

ISSN 2185-9167

林業技術総合センター研究報告

第30号

令和6年3月

宮城県林業技術総合センター

目 次

- 1 宮城県におけるカラマツ挿し木苗生産技術の開発・・・・・・・・・・・・・・ 1
- 2 雄性不稔（無花粉）スギ個体作出と品種開発に関する
研究（第2報）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 14

宮城県におけるカラマツ挿し木苗生産技術の開発

山崎 修宜

要 旨

カラマツの挿し木苗生産の事例がほとんど無い県内において、カラマツの2年生コンテナ苗を採穂用の台木とした場合の採穂量と密度の関係、挿し穂を発根させるまでの管理方法、発根後の育苗について検討した。2年生のコンテナ苗を台木とする場合、育苗環境の密度を低くすると、採穂量が少なくなることが示唆された。挿し床の温度の上昇を抑制し、高い湿度を維持すると発根率が高くなることが示唆されたが、挿しつけて間もない挿し穂では梅雨明け後の高温に耐えられない可能性があるため、梅雨の期間を考慮した挿しつけ日の選定や、挿し床を被覆する資材の種類や枚数の調整が必要である。発根後の育苗試験では、発根時の苗高よりも発根した翌年の成長期間の管理が重要であることが示唆されたが、1成育期間では県内の出荷規格に達する苗を得ることができず、育苗期間の短縮を図る場合は施肥と散水の条件を検討する必要があると考えられた。

キーワード: カラマツ、挿し木、育苗

1 はじめに

従来、カラマツは加工する過程でくるいやねじれが生じやすく、これまで木材として扱いにくい樹種とされていたが、近年の乾燥技術の改良により、そのような欠点が克服されるとともに、合板や集成材をはじめ、幅広く利用されて需要が増大し、再造林樹種として期待が高まっている。

しかし、県内においてカラマツの種苗供給体制は確立していないため、採種園の改良や育苗技術の開発が課題となっている。カラマツの結実年齢は胸高直径20cm程度の個体で12~15年生とされており（浅川ら、1981）、採種園を整備し、種子を供給するまでには多くの時間を必要とすることに加え、種子生産には著しい豊凶性があるため、安定的な種子の供給に課題がある。

一方で、カラマツの挿し木苗生産は、台木が若いほど発根率が高く（石川、1968）、北海道ではグイマツ雑種F₁の2年生苗から採取した挿し穂で、挿し木増殖に成功した事例（黒丸ら、2003）や、群馬県では密閉環境による挿し木技術とマルチキャビティコンテナ（以下、コンテナという。）の育苗技術を合わせた報告がある（中村、2019）。本研究では、これらの先行研究を参考に、カラマツの挿し木苗生産について事例がほとんど無い県内で、採穂台木の育成、発根に係る管理手法、発根後の育苗について検討した。

2 方法

試験・調査は宮城県中央部に位置する大衡村内の同県林業技術総合センター内苗畑（以下、センターという。）で行った。

2.1 カラマツ採穂量調査

採種園では成育中の密度環境が採穂量に影響を与えるとの報告（石崎、1960）があるが、カラマツの苗木でも同様のことが起こるか検討するため、密度を変えて育苗した採穂用台木（以下、台木という。）の採穂量を調査した。台木は採穂後に山行き苗として活用することが望ましく、植栽期間が長く確保でき（岩井ら、2012）、低コスト造林に貢献する（今富、2011）コンテナ苗とすることを考え、コンテナ（JFA150）で育苗した。すなわち、1コンテナ（JFA150）あたりの育苗本数を中央1列（8孔）を空けた32本（以下、32

本区という。)と、千鳥状にした 16 本(以下、16 本区という。)の 2 つの条件を 15 コンテナずつ育苗し、生存率、苗高、根元径、採穂量を計測した(図 1)。育苗にはセンター内の精英樹カラマツから採取した種子を供試し、採穂量は、2 年生苗まで育苗した後、4～7 cm の当年枝を剃刀で採取し、計測した(写真 1)。2019 年 3 月にバーミキュライトを充填した育苗箱に播種し、発芽した個体を 2019 年 4 月にコンテナ育苗培土((株)トップ)を充填したコンテナに移植した後、適宜灌水を行いつつ、2019 年 6 月から計測日までの間、落葉期間を除き、7 日に 1 回、ハイポネックスユニバーズブルー(18-11-18)の 1000 倍希釈液を、コンテナから滴る程度に追肥した。2020 年 6 月 11 日に生存率、苗高、根元径、採穂量を計測した。

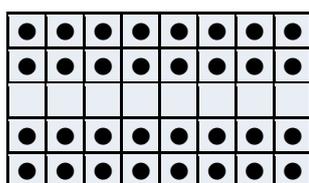


図 1 32 本区(左)と 16 本区(右)
●は苗木がある孔を表す。



写真 1 台木からの採穂

2. 2 カラマツ発根試験

発根試験は 2020 年と 2021 年に行った。2020 年は 2. 1 カラマツ採穂量調査の台木から採取した挿し穂を使用し、発根試験を行った。挿し床の培地は群馬県で普及している培土(群馬県林業試験場、2019)を参考に、ココピート、鹿沼土、バーミキュライトを 4 : 1 : 1 で配合し均一に攪拌した用土(以下、培土 A という。)と、県内苗木生産者が一般的に使用するコンテナ苗木育苗培土((株)トップ)(以下、培土 B という。)を使用し、それぞれを充填したコンテナに挿し穂を挿しつけた(写真 2)。挿しつける深さは穂全長の 1/3 程度とした。

穂を挿しつけたコンテナは露地に防草シートを敷いた上に設置し、ダンポールとビニールシートで作ったトンネルで密閉状態にすることを基本とし、外側に設置する被覆資材の種類の違いにより挿し床の条件を設定した。すなわち、ビニールシートのみで被覆しない区(以下、ビニール)、ビニールシートの上から遮光ネット(遮光率 60%)で被覆した区(以下、ネット)、ビニールシートと遮光ネットの間に寒冷紗(黒、遮光率 51%)を足して被覆した区(以下、寒冷紗)を設定し(写真 3、写真 4、写真 5)、全ての挿し床は太陽光を遮るものが無い露地に設置した。また、これらの条件以外にセンター内のスギ挿し穂を発根させるための設備である、鉄骨ファイロンミストハウスにも穂を挿しつけたコンテナを設置し、ビニールシートと寒冷紗で被覆した区(以下、ミスト)を設定した(写真 6)。2 種類の培地を充填したコンテナを各 3 コンテナ(挿しつけ本数 40 本/コンテナ)、ミストのみ各 6 コンテナ設置した。挿しつけとコンテナの設置は 2020 年 6 月 11 日に行った。挿しつけ後の灌水はジョウロを使用し、挿しつけ後 30 日間は 1 日 1 回行い、その後は 2～3 日に 1 回とした。2020 年 9 月 10 日から野外環境に順化させるため、ビニールシートの側面を開放し、その後 1 週間毎に、被覆資材を内側のビニールシートから順に 1 枚ずつ除去した。

2021 年はセンター内の精英樹カラマツの種子から育苗した 2 年生苗(以下、精英樹という。)の他、宮城県農林種苗農業協同組合(以下、県苗組という。)で販売し、県内で一般的に流通しているカラマツの 2 年生苗(以下、一般苗という。)からも採穂し、発根試験に使用した。2020 年と同様に培土 A と培土 B を充填したコンテナに挿しつけ、挿し床の被覆条件はネットと寒冷紗のみとした。精英樹の採穂と挿しつけは 2021 年 6 月 18 日に行い、一般苗の採穂と挿しつけは 2021 年 7 月 1 日に行った。挿しつけ後の灌水は 2020 年と同様に行い、精英樹から採穂した集団は 2021 年 9 月 27 日、一般苗から採穂した集団は 2021 年

