近赤外光による選別および殺菌剤処理が スギおよびヒノキ種子の発芽率に及ぼす影響

原 真 司^{*1}・松田 修²・落合 幸 仁³・飛田 博 順⁴・宇都木 玄⁴

収穫後、乾燥・冷凍条件下で18カ月間保管したスギおよびヒノキの種子について、近赤外光による充実種子の選別と殺菌液による洗浄が、発芽率の向上にそれぞれの程度の効果をもたらすかを解析した。選別により、いずれの樹種においても発芽率は大幅に向上し、特にスギにおいては、一粒播種によるコンテナ苗生産の要件とされる90%の発芽率を超える水準に達した。他方、播種前に殺菌液または水に浸漬した両樹種の種子は、乾燥状態のまま播種した対照と比べ、発芽時期が早まる傾向を示した。しかし、播種後2週目以降では、発芽率の改善効果は見られなかった。また、殺菌液への浸漬処理は、カビの繁殖や腐敗による種子の変性を防ぎきることはできなかった。充実種子を選別するだけでなく、変性の可能性のある種子を事前に取り除く、あるいは選別した種子の変性を抑制する方法を見出すことができれば、さらなる発芽率の向上が期待できる。

キーワード：近赤外光、種子選別、発芽率、コンテナ苗

Masashi Hara,^{*1} Osamu Matsuda,² Yukihito Ochiai,³ Hiroyuki Tobita,⁴ Hajime Utsugi⁴ (2016) Effects of Near-infrared Sorting and Fungicide Treatment on the Germination Rate of *Cryptomeria japonica* and *Chamaecyparis obtusa* Seeds. J Jpn For Soc 98: 247–251 We evaluated the effects of pre-sowing treatments such as near-infrared (NIR) light sorting (for filled seeds) and fungicide cleansing on the germination rate of *Cryptomeria japonica* and *Chamaecyparis obtusa* seeds, which were stored dry for 18 months below freezing. After NIR light sorting, seed germination rates of both species were greatly increased; as for *C. japonica*, more than 90% of all collected seeds successfully germinated, the rate considered as the minimum requirements for containerized seedling production via single-seed sowing procedures. On the other hand, seeds of both species soaked in fungicide solution or water before sowing exhibited a tendency to germinate earlier than unsoaked controls. However, these cleansing treatments did not perfectly prevent seed deterioration due to mold breeding or putrefaction, and hence the effect was not significant at later than two weeks after sowing. It is expected that future development of methods for identifying stale seeds and/or for preventing sown seeds from deterioration will further contribute to improve production efficiency of afforestation tree seedlings.

Key words: near-infrared (NIR) light, seed sorting, germination rate, containerized seedling

I. は じ め に

木材価格の低迷と造林コストの高さにより、国産材の供給量は1967年から2002年までの期間は減少傾向で推移してきたが、2002年以降は増加傾向に転じている（林野庁 2015）。その一方で、伐採後の造林が放棄される問題が多発している（堺 2000；川田 2004；續 2006；前林 2006；三島・相澤 2006；行武ら 2007）。造林が確実に行われるようにするためには、造林コストの低減が不可欠であり、そのための対応策として一貫施業システムが提案されている（森林総合研究所九州支所 2013；北海道水産林務部 2014）。このシステムでは、伐採・搬出作業と並行して、材の運搬に用いる機械で苗を運搬し、伐採後の林地での植生回復前に植栽を行う。また、伐採・搬出作業は従来型の裸苗の植栽適期以外の時期にも実施される。そのため、裸苗の植栽不適期においても活着率が高いコンテナ苗の利用が前提とされている（森林総合研究所九州支所

