スギエリートツリー１年生コンテナ苗の形状と初期成長

スギコンテナ苗育成の留意点として形状比（苗高 / 根元直径）が高いことによる植栽後の成長不良が指摘されてきました。そこで、エリートツリーから採取した種子で１年生コンテナ苗を育成し、苗木の出荷規格とその後の樹高、形状比を比較したところ、苗木の形状が初期成長に及ぼす影響は小さく、従来の流通苗同様の苗木形状で良好に成長しました。

出荷規格と形状比の関係

福島県と静岡県のスギに良く適した立地で、出荷規格が植栽後の成長に及ぼす影響について比較しました。植栽時に形状比が高い苗木もみられましたが、おおむね 100 以下に収まっていました。２箇所の事例における出荷規格と形状比の関係は、規格が大きいほど形状比が高い事例（静岡）と関係性が見られない事例（福島）が認められました（図2）。

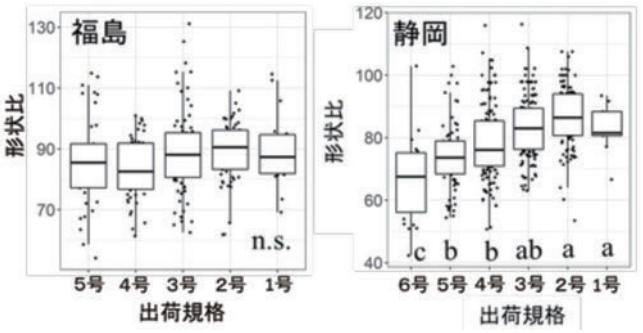

図２．エリートツリーから採取した種子によるコンテナ苗の出荷規格 * と形状比 ** の関係

形状比と３成長期後樹高の関係

３成長期後において静岡ではほぼすべて生残しているため生残率に出荷規格間差はありませんでしたが、福島では５号規格の生残率が低くなる傾向にありました。形状比と３成長期後の樹高の関係について、形状比によって一部統計的に有意な差がみられましたが、形状比と樹高には一貫した傾向はみられず、いずれの形状比の苗木もほぼ同様に良好な初期成長を示していました（図3）。

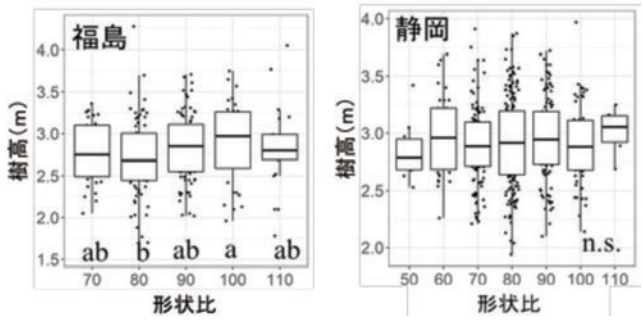

図３．エリートツリーから採取した種子によるコンテナ苗の出荷規格別（上図参照）の形状比と３成長期後の樹高の関係

出荷規格と３成長期後樹高の関係

出荷規格と３成長期後の樹高の関係について、各出荷規格の苗木の中央値は大きい出荷規格で高くなり、一部では統計的に有意な差がみられました。しかし、各規格間の樹高の分布の重なりは大きく、３年間で樹高に大きな差がなくなったと言えます（図4）。今回のような成長に適した立地では大半の個体が３成長期後に下刈りを終了できる 2.5m を超える樹高 (P.15) となり、エリートツリーは成長の良い苗木であることが確認されました。

