

갈매보리수나무 종자의 온도 및 여러 가지 전처리에 따른 발아반응

최충호*

경기도산림환경연구소

Effect of Temperature and Various Pre-treatments on Germination of *Hippophae rhamnoides* Seeds

Chung Ho Choi*

Gyeonggi-do Forestry Environment Research Center, Osan 447-802, Korea

Abstract - This study was carried out to test seed germination responses to temperatures and pre-treatments in *Hippophae rhamnoides*, which has many abilities in antioxidant activity, soil improvement and erosion control. *H. rhamnoides* seeds were placed at 10, 15, 20, 25, 30 and 35°C under light condition. As the results, germination percentage (GP) was the highest at 15 and 20°C, and mean germination time (MGT), germination rate (GR) and germination value (GV) were the highest at 25°C. Quadratic and linear regression model were used to determine the cardinal temperatures such as base (T_b), maximum (T_m) and optimum (T_o) temperature for germination. In quadratic regression model using PG, T_b , T_m and T_o was estimated as 0.6, 36.4 and 18.5°C, respectively, and temperature range for germination was 35.8°C. In linear regression model using GR, T_b , T_m and T_o was estimated as 8.3, 35.4 and 25.3°C, respectively, and temperature range for germination was 27.2°C. Germination properties were investigated after *H. rhamnoides* seeds were treated by prechilling (1, 2, 4, 6 and 8 weeks), stratification (2, 4, 6 and 8 weeks), solid matrix priming (seed : carrier : water = 5 : 1 : 7, 8, 9 and 10), osmo-priming (-0.25, -0.5, -1.0 and -1.5 MPa) and calcium chloride (CaCl₂)-priming (100, 200, 300 and 400 mM). The highest GP was observed in CaCl₂ 300 and 400 mM treatments, and MGT was the shortest in stratification 6 and 8 weeks treatments. GR and GV were the highest and GP was the second highest when seeds were prechilled for 1 and 2 weeks. Consequently, prechilling 1 or 2 weeks treatment was considered as the appropriate method when we contemplate qualitative and quantitative effects in seedling production.

Key words - Germination, *Hippophae rhamnoides*, Pre-treatment, Seed, Temperature

서 언

임목종자의 발아는 유전적·환경적 지배를 받는데, 종자가 발아하기 위해서는 알맞은 환경요건이 필수적이다. 발아에 필요한 조건들은 적정 수분, 온도, 공기의 조성, 그리고 광(光)이다. 그 중 온도는 고등식물의 종(種) 또는 개체군(個體群)의 생태적 반응을 지배하며, 특히 종자발아를 제어하는 중요한 환경인자이다(Washitani and Takenata, 1984). 대부분의 식물들은 온도에 따라 종자의 발아율과 발아속도가 결정되어지며(Heydecker, 1977), 종자의 발아율은 대개 특정한 온도 범위내에서 일정하게 유지되고, 이 범

위를 벗어나게 되면 급격히 감소한다고 한다(Thompson, 1970). 종자의 발아에 미치는 온도는 최저온도, 최적온도 및 최고온도로 나누어 생각할 수 있는데 최적온도 조건에서는 가장 짧은 기간 내에 가장 높은 발아율을 보일 수 있다(Kang, 2009). 대부분 식물종자는 20~25°C를 발아적온으로 하나 고온이나 저온에서 발아하는 특성을 가진 식물도 있다(Nunez and Calvo, 2000; Vollalobos and Pelaez, 2001; Vollalobos *et al.*, 2002; Huang *et al.*, 2003).

임목종자와 온도에 대한 연구결과를 살펴보면, 사시나무는 20°C 항온에서 발아율이 가장 높았다고 하였으며(Borret, 1954), 미국물푸레나무는 25°C에서 가장 높은 발아율이 관찰되었다고 하였다(Asakawa, 1956). Hwang (1994)은 진달래속(*Rhododendron*) 수종인 참꽃나무에 대

*교신저자(E-mail) : seedchoi@gg.go.kr

해 15~30°C의 범위에서 종자 발아실험을 실시한 결과, 20°C에서 91%로 가장 높은 발아율을 보였으나 25°C에서 급격히 발아율이 감소하여 참꽃나무는 서늘한 온도조건에서 발아가 잘 이루어짐을 알 수 있었다고 보고 하였다. 한편, Sacande *et al.*(2004)은 *Prunus africana* 종자를 10~25°C에 치상한 실험에서 모두 발아하여 휴면성이나 저온에 대한 민감성이 전혀 없었다고 발표하였다.

그러나 적합한 온도, 습도, 산소 및 광조건에도 불구하고 발아가 되지 않는 경우도 있는데 이것은 수종에 따라서 정도의 차이는 있지만 종자가 가진 휴면성 때문이다(Copeland and McDonald, 1985). 종자휴면은 과피나 종피의 불투수성, 종피 내 발아억제물질의 존재 또는 종피의 물리적 작용에 의한 배의 성장 억제 등의 내적인 요인뿐만 아니라 광, 온도, 수분 등의 외적인 요인에 의해서도 휴면상태에 이르는데, 이들 요인들을 적절하게 조절한다면 종자의 발아율을 향상시킬 수 있다(Pollock and Olney, 1959; Barnett, 1972; Kelly *et al.*, 1992; Tomer and Slingh, 1993; Close and Wilson, 2002; Khan and Gulzur, 2003; Komilis *et al.*, 2005). 파종하기 전에 빠르게 그리고 균일하게 발아를 촉진시키고 휴면을 타파하기 위해 종자에 물리적 및 생리적으로 자극을 가하는데 이를 종자 전처리라 한다. 종자의 휴면타파 및 발아율 향상을 위하여 인위적으로 사용될 수 있는 전처리 기술로는 저온처리, 열처리, 화학적 파상처리, 호르몬처리, priming 처리 등이 보고되었다(Khan *et al.*, 1973; Hemmat *et al.*, 1985; Bradford *et al.*, 1988; Yeoung and Wilson, 1995).

