

저장기간에 따른 3개 수종의 종자 및 발아 특성 변화

한심희 · 김찬수 · 장석성 · 이현주 · 탁우식

국립산림과학원 산림유전자원부

(2004년 2월 18일 접수; 2004년 7월 28일 수락)

Changes in the Seed Characters and Germination Properties of Three Tree Species at Different Storage Time

Sim-Hee Han, Chan-Soo Kim, Suk-Seong Jang, Hyun-Ju Lee and Woo-Sik Tak

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

(Received February 18, 2004; Accepted July 28, 2004)

ABSTRACT

This study was conducted to examine the changes in the seed physical characters and germinative properties of three tree species at three different storage times in order to determine the most suitable storage time and condition. Seed physical characters and germinative properties were examined from seeds of *Fraxinus rhynchophylla*, *Zanthoxylum schinifolium* and *Staphylea bumalda* that were stored at -18°C for 1, 3 and 10 years, and the growth performance and physiological characters of their seedlings were analyzed. Seed physical characters and germinative properties showed significant differences between three storage times as well as three tree species. Seed moisture content of *F. rhynchophylla* and *S. bumalda* and seed fresh weight of *Z. schinifolium* decreased with increase of storage time. Storage time represented negative correlation with moisture content and fresh weight ($r = -0.822$, $p < 0.01$). Seed percent germination of *Z. schinifolium* and *S. bumalda* stored for 3 and 10 years decreased less than 15% and 10.7% respectively. Mean germination times for seed of *F. rhynchophylla*, *Z. schinifolium* and *S. bumalda* were delayed 11.9, 5.7 and 9.7 days after a storage time of 10 years, respectively. However the growth and viability of seedlings didn't show a special pattern for storage time and tree species.

Key words : moisture content, physiological character, percent germination, mean germination time, viability

I. 서 론

지구의 생물다양성 손실은 인간이 직면한 가장 큰 환경 문제이다. 다른 환경문제와는 달리 생물다양성 손실은 불가역적으로 발생하며, 일단 어떤 종이 멸종하면 영원히 손실되는 것이다(van Slageren, 2003). 식물은 모든 생명의 기반으로 수천 종의 포유동물, 조류 및 수백만 종의 곤충을 포함한 모든 생명에게 식량과 생필품을 제공하며, 인간도 일상생활의 모든 면에서 식물에 전적으로 의존한다. 만일 식물이 사라진

다면 지구상의 다른 모든 살아있는 유기체 또한 사라질 것이다.

생물다양성 보전은 단순히 현존하는 자원의 저장이 아니라 자연적, 인위적 재해와 같은 환경변화에 적응하는 능력을 안전하게 지켜주고, 미래에 선발 육종에 필요한 기반을 유지하는 방향으로 이루어져야한다(Graudal *et al.*, 1995). 또한 식물의 종 다양성 보존은 자연 생태계 내에서 모든 식물을 보존하는 현지 내 보존(in situ conservation)과 어떤 식물의 유전적 다양성을 유지하기 위해 생식질 등을 보존하는 현지

의 보존(ex situ conservation)과 같은 다양한 방법을 통해서 성취될 수 있다. 최근에는 생태학적 보존과 유전학적 보존을 구분하려는 시도가 이루어지고 있으며, 생태계와 서식지 보존에 대한 모델 개발과 유전학적 보존의 다양성을 규정하기 위해 많은 관심이 집중되고 있으나(Forey *et al.*, 1994; Guarino *et al.*, 1995), 현지 내와 현지 외 보존전략을 모두 포함한 보존의 효율성을 평가하는 연구는 큰 진전이 없다.

어떤 식물의 멸종은 인간 활동으로 인한 대규모 서식지 파괴에 의해서 주로 이루어진다. 멸종을 방지하는 가장 좋은 방법은 서식지 보존이지만, 불행하게도 서식지 보전은 여러 가지 면에서 제약을 받는다. 즉 지구상에 있는 많은 종의 자연 서식지는 이미 완전히 파괴되었으며, 어떤 종의 서식지는 크기가 줄거나 쪼개지고 분산되면서 멸종의 절박한 위험에 처하게 되었다. 심지어 어떤 종의 경우는 서식지 보존이 이미 실행된 후에도 재도입을 필요로 한다. 이러한 면에서 현지 외 보존은 자연 상태에서 멸종해가는 종을 보존하는데 매우 중요한 역할을 한다(Maxted *et al.*, 1997).

