



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	低温湿層処理, 温度, 乾燥がサイシウモミとトドマツの発芽特性に与える影響
Author(s)	高橋, 邦秀; 渋谷, 正人; 斎藤, 秀之 他
Citation	日本森林学会誌, 87(6), 465-470 https://doi.org/10.4005/jjfs.87.465
Issue Date	2005
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/67679
Type	journal article
File Information	Journal of the Japanese Forest Society 87_465.pdf



低温湿層処理, 温度, 乾燥がサイシウモミとトドマツの 発芽特性に与える影響

趙 慧卿^{*1}・高橋邦秀¹・渋谷正人¹・斎藤秀之¹・金 鍾眞²・洪 性珏²

趙 慧卿・高橋邦秀・渋谷正人・斎藤秀之・金 鍾眞・洪 性珏: 低温湿層処理, 温度, 乾燥がサイシウモミとトドマツの発芽特性に与える影響 日林誌 87: 465~470, 2005 韓国の固有樹種で絶滅が危惧されているサイシウモミ (*Abies koreana*) の天然更新にとって重要な種子の発芽特性を調べるため, 発芽に対する低温湿層, 温度, 乾燥の影響について検討し, 天然更新が比較的容易とされるトドマツ (*Abies sachalinensis*) と比較した。2 樹種の種子は 30~150 日低温湿層処理によって発芽速度, 発芽率が上昇した。150 日間の低温湿層処理では, 10~30°C の各温度条件における最終発芽率は, 無処理種子に比べ, サイシウモミで 1.7~8.5 倍 (42.9~87.8%), トドマツで 2.1~9.2 倍 (72.1~89.8%) まで増加した。しかし, サイシウモミの発芽速度はトドマツに比べ遅く, 最終発芽率に達するのに各発芽温度で 40 日前後を要した。低温湿層処理後の発芽率の増加率は処理日数と温度によって異なっていた。低温湿層処理は, 低温での発芽率を著しく増大させたが, サイシウモミではトドマツより長期間の低温湿層処理が必要であった。低温湿層処理後 6 日間までの無給水処理は発芽率に影響しなかった。しかし, PEG (Polyethylene glycol) 6000 溶液による乾燥処理によってサイシウモミの発芽率は有意に低下し, -0.4 MPa でも無処理種子の 50% まで低下した。一方, トドマツでは -0.8 MPa でも無処理種子の 80% を維持した。サイシウモミ種子はトドマツ種子に比べ, 乾燥ストレスに影響されやすいが, 発芽期間がトドマツより長く, 晩霜害などによる被害を回避しやすいと推察された。

キーワード: サイシウモミ, 種子発芽, トドマツ, 発芽条件

Cho, H.K., Takahashi, K., Shibuya, M., Saito, H., Kim, J.J., and Hong, S.G.: **Effects of Cold Stratification, Temperature, and Drought on Seed Germination Characteristics of *Abies koreana* and *Abies sachalinensis*.** J. Jpn. For. Soc. 87: 465~470, 2005 *Abies koreana* is an endemic and endangered species in Korea. To understand the seed germination characteristics of *A. koreana*, germination response was examined under different cold stratification periods, temperature conditions, and drought regimes with comparison to *Abies sachalinensis*, seedlings of which occur densely in natural forests in Hokkaido, Japan. Cold stratification of 30~150 days increased the germination speed and final germination rate in both species. In seeds with the cold stratification of 150 days, final germination rates at 10~30°C were 1.7~8.5 (42.9~87.8%) and 2.1~9.2 (72.1~89.8%) times those of unstratified seeds in *A. koreana* and *A. sachalinensis*, respectively. However, *A. koreana* seeds germinated more slowly than *A. sachalinensis* seeds, and took about 40 days to reach the final germination rates at 10~30°C. Increase in germination rates of *A. koreana* depended on cold stratification periods and temperature conditions of the germination test. Cold stratification especially increased the germination rate under cold temperature conditions. Longer cold stratification was necessary for *A. koreana* compared with *A. sachalinensis*. Cold stratified seeds of the two species were not affected in germination rates by a non-watered condition of 6 days. However, the germination rates of cold stratified seeds of *A. koreana* decreased significantly with decreased water potential adjusted by polyethylene glycol 6,000 solutions, and declined to approximately 50% of control seeds at -0.4 MPa of water potential. In contrast, cold stratified seeds of *A. sachalinensis* were germinated to approximately 80% of control seeds at -0.8 MPa of water potential. Consequently, it is assumed that the germination period of *A. koreana* seeds is longer than that of *A. sachalinensis* so it is easy for *A. koreana* seeds to avoid damage such as late frost injury, although its drought tolerance is weaker than that of *A. sachalinensis*.