갈매보리수나무(*Hippophae rhamnoides* L.)는 보리수나무과(Elaeagnaceae)에 속하는 낙엽활엽 관목으로서 한국과 북한에서 비타민나무, 산자나무, 보리수아재비 등으로 불리지고 있다. 원산은 중앙아시아 몽고 티벳고원이며, 암수가 다른 자웅이주이다. 1~3년생은 한해 90~150 cm까지 성장하며, 열매를 갖는 4년생부터는 60~75 cm 정도 성장하게 된다. 열매는 9~10월경에 수확하며 현재 알려진 갈매보리수나무는 6종 12아종으로 분류되고 있다(Rousi, 1971; Li and Schroeder, 1996). 갈매보리수나무는 내한성이 매우 강한 수종으로서 가뭄과 한발에서도 잘 견디며, -43~40°C의 온도분포와 다양한 기후조건, 토양조건에서 생육이 가능할 뿐 아니라, 질소고정능력이 뛰어나 뿌리의 생육이 매우 양호하여 토양침식 예방, 토양개간, 간척 등의 목적에 적합한 식물로 알려져 있다(Baiey and Baiey, 1978).

또한 잎, 열매, 수피 등에서 vitamin, flavonoid, amino acid, 미량원소 등 100여종 이상의 풍부한 유효성분을 포함하고 있어 영양학적 및 생리활성을 활용한 기능성 측면에서도 뛰어난 가치를 인정받고 있다(Geetha *et al.*, 2002; Ganju *et al.*, 2005; Tiitinen *et al.*, 2006; Khatab *et al.*, 2006). 이에 따라서 갈매보리수나무의 우수한 잠재적 가치를 상업적으로 활용하고자 많은 관심과 연구가 이루어지고 있으나 임목의 대량생산을 위한 연구는 강원도 농업기술원에서 보고한 강원지역 비타민나무 재배적지 탐색 및 번식기술 연구에 대한 자료(www.ares.gangwon.kr)만 있을 뿐 매우 미비한 실정이다.

따라서 본 연구는 갈매보리수나무의 잠재적 가치를 인정하고 재배확대를 위한 대량생산을 목적으로 기능성 작물, 사방용 수종, 토양개량 등 활용성이 뛰어난 갈매보리수나무의 종자 발아 온도조건 및 전처리에 대한 발아특성을 구명함으로써 유용 유전자원의 장기보존 및 실생번식을 위한 기초자료를 제공하고자 실시하였다.

재료 및 방법

공시재료

본 연구를 위해 사용된 공시재료는 2009년 10월 몽골 중앙도 조모트시 지역(Fig. 1)에서 채취된 갈매보리수나무 종자로 연구협의를 통해 몽골국립대로부터 시험용으로 소량 채취한 것을 제공받았다. 공시재료의 물리적 특성은 Table 1과 같다.



Fig. 1. Location map of *Hippophae rhamnoides* seeds collection site.

Table 1. Physical characteristics of *Hippophae rhamnoides* seeds

Species	Length (mm)	Width (mm)	Swt (g)	Smc (%)
<i>Hippophae rhamnoides</i>	5.13 ± 0.43	2.45 ± 0.42	13.24 ± 0.65	7.87 ± 0.02

Swt : 1,000 seeds weight, Smc : seed moisture contents.

온도 조건별 치상

갈매보리수나무 종자의 적정 발아온도 조건을 구명하기 위하여 종자를 100 ml 증류수에 24시간 침수시킨 후, 각각 10, 15, 20, 25, 30, 35°C, 명(明)조건으로 설정된 incubator 에 치상하였다.

종자 전처리

전처리가 종자 발아에 미치는 영향을 파악하고자 예냉 (prechilling), 층적(stratification), priming을 실시하였다. Priming은 방법에 따라 불활성 고체물질을 이용하는 solid matrix priming(SMP)과 고분자 삼투물질을 이용하는 osmo-priming, 무기염류를 이용한 priming으로 구분하여 처리하였다. 예냉 처리를 위하여 종자를 실온에서 24 시간 동안 물에 침지하여 수분을 충분히 흡수시킨 후 발아 지에 치상하여 저온저장고(2~4°C)에 각각 1, 2, 4, 6, 8주 동안 보관한 후 다시 incubator에 치상하였다. 층적 처리는 젖은 모래를 이용하였으며, 2, 4, 6, 8주 동안 예냉 처리기와 같이 저온저장고에 보관하였다. SMP 처리는 micro-cel E를 이용하였으며, seed(g) : carrier(g) : water(g)의 비율을 5:1:7(A), 8(B), 9(C), 10(D)으로 각각 조절한 다음, 7일 동안 20°C, 압조건에서 처리되었다. Osmo-priming 처리는 polyethylene glycol(PEG)을 이용하여 -0.25, -0.5, -1.0, -1.5 MPa로 조절 후, 3일 동안 20°C에서 실시되었다. 무기염류를 이용한 priming 처리를 위해 CaCl₂를 100, 200, 300, 400 mM의 농도로 이용하였다.

