

황산처리를 이용한 개싸리 종자의 물리적 휴면 타파

이용하¹, 최 한¹, 이수광², 이정호¹, 이기철^{1*}

¹국립수목원 유용식물증식센터, ²국립산림과학원 특용자원연구과

Breaking Physical Dormancy with Sulfuric Acid in Seeds of *Lespedeza tomentosa* (Thunb.) Siebold ex Maxim

Yong Ha Rhie¹, Han Choi¹, Su Gwang Lee², Jeong Ho Lee¹ and Ki Cheol Lee^{1*}

¹Useful Plant Resources Center, Korea National Arboretum, Yangpyeong 476-845, Korea

²Division of Special-propose Trees, Korea Forest Research Institute, Suwon 441-350, Korea

Abstract - *Lespedeza* species are mainly used for wildlife food and cover and for erosion control. The germination of these species can be enhanced after a fire occurrence in forest, which is known as fire-activated seeds to germinate. While the heat treatment could break seed dormancy of *Lespedeza*, its germination rate was quite low. We investigated that chemical scarification could promote germination of *L. tomentosa*. Seeds were soaked in 100% sulfuric acid (H₂SO₄) for 0, 1, 3, 6, 12, 24, 48, 96, 192, and 384 min, and then washed in distilled water for 24 h. Very few seeds were germinated in control (H₂SO₄ for 0 min). More than 90% of seeds were germinated in H₂SO₄ for 24, 48, and 92 min. However, some damage was observed in roots and cotyledons of seedling dipped in H₂SO₄ for a long time. To search the optimal soaking time in H₂SO₄ without defects, seeds scarified in H₂SO₄ for 30, 60, 90, 120, 150, 180, and 300 min were sown the commercial soil medium. Seeds treated with H₂SO₄ for 90 min and 150 min emerged by about 92% and 84%, respectively. Therefore, H₂SO₄ treatment could break the seed dormancy of *Lespedeza* species, and especially in case of *L. tomentosa* the optimal treatment time in sulfuric acid was one to two hours. Germination of *L. tomentosa* began promptly following the scarification and was completed within about one month, indicating that seeds has no physiological dormancy, just has physical dormancy.

Key words - Fabaceae, Germination, Germination uniformity, Scarification, Seedling emergence

서 언

콩과(Fabaceae)에 속한 싸리속(*Lespedeza*) 식물들은 목본, 초본류를 포함하여 약 140종이 존재한다(Henson, 1957). 대부분의 자생종은 동아시아에 분포하고 있으며 11종만이 북미 지역에 자생한다고 알려져 있다(Clewell, 1966). 우리나라에는 싸리, 비수리, 개싸리 등 13종이 분포하고 있다(Lee, 2002). 싸리속 식물들은 가축사료(Owsley and Surrency, 1989), 하천 제방 녹화용(Gabrielson *et al.*, 1982; Jeon and Woo, 1999), 질소 고정능력이 높은 녹비작물(Allen and Allen, 1981), 초식동물의 단백질 섭취원(Crider, 1952; Davison, 1954), 조경용(Crider, 1952; Clewell, 1966) 등 다양한 분야에 활용되고 있는 중요한

자원식물 중에 하나이다.

목본류 싸리속 식물들의 경우 삼수를 이용한 무성번식이 가능하지만(Davison, 1945; Han, 1973), 노동력을 많이 필요로 하고 대량생산이 어려운 문제가 있어 종자를 이용한 증식이 널리 이용된다. 몇 가지 싸리속 식물들의 종자는 휴면 상태를 유지하다가 산지에 화재가 일어난 직후에 빠른 속도로 출현, 대량으로 번식하여 초식동물의 중요한 식량으로 활용되는 fire species로 알려져 있다(Stoddard, 1936). 이러한 종자 발아 특성을 바탕으로 13종의 싸리속 종자를 대상으로 인위적으로 고온처리를 하여 발아율을 향상 시키는 연구가 수행되었다(Martin *et al.*, 1975). 상대적으로 낮은 온도 처리에서는 발아율이 저조했지만 90°C 처리에서는 단 4분간의 처리로도 *L. crytobotrya*, *L. daruica*, *L. hedysaroides*, *L. japonica*, and *L. tomentosa*의 발아율을 90%까지 향상시킬 수 있었다. 열처리 외에도 마쇄기를 이용한