Key words: *Abies koreana*, *Abies sachalinensis*, germination conditions, seed germination

I. はじめに

サイシウモミ (*Abies koreana*) は韓国の固有樹種で, 韓国の亜高山地帯に局所的に分布しており, 漢拏山では標高 1,000~1,950 m, 智異山では標高 1,050~1,900 m, 徳裕山では 1,350~1,590 m に分布している (Lee and Hong, 1995)。近年枯死する個体が増え, 後継樹が少ないため, 林分の衰退を懸念する報告が出されている (Kim *et al.*,

1998)。最も面積の大きな林分が残されている済州島漢拏山 (標高 1,950 m) では, 林縁部に実生が観察されるが, 林内ではほとんどみられない。サイシウモミ林は原生保護林となっているため, 林分を維持し遺伝的多様性を確保するためには天然更新による林分の保全が必要であるが, サイシウモミの天然更新機構についての研究はほとんど行われていない。

実生の発生と生残は, 種子の発芽特性と実生の定着に影

* 連絡・別刷請求先 (Corresponding author) E-mail: abieskoreana@hanmail.net

¹ 北海道大学大学院農学研究科造林学分野 (060-8589 札幌市北区北 9 条西 9 丁目)

Laboratory of Silviculture, Graduate School of Agriculture, Hokkaido University, Nishi-9, Kita-9, Kita-ku, Sapporo 060-8589, Japan.

² 韓国建国大学山林環境科学科

Department of Forest and Environmental Science, Konkuk University, Seoul 143-701, Korea.

(2004 年 11 月 30 日受付; 2005 年 7 月 15 日受理)

響する立地条件によって左右される。このため発芽特性は更新の成否に影響する重要な要因である (Schütz and Gerhard, 1999)。サイシウモミの更新機構の解明においても、発芽特性の究明が重要である。

一方、北海道の主要樹種であるトドマツ (*Abies sachalinensis*) は、サイシウモミと類似した気象と植生条件下に分布し (Kang *et al.*, 1997)、分子系統上最も近縁とされている (Suyama *et al.*, 2000) が、サイシウモミとは異なり、比較的天然更新が容易な種である (Narukawa *et al.*, 2003)。両者の発芽特性の違いを比較することで、衰退が危惧されるサイシウモミ林の更新機構を明らかにする手がかりを得ることが期待された。

一般に種子の発芽生理に影響する要因には温度、水分、光などがある。その中でも温度と水分条件は種子の発芽に最も強く影響する要因であり (小沢, 1958)、特に亜高山地帯では種子発芽を制限する主な要因である (Kibe and Masuzawa, 1994; Mariko *et al.*, 1993)。サイシウモミの分布地の済州島では、秋に散布された種子が長期間の積雪環境を経験し、融雪後、発芽時期である5、6月に平均で4日間、最大で13日間の無降水期間が続く (<http://jeju.kma.go.kr>)。一方、トドマツでもサイシウモミと同様に長期間の積雪環境下におかれ、その後本実験に使用した種子の産地である北見地方では5、6月の無降水期間を平均5日、最大で23日経験する (<http://www.data.kishou.go.jp>)。このためサイシウモミの天然更新について考える場合、融雪後の乾燥の影響も比較、検討する必要がある。

以上のことから本研究では、サイシウモミ種子とトドマツ種子について、1) 低温湿層処理と温度条件による発芽反応、2) 異なる乾燥条件下での発芽反応を調べ、低温湿層、温度、水分条件による2樹種の発芽特性を比較し、サイシウモミの種子の発芽特性からみた更新機構の解明を目的とした。

II. 材料と方法

本実験で使用した種子は実験2.2)のサイシウモミを除き、いずれも購入したものであり、購入時までサイシウモミ種子は温度 $5\pm1^{\circ}\text{C}$ 、トドマツ種子は温度 $2\pm2^{\circ}\text{C}$ 、湿度 $40\pm2.5\%$ の種子保存庫で保存されていたことを確認している。実験1と2.1)で使用したサイシウモミ種子は2001年に韓国済州島で採集されたもので、1,000粒重は8.7g、充実率は72.6%であった。トドマツ種子は2002年北海道訓子府で採集されたもので、1,000粒重は10.4g、充実率は52.1%であった。実験2.2)で使用したサイシウモミ種子は2003年に韓国済州島で採集したもので、1,000粒重は9.9g、充実率は72.0%であった。トドマツ種子は2003年北海道訓子府産のもので、1,000粒重は13.3g、充実率は75.2%であった。実験に用いたすべての種子は精選し、実験には充実種子を使用した。各種子は実験を始めるまで 5°C の冷蔵庫で保存した。実験終了後すべての未発芽種子について切断法で胚の有無を確認し、有胚種子を充実種子

