

갈매보리수나무 종자의 저장기간에 따른 발아 및 생리적 특성

최충호^{1*}, 양병훈²

¹경기도산림환경연구소, ²산림청 기획과

Change in Germination and Physiological Properties of *Hippophae rhamnoides* Seeds by Different Storage Period

Chung Ho Choi^{1*} and Byeong Hoon Yang²

¹Gyeonggi-do Forestry Environment Research Center, Osan 447-290, Korea

²Korea Forest Service, Planning and Coordination Division, Daejeon 302-701, Korea

Abstract - Germination properties, leachate electrical conductivity (EC), and inorganic compound leaching were analyzed to ascertain the storage ability and change of physiological characteristics during storage of *Hippophae rhamnoides* seeds. Seeds were placed in an incubator at 25°C and sown in different soil media (sand, vermiculite and horticultural substrate) after being stored for 6, 18 and 30 months at 2°C. All germination properties decreased in accordance to an increase of the seed storage period. Compared with the seed storage for 18 months, germination percentage (GP), germination performance index (GPI), and germination value (GV) of seeds stored for 30 months decreased by more than 50%. When the seeds were sown in different soil media in a greenhouse, those germination properties were similar to the seeds germinated in an incubator, and mean germination time, GPI and GV had a significant difference except GP among soil media. EC and inorganic ion concentration had a strong positive correlation with the seed storage period, but the ratios of inorganic ions from stored seeds revealed that K^+/Mg^{2+} and Na^+/Mg^{2+} were inversely correlated with the storage period.

Key words - *Hippophae rhamnoides*, Germination, Physiological property, Seeds, Storage

서 언

종자는 수종 및 품종에 따라 차이는 있으나 저장기간에 따라 활력이 감소한다. 이러한 과정에서 호흡감소, 지방산 증가, 발아율 저하, 비정상묘 증가, 효소활동 감소, 종자 침출물 증가, 저항력 감소, 변색 등의 변화들을 수반하는데 이를 종자의 퇴화라 한다(Bewley and Black, 1982).

일반적으로 종자는 저장특성에 따라 일반 건조 저장성 종자(orthodox seed), 난저장성 종자(recalcitrant seed), 중간 저장성 종자(intermediate seed)로 구분된다(Roberts, 1973; Ellis *et al.*, 1990). 대부분 식물 종자는 건조가 가능하여 저장이 용이한데, 소나무나 가문비나무는 6~8%, 전나무, 향나무, 활엽수 종은 10~15%의 낮은 종자 수분함량에서 장기간 저장이 가능하

며, 참나무류와 밤나무 같은 난저장성 종자는 수분함량 20~40% 이하에서 활력이 떨어지기 시작한다. 또한 최근 많은 정보들이 보고되고 있는 중간 저장성 종자는 10~12% 대의 낮은 종자 수분함량에서도 활력을 유지하나, 상대습도 40%의 건조 상태에서 저장시 활력이 감소되거나 영상의 온도에서 보다 0°C에서 활력이 급격히 저하하는 저장 특성을 보인다(Kim, 2009). 모든 종자는 저장할 동안 저장온도, 수분함량 등의 요인에 따라 퇴화한다(Tang *et al.*, 1999). 종자의 활력 소실은 어쩔 수 없는 생리현상이며, 불가역적 현상으로 활력 소실을 되돌릴 수는 없으나 저장 환경조건을 조절해 줌으로서 활력감소 속도를 지연시킬 수 있다(Moore, 1955; Woodstock, 1973). 따라서 종자의 산업적 활용 및 생산 효율 증대를 위해서라도 수종별 종자의 저장성 및 적정 저장조건 등을 구명하는 것이 매우 중요하다고 할 수 있다. 또한 저장성이 없는 종자는 장기 저장 기술 개발을 통하여 고품질 유전자원의 장기 보존을 위한 노력을 지속해야 할 것이다.

*교신저자: seedchoi@gg.go.kr

Tel. +82-31-8008-6655

© 본 학회지의 저작권은 (사)한국자원식물학회지에 있으며, 이의 무단전재나 복제를 금합니다.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

갈매보리수나무(*Hippophae rhamnoides* L.)는 보리수나무과(Elaeagnaceae)에 속하는 낙엽활엽 관목으로서 비타민나무, 산자나무 등으로 불리지고 있다. 내한성이 매우 강한 수종으로서 -43~40 °C의 온도범위와 다양한 기후 및 토양조건에서 생육이 가능하다. 질소고정능력이 뛰어나며, 잎과 열매 등에서 비타민, 플라보노이드, 아미노산 등의 풍부한 유효성분을 포함하고 있는 것으로 알려져 기능성 식품 개발 측면에서도 그 가치를 인정받고 있다(Bailey and Bailey, 1978; Geetha *et al.*, 2002; Ganju *et al.*, 2005; Tiitinen *et al.*, 2006; Khatab *et al.*, 2006). 이에 따라 갈매보리수나무를 상업적으로 활용하고자 임목의 대량생산 및 재배기술에 대한 연구에 관심을 기울이고 있으나 아직까지는 미비한 실정이다. 따라서 본 연구는 갈매보리수나무의 재배확대를 위한 대량생산을 목적으로 종자 저장성을 구명하고, 이에 따른 생리적 특성을 분석함으로써 유용 유전자원의 장기 보존에 도움을 주고자 실시되었다.

