

PEG를 이용한 priming 처리가 고로쇠나무 종자 발아에 미치는 영향

최충호*, 탁우식, 조경진
국립산림과학원 임목육종과

Effect of Priming Treatment Using PEG on Seed Germination in *Acer mono* Max.

Chung Ho Choi*, Woo Sik Tak and Kyeong Jin Cho

Division of Tree Breeding, Korea Forest Research Institute, Suwon 441-350, Korea

Abstract - This study was conducted to improve the germination percent and germination speed by seed priming using polyethylene glycol (PEG) 8,000 solution on *Acer mono* seed because it has low and irregular germination characteristics. Seed priming was carried out under 0, -0.25, -0.5, -1.0 and -2.0 MPa of water potential at 20°C for 3 days. Primed seeds showed higher percent germination, germination speed, mean germination time (MGT) and germination performance index (GPI) than unprimed seeds. Especially, primed seed with -2.0 MPa of water potential had the highest germination properties. And primed seeds had a lower dormancy than the unprimed seeds. Relative growth rate and T/R ratio of seedling from primed seeds were measured to survey the effect of seed priming on the seedling vigor as well as seed germination. The seedlings from primed seeds at -2.0 MPa of water potential showed the highest relative growth rates of height and root collar diameter, however, the lowest value in T/R ratio. This study suggested that seeds priming at -2.0 MPa of water potential under 20°C for 3 days enhanced not only the percent germination, germination speed, MGT and GPI but also the vigor and growth of seedlings in *Acer mono*.

Key words - *Acer mono*, Priming, Germination property, Relative growth rate, T/R ratio

서 언

종자는 조림사업 뿐만 아니라 유전자원의 수집 및 보존적 측면에 있어 매우 중요한 식물의 한 부분이다. 이러한 측면에서 종자가 갖는 가장 중요한 기능은 발아라고 할 수 있기 때문에 지금까지 발아율 향상을 위해 많은 연구가 시도되어 왔다. 종자의 발아율 향상을 위하여 인위적으로 사용될 수 있는 처리기술로는 저온처리, 열처리, 화학적 과상처리, 호르몬처리, priming 처리 등이 보고되었다(Braford *et al.*, 1988; Hemmat *et al.*, 1985; Khan *et al.*, 1973; Yeoung and Wilson, 1995). 이러한 처리들 중에서 priming은 종자를 파종하기 전에 수분퍼텐셜(water potential)이 낮은 삼투압 용액에 일정기간 침지하여 종자의 흡수를 조절함으로써(Akers and Holly, 1986; Aljaro and Wyneken, 1985) 종자내 효소의 활성, 아미노산의 생합성, DNA 복제, mRNA 생합성, 종피구조의 변화 등을 유발하여 발아율의 향상, 발아소요일수의 단축, 수량증대에 효과적인 것으로 알려져 있다(Braford, 1986; Norton, 1988).

이러한 처리 효과를 가지고 있는 priming은 지금까지 여러 가지 처리 방법이 개발되어 사용되고 있다. 한계 수분 처리를 위하여 종종 PEG

(polyethylene glycol) 용액이나 무기염 용액을 이용하는 "osmopriming", 버미큘라이트와 같이 불활성 고체 분말을 이용하여 종자와 수분을 혼합하여 처리하는 "solid matrix priming(SMP)", 또한 순수한 물만을 이용하는 "수화프라이밍(hydropriming)" 등이 이에 속한다. 이렇듯 priming 처리법은 다양하기 때문에 처리의 정교성 또는 수월성 등을 고려하여 종자처리에 이용하여야 할 것이다.

이러한 priming 방법 중에서 PEG는 Heydecker와 Higgins (1973) 등이 priming 처리제로 처음 사용한 이래 주로 이용되는 화학약품으로서 가격이 비싸며, 처리 후 종자로부터 제거하기 힘들고 용존산소량이 적은 문제점이 있으나(Michel and Kanfmann, 1973; Mexal *et al.*, 1975) 분자량이 매우 커서 종자세포 안으로 침투하기 어렵기 때문에 종자에 해를 끼치지 않고(Cantliffe, 1983; Heydecker and Coolbear, 1977) 쉽게 수분 퍼텐셜을 조정할 수 있어(McClendon, 1981) 기본적인 priming 처리에 많이 사용된다.

지난 20년 동안 종자의 priming은 고추(정 등, 1995; 민, 2003), 당근(정 등, 2000; 조 등, 2001) 등 채소류와 병꽃나무(이 등, 2003), 선인장(최 등, 2001) 등 화훼류에서 유묘의 출현율, 균일성 및 속도를 증진시키기 위해 가장 많이 사용된 방법이었다(Parera and Cantliffe,

*교신저자(E-mail) : freewillow@hanmail.net

1994). 이러한 선행연구의 방법과 결과들이 점차 과수와 수목종자 등에 활용되기 시작하였으나(최, 2000; Fleming and Lister, 1984; Black and Elhadi, 1992) 아직까지 그 연구가 미흡한 실정이다. 대부분 단풍나무류 종자는 발아불량의 원인이 되는 강한 휴면성을 가지고 있다. 이러한 강한 휴면성에 대해 Heit(1955)는 매우 단단한 종피 때문이라고 하였으며, Enu-Kwesi와 Dumbroff(1980)는 ABA 변화 때문이라고 하였다. 또한 발아와 관련된 이러한 휴면타피에 있어서는 종피 제거와 prechilling이 효과적인 것으로 보고된 바 있다(Webb and Waring, 1972).