발아특성 조사

각각의 온도조건 및 전처리에 따른 갈매보리수나무 종자는 50립 4반복으로 petri-dish에 치상되었다. 전처리별 종자의 치상온도는 온도조건 실험에서 도출된 적정온도를 적용하였다. 종자는 유근이 2 mm 이상 신장하였을 때 발아한 것으로 간주하였으며, 치상 후 24시간 마다 발아된 종자의 수를 조사하여 발아율(germination percentage; GP), 평균발아일수(mean germination time; MGT), 발아속도(germination rate; GR) 및 발아치(germination value;

GV)를 산출하였다. 발아율은 총 공시종자에 대한 발아종자의 백분율로 표시하였으며, GP=(N/S)×100의 식을 이용하였다. 여기에서 N은 총 발아수, S는 총 공시종자수이다. 평균 발아 일수는 MGT=Σ(t_in_i)/N의 식을 이용하였다. 여기서 t_i는 치상 후 조사일수, n_i는 조사 당일의 발아수, N은 총 발아수이다. 발아속도는 GR=Σ(n_i/t_i)의 식에서 계산하였다. 여기서 n_i는 조사 당일의 발아수이고, t_i는 치상 후 조사일수이다(Scott *et al.*, 1984). 발아치는 GV=PV×MDG의 식을 이용하였다(Czabator, 1962). PV (peak value)는 누적발아율을 치상 후 조사일수로 나눈 값 중 최고치이며, MDG(mean daily germination)는 일 평균 발아율이다. 또한, 종자 발아에 있어 중요한 온도조건인 기준온도(base temperature, T_b), 최대온도(maximum temperature, T_m), 적정온도(optimum temperature, T_o)를 일반적으로 이용되고 있는 발아율을 이용한 2차 회귀분석 모델과 발아속도를 이용한 선형 회귀분석 모델로서 비교하였다(Hardegree, 2006; Hardegree and Winstral, 2006).

통계분석

조사된 자료의 통계분석은 SAS 통계 package(Ver. 8.0)를 이용하였으며, 실험치의 정확한 분석을 위하여 20% 이하 80% 이상의 퍼센트(percent)값은 각도수변형법을 이용하여 각도수로 변형하는 등 수치변형 후 분산분석(ANOVA)을 실시하여 처리에 대한 유의성을 검정하였다. 또한 처리간 비교를 위하여 Duncan의 다중검정(Duncan's multiple range test, DMRT)을 실시하였다.

결과 및 고찰

온도에 따른 발아특성

온도는 대부분 종에 있어서 발아율과 발아속도를 결정하는 것으로 알려져 있으며(Heydecker, 1977, Bewley and Black, 1982), 종자의 발아율은 대개 특정한 온도범위 내에서 일정하게 유지되고, 이 범위를 벗어나게 되면 매우 급

Table 2. Germination properties of *H. rhamnoides* seeds initiated at different temperature regime, respectively

Temp. (°C)	GP (%)	MGT (day)	GR (d ⁻¹)	GV
10	32.7	24.1	0.72	0.8
15	40.7	12.1	1.85	2.8
20	40.7	7.8	3.04	5.1
25	32.7	4.0	5.17	20.4
30	30.0	5.7	2.61	12.1
35	3.3	6.7	0.26	0.4

GP: germination percentage, MGT: mean germination time, GR: germination rate, GV: germination value.

격히 감소한다고 한다(Thompson, 1970). 또한 종자 발아의 온도 선택은 종에 따라 다양하며, 같은 속의 식물에서도 발아 적온에 큰 차이를 보이기도 한다. 갈매보리수나무 종자를 10~35°C의 온도 범위에 각각 치상하였을 때 나타난 발아반응은 Table 2와 같다. 발아율은 15°C와 20°C에서 40.7%로 가장 높게 나타났으며, 35°C에서 가장 낮게 나타났다. 양적 지표인 발아율은 대체적으로 높은 온도에서 발아가 취약함을 알 수 있었는데, 이 같은 특성은 저온지대에 주로 생육하고 있는 갈매보리수나무의 환경과 연관이 있는 것으로 사료된다. 반면 질적 지표라고 할 수 있는 평균발아일수, 발아속도, 발아치의 경우 25°C에서 가장 좋은 결과를 나타냈는데, 특히 발아치의 경우 다른 온도조건과의 차이가 현저하였다. 이와 결과를 통해 갈매보리수나무 종자는 비교적 낮은 온도인 15, 20°C에서 다량의 종자발아가 이루어지나 그 속도나 균일성, 발아세에 있어서는 우수하지 못함을 알 수 있다.

갈매보리수나무 종자의 적정 발아 온도 조건을 예측하고자 발아율에 의한 2차 회귀분석 모델과 발아속도에 의한 선형회귀분석 모델을 이용하였다(Table 3, Fig. 2).

발아율을 이용한 2차 회귀분석 모델에서 주요 발아 온도 조건 중 기준온도(T_b)는 0.6°C, 최대온도(T_m)는 36.4°C, 적정온도(T_o)는 18.5°C로 나타났으며, 발아가능 온도범위는 35.8°C로 나타났다. 발아속도를 이용한 선형회귀분석 모델에서는 기준온도 8.3°C, 최대온도 35.4°C, 적정온도 25.3°C로 나타났으며, 발아가능 온도범위는 27.2°C로 나타났다. 종자발아는 광, 온도, 기타 환경인자에 영향을 받으며(Bewley and Black, 1994; Baskin and Baskin, 1998), 이 중 온도는 최대 발아율(Heydecker, 1977)과 발아속도(Flores and Briones, 2001; Phartyal *et al.*, 2003)에

