

# 施肥とコンテナのセル容量がカラマツ播種コンテナ苗の成長に与える影響

来田和人\*・今 博計\*

## The effect of fertilization and cell size of container on growth of Japanese larch seedlings directly sowed in containers

Kazuhito KITA\* and Hirokazu KON\*

### 要旨

カラマツ播種コンテナ苗の育苗技術を確立するために、施肥量とその形態、コンテナのセル容量が種子の発芽、苗木の生残、成長に与える影響を調べた。120mlサイドスリットコンテナに通常（元肥：窒素0.16g/培土1L、液肥：窒素50ppmN（発芽期）～100ppmN（成長期））の0倍（肥料なし）から2倍量の施肥量・施肥形態試験を設定し、2013年3月19日と4月19日の2回、エタノールで比重選別した種子を播種した。また、2014年には150mlと300mlリブコンテナに通常の0.5倍から2倍の施肥量・セル容量試験を設定し、水で比重選別した種子を4月24日に播種した。施肥量・施肥形態試験の処理別平均発芽率は3月播種が54.4%から60.7%、4月播種が67.5%から70.8%となり、施肥量による違いはなく、発芽に対する施肥の発芽阻害は認められなかった。いずれの試験でも施肥量が多いほど成長が促進されたが、施肥量・施肥形態試験の120mlコンテナでは通常量以上の施肥区で形状比が高くなり8月以降、生存率が低下した。施肥量・セル容量試験の150mlコンテナでは、苗木の80%以上は苗長の苗木規格25cmを超えたが、形状比が高く、根元径が苗木規格4mmに満たない苗木が多かった。300mlコンテナは、形状比が低く苗木規格を満たす苗木が多かったが、通常の2倍量の施肥では生存率が低下し、通常量の施肥が最適と考えられた。

キーワード：発芽率、施肥、根鉢サイズ、形状比、根元径

### はじめに

近年、戦後の拡大造林時代に植栽された林地が伐採時期を迎えており、再造林面積の拡大が予想されている。しかしながら、高い育林コストや林業労働者の不足から確実な再造林が実行されるか懸念されている。現在、主に植栽に用いられている苗木は、根がむき出しの裸根であるため、北海道の植栽適期は無積雪期で、かつ春の開葉前か秋の休眠後に限られる。しかし、苗畑と植栽地の気象環境の違いや労働力不足から適期以外に植栽されることが多く、再造林失敗の要因になっている。それに対して根鉢ごと植栽されるコンテナ苗は、活着率が高く（津山ほか 2018）、植栽可能な期間が長くなること（原山ほか 2016）から今後の普及が期待されている。

プラスチック製容器に設けられた小穴「セル」で育苗されるコンテナ苗の生産は、北海道では2009年より始まり、カラ

マツコンテナ苗では苗畑で育てた幼苗をコンテナへ移植する育成方法がとられ、カラマツコンテナ苗の規格（2号苗：苗長25cmかつ根元径4mm、北海道山林種苗協同組合 2019）を満たすには、育苗期間が裸苗と同じ2年（苗畑1年、コンテナ1年）を要している。このため、コンテナや温室等の資材代が掛かり増しとなる分、コンテナ苗の価格が高くなり、育苗期間を短縮するための技術が必要となっている。

苗畑で育てた幼苗をコンテナへ移植する方法では、露地に播種してから幼苗をコンテナに移植するまでに乾燥、低温、高温、貧栄養など様々なストレスに晒されている。また、移植により根が損傷し、成長遅延の原因となっている。カラマツは、条件がよいと新たに分化した葉原基がそのまま展開し枝を伸ばす自由成長を行う（藤本 1978）。すなわちその年の稼ぎをその年の成長に回す樹種特性があり、成長の早さにつながっている。そのため、育苗中に受けるストレスを回避する

\* 北海道立総合研究機構林業試験場 Forestry Research Institute, Hokkaido Research Organization, Bibai, Hokkaido 079-0198

[北海道林業試験場研究報告 第57号 令和2年3月, Bulletin of the Hokkaido Forestry Research Institute, No. 57, March, 2020]

ことで育苗期間を短縮できる可能性があり、その方法としてコンテナに直接播種することで移植による根のストレスをなくし、温室で温度、灌水、施肥等の育苗環境を管理することが有効であると期待される(来田・今 2016)。

苗木生産者がコンテナに直接播種しない大きな理由の一つは、カラマツの発芽率が40%程度と低いことである。しかし、近赤外光により高い精度で充実種子を選別できる技術がスギ、ヒノキ、カラマツで開発され(Matsuda et al. 2015, 来田 2019)、直接播種によりコンテナ苗が育苗されない大きな理由の一つが解決された。そこで、本研究では、カラマツコンテナ苗の育苗期間を短縮するために、発芽後の成長を促進する技術開発に着目して研究に取り組んだ。

発芽後の苗の成長を促進させ、育苗期間を短縮するためには、気温や灌水をコントロールするとともに適切な施肥管理が不可欠で、そのための技術的な課題が残されている。例えば、コンテナ育苗苗に培土として使われるココピートやピートモスには、ほとんど栄養素が含まれていない(株式会社トップ 2009, Landis 1990)。無機栄養素は、植物組織の構成、浸透圧の調整、細胞膜浸透性の調整、酵素活性の促進・抑制を司る要素の一つであり、不足すると成長が抑制される(Kozłowski and Pallardy 1997)。

コンテナ苗の根鉢は、培土が少なく乾燥しやすいため毎日のように灌水する必要がある、肥料切れしやすいことが指摘されている(藤井 2017)。スギコンテナ苗では間断的に施肥する液肥よりも、粒状の肥料から数か月にわたって継続的に肥料成分が融出する緩効性肥料の施肥で、灌水による肥料切れの影響が緩和されて成長量が増加し、スギ裸苗では2年かかっていた育苗期間を1年に短縮できることが示唆された(大平・松下 2019)。すなわち、施肥量だけでなく最適な施肥形態(緩効性の元肥、速効性の液肥、およびそれらの組合せ)を選択することも重要である。

一方、圃場に比べコンテナによる育苗は、限られた空間で行われるため、施肥等により成長を促進させると苗木間に強い競争が発生する。樹木は、競争が強くなると直径成長が低下し(千葉 2011)、苗長と根元径の比(形状比)が高くなる。形状比が高くなると植栽後の生存率や成長量が低下する(櫃間ほか 2015, 八木橋ほか 2016)。また、一般的に販売されているコンテナ容器では、セル密度の変化に伴ってセル容量も変化し、セル容量すなわち根鉢サイズも植栽後の成長に影響することが報告されている(津山ほか 2018)。そのため、植

