

スギ・ヒノキコンテナ苗の根の電解質漏出率

Root electrolyte leakage (REL) from *Cryptomeria japonica* and
Chamaecyparis obtusa container seedlings

飛田博順^{*1}・原山尚徳^{*2}・小笠真由美^{*1}・矢崎健一^{*1}・北尾光俊^{*1}・上村章^{*2}・諏訪錬平^{*3}・山下直子^{*3}・奥田史郎^{*3}
 ・壁谷大介^{*1}・落合幸仁^{*1,4}・山田健^{*1}・宇都木玄^{*1}・梶本卓也^{*1}
 Hiroyuki TOBITA^{*1}, Hisanori HARAYAMA^{*2}, Mayumi Y. OGASA^{*1}, Kenichi YAZAKI^{*1}, Mitsutoshi KITAO^{*1}, Akira UEMURA^{*2},
 Rempei SUWA^{*3}, Naoko YAMASHITA^{*3}, Shiro OKUDA^{*3}, Daisuke KABEYA^{*1}, Yukihiro OCHIAI^{*1,4}, Takeshi YAMADA^{*1},
 Hajime UTSUGI^{*1} and Takuya KAJIMOTO^{*1}

* 1 森林総合研究所

Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI), Tsukuba 305-8687

* 2 森林総合研究所北海道支所

Hokkaido Research Center, FFPRI, Sapporo 062-8516

* 3 森林総合研究所関西支所

Kansai Research Center, FFPRI, Kyoto 612-0855

* 4 住友林業株式会社

Sumitomo Forestry Co., Ltd., Tokyo 100-8270

要旨：近年、人工林の再造林でコンテナ苗が導入され始めている。裸苗に比べて植栽できる期間が長くなることがコンテナ苗の利点の一つとして期待されている。植栽時の苗質（根の吸水能）を表す指標の一つとして、細根からの電解質漏出率（REL (%)）がある。これまでにカラマツ等で REL と植栽後の活着率との間に負の相関を示すことが報告されている。本研究では、ビニールハウス内で育苗したスギ（スリット, 150 ml）、ヒノキ（スリット, 120 ml）の1年生コンテナ苗の REL の季節変動を調べ、活着率の指標としての有効性について検討を行った。携帯型 EC メータを用いて REL を測定した。スギとヒノキのコンテナ苗の REL は、測定月と樹種の間で交互効果を示した。7月にはヒノキのほうがスギより高い REL 値を示したが、他の時期は2樹種間で差が見られなかった。しかし、カラマツで得られた結果に比べると、2樹種とも4月から9月の間の REL の変動幅が小さかった（スギ：21~28%、ヒノキ：24~33%）。以上より、スギ、ヒノキでは REL の季節変動だけでは活着率の判断は難しいことが示唆された。

キーワード：低コスト林業、根量、カラマツ、root electrolyte leakage (REL)

Abstract: Root electrolyte leakage (REL) is often used as one of indicators for seedlings quality at planting, especially as an indicator for root water absorption ability. In this study, we measured seasonal variation of REL in *Cryptomeria japonica* and *Chamaecyparis obtusa* 1-year-old container seedlings and discussed whether we can use it as an indicator for survival of container seedlings after planting or not. One-year-old container seedlings of *C. japonica* (slit type container, 150 ml) and *C. obtusa* (slit type container, 120 ml), which grew in the greenhouse at nursery of FFPRI, were used for the measurements. REL were measured by portable EC meter at April, July, August and September in 2015. There was a significant interactive effect between month and species in REL of *C. japonica* and *C. obtusa* container seedlings. Although *C. obtusa* showed higher REL than *C. japonica* in July, there was no difference of REL in other months between the two species. However, the seasonal variation from April to September of *C. japonica* (21 to 28%) and *C. obtusa* (24 to 33%) was smaller and the values were not so high compared to the reported REL of *Larix kaempferi*. These results indicate that seasonal variation of REL will not become a good indicator for the seedling survival rate at planting.