2013）。

実生のコンテナ苗を生産する方法には、種子をコンテナに直接播種して育苗する方法と、コンテナ以外の培地に播種して発芽させた幼苗をコンテナ上に移植する方法がある。当然ながら、移植にともなう根系の損傷や作業にかかるコストを考慮すると、直接播種の方法を採用できることが望ましい（落合ら 2012）。しかし、主要造林樹種であるスギやヒノキでは、種子の平均的な発芽率が20～30%と低く（外山 1944）、コンテナのセルに一粒播種を行うと、種子が発芽せず無駄となるセル（欠株）が多量に発生する。直接播種にともなう欠株の発生は、各々のセルに複数粒を播種（厚播き）し、発芽後に間引くことにより抑制することができる（Landis *et al.* 1998；Luna *et al.* 2009）。しかし、間引きを行うと、作業コストがかかる上、種子の利用効率が低下する（田村 2013）。Lunaら（2009）は、一粒播種と厚播きに要する育苗コストを試算した結果、一粒播種が優位となるのは種子の発芽率が90%を超える場合に限ら

*連絡先著者（Corresponding author）E-mail: HARA_masashi@star.sfc.co.jp

¹ 住友林業株式会社 〒100-8270 東京都千代田区大手町 1-3-2 (Sumitomo Forestry Co., Ltd., 1-3-2 Otemachi, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8270, Japan)

² 九州大学大学院理学研究院 〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744 (Faculty of Science, Kyushu University, 744, Motoooka, Nishi-ku, Fukuoka 819-0395, Japan)

³ 元住友林業株式会社 Former Sumitomo Forestry Co., Ltd.,

⁴ 国立研究開発法人森林総合研究所 〒305-8687 茨城県つくば市松の里 1 (Forestry and Forest Product Research Institute, 1 Matsunosato, Tsukuba, Ibaraki 305-8687, Japan)

(2016年4月12日受付、2016年8月12日受理)

れると結論づけている。スギやヒノキのコンテナ苗生産においては、発芽率を高めるための種子の事前選別が不可欠であるといえる。

種子選別法のうち、最も一般的なものは、重量や比重に基づく方法である（以下、従来法と呼ぶ）。一般に針葉樹の種子においては、夾雑物を取り除くために風選が行われる（小沢 1958；今・来田 2014）ほか、マツ科においては、水選（小山 1914）やエタノール選（Yamanobe 2008；Avasar 2010；黒丸ら 2014；今・来田 2014）により、不稔種子と充実種子を効率的に選別できることが示されている。ヒノキにおいては、水や石鹼水を用いた、比重に基づく種子選別の実施例が報告されている（小沢 1962, 柳沢 1967）。しかし、選別後も充実種子の割合が90%に満たないほか、誤って破棄される充実種子も多く、選別精度の改善が大きな課題である。

スギやヒノキの不稔種子には、内容物を欠いたシナのほか、茶褐色のタンニン様物質を蓄積したシブダネが存在する（矢野・小山 1918, 図-1）。シブダネは、重量および比重の分布域が充実種子のそれと広く重なっており（柳沢 1967）、両樹種における種子選別を困難なものとしてきた。そこで筆者らは、従来法に代わる種子の選別法として、近赤外光を利用し、子実内の化学組成を非破壊的に評価できる手法を開発した（Matsuda *et al.* 2015）。

上記の研究において筆者らは、採種直後におけるスギおよびヒノキの種子の発芽率が、充実種子の割合とほぼ一致することを確認している。一方、採種からの時間経過とともに、おそらくは休眠や劣化の進行により、種子の発芽率が低下することが示されている（福田 1975）。先の研究において実施した発芽試験では、保管条件が明確でない種子

や3年を超える長期保存を経た種子を利用しており、選別後の発芽率は40~70%にとどまっていた。加えて、不発芽と認めた種子の中には、発芽に至る前にカビなどに侵されたものも含まれていた。そこで本研究では、収穫後に乾燥を行い、-5℃の冷凍条件下で18カ月間保管された種子を用いることにより、近赤外光による種子選別が発芽率をどの程度向上させ得るかを再検証した。また、殺菌剤の使用により、培養中に発生するカビなどの増殖を抑制し、発芽率をさらに安定的に高められるかについて、あわせて検証した。

