

5

育苗：施肥

コンテナ苗の価格の低廉化には得苗率の向上が必要です。スギ1年生コンテナ苗の育成において、得苗率を最大化できる施肥量を明らかにするため、施肥量に対する苗木のサイズ、根鉢の根の張り具合、得苗率の関係を調査しました。その結果、得苗率を最大化できる施肥量の存在が示されました。また、この量は気候条件により異なると考えられます。

## 試験方法

コンテナはJFA150(リブ)を使用しました。培地はココピートのスタンダードとオールドの2種類を用いました。肥料として概ね180日の肥効期間を有するハイコントロール085-180日を元肥として培地に混合し、施肥量は0.5～20g/キャビティの16段階としました。各施肥量区につきコンテナ容器2個、80本の苗木を育成しました。芽生えを2019年3月上旬にキャビティに移植し、移植後は5月下旬まではガラス室で、それ以降は露地で育成しました。2020年4月上旬に苗木の根元直径、苗高を計測し、根鉢の根の張り具合を評価しました。根の張り具合の異なる15本を抽出し、画像解析ソフトFiji(ImageJ)を使用し、根鉢表面積率の見本チャートを作成しました(図1)。根鉢が崩れ出荷できない①38%未満、根鉢が形成されて出荷できる②38%以上60%未満と③60%以上—の3段階に区分しました。苗木の出荷規格は、島根県種苗組合が定めている根元直径3.5mm以上、苗高30cm以上としました。

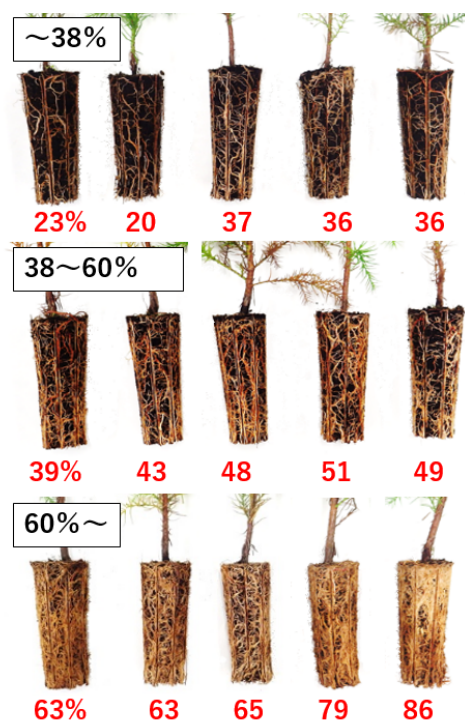


図1 根鉢表面積率の見本チャート

## 苗サイズ・地上部規格形成割合・根鉢形成割合

平均根元直径と平均苗高は施肥量の増加に伴って増加する傾向でした(図2)。ただし、15～20gでは根元直径と苗高が減少しました。地上部規格苗本数割合は0.5～1.0gでは70%未満と低かったのですが、1.5g以上では70%を超え、3～12.5gでは90～100%に達しました。根表面積率が②③の地下部規格苗本数割合(生残本数を分母とする)は、施肥量と明瞭な関連性は認められませんでした。少量の施肥区では苗サイズが小さくても、根鉢が形成されているものが多くありました。

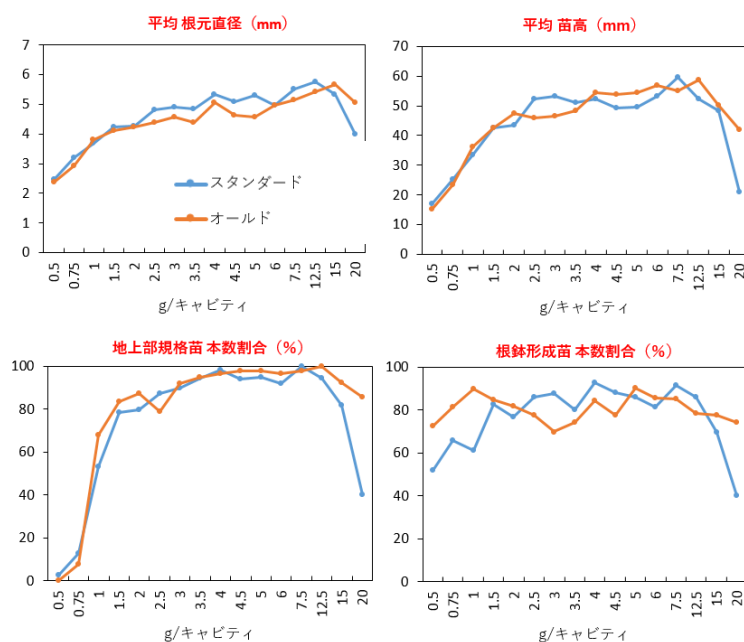


図2 施肥量と平均根元直径・平均苗高・地上部規格苗本数割合(%)・根鉢形成苗本数割合(%)の関係

生残本数割合は0.5～1.0gでは98～100%と高く、施肥量の増加に伴って減少する傾向でした（図3）。20gでは6%、44%まで減少しました。枯死した苗木をキャビティから抜いたところ、すべての枯死苗で根の腐敗が確認されました。このことから、枯死の原因は多施肥を誘因とした苗立枯病によるものと考えられました。

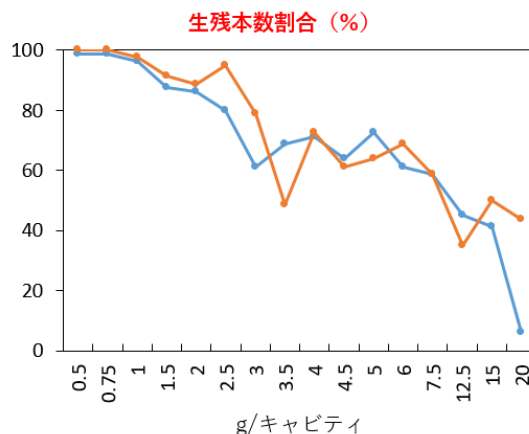


図3 施肥量と生残本数割合の関係

## 得苗率

施肥量は得苗率によって「不足区」、「過剰区」および「最適区」の3つに区分しました。0.5～1gまでの「不足区」では生残本数が多いですが、地上部が規格に達した苗木の割合が低く、得苗率が低い結果となりました（図4）。概ね3g以上の「過剰区」では地上部規格苗本数割合は高いですが生残本数が少なく、得苗率が低くなる傾向でした。1.5～2.5gの「最適区」では生残本数割合と地上部規格苗本数割合の両者が高く、このため得苗率が高い傾向でした。