10 月 4 日から野外環境に順化させるため、ビニールシートの側面を開放し、その後 1 週間毎に、被覆資材を内側のビニールシートから順に 1 枚ずつ除去した。

両年ともに各挿し床内にウォッチロガー (KT-255F) を設置し、2020 年は挿しつけた翌日からビニールシートの側面を開放するまで、2021 年は挿しつけた翌日から 80 日が経過するまで、温度と湿度を 30 分間隔で計測し、気象庁の過去の気象データ (気象庁、2022) と合わせて各挿し床の温度と湿度を検討した。なお、湿度について、計測がエラーとなっていた箇所があり、それらは解析から除外した。各挿し床の光環境を検討するため、2020 年 8 月 4 日に光量子センサー (Apogee、SQ-500) と電圧データロガー (VR-71) を使用し、各条件の挿し床と、全天条件としてセンター内研修館屋上で光量子束密度を計測し、相対光量子束密度を算出した。光量子束密度の計測は、各挿し床を 2 分置きに計測することを 30 分間隔で 18 回繰り返して行った。

2020 年は 12 月 7 日、2021 年は 2022 年 1 月 5 日に全個体を軽く引っ張り、引き抜けなかった個体を発根していると判断し、苗高を計測し、発根率を算出した。



写真2 挿しつけた直後のカラマツの挿し穂



写真3 ビニール



写真4 ネット



写真5 寒冷紗



写真6 ミスト



写真7 発根後、展葉したカラマツの挿し穂

2. 3 挿し木カラマツ育苗試験

2020 年の発根試験で得た挿し木苗を用いて育苗試験を行った (写真 7)。場所はセンター内の自動散水スプリンクラーがある苗畑で行い、2021 年 5 月から 10 月までの間は 7 日に 1 回、ハイポネックスユニバーゾルブルー (18-11-18) を 1000 倍に希釈し、コンテナから滴る程度の量を追肥した。2022 年 1 月 5 日に苗高と根元径を計測し、発根時の挿し床条件別に比較した。

なお、統計解析は統計ソフト R ver. 4.1.2 を使用した。

3 結果

3. 1 カラマツ採穂量調査

台木 1 本あたりの平均採穂量は 32 本区で 9.7 ± 5.0 本 (±SD)、16 本区で 8.0 ± 5.6 本となり (図 2)、有意な差が認められた (t 検定、 $p < 0.05$)。生存率は 32 本区で 67.1%、16 本区で 37.1% となり、有意な

差が認められた (カイ二乗検定、 $p < 0.05$) (図 3)。平均苗高は 32 本区で 20.2 ± 3.9 cm、16 本区で 16.3 ± 3.1 cm となり (図 4)、有意な差が認められた (t 検定、 $p < 0.05$)。平均根元径は 32 本区で 4.4 ± 0.7 mm、16 本区で 4.5 ± 0.9 mm となり (図 5)、有意な差は認められなかった (t 検定、 $p > 0.05$)。採穂量と苗高との間に中程度の相関 ($r = 0.41$ 、無相関検定、 $p < 0.05$) が認められ (図 6)、採穂量と根元径の間には相関 ($r = 0.21$ 、無相関検定 $p > 0.05$) が認められなかった (図 7)。

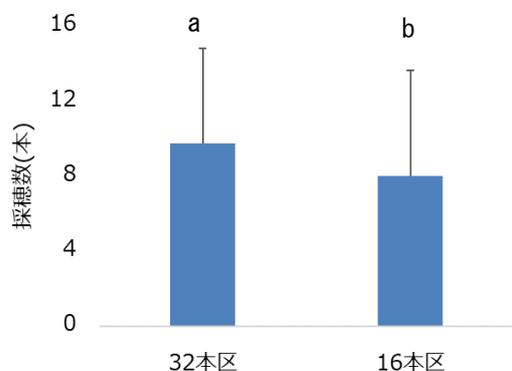


図 2 平均採穂量 (以下、エラーバーは標準偏差を、異なるアルファベットは有意差 ($p < 0.05$) を表す)

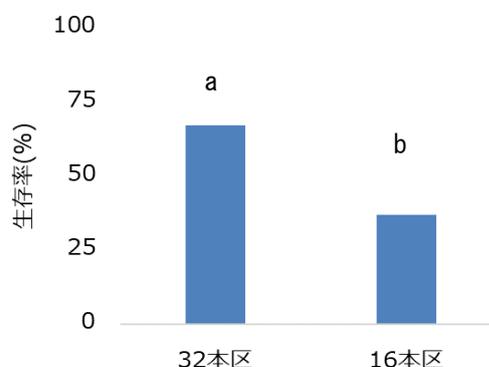


図 3 生存率

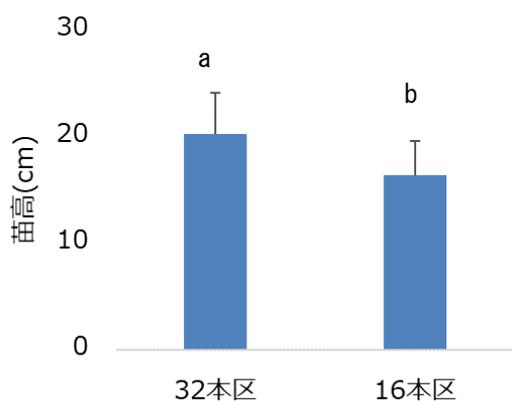


図 4 平均苗高

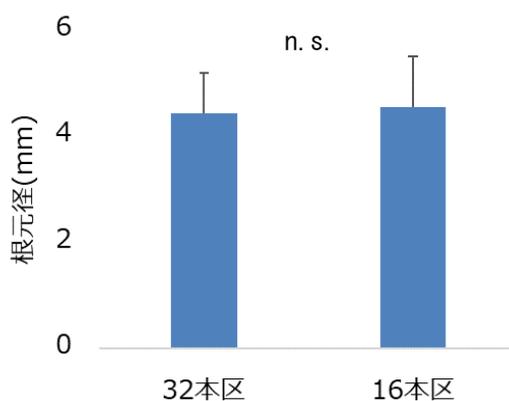


図 5 平均根元径

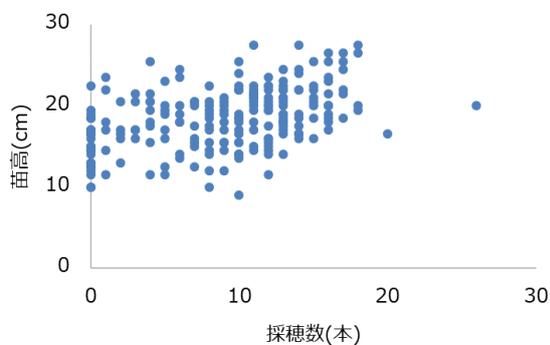


図 6 苗高と採穂数

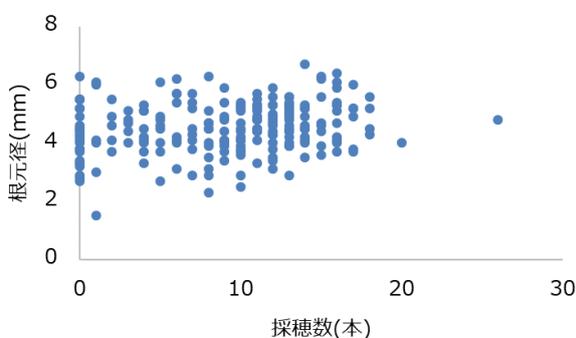


図 7 根元径と採穂数

3. 2 カラマツ発根試験

3. 2. 1 2020 年の発根試験

条件別の発根率を図 8 に示す。各条件の発根率はビニール培土 A (挿し床の被覆条件+培土条件を表す。) とビニール培土 B が 0%、ネット培土 A が 98%、ネット培土 B が 92.5%、寒冷紗培土 A が 88.3%、寒冷紗培土 B が 90%、ミスト培土 A が 76.2%、ミスト培土 B が 40.8% であり、条件間で有意な差が認められた (カイ二乗検定および残差分析、 $p < 0.05$)。条件ごとの平均苗高を図 9 に示す。平均苗高はミスト培土 B が 9.4 ± 2.7 cm と最も高く、条件間で有意な差が認められた (Tukey Kramer 検定、 $p < 0.05$)。