종자 은행은 살아있는 식물 종자를 활력이 정지된 상태에서 장기간 저장하는데 매우 효과적인 수단이며, 또한 미래에 이러한 종자들로부터 식물을 재생할 수 있는 기반이 된다(van Slageren, 2003). 그러나 종자는 다음 세대를 이어갈 적당한 시간이나 장소가 마련될 때까지 생명을 유지할 수 있지만, 영구적으로 살아남을 수는 없기 때문에 결국에는 활력이 소실되어 죽는다. 종자의 활력 소실은 어쩔 수 없는 생리 현상이며, 불가역적 생리현상으로 일단 종자가 활력을 소실하면 되돌릴 수는 없다. 이러한 종자의 활력 소실은 수종 간, 품종 간 및 개체 간에 따라 다르며, 같은 품종이라도 수확 장소에 따라 차이가 있을 수 있다. 또한 종자의 수명은 종자의 물리적 내지 생리적 상태와 같은 내부요인, 상대습도와 온도, 종자 내 수분, 유전적 요인 등 다양한 요인이 관여한다. 따라서 종자 은행을 이용한 유전자원의 현지 외 보존의 효율성을 높이기 위해서는 보존 대상 종자에 대한 정확한 정보, 즉 수종, 품종은 물론, 수확 장소, 당시의 기상 조건, 종자 수분함량 및 충실도 등을 알아야한다. 이러한 정보들은 저장된 종자들의 수명을 결정하는데 중요한 자료로 이용될 것이며, 또한 저장 종자의 관리에 효율적으로 적용할 수 있다.

따라서 본 연구는 산림 유전자원의 현지 외 보존을

위해 저장 기간이 서로 다른 종자들을 대상으로 저장 기간에 따른 종자 특성 및 발아 특성의 변화를 조사하고, 적정 저장 기간 및 저장 조건을 찾기 위하여 실시되었다.

II. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

공시 재료는 1993년, 1999년, 2002년에 각각 채취하여 국립산림과학원 산림유전자원부 내 저온저장고(-18°C)에서 보관하던 물푸레나무(*Fraxinus rhynchophylla*), 산초나무(*Zanthoxylum schinifolium*) 및 고추나무(*Staphylea bumalda*)의 종자를 이용하였다.

2.2. 수종별 종자 특성 분석

수종별 종자의 물리적 특성은 수분함량, 종자 100립당 생중량 및 충실율을 중심으로 조사하였으며, 수종별로 저장 기간에 따라 50립씩 총 150립의 종자를 이용하였다. 수분함량은 적외선 수분계(Precisa 310M, Swiss)를 이용하여 건조 전 무게와 일정 시간이 지난 후 사라진 수분 손실량을 측정하여 백분율(%)로 나타냈으며, 충실율은 신속하면서 비파괴적으로 종자의 내부조직의 충실여부를 파악할 수 있는 X-선 검사(SOFTEX X-ray TV-25-1, Japan) 방법을 이용하였다.

2.3. 종자의 발아 특성 조사

수종별 종자는 피트모스, 펄라이트, 모래를 1:1:1로 혼합한 토양 배지에 50립씩 3반복으로 파종한 후 온실에 배치하였다. 종자를 파종한 후, 2-3일 간격으로 발아된 종자의 개수를 조사하여 기록하였다. 발아 조사 결과를 이용하여 발아율(percent germination, PG), 발아지수(germination index, GI), 평균발아소요일수(mean germination time, MGT), 발아속도계수(coefficient of velocity of germination, CVG)를 계산하였다. 발아율(PG)은 총 공시종자에 대한 발아종자의 백분율로 표시하였으며, $PG = (N/S) \times 100$ 의 식을 이용하였다. 식에서 N은 총 발아수, S는 총 공시종자수이다. 발아지수는 $GI = \sum T_i N_i / S$ 의 식을 이용하였다. 여기서 T_i 는 파종 후 경과일수이고, N_i 는 i 일에 발아된 종자의 수, S는 파종된 종자의 총 수이다. 평균발아소요일수(MGT)는 $MGT = \sum (T_i N_i) / N$ 식을 이용하였으며, 식에서 T_i 는 파종 후 조사일수, N_i 는 조사당일의 발아