とした。発芽率は充実種子数に対する発芽種子数 (真正発芽率) から求めた。

1. 低温湿層処理後異なる温度条件による発芽試験

低温湿層処理は種子を20%の含水率に加湿した砂と混ぜ、プラスチックバッグに入れ密封した後、 3°C の冷蔵庫で30、50、70、150日間保存した。150日は両樹種の生育地でのおおよその降雪・積雪期間で、30、50、70日はKim *et al.* (1985)の実験に準じた。比較のために、低温湿層処理を行わない無処理種子を対照とした。

発芽試験では、それぞれの種子50粒ずつ5反復を設定し、滅菌シャーレと濾紙を用いてインキュベーターで2003年12月10日から発芽試験を行った。温度条件は10、15、20、25、 30°C で制御した。濾紙が常に湿った状態を維持するように給水した。光条件は白色蛍光灯、照度2,600 lux、日長8時間である。発芽の判定は幼根が屈地性を示したときとし、発芽したものはシャーレから取り除いた。発芽試験開始から50日間毎日発芽数を記録し発芽経過を調べ、50日目の累積発芽数から発芽率を求めた。

2. 乾燥処理による発芽試験

1) 乾燥期間

種子20粒ずつ5反復で150日間低温湿層処理し、その後2003年12月10日からインキュベーターで1~6日間給水を行わない無給水処理を行った。150日間の低温湿層処理は、サイシウモミの最大の自生地である漢拵山における冬季の低温湿層期間を、無給水処理は春季の乾燥条件を想定したものである。乾燥処理終了後、十分に給水を行い、実験1の方法と同様に 20°C 、8時間日長で発芽試験を行った。

2) PEG (Polyethylene glycol) 6000 溶液による発芽試験

先行した実験2.1)では乾燥処理の影響が判然としなかったため、より明確な乾燥条件 (水分条件) による発芽反応を調べる必要があると考え、追加実験を行った。追加実験ではThomas and Wein (1985)の方法に準じて、発芽床の水ポテンシャルの調節にPEG6000を用い、PEG溶液の水ポテンシャルを -0.4 、 -0.8 、 -1.2 、 -1.6 、 -2.0 MPaに調節した。 0 MPa (control) は蒸留水を使用した。発芽試験は2004年7月3日から両種の種子を各処理当たり50粒ずつ5反復で150日間低温湿層処理し、各処理のPEG溶液5 mLずつを濾紙に浸したものを発芽床として使用した。その他の発芽試験条件は実験2.1)と同様である。

実験1から2までの発芽率についての統計処理はSPSS version 9.0J (SPSS, Inc., Chicago, IL)を用いて行った。

III. 結果

1. 低温湿層処理と温度条件による発芽過程

両樹種の種子とも低温湿層処理によって無処理種子に比べ発芽が始まるまでの日数が短縮されたが、サイシウモミはトドマツより発芽開始に5~10日ほど多く日数を要した (図-1)。トドマツの発芽開始日はいずれの発芽温度でも低

