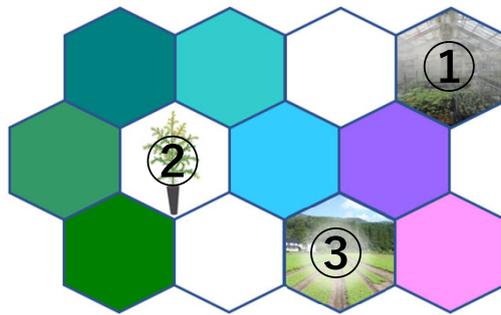




# 優良種苗の よりよい育成・利用に向けて



## 表紙の写真等の説明



### 優良種苗の よりよい育成・利用に向けて



- ①ヒノキのミストざし育成（撮影：茂木靖和氏）
- ②スギコンテナ苗（イラスト：長根由紀子氏）
- ③スギ苗の露地での育成（撮影：宮本尚子氏）
- ④ヒノキコンテナ苗（イラスト：長根由紀子氏）
- ⑤カラマツコンテナ苗（イラスト：長根由紀子氏）
- ⑥ヒノキ採種木へのグルタチオン散布（撮影：飛田博順氏）
- ⑦スギ幼苗の移植作業（撮影：陶山大志氏）
- ⑧スギのコンテナ育成（撮影：宮本尚子氏）

# はじめに

我が国の人工林の約5割は主伐可能な時期に達しているものの、林業採算性悪化のために主伐と再造林が進まない状況にあります。このため、豊富な人工林資源の循環利用促進が重要な政策的課題となっており、林業の収益性向上を図る技術開発が急務です。このため平成25(2013)年に改正された「森林の間伐等の実施の促進に関する特別措置法」に基づき、第二世代の精英樹(エリートツリー)等、「成長に優れた樹木」が特定母樹として指定されました。さらに苗木生産の基盤となる採種園、採穂園の整備が進められ、「成長に優れた苗木」を用いた新たな人工林施業体系の構築が求められるようになっていきます。また、「森林・林業基本計画」(令和3(2021)年6月閣議決定)においても、成長に優れた苗木の活用に取り組むこととしています。こうした成長に優れた苗木は、種子を生む母樹管理から、播種や施肥と言った育苗工程の最適化によってより健全性が增强され、山に植栽した後の成長を観察して「成長に優れた樹木」としての優位性が証明されることとなります。このことを実証するために農林水産技術会議・現場ニーズ対応型研究委託プロジェクト「成長に優れた苗木を活用した施業モデルの開発(2018～2022年度)」が実施され、成果の総括として「エリートツリーを活かす育苗と育林、施業モデル」や「クリーンラーチ・カラマツ類の優れた成長を活かす育苗と育林、施業モデル」を発刊しました。

このプロジェクトは森林総合研究所及び林木育種センターを中心とし、福岡県、長崎県、佐賀県、熊本県、大分県、宮崎県、鹿児島県、高知県、徳島県、岡山県、広島県、長野県、島根県、静岡県、北海道、九州大学、宮崎大学、鹿児島大学、岐阜大学、南栄、三井物産フォレストによる共同研究になっており、それぞれの組織から詳細な研究成果が得られています。本パンフレットではこうした研究機関による具体的な研究成果を兄弟パンフレットの「エリートツリーで下刈り省略」と共に、かみ砕いて紹介しています。

本パンフレットの構成はスギ・ヒノキに関する母樹の管理から播種方法、密度管理、施肥作業、およびそれらのスケジュール、苗木の育つ環境条件と山に植栽されてからの成長観察結果まで多岐にわたり、濃淡はありますが最新の育苗研究情報を掲載しております。

それぞれの研究成果が森林行政の方々及び育苗業者の皆様へのヒントになれば、また地域の研究者の顔を知っていただき、今後も苗木開発に関する「問題解決型研究開発」の礎になればと考えております。

森林総合研究所・研究コーディネーター 宇都木 玄





# 全体概要

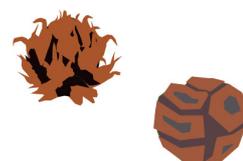
農林水産技術会議・現場ニーズ対応型研究委託プロジェクト「成長に優れた苗木を活用した施業モデルの開発(2018-2022)」の小課題1「成長に優れた苗木の育苗技術の高度化」では、エリートツリー等を活用しつつ、山への植栽後に早期に旺盛な成長を示し林業の低コスト化・省力化に資するような優良な苗木をコンテナ苗として安定的に生産するには、どのように育苗するのがよいかという点に焦点をあてつつ、各地域で多様な調査・研究を推進しました。調査研究の内容は、採種園における採種母樹の管理から、種子の取扱い、施肥、育成密度、グルタチオン施用育苗等の育苗に影響すると考えられる多様な要因の影響の解明、それらの植栽後の成長への影響と多岐にわたります。本パンフレットでは、それらを種子採取から播種、育苗、植栽という作業手順に沿って、研究内容をグループ分けし、配列しています。

## 1 採種母樹の管理

よい種子を生産するために採種母樹にグルタチオンを施用

## 2 種子の取扱い

保存温度の重要性、グルタチオン施用の効果の可能性



## 3 播種

種子の充実率と発芽率の関係性、効率的な一粒播種法

## 4 育苗：育成スケジュール、育苗期間の成長

積算温度を活用した育苗スケジュールの立案法、育苗期間短縮の試み

## 5 育苗：施肥

施肥が苗木の生育に与える影響の解明

## 6 育苗：グルタチオン施用

グルタチオン施用が苗木の生育に与える影響



## 7 育苗：育苗密度

コンテナ苗の育成時に育苗密度が苗木に与える影響

## 8 育苗：処理

振とう/接触刺激や被隠処理が苗木の生育に与える影響

## 9 育苗：環境測定

既製品を利用した土壌水分のリアルタイム監視

## 10 苗木の貯蔵と植栽後の活着・成長

苗木の低温貯蔵した後のスギ実生コンテナ苗の活着率と初期成長

## 11 苗木サイズと植栽後の成長

植栽時の苗木サイズとその後の成長等との関係性

## 12 植栽後の成長

エリートツリー等の優良系統の苗木の植栽後の成長性等

# 目次

はじめに	1
全体概要	3
目次	4
<b>1. 採種母樹の管理</b>	
母樹へのグルタチオン施用が種子の品質に与える影響	6
<b>2. 種子の取扱い</b>	
針葉樹の種子の適切な保存と発芽能力の確認	10
ヒノキ種子の保存条件が実生苗の生育に与える影響	12
ヒノキ種子の潜在成長力評価とグルタチオン施用効果	13
<b>3. 播種</b>	
種子の充実率と発芽率の関係	16
選別した充実種子のコーティングと効率的な一粒播種	17
<b>4. 育苗：育苗スケジュール、育苗期間</b>	
有効積算温度を用いたコンテナ育苗成スケジュール作成	20
寒冷地におけるスギのコンテナ育苗技術	22
スギエリートツリーコンテナ苗の短期間育苗	24
<b>5. 育苗：施肥</b>	
スギ1年生コンテナ育苗成における最適施肥量	26
元肥の溶出タイプと量がスギコンテナ苗の成長に与える影響	28
育苗時の秋の追肥により植栽後の初期成長を促進する	30
スギコンテナ苗の冬季施肥と養分蓄積量	32
ヒノキエリートツリー種子を用いた早期育苗試験と現地植栽による系統別成長比較	33
溶出期間700日肥料を元肥に用いて育成した1年生ヒノキ・コンテナ苗の植栽1年目の成長	34
<b>6. 育苗：グルタチオン施用</b>	
コンテナ育苗へのグルタチオン施用効果	38
ヒノキマイクロカッティングへの酸化型グルタチオン施用効果	40
1年生カラマツ苗に対するグルタチオンの施用効果	42
コンテナ育苗時のグルタチオン・種子サイズの効果	44
スギコンテナ育苗時の酸化型グルタチオン施用の効果	46
採種台木にグルタチオンを施用したさし木の発根率の違い	47
シャカインスギのさし木苗におけるグルタチオンの効果的な施用条件	48
クリーンラーチ1年生苗におけるグルタチオン施用効果	50
<b>7. 育苗：育苗密度</b>	
根鉢容量、育苗密度が得苗率、育苗コストにあたえる影響	52
育苗密度の調整により形状比の過大化を抑える	54
<b>8. 育苗：処理</b>	
振とう/接触刺激がスギコンテナ苗の成長に与える影響	56
九州地域におけるスギ実生コンテナ苗の育成に被陰処理が及ぼす影響	58
<b>9. 育苗：環境測定</b>	
既製品を利用した土壌水分のリアルタイム監視	60
<b>10. 苗木の貯蔵と植栽後の活着・成長</b>	
低温貯蔵したスギ実生コンテナ苗の活着率と初期成長	64
<b>11. 苗木サイズと植栽後の成長</b>	
スギの樹高において育種の効果が顕在化する林齢	66
大きめのスギ実生コンテナ苗の初期成長	67
コンテナ苗の苗齢による植栽後の初期成長と雪害の比較	68
ヒノキ実生コンテナ苗のサイズと初期成長	70
<b>12. 植栽後の成長</b>	
第二世代精英樹の成長はいいの？	72
宮崎県北部におけるエリートツリー（九育2-136）の初期成長	74
適度な根鉢形成の苗木は林地での成長がよい	75
植栽時のみ・植栽前1ヶ月のみのグルタチオン施用試験例	76
土壌水分とグルタチオン施用効果との関係	78
スギコンテナ苗の植栽時のグルタチオン施用の効果	79

イラスト：長根由紀子（森林総合研究所林木育種センター）

# 1

## 採種母樹の管理



# 母樹へのグルタチオン施用が種子の品質に与える影響

山下直子<sup>1)</sup>、飛田博順<sup>2)</sup>、奥田史郎<sup>2)</sup>、小笠真由美<sup>1)</sup>、吉川章<sup>3)</sup>、満井千鶴人<sup>3)</sup>、松田修<sup>4)</sup>、小川健一<sup>5)</sup>

1: 森林総合研究所関西支所、2: 森林総合研究所、3: 滋賀県林業普及センター、4: 九州大学、5: 岡山県生物科学研究所

林業用種子の品質は不均質で充実率が低く、それが効率的な苗木生産の阻害要因の一つとなっています。充実率には母樹の養分状態も影響していると考え、酸化型グルタチオン(GSSG)を母樹に施用することで母樹の養分状態が改善し、充実率に良い影響を及ぼすかどうかを調査しました。その結果、GSSG施用により種子発芽の斉一性が高くなりました。種子重や充実率は、樹種や施用タイミング、系統により異なりました。今後も、様々な条件を検討していく必要があります。

## ヒノキへのGSSG施用試験

滋賀県林業普及センター油日採種園の第1世代ヒノキ(甲賀5号、甲賀17号)に、カネカペプチドW2水和剤(GSSG15%配合)の250倍溶液の散布(GL)を2018年と2019年に実施しました(図1、表1)。GLに加えて、2018年の7月に、ジベレリン散布(GA)、ジベレリン含有ペーストの幹注入(GAペ)、GSSG含有ペーストの幹注入(GLペ)を組み合わせて試験を実施しました(表1)。2019年10月に採種し、その発芽率を調べました(表2)。無処理のA区と比較して、採種前年のみGLを施用した処理区(E、G、J区)と、前年と当年にGLを施用した処理区(B、C、D、F区)で、それぞれ発芽率が上がる場合と差が見られない場合があります。その中で、花数に影響するGA処理をしていないD区では、無処理のA区に比べて発芽率が上がっていることから、GL散布はヒノキの発芽率を上げる可能性があります。



図1 GSSG散布したヒノキ

表1 各処理区の施用条件

処理	2018年			2019年		
	5月	6月	7月	5月	6月	7月
A	-	-	-	-	-	-
B	GL	GL	GL+GA	GL	GL	GL
C	GL	GL	GL+GAペ	GL	GL	GL
D	GL	GL	GL	GL	GL	GL
E	GL	GL	GL+GAペ+GLペ	-	-	-
F	GL	GL	GL+GAペ+GLペ	GL	GL	GL
G	-	-	GL+GA	-	-	-
H	-	-	GA	-	-	-
I	-	-	GAペ	-	-	-
J	-	-	GAペ+GLペ	-	-	-

表2 各処理区から採取した無選別種子の発芽率と採取した枝の長さ(枝長)と枝あたりの球果数

処理	発芽率(%)		枝あたりの球果数		枝長(cm)	
	甲賀5	甲賀17	甲賀5	甲賀17	甲賀5	甲賀17
A	9.0	13.2	207.4	64.9	47.6	61.3
B	13.0	9.4	83.9	56.6- **	48.1	54.0
C	18.7	17.6+ **	152.7	52.6- *	53.7	45.8
D	16.8	16.1+ **	84.8	62.5- **	55.0	49.1
E	16.9	17.7+ **	128.1	47.9- *	55.3	52.0
F	12.0	12.4	89.9	41.7- **	69.8	59.1
G	14.1	13.5+ *	72.7	47.4- **	53.1	53.4
H	16.0	12.7+ *	108.6	46.8- *	50.1	59.7
I	15.5	16.1	209.6	102.4	51.7	57.4
J	15.3	11.8	178.6	100.9	53.9	49.6

GL: GSSG溶液茎葉散布(カネカペプチドW2水和剤250倍液 5L散布/個体)GA: ジベレリン溶液茎葉散布(ジベレリン<住友ジベレリン粉末>10ppm水溶液5L散布/個体)【幹注入】GAペ:(ジベレリン協和ペースト<ジベレリン2.7%含有>0.620g/1カ所、合計3カ所/個体)GLペ:グルタチオンペースト(GSSG原体 4.5g、サンローズ 0.6g、水1.7ccの比率で練ったペースト)を2.3g/1カ所、合計3カ所/個体)。

処理区記号は、表1に対応する。各系統処理区毎に、1枝あたり100個x3反復=300個の種子の発芽率を調査。各数値は、9枝(3個体x3枝)の平均値を示す。種子発芽試験は、20-30℃、明期8時間/暗期16時間で実施し、播種25日間実施。統計処理は、種子の品質に関わる枝の特性等を説明変数とし、AICを基準とした一般化線形にて解析。図中のアスタリスクは、A区(無処理)に対して係数が有意な処理区を示す。\*\*: P<0.01、\*: P<0.05、- 負の効果、+ 正の効果。

## スギへのGSSG施用試験例

滋賀県林業普及センター油日採種園の少花粉スギミニチュア採種園において2018年の7月と8月、2019年5月、6月、7月、2020年5月、6月、7月に、カネカペプチドW2水和剤(GSSG15%配合)の250倍液を1個体につき葉面に500mL、根元に500mL施用しました。2018年10月に採取した種子では、GSSG施用区で100粒重、充実率が増加した系統がありました(表3)。一方、2019年10月と2020年10月に採取した種子では、2018年に充実率や100粒重が高まった系統でも違いが見られませんでした。2018年とそれ以降の年では施用の月が異なるので、施用のタイミングが影響を及ぼした可能性があります。一方、カメムシ防除用のネット被覆の有無が種子充実率に影響しました(図2)。今後、スギにおけるGSSG施用の効果について、施用のタイミングや年変動を考慮したさらなる検証が必要です。

表3 各年の試験における系統および処理別の種子の特性

系統	処理	100粒重(g)			充実率(%)		
		2018年	2019年	2020年	2018年	2019年	2020年
英田3号	GL	0.15	0.19	0.13	2.8	40.5	25.1
	C	0.10	0.20	0.13	0.0**	39.5	26.7
混合種	GL	0.21	0.22	0.17	20.3	36.0	33.4
	C	0.18	0.21	0.21	14.5	35.4	32.6
神崎15号	GL	0.19*	—	0.14	12.3	—	21.8
	C	0.16	—	0.13	12.1	—	27.3
苫田9号	GL	0.24	—	—	14.6	—	—
	C	0.23	—	—	5.2**	—	—
苫田15号	GL	0.26	—	—	18.1	—	—
	C	0.25	—	—	9.7*	—	—
美方3号	GL	—	0.22	0.25	—	38.7	15.5
	C	—	0.21	0.23	—	34.7	10.2

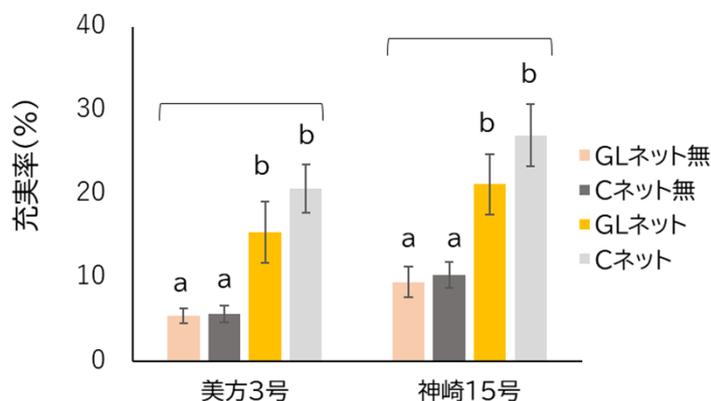


図2 種子充実率(2020年採取種子、平均値±SE)  
処理区の記号は表3と同じ。各系統内の異なるアルファベット間で有意差あり( $P < 0.001$ )。系統間で有意差あり( $P < 0.05$ )。

2018年はネット被覆なし、2019年、2020年はネット被覆あり。  
充実率は、近赤外光の吸収量に基づく判別手法で算出。GL: GSSG施用区。  
C: 無施用区。各系統2~7本の母樹の21~214個の球果から取り出した種子  
を試験に用いた。Tukey-HSD test、\*\*: $P < 0.01$ 、\*: $P < 0.05$ 。

## GSSG施用した母樹から採取した種子の発芽勢

前述のスギへのGSSG施用試験で、2019年に採取し選別した充実種子を300ccのコンテナに4系統をランダム配置で播種し、発芽率の推移を調べました。その結果、母樹へのGSSG施用により種子発芽の斉一性が高まる傾向であることがわかりました(図3)。

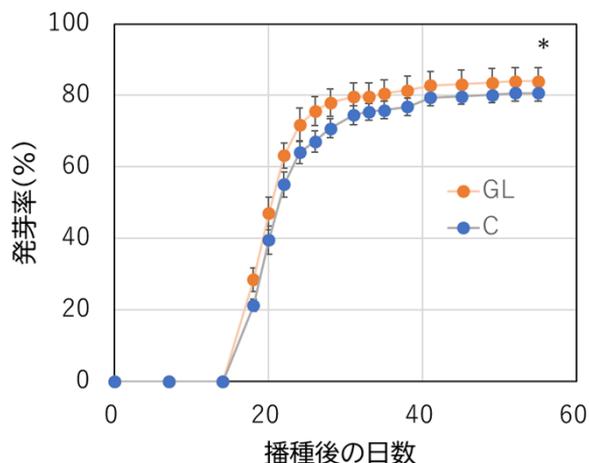


図3 母樹へのGSSG施用が発芽に及ぼす影響(9コンテナの平均値±SE)

GL処理と無処理の母樹から採取した種子から選別した充実種子を用いた。300ccのコンテナ(24キャビティ)に、少花粉スギ4系統の種子を1キャビティに2個ずつランダム配置で播種。培地はココナッツハスク、種子の覆土はパーライト。1系統/6キャビティ/1コンテナ。本葉が展開したものを発芽としてカウントした。2020年6月18日(播種(2020年4月24日)後、約2か月)時点での測定値で統計解析を行った。処理区の記号は表3と同じ。\*: $P < 0.05$  (Wilcoxon rank sum test)



# 2

## 種子の取扱い





コンテナによる苗木生産を効率的に行うには、苗畑に播種する従来の方法に比べて種子の発芽率が重要となります。そのため、種子が保存中に発芽能力を失わないよう、適切に乾燥し、低温で保存することが肝要です。また種子の品質はそれぞれの樹種に適した発芽試験を行うことでわかります。

### 種子の保存に適した湿度と温度

スギなどの種子は含水率を10%以下まで乾燥し、低温で保存することで発芽能力を維持することができます(図1)。含水率が高いまま保存すると菌害・病害を防ぐことが難しいだけでなく、保存中に発芽してしまったり、種子が凍結して発芽障害が出る恐れがあります。気温20度程度、相対湿度(eRH)30%未満の環境で種子の重量が安定するまで乾燥すると、種子は保存に適した含水率に落ち着きます。乾燥した種子は再吸湿を避けるため密閉容器に入れ、冷凍庫もしくは冷蔵庫で保存します。適切に乾燥すれば凍結障害が生じる可能性は低いので、氷点下のなるべく低い温度で保存します。

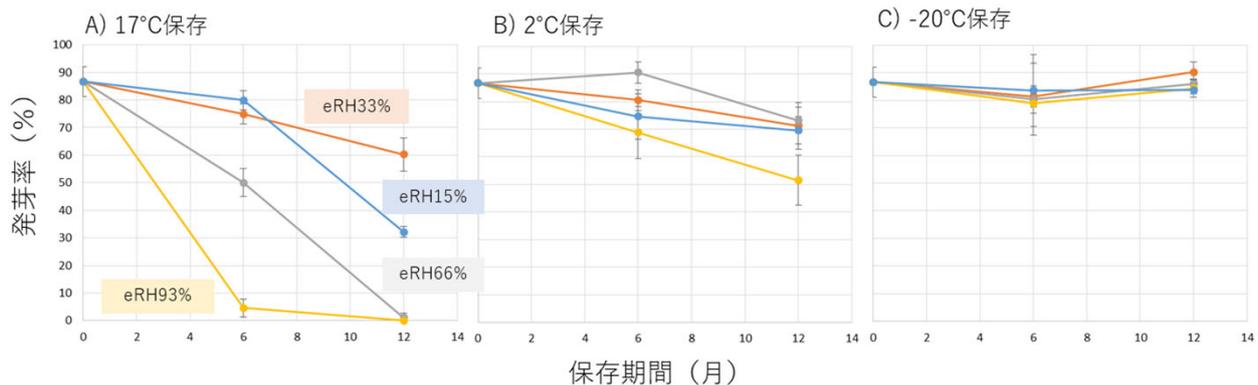


図1 様々な相対湿度と温度で保存したスギ種子の発芽率の変化(木村未発表)

### 保存時の劣化対策

保存時の結露や種子の凍結融解の繰返しを防ぐため、保存種子の出し入れは最小限に抑えることが重要です。最適な保存容器のサイズを選び、なるべく空隙を減らすことで容器内の結露を防ぐことができます。冷凍保存している全ての種子が常温にさらされる機会を減らすよう、一度に使う分量に小分けして保存するとよいでしょう。貯蔵容器にシリカゲルの小袋を一緒に入れることで、保存時に再吸湿が生じたかどうかを知ることができます(図2)。

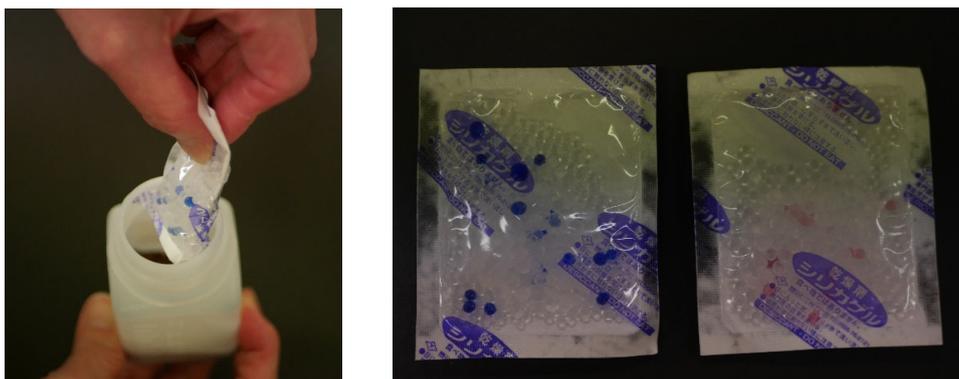


図2 再吸湿の指標となるシリカゲル  
色の違いで再吸湿したことがわかります。

## 発芽試験

種子の発芽能力はそれぞれの樹種に適した発芽試験を行うことでわかります。スギ、ヒノキ、カラマツなどの林業樹種については、国際種子検査規定によって詳細な発芽条件が決められています(表1)。これらの樹種では発芽床としてシャーレにろ紙を敷き水で湿らせたものを複数用意し、それぞれの発芽床に吸水させた種子を100粒ずつ播種します(図3)。これらを20℃16時間・30℃8時間の条件で一定期間育成し、発根した種子を発芽可能とみなします。これらの樹種の発芽には必ずしも光は必要ありませんが、成長が良く発芽の確認が容易になるため高温期に光をあて試験を行います。



図3 ヒノキ種子の発芽試験の様子

表1 国際種子検査規定(国際種子検査協会 1991)による林業樹種の発芽試験の条件

樹種	学名	算定開始日	算定締切日	休眠打破勧告法その他の指示事項
スギ	<i>Cryptomeria japonica</i>	7	28	
ヒノキ	<i>Chamaecyparis obtusa</i>	7	21	
カラマツ	<i>Larix kaempferi</i>	7	21	予冷なし及び3~5℃21日間予冷の重複試験
クロマツ	<i>Pinus thunbergii</i>	7	21	
アカマツ	<i>Pinus densiflora</i>	7	21	14日間予冷
トドマツ	<i>Abies sachalinensis</i>	7	28	3~5℃に21日間予冷
エゾマツ	<i>Picea jezoensis</i>	7	21	予冷なし及び3~5℃,21日間予冷の重複試験
アカエゾマツ	<i>Picea glehnii</i>	7	21	予冷なし及び3~5℃,21日間予冷の重複試験

## 発芽促進処理

カラマツやトドマツなどでは播種前に発芽促進処理として予冷(低温湿層)処理を行うことで発芽率が向上します。予冷処理は吸湿した種子が乾かないように濡れた紙タオルや水ごけなどで覆い、一定の期間1~5℃の低温に保ちます(図4)。予冷処理はスギやヒノキの発芽には必ずしも必要ではありませんが、この処理を行うことで発芽が早まり、発芽が揃う傾向が見られます(図5、図6)。一方で長期間にわたる予冷処理は菌害によって発芽率の低下を招く恐れがあるため注意が必要です。



図4 予冷(低温湿層)の様子

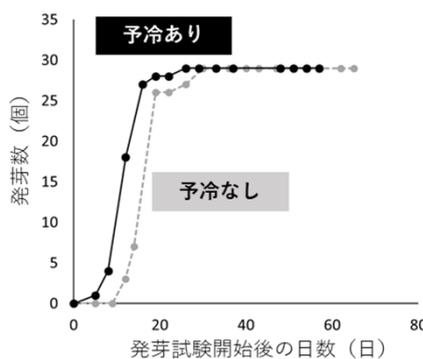


図5 スギ種子の発芽勢

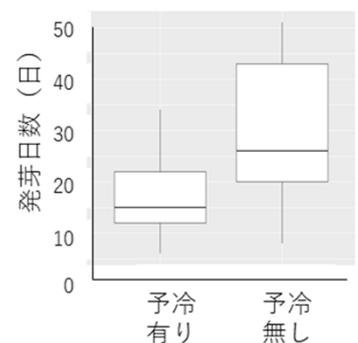


図6 スギ種子の発芽日数

ヒノキ種子の保存条件は発芽率だけではなく、発芽後の実生苗の生育へも影響があることが明らかになりました。保存温度と期間の増加に対して、発芽率だけでなく発芽後の生育が悪くなりました。また高い発芽率が保たれる温度条件でも、6ヶ月間で生育の低下が認められましたが、乾燥剤や脱酸素剤の使用により軽減可能なことも明らかにしました。

### 種子の保存温度が発芽率と生育に与える影響

採種したヒノキ種子を温度別に6ヶ月保管した後、セルトレイに播種し、発芽までに要する期間と播種2ヶ月後の苗長を比較しました。15℃以上での保管では発芽率が低下し、さらに37℃の条件では、発芽に要する期間が長くなりました(図1左)。保存温度の上昇とともに、発芽後(播種2ヶ月後)の生育も悪くなりました(図1右)。発芽率が維持された4℃の条件でも、採種後すぐに播種した場合(保管なし)より苗長が小さくなったため、種子の保存温度以外の保存条件も検討しました。

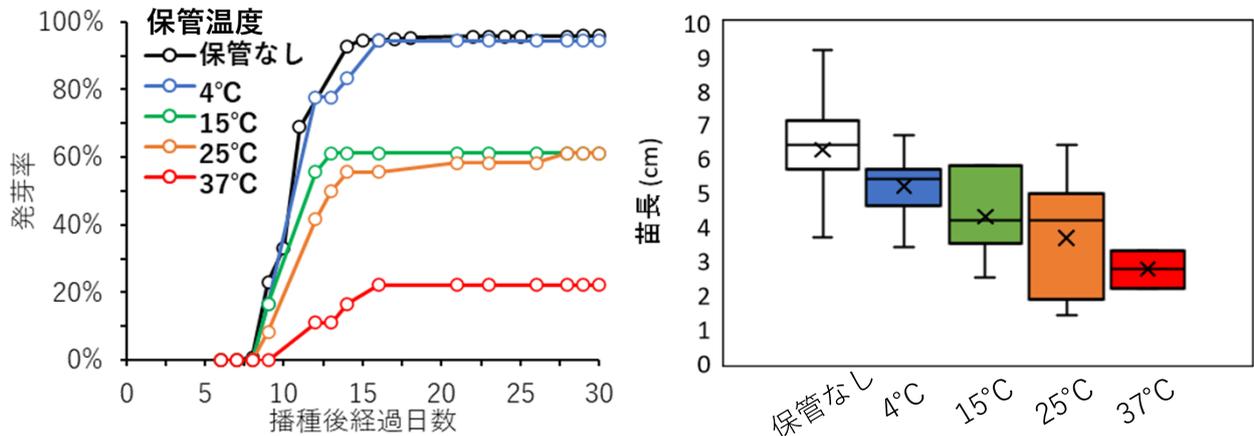


図1 各種温度で6ヶ月保管したヒノキ種子の発芽率と成長

### 種子保存時の乾燥剤と酸化防止剤使用による実生生育の改善

乾燥剤のシリカゲル、脱酸素剤のエージレスを使用して保管することで種子の劣化を軽減できることがわかりました(図2)。やむを得ず種子を保管する場合は低温、かつ乾燥剤や脱酸素剤を使用することが有効であると考えられました。