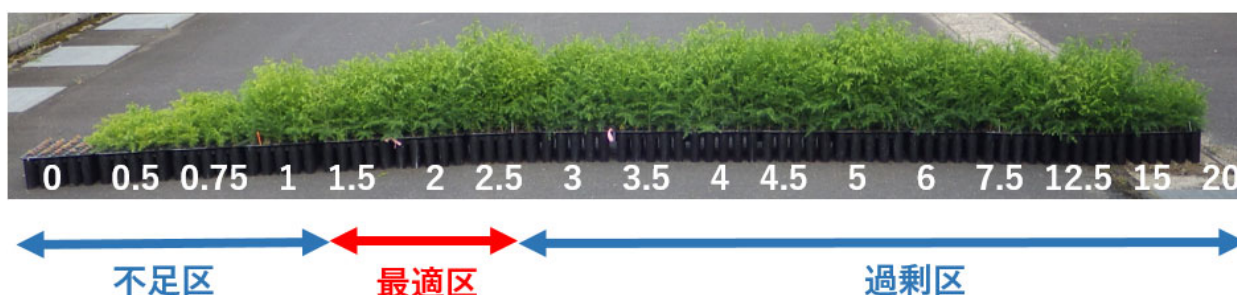
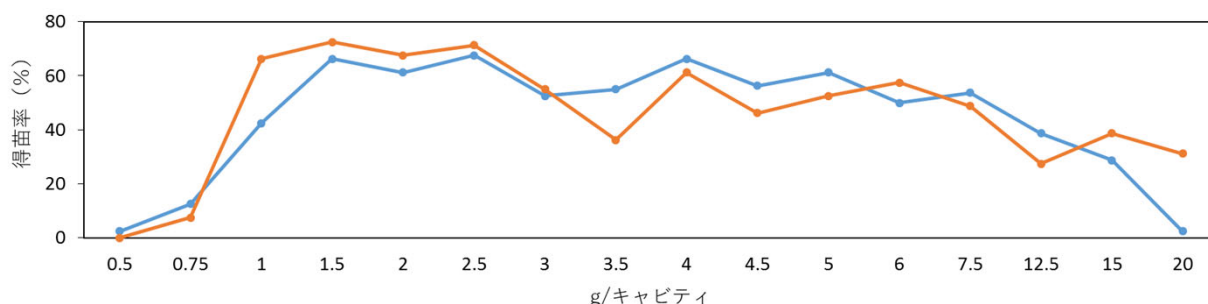


図4 施肥量と得苗率の関係

## まとめ

得苗率を最大化できる施肥量が存在することが示され、コンテナ苗の育成においては施肥量の設定が重要であることが示されました。なお、本試験は島根県内の標高460mである冷涼地で行った試験結果です。肥効調節型肥料は培地中の温度・水分条件によって溶出量が変動することから、気候条件によって得苗率を最大化できる施肥量は異なると考えられます。したがって、各地の生産地において個別に最適な施肥量を把握することが必要と言えます。

元肥の肥効期間とその量が、スギコンテナ苗の成長に与える影響を調べました。その結果、元肥の溶出タイプや量が実際の肥効期間に影響を与え、それに応じてスギコンテナ苗の成長量が異なることがわかりました。目標とする苗木サイズに応じて適切な施肥を行うことで、肥料過多を防ぎ、肥料コストや環境負荷の低減に役立ちます。

本成果についてより詳しく知りたい方は、以下の論文を参照ください。小笠真由美・山下直子・鳥居厚志・金子真司・飛田博順（2025）スギコンテナ苗の成長に対する元肥の溶出タイプと濃度の影響、日本森林学会誌107（印刷中）。

## 実際の肥効期間

森林総合研究所関西支所の苗畑（京都府京都市）において、ココナツハスクに溶出タイプが100日、180日、360日の肥料（N-P-K=16-5-10）をそれぞれ3g/L、6g/L、12g/L混和し、150ccコンテナで十分な灌水の下でスギ毛苗を1年間育苗しました。肥効の指標として、培地の電気伝導度を測定したところ、どの溶出タイプでも肥料の量が多いほど肥効は長く続きましたが、その程度は溶出タイプによって異なり、360日タイプでは量により実肥効期間が大きくばらつきました（表1）。

表1 元肥の各溶出タイプおよび量における培地の電気伝導度（EC）の季節変化

|         |        | 毛苗移植からの経過日数 |       |      |       |      |      |       |       |
|---------|--------|-------------|-------|------|-------|------|------|-------|-------|
|         |        | 48          | 85    | 105  | 142   | 166  | 201  | 226   | 258   |
|         |        | 日付          |       |      |       |      |      |       |       |
|         |        | 4月9日        | 5月16日 | 6月5日 | 7月12日 | 8月5日 | 9月9日 | 10月4日 | 11月5日 |
| 100日タイプ | 3 g/L  | 100         | 10    | 28   | 4     | 11   | 0    | 2     | 3     |
|         | 6 g/L  | 100         | 26    | 15   | 16    | 3    | 0    | 6     | 0     |
|         | 12 g/L | 100         | 44    | 38   | 15    | 12   | 0    | 5     | 1     |
| 180日タイプ | 3 g/L  | 100         | 31    | 31   | 25    | 20   | 2    | 0     | 8     |
|         | 6 g/L  | 100         | 9     | 33   | 23    | 19   | 0    | 9     | 18    |
|         | 12 g/L | 100         | 5     | 27   | 26    | 21   | 5    | 1     | 0     |
| 360日タイプ | 3 g/L  | 100         | 13    | 19   | 17    | 6    | 0    | 13    | 3     |
|         | 6 g/L  | 100         | 0     | 25   | 7     | 15   | 8    | 2     | 10    |
|         | 12 g/L | 100         | 25    | 38   | 34    | 59   | 30   | 14    | 0     |