各挿し床の温度について、表 1 に示す。また、日推移の参考として計測期間中に各挿し床の最高温度を観測した 2020 年 8 月 3 日の温度の推移を図 10 に示す。試験期間中の平均温度と最高温度はビニール>ネット>ミスト>寒冷紗の順に高く、ビニールは最高温度が 69.8°C 、最低温度が 12.7°C であり、最高温度と最低温度の差が条件間で最も大きかった。一方、ミストは最低温度が 18.2°C と条件間で最も高く、最高温度が 46.4°C であり、最高温度と最低温度の差が最も小さかった。各挿し床の湿度について表 2 に示す。また、日推移の参考として 2020 年 8 月 3 日の湿度を図 11 に示す。試験期間中の平均湿度はミスト>寒冷紗>ネット>ビニールの順に高く、ビニールは湿度のばらつきが最も大きかった。各挿し床の相対光量子束密度の平均値は、ビニールで $56.8 \pm 11.5\%$ 、ネットで $23.8 \pm 4.9\%$ 、寒冷紗で $11.3 \pm 2.8\%$ 、ミストで $12.4 \pm 2.6\%$ であり、一部の条件間で有意な差が認められた (Steel Dwass 検定、 $p < 0.05$) (図 12)。

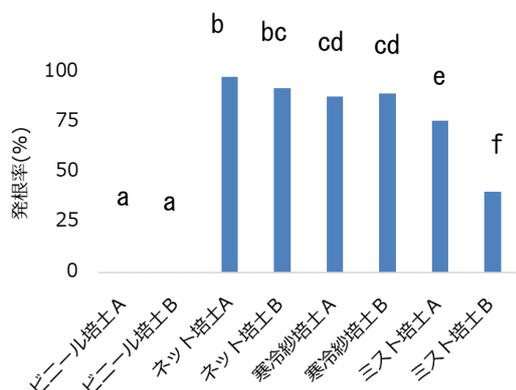


図 8 発根率

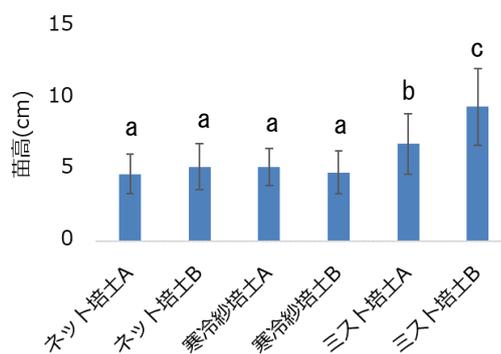


図 9 平均苗高

表 1 条件別の挿し床内の温度

	平均温度 (±SD) (°C)	最高温度 (°C)	最低温度 (°C)
ビニール	30.9 (±12.1)	69.8	12.7
ネット	26.3 (±6.8)	48.2	14.6
寒冷紗	25.1 (±5.4)	44.1	14.8
ミスト	27.1 (±5.3)	46.4	18.2

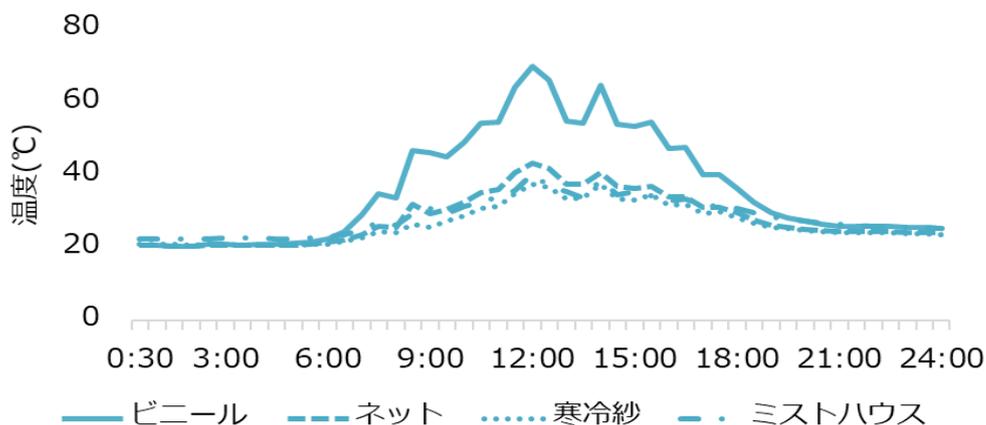


図 10 2020 年 8 月 3 日の各挿し床条件内の温度推移

表 2 条件別の挿し床内の湿度

	平均湿度 (±SD) (%)	最高湿度 (%)	最低湿度 (%)
ビニール	89.7±16.3	99.0	35.0
ネット	98.2±3.3	99.0	69.0
寒冷紗	98.9±0.0	99.0	96.0
ミスト	99.0±0.0	99.0	99.0

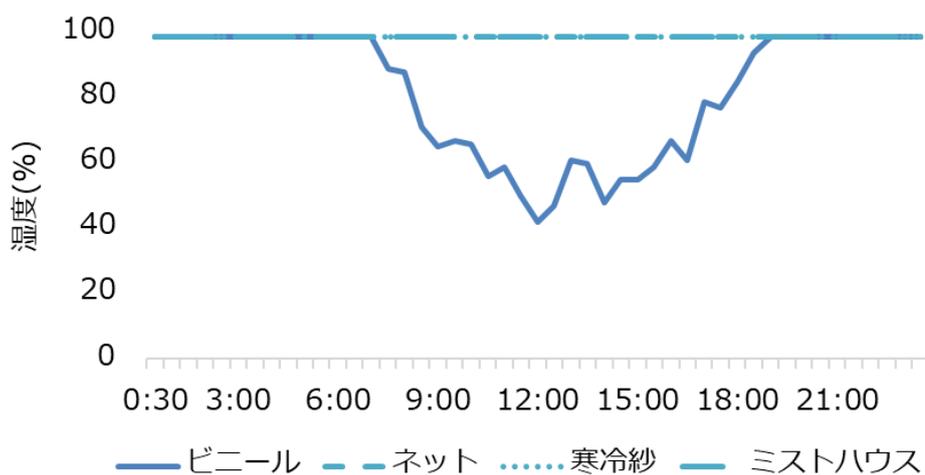


図 11 2020 年 8 月 3 日の各挿し床条件内の湿度推移

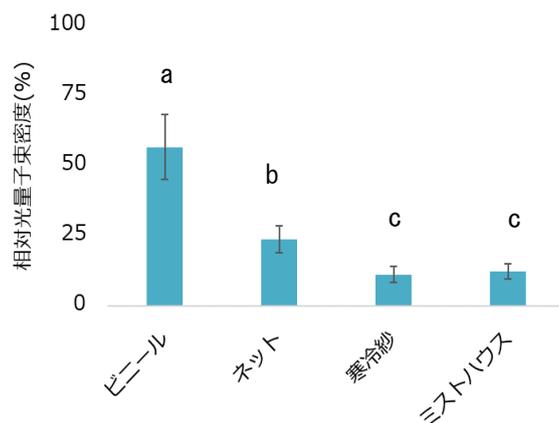


図 12 平均相対光量子束密度

3. 2. 2 2021 年の発根試験

条件別の発根率を図 13 に示す。各条件の発根率は、精英樹ネット培土 A（挿し穂条件+挿し床の被覆条件+培土条件を表す。）で 9.1%、精英樹ネット培土 B で 42.5%、精英樹寒冷紗培土 A で 99.1%、精英樹寒冷紗培土 B で 99.1%、一般苗ネット培土 A で 0.8%、一般苗ネット培土 B で 1.6%、一般苗寒冷紗培土 A で 98.3%、一般苗寒冷紗培土 B で 90.8% となり、一部の条件間で有意な差が認められた（カイ二乗検定および残差分析、 $p < 0.05$ ）。条件ごとの平均苗高を図 14 に示す。平均苗高は精英樹寒冷紗培土 A が $4.7 \pm 1\text{cm}$ と最も高く、一部の条件間で有意な差が認められた（Tukey Kramer 検定、 $p < 0.05$ ）。なお、一般苗ネット培土 A と一般苗ネット培土 B は発根個体が少なかったため、苗高の解析からは除外した。