고로쇠나무(*Acer mono Max.*)는 단풍나무과(Aceraceae)에 속하는 낙엽교목으로 해발 100~1,800m에서 주로 생육하며 우리나라 뿐 만 아니라 중국, 일본 등지에 분포한다. 천연음용수로서 우리나라에서 수액을 가장 많이 생산하며(안 등, 2000; 권, 2003), 목재의 재질이 치밀하고 단단하여 가구재, 악기재, 건축재 등으로 이용되기도 한다. 2004년 산림청 조림실적을 보면 침엽수가 35.8%, 활엽수가 64.2%이었으며, 활엽수 중에서도 고로쇠나무는 상수리나무, 자작나무에 이어 7.1%로 많이 조림되었다. 또한 2000년 480ha가 조림된 이후 2004년에는 980ha가 조림되어 조림면적이 급증하고 있는 실정이다(산림청, 2005). 그러나 고로쇠나무 종자의 표준 발아율은 26%로 비교적 저조할 뿐만 아니라 발아상태 또한 불균일하고 발아하는데 많은 시간이 소요된다. 이를 극복하기 위하여 가을부터 이듬해 봄에 파종하기 전까지 노천매장을 하거나 약 40~60일간 저온처리를 실시하는 등 전처리에 많은 시간이 투입되고 있다. 따라서 본 연구는 이러한 기존 종자처리의 단점을 극복하고자 PEG를 이용한 priming 처리를 통해 발아율 및 발아속도를 향상시키고 발아소요시간 및 전처리 기간을 단축시킴으로써 점차 증가하고 있는 고로쇠나무 조림수요에 맞추어 묘목의 생산효율을 향상시키기 위해 실시되었다.

재료 및 방법

종자의 수집 및 저장

본 연구에 이용된 종자는 2004년 경기도 안산시 성포동에 위치하고 있는 30~40년생의 고로쇠나무 임분에서 채취하여 정선한 후 국립산림과학원 산림유전자원부 종자저장실(4±1℃)에 저장하였다.

종자의 priming 처리

실험은 priming 처리를 하지 않은 무처리구와 PEG를 이용하여 수분퍼텐셜을 각각 -0.25, -0.5, -1.0, -2.0MPa로 조절한 용액에 priming 처리한 5개의 처리구로 구성되었다. 실험 전 종자의 표면소독을 위하여 1% sodium hypochlorite 용액에 5분 정도 침지한 후 증류수로 깨끗이 세척하였다. Priming 처리는 수분퍼텐셜이 조절된 PEG 용액에 고로쇠나무 종자를 3일간 침지시켜 실시하였다. Priming 처리된 종자는 퍼트모스: 버미큘라이트: 펄라이트를 1:1:1로 혼합한 배양토에 50립씩 4반복으로 파종하여 온실에 육묘하였다.

종자의 발아특성 조사

발아조사는 지엽이 2mm 이상 출현하였을 때 발아한 것으로 간주하여 파종 후 1주일 후부터 매일 실시하였다. 발아조사 결과를 이용하여 발아율(percent germination, PG), 평균발아일수(mean germination time, MGT), 발아속도(germination speed, GS), 발아균일지수(germination performance index, GPI)를 아래와 같이 계산하였으며, 실제로 종자가 가진 발아력을 측정하고 종자 발아불량의 원인을 찾고자 Ren과 Tao(2004)의 방법을 이용하여 상대발아율(relative germination), 휴면성(dormancy), 상대휴면성(relative dormancy), 고사율(mortality)을 산출하였다. 이때 종자의 활력은 1%의 tetrazolium 용액에 절단된 종자를 치상하여 24시간 경과 후 조사하였다.

$$\text{발 아 율} = \frac{\text{발아된 종자의 수}}{\text{총 치상종자의 수}} \times 100$$

$$\text{상대 발아율} = \frac{\text{발아된 종자의 수}}{\text{활력을 가진 종자의 수}} \times 100$$

$$\text{평균발아일수} = \frac{\sum(\text{파종후 경과일수} \times \text{조사당일의 발아 수})}{\text{총 발아수}}$$

$$\text{발 아 속 도} = \frac{\sum(\text{조사당일의 발아 수})}{\text{파종 후 경과일수}}$$

$$\text{발아균일지수} = \frac{\text{발아율}}{\text{평균발아일수}}$$

$$\text{휴 면 율} = \frac{\text{활력은 있으나 발아되지 않은 종자의 수}}{\text{총 치상 종자의 수}} \times 100$$

$$\text{상대 휴면율} = \frac{\text{활력은 있으나 발아되지 않은 종자의 수}}{\text{활력을 가진 종자의 수}} \times 100$$

$$\text{고 사 율} = \frac{\text{활력이 없는 종자의 수}}{\text{총 치상 종자의 수}} \times 100$$

유묘의 성장특성 조사

Priming 처리가 종자발아 이후 성장에 미치는 영향을 파악하기 위하여 발아가 종료된 유묘를 4주 동안 생장시킨 후 1차 성장특성조사를 실시하였다. 성장특성은 묘고 및 근원경을 조사하였으며, 이후 30일 간격으로 2차, 3차 조사를 실시하였다. 측정된 유묘의 수고 및 근원경을 이용하여 상대성장율(relative growth rate)을 구하였다(Beadle, 1993). 또한 3차 조사 완료 후 묘목을 굴취하여 T/R율을 계산하였다.