영향을 미치는 가장 중요한 인자이다. 최소온도, 최대온도, 적정온도와 같은 주요온도들은 식물종의 종자가 발아할 수 있는 온도범위를 설명하는 것으로 알려져 있다(Bewley and Black, 1994). 여러 수종의 종자는 결정된 온도범위에서 발아할 수 있는 능력을 가지고 있는데, 이때 결정된 온도범위는 주요 온도들로 언급되고 있다(Alvarado and Bradford, 2002). 결국, 최소 주요온도는 발아 등 식물생장이 이루어 질 수 있는 가장 낮은 온도로서, 이 온도 이하에서는 더 이상 생장이 이루어지지 않는다. 또한 기준온도는 생장이 멈춰있는 시점에서 식물생육 모델링에서 중요한 역할을 하는 적산온도(thermal time)를 산출하기 위한 필수적 요소로 작용한다(Slafer and Savin, 1991). 적정온도는 식물 생장이 최대로 이루어지는 온도이며, 최대온도는 식물생장이 이루어지는 가장 높은 온도이다(Taghvaei and Ghaedi, 2010). 이에 따르면 갈매보리수나무 종자는 2차 회귀분석 모델의 경우 0.6°C이하, 36.4°C이상에서, 선형회귀모델의 경우 8.3°C 이하, 35.4°C이상에서 발아 등 생장이 불가능한 것으로 나타난다. 한편, 기준온도와 적정온도는 선형회귀분석 모델에서, 최대온도와 발아가능 온도범위는 2차 회귀분석 모델에서 더 높게 나타났다. 이처럼 두 회귀분석 모델에서 주요 발아온도 조건이 차이를 나타내었는데, 대부분 종자의 발아특성간 상관분석시 발아율과 발아속도는 높은 정(+)의 상관관계를 나타내었으나(Tak *et al.*, 2006; Choi *et al.*, 2007) 본 연구에서는 이와 달랐기 때문으로 사료된다(본 연구의 상관분석 결과 미제시).

종자 발아에 대한 주요 온도는 예측하는 연구는 이전부터 상당수 보고된 바 있는데, Aflakpui *et al.*(1998)은 *Striga hermonthica* 종자를 15~45°C 항온조건에 치상 후, 발아속도를 이용하여 주요 온도를 산출하였으며, Moot

Table 3. Cardinal temperatures (T_b , T_m and T_o) by quadratic regression model, and linear sub- and supra-optimal models for germination percentage and rate for *H. rhamnoides* seed as a function of temperature response, respectively

Model		T_b^a	T_m	T_o	range
Quadratic regression		0.6	36.4	18.5	35.8
Linear regression	Sub-optimal	8.3	-	25.3	27.2
	Supra-optimal	-	35.4		

^aBase (T_b), maximum (T_m), and optimum (T_o) temperatures ($^{\circ}\text{C}$), respectively.

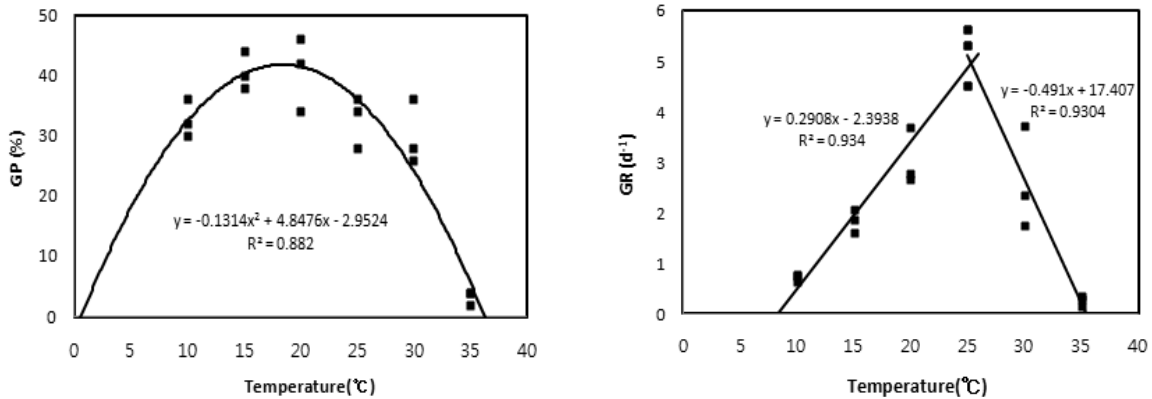


Fig. 2. Regression equations and r^2 by quadratic regression model, and linear sub- and supra-optimal models for germination percentage (GP) and rate (GR) in *H. rhamnoides* seed as a function of temperature response, respectively.

et al.(2000)은 화이트클로버 등 온대지역 목초식물을 이용하여 기준온도와 적산온도(thermal time)를 산출한 바 있다. 또한 Alvarado and Bradford(2002)는 hydrothermal time 모델로서 종자발아에 대한 주요온도를 설명한 바 있으며, 3가지 수수류 식물(millet species)의 주요 온도가 산출되기도 하였다(Kamkar et al., 2006). Choi(2010)는 2차 회귀분석 모델을 이용하여 8개 산지의 물푸레나무 종자의 주요 발아온도를 추정한 결과, 기준온도는 $-0.1\sim 5.2^{\circ}\text{C}$, 최대온도는 $33.5\sim 36.5^{\circ}\text{C}$, 적정온도는 $16.8\sim 20.9^{\circ}\text{C}$ 를 나타내었다고 하였으며, Mariso and Johnson(2008)은 쿠파아(cuphea) 종자를 2004년부터 2006년까지 3년간 채취하여 $4\sim 36^{\circ}\text{C}$ 의 온도범위에 각각 치상한 후 선형회귀분석 모델로 주요온도를 산출한 결과 기준온도는 연도별로 각각 11.0°C , 3.3°C , 5.5°C 를, 최대온도는 38.6°C , 35.8°C , 32.7°C 를, 적정온도는 21.2°C , 22.3°C , 24.0°C 를 나타내었다고 보고하였다.

한편, 유묘생산을 위한 종자 파종시 발아를 위한 주요 온도를 고려할 때 2차 회귀모델과 선형회귀모델 중 어느 것을 선택해야 할지 판단해야 하는데, 이는 전적으로 유묘를 생산하고자 할 때의 목표에 달려있다. 즉, 유묘의 생산

량에 목표를 두었다면 유묘 출현 속도가 늦거나 다소 불균일할 지라도 2차 회귀식에 근거한 모델을 선택함이 옳을 것이며, 생산량을 고려하지 않고 유묘의 출현 속도나 균일성에 초점을 둔다면 후자인 선형모델을 선택함이 바람직하다고 사료된다. Hardegree(2006)와 Marisol and Johnson(2008)의 연구에서도 위 2가지 모델에 대해 발아에 영향을 미치는 주요 온도를 예측할 때 이용한다고 하였으며, 다만 발아속도의 예측이 주(主) 목적인 연구에서 후자의 방법을 주로 이용한다고 하였다.