II. 材料と方法

1. 供試種子

スギおよびヒノキの種子は、2013年秋に収穫されたものを使用した。スギの球果は、加波山国有林内の小見採種園（茨城県石岡市）にある中々条2の単一の個体（樹齢約30年、胸高直径34 cm）から、11月12日に採取された。ヒノキの球果は、森林総合研究所構内（茨城県つくば市）の防風林にある単一の個体（系統名なし、樹齢約20年、胸高直径20 cm）から、10月22日に採取された。いずれの樹種とも人工授粉は行わず、自然受粉により結実した球果を用いた。これらを天日にさらして乾燥させ、内側から脱離した種子を2014年1月24日に回収し、夾雑物を除去した（精選）。乾燥後の種子の含水率は、スギで10.3%、ヒノキで7.9%であった。また、採種・精選直後における（未選別状態での）種子の発芽率は、スギ、ヒノキのそれぞれについて、 $25.3\% \pm 7.3\%$ 、 $17.8 \pm 3.5\%$ （平均±標準偏差）であった（図-2）。精選後の種子は、乾燥剤と共に缶詰に封入し、次節に述べる選別作業の直前（2015年5月22日）まで-5℃の冷温下で保管した。

2. 種子の選別

種子の選別は、Matsuda *et al.* (2015) に従った。種子の反射分光画像は、近赤外域（1,250~2,500 nm）に感度をもつハイパースペクトルカメラ（SWIR-200R, アメリカ Emerging Technologies 社）を用いて取得した。取得した画像データは、先の研究（Matsuda *et al.* 2015）において開発したソフトウェアを用いて解析し、充実種子を特定するために使用した。測定波長および充実種子を特定するための single parameter method（Matsuda *et al.* 2015）における閾値は、スギ、ヒノキのそれぞれに対し、新たに最適化したものを使用した（表-1）。single parameter method とは、各々の種子に対応する領域における3波長の平均反射率から充実種子指標（seed quality index, SQI）を算出し、その値があらかじめ定めた閾値以下または以上の種子を充実種子と見なす判別法である。本研究の条件では、SQIが閾値を下回る場合に充実種子と判定した（表-1）。

3. 選別済み種子の播種前処理

スギ、ヒノキのそれぞれについて、充実種子と予測された600粒の種子を、200粒ずつ3組に分割した。3組のうち1組は、蒸留水150 mLに殺菌剤であるGFベンレート

図-1. 各実験過程における種子のタイプの対応関係

※1 乾燥種子の子実内の状態に基づく類型を、近赤外光により予測し、充実種子と判定されたもののみを回収した。ただし、誤判別による不稔種子（未熟種子およびシブダネを合わせた類型）の混入は否定できない。※2 播種前に充実種子、誤判別により混入した未熟種子のいずれであったかを特定することはできない。※3 選別において、誤判別により混入したもの。

図-2. 選別済み種子の発芽曲線

(a) スギおよび (b) ヒノキにおいて得られた結果。エラーバーは標準偏差を示す。別の試験機会に決定された、播種後 28 日目における未選別種子の発芽率を、参考値として示した。

表-1. 種子の選別に用いた測定波長 ($\lambda_1 \sim \lambda_3$) と閾値

	λ_1 (nm)	λ_2 (nm)	λ_3 (nm)	閾値*
スギ	1622	1772	1981	199.4
ヒノキ	1645	1727	1997	186.2

*以下の式で表される SQI (seed quality index) が閾値を下回る場合に充実種子と判定した。

$$SQI = \begin{cases} \frac{180}{\pi} \times \cos^{-1} \alpha, & R_{\lambda 2} \leq \frac{R_{\lambda 1} + R_{\lambda 3}}{2} \text{ の場合} \\ 360 - \frac{180}{\pi} \times \cos^{-1} \alpha, & \text{その他の場合} \end{cases}$$

$$\text{但し, } \alpha = \frac{(R_{\lambda 1} - R_{\lambda 2}) \times (R_{\lambda 3} - R_{\lambda 2}) - 1}{\sqrt{(R_{\lambda 1} - R_{\lambda 2})^2 + 1} \times \sqrt{(R_{\lambda 3} - R_{\lambda 2})^2 + 1}}$$

R_{λ} は波長 λ における反射率 (単位, %).

