

온도 및 염화나트륨이 측백나무 종자 발아에 미치는 영향

최충호*, 탁우식, 김태수
국립산림과학원 산림유전자원부

Effect of Temperature and Sodium Chloride on Seed Germination of *Thuja orientalis*

Chung Ho Choi*, Woo Sik Tak and Tae Su Kim

Department of Forest Genetic Resources, Korea Forest Research Institute, Suwon 441-350, Korea

Abstract - This study was conducted to investigate effect of temperature and NaCl on the seed germination and water absorption of *Thuja orientalis*. Seeds were treated with 0, 500, 1,000, 2,000 and 4,000ppm of NaCl and placed in different chambers at 15, 20, 25 and 30°C, respectively. And seed properties and relative water absorptions were analyzed. Germination decreased with the increase of both temperature and NaCl concentration, and especially the difference was obvious at 30°C. Dormancy and mortality increased with the increase of temperature in non-NaCl treatment. Two-way analysis of variance showed significant effects of temperature, NaCl concentration and interaction between temperature and NaCl concentration ($p < 0.001$). Mean germination time increased with the increase of NaCl concentration at 15, 20 and 25°C but decreased at 30°C because the seeds were mortal by NaCl high concentration. Germination speed and germination performance index decreased with the increase of NaCl concentration. Those represented decreasing tendency with NaCl concentration but high positive correlation with germination. Relative water absorption decreased with the increase of NaCl concentration and represented high values at 15°C, and showed high positive correlations with germination, germination speed and germination performance index. It was reported that the high temperature and salinity were inhibitive factors of seed germination of *Thuja orientalis*.

Key words - *Thuja orientalis*, Seed germination property, Water absorption, Temperature, NaCl concentration, Dormancy, Mortality

서 언

측백나무(*Thuja orientalis*)는 측백나무과(Cupressaceae)에 속하며 수고 25m, 흉고직경 1m에 달하는 상록교목으로서 중국, 우리나라의 단양, 안동, 대구의 석회암 지대 해발 200~600m에 자생한다(이, 1993; 김, 1999). 주로 관상용 및 생울타리용으로 이용되며 추출된 정유는 향료, 살충제 및 방향제 등으로 사용된다. 또한 열매 및 종자는 한약재료로 쓰이고, 목재는 색조가 우아하여 건축재료로 이용되고 있다(길, 1993; 이, 1999).

임목종자의 발아는 유전적·환경적 지배를 받으며 특히, 적합한 온도, 습도, 산소 및 광 조건에도 불구하고 발아가 되지 않는 경우도 있는데 이것은 수종에 따라서 정도의 차이는 있

지만 휴면성을 가지고 있기 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 Slingsh, 1993; Close and Wilson, 2002; Khan and Gulzur, 2003; Komilis *et al.*, 2004).

종자의 발아에 미치는 온도는 최저온도, 적온(適溫) 및 최고 온도로 나누어 생각할 수 있는데 적온은 가장 짧은 기간 내에 가장 높은 발아율을 보일 수 있는 온도를 말한다(최 등, 2001). 대부분 식물종자는 20~25°C를 발아적온으로 하나 고온이나 저온에서 발아하는 특성을 가진 식물도 있다(Nunez and Calvo, 2000; Vollalobos and Pelaez, 2001; Vollalobos *et*

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

al., 2002; Huang *et al.*, 2003). 염류 스트레스에 의한 피해는 배지의 수분퍼텐셜 감소에 따른 수분 흡수 장애와 Na⁺, Cl⁻ 등의 식물체내의 과다축적에 의한 이온 독성장해, 그리고 이에 따른 영양적 불균형 등이 그 원인으로 알려지고 있다. Na⁺ 나 Cl⁻ 등과 같은 염류는 염류자체의 고농도로 식물체에 피해를 주기도 하지만 토양내 pH를 증가시켜 간접적으로 피해를 주기도 한다(Kelsey and Hootman, 1990).

온도와 염도는 종자 발아시 내염성을 결정하는데 있어 상호 영향을 끼친다. 대부분 수중에 있어서 염도가 증가할수록 종자발아가 감소하거나 지연되지만 일반적으로 적정온도에서는 그 피해가 적다(El-Keblawy and Al-Rawai, 2005). 또한 고온일 때 피해가 심한 수종이 있는 반면 저온에서 현저한 피해를 받는 수종도 있다(Delesalle and Blum, 1994; Villiers *et al.*, 1994; Khan and Ungar, 1998; Gul and Weber, 1999; Khan *et al.*, 2000). 한편, *Arthrocnemum indicum*과 같은 수종은 내염성이 온도에 전혀 영향을 받지 않았다(Khan and Gul, 1998). 그러나 Ungar(1995)는 발아에 있어서 온도와 염도의 상호 작용은 실외조건하에서는 유의성 있는 생태적 관계에 있다고 보고하였다.