재료 및 방법

실험재료

본 연구에서는 몽골 중앙도 줌모토시 지역에서 2008년 10월에 채취한 갈매보리수나무(*H. rhamnoides*) 종자를 각각 6, 18, 30개월 동안 온도 2°C, 상대습도 30% 저온저장고에서 보관 후 2011년 4월 실험에 이용하였다. 저장 전 종자의 활력은 96%, 수분함량은 9.3%이었다. 이때 종자 활력은 테트라졸리움 1.0% 용액을 이용하였으며, 수분함량은 적외선 수분함량 분석기(FD-600, Japan)을 이용하여 분석하였다.

종자 발아특성 조사

갈매보리수나무 종자의 치상환경에 따른 발아반응을 알아보기 위하여 2011년 4월 초에 저장기간별 종자를 각각 기내와 온실에 파종하였다. 기내 환경에서의 발아특성을 분석하기 위해 25°C로 설정된 incubator에 각각 50립씩 3반복으로 종자를 petri-dish에 치상하였다. 이때 광 조건은 명(明)조건 8 시간, 암(暗)조건 16시간으로 설정하였다. 온실 파종의 경우 토양 종류에 따른 반응을 살펴보기 위해 파종 상토로서 모래, 질석, 원예용 상토(2호, 농우바이오, 한국)를 이용하였다. 치상된 종자는 매일 발아 조사를 실시하였으며, 유근 또는 자엽이 2 mm 이상 돌출하였을 때 발아한 것으로 간주하였다. 발아특성으로서 발아율(germination percentage, GP), 평균발아일수(mean germination time, MGT), 발아균일지수(germination performance index, GPI),

발아치(germination value, GV)가 조사되었다. 또한 발아종자를 20일 동안 생장시킨 후 유근길이를 측정하여 비교하였으며, 발아율과 유근길이 데이터를 이용하여 종자활력지수(seed vigour index, SVI)를 산출하였다(Murthy *et al.*, 2003). 발아율은 총 공시종자에 대한 발아종자의 백분율로 표시하였으며, 평균발아일수는 $MGT = \sum(tn) / N$ 의 식을 이용하였다. 여기서 t 는 치상 후 조사일수, n 는 조사 당일의 발아수, N 은 총 발아수이다(Scott *et al.*, 1984). 발아균일지수는 $GPI = GP / MGT$ 의 식을 이용하였으며(Stundstrom *et al.*, 1987), 발아치 $GV = PV \times MDG$ 의 식을 이용하였다(Czabator, 1962). PV (peak value)는 누적발아율을 치상 후 조사일수로 나눈 값 중 최고치이며, MDG (mean daily germination)는 일평균발아율이다.

종자의 생리적 특성 조사

종자의 생리적 특성으로서 전기전도도(electrical conductivity)와 무기이온(K^+ , Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+})이 분석되었는데, 25 립의 종자를 25 ml 증류수에 24°C에서 24시간 동안 침지한 후 각각 전기전도도 측정기(CM-30R, Japan) 및 원자흡광광도계(AAnalyst 100, USA)를 이용하여 실시하였다(Kim *et al.*, 2010).

결과 및 고찰

종자 발아특성

저장기간별 갈매보리수나무 종자를 기내에 치상한 결과, 발아특성 대부분은 저장기간에 따라 감소하는 경향을 나타냈다(Table 1). 발아율의 경우 저장 6개월 종자가 92.7%, 18개월 저장종자 84.0%, 30개월 저장종자 30.0%였으며($p < 0.01$), 평균 발아일수는 저장기간에 따라 각각 8.1일, 7.6일, 6.3일이었다($p < 0.05$). 발아균일지수는 6개월 저장종자는 11.4, 18개월 저장종자는 11.1, 30개월 저장종자는 4.8을 나타내었고($p < 0.01$), 발아치는 각각 36.6, 32.4, 7.8을 나타냈다. 모든 발아특성에서 18개월 이후 큰 폭으로 감소하는 경향을 보여주었는데($p < 0.01$), 발아율, 발아균일지수, 발아치는 30개월 저장했을 때 18개월 대비 50% 이상 크게 낮아지는 것으로 나타났다. 특히, 발아치의 경우 감소율이 75.9%로 가장 컸다. 또한 저장기간에 따른 발아 유근길이($p < 0.05$) 및 종자 활력지수($p < 0.01$) 역시 유의적인 차이를 보이며 감소하는 경향을 나타내었는데(Table 1), Murthy *et al.* (2003)도 *Vigna radiata* 종자의 저장기간별 종자 활력지수를 조사한 결과, 저장기간이 길어질수록 급격히 감소하였으며, 이는 수분함량과 밀접한 관계를 보였다고 하였다. Jeong *et*