결과 및 고찰

종자의 발아특성

PEG를 이용하여 priming 처리된 고로쇠나무 종자는 Fig. 1과 같은 발아특성을 보였다. 발아율의 경우, 수분퍼텐셜 -0.25MPa에서 9.5%

를 나타내어 무처리구(0MPa)와 차이가 없었으나 -0.5, -1.0, -2.0MPa에서는 각각 18.0, 22.0, 40.5%로 무처리구에 비해 높게 나타났다($p < 0.01$). 일반적으로 적정 PEG 처리범위는 식물에 따라 차이는 있으나 -0.15MPa에서 -1.50MPa 사이에 분포한다(Gray *et al.*, 1984; Murray, 1990; 윤 등, 1999; 정 등, 2000). 엘리오타이소나무는 -1.5MPa(Haridi, 1985), 콘토프타소나무와 글라우카기문비나무는 -1.4MPa과 -0.8MPa (Huang, 1989), 농작물 종자의 경우, 당근이 -0.5 ~ -1.0MPa (Dearman *et al.*, 1987; Hill *et al.*, 1989; Khan *et al.*, 1995), 보리가 -1.0MPa(이 등, 2002), 셀비어에서는 -0.50MPa 혹은 -0.75MPa(정 등, 2000)로 보고된 바 있다. 그러나 본 실험에서는 -2.0MPa에서 가장 높은 수치를 보여 위의 결과와는 차이를 나타내었다. 보통, 처리제의 농도가 높고, 처리기간이 길어질수록 발아율이 감소하고 및 발아소요일수가 늘어나므로 적정 농도와 적정 처리기간의 설정이 필요한데(Coolbear *et al.*, 1984; Carpenter and Boucher, 1991, 강과 조, 1996), 고로쇠나무 종자는 -2.0MPa에서 3일간 처리할 경우 발아율이 향상되었다. 각 수중에 따라 적정 조건이 다른 이유는 수중별로 수분을 흡수하는 종자의 구조가 다르기 때문인데, 보통 종자는 수분퍼텐셜이 종자 내에서 결정적인 생리적 수준에 도달했을 때 발아한다. 물론 수중간 개체간 차이는 존재하나 일반적으로 종자 환경이 0~-2.0MPa 일 때 발아한다(Decagon devices, 2000). 본 연구 시작 전에 기존의 연구 자료를 검토한 결과 수분퍼텐셜 -2.0MPa

이후에서 효과가 있었다는 보고는 거의 없었기에 한계 수분퍼텐셜을 -2.0MPa로 설정하여 연구를 수행하였다. 그러나 한계 수분퍼텐셜로 설정한 -2.0MPa에서 가장 높은 발아율을 보여 추후 -2.0MPa 이하의 처리수준에서도 추가적인 실험이 필요하다고 사료된다.

평균발아일수는 수분퍼텐셜이 낮아질수록 감소하는 경향을 나타냈다. 무처리구에서는 45.0일을 나타내었으며 -0.25~-2.0MPa에서는 각각 29.2일, 27.1일, 23.3일, 18.2일을 나타내어 priming 처리에 의해 평균발아일수가 단축되었다($p < 0.01$). Priming에 의한 종자의 평균발아일수의 단축효과는 *Momordica charantia* 종자(Yeh *et al.*, 2005), 상추 종자(Targuis and Braford, 1992), 소나무류 종자(최, 2000)에서도 보고된 바 있다. 한편 평균발아일수는 발아율과 부(-)의 상관을 나타내어($r = -0.729$, $p < 0.01$, Fig. 2) 발아율이 높은 종자일수록 발아일수가 짧아졌음을 보여주었는데 이는 일정 기간까지의 발아율을 나타내는 발아세가 priming 처리 종자에서 높게 나타났음을 의미한다. 발아속도는 무처리구에서는 0.11로 -0.25MPa에서의 0.18과 차이를 보이지 않았으나 -0.5MPa에서는 0.35, -1.0MPa에서는 0.52, -2.0MPa에서는 1.17로 큰 증가를 보여 수분퍼텐셜의 감소에 따라 발아속도는 증가하는 경향을 보였다($p < 0.01$). Priming 처리는 발아속도를 증가시켜(Heydecker *et al.*, 1975; Heydecker and Coolbear, 1977), 포장 출현율을 향상시키는 것으로 보고되었다(Taylor *et al.*, 1998). 셀러리, 당근,