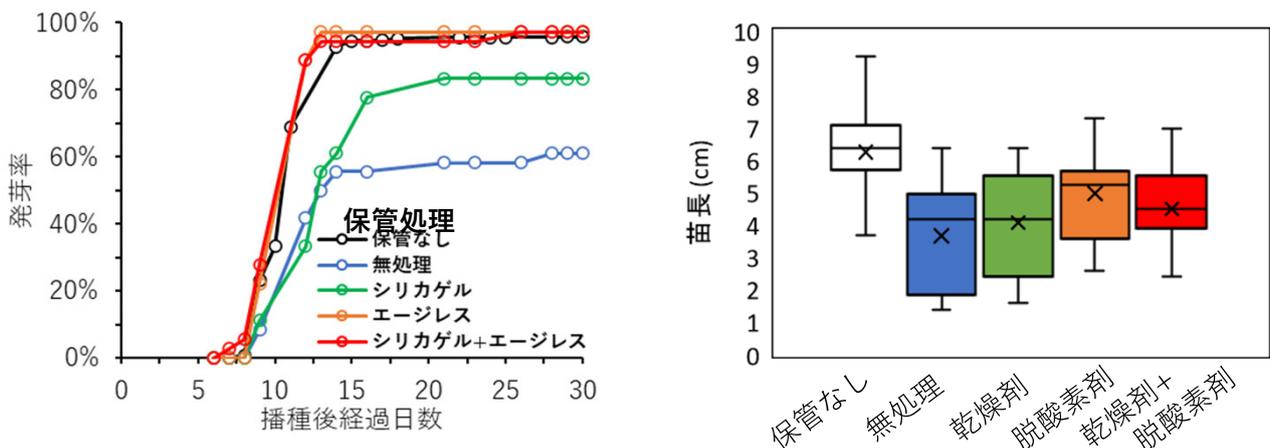


図2 乾燥剤と脱酸素剤がヒノキ種子の劣化(25℃、6ヶ月)に与える影響

乾燥剤:シリカゲル 脱酸素剤:エージレス

※ 詳細については論文にて発表予定



ヒノキ種子1粒の成長速度を分光データを用いてグレード分けし、そのグレードと発芽後の酸化型グルタチオン(GSSG)の施用効果との関係性を明らかにしました。その結果、種子のグレード分けを行うことで、グレードに応じた効率的な育苗管理(GSSG施用を含む)技術があり、このことは育苗コストの低減と歩留の改善につながります。

### 種子1粒単位での潜在成長力評価とグレード分け

播種前のヒノキ種子の分光データと成長データと対合させることで、種子1粒単位の成長速度(潜在GR)を評価し(図1A)、それに基づいて種子のグレード分け(図1B)を行うことで、育苗時のばらつきをコントロールすることができるようになりました(図1C)。

$$\text{成長力 (GR)} = \frac{\ln(\text{苗丈 (mm)} \times \text{基部半径 (mm)}^2 \times \pi \div 3)}{\text{播種後経過日数}}$$

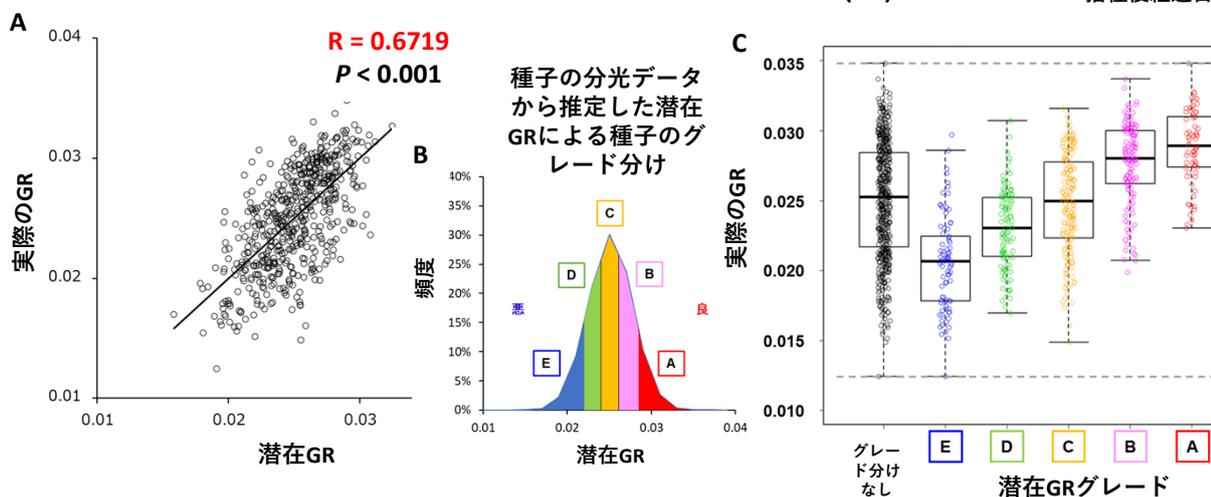


図1 潜在GRの推定とそのグレード分けによる生育のばらつき

### 潜在GRによるグレード分けとグルタチオン施用効果

GSSG施用(プラグ、コンテナ時に250倍W2溶液かん水とコンテナ移植時にR2粒剤の施用)によりCからEグレードの個体の成長が促進され(図2A)、歩留まりが向上することが分かりました。AとBグレードでは、GSSG施用なしでも高成長なので、GSSG施用を省くことが可能です。つまり、グレードに応じたグルタチオン施用管理になり、より低コストで歩留まりの高い育苗が可能になります(図2B)。

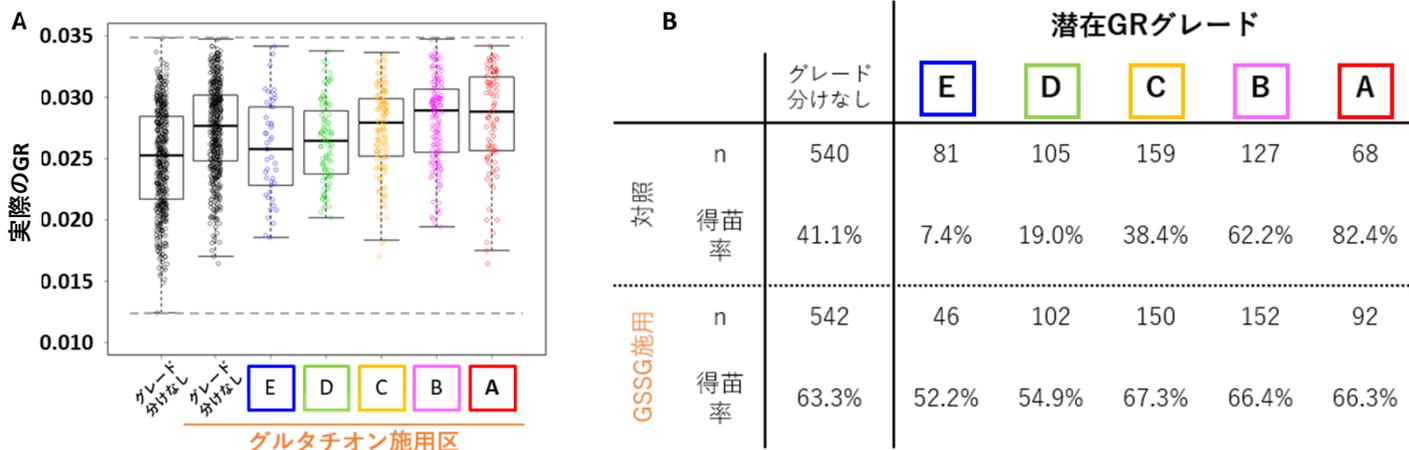


図2 潜在GRによるグレード分けとGSSG施用効果

A、GSSG施用した場合の各グレードの実際のGR B、各グレードの得苗率とGSSG施用効果の関係

※ 詳細については論文にて発表予定



# 3

播種



1:徳島県立農林水産総合技術支援センター、2:九州大学、3:秋田県立大学、4:森林総合研究所

市販されている充実種子選別装置(以下、選別装置)が、実際に発芽する種子を選別できているかどうかを検証するため、採種年や家系の異なるスギ種子を用い、選別装置が示す充実率と発芽試験(国際種子検査協会 (ISTA) 準拠)の比較を行いました。その結果、両者が高い相関を示したことから、選別装置は発芽する種子を適切に選別できることを確認しました。

## 方法

徳島県スギミニチュア採種園において、自然交配により形成された種子を試験に用いました(表1)。採取した種子は、2018年は家系ごとに、2020年は母樹ごとに調査を行い、それぞれの充実率と発芽率を決定しました。

表1 試験に供試したスギ種子の概略

採種年	調査単位	データ数	家系数	母樹数	供試種子数 (系列あたり)	
					装置計測	発芽試験
2018年	家系	20	20	169	1000~1047	400
2020年	母樹	67	31	67	872~1777	100

## 結果

選別装置が示す充実率と実測された発芽率の間には高い相関(直線的な関係)が確認されました(図1)。選別装置は、胚乳の脂質の蓄積程度に基づいて、種子の良否を判定します。下図の結果は、胚乳の成熟が十分でない非充実種子が、配布種子の発芽率を低下させている主要な要因であることを示しています。よって、装置によりそれらが除かれた後は、発芽率が大幅に上昇します。

採種後、適切に試験を行えば以下のような結果が得られますが、発芽率は不適切な保存環境や病虫害等によって低下するため、種子の管理には十分に留意する必要があります。

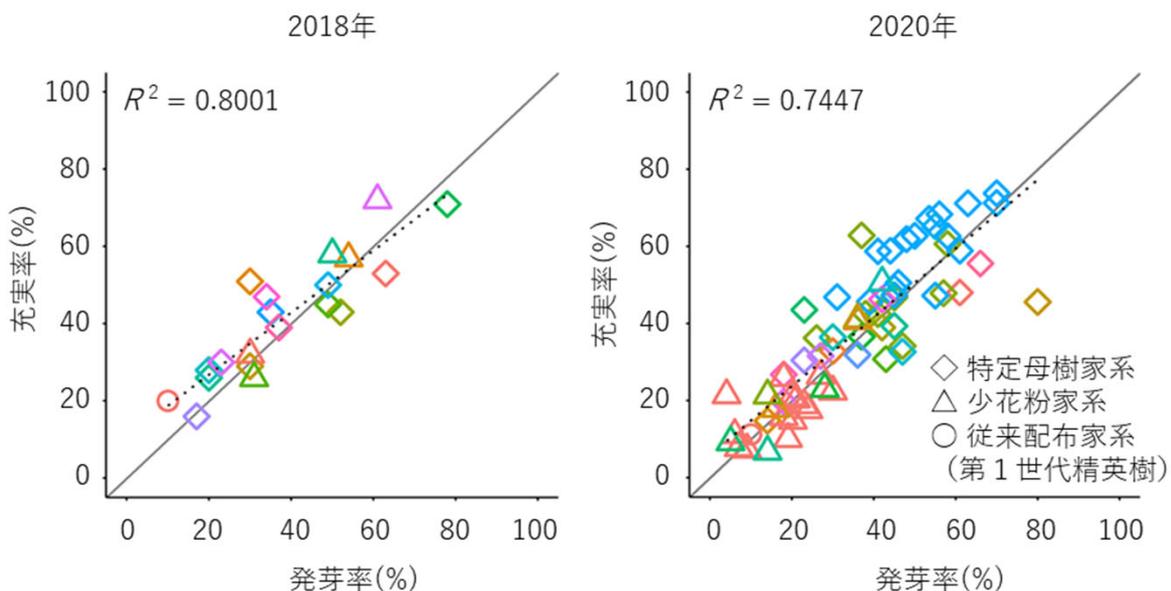


図1 選別装置が示す充実率と実測された発芽率の関係

マーカーの色の違いは家系の違い、点線は回帰直線を示します。



陶山大志、田中友梨

島根県中山間地域研究センター

林業用樹種の充実種子選別装置(九州計測器)が開発され、コンテナ苗の育成において、充実種子を1粒ずつ播種することによってコンテナ苗育成の省力化が図られることが期待されています。そこで、種子を過酸化石灰でコーティングして、一粒播種できるスギ・コーティング種子の作製を試みました。また、コーティング種子の播種機を試作しました。

## 過酸化石灰による種子コーティング

スギ種子は扁平な上にサイズのバラツキが大きく、種子コーティングはこれまで困難でした。コーティング時に種子サイズのバラツキを小さくすればコーティングできる可能性があると考えました。そこで、種子を丸穴メッシュ(直径2mm)の篩いと格子状メッシュ(間隔2mm)の篩いの2種類を使用し、種子サイズを「大」「中」「小」に3区分しました。そして、サイズ毎に過酸化石灰によるコーティングを試みました(協力:ピーエスピー株式会社、下関市)。

その結果、いずれの種子サイズにおいても球形のコーティング種子を得ることができました(図1)。得られたコーティング種子のサイズは「大」で5.7~4.8mm(平均5.2mm)、「中」で4.9~4.1(4.5mm)、「小」で4.3~3.6mm(平均3.9mm)でした。



図1 スギ・コーティング種子

## 播種機を用いた効率的な播種

コンテナ容器のキャビティやプラグトレイに手作業でコーティング種子を1粒ずつ播種するには手間がかかります。そこで、キャビティやプラグに瞬時に播種できる播種器を試作しました(図2;協力:坂中緑化資材株式会社、和歌山県)。播種機の播種穴を直径7.6mmに調整した場合、すべての播種穴から1粒が落下し、スギの1粒播種が可能となりました。ただし、コーティング処理後に40℃前後で乾燥するため、充実種子の発芽率が90%から60%程度に低下する場合があります。今後、発芽率が低下しない乾燥方法を検討する予定です。

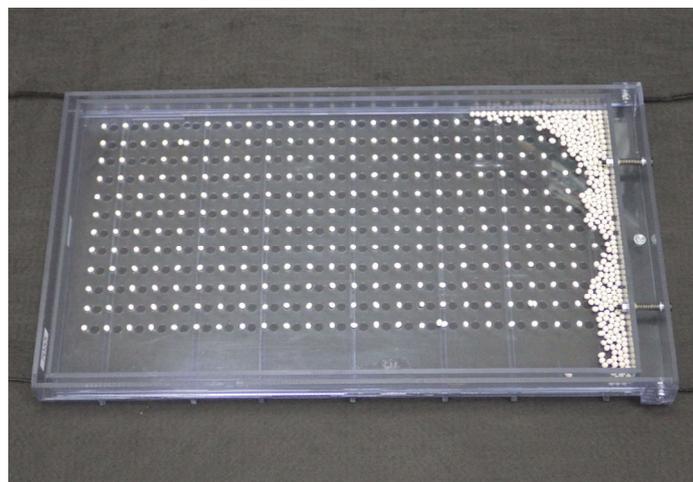


図2 播種器(プラグトレイ288穴用)



# 4

育苗：育苗スケジュール、育苗期間



1年間で十分な苗高となる環境条件を予測できると、播種時期の決定や必要な物資・作業人員の確保を計画的に行えるため、効率的に苗木を育成できます。そこで、発芽までに要する期間や、その後の芽生えの苗高と有効積算温度との関係を調べ、スギのコンテナ苗育成スケジュールの作成を試みました。

## 有効積算温度とは

基準となる温度を超えた部分の温度を一定の期間にわたって合計した値を有効積算温度といいます。有効積算温度は、作物の栽培限界地域の推定や桜の開花予測などに用いられています。今回は、播種から発芽までに要する期間を種子一粒ごとに追跡し、また移植後の芽生えの成長休止期までの到達苗高を1本ごとに追跡しました。それぞれ近傍で測定した気温から日平均気温を計算し、播種から発芽までは基準値を0℃として、移植後の芽生えの到達苗高は基準値を5℃として、算出した有効積算温度と発芽と苗高成長の関係を調査しました。

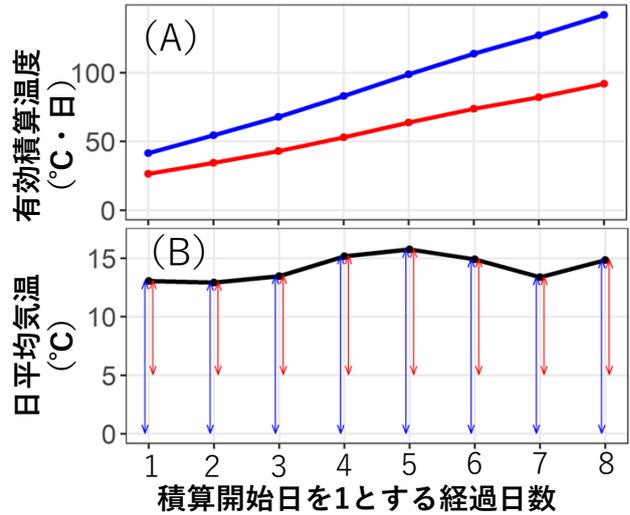


図1 日平均気温を用いた有効積算温度の例

有効積算温度(A)は日平均気温(Bの折れ線)と基準となる気温の差(Bの矢印)を積算開始日から経過日数分積算した値。青は0℃を基準とする場合。赤は5℃を基準値とする場合。

## 発芽と有効積算温度

全国6地点で3月上旬に播種し、発芽までに要する期間と播種床付近の気温から算出した0℃を基準とする有効積算温度との関係を調査したところ、発芽までに要した有効積算温度は、全国的に概ね350～500℃・日の範囲にあることが分かりました(図2)。そこで、より具体的に、茨城県日立市でのスケジュール作成を想定して、同場所における有効積算温度と累積発芽率の関係に着目すると図3のようになりました。この関係を使用すると、播種種子数と発芽率、それから植え替えに使用する芽生えの数を設定すれば、その本数の芽生えが得られる有効積算温度が推定できます。

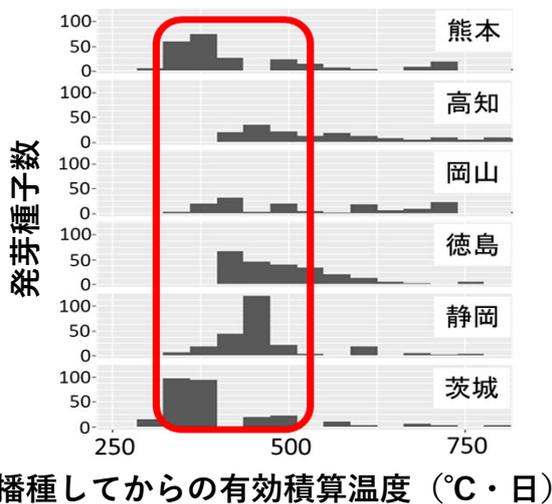


図2 有効積算温度と発芽数の関係

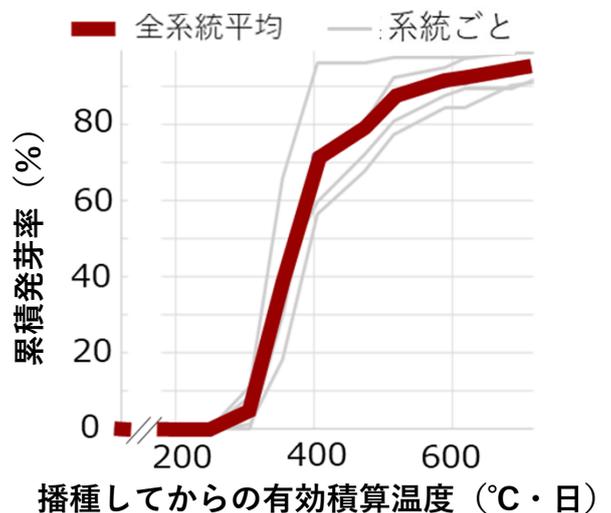


図3 有効積算温度と累積発芽率の関係

## 苗高と有効積算温度

茨城県日立市で3月上旬に播種した1年生コンテナ苗の育成において、横軸に5℃を基準とする有効積算温度、縦軸に苗高をとると、芽生え活着期と成長旺盛期の傾きの異なる2本の直線で苗高の経時変化を表現することができました(図4A)。個体ごとに成長旺盛期の直線を計算し、家系を独立変数として詳細に解析すると、直線の決定係数は、解析対象全個体でいずれも0.94以上となり、家系間差は検出されませんでした(図4B)。一方、直線の傾きには家系間差が検出されました(図4C)。これらのことから、苗高成長は温度依存性が強く、有効積算温度による推定が可能ですが、温度に対する反応が遺伝的に異なることが分かりました。苗木育成に用いる種子の大半は採種園産であり、その構成系統は採種園ごとに異なります。そのため、育成スケジュール作成にあたっては採種園ごとに関係式を明らかにする必要があります。

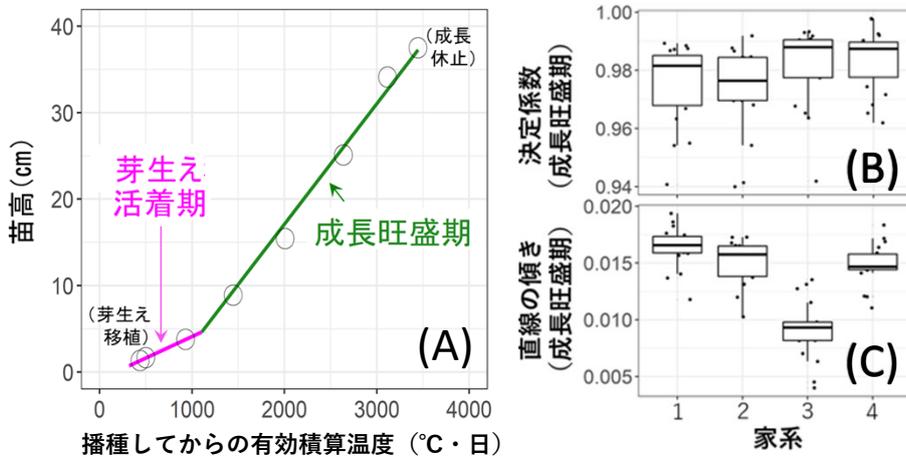


図4 有効積算温度と苗高の関係(A)および成長旺盛期の直線の決定係数(B)と傾き(C)の家系間差

## 発芽・苗高の予測とコンテナ苗育成スケジュールの試作

ここまで説明した研究結果を用いて、茨城県日立市において成長休止期までに苗高が35cmになるまで育成するには、いつまでに播種を行う必要があるかを推定しました(図5A)。当該地の成長データから、図5Aに列記している値をパラメータとして取得しました。変数として令和3(2021)年の苗木育成環境の気温データを用い、到達樹高が35cmを超える最も遅い播種日を求めたところ、4月7日と推定されました。今回用いた35cmという指標は全体の8割程度の個体が林野庁の5号規格に該当する苗高30cmに到達した集団における経験的な中央値です。つまり、茨城県日立市で1成長期で出荷できるようにするには、令和3(2021)年の気象条件であれば、4月7日までに播種を行えばよいことを示しています。ここに例示したような推定から、各苗木育成地において図5Bのような苗木育成スケジュールを作成すると、コンテナ苗の育成計画がイメージしやすくなると考えられます。

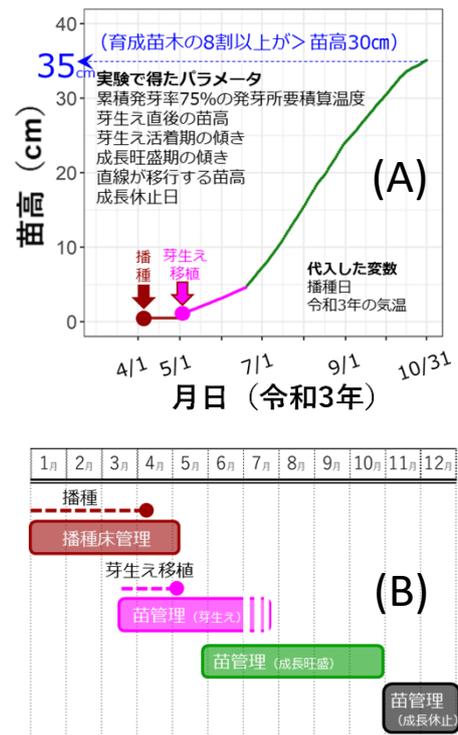


図5 到達苗高35cmとなる予測育成工程(A)と試作した年間スケジュール(B)

コンテナ育苗に2～3年を要する寒冷地においては、冬越し作業が育苗コストを押し上げています。岩手県において1年以内で山出し基準(岩手県35cm、林野庁30cm)に達するスギの育苗に取り組み、早期播種と加温により実質の成長期間を延ばした結果、岩手県と林野庁の基準に対する苗の歩留まりをそれぞれ50.1%、72.8%にすることができました。

## 背景

岩手県の苗木業者における一般的なスギの育苗工程は、5月に露地に播種して育苗を開始します(図1)。その年の12月に苗木を掘り取って苗箱に入れ(図2)、苗箱を冷蔵庫に保管して一回目の冬越しを行います。翌年の4月に苗箱から取り出した苗木をコンテナに移植し(図3)、秋までコンテナ育苗を行います。ある程度積雪があった後、苗木が直接寒風に当たらないようにするため、コンテナの上にシートを被せ、雪に埋めるようにして2回目の冬越しを行います(図4)。翌春、つまり播種してから翌々年の春に、コンテナ育苗を再開し、春から夏にかけて苗木の出荷が可能になります。この方法では2回の冬越しを行っています。1回目の冬越しには苗木の掘り取り、苗箱での保管、また2回目の冬越しにはコンテナの雪中埋蔵のための労力やコストを要しています。これらのデメリットに加え、冬越しの間中は成長が見込めません。2回の冬越しを経て出荷するということは、育苗開始時に2年先の需要量を見積もる必要がありますが、この予想は困難であるという課題もあります。そこで冬越し回数を減らすことはできないか、岩手県滝沢市にある森林総合研究所林木育種センター東北育種場で育苗試験を行い、検討しました。



図1 露地への蒔き付け(1年目5月)



図2 掘り取った苗木(1年目12月)



図3 コンテナへの幼苗の移植(2年目4月)



図4 コンテナの冬越し(2年目12月)

## 山出しまでの期間の短縮のための取り組み

令和元(2019)年～令和3(2021)年までの3年間の試験では1年以内で出荷規格に達する苗木は1本もみられませんでした。そこで、令和4(2022)年に以下の条件で播種・育苗を行いました。保温効果を高めるためにビニールハウス内に小型の播種用のハウスを設置し(図5)、その内部を電熱シートや小型ストーブで加温しました。また、播種日を1月にまで早めることで成長期間を長くしました。播種からコンテナ移植までの間、外気温の最低温度はほぼ毎日0度を下回っていましたが、加温の効果でハウス内の温度が0度を下回ったのは数日しかありませんでした。また、加温が原因でエクセルソイルが乾燥することがあったので、エクセルソイルの最外周のセルには播種せず、バッファーとしました(図6)。

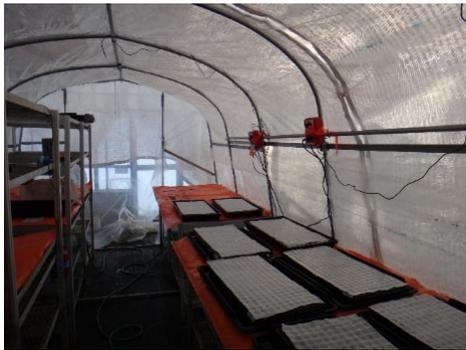


図5 蒔付け温室



図6 バッファーを設けたエクセルソイルへの播種

## 結果

令和4(2022年)は1月末に播種したところ、2月中旬から発芽が観察されました。3月下旬に毛苗をコンテナに移植し、4月にコンテナを温室から野外環境に順化させました。1成長期後である10月末には約半数(50.1%)の苗木が播種後1年以内に岩手県の出荷規格である35cm(図9の赤点線)に達していました(図8、図9)。林野庁の基準である30cm(図9の青点線)で見ると、72.8%の苗木が30cmに達していました。今後はさらなる歩留まりの向上や育苗規模の拡大といった課題に取り組む必要があると考えています。



図7 育苗の様子(6月)



図8 掘り取った苗木(12月)

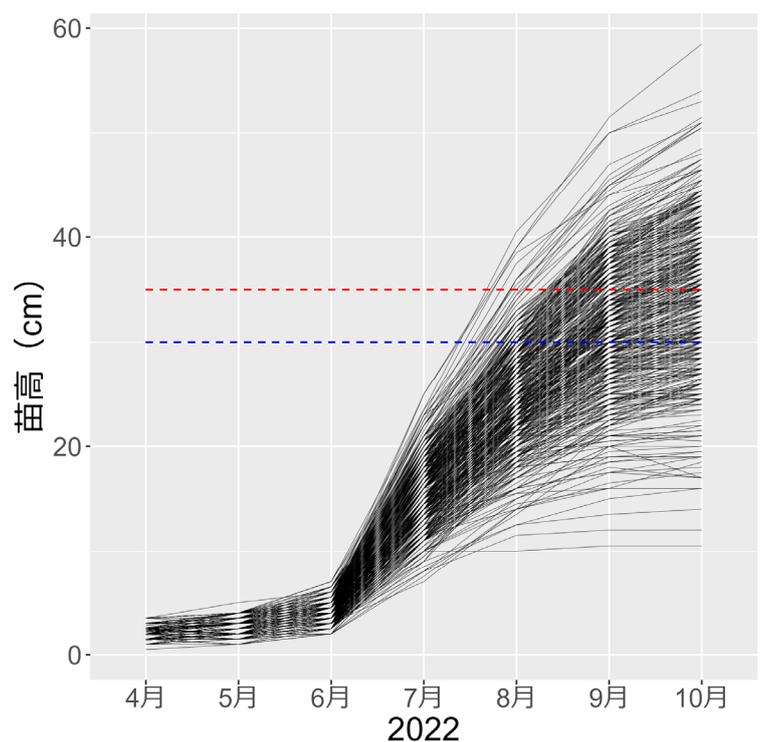


図9 植替え後の苗木高成長

スギのエリートツリー間で交配した4系統をコンテナ苗で育苗しました。3月上旬に播種し、4月上旬～下旬にコンテナへ移植し、屋外で育苗を続けたところ、4系統すべてが10月下旬に平均苗高30cm以上となりました。12月上旬では、平均苗高33～41cm、平均根元直径3.6～4.4mmで、静岡県の出荷規格(苗高30～45cm、根元直径3.5～5.0mm)<sup>注)</sup>に到達しました。