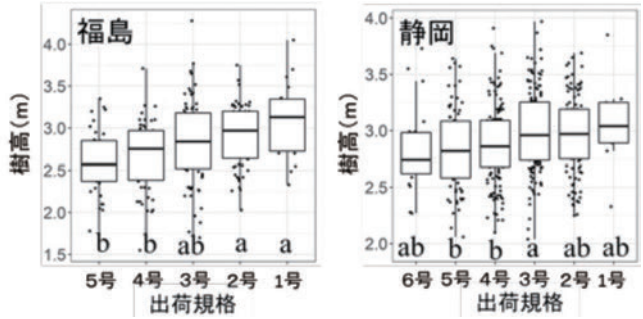

図４．エリートツリーから採取した種子によるコンテナ苗の出荷規格と３成長期後の樹高の関係

試験地のうち福島は林木育種センターが調査し、静岡は静岡県が調査した。両試験地とも年１回下刈り（全刈り）。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出荷規格間および形状比間に有意差はなく、また、n.s. は全比較において有意差がない（Bonferroni 調整した総当たりの Wilcoxon の順位和検定）。*出荷規格は、令和４年度の林野庁山林用主要苗木標準規格。**形状比は苗高（樹高）を根元直径で除した値で、図２の横軸の各目盛は、±５の幅の階を示す。福島および静岡の形状比はそれぞれ出荷前および植栽直後の測定値から形状比を算出。

施肥濃度を調整して得苗率をあげる

１成長期で播種から出荷までを行う１年生スギコンテナ苗の育成について、基本培土をヤシガラとした場合を事例とし、その元肥の施肥濃度を検討しました。調査の結果、育苗環境ごとに得苗率が高い元肥の施肥濃度が存在しました。また、育苗環境の温度により肥料混入量の調整が必要なこともわかりました。

育苗環境ごとに得苗率の高い施肥濃度が存在する

島根県でコンテナ苗に移植した芽生えについて、17 通りの元肥の施肥濃度で育苗試験を行いました。育苗終了時の芽生えの生残率、出荷可能な値以上の苗高、根元直径および根鉢形成率から施肥濃度ごとに得苗率を算出し、それぞれを曲線で近似しました（図5）。まず、施肥濃度の上昇に伴い苗高と根元直径が大きくなることで得苗率が向上し、ある濃度を境に生残率が急激に下降した結果、得苗率が低下しました。コンテナ苗育成事業への新規参入者や、最適な施肥濃度を過去に検討していない生産者は、それぞれの育苗環境に適した施肥濃度を検討されるとよいでしょう。