전처리에 따른 발아특성

종자 전처리에는 물리적 처리, 화학적 처리, 생리적 처리가 있다. 물리적 및 화학적 처리는 주로 종피의 불투수성이나 종피내 발아억제물질이 함유되어 휴면이 발생했을 때 열이나 기타 물리적 자극 및 화학물질 등을 적용함으로써 이를 제거하는 처리이며, 생리적 처리는 주로 배휴면 종자에 적용하는 방법이다. 갈매보리수나무 종자는 선(先)실험의 결과를 관찰했을 때 종피에 의한 휴면이 아니었으므로 생리적 처리방법인 예냉, 층적 및 priming을 이용하였다. 갈매보리수나무 종자의 전처리별 발아특성 결과는 Table 4

와 같다. 발아율, 평균발아일수 등 모든 발아특성은 처리 간에 1% 수준에서 통계적 유의성이 인정되었다. 발아율의 경우 예냉 2주, SMP C, CaCl₂ 300, 400 mM 처리구에서 무처리구 보다 높은 수치를 보였으며, 특히 CaCl₂ 300, 400 mM 처리구에서 52.6%와 50.9%로 가장 높은 발아율을 나타내었다. 평균 발아일수는 CaCl₂ 300 mM 처리구와 PEG -0.25 MPa에서 각각 10.7일과 10.8일로 가장 길게 나타났고, 층적 6주와 8주 처리가 각각 1.7일과 1.2일로 가장 짧았다. 발아율 결과와 비교해 보았을 때 평균발아일수 10.7일을 나타낸 CaCl₂ 300 mM 처리구(발아율 52.6%)의 경우 종자 발아기간이 오랫동안 지속되었음을 의미하나 10.8일을 나타낸 PEG -0.25 MPa(발아율 31.4%) 처리구

는 부적정 조건에 의한 발아 지연으로 해석 할 수 있다. 가장 짧은 발아일수는 나타낸 층적 6주, 8주 처리구는 발아율이 30.0%와 28.7%에 불과한 것으로 보아 발아일수의 단축보다는 발아의 조기 종료로 판단된다. 또한 발아속도 결과에서도 알 수 있듯이 발아율이 높고 발아일수가 짧으면 발아속도가 높았는데, 예냉 2주 처리는 처리구들 중 가장 높은 발아속도를 보였으며, 대체적으로 발아속도는 예냉과 층적 처리구에서 높게 나타났다. 발아세를 추정하는 발아치의 경우 역시 예냉 1, 2주 처리구에서 47.8과 44.2로 가장 높게 나타났으며 발아속도와 마찬가지로 예냉 처리구와 층적 처리구에서 높은 수치를 보였다. 결과적으로, 양적인 지표(발아율)에서는 CaCl₂ 300, 400 mM priming 처리가

Table 4. Germination properties of *H. rhamnoides* seeds by various pre-treatments

treatment		GP (%)	MGT (day)	GR	GV
control (20°C)		40.7 ^{bcd}	7.8 ^c	3.0 ^{ghij}	5.1 ^{gh}
prechilling (week)	1	40.7 ^{bcd}	3.2 ^{hi}	8.6 ^b	47.8 ^a
	2	45.3 ^{ab}	2.9 ^{hi}	12.0 ^a	44.2 ^{ab}
	4	30.7 ^{ef}	7.5 ^{cd}	6.0 ^{cd}	8.8 ^{gh}
	6	17.3 ^g	5.3 ^{defg}	2.2 ^j	4.1 ^{gh}
	8	18.0 ^g	5.0 ^{efgh}	4.2 ^{efg}	12.1 ^{fg}
stratification (week)	2	40.7 ^{bcd}	4.7 ^{fgh}	4.8 ^{de}	19.0 ^{ef}
	4	36.0 ^{bcdef}	3.9 ^{gh}	7.1 ^c	29.8 ^{cd}
	6	30.0 ^f	1.7 ⁱ	8.1 ^b	36.4 ^{bc}
	8	28.7 ^f	1.2 ⁱ	9.5 ^b	23.6 ^{de}
Solid matrix priming	A	32.2 ^{cdef}	7.3 ^{cd}	2.7 ^{ghij}	4.9 ^{gh}
	B	31.4 ^{def}	9.9 ^{ab}	2.0 ^{ij}	3.3 ^{gh}
	C	44.1 ^{ab}	7.1 ^{cd}	3.9 ^{efgh}	8.9 ^{gh}
	D	33.9 ^{cdef}	8.3 ^{cd}	2.6 ^{hij}	4.4 ^{gh}
PEG-priming (MPa)	-0.25	31.4 ^{def}	10.8 ^a	1.9 ^{ij}	2.5 ^h
	-0.5	30.5 ^{ef}	9.9 ^{ab}	1.8 ^j	2.6 ^h
	-1.0	37.3 ^{bcdef}	9.9 ^{ab}	2.3 ^{ij}	3.8 ^{gh}
	-1.5	41.5 ^{bc}	7.6 ^c	3.4 ^{efghi}	6.8 ^{gh}
CaCl ₂ -priming (mM)	100	37.3 ^{bcdef}	6.5 ^{cdef}	3.2 ^{ghij}	6.1 ^{gh}
	200	39.9 ^{bcdef}	7.9 ^{bc}	2.6 ^{hij}	5.4 ^{gh}
	300	52.6 ^a	10.7 ^a	3.0 ^{ghij}	7.6 ^{gh}
	400	50.9 ^a	6.9 ^{cde}	4.5 ^{ef}	12.5 ^{fg}

Different letters indicate significantly different at $p < 0.01$ by DMRT. GP: germination percentage, MGT: mean germination time, GR: germination rate, GV: germination value.