水和剤 (住友化学園芸) を 0.3 g 溶解した洗浄液に浸し, 3 時間静かに攪拌した後, 12 時間静置した (以下, ベンレート洗区)。他の 1 組は, 蒸留水 150 mL に浸し, 同様に 3

時間静かに攪拌した後, 12 時間静置した (以下, 水洗区)。残る 1 組は, 何も処理せず対照とした (以下, 対照区)。

4. 種子の発芽試験

種子の発芽試験は, ISTA (International Seed Testing Association, 国際種子検査協会) が定める方法 (ISTA 1993) に一部改変を加えて実施した。具体的には, ガラスシャーレに 0.9% の寒天を加えて固化させ, その上に濾紙を敷いて発芽床とした。1 枚のシャーレには 50 粒を播種し, 処理ごとに 4 反復のデータを取得した。播種を終えたシャーレは, 16 時間の暗条件 (20℃) と 8 時間の明条件 (30℃) を交互に繰り返す人工気象器内で培養した。発芽日は今ら (2014) に準拠し, 幼根が種皮外に出現した日とした。

5. 発芽試験のデータ解析

播種前処理の違いが累積発芽率の時間変化に与える影響を評価するため, 発芽試験における観察日ごとの残存率 (1-累積発芽率) を対象とした生存分析を行った。残存率

曲線（通常の生存分析における生存率曲線）の推定には Kaplan-Meier 法を用いた。系列（播種前処理）間の残存率曲線はログランク検定により評価し、有意差 ($p < 0.05$) が認められた場合には、3 系列間での対比較を行った。対比較における第 I 種の過誤の調整には、ホルムの方法を用いた。また、観察日ごとの系列間における残存率の差の検定には、フィッシャーの正確確率検定 (2×3) を適用した。生存分析における対比較と、観察日ごとの繰返し検定に伴う有意水準の調整には、ホルムの方法を用いた。以上の検定では、反復データ間のばらつきは考慮せず、系列ごとの合計値を対象とした。データの解析には、R (バージョン 3.3.0) を用いた。

6. 選別済み種子の解剖試験

前記の発芽試験の開始から 56 日目を経て、発芽しなかった選別済み種子を顕微鏡下で解剖した。解剖した種子は、その内部状態に基づき、シブダネ、充実種子、変性の三つの類型に区分した (図-1)。変性の類型は、カビ害を含む変性が生じた種子のうち、シブダネの特徴をもたないものを指す。なお、本研究の解剖試験では、図-1 右端に示した未熟種子は確認されなかった。

III. 結 果

1. 種子の発芽試験

播種後の培養開始から 28 日目までの（充実種子と判定された）種子の発芽曲線を図-2 に示した。播種前処理の違いにより、残存率曲線にはスギ ($p < 0.001$) およびヒノキ ($p < 0.001$) の両樹種において有意差が認められた。それぞれの樹種において対比較を行うと、スギでは対照区と水洗区の間 ($p < 0.001$)、および対照区とベンレート洗区の間 ($p < 0.001$) に、ヒノキでは対照区とベンレート洗区の間 ($p < 0.001$) に有意差が認められた。また各系列の観察日ごとの累積発芽率は、スギでは 5 日目 ($p < 0.001$)、7 日目 ($p < 0.001$)、および 10 日目 ($p < 0.001$) に、ヒノキでは 7 日目 ($p < 0.001$) に有意差が認められた。

培養開始後 28 日目における種子の発芽率は、対照、水洗、ベンレート洗の各処理区について、 $93.5 \pm 4.1\%$ 、 $92.5 \pm 3.4\%$ 、 $97.0 \pm 2.0\%$ （平均 $\pm$ 標準偏差）であった。ヒノキでは、それぞれ $85.5 \pm 3.4\%$ 、 $85.0 \pm 5.8\%$ 、 $88.5 \pm 1.9\%$ であった。28 日目以降では、スギの選別済み種子の対照区において 1 粒の発芽が確認された (52 日目) 以外は、新規の発芽は認められなかった。