栽後の生存、成長を高めるには、施肥方法にあわせてセル容量(苗木密度)を最適に調整し、苗木間の競争を緩和することが不可欠である。

そこで本研究では、カラマツコンテナ苗を直接播種により現行の2年を半分の1年にする育苗方法を明らかにするために1) 施肥量、2) 施肥形態、3) コンテナのセル容量が苗木の成長に与える影響について試験したので、その結果について報告する。

## 材料と方法

### 1 樹種特性

カラマツは、本州中央部の亜高山帯に天然分布し(林 1951, 倉田・濱谷 1971)、裸地を好む陽樹である。光合成速度が高く、その高さからかつてはC<sub>4</sub>植物でないかと疑われたこともある(小池・戸丸 2004)。条件がよいと新たに分化した葉原基がそのまま展開し枝を伸ばす自由成長を行い(藤本 1978)、成長の早さにつながっている。その一方で、環境条件が厳しい高山帯では矮性化し、ハイマツの分布を欠く富士山では、ハイマツに替わって矮性化したカラマツが占めている(Nishimura and Setoguchi 2011)。このようにカラマツは環境条件によって高い成長を示したり、灌木状を呈したりと成長様式が可塑性に富む特徴を持っている。

### 2 施肥量・施肥形態試験

施肥の量と施肥形態(元肥と液肥の組合せ)が種子の発芽、苗の生存・成長に及ぼす影響を明らかにするために、2013年に播種育苗試験を行った。試験には北海道山林種苗協同組合が2011年に士別市のカラマツ林から採種し、気温2℃、湿度50%で保管されていた種子(発芽率34.7%)を用いた。試験には、発芽率を高め播種粒数を減らすため、99.5%エタノールによる比重選を行い、沈んだ種子を供した。播種前に2℃、21日間の低温湿層の発芽促進処理を行った。使用したコンテナは、サイドスリットが付いたHIKO V-120 SideSlit(BCC社, Sweden)で、セル容量120 ml、40セル/コンテナ、苗木密度526個/m<sup>2</sup>である(表-1)。育苗培土にはピートモス100%を用いた。

2013年3月19日と4月19日に1セルあたり3粒の種子を播種しパーライトで覆土した。覆土から胚軸が見えた段階を発芽と定義し、週2回、発芽を確認し、一つのセルに2本以上発芽していた場合、最も大きい1本のみ残り直ちに抜き取り

表-1 試験に使用したコンテナのセル容量と苗木密度

試験名 (実施年)	セル容量 ml	苗木密度 本/m <sup>2</sup>	備考
施肥量・施肥形態試験 (2013年)	120	526	サイドスリット
施肥量・セル容量試験 (2014年)	150	296	リブ
	300	178	リブ

た。5月下旬まで灯油ボイラーで室温13℃以上に設定した温室で育苗し、灌水はミスト状のスプリンクラーにより9時と17時の2回、コンテナの底面から水が滴るまで実施した。9月2日に順化のため野外に移し、以後は手動による灌水を行った。温室で育苗した期間の温室内の温度の推移は図-1のとおりである。

施肥試験は、元肥と追肥（液肥）それぞれについて肥料メーカー（Hyponex社）が推奨する標準量を1とし、「なし」、「0.5倍」、「1倍」、「2倍」の4段階に調節したうちのいくつかを組み合わせで行った。具体的な処理は、3月19日が「肥料なし」、「液肥1」、「元肥1+液肥1」、「元肥2+液肥2」の4処理、4月19日が「肥料なし」、「液肥0.5」、「液肥1」、「液肥2」、

「元肥1+液肥1」の5処理で（表-2）、ひと処理当たりコンテナ数は3個である。元肥にはオスモコートエグザクト（N（窒素）:P（リン）:K（カリウム）=16:9:12、肥効期間3～4か月、Hyponex社）を用い、播種前に培土に混和した。液肥には、播種後4週目から8週目までは、ハイポネックススタンダード（N:P:K = 6:10:5、Hyponex社）を、8週目から8月中旬までは窒素が多く光合成能力を高め地上部の成長を促進するプロフェッショナルハイポネックス（N:P:K = 20:20:20、Hyponex社）を、成長が停止し越冬体制に入る8週前の8月下旬から樹高成長が停止する9月下旬まではカリウムが多く軟弱な組織を堅くし低温順化を促進するユニバーゾル（N:P:K = 10:10:30、Hyponex社）を用いた。施肥量は、元肥1がオスモコートエグザクト4g/培土1L、液肥1がハイポネックススタンダード50 ppm N、プロフェッショナルハイポネックス100 ppm N、ユニバーゾル25 ppm Nである。元肥2では、元肥1の2倍量の8g/培土1Lを培土に混和し、液肥0.5、液肥2では成分量がそれぞれ液肥1の0.5倍量、2倍量になるよう希釈した。液肥の施肥は週1回、コンテナ底面から希釈液が滴るまで（70ml/培土1L）行った。元肥1に含まれる窒素量（生育期間を通した合計窒素融出量）と肥効期間を120日とした時の1日当たりの窒素融出量、液肥1のそれぞれの生育段階の1回当たりの窒素施肥量、生育期間を通した合計窒素施肥量を表-3、4に示した。

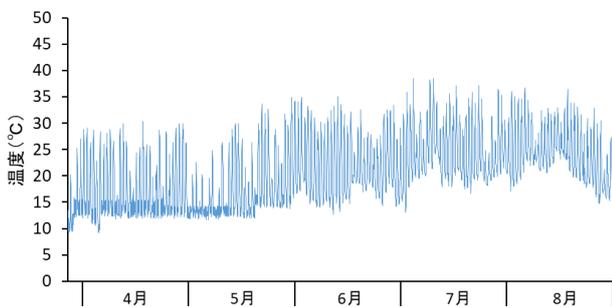


図-1 2013年の施肥量・施肥形態試験における温室内の温度の一時毎の推移  
色の濃い線は、温度変化が少なく、または短時間で温度が変化し、線が重なり濃くなっている。

表-2 施肥処理一覧

試験項目	処理の種類	施肥量・施肥形態試験 (2013年)		施肥量・セル 容量試験 (2014年)
		3月19日播種	4月19日播種	4月24日播種
セル容量	120ml	○	○	
	150ml			○
	300ml			○
施肥*	肥料なし	○	○	
	液肥0.5		○	
	液肥1	○	○	
	液肥2		○	
	元肥0.5+液肥0.5			○
	元肥1+液肥1	○	○	○
	元肥2+液肥2	○		○

\*：肥料メーカー推奨値を“1”として0.5倍量、2倍量の処理区を元肥と液肥を組み合わせで設定した。肥料の種類、時期、量、頻度の詳細は、表-3、4を参照。

表-3 施肥標準量（元肥1）の施肥窒素量

施肥 形態	濃度mg /肥料1g	施肥量g /培土1L・回	窒素量mg/培土1L	
			回数	1日当たり 融出量
元肥*1	160	4	1	5.3
				合計 640