## エリートツリー交配系統の育苗方法

エリートツリー間の交配で得られた種子を3月上旬に育苗箱へ播種し、発芽した稚苗を4月にJFA150ccコンテナへ移植しました。培土はココピートオールとし、元肥にマイクロロングトータル280-100日タイプを5g/L与えました。梅雨前までハウス内で育苗し、それ以後は屋外の散水施設の下で育苗を続けました。移植から約100日後に、ハイコントロール085-100日タイプを追肥として与えました(表1)。

表1 スギエリートツリーコンテナ苗の育苗条件

系統	♀エリートツリー×♂エリートツリー 4系統
播種(育苗箱)	2022年3月2日
コンテナ容器	JFA 150cc 40穴 コンテナ
コンテナ移植	2022年4月6日～4月19日
培土	ココピートオール
元肥(4月)	マイクロロングトータル280-100日タイプ 5g/L
追肥(8月)	ハイコントロール085-100日タイプ 1g/本
育苗場所	5月24日までハウス内 5月24日以降屋外

## エリートツリー交配系統コンテナ苗の成長

3月上旬に播種し、4月にコンテナへ移植した稚苗は順調に成長し、10月には4系統すべてが平均苗高30cm以上、12月上旬には4系統すべてで平均根元直径が3.5mm以上になりました(図1、図2)。静岡県におけるコンテナ苗の出荷規格は、苗高30～45cm、根元直径3.5～5.0mm<sup>注)</sup>であるため、播種から約9ヶ月でスギエリートツリーコンテナ苗を出荷規格することが可能になりました。

<sup>注)</sup>静岡県のスギコンテナ苗出荷規格は、2023年12月に苗高30cm以上、根元直径3.5mm以上、形状比100未満を目安に変更となりました。

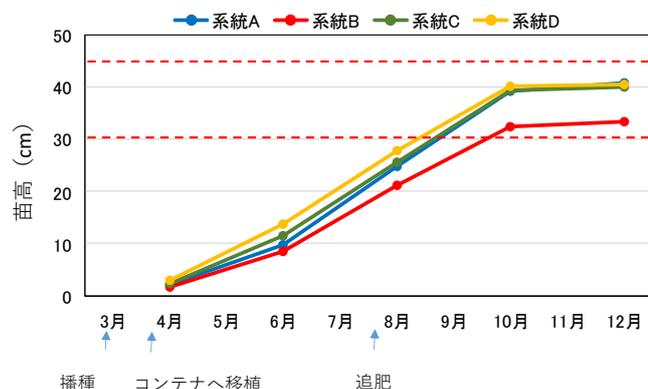


図1 スギエリートツリーコンテナ苗の苗高成長

系統当たりの苗木本数は34～40本、矢印は各作業の時期を示す。

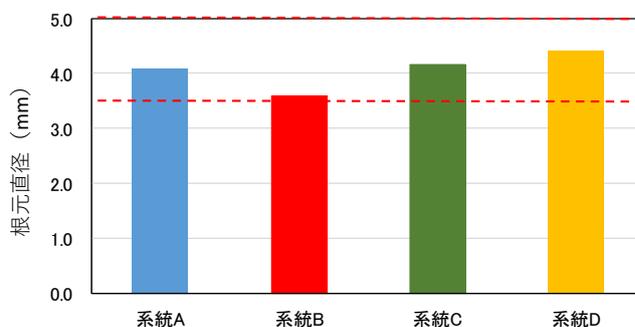


図2 スギエリートツリーコンテナ苗の根元直径(12月上旬)

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日を元肥として培土に混合し、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。

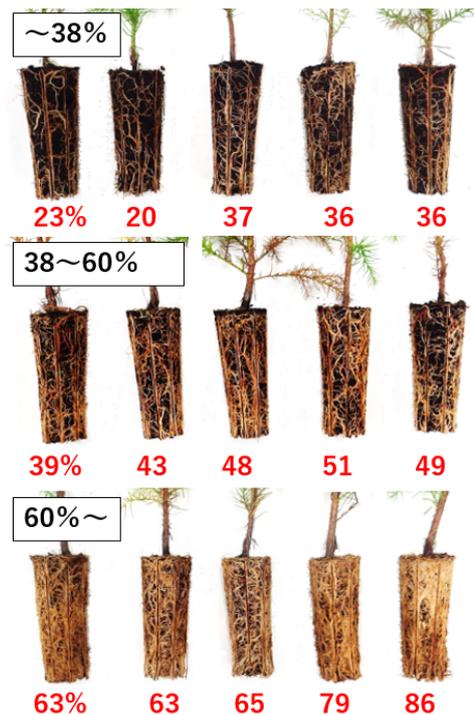


図1 根鉢表面積率の見本チャート

### 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。

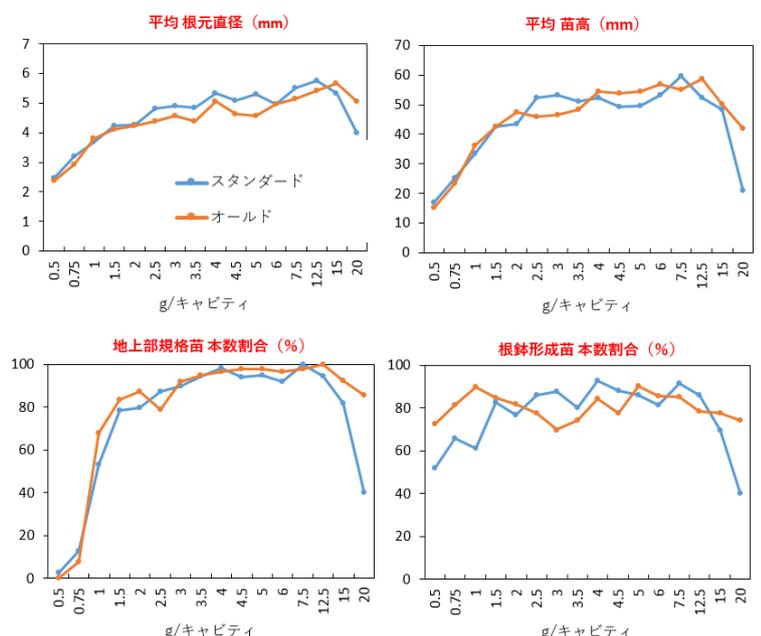


図2 施肥量と平均根元直径・平均苗高・地上部規格苗本数割合(%)・根鉢形成苗本数割合(%)の関係

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。

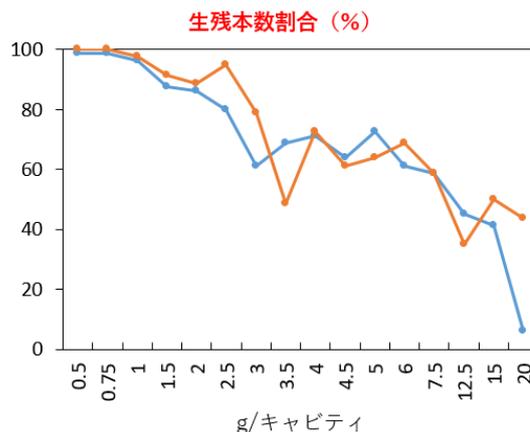


図3 施肥量と生残本数割合の関係

## 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。

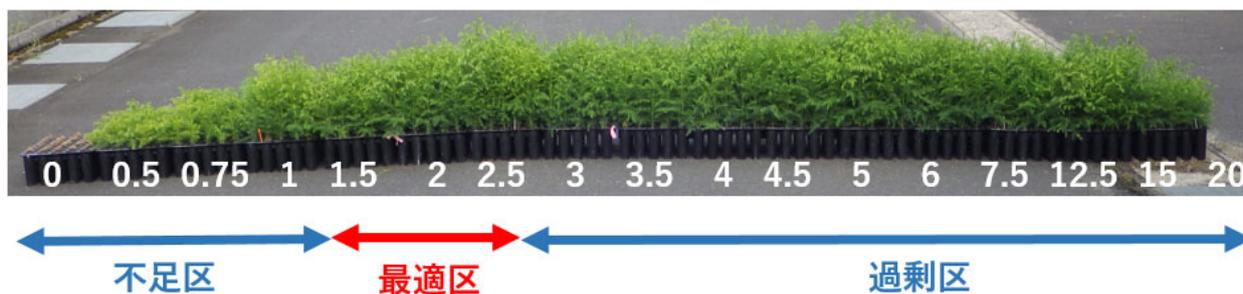
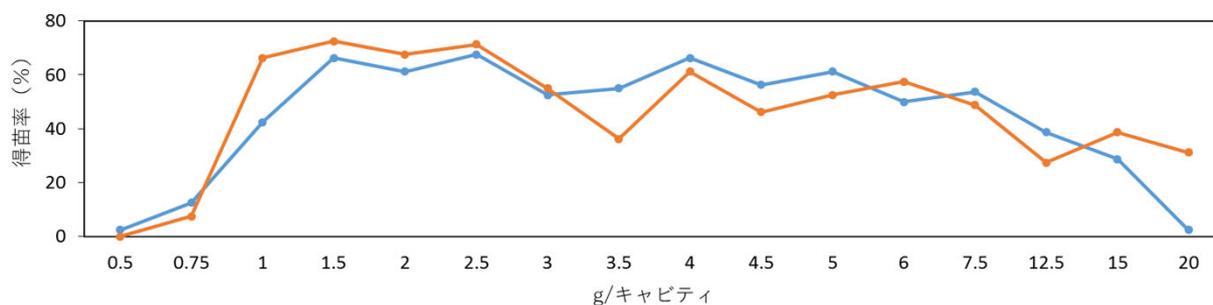


図4 施肥量と得苗率の関係

## 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の変動することから、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）。

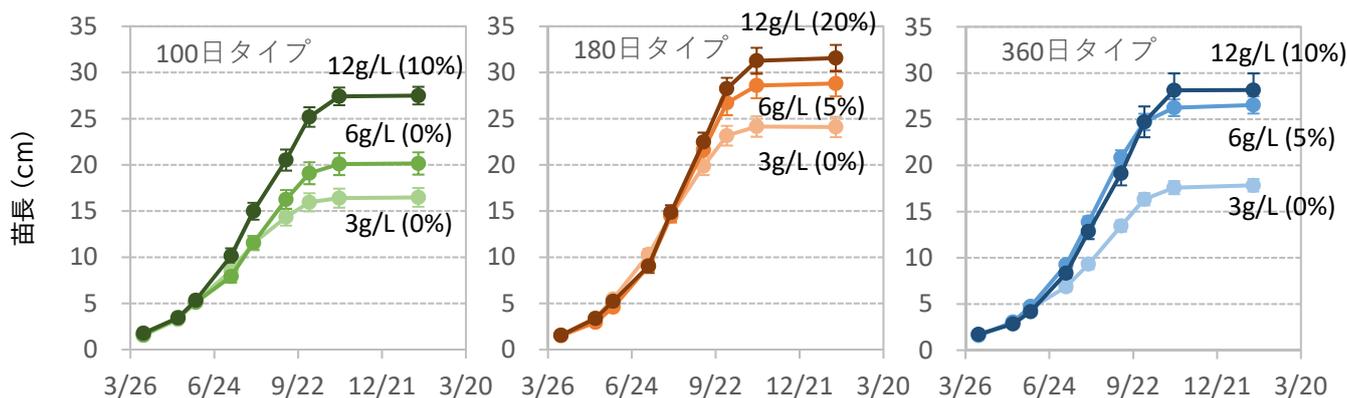


図1 元肥の各溶出タイプおよび量におけるスギコンテナ苗の苗長の季節変化

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)。

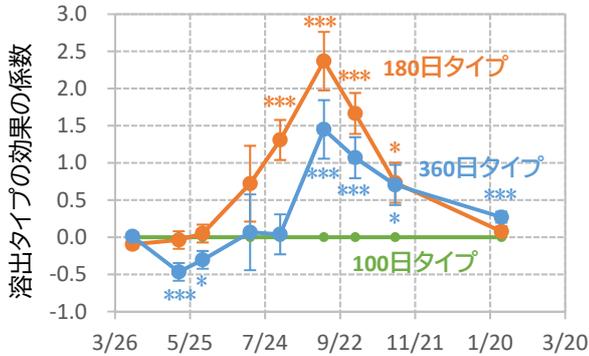


図2 元肥の溶出タイプがスギコンテナ苗の伸長成長に及ぼす影響の季節変化

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。  
\*:  $P < 0.05$ 、 \*\*:  $P < 0.01$ 、 \*\*\*:  $P < 0.001$

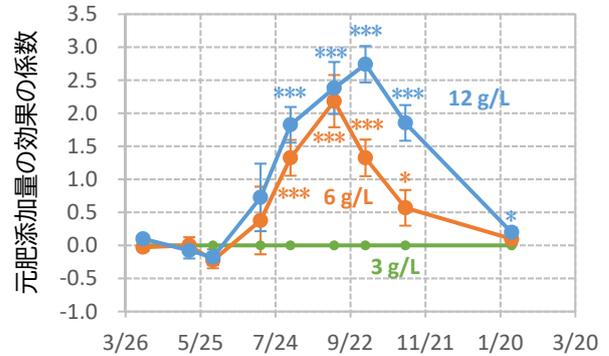


図3 元肥の量がスギコンテナ苗の伸長成長に及ぼす影響の季節変化

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)。

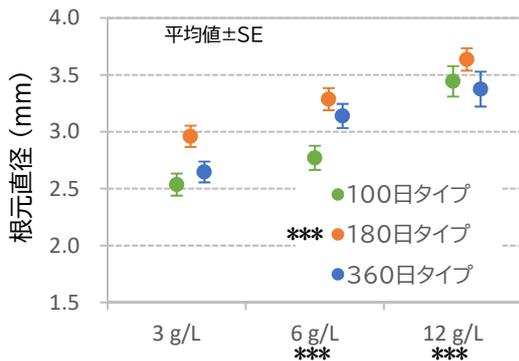


図4 元肥の各溶出タイプおよび量におけるスギコンテナ苗の1成長期後の根元直径

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。\*\*\*:  $P < 0.001$

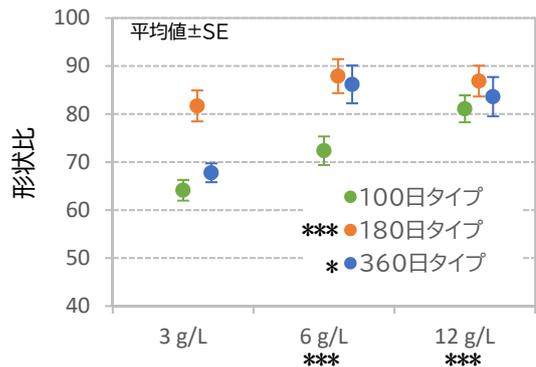


図5 元肥の各溶出タイプおよび量におけるスギコンテナ苗の1成長期後の形状比

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。

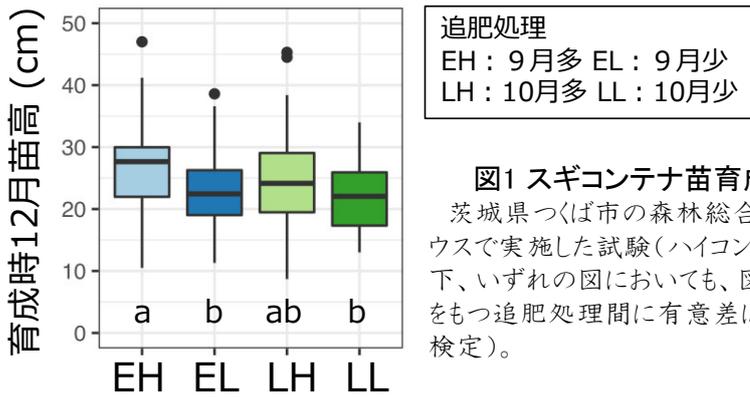


図1 スギコンテナ苗育成時の期末の苗高  
茨城県つくば市の森林総合研究所苗畑ビニールハウスで実施した試験(ハイコントロール650)の事例。以下、いずれの図においても、図中の同一アルファベットをもつ追肥処理間に有意差はない(Tukeyの多重比較検定)。

### 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が。

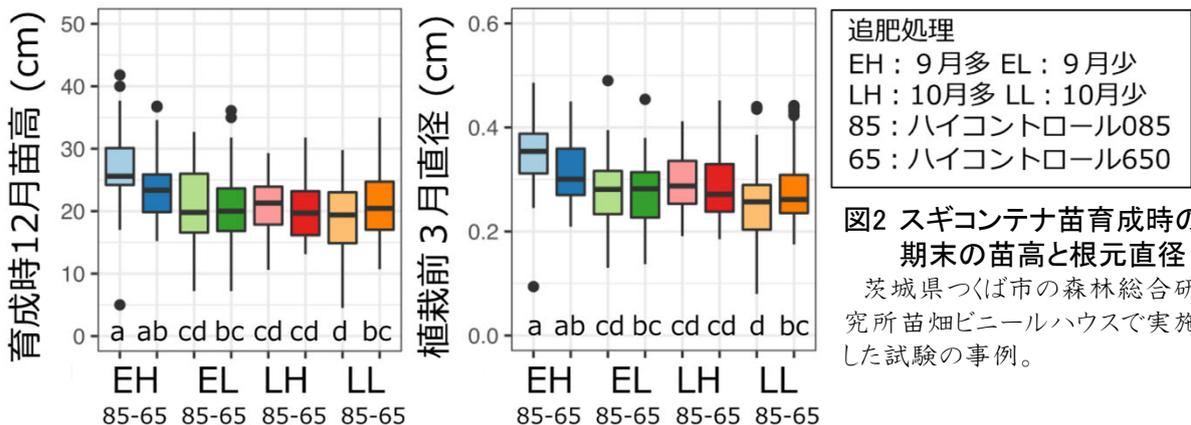


図2 スギコンテナ苗育成時の期末の苗高と根元直径  
茨城県つくば市の森林総合研究所苗畑ビニールハウスで実施した試験の事例。

## 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。

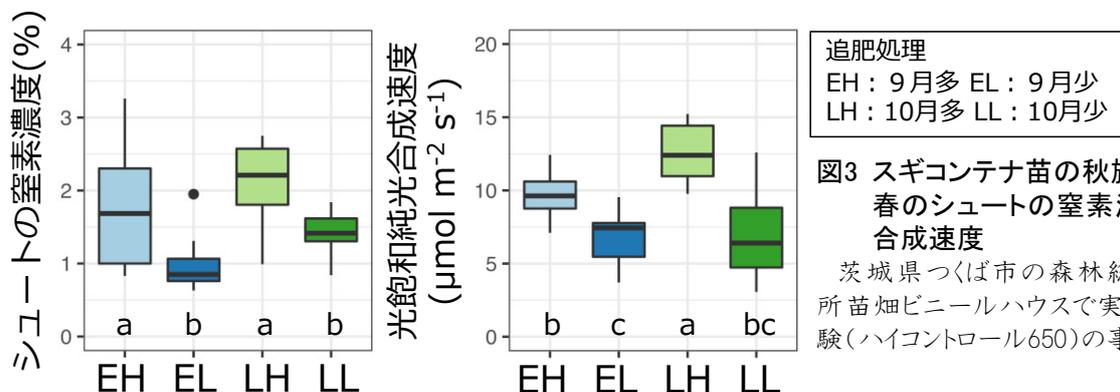


図3 スギコンテナ苗の秋施肥の翌春のシュートの窒素濃度と光合成速度  
茨城県つくば市の森林総合研究所 苗畑ビニールハウスで実施した試験(ハイコントロール650)の事例。

## 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。

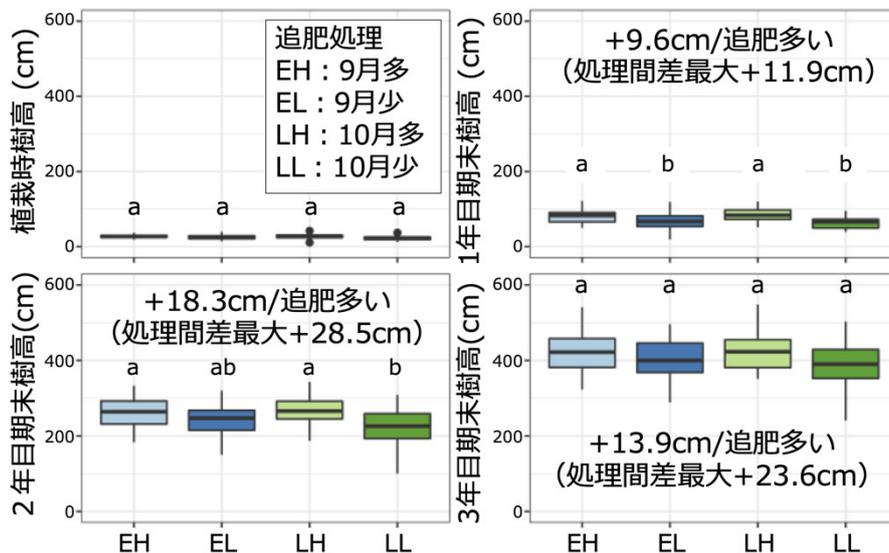


図4 秋施肥したスギコンテナ苗の植栽後の樹高  
茨城県つくば市の森林総合研究所 苗畑で実施した植栽試験の事例。

## 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。

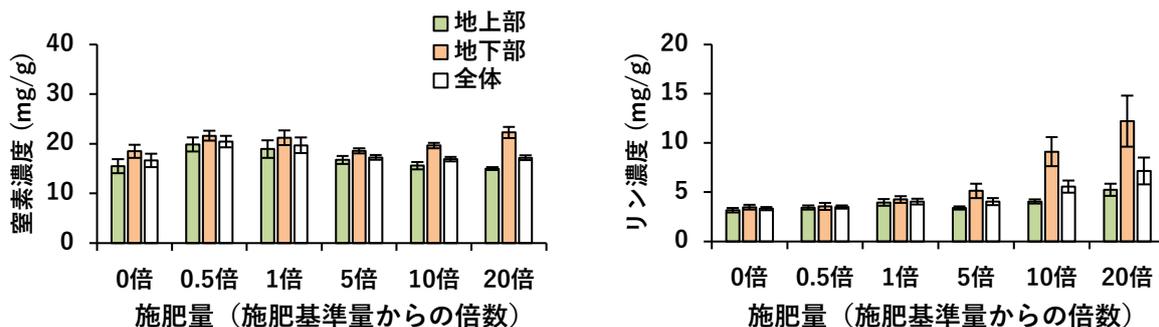


図1 コンテナ苗(九育2-203)における冬季の施肥量と苗木の窒素およびリン濃度の関係

### 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。

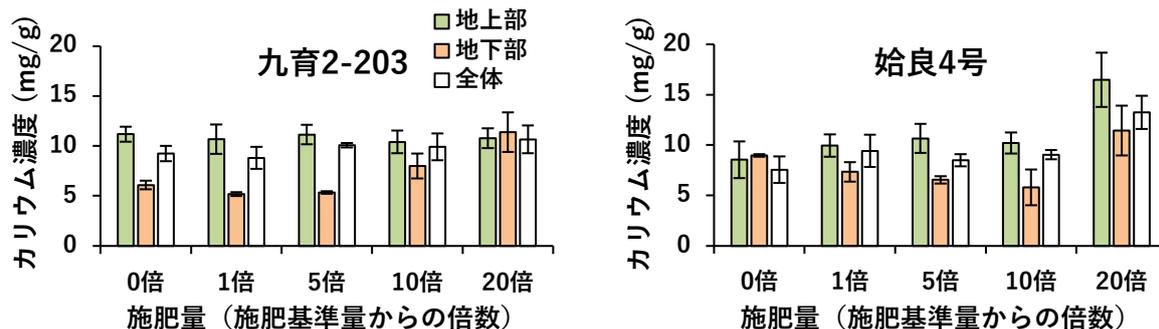


図2 スギ2品種(九育2-203と県始良4号)のコンテナ苗における冬季の施肥量と苗木のカリウム濃度の関係



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

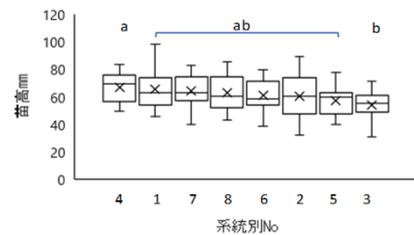


図1 A区の系統別苗高成長比較

異符号間に有意差あり(Tukey Kramer  $P < 0.05$ )

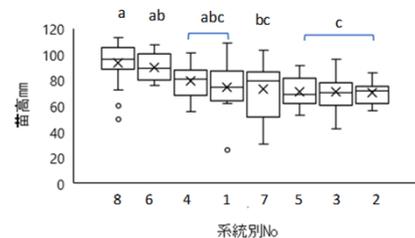


図2 B区の系統別苗高成長比較

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。

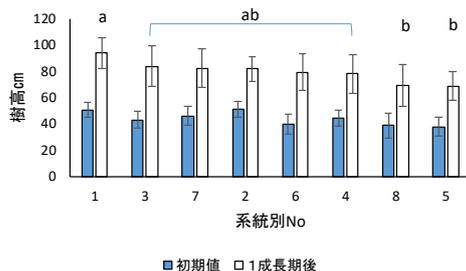


図3 11月の樹高

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

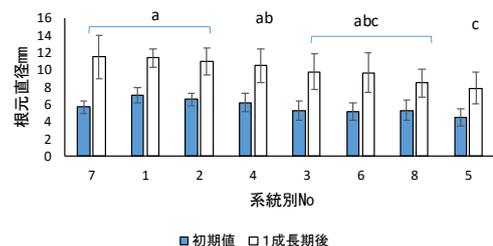


図4 11月の根元直径

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



# 育苗：施肥

## 溶出期間700日肥料を元肥に用いて育成した1年生ヒノキ・コンテナ苗の植栽1年目の成長

茂木靖和、渡邊仁志

岐阜県森林研究所

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 <sup>※</sup>	
	700日肥料 (g/10L)	360日肥料 (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

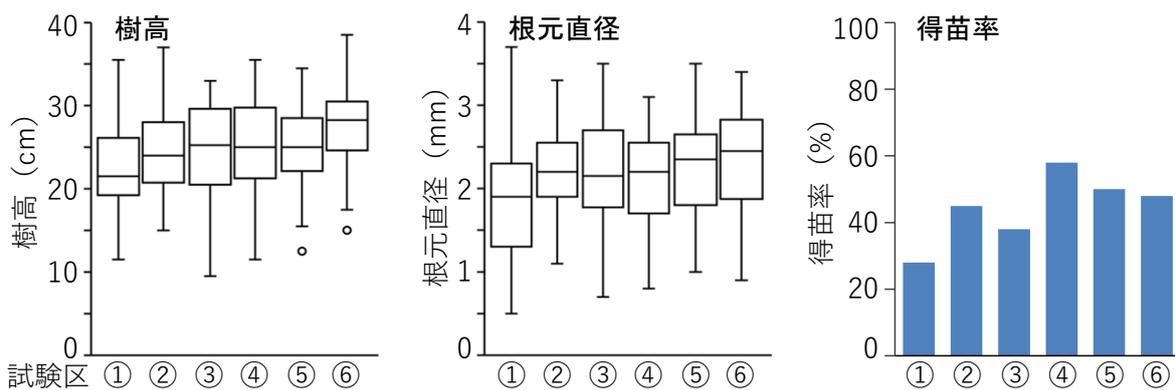


図1 育苗結果(2021/4/19)

### 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。

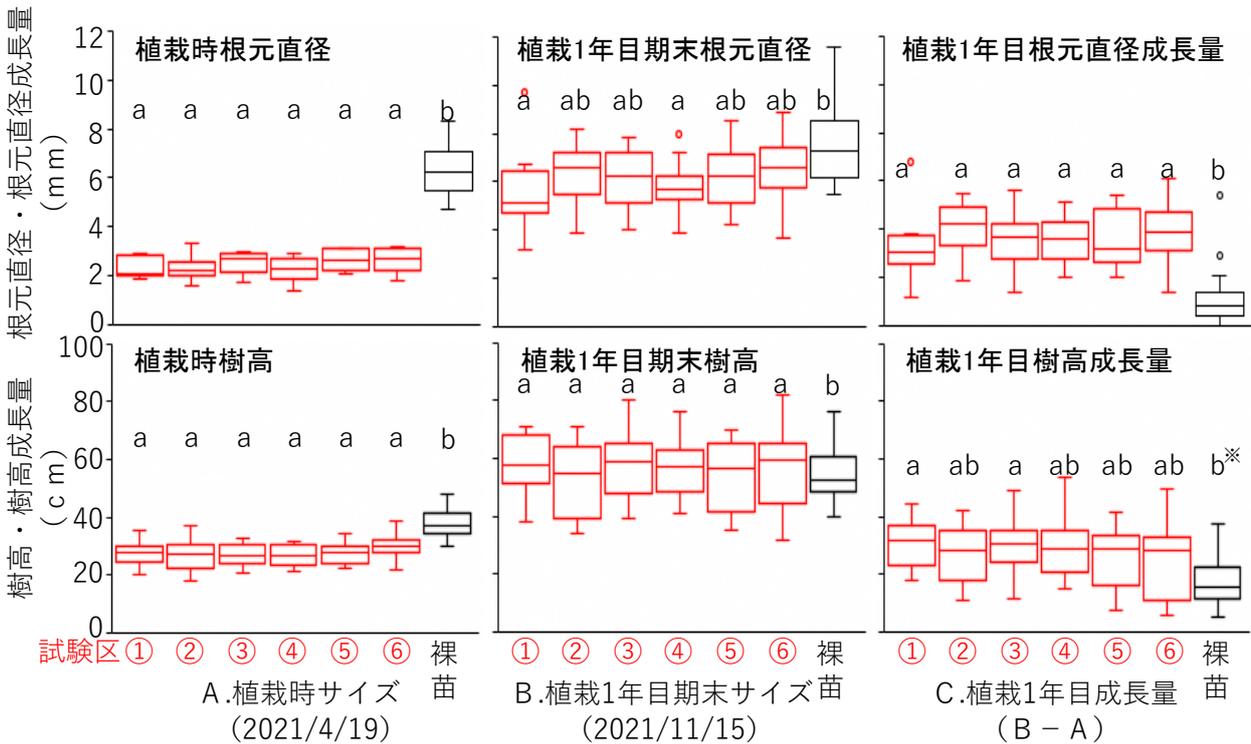


図2 植栽1年目の苗サイズ・成長量

※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。

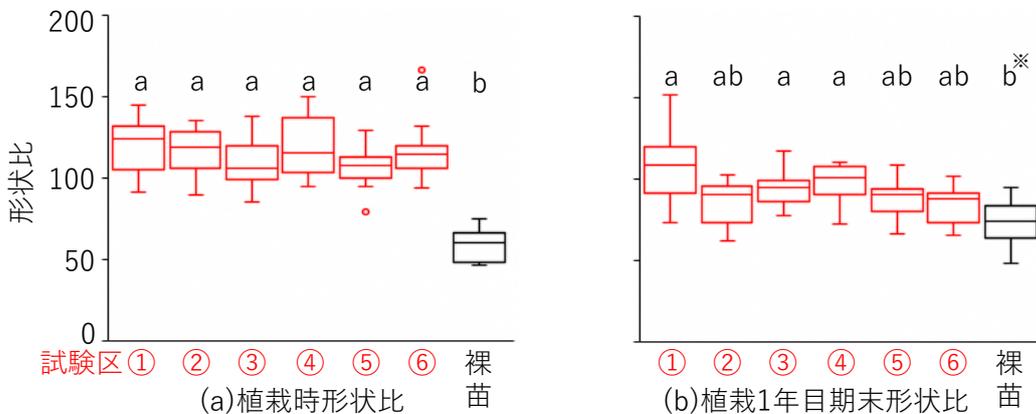


図3 植栽1年目の形状比

※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



# 6

育苗：グルタチオン施用

# コンテナ育苗へのグルタチオン施用効果

袴田哲司

静岡県農林技術研究所森林・林業技術センター

スギのマルチキャビティコンテナ苗またはMスターコンテナ苗に酸化型グルタチオン(GSSG)を施用すると、半年間で苗高と根元直径が無施用区より大きくなりました。この間、GSSG施用により育苗期間中のコンテナ苗の健全率が無施用に比べて高まりました。また、ヒノキコンテナ苗では、苗高や根元直径への効果がコンテナタイプにより異なりました。