수, N 은 총 발아수이다. 발아속도계수는 평균발아소요 일수의 역수로 표현하였다(Scott et al., 1984).

2.4. 유묘의 생리적 특성 조사

발아 시험이 종료된 후, 3개 수종의 유묘들은 저장 기간별로 구분하여 시험포지에 이식하였다. 종자 저장 기간에 따른 유묘의 성장 및 생리적 특성 변화에 관한 영향을 파악하기 위하여 수고, 근원경, 잎 내 엽록소 함량 및 엽록소 형광 반응을 측정하였다. 각 수종별 유묘의 성장 특성은 이식 초기와 성장 종료 시점에 측정된 수고와 근원경을 이용하여 1주간의 상대생장율을 구하였으며, 상대생장율은 $[Ln(x_2) - Ln(x_1)] / (t_2 - t_1)$ 의 식으로 계산하였다(Beadle, 1993). 여기서 x_2 와 x_1 은 성장 종료 후(t_2)와 이식초기(t_1)의 수고와 근원경을 나타낸다.

잎 내 엽록소 함량은 SPAD 502(Minolta, Japan)의 측정값을 이용하였다. 엽록소 형광반응은 잎을 30분 동안 암 상태에 적응시킨 후, OS5-FL Modulated Fluorometer(OPTI - SCIENCES, USA)를 이용하여 PSII의 광화학 효율을 결정하였으며, Fv/Fm의 비로 표현하였다(Bolhàr-Nordenkampf and Öquist, 1993).

III. 결과 및 고찰

3.1. 종자 저장기간에 따른 수종별 종자 특성의 변화

물푸레나무와 고추나무 종자의 수분 함량은 저장기간이 길어지면서 감소하는 경향을 나타냈다(Table 1). 특히 10년간 저장된 물푸레나무 종자의 수분 함량은 7.11%에서 4.81%로 감소하였다. 그러나 저장기간에

다른 산초나무 종자의 수분 함량 변화는 일정한 경향을 보이지 않았다.

일반적으로 종자의 크기와 무게는 종자 발아율, 발아속도 및 유묘의 생존에 영향을 미치는 가장 중요한 인자로 알려져 있다(Khan et al., 1999; Navarro and Guitian, 2003). 또한 종자의 크기나 무게가 발아능력 및 유묘의 생존과 성장을 포함하여 다양한 성장변수를 파악하는데 좋은 지표가 된다(Marshall, 1987; Naylor, 1993). 본 연구 결과에서는 100g당 종자의 무게는 저장기간에 따라 뚜렷한 경향을 보여주지는 않았으나, 대체로 저장기간이 길어지면서 종자의 무게가 감소하였다. 특히 종자의 생중량 감소는 산초나무에서 뚜렷하게 나타났는데, 10년간 저장된 산초나무 종자의 생중량은 1.53g에서 0.87g으로 감소하였다. 종자의 충실율은 저장기간에 따라 큰 변화를 보이지 않았으나, 산초나무 종자의 충실율은 3년과 10년간 저장 후, 28.7%와 38.0%로 매우 낮아졌다.