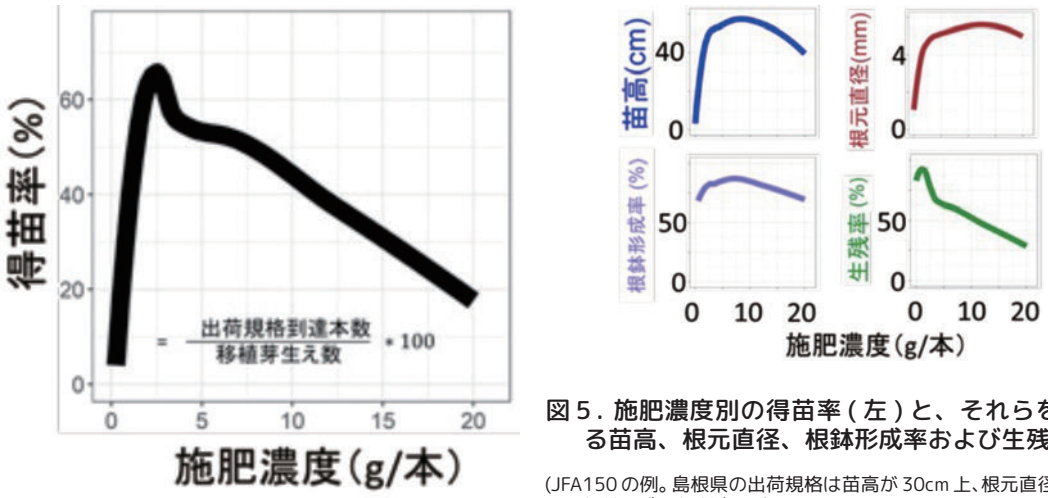

図５．施肥濃度別の得苗率（左）と、それらを構成する苗高、根元直径、根鉢形成率および生残率

（JFA150 の例。島根県の出荷規格は苗高が 30cm 上、根元直径が 3.5mm 上、根鉢形成は根が表面積の 35% 以上）

施肥は涼しい地域は多めに、暖かい地域は少なめに

本研究には様々な地域の試験研究機関が参画しており、各地域でスギコンテナ苗の育成に適した施肥設計を試行しました。その結果、複数機関で、芽生えやセル苗を移植して１成長期育苗すれば出荷規格を満たす苗木を生産することに成功しています。ここで得られた各担当者の経験に基づき、１年生コンテナ苗を育成するためのお勧めの元肥の施肥濃度を集約し、夏季平均気温と肥料の溶出指数（肥料の溶出具合）の関係を調べると、暖かい場所ほど溶出指数が小さい施肥設計となっていました（図6）。緩効性肥料は、同じ製品であっても、暖かい場所ほどより短期間に高濃度に養分が溶出する特性を持っています。この溶出指数と夏季平均気温の関係から、気温が高い地域では、肥料焼けしないように緩効性肥料を少なめに施用している傾向が認められます。

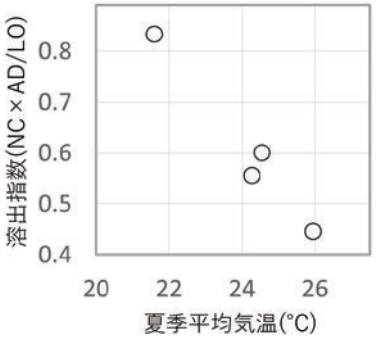

図６．夏季平均気温と溶出指数の関係

溶出指数はメーカーが表示している窒素含有率（%、NC）と溶出期間（日、LO）と各地での使用量（g/ 培土 L、AD）から算出した窒素の溶出度合いの指数。夏季平均気温は近傍測候所の 2018 年～ 2021 年の６月１日から９月 30 日までの気温の毎時測定値の平均値

気温で育苗作業計画を最適化する

気温を元にしてスギコンテナ苗の生育状況を予測できると、苗木生産事業のための各種作業に必要な人員の確保や苗木の需給調整を効率的に行うことができると考えられます。そこで、種子発芽時期および苗高成長と温度との関係を調べました。今回の成果から、気象庁が公開している気温データによる作業計画の策定が可能になると期待されます。

種子発芽に必要な積算温度

実際の苗木生産事業に近い環境環境において、エリートツリーのスギから採取した同じロットの種子を、全国6機関で3月上旬に播種し、発芽までに要する期間と気温の関係を調査しました。発芽までに要した日平均気温の積算値は、全国的に概ね350～500℃·日の範囲（図7の赤枠）にあり、積算温度から発芽時期を予測可能と考えられました。それぞれの苗木生産現場において、過去の作業日誌と近傍の測候所等の気温データを照合して芽生えが出そろう時期を予測することで、芽生えの移植に投入する人工数の確保を計画的に行うことが可能になるものと考えられました。