## スギコンテナ苗へのGSSG施用効果

スギのMスターコンテナ苗(約300cc)に5月上旬～9月下旬の期間中約10日の間隔でのGSSG(カネカペプチドW2水和剤250倍水溶液20mL/本)を計13回施用しました。8月にはGSSG施用区の苗高と根元直径は対照区を上回り、その差は統計的に有意となりました。11月にはその差はさらに大きくなり、GSSG施用区(n=34)の苗高は対照区(n=36)の1.17倍、根元直径は1.16倍になりました(図1)。また、マルチキャビティコンテナ苗(150cc)の試験では、5月上旬～9月中旬の期間中約3週間ごとにGSSG施用を行いました。11月には有意差が認められ、GSSG施用区の苗高は対照区の1.20倍、根元直径は1.07倍になりました(図2)。

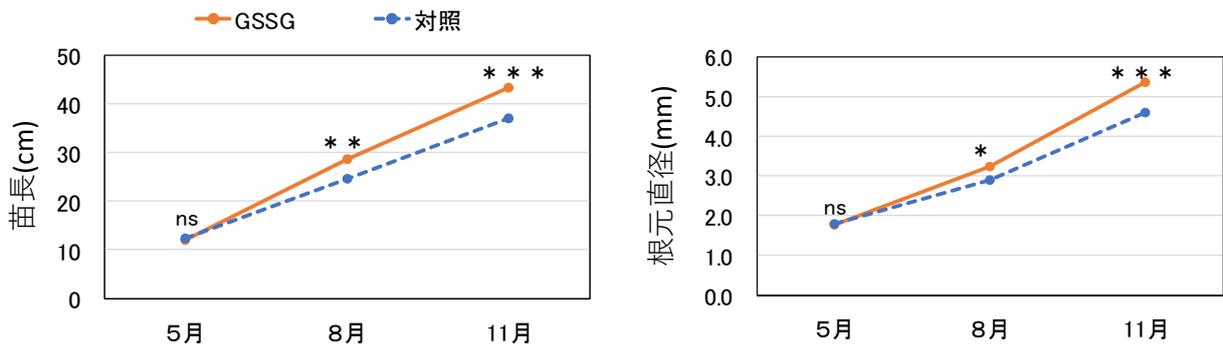


図1 GSSGを施用したスギMスターコンテナ苗の成長

左: 苗高、右: 根元直径、\*\*\*:  $P < 0.001$ 、\*\*:  $P < 0.01$ 、ns: 有意差なし

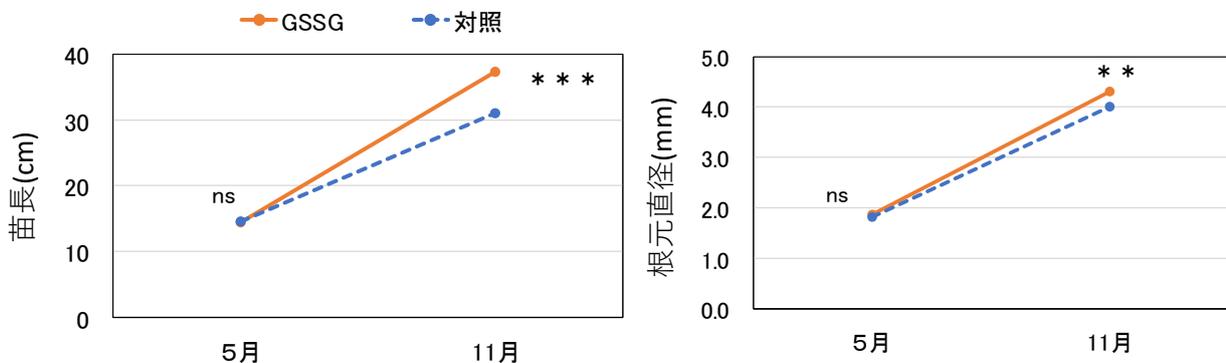


図2 GSSGを施用したスギマルチキャビティコンテナ苗の成長

左: 苗高、右: 根元直径、凡例は図1と同じ。

## GSSG施用によるスギコンテナ苗の健全率向上

近赤外分光イメージングによって得られるSQL(Seed Quality Index)値でグレード分けしたスギ種子を、夏期には高温となる条件下でマルチキャビティコンテナで育苗した場合、種子のグレードに関わらずGSSG施用により苗木の健全率(供試苗木のうち、枯死および不良個体を除いた健全な苗木の本数割合)が高まりました(図3、表1)。

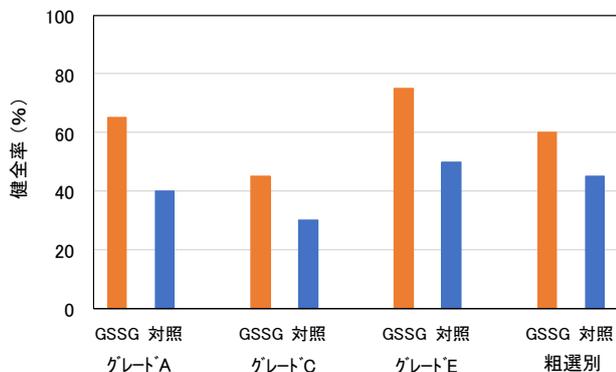


表1 一般化線型モデルによる分析結果

目的変数	説明変数	逸脱度	自由度	P値
健全率	種子グレード	5.374	3	0.146
	GSSG処理	6.668	1	0.0098
	交互作用	0.442	3	0.931

図3 種子グレード別にGSSGを施用した場合の苗木の健全率

## ヒノキコンテナ苗へのGSSG施用効果

ヒノキMスターコンテナ苗へ約10日の間隔でGSSG施用(250倍水溶液20mL/本)を計14回実施したところ、苗高の増大が認められました(図4)。マルチキャビティコンテナ苗へ約3週間ごとの間隔で計7回施用した場合には根元直径が大きくなりました(図5)。

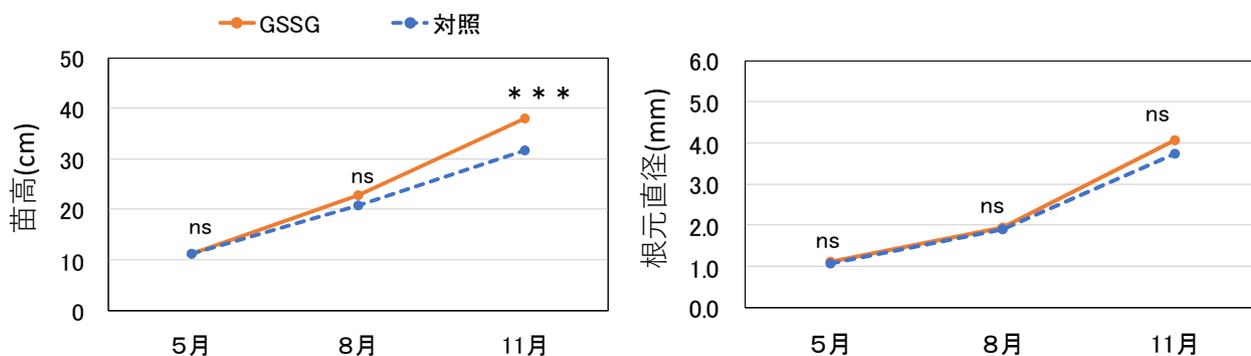


図4 GSSGを施用したヒノキMスターコンテナ苗の成長

左: 苗高、右: 根元直径、\*\*\*:  $P < 0.001$ 、ns: 有意差なし

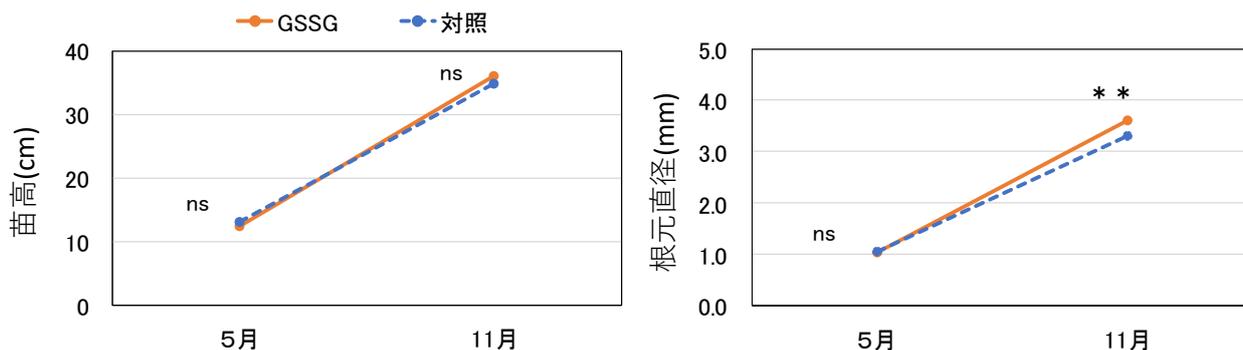


図5 GSSGを施用したヒノキマルチキャビティコンテナ苗の成長

左: 苗高、右: 根元直径、\*\*: $P < 0.01$ 、ns: 有意差なし

# ヒノキマイクロカッティングへの酸化型グルタチオン施用効果

茂木靖和<sup>1)</sup>、小川健一<sup>2)</sup>

1: 岐阜県森林研究所、2: 岡山県生物科学研究所

さし木苗生産では穂木不足が苗木増産の制限要因になります。穂木の小型化はその対策として有効です。しかし、ヒノキでは穂木が小さいと発根しにくいとされています。そこで、酸化型グルタチオンの施用を行ったところ、ミストざしでは母樹への散布、密閉ざしでは発根処理時のIBA液剤への添加によって、発根率が向上する事が解りました。

## グルタチオン施用

グルタチオン施用は、穂木を採取する母樹(益田5号:岐阜県郡上市白鳥町)への散布(母樹散布、表1)と発根処理時に穂木基部を浸漬するIBA液剤への添加(穂木処理、表1)を行いました。

表1 グルタチオンの施用方法

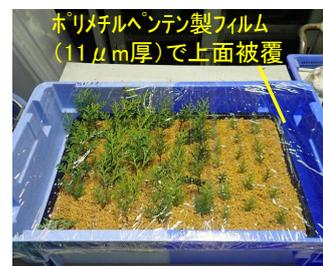
施用方法	内容
母樹散布	2017~2020年の5~8月に毎月1回600ppm酸化型グルタチオン (GSSG) を含む液肥 (カネカペプチドW2水和剤250倍液) を母樹全体に散布
穂木処理	発根処理に用いるIBA液剤に酸化型グルタチオンを0.03g/Lを溶かして、その溶液に穂木の基部を一昼夜浸漬

## マイクロカッティングの方法

試験の方法は表2のとおりで、試験1では母樹散布有と無の母樹から採取した穂木でミストざし(図1(a))を、試験2では母樹散布と穂木処理の有無を組み合わせた穂木で密閉ざし(図1(b))を行いました。

表2 試験方法

項目	試験1		試験2			
	母樹散布	穂木処理	有	無	有	無
試験区	有	有	有	無	有	無
荒穂採取日	2021年3月8日		2021年3月31日			
穂木調整日	2021年3月9日		2021年4月1日			
穂木さし付け日	2021年3月10日		2021年4月2日			
さし木の方法	ミストざし (図1(a))		密閉ざし (図1(b))			
管理場所	ミスト室		人工気象室 (25°C、16時間日長、光量子束密度77 μmol/m <sup>2</sup> /s)			
反復数	2		—			
穂木サイズ	—		5cm			
発根処理	—		穂木の基部を100ppm IBA液剤に24時間浸漬			
さし床	容器	—	深さ約7cmのプラスチック容器			
—	培土	—	鹿沼土 (微粒)			
掘り取り調査日	—		2021年10月7日			
調査項目	—		発根率			



(a)ミストざし

(b)密閉ざし

図1 さし木の方法

## 結果

ミストざしを行った試験1では、母樹散布無より母樹散布有の個体から採取した穂木を用いた方が、発根率が高い傾向がみられました(図2)。密閉ざしを行った試験2では、母樹散布の有無に関わらず、穂木処理無より穂木処理有の方が発根率が高い傾向がみられました(図3)。グルタチオンの施用を、ミストざしでは母樹への散布に、密閉ざしでは発根処理時のIBA液剤への添加を行うことで、小型ヒノキ穂木の発根率の向上が期待できる結果でした。

また、ミストざしより密閉ざしの方が根の伸長が旺盛で発根量が多い傾向がみられました(図4)。グルタチオン施用に加えてさし木方法と合わせた検討を進めることで、ヒノキのマイクロカッティング技術の向上を図ることが期待できると考えられます。

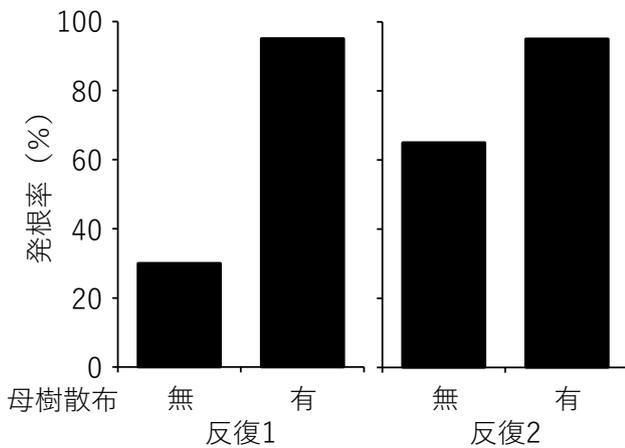


図2 母樹散布がミストざしの発根率に及ぼす影響(試験1の結果)

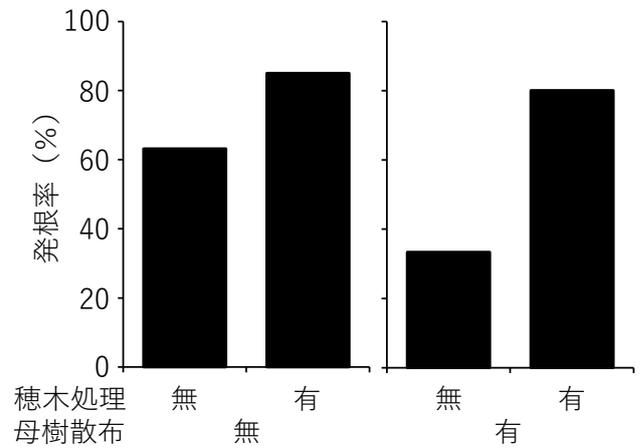
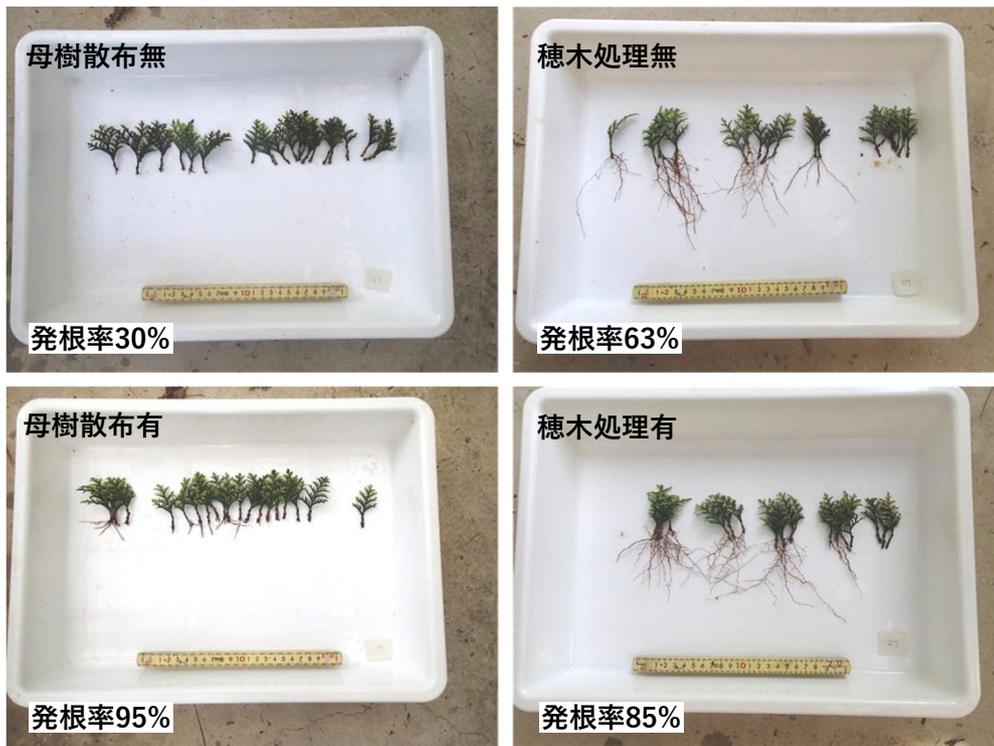


図3 母樹散布と穂木処理が密閉ざしの発根率に及ぼす影響(試験2の結果)



ミストざし (反復1)

密閉ざし(母樹散布無)

図4 ミストざしと密閉ざしの発根状況



# 1年生カラマツ苗に対するグルタチオンの施用効果

二本松裕太

長野県林業総合センター

酸化型グルタチオン(GSSG)の施用は環境ストレスによる障害を緩和し、成長量を増やす効果があるとされます。長野県では育苗中のカラマツにGSSGを施用したところ、苗高、根元直径ともに大きくなる傾向がありました。また、育苗段階でのGSSG施用による植栽後の成長の優位性は明確ではなかったものの、植栽後の活着率は高い傾向がありました。

## 育苗試験の条件

長野県ではカラマツの1年生コンテナ苗に対するGSSGの施用効果を検証しました。令和2(2020)年度から令和4(2022)年度は表1の育苗条件で試験を行っており、いずれの年も播種は4月上旬に実施し、セルトレイ播種+プラグ苗移植によりコンテナ苗を作成しました。GSSG有区ではカネカペプチドW2を、GSSG無区ではハイポネックスプロフェッショナルを、窒素量が同量になるように希釈し、追肥として1回あたり15mL/個体施用しました。

表1 カラマツ1年生コンテナ苗に対するGSSG施用試験における育苗条件

年度	R2	R3	R4
コンテナ	300 ccスリット		
培土	ココユーキオールド		
元肥	ハイコントロール650-700日タイプ 20g/L		
追肥の種類と量	GSSG有区：カネカペプチドW2 (10-10-10) を250倍希釈で15mL/個体 GSSG無区：ハイポネックスプロフェッショナル (20-20-20) を500倍希釈で15mL/個体		
追肥の時期と頻度	週1回 x 9週	週2回 x 5週	週2回 x 5週
	7/6 ~ 9/1	6/17 ~ 7/19	6/22 ~ 7/28

## 育苗時のGSSGの施用効果

GSSG施用区では、いずれの年も苗長、根元直径、形状比が、無施用区に比べ有意に大きくなりました(図1)。しかし、令和3(2021)年度とほぼ同じ施肥条件で実施した令和4(2022)年度の試験ではGSSGの有無にかかわらず苗長が有意に小さくなり、得苗率が低下しました。GSSGは苗長や根元直径を大きくする効果は認められましたが、得苗率を確実に安定させる方法はまだ検討が必要です。

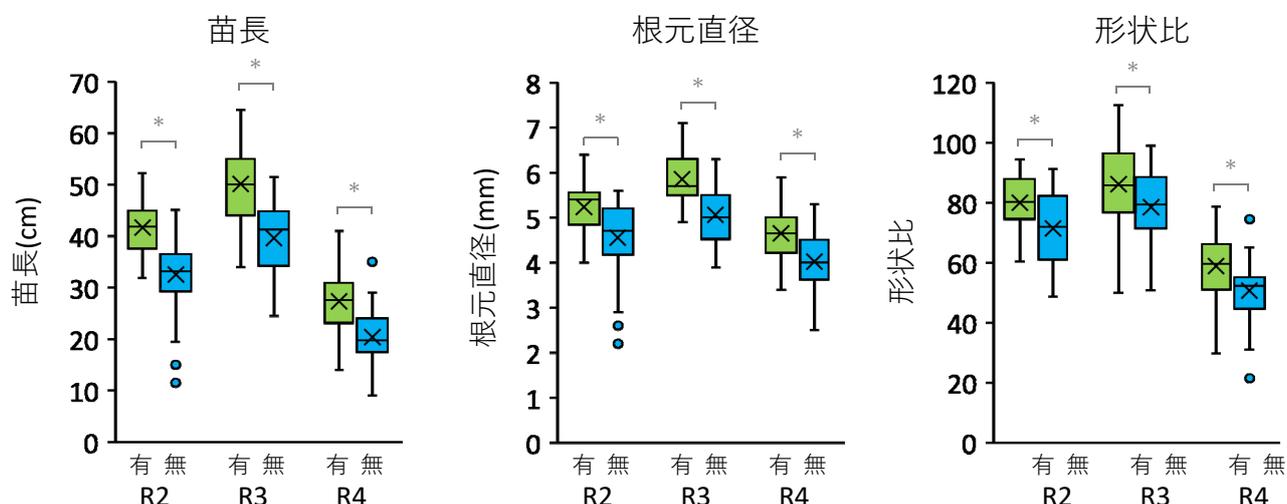
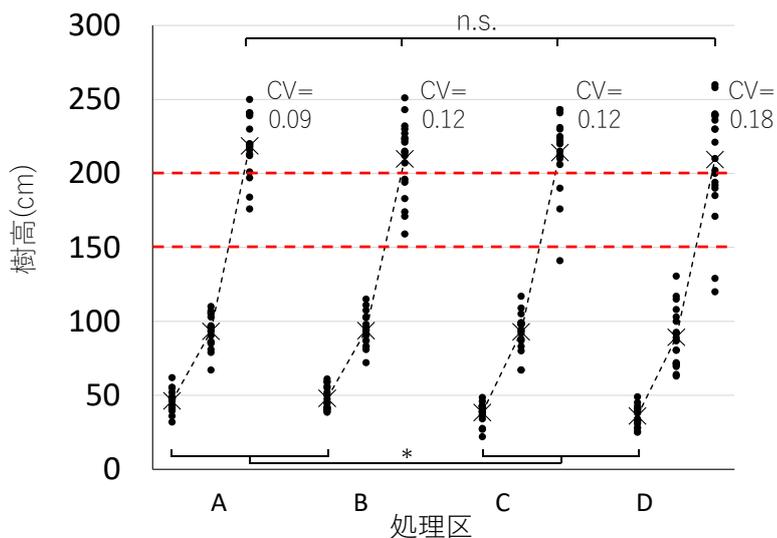


図1 播種当年におけるカラマツコンテナ苗の苗長、根元直径、形状比に対するGSSGの施用効果

## 植栽後の成長に対するGSSGの効果

前頁の令和3(2021)年度の条件で育苗した1年生カラマツコンテナ苗の植栽後の樹高成長について、育苗時および植栽時のGSSG施用の効果进行调查しました(図2)。令和4(2022)年5月に植栽し、初期成長を調査した結果、2成長期後の樹高は平均値では有意な差( $P < 0.05$ )は認められなかった一方で、GSSG施用区でばらつきが小さくなり、育苗時と植栽時にGSSG施用したA区の変動係数(CV)が最も小さくなりました。また、育苗時にGSSG施用したA区とB区では、全ての個体の樹高が150cmを超え、A区とC区では200cmを超えた個体が8割以上となりましたが、無施用のD区では7割に達しませんでした。なお、シカの剥皮による枯損を除くと枯損はC区で2本のみでした。



処理区	本数※1	GSSG施用	
		育苗時	植栽時※2
A	18	あり	あり
B	18	あり	無
C	18	無	あり
D	20	無	無

※1 2成長期間に枯損した個体は除外。

※2 カネカペプチド粒剤を植穴に16g投入。対照区は施肥なし。

図2 育苗時と植栽時にGSSGを施用したカラマツコンテナ苗の2成長期間の樹高推移

各区(A~D)の樹高データは左から植栽時、1成長期末、2成長期末の順に示した。(CV: 変動係数)

## 育苗時のGSSG施用で植栽後の活着率が向上

前頁の令和2(2020)年度の条件で育苗時にGSSGを施用した1年生カラマツコンテナ苗を令和3(2021)年4月に植栽しました。上述の令和4(2022)年の植栽では80本の植栽に対してシカ害以外の枯損は2本のみでしたが、令和3(2021)年の植栽では主に対照区で枯死個体が多くみられました(図3)。枯死個体の植栽時の形状比をみると、対照区では80を上回ると枯死がみられましたが、GSSGを施用することで形状比が高い個体でも枯死はみられませんでした(図3、図4)。

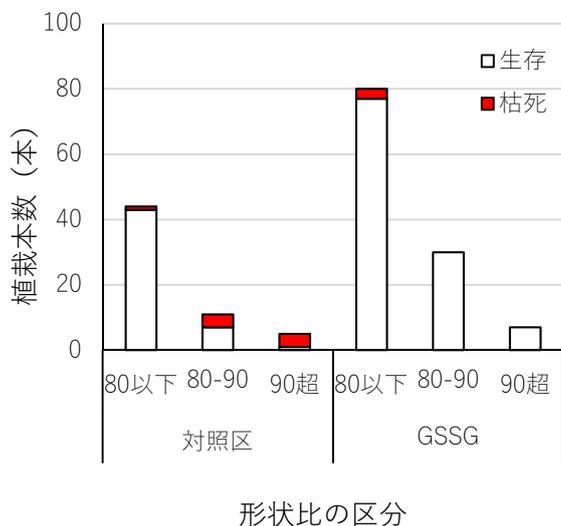


図3 初期形状比別の植栽本数と植栽当年の生死

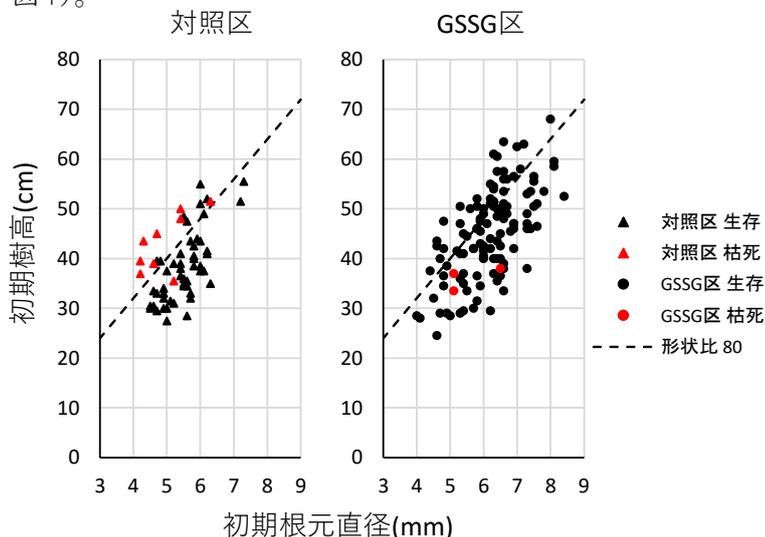


図4 初期の苗木形状と植栽当年の生死の関係

# コンテナ育苗時のグルタチオン・種子サイズの効果

藤井栄

徳島県立農林水産総合技術支援センター

実生コンテナ苗の育成では、安定した環境条件で種子を播種し、発芽直後の芽生えをコンテナに移植する育成方法が選択されることがあります。移植により苗木はダメージを受けることが知られていますが、グルタチオン施用や母樹個体の選定がこの影響を軽減するのに有効であることが明らかになりました。