各挿し床の温度について、表 3 に示す。また、日推移の参考として計測期間中に最高温度を観測した 2021 年 7 月 20 日の温度の推移を図 15 に示す。平均温度と最高温度は一般苗ネット > 精英樹ネット > 一般苗寒冷紗 > 精英樹寒冷紗の順に高かった。各挿し床の湿度について表 4 に示す。また、日推移の参考として 2021 年 7 月 20 日の湿度を図 16 に示す。平均湿度は精英樹寒冷紗 > 精英樹ネット > 一般苗寒冷紗 > 一般苗ネットの順に高く、挿し付け日が遅い一般苗の挿し床の湿度のばらつきが大きい傾向が見られた。

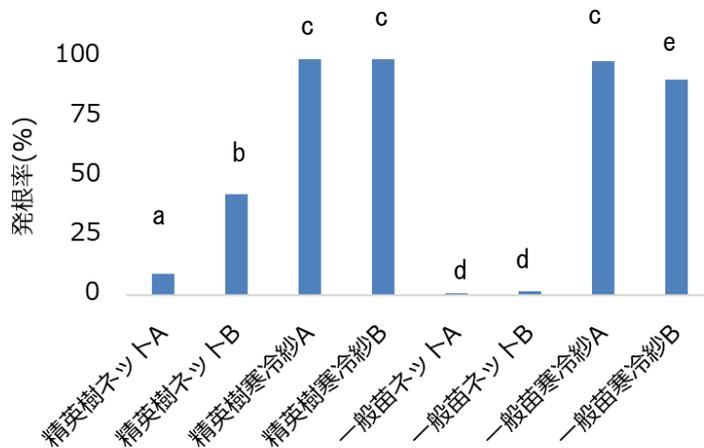


図 13 発根率 (2021 年)

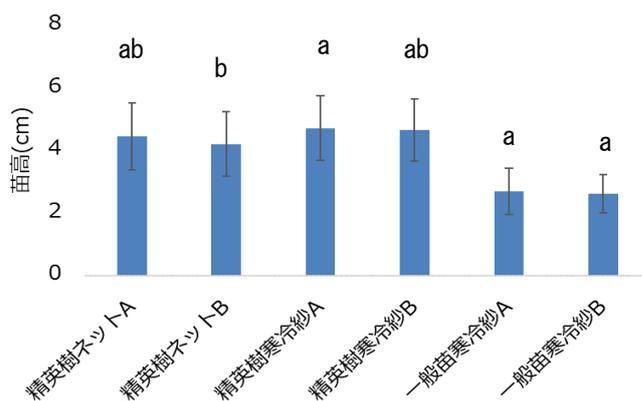


図 14 平均苗高 (2021 年)

表 3 各条件の挿し床内の温度 (2021 年)

	平均温度(±SD) (°C)	最高温度	最低温度
精英樹ネット	26.3(±6.8)	48.8	15.9
精英樹寒冷紗	25.2(±5.6)	44.6	16.3
一般苗ネット	26.5(±7.2)	50.9	13.8
一般苗寒冷紗	25.3(±5.8)	45.9	14.8

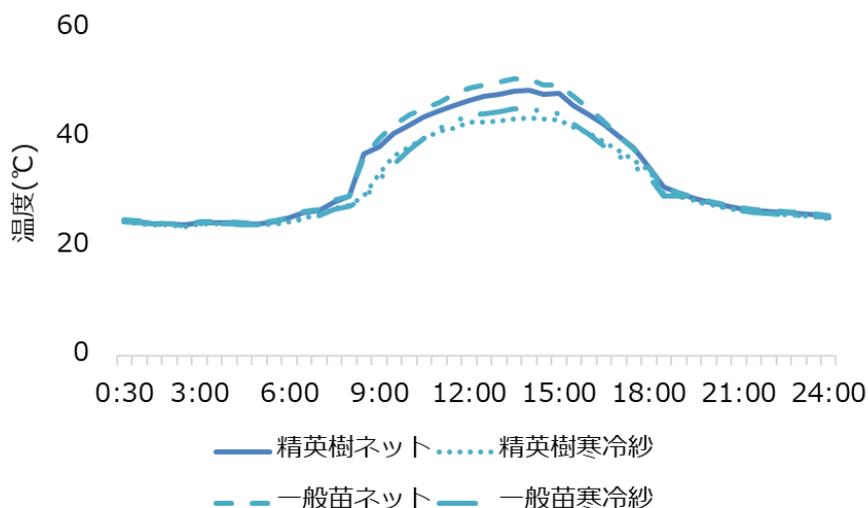


図 15 各条件の 2021 年 7 月 20 日の挿し床内の温度推移

表 4 各条件の挿し床内の湿度 (2021 年)

	平均湿度(±SD) (°C)	最高湿度	最低湿度
精英樹ネット	98.9(±0.0)	99.0	97.0
精英樹寒冷紗	99.0(±0.0)	99.0	99.0
一般苗ネット	97.7(±4.7)	99.0	71.0
一般苗寒冷紗	98.7(±1.8)	99.0	81.0

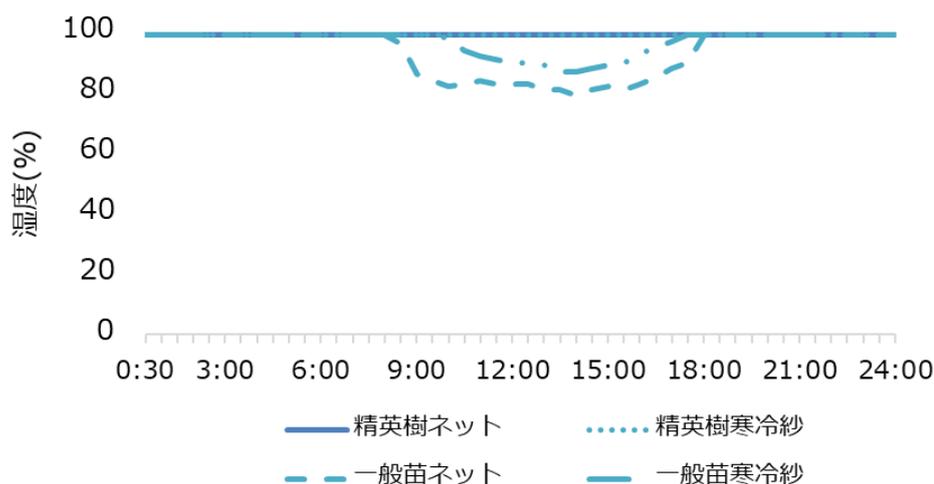


図 16 各条件の 2021 年 7 月 20 日の挿し床内の湿度推移

3. 3 育苗試験

生存率を図 17 に示す。生存率が最も高かったのはネット培土 A86%で、ミスト培土 B が 58.3%と最も低くなり、一部の条件間で有意差が認められた (カイ二乗検定および残差分析、 $p < 0.05$)。条件ごとの平均苗高を図 18 に示す。苗高はネット培土 B が 28.2 ± 7.5 cm と最も高く、2020 年の発根後の苗高が最も高かったミスト培土 B が 19 ± 5.4 cm と最も低くなった。また一部の条件間で有意な差が認められた (Tukey Kramer 検定、 $p < 0.05$)。条件ごとの平均根元径を図 19 に示す。根元径はネット培土 A 3.7 ± 0.6 mm とミスト培土 B 3.7 ± 0.8 mm が大きくなったが、条件間で有意な差は認められなかった (Tukey Kramer 検定、 $p > 0.05$)。