세계적으로 염류토양은 3.32억 ha에 달하며 세계문제토양 중 가장 넓은 면적을 차지한다. 더욱이 토양 중에 일반적으로 존재하는 염의 용해도는 매우 높아 물에 녹기 쉽다. 즉, 수분의 이동과 함께 토층 속을 이동하기 쉽다. 따라서 양묘를 위한 노지 파종시에는 염류에 의한 피해 가능성을 배제할 수 없다. 그리하여 본 연구에서는 온도 및 NaCl 등의 외부 환경인자에 노출되었을 때 나타나는 종자발아특성을 조사하고 이를 바탕으로 양묘를 위한 노지 파종시 최적의 조건을 설정함으로써 생산성 저하를 방지하는데 도움을 주고자 실시하였다.

재료 및 방법

종자의 수집

본 연구를 수행하기 위하여 2004년 10월 충북 충주지역에서 측백나무 종자를 채취하였다. 채취한 종자는 건조 후 정선하여 종자저장고(4±2℃)에 약 3개월간 보관하였다가 실험에 이용하였다. 이때 종자의 일반적 특성은 Table 1과 같다.

발아실험

온도 및 NaCl이 각각 측백나무 종자발아에 미치는 영향 및 두 요인간의 상호작용을 알아보기 위하여 15, 20, 25, 30℃로 온도가 설정된 chamber에 각각 종자를 치상하였다. 치상된 종자에 NaCl을 0, 500, 1,000, 2,000, 4,000ppm의 5처리로 조제한 용액을 매일 3ml씩 스포이트를 이용하여 분주(分注)하였다. 발아실험 전 종자의 표면소독을 위하여 70% 에탄올, 1% 과산화수소, 증류수를 이용하여 세척하였으며, petri-dish(90×15mm)에 여과지를 깔고 반복당 50립씩 4반복 하였다.

종자발아특성 조사

종자 치상 후 2일 간격으로 발아조사를 실시하였으며 유근이 2mm 이상 신장된 것을 발아된 것으로 간주하였다. 발아조사 결과를 이용하여 발아율(percent germination, PG), 평균발아일수(mean germination time, MGT), 발아속도(germination speed, GS), 발아균일지수(germination performance index, GPI)를 산출하였다. 발아율(PG)은 총 공시종자에 대한 발아종자의 백분율로 표시하였다. 평균발아일수는 $MGT = \sum(t_i n_i) / N$ 의 식을 이용하였다. 여기서 t_i 는 치상 후 조사일수, n_i 는 조사당일의 발아수, N 은 총 발아수이다. 발아속도는 $GS = \sum(n_i / t_i)$ 의 식에서 계산하였다(Scott *et al.*, 1984). 발아균일지수는 $GPI = PG / MGT$ 의 식을 이용하였다(Stundstrom *et al.*, 1987).

또한 온도에 대한 영향만을 받는 무처리구 종자에 대하여 Ren and Tao(2004)의 방법을 이용하여 상대발아율(relative germination), 휴면율(dormancy), 상대휴면율(relative dormancy), 고사율(mortality)을 추가 산출하였다. 이때 종자의 활력검정은 1%의 tetrazolium 용액에 절단된 종자를 치상하여 실시하였다.

$$\text{Germination} = \frac{\text{Number of germinating seeds}}{\text{Number of seeds initiated}} \times 100$$

$$\text{Relative Germination} = \frac{\text{Number of germinating seeds}}{\text{Number of viable seeds initiated}} \times 100$$

$$\text{Dormancy} = \frac{\text{Number of ungerminated but viable seeds}}{\text{Number of seeds initiated}} \times 100$$

Table 1. General characteristics of *Thuja orientalis* seeds.

Species	Moisture contents(%)	Weights of 1,000 seeds(g)	Lengths of seeds(mm)	Diameters of seeds(mm)
<i>Thuja orientalis</i>	9.2±0.2	22.72±6.2	5.56±0.79	2.91±0.29

$$\text{Relative Dormancy} = \frac{\text{Number of ungerminated but viable seeds}}{\text{Number of viable seeds initiated}} \times 100$$

$$\text{Mortality} = \frac{\text{Number of inviable seeds}}{\text{Number of seeds initiated}} \times 100$$

NaCl 처리를 한 종자의 회복력(recovery)을 알아보기 위해 종자가 5일 동안 발아되지 않는 시점에서 다시 증류수를 분주하여 회복율(recovery percent, RP)을 조사하였다. 회복율은 $RP = A / (C - B) \times 100$ 의 식을 이용하였다. 여기서 A는 증류수로 바꿔 분주한 후 발아된 종자의 수이며, B는 NaCl 용액 처리시 발아된 종자의 수, C는 치상종자의 총 수이다(Khan *et al.*, 2000).