注）初期値を100、期間最低値を0としたときの培地のEC(%)。赤字は、初期値比20%以下の値。色付きセルは、初期値比20%以下の値が連続で2回記録され、肥料成分切れの目安とした時を示しています。

## スギコンテナ苗の成長

肥料の溶出タイプや量によってスギコンテナ苗の成長量や1成長期後の得苗率が異なることがわかりました（図1）。

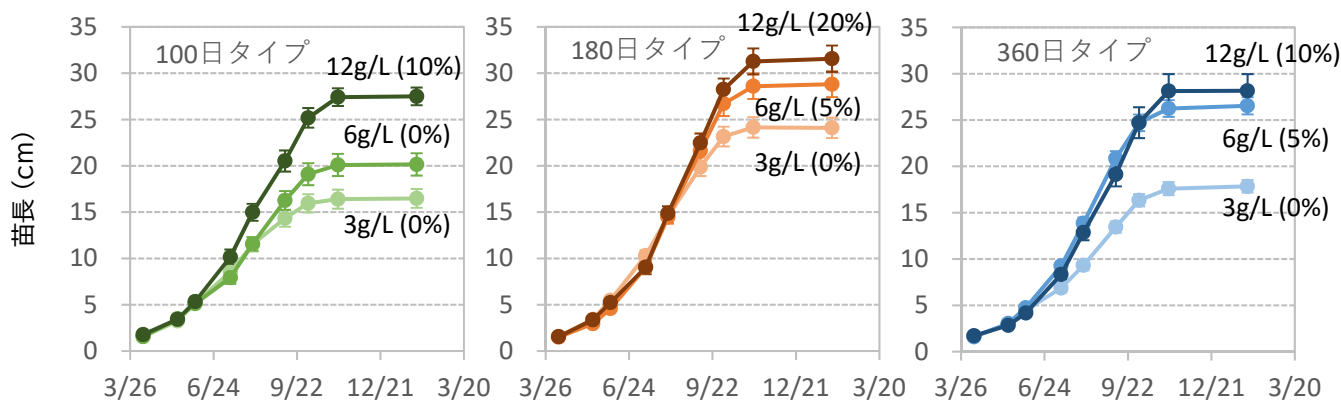


図1 元肥の各溶出タイプおよび量におけるスギコンテナ苗の苗長の季節変化

注）グラフは令和元（2019）年の試験結果を示しています。図中の数値は元肥の量（g/L）、カッコ内の数値は得苗率です。

## 元肥の溶出タイプと量が伸長成長に与える影響

溶出タイプの効果を見てみると、溶出タイプ100日の苗木と比較して、180日の苗木では8月から伸長成長が大きくなりました(図2)。一方、溶出タイプ360日の苗木は、100日タイプの苗木よりも成長初期(5月、6月)の成長量が小さく、成長量が100日タイプを上回ったのは9月に入ってからでした。元肥の量の効果を見てみると、3g/L区の苗木と比較して、6g/L区、12g/L区の苗木はともに8月以降の伸長成長が大きくなりました(図3)。

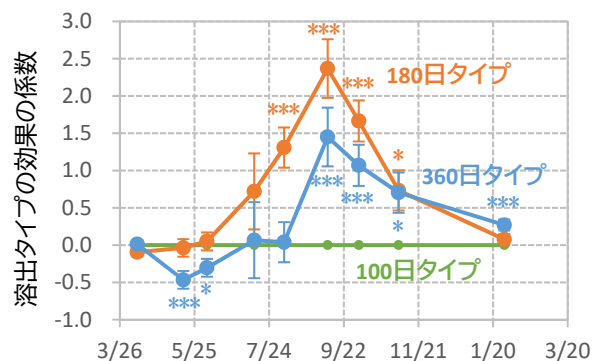


図2 元肥の溶出タイプがスギコンテナ苗の伸長成長に及ぼす影響の季節変化

注) 一般化線形混合モデルで解析し、100日タイプ区に対してその他のタイプの係数が有意であった月にアスタリスクを付しています。便宜上、100日タイプ区の効果をも0としてプロットしています。  
\*:  $P < 0.05$ 、\*:  $P < 0.01$ 、\*\*\*:  $P < 0.001$

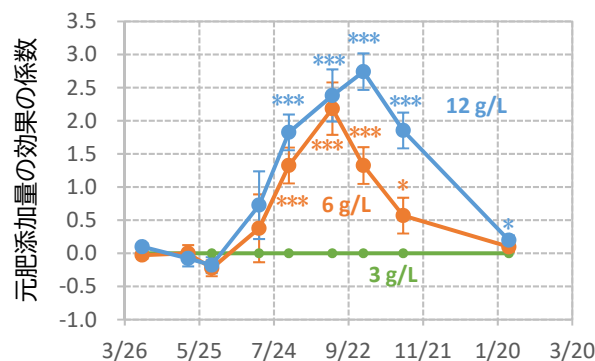


図3 元肥の量がスギコンテナ苗の伸長成長に及ぼす影響の季節変化

注) 一般化線形混合モデルで解析し、3g/L区に対してその他の添加量の係数が有意であった月にアスタリスクを付しています。便宜上、100日タイプ区の効果をも0としてプロットしています。  
\*:  $P < 0.05$ 、\*:  $P < 0.01$ 、\*\*\*:  $P < 0.001$

## 1成長期末の根元直径と形状比

溶出タイプの効果を見てみると、溶出タイプ100日の苗木と比較して、180日タイプの苗木で1成長期末の根元直径が大きくなりました(図4)。元肥の量の効果を見てみると、6g/L区、12g/L区で根元直径が大きくなりました。同様に、元肥の量が多いほど形状比が大きくなる傾向が見られました(図5)。

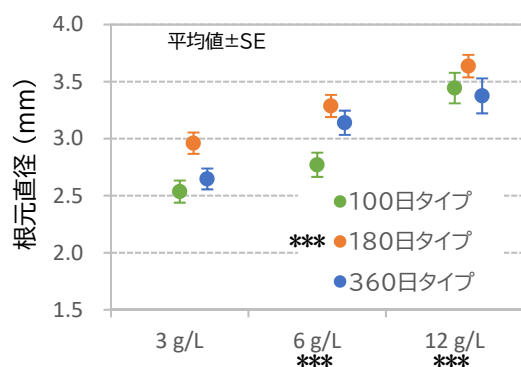


図4 元肥の各溶出タイプおよび量におけるスギコンテナ苗の1成長期後の根元直径

注) 溶出タイプ、元肥添加量ごとに一般化線形混合モデルで解析し、100日タイプ区、もしくは3g/L区に対してその他のタイプ、添加量の係数が有意となった処理区にアスタリスクを付しています。\*\*\*:  $P < 0.001$