2. 不発芽種子の解剖試験

培養の終了時 (56 日目) まで発芽に至らなかったスギおよびヒノキの種子の解剖試験の結果を表-2 に示した。選別済み種子へのシブダネの混入は、スギにおいては認められなかったが、ヒノキにおいては 2 粒の混入が確認された (表-2)。一方、充実種子を特徴づける正常な胚や胚乳の構造を有しながら、発芽に至らなかった種子が、スギ、ヒノキの両樹種においてそれぞれ 3 粒ずつ確認された (表-2)。しかし、いずれの樹種、処理区においても、不発芽種

表-2. 不発芽種子の解剖結果

	播種前処理	シブダネ	変性	充実種子	計
スギ	対照	0(0.0%)	11(91.7%)	1(8.3%)	12(100.0%)
	水洗	0(0.0%)	15(100.0%)	0(0.0%)	15(100.0%)
	ベンレート洗	0(0.0%)	4(66.6%)	2(33.3%)	6(100.0%)
ヒノキ	対照	1(3.4%)	27(93.2%)	1(3.4%)	29(100.0%)
	水洗	1(3.3%)	28(93.4%)	1(3.3%)	30(100.0%)
	ベンレート洗	0(0.0%)	22(95.7%)	1(4.3%)	23(100.0%)

子の大半はカビ害などによる変性を生じていた (表-2)。

IV. 考 察

収穫後に乾燥を行い、 -5°C の条件下で 18 カ月間保管したスギおよびヒノキの種子を材料として、近赤外光を用いた充実種子の選別を行うことにより、筆者らの過去の報告 (Matsuda *et al.* 2015) と同様に、発芽率の大幅な向上が確認された (スギ：選別前 25.3% → 選別後 94.3%，ヒノキ：選別前 17.8% → 選別後 86.3%，図-2)。また、両樹種に共通して、より高水準な発芽率が確認されたことは、種子の選別に加え、保管の条件や期間に留意することも、高発芽率を実現するために重要であることを示している。

スギでは一粒播種に必要とされる 90% 以上の発芽率 (Luna *et al.* 2009) が得られた (図-2)。一方、ヒノキでは、90% を超えるには至らなかった (図-2)。ヒノキについては、発芽率を改善するための選別や保管方法の更なる最適化が必要である。とりわけ、充実種子と判定されながら発芽に至らなかったヒノキの種子では、93.2~95.7% という高い頻度でカビの発生や腐敗にともなう変性が認められた (表-2)。発芽率を更に高めるためには、変性する可能性のある種子を播種前に検出して取り除くか、培養時における種子の変性を防ぐための対策が重要といえる。本研究では、殺菌剤であるベンレートによる種子の洗浄を試みたが、対照区や水洗区と比較して、変性の抑制とそれによる最終的な発芽率の有意な改善には至らなかった。

近赤外光を用いた充実種子の判別法は、種子の内部に含まれる脂質による光吸収を指標としている (Matsuda *et al.* 2015)。変性した種子が、播種前の時点からカビなどに侵されていたのか、培養後に侵されたのかは不明であるが、現在の判別法では、充実種子における品質の良否を見分けることは難しい。コムギでは、同じく近赤外光を用いることにより、*Fusarium* 属のカビに侵された種子を検出できることが報告されている (Peiris *et al.* 2009; Beyer *et al.* 2010; Kautzman *et al.* 2015)。本研究における充実種子の判別法が 3 波長の反射率のみを利用しているのに対し、これらの事例では多波長の反射率からなるスペクトルデータが利用されている。本研究の方法においても、多波長の反射スペクトルを取得しているため、そのデータと播種後の変性の有無を対応づけることにより、充実種子であるだけでなく、変性せずに発芽することが保証された種子を選別することが可能となるかもしれない。