종자의 수분흡수량

처리별로 치상된 측백나무 종자 50립에 대하여 치상 전 무게를 측정하고 치상 후 2일째에 초기수분흡수량으로서 무게를 측정하였다. 그리고 발아종료 시점을 최종 수분흡수상태로 간주하여 Beadle(1993)의 상대생장을 공식을 응용하여 상대수분흡수율(relative water absorption rate)을 산출하였다. 또한 온도, 염도의 주요 요인 및 요인간 상호작용이 발아율에 미치는 영향을 분석하기 위하여 SAS(ver.8.0)를 이용하여 ANOVA분석을 수행하였다.

결과 및 고찰

온도가 종자발아에 미치는 영향

기후 인자에 의한 영향을 조사하기 위해 온도에 대한 영향만을 받는 종자를 대상으로 종자발아특성 및 생리적 특성을 확인하였다(Fig. 1, Table 2). NaCl이 처리되지 않은 측백나무 종자는 15℃에서 94.7%로 가장 높은 발아율을 보였으며, 온도가 상승함에 따라 점차 감소하였는데, 30℃에서는 8.3%로 그 차이가 현저하였다($p < 0.001$). 황(1994)은 진달래과(Ericaceae)의 참꽃나무(*Rhododendron weyrichii*) 종자의 발아실험에서 15, 20℃에서는 발아율이 높았으나 30℃에서는 현저히 낮게 나타났다고 하였으며, 한과 김(1999)도 일부 자생 초화류의 경우 30℃에서 발아율이 현저히 감소하였다고 보고한 바 있다. 평균발아일수는 온도가 높아짐에 따라 대체적으로 증가하였으며, 발아속도와 발아균일지수는 발아율과 유사한 경향을 나타내었다.

종자의 생리적 특성인 휴면율과 고사율을 조사한 결과는 Table 2와 같다. 이때 처리전 종자의 활력은 96.5%를 나타내어 발아율 및 휴면율은 활력 대비(對比) 수치인 상대발아율 및 상대휴면율과 차이를 보이지 않았다. 종자 휴면율과 고사율은 온도가 높아짐에 따라 증가하였다($p < 0.01$). 특히 30℃에서는 휴면율과 고사율이 급격히 증가하였는데 이것이 30℃에서 발아율이 낮은 이유라고 판단된다. 또한 15℃에서

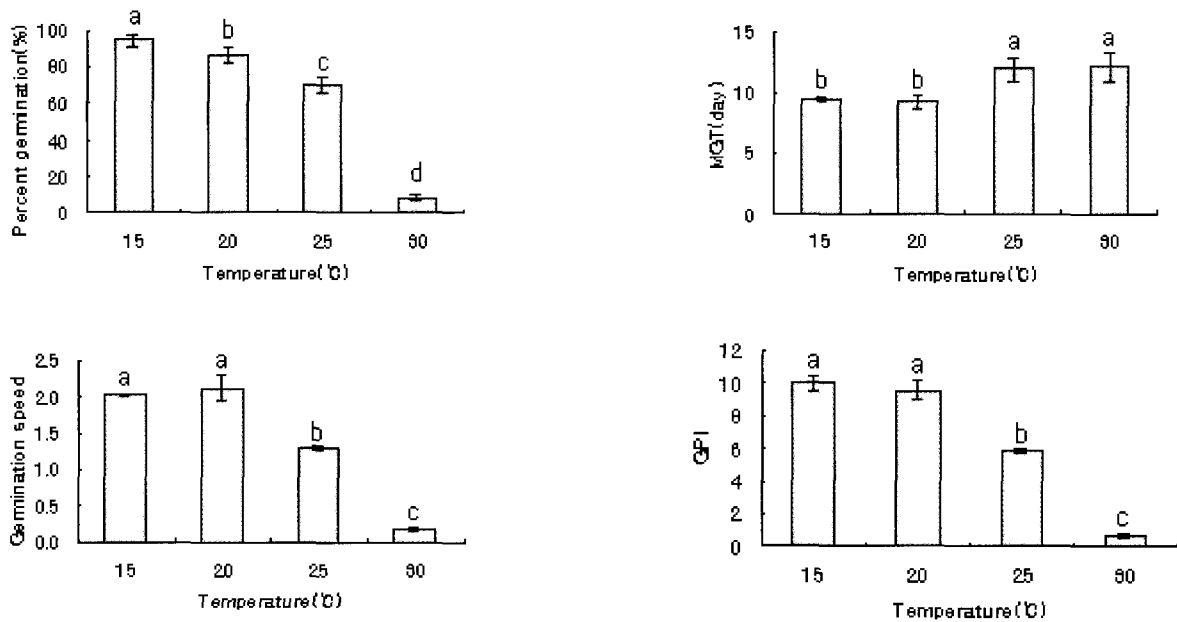


Fig. 1. Germination properties of *Thuja orientalis* seeds at different temperatures. Different letters indicate significantly different at $p < 0.01$ by Duncan's multiple range test.