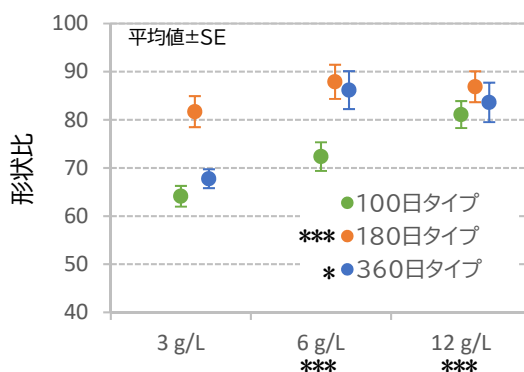


図5 元肥の各溶出タイプおよび量におけるスギコンテナ苗の1成長期後の形状比

注) 溶出タイプ、元肥添加量ごとに一般化線形混合モデルで解析し、3g/L区もしくは100日タイプ区に対してその他の添加量、タイプの係数が有意となった処理区にアスタリスクを付しています。\*:  $P < 0.05$ ; \*\*\*:  $P < 0.001$

## まとめ

スギの芽生え後1成長期目には、180日タイプの元肥を用いることが、成長に与える効果が高いことがわかりました。元肥の量を増やすほど成長は大きくなりますが、それだけでは得苗率に限界があることや、肥料成分の流亡により施肥コストや環境負荷が高まることから、育苗期間に応じて元肥の溶出タイプや量、さらには追肥を選択することが望ましいと考えられます。

ビニールハウスで育苗中の秋に追肥(秋施肥)したコンテナ苗を翌4月に苗畑に植栽し、成長を3年間測定しました。秋(9月から10月)の追肥により、翌春の苗木のシュートの窒素含量と光合成能力が高くなり、植栽後の成長が促進されました。育苗状態により追肥の時期や量を調節することで、翌春の植栽後の成長を促進できることが示唆されました。

## 秋施肥の時期の違いによるスギコンテナ苗形状の変化

茨城県つくば市のビニールハウス内で、300ccのリブ型コンテナを用いて、元肥1.8g/本(6g/L相当量)与えて育成した苗木に、9月下旬から10月上旬に追肥(元肥と同じ種類1.8g/本)した場合、追肥後の伸長量は少なく抑えられました(期末の苗高の1割から2割程度)。この結果は、ハイコントロール650(N-P-K:16-5-10;肥効期間100日)(図1)でも、Osmocote Exact Mini(N-P-K:16-8-11;肥効期間3~4ヶ月)でも同様の結果でした。一方、9月上旬に追肥した場合、追肥後に期末の苗高の4から5割程度の伸長成長を示しました(ハイコントロール650(N-P-K:16-5-10;肥効期間100日)(図1)。これらの応答は家系によらず同様の傾向を示しました。

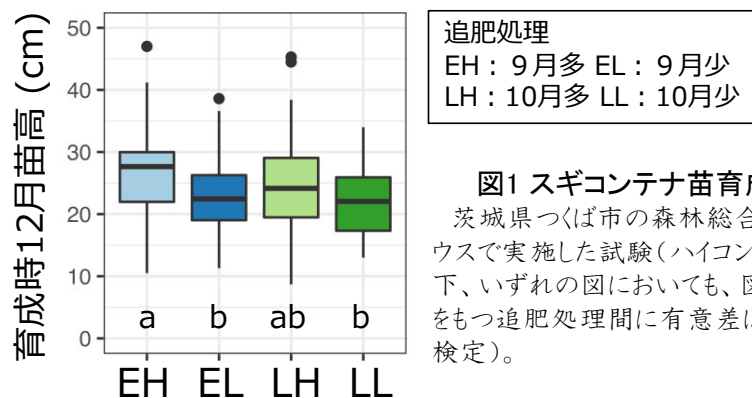


図1 スギコンテナ苗育成時の期末の苗高  
茨城県つくば市の森林総合研究所苗畑ビニールハウスで実施した試験(ハイコントロール650)の事例。以下、いずれの図においても、図中の同一アルファベットをもつ追肥処理間に有意差はない(Tukeyの多重比較検定)。

## 秋施肥の種類の違いによるスギコンテナ苗形状の変化

元肥にハイコントロール650(N-P-K:16-5-10;肥効期間100日)を用いたスギコンテナ苗木に対して、秋施肥に微量元素を含む緩効性肥料(ハイコントロール085(N-P-K:10-18-15;肥効期間100日)を用いました。その結果、元肥と同じ種類による秋施肥に比べて、9月上旬に多く追肥した場合に、伸長成長、肥大成長ともに促進される傾向が見られました(図2)。秋施肥には、カリウム配分が多い(微量元素を含む)肥料の方が適しているのかもしれません。