播種から発芽までの期間には、発芽した幼苗の育成と比較して、水分や温度管理のために、概して多くの手間やコストが必要である。この観点から、発芽までの期間はなるべく短縮できることが望ましい。また、コンテナ上では苗が密植状態となるため、隣接する苗同士に光競争が生じ、発芽時期の差が幼苗の不揃いな成長に直結するリスクが大きい。したがって、コンテナへの直接播種による効率的な育苗を実現するためには、種子選別による発芽率の向上に加え、発芽時期を揃えるための技術の開発が不可欠といえる (Kolotelo *et al.* 2001)。スギやヒノキでは、播種前に種子を水に浸すことにより、発芽を早めるとともに、発芽時期を揃えられることが報告されている (郷 1949, 1954)。本研究においても、水またはベンレート液への浸漬により、播種後の暫時における発芽率が向上することが確認された (図-2)。しかし、対照区との有意差が認められた期間における発芽率は最大でも、スギにおいて 78.5% (水洗区、培養開始後 10 日目)、ヒノキにおいて 47.0% (ベンレート洗区、培養開始後 7 日目) にとどまっており、本研究の浸漬処理方法では、発芽時期を揃え、培養期間を短縮できる可能性は見出せなかった。

本研究は寒天培地上で実施した発芽試験の結果を示しており、今後はコンテナ苗の生産現場 (主として土耕栽培) に適用できる、種子の発芽促進と変性防止の方法について研究を進める必要がある。とりわけ、種子を浸漬した場合には、複数の種子が塊状となりやすく、機械による一粒播種に支障をきたす。コンテナ苗を大量生産する現場では、種子の乾燥状態を維持できることが望ましい。浸漬処理後に発芽率を損なうことなく、種子を再乾燥させる方法についても検討の余地があるが、現在は播種前の乾燥種子に対して適切な処理を施すことにより、吸水後の変性を防ぐとともに、発芽とその後の成長を促進するための方法について、研究を進めている段階である。

本研究は、農研機構生研センターが実施する「攻めの農林水産業の実現に向けた革新的技術緊急展開事業 (うち産学の英知を結集した革新的な技術体系の確立)」による研究支援のもとに実施した。