가장 높은 효과를 보였으나 발아속도, 발아치 등 질적 지표에 있어서는 예냉 1, 2주 처리가 가장 효과적이었다. 그러나 예냉 2주 처리가 CaCl₂ 300, 400 mM 처리에 이어 높은 발아율을 나타낸 점을 감안할 때 유묘 생산시 질적·양적 측면에서 효과를 거두기 위해서는 예냉 2주 처리가 가장 적절한 처리 조건이라고 판단된다.

Slabaugh(1974)도 갈매보리수나무 종자에 대해 발아 전 예냉 처리가 요구된다고 하였으나 Heit(1976)는 10년 동안 연구한 결과 전 처리가 필요 없다고 하여 본 연구와 차이를 보였다. Ekpong(2009)은 *Cleome gynandra* 종자의 휴면타파를 위하여 예냉 처리를 1, 3, 5, 7일간 실시한 결과 1일 처리구에서 가장 높은 효과를 나타내었는데, 배 휴면 타파를 위한 예냉 처리 기간은 종피 구조나 발아 억제 물질과 같은 요인들에 달려있다고 하였다(Khan, 1997). 또한 예냉 처리 기간 동안 발생하는 내생 지베렐린의 증가(Hilhorst and Karssen, 1992)와 ABA의 감소(Bewley and Black, 1982)와 같은 메카니즘 때문에 휴면이 타파된다고 하였다. 이는 얇은 휴면을 가진 임목종자의 경우 상대적으로 짧은 예냉 처리 기간(2~6주)으로 발아속도나 발아능을 향상시킬 수 있다는 Jones and Gosling(1994)의 보고와 일치하는 결과이었다. 한편, Kambizi *et al.*(2006)은 *Withania somnifer* 종자를 암조건에서 3일 동안 예냉 처리하였을 때 발아율이 높아졌다고 하였으며, Rehman and Park(2000)은 모감주나무 종자를 60일 이상 예냉 처리하였을 때 발아율과 발아속도가 향상되었다고 보고하였다. Gosling *et al.*(2003)은 Douglas fir 종자의 수분함량을 여러 수준으로 조절하여 예냉 처리 하였을 때 32주와 48주 처리구에서 가장 높은 발아능을 나타내었다고 보고하였다. 또한 본 연구에서 사용된 또 다른 생리적 전처리 방법 중 하나인 층적 처리의 발아특성 향상에 대한 연구결과를 살펴보면, 테다소나무 종자는 층적 처리에 의해 발아속도가 향상되었으며(Schopmeyer, 1974), 리기다소나무 종자는 30일에서 90일 정도의 처리를 통하여 발아율이 높아졌다고 하였다(Barton, 1930). Bonner(1967)는 백합나무 종자를 70일 정도 층적 처리하였을 때 발아가 촉진된다고 하였으나 Ryu and Kim(2003)은 4개월간의 층적 처리 기간이 소요된다고 하였다.

적 요

본 연구는 기능성 작물, 사방용 수종, 토양개량 등 활용성이 뛰어난 갈매보리수나무의 유용 유전자원의 장기보존 및 실생번식에 도움을 주고자 종자의 발아 온도조건 및 전처리에 대한 발아특성을 구명하고자 실시되었다. 갈매보리수나무 종자는 10~35℃의 온도조건에 치상한 결과, 15, 20℃에서 발아율이 가장 높았으며, 평균발아일수, 발아속도 및 발아치는 25℃에서 가장 좋은 결과를 나타내었다. 또한 주요 발아온도를 예측하기 위하여 2차 및 선형 회귀분석모형을 이용하였는데, 발아율을 이용한 2차 회귀분석모형에서는 기준온도 0.6℃, 최대온도 36.4℃, 적정온도 18.5℃로 나타났으며, 발아가능 온도범위는 35.8℃이었다. 발아속도를 이용한 선형 회귀분석모형에서는 기준온도 8.3℃, 최대온도 35.4℃, 적정온도 25.3℃로 나타났으며, 발아가능 온도범위는 27.2℃로 분석모델간 차이를 나타내었다.

갈매보리수나무 종자를 생리적 처리 방법인 예냉, 층적 및 priming을 이용하여 전처리한 후 발아특성을 조사한 결과, 발아율에서는 CaCl₂ 300, 400 mM priming 처리구에서 가장 높은 수치를 나타내었다. 평균발아일수는 층적 6, 8주 처리구에서 가장 짧게 나타났으나 대조구 보다 발아율이 낮은 것으로 보아 발아일수의 단축 보다는 발아의 종기종료로 판단되었다. 발아속도 및 발아치의 경우 예냉 1, 2주 처리구에서 가장 높게 나타났으며 발아율 또한 CaCl₂ 300, 400 mM 처리구에 이어 높은 수치를 나타내어 유묘 생산시 양적·질적 측면을 고려했을 때 가장 적절한 조건으로 판단되었다.

사 사

본 연구는 산림청 산림과학기술개발사업 연구과제(과제번호 S120911L120140)의 지원에 의하여 수행하였습니다.

인용문헌

- Aflakpui, G.K.S., P.J. Gregory and R.J. Froud-Williams. 1998. Effect of temperature on seed germination rate of *Striga hermonthica* (Del.) Benth. *Crop Protection* 17: 129-133.