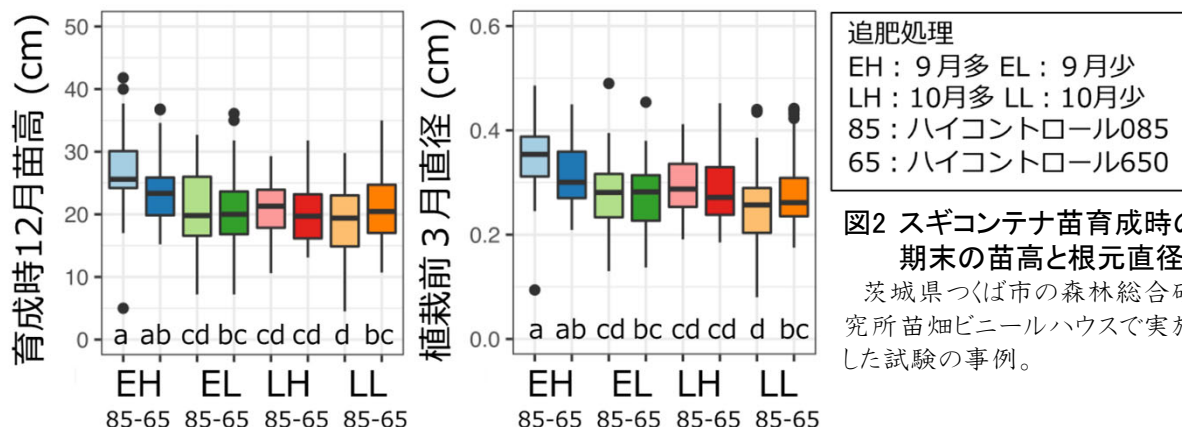


図2 スギコンテナ苗育成時の期末の苗高と根元直径  
茨城県つくば市の森林総合研究所苗畑ビニールハウスで実施した試験の事例。

## 秋施肥の翌春のシュートの窒素含量と光合成活性

スギコンテナ苗の育苗中に秋施肥した場合、多い追肥により、翌春3月のシュートの窒素濃度と光飽和時の光合成速度が高くなりました(図3)。別の秋施肥試験の結果では、この植栽時に見られた光合成能力の違いは、植栽後2ヶ月経っても維持されており、3ヶ月後に差がなくなりました。また新規に開葉した当年生シュートの光合成も秋施肥により高くなることがわかりました。

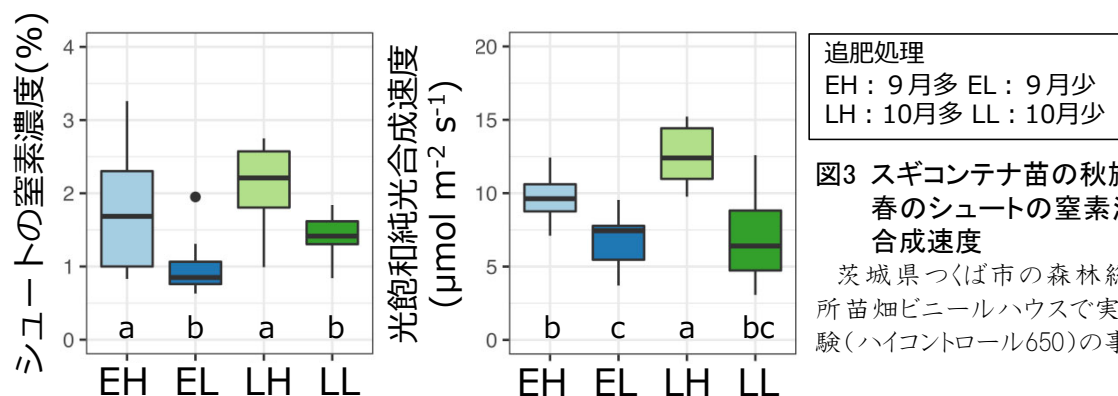


図3 スギコンテナ苗の秋施肥の翌春のシュートの窒素濃度と光合成速度  
茨城県つくば市の森林総合研究所苗畑ビニールハウスで実施した試験(ハイコントロール650)の事例。

## 秋施肥の翌春の植栽後の成長

秋施肥したスギコンテナ苗を、茨城県つくば市の苗畑に植栽し、樹高と直径の成長を調べました。秋施肥により1年目の樹高・直径成長が促進され、その樹高と直径の差は、2年目、3年目まで継続して見られました(図4)。ただ、秋施肥の直接的な効果は1年目のみで、2年目以降は期首のサイズがその年の成長に影響を及ぼしていることがわかりました。3種類の秋施肥試験を行いました。いずれの植栽試験でも同様の結果が得られました。なお、追肥時期や種類の違いが植栽後の成長に及ぼす影響は不明瞭でした。

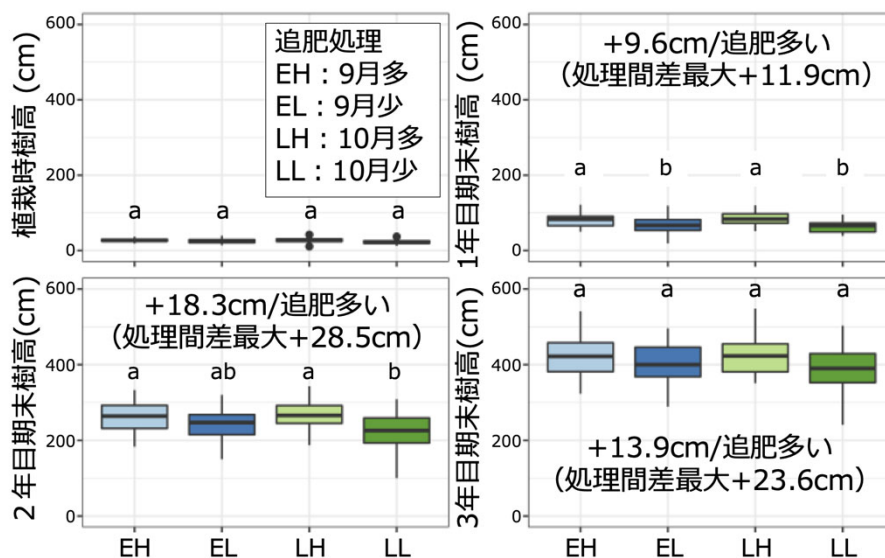


図4 秋施肥したスギコンテナ苗の植栽後の樹高  
茨城県つくば市の森林総合研究所苗畑で実施した植栽試験の事例。

## 秋施肥の活用

地域により秋施肥のタイミングは変わってくると思います。どの時期に、どのくらいの量、どの種類を与えるか、育成時の苗木の形状と目標とする苗木の形状から、調整を行うことができるとよいと考えます。秋施肥の量が多すぎることや、時期が遅すぎることによる冬の寒さの害が気になるかもしれませんが、今回の試験の量・時期では問題ありませんでした。今後、耐凍性獲得への影響についても研究を進めていきます。

一般にスギ苗への施肥は春や夏などの成長期に行われますが、ここでは冬季の施肥によりスギのコンテナ苗に養分を蓄積する技術の開発を行いました。冬季の施肥によって養分が蓄積されるものの、養分の蓄積様式が、養分の種類や品種によって異なることを明らかにしました。ここでは、スギコンテナ苗の養分蓄積様式の詳細を紹介します。

