된 종자 무게의 비율, Wh = 수분이 흡수된 종자의 무게, Wi = 초기의 종자 무게를 의미한다.

### 광·온도 조건

애기닥나무 종자를 소독하기 위해 500 mg/L 베노밀(Benomyl, FarmHannong, Seoul, Korea)에 24시간 침지 처리한 후 Petridish (90 × 15 mm)에 여과지 2매를 깔고 증류수를 충분히 주입한 후 20립 4반복으로 치상하였다. 모든 Petridish는 수분 손실 방지를 위해 파라필름으로 밀봉하였다. 광조건은 Petridish를 12/12 h(광조건/암조건)의 환경에 두었으며, 광조건에 조사한 광의 PPFd는 63.46 μmol · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>이었다. 암조건은 광조건과 동일한 환경이지만 Petridish를 알루미늄 호일로 감싸 암조건을 형성하였다. 온도 조건은 4°C로 설정된 콜드랩 챔버(HB-603CM, HANBAEK-Scientific, Korea, Bucheon)에,

Table 1. Seed characteristics of *Broussonetia kazinoki* Siebold ex Siebold & Zucc

Scientific name	Common name (Korean name)	Collection location	Collection date	Length (mm)	Width (mm)	100 seed weight (mg)
<i>Broussonetia kazinoki</i> Siebold ex Siebold & Zucc	Small paper mulberry (애기닥나무)	Korea National Arboretum	June 15, 2019	1.44 ± 0.012	1.2 ± 0.016	71.68 ± 0.836

<sup>2</sup>Values are mean ± S.E. (n=10).



Fig. 1. The photos of flowering and fruits in *Broussonetia kazinoki* native to Korea.

15/6, 20/10, 25/15℃는 멀티룸 챔버(HB-302S-4, HANBAEK-Scientific, Korea, Bucheon)에 완전임의 배치하여 배양하였다. 배양한 종자는 6주 동안 발아율을 조사하였으며, 발아는 유근이 1 mm 이상 돌출하였을 때를 기준으로 하였다.

### GA<sub>3</sub> 처리

종자를 실온(22~25℃)에서 GA<sub>3</sub>용액 0(증류수), 10, 100, 1,000 mg/L의 농도에 24시간 침지 후 5시간 동안 배노밀 500 mg/L 용액에 소독하였다. 소독된 종자들은 Petridish (90 × 15 mm)에 여과지 2매를 깔고 증류수로 충분히 주입한 후 20립 4반복으로 치상하였다. 치상된 Petridish는 15/6, 25/15℃ 멀티룸 챔버에 완전임의 배치하여 배양하였다. 배양한 종자는 6주동안 발아율을 조사하였으며, 발아는 유근이 1 mm 이상 돌출하였을 때를 기준으로 하였다.

### 저온층적처리

저온층적처리의 휴면타파 및 발아촉진 효과를 알아보기 위해 광·온도 조건 실험과 동일한 방법으로 소독한 다음 Petridish (90 × 15 mm)에 여과지 2매를 깔고 증류수로 충분히 주입한 후 20립 4반복으로 치상하여 0, 4, 8, 12주 동안 저온층적을 실시하였다. 저온층적처리에는 4℃로 설정된 콜드랩챔버

에 완전임의 배치하여 배양하였다. 저온층적처리가 끝나면 25/15℃의 변온으로 이동하여 배양하였다. 배양한 종자는 4주 동안 발아율을 조사하였으며, 발아는 유근이 1 mm 이상 돌출하였을 때를 기준으로 하였다.

### 통계 처리

각 발아시험 결과에 대하여 조사된 데이터는 SAS 9.4 (SAS Inst. Inc., Cary, NC, USA)를 이용하여 분산분석을 하였고, 처리 평균간 비교는 Tukey's HSD test ( $p < 0.05$ )로 검정하였다. 그래프는 SigmaPlot 10.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)이 사용되었다.

## 결 과

### 기본 특성

애기닥나무의 종자 길이는  $1.44 \pm 0.01$  mm, 너비는  $1.20 \pm 0.01$  mm, 100립중은  $71.68 \pm 0.83$  mg이었다(Table 1). 종자의 외부형태는 타원형의 엷은 노란색을 띠고 내부 형태는 구부러진 굽은(bent) 형태로, 발달된 배를 가지고 있었다(Fig. 2). 수분흡수 실험에서는 종자의 무게가 3시간만에 초기 종자 대비 60% 이상 증가하였다(Fig. 3).