\*1:オスモコートエグザクト（N:P:K = 16:9:12、肥効期間3～4か月、Hyponex社）

表－4 施肥標準量（液肥1）の施肥窒素量

施肥形態	時期	濃度ppm	施肥量ml ／培土1L・回	回数	窒素量mg／培土1L	
					1回当たり 施肥量	合計
(2013年3月19日播種)						
液肥	発芽期 <sup>*2</sup>	50	70	5	3.50	17.5
	成長期 <sup>*3</sup>	100	70	13	7.00	91.0
	馴化期 <sup>*4</sup>	25	70	6	1.75	10.5
	合計			24		119.0
(2013年4月19日, 2014年4月24日播種)						
液肥	発芽期 <sup>*2</sup>	50	70	5	3.50	17.5
	成長期 <sup>*3</sup>	100	70	8	7.00	56.0
	馴化期 <sup>*4</sup>	25	70	6	1.75	10.5
	合計			19		84.0

\*2:ハイポネックススタンダード (N:P:K = 6:10:5, Hyponex社)

\*3:プロフェッショナルハイポネックス (N:P:K = 20:20:20, Hyponex社)

\*4:ユニバーズル (N:P:K = 10:10:30, Hyponex社)

### 3 施肥量・セル容量試験

2013年に実施した施肥量・施肥形態試験の結果を踏まえ、2014年に、施肥量とセル容量が成長に与える影響を検討するため、施肥形態を絞り込むとともにセル容量を増やした試験を実施した。

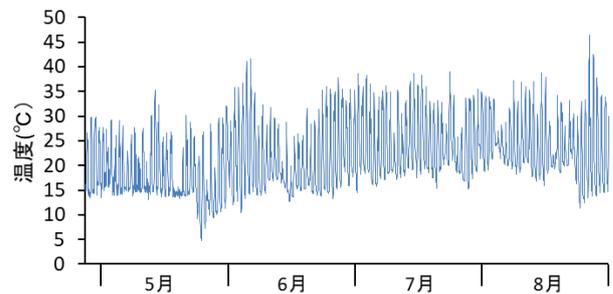
試験には北海道山林種苗協同組合が2013年に愛別町から採種し、気温2℃、湿度50%で保管されていた種子（発芽率43.2%）を用いた。今・来田（2014）により種子ロットによってはエタノール浸漬による発芽阻害があることが分かったので、施肥量・セル容量試験では水による比重選を行い沈んだ種子を試験に供した。浸漬時間は12時間である。播種前に施肥量・施肥形態試験と同じ条件で低温湿層処理を行った。使用したコンテナは、施肥量・施肥形態試験よりもセル容量が大きく苗木密度が小さいJFA150（全国山林種苗協同組合連合会、セル容量150 ml, 40セル／コンテナ, 苗木密度296個/m<sup>2</sup>）とJFA300（全国山林種苗協同組合連合会、セル容量300ml, 24セル／コンテナ, 苗木密度178個/m<sup>2</sup>）である（表－1）。ただし、施肥量・施肥形態試験に使用したコンテナHIKO V-120 SideSlitはサイトスリットが付いていたが、施肥量・セル容量のJFA150とJFA300はセル内面の縦方向にリブが付いたコンテナである。育苗培土にはピートモス100%を用いた。

2014年4月24日に1セルあたり3粒の種子を播種した。温室の温度設定、灌水の条件は2013年と同じである。野外順化は、2013年とほぼ同じ9月1日に開始した。2014年の温室で育苗した期間の温室内の温度の推移は図－2のとおりである。

施肥の処理は、「元肥0.5+液肥0.5」「元肥1+液肥1」、「元肥2+液肥2」の3処理で、用いた肥料の種類、量、施肥時期は施肥量・施肥形態試験と同じである（表－3、4）。

### 4 調査の項目と日程

施肥量・施肥形態試験では、発芽調査を3月19日播種の全



図－2 2014年の施肥量・セル容量試験における温室内の温度の一時間毎の推移

色の濃い線は、温度変化が少なく、または短時間で温度が変化し、線が重なり濃くなっている。

処理、4月19日播種の「肥料なし」、「液肥1」、「元肥1+液肥1」の3処理を対象に播種から発芽がほぼ終了した59日目まで週2回実施した。また、3月19日播種では、2013年5月20日（播種後62日）、7月1日（播種後104日）、8月16日（播種後150日）、10月9日（播種後204日）の4回、4月19日播種では7月1日（播種後73日）、8月16日（播種後119日）、10月9日（播種後173日）の3回、苗長を全数調査した。根元径は10月9日のみ全数調査した。施肥量・セル容量試験では、2014年10月6日（播種165日後）に苗長と根元径の全数調査を実施した。

調査結果は北海道山林種苗協同組合が定めるカラマツコンテナ苗規格の2号苗（苗長25cm, かつ根元径4mm以上）と比較した。

### 5 統計解析

統計解析には解析アプリケーション“R ver3.1.2”（R Core Team 2019）を用いた。施肥量・施肥形態試験では、施肥による発芽率と生存率の違いを明らかにするために播種日が異なる試験それぞれで測定日ごとに関数glmとanovaを使って次の一般化線形モデルで逸脱度分析を行い、 $\chi^2$ 検定を行った。

$$Y_i = \mu + S_i + \varepsilon_i \quad (1)$$

ここで $Y_i$ はカテゴリ変数の施肥 $i$ の発芽率または生存率、 $\mu$ は全体の平均値、 $S_i$ は $i$ 番目の施肥の効果、 $\varepsilon_i$ は誤差を表す。関数glmのリンク関数は、Family=logitである。この解析に使用したデータは、播種から59日目まで週2回実施した発芽調査から算出した発芽率、2013年5月20日（3月19日播種のみ）、7月1日、8月16日、10月9日の苗長全数調査から算出した生存率である。

また、施肥による苗長と根元径、形状比の違いを明らかにするために、2013年5月20日（3月19日播種のみ）、7月1日、8月16日、10月9日に測定した苗長、10月9日に測定した根元径、および10月9日に測定した苗長と根元径から計算した形状比（苗長／根元径）を用いて、関数anovaにより式（1）と同じモデルで分散分析を行った。さらに施肥処理それぞれの成長に対する効果を検討するため施肥処理を要因として、Tukey法による多重比較を行った。

施肥量・セル容量試験では、施肥量に加え、コンテナのセル容量の影響を明らかにするために、2014年10月6日に測定した苗長と根元径、および苗長と根元径から計算した形状比（苗長／根元径）を用いて、式（1）に、セル容量の効果および