## 養分の種類や器官による養分蓄積様式の違い

窒素、リン、カリウムをそれぞれ0.24gずつ含む液肥を施肥基準量として0～20倍までの施肥量をスギのコンテナ苗に冬季(2018年12月18日～2019年2月12日)に与えたところ、施肥量にともなう養分蓄積量の変化が窒素、リン、カリウムで異なりました(図1)。窒素とリンでは、10倍以上の施肥量で地上部(幹や枝葉)と地下部(根系)の養分蓄積量が乖離する現象がみられ、これらの苗木を2019年2月13日に植栽したところ、1年以内にすべての苗木が枯死しました。冬季の施肥は、施肥基準量の0～5倍の範囲に最適な施肥量が存在すると考えられます。

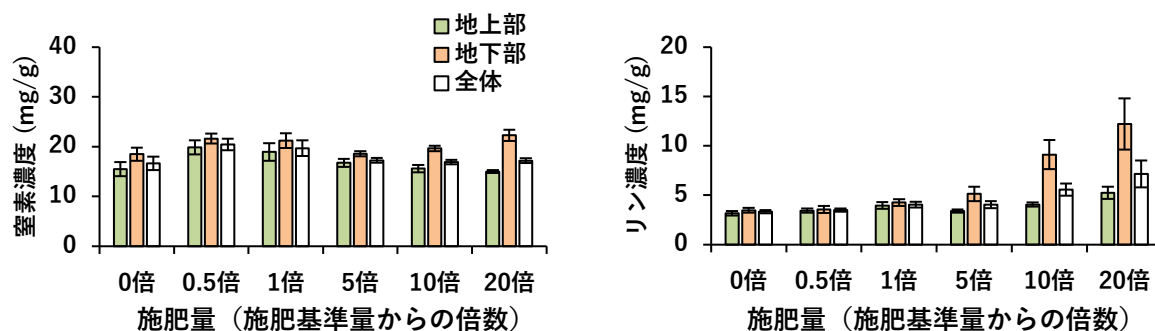


図1 コンテナ苗(九育2-203)における冬季の施肥量と苗木の窒素およびリン濃度の関係

## 品種による養分蓄積様式の違い

施肥量にともなう養分蓄積量の変化は品種によって異なりました(図2)。とくに、冬季(2018年12月18日～2019年2月12日)の施肥では、地下部(根系)におけるカリウム蓄積量に顕著な品種間差がみられました。このことは、同じ施肥量でも、地上部と地下部の養分蓄積量のバランスが品種によって変わる可能性を示しています。今後、養分蓄積量だけではなく、その配分バランスを考えた最適な施肥量を品種ごとに探する必要があります。

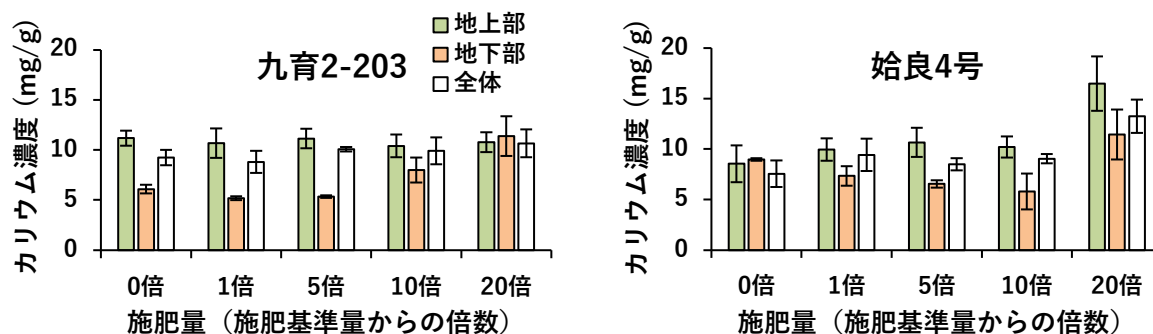


図2 スギ2品種(九育2-203と県始良4号)のコンテナ苗における冬季の施肥量と苗木のカリウム濃度の関係



成長に優れた種苗を用いて育苗期間を短縮し、育苗コストを削減することが求められています。そこで、成長に優れたエリートツリー交配種子を用い、培土や元肥の工夫によりコンテナ苗を1年間で山出し規格苗に育成する試みを行いました。また、育成した苗木を現地植栽し、植栽から1成長期間の苗高と根元直径の成長を調査し、系統間に差があるか明らかにしました。

ヒノキ実生コンテナ苗の育苗期間の短縮の試み

ヒノキエリートツリー交配種子及び精英樹系統種子(表1)を用いて、マルチキャビティコンテナ300ccの培土と元肥を変え(表2)、3~11月の間育成した結果、培土と元肥の違いにより苗高の成長には有意な差( $P<0.01$ )があり、それぞれ系統間にも有意な差( $P<0.05$ )がありましたが(図1、図2)、1成長期の育成で苗木は出荷規格に至りませんでした。

表1 ヒノキ種子の系統

| No. | 種子親          | 花粉親        |
|-----|--------------|------------|
| 1   | ヒノキ林育2-78    | ヒノキ林育2-79  |
| 2   | ヒノキ林育2-79    | ヒノキ林育2-80  |
| 3   | ヒノキ林育2-100   | ヒノキ林育2-99  |
| 4   | ヒノキ林育2-114   | ヒノキ林育2-113 |
| 5   | ヒノキ林育2-100   | open       |
| 6   | ヒノキ林育2-102   | open       |
| 7   | ヒノキ林育2-107   | open       |
| 8   | 県採種園産精英樹由来種子 |            |

表2 試験区の培土・元肥の配合

| 試験区       | 培土                                                   | 元肥                                                   |
|-----------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| A区<br>慣行区 | 粉碎ピートモス：パーライ<br>ト：ビーエスライト<br>= 1 : 1 : 1 + 赤玉土 (10%) | ハイコントロール650 180日<br>タイプ<br>(N:P:K = 16:5:10) 70g/10ℓ |
| B区<br>推奨区 | ココピート                                                | マイクロロングトータル280<br>(N:P:K = 12 : 8 : 10)<br>200g/10ℓ  |