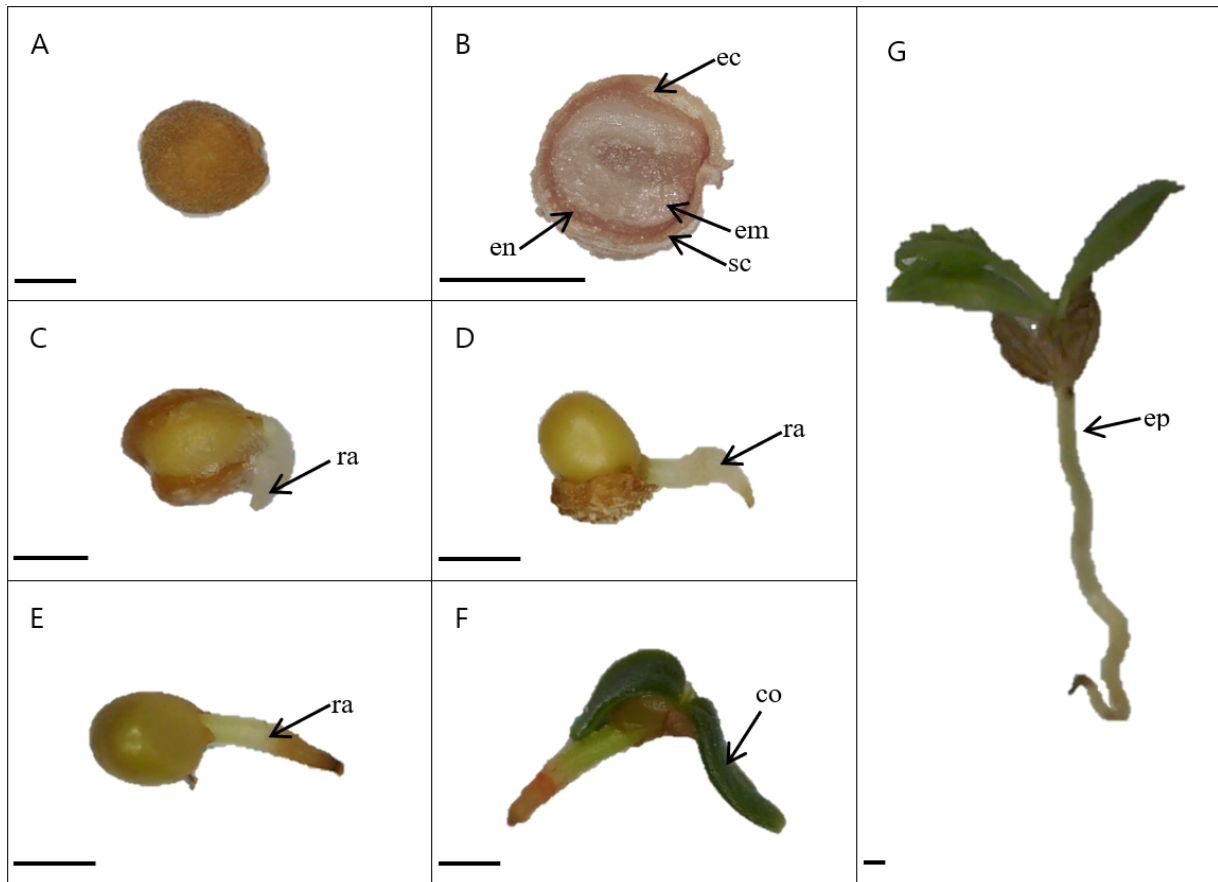


Fig. 2. Process of germination and seedling development of *Broussonetia kazinoki*. Bars = 1 mm. (A) seed outside morphology, (B) a longitudinal section of a seed with fully-developed embryo, (C) an emerged radicle; (D-E) subsequent developmental stages, (F) cotyledons morphology, (G) a seedling. ec, endocarp; en, endosperm; sc, seed coat; em, embryo; co, cotyledons; ep, epicotyl.

