

International Journalから

近赤外分光法で選別したカラマツ種子の発芽とコンテナ育苗した苗の成長

きた かずひと こん ひろかず いしづか わたる まつ だ おさむ
来田和人¹⁾・今 博計¹⁾・石塚 航¹⁾・松田 修²⁾

(1) 北海道立総合研究機構林業試験場・2) 九州大学理学研究院

はじめに

ヨーロッパや北アメリカでは、土詰め、播種、灌水、施肥、温度管理の機械化、自動化により針葉樹コンテナ苗生産の規模拡大を行い、高い労働生産性を達成している。日本のコンテナ苗生産は、2008年から増え始めたが、種子の発芽率が低く、裸苗をコンテナ苗に移植する方法が用いられ、労働集約型の生産体系から脱却していない。たとえば、カラマツでは1年生の裸苗をコンテナ容器に移植して1年育苗するため、裸苗と同じ育苗期間となり、かえって育苗コストが増加している。そのため、コンテナに直接播種する育苗方法を開発し、育苗の省力化を進めることが求められている。

種子発芽率は、コンテナに直接播種するか、播種するのなら何粒播種するかに影響する。1粒播種でほとんどのセルを発芽した苗で満たすためには90%以上の発芽率が求められるが、風選したカラマツ種子の発芽率は30~40%、水による比重選別の精度は80%以下である。

低発芽率の問題を解決するために、スギとヒノキでは近赤外光(NIRS: Near-InfraRed Spectroscopy)による充実種子の選別技術が開発された(Matsuda et al. 2015)。NIRSは、種子に含まれる脂質に吸収される波長の特徴を用いて充実種子と非充実種子を区別する。スギでは、選別前の発芽率14.4%と43.9%であった種子が選別後には発芽率約70%に向上した。また、ヒノキでは発芽率17.2~21.1%であった種子がNIRS選別により発芽率40%に向上した。さらに、いくつかの種子ロットではNIRS選別によりスギの発芽率が90%以上、ヒノキの発芽率が80%以上に向上した例がある(原ら 2016)

針葉樹種子の発芽と発芽後の成長は、種子サイズの影響を受けうる。大きな種子は発芽時の

様々なストレスに対して耐性が高く、種子サイズの種内変異は、発芽と発芽した実生の初期成長に影響すると言われる(Parker et al. 2004)。また、コンテナのセル容量は、根の成長を制限し、セル密度は主軸の伸長成長と直径成長、枝や葉の重量に影響するため(Aghai et al. 2014)、コンテナタイプ(セルの容量と密度)は、育苗時のみならず植栽後の成長に影響する。それゆえ、適切なセル容量と密度を選択することは、コンテナ苗生産に重要である。

本報告は、Kita et al. (2022)の要約で、近赤外光で選別したカラマツ種子を150-mLコンテナ、300-mLコンテナ、2.2-mLのプラグに播種し、プラグでは発芽後にコンテナに移植して1年間育苗した研究結果である。本研究では、カラマツコンテナ苗を1年で育苗する方法を確立することを目的として、1) NIRS種子選別の有効性、2) 種子サイズとコンテナタイプ(セルの容量と密度)の影響、3) 小さいセルサイズ(2.2 mL)のプラグから通常サイズ(150mL、または300mL)のコンテナへの移植の影響を明らかにした。

NIRS選別の原理

Matsuda et al. (2015)は近赤外光の波長域(1,730 nm付近)において、スギとヒノキの充実種子に顕著な特徴を見つけた。充実種子では1,730nmを中心とする狭い領域において、種子内部の脂質により光が吸収されるため、隣接する領域よりも反射率が大きく落ち込み、反射スペクトルがM字型になる。一方、非充実種子では落ち込みがなくn字型になる。この落ち込みの程度を3点間の角度で表現した指標がSeed Quality Index (SQI)である。SQIは非充実種子より充実種子で小さくなる特性があり、