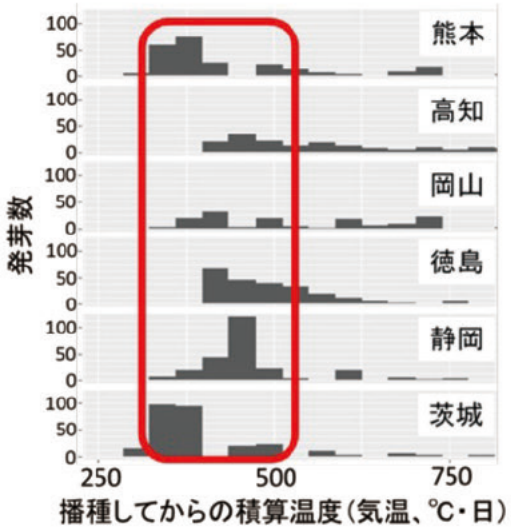

図7．積算温度と発芽数の関係

3月上旬に播種。積算温度は毎時測定した気温の日平均値を算出し、そのまま積算した値。

苗高成長は気温の積算温度と直線的に関係している

育苗期間と植物体の成長の関係は、従前から成長曲線へのあてはめによる表現が試行されてきました。しかし、曲線を形作るパラメータの推定には専門的な技術が必要です。本研究では、1年生コンテナ苗の育成において、横軸に積算温度、縦軸に苗高をとると、傾きの異なる2つの直線で苗高の経時変化を表現でき、移植後の芽生えが積算温度に対して右図のふたつの勾配で伸長することが分かりました（図8）。従って、近傍測候所等の過去の気温のデータから積算温度を算出し、芽生えの高さと移植する日を設定することで成長休止期までに到達できる苗高が推定できると考えられました。なお、現在取得中のデータによると、上記の直線の勾配は、育苗環境、施肥設計、生産された採種園により異なることがわかっています。そのためこうした育成スケジュールを策定するためには、公的試験研究機関などと連携して、地域ごとに関係式を明らかにする必要があります。

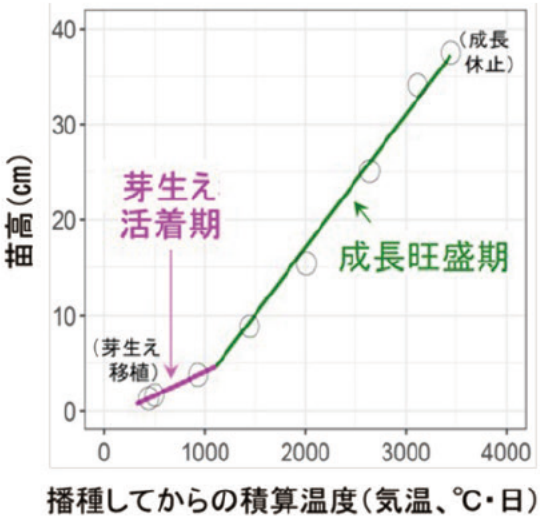

図8．積算温度と苗高の関係

茨城県日立市の事例。積算温度は毎時測定した気温の日平均値を算出し、5度を減じた値の積算値。横軸の零点は播種日。3月上旬に播種し、4月中旬に芽生え移植。10月末以降は伸長成長が観察されなかったため、解析には10月末までのデータを使用。

コラム：育苗時の秋施肥で植栽後の樹高成長を促進

コンテナ苗は裸苗と異なり、養分を吸収できる培地が根鉢の容量に制限されます。そのため、培地中の養分量を施肥により適切に管理する必要があります。育苗中に施用された元肥や追肥の肥効期間が過ぎると、苗木の緑色が明らかに薄くなります。コンテナ苗が規格に達していたとしても、養分不足で葉色が悪い場合、植栽後の初期成長が抑制されることが危惧されます。一方、地域によっては生育期間中に肥料を多く与えると徒長する場合があります。そこで、徒長を抑制しつつ、植栽時まで苗木の樹体内に養分を維持することを目的として、成長終盤の秋の追肥（秋施肥）に着目し、追肥量と追肥時期がスギコンテナ苗の形状と植栽後の成長に及ぼす影響を調べました。300cc のコンテナを用いて、元肥としてメーカー表示の肥効期間 100 日の緩効性肥料 1.8g/ 本（6g/ 培地 1 リットル相当）を 6 月上旬に与え、元肥の肥効期間が終了する 9 月上旬に元肥と等量（早い多い）及び元肥の 10 分の 1（早い少ない）の追肥、またその 1 ヶ月後の 10 月上旬に同様の処理（遅い多い）及び（遅い少ない）の追肥処理を行いました。育苗終了時の苗高は、早い時期に多く追肥をした場合に高くなり、遅い 10 月上旬の追肥では量が多くても顕著な徒長はみられませんでした（図 9（A））。また、翌春 3 月の苗木の地際直径は追肥が多い場合に大きくなることがわかりました（図 9（B））。育成したスギコンテナ苗を苗畑に植栽した結果、多く追肥した個体は、追肥時期によらず、植栽 1 年目の期末の樹高が高くなりました（図 10）。この樹高差は、植栽 2 年目の期末にも引き続き認められました。苗畑での試験結果ですが、育苗時の秋施肥により植栽後の初期成長が促進されることがわかりました。現在、国有林において同様の植栽試験を実施中です。今回の施肥量は追肥を併せても 3.6g/ 本ですので、多すぎる施肥量ではありません。元肥と追肥の量、追肥のタイミングを工夫することで、コンテナ苗のサイズの調整と植栽後の初期成長の促進を、より効果的に行うことが可能になると考えられます。