Table 2는 저장기간, 종자 특성 및 발아 특성간의 상관관계를 나타낸 것이다. 종자의 저장기간은 물푸레나무의 수분함량 및 고추나무의 수분함량 또는 생중량과 부의 상관($r = -0.822, p < 0.01$)을 보여 주었다. 그러나 산초나무 종자의 특성 변화에는 영향을 주지 않았다. 이와 같이 수분 함량이 산초나무 종자의 저장기간에 따라 큰 차이가 없었던 것은 종자의 충실율이 매우 낮고 생중량이 크게 감소하여 상대적으로 수분함량의 비율이 증가하였기 때문인 것으로 판단된다. 한편 수분 함량과 생중량 및 충실율 간에 나타난 상관관계는 수종 간에 매우 다른 양상을 보여 주었다. 물푸레나무의 경우, 생중량과 충실율 간에는 높은 정의 상관

Table 1. Changes in seed moisture content, fresh weight per 100 seeds and filled seed rate of three tree species according to storage time of seed at -18°C .

Species	Storage time (year)	Moisture content (%)	Fresh weight per 100 seeds (g)	Filled seed rate (%)
<i>F. rhynchophylla</i>	1	7.11 \pm 0.50 ^a	2.81 \pm 0.06 ^a	75.3 \pm 4.2 ^b
	3	5.51 \pm 0.40 ^b	2.00 \pm 0.13 ^b	40.0 \pm 4.0 ^c
	10	4.81 \pm 0.99 ^b	2.72 \pm 0.02 ^a	92.0 \pm 1.8 ^a
<i>Z. schinifolium</i>	1	7.14 \pm 0.73 ^b	1.53 \pm 0.06 ^a	90.7 \pm 3.1 ^a
	3	10.8 \pm 1.22 ^a	0.59 \pm 0.01 ^c	28.7 \pm 1.2 ^c
	10	7.99 \pm 0.60 ^b	0.87 \pm 0.05 ^b	38.0 \pm 4.0 ^b
<i>S. bumalda</i>	1	5.16 \pm 0.47 ^a	2.29 \pm 0.11 ^a	92.7 \pm 3.1 ^a
	3	4.46 \pm 0.23 ^b	2.28 \pm 0.07 ^a	95.3 \pm 1.2 ^a
	10	4.24 \pm 0.14 ^b	2.07 \pm 0.05 ^b	94.7 \pm 2.3 ^a

The different letters indicate significantly different at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

Table 2. Correlation coefficient between storage time and seed and germination characteristics of three tree species.

A. *F. rhynchophylla*

	PG	MGT	CVG	GI	MC	FW	FSR
ST	-0.594	0.585	-0.631*	-0.681*	-0.745*	0.199	0.584
PG		-0.339	0.426	0.966**	0.351	0.058	-0.207
MGT			-0.992***	-0.516	-0.793**	-0.631*	-0.269
CVG				0.600	0.814**	0.610*	0.238
GI					0.554	0.194*	-0.128
MC						0.282*	-0.078
FW							0.902***

B. *Z. schinifolium*

	PG	MGT	CVG	GI	MC	FW	FSR
ST	-0.623*	0.757**	-0.736**	-0.587	-0.076	-0.426	-0.559
PG		-0.593	0.611	0.983***	-0.641	0.959***	0.988***
MGT			-0.997***	-0.472	0.262	-0.559	-0.611
CVG				0.486	-0.292	0.588	0.635
GI					-0.636	0.927***	0.956***
MC						-0.791**	-0.681*
FW							0.979***

C. *S. bumalda*

	PG	MGT	CVG	GI	MC	FW	FSR
ST	-0.638	0.715*	-0.319	-0.658	-0.689*	-0.822**	0.244
PG		-0.758*	0.278	0.999***	0.833**	0.462	-0.399
MGT			-0.548	-0.776*	-0.649*	-0.542	0.389
CVG				-0.261	0.048	-0.137	0.142
GI					0.845**	0.493	-0.415
MC						0.788**	-0.761**
FW							-0.554

*, **, and *** mean statistically significant at $p < 0.05$, $p < 0.01$, and $p < 0.001$. ST: storage time; PG: percent germination; MGT: mean germination time; CVG: coefficient of velocity of germination; GI: germination index; MC: moisture content; FW: fresh weight; FSR: filled seed rate.