Keywords: low cost forestry, root biomass, *Larix kaempferi*, root electrolyte leakage (REL)

I はじめに

スギ・ヒノキの人工林は、50年生以上の林分が年々増加しており、今後、伐採面積の増加が見込まれるが、主伐後に適切に再生林を実施し、未植栽地の発生を回避するためには、林業の低コスト化を計る必要がある（林野庁編（8））。コスト削減のために、伐採から地拵え作業まで一連の流れで実施し、長期間開けることなく植栽を行う方法が考案されている。コンテナ苗は、通常の裸苗と比べて植栽可能な期間が長いことが期待されるため（遠藤（2））、スギ、ヒノキ再生林での導入が試みられている。コンテナ苗は、海外では既にマニュアルも整備され、広範に利用されている（Ritchie ら（10））。しかし、スギ、ヒノキコンテナ苗については、植栽可能時期などの知見を増やしつつある段階であり（山川ら（11））、苗畑から林地に植栽した後の生残や成長を評価するための指標が必要とされている。

苗質の評価方法には、芽の休眠状態や炭水化物含有量、形態的特徴などを測定する方法と、根の成長や耐凍性など苗木の成長応答を調べる方法がある（Ritchie（9））。この中の一つに、細胞膜の半透膜特性を表す指標である、細根の電解質漏出率（Root Electrolyte Leakage: REL）がある（Davis and Jacobs（1）、Ritchie ら（10））。健全な細胞膜は水を自由に通すが、イオンは通さない。しかし、ストレスや加齢等により膜機能が低下すると、細胞内のイオンが漏出する。この漏れ出たイオンの割合を評価するのが REL の測定であり、根の凍結、乾燥、苗の取扱い等による損傷の定量化に利用されている（McKay and White（6）、Palta ら（7））。REL が低いほど、吸水能力が高いという評価になる（McKay（4））。植栽初期の苗木の活着には、すでにある根からの吸水と、新たに生産する根からの吸水による乾燥回避が必須である。植栽前の REL の測定では、すでにある根の吸水能を評価することになる。

カラマツでは、植栽前の REL と植栽後の生残率の間に負の相関が見られたが（McKay and Mason（5）、原山ら未発表）、カラマツや他の樹種を対象とした研究で必ずしも同様の結果が得られているわけではない（Ritchie ら（10））。この手法の利点は測定が簡単で結果がすぐにわかる点であるが、樹種、遺伝的要因、季節、齢により値が影響を受けるという点が、報告により結果が異なる原因の一つと考えられている。本研究では、スギ、ヒノキのコンテナ苗の REL の季節変動を明らかにすることを目的とし、植栽時期の適・不適の指標としての有効性について検討を行った。

II 方法

1. 調査地と材料 森林総合研究所（茨城県つくば市）苗畑のビニールハウスで育成した、スギとヒノキの1年生コンテナ苗を用いた。スギは、150 ml（スリット型）のコンテナ苗に2014年5月22日に吾妻産種子を多粒播種した。ヒノキは、120 ml（スリット型）のコンテナ苗に2014年3月12日に千代田産種子を3粒播種した。培地はココピート100%を用いた。灌水は、毎日朝夕2回、毎回30分行った。冬は週に2回、日中に散水した。液肥は、ユニバーズル（配合肥料18-11-18）の2500倍希釈液を灌水時に混合して行った。2015年4月23日、7月1日、8月12日、9月25日の4回、スギ、ヒノキコンテナ苗各5個体をサンプルとして選んだ。

2. 調査項目 サンプル個体の REL の測定を McKay（3）（4）や Ritchie ら（10）に準拠して行った。コンテナから苗を取り出し、地上部が着いた状態でコンテナ苗の根系を水道水で洗浄した後、測定する細根を1個体につき2から3本、根鉢の上部から出ている根系から選んだ。細根の生重量は約100~500 mg の範囲で採取した。根表面に付着した土壌やイオンを除去するために、蒸留水で洗浄した後、細根を主根から数 cm 離れた部分で切り、さらに約2 cm の長さに切除後測定に供した。蒸留水を16 ml 入れたスクリー管瓶（30 ml）に細根試料を入れ、蓋をして攪拌した後、約25°Cで24時間置いた。再度攪拌した後、内部の液体の電気伝導率（EC）を内部温度補正機能付きの携帯型電気伝導率計（B-771, HORIBA, 京都）で測定した（EC-live）。測定後、同じ試料をオートクレーブ（KT23, アルプ株式会社, 東京）で110°C、10分間処理した。内部の液体の温度が室温まで低下した後、ECを再測した（EC-dead）。24時間のRELを以下の式から算出した。

$$REL = (EC\text{-live} - EC\text{-w}) / (EC\text{-dead} - EC\text{-boil}) \times 100$$