## 同一家系の異なる個体から採取した100粒重の異なる種子を使用

2021年10月に徳島県特定母樹採種園(図1)に植栽されているスギ特定母樹(西育77)の異なる個体から、個体ごとに種子を採取して100粒重を計測したところ、それらは0.24g、0.45g、0.74gと100粒重が異なりました。これら3個体由来の種子を軽、中、重と区分しました。これらの種子を2022年4月にコンテナ(JFA150)に播種し(5粒/穴)、発芽した実生を5月末に穴ごとに1本を残して発芽した残りの実生を2コンテナに移植しました。移植したコンテナのうち、1コンテナには酸化型グルタチオン(GSSG)を施用しました(6月～7月カネカペプチドW水和剤500倍隔週施用、8月～9月カネカペプチドW2水和剤1000倍週1回施用)。苗木育成時の生存率の違いを移植なし(直接播種区)、移植ありでグルタチオン施用なし(移植区)、移植・グルタチオン施用あり(移植+GSSG区)の3つの処理区の間で比較しました。



図1 徳島県の採種園と母樹

## 十分な重量の種子の使用やグルタチオン施用で移植後の枯死軽減

軽と中の種子から育成した苗木は、移植後に枯死率が上昇しましたが、移植+GSSG区ではその上昇は抑えられました(図2)。一方、直接播種区の枯死はわずかでした。重の種子から育成した苗木では、移植による枯死は認められず、移植とグルタチオン施用の有無の違いによる有意な枯死率の違いは認められませんでした。このことから、軽い種子を用いて移植を伴う方法で苗木を育成する場合には、枯死軽減にグルタチオン施用が有効的であると考えられます。

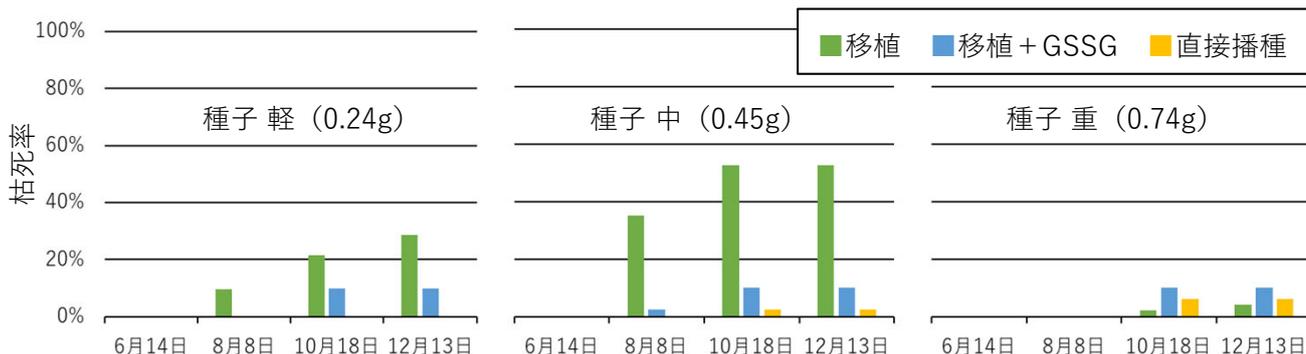


図2 種子、育苗方法の違いによる枯死率の比較

## グルタチオン施用で移植後の成長が良好

種子、育苗方法の違いごとに育苗初期と成長期末の樹高及び根元直径を示します(図3)。直接播種の場合、種子の重さと苗高成長に関係は認められませんでした。移植を行った処理区では、重い種子から育成した苗木ほど苗高が大きくなりました。根元直径も同様の傾向でした。グルタチオン施用した場合の苗高は、直接播種の場合と同等になり、重い種子を生産する母樹に由来する種子が最も成長が良いという結果でした。

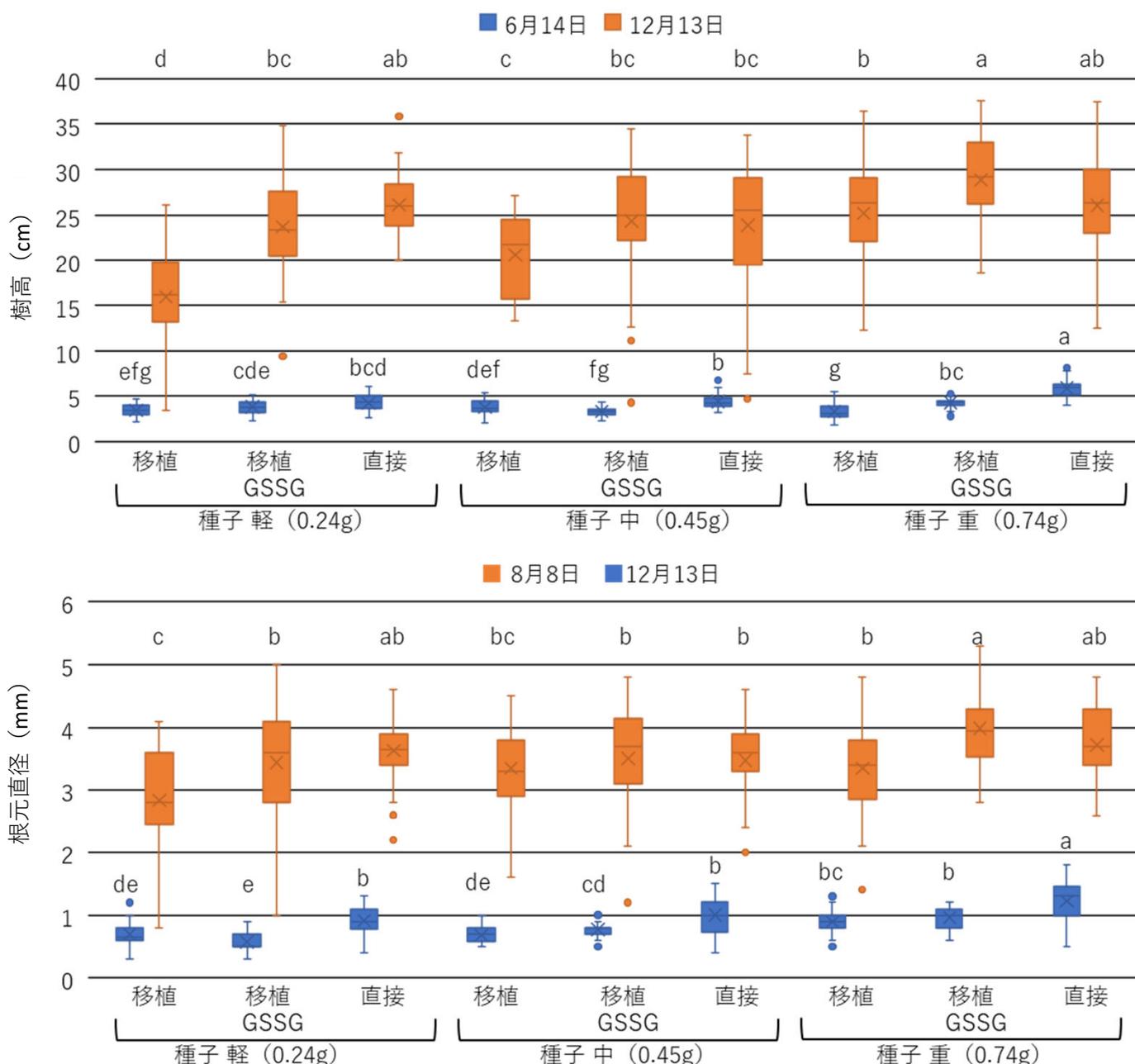


図3 種子、育苗方法の違いごとの育苗初期と成長期末の樹高及び根元直径  
表中の英字の違いは有意差があることを示す(Tukey 多重比較、 $P < 0.05$ )

## 移植する場合や十分な重量ではない種子を使用する場合はグルタチオン施用が効果的

移植を行った場合は、枯死率が上昇し、移植後の成長も良くありません。特に軽い種子から育成した苗木ではその影響が顕著でしたが、グルタチオンを施用することで移植による悪影響の軽減が期待できます。

## スギコンテナ育苗時の酸化型グルタチオン施用の効果

奥田史郎<sup>1)</sup>、山下直子<sup>2)</sup>、松田修<sup>3)</sup>、飛田博順<sup>1)</sup>

1: 森林総合研究所、2: 森林総合研究所関西支所、3: 九州大学

スギのコンテナ苗の効率的な育成のため、酸化型グルタチオン(GSSG)の施用による成長促進効果を、胚乳が小サイズと標準サイズの2グループに区分して比較しました。いずれのグループにおいても、GSSG施用によって1年次の期末苗高は無施用の場合に比べて高くなり、どちらの胚乳サイズでも得苗率が向上したことから、GSSG施用は苗木生産効率を高める効果が期待できると考えられます。

## 目的と方法

スギのコンテナ苗を育成する際、特に1年で山行き苗木を得ようとする場合、地域によっては成長が十分得られず、出荷規格の大きさに到達する苗の割合(得苗率)が低下する可能性があります。限られた成長期間中に十分な成長を促して育苗効率を高められるかを明らかにするため、コンテナ育苗期間中のGSSG施用の効果を検討しました。また、選別した充実種子の有効利用のため、2つの胚乳サイズの種子でGSSG施用効果を比較しました。充実種子の選別は九州大学松田研究室で行い、その後の育苗は茨城県の森林総合研究所構内で実施しました。選別した充実種子は3月に播種し小型プラグ苗を育成し、6月始めに300ccリブ付きコンテナに移植しました。夏季の成長盛期を中心にGSSG及び液肥を毎週計8回株元に施用し(G区)、対照区ではG区と窒素当量で同量の液肥を施用しました(N区)。選別の結果胚乳部が標準サイズよりも小さかった充実種子(小サイズ種子)は別処理として同様に育苗し比較しました(sN区およびsG区)。

## 結果：苗木の成長促進と得苗率の向上

移植した小型プラグ苗の苗高は胚乳が標準サイズの充実種子(標準サイズ種子)では平均1.7cmでしたが、小サイズ種子の小型プラグ苗は約1.3cmで標準サイズ種子に比べて有意に小さく成長差がみられました。育苗終期の12月時点の苗高は、標準サイズ種子のG区では平均34.5cmで、N区より3cm以上大きくなりました(図1)。小サイズ種子では、平均30cmに達しなかった無施用区(sN区)に比べてGSSG施用したsG区は標準サイズ種子のN区と同等になりました。根元直径の成長でも同様の傾向が認められました。出荷規格(規格苗高30cm、直径3.5mm)の到達割合から算出される得苗率は、G区は63%でN区に比べて14%高くなりました。sG区では標準サイズのN区と同程度得苗率になったことから、選別によって得られた充実種子を小サイズ種子まで有効に利用出来ると考えられます。以上のようにGSSG施用によって苗木の生産効率が高まると期待できることが明らかになりましたが、施用方法については最適化の検討の余地があります。

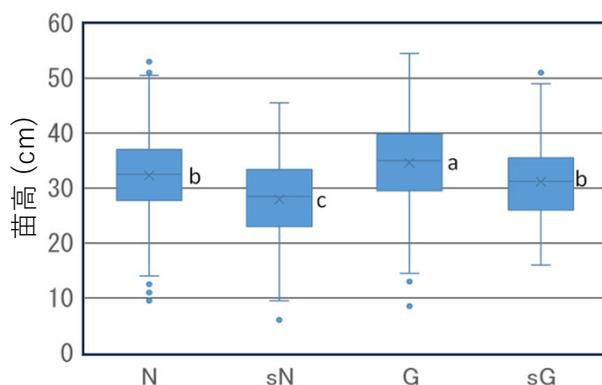


図1 1成長期後の処理別の苗高

図2 1成長期後の処理別の得苗率  
苗高30cm、直径3.5mmの規格で得苗率を算出



採穂台木にグルタチオンを施用したさし木の発根率の違い

井城泰一

林木育種センター東北育種場

さし木に用いるさし穂を採取する台木(採穂台木)に酸化型グルタチオン(GSSG)を施用することで、さし穂の品質を向上させることができる可能性があることが分かりました。採穂台木へのGSSGの施用の有無、施用量、さし穂長を変えてさし木試験を行った結果、さし穂長が長く、GSSG施量が多い試験区で無施用区に比べて発根率が高い傾向でした。

さし穂を採取する台木にGSSG施用した効果

【2019年の試験】

4月にカネカペプチドW2水和剤(15%GSSG配合)を500倍に希釈して、採穂台木1本につき2.5L/回、合計3回施用しました。5月中旬にあら穂を採取し、さし穂の長さを5cmと15cmに調整してさし付けました(5cmは4系統、15cmは3系統)。穂長が5cmの試験では、GSSG区の系統Cでのみが発根がみられましたが、それ以外の処理区では発根はみられませんでした。穂長が15cmの試験では、対照区、GSSG区ともさし穂長が5cmの場合に比べて高い発根率を示しました(図1)。

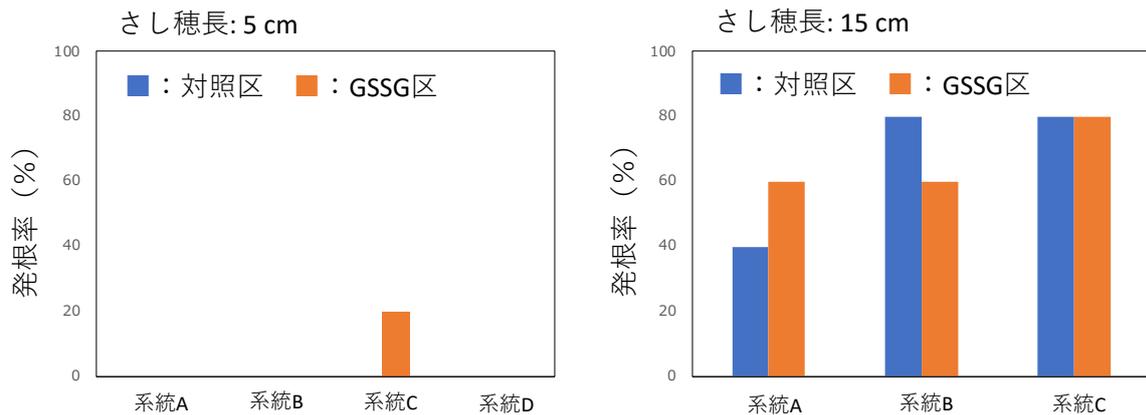


図1 グルタチオンを施用した採穂台木から穂を採取したさし木の発根率

【2020年の試験】

4月にカネカペプチドW2を2019年の試験よりは濃い濃度の250倍に希釈して、採穂台木1本につき2.5L / 回、合計4回施用しました。5月中旬にあら穂を採取し、さし穂の長さを5cmと25cmに調整してさし付けました(5系統)。穂長が5cmの試験では、対照区で系統Bと系統Cが、GSSG区で系統Cが発根しました。穂長が25cmの試験では、どの系統も高い発根率を示しましたが、多くの系統ではGSSG区の方が発根率が高い傾向でした(図2)

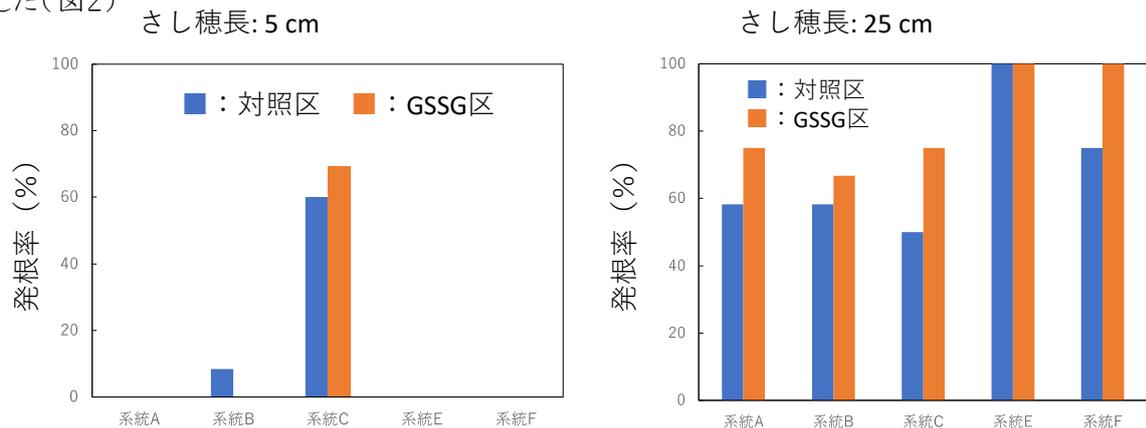


図2 グルタチオンを施用した採穂台木から穂を採取したさし木の発根率

# シャカインスギのさし木苗におけるグルタチオンの効果的な施用条件

園田美和

熊本県林業研究・研修センター(現:熊本県県北広域本部)

九州におけるスギの苗木生産はさし木苗が主体ですが、熊本県のスギさし木苗生産の半数以上は在来品種シャカインが占めています。このシャカインのさし木苗を1年以内に規格苗にまで育成するための酸化型グルタチオン(GSSG)の希釈倍率、施用頻度等の施用条件を明らかにしました。GSSG施用は、カネカペプチド®W2水和剤(GSSG15%配合)で行いました。

## 希釈倍率の検証

はじめに、育苗箱(新型B,505×350×100)に、穂長25cmの穂木を深さ8cmでさし付け、発根確認後の7～10月末まで、カネカペプチド®W2水和剤(GSSG15%配合)(以下GSSG水和剤)の250倍または500倍溶液10を1週間に1回の頻度で施用(合計18回)する育苗試験を行い、適した希釈倍率を検証しました(図1)。250倍区および500倍区での苗高成長量(さし穂から新規に成長した苗高分)は大きく、苗高は共にさし穂出荷規格(苗高45cm)に達し、無施用との間に有意差がみられました。また、250倍区と500倍区の間には有意差はみられず、育苗コストを考慮した場合、希釈倍率は500倍が良いと考えられました。

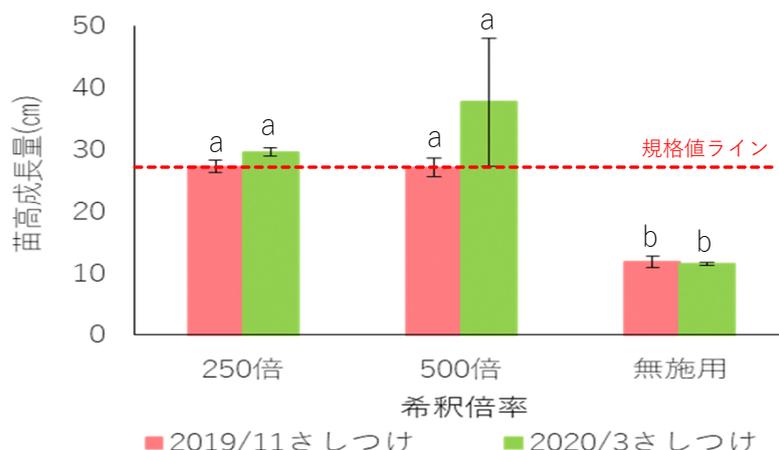


図1 希釈倍率別苗高成長量

異なるアルファベット間では $P < 0.05$ で有意な差があることを示す。

## 施用頻度の検討

次に、前述の育苗試験と同様の要領で、500倍溶液を用い、複数の施用頻度で試験を行いました(図2)。施用頻度は、1週間に1回(合計25回)、2週間に1回(合計13回)、4週間に1回(合計7回)、無施用としました。4週間に1回では出荷規格には達しませんでした。無施用とは有意な差がみられました。その一方で、1週間に1回および2週間に1回の頻度で施用した処理区の苗高は規格値(45cm)に達しました。このため、施用頻度については、2週間に1回以上が良いと考えられました。

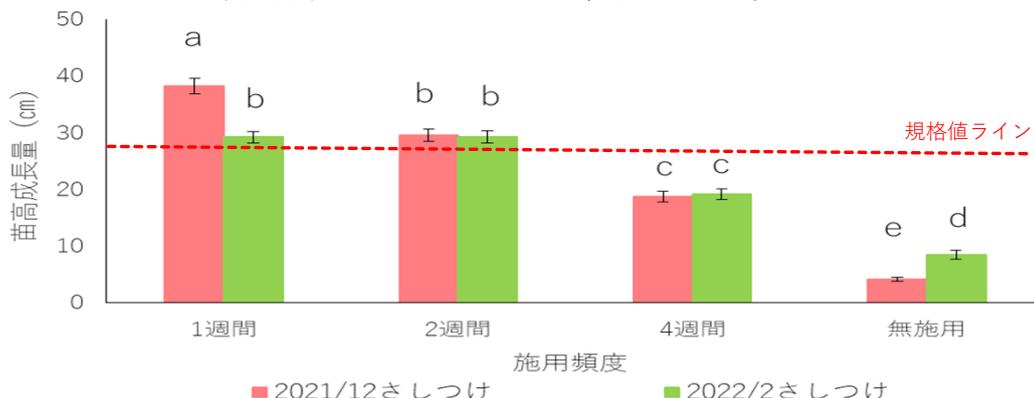


図2 施用頻度別苗高成長量

異なるアルファベット間では $P < 0.05$ で有意な差があることを示す。

## さし穂長（下限値）の検証

最後に、500倍溶液を施用し、さし木苗の育苗期間(秋挿し1年半、春挿し1年程度)内に規格値へ達するさし穂長の下限値を検討しました。これまでの試験の要領でさし穂長を20cm(図3、図5)と25cm(図4、図6)にした施用試験を行いました。施用頻度を、1週間に1回、2週間に1回、4週間に1回として苗木の苗高成長量(図3、図4)と苗高規格達成率(図5、図6)を調べました。

苗高は穂長20cm(図3)および25cm(図4)ともに、2週間に1回以上の施用で概ね規格値に達しました。規格達成率は、2週間に1回以上の施用において、穂長20cmでは4割程度に留まった(図5)のに対し、穂長25cmでは6割を超えました(図6)。以上のことから、500倍溶液の施用におけるさし穂長の下限値は25cmが良いと考えられます。今回は10月まで施用し続けましたが、施用終了時期を早めて施用期間を短縮する等で施用コストを減らすことができる可能性が考えられます。

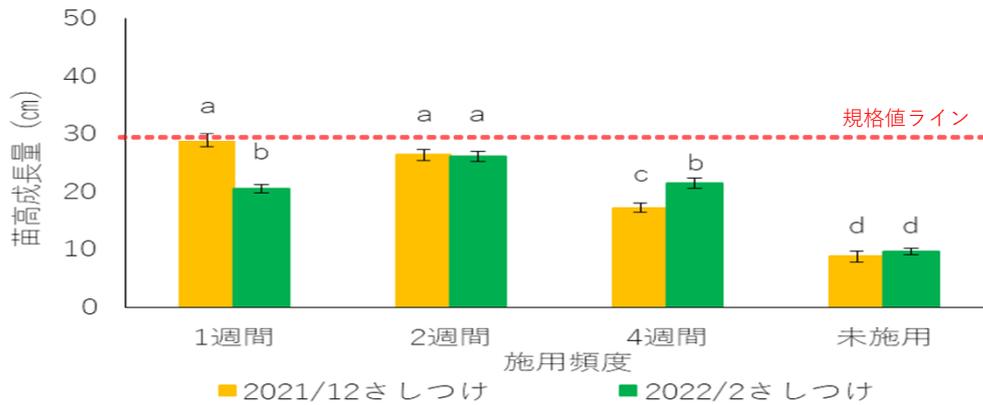


図3 施用頻度別苗高成長量(穂長20cm)

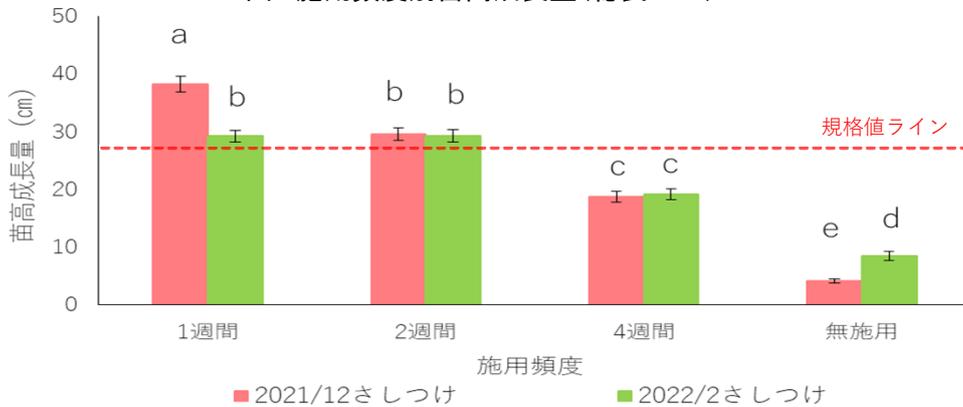


図4 施用頻度別苗高成長量(穂長25cm)

異なるアルファベット間では $P < 0.05$ で有意な差があることを示す。

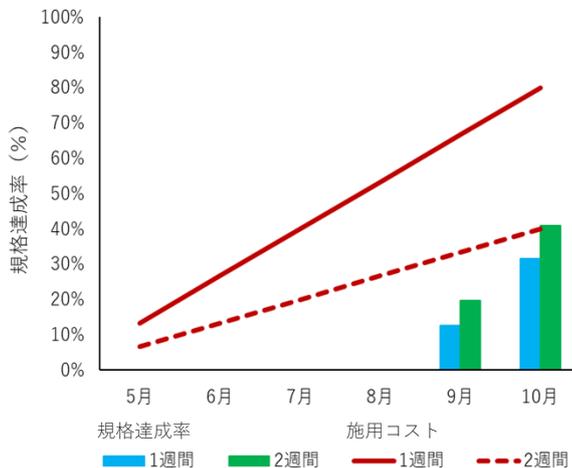


図5 施用コストと規格達成率の関係(穂長20cm)

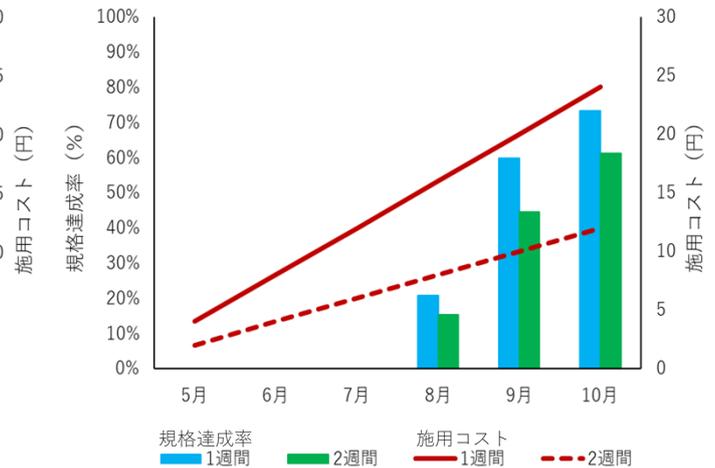


図6 施用コストと規格達成率の関係(穂長25cm)

図5および図6の施用コストは、1育苗箱あたり30本さし付けし500倍希釈水1ℓの場合で1回あたり1.3円/本。



# クリーンラーチ1年生苗におけるグルタチオン施用効果

成田あゆ

北海道立総合研究機構森林研究本部林業試験場

北海道における成長に優れた苗木として普及が進むクリーンラーチ(グイマツ特定母樹「中標津5号」×カラマツ精英樹雑種F1)の苗木を短期間(1成長期)で生産することを目的として、光合成能力を向上させるとされる酸化型グルタチオン(GSSG)を与え、苗木の大きさと形態を調べました。

## 苗木の成長

1成長期で山出しサイズに成長させられるか栽培試験を行いました。追肥として通常の肥料(NPK)または、GSSGを含む肥料(NPK + GSSG)を与えました。4回の栽培試験のいずれも、GSSGを与えた苗木は10月の苗木サイズ(苗高)が有意に大きくなりました(図1)。

クリーンラーチを含むカラマツ類の1年生コンテナ苗の生産を効率化できると期待されます。

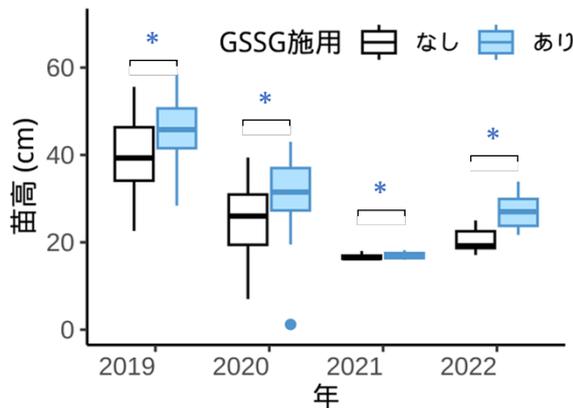


図1 GSSG施用と苗高(検定、\*:P<0.05)



図2 処理ごとの苗木の外観(2019年)

育苗条件:培土(ココピート200cc + 元肥 2g)に直接播種(2020年のみセルから移植)、6~8月(12週間)に毎週追肥を与えた(NPK追肥区: 4mg N/回、NPK + GSSG追肥区 4mg N + 6mg GSSG/回)

## 苗木の形質

GSSGを与えた苗木は葉が多いという印象を与えることがありました(図2)。主軸の断面積に対する個体の総葉面積はGSSGを施用した方が多くなる傾向があり(図3)、個体のサイズに対して葉が多くなると言えそうでした。また、葉の形質にも違いがあり(表1)、光合成系の集光能力が高い(クロロフィル a/b比が小さい)など、同じ光強度でも多く光合成できる可能性が考えられました。このような葉の能力と量との組み合わせにより、成長量が増加していたのかもしれない。

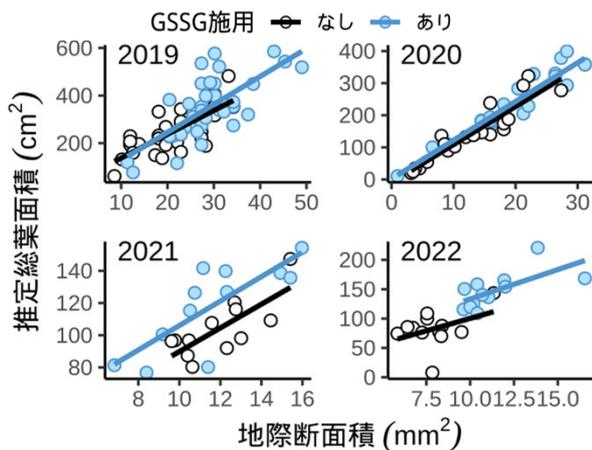


図3 地際断面積に対する推定個体総葉面積

表1 GSSG施用による葉の形質の変化(2021年)