施肥処理とセル容量の交互作用の要因を加えた(2)式により解析した。

$$Y_{ij} = \mu + S_i + V_j + S_i \times V_j + \varepsilon_{ij} \quad (2)$$

ここで $Y_{ij}$ はカテゴリ変数の施肥処理 $i$ 、カテゴリ変数のセル容量 $j$ の発芽率、生存率、苗長、根元径、または形状比、 $\mu$ は全体の平均値、 $S_i$ は $i$ 番目の施肥処理の効果、 $V_j$ は $j$ 番目のセル容量の効果、 $S_i \times V_j$ は $i$ 番目の施肥処理と $j$ 番目のセル容量の交互作用、 $\varepsilon_{ij}$ は誤差を表す。

## 結果

### 1 施肥量・施肥形態試験

3月19日播種では播種後2週間程度で発芽が始まり、発芽率は播種後30日までは施肥によって違いが認められたが、34日以降は施肥による違いはなくなり最終的な平均発芽率は54.4%から60.7%であった(図-3左)。4月19日播種では調査した全期間通して施肥による発芽率の違いはなく、最終的な平均発芽率は67.5%から70.8%となり、3月19日播種より高くなった(図-3右)。

3月19日の「肥料なし」の生存率は全期間通して98.2%であ

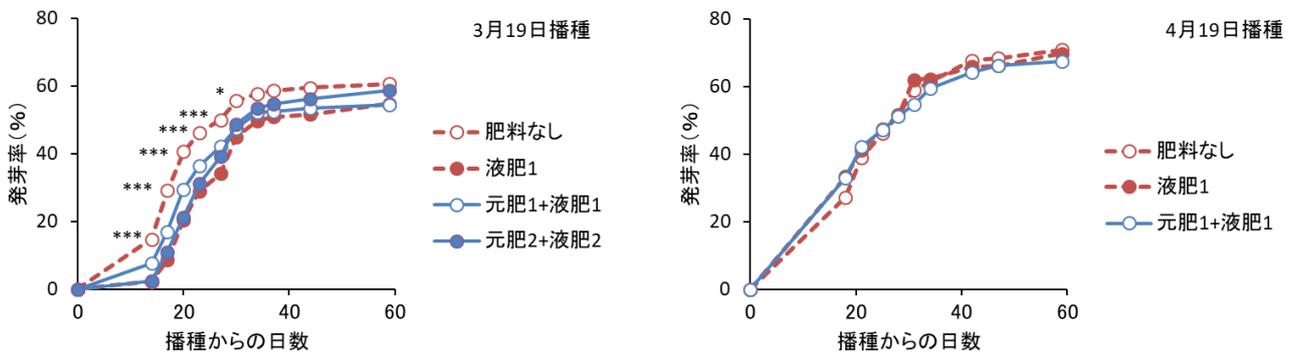


図-3 施肥量・施肥形態試験における播種日、施肥処理別の種子発芽率の推移

\*\*\*：危険率0.1%未満で施肥処理間で発芽率が異なることを表す。

\*：危険率5%未満で施肥処理間で発芽率が異なることを表す。

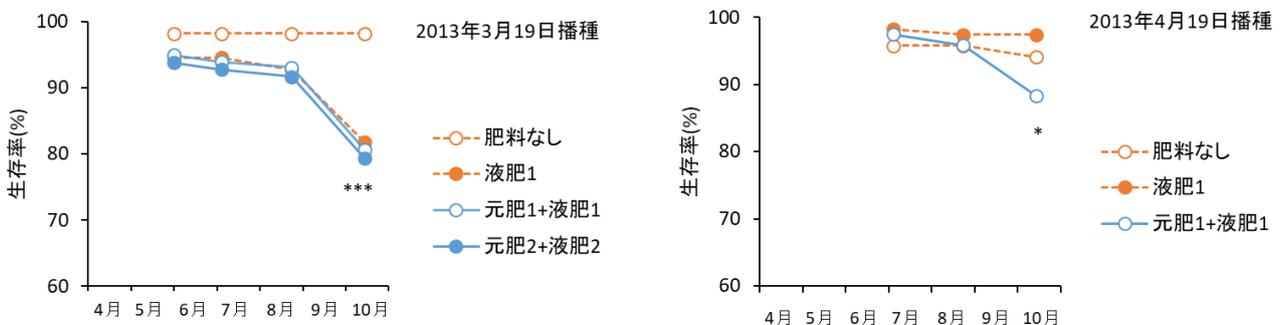


図-4 施肥量・施肥形態試験における播種日、施肥処理別の生存率の推移

\*\*\*：危険率0.1%未満で施肥処理間で生存率が異なることを表す。

\*：危険率5%未満で施肥処理間で生存率が異なることを表す。

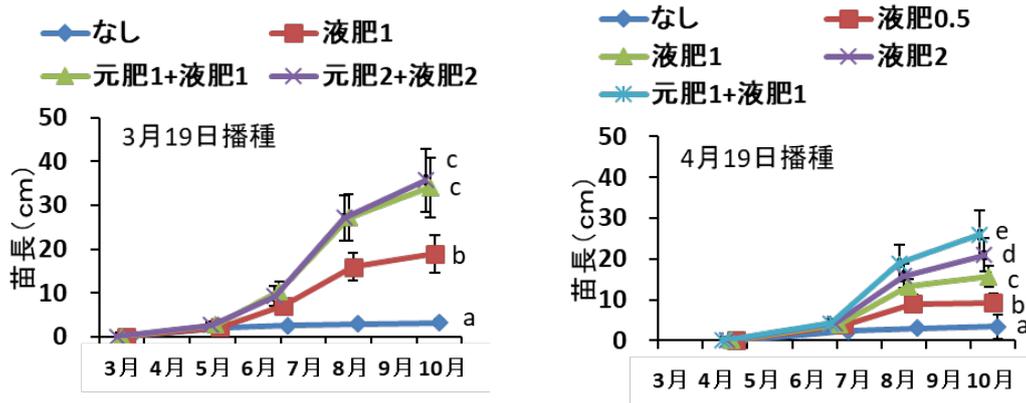


図-5 施肥量・施肥形態試験における施肥処理別の苗長成長経過

誤差線は標準偏差で、アルファベットが異なる場合は最後の調査において危険率5%未満で施肥処理間で苗長が異なることを表す。各処理の調査日は同じであるが、見やすくするため、便宜的に3日ずつずらした。