EC-w はオートクレーブ前の蒸留水の EC、EC-boil はオートクレーブ後の蒸留水の EC である。測定後、根、幹、針葉の乾燥重量を測定した。

3. 他地域で育成した苗の REL 測定 1時期のみであるが、REL 測定を他の3つの地域で育成した苗を用いて行った。REL の測定方法は上記と同様である。試料1. 茨城県梅香沢国有林の植栽試験の夏植栽で用いたスギの2年生コンテナ苗（スリット型、150 ml とリブ型、120 ml）と3年生裸苗それぞれ6個体の REL を2014年8月下旬に測定した。植栽を行った直後の苗を、山から持ち帰り測定に供した。試料2. 森林総合研究所関西支所（京都市）で育苗した2年生ヒノキコンテナ苗（スリット型、150 ml と300 ml）5個体の REL を2015年7月下旬に測

定した。試料3. 岡山県三室山, 三光山の植栽試験地と森林総合研究所関西支所の春植栽で用いた2年生と3年生のヒノキコンテナ苗(リブ型, 150 ml)と、3年生ヒノキ裸苗, ヒノキセラミック苗, それぞれ5個体のRELを2014年5月下旬に測定した。

III 結果と考察

1. 苗木の形状 測定に用いたスギとヒノキのコンテナ苗の4月時点の根元直径は, スギ 4.4 ± 0.13 mm, ヒノキ 3.6 ± 0.13 mm, 樹高は, スギ 33.4 ± 1.7 cm, ヒノキ 33.7 ± 2.2 cm であった(平均 \pm 標準偏差)。形状比(樹高/根元直径)は, スギ 76.7 ± 4.1 , ヒノキ 95.0 ± 5.8 , T/R比は, スギ 6.6 ± 0.21 , ヒノキ 8.2 ± 0.75 であった。

2. RELの季節変化 スギとヒノキのコンテナ苗のRELは, 測定月と樹種の間で交互効果を示した(図-1, 二元配置分散分析; $p < 0.05$)。7月にはヒノキのほうがスギより高いREL値を示したが, 他の時期は2樹種間で差が見られなかった。4月から9月の間のRELの変動幅は, スギ21から28%, ヒノキ24から33%であった。カラマツコンテナ苗のRELを測定した例では, 5月の16%から7月の57%まで大幅に変動した研究例や(原山ら未発表), 20%から60%まで変動した研究例が報告されている(McKay and Mason (5))。いずれの植栽試験でも, 植栽時のRELが50%以上と高い場合に, 植栽後の生残率が極端に低下している。以上のようなカラマツの結果と比較すると, 今回得られたスギ, ヒノキコンテナ苗のRELの変動幅は少なく, 測定値も35%以下と低いことが明らかになった。以上のスギ, ヒノキのRELの季節変化の結果からは, 植栽後に低い生残率を示す危険がある時期を判断する指標としてRELを利用することは難しいことが示唆された。RELの結果からは, スギ, ヒノキコンテナ苗は, 季節を通じて植栽不適ではないという解釈も可能なのかもしれない。

3. 他地域で育成した苗のRELの測定結果 試料1. スギコンテナ苗の夏植栽直後(8月下旬)の苗のRELは, 苗畑で季節変化を測定した8月の結果($21.3 \pm 0.9\%$ (平均値 \pm 標準偏差))に比べて高い値を示した(コンテナ苗(スリット): $33.3 \pm 2.2\%$; コンテナ苗(リブ): $31.9 \pm 2.6\%$; 裸苗 $31.0 \pm 2.9\%$)。実際に植栽地まで移動させた苗を用いたため, 苗畑から植栽地までの移動や林地での苗の保管状況が値に影響を及ぼした可能性が考えられる(Ritchieら(10))。コンテナ苗2種類と裸苗間ではRELの差が見られなかった(一元配置分散分析; $p > 0.05$)。植栽試験の結果, コンテナ苗のほうが裸苗より高い活着率を示したが(壁谷ら未発表), RELの値はこの