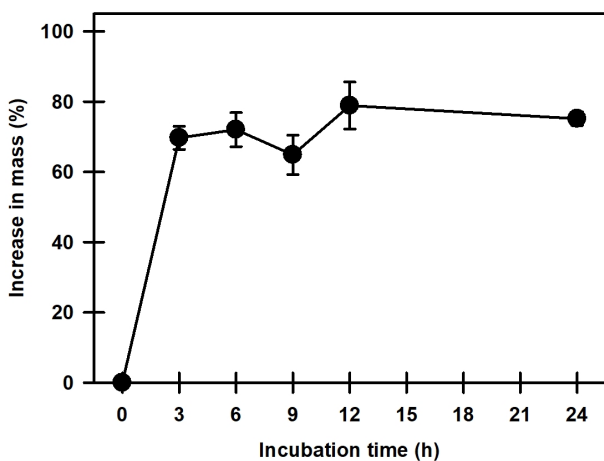


Fig. 3. Water uptake by intact seeds of *Broussonetia kazinoki* as represented by an increase in mass. Seeds were incubated at room temperatures (22-25°C) on filter paper with distilled water for 24 h. Vertical bars indicate standard errors of the means (n = 3).

#### 광·온도 조건의 영향

명조건 4°C에서는 발아를 하지 않고, 15/6°C에서 5주차에 발아가 시작하여 최종 발아율이 42.5%를 보였다(Fig. 4). 20/10°C의 경우 3주차에 발아가 시작하여 최종 발아율이 44.4%로 15/6°C와 최종 발아율은 비슷했지만 발아속도가 빠른 것을 알 수 있었다. 25/15°C에서는 2주만에 발아가 시작되어 최종 발아율이 91.7%로 가장 발아율이 높은 것을 알 수 있으며, 이를 통해 명조건에서는 25/15°C가 최적온도임을 알 수 있었다. 암조건에서는 명조건과 마찬가지로 4°C에서는 발아를 하지 않고, 15/6, 20/10°C에서 5주차에 발아를 시작하여 최종 발아율이 각각 22.3, 23.6%를 보이며 발아율이 낮은 것을 알 수 있었다. 하지만 25/15°C에서는 3주만에 발아를 시작하여 최종 발아율이 83.4%로 암조건에서 가장 발아율이 높았다. 본 연구결과 온도에 따른 발아율의 차이가 있음을 알 수 있고, 광조건에 따른 차이는 4°C와 25/15°C를 제외하고 다소 차이가 있음을 알 수 있었다.

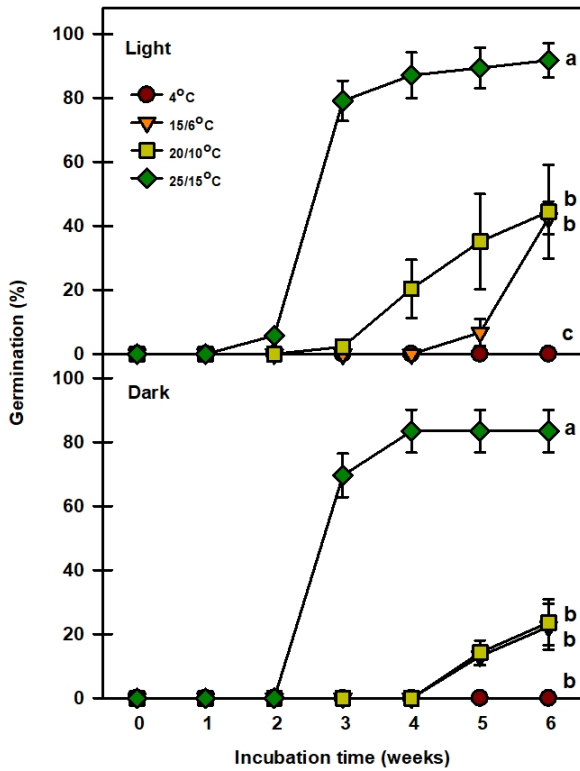


Fig. 4. Effect of temperature and light on seed germination of *Broussonetia kazinoki*. Vertical bars indicate standard errors of the means (n = 4). The different letters at 6 weeks indicate significant differences at  $p < 0.05$  (Tukey's HSD tests).