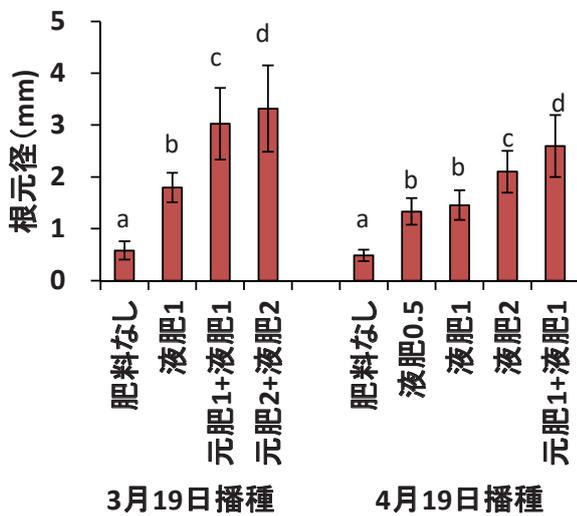


図-6 施肥量・施肥形態試験における播種日、施肥処理別の1年目10月9日の根元径

誤差線は標準偏差、アルファベットが異なる場合は危険率5%未満で施肥処理間で根元径が異なることを表す。

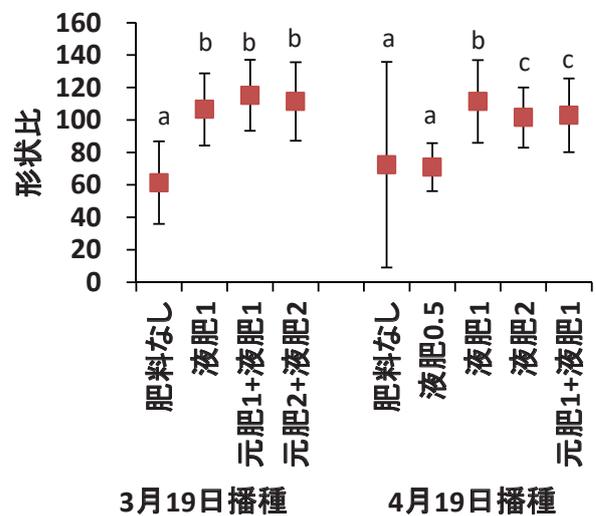


図-7 施肥量・施肥形態試験における播種日、施肥処理別の1年目10月9日の形状比(苗長/根元径)

誤差線は標準偏差、アルファベットが異なる場合は危険率5%未満で施肥処理間で形状比が異なることを表す。

ったが他の処理区では8月中旬(播種後150日)以降生存率が低下し、10月上旬(播種後204日)は80%前後となり施肥による生存率の違いがあった(図-4左,  $\chi^2=8.2$ ,  $p<0.001$ )。一方、4月19日播種では「元肥1+液肥1」のみ10月に生存率が低下し施肥による生存率の違いが認められた(図-4右,  $\chi^2=7.9$ ,  $p<0.015$ )。3月19日播種と4月19日播種で施肥量が多いほど生存率が低下する傾向は共通していた。

苗長成長は、いずれの処理区でも播種後2か月を経過してから顕著に見られるようになり、それ以降、施肥による違いが現れてきた(図-5)。3月19日播種では、10月(播種後204日)の平均苗長が「肥料なし」3.2cm、「液肥1」18.9cm、「元肥1+液肥1」34.1cm、「元肥2+液肥2」35.8cmと施肥処理によって大きく異なった(図-5左, ANOVA:  $v=3$ ,

$F=840.3$ , paired t test,  $p<0.001$ )。「肥料なし」では発芽後、ほとんど伸長成長せず、葉は窒素不足の兆候である紫色を呈し、夏前には頂芽を形成していた。「液肥1」と「元肥1+液肥1」では10月の平均苗長が2倍近く異なり (paired t test,  $p<0.001$ )、元肥の有無が苗長に大きく影響していた。また4月19日播種でも「液肥2」と「元肥1+液肥1」の平均苗長を比べると後者が大きく、液肥の量よりも元肥の有無が苗長に大きく影響していた(図-5右)。一方で3月19日播種の「元肥2+液肥2」の平均苗長は「元肥1+液肥1」と違いはなかった (paired t test,  $p=0.42$ )。3月19日播種と4月19日播種の平均苗長を施肥量・施肥形態が共通している「元肥1+液肥1」で比べると後者が小さく、その差は8.1cmあり、播種時期が苗長に影響していた。

平均根元径は、3月19日播種で「肥料なし」の0.6mmから「元肥2+液肥2」の3.3mm、4月19日播種で「肥料なし」の0.5mmから「元肥1+液肥1」の2.6mmであり、施肥による違い、播種時期による違いは苗長で見られた傾向とほぼ同じであった(図-6)。

形状比(苗長/根元径)は、3月19日播種では「肥料なし」が平均61.3であったのに対し、それ以外は平均110程度となった(図-7)。4月19日播種の形状比は、「肥料なし」,「液肥0.5」を除き100を超え,「液肥1」が111.4,「液肥2」が101.5,「元肥1+液肥1」が102.9であった。

3月19日,4月19日いずれの播種日でも元肥を施肥しないとほぼすべての苗木の苗長が苗木規格に達しなかったが,元肥を施肥すると苗木規格に達しなかった割合が3.9~34.6%に減少した(表-5)。根元径では3月19日播種の「元肥1+液肥1」,「元肥2+液肥2」で苗木規格を越えなかった割合はそれぞれ,89.8%,80.5%であり,さらに,それ以外の処理ではすべての苗木が苗木規格に達しなかった(表-5)。

表-5 施肥量・施肥形態試験における規格外本数の割合(%)

播種日	施肥方法・量	n <sup>*1</sup>	規格外 <sup>*2</sup>	根元径規格外	苗長規格外
3月19日	なし	111	100.0	100.0	100.0
	液肥1	88	100.0	100.0	100.0
	元肥1+液肥1	88	89.8	89.8	10.2
	元肥2+液肥2	77	81.8	80.5	3.9
4月19日	なし	111	100.0	100.0	100.0
	液肥0.5	111	100.0	100.0	100.0
	液肥1	114	100.0	100.0	100.0
	液肥2	110	100.0	100.0	83.6
	元肥1+液肥1	104	100.0	100.0	34.6

\*1: nは1年目10月9日の生存苗木数

\*2: 北海道山林種苗協同組合が定めるカラマツコンテナ苗規格は苗長25cm以上,かつ根元径4mm以上

## 2 施肥量・セル容量試験

生存率は、施肥量が多いほど低下していたが、セル容量と施肥処理に交互作用があり(表-6),セル容量の少ないJFA150(150ml)では「元肥1+液肥1」と「元肥2+液肥2」で生存率の低下が見られ,セル容量の大きいJFA300(300ml)では「元肥2+液肥2」のみで生存率が低下していた(図-8)。

苗長は、施肥処理によって有意に違い(表-7),施肥量が多いほど大きかった(図-9)。一方でセル容量と施肥処理に交互作用があり(表-7),「元肥0.5+液肥0.5」ではセル容量による苗長の違いはなく,「元肥1+液肥1」と「元肥2+液肥2」でJFA150よりJFA300で苗長が大きくなる傾向があった(図-9)。根元径にはセル容量と施肥処理に交互作用はなく,