Table 2. Germination, relative germination, dormancy, relative dormancy and mortality of *Thuja orientalis* seeds according to temperature conditions in no-treatment. (unit : %)

Temperature	Germination	Relative germination	Dormancy	Relative Dormancy	Mortality
15℃	94.67a	98.10a	3.30d	3.42d	2.03b
20℃	86.67b	89.81b	10.50c	10.92c	2.83b
25℃	70.67c	73.23c	26.30b	27.25b	3.03b
30℃	8.33d	8.64d	76.20a	78.96a	15.47a

Different letters indicate significantly different at $p < 0.01$ by Duncan's multiple range test.

는 휴면율과 고사율 간에 큰 차이가 없었으나 20℃ 이후부터는 휴면율이 고사율에 비해 높은 수치를 나타내었으며 30℃에서는 그 차이가 매우 현저하여 종자 발아율 저해의 주요인임을 보여주었다. 한편, 발아율은 휴면율($r = -0.998$, $p < 0.01$) 및 고사율($r = -0.976$, $p < 0.01$)과 부(-)의 상관을 나타내었다.

온도 및 NaCl이 종자발아에 미치는 영향

각 온도조건에서 NaCl 농도에 따른 종자발아특성의 변화는 Fig. 2와 같다. 발아율에 있어서 온도와 NaCl 농도에 대한 two-way ANOVA 분석 결과, 요인들 및 요인간 상호작용에 고도의 유의성이 인정되었다($p < 0.001$, Table 3).

NaCl의 농도는 발아율과 부(-)의 경향을 나타내었는데 (Table 4), Khan and Ungar(1996), Keiffer and Ungar(1997) 및 Pujol *et al.*(2000)도 염도는 종자를 휴면

Table 3. Result of ANOVA showing effects of temperature and NaCl concentration on percent germination in *Thuja orientalis* seed.

Source of variation	df	Mean-square	F-value	P
Temperature(T)	3	22,920.06	1,496.41	<0.001
NaCl conc.(S)	4	1,028.56	67.15	<0.001
T*S	12	420.16	27.43	<0.001
Error	40	15.32		

으로 이끌고 활력을 감소시킨다고 하였다. 특히, 25℃에서는 NaCl 농도에 따른 발아율의 감소 경향이 뚜렷하였으며 30℃에서는 모든 처리에서 매우 낮았다. 또한 각 NaCl의 동일 농도에서 온도간 발아율을 비교했을 때 고온으로 갈수록 감소하였으며, 특히 30℃에서는 현저히 낮아 측백나무 종자 발아에 있어서 고온은 적합하지 않음을 알 수 있었다. 염류에 대한 내성은 환경조건이 가장 중요한 요인으로 알려져 왔는