Table 1. Germination properties of seeds with different storage period in *H. rhamnoides*

Storage period (month)	GP ^z (%)	MGT ^y (day)	GPI ^x	GV ^w	RL ^v (mm)	SVI ^u
6	92.7 ± 2.3	8.1 ± 0.5	11.4 ± 0.9	36.5 ± 5.9	4.2 ± 0.7	4.0 ± 0.5
18	84.0 ± 3.5	7.6 ± 0.6	11.1 ± 0.8	32.4 ± 0.5	3.6 ± 0.8	3.2 ± 0.3
30	30.0 ± 5.3	6.3 ± 0.6	4.8 ± 1.2	7.8 ± 0.9	2.7 ± 0.2	0.9 ± 0.2
F value	228.9	8.09	40.73	59.58	8.87	57.21
P	0.0001	0.0198	0.0003	0.0001	0.0162	0.0001

^zGP: germination percentage, ^yMGT: mean germination time, ^xGPI: germination performance index, ^wGV: germination value, ^vRL: radicle length, ^uSVI: seed vigour index.

Table 2. ANOVA for germination properties of *H. rhamnoides* seeds with different storage period sown at different soil media

	Source	DF	Mean square	F-value	P
GP ^z	Storage (St)	2	7,059.11	437.15	0.001
	Soil media (Sm)	2	16.44	1.02	0.381
	St * Sm	4	15.56	0.96	0.451
MGT ^y	St	2	5.94	11.34	0.006
	Sm	2	12.81	24.45	0.001
	St * Sm	4	6.02	11.49	0.001
GPI ^x	St	2	23.06	213.98	0.001
	Sm	2	1.01	9.38	0.002
	St * Sm	4	0.35	3.22	0.037
GV ^w	St	2	318.17	226.66	0.001
	Sm	2	9.18	6.54	0.007
	St * Sm	4	3.61	2.57	0.073

^zGP: germination percentage, ^yMGT: mean germination time, ^xGPI: germination performance index, ^wGV: germination value.

al. (2007)은 저장조건에 따른 비타민나무(갈매보리수나무) 종자 발아율을 조사한 결과, 채종 직후 98%, 6개월 저장시 90.0%, 10개월 저장시 50% 수준으로 낮아졌다고 보고하였는데, 본 연구와 감소하는 경향은 유사하였으나 감소 폭에서는 차이를 나타내었다. 또한 발아 소요일수의 경우 10개월 종자의 T₅₀(치상 종자의 50%가 발아할 때까지 소요되는 일수)은 1개월 저장종자 대비 1.6배 길어졌다고 하였으나 본 연구에서의 평균발아일수는 오히려 짧아지는 경향을 보였다. 이는 Jeong *et al.* (2007)의 연구에서는 저장기간이 길어질수록 발아가 지연된 반면 본 연구에서는 조기 고사 종자가 증가하였기 때문으로 판단된다. 보리수나무과 종자는 대부분 건조저장성 종자로 건조상태에서 저온에 쉽게 저장된다고 알려져 있는데, 특히 비타민나무속(*Hippophae* L.) 종자는 상온에서 1~2년(Slabaugh, 1974), 0~5°C에서 2년 이상 활력을 유지하고(Wyman, 1953), 4~5년간

60% 활력을 유지(Smirnova and Tikhonirova, 1980)한다고 보고되었다. 그러나 본 연구와 Jeong *et al.* (2007)의 연구를 통해서도 알 수 있듯이 갈매보리수나무 종자의 저장기간에 따른 활력 소실은 기존의 연구결과 보다 더 컸다. 한편, 본 연구에서 나타난 것과 같이 저장기간이 짧은 종자는 오래된 종자 보다 종자 활력이 더 우수하여 발아율 및 유묘 출현율이 더 높다는 결과는 Yoon (1999), Han *et al.* (2004), Lee *et al.* (2006)의 보고에서도 잘 나타나 있다.