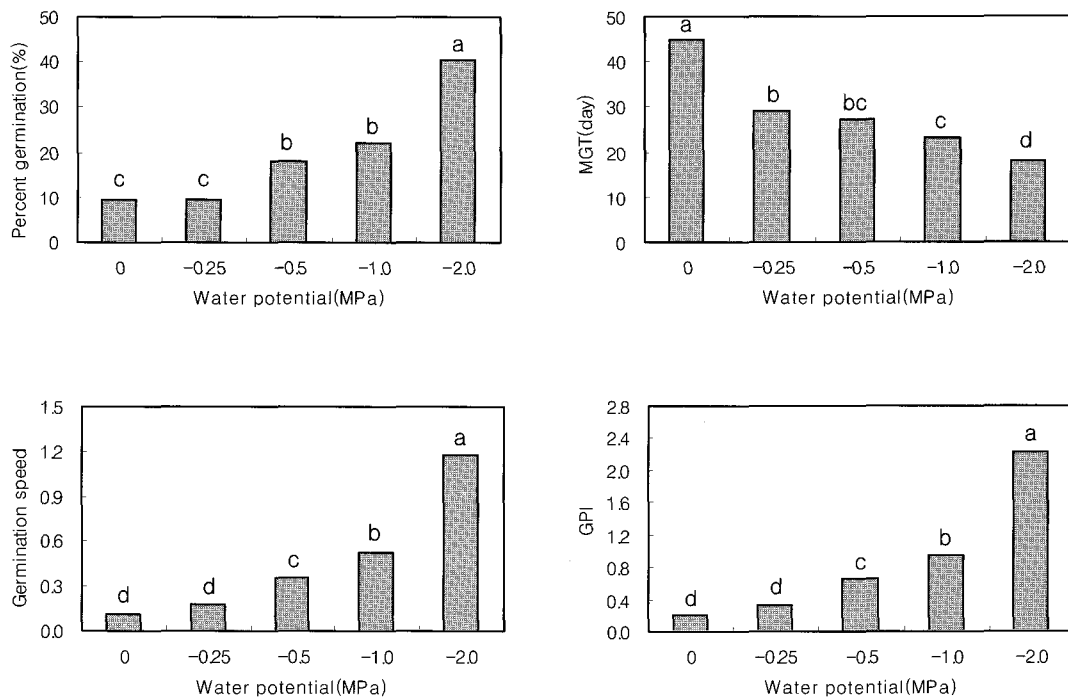


Fig. 1. Percent germination, mean germination time (MGT), germination speed and germination performance index (GPI) of *Acer mono* seeds affected by different water potentials. Different letters indicate significant difference by DMRT ($p < 0.01$).

양과 등의 종자를 KH_2PO_4 로 priming 할 때 유묘 출현율은 낮으나 발아속도가 향상되었으며(Brocklehurst and Dearman, 1984), 토마토 종자의 경우 -0.58 또는 $-0.86MPa$ 의 용액에서 priming을 하였을 때 발아속도가 증가하였다(Ali *et al.*, 1990). 전체적으로 priming 처리는 PEG 저농도 처리에서는 발아촉진 효과가 없었으나 농도가 증가됨에 따라 점차적으로 발아가 향상되는 경향을 보였다. 또한 발아속도는 발아율과 매우 높은 정(+)의 상관관계를 나타내었으며 ($r=0.987$, $p<0.01$), 평균발아일수와는 부(-)의 상관관계를 나타내었다($r=-0.764$, $p<0.01$, Fig. 2).

발아균일지수 역시 수분퍼텐셜의 감소와 함께 증가하는 경향을 보였는데, 무처리구에서는 $-0.25MPa$ 에서와 차이를 보이지 않았으며 나머지 수분퍼텐셜 조건과는 차이를 나타내었다($p<0.01$). 최(2000)의 연구결과에서도 소나무, 리기다소나무, 리기테다소나무의 priming된 종자의 경우 무처리구와 침지처리구 보다 발아균일지수가 높게 나타나 priming 처리가 종자의 발아를 균일하게 함을 알 수 있었

다. 발아균일지수는 발아율과 높은 정(+)의 상관관계를 나타내어 ($r=0.987$, $p<0.01$, Fig. 2) 발아균일지수가 높을수록 출현율이 더 높다는 것을 증명하였는데(Stundstrom *et al.*, 1987) 이는 삼투 처리가 종자발아를 균일하게 자극한 결과라고 하였다(Fleming and Lister, 1984; Singh *et al.*, 1985).

종자의 생리적 특성을 나타내는 휴면율 및 고사율은 Table 1과 같이 나타났다. 처리 전 종자의 활력을 tetrazolium 용액을 이용하여 검사한 결과 86.0%을 나타내어 발아율 및 휴면율은 활력 대비(對比) 수치인 상대발아율 및 상대휴면율과 큰 차이를 보이지 않았다. 종자 발아의 저해 원인 중 하나인 휴면율은 수분퍼텐셜이 감소할수록 감소하여 발아율과 상반된 경향을 보였던 반면, 고사율은 무처리 및 처리 간 통계적 차이를 보이지 않았다($p=0.713$). 이는 종자에 대한 priming 처리가 고사율에는 아무런 영향을 미치지 않으나 휴면율을 감소시키기 때문에 강 등(1997)의 연구에서와 같이 priming 처리에 의해 고로쇠나무 종자의 휴면이 일부 타파되는 것으로 해석할 수 있다.