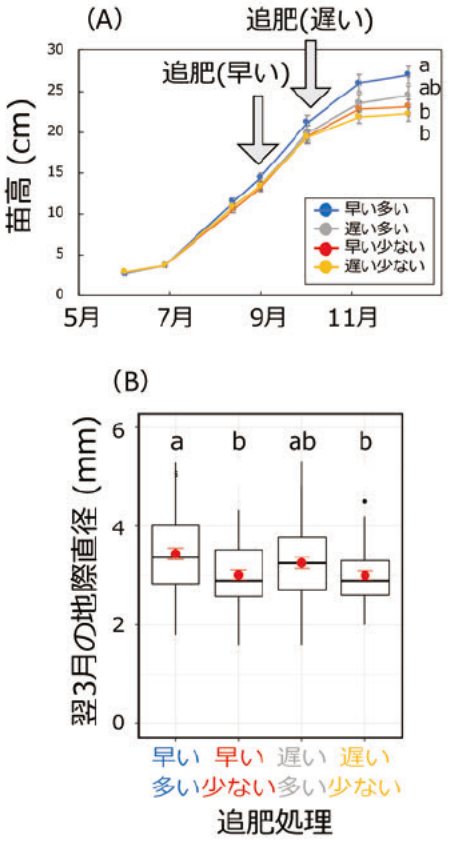

図 9．スギコンテナ苗育苗時の苗高の変化（A）と、翌 3 月の地際直径（B）

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の育苗試験の事例。4 月上旬に播種し、同月に発芽した苗を 5 月 28 日にコンテナ移植。

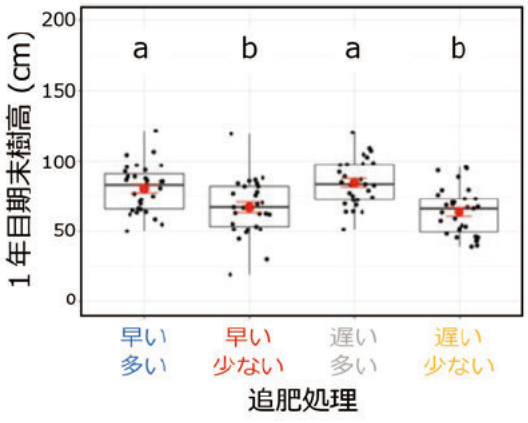

図 10. スギコンテナ苗植栽後 1 年目の期末樹高

茨城県つくば市の森林総合研究所苗畑での植栽試験の事例。

グルタチオン施用の効果を植栽後の林地で探る

酸化型グルタチオン（GSSG）は、多くの植物の成長促進に有効なことが認められています。そこで、スギの造林地への施用効果について検討しました。GSSG を含む肥料で育苗したスギの苗木は、植栽後の生残率が高く、樹高成長も GSSG を施用しない場合に比べて早くなりました。

育苗時の使用で、植栽地での生存率アップ

造林地での植栽木の活着不良による補植等の追加作業は経営に大きな影響を与えます。そこで、酸化型グルタチオン（GSSG）施用試験をスギの第一世代精英樹（中之条2）に対して行い、愛媛県に植栽しました。育苗時に GSSG を施用した苗木（育苗時○）は、植栽後の生残率が高いことがわかりました。特に育苗時と植栽時に GSSG を施用した場合に生残率が高く、グラフに示した試験地では、生残率は 100%でした（図 11）。育苗時に GSSG 施用しなかった場合は、徐々に生存率が低下しましたが、下刈りまでに雑草木との競争に負けた個体が増加した結果です。