- Alvarado, V. and K.J. Bradford. 2002. A hydrothermal time model explains the cardinal temperatures for seed germination. *Plant Cell Environ.* 25:1061-1069.
- Asakawa, S. 1956. Thermoperiodic control of germination of *Fraxinus mandshurica* var. *Japonica* seeds. *J. Japanese Forestry Soc.* 38:269-272.
- Bailey, L.H. and E.Z. Bailey. 1978. Hortus third. A concise dictionary of plant cultivated in the United States and Canada. McMillan Publ. Co., New York, USA.
- Barton, L.V. 1965. Seed dormancy; General survey of dormancy types in seeds, and dormancy imposed by external agents. *In Encyclopedia of Plant Physiology.* Ruhland, Springer, Berlin, Germany. Vol. 15. pp. 699-720.
- Baskin, J.M. and C.C. Baskin. 1988. Germination ecophysiology of herbaceous plant species in a temperature region. *American J. Bot.* 72:286-305.
- Bewley, J.D. and M. Black. 1982. *Physiology and Biochemistry of Seeds in Relation to Germination.* 2nd ed. Springer-Verlag Press, Berlin, Heidelberg and New York. p. 375.
- _____. 1994. *Seeds: Physiology of Development and Germination.* Plenum Press. New York. pp. 257-292.
- Barnett, J.P. 1972. Seed coat influence dormancy of loblolly pine seeds. *Canadian J. Forest Research* 2:7-10.
- Bonner, F.T. 1967. Germination of sweetgum seed in response to light. *J. For.* 65:339.
- Borret, O. 1954. The germinated capacity of Aspen. *Medd. Noroke Skogforsoksv.* 13:1-44.
- Bradford, K.J., D.M. May, B.J. Hoyle, Z.S. Skibinski, S.T. Scott and K.B. Tyler. 1988. Seed and soil treatment to improve emergence of muskmelon from cold or crusted soils. *Crop Sci.* 28:1001-1005.
- Choi, C.H. 2010. Variation in seed germination response to temperature among provenances and enhancement of germination uniformity by priming treatments in *Fraxinus rhynchophylla*. Ph.D. Thesis, Chonbuk National University. pp. 58-62 (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).
- Close, D.C. and S.T. Wilson. 2002. Provenance effect of pre-germination treatments for *Eucalyptus regnans* and *E. delegatensis* seed. *Forest Ecol. Management* 170:299-305.
- Copeland, L.O. and M.B. McDonald. 1985. *Principles of Seed Science and Technology.* Burgess Publishing Co., Minneapolis, USA. pp. 103-120.
- Czabator, F.J. 1962. Germination value: an index combining speed and completeness of pine seed germination. *For. Sci.* 8:386-396.
- Ekpong, B. 2009. Effect of seed maturity, seed storage and pre-germination treatments on seed germination of cleome (*Cleome gynandra* L.). *Sci. Hort.* 119:236-240.
- Flores, J. and O. Briones. 2001. Plant life-form and germination in a Mexican inter-tropical desert: effects of soil water potential and temperature. *J. Arid Environments* 47:485-497.
- Ganju, L., Y. Padwad, R. Singh, D. Karan, S. Chanda, K.M. Chopra, P. Bhatnagar, R. Kashyap and R.C. Sawhney. 2005. Anti-inflammatory activity of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides*) leaves. *Inter. Immunopharm.* 5:1675-1684.
- Geetha, S., M. SaiRam, V. Sligh, G. Ilavazhagan and R.C. Sawhney. 2002. Antioxidant and immunomodulatory properties of seabuckthorn an *in-vitro* study. *J. Ethnopharm.* 79:373-378.
- Gosling, P.G., Y. Samuel and A. Peace. 2003. The effects of moisture contents and prechill duration on dormancy breakage of Douglas fir seeds (*Pseudotsuga menziesii* var. *menziesii* [Mirb.] Franco). *Seed Sci. Res.* 13:239-246.
- Hardegree, S.P. 2006. Predicting germination responses to temperature. III. Model validation under field-variable temperature conditions. *Ann. Bot.* 98:827-834.
- Hardegree, S.P. and A.H. Winstral. 2006. Predicting germination responses to temperature. II. Three-dimensional regression, statistical gridding and interactive-probit optimization using measured and interpolated-subpopulation data. *Ann. Bot.* 98:403-410.
- Heit, C.E. 1976. Laboratory germination testing of *Hippophae rhamnoides*. *Newsletter AOSA* 50:19-24.
- Hemmat, M., G.W. Zeng and A.A. Khan. 1985. Response of intact and scarified culy dock (*Rumex crispus*) seeds to physical and chemical stimuli. *Weed Sci.* 33:658-664.
- Heydecker, W. 1977. Stress and seed germination: An agronomic view, *In Elsevier A.K. (ed.), The Physiology and Biochemistry of Seed Dormancy and Germination,* North Holland and Biomedical Press, Amsterdam, Holland. pp. 237-282.
- Hilhorst, H.W.M and C.M. Karssen. 1992. Seed dormancy and germination: the role of abscisic acid and gibberellins and the importance of hormone mutants. *Plant Growth Regul.* 11:225-238.