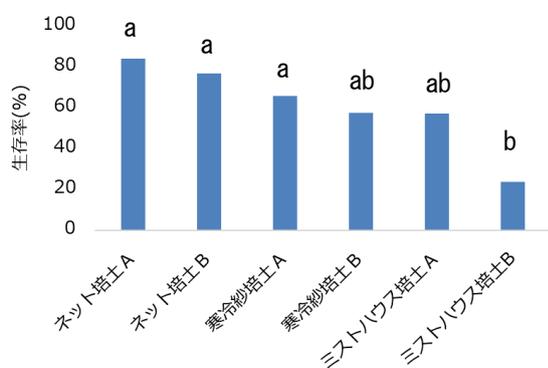


図 17 生存率 (育苗試験)

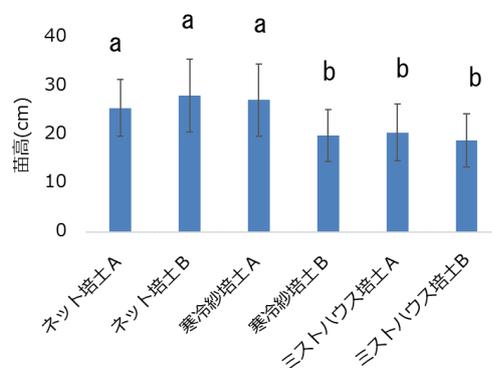


図 18 平均苗高 (育苗試験)

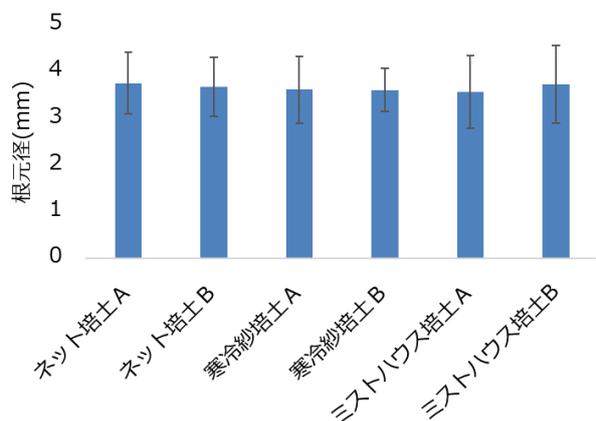


図 19 平均根元径 (育苗試験)

4 考察

4. 1 採穂量調査

本試験は台木とした2年生コンテナ苗も採穂後の育苗で山行きコンテナ苗にすることを想定したため、コンテナ容器で育苗した際の2年生苗の採穂量と密度の関係を検討した。コンテナ苗は育苗密度を高くすることにより、肥大成長と枝張りが抑制される傾向があるため(三木、2013)、密度が高い32本区の採穂量が少なくなるかと思われたが、32本区の採穂量と苗高が有意に大きくなり、一方で、根元径では有意な差が認められなかった。このことから、2年生苗を台木とし、採取する挿し穂を4~7cmの当年枝とした場合は、台木のサイズが小さいために、肥大成長と枝張りを抑制する高密度環境の影響を受けなかったことが考えられた。また、採穂量と苗高に中程度の相関が見られたことから、苗高が高いほど枝数が多くなり、採穂量が多くなったことが考えられた。32本区と16本区の生存率と苗高の差は明らかにできなかったが、16本区が低密度であったため、地表面の培土が乾きやすかったことが影響したと考えられた。

4. 2 発根試験

2020年の発根試験では、ビニールの平均温度と最高温度が最も高かったことに加え、湿度のばらつきも大きく、高温によるストレスと、蒸散によって挿し穂の水分が放出され、枯れてしまったことが考えられた。発根に適した温度は25℃付近(森下ら、1972)との報告がある中で、今回の試験でネットと寒冷紗は平均温度が25℃以上まで上昇したが、発根率が高かった。これはネットと寒冷紗の湿度が高く保たれたことにより、挿し穂の蒸散が抑制されたためと考えられ、温度の上昇があっても覆いを取らず、挿し穂の蒸散を抑える方が効果的な場合が多いという町田(1974)の報告と一致する結果と考えられた。ネットよりも寒冷紗の発根率がわずかに低くなったが、寒冷紗の相対光量子束密度がネットよりも低いいため、光合成活動の差が影響していると考えられた。ネットと寒冷紗では、同じ被覆条件間で培土の違いによる発根率に有意な差がなかったため、ネットと寒冷紗で被覆した挿し床では、培土の違いに関わらず、同等の発根率が得られることが考えられた。

ミストは温度、湿度のばらつきが条件の中で最も小さく、安定していたが、発根率が低くなった。発根しなかった挿し穂の傾向として、ネットと寒冷紗は穂の切断面にカルスを形成したまま発根せず、地上部が外見上は健全に見える個体が多かったが、ビニールとミストは穂の先端または地上部が萎れてしまった個体が多かった(写真8、写真9)。ビニール、ネット、寒冷紗の散水は、挿しつけ後30日間は1日1回、その後は2~3日に1回のジョウロでの散水だったのに対し、ミストは挿しつけ後から試験終了まで、1時間ごとに1分間のスプリンクラーによるミスト散水を1日9回行っていたため、他の挿し床よりも散水の回数が多かった。これはセンターが同施設でスギの挿し穂を発根させる時と同様の散水だったのだが、カラマツの挿し穂にとっては水分が過剰となり、挿し穂が腐敗したことが考えられた。ミストの条件の中で、ココピートと鹿沼土に、排水性に優れるバーミキュライトを混合した培土Aが、培土Bよりも発根率が高かったことから、散水量の過多と挿し穂の腐敗によって発根率が低下したことが示唆された。また、ミストの発根した穂の苗高が他の条件よりも高かったことから、安定した温度と湿度、多く供給された水分により、挿し穂の新芽が伸長してしまい、発根率が低くなったことが考えられた。

さし木の事業化には71%以上の発根率が望ましいとの報告(戸田ら、1983)があり、2020年の発根試験で71%以上の発根率を得られた条件はネット培土A、ネット培土B、寒冷紗培土A、寒冷紗培土B、ミスト培土Aであった。そこで2021年の発根試験は2020年の試験で発根率が高かったネット培土A、ネット培土B、寒冷紗培土A、寒冷紗培土Bで再度、発根試験を行い、2020年の試験結果の再現性と、県内で一

般流通するカラマツの2年生苗の挿し穂を用いた場合でも同様の結果を得られるか検証することを目的に実施した。

結果、寒冷紗は培土と挿し穂の違いに関わらず、発根率が2020年と同程度または高くなったが、ネットでは発根率が著しく低くなった。2020年と2021年のネットの温度と湿度を見ると、湿度は両年ともに平均値、最高値、最低値、いずれも同程度であったが、温度は2021年が高い傾向があった。挿し穂は採穂してから発根するまで水分のバランスが崩れやすい時期にあり(森下ら、1972)、カラマツの挿し木は挿しつけてから1ヶ月間が最も重要な時期ともいわれている(群馬県林業試験場、2019)。2021年にネットの挿し穂の半分以上が枯れたのは、精英樹挿し穂を挿しつけてから28日目、一般苗の挿し穂は挿しつけてから16日目の2021年7月16日であり、前日までよりも気温が急激に高くなった日でもあった。2020年と2021年の挿しつけ後30日間の平均、最高、最低温度を見ると、2020年は平均 $23.7 \pm 2.5^{\circ}\text{C}$ 、最高 44°C 、最低 14.6°C であったのに対し、2021年は精英樹挿し穂のネットで平均 $24.8 \pm 6.2^{\circ}\text{C}$ 、最高 48.5°C 、最低 15.9°C 、一般苗の挿し穂のネットで平均 $27.7 \pm 7.3^{\circ}\text{C}$ 、最高 50.9°C 、最低 18.7°C で、いずれも2021年の温度が高く、2021年は挿し穂が高温に耐えきれなかったため、発根率が低くなったことが示唆された。