($r = 0.902$, $p < 0.001$)을 보였고, 산초나무 종자의 수분 함량은 생중량 또는 충실율과 부의 상관관계를 나타냈으며, 생중량과 충실율 간에는 정의 상관($r = 0.979$, $p < 0.001$)을 보였다. 고추나무 종자의 수분 함량은 생중량과 정의 상관($r = 0.788$, $p < 0.01$)을 보였으며, 충실율과는 부의 상관($r = -0.761$, $p < 0.01$)을 나타냈다. 일반적으로 종자의 수명은 수분함량과 온도의 상호작용에 의해서 결정되며, 낮은 온도에서 종자의 수명이 더 오래 유지된다(Zoppo *et al.*, 1998). 그러나 본 연구 결과에서 제시한 바와 같이 저온에 저장된 종자도 저장기간이 길어지면서 수분 함량과 생중량이 뚜렷하게 감소하며, 충실율과 활력이 감소하여 종자의 수

명에 영향을 줄 수 있는 것으로 나타났다.

3.2. 종자 저장기간에 따른 발아 특성의 변화

저장기간이 길어지면서 종자의 발아율은 현저하게 감소하였다(Fig. 1). 특히 산초나무의 경우, 1년간 저장된 종자의 발아율은 88.1%였으나, 3년 이상 저장된 종자의 발아율은 15%이하로 감소하였고, 고추나무의 경우도 1년간 저장 종자의 경우 58.7%였으나, 3년과 10년간 저장 종자의 발아율은 각각 10.7%, 4.7%로 크게 감소하였다. 물푸레나무의 경우는 산초나무와 고추나무와는 달리 저장 기간에 따라 발아율이 감소하였으나, 감소폭은 크지 않았다. 3개 수종의 발아지수

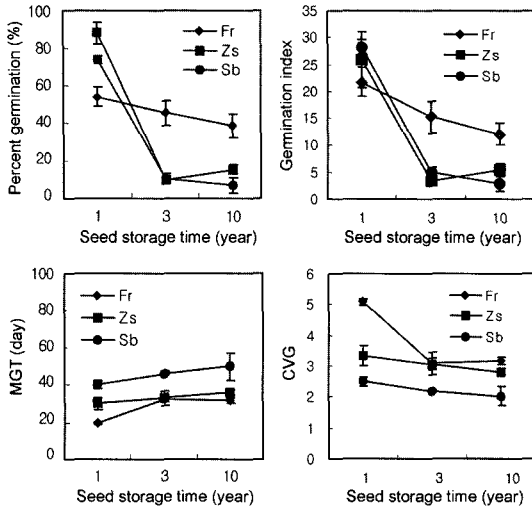


Fig. 1. Changes of percent germination, germination index, mean germination time(MGT) and coefficient of velocity of germination(CVG) of the seeds of three tree species according to storage time of seed at -18°C . Each bar represents the mean and standard deviation of three replicates. Fr: *Fraxinus rhynchophylla*, Zs: *Zanthoxylum schinifolium*, Sb: *Staphylea bumalda*

(germination index)는 저장기간이 길어지면서 감소하였으며, 발아율과 유사한 특성을 보여 주었다. 발아지수의 감소는 종자의 발아시간이 더 짧아졌음을 의미한다. 평균발아소요일수는 종자 저장기간이 길어지면서 증가하였는데, 물푸레나무는 1년간 저장 종자의 경우 19.7일이었던 것이 10년간 저장 종자의 경우 31.6일로 증가하였으며, 산초나무 종자는 30.1일에서 35.8일로, 고추나무의 경우는 40.1일에서 49.8일로 각각 증가하였다. 이것은 종자 저장기간이 길어지면서 종자의 발아가 지연되었음을 의미한다. 발아속도계수는 저장기간이 길어지면서 낮아져 발아된 종자의 수가 감소하고, 단기간 내에 종자의 발아가 종결되었음을 알 수 있었는데, 이것은 저장된 종자의 대부분이 시간이 지남에 따라 활력을 상실하였기 때문인 것으로 판단된다.