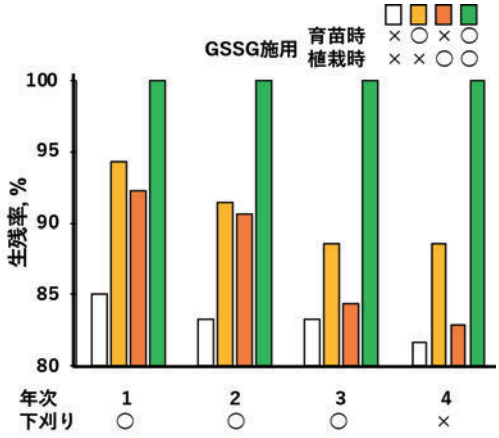

図 11. GSSG 施用の有無による植栽した苗木の生残率

GSSG 施用で樹高成長量増加

植栽時の GSSG 施用は、生残率だけでなく、樹冠面積、樹高成長にも効果が現れました。生残個体だけの樹高成長量を示すグラフ（図 12）では GSSG 施用によって樹高成長が早いことがわかります。3 年次の樹高の割合をみると、育苗時に GSSG 施用した場合はおよそ 7 割以上の個体が 150 cm の高さを上回っています（図 13）。生残率も確保して確実な成長効果を得るには、育苗時と植栽時の GSSG 施用が重要です。今後、確実な GSSG の施用効果を得るためには、地域に応じた様々な立地環境と施用条件の関係の解明が必要となってきます。

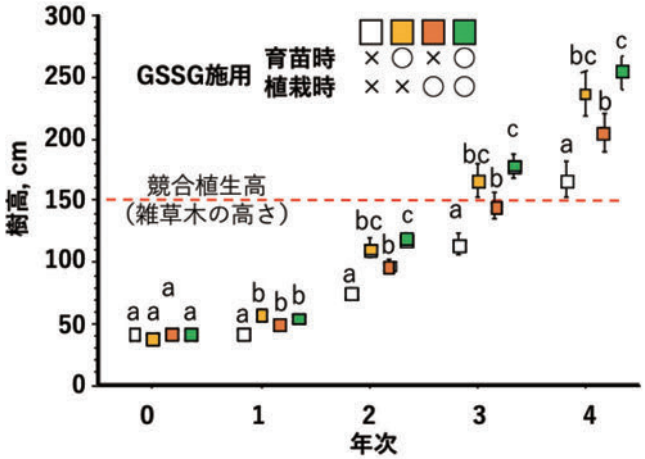

図 12. GSSG 施用の有無による植栽した苗木の樹高推移

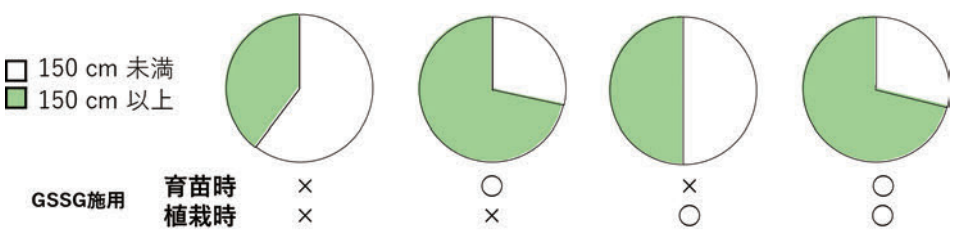

図 13. GSSG 施用の有無による樹高 150cm を基準とした 3 年次の樹高分布の割合

種子の品質とエリートツリー苗の成長

非破壊的に測定できる種子品質を表す指数である SQI によって、苗木の成長が異なることが明らかになってきました。SQI を基にして種子品質グレードを定めると、同じグレード内での成長のばらつきは小さく、得苗率の向上が期待できました。また、エリートツリー由来の種子品質は良く、従来の精英樹や少花粉系統の実生苗に比べて、苗の成長が早いことも分かりました。