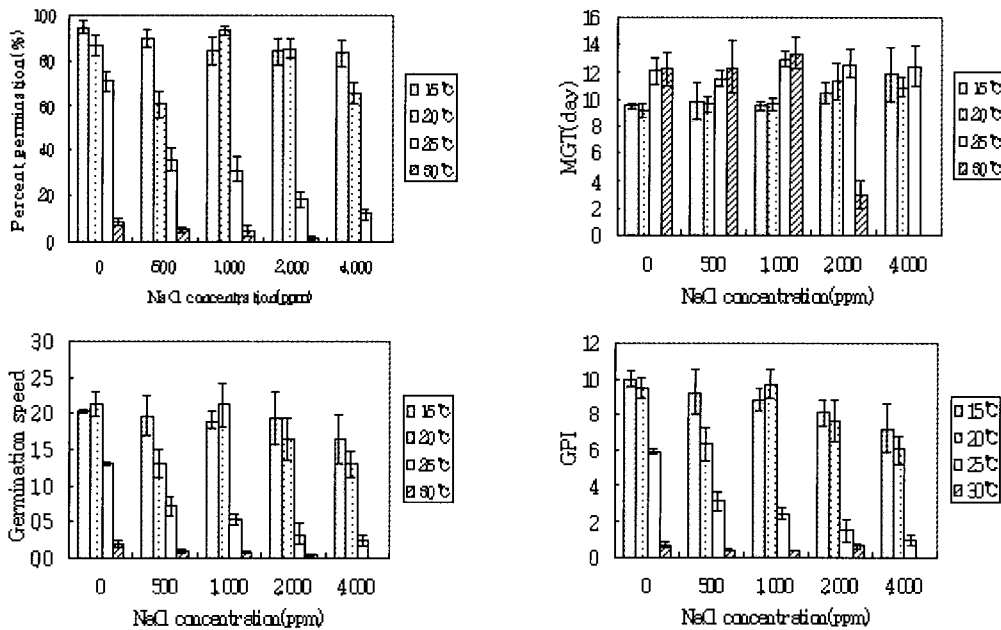


Fig. 2. Germination properties of *Thuja orientalis* seeds according to temperature and NaCl concentration.

데(Townsend, 1984), 온도 등의 기후와 상호작용을 하거나 그렇지 않다는 상반된 결과가 보고되었다(Helal and Mengel, 1981). Bewley and Black(1994)은 고온에서 Na⁺의 독성 때문에 NaCl의 악영향이 발생한다고 하였으나 본 연구에서는 고온인 30℃에서 NaCl의 영향 때문에 발아율의 감소가 일어났는지 뚜렷하지 않아 더 구체적인 실험이 요구되었다. 또한 Aiazzi *et al.*(2002)은 Na⁺ 독성의 매커니즘은 일부 수종에서는 나타나지 않는다고 보고한 바 있다.

Table 4. Correlation coefficient between NaCl concentration and seed property and relative water absorption of *Thuja orientalis*.

	PG	MGT	GS	GPI	RWA
NC	-0.189	-0.251	-0.214	-0.234	-0.160
PG		0.130	0.968***	0.977***	0.841***
MGT			0.053	0.040	0.091
GS				0.992***	0.814***
GPI					0.835***

*** means statistically significant at $p < 0.001$. NC: NaCl concentration; PG: percent germination; MGT: mean germination time; GS: germination speed; GPI: germination performance index; RWA: relative water absorption.

평균발아일수는 각 온도별 NaCl의 농도에 따라 차이를 나타내었다. 15℃와 20℃에서는 농도에 따라 대체로 증가하였으나 25℃에서는 뚜렷한 경향을 보이지 않았으며, 30℃에서는 1,000ppm까지 증가하였다가 급격히 감소하였다. 평균발아일수의 증가는 종자 발아의 지연을 의미하는데(한 등,

2004), NaCl의 농도가 증가하면서 종자의 발아가 지연되었음을 알 수 있었다. 그러나 30℃에서는 2,000ppm에서 3.0일로 급격히 감소하였는데 이는 측백나무 종자가 NaCl의 독성을 견디지 못하고 치상 후 초기에 고사하였기 때문으로 판단된다. 이와 유사하게 Redondo *et al.*(2004)이 *Sarcocornia*속 3수종을 가지고 salinity 농도에 따라 평균 발아일수를 비교한 실험에서도 농도가 높을수록 종자의 활력을 감소시켜 평균발아일수를 단축시키는 것을 볼 수 있었다. 발아속도는 온도 및 NaCl 농도가 증가함에 따라 대체적으로 감소하였다. 전반적으로 15℃에서 발아속도가 가장 높았으며 30℃에서는 현저히 낮게 나타났다. 또한 발아속도는 발아율과 높은 정(+)의 상관($r=0.968$, $P<0.01$)을 나타내어 온도 및 NaCl의 환경조건에 따른 발아율의 감소는 발아속도에도 악영향을 미치는 것으로 사료된다. 발아균일지수 역시 온도 및 NaCl의 농도에 따라 차이를 나타내었다($p<0.001$). 온도 및 NaCl 농도가 증가함에 따라 발아균일지수가 감소하여 높은 온도와 고농도는 측백나무 종자발아를 불균일하게 함을 알 수 있었다. 또한 발아균일지수는 발아율($r=0.977$, $p<0.01$) 및 발아속도($r=0.992$, $P<0.01$)와 높은 정(+)의 상관관계를 나타내어 Stundstrom *et al.*(1987)이 보고한 것처럼 발아균일지수가 높을수록 출현율이 더 높고, 빠르게 발아한다는 것을 알 수 있었다.

측백나무 종자의 회복율(recovery percent)은 각 조건에 따라 뚜렷한 결과를 보이지는 않았으나 대부분 15℃에서 회복율이 높았으며 고온으로 갈수록 회복율이 감소하는 경향을 나타내었다(Table 5). 이것은 종자의 회복율이 NaCl의 농도

Table 5. Recovery percent in *Thuja orientalis* seeds according to temperature and NaCl concentrations.