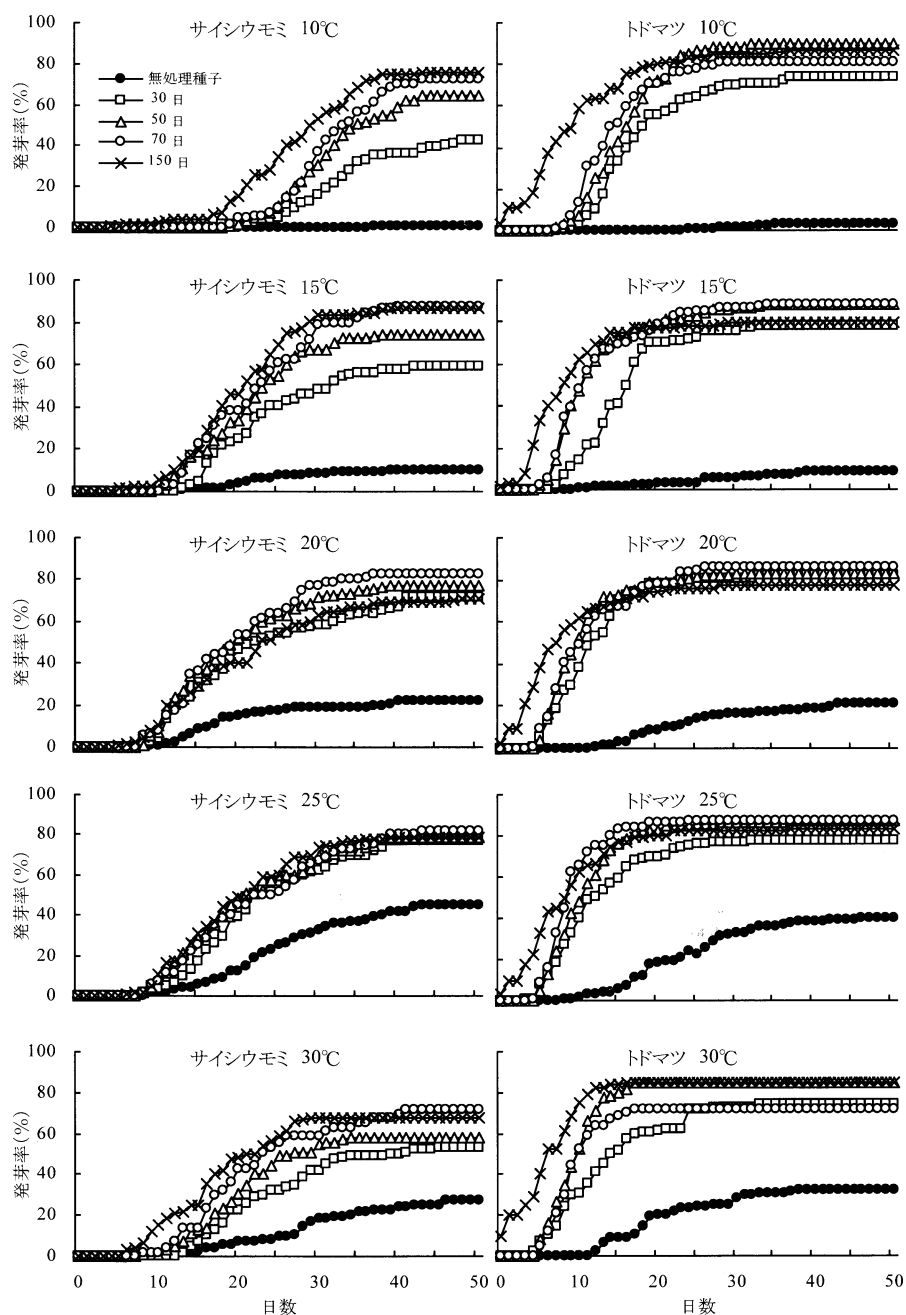


図-1. 低温湿層処理期間別、温度別のサイシウモミとトドマツ種子の平均発芽曲線

表-1. 低温湿層処理期間と発芽温度でのサイシウモミとトドマツ種子の平均発芽速度

	サイシウモミ					トドマツ				
	10°C	15°C	20°C	25°C	30°C	10°C	15°C	20°C	25°C	30°C
無処理種子	49±2.2	24±8.3	18±3.2	24±4.2	27±1.4	41±9.3	19±8.8	23±6.7	20±5.5	19±1.3
30日	32±2.1	21±2.8	17±2.7	21±3.6	22±3.0	16±1.4	14±1.7	11±1.7	10±2.3	11±3.9
50日	29±2.0	20±1.2	15±3.0	18±1.4	20±1.5	16±1.3	10±0.8	9±1.2	9±1.2	9±0.9
70日	29±1.3	21±3.9	16±3.4	19±1.7	18±2.3	13±0.5	10±1.5	9±1.2	8±0.6	9±0.9
150日	26±3.2	19±2.2	17±3.3	17±1.2	16±2.0	7±1.2	6±0.5	5±1.4	7±1.5	5±0.5

表の値はすべて平均値±標準偏差。

温湿層 150 日処理が他の日数より早くなったが、サイシウモミでは発芽速度は異なるものの、発芽開始日にはあまり差がみられなかった。150 日処理では、処理終了時にトド

マツ種子は 3.6% が発芽しており、またその他の処理についてもすべての発芽試験温度（以下発芽温度）で 1~4 日目に発芽を開始した。サイシウモミでは低温湿層処理終了時

表-2. 樹種, 低温湿層処理期間, 温度によるサイシウモミとトドマツ種子の平均発芽速度の分散分析表

要因	平方和	自由度	F 値
樹種	5740.8	1	551.8***
低温湿層処理期間	5947.3	4	142.9***
温度	4545.0	4	109.3***
樹種×低温湿層処理期間	563.7	4	13.5***
樹種×温度	533.1	4	12.8***
温度×低温湿層処理期間	1731.6	16	10.4***
樹種×温度×低温湿層処理期間	200.9	16	1.2 ns
誤差	2080.8	200	