SQIの頻度分布は充実種子と非充実種子の二山型を示すことから、種子の分別に利用可能な指標である(図1)。

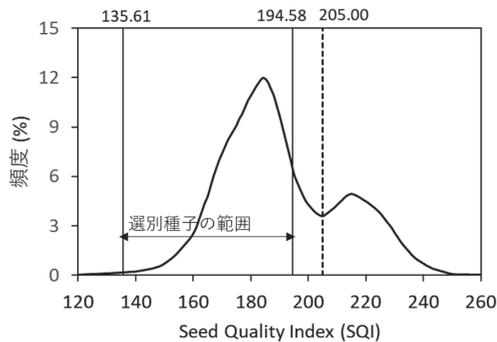


図1 試験に供試したカラマツ種子のSeed quality index(SQI)値の頻度分布

カラマツ種子に対するNIRS選別の有効性

NIRSでカラマツ種子を選別したところ、3,168粒の種子のうち2,014粒(64.3%)が充実種子として選別され、平均種子重は0.0046gであった。一方、無作為に選んだ非選別種子の平均種子重は0.0029g(n=80)であり、両者で有意に異なった(Wilcoxonの順位和検定; $p < 0.05$)。選別種子の発芽率は150-mLコンテナで最も高く、93.5%であった。一方、非選別種子のプラグにおける発芽率は13.8%であり、選別種子より低かった(χ^2 検定; $p < 0.05$)。同じ種子ロットの風選種子の発芽率は43.5%であったので、NIRSによる選別により発芽率が著しく増加した。種子ロットは異なるが、エタノールによる比重選別種子の充実率は、軟X線画像で94.0~97.3%であったが、エタノール浸漬の発芽阻害により発芽率が36.4~50.9%に低下した(今・来田 2014)。また、水による比重選別では、発芽率が71%であった(来田・今 2016)。それらに比べてもNIRS選別種子の発芽率は著しく高く、種子選別に極めて有効な方法であった。

スギ、ヒノキにおいてNIRS選別後の種子の発芽率は改善したが、スギで62.5~70.5%、ヒノキで53~68.7%であり、充実種子にも多くの未発芽種子が含まれる(Matsuda et al. 2015)。その失敗の原因は、休眠、不適な発芽

環境、活性の失活である。カラマツは発芽促進処理で種子休眠が簡単に解除され、non-deep physiological dormancyに分類される(Baskin and Baskin 2004)。本研究には5年間保存した種子を用いたが選別した充実した種子が高い発芽率を示したことから種子の活性は落ちていないと推察された。これら二つの特徴、つまり容易に休眠が解除され、低温貯蔵で活性が維持されることも、NIRS選別の有効性を生かすことに適している。

重い種子は早く発芽し発芽率が高い

どのタイプのコンテナでも重い種子ほどより早く発芽する傾向が認められたが、発芽率は150-mLコンテナにおいて最も高くなっていた(図2)。環境ストレスを少なくできる実験室では、Pinus taedaの種子は重いほど早く発芽することが知られるが(Dunlap and Barnett 1983)、今回の研究において、とくに150-mLコンテナで高い発芽率がみられた要因については追加実験が必要である。

大きい種子が苗高の高い苗木になる傾向が知られている(Dunlap and Barnett 1983)。しかし本研究では、種子重は、AICモデル選択で苗高を決める要因として選択されず、発芽必要日数が有効な要因の1つとして選択された(表1)。発芽種子の生存率についても同様の結果であった。つまり発芽必要日数が苗高と生存率に直接影響し、種子重は、負の相関がある発芽必要日数を通して間接的に影響していると考えられた。

コンテナ容器の種類が成長に影響する

コンテナのセル容量は、水分量、養分量、根が発達できる空間の違いによって、苗木の表現型や植栽地の活着成長に影響する。セル密度は、隣接個体との競争を通して、植物の大きさに影響する(Grossnickle and El-Kassaby 2016)。Larix occidentalisでは、根元径は低い密度で大きく、苗高は高い密度で大きかった(Aghai et al. 2014)。本研究では300-mLコンテナがセル容量が大きく、セル密度が小さい(175cell/m²)。