### GA<sub>3</sub> 처리의 효과

농도별 GA<sub>3</sub>를 처리한 결과 15/6°C에서 모든 처리구에서 5주차까지는 발아를 하지 않고 6주차에 발아한 것을 보였다(Fig. 5). 0, 10, 100 mg/L에서는 최종 발아율이 7.1, 14.2, 22.9%을 보이며, 농도가 높을수록 발아율이 높아지는 것을 알 수 있었다. 1000 mg/L 농도처리에서는 최종 발아율이 67.3%로 15/6°C에서 가장 높은 발아율을 보였다. 25/15°C에서는 대조구가 3주차에 발아를 시작하여 73.8%의 최종 발아율을 보였다. 10 mg/L 농도 처리에서는 3주차에 발아를 시작하여 98.7%의 최종 발아율을 보였으며, 100, 1000 mg/L 농도처리에서는 2주차에 발아를 시작하여 각각 90.5, 89.1%의 최종 발아율을 보였다. 본 연구결과 농도처리가 높을수록 발아소요 일수를 앞당기는 효과를 알 수 있었다.

### 저온층적처리의 효과

저온처리 기간별 실험결과 모든 처리구에서 2주차에서 발아를 시작한 것을 알 수 있다(Fig. 6). 대조구와 저온 4주처리구는 2

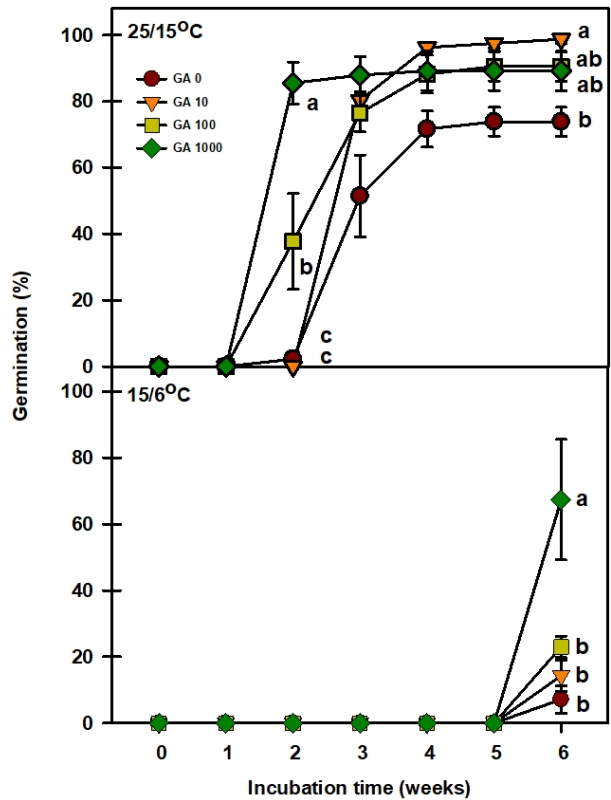


Fig. 5. Germination of *Broussonetia kazinoki* seeds as affected by incubation temperature and GA<sub>3</sub> (0, 10, 100, or 1000 mg/L) treatment. Vertical bars indicate standard errors of the means (n = 4). The different letters at 2 and 6 weeks indicate significant differences at  $p < 0.05$  (Tukey's HSD tests).

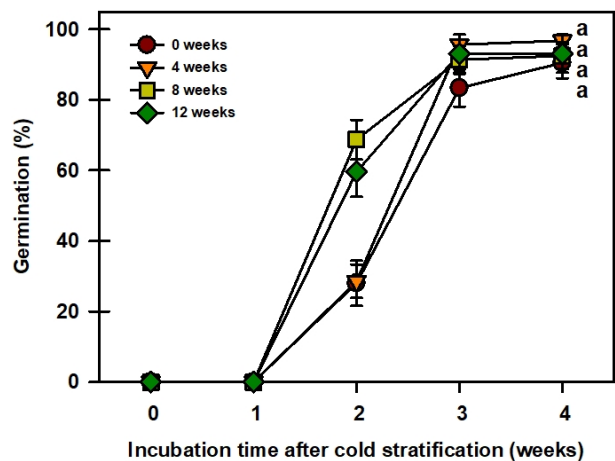


Fig. 6. Germination of *Broussonetia kazinoki* seeds as affected by cold stratification for 0, 4, 8, or 12 weeks at 4°C. Vertical bars indicate standard errors of the means (n = 4). The different letters at 4 weeks indicate significant differences at  $p < 0.05$  (Tukey's HSD tests).

주차에 발아율이 각각 27.9, 28.5로 비슷하였지만, 저온 8, 12주 처리는 2주차에 각각 68.7, 59.5%로 급격하게 발아율이 높아진 것을 볼 수 있었다. 하지만 4주차에는 모든 처리구에서 약 90% 이상 높게 발아하였으며, 통계적 유의성을 보이지 않았다. 위 결과를 통해 저온층적처리는 저온 처리기간이 길수록 발아소요 기간을 단축하는 효과를 볼 수 있었다.