*** は 0.1%水準で有意であることを示す。

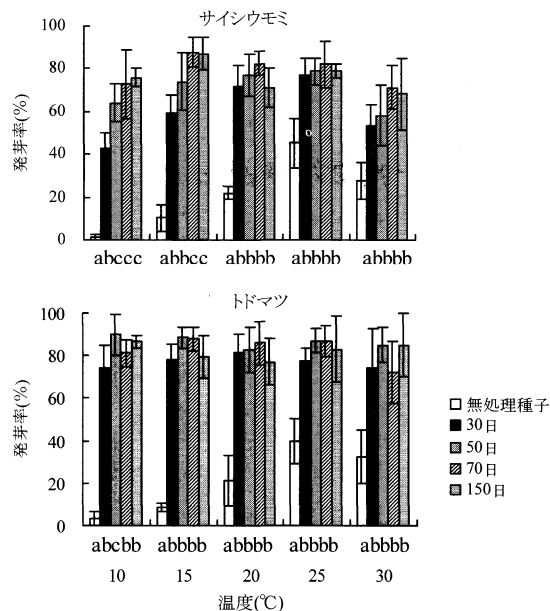


図-2. 低温湿層処理期間と発芽温度によるサイシウモミとトドマツ種子の最終発芽率

エラーバーは標準偏差を示す。異なるアルファベットは低温湿層処理日数間で有意差があることを示す。

に発芽した種子はなく、すべての発芽温度で4~11日目に発芽を開始した。両樹種とも低温湿層処理日数が長く、発芽温度が高いものほど発芽開始まで日数が短くなる傾向を示した。

発芽経過全体の特徴を検討するため、発芽率の50%に達するまでの日数(平均発芽速度; 浅川ら, 1981)を比較した(表-1)。低温湿層処理した種子の平均発芽速度は、サイシウモミで16~32日、トドマツで5~16日であり、それぞれ無処理種子よりも速くなった。発芽速度に対する各要因の影響を3元配置分散分析によって検討した(表-2)。すべての2要因間の交互作用が有意であったが、各要因単独での説明力が高い。両樹種とも低温湿層処理日数が長くなるほど発芽が速くなる傾向は明らかであるが、サイシウモミはトドマツほど顕著な促進効果を示さなかった(表-1, 2)。各発芽温度で最終発芽率に達する平均日数も、無処理種子を除いて、トドマツでは16~47日であるのに対し、サイシウモミは29~48日と長期間を要した(図-1)。