저장기간이 다른 갈매보리수나무 종자를 모래, 질석, 인공 배양토에 각각 파종한 후 나타난 발아반응에 대해 ANOVA를 실시한 결과(Table 2), 발아율의 경우 저장기간에서만 유의성이 인정되었으며(p<0.01), 평균발아일수는 저장기간, 토양종류, 두 요인간 상호작용 모두 통계적 유의성이 인정되었다(p<0.01). 발아균일지수 역시 저장기간(p<0.01) 및 토양종류(p<0.01),

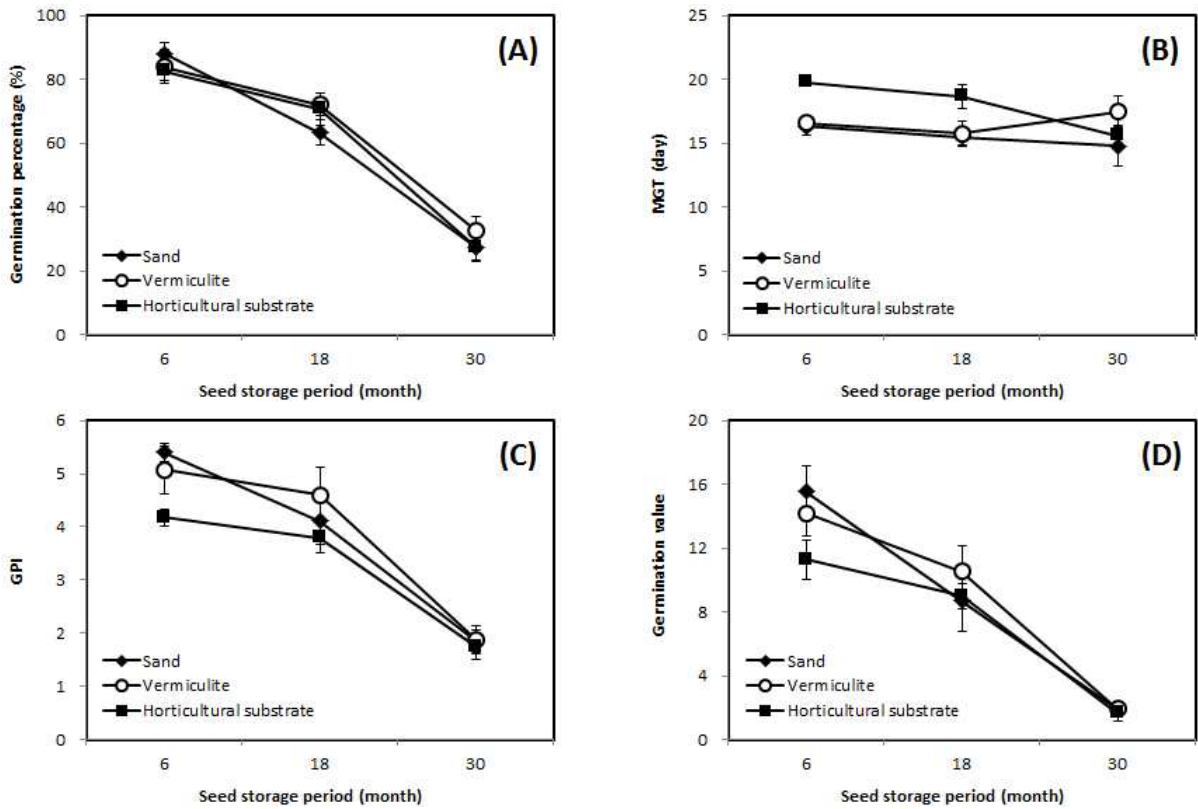


Fig. 1. Germination response of *H. rhamnoides* seeds with different storage period sown at different soil media.

상호작용($p < 0.05$) 모두에서 유의적 차이를 보였으나 발아치는 저장기간($p < 0.01$)과 토양종류($p < 0.01$)에서만 유의성이 인정되었다. 발아특성에 있어 6개월 저장된 종자는 토양종류에 따라 82.7~88.0%(평균 84.9%)의 발아율을 나타내었으나, 18개월 저장했을 때 66.0~67.3%(평균 67.1%)로 감소하였다(Fig. 1A). 이것은 6개월 저장했을 때와 비교할 때 18~25% 가량 감소한 수치이다. 30개월 저장종자의 발아율은 27.3~32.9%(평균 30.0%)로 18개월 저장종자와 비교했을 때 약 51~59%의 감소율을 보여 기내 발아와 마찬가지로 저장 18개월 이후 큰 폭으로 감소함을 알 수 있었다(Fig. 1A). 한편, 갈매보리수나무 종자는 온실에 파종했을 경우 기내에 치상했을 때 보다 저장기간에 따라 약 0~20% 낮은 발아율을 보였는데, 저장기간에 따라 활력이 감소될수록 외부 스트레스에 취약함을 추측할 수 있다. 온실 파종 종자의 평균발아일수는 토양종류에 따라 상이한 결과를 나타내었는데, 모래와 원예용 상토에 파종한 경우 발아일수가 짧아진 반면, 질석에 파종한 경우는 발아일수가 길어져 발아가 지연되는 모습을 보였다(Fig. 1B). 발아균일지수 및 발아치 역시 발아율과 유사한 감소 경향을 보였는데(Fig. 1C, D), 발아균일지수의 경우 18개월 저장종자는 6개월 저장 대비 평균 14.7%, 30개월 저