2021年のネットの挿し穂の半数以上が枯れた2021年7月16日は同年の南東北の梅雨明け日(気象庁、2022)でもあったことから、2021年の挿しつけ後30日間の温度が高くなった要因として、挿しつけ日が遅くなったことと、梅雨期間の長さが考えられた。2020年と2021年の梅雨期間を見てみると、2020年は平年よりも期間が長い一方で、2021年は平年よりも期間が短く、当年の試験で挿し穂を挿しつけてから30日を経過する前に梅雨が明けていた(気象庁、2022)(表5)。梅雨明け後は気温が著しく上昇し、挿しつけて間もない挿し穂には厳しい温度となるため、ネットを挿し床とする場合、高い発根率を確保するためには、梅雨明け日の30日以上前には挿しつけを完了する必要があると考えられた。

寒冷紗は2回の発根試験で、挿し穂、培土の条件によらず、発根率が90%以上と高くなった。中村(2019)は、梅雨明け後の気温が上昇する日中等の時期は遮光ネットを二重にするなど直射日光を遮る工夫を行い、挿し床内の温度を上昇させない育苗管理が重要としており、2021年の寒冷紗の発根率が高くなったのは、この報告を支持するものと考えられた。また、2021年は6月18日に挿しつけた精英樹苗の挿し穂だけでなく、2021年7月1日に挿しつけた一般苗の挿し穂の寒冷紗の発根率も培土A、培土Bともに90%以上と高いことから、挿しつけ時期を長く確保できる可能性があり、作業者にとって繁忙期の作業の分散や、台木の成育期間を長くして採穂量の増加に貢献できることが考えられた。



写真8 カルスを形成したが
発根しなかった挿し穂



写真9 先端が萎れて枯れた
挿し穂

表 5 2020 年と 2021 年の南東北の梅雨期間 (気象庁、2022)

	梅雨入り日	梅雨明け日	梅雨期間日数
2020 年	6 月 11 日	8 月 2 日	53 日
2021 年	6 月 19 日	7 月 16 日	28 日
平年	6 月 12 日	7 月 24 日	43 日

4. 3 育苗試験

2020 年の発根試験で得た発根個体を使用した育苗試験では、発根率が高かった条件で生存率も高い傾向が見られたが、苗高では同様の傾向は見られなかった。しかし、今回の育苗試験では、散水装置に近いコンテナの生存率と苗高が高くなった傾向が見られたため、散水が十分に行き届いていなかった可能性があり、発根後の育苗については、今後再検討する必要がある。

令和 4 年 4 月現在、県内の実生カラマツコンテナ苗の山行き出荷規格は、最低でも苗高 30cm 以上、根元径 3.5mm 以上である。本試験後の各条件の挿し木苗は、根元径は 3.5mm 以上の個体が多かったが、苗高は規格に到達しない個体が多かったため、1 成長期間で規格以上に成長させるには、施肥条件と散水条件の検討が必要であると考えられた。

5 最後に

県内では、カラマツの挿し木苗生産の事例がほとんど無いため、今回はカラマツの挿し木苗生産の先行研究を参考に、主に挿し木苗生産の基本となる工程について検討した。結果として、先行研究と同様に被覆資材を組み合わせた密閉挿しにすることで温度の上昇を抑制し、湿度を安定させることで、高い発根率を得ることができた。しかし採穂、挿しつけを行う際は梅雨の時期を考慮し、挿しつけて間もない挿し穂が梅雨明け後の高温にさらされないように注意する必要があることが考えられた。今後は今回の結果を基にさらに知見の蓄積を図りながら、発根後の育苗方法の検討や、挿し木苗を生産する際のコストの検討を行っていく必要がある。

引用文献

- 浅川澄彦・勝田 稔・横山敏孝 1981 日本の樹木種子 針葉樹編 林木育種協会
- 石川広隆 1968 マツ・カラマツ類を中心としたさし木困難樹種の不定根の形成に関する基礎的研究 その I. さし木発根の内的条件に関する研究 林業試験場研究報告(214):77-109
- 黒丸亮・来田和人 2003 グイマツ雑種 F₁ 幼苗からのさし木増殖法 北海道林業試験場研究報告第 40 号 :41-63
- 中村博一 2019 カラマツ種苗の安定供給のための技術開発—コンテナ容器を用いたカラマツ苗の増殖— 群馬県林業試験場研究報告(23):42-52
- 石崎厚美 1960 スギ採穂園の仕立て方 日本林業技術協会
- 岩井有加・大塚和美・長谷川尚史 2012 スギコンテナ苗の形態的特徴と植栽後の成長 現代林業 2012. 5:40-44
- 今富裕樹 2011 スギ再生林の低コスト化を目指した技術開発—伐採・地拵え・植栽の一貫作業による低コスト化— 現代林業 2011. 8:52-55

三木陽一郎 2013 M スターコンテナを用いたスギ苗の育成試験 (IV) 九州森林研究 66:50-53

森下義郎・大山浪雄 1972 造園木の手引きさし木の理論と実際 地球出版株式会社

町田英夫 1974 さし木のすべて 誠文堂新光社 東京 56

戸田忠雄・藤本吉幸 1983 ヒノキのさし木に関する研究—精英樹クローンのさし木発根性— 日本森林
学会九州支部研究論文集 36:129-130

群馬県林業試験場 2019 カラマツ苗増殖の手引き (コンテナ容器を用いたさし木)

気象庁 HP 過去の気象データ検索

https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php?prec_no=34&block_no=0248&year=&month=&day=&view= (2022 年 3 月現在)

雄性不稔（無花粉）スギ個体作出と品種開発に関する研究（第 2 報）

山崎 修宜・今野 幸則^{※1}

要 旨

スギ花粉発生源対策を推進するため、交配育種による雄性不稔（無花粉）スギ品種の開発を進めた。雄性不稔スギ品種である「爽春」と宮城県選抜のスギ精英樹を親に持つ F1 同士を人工交配し、作出した F2 を育成し、雄性不稔性を調査した。また、F1 についても雄性不稔性を調査したところ、「爽春」と精英樹「栗原 4 号」を親に持つ F1 個体の中に雄性不稔個体が見つかり、DNA 鑑定で確認したところ、精英樹「栗原 4 号」は雄性不稔遺伝子 $ms1$ をヘテロで持つことが分かった。今後は雄性不稔 F1 個体の増殖と、精英樹「栗原 4 号」を交配素材として活用することで、雄性不稔品種の作出について、一層の推進が期待できる。

キーワード：スギ花粉症対策、雄性不稔、人工交配

1 はじめに（目的）

スギ花粉症は 1964 年に初めて報告（堀口・斎藤、1964）されて以来、年々患者数が増加し、現在では国民の 38.8% が罹患しているとの報告（松原ら、2020）もあり、大きな社会問題となっている。宮城県は、2008 年に策定した「宮城県スギ花粉発生源対策推進プラン」を 2019 年に改定し、スギ花粉発生源対策の計画的な推進を図るとして（宮城県、2019）、現在は同県の採穂園から生産する少花粉スギ品種の挿し木苗と、少花粉スギ品種のみで構成した採穂園から人工交配によって生産する種子を山林種苗生産者に供給している。しかし、現在供給しているスギ花粉症対策品種は、自然状態で雄花をほとんど着花しない品種ではあっても、花粉生産を全く行わない品種ではないことから、スギ花粉発生源対策をより一層推進するためには、雄性不稔（無花粉）スギ品種の開発が必要である。

現在、宮城県林業技術総合センター（以下、センターという。）で保有する雄性不稔スギ「爽春」は、（国研）森林研究・整備機構森林総合研究所林木育種センターが開発した雄性不稔（無花粉）品種だが、県外で選抜されたものであるため、県内の気候、風土に適していない可能性がある。スギの雄性不稔性はメンデルの遺伝の法則に従い、潜性遺伝するため（平ら、2001）、「爽春」と県内で選抜されたスギ精英樹（以下、宮城県精英樹という。）を素材に交配育種による品種開発を行い、県内の気候、風土に適した成長等が良好な雄性不稔スギ品種の作出を進める。