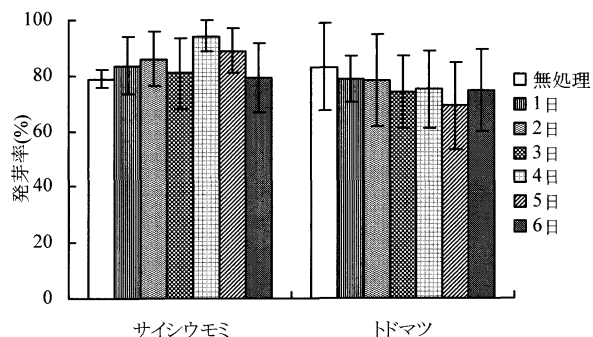


図-3. 乾燥期間別サイシウモミとトドマツ種子の最終発芽率

エラーバーは標準偏差を示す。

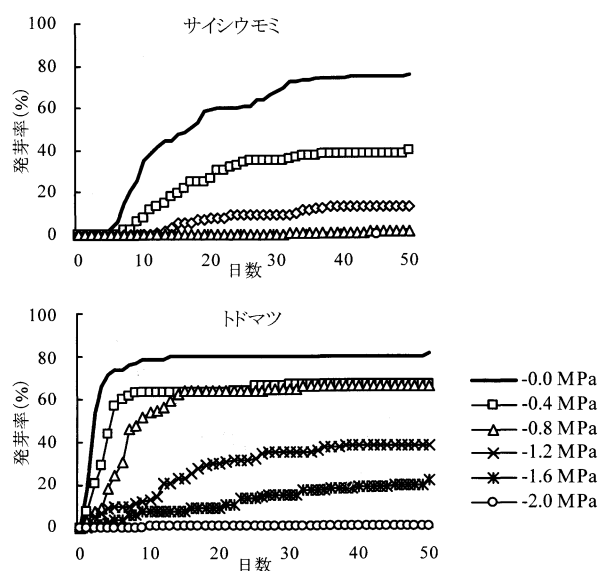


図-4. PEG (Polyethylene glycol) 6000 溶液によるサイシウモミとトドマツ種子の平均発芽曲線

無処理種子の最終発芽率は2樹種とも25°Cで最大値を示し、サイシウモミは平均45.3%、トドマツは平均39.7%であった。両樹種とも、無処理種子に比べ低温湿層処理により、すべての温度条件において発芽率が顕著に上昇した(図-2)。サイシウモミでは20°C以上で低温湿層処理日数の違いによる発芽率の差はなくなり、トドマツでは10°Cを除いて差がなかった(図-2, 1元配置分散分析後 Tukey の HSD 多重比較, $p < 0.05$)。低温湿層150日処理により、15~30°Cでサイシウモミの発芽率は無処理種子の1.7~8.5倍、トドマツでは2.1~9.2倍まで上昇した。10°Cでは無処理種子の発芽率がサイシウモミは1.1%、トドマツは3.3%と非常に低かったが、150日処理ではおのおの75.9%と86.7%まで上昇し、低温湿層処理は低温での発芽率を大きく上昇させた。

樹種間で比較すると、サイシウモミでは30日処理の10°Cと15°Cで、トドマツに比べ発芽率が低い傾向がみら

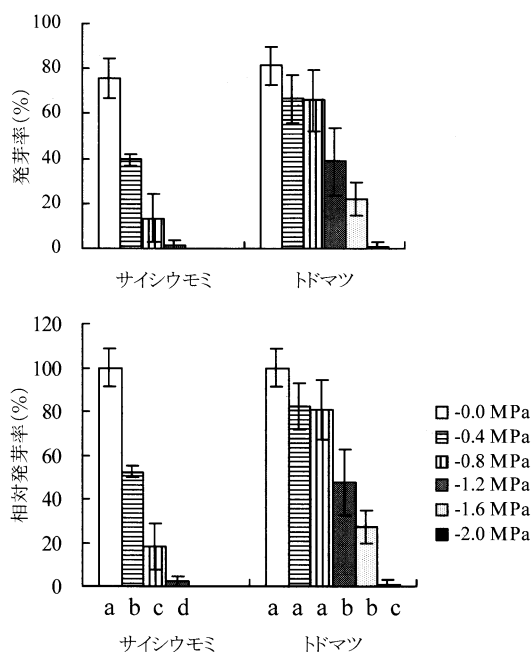


図-5. PEG (Polyethylene glycol) 6000 溶液によるサイシウモミとトドマツ種子の最終発芽率(上)と相対発芽率(下)

エラーバーは標準偏差を示す。異なるアルファベットは有意差があることを示す。

れる(図-2)。

2. 乾燥処理と発芽

1~6日間の無給水による最終発芽率に有意差はみられなかった(図-3, 一元配置分散分析, $p > 0.05$)。

図-4にPEGによる乾燥処理別の平均発芽曲線を示した。サイシウモミでは水ポテンシャルの低下とともに発芽開始が遅くなり, 一定期間での発芽率で示される発芽勢(ここでは0 MPaのトドマツの発芽率が最大に達した13日目の発芽率で比較)も小さくなった。トドマツでは-1.6 MPaまでは発芽開始に影響せず, 発芽勢は-1.2 MPaから小さくなった。サイシウモミでは-0.4 MPaで相対発芽率(0 MPaの最終発芽率を100としたときの比)が約50%と有意に減少し(一元配置分散分析, $p < 0.001$), -1.2 MPaからはほとんど発芽せず, -1.6 MPaと-2.0 MPaでは全く発芽しなかった。トドマツは-0.8 MPaで相対発芽率80%とかなり発芽し, -1.2 MPaから発芽率が有意に減少した(図-5, 一元配置分散分析, $p < 0.001$)。

IV. 考 察

モミ属の種子は吸水を妨げる硬い種皮や生理的休眠のため, 無処理種子は短期間に発芽しにくく, 発芽率も低いことが知られている(浅川ら, 1981; 郷, 1965; Young and Young, 1992)。本研究でも無処理種子は発芽率が最も高かった25°Cでもサイシウモミは平均45.3%, トドマツは39.7%(図-2)にとどまった。また, 両樹種とも無処理種子では低温(10°C)と高温(30°C)とも発芽率がかなり低下

し, 発芽に適当な温度域が狭いと考えられる。

秋に成熟散布する多くの樹木の種子は低温湿層処理によって発芽が促進される(小沢, 1958)。これは発芽後の実生の生育に不利な秋発芽を防ぎ, 発芽と実生の生残に適当な環境条件になる翌春まで発芽を遅らせるメカニズムと考えられる(清和, 2004)。とくにモミ属の種子は発芽率が低温湿層処理により上昇することが報告されている(Adkins *et al.*, 1984; 浅川ら, 1981; 郷, 1965; Li and Burton, 1994; Young and Young, 1992)。トドマツはサイシウモミに比べ, より短期間の低温湿層処理で発芽の促進効果が現われている(図-1, 2)。サイシウモミでも低温湿層処理によって発芽率が著しく増加しており, 発芽促進には低温湿層処理が必要といえる。サイシウモミの発芽特性は積雪期間の長い高標高の山地環境に適応している。