引用文献

- Avsar MD (2010) Using flotation in ethanol to separate filled and empty seeds of *Pinus nigra* ssp. *pallasiana*. *Afr J Biotechnol* 9: 3822-3827
- Beyer M, Pogoda F, Ronellenfitsch FK, Hoffmann L, Udelhoven T (2010) Estimating deoxynivalenol contents of wheat samples containing different levels of *Fusarium*-damaged kernels by diffuse reflectance spectrometry and partial least square regression. *Int J Food Microbiol* 142: 370-374
- 福田延男 (1975) 貯蔵種子の発芽力保持について. *みやま* 202: 59-64
- 郷 正司 (1949) 浸水とスギ種子の発芽について (豫報). *日林誌* 31: 149-151
- 郷 正司 (1954) 吸水曲線にもとづく針葉樹のタネの発芽生理. *東大演報* 51: 159-236
- 北海道水産林務部 (2014) 低コスト施業の手引き. 北海道水産林務部林野局森林整備課
- ISTA (1993) International rules for seed testing. *Intern Rules Seed Test* 13: 484-487
- Kautzman ME, Wickstrom ML, Scott TA (2015) The use of near infrared transmittance kernel sorting technology to salvage high quality grain from grain downgraded due to *Fusarium* damage. *Animal Nutrition* 1: 41-46
- 川田 勲 (2004) 急がれる再造林放棄地対策. *四国の森を知る* 2: 6-7
- Kolotelo D, Steenis EV, Peterson M, Bennett R, Trotter D, Dennis J (2001) *Seed Handling Guidebook*. British Columbia Ministry of Forests Tree Improvement Branch
- 今 博計・来田和人 (2014) カラマツとクリーンラーチ (グイマツ×カラマツ雑種 F1) のエタノール種子精選および発芽に及ぼすエタノール浸漬の影響. *日林誌* 69: 187-192
- 小山光男 (1914) 主要林木種子水選ノ値値及其ノ方法. *林業試験報告* 11: 1-19
- 黒丸 亮・田村 明・落合幸仁・木村徳志 (2014) エゾマツ種子の簡易選別と発芽率の向上. *北海道の林木育種* 56(2): 5-8
- Landis TD, Tinus RW, McDonald SE, Barnett JP (1998) *The container tree nursery manual*, Vol. 6: Seedling propagation. U.S. Department of Agriculture, Forest Service
- Luna T, Wilkinson K, Dumroese RK (2009) Seed Germination and Sowing Options. In: *Nursery manual for native plants: A guide for tribal nurseries*, Volume 1: Nursery management, *Agriculture Handbook* 730 Dumroese RK, Luna T, Landis TD (eds) U.S. Department of Agriculture, Forest Service, 133-151
- 前林利文 (2006) 森林環境の保全と林家の意欲向上を図る皆伐後の再造林を推進する「水源林再生支援事業」. *現代林業* 485: 23-27
- Matsuda O, Hara M, Tobita H, Yazaki K, Nakagawa T, Shimizu K, Uemura A, Utsugi H (2015) Determination of Seed Soundness in Conifers *Cryptomeria japonica* and *Chamaecyparis obtusa* Using Narrow-Multiband Spectral Imaging in the Short-Wavelength Infrared Range. *PLOS ONE*, DOI: 10.1371/journal.pone.0128358
- 三島直温・相澤孝夫 (2006) 伐採跡地を低コストで回復する技術を一森林公益機能回復モデル事業一. *現代林業* 485: 28-33
- 落合幸仁・山田 健・佐々木尚三 (2012) コンテナ苗木の高品質化と低価格化について. *北海道の林木育種* 55: 2-5
- 小沢準二郎 (1958) 林木のタネとその取扱い. *林業技術叢書* 第 19 輯. 日本林業技術協会
- 小沢準二郎 (1962) 針葉樹のタネ一生産と管理一. *地球出版*
- Peiris KHK, Pumphrey MO, Dowell FE (2009) NIR absorbance characteristics of deoxynivalenol and of sound and *Fusarium*-damaged wheat kernels. *J Near Infrared Spectrosc* 17: 213-221
- 林野庁 (2015) 平成 26 年度森林・林業白書 http://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/26_hakusyo/ (2015 年 10 月 19 日参照)
- 堺 正紘 (2000) 再造林放棄問題の広がり一立木代ゼロに呻吟するスギ林業・望まれる森林資源管理の社会化一. *山林* 1390: 27-33
- 森林総合研究所九州支所 (編) (2013) 低コスト再造林の実用化に向けた研究成果集. 森林総合研究所九州支所
- 田村 明 (2013) 北海道におけるコンテナ苗活用による優良種苗の普及. *森林遺伝育種* 2: 142-148
- 外山三郎 (1944) 主要林木種子の平均発芽効率 林木の育種及其基礎研究 (第 4 報). *日林誌* 26: 284-287
- 續 健一 (2006) 県・市町村・林業関係者連携で放置林対策一皆伐後の植林未済地の解消に向けたアクションプログラム一. *現代林業* 485: 16-22
- Yamanobe T (2008) Use of ethanol immersion, forced air and seed coat colour for separating empty seeds from *Pinus densiflora* and *Pinus thunbergii* seed lots. *Seed Sci Technol* 36: 243-248
- 柳沢聡雄 (1967) 針葉樹種子の採取・調整と貯蔵. *わかりやすい林業研究解説シリーズ* 23. 日本林業技術協会
- 矢野宗幹・小山光男 (1918) 針葉樹種子寄生蜂ニ就テ. *林業試験報告* 17: 39-58
- 行武 潔・藤掛一郎・中田武志 (2007) 宮崎県における再造林放棄に関する計量分析. *九州森林研究* 60: 1-5