## 고 찰

종자는 내부 배의 형태에 따라 크게 기저형(basal), 지협형(peripheral) 및 중축형(axile)의 세 가지로 분류된다(Martin, 1946). 중축형은 배가 작은 것부터 큰 것까지 다양하게 보고하였다. 뽕나무과(Moraceae)의 종자 내부 형태는 배가 주걱모양으로 길게 구부러진 모양으로 보고된 바 있다(Barbour *et al.*, 2008). 애기닥나무 종자의 배 형태도 중축형에서 구부러진 굽은(bent) 형태로 판단되어 기존 연구와 일치하였다(Fig. 2).

종피나 과피의 불투수성으로 인하여 야기된 휴면은 물리적 휴면(PY)으로 분류하는데(Baskin *et al.*, 2000), 종자 초기 무게의 약 20% 이상 수분을 흡수하면 투수성을 갖는다고 판단할 수 있다(Baskin and Baskin, 2003). 애기닥나무 종자는 24시간 만에 75.1%의 수분흡수율을 나타내어 투수성을 갖기 때문에 물리적 휴면(PY)이 없다고 판단되었다(Fig. 3). 미숙배로 분류된 종자는 발아하기 전에 배가 일정 크기 이상 자라야 하는데, 적절한 조건에서 30일 이내에 배의 신장과 발아가 이루어질 경우 이를 형태적 휴면(MD)이라 한다(Baskin and Baskin, 1998). 하지만 애기닥나무 종자의 배는 완전히 발달된 배를 가지고 있기 때문에 형태적 휴면(MD)이 없다고 판단되었다. Baskin and Baskin (1998)은 종자가 탈리되는 시점에 배가 완전히 자라 있으나 발아가 30일 이상 지연될 경우 이를 생리적 휴면(PD)으로 분류하였다. 기존 문헌에서 *Broussonetia papyrifera*의 종자는 30일 이전에 35/15°C 온도조건에서 발아를 하였다고 보고되어 휴면유형은 non dormancy를 가지고 있었다(Baskin and Baskin, 1998). 하지만 애기닥나무 종자는 30일 이전에 발아를 하였지만, 온도 조건에 따라 발아가 지연되는 conditional dormancy 유형을 가지고 있다고 판단되었다(Fig. 4).

Baskin and Baskin (1998, 2004)은 배양 온도에 따라 발아가 지연되는 conditional-dormancy type에 대해서 보고한 바 있다. Conditional dormancy 휴면유형은 종자가 좁은 범위의 발아 적온에서만 발아하는 특성을 가지고 있다(Hartmann *et al.*, 2002). Jones *et al.* (1997)은 *Picea sitchensis* 종자가 5°C에서

98%의 발아율을 보인 반면, 30°C에서 23%의 발아율을 보여 conditional dormancy 유형에 대해 보고하였다. *Picea sitchensis* 종은 10°C에서 휴면을 가졌지만, 4°C에서 12~14주 동안의 건조저장을 통해 휴면을 타파시켰다(Jones *et al.*, 1988) Copete *et al.* (2009)은 이베리아 반도 2종의 conditional dormancy 유형을 보고하였는데, 상대적 저온(5°C, 15/4°C, 20/7°C)에서는 95%까지 발아를 하였지만, 상대적 고온(28/14°C, 32/18°C)에서는 발아하지 않는 특성을 가지고 있었다. 하지만 약 1~2개월의 건조저장을 통해 고온(28/14°C, 32/18°C)에서의 발아율을 약 90%이상 증가시켰다. 이처럼 conditional dormancy를 가진 유형은 저온과 고온의 특정 온도에서 휴면을 가지는 경우가 있으며, 좁은 범위의 발아 적온에서만 발아하는 특성을 가지고 있다고 볼 수 있다. 또한 *Solanum mauritianum*의 종자는 30/15°C에서 발아율은 80%였지만, 20°C에서의 발아율은 8%였다. 하지만 GA<sub>3</sub>를 통해 20°C에서의 발아율을 78%까지 높여 conditional dormancy에 대해 보고하였다(Campbell *et al.*, 1992). 애기닥나무 종자는 25/15°C 온도조건에서 최종 발아율이 91.7%였지만, 15/6°C와 20/10°C의 경우 최종 발아율이 42.5, 44.4%로 절반 이상 발아율이 낮았다(Fig. 4). 하지만 GA<sub>3</sub> 처리를 통해 발아소요 기간을 줄이고, 상대적으로 낮은 온도조건에서 발아율을 높이는 것을 확인하여 이를 통해 conditional dormancy 유형으로 판단할 수 있었다(Fig. 5).