	GSSG施用		t検定 P値
	なし	あり	
個葉の面積 (cm <sup>2</sup> )	0.299	0.349	< 0.01 *
生重LMA (mg/cm <sup>2</sup> )	27.43	27.07	0.24
乾重LMA (mg/cm <sup>2</sup> )	9.62	8.91	< 0.01 *
含水率	0.65	0.67	< 0.01 *
クロロフィルa量 (nmol/cm <sup>2</sup> )	3.12	3.14	0.47
クロロフィルb量 (nmol/cm <sup>2</sup> )	1.43	1.60	0.03 *
総クロロフィル量 (nmol/cm <sup>2</sup> )	4.55	4.74	0.25
クロロフィル a/b比	2.18	1.96	< 0.01 *

\*: P<0.05

**7**

**育苗：育苗密度**



植栽現場に適切な苗木を低コストで安定供給することが求められています。根鉢容量や育苗密度は苗木の育苗開始から出荷できる規格に到達する期間や資材・施設費といった育苗コストに大きな影響を与えますので、一定期間の得苗率や育苗コストを各条件で調べました。これらの方法で最適な育苗方法について検討することが重要です。

### 異なる根鉢容量、密度での育苗試験

2018年10月に徳島県特定母樹採種園のスギ同一家系母樹複数個体から採取し混合した種子を2019年1月にガラス室内育苗箱に播種しました。3月末にJFA300及びJFA150にインナーポットを用いて、図1のような6つの条件を設定し発芽した苗を移植しました。用土にはココナッツハスク100%、肥料は緩効性被覆肥料及び置肥を用い、移植時から露地棚で同じ条件で育苗しました。

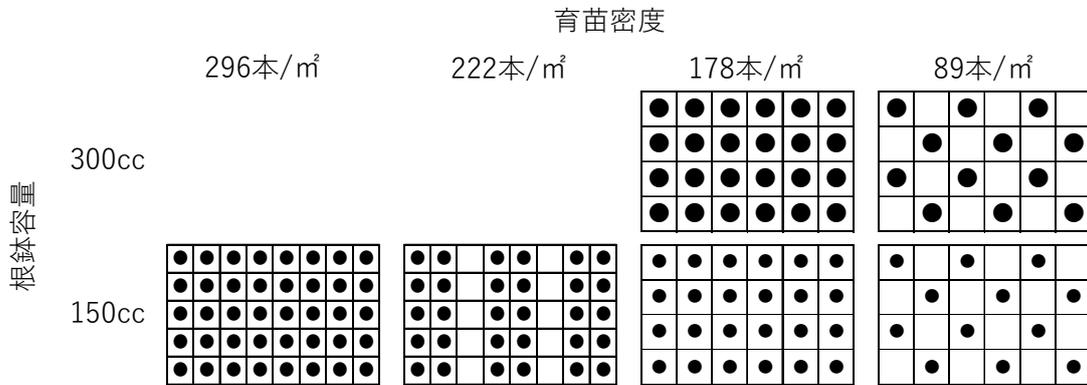


図1 6つの育苗条件

### 根鉢が大きく密度が高い方が用土が乾きにくく育苗しやすい

一般的に根鉢が大きく、水を保有する容量が大きいと含水率の増減は小さくなること、密度が低い場合、根鉢に日光が直接あたることから土が乾きやすくなると想定されます。本試験においても、降雨後にかん水を行った後、根鉢の乾燥をモニタリングすると根鉢が小さいほど、密度が低いほど土壌含水率は小さくなりました(図2)。その結果、300ccで育苗した場合は生存率が高くなりましたが、150ccで育苗した場合は生存率が低くなり、同じ150ccにおいても、育苗密度の低い89本/m<sup>2</sup>の条件では大きく生存率が低下しました。このことから、根鉢が大きく、密度が高い方が乾きにくく、育苗しやすいことがわかります。

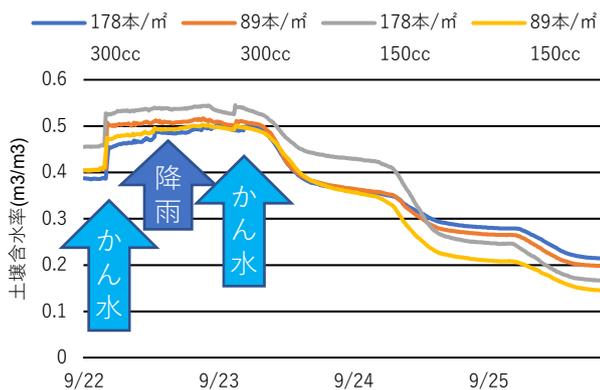


図2 異なる育苗条件での土壌含水率の推移

表1 コンテナ移植後の生存率

育苗条件	n	1906	1908	1910	1912	2003	2006
300cc	178本/m <sup>2</sup>	72	100%	100%	99%	97%	97%
	89本/m <sup>2</sup>	48	100%	100%	98%	98%	98%
	296本/m <sup>2</sup>	160	100%	100%	100%	91%	90%
	222本/m <sup>2</sup>	120	100%	100%	96%	91%	91%
150cc	178本/m <sup>2</sup>	96	100%	100%	97%	93%	92%
	89本/m <sup>2</sup>	48	100%	96%	96%	73%	73%

## 根鉢が大きく、密度が高いほど育苗時の成長は早い

播種12ヶ月後(2019年12月)と播種18ヶ月後の樹高、直径及び形状比を示します(図3)。根鉢が大きい方が樹高及び直径の成長が早くなりました。同じ根鉢では密度が高くなるほど樹高成長が早くなりますが、密度が低い方が直径は太くなる傾向にあります。そのため、植栽後の成長に影響を与える形状比は密度が高くなると大きくなるため、植栽後には注意が必要です。

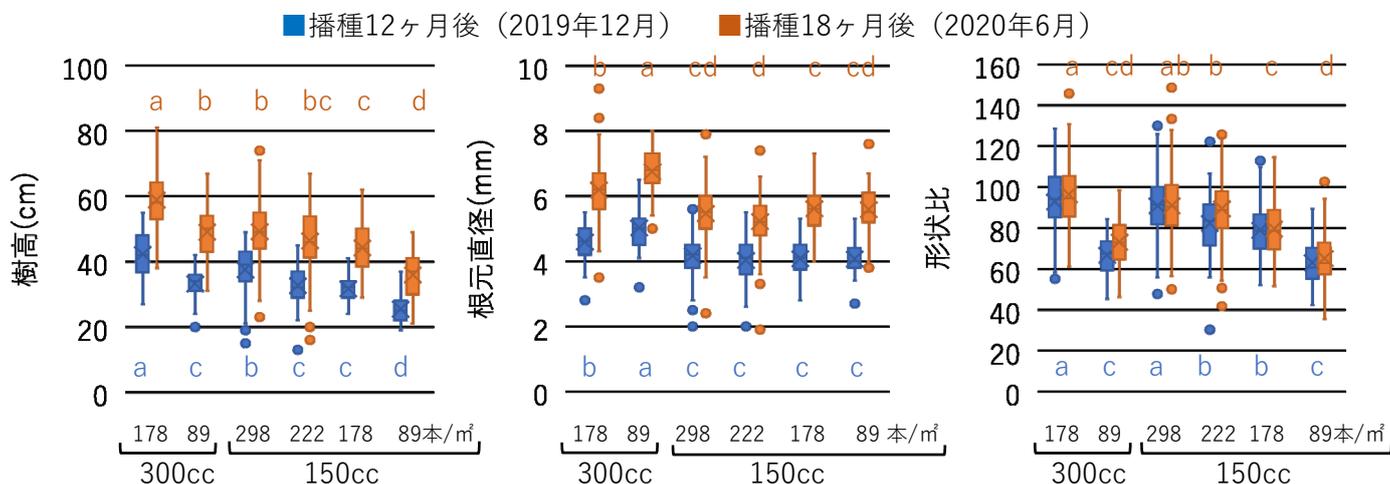


図2 異なる条件で育苗したスギ実生コンテナ苗の播種12ヶ月後、18ヶ月後の樹高、根元直径、形状比

アルファベットの違いは有意差があることを示す(Tukey 多重比較、 $P < 0.05$ )

## 根鉢容量、密度、期間に応じた育苗コスト例

徳島県規格の樹高35cm以上を出荷可能として得苗率を計算しました。コストは育苗期間ごとに、コンテナ苗生産・工程管理表([https://www.ffpri.affrc.go.jp/labs/conwed/pro\\_achie1\\_1.html](https://www.ffpri.affrc.go.jp/labs/conwed/pro_achie1_1.html))を使用して計算しました(表2、表3)。300cc、178本/m<sup>2</sup>で育苗した場合に成長が最も早くなりましたが、育苗コストも高くなり、150cc、296本/m<sup>2</sup>で18ヶ月育苗する設定で育苗コストは最も安くなりました。必要な育苗期間やコストは地域性が強く影響するものと考えられますので、各地域で最適な育苗方法について検討することが重要です。

表2 育苗期間12ヶ月の育苗コスト

育苗条件	育苗条件に応じた 直接育苗経費 (円)	得苗率 (%)	得苗率を反映した 直接育苗経費 (円)	販売価格 (円)	2000本/haの 苗木価格	
300cc	178本/m <sup>2</sup>	70.4	86	81.8	125.9	251,800
	89本/m <sup>2</sup>	112.5	40	281.1	375.1	750,200
	296本/m <sup>2</sup>	53.3	66	80.7	124.6	249,200
	222本/m <sup>2</sup>	61.7	33	187.0	257.4	514,800
150cc	178本/m <sup>2</sup>	70.2	20	350.7	462.1	924,200
	89本/m <sup>2</sup>	112.3	2	5612.5	7039.3	14,078,600

表3 育苗期間18ヶ月の育苗コスト

育苗条件	育苗条件に応じた 直接育苗経費 (円)	得苗率 (%)	得苗率を反映した 直接育苗経費 (円)	販売価格 (円)	2000本/haの 苗木価格	
300cc	178本/m <sup>2</sup>	88.8	97	91.5	138.1	276,200
	89本/m <sup>2</sup>	149.4	98	152.4	214.2	428,400
	296本/m <sup>2</sup>	64.4	88	73.1	115.1	230,200
	222本/m <sup>2</sup>	76.5	88	86.9	132.3	264,600
150cc	178本/m <sup>2</sup>	88.6	89	99.5	148.1	296,200
	89本/m <sup>2</sup>	149.2	69	216.1	293.8	587,600



形状比の高い苗木は、植栽後に直径成長を優先させるため樹高成長が停滞すると言われていたますが、カラマツでは初期の形状比が80程度であれば、その形状をほぼ維持したまま成長しました。150cc40孔のコンテナを用いて、育苗密度を調整して育苗したところ、1年で出荷規格を満たす形状比の低い苗木を得ることができました。

### 初期の形状比と植栽後の推移

長野県塩尻市内の2箇所で行った植栽試験(42ページ)では、いずれも初期の平均形状比が80程度でしたが、植栽当年は若干形状比を下げる方向に形状が推移し、2年目は形状比を維持したまま旺盛な樹高成長を示しました。初期形状比が60程度の裸苗や110程度のコンテナ苗が数年後にはいずれも形状比80程度に収束した事例もあり、目指すべき苗木の形状として、形状比80が1つの目安になると考えられます。

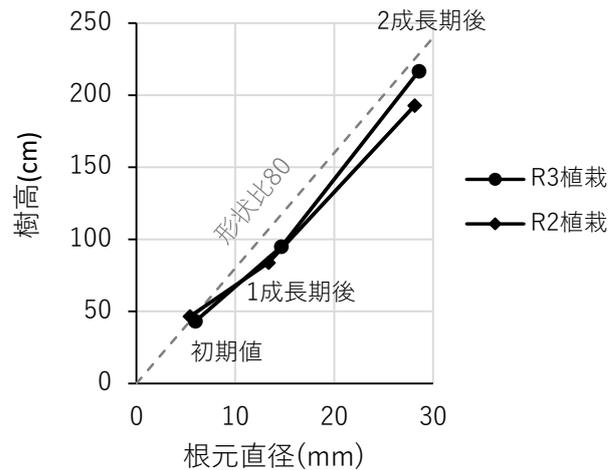


図1 R2年、R3年に植栽したカラマツの形状の変化

### 育苗密度の調整と得られる苗木の形状

長野県内の多くの生産現場では150ccコンテナ(40本/コンテナ)を使用しており、形状比の高い苗木が生産されがちです。そこで、同じコンテナで育苗密度を調整することで、形状比を改善できるか検証しました。その結果、密度が24本/コンテナで形状比80以下の得苗数が最大となりました。40本/コンテナではコンテナ同士の間隔を確保しても苗木形状のばらつきが大きくなりました。

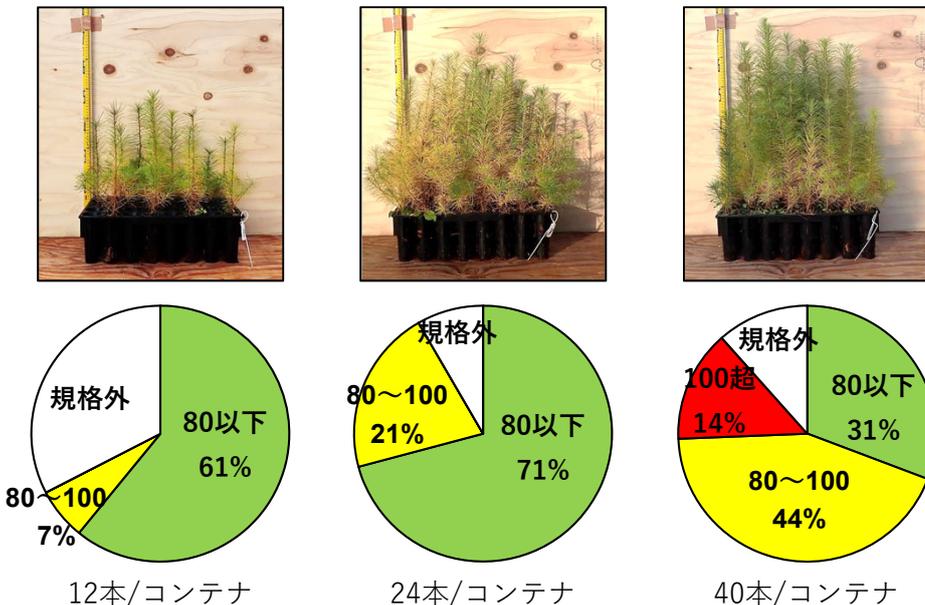


図2 育苗密度ごとの得られた苗木の姿と形状比の割合

規格外: 苗長25cm未満(長野県山林種苗協同組合標準規格)

#### 【育苗条件】

年度	R4
コンテナ	150 ccスリット
培土	ヤシガラのみ
元肥*	700日タイプ 10g/L
(緩効性肥料)	360日タイプ 10 g/L

※700日タイプ・・・N-P-K=16-5-10  
360日タイプ・・・N-P-K=10-18-15

8

育苗：处理



苗木を揺らしたり樹冠を撫でることで、育苗中のスギコンテナ苗の伸長成長を抑制できるかを調べたところ、樹冠を撫でる処理によって1成長期末の苗長が低く抑えられることがわかりました。一方、苗木の植栽後はこの処理の効果はほとんど持続せず、植栽地の環境条件が成長を左右しました。以上より、育苗中に樹冠を撫でる処理は、伸び過ぎによる残苗の発生を抑え、苗木サイズを規格内に調整するために有効な技術であると考えられます。

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・北川 涼・藤井 栄・飛田博順（2024）育苗中の物理的刺激がスギコンテナ苗の形状および植栽後の成長に及ぼす影響。森林応用研究32(2): 15-23.

## 振とう処理、樹冠を撫でる処理

一般的に植物は振動や接触刺激を受けると伸長成長が抑制されます(接触形態形成)。そこで、出荷見込みのない苗木が翌年には大きくなりすぎて出荷規格を超えてしまうのを防ぐために、この現象を利用して育苗中のスギコンテナ苗の伸長成長を抑制できるかどうかを調べました。標準規格5号苗(苗長30cm、根元直径3.5mm)<sup>注)</sup>に達した苗木を使い、令和元(2019)年6月下旬から1週間に2~3回の頻度で5週間にわたり、5分間または30分間苗木を揺らす処理と、樹冠をホウキで1往復または10往復撫でる処理を行い、無処理の苗木とともに、試験を行った1年間の成長と植栽後2年間の成長を調査しました。

注) 林野庁が定めるコンテナ苗の標準規格(2014年(平成26年)5月1日付け)より

## 育苗中のスギコンテナ苗の成長

10往復撫でる処理区の苗木は、処理開始後1ヶ月から対照区と比較して伸長成長が小さくなり、その効果は成長期末まで持続しました(図1)。その結果、形状比も対照区と比べて小さい傾向にありました。1往復撫でる処理区の苗木は、対照区の苗木と成長量に差がなく、処理の効果は認められませんでした。3分揺らす処理区、30分揺らす処理区ともに、処理後しばらくは苗木の伸長成長が対照区と比べて小さかったものの、その効果は秋には見えなくなりました。

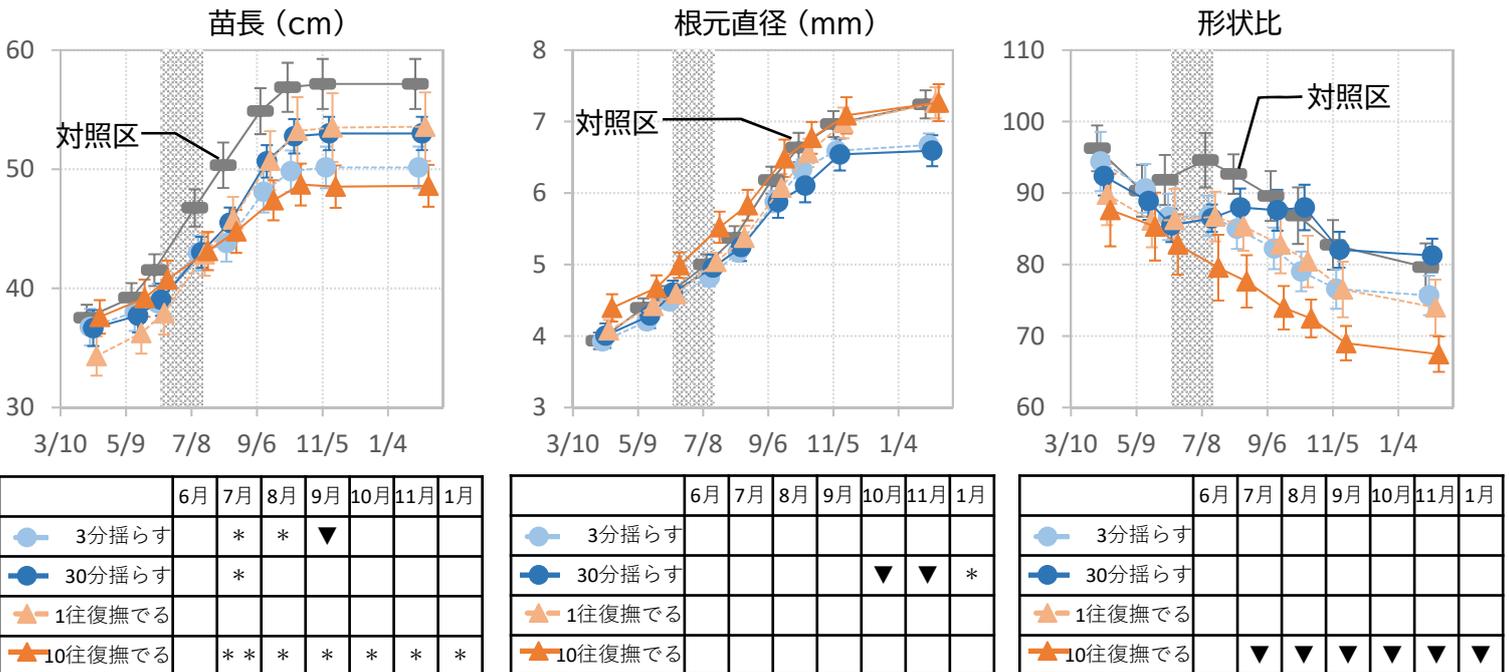


図1 各処理区におけるスギコンテナ苗の苗長、根元直径、および形状比の季節変化(上)と各処理の効果(下)

注) グラフ中の網掛け部分は処理期間を表しています。便宜上、データは対照区に対してx軸方向へ凡例順に3日ずつずらして表示しています。各月の処理の効果は一般化線形混合モデルで解析しました。表中のマークは、処理開始前(6月)から1月までの各月の処理の効果の係数が有意だったことを示しています(\*\*:  $P < 0.01$ , \*:  $P < 0.05$ )。▼はわずかに有意であったことを示しています( $P < 0.1$ )。

## 育苗中の接触刺激が植栽後の成長に与える影響

育苗中に各種処理を行った苗木を、翌年の春に実験林(森林総合研究所関西支所、京都市)に植栽したところ、植栽1年後には10往復撫でる処理区で、植栽2年後には30分揺らす処理区でわずかに樹高が小さい傾向があったものの、育苗中の接触刺激処理の明確な効果は認められませんでした(図2)。

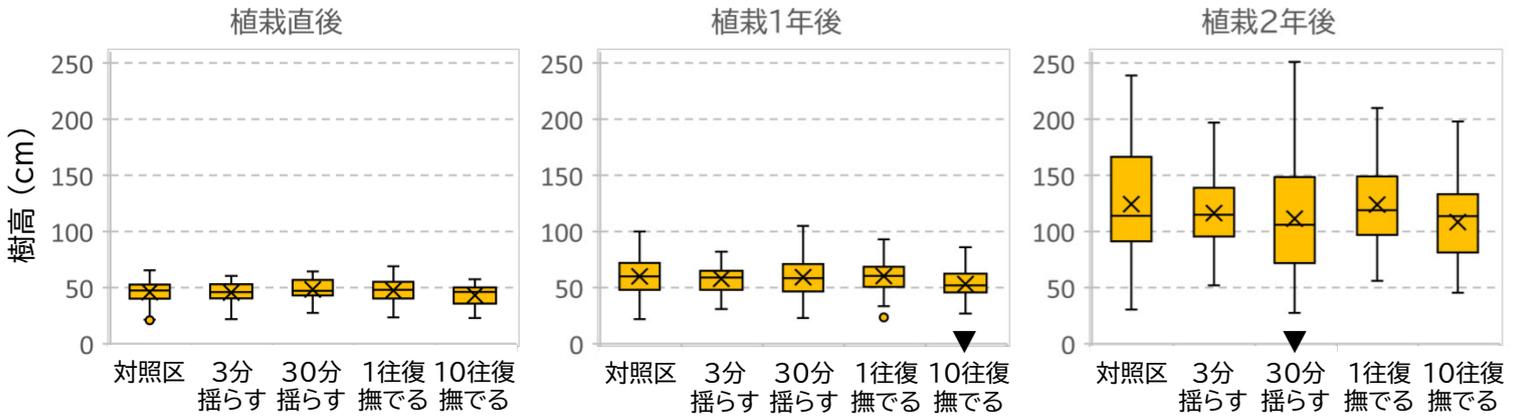


図2 各処理区におけるスギコンテナ苗の植栽後の樹高の比較

注) 樹高に対する処理の効果は一般化線形混合モデルで解析しました。▼は、処理の効果の係数がわずかに有意であった処理区を示しています( $P < 0.1$ )。

## 植栽後の苗木の成長を左右する環境要因

今回の結果から、この植栽地では、植栽後の苗木の成長には育苗中の接触刺激処理の履歴よりも植栽地の開空率が負の影響を与えていることがわかりました(図3)。これは、暗い立地ほど光の獲得のため樹高成長が優先されたことや、隣接する成木による防風効果が大きかったためであると考えられました。また、植栽2年後には樹高成長に対して土壌の電気伝導度に正の効果が、土壌硬度に負の効果が見られ始めたことから、苗木が成長するにつれて成長に影響を与える環境要因が変化していくことが示唆されました。

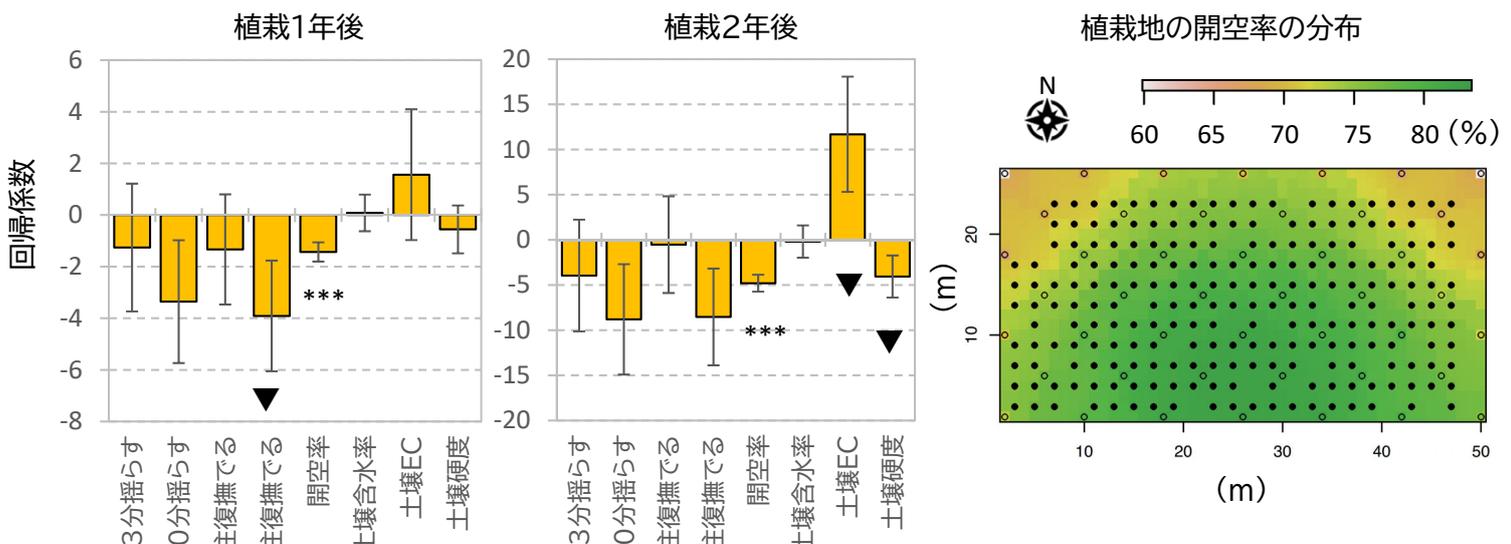


図3 スギコンテナ苗の植栽後の樹高成長に育苗中の各種処理および植栽地点の環境条件が及ぼす影響(左、中)と植栽地の開空率の空間分布(右)

注) 樹高成長量に対する処理および環境条件の効果は一般化線形モデルで解析しました。\*\*\*および▼は、処理もしくは環境条件の効果の係数が有意( $P < 0.001$ )もしくはわずかに有意( $P < 0.1$ )であったことを示しています。植栽地(50×30 m)の開空率の図中の●は苗木の植栽地点を、○は環境条件の測定地点を表します。

九州地域においてスギ実生コンテナ苗の育成時の適切な被陰方法を検討するため、屋外で寒冷紗を用いて被陰程度の異なる処理区(全光、30%、50%、70%、90%被陰処理)を設けて、スギ実生コンテナ苗を育成した。播種から1年後の全光区、30%被陰区、50%被陰区の苗高と根元直径は70%被陰区、90%被陰区より有意に大きかった。また、50%被陰区の形状比は全光区および30%被陰区より大きかった。

## 被陰下における苗高成長

3月に50%被陰条件の温室内で播種し、発芽した芽生えをコンテナに移植して同じ温室内で育成した。6月上旬に屋外で寒冷紗を用いて被陰処理した処理区にそれらの苗木を移動した。移動後すぐの苗高成長は50%被陰区で最も大きく、その後も比較的良い成長を示した(図1)。一方、全光区では移動後すぐの苗高成長は低下したが、秋まで成長が持続して最終的に50%被陰区と同程度の苗高に達した。

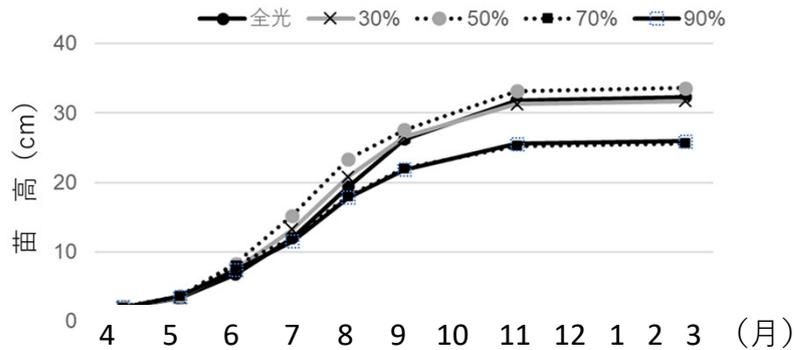


図1 被陰程度の異なる条件下で育成したスギ実生コンテナ苗の苗高成長

## 被陰下における苗高成長

播種から1年後の全光区、30%被陰区及び50%被陰区のスギ実生コンテナ苗の苗高と根元直径は70%被陰区及び90%被陰区に比べ大きかった(表1)。規格の到達率は全光区、30%被陰区、50%被陰区で50%程度に達したが、このうち50%被陰区で形状比が相対的に高かった。

実際の育苗では屋外への移動直後は50%程度の被陰を行い、その後、被陰を除くとよいと考えられた。

表1 被陰程度の異なる条件下で育成したスギ実生コンテナ苗の苗高、根元直径、形状比及び規格到達率

被陰 処理	平均値±標準偏差			規格 到達率(%)*
	苗高(cm)	根元直径 (mm)	形状比	
全光	32.3 ± 7.0 a	4.5 ± 0.8 a	72.0 ± 13.7 b	58 a
30%	31.7 ± 4.9 a	4.5 ± 0.9 a	71.6 ± 14.8 b	48 ab
50%	33.6 ± 5.3 a	4.2 ± 0.7 a	81.5 ± 12.9 a	55 a
70%	25.6 ± 5.3 b	3.5 ± 0.8 b	73.3 ± 10.5 ab	18 bc
90%	25.9 ± 4.7 b	3.6 ± 0.7 b	73.9 ± 12.8 ab	13 c
総計	29.8 ± 6.4	4.1 ± 0.9	74.4 ± 13.4	38