今野（2018）は雄性不稔スギ品種「爽春」と宮城県精英樹との交配により雄性不稔遺伝子をヘテロ（Aa）で持つ F1（雑種第 1 代）を作出、育成し、花粉親が異なる F1 同士を交配させて、雄性不稔形質を持つ F2（雑種第 2 代）の作出を進めた。本研究では、今野（2018）が行った F1 の育成を継続し、F1 の雄性不稔性の調査と雄性不稔遺伝子を持つ宮城県精英樹の探索、F2 の作出と雄性不稔性の調査、確定した雄性不稔個体の挿し木増殖を行ったので報告する。

2 材料と方法

2. 1 宮城県選抜精英樹の雄性不稔遺伝子の探索

「爽春」と同じ雄性不稔遺伝子 ($ms1$)（林木育種センター、2020）を持つ宮城県精英樹を探索するため、

^{※1}退職（令和 4 年 3 月 31 日）

新潟大学の森口喜成氏にご協力を頂き、DNA マーカー技術 (Moriguchi Y et al, 2020) により、センター内のスギ精英樹採種園を構成する宮城県精英樹に雄性不稔遺伝子 (ms1) を持つクローンがないか調査した。

また、今野 (2018) で雄花に花粉が見られなかった「爽春」と精英樹「栗原 4 号」を親に持つ F1 個体について、若い個体を 1 回のみ調査した報告だったため、確実性を得るために 2018 年に雄花の着花促進処理を行い、2019 年に着花した雄花をメスで切断して断面を観察し、花粉の有無を再度調査した。

2. 2 F2 種子の作出

雄性不稔スギ品種「爽春」と、宮城県精英樹を素材に交配を進めて、雄性不稔スギを作出する。雄性不稔性の発現は一对の潜性遺伝子 (aa) によって支配され、メンデルの遺伝の法則に従う (平ら、2001) ことから、雄性不稔品種の開発は、爽春 (aa) と県内選抜精英樹 (AA) を交配して F1 (Aa) を作出し、F1 同士を交配して作出する F2 集団に 25% の割合で出現する雄性不稔個体 (aa) から選抜する流れとなる (図 1)。

本研究では今野 (2018) が作出した F1 の成育を継続し、試験期間中は毎年、人口交配で確実に F2 種子を採取できるように、着花促進処理として、ジベレリン液剤濃度 100ppm (以下、ジベレリン) を 6 月下旬～7 月上旬と 7 月下旬～8 月上旬の期間中に 1 回ずつ散布し、着花後は花粉採取等の交配に係る作業を適期に行った。

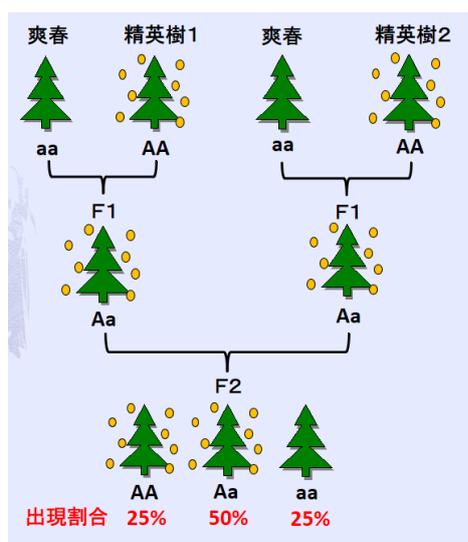


図 1 雄性不稔スギの作出の流れ

2. 3 F2 の雄性不稔性の調査

「2. 2 F2 種子の作出」で採取した F2 種子を 2 年生苗まで育成した後、ジベレリンを 6 月下旬～7 月上旬に 1 回散布し、雄花の着花促進処理を行った。着花後は花粉飛散前の雄花をメスで切断し、断面を観察することで花粉の有無を調査し、2 年連続で花粉が無い雄花を確認した個体を雄性不稔と判定した。作出した雄性不稔個体は成育し、新たな個体の作出のための素材とすることに加え、品種の登録に向けた成長量等の調査に向けて、挿し木増殖を行った。

3 結果と考察

今野 (2018) は「爽春」と精英樹「栗原 4 号」を親に持つ F1 集団の中から、雄花に花粉が見られない個

体を確認したが、当時は個体が幼く、雄花が未発達で誤った判定の可能性があったため、2019 年 3 月に再度、同個体の雄花の花粉の有無を調査したところ、花粉が見られなかったことから、雄性不稔であると判定し、精英樹「栗原 4 号」は「爽春」と同じ雄性不稔遺伝子 (ms1) をヘテロ (Aa) で持つことが示唆された。2019 年 7 月、雄性不稔と判定した F1 個体と、センター内スギ精英樹採種園の母樹の各クローンから 2 cm 程度の葉のサンプルを採取し、雄性不稔遺伝子の有無を DNA マーカー技術 (Moriguchi Y et al, 2020) により判定した。結果、雄性不稔と判定した F1 個体がホモ (aa)、精英樹「栗原 4 号」がヘテロ (Aa) で雄性不稔遺伝子 (ms1) を持つことが判明した。今後はこれらの雄性不稔遺伝子を持つ個体を交配素材として活用することで、品種開発の加速化に貢献することが考えられる。

2019 年 3 月から「爽春」と精英樹「栗原 4 号」を親に持つ雄性不稔の F1 個体の挿し木増殖を開始した (写真 1)。採穂は毎年 3 月に行い、40 倍に希釈したジベレリン液剤に 6 時間以上浸漬し、センター内のスギ挿し穂を発根させるための施設である鉄骨ファイロンミストハウス内のパーライトが充填してある挿し床に挿しつけた。挿しつけた同年の 9 月に掘り取り、発根率を算出した (表 1)。発根率は 2019 年 87.5%、2020 年 84.6%と 80%以上が続いたが、2021 年は 63.0%と低下した。本研究では発根率が低くなった要因が明らかにできなかったため、今後も発根率を記録し、挿し木品種として普及が可能な検討する。

表 1 雄性不稔個体の挿しつけ本数と発根率

	挿しつけ本数 (本)	発根本数 (本)	発根率 (%)
2019	8	7	87.5
2020	39	33	84.6
2021	65	41	63.0



写真 1 雄性不稔個体の挿し木増殖

2018 年から 2021 年にかけて作出した F1 と精英樹「栗原 4 号」を交配した種子と F2 種子の採取量を表 2 ～ 5 に示す。採取量は 2018 年が合計 9 家系 1.95 g で最も少なかったが、2020 年は合計 45 家系 20.92 g であり、家系数、採取量ともに年々増加傾向にあった。2021 年の採取量は合計 7 家系 8.11 g と少ないが、これは同年 4 月に発生した遅霜によって多くの雌花が枯れた影響と考えられた (写真 2)。採取後の種子は翌年 4 月に流水に 1 昼夜浸漬した後、交配に用いた親の組み合わせごとに分けてココピートを充填した育苗箱に播種し、発芽した毛苗はコンテナ育苗培土 ((株) トップ) を充填したマルチキャビティコンテナ (JFA150) (以下、コンテナ) に移植して育成した。雄花着花に向けた成長の促進と栄養状態の確保を図るため、移植後 30 日程度が経過してから同年の 10 月まで、ハイポネックスプロ (18-11-18) の 1,000 倍希釈液をコンテナ容器から滴る程度に追肥することを 7 日に 1 回行い、2 年目以降も 4 月から 10 月までの期間中、同様に追肥を継続した。

表 2 2018 年の家系ごと採種量

母樹	花粉親	粒数 (粒)	重量 (g)
栗原 1 号	玉造 7 号	92	0.05
栗原 4 号	栗原 7 号	87	0.15
	柴田 4 号	49	0.04
栗原 7 号	柴田 5 号	21	0.03
	玉造 7 号	85	0.07
	栗原 4 号 (精)	449	0.32
柴田 4 号	玉造 5 号	53	0.03
玉造 7 号	柴田 4 号	350	0.39
	栗原 4 号 (精)	367	0.87
合計		1553	1.95