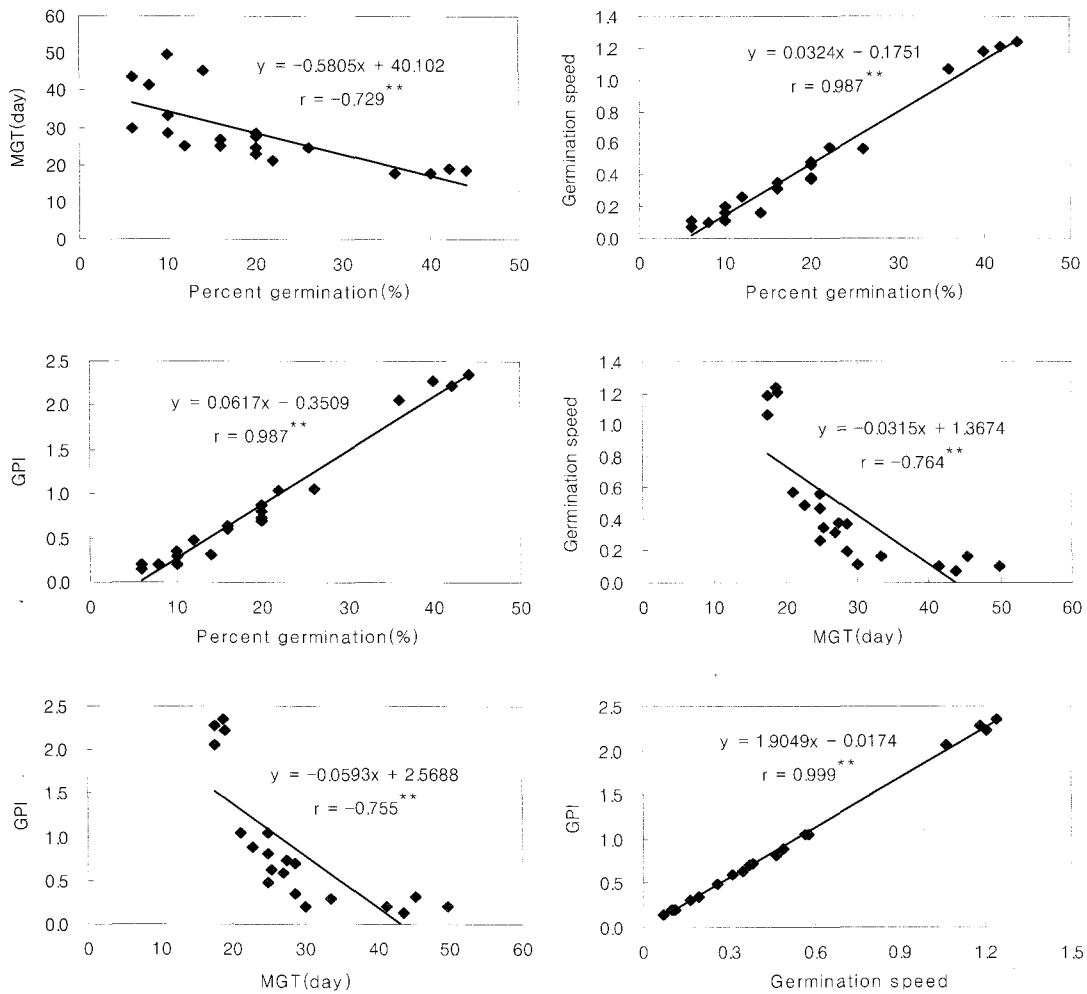


Fig. 2. Correlations between seed germination properties in *Acer mono*.

** : Difference at the significance level of 1%.

Table 1. Germination, relative germination, dormancy, relative dormancy and mortality of *Acer mono* seeds affected by different water potentials unit : %

Classification	Germination	Relative germination	Dormancy	Relative dormancy	Mortality
0 MPa	9.50 c	11.05 c	30.50 a	35.47 a	60.00 a
-0.25 MPa	9.50 c	11.0 c	31.00 a	36.05 a	59.50 a
-0.5 MPa	18.00 b	20.93 b	22.00 b	25.58 b	60.00 a
-1.0 MPa	22.00 b	25.58 b	17.50 b	30.35 b	60.50 a
-2.0 MPa	40.50 a	47.05 a	3.50 c	4.07 c	56.00 a

The different letters indicate significant difference by DMRT (p<0.01).