장종자는 18개월 저장 대비 평균 56.2% 감소하였다. 발아치는 6개월 및 18개월 대비 18개월, 30개월 저장시 각각 평균 31.3%, 평균 80.7% 감소율을 나타내어 기내에 치상했을 때와 마찬가지로 18개월 이후 급격히 감소함을 알 수 있었다.

종자의 생리적 특성

저장기간에 따른 종자의 생리적 특성으로서 누출액의 전기전도도와 무기이온 함량이 분석되었는데, 모두 종자 저장기간이 늘어날수록 증가하는 경향을 보였다(Fig. 2A). 종자는 수분을 흡수할 때 100MPa의 압력을 받게 되며, 이때 세포막이 손상되어 저장양분의 누출이 일어난다(Simon and Raja-Harun, 1972; Taylor *et al.*, 1993; Lee and Hong, 1995a; Lee and Hong, 1995b; Lee and Hong, 1997; Lee *et al.*, 1997). 건전종자의 경우 손상받은 세포막이 곧 회복되어 누출 저장양분은 많지 않으나, 죽은 종자나 활력이 낮은 종자는 세포막 기능이 상실되어 가용성 당(Abdul-Bake and Anderson, 1970)이나 아미노산(Taylor *et al.*, 1995), 무기성분(Loomis and Smith, 1980; Woodstock *et al.*, 1985) 등의 누출량이 증가하게 된다. 본 실험에서도 저장기간에 따라 종자 활력이 감소(McDonald, 1999)되

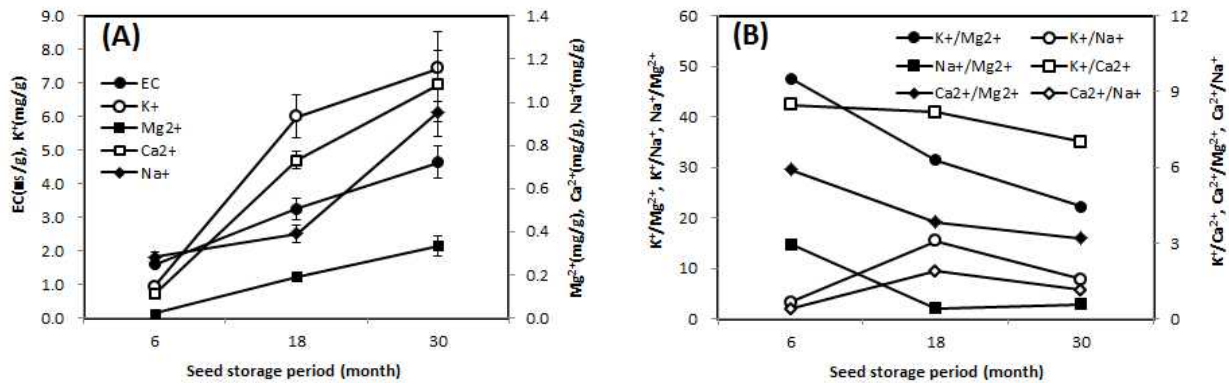


Fig. 2. Change of electrical conductivity (EC), inorganic ion concentration (A) and ion ratio (B) in electrolyte leakage from *H. rhannoides* seeds with different storage period.

Table 3. Correlation between seed storage period, and germination and physiological characteristics of seeds in *H. rhannoides*

Germination characteristics	Correlation	EC and inorganic ion	Correlation	Ion ratio	Correlation
GP	-0.917**	EC	0.907**	K ⁺ /Mg ²⁺	-0.849**
MGT	-0.828**	Ca ²⁺	0.783*	K ⁺ /Ca ²⁺	-0.032
GPI	-0.902**	Na ⁺	0.900**	K ⁺ /Na ⁺	-0.252
GV	-0.859**	Mg ²⁺	0.886**	Ca ²⁺ /Mg ²⁺	-0.606
		K ⁺	0.910**	Ca ²⁺ /Na ⁺	-0.373
				Na ⁺ /Mg ²⁺	-0.808**

⁴EC: electrical conductivity.

*, ** significant at p<0.05, or 0.01, respectively.