発芽速度が遅い種子は, 胚の未発達が原因の一つとしてあげられており(Larcher, 1995), 胚が未熟な状態は標高の高い所で生育している樹木の種子でもみられる(Cavieres and Arroyo, 2000; 畑野・佐々木, 1987; Meyer *et al.*, 1997)。また, 形態的, 組織的に完成していても, セイヨウトネリコのように発芽に低温処理が必要とされるものも知られている。トネリコやチョウセンマツなどでは冬季の低温湿層環境によって休眠が打破されることが知られている(藤井, 1976)。今回取り上げた両樹種とも低温湿層処理により著しく発芽が高まることから, 種子散布時期には胚が生理的に未熟状態であると推定される。しかし, サイシウモミの場合は低温湿層処理を受けても, トドマツのように即座に発芽できる状態にはなっていなかった。150日低温湿層処理後の10°Cと15°Cにおける発芽経過(図-1)からみると, トドマツは消雪後, 比較的短期間に一斉に発芽が可能と考えられるが, サイシウモミは消雪後発芽開始までトドマツの2倍程度の日数が必要と考えられ, トドマツに比べ発芽勢も小さく長期間にわたって徐々に発芽することが予想される。サイシウモミのような発芽パターンを示すものは, 発芽に好適な条件下で, 一斉に発芽して競争的優位を確保することはできないが, 発芽時期を長期間維持することにより, 春先に多い晩霜害や虫害などによる被害を回避し, 生残する発芽実生数を確保できる確率が高くなることが予想される。

自然環境下での温度条件は変温であり, これが発芽時期の短縮や発芽率の上昇の効果が知られている(藤井, 1976)。こうしたことから定温条件の下で示された発芽反応は自然環境下ではより顕著に現れるものと考えられる(畑野・佐々木, 1987)。

種子から実生の発芽・定着段階は環境の影響を受けやすく, 個体数の減少が大きく(Harper, 1977), 乾燥に極めて弱い時期である(Hadas and Russo, 1974)ため, 発芽段階での乾燥抵抗性は発芽と定着を決める上で重要な要因である。一般に土壌の水ポテンシャルが減少するにつれて種子の発芽率は減少する(Hadas and Russo, 1974)。6日間程度の無給水処理による発芽試験では, サイシウモミ, ト

ドマツとも発芽率が変わらなかった(図-3)。このことは融雪後6日程度の乾燥条件では発芽に影響しないと考えられる。より継続的な乾燥状態が再現されているPEG溶液による乾燥処理ではサイシウモミは水分環境に対してドマツよりも敏感に反応し、水ポテンシャルが低下すると発芽率が急激に減少した(図-5)。実験に用いたドマツ産地に近い北見での5,6月の降水量は58.8~59.5mmであり(<http://www.data.kishou.go.jp>), 済州島の同期間の降水量の1/3程度であることから(<http://jeju.kma.go.kr>), ドマツ種子はサイシウモミより低温湿層後の乾燥耐性を獲得している可能性が考えられる。サイシウモミはドマツに比べ、乾燥の影響を受けやすいと推察され、土壌水分が比較的高く維持される立地に更新が制限される可能性があると考えられる。

以上から、サイシウモミ種子は低温湿層処理により発芽が促進されるが、ドマツに比べ低温湿層処理後の発芽開始が数日遅れ、発芽速度も遅い。このように発芽期間を長期に保つサイシウモミの性質は、発芽が温度と乾燥に影響されやすいという不利な性質を補うことができると考えられる。しかし、亜高山帯の植物は各生育ステージが短いことが知られており(柴田, 1985), サイシウモミの場合は、限られた期間内に発芽できる個体数がドマツに比べ少ないと予想され、更新にはより年月を要すると考えられた。これらの点については今後現地調査と実験を通じて明らかにする必要がある。また、サイシウモミ林の保全には発芽期間を長期に維持している水分環境などの立地条件の検討も必要と考えられる。