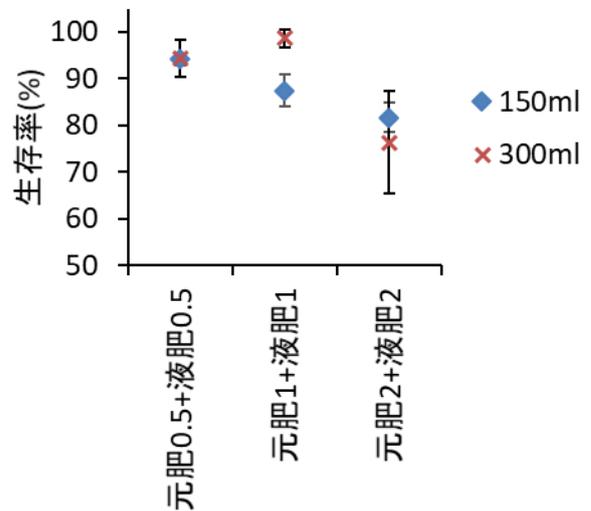


図-8 施肥量・セル容量試験における施肥処理,コンテナ・セル容量別の1年目10月6日の生存率(%)

発芽本数を調査していないので,生存率はセル数に対する苗木本数の割合をコンテナ容器毎に求めた。誤差線は標準偏差を表す。

表-6 施肥量・セル容量試験における生存率の逸脱度分析結果

	自由度	逸脱度の差	残差の自由度	逸脱度	危険率
Null			53	168.1	
施肥量	2	52.8	51	115.3	<0.001 ***
コンテナ	3	31.1	48	84.1	<0.001 ***
施肥量×コンテナ	6	13.8	42	70.4	0.032 *

\*: 5%未満で有意, \*\*\*: 0.1%未満で有意

表-7 施肥量・セル容量試験における苗長,根元径,形状比の2元分散分析結果

要因	自由度	苗長		根元径		形状比	
		F値	危険率(>F)	F値	危険率(>F)	F値	危険率(>F)
施肥量	2	55.0	<0.001 ***	39.0	<0.001 ***	6.0	0.003 **
セル容量	1	9.8	0.002 **	165.0	<0.001 ***	115.4	<0.001 ***
施肥量×セル容量	2	3.1	0.044 *	1.8	0.159	2.8	0.061 .
誤差	504						

\*: 5%未満で有意, \*\*: 1%未満で有意, \*\*\*: 0.1%未満で有意

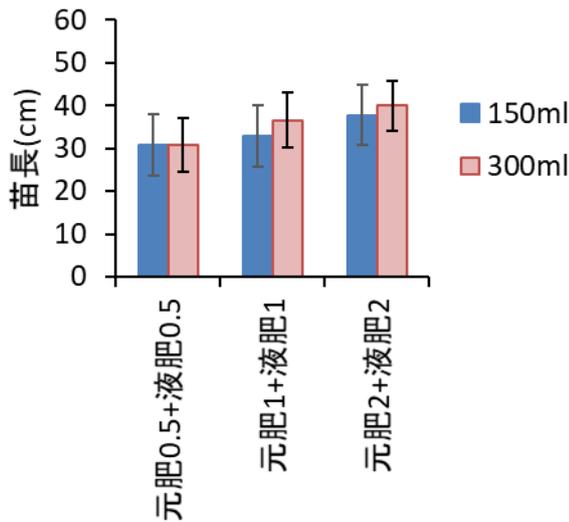


図-9 施肥量・セル容量試験における施肥処理, コンテナ・セル容量別の1年目10月6日の苗長 (cm)  
誤差線は標準偏差を表す。

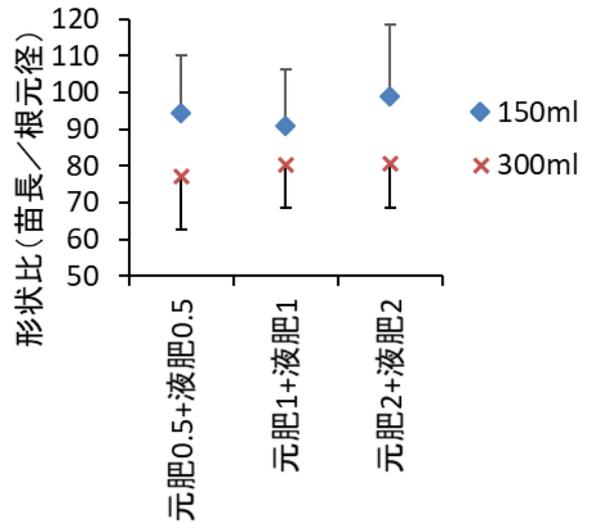


図-11 施肥量・セル容量試験における施肥処理, コンテナ・セル容量別の1年目10月6日の形状比 (苗長/根元径)  
誤差線は標準偏差を表す。

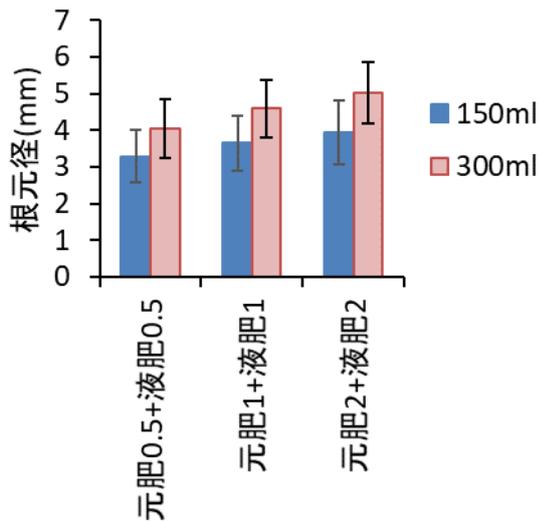


図-10 施肥量・セル容量試験における施肥処理, コンテナ・セル容量別の1年目10月6日の根元径 (mm)  
誤差線は標準偏差を表す。

セル容量と施肥処理それぞれで有意な違いがあり (表-7), セル容量が大きいほど, 施肥が多いほど根元径が大きくなっていった (図-10)。

形状比も根元径と同様には, セル容量と施肥処理に交互作用はなく, セル容量と施肥処理それぞれで有意な違いがあった (表-7)。平均形状比はセル容量により明瞭な違いがあり, JFA150は91.0~94.5, JFA300で 77.3~80.8とJFA300で低かった。施肥処理では, 「元肥2+液肥2」で大きくなる傾向があったが, 施肥量による違いは, セル容量150mlと300mlの違いに比べて小さかった (図-11)。

苗木が規格外となった割合は, JFA150の「元肥1+液肥2」, 「元肥2+液肥2」ではそれぞれ68.6%, 43.9%であり, そのほとんどが根元径が規格に達しないことによるものであった (表-8)。JFA300の「元肥1+液肥1」, 「元肥2+液肥2」では根元径が規格に達しない苗木の割合は大きく減少し, 規格外となった割合は, それぞれ14.1%, 12.7%と少なくなった (表-8)。