※母樹、花粉親の名称は F1 の花粉親である精英樹名を記載。
栗原 4 号 (精) は「精英樹 栗原 4 号」であることを示す。

表 3 2019 年の家系ごと採種量

母樹	花粉親	粒数 (粒)	重量 (g)	母樹	花粉親	粒数 (粒)	重量 (g)
刈田 2 号	栗原 7 号	23	0.06	柴田 4 号	本吉 4 号	7	0.01
	玉造 5 号	21	0.02		栗原 4 号 (精)	83	0.26
栗原 1 号	玉造 7 号	86	0.25	玉造 3 号	栗原 4 号 (精)	8	0.02
栗原 3 号	柴田 4 号	55	0.12	玉造 7 号	刈田 2 号	48	0.13
栗原 4 号	栗原 1 号	173	0.58		栗原 1 号	20	0.05
	栗原 7 号	87	0.2		栗原 7 号	39	0.13
	玉造 3 号	537	0.61		柴田 5 号	27	0.04
	玉造 5 号	76	0.23		玉造 5 号	1	計測不能 (0.01g 未満)
	玉造 7 号	215	0.38		栗原 4 号 (精)	36	0.11
	柴田 4 号	123	0.23		本吉 4 号	柴田 4 号	60
本吉 4 号	38	0.06	合計		2040	4.37	
栗原 7 号	刈田 2 号	152	0.24				
	栗原 4 号 (精)	6	0.01				

表 4 2020 年の家系ごと採種量

母樹	花粉親	粒数 (粒)	重量 (g)	母樹	花粉親	粒数 (粒)	重量 (g)	
刈田 2 号	栗原 1 号	23	0.07	玉造 3 号	栗原 1 号	9	0.03	
	栗原 7 号	18	0.08		栗原 7 号	17	0.05	
	玉造 7 号	26	0.11		玉造 5 号	23	0.09	
	栗原 4 号 (精)	20	0.08		玉造 7 号	52	0.21	
栗原 1 号	玉造 7 号	25	0.08		栗原 4 号 (精)	141	0.67	
栗原 3 号	栗原 7 号	37	0.1	玉造 5 号	刈田 2 号	9	0.02	
	柴田 4 号	32	0.09		栗原 1 号	342	0.99	
	玉造 5 号	12	0.03		栗原 3 号	212	0.41	
	栗原 4 号 (精)	66	0.19		栗原 7 号	210	0.68	
栗原 4 号	刈田 2 号	90	0.31		柴田 4 号	65	0.2	
	栗原 1 号	184	0.7		玉造 3 号	58	0.14	
	栗原 3 号	132	0.55		玉造 7 号	352	1.09	
	栗原 7 号	266	1.14		宮城 2 号	80	0.26	
	柴田 4 号	89	0.34	栗原 4 号 (精)	281	0.79		
	玉造 3 号	74	0.26	玉造 7 号	栗原 1 号	392	1.09	
	玉造 5 号	297	0.99		栗原 3 号	58	0.16	
	玉造 7 号	382	1.61		栗原 7 号	470	1.25	
	宮城 2 号	139	0.46		柴田 4 号	88	0.27	
	本吉 4 号	101	0.33		玉造 5 号	206	0.59	
			本吉 4 号		319	0.79		
栗原 7 号	刈田 2 号	79	0.18	栗原 4 号 (精)	558	1.46		
	栗原 1 号	105	0.27	宮城 2 号	栗原 7 号	13	0.03	
	柴田 4 号	16	0.04		柴田 4 号	75	0.32	
	玉造 5 号	39	0.1		玉造 7 号	21	0.05	
	玉造 7 号	94	0.18	合計				
	宮城 2 号	44	0.12				6761	20.92
	本吉 4 号	24	0.07					
	栗原 4 号 (精)	60	0.16					
柴田 4 号	栗原 1 号	35	0.08					
	玉造 3 号	86	0.21					
	栗原 4 号 (精)	115	0.35					

表 5 2021 年の家系ごと採種量

母樹	花粉親	粒数 (粒)	重量 (g)
栗原 4 号	栗原 1 号	629	2.58
	栗原 7 号	275	1.18
	玉造 7 号	532	1.97
	刈田 2 号	314	1.19
玉造 3 号	栗原 7 号	51	0.2
玉造 5 号	栗原 7 号	91	0.23
玉造 7 号	栗原 7 号	229	0.76
合計		2121	8.11



写真 2 遅霜で枯れた雌花

初めて F2 の 2 年生苗を得た 2020 年から、F2 の 2 年生苗の雄花の着花促進処理と雄性不稔性の調査を開始した。2020 年 3 月と 2021 年 3 月に花粉の有無を調査したところ、「爽春」と精英樹「栗原 4 号」を親に持つ F1 と、「爽春」と精英樹「栗原 7 号」を親に持つ F1 を交配した F2 集団の中に、2 年連続で雄花に花粉が無い個体を 9 個体確認したため、雄性不稔と判定した (表 6)。雄性不稔と判定した個体は、育成を進め、採穂用台木や交配素材として活用する。一方、2~3 年生の苗木では着花する雄花が小さく、花粉の有無の判定が困難な個体も見られたため、判定できなかった個体は今後も育成を継続し、再度、調査を行うこととした。

表 6 2020 年と 2021 年の雄花の花粉調査の結果

母樹	花粉親	花粉無し	花粉あり	判別不可
爽春×栗原 4 号	爽春×栗原 7 号	9	12	7

※雄花が着花しなかった、または雄花が小さすぎて判別ができなかった個体を判別不可とした。

5 おわりに

本研究では、精英樹「栗原 4 号」が雄性不稔遺伝子 (ms1) をヘテロ型で持つことが明らかとなり、雄性不稔スギを 2 家系作出した。今後も交配、F2 集団の育成、花粉の有無の調査を継続し、品種登録と普及に向けて系統数を増加することが重要と考えられるが、現在、交配素材となる雄性不稔遺伝子が「爽春」と精英樹「栗原 4 号」由来のものしかなく、遺伝的多様性に欠けている状態にある。今後は雄性不稔遺伝子を持つ宮城県精英樹の探索または、「爽春」のように雄性不稔遺伝子を持つ県外の品種を活用し、多様性を確保する取り組みが必要と考えられる。また、品種登録の申請には成長、材質、挿し木発根性等、個体の各種特性を調査し、把握する必要があるため、作出した雄性不稔個体は今後も増殖を行い、検定林の設置に向けた個体数を確保する必要がある。

6 謝辞

本研究では宮城県精英樹と F1 の ms1 遺伝子の鑑定について、新潟大学の森口喜成准教授に多大なるお力添えをいただいた。この場をお借りして厚く御礼申し上げます。

引用文献

- 堀口申作・斎藤洋三 1964 栃木県日光地方におけるスギ花粉 Japanese Cedar Pollinosis の発見 アレルギー13:16-18
- 松原 篤・坂下雅文・後藤 穰・川島佳代子・松岡伴和・近藤 悟・山田武千代・竹野幸夫・竹内万彦・松浦充佳・藤枝重治・大久保公裕 2020 鼻アレルギーの全国疫学調査 2019 (1998 年、2008 年との比較) : 速報—耳鼻咽喉科医およびその家族を対象として— 日耳鼻 123:485-490
- 宮城県 2019 宮城県スギ花粉発生源対策推進プラン
- 平 英彰・斉藤真己 2001 林木の育種 198:14-18
- 今野幸則 2018 雄性不稔(無花粉)スギの品種開発に関する研究(第1報)
宮城県林業技術総合センター研究報告 27:1-4
- 国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所林木育種センター 2020 無花粉スギ苗木普及促進のための技術マニュアル
- Moriguchi Y, Ueno S, Hasegawa Y, Tadama T, Watanabe MSaito R, Hirayama S, Iwai J, Konno Y 2020 Marker-Assisted Selection of Trees with MALE STERILITY 1 in *Cryptomeria japonica* D. Don Forests2020 11 (7) 734

令和5年度
林業技術総合センター研究報告
第30号

令和6年3月発行

宮城県林業技術総合センター

〒981-3602 宮城県黒川郡大衡村大衡字はぬ木14-1

電 話 022-345-2816

F A X 022-345-5377

E-mail stsc@pref.miyagi.lg.jp