*교신저자: yloml@korea.kr

Tel. +82-31-540-2311

물리적 종피처리로 발아율을 약 50%까지 높일 수 있었다(Vogel, 1974; Suh, 2004). 이와 같은 결과를 토대로 싸리속 식물들은 불투과성의 단단한 종피에 기인한 물리적 휴면(Physical dormancy, PY)을 가지고 있다고 분류가 되었다(Baskin and Baskin, 2014). 한편 생리적 휴면(Physiological dormancy, PD)을 타파시키는 방법인 저온습윤처리나 지베렐린 처리로는 비수리나 싸리의 발아율을 높이지 못했다(Cho *et al.*, 2012).

싸리속 종자의 발아에 효과적이었던 열처리나 물리적 종피 처리는 실험 처리 방법이 까다롭고 처리를 표준화시키기 어려운 단점이 있다. 물리적 휴면을 타파하는 또 다른 방법으로 화학적 종피처리가 있다. 황산을 이용하여 싸리속 식물의 종자에서 발아율을 향상시킨 보고가 있었지만(Han, 1976; Cho *et al.*, 2012), 발아율 향상을 위한 처리방법이 세분화되지 못했고 실험 실내 성장상에서만 이루어졌다는 제한점이 있다(Cho *et al.*, 2012). 실내실험으로 도출된 기술이 환경변이가 심한 포장에서 그대로 재현이 되지 않아 영농에 어려운 경우가 많이 있다고 보고된 바 있다(Kang *et al.*, 2004). 실제로 물리적인 종피처리가 종자에 피해를 주어 발아 이후 건전묘의 생육에 악영향을 미치는 경우도 보고된 바 있다(Choi *et al.*, 2007). 따라서 본 실험은 개싸리(*Lespedeza tomentosa* (Thunb.) Siebold ex Maxim)를 대상으로 기내에서 다양한 처리 시간을 통해 황산의 최적 조건을 구명하고, 황산처리 후 기외 파종 실험을 통해 황산처리 후 건전묘 획득을 위한 최적 조건을 구명하고자 하였다.

재료 및 방법

공시재료

본 연구에 사용된 개싸리 종자는 2014년 9월 17일 경기도 양평에 소재한 국립수목원 유용식물증식센터에 식재된 모체에서 채종하였다. 채종된 종자를 상온(24 ± 4°C)에서 일주일간 건조 후 밀폐용기에 담아 5°C 저온고에 보관하였다. 실험처리는 2015년 4월 9에 실시하였다.

황산처리에 따른 물흡수 특성

본 실험은 개싸리가 물리적 휴면을 가지고 있는지 판단하기 위한 기초 실험으로 진행되었다. 황산처리를 하지 않은 대조구와 98%의 황산에 1시간 침지를 시킨 종자를 30개 3반복으로 하여 증류수에 침지시켰다. 물 흡수 전 초기 무게와 물침지 후 1, 2, 3, 6, 9, 12, 24시간이 경과되었을 때 무게를 측정하였다. 그리고 물 흡수 정도는 %W_s = [(W_i - W_d)/W_d] × 100의 계산식이 이

용하였다. W_s = 증가된 종자 무게, W_i = 물 흡수 후 경과 시간 때의 종자 무게, W_d = 초기 무게.

황산처리 시간 별 기내 발아 특성

본 실험은 2015년 4월 9일~6월 11일까지 진행하였으며, 온도와 광이 조절이 되는 성장상(WIM-RL4, 대한과학)에서 진행하였다. 황산처리는 98%의 황산(H₂SO₄)에 0, 1, 3, 6, 12, 24, 48, 96, 192, 384분 동안 침지를 하고, 각각의 침지처리가 끝나면 흐르는 물에 24시간 동안 씻어 종자에 남아있을 수 있는 황산을 제거하였다. 직경 9 cm의 petri dish에 증류수로 적신 여과지(Whatman No. 1, GE Healthcare, Buckinghamshire, UK) 2매를 깔고 물에 수세된 종자를 치상하였다. Parafilm으로 밀봉하여 수분의 증발을 막았다. 처리당 70립씩 3반복으로 하였다. 배양 온도는 20°C이며, 12시간/12시간의 광, 암주기 조건에서 발아 양상을 보았다. 발아는 유근이 2 mm 이상 자라 것으로 정의하였다. 3, 4일 간격으로 발아된 개수를 세고 발아된 종자는 Petri dish에서 제거하였다. 최종 발아율(G), 발아기(Days to 50% of germination of final germination rates, T₅₀; Coolbear *et al.*, 1984), 평균발아일수(Mean germination time, MGT; Edwards, 1934), 발아균일도(Germination uniformity, GU), 발아세(Germination speed, GS)를 아래의 식을 이용하여 산출했다.