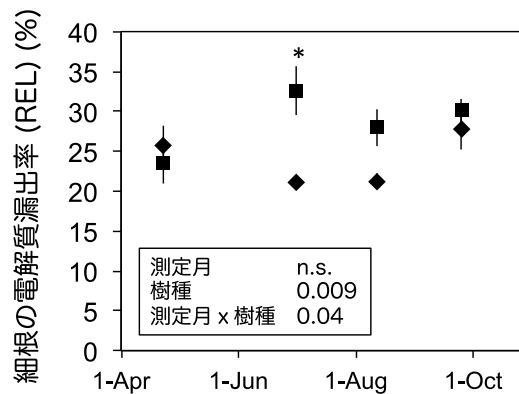


図-1. スギ, ヒノキコンテナ苗の細根の電解質漏出率 (REL) の季節変化

◆スギ (150 ml) ■ヒノキ (120 ml) 図中に測定月と樹種を説明変数とした二元配置分散分析の結果を示した (n.s.; $p > 0.05$)。図中のアスタリスクは7月の測定値の樹種間で有意差があることを示す (Tukey-Kramer 多重比較; $p < 0.05$)。棒は標準誤差 ($n = 5$)

Fig. 1 Seasonal variation of root electrolyte leakage (REL) in *Cryptomeria japonica* and *Chamaecyparis obtusa* 1-year-old container seedlings.

◆ *C. japonica* (150 ml) ■ *C. obtusa* (120 ml) Result of two-way ANOVA are also shown when $p < 0.05$. n.s. = not significant at $p > 0.05$. Asterisk indicates statistically significant differences between species in July at $p < 0.05$ (Tukey-Kramer test). Bars indicate S.E. ($n = 5$).

活着率の違いを反映していなかった。

試料2. ヒノキコンテナ苗のRELを夏植栽前の7月下旬に測定した結果, 150 mlと300 mlのコンテナのサイズ間でRELに違いは見られなかった(コンテナ苗(スリット, 150 ml): $20.8 \pm 1.5\%$; コンテナ苗(スリット, 300 ml): $21.2 \pm 2.3\%$) (t -検定; $p > 0.05$)。季節変化を調べた苗畑の8月の結果($28.0 \pm 2.4\%$)より低い傾向を示した。季節変化を調べた苗畑に比べて, 育苗時の灌水時間が、朝夕2回の毎回5分と少なかったため(山下ら未発表), 乾燥に対する耐性が高まりRELが低い値を示した可能性が考えられる。

試料3. ヒノキコンテナ苗を春植栽前の5月下旬に測定した結果, 2年生と3年生の齢間差は見られなかった(図-2)。2年生コンテナ苗が $22.1 \pm 2.6\%$ 、3年生コンテナ苗が $24.4 \pm 2.4\%$ であり, 季節変化を測定した苗畑の4月下旬の結果($23.6 \pm 2.6\%$)と同程度の値を示した。同時に測定したセラミック苗と裸苗のRELは, コンテナ苗の値に比べて高く, 特にセラミック苗では $52.1 \pm 7.1\%$ と

高い値を示した（図-2， Tukey-Kramer 多重比較； $p < 0.05$ ）。植栽後の活着率は，セラミック苗が裸苗とコンテナ苗に比べて大幅に低かったことから（諏訪ら未発表），ヒノキでも，苗の活着率が低い場合の REL が非常に高いという事例を確認することができた。一方，セラミック苗と同程度の REL ($44.7 \pm 4.3\%$) を示した裸苗の活着率は，コンテナ苗より低いものの，セラミック苗ほど低くなかったことから（諏訪ら未発表），REL が高ければ必ず活着率が低いわけではないことが示唆された。