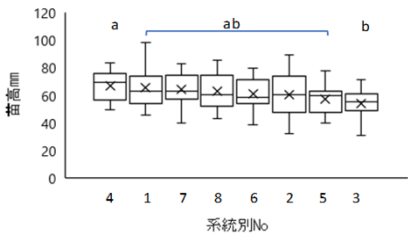


図1 A区の系統別苗高成長比較

異符号間に有意差あり(Tukey Kramer  $P<0.05$ )

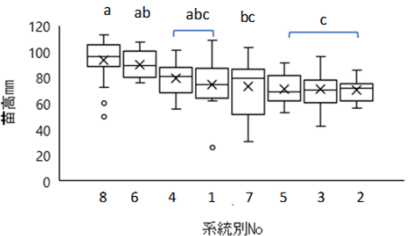


図2 B区の系統別苗高成長比較

異符号間に有意差あり(Tukey Kramer  $P<0.05$ )

ヒノキ実生コンテナ苗の現地植栽試験

コンテナ育苗試験に用いた苗木をそのまま育成して2年生コンテナ苗として、長崎県諫早市高来町の山地に2022年3月に植栽を行い、3~11月の1成長期間を調査しました。樹高と根元直径について系統間(図3、図4)に有意な差( $P<0.05$ )がありましたが、相対成長率では差がありませんでした。

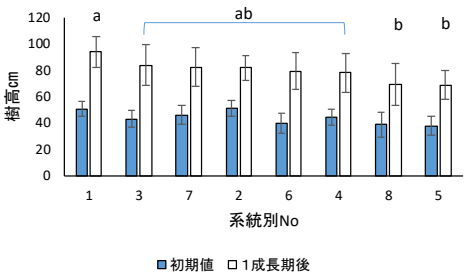


図3 11月の樹高

- 1) エラーバーは標準偏差
- 2) 異符号間に有意差あり(Tukey Kramer  $P<0.05$ )

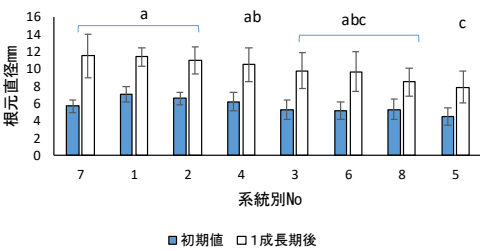


図4 11月の根元直径

- 1) エラーバーは標準偏差
- 2) 異符号間に有意差あり(Tukey Kramer  $P<0.05$ )

再造林コストの低減にあたって、コンテナ苗には育苗期間の短縮と植栽後の成長促進が求められています。溶出期間700日の肥料を元肥に用いて育成した1年生ヒノキ・コンテナ苗は、裸苗より植栽1年目の成長量が大きく、植栽時より形状比が低下して苗木の健全性が向上したことから、初期成長の良い苗木としての利用が期待できます。

## 供試苗木の育成

2020年3月4日に512穴のセル培地(エクセルソイル、イワタニアグリグリーン(株)製)へ播種し、約1月半後に苗高2cm前後になったセル苗をコンテナ(JFA150)へ移植しました。培地は共通材料(ココナツハスク10L、セラミック炭0.3L)に、既報(渡邊ら 2017)で2年生ヒノキ・コンテナ苗の植栽後の初期成長に効果がみられた溶出期間700日の肥料とリンの配合割合が高い360日肥料を組み合わせたものとしました(表1)。セル苗移植後のコンテナは、岐阜県郡上市白鳥町のミスト室で、培地表面が乾き始めたら19分間のミスト散水、追肥無しの条件で管理しました。2021年4月19日に育苗結果の調査を行いました。(図1)

表1 試験区設定

| 試験区 | 元肥※               |                   |
|-----|-------------------|-------------------|
|     | 700日肥料<br>(g/10L) | 360日肥料<br>(g/10L) |
| ①   |                   | 0                 |
| ②   | 200               | 50                |
| ③   |                   | 100               |
| ④   |                   | 0                 |
| ⑤   | 400               | 50                |
| ⑥   |                   | 100               |

700日肥料:ハイコントロール650(N16P5K10、溶出日数700日、ジェイカムアグリ(株)製  
360日肥料:ハイコントロール085(N10P18K15、溶出日数360日、ジェイカムアグリ(株)製

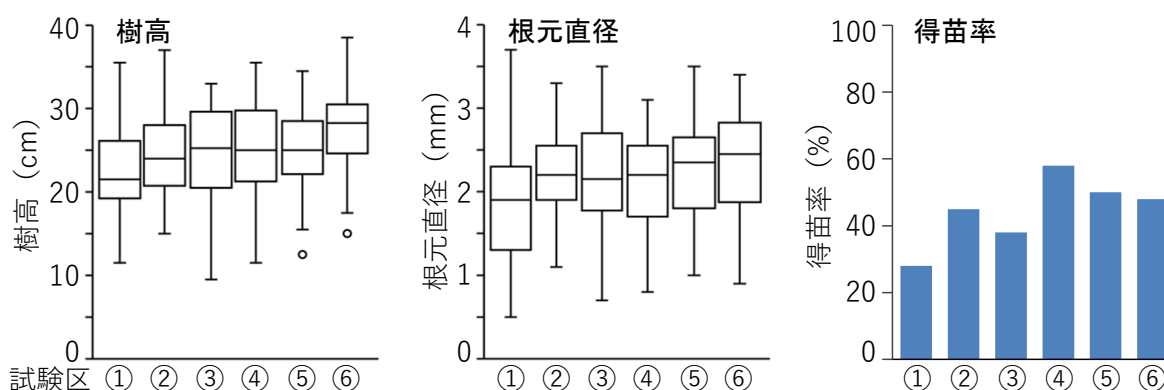


図1 育苗結果(2021/4/19)

## 現地植栽

2021年4月26日に岐阜県下呂市の神割国有林に苗木(苗運搬時に根鉢が崩れなかったもの)を単木混交で植栽しました。試験地の概況は標高500m、土壌型B<sub>D</sub>(d)、傾斜約15°、斜面方位南西でした。獣害対策として防鹿柵に加えて忌避剤(コニファー)を散布しました。