한편 물푸레나무와 고추나무 종자의 평균발아소요일수는 수분함량과 부의 상관관을 보여 주며, 저장기간과 정 상관관을 보여 주었다(Table 2). 일반적으로 종자의 수분함량은 종자 수명에 가장 중요한 요인으로 작용하는데, 저장기간 동안 종자의 수분함량이 지나치게 낮을 경우 종자가 장애를 받아 효소활성과 호흡량을 증가시켜 생리적 활성 저하를 촉진시킨다(Justice and Bass, 1978). 또한 종자의 건조는 종피에 미세한

틈의 형성과 세포벽의 변형을 유발시켜 건조 전에 비하여 발아율 감소 및 발아소요일수를 지연시킨다(Knypl and Khan, 1981; Pill et al., 1991). 본 연구에서도 종자의 저장기간이 길어지면서 수분함량이 감소하고, 이로 인해 종자의 발아가 지연되는 것을 확인할 수 있다.

산초나무 종자는 발아지수가 생중량 또는 총실율과 높은 상관관을 나타내며, 발아율과는 높은 정 상관($r = 0.983, p < 0.001$)을 나타내는 것으로 보아, 종자의 장기 저장시 발생하는 종자의 총실도 감소는 발아특성에 악영향을 주는 것으로 판단된다. Navarro and Guitian (2003)은 무거운 종자가 가벼운 종자보다 발아율이 더 높고, 유묘 생존율이 더 높다고 보고하였다. 본 연구에서도 Table 2에서 보여 주는 바와 같이 종자의 생중량이 평균발아소요일수와 부의 상관관을 보임으로써 무거운 종자일수록 발아속도가 빠르게 나타났으며, 종자의 저장기간이 길어지면서 종자의 무게가 감소하여 발아 속도가 늦어진다는 것을 알 수 있었다. 그러나 가벼운 종자의 경우 생존에 유리한 위치를 차지하기 위해 무거운 종자보다 더 빨리 발아하며, 발아율도 높았다는 연구 결과가 보고된바 있다(Murali, 1997; Khan et al., 1999).

3.3. 종자 저장 기간에 따른 유묘 성장 및 생리적 특성 변화

종자 저장기간에 따른 유묘의 수고 및 근원경의 상대성장율은 Fig. 2와 같이 나타내었다. 유묘의 상대성장율은 종자의 저장기간에 큰 영향을 받지 않은 것으로 나타났다. 그러나 물푸레나무와 산초나무의 경우는 저장기간이 증가하면서 상대수고성장율이 감소하는 경향을 보여 주었으며, 고추나무의 상대수고성장율은 저

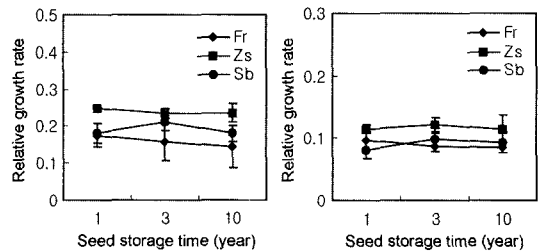


Fig. 2. Changes in relative growth rate of height and root collar diameter of seedlings of three tree species according to storage time of seed at -18°C . Each bar represents the mean and standard deviation of 10 individuals.

장기간에 따라 차이가 있었다. 또한 근원경의 상대생장율은 저장기간에 따라 큰 차이를 보여 주지 않았다. 종자의 저장기간은 종자의 무게를 감소시키며, 종자의 무게 감소는 종자의 발아 및 유묘의 활력에 영향을 준다. Khan *et al.* (1999)은 무거운 종자의 경우 발아가 느리고, 발아율은 낮지만, 이들 유묘의 활력은 발아가 빠른 가벼운 종자들보다 더 강하다고 보고하였다. 이것은 종자 내 초기 저장 물질들이 유묘의 초기 생장에 더 큰 영향을 미쳤다는 것을 의미한다. 그러나 Dürr and Boiffin (1995)와 Tamet *et al.* (1996)은 유묘의 상대생장율은 종자의 초기 무게에 영향을 받지 않으며, 발아가 시작된 시점부터 유근이 나타날 때까지의 시간이 증가함에 따라 유묘의 상대생장율은 감소한다고 하였는데, 이것은 자엽 내 엽록소 축적이 지연되어 광합성 효율이 감소하였기 때문인 것으로 보고하였다.