결론적으로, 애기닥나무 종자는 25/15°C의 온도조건에서 높은 발아율을 보였으나, 20°C 이하의 상대적으로 낮은 온도조건에서 발아율이 급격하게 낮아지는 경향을 보였다. 위 결과를 통해 conditional dormancy로 판단할 수 있는데 GA<sub>3</sub>처리를 통하여 67.3%까지 상대적으로 낮은 온도조건에서 발아율을 높일 수 있었다. 이러한 결과를 통해 애기닥나무의 발아특성을 파악하였고, 대량증식 체계를 구축하여 기능성 소재 자원으로 쓰일 수 있는 기초자료를 확보하였다. 추후 저온층적처리를 통해서도 상대적으로 낮은 온도조건에서 발아율을 높일 수 있는지 추가적인 연구가 필요하다.

## 적 요

본 연구는 동아시아 특산식물 애기닥나무의 자원식물로서 활용을 위한 대량증식법 개발을 위해 실시하였다. 종자의 발아 특성을 알아보기 위해 광·온도조건, GA<sub>3</sub> 처리, 저온층적처리를 실시하였다. 온도조건 실험에서 4, 15/6, 20/10, 25/15°C에서 발아율은 각각 0, 42.5, 44.4, 91.7%였다. 따라서 애기닥나

무 종자의 발아 최적온도는 25/15°C였다. 온도조건에 따라 발아가 제한되었지만, GA<sub>3</sub> 처리를 통해 상대적으로 낮은 온도조건에서도 발아율을 높일 수 있었다. 저온층적처리를 통해 발아 소요일수를 단축할 수 있었으며, 이를 통해 애기닥나무 종자를 conditional dormancy 유형으로 분류하였다. 본 연구결과를 통하여 적정 발아 온도조건은 25/15°C이며, 상대적으로 낮은 온도 조건에서도 GA<sub>3</sub> 처리로 종자기반 대량증식이 가능하며, 향후 산업적인 활용에 도움이 될 것이라 판단된다.

## 사 사

본 연구는 국립수목원 ‘유용자원식물 대량증식법 개발’ 과제와 KIST ‘개방형 연구사업 (금강초롱프로그램, 2E30650)’의 지원에 의해 수행되었음.

## Conflicts of Interest

The authors declare that they have no conflict of interest.