유묘의 성장 특성

수분퍼텐셜 조건에 따른 유묘의 수고 및 근원경을 1차, 2차, 3차에 걸쳐 조사한 결과는 Fig. 3과 같다. 묘고의 경우, 1차 조사시기에는 priming 처리구가 무처리구에 비해 높게 나타났으나 처리구간에는 차이가 없었다(p<0.01). 2차 조사에서는 -2.0MPa 처리구의 묘고

가 가장 높았으며 그 외 처리구와 무처리구간에는 통계적 차이가 없었다(p<0.01). 3차 조사에서는 모든 priming 처리구가 무처리구에 비해 높게 나타났다. 특히 -2.0MPa에서는 69.50cm로 무처리구의 29.24cm에 비해 약 2.4배의 묘고 성장을 보였다(p<0.01). 이는 최 (2000)가 소나무류 3수종의 priming 처리 유묘의 경우 priming 처리가 되지 않은 유묘 보다 높은 묘고 및 묘목균일지수를 나타내었다고 보고 한 것처럼 priming이 종자뿐만 아니라 유묘에도 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 근원경에 있어서 1차 조사에서는 -1.0 및 -2.0MPa에서 2.22

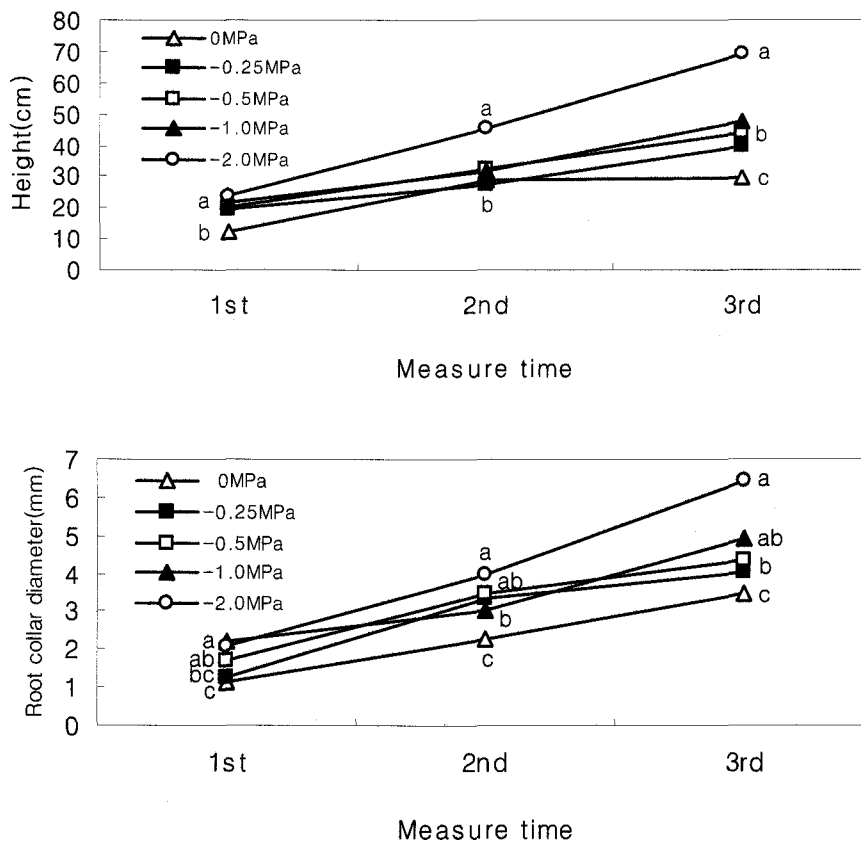


Fig. 3. Change of height and root collar diameter of seedlings in *Acer mono* according to investigating times. The different letters indicate significant difference by DMRT (p<0.01)

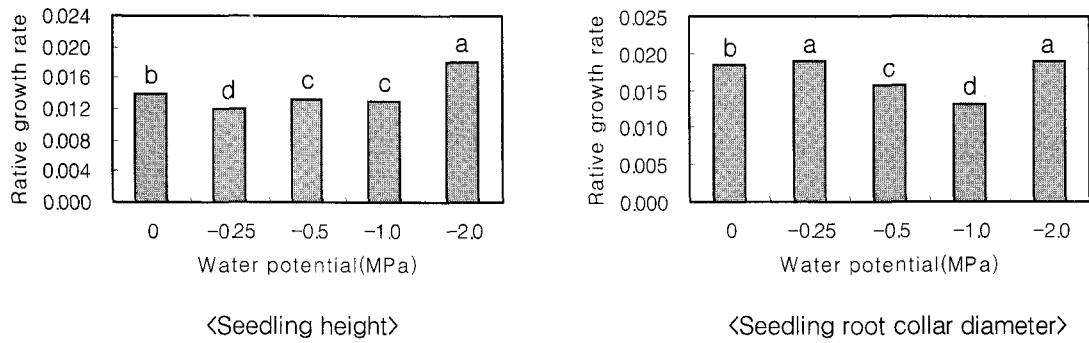


Fig. 4. Relative growth rate of seedling height (left) and root collar diameter (right) of seedlings in *Acer mono* affected by different water potentials. The different letters indicate significant difference by DMRT ($p < 0.01$).

mm와 2.07mm로 가장 높게 나타났으며 -0.5MPa, -0.25MPa, 0MPa 순이었다($p < 0.01$). 2차 및 3차 조사에서도 priming 처리구가 무처리구보다 높은 수치를 나타내었으며 -2.0MPa에서 가장 높게 나타나 묘고와 유사한 경향을 보였다($p < 0.01$).