SQI 値と苗木の成長

近赤外分光画像を取得することで種子品質を表す指数である SQI を知ることができます。この SQI 値が低い方が、育苗段階での苗木の平均的な成長速度が早いことがわかりました（図 14）。一般的に配布されている種子は右グラフの種子品質グレード A から H が混在しており、成長は大きくばらつきます。また、山行苗のサイズ（苗高、根元直径）も同様にばらつきます。種子のグレード選別を行えば、苗の成長のばらつきを抑えて得苗率をあげることができると期待されます。

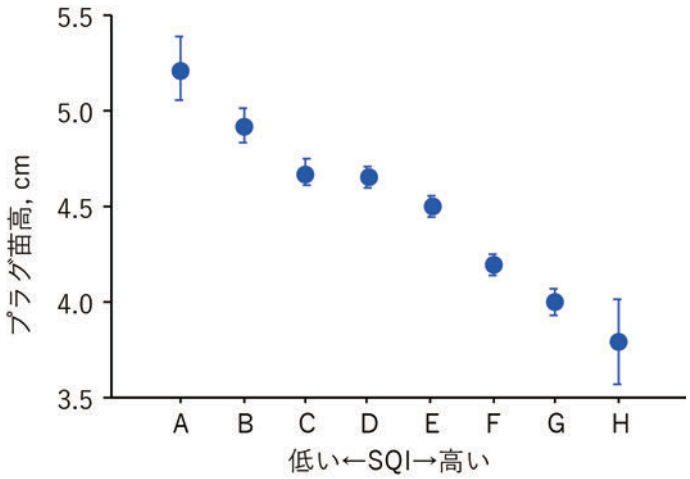

図 14. SQI 値に基づく種子品質グレードとプラグ苗高との関係

エリートツリーを母樹とする種子の SQI

エリートツリー 21 系統、少花粉 6 系統の平均 SQI 値と平均プラグ苗高の関係を調べると、エリートツリーを母樹とする種子の方が平均的な SQI が低く、苗高は高い傾向でした（図 15）。また、上述のプラグ苗の苗高でグレード分けしてコンテナに移植した結果、良いグレードほど一年次のコンテナ苗の高い成長が見込めることが分かりました（図 16）。従って、エリートツリー系統を母樹とする種子を用いることで、より効果的な育苗が可能になると期待されます。

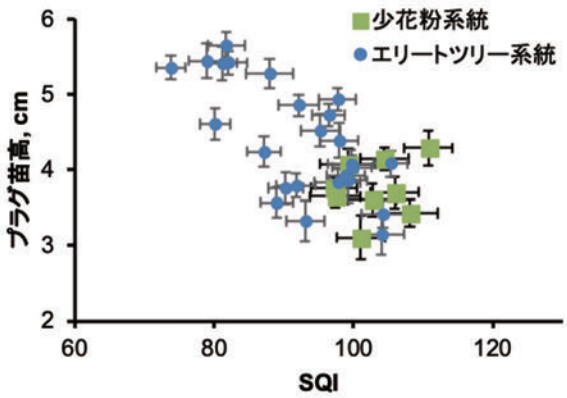

図 15. 実生プラグ苗高と SQI 値の関係

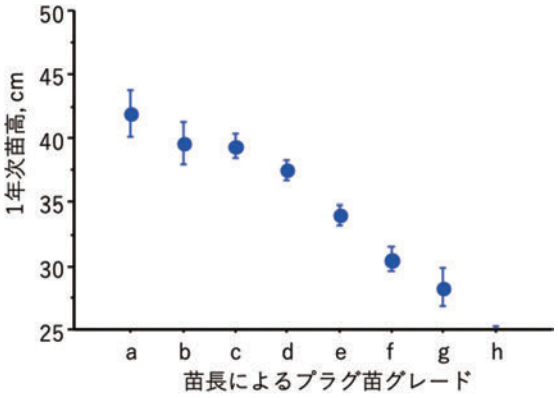

図 16. プラグ苗の苗長に基づく等級（グレード）分けと 1 年次秋のコンテナ苗の苗高の関係