

# スギにおける空中さし木法に適した環境の検討

九州育種場 育種課 福田有樹

## 1 はじめに

最近、スギ (*Cryptomeria japonica*) において用土を用いずに発根を誘導させる「空中さし木法 (以下、エアざし)」が開発された (栗田ら 2020)。最もベーシックなエアざしでは、さし穂を立てるための床となる板を用いることとされているが、適切にさし穂を固定することができれば、その板がなくとも発根を誘導させられることが確認されている。そのため、エアざしは従来の土ざしとは異なり、立体的な (複層的な) 苗木生産を可能にし、単位面積あたりの苗木生産量を増加させようと期待されている。このことは、「用土を用いないことによって省力化できること」や「発根の様子をいつでも確認することができること」と並んで、エアざしの大きなメリットの一つとなりえる。一方で、エアざしは周囲の環境による影響を受けやすいことが示唆されている。実際、同一の温室内でも場所により発根率が異なることが示されており、これは温室内の環境の不均一性に起因するものと考えられる。そこで本研究では、同一の温室を3次元的に区分した8ヶ所において、スギの空中さし木を行い、各場所における温度、湿度および発根率を調査することにより、エアざしに適した環境条件を検討した。

## 2 材料と方法

### 2.1 供試材料

本研究では、スギ第一世代精英樹である飢肥署1号、県玖珠12号、県日田20号、高岡署1号の4系統を用いた。2022年4月25日に長さ40~50cm程度の荒穂を採取し、全ての穂を長さ35cmに整え、40倍希釈のオキシピロン (バイエルクロップサイエンス) および2,000倍希釈のベンレート水和剤 (住友化学株式会社) を含む溶液に葉を含む穂全体を浸した後、切り口を一晚浸漬した。なお、本研究における全ての作業は森林

総合研究所林木育種センター九州育種場 (熊本県合志市) のガラス温室内で行った。

### 2.2 さし穂の育成と測定

2022年4月26日に、同一のガラス温室内の8ヶ所 (処理区A~H) において空中さし木を行った (図1、表1)。「下側」は50cm程度、「上側」は1.5m程度の高さとした。温室の西側には窓、南側には出入り口があり、北側と東側はビニールカーテンを設置し、それぞれから2m程度の距離を取った。なお、窓および出入り口は15cm程度開けており、ビニールカーテンは固定していなかったため、4方とも通気可能な状態であった。本研究では、さし穂を立てるための床となる板は用いず、さし穂の軸部は通るが、シュートは通らない大きさの網目にさし付けることによって、さし穂が落下しないように固定した (図2)。各処理区における系統あたりさし付け本数は、処理区Gにおける飢肥署1号 (11本) と県日田20号 (15本) 以外は、16本とした。散水は1回あたり2.4L/m<sup>2</sup>とし、1日あたり14回行った。発根率の調査は、試験開始から約3ヶ月後に当たる2022年7月27日に行った。また、試験開始から発根率を調査するまでの間、各処理区における温度と湿度を20分間隔で測定した (RTR503B、株式会社ティアンドデイ)。

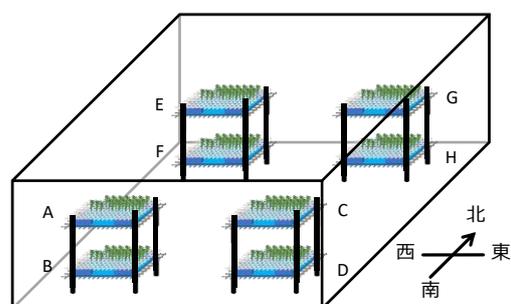


図1 さし付け処理区の位置関係の模式図

表 1 各処理区の位置関係および発根率

処理区	上下	東西	南北	発根率 (%)
A	上	西	南	14.06
B	下	西	南	54.24
C	上	東	南	43.75
D	下	東	南	48.44
E	上	西	北	23.44
F	下	西	北	45.31
G	上	東	北	62.50
H	下	東	北	59.38



図 2 さし付けの様子

本研究に供試した材料ではないが、同じ方法でさし付けた。(A) 上からの様子、(B) 下からの様子、(C) 発根した様子

### 2.3 データ解析

処理区と発根率との関連性を明らかにするために、東西、南北、上下の3つを独立変数とみなし、発根率を従属変数として分散分析を行った。一部、系統あたりのさし付け本数が異なることから、各処理区において系統ごとに発根率を算出したうえで、その平均値を各処理区における発根率とした。