同じ列で異なる文字がついた平均値は5%水準で有意に異なる

\* ここでは苗高30cm以上、根元直径3.5mm以上に達した苗木の割合

# 9

育苗：環境測定

育苗中のコンテナ苗において、根鉢の水分状況を把握することは適切に育苗するために重要です。この水分状況をリアルタイムで監視する方法は多くありますので、その中で比較的安価に利用することが可能な方法と活用例を紹介します。

## 土壌水分のリアルタイム監視のためのシステム構成例

天水に頼る裸苗に対して、コンテナ苗の育苗は施設栽培であり、かん水を自由に制御することができます。かん水は苗木に水分を供給するのみではなく、培土の温度にも影響をあたえるなど、適切な育苗のために重要な作業であり、生産者は常に根鉢に含まれる水分量を把握する必要があります。現状では目視、手で土を触る、コンテナの重さを感じるといった方法で管理されていますが、いずれも定性的な方法であり、育苗本数が増えると全体を把握することは容易ではありません。定量的なデータをリアルタイムで閲覧することができれば、かん水頻度や量の参考となり、適切な育苗に向けて非常に有効です。土壌水分状況をWEB上で閲覧する方法は多くありますが、根鉢の小さなコンテナ苗で計測可能であり、安価な方法は限られています。

本稿では、データロガーが通信機能を有し、WEBサイトを無償で使用できる既製品「おんどとり」を使用した事例について説明します(図1)。通信には親機のみSIMカードを用意します。親機の通信にはデータ通信費が必要となります。既製品の接続・設定には若干の専門的な知見も必要です。

ティアンドデイ社「おんどとり」

RTR500BM

- ・親機
- ・SIMカード（別途有料）を挿入しWEBサイトにデータ送信（4G）
- ・子機と無線通信（無償、150m、最大20台）し、土壌水分を計測した電圧データを子機から取得。子機のデータをまとめてWEBサイトに送信する



<https://ondotori.webstorage.jp/>



ティアンドデイ社「おんどとり」

RTR505B (+電圧モジュール)

- ・子機
- ・親機と無線通信（150m）
- ・電圧データを土壌水分計から取得するデータロガー



Onset社  
S-SMC-M005

- ・土壌水分センサー
- ・先端のフォークを根鉢の中に差し込み、フォークの表面が土に触れるエリアを計測する

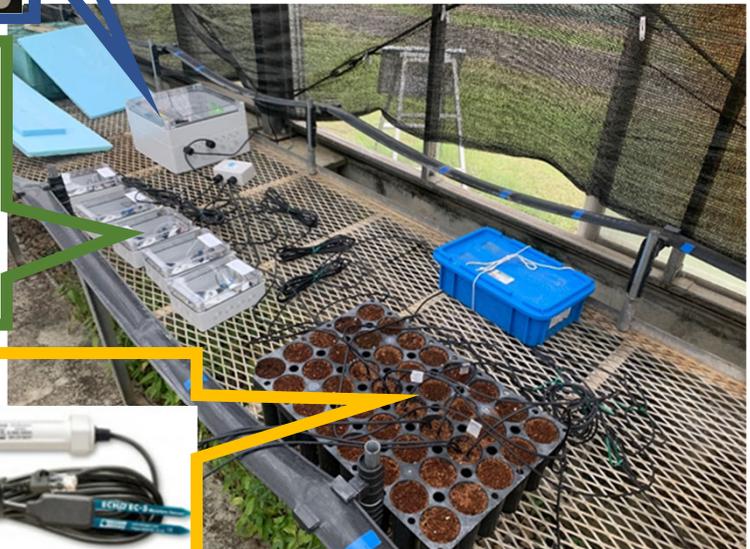


図1 壤水分リアルタイム監視のためのシステム構成例

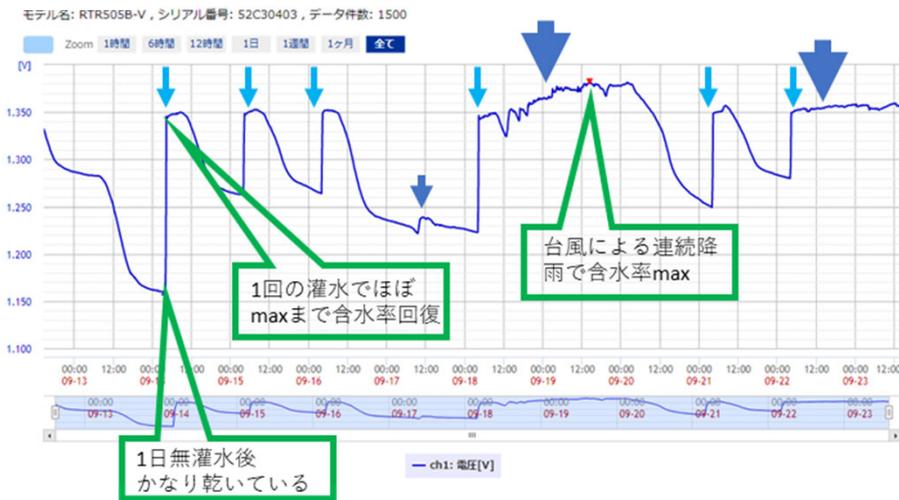
## 土壌水分のリアルタイム監視の事例

同じコンテナで育苗棚の中央側と通路側の2つの根鉢に土壌水分センサーを挿入して、土壌水分をリアルタイム監視した事例を紹介します。図2のグラフはWEBサイト(おんどり Web Storage)にアクセスするとリアルタイムで閲覧することができます。

この方法で取得する電圧の値は、挿入されたフォークと土のあたり具合によって変わりますので、同じ土壌水分条件でも値が変わることはあります。そのため、値の変化や値と実際の土の湿り具合を把握しておき、値をグラフで見ながら根鉢の状態を推定します。図2のグラフでは、かん水や雨によって根鉢にどの程度水分が満たされたか、また乾き難い中央側と乾きやすい通路側でどの程度異なるのかといった事を把握し、育苗管理の目安とすることができます。



SW01



SW02

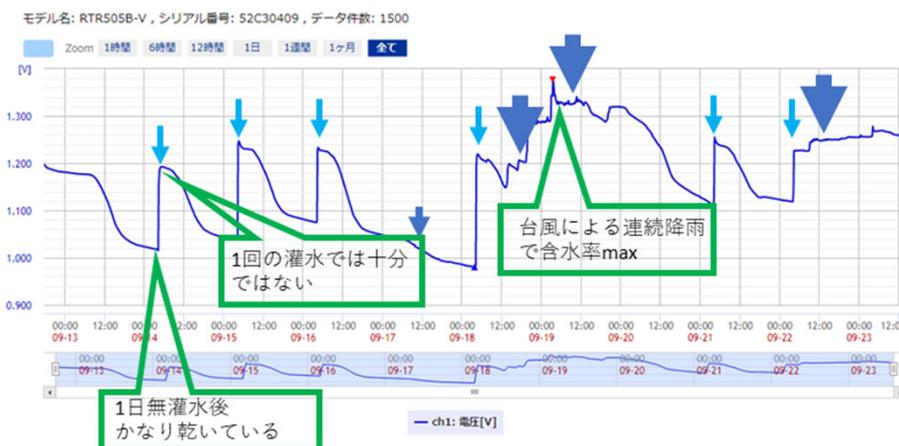


図2 土壌水分のリアルタイム監視で得られたデータ例



# 10

## 苗木の貯蔵と植栽後の活着・成長

冬季の苗木は耐凍性が高く、また植栽時のストレスへの耐性が高いと言われています。この利点を活かし、かつ出荷時期を調整するため、海外ではコンテナ苗を冬季に低温貯蔵する場合があります。そこで、スギにおけるコンテナ苗の低温貯蔵(-2℃)が可能かを検討しました。その結果、活着率は95%以上で初期成長も良好であり、スギでも低温貯蔵は可能であることが示されました。

## 低温貯蔵したコンテナ苗の活着率

茨城県日立市で1月にスギ実生コンテナ苗をビニール袋で包んだ上で段ボール箱に入れ、-2℃の保冷庫で貯蔵しました。約4ヶ月後の5月に、2℃の保冷庫に移して解凍した後、日立市の圃場に植栽しました。解凍のタイミングには、植栽の当日、1日前、1週間前と複数の処理区を設けました。植栽の当日に解凍したコンテナ苗では、根鉢が凍結により一部がくっついていたり、それらを引き剥がす必要がありました。貯蔵せず屋外で育成し続けたコンテナ苗を対照として比較しました。その結果、いずれの解凍時期であっても低温貯蔵したコンテナ苗の活着率は96%以上でした(表1)。

表1 1成長期後の活着率

処理	植栽本数 (本)	1成長期後 活着率 (%)
低温貯蔵—植栽当日解凍	28	96.4
低温貯蔵—植栽1日前解凍	29	100
低温貯蔵—植栽1週間前解凍	29	100
対照—温室育成	29	100

## 低温貯蔵したコンテナ苗の初期成長

低温貯蔵した後に解凍して植栽したスギ実生コンテナ苗の苗高は、屋外で育成し続けた苗木(対照)と比較して有意差がみられませんでした(図1、Tukey HSD test、 $P > 0.05$ )。また、解凍の時期の違いによる差もみられませんでした(図1)。この試験の結果からは-2℃で貯蔵が可能であり、低温貯蔵は初期成長には影響しないと考えられました。ただし、今回の試験では解凍した後、植栽までに高い気温に晒されていません。このため、実際に山地へ植栽する場合に苗木箱が晒されるような気温環境でも試験する必要があります。

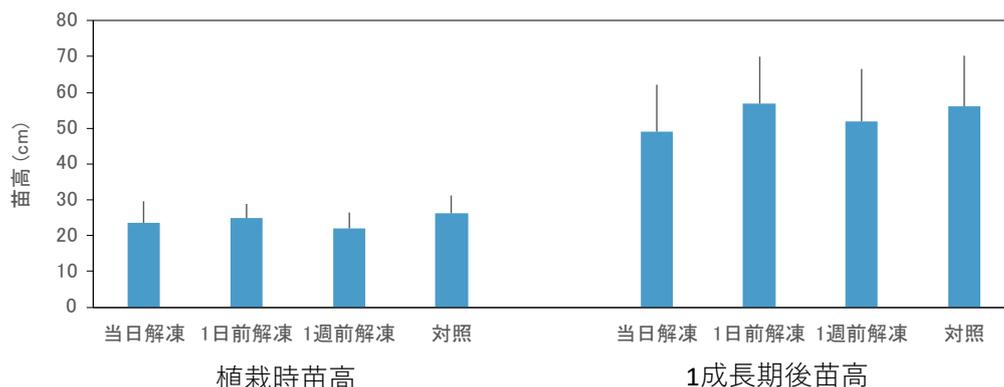


図1 低温貯蔵したスギコンテナ苗の植栽時および植栽から1成長期後の苗高

図中のエラーバーは標準偏差を示す。

# 11

## 苗木サイズと植栽後の成長

遺伝的背景が明らかな苗木を用いて造成した試験地において各個体を追跡調査し、そのデータを解析すると、調査した形質がどの程度遺伝的に支配されているのかが分かります。今回はコンテナ苗を用いて、両親が明らかなスギの樹高を植栽から3年間追跡調査し、家系の違いが植栽初期段階の樹高の違いに及ぼす影響を解析しました。

### 家系が植栽初期段階の樹高に及ぼす影響の経時変化

福島県内に造成した試験地において、DNA分析により両親を明らかにしたスギの苗木を植栽しました。これらについて、植栽時及び植栽後1～3成長期経過時に樹高を測定し、データ解析によりこれらの樹高が変動する要因を、家系、立地及びその他の3通りに分解しました。その結果、植栽直後は全体の変動の1割に満たなかった家系の影響力(分散成分の寄与率)は、植栽後2～3成長期経過時には3割程度まで増大していました(図1)。家系による影響力は言い換えれば育種の効果の大きさですので、育種の効果が林齢2～3年生以降に現れたとみなせます。

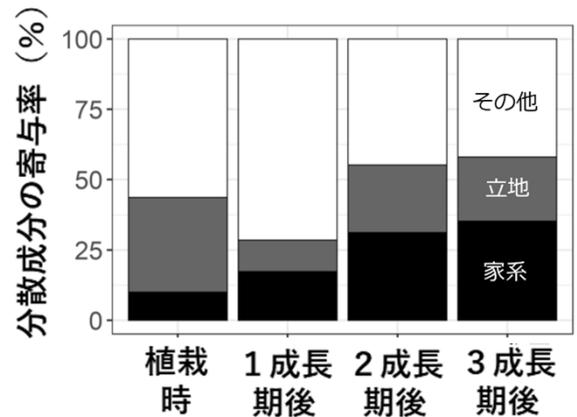


図1 両親の明らかなスギの植栽初期段階における樹高の分散成分の寄与率

### 樹高における家系順位の経時変化

上述の解析では、樹高の変動を家系、立地及びその他の3通りに分解しましたが、このうち家系による変動のみを取りだし、各家系の順位を図2に示しました。家系の順位は、植栽時から2成長期経過時まで大きく変動しましたが、2成長期経過時から3成長期経過時にかけて順位が安定してきました。図1と図2の結果から育苗時の影響がある状態から植栽後2～3年の時間を経て家系の効果(育種の効果)が現れる状態に移行したと考えられました。このことは、同じ方法で育苗した同様の苗高の苗木であっても、植栽後の樹高は家系によってかならずしも同じにはならないことを意味しています。このことは、高濃度の肥料を与えた環境に対するスギの応答と現実林分の環境に対するスギの応答が遺伝的に異なることを示唆していると考えられました。

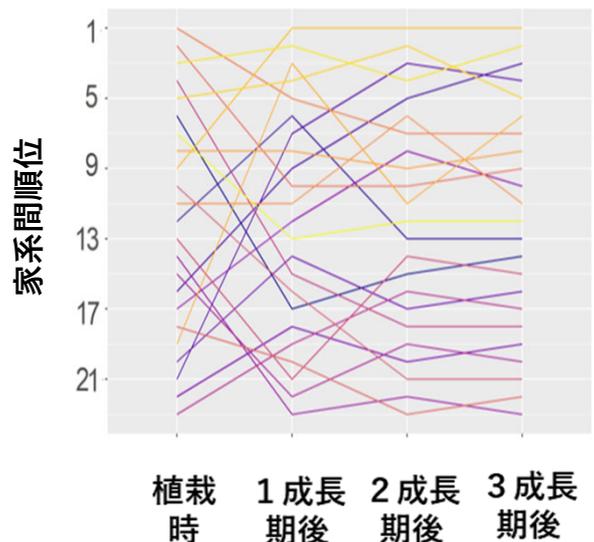


図2 両親の明らかなスギの植栽初期段階における樹高の家系間順位

数字が小さい方が樹高が高い。



下刈り回数の削減のため、大苗を植栽する場合があります。大きすぎる苗木は植栽効率や植栽後の活着に問題があるため、標準規格よりもやや大きめのコンテナ苗を林地に植栽して、成長推移を調査しました。苗高50cm以上の苗木は植栽から2成長期後には平均樹高が目標の150cmを上回り、その後の成長も苗高50cm未満の苗木よりも良好でした。

### 苗高で区分したスギ実生コンテナ苗の樹高成長

エリートツリーや静岡県の優良な精英樹を親としたスギ交配系統の3年生Mスターコンテナ苗を静岡県下田市の林地に植栽しました。苗高32～83cmのコンテナ苗を苗高10cm幅で区分し、それぞれの初期成長を調査したところ、苗高50cm以上のコンテナ苗は植栽から2成長期後の平均樹高が157～160cmとなり、下刈り終了の目安となる目標樹高150cmを上回りました(表1、図1)。植栽から3成長期後と5成長期後の樹高においても、苗高50cm以上のコンテナ苗は50cm未満の苗木や2年生裸苗より成長は良好で、下刈り回数の削減が期待できると考えられました。特に苗高70～83cmのコンテナ苗では、優れた初期成長は植栽から5成長期後まで認められ、下刈り回数の低減に有利であると考えられました(図2、図3)。

表1 苗高で区分したスギコンテナ苗の樹高

コンテナ苗 苗高	範囲 (cm)	個体数	平均樹高 (cm)					
			植栽時	1成長期後	2成長期後	3成長期後	4成長期後	5成長期後
50cm未満	32-49	51	45	73	150	222	-	480
50cm以上	50-59	113	54	80	160	236	-	513
60cm以上	60-69	96	64	84	157	235	-	515
70cm以上	70-83	30	73	94	173	256	-	564
裸苗	24-40	23	34	68	152	213	-	475

静岡県下田市須原  
2016年4月植栽



図1 植栽から2年4ヶ月後の苗木

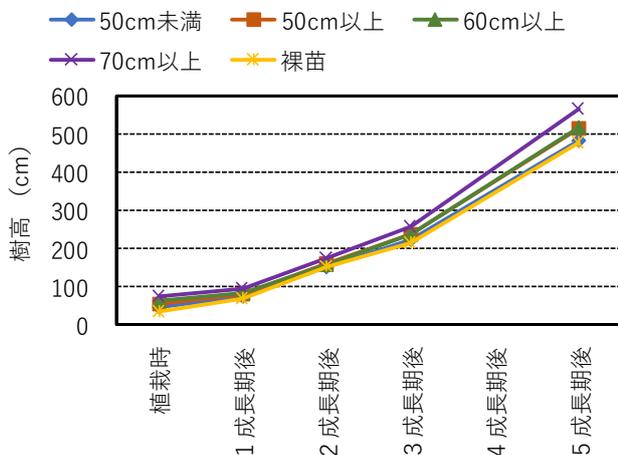


図2 苗高別のスギコンテナ苗の樹高成長

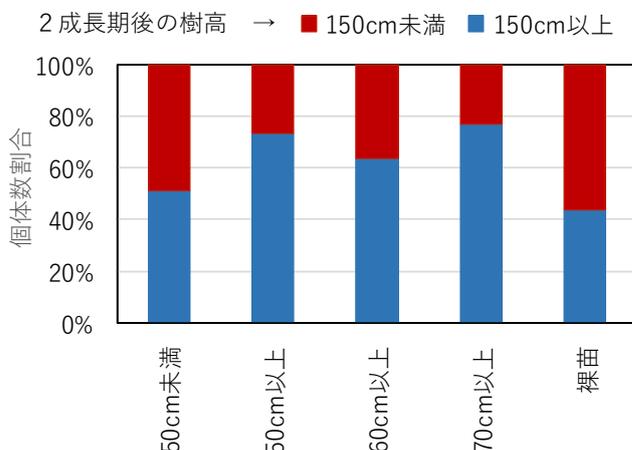


図3 苗高別のスギコンテナ苗の植栽から2成長期後の樹高

従来はコンテナのキャビティに満1年生幼苗を移植してから1成長期育成して出荷する2年生コンテナ苗が主流でした。近年、播種から1成長期で出荷する当年生コンテナ苗も普及しつつあります。当年生コンテナ苗が2年生と比較して、植栽後に遜色なく成長するか調査しました。植栽地は多雪地であったため、雪圧害の度合についても比較しました。

## 育苗方法

コンテナ容器はJFA150(150ccリブ)を使用し、培地はココピートオールドを使用しました。肥料は180日程度と長期間にわたって肥効が持続する肥効調節型肥料(ハイコントロール085-180)を元肥として培地に混合しました。追肥は行っていません。2年生コンテナ苗(以下、2年生)より当年生コンテナ苗(以下、当年生)は多くの施肥量が必要なため、2年生では1.5g/キャビティを、当年生では倍量の3gを元肥として施肥しました。当年生については、2018年3月上旬に育苗箱に播種してガラス室で管理し、4月上旬に発芽後間もない芽生えをキャビティに移植しました(図1)。その後、5月下旬までガラス室内で管理したのち、露地で育成しました。2年生苗については、5月下旬に満1年生幼苗をキャビティに移植し(図2)、寒冷紗下で2週間管理した後、露地で育成しました。芽生えは小さいことから効率的に移植することができ、40キャビティあたり約10分でしたが、幼苗は移植に手間がかかり約18分を要しました。



図1 芽生えの移植



図2 満1年生幼苗の移植

## 植栽試験

2018年11月下旬、飯南町の程原国有林(標高520m)に試験地を設定し、植栽を行いました。試験地内に40m×40mの植栽プロットを設け、当年生、2年生、裸苗の各100本を交互に植栽しました。裸苗は県内の一般の生産者から購入したものを使用しました。2019年4月から2021年11月まで、植栽木のサイズを定期的に計測しました。活着率と雪圧害については2019年5月に調査しました。

## 活着率と初期成長

スギ、ヒノキの活着率は当年生、2年生ともに98%~100%と高く、裸苗では78%、80%と低い結果となりました。植栽時にスギ、ヒノキともに当年生が2年生より樹高は低く、とくにヒノキ当年生は2年生の6割程度の樹高でしたが、成長量は当年生が優れていました(図3)。2022年12月には両者の樹高はほぼ同等となりました。特にヒノキ当年生では初期サイズは2年生の6割程度でしたが、樹高成長が旺盛だったことは注目に値します。

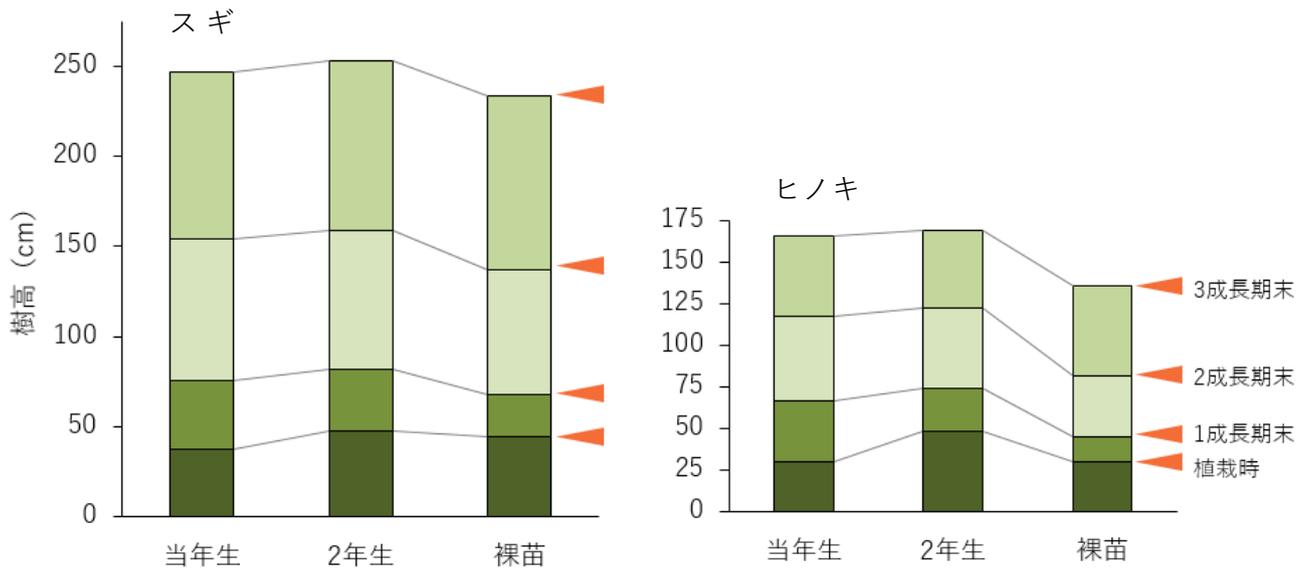


図3 スギ・ヒノキの植栽後の樹高成長

## 雪害

雪圧害のタイプは主軸折れ、倒伏、根鉢抜けに分けられました(図4)。倒伏は自立が困難で、人力による雪起こしが必要と判断されたものです(図5)。スギでは2年生で雪害が多く30%が雪圧害を受けており、倒伏が24%でした。当年生では雪圧害は10%程度とわずかでした。ヒノキでは雪害の発生は2年生で20%でしたが、スギと異なり根鉢抜けが目立ちました。これはヒノキの枝葉が平たく展開するため、雪の移動によって苗木が引き抜かれたものと考えられました。当年生苗では雪害が少なく、この原因としては苗木がまだ小さく、柔軟であったことが考えられました。

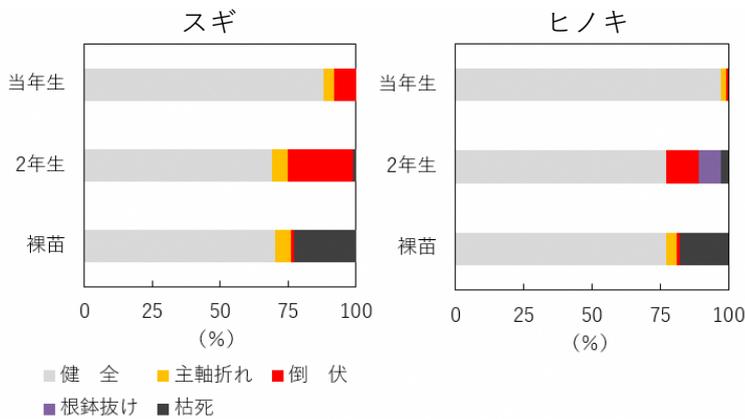


図4 雪圧害の被害割合



図5 倒伏したヒノキ

## まとめ

活着率と植栽後の成長については、苗齢による差は認められませんでした。植栽後の樹高成長は当年生はサイズが小さかったのですが、3成長期後には同等の樹高に達していました。雪圧害については当年生の方が明らかに被害は少ない傾向でした。同一の苗齢であっても育苗方法によっては、サイズや特性も異なることも考えられますが、今回の調査結果は1事例であるものの、当年生苗は植栽しても問題ない良好な苗木と考えられます。



# 苗木サイズと植栽後の成長

## ヒノキ実生コンテナ苗のサイズと初期成長

袴田哲司

静岡県農林技術研究所森林・林業技術センター

下刈り回数の削減のため、植栽した苗木が早期に目標樹高の150cmに到達する必要があります。そのため、林地に植栽したヒノキ実生コンテナ苗の旧標準規格や苗高が初期成長に与える影響を検討しました。旧標準規格1号苗、特に苗高80cm以上の苗木は、植栽から2成長期後に樹高150cmに達し、下刈り回数の低減に有利であると考えられました。

### コンテナ苗の標準規格と初期成長

2～3年生のヒノキ精英樹実生コンテナを旧標準規格で区分し、浜松市天竜区の林地に植栽しました。1号苗は植栽から2成長期後に平均樹高が160cmになり、植栽した60%以上の苗木が樹高150cmを越えました。一方、2～6号苗は植栽から2成長期後の平均樹高が102～132cmで、150cmに到達した苗木はわずかでした(図1、図2)。

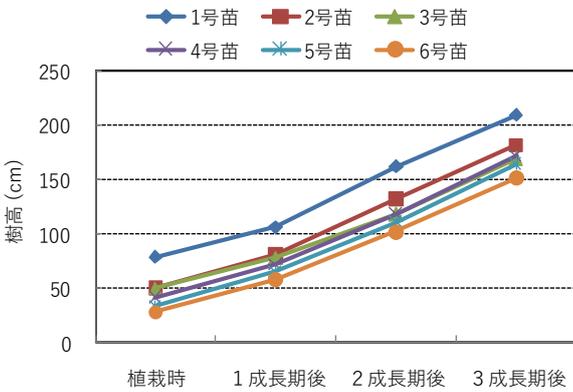


図1 旧標準規格別のヒノキコンテナ苗の樹高成長

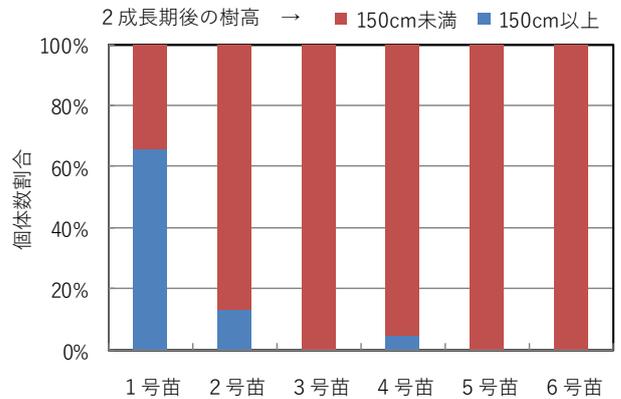


図2 旧標準規格別の苗木が植栽から2成長期後に樹高150cmに到達した本数の割合

### コンテナ苗の苗高と初期成長

コンテナ苗を10cm幅で区分して苗高の成長推移を比較したところ、苗高80cm以上の苗木は植栽から2成長期後に平均樹高が170cm以上になり、植栽した85%以上の苗木が樹高150cmを越えました。苗高80cm未満の苗木は2成長期後の平均樹高が118cm～136cmで、苗高70cm未満の苗木では150cmに到達したのは35%以下でした(図3、図4)。