IV まとめ

スギ（スリット型，150 ml）とヒノキ（スリット型，120 ml）のコンテナ苗の細根の電解質漏出率（REL）は，4月から9月の間の変動幅が小さく，絶対値も35%以下と低いことが明らかになった。この結果から，RELの季節変動から植栽時期の適・不適を判断することは難しいことが示唆された。ただし，苗の活着率が低かったときのRELが非常に高いという事例も確認できたことから，植栽現場での苗の保管状態や冬期の苗の貯蔵状態など，育苗時の乾燥等のストレスの大きさの指標として利用することができる可能性も示唆された。

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）」で得られた成果の一部である。

引用文献

- (1) Davis, A.S. and Jacobs, D.F. (2005) Quantifying root system quality of nursery seedlings and relationship to outplanting performance. *New Forest* **30** : 295-311
- (2) 遠藤利明 (2007) コンテナ苗の技術について. *山林* **1478** : 60-68
- (3) McKay, H.M. (1992) Electrolyte leakage from fine roots of conifer seedlings: a rapid index of plant vitality following cold storage. *Can J For Res* **22** : 1371-1377
- (4) McKay, H.M. (1998) Root electrolyte leakage and root growth potential as indicators of spruce and larch establishment. *Silva Fennica* **32(3)** : 241-252
- (5) McKay, H.M. and Mason, W.L. (1991) Physiological indications of tolerance to cold in Sitka spruce and Douglas-fir seedlings. *Can J For Res* **21** : 307-311
- (6) McKay, H.M. and White, I.M.S. (1996) Fine root electrolyte leakage and moisture content: indices of Sitka spruce and Douglas-fir seedling performance after desiccation. *New Forests* **13** : 139-162

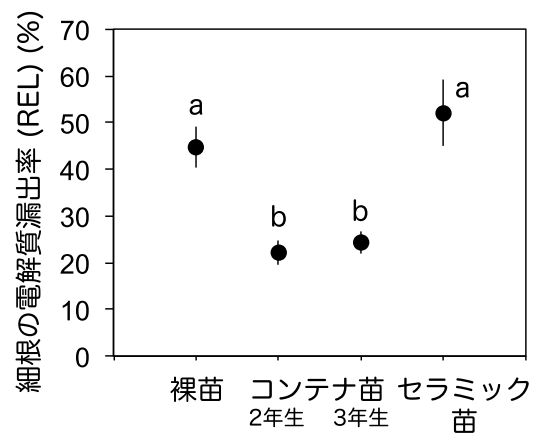


図-2. ヒノキの裸苗，コンテナ苗，セラミック苗のREL（試料3）

異なるアルファベットは苗の種類間に有意差があることを示す（Tukey-Kramer 多重比較； $p < 0.05$ ）。棒は標準誤差（ $n = 5$ ）

Fig. 2 Root electrolyte leakage (REL) of bare-root seedlings, container seedlings, and ceramic seedlings in *Chamaecyparis obtusa* at late May (Experiment 3).

Different letters indicate statistically significant differences among four types of seedlings at $p < 0.05$ (Tukey-Kramer test). Bars indicate S.E. ($n = 5$).

- (7) Palta, J.P., Levitt, J. and Stadelmann, E.J. (1977) Freezing injury in onion bulb cells. I. Evaluation of the conductivity method and analysis of ion and sugar efflux from injured cells. *Plant Physiol* **60** : 393-397
- (8) 林野庁編 (2014) 平成 26 年版森林・林業白書. 全林協，東京：300pp
- (9) Ritchie, G.A. (1984) Assessing seedling quality. In: *Forestry nursery manual: Production of bareroot seedlings*. Eds. M.L. Duryea and T.D. Landis. Martinus Nijhoff / Dr W. Junk Publishers. The Hague / Boston / Lancaster. Forest Research Laboratory, Oregon State University, Corvallis
- (10) Ritchie, G.A., Landis, T.D. and Dumroese, R.K. (2010) Assessing plant quality. In: *The Container Tree Nursery Manual. Volume 7, Seedling Processing, Storage, and Outplanting*. Landis, T.D., Dumroese, R.K. and Haase, D.L. (eds) *Agric. Handbk. 674*. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture Forest Service, 40-44
- (11) 山川博美・重永英年・久保幸治・中村尚三 (2013) 植栽時期の違いがスギコンテナ苗の植栽後1年目の活着と成長に及ぼす影響. *日林誌* **95** : 214-219