- $G = (N / S) \times 100$
- $T_{50} = T_i + (T_j - T_i) \times (N/2 - N_i) / (N_j - N_i)$
- $MGT = \sum (T_x \cdot N_x) / N$
- $GU = \sum [(MGT - T_x)^2 \cdot N_x] / N - 1$
- $GS = \sum (N_x / T_x)$

(N: 총 발아수, S: 총 공시 종자수, N_i: N에 대한 50% 발아 직전까지의 총 발아수, N_j: N에 대한 50% 발아 직후까지의 총 발아수, T_i: N_i 시점까지 소요된 발아기간, T_j: N_j 시점까지 소요된 발아기간, N_x: 조사 당일의 발아수, T_x: 치상 후 조사일수)

황산처리 시간 별 기외 발아 특성

기외 실험은 2015년 4월 16일 ~ 6월 11일 동안 유용식물증식센터내의 비닐온실에서 수행하였다. 실험기간 동안 주간 최대 기온은 35°C, 야간 최저기온은 8°C 정도가 되었다. 개싸리 종자를 황산(H₂SO₄)에 30, 60, 90, 120, 150, 180, 300분 동안 침지를 하고 24시간 동안 흐르는 물에 수세시켰다. 처리된 종자는 원예상토(바로키, 서울바이오)가 충전된 128구 트레이에 종자를 파종하고 버미큘라이트로 얇게 복토하였다. 35개 3반복으로 하였

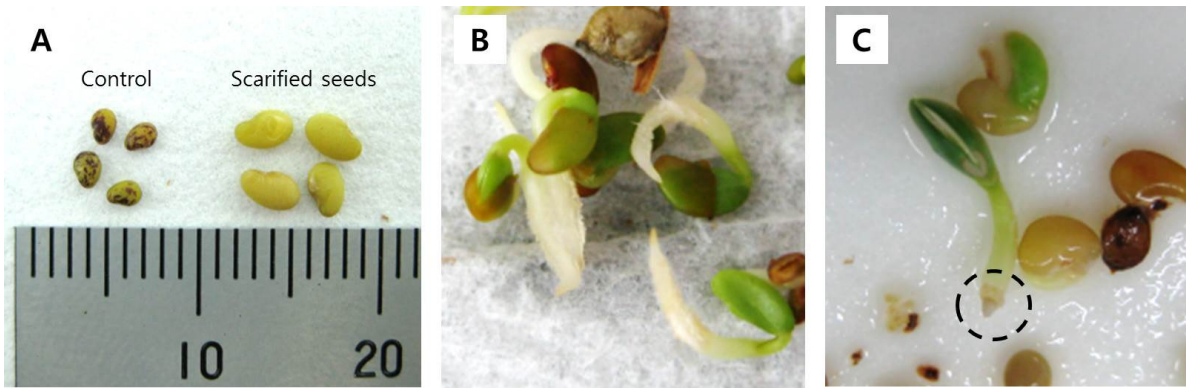


Fig. 1. Effects of sulfuric acid on the seed germination of *Lespedeza tomentosa*. Non-scarified (left) and scarified seeds (right) after soaking with water for 24 hours (A), undamaged seeds after sulfuric acid treatment (B), damage incurred at the radicle tip (in circle) for long term soaking with sulfuric acid.

고 7일 간격으로 발아율을 조사하였다. 발아율이 3주간 변하지 않을 때까지 조사하였다. 관수는 매일 오전에 두상관수하여 흠이 마르지 않도록 관리하였다. 황산처리 시간에 따른 개사리 종자의 유묘출현율을 추정하기 위해 비선형 회귀분석(Nonlinear regression method)를 실시하였고(SigmaPlot 10.0, Germany), 회귀 모형 $y = a \times \exp(-0.5 \times (\ln(x/x_0)/b)^2)$ (Peak, Log Normal, 3 Parameter)를 이용하였다.