次に、温度データおよび湿度データを用いた解析を行うに際して、外れ値の除外を行った。温度については、処理区 B における 7 月 7 日 5 時 40 分以後の値が

不自然に高かったため、その時刻以後の温度データを解析から除外した。なお、処理区 B だけでなく全ての処理区における温度データを同様に除外した。湿度については時点ごとに、

$$\text{上限値} = \text{第 3 四分位値} + 1.5 \times \text{四分位範囲}$$

$$\text{下限値} = \text{第 1 四分位値} - 1.5 \times \text{四分位範囲}$$

とし、上限値より大きい値または下限値より小さい値は外れ値とみなし、解析から除外した。外れ値を除外した後、各処理区における環境の類似性を概観するために主成分分析を行った。さらに、3 時間ごとの 8 つの時間帯 (0~3 時、3~6 時、6~9 時、9~12 時、12~15 時、15~18 時、18~21 時、21~24 時) で平均値を算出し (表 2)、時間帯ごとに標準化を行った平均温度および平均湿度を説明変数、発根率を応答変数として、リッジ回帰を行った。一連の解析にはいずれも R version 4.3.0 (R Core Team 2023) を使用し、分散分析には car パッケージ (Fox and Weisberg 2019) を、主成分分析には pcaMethods パッケージ (Stacklies et al. 2007)、リッジ回帰には glmnet パッケージ (Friedman et al. 2010) を使用した。

### 3 結果

処理区・系統ごとの発根率を表 2 に示した。発根率については、全体平均値は 43.9%、最高値は処理区 G における 62.59%、最低値は処理区 A における 14.06%であった。主成分分析の結果、第一主成分、第二主成分、第三主成分の寄与率はそれぞれ 52.2%、17.1%、11.5%であり、概ね第一主成分では東西、第二主成分では上下、第三主成分では南北の寄与が大きかった (図 3)。分散分析の結果、発根率には、東西、上下または東西と上下の相互作用で有意な差が認められた ( $p < 0.05$ ) (表 3)。リッジ回帰の結果、発根率に対する回帰係数の絶対値は、9~12 時の湿度で最も大きかった。温度と湿度それぞれでみると、温度の回帰係数は 21 時から 12 時において正の値、12 時から 21 時において負の値であり、湿度の回帰係数は 15 時から 18 時の時間帯を除き負の値であった。

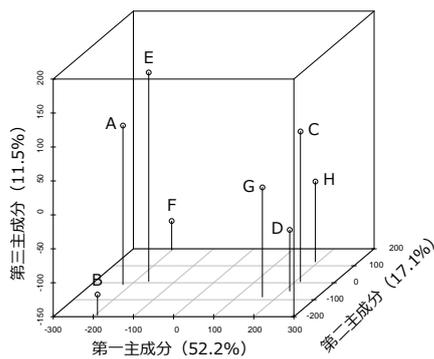


図3 主成分分析結果

#### 4 考察

本研究は、同一の系統を用いて、同一の温室内でさし付けを行ったのにもかかわらず、場所により発根率が14.1%から62.5%まで異なり（表2）、分散分析の結果、発根率に対して東西（窓からの距離）と上下（地面からの高さ）は有意な差があることが示された（表3）。主成分分析の結果からも、温度や湿度は同一の温室内であっても場所により特徴的であり、特に窓からの距離により大きく異なることが示された。

温度や湿度と発根率の関連性をリッジ回帰により解析した結果、温度における回帰係数が21時から12時まででは正の値、12時から21時まででは負の値であったことから、全体として気温が低い時間帯においては温度が高いほど、全体として気温が高い時間帯においては温度が低いほど発根に対して望ましいことが示唆された。一方、湿度における回帰係数が15時から18時の時間帯を除き負の値であり、15時から18時の時間帯についても、その絶対値は16個の変数のうち2番目に小さい値であったことから、湿度は一日を通して低いほうが発根に対して望ましいことが示唆された。

以上の結果から、エアざしにおける発根率は、同一の温室内でも場所により異なり、それは各場所における環境の違いに起因している可能性が示唆された。一方で、土ざしの場合は同一の温室内であれば、発根率について場所による大きな差異は見られない（福田 私信）。土ざしでは発根部位が地中に埋まっていることから環境が比較的安定的であるのに対し、エアざしでは

空気中にさらされているために周囲の環境の変化に影響されやすいことがその一因であると考えられる。したがって、エアざしを実施する際は実施する施設内の環境の違いに十分に注意を払う必要があると言える。