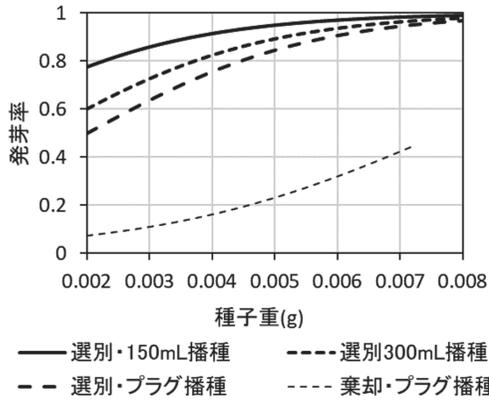


図2 近赤外光で選別された種子と棄却された種子の種子重別・コンテナタイプ別発芽率(GLM/AIC選択最適モデルによる推定値)

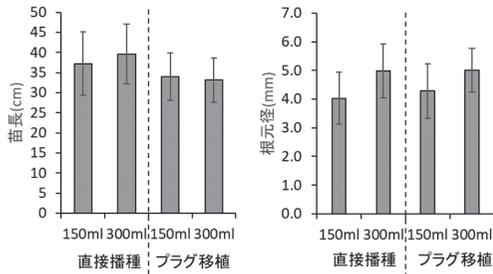


図3 苗木タイプ、コンテナタイプ別の1年生苗木の苗長と根元径

一方150-mLコンテナはセル容量が小さく、セル密度が高い (292cell/m²)。カラマツコンテナ苗の根元径は、直接播種、プラグ移植の両方において、150-mLコンテナより300-mLコンテナで有意に大きかった (図3)。また分散分析では苗木の個体間誤差に次いで、コンテナタイプによる分散成分が大きく、コンテナ容器の種

類が直径成長に影響していた。一方、苗長に影響する要因としてコンテナタイプが選択されたが、その係数は、統計的に有意ではなく、分散分析の分散成分もゼロであった。この結果は、苗長にコンテナタイプは影響するが、その大きさは小さいことを示唆している。つまり、直径成長と伸長成長を比べると、コンテナタイプは直径成長に強く影響していた。

Grossnickle and El-Kassaby (2016) は、セル容量とセル密度の影響に関する研究をレビューし、コンテナ苗の成長にはセル密度が制限要因となっており、セル容量の影響は少ないと結論づけた。つまり、これは、光をめぐる競争がコンテナ苗の成長の重要な要因になっていることを示している。カラマツコンテナ苗では、150-mLコンテナでは重い種子ほど根元径が大きくなった。一方、コンテナタイプと種子重には交互作用があり (表1)、300-mLコンテナでは軽い種子ほど根元径が大きくなった。重たい種子は、幼齢期の成長率が高く生存に有利になる傾向があるが (Moles et al. 2005)、300-mLの結果は、種子重の特性と矛盾している。300-mLコンテナは150-mLコンテナより苗木密度が低く、植物間競争が小さい。つまり植物間競争が緩和された結果、光環境が改善し、種子重の影響がキャンセルされたのだろう。

移植は伸長成長を抑制し直径成長を促進する

移植は、苗木に生理的、物理的ストレスを増加させるので成長に影響する (Grossnickle 2005)。カラマツコンテナ苗ではプラグに播種した苗のコンテナへの移植が苗長成長を抑制し

要因	カテゴリ変数の処理	苗長	根元径
切片		49.332 ***	4.488 ***
苗木タイプ	プラグ移植	-8.303 **	0.266 **
コンテナタイプ	300-mLコンテナ	4.755 ***	2.260 ***
種子重		unselected	141.405 **
発芽必要日数		-0.718 ***	-0.067 ***
苗木タイプ × コンテナタイプ	プラグ移植 × 300-mLコンテナ	-4.633 *	unselected
苗木タイプ × 発芽必要日数	プラグ移植	0.327 *	unselected
コンテナタイプ × 種子重	300-mLコンテナ	unselected	-244.401 **