통계처리

통계처리는 SAS 9.4 (SAS Institute Inc., Cary, USA)을 이용하여 일반선형모형(GLM)을 통해 분산분석을 수행하였다. 처리간에 통계적인 유의성은 5% 유의수준에서 Duncan의 다중검정을 하였다. Sigma plot 10.0 (SPSS, Inc., Chicago, USA)을 이용하여 그래프를 작성하였다.

결과 및 고찰

황산처리에 따른 물 흡수 특성

아무런 처리를 하지 않은 대조구의 종자는 24시간 물에 침지하여도 검갈색의 종피가 그대로 있었지만, 황산처리가 된 처리의 종자는 물에 침지된 이후에 녹색의 배가 드러나고 그 크기도 커졌다(Fig. 1). 종피처리가 되지 않은 경우 종자의 무게가 24시간이 지나도 초기 무게의 약 6% 밖에 증가하지 않았다(Fig. 2). 하지만 황산처리가 된 종자의 경우 물 침지 후 3시간만에 초기 무게 보다 107%가 증가, 24시간만에 초기무게의 125%가 늘어났고 일부 종자에서는 발아가 시작되었다. 이를 통해 개사리 종자는 불투과성 종피로 인한 물리적 휴면이 있음을 알 수 있다.

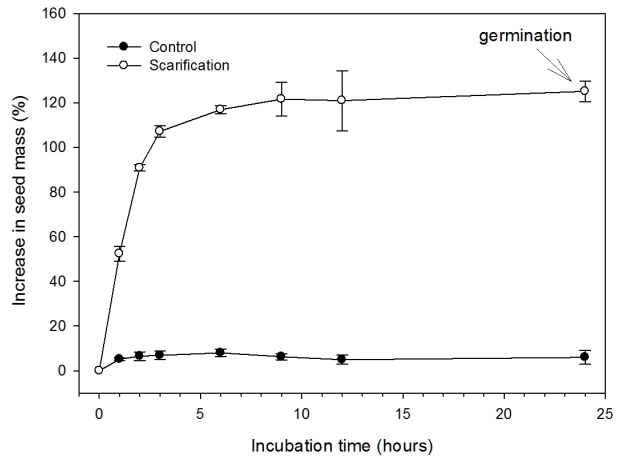


Fig. 2. Effects of sulfuric acid on the seed mass increase of *Lespedeza tomentosa*. Scarified seeds were imbibed in water after soaking for 1 hour in sulfuric acid. Vertical bars show \pm SE.

황산처리 시간 별 기내 발아 특성

기내실험에서 황산처리시간이 길어질수록 최종 발아율이 증가하는 경향을 보였다(Table 1). 황산처리를 하지 않은 대조구의 경우 최종 발아율이 10% 미만이었으나, 황산처리 48분이상에서는 90% 이상이 발아가 되었으며 평균발아소요일수와 T₅₀이 3~4일로 매우 빠르게 발아가 완료되었다. 황산을 48분보다 적게 처리할 때 발아율이 낮을 뿐 아니라 발아도 균일하게 되지 않았는데 이는 황산처리 시간이 충분하지 않았다는 반증한다. 황산을 12분 이하로 처리 했을 때 발아세가 약 5미만이었지만 48분 처리에서는 38.5로 매우 빠르게 발아가 진행되었다. 황산처리가 384분(6시간 이상)이 되면 최종 발아율이 74.5%로 감소하며, 발아균일도 및 발아세에서 처리효과가 감소하는 것을 알 수

Table 1. Effects of sulfuric acid on the seed germination of *Lespedeza tomentosa*

H ₂ SO ₄ soaking time (min)	Final germination percentage (%)	Mean germination time (day)	Germination uniformity	Germination speed	T ₅₀ (day)
0	8.6e ^z	6.8de	7.3c	1.0e	6.0b
1	11.0e	10.9cd	68.5c	0.8e	10.9a
3	24.3d	18.2ab	159.5b	1.8e	14.1a
6	36.9cd	7.9de	53.5c	5.1e	4.3b
12	43.1c	19.0a	234.2ab	5.3e	13.8a
24	61.9b	14.4bc	257.3a	12.6d	4.7b
48	99.2a	3.3e	5.7c	38.5a	3.8b
96	90.6a	3.2e	7.2c	25.1b	3.6b
192	100.0a	4.4e	26.1c	20.0bc	3.4b
384	74.5b	5.9e	30.0c	15.6cd	3.5b