- Huang Z., X. Zhang, G. Zheng and Y. Gutterman. 2003. Influence of light, temperature, salinity and storage on seed germination of *Haloxylon ammodendron*. J. Arid Environments 55:453-464.
- Hwang, H.J. 1994. Effects of temperature and light quality on seed germination of *Rhododendron weyrichii* Max. Proceedings of the 1994 Annual Meeting of the Korean Society for Horticultural Science. pp. 170-171 (in Korean).
- Jones, S.K. and P.G. Gosling. 1994. 'Target moisture content' prechill overcomes dormancy of temperate conifer seeds. New Forest 8:309-321.
- Kambizi, L., P.O. Adebola and A.J. Afolayan. 2006. Effects of temperature, pre-chilling and light on seed germination of *Withania somnifera*; a high value medicinal plant. South African J. Bot. 72:11-14.
- Kamkar, B., A. Koocheki, M.N. Mahallati and P.R. Moghaddam. 2006. Cardinal temperatures for germination in three millet species (*Panicum miliaceum*, *Pennisetum glaucum* and *Setaria italica*). Asian J. Plant Sciences 5:316-319.
- Kang, Y.H. 2009. Plant Physiology. Ji-Gu Publishing Co., Ltd. Paju, Korea. pp. 455-456 (in Korean).
- Kelly, K.M., J. van Staden and W.E. Bell. 1992. Seed coat structure and dormancy. Plant Growth Regulation 11:201-209.
- Khan, A.A. 1997. Quantification of seed dormancy: physiological and molecular consideration. HortScience 32:609-614.
- _____, K.L. Tao and C.H. Roe. 1973. Application of chemicals in organic solvents to dry seeds. Plant Physiol. 52:79-81.
- Khan, M.A. and S. Gulzar. 2003. Light, salinity and temperature effects on the seed germination of perennial grasses. American J. Bot. 90:131-134.
- Khatab, A.M., E.G. Haggag and M.H. Grace. 2006. Cytotoxic investigation of *Cynara sibthorpiana*. Asian J. Chem. 18:423-431.
- Komilis, D.P., E. Karatzas and C.P. Halvadakis. 2005. The effect of olive mill wastewater on seed germination after various pre-treatment techniques. J. Environmental Management 74:339-348.
- Li, T.S.C. and W.R. Schroeder. 1996. Sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.): A multipurpose plant. Hort. Technology 6:370-380.
- Marisol, T.B. and B.L. Johnson. 2008. Seed germination response of cuphea to temperature. Industrial Crops and Products 27:17-21.
- Moot, D.J., W.R. Scott, A.M. Roy and A.C. Nicholls. 2000. Base temperature and thermal time requirements for germination and emergence of temperate pasture species. New Zealand J. Agri. Res. 43:15-25.
- Nunez, M.R. and L. Calvo. 2000. Effect of high temperatures on seed germination of *Pinus sylvestris* and *Pinus halepensis*. Forest Ecology and Management 131:183-190.
- Phartyal, S.S., R.C. Thapliyal, J.S. Nayal, M.M.S. Rawat and G. Joshi. 2003. The influences of temperatures on seed germination rate in Himalayan elm (*Ulmus wallichiana*). Seed Sci. Technol. 31:83-93.
- Pollock, B.M. and H.O. Olney. 1959. Studies of the rest period : Growth, translocation, and respiration changes in the embryonic organs of the after-ripening cherry seed. Plant Physiol. 34:131-142.
- Rehman, S. and I.H. Park. 2000. Effect of scarification, GA and chilling on the germination of goldenrain-tree (*Koelreuteria panucolata* Laxm.) seeds. Sci. Hort. 85: 319-324.
- Rousi, A. 1971. The genus *Hippophae* L. A taxonomic study. Ann. Bot. Fenn. 8:177-227.
- Ryu, K.O. and H.E. Kim. 2003. Development of techniques and handling for seedling production of yellow-poplar (*Liriodendron tulipifera* L.). J. Korean For. Soc. 92: 236-245 (in Korean).
- Sacande, M., H.W. Pritchard and A.E. Dudley. 2004. Germination and storage characteristics of *Prunus africana* seeds. New Forests 27:239-250.
- Schopmeyer, C.S. 1974. Seed of Woody Plants in the United States. Agric. Handbook no. 450. Forest Service, USDA, Washington D.C. p. 883.
- Scott, S.J., R.A. Jones, and W.A. Williams. 1984. Review of data analysis methods for seed germination. Crop Sci. 24:1160-1162.
- Slabaugh, P.E. 1974. *Hippophae*. In: Seeds of woody plants in the United States. Forest Service. USDA. Washington, DC. pp. 446-447.
- Slafer, G.A. and R. Savin. 1991. Developmental base temperature in different phenological phases of wheat (*Triticum aestivum*). J. Expt. Bot. 42:1077-1082.
- Taghvaei, M. and M. Ghaedi. 2010. The impact of cardinal temperature variation on the germination of *Haloxylon aphyllum* L. seeds. J. Ecol. Field Biol. 33:187-193.
- Tak, W.S., C.H. Choi and T.S. Kim. 2006. Change in the

- seed characteristics and germination properties of *Ulmus dividiana* var. *Japonica* according to seed collection time. J. Korean For. Soc. 95:316-322 (in Korean).
- Thompson, P.A. 1970. Characterization of the germination responses to temperature of species and ecotypes. Nature 225:827-831.
- Tiitinen, K.M., B. Yang, G.G. Haraldsson, S. Jonsdottir and H.P. Kallio. 2006. Fast analysis of sugars, fruit acids, and vitamin C in sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides*) varieties. J. Agric. Food Chem. 54:2508-2513.
- Tomer, R.P.S. and K. Slingsh. 1993. Hard seed studies in rice bean (*Vigna umbellata*). Seed Sci. Technol. 21:679-683.
- Villalobos, A.E. and D.V. Pelaez. 2001. Influences of temperature and water stress on germination and establishment of *Prosopis caldenia* Burk. J. Arid Environments 49:321-328.
- _____, R.M. Boo, M.D. Mayor and O.R. Elia. 2002. Effect of high temperatures on seed germination of *Prosopis caldenia* Burk. J. Arid Environments 52:371-378.
- Washitani, I. and A. Takenaka. 1984. Mathematics of the seed germination dependency on time and temperature. Plant, Cell and Environ. 7:359-362.
- Yeoung, Y.R. and D.O. Wilson. 1995. Effects of oxygen concentrations and water potentials during priming on seed germination of muskmelon. J. Korean Soc. Hort. Sci. 36:192-198.
- Gangwondo Agricultural Research and Extension Service, Agricultural Information, www.ares.gangwon.kr
- (접수일 2012.1.3; 수정일 2012.2.10; 채택일 2012.2.17)