위의 측정값을 가지고 유묘의 수고 및 근원경의 상대생장율을 구한 결과, 종자의 priming 처리는 유묘활력에도 영향을 미치는 것으로 나타났다(Fig. 4). 발아율에서 가장 높은 수치를 나타내었던 -2.0MPa에서의 상대생장율은 수고 및 근원경 모두 무처리구에 비해 높게 나타났다. 그러나 발아조사시 무처리구에 비해 높은 발아율은 나타냈던 처리구 중 -0.25MPa 처리의 유묘는 상대수고생장율에서는 무처리구보다 낮았으나 상대근원경생장율에서는 높게 나타났으며, -0.5, -1.0MPa 처리의 유묘는 무처리구보다 낮은 수고 및 근원경의 상대생장율을 보였다.

유묘의 지상부와 지하부의 생장의 균형을 말해주는 T/R율은 각 처리에 따라 일정한 경향을 보이지는 않았으나 -0.5MPa과 -2.0MPa에서 무처리구보다 낮은 수치를 나타내었다(Fig. 5). 결국, 유묘의 상대생장율과 T/R율을 종합하여 볼 때 -2.0MPa에서만 수고 및 근원경의 상대생장율을 비롯한 T/R율에서 우수하게 나타나 -2.0MPa에서 3일 동안의 priming 처리가 유묘의 활력 및 생장을 증진시키는 데 효과가 있다고 할 수 있다. 이러한 시험결과로부터 고로쇠나무 종

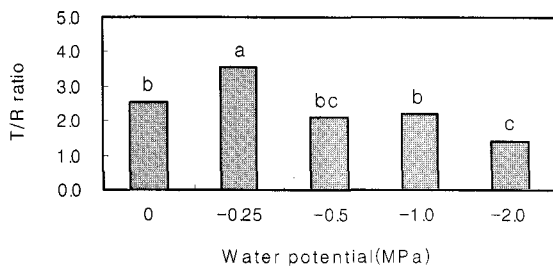


Fig. 5. T/R ratio of seedlings in *Acer mono* affected by different water potentials. The different letters indicate significant difference by DMRT ($p < 0.01$).

자는 -2.0MPa에서 3일 동안 priming 처리했을 때 종자의 발아율, 발아속도 및 발아균일지수를 향상시키며 유묘의 활력 및 생장도 증진시키는 효과가 있다고 할 수 있다.

적 요

본 연구는 발아율이 낮고 발아가 불균일할 뿐만 아니라 발아소요기간이 긴 고로쇠나무 종자의 발아율 및 발아속도를 향상시키고자 PEG를 이용한 priming 처리를 실시하였던 바 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

수분퍼텐셜을 0, -0.25, -0.5, -1.0, -2.0MPa로 각각 조절한 PEG 용액에 3일 동안 침지시켜 priming 처리한 고로쇠나무 종자는 무처리구에 비해 priming 처리구에서 발아율, 평균발아일수, 발아속도 및 발아균일지수가 향상되었다. 특히, -2.0MPa 처리구에서는 가장 높은 효과를 나타내었다. 또한 priming 처리는 무처리구에 비해 휴면율이 낮게 나타나 휴면타파에 효과가 있음을 알 수 있었다. Priming 처리가 종자발아 뿐만 아니라 유묘활력에도 영향을 미치는지 알아보고자 priming 처리 후 발아된 종자로부터 생장한 유묘를 대상으로 상대생장율 및 T/R율을 조사한 결과 -2.0MPa 처리구의 유묘에서 상대생장율은 가장 높고 T/R율은 가장 낮은 것으로 관찰되었다. 이러한 결과로부터 -2.0MPa의 수분퍼텐셜에서 3일 동안 priming 처리하는 것이 고로쇠나무 종자에 있어 가장 합리적인 종자처리 방법이라 할 수 있었다.

인용문헌

Aljaro, U.A. and H.L. Wyncken. 1985. Osmotic conditioning of pepper (*Capsicum annuum* L.) seeds and its effects on germination and emergence. *Agricultura Tecnica* (Santiago) 45: 293-302.