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

있다(Table 1). 그리고 발아가 되어도 유근 끝에 황산피해를 보이는 종자가 관찰되었다(Fig. 1C). 기내 발아 실험의 경우 유근이 나오기만 하면 발아가 되었다고 판단하였으나 유근 끝에 이미 황산피해를 보이는 것도 관찰되었기 때문에 발아 이러한 종자는 건전한 유묘로 성장에 문제가 있을 것으로 판단되어 이후 기외 실험을 통하여 실제적인 황산처리 시간의 구명 실험을 수행하였다.

황산처리 시간 별 기외 발아 특성

기외 실험에서 황산처리를 30분 하였을 때 유묘 출현율이 30% 미만으로 낮았으나 황산처리 기간을 길게 할수록 유묘 출현율이 높아졌다(Fig. 3). 황산처리 시간에 따른 유묘 출현율의 결과를 회귀식으로 나타내었을 때, 황산 처리 125분에서 유묘 출현율이 가장 높게 추정되었으며, 80% 이상의 유묘를 확보하기 위해서는 황산처리 시간을 90~175분 처리를 해야 한다고 추정할 수 있었다. 한편 180분이상 처리하였을 때 오히려 유묘 출현율이 낮아졌는데, 이는 기내실험에서 황산을 192분 처리를 하여도 100% 발아했던 결과와 상반된다. 이는 앞서 언급한 바와 같이 기내에서 발아를 하여도 유근이 피해를 받았을 때, 기외에서 건전묘로 발달이 되지 않는 것으로 사료된다(Fig. 4A~G). 황산 384분 처리에서 출현된 일부 묘에서는 떡잎이 잘려있거나 모양이 뒤틀린 것도 발견 되었지만(Fig. 4H의 점선원) 시간이 지나 본엽이 전개될 때에는 정상적인 생육을 보였다. 황산처리가 떡잎에 피해를 주었지만 떡잎 안의 생장점에는 피해를 주지 않은 것으로 판단된다. 따라서 황산처리 이후에 상토를 뚫고 나온

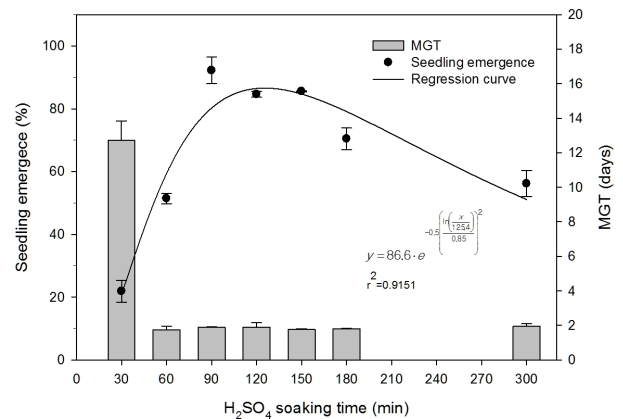


Fig. 3. Effects of sulfuric acid on the seedling emergence of *Lespedeza tomentosa*. Vertical bars show \pm SE.

묘는 건전한 묘로 성장한다고 결론을 내릴 수 있었다.

물리적 휴면은 겉씨식물에서는 아직까지 보고된 바가 없으며 속씨식물에서만 보고가 되었다(Baskin and Baskin, 2014). 물리적 휴면을 가진 종자는 세부적으로 두 가지로 나눌 수 있다. 첫째, 종피처리가 되어 수분이 흡수가 되지만 하면 발아가 시작되는 1) 물리적 휴면만을 가진 경우와, 종피처리 이후에 저온처리와 같은 또 다른 휴면타파 처리가 필요한 부류 즉, 물리적 휴면과 생리적 휴면을 함께 가지고 있는 2) 조합휴면(PY+PD)이 있다(Baskin and Baskin, 2014). 물리적 휴면만을 가진 종자는 콩과(Fabaceae) 등 18개의 과에서 보고가 되고 있다. 하지만 물리적 휴면을 가지고 있는 그룹 또는 같은 속의 식물이라도 모두 물리적 휴면을 가지고 있는 것은 아니다. 예를 들면 아카시아속(*Acacia*) 식물의 종자는 대부분은 물리적 휴면을 가지고 있지만