表-8 施肥量・セル容量試験における規格外本数の割合 (%)

	セル容量150ml				セル容量300ml			
	n <sup>*1</sup>	規格外 <sup>*2</sup>	根元径規格外	苗長規格外	n	規格外	根元径規格外	苗長規格外
元肥0.5+液肥0.5	113	85.0	84.1	21.2	68	52.1	48.5	11.8
元肥1+液肥1	105	68.6	67.6	15.2	71	14.1	14.1	5.6
元肥2+液肥2	98	43.9	43.9	4.1	55	12.7	12.7	0.0

\*1: nは1年目10月6日の生存苗木数

\*2: 北海道山林種苗協同組合が定めるカラマツコンテナ苗規格は苗長25cm以上, かつ根元径4mm以上

## 考察

### 1 施肥の効果

培土に含まれる化学成分は、種子の発芽に影響し、その働きは複雑である(米山・米山 2009)。そのため、発芽阻害を起こさず、発芽後の苗の成長を促進するために培土に混和する場合は、緩効性肥料の使用が勧められている(Landis et al 1989)。2013年3月19日播種の試験では発芽初期に施肥処理による有意な違いが認められたが、最終的な発芽率には違いがなかった。4月19日播種では発芽初期から施肥処理による発芽率の違いはなく、緩効性肥料を事前に培土に混和することの発芽阻害は認められなかった(図-3)。

発芽直後の成長は、種子に蓄えられた栄養素に依存し施肥の効果は限定的であるが、その後の指数関数的に成長する時期では施肥量が増えると成長量が増加する(Timmer and Armstrong 1987, Kolzowski and Pallardy 1997)。しかし、施肥量が多くなりすぎると成長量の増加は止まり、さらに施肥量が多くなると、成長量が低下する。Black spruceでは液肥の窒素濃度が100ppmNで成長量が最大になり、300ppmN以上で成長量が低下する。(Landis et al 1989)。本研究における最大施肥量である「元肥2+液肥2」では、液肥による成長期の週一回当たり窒素濃度が200ppmNで、窒素量にして7mg/培土1Lになる。元肥のオスモコートは肥効期間を4か月とすると1週間当たりの融出量は37.1mgで液肥による窒素施肥量の5.3倍になる。この量を液肥で施肥するとなると窒素濃度は1060ppmとなり、Black spruceで肥料過多の障害がでた300ppmの3倍以上である。それでも本試験では、「元肥2+液肥2」で最も成長が良く成長阻害が現れなかった(図-5, 6, 9, 10)。コンテナ苗では培土が乾燥しやすく、毎日のように灌水するため、肥料切れしやすいことが指摘されており(藤井 2017)、日に2回の灌水により、元肥から融出した肥料成分の過度な蓄積が避けられ、発芽や成長の阻害が現れなかった理由のひとつとして考えられる。

施肥量・施肥形態試験の4月19日播種では、液肥を増やす「液肥2」よりも液肥を増やさず元肥を加えた「元肥1+液肥1」で施肥の効果が大きかった(図-5, 6)。この結果は、週に1回、間断的に施肥する液肥よりも、常時ゆっくり融出する緩効性肥料で苗木が多く肥料成分を吸収できることを示唆しており、緩効性肥料の使用が有効であると考えられた。

圃場における育苗では、低温、高温、乾燥、多湿、日照不足、強光阻害、硬度の高い土壌、根の呼吸阻害など、様々なストレスにさらされて成長が抑制され、幼苗の育苗に1年、さらに植え替えて、成苗の育苗に1年を要する。一方、コンテナ育苗は、環境条件のコントロールが容易であり、苗木のストレスを軽減することができる。本試験では、発芽時期は加温した温室、発芽後の伸長開始から夏までは加温はしていないが温室で育苗し、低温ストレスから解放している。また、日

常的な灌水により乾燥ストレスを取り除いている。さらに培土は空隙が多く通気性に富むため、多量の灌水でも呼吸障害を起こすことはない。このように苗木のストレスを取り除き、カラマツが潜在的に持つ能力を発揮できる育苗環境を整え、施肥を適切に管理することで、播種後半年で平均苗長がコンテナ苗の成苗規格25cm(北海道山林種苗協同組合 2019)を超えることが(図-5, 9)可能になったと考えられる。逆に施肥を行わない、または量を減らしストレスを与えても成長が著しく減少するだけで枯死はしなかった。これは富士山に生育するカラマツで見られるように矮性化できる可塑的な特徴を発揮させたためであり、人為的に成長のコントロールが容易な樹種であるといえる。

施肥量・施肥形態試験の3月19日播種と4月19日播種で、同じ施肥処理である「液肥1」と「元肥1+液肥1」を比べると、3月19日播種のほうが根元径、苗長ともに大きく、成長期間を長くすることにより根元径、苗長の成長促進効果が顕著に認められた(図-5, 6)。一方、3月19日播種の形状比は110前後で(図-7)、カラマツ2年生裸苗の植栽時の形状比である60程度(原山ほか 2016)と比べて高い値であった。スギコンテナ苗では、形状比が高くなるほど植栽後の樹高成長が低下し(八木橋ほか 2016)、形状比が100になると裸苗より生存率が劣る(櫃間ほか 2015)ことが報告されている。またクロマツでは植栽時のコンテナ苗の形状比は裸苗より高いが、1年後には裸苗と形状比が変わらず、樹高成長より直径成長を優先させる(八木橋ほか 2015)。2013年3月播種では播種日を早め施肥することで苗木を大きくすることができたが、形状比が非常に高かったため、8月以降、生存率が低下したと考えられる。

### 2 セル容量の影響

コンテナ苗の最適なセル容量(根鉢サイズ)は、樹種特性、植栽する苗木の大きさ、植栽地の下層植生、育苗の経済性など様々な要因に影響される。カラマツコンテナ苗では根鉢容量150ml以上で植栽後の生存率が裸苗より高くなり、300mlで成長量が裸苗より大きくなる(津山ほか 2018)。一方で、北海道の苗木生産者は、300mlでは多くの用土や広い栽培面積が必要で高コストになるという理由からカラマツ幼苗移植コンテナ苗を150mlコンテナで育苗している。しかし、根元径が規格を満たさない苗木が多く、得苗率の低下を招く原因となっている(北海道山林種苗協同組合 私信)。本研究の播種コンテナ苗でも同じ結果であり、150mlコンテナにおいて規格外になった苗木のほとんどは根元径が足りないことによるものであった(表-7)。

施肥量・施肥形態試験では3月19日播種よりも1か月播種を遅らせ生育期間を短くした4月19日播種でも、「液肥1」、「液肥2」、「元肥1+液肥1」の形状比が100を超えていた(図-7)。しかし、施肥量・セル容量試験では、ほとんど同じ育