ところで、例えば、湿度は一日を通して低いほうが発根に対して望ましいと示唆されたとはいえ、際限なく低い状態が望ましいことを意味しているものではない。本研究において温度や湿度について望ましいとされたのは、あくまで本研究において測定された値の範囲内でのことであり、適切な温度と湿度は、さし穂から発根に関連すると考えられる光合成や蒸散のバランス等との関連を考慮しつつ、各実施場所において検討する必要がある。さらに、温度や湿度だけでなく、光環境等の要因も発根に影響する可能性があると考えられていることから、エアざしによる発根にとってより適した環境を明らかにするためには、引き続き研究を重ねていく必要がある。

#### 5 謝辞

本研究の遂行に当たり、林木育種センターの松下通也博士には、解析に関する有用な助言をいただいた。ここに記して改めて御礼申し上げる。

#### 6 引用文献

- 栗田学・倉本哲嗣・久保田正裕・松永孝治・福山友博・竹田宣明・倉原雄二・大塚次郎・佐藤省治・渡辺敦史(2020) 用土を用いない新たなスギ挿し木発根手法の検討 ―スギ挿し木苗の植物工場の生産技術の開発に向けて―. 九州森林研究, 73, 57-61
- Fox J, Weisberg S (2019) An R Companion to Applied Regression, Third edition. Sage, Thousand Oaks CA.
- Friedman J, Tibshirani R, Hastie T (2010) Regularization Paths for Generalized Linear Models via Coordinate Descent. Journal of Statistical Software, 33(1), 1-22
- R Core Team (2023) R: A Language and Environment

for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria  
 Stacklies W, Redestig H, Scholz M, Walther D, Se

lbig J (2007). pcaMethods -a Bioconductor package providing PCA methods for incomplete data. Bioinformatics, 23, 1164-1167

表 2 各処理区における時間帯ごとの平均温度および平均湿度

処理区	温度 (°C)							
	0~3 時	3~6 時	6~9 時	9~12 時	12~15 時	15~18 時	18~21 時	21~24 時
A	18.84	18.04	20.70	27.28	31.16	29.54	22.30	19.84
B	19.03	18.23	20.71	26.77	30.61	28.97	22.41	20.11
C	19.05	18.24	21.33	28.75	30.32	27.67	22.47	20.07
D	19.28	18.48	21.05	27.82	29.39	27.27	22.56	20.34
E	19.09	18.31	20.87	27.07	30.06	28.41	22.26	19.91
F	19.25	18.50	20.54	25.61	29.04	27.98	22.10	20.11
G	19.16	18.39	21.23	28.96	30.22	27.32	22.15	19.97
H	19.32	18.55	20.69	26.82	28.36	26.38	22.02	20.13

処理区	湿度 (%)							
	0~3 時	3~6 時	6~9 時	9~12 時	12~15 時	15~18 時	18~21 時	21~24 時
A	98.45	98.59	95.62	80.79	68.52	70.24	91.01	97.41
B	96.87	97.53	92.74	75.54	63.65	66.16	87.31	94.36
C	98.14	98.50	92.56	74.40	70.94	76.99	91.18	96.49
D	94.88	95.54	89.38	73.32	70.03	75.01	87.90	92.74
E	98.51	98.68	95.15	79.82	68.65	69.99	89.17	97.15
F	98.26	98.38	95.61	80.98	67.06	70.79	91.39	96.72
G	97.76	98.18	92.14	71.67	67.51	72.94	88.82	95.47
H	97.25	97.55	92.60	74.98	71.46	76.62	90.86	95.15

表 3 分散分析結果

要因	平方和	自由度	F 値	P 値
上下	0.20236	1	8.2227	<0.01
東西	0.29651	1	12.0485	<0.01
南北	0.0454	1	1.8447	0.19
上下×東西	0.18297	1	7.4347	0.01
上下×南北	0.03411	1	1.3859	0.25
東西×南北	0.04276	1	1.7374	0.20
上下×東西×南北	0.0055	1	0.2237	0.64
残差	0.59063	24		

表 4 リッジ回帰分析結果

測定項目	時間帯	回帰係数
温度	0~3 時	0.85
	3~6 時	0.84
	6~9 時	0.26
	9~12 時	0.22
	12~15 時	-0.60
	15~18 時	-0.91
	18~21 時	-0.45
	21~24 時	0.65
湿度	0~3 時	-0.40
	3~6 時	-0.31
	6~9 時	-0.72
	9~12 時	-1.10
	12~15 時	-0.38
	15~18 時	0.25
	18~21 時	-0.37
	21~24 時	-0.75