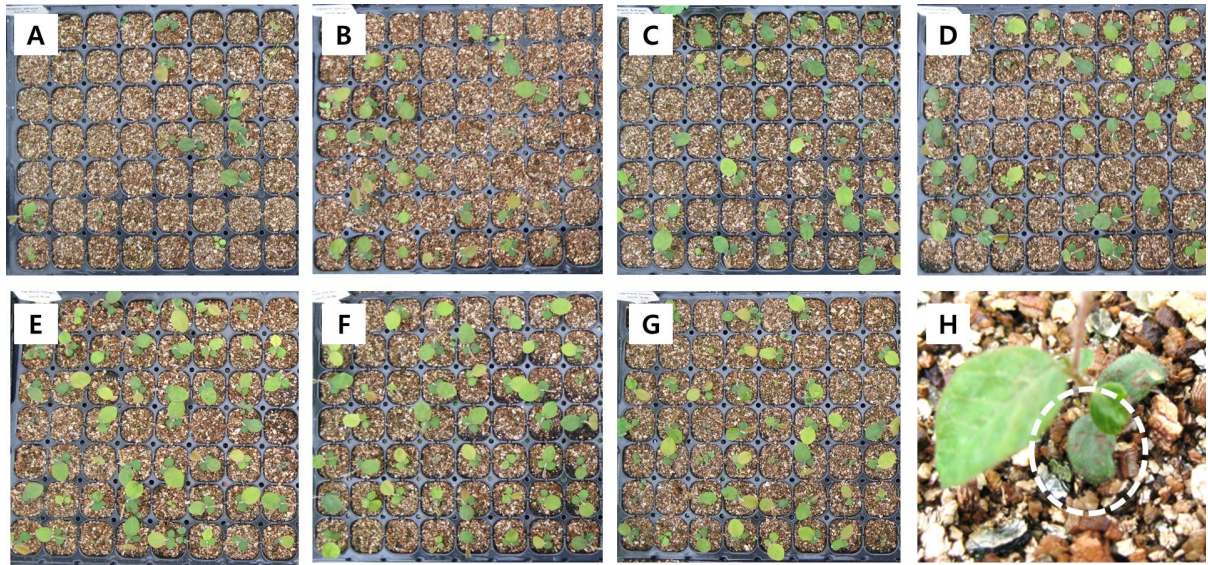


Fig. 4. Effects of sulfuric acid on the seedling emergence of *Lespedeza tomentosa*. Seeds were scarified for 30 min (A), 60 min (B), 90 min (C), 120 min (D), 150 min (E), 180 min (F), and 300 min (G) with sulfuric acid. Seedling that grew normally despite damage incurred at the cotyledon (in circle) for long term soaking with sulfuric acid (H).

A. gilliesii, *A. praecox*같은 식물의 종자는 불투과성 조직이 없어 물 흡수가 잘되고 발아 또한 잘 되는 것으로 알려져 있다(Venier *et al.*, 2012). 한편 조합휴면을 가지고 있는 종자는 콩과의 캐나다박태기나무(*Cercis canadensis*), 윗나무과(Anacardiaceae)의 *Rhus aromatic*를 비롯한 8개의 과(family)에서 보고된 바 있다(Geneve, 1991; Li *et al.*, 1999). 이들 종자의 발아를 위해서는 종피처리 이후에 별도의 휴면 타파 처리가 필요하며 저온층적처리 또는 고온층적처리를 필요로 한다(Baskin and Baskin, 2014).

개싸리 종자는 황산처리를 하지 않으면 거의 발아가 되지 않지만, 황산처리 후 바로 발아가 개시되었기 때문에 물리적 휴면을 가지고 있다고 판단된다. 본 연구에 사용된 개싸리 종자는 채종 이후 건조를 시킨 상태로 5°C 저온고에 약 7개월간 저장한 종자이다. 일반적으로 종자의 생리적 휴면을 가진 종자는 후숙처리(After-ripening) 또는 층적처리(Stratification)처리를 통해 생리적 휴면이 타파되고 발아가 촉진된다(Bradford and Nonogaki, 2007). 층적처리는 종자에 물을 흡수시킨 이후 고온(15°C 이상) 또는 저온(0~10°C)에 일정기간 배양을 시키는 것이며, 후숙처리는 종자를 건조상태에 두어서 휴면을 타파하는 것이다(Baskin and Baskin, 2014). 그런데 후숙처리는 고온과 저온에서 효과적인 층적처리와는 달리 온도가 높아야 효과가 있는 것으로 알려져 있다(Bradford and Nonogaki, 2007). 그러나 저온인 5°C 심지어 -20°C에서 종자를 보관하더라도 어떤 식물 종에 있어서