unselected :AICモデル選択で選択されなかったことを示す

苗木タイプとコンテナタイプの参照パラメーターは、それぞれ直接播種と150-mLコンテナである。

*, **, ***は、選択されたパラメーターがそれぞれ危険率 0.05未満、0.01未満、0.001未満で有意であることを示す。

た(図3)。プラグは固化培地であるため根が培地を抱く前であっても、いつでも移植できる。この研究では、発芽から2-3週間が経過し子葉が展開しきったときに移植したが、すでに移植時にはほとんどの苗の根がプラグトレイの底で根巻きしていた。根巻きは移植後の成長に影響する(Barnett and Brissette 1986)。それゆえ、この研究で認められた苗長の成長抑制は、移植と根巻きの複合的な影響があったのかもしれない。一方、根元径は移植の影響を受けないか、むしろ正の影響が見られた(表1, 図3)。特に発芽日が同じであれば直接播種よりプラグ移植で根元径が大きかった。前述のように光をめぐる競争がコンテナ苗の成長の重要な要因になっていると考えられている。カラマツコンテナ苗では、移植による伸長成長の抑制が光獲得競争の緩和につながり直径成長が促進されたのだろう。

直成成長の促進が得苗率を向上させる

北海道山林種苗協同組合が定めた苗木規格を満たした割合は、150-mLコンテナ直接播種が59.0%、300-mLコンテナ直接播種が84.5%、150-mLコンテナへの移植が61.4%、300-mLコンテナへの移植が87.5%であり、300-mLコンテナの得苗率が高く、150-mLコンテナでは根元径が制限要因となり得苗率が低下した。北海道における裸苗木の目標得苗率69%をコンテナ苗に適用すると300-mLコンテナ苗で基準を上回った。カラマツコンテナ苗の植栽地における生存率は、150-mLコンテナ育苗苗と220-mL以上のコンテナ育苗苗で変わらないが、伸長成長は前者で小さかった(津山ら2018)。それゆえ、カラマツ出荷苗の得苗率と植栽地の活着成長を向上させるには200-mL以上のコンテナが推奨される。

引用文献

Aghai MM, Pinto JR, Davis AS : Container volume and growing density influence western larch (*Larix occidentalis* Nutt.) seedling development during nursery culture and establishment. *New For*, 45 : 199-213, 2014

- Barnett JP, Brissette JC : Producing southern pine seedlings in containers. New Orleans (NO) : U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station (General Technical Report SO-59) , 1986
- Baskin JM, Baskin CC : A classification system for seed dormancy. *Seed Sci Res*, 14 : 1-16, 2004.
- Dunlap JR, Barnett JP: Influence of seed size on germination and early development of loblolly pine (*Pinus taeda* L.) germinants. *Can J For Res*. 13:40-44, 1983
- Grossnickle SC : Importance of root growth in overcoming planting stress. *New For*, 30 : 273-294, 2005
- Grossnickle SC, El-Kassaby YA : Bareroot versus container stocktypes: a performance comparison. *New For*, 47 : 1-51, 2016
- 原真司・松田修・落合幸仁・飛田博順・宇都木玄 : 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. *日林誌*, 98 : 247-251, 2016
- Kita K, Kon H, Ishizuka W, Matsuda O : Characterization of *Larix kaempferi* seeds selected by near-infrared spectroscopy for germination and post-germination growth in nursery containers. *J For Res*, 27 : 158-167, 2022
- 来田和人・今博計 : カラマツ種子を発芽促進処理せずにコンテナに播くとどうなるか. *光珠内季報*, 178 : 1-5, 2016.
- 今博計・来田和人 : 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*, 96 : 187-196, 2014.
- Matsuda O, Hara M, Tobita H, Yazaki K, Nakagawa T, Shimizu K, Uemura A, Utsugi H: 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 : e0128358, 2015
- Moles AT, Ackerly DD, Webb CO, Tweddle JC, Dickie JB, Westoby M: A brief history of seed size. *Science*. 307 : 576-580, 2005.
- Parker WC, Noland TL, Morneault AE. 2004. Effect of seed mass on early seedling growth of eastern white pine (*Pinus strobus* L. families under contrasting light environments) . *Can. J. Bot.* 82 : 1645-1655.
- 津山幾太郎・原山尚徳・来田和人 : 北海道におけるコンテナ苗の有効性を検証する～植栽後の生存率と成長量から～. *北森研*, 66:69-72, 2018