苗スケジュールにも関わらず、形状比が小さくなった（図-11）。施肥量・セル容量試験では150mlコンテナより300mlコンテナでは形状比が小さくなった。樹木には密度が高いと樹高成長を優先させる密度効果があり（千葉 2011）、セル容量を大きくするほど形状比が小さくなると考えられる。また、150mlコンテナに比べて300mlコンテナでは根元径、苗長ともに大きくなっていった。これは根鉢が大きくなり養分や水分の利用可能量が増加したことにより、伸長成長、直径成長ともに促進される一方で密度効果が緩和されることにより光合成等により獲得した資源の増加分が直径成長により多く配分されたためであると推察される。

### 3 まとめ

カラマツは成長が早く、本研究により、播種1年で植栽可能な大きさにまで成長させられること、施肥や生育期間、セル容量（または苗木密度）により成長のコントロールが容易であることが明らかとなった。一方で、過度な施肥や長すぎる成長期間により、苗木の形状比の増大、生存率の低下を招くことも明らかとなった。本研究の結果からカラマツ播種コンテナ苗の育苗に適した方法は、150mlコンテナよりも300mlコンテナを使い、播種は4月下旬、施肥は「元肥1+液肥1」と考えられた。一方で、苗木生産者は、それぞれの気象条件が違い、また温室よりも簡易な育苗施設を使用することも多い。カラマツ播種コンテナ苗の普及には、本研究で明らかとなった育苗方法を基本に苗木生産者それぞれの育苗環境に合わせて、播種時期を早める、施肥量を増やすなど、育苗スケジュールや施肥量を最適化することが必要である。

### 引用文献

千葉幸広 (2011) 森林の物質生産. 正木隆・相場慎一郎編, 森林生態学, 224-244, 共立出版, 東京

藤井栄 (2017) 徳島県におけるスギコンテナ苗の育苗. 森林科学 80: 10-13

藤本征司 (1978) カラマツの枝条形成に関する研究. 北大演習林研報 35: 1-28

原山尚徳・来田和人・今博計・石塚航・飛田博順・宇都木玄 (2016) 異なる時期に植栽したカラマツコンテナ苗の生存率, 成長および生理生態特性. 日林誌 98: 158-166.

林弥栄 (1951) 日本産重要樹種の天然分布針葉樹 (第1報). 林業試験場研究報告 48:1-240)

櫃間岳・八木橋勉・松尾亨・中原健一・那須野俊・野口麻穂子・八木貴信・齋藤智之・柴田銃江 (2015) 東北地方におけるスギコンテナ苗と裸苗の成長. 東北森林学会誌 20: 16-18

北海道山林種苗協同組合 (2019) 平成31年造林用苗木単価表. 北海道山林種苗協同組合, 札幌

株式会社トップ (2009) 分析・検査証明書 <http://www.cocopeat.co.jp/old/c-old2.html> (2019年11月19日アクセス)

来田和人 (2019) カラマツ播種コンテナ苗とクリーンラーチ挿し木コンテナ苗の育苗方法と森林遺伝育種への応用. 森林遺伝育種 8: 167-171

来田和人・今博計 (2016) 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

小池孝良・戸丸信弘 (2004) 地域変異と生活環の制御. 小池孝信編, 樹木生理生態学, 14-26, 朝倉書店, 東京

今博計・来田和人 (2014) カラマツとクリーンラーチ (ゲイマツ×カラマツ雑種F<sub>1</sub>) 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: 187-192

Kozlowski TT, Pallardy SG (1997) Growth control in woody plants. P. 641, Academic press, San Diego

倉田悟・濱谷稔夫 (1971) 日本産樹木分布図集 1: p110. 原色日本林業樹木図鑑第1巻 p.216, 地球社, 東京

Landis TD (1990) Containers and growing media, Vol. 2, The Container Tree Nursery Manual. Agric. Handbk. 674. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. 87 p.

Landis TD, Tinus RW, McDonald SE, Barnett JP (1989) Seedling Nutrition and Irrigation, Vol. 4, The Container Tree Nursery Manual. Agric. Handbk. 674. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. 119 p.

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

Nishimura M, Setoguchi H (2011) Homogeneous genetic structure and variation in tree architecture of *Larix kaempferi* along altitudinal gradients on Mt. Fuji. Journal of Plant Research 124: 253-263

大平峰子・松下通也 (2019) 施肥量がスギ実生コンテナ苗の成長に及ぼす影響. 日林誌 101: 109-114

R Core Team (2019). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

Timmer VR, Armstrong G (1987) Growth and nutrition of containerized *Pinus risinosa* at exponentially increasing nutrient conditions. Can J For Res 17: 644-647

津山幾太郎・原山尚徳・来田和人 (2018) 北海道におけるコンテナ苗の有効性を検証する～植栽後の生残率と成長量から～. 北方森林研究 66: 69-72

八木橋勉・中村克典・齋藤智之・松本和馬・八木貴信・柴田銃江・野口麻穂子・駒木貴彰 (2015) クロマツコンテナ苗の当年生苗利用と通年植栽の可能性. 日林誌 97: 257-260

八木橋勉・中谷友樹・中原健一・那須野俊・櫃間岳・野口麻穂子・八木貴信・齋藤智之・松本和馬・山田健・落合幸仁（2016）スギコンテナ苗と裸苗の成長と形状比の関係. 日林誌 98: 139-145

米山弘一・米山香織（2009）発芽と土壤中化学物質. 吉岡俊人・清和研二編, 発芽生物学, 105-122, 文一総合出版, 東京

### Summary

We studied the effect of fertilization amount and cell size of container to develop the nursery method of containerized seedling sowed directly on container. We established the experimental treatment that contained from non-fertilization to twice amount of normal fertilization and two sowing period using 120ml side slit containers in 2013. We also established the treatment that contained from half to twice amount of normal fertilization and two cell size of container in 2014. Germination rates were 54.4-60.7% for sowed in March 19 and 67.5-70.8% for sowed in April 19, 2013, which are significantly different with fertilization amounts in the early stage, but not in the late stage. Seedling growth increased with fertilization amount in all treatments. However, the ratio of seedling height to root collar diameter was high and survival rate decreased from August for 120ml container seedlings with normal or more fertilization. More than 80% seedlings of 150ml container exceed the seedling height standard ( $\geq 25\text{cm}$ ), but many seedlings showed high ratio of seedling height to root collar diameter and didn't exceed root collar diameter standard ( $\geq 4\text{mm}$ ). Many seedlings in 300ml container showed low ratio of seedling height to root collar diameter and exceed both seedling height and root collar diameter standard. Whereas, survival rate for 300ml container decreased in twice fertilization, which suggested that normal fertilization was optimal for nursery of direct sowing containerized seedlings.

### Keyword

germination rate, fertilization, root ball size, seedling height, root collar diameter