어 전기전도도 및 무기이온 함량이 증가한 것으로 판단된다. 종자 활력 소실과 전기전도도 증가에 대한 결과는 대두, 목화, 옥수수 등(Matthews and Powell, 2006)과 파톨라소나무(*Pinus patula*) 종자(Demelsh *et al.*, 2004), 유럽 너도밤나무(*Fagus sylvatica*) 종자(Pukacka and Ratajczak, 2007)의 연구에서도 많이 나타나있다. Woodstock *et al.* (1985)도 종자 퇴화와 저장 양분과의 관계에 대해 분석한 결과에서 목화의 경우 저활력 종자에서 K⁺와 Ca²⁺ 누출량이 증가하였다고 보고하였다. 그러나 Kim *et al.* (2010)이 참느릅나무 종자를 대상으로 한 연구에서는 전기전도도만 증가하였을 뿐 무기이온은 활력감소에 따라 감소되거나 변화가 없어 본 연구와 차이를 나타내었다. 한편, 무기이온 비율 중 K⁺/Mg²⁺, K⁺/Ca²⁺, Ca²⁺/Mg²⁺, Na⁺/Mg²⁺는 저장기간이 길어질수록 감소하는 경향을 나타낸 반면, K⁺/Na⁺, Ca²⁺/Na⁺는 뚜렷한 경향을 나타내지 않았다(Fig. 2B). 종자로부터 누출된 무기이온 구성물은 종자 활력과 밀접한 관계가 있

다고 보고되었는데, 무기이온의 누출은 목화(Woodstock *et al.*, 1985), 무, 양배추, 브로콜리(Min, 1995), 옥수수(Miguel and Marcos-Filho, 2002), 콩(Cheng *et al.*, 2005) 등을 대상으로 한 연구에서 세포막 보전(cell membrane integrity)의 지표가 된다고 하였다. 특히, Woodstock *et al.* (1985)은 K⁺와 Ca²⁺가 종자 생리적 잠재력(physiological potential)을 평가하는 지표로 이용된다고 하였다. 세포막 보전은 종자 퇴화 과정 중 변화 인자의 하나로 간주되고 있는데(McDonald, 1999; Matthews and Powell, 2006), 저활력 종자에서 무기이온과 같은 세포 구성물질의 손실이 더 높다고 보고되기도 하였다.

갈매보리수나무 종자의 전기전도도나 무기이온 함량 및 무기이온 비율이 종자 저장기간에 따른 종자 활력 지표로서 적정 한지 확인하고자 상관분석을 실시하였다(Table 3). 그 결과, 발아특성은 종자 저장기간과 매우 높은 유의성을 나타내었는데 (p<0.01), 발아율, 평균발아일수, 발아균일지수, 발아치의 상

관계수는 각각 -0.82, -0.83, -0.90, -0.86이었다. 전기전도도 및 무기이온 함량 역시 모든 항목에서 종자 저장기간과 높은 유의성 상관성을 나타내었으나 무기이온 비율의 경우에는 K^+/Mg^{2+} 와 Na^+/Mg^{2+} 만이 유의성이 인정되었다($p < 0.01$). 무기이온 비율은 모두 종자 저장기간과 부(-)의 상관을 나타내었는데, K^+/Mg^{2+} ($r = -0.85$), Na^+/Mg^{2+} ($r = -0.81$)의 상관계수는 Ca^{2+}/Mg^{2+} ($r = -0.61$), Ca^{2+}/Na^+ ($r = -0.37$) 보다 높았다. 그동안 종자 활력과 전기전도도 및 무기이온과의 상관관계에 관한 연구가 여러 차례 보고된 바 있는데, 참느릅나무 종자(Kim *et al.*, 2010)의 경우, 전기전도도 및 Mg^{2+} , K^+/Mg^{2+} , Ca^{2+}/Mg^{2+} , Na^+/Mg^{2+} 에서 종자 활력과 높은 상관성을 나타내었다고 하였으며, 피라칸다 종자(Kim and Han, 2010)는 Ca^{2+} , Na^+ 및 K^+/Ca^{2+} , K^+/Na^+ , Mg^{2+}/Ca^{2+} , Mg^{2+}/Na^+ 에서 상관성이 높게 나타났다고 보고되었다. 그리고 비술나무와 결구배추 종자(Wang *et al.*, 2003)는 K^+ 와 Ca^{2+} 에서 종자 활력과 높은 상관성을 나타내었다고 하였다. 이 같은 자료는 종자 누출액의 전기전도도 및 무기이온은 종자 활력을 판단하는 지표는 될 수 있으나 종에 따라 차이가 나타날 수 있음을 보여준다.

결과적으로, 갈매보리수나무 종자는 저장기간에 따라 발아특성이 급격히 감소하며, 이에 수반된 생리적 특성 또한 변화가 심하여 장기보존 대책이 필요한 것으로 사료되었다. 또한 생리적 특성인 전기전도도 및 무기이온 함량의 경우 종자활력을 판단하는 지표로 많이 사용되고 있는데, 식물 종에 따라 차이가 나타나므로 종별 적용 가능한 항목을 구명한 후 활용해야 할 것으로 판단되었다.