는 후숙처리 효과가 나타날 수 있기 때문에 종자의 휴면을 결정하는 실험을 할 경우 되도록 저장을 하지 말고 바로 실험을 수행할 것을 권장하고 있다(Baskin *et al.*, 2006). 실험에 사용된 개싸리 종자가 건조상태로 저온에 저장하여 생리적 휴면에 크게 영향을 미치지 않을 것으로 판단되지만 저장기간 동안 후숙처리가 되지 않았다고 단정 할 수는 없다. 다만 개싸리와 같은 씨리속에 속해있는 씨리와 비수리 종자의 경우에도 황산처리 이후 별도의 생리적 휴면 타파 처리 없이 발아가 진행된 것으로 보아(Cho *et al.*, 2012), 개싸리 종자도 생리적 휴면보다는 물리적 휴면 요인이 크게 작용했다고 추측된다.

결론적으로 개싸리는 물불투과성 막을 형성한 물리적 휴면이 있으며, 황산처리를 통해 효과적으로 발아를 시킬 수 있었다. 기내에서는 48분에서 384시간까지 넓은 처리 기간 동안 80% 이상의 발아율을 획득 할 수 있었지만, 기외 실험을 통해 180분 처리에서 약 70%로 출현율이 낮아졌기 때문에 개싸리의 증식을 위해서는 황산을 90분~180분 이내에 처리를 하는 것이 가장 좋을 것으로 사료된다.

적 요

싸리속(*Lespedeza*)식물은 가축사료, 제방 녹화용 등으로 활용되는 자원식물이다. 이들 종자는 산지의 화재 이후에 발아, 출현하는 fire species로 알려져 있다. 선행연구에서 이런 점을

착안하여 인위적으로 열을 가했을 때 발아가 되었으나 발아율이 낮고 처리가 용이하지 않았다. 따라서 본 연구는 개싸리 종자를 황산처리하여 화학적으로 종피처리하여 발아율을 높이기 위해 수행되었다. 개싸리 종자를 98% 황산에 0, 1, 3, 6, 12, 24, 48, 96, 192, 384분 동안 침지시키고 흐르는 물에 24시간 동안 씻었다. 황산처리를 하지 않은 대조구의 경우 거의 발아가 되지 않았지만, 황산처리 시간이 길어질수록 개싸리의 발아율이 증가하였다. 황산 24, 48, 92분 처리에서 90% 이상 발아가 되었다. 그러나 장기간 황산처리시 발아된 유근에 황산피해가 관찰되었다. 기외 실험에서 황산처리 후 건전묘 출현을 알아보기 위해 황산 30, 60, 90, 120, 150, 180, 300분을 처리한 원예상토가 충전된 트레이에 파종하고 비닐온실에서 발아율을 측정하였다. 황산 90분, 150분 처리에서 발아율은 각각 92%, 84%였으나 이보다 더 긴 기간 동안 처리하였을 때 출현율이 떨어졌다. 따라서 개싸리의 발아를 위한 황산 최적시간은 1~2시간으로 판단된다. 개싸리는 종피처리 이후 바로 발아가 시작되어 대부분 1달 이내에 발아가 완료되었으며, 이는 개싸리 종자는 생리적 휴면은 없는 물리적 휴면을 가지고 있음을 알 수 있다.