2021年11月15日に樹高と根元直径を測定し、消失や獣害被害の苗木を除く10~15本/区を対象として、苗木サイズ、成長量、形状比について、コンテナ苗間(①~⑥区)、および隣接地に植栽した2年生裸苗(供試数:28本)と比較しました。

## 1年生ヒノキ・コンテナ苗の植栽1年目の成長

苗木サイズは、植栽時にはコンテナ苗より2年生裸苗の方が大きかった反面、植栽1年目期末にはその差が縮まって樹高では違いがみられなくなりました。植栽1年目成長量は、コンテナ苗が裸苗より大きい傾向がみられました(図2)。形状比は、植栽時にはコンテナ苗より裸苗で低かったものの、植栽1年目にはその差が縮まって、一部のコンテナ苗と裸苗との間には有意差が認められなくなりました(図3)。一方、コンテナ苗間では、苗木サイズ、形状比、植栽1年目成長量のすべてにおいて違いがみられませんでした(図2、3)。

今回現地検証を行った溶出期間700日の肥料を元肥に用いた6種類の1年生ヒノキ・コンテナ苗は、植栽1年目の成長量が2年生裸苗より大きく、形状比が低下して苗木の健全性が向上しました。元肥に溶出期間700日の肥料を用いることは植栽後の初期成長の促進に有効と考えられます。

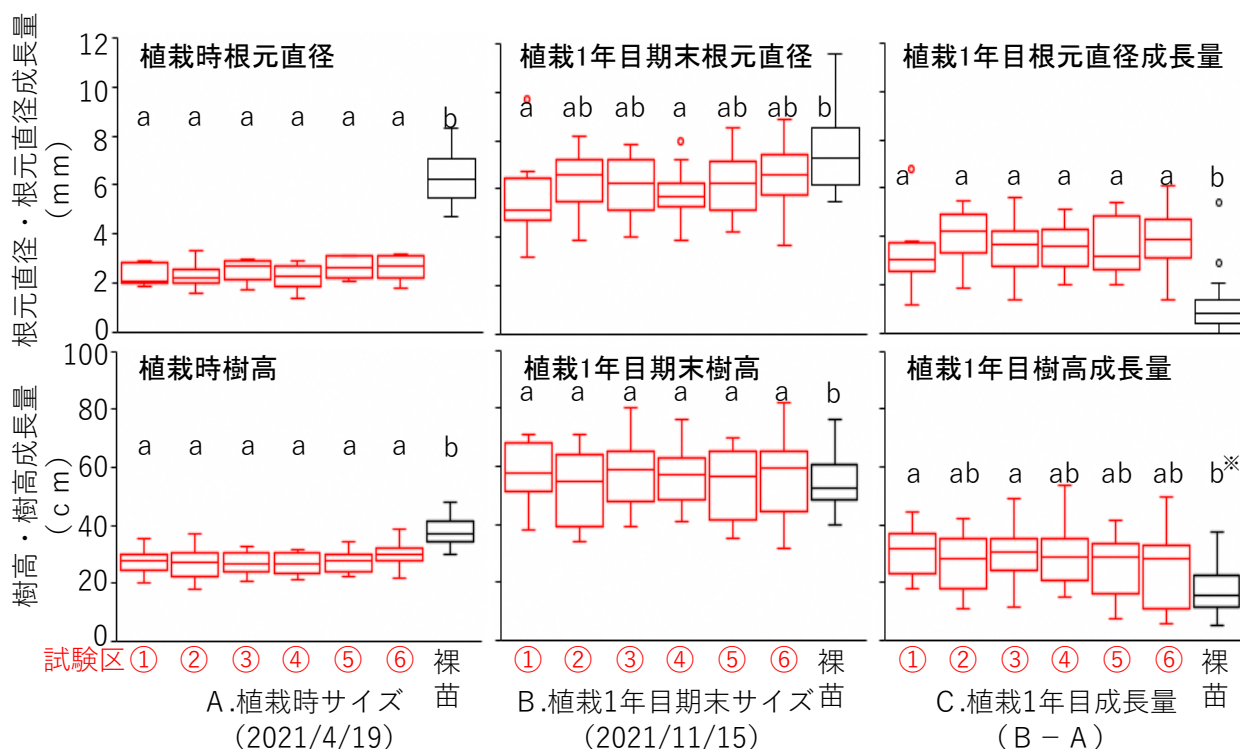


図2 植栽1年目の苗サイズ・成長量

※ 異なるアルファベットは試験区間にSteel-Dwass検定の5%水準で有意であることを示す。

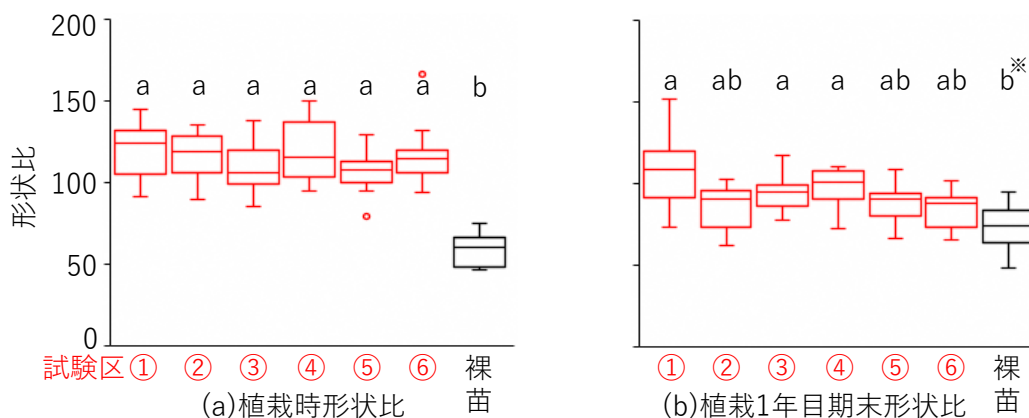


図3 植栽1年目の形状比

※ 異なるアルファベットは試験区間にSteel-Dwass検定の5%水準で有意であることを示す。

### 引用文献

渡邊仁志・茂木靖和・三村晴彦・千村知博 (2017) ヒノキにおける実生裸苗と緩効性肥料を用いて育成した実生コンテナ苗の初期成長. 日本森林学会誌99: 145-149