적 요

갈매보리수나무의 재배확대를 위한 대량생산을 목적으로 종자 저장성을 구명하고, 이에 따른 생리적 특성을 분석하였다. 종자를 6, 18, 30개월 저장한 후 발아특성을 조사한 결과, 기내치상의 경우 모든 발아특성에서 18개월 이후 큰 폭으로 감소하는 경향을 보여주었는데, 발아율, 발아균일지수, 발아치는 30개월 저장했을 때 18개월 대비 50% 이상 크게 낮아졌다. 특히, 발아치의 경우 감소율이 75.9%로 가장 컸다. 온실 내 토양종류별로 파종한 경우, 발아특성은 기내치상과 마찬가지로 저장기간에 따라 감소하는 경향을 보였다. 토양종류 간에는 발아율을 제외하고는 평균발아일수, 발아균일지수, 발아치 모두 차이를 나타내었다. 종자 저장기간에 따른 전기전도도 및 무기이온(K^+ , Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}) 함량은 저장 기간이 늘어날수록 증가

는 경향을 보였다. 무기이온 비율의 경우 K^+/Mg^{2+} , K^+/Ca^{2+} , Ca^{2+}/Mg^{2+} , Na^+/Mg^{2+} 는 저장기간이 길어질수록 감소하는 경향을 나타낸 반면, K^+/Na^+ , Ca^{2+}/Na^+ 는 뚜렷한 경향을 나타내지 않았다. 또한 종자 저장기간은 발아특성과 높은 부(-)의 상관을, 전기전도도 및 무기이온 함량과 높은 정(+)의 상관을 나타내었다. 무기이온 비율은 K^+/Mg^{2+} , Na^+/Mg^{2+} 만이 높은 부(-)의 상관을 나타내었다. 결과적으로, 갈매보리수나무 종자는 저장기간에 따라 발아특성이 급격히 감소하며, 이에 수반된 생리적 특성 또한 변화가 심하여 장기보존 대책이 필요한 것으로 사료되었다.

References

- Abdul-Bake, A.A. and J.D. Anderson. 1970. Viability and leaching of sugars from germinating barley. *Crop Sci.* 10:31-32.
- 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).
- Bewley, J.D. and M. Black. 1982. Physiology and biochemistry of seed in relation to germination. Vol. 2: Viability Dormancy and Environmental Control. Springer-Verlag. Berlin, Germany.
- Cheng, H.Y., G.H. Zheng, X.F. Wang, Y. Liu, Y.T. Yan and J. Lin. 2005. Possible involvement of K^+/Na^+ in assessing the seed vigor index. *J. Int. Plant Biol.* 47:935-941.
- Czabator, F.J. 1962. Germination value: and index combining speed and completeness of pine seed germination. *For. Sci.* 8:386-396.
- Demelash, L., M. Tigabu and P.C. Oden. 2004. Evaluating the relative storability of IDS-treated and untreated *Pinus patula* seeds by accelerated ageing. *J. Tropical For. Sci.* 16:206-217.
- Ellis, R.H., T.D. Hong and E.H. Roberts. 1990. An intermediate category of seed storage behaviour? *J. Exp. Bot.* 41:1167-1174.
- 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.
- Han, S.H., C.S. Kim, S.S. Jang, H.J. Lee and W.S. Tak. 2004. Changes in the seed characteristics and germination properties of three tree species at different storage time. *Kor. J. Agri. and For. Met.* 6:183-189 (in Korean).