(unit : %)

		NaCl concentration(ppm)			
		500	1,000	2,000	4,000
15℃	Initial	89.67 ± 4.16	84.33 ± 6.03	84.00 ± 5.57	83.33 ± 5.69
	Recovery	0.00 ± 0.00	21.33 ± 2.31	43.11 ± 11.65	19.44 ± 5.85
	Final	89.67 ± 4.16	87.50 ± 2.50	90.83 ± 3.82	86.67 ± 2.89
20℃	Initial	60.67 ± 6.03	93.33 ± 2.52	85.33 ± 4.04	65.33 ± 4.73
	Recovery	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	33.73 ± 8.94
	Final	60.67 ± 6.03	93.33 ± 2.5	85.33 ± 4.04	76.67 ± 14.43
25℃	Initial	36.00 ± 5.00	31.67 ± 5.77	18.33 ± 3.51	11.67 ± 2.52
	Recovery	0.00 ± 0.00	8.01 ± 3.08	15.95 ± 11.94	1.90 ± 0.68
	Final	36.00 ± 5.00	36.67 ± 4.04	31.67 ± 7.64	13.33 ± 5.77
30℃	Initial	5.00 ± 1.00	4.67 ± 2.08	1.67 ± 0.58	0.00 ± 0.00
	Recovery	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
	Final	5.00 ± 1.00	4.67 ± 2.08	1.67 ± 0.58	0.00 ± 0.00

보다는 온도에 의해 더 많은 영향을 받고 있음을 의미한다. Ungar(1995)는 일부 엽생식물의 NaCl에 대한 발아 회복 실험에서 삼투효과(osmotic effect)가 발아를 제한한다고 하였으나, 본 실험에서 NaCl 고농도에 노출되었던 측백나무 종자의 회복율은 15℃ 2,000ppm에서 43.1%, 20℃ 4,000ppm에서 33.7%까지 증가하여 차이를 나타내었다. 이와 유사한 종자발아회복특성은 관목류인 *Haloxylon recurvum*(Khan and Ungar, 1996)과 *H. ammodendron* 종자(Huang *et al.*, 2003)에서도 나타난 바 있다.

종자의 수분 흡수량

측백나무 종자의 온도 및 NaCl 농도에 따른 상대수분흡수율은 Table 6과 같이 나타났다. 종자의 상대수분흡수율은 온도 및 NaCl의 농도가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였는데 특히, NaCl 무처리구에서는 15℃에서 0.052이었으나 30℃에서 0.007을 나타내어 NaCl 처리구에 비해 감소폭이 더 컸다. 이는 NaCl의 농도 보다는 온도가 종자의 수분흡수를 저해하는 요인으로 작용함을 보여주었다. 한편, 15, 20, 30℃에서는 NaCl 농도가 증가함에 따라 상대수분흡수율이 적은 폭으로 감소하였으나 25℃에서는 현저한 차이를 보여 NaCl 농도가 수분흡수에 크게 관여하는 것을 알 수 있었다.

또한 종자의 수분흡수는 NaCl 농도 및 종자발아율과 밀접한 관계가 있었다(Table 3). 상대수분흡수율은 NaCl 농도와 부(-)의 경향을 보였으며, 종자발아율과는 높은 정(+)의 상관관계를 나타내어 NaCl의 농도에 따라 수분흡수율이 감소할수록 종자발아율도 낮아짐을 알 수 있었다. 또한 Dodd and Donovan(1999)은 염도가 종자의 수분흡수를 제한함으로써 발아를 감소시킨다고 발표한 바 있다.

적 요

온도 및 NaCl 등의 외부 환경인자에 노출되었을 때 나타나는 측백나무 종자의 발아특성을 조사하고 불량환경에 대한 내성 및 적정 환경조건을 알아보하고자 본 연구를 실시하였다.

15, 20, 25, 30℃의 온도조건에서 NaCl 용액을 0, 500, 1,000, 2,000, 4,000ppm의 5수준으로 분주하여 종자발아 특성 및 상대수분흡수율을 조사하였다.