References

- Allen, O.N. and E.K. Allen. 1981. The Leguminosae. Univ. Wisconsin Press, Madison & Macmillan Publishers, London, UK.
- Baskin, C.C. and J.M. Baskin. 2014. Seeds: ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination. Academic Press, San Diego, CA (USA).
- Baskin, C.C., K. Thompson and J.M. Baskin. 2006. Mistakes in germination ecology and how to avoid them. *Seed Sci. Res.* 16:165-168.
- Bradford, K.J. and H. Nonogaki. 2007. Seed Development, Dormancy and Germination. Blackwell Publishing, Garsington Road, Oxford, UK.
- Cho, Y.H., E.S. Kim, H.K. Kang and Y.M. Cheong. 2012. A study on characteristics of seed germination of native plants for revegetation on the slope of river bank. *J. Kor. Soc. Environ. Restor. Tech.* 15:103-115 (in Korean).
- Choi, C.H., B.S. Seo, S.Y. Kim and W.J. Park. 2007. Effect of hot water treatment times on moisture absorption and germination of *Albizia julibrissin* seeds. *Korean J. Plant Res.* 20:267-271 (in Korean).
- Clewell, A.F. 1966. Native north American species of *Lespedeza* (Leguminosae). *Rhodora* 68:359-405.
- 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. Expt. Bot.* 35:1609-1617.
- Coolbear, P. and C. McGill. 1990. Effects of a low-temperature pre-sowing treatment on the germination of tomato seed under temperature and osmotic stress. *Sci. Hort.* 44:43-54.
- Crider, F.J. 1952. Natob-a new bush *Lespedeza* for soil conservation. USDA, Washington. D.C. (USA).
- Davison, V.E. 1945. Wildlife values of the lespedezas. *J. Wildlife Manage.* 9:1-9.
- Davison, V.E. 1954. Lespedezas for quail and good land use. Leaflet 373. Washington. DC, USDA Soil Conservation Service. p. 10.
- Edwards, T.I. 1934. Relations of germinating soy beans to temperature and length of incubation time. *Plant Physiol.* 9:1-30.
- Gabrielson, F., E. Cross, D. Bradshaw and O. Carter. 1982. Seed size influence on germination and plant growth of Kobe lespedeza and other species used for surface mine revegetation. *Reclam. Reveg. Res.* 1:271-281.
- Geneve, R.L. 1991. Seed dormancy in eastern redbud (*Cercis canadensis*). *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 116:85-88.
- Han, Y.C. 1973. The cuttings of the genus *Lespedeza*. *J. Kor. For. Soc.* 20:45-50.
- Han, Y.C. 1976. The effect of different periods of seed storage on germination of genus *Lespedeza*. *J. Kor. For. Soc.* 31:30-36.
- Henson, P.R. 1957. The lespedezas. *Adv. Agron.* 9:113-157.
- Jeon, G.S. and B.M. Woo. 1999. Optimal amount and mixture ratio of seeding of the exotic and native plants for slope revegetation (II). *J. Korean Env. Res. Reveg. Tech.* 2:33-42 (in Korean).
- Kang, J.H., S.Y. Yoon and S.H. Jeon. 2004. Analysis on practicality of seed treatments for medicinal plants published in Korean scientific journals. *Korean J. Medicinal Crop Sci.* 12:328-341 (in Korean).
- Lee, Y.N. 2002. Flora of Korea. Kyo-Hak Publishing Co. Seoul, Korea.
- Li, X., J.M. Baskin and C.C. Baskin. 1999. Anatomy of two mechanisms of breaking physical dormancy by experimental treatments in seeds of two North American *Rhus* species (Anacardiaceae). *Amer. J. Bot.* 86:1505-1511.
- Martin, R.E., R.L. Miller and C.T. Cushwa. 1975. Germination response of legume seeds subjected to moist and dry heat.

- Ecology 56:1441-1445.
- Owsley, C. and E. Surrency. 1989. Registration of 'Amquail' thunberg *Lespedeza*. *Crop Sci.* 29:238-238.
- Stoddard, H.L. 1936. Bobwhite quail; its habits, preservation and increase. Charles Scribner's Sons, NY (USA).
- Suh, H.M. 2004. Studies on seed treatments of pelletized seeds for direct seeding. Ph.D Thesis, University of Konkuk, Korea. pp. 12-35.
- Venier, P., G. Funes and C.C. García. 2012. Physical dormancy and histological features of seeds of five *Acacia* species (Fabaceae) from xerophytic forests in central Argentina. *Flora-Morphology, Distribution, Funct. Ecol. Plants* 207: 39-46.
- Vogel, W. 1974. *Lespedeza* michx.- *lespedeza*: In Schopmeyer, C.S. (ed.), *Seeds of Woody Plants in the United States, Agric. Handbk*, 450. Washington, DC: USDA Forest Service, USA. pp. 488-490.

(Received 14 October 2015 ; Revised 16 February 2016 ; Accepted 22 February 2016)