- Jeong, H.N., S.H. Lim, S.Y. Lee, N.G. Heo, K.H. Kim and J.S. Lee. 2007. Effects of environment and storage condition on germination of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.). Kor. J. Hort. Sci. Technol. 25. p. 92 (in Korean).
- Khatab, A.M., E.G. Haggag and M.H. Grace. 2006. Cytotoxic investigation of *Cynara sibthorpiana*. Asian J. Chem. 18: 423-431.
- Kim, D.H. 2009. Cryopreservation of genetic resources, forest seed. Forest Information. KFRI. Korea. pp. 96-97 (in Korean).
- Kim, D.H. and S.H. Han. 2010. Aging-related changes of inorganic compound leaching and carbohydrates in *Pyracantha angustifolia* seeds. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 28:15-21.
- Kim, D.H., S.H. Han, and J.H. Song. 2010. Evaluation of the inorganic compound leakage and carbohydrates as indicator of physiological potential of *Ulmus parvifolia* seeds. New For. Doi:10.1007/s11056-010-9210-3
- Lee, S.S. and S.B. Hong. 1995. Leakage of sugars, amino acid and protein from differently-aged seeds of sesame, welsh onion and lettuce. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 40:407-412 (in Korean).
- _____. 1995. Nondestructive vigor test of seed. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 40:314-321 (in Korean).
- _____. 1997. Leakage of organic and inorganic compound from different seed qualities of onion, welsh onion, and leaf lettuce varieties. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 38:625-628 (in Korean).
- Lee, S.S., S.B. Hong and M.K. Kim. 1997. Nondestructive seed viability test chinese cabbage and radish varieties by sinapine leakage. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 38:498-501 (in Korean).
- Lee, S.S., S.H. Yun, S.K. Yang and S.B. Hong. 2006. Changes in seed vigour of sweet and super sweet corn hybrids as affected by storage conditions. J. Crop Sci. 51:432-439 (in Korean).
- Loomis, E.L. and O.E. Smith. 1980. The effect of artificial aging on the concentration of Ca, Mg, Mn, K and Cl in imbibing cabbage seed. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 105:647-650.
- McDonald, M.B. 1999. Seed deterioration: physiology, repair and assessment. Seed Sci. Technol. 27:177-237.
- Metthews, S. and A.A. Powell. 2006. Electrical conductivity vigour test: physiological basis and use. Seed Testing Int. 131:32-35.
- Miguel, M.V. and J. Marcos-Filho. 2002. Potassium leakage and maize seed physiological potential. Scientia Agricola 59:315-319.
- Min, T.G. 1995. Differences of electrical conductivity, organic and inorganic constituents in leakage from aged and non-aged vegetable seeds. Kor. J. Crop Sci. 40:533-541 (in Korean).
- Moore, R.P. 1955. Life alone is not enough-How alive are seeds? Seedmen's Digest 6:12-13.
- Murthy, U.M.N., P.K. Praksh and Q.S. Wendell. 2003. Mechanisms of seed ageing under different storage conditions for *Vigna radiata* (L.) Wilczek: lipid peroxidation, sugar hydrolysis, Maillard reactions and their relationship to glass state transition. J. Exp. Bot. 54:1057-1067.
- Pukacka, S. and E. Ratajczak. 2007. Age-related biochemical changes during storage of beech (*Fagus sylvatica* L.) seeds. Seed Sci. Res. 17:45-53.
- Roberts, E.H. 1973. Predicting the storage life of seeds. Seed Sci. and Technol. 1:499-514.
- Simon, E.W. and R.M. Raja-Harun. 1972. Leakage during seed imbibition. J. Exp. Bot. 23:1076-1085.
- 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 rhamnoides* L., common seabuckthorn: In Schopmeyer, C.S. (ed.), tech. cord. Seeds of Woody Plant in the United States. Agric. Handbk. 450. Washington DC, USDA Forest Service. pp. 446-477.
- Smirnova, N.G. and N.I. Tikhomirova. 1980. Combined use of x-ray photography and the tetrazolium method for assessing seed viability, Byulleten Glavnogo Botanicheskogo Sada 117:81-85.
- Stundstrom, F.J., R.B. Reader, and R.L. Ewards. 1987. Effect of seed treatment and planting method on tabasco pepper. J. of the Amer. Soc. for Hort. Sci. 112:641-644.
- Tang, S., D.M. Tekrony, D.B. Egli and P.L. Cornelius. 1999. Survival characteristics of corn seed during storage: II. Rate of seed deterioration. Crop Sci. 39:1400-1406.
- Taylor, A.G., D.B. Churchill, S.S. Lee, D.M. Bilsland and T.M. Cooper. 1993. Color sorting of coated *Brassica* seeds by fluorescent sinapine leakage to improve germination. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 118:551-556.
- Taylor, A.G., S.S. Lee, M.M. Beresniewicz and D.H. Paine. 1995. Amino acid leakage from aged vegetable seeds. Seed Sci. Technol. 23:113-122.
- 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.
- Wang, X.F., X.M. Jing, J. Lin, G.H. Zheng and Z. Cai. 2003.

- Studies on membrane function and sugar components of ultra-dried seeds. *Acta Bot. Sin.* 45:23-31.
- Woodstock, L.W. 1973. Physiological and biochemical tests for seed vigor. *Seed Sci. and Technol.* 1:127-157.
- Woodstock, L.W., K. Furman and H.R. Leffler. 1985. Relationship between weathering deterioration and germination, respiratory metabolism, and mineral leaching from cotton seeds. *Crop Sci.* 25:459-466.
- Wyman, D. 1953. Seeds of woody plants. *Amoldia* 13:41-60.
- Yoon, H.S. 1999. Seed viability, amounts and electrophoresis patterns of soluble protein during germination according to different storage period in chinese cabbage. Dankook Univ, Seoul, Korea. p. 33.

(Received 12 March 2015 ; Revised 13 July 2015 ; Accepted 30 July 2015)