발아율의 경우 15℃ 온도에서 가장 높게 나타났으며 NaCl에 의한 감소의 폭도 가장 작았다. 반면, 30℃에서는 모두 현저히 낮게 나타났다. 휴면율과 고사율은 대부분 고온으로 갈수록 높게 나타났다. 특히, 휴면율은 30℃에서 그 차이가 현저하였으며, 고사율에 비해서도 높은 수치를 보였다. 온도 및 NaCl의 농도에 대한 상호연관성을 알아보하고자 two-way ANOVA 분석을 실시한 결과 두 요인 및 요인간 상호작용에서 유의성이 인정되었다(p<0.001). 평균발아일수는 온도 및 NaCl 농도가 증가함에 따라 대체적으로 증가하는 경향을 보여 발아가 지연되었음을 나타냈다. 그러나 30℃에서는 NaCl의 독성에 의해 고사종자가 발생하여 증가 후 감소하는 경향을 나타냈다. 발아속도와 발아균일지수는 온도 및 NaCl 농도가 증가함에 따라 감소하였다. 상대수분흡수율은 15℃에서 가장 높게 나타났으며, NaCl 농도가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였다. 또한 발아율, 발아속도 및 발아균일지수와 높은 정(+)의 상관관계를 나타내었다. 결과적으로, 고온과 염류는 측백나무 종자의 발아를 저해하는 요인으로 작용하므로 발아율, 발아속도 및 발아균일지수의 감소를 줄이기 위해 노지 파종시 이들 요인에 대한 고려가 필요할 것으로 사료된다.

인용문헌

Aiazzi, M.T., Carpane, P.D., Rienzo, J.A. and Arguello, J.A. 2002. Effects of salinity and temperature on the germination and early seedling growth of *Atriplex cordobensis* Gandoger et Stuckert (Chenopodiaceae). *Seed Sci. & Tech.* 30: 329-338.

Barnett, J.P. 1972. Seed coat influence dormancy of loblolly pine seeds. *Can. J. of For. Res.* 2: 7-10.

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

Table 6. Relative water absorption rate of *Thuja orientalis* seeds according to temperature and NaCl concentrations.

	NaCl concentration(ppm)				
	0	500	1,000	2,000	4,000
15℃	0.052±0.010	0.041±0.011	0.041±0.002	0.040±0.007	0.038±0.008
20℃	0.033±0.012	0.031±0.015	0.030±0.011	0.030±0.015	0.029±0.015
25℃	0.023±0.003	0.023±0.008	0.020±0.002	0.011±0.002	0.001±0.004
30℃	0.007±0.004	0.008±0.004	0.005±0.003	0.006±0.004	0.006±0.002