본 연구에서 엽록소 함량과 엽록소 형광반응을 기초로 하여 저장기간에 따른 유묘의 활력을 평가한 결과, Fig. 3에서 보여 주는 바와 같이 종자의 저장기간에 따라 유묘의 활력은 차이가 있었지만, 일정한 경향을 나타내지는 않았다. 이것은 종자 저장기간은 유묘의

생장이나 생리적 특성과는 큰 상관을 나타내지 않았으며(Table 3), 오히려 유묘의 활력은 종자의 특성 및 활력에 더 큰 영향을 받고 있음을 의미한다.

IV. 적 요

저장 기간이 서로 다른 종자들을 대상으로 저장 기간에 따른 종자 특성 및 발아특성 변화를 조사하고, 적정 저장 기간 및 저장 조건을 찾고자 실시하였다. 물푸레나무, 산초나무 및 고추나무의 종자는 -18°C에서 1년, 3년, 10년간 저장된 것을 이용하였으며, 수종별 종자 및 발아 특성과 유묘의 생장 및 생리적 특성을 조사하였다.

3개 수종의 종자 및 발아 특성은 저장 기간 및 수종별 차이를 뚜렷하게 보여주었다. 물푸레나무와 고추나무 종자의 수분함량은 저장기간이 길어지면서 감소하는 경향을 나타냈다. 또한 종자의 무게도 저장기간이 길어지면서 감소하였는데, 특히 산초나무의 10년간 저장 종자의 생중량 감소가 뚜렷하였으며, 충실율도 10년간 저장 후 크게 낮아졌다. 저장기간은 물푸레나무 및 고추나무 종자의 수분함량 또는 고추나무 종자의 생중량과 부의 상관($r = -0.822, p < 0.01$)을 나타냈다. 3년 이상 저장된 산초나무 종자의 발아율은 15% 이하로 감소하였으며, 3년간 저장된 고추나무 종자의 발아율은 10.7% 이하로 급격히 하락하였다. 또한 평균발아소요일수는 종자 저장기간이 길어지면서 증가하였는데, 10년간 저장된 물푸레나무, 산초나무 및 고추나무 종자의 평균발아소요일수는 11.9일, 5.7일, 9.7일씩 각각 증가하였다. 물푸레나무와 고추나무 종자의 평균발아소요일수는 수분함량과 부의상관을 보여주었으며, 저장기간과는 정의 상관을 보였다. 그러나 종자의 저장기간에 따른 유묘의 생장 및 활력 차이는 일정한 경향을 나타내지 않았다.

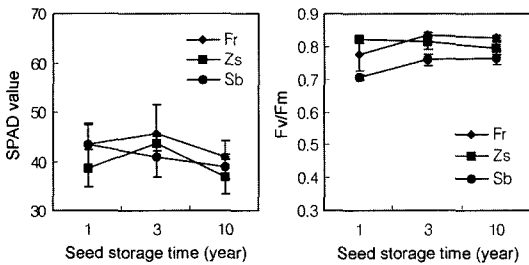


Fig. 3. Changes in chlorophyll content (SPAD values) and chlorophyll fluorescence response (Fv/Fm) in the leaves of seedlings of three tree species according to storage time of seed at -18°C. Each bar represents the mean and standard deviation of 10 individuals.

Table 3. Correlation coefficient between storage time and relative growth rate and physiological properties of seedlings of three tree species.

Species	Relative growth rate		SPAD value	Fv/Fm
	Height	RCD		
<i>F. rhynchophylla</i>	-0.245	-0.184	-0.396*	-0.153
<i>Z. schinifolium</i>	-0.216	-0.059	-0.326	0.575*
<i>S. bumalda</i>	-0.047	0.206	-0.315	0.363

* mean statistically significant at $p < 0.05$. RCD : root collar diameter.