- Akers, S.W. and K.E. Holley. 1986. SPS: A system for priming seeds using aerated polyethylene glycol or salt solution. *HortSci.* 21: 529-531.
- Beadle, C.L. 1993. Growth analysis. Photosynthesis and Production in a Changing Environment. A field and Laboratory Manual. D. O. Hall. J. M. O. Scurlock. H. R. Bolhar-Nordenkampf. R. C. Leegood and S. P. Long (Eds.). Chapman & Hall. London. pp. 36-46
- 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.
- Brocklehurst, P.A. and J. Dearman. 1984. A comparison of different chemicals changes during osmotic treatment of vegetable seed. *Ann. Appl. Biol.* 105: 391-398.
- Cantliffe, D.J. 1983. Sowing primed seed. *American Vegetable Grower* 31: 42-43.
- Carpenter, W.J. and F.J. Boucher. 1991. Priming improves high temperature germination on pansy seed. *Hortsci.* 26: 541-544.
- Coolbear, P., A. Francis and D. Grierson. 1984. The effect of low temperature presowing treatment on the germination performance and membrane integrity of artificially aged tomato seeds. *J. Exp. Bot.* 35: 1609-1617.
- Crawford, R.M.M. and Z.M. Zochowski. 1984. Tolerance of anoxia and ethanol toxicity in chickpea seedlings (*Cicer arietinum* L.). *J. Exp. Bot.* 35: 1472-1480.
- Dearman, J., P.A. Brocklehurst and R.L.K. Drew. 1986. Effects of osmotic priming and aging on onion seed germination. *Ann. Appl. Biol.* 108: 639-648.
- Enu-Kwesi, L. and E.B. Dumbroff. 1980. Changes in phenolic inhibitors in seeds of *Acer saccharum* during stratification. *J. Exp. Bot.* 31: 425-436.
- Fleming, L.S. and S.A., Lister. 1984. Stimulation of black spruce germination by osmotic priming: Laboratory studies. Information Report O-X-362, Canadian Forestry Service.
- Hardi, M.A. 1985. Effect of osmotic priming with polyethylene glycol on germination of *Pinus elliotti* seeds. *Seed Sci. and Tech.* 13: 669-674.
- Haug, Y.U. 1989. Enhancing tolerance of lodgepole pine and white spruce seeds to thermo-hydro-stresses by osmoconditioning. *Seed Sci. and Tech.* 17: 341-353.
- Heit, C.E. 1955. The excised embryo method for testing germination quality in dormant seeds. *Proc. ASOA* 45: 108-117.
- Heydecker, W. 1973. Germination of an idea: the priming of seeds. University of Nottingham School of Agriculture Report. pp. 50-57.
- 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. and B.M. Gibbins. 1978. The priming of seeds. *Acta Hort.* 83: 213-223.
- Heydecker, W., J. Higgins and R.L. Gulliver. 1973. Accelerated germination by osmotic seed treatment. *Nature* 246: 42-44.
- Khan, A.A., K.L. Tao and C.H. Roe. 1973. Application of chemicals in organic solvents to dry seeds. *Plant Physiol.* 52: 79-81.
- McClendon, J.H. 1981. The osmotic pressure of concentrated solution of polyethylene glycol 6000, and its variation with temperature. *J. Exp. Bot.* 32: 861-866.
- Mexal, J., J.T. Fisher, J. Osteryoung and C.P. Patrick Reid. 1975. Oxygen availability in polyethylene glycol solutions and its implication in plant-water relations. *Plant Physiol.* 55: 20-24.
- Michel, B.E. and M.R. Kaufmann. 1973. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. *Plant Physiol.* 51: 914-916.
- Norton, L.R. 1988. Change in survival of *Pisum sativum* seed under water by free gaseous nitrogen, oxygen and carbon dioxide and by urea peroxide addition to soak water. *Seed Sci. and Technol.* 16: 167-173.
- Parera, C.A. and D.J. Cantliffe. 1994. Presowing seed priming. *Hort. Rev.* 16: 109-141.
- Scott, S.J., R.A. Jones and W.A. Williams. 1984. Review of data analysis methods for seed germination. *Crop Science* 24: 1160-1162.
- Stundstrom, F.J., R.B. Reader and R.L. Ewards. 1987. Effect of seed treatment and planting method on tabasco pepper. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 112: 641-644.
- Tarquis, A.M. and K.J. Bradford. 1992. Prehydration and priming treatments that advance germination also increase the rate of deterioration of lettuce seeds. *J. Exp. Bot.* 43: 307-317.
- Webb, G.P. and P.F. Waring. 1972. Seed dormancy in *Acer*: the role of covering structures in the dormancy of *Acer platanoides*. *J. Exp. Bot.* 23: 813-839.
- Yeoung, Y.R. and D.O. Wilson. 1995. Effects of oxygen concentrations and water potentials during priming on seed germination of muskmelon. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 36: 192-198.

- 강점순, 조정래. 1996. 적정 프라이밍 조건이 토마토 종자의 발아와 유묘생장에 미치는 영향. 한국원예학회지 37: 645-651.
- 강점순, 조정래, 최영환. 1997. 들깨 종자의 Priming 조건이 발아력에 미치는 영향. 한국원예학회지 38(4): 333-341.
- 권수덕. 2003. 고로쇠나무, 붉은고로쇠나무, 우산고로쇠나무의 수액에 관한 연구. 경상대학교 박사학위논문. pp. 112.
- 산림청. 2005. 임업통계연보 제 45호. pp. 214-217.
- 안종만, 박정호, 강학모, 안기완. 2000. 고로쇠나무와 거제수나무의 수액생산구조에 관한 연구. 산림경제연구회지 8: 28-42.
- 윤성탁, 이동진, 김영호. 1999. 약용작물 종자의 Priming 및 생장조절제 처리에 의한 활력증진방법 개발. 한국국제농업개발학회지 11: 85-95.
- 정연옥, 강상모, 조정래. 2000. 셀비아 종자의 발아촉진을 위한 Priming 조건에 관한 연구. 원예과학기술지 18: 98-102.
- 최성호. 2001. 소나무, 리기다소나무와 리기테다소나무에서 프라이밍 처리 종자의 발아, 유묘생장 및 인공산성우 처리에 대한 반응. 서울대학교 석사학위논문.

(접수일 2006.5.26 ; 수락일 2006.7.24)