なお、本研究は日本学術振興会日韓科学協力事業共同研究による支援を受けて行った。

引用文献

- Adkins, C.R., Hinesley, L.E., and Blazich, F.A. (1984) Role of stratification, temperature, and light in Fraser fir germination. *Can. J. For. Res.* 14 : 88-93.
- 浅川澄彦・勝田 柁・横山敏孝編 (1981) 日本の樹木種子. 針葉樹編. 144 pp, 林木育種協会, 東京.
- Cavieres, L.A. and Arroyo, M.T.K. (2000) Seed germination response to cold stratification period and thermal regime in *Phacelia secunda* (Hydrophyllaceae). *Plant Ecol.* 149 : 1-8.
- 藤井 正 (1976) 植物の休眠と発芽. 102 pp, 東大出版会, 東京.
- Hadas, A. and Russo, D. (1974) Water uptake by seed as affected by water stress, capillary conductivity, and seed soil water contact. I. Experimental study. *Agron. J.* 66 : 643-647.
- Harper, J. (1977) Population biology of plants. 892 pp, Academic Press, New York.
- 畑野健一・佐々木恵彦 (1987) 種子の生理. (樹木の成長と環境. 畑野健一編, 363 pp, 養賢堂, 東京). 45-132.
- 郷 正士 (1965) タネの貯蔵と発芽. (造林ハンドブック. 原 敬三・伊藤一雄・倉沢 博・橋本与良・伊藤清三・坂口勝美・猪瀬寅三・川口武雄・佐藤大七朗編, 923 pp, 養賢堂, 東京). 170-179, 668-686.
- Kang, S.J., Kwak, A.K., and Kikuchi, T. (1997) A phytosociological description of the *Abies koreana* forest on Mt. Halla in Cheju Island, Korea. *Korean Jour. Ecol.* 20(2) : 293-298.
- Kibe, T. and Masuzawa, T. (1994) Seed germination and seedling growth of *Carex doenitzii* growing on alpine zone of Mt. Fuji. *J. Plant Res.* 107 : 23-27.
- Kim, G.T., Choo, G.C., and Baek, G.J. (1998) Studies on the structure of forest community in subalpine zone of Mt. Halla—*Abies koreana* forest—. *Jour. Korean For. Soc.* 87(3) : 366-371 (in Korean).
- Kim, T.S., Jang, S.O., Shin, H.C., Jin, K.C., Seo, J.D., and Lee, T. S. (1985) Germination characteristics of *Abies koreana* Wilson. *Inst. For. Gen. Suwon, Korea Research Note No. 14* (in Korean).
- Larcher, W. (1995) Physiological plant ecology. 506 pp, Springer-Verlag, Berlin.
- Lee, Y.W. and Hong, S.C. (1995) Ecological studies on the vegetation characteristics of the *Abies koreana* forest. *Jour. Korean For. Soc.* 84(2) : 247-257 (in Korean).
- Li, X.J. and Burton, P.J. (1994) Interactive effects of light and stratification on the germination of some British Columbia conifers. *Can. J. Bot.* 72 : 1635-1646.
- Mariko, S., Koizumi, H., Suzuki, J., and Furukawa, A. (1993) Altitudinal variations in germination and growth responses of *Reynoutria japonica* populations on Mt. Fuji to a controlled thermal environment. *Ecol. Res.* 8 : 27-34.
- Meyer, S.E., Allen, P.S., and Beckstead, J. (1997) Seed germination regulation in *Bromus tectorum* (Poaceae) and its ecological significance. *Oikos* 78 : 475-485.
- Narukawa, Y., Iida, S., Tanouchi, H., Abe, S., and Yamamoto, S. (2003) State of fallen logs and the occurrence of conifer seedlings and saplings in boreal and subalpine old-growth forests in Japan. *Ecol. Res.* 18 : 267-277.
- 小沢準二郎 (1958) 木のタネの発芽に関する諸問題. (林木のタネとその取扱い. 小沢準二郎編, 332 pp, 日本林業技術協会, 東京). 88-149.
- Schütz, W. and Gerhard, R. (1999) The effect of cold stratification and light on the seed germination of temperature sedges (*Carex*) from various habitats and implications for regenerative strategies. *Plant Ecol.* 144 : 215-230.
- 清和研二 (2004) 種子発芽と実生の生理生態. (樹木生理生態学. 小池孝良編, 264 pp, 朝倉書店, 東京). 175-183.
- 柴田 治 (1985) 高地植物学. 308 pp, 内田老鶴圃, 東京.
- Suyama, Y., Yoshimaru, H., and Tsumura, Y. (2000) Molecular phylogenetic position of Japanese *Abies* (Pinaceae) based on chloroplast DNA sequences. *Mol. Phylogen. Evolut.* 16(2) : 271-277.
- Thomas, P.A. and Wein, R.W. (1985) Water availability and the comparative emergence of four conifer species. *Can. J. Bot.* 63 : 1740-1746.
- Young, J.A. and Young, C.G. (1992) Seeds of woody plant in North America. 407 pp, Dioscorides Press, Oregon.