인용문헌

- 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. Bolh ar-Nordenkampf, R. C. Leegood and S. P. Long (Eds.), Chapman & Hall, London, 36-46.
- Bolh ar-Nordenkampf, H. R. and G.  quist, 1993: Chlorophyll fluorescence as a tool in photosynthesis research. *Photosynthesis and Production in a Changing Environment, A Field and Laboratory Manual*, D. O. Hall, J. M. O. Scurlock. H. R. Bolh ar-Nordenkampf, R. C. Leegood and S. P. Long (Eds.), Chapman & Hall, London, 193-206.
- D rr, C., and J. Boiffin, 1995: Sugarbeet (*Beta vulgaris* L.) seedling growth from germination to first leaf stage. *The Journal of Agricultural Science* **124**, 427-435.
- Forey, P. L., C. J. Humphries, and R. I. Vane-Wright, 1994: *Systematic and Conservation Evaluation*. Oxford University Press. Oxford.
- Graudal, L., E. D. Kiaer, and S. Canger, 1995: A systematic approach to conservation of genetic resources of trees and shrubs in Denmark. *Forest Ecology and Management* **73**, 117-134.
- Guarino, L., R. Rao, and V. Reid, 1995: *Collecting Plant Genetic Diversity: Technical guidelines*. CAB International, Wallingford.
- Justice, O. L., and L. N. Bass, 1978: *Principles and Practices of Seed Storage*. Agriculture Handbook No. 506, Washington D.C. 289pp.
- Khan, M. L., P. Bhuyan, U. Shankar, and N. P. Todaria, 1999: Seed germination and seedling fitness in *Mesua ferrea* L. in relation to fruit size and seed number per fruit. *Acta Oecologia* **20**, 599-606.
- Knypl, J. S., and A. A. Khan, 1981: Osmoconditioning of soybean seeds to improve performance at suboptimal temperatures. *Agronomy Journal* **73**, 112-116.
- Marshall, D. L., 1987: Effects of seed size on seedling success in three species of *Sesbania* (Fabaceae). *American Journal of Botany* **73**, 457-464.
- Maxted, N., B. V. Ford-Lloyd, and J. G. Hawkes, 1997: Complementary conservation strategies. *Plant Genetic Conservation*. N. Maxted, B. V. Ford-Lloyd, and J. G. Hawkes. (Eds.), Chapman and Hall, London, 15-39.
- Murali, K. S., 1997: Pattern of seed size, germination and seed viability of tropical tree species in southern India. *Biotropica* **29**, 271-279.
- Navarro, L. and J. Guiti n, 2003: Seed germination and seedling survival of two threatened endemic species of the northwest Iberian peninsula. *Biological Conservation* **109**, 313-320.
- Naylor, R. E. L., 1993: The effect of parent plant nutrition on seed size, viability and vigor, and on germination of wheat and triticale at different temperatures. *Annals of Applied Research* **28**, 104-110.
- Pill, W. G., J. J. Frett, and D. C. Morneau, 1991: Germination and seedling emergence of primed tomato and asparagus seeds under adverse conditions. *Hortscience* **26**, 1160-1162.
- Scott, S. J., R. A. Jones, and W. A. Williams, 1984: Review of data analysis methods for seed germination. *Crop Science* **24**, 1192-1199.
- Tamet, V., J. Boffin, C. Durr, and N. Souty, 1996: Emergence and early growth of an epigeal seedling (*Daucus carota* L.) : influence of soil temperature, sowing depth, soil crusting and seed weight. *Soil & Tillage Research* **40**, 25-38.
- van Slageren, M. W., 2003: The millenium seed bank: building partnerships in arid regions for the conservation of wild species. *Journal of Arid Environments* **54**, 195-201.
- Zoppo, M. D., L. Galleschi, and F. Saviozzi, 1998: Long-term storage of *Araucaria bidwillii* Hook. seeds. *Seed Science and Technology* **22**, 267-270.