- and S. P. Long (Eds.). Chapman & Hall. London. pp. 36-46.
- Bewley, J.D. and Black, M. 1994. Seeds: Physiology of Development and Germination. Plenum Press. New York.
- Close, D.C. and S.T. Wilson. 2002. Provenance effect of pre-germination treatments for *Eucalyptus regnans* and *E. delegatensis* seed. For. Ecol. and Manag. 170: 299-305.
- Copeland, L.O. and M.B. McDonald. 1985. Principles of seed science and technology. pp. 103-120. Burgess Publishing Co., Minneapolis, U.S.A.
- Delesalle, V.A. and Blum, S. 1994. Variation in germination and survival among families of *Sagittaria latifolia* in response to salinity and temperature. Inter. J. of Plant Sci. 155: 187-195.
- Dodd, G.L. and L.A. Donovan. 1999. Water potential and ionic effects on germination and seedling growth of two cold desert shrubs. Am. J. Bot. 86: 1146-1153.
- El-Keblawy, A. and A. Al-Rawai. 2005. Effects of salinity, temperature and light on germination of invasive *Prosopis juliflora* (Sw.) D. C. J. of Arid Environ. 61: 555-565.
- Gul, B. and Weber, D.J. 1999. Effect of salinity, light, and temperature on germination in *Allenrolfea occidentalis*. Can. J. of Bot. 77: 240-246.
- Helal, H.M. and K. Mengal. 1981. Interaction between light intensity and NaCl salinity and their effects on growth, CO₂ assimilation and photosynthate conversion in young broad beans. Plant Physiol. 67: 999-1002.
- Huang Z., X. Zhang, G. Zheng and Y. Gutterman. 2003. Influence of light, temperature, salinity and storage on seed germination of *Haloxylon ammodendron*. J. of Arid Environ. 55: 453-464.
- Keiffer, C.H. and Ungar, I.A. 1997. The effect of extended exposure to hypersaline conditions on the germination of five inland halophyte species. Am. J. Bot. 84: 104-111.
- Kelly, K.M., J. van Staden and W.E. Bell. 1992. Seed coat structure and dormancy. Plant Growth Reg. 11: 201-209.
- Kelsey, P. and R. Hootman. 1990. Soil resource evaluation for a group of sidewalk street tree planters. J. of Arb. 16: 113-117.
- Khan, M.A. and Gul, B. 1998. High salt tolerance in germinating dimorphic seeds of *Arthrocnemum indicum*. Int. J. of Plant Sci. 159: 826-832.
- Khan, M.A. and S. Gulzar. 2003. Light, salinity and temperature effects on the seed germination of perennial grasses. Am. J. of Bot. 90: 131-134.
- Khan, M.A. and Ungar, I.A. 1996. Comparative study of chloride, calcium, magnesium, potassium and sodium content of seeds in temperature and tropical halophytes. J. Plant Nutr. 19: 517-525.
- Khan, M.A. and Ungar, I.A. 1998. Seed germination and dormancy of *Polygonum aviculare* L. as influenced by salinity, temperature, and gibberellic acid. Seed Sci. & Tech. 26: 107-117.
- Khan, M.A., Bilquees Gul and Darrell J. Weber. 2000. Germination response of *Salicornia rubra* to temperature and salinity. J. of Arid Environ. 45: 207-214.
- Komilis, D.P., E. Karatzas and C.P. Halvadakis. 2004. The effect of olive mill wastewater on seed germination after various pretreatment techniques. Environ. Manag.: 1-10.
- Nunez, M.R. and L. Calvo. 2000. Effect of high temperatures on seed germination of *Pinus sylvestris* and *Pinus halepensis*. For. Ecol. and Manag. 131: 183-190.
- 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.
- Pujol, J.A., Calvo, J.F. and Ramirez-Diaz, L. 2000. Recovery of germination from different osmotic conditions by four halophytes from southeastern Spain. Ann. Bot. 85: 279-286.
- Ren, J. and L. Tao. 2004. Effects of different pre-sowing seed treatments on germination of 10 *Calligonum* species. For. Ecol. and Manag. 195: 291-300.
- Redondo, S., A.E. Rubio-Casal, J.M. Castillo, C.J. Luque, A.A. Alvarez, T. Leque and M.E. Figueroa. 2004. Influences of salinity and light on germination of three *Sarcocornia* taxa with contrasted habitats. Aquatic Bot. 78: 255-264.
- Scott, S.J., R.A. Jones, and W.A. Williams. 1984. Review of data analysis methods for seed germination. Crop Sci. 24: 1160-1162.
- Stundstrom, F.J., R.B. Reader and R.L. Edwards. 1987. Effect of seed treatment and planting method on tabasco pepper. J. of the Am. Soc. for Hort. Sci. 112: 641-644.
- Tomer, R.P.S. and K. Slingh. 1993. Hard seed studies in rice bean (*Vigna umbellata*). Seed Sci. & Tech. 21: 679-683.
- Townsend, A.M. 1984. Effect of sodium chloride on tree seedlings in two potting media. Environ. Pollution 34: 333-344.
- Ungar, I.A. 1995. Seed germination and seed-bank ecology of halophytes. In: Kigel, J., Galili, G. (Eds.), Seed Development and Germination. Marcel Dekker Inc. New York. pp. 599-629.
- Villalobos, A.E. and D.V. Pelaez. 2001. Influences of temperature and water stress on germination and establishment of *Prosopis caldenia* Burk. J. of Arid Environ. 49: 321-328.
- Villalobos, A.E., D.V. Pelaez, R.M. Boo, M.D. Mayor and O.R. Elia. 2002. Effect of high temperatures on seed germination of *Prosopis*

- caldenia* Burk. J. of Arid Environ. 52: 371-378.
- Villiers, A.F., Van Rooyen, M.W., Theron, G.K. and Van de Venter, H.A. 1994. Germination of three Namaqualand pioneer species, as influenced by salinity, temperature and light. Seed Sci.&Tech. 22: 427-433.
- 길봉섭. 1993. 측백나무에 들어있는 생장억제물질의 작용. 한국 생태학회지 16: 181-190.
- 김태욱. 1999. 한국의 수목. 교학사. p. 49.
- 이근광. 1999. 측백나무와 편백나무 정유의 항균력 검색. 한국미용학회지 5: 567-577.
- 이창복. 1993. 대한식물도감. 향문사. p. 66.
- 최봉호, 홍병희, 강광희, 김진기, 김석현, 민태기. 2001. 신고 종자학. 향문사. p.107.
- 한심희, 김찬수, 장석성, 이현주, 탁우식. 2004. 저장기간에 따른 3개 수종의 종자 및 발아특성 변화. 한국농림기상학회지 6: 183-189.
- 한인송, 김재건. 1999. 자생초화류 종자의 광과 온도에 따른 발아특성. 건국자연과학연구지 10: 55-66.
- 황환주. 1994. 온도 및 광질이 참꽃나무 종자발아에 미치는 영향. 한국원예학회 논문발표요지. pp. 170-171.

(접수일 2005.10.18; 수락일 2006.1.22)