## References

- Barbour, J.R., Read, R.A and R.L. Barnes. 2008. “*Morus* L.: Mulberry”: In The Woody Plant Seed Manual Agricultural Handbook No. 727, Bonner, F.T. and R.P. Karrfalt (eds.), U.S Department of Agriculture, Forest Service, Washington, D.C. (USA). pp. 728-732.
- Baskin, C.C. and J.M. Baskin. 1998. Seeds: Ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination. Academic Press, New York (USA).
- Baskin, C.C. and J.M. Baskin. 2003. When breaking seed dormancy is a problem: try a move-along experiment. Native Plant J. 4:17-21.
- Baskin, C.C. and J.M. Baskin. 2004. A classification system for seed dormancy. Seed Sci Res. 14:1-16.
- Baskin, C.C., J.M. Baskin. and Li X. 2000. Taxonomy, anatomy and evolution of physical dormancy in seeds. Plant Species Biol. 15:139-152.
- Bewley, J.D. and M. Black. 1982. Physiology and biochemistry of seeds in relation to germination. Vol 2. Viability, dormancy and environmental control. Springer-Verlag, Berlin, Germany.
- Campbell, P.L., J. Van Staden, C. Stevens and M.I. Whitwell. 1992. The effects of locality, season and year of seed collection on the germination of bugweed (*Solanum mauritianum* Scop) seeds. S. Afr. J. Bot. 58:310-316.
- Chung, K.F., W.H. Kuo, Y.H. Hsu, Y.H. Li, R.R. Rubite and W.B. Xu. 2017. Molecular recircumscription of *Broussonetia* (Moraceae) and the identity and taxonomic status of *B. kaempferi* var. *australis*. Bot. Studies 58:1-12.
- Copete, M.A., J.M. Herranz and P. Ferrandis. 2009. Seed germination ecology of the endemic Iberian winter annuals *Iberis pectinata* and *Ziziphora aragonensis*. Seed Sci Res. 19:155-169.
- Dirr, M.A. and C.W. Heuser. 1987. The reference manual of woody plant propagation: from seed to tissue culture. Athens, GA:Varsity Press, Athens, Georgia (USA). p. 239.
- Dumroese, R.K. and T.D. Landis. 2016. The Native Plant Propagation Protocol Database: 16 years of sharing information. Native Plants J. 17:267-272.
- Graeber, K., K. Nakabayashi and G. Leubner-Metzger. 2017. Development of Dormancy. Encyclopedia of Applied Plant Sciences, 2nd edition, Volume 1, Academic Press, London, UK. pp. 483-489.
- Hartmann, H.T., D.E. Kester, F.T. Davies and R.L. Geneve. 2002. Hartmann and Kester’s plant propagation: Principles and practices. 7<sup>th</sup> ed. Prentice Hall, New Jersey (USA).
- Jones, S.K., R.H. Ellis and P.G. Gosling. 1997. Loss and induction of conditional dormancy in seeds of Sitka spruce maintained moist at different temperatures. Seed Sci. Res. 7:351-358.
- Jones, S.K., R.H. Ellis and P.G. Gosling. 1998. Reimposition of conditional dormancy during air-dry storage of prechilled Sitka spruce seeds. Seed Sci Res. 8:113-122.
- Kim, H.J., D. Kim, H. Yoon, C.S. Choi, Y.S. Oh and H.S. Jun. 2020. Prevention of oxidative stress-induced pancreatic beta cell damage by *Broussonetia kazinoki* Siebold fruit extract via the ERK-Nox4 pathway. Antioxidants 9:406.
- Kim, H.S., A.H. Im, J.M. Jung and H.G. Park. 2019. Korean traditional paper. Sun Publishing Co., Ltd, Seoul, Korea. p. 40, p. 44, p. 52.
- Koyuncu, F. 2005. Breaking seed dormancy in black mulberry (*Morus nigra* L.) by cold stratification and exogenous application of gibberellic acid. Acta Biol Cracoviensia Ser Bot. 47:23-26.
- Kwon, B., M.H. Kim, I.S. Park, Y.M. Choo, K.S. Kim, M.S. Kim, M.J. Kim, H.J. Kim, D.I. Choi, M. Park, M. Kim, M.K. Shin, J. Lee, S.I. Jeong, K.Y. Yu and J. Kim. 2019. The potential efficacy of *Broussonetia kazinoki* stem extract to

- show antioxidant property or suppress collagenase activity. Biomed J Sci & Tech Res. 3:12802-12804.
- Lee, H., H. Ha, J.K. Lee, S.J. Park, S.I. Jeong and H.K. Shin. 2014. The leaves of *Broussonetia kazinoki* Siebold inhibit atopic dermatitis-like response on mite allergen-treated NC/Nga mice. Biomol Ther. 22:438-444.
- Lee, S.Y., Y.H. Rhie and K.S. Kim. 2015. Non-deep simple morphophysiological dormancy in seeds of *Thalictrum roche brunianum*, an endemic perennial herb in the Korean peninsula. Hort. Environ. Biotechnol. 56:366-375.
- Martin, A.C. 1946. The comparative internal morphology of seeds. The American Midland Nat. 36:513-660.
- Shin, S.L., Y.K. Lim, H.J. Kwon, Y.R. Kim and S.Y. Kim. 2017. Morphological characteristics and germination conditions of seeds in *Arabis pendula* L. Korean J Plant Res. 30:50-57.
- USDA FS (USDA Forest Service). 2002. Unpublished data. Dry Branch, GA: National Tree Seed Laboratory <https://www.fs.usda.gov>.
- Yan, D.F., W. Zhou, X. Wang, Y. Ren, E.D. Yang and R.Q. Pian. 2019. Effects of different acid and alkali corrosion, temperature and light intensity on seed germination of *Broussonetia papyrifera*. J. South. Agr. 50:1057-1063.
- 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.

(Received 28 July 2021 ; Revised 18 October 2021 ; Accepted 19 October 2021)