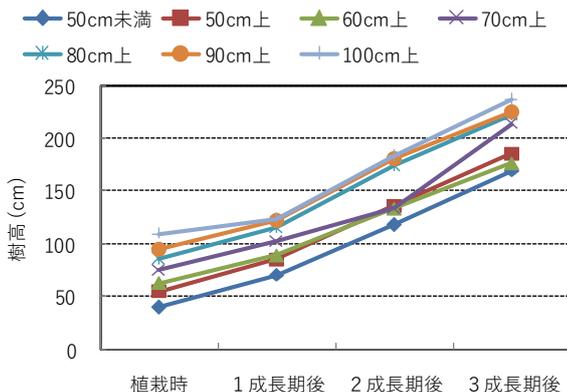


図3 苗高別のヒノキコンテナ苗の樹高成長

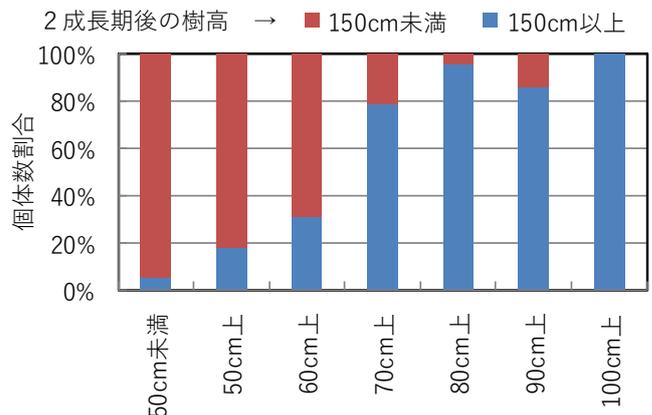


図4 苗高別の苗木が植栽から2成長期後に樹高150cmに到達した本数の割合

# 12

## 植栽後の成長

スギ第二世代精英樹候補木種子で育てたコンテナ苗(第二世代)の成長を評価するために、第一世代の交配で得られたコンテナ苗(人工交配)、従来の精英樹種子で育てたコンテナ苗(自然交配)と一緒に植栽し、樹高と根元直径の測定を行いました。樹高は、いずれの測定時でも第二世代>人工交配>自然交配の順でした。形状比は、いずれの苗も時間経過に伴い低下する傾向がみられました。

### 調査に用いた苗木について

第二世代精英樹候補木自然交配種子(以下、第二世代)と第一世代精英樹人工交配種子(以下、人工交配)は、関西育種場四国増殖保存園(香美市)で採種された種子を用い、自然交配種子(以下、自然交配)は、高知県内で流通する高知県精英樹採種園(香美市)で採取された種子を用いました。(図1)。育苗箱へ播種し、幼苗をココピートオールを充填したマルチキャビティコンテナ(JFA150)へ移植して1年間育苗しました。

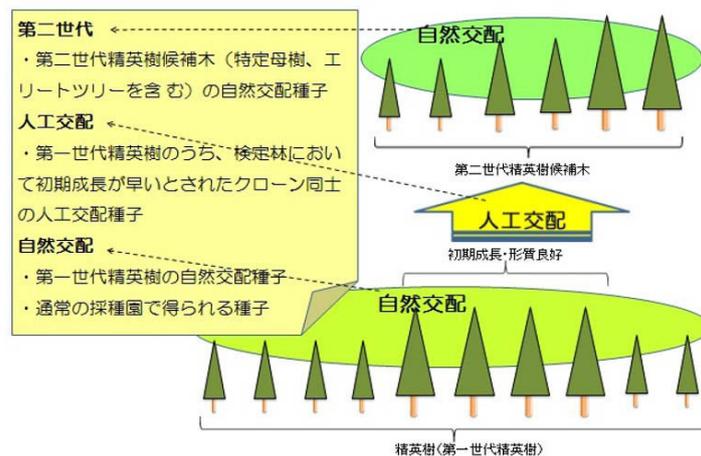


図1 調査に用いた苗木の種子由来

### コンテナ苗の植栽と活着

2015年3月に、皆伐地に各苗80本ずつを交互に、2,500本/haで植栽しました。2成長期後の生存率は、第二世代100%、人工交配93.8%、自然交配96.3%でした(図2)。人工交配の枯死理由は、生理障害が2.5%、ウサギによる食害が3.8%でした。自然交配の枯死理由は、生理障害が2.5%、ウサギによる食害が1.3%でした。生存木にもウサギによる食害や誤伐による被害がみられ、前者は第1成長期中に、後者は第2成長期中に発生しました。

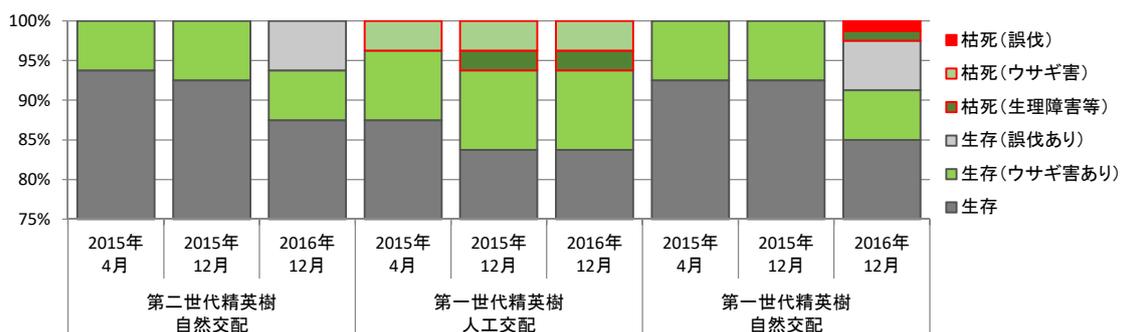


図2 植栽木の生存率と枯死理由

## 樹高の推移

樹高は、いずれの測定時でも第二世代 > 人工交配 > 自然交配の順でした。第二世代と自然交配の間に有意差がみられましたが、その差は10%に満たない程度でした(図3)。

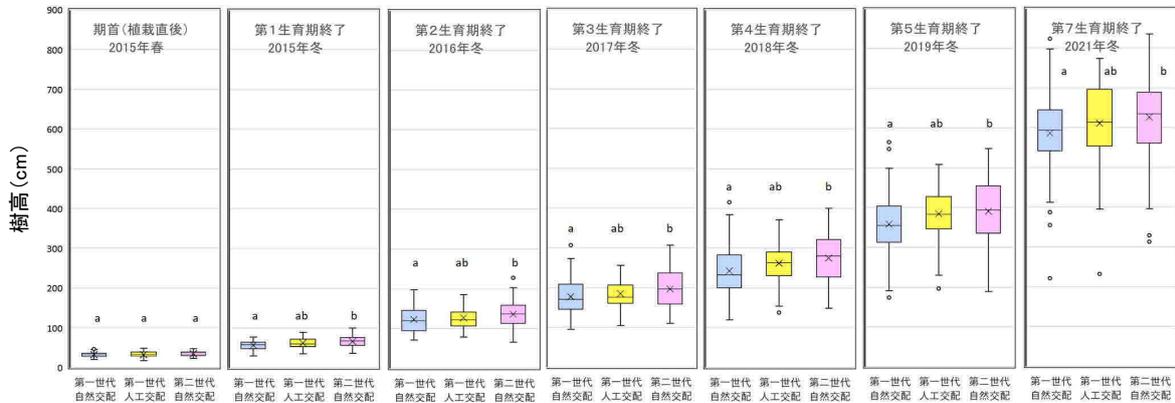


図3 植栽木の樹高

## 根元直径の推移

根元直径は、最初の測定時に地上高10cmで印をつけて同じところで測りました。第3成長期以降はいずれも順調に成長しましたが、種子の由来の間に有意差がみられませんでした(図4)。

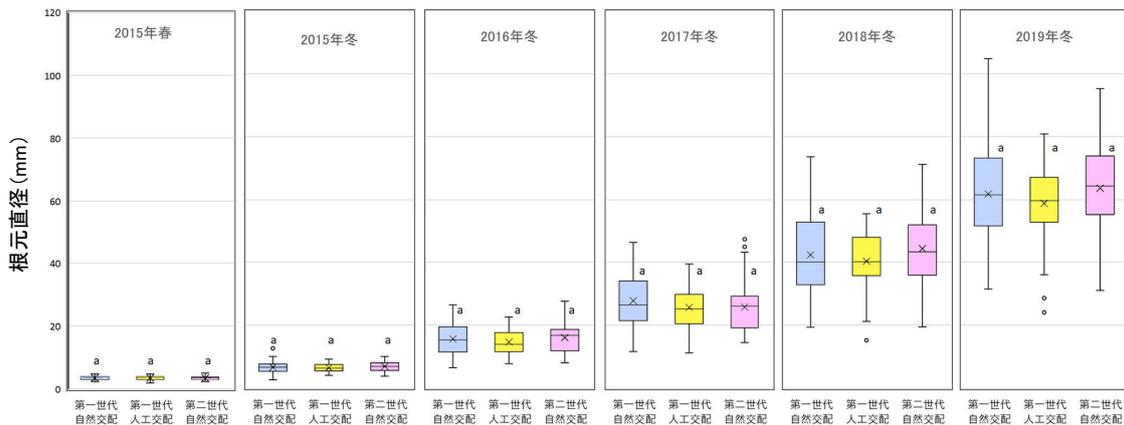


図4 植栽木の根元直径

## 形状比の推移

樹高を根元直径で割って求めた形状比は、植栽時に80~110を示すものが多くありましたが、時間経過に伴い低下し、第4成長期以降は60程度に収束しました。種子由来間に差がみられました(図5)。

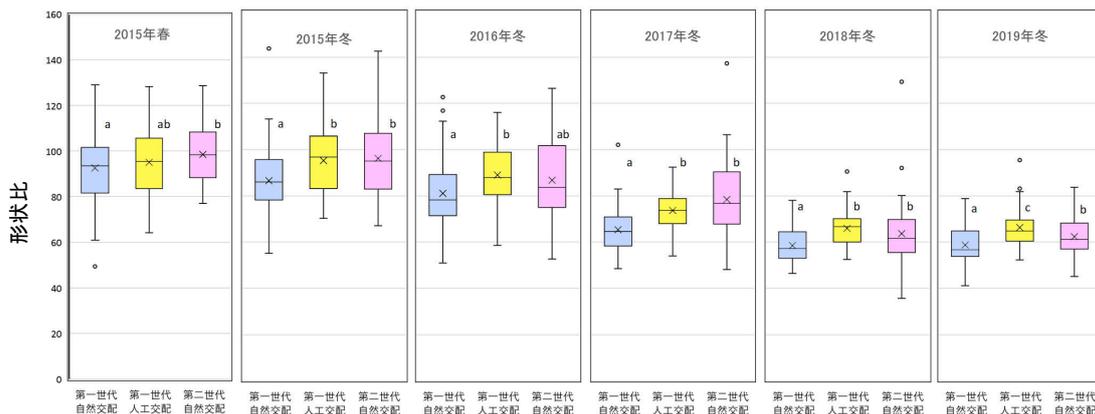


図5 植栽木の形状比

宮崎県では令和3(2021)年度に2,092haが再造林されています。植栽後の下刈りは通常6年間実施しており、対象面積は1万ha以上に及ぶことから下刈り期間の短縮は喫緊の課題となっています。そこで、九育2-136を含む5系統で試験地を設定し、4年間の成長量を測定しました。九育2-136は小型苗であったにもかかわらず、優れた樹高成長を示しました。

### 試験地と苗木の概要

試験地の面積は 0.12ha(0.04ha、3箇所)です。西向き斜面の標高500~600mに位置し、斜面上部から、ブロック1、2、3と配置しました(図1)。植栽した系統は、在来品種のタノアカ、第1世代精英樹は高岡署1号、西臼杵4号、始良20号の3系統、エリートツリーは九育2-136です。植栽間隔は2m(2,500本/ha)で、各系統の植栽環境が偏らないようランダム配置としました。九育2-136の苗木はさし木に用いた穂木の大きさや養苗期間が異なった等のため他の系統と比べて小型でした(図2)。

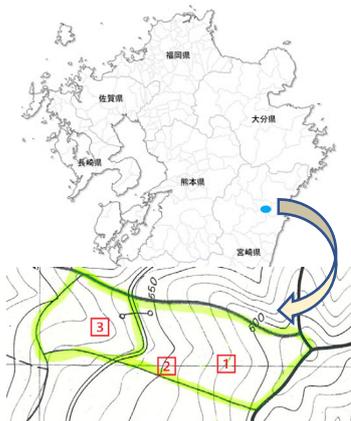


図1 美郷町北郷試験地

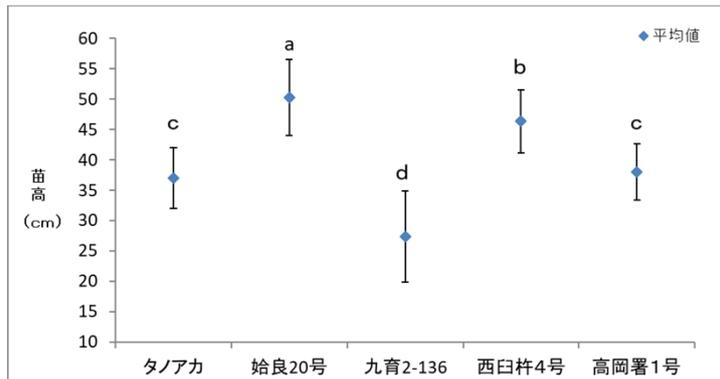


図2 植栽時の苗木サイズ(平均値と標準偏差)  
\*異なるアルファベット間で有意差あり

### 植栽4年後の苗木の成長

植栽前の苗木サイズが特に大きかった始良20号の平均372cmには及びませんでした。九育2-136は5系統の中では第2位の平均324cmまで成長し、相対成長率(初期サイズを加味した数値)は最高の0.62となり(表1)、宮崎県北部地域でも下刈り省略が十分期待できる系統であることがわかりました(図3)。

表1 植栽時の苗高と4年後の樹高

系統名	①		②		②-① 成長量	②-① (LN②-LN①)/4年 相対成長率
	植栽時 苗高(cm)	4年後 樹高(cm)	植栽時 苗高(cm)	4年後 樹高(cm)		
タノアカ	37	306	37	306	269	0.53
始良20号	50	372	50	372	322	0.50
九育2-136	27	324	27	324	297	0.62
西臼杵4号	46	320	46	320	274	0.48
高岡署1号	38	272	38	272	234	0.49

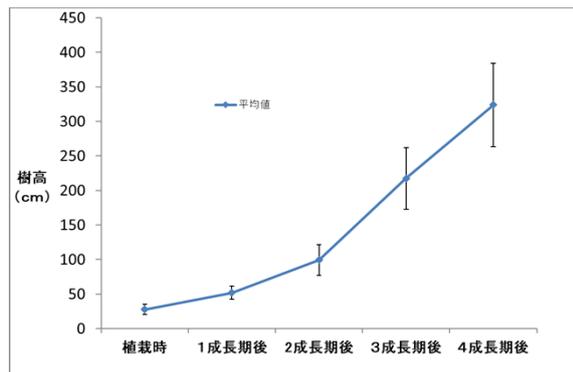


図3 九育2-136の樹高成長



## 適度な根鉢形成の苗木は林地での成長がよい

小川健一<sup>1)</sup>、望月智史<sup>1)</sup>、茂木靖和<sup>2)</sup>

1: 岡山県生物科学研究所、2: 岐阜県森林研究所

コンテナ苗の根鉢形成と植栽後の成長との関係を調査したところ、過度な根鉢形成は植栽後の成長の妨げになり、適度な根鉢形成が必要であることが分かりました。また、林地の成長に最適な根鉢形成の苗木は植栽時の酸化型グルタチオン(GSSG)施用効果も高く、同程度の根鉢形成でもGSSG施用して育苗した苗木の方が成長が良いことが分かりました。

### コンテナ苗の根鉢の状態と植栽後の成長との関係

スギ実生苗をコンテナで1年間育苗し、植栽前に根鉢を5段階(1:根系未発達、2:不完全な根鉢、3:緩いが崩れない、4:崩れず生きた根が多く見られる、5:堅い根鉢で、培土はほとんど見えない)で評価し、岐阜県恵那市上矢作町の恵那市有林に植栽して、植栽1年次と2年次の伸長成長量(cm)を調査しました(図1)。林地の成長を高めるためにコンテナ育苗時にはハイコントロール700日タイプを一本につき、4.5gを配合した培地で生育させました。調査の結果、林地での成長を担保するために適度な根鉢形成が重要であることが分かりました。

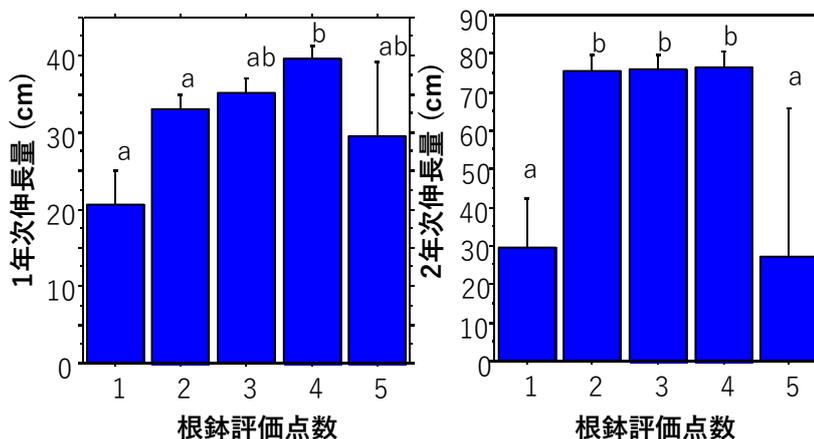


図1 コンテナ苗木の根鉢評価点数と植栽1年次(左)、2年次(右)の伸長量の関係  
グラフの数値=平均±標準誤差

### 適度な根鉢の苗木の伸長はGSSG施用によって高められる

酸化型グルタチオン(GSSG)施用効果との関係についても調査するために、GSSG施用の有無と苗木の根鉢形成の状態の違いが植栽後の伸長成長に与える影響を調査する試験を実施しました(図2)。GSSG施用区では、育苗時と植栽時にGSSGを施用しましたが、対照区では全く施用しませんでした。同じ根鉢評価点であってもGSSG施用した方が伸長成長が促されることが分かりました。

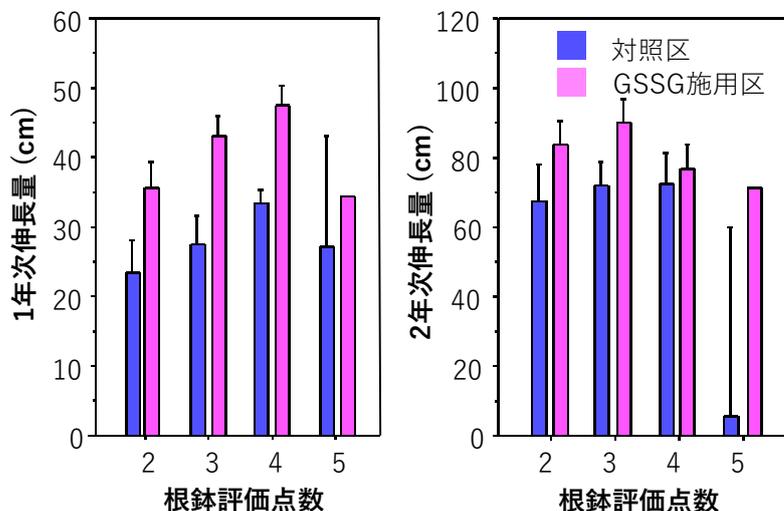


図2 根鉢評価点数とGSSG施用の効果との関係  
グラフの数値=平均±標準誤差

植栽時のみ・植栽前1ヶ月のみのグルタチオン施用試験例

飛田博順<sup>1)</sup>、上村章<sup>1)</sup>、山下直子<sup>2)</sup>、奥田史郎<sup>1)</sup>、原山尚徳<sup>1)</sup>、小川健一<sup>3)</sup>

1: 森林総合研究所、2: 森林総合研究所関西支所、3: 岡山県生物科学研究所

再生林における酸化型グルタチオン(GSSG)資材の施用について検討を行いました。育苗中には施用せず植栽時のみに施用した場合と、育苗中の植栽前1ヶ月間だけ葉面散布し植栽時には施用しなかった場合には、スギの植栽後に明確な樹高成長促進効果は認められませんでした。

植栽時のみGSSGを施用する試験：再生林地での事例

国有林の再生林地での植栽時に施用試験を行いました。スギ精英樹(中之条2)の種子を150ccコンテナに直接播種して2年間育苗したスギコンテナ苗を、2019年5月に茨城県北茨城市の国有林に植栽しました。追肥をしていないので植栽時のコンテナ苗は肥料が切れている状態です。育苗時にはGSSGの施用を行わず、植栽時のみGSSGを1%含むGSSG粒剤(カネカペプチドR1:0.15N-0P-0.1K)を施用しました(G)。施用なし(対照区)、Gのみ(G区:16g/本、植え穴に施用、24mg N施用)、緩効性肥料(F)のみ(F区:ハイコントロール650(100日)を10g/本、植栽したコンテナ苗の10cm横の地面5cm深に施用、1.6g N施用)、GとFの両方(GF区、1.6g N施用)の4処理を設定しました。植栽後4年間樹高を測定しました。その結果、2、3年目の期末樹高にGSSGと緩効性肥料の交互効果がみられたものの、対照区と3つの施用処理区の間で有意な差はみられず、GSSGや緩効性肥料施用による樹高成長促進効果は認められませんでした(図1)。

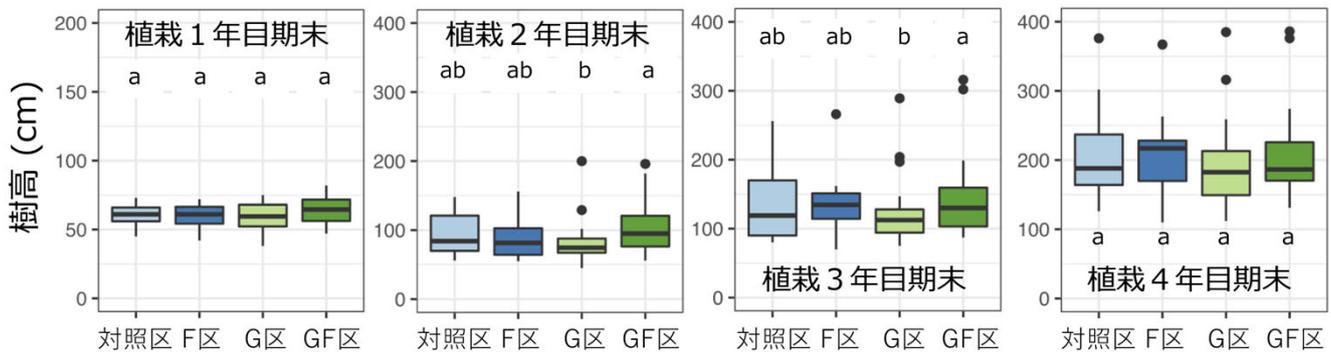


図1 スギコンテナ苗の植栽後の樹高

茨城県北茨城市の国有林(標高420~470m)での植栽試験の事例。植栽前年の2018年度中に伐採・地拵えを実施。植栽間隔は2.2mで、各処理20本。初年度の競合植生の被度は場所により数%から100%まで異なる(6月下旬時点)。1年目と2年目以降の縦軸のスケールが異なる。図中の同一アルファベットをもつ処理間に有意差はない(Tukeyの多重比較検定)。

今回の再生林地での植栽試験では、斜面の上から下まで、作業路を挟んだ約100mの距離にわたり植栽しましたが、植栽した場所により樹高成長が大きく異なりました(図2)。GSSG施用の効果が出やすい立地条件があるかもしれません。今後、土壌の厚さや水分条件などの立地環境条件や競合植生の影響を加味して、GSSG施用効果の検討を進めていきます。

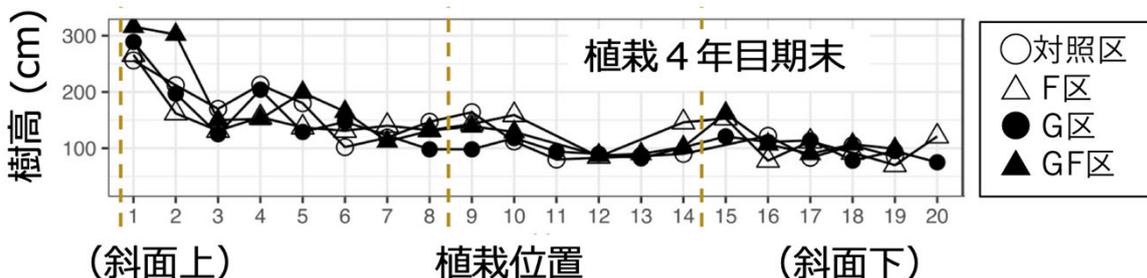


図2 スギコンテナ苗の植栽4年目期末の樹高の植栽位置による変動  
横軸は斜面位置、各印は1個体を示す。黄色点線は作業路の位置を示す。

## 植栽時のみGSSGを施用する試験：苗畑での事例

立地環境や競合植生のばらつきが少ないと考えられる茨城県つくば市の森林総合研究所の苗畑において、同様の施用試験を行いました。材料に市販の150ccのスギコンテナ苗を用いて、2020年5月の植栽時のみGSSG粒剤(G)を施用し、3年間の成長量を調べました。前述の再生林地での試験と同様の4処理(対照区、G区、F区、GF区)を設定しました。その結果、1年目の樹高に対して緩効性肥料の効果が見られましたが、処理間の有意な差はありませんでした(図3)。また、2年目以降の樹高には、処理の効果は見られませんでした。苗畑での植栽時のみのGSSG施用でも成長促進効果は見られませんでした。

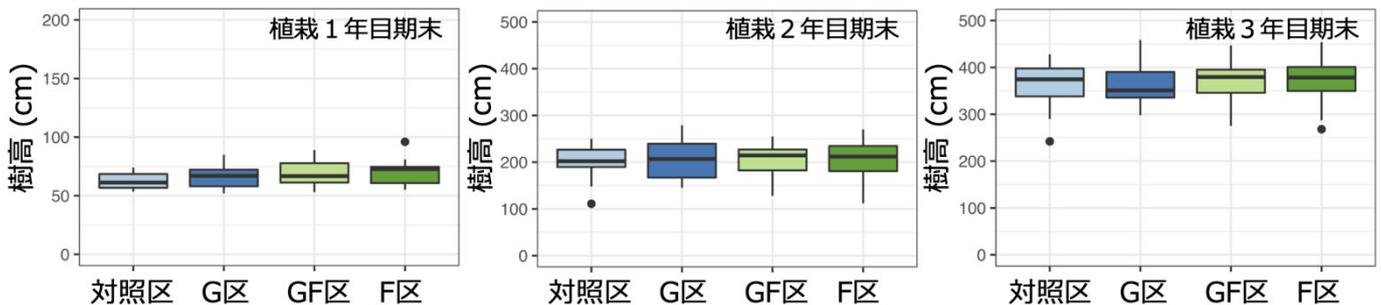


図3 スギコンテナ苗の植栽後の樹高

茨城県つくば市の森林総合研究所実験林苗畑での植栽試験の事例。植栽間隔は1.8mで、各処理16本。苗畑での試験のため、草刈りを適宜実施。1年目と2、3年目の縦軸のスケールが異なる。

## 夏植栽前1ヶ月間のみGSSGを葉面散布する試験：苗畑での事例

300ccコンテナで育苗した1年生少花粉スギ2系統(英田3号、美方3号)を、2021年7月に京都市の森林総合研究所関西支所構内に植栽しました。苗木の暑熱馴化が進んだ夏に、植栽の4週間前から週2回の頻度で、ハイポネックスプロフェッショナル(20-20-20)1000倍液(H区、窒素4mg/20mL)および15% GSSG水和剤500倍液(G区、窒素4mg/20mL)を、葉面散布しました。その結果、植栽から1年後と2年後の樹高成長はH区で最も高くなり、G区では対照区と同等でした(図4)。

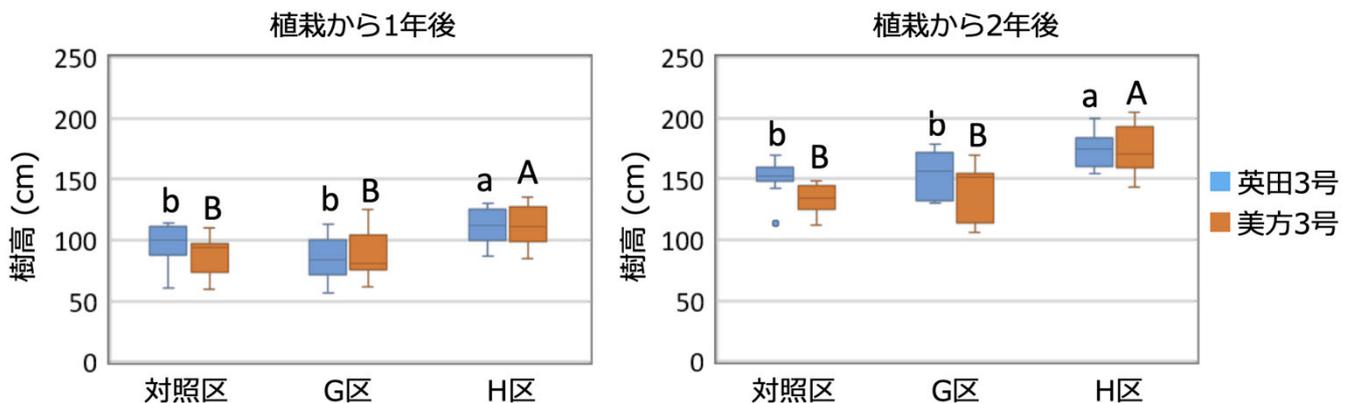


図4 スギコンテナ苗の植栽から1年後、および2年後の樹高

京都市の森林総合研究所関西支所構内での植栽試験の事例。植栽間隔は1.0mで各処理、各系統18本。図中の同一アルファベットをもつ処理間に有意差はない(Tukeyの多重比較検定)。なお、植栽時の平均樹高は、各系統内の処理間で有意な差なし(英田3号59.8cm、美方3号66.7cm)。

以上の3つの試験の方法では、スギの樹高成長にGSSGの施用による有意な効果が認められませんでした。効果的な資材の活用のために、このような事例も参考にいただければと思います。



植栽苗木への酸化型グルタチオン(GSSG)施用の効果は、土壌の状態の違いに影響されると想定されます。実際の調査地で苗木の植栽箇所ごとの土壌水分と植栽後の伸長成長量との関係を調査したところ、GSSG施用によって適度な土壌水分の箇所での成長が促進されるだけでなく、適応範囲が拡大する効果があることが分かりました。

## 成長には適度な土壌水分条件が必要

ハイコントロール700日タイプ4.5g/本を含むココピートオールド培地でコンテナ育苗した1年生スギ苗木を岐阜県恵那市有林に植栽し、植栽1年次と2年次の伸長量を個体毎に調査しました。また、植栽2年次夏に土壌水分計で個体毎の土壌水分を測定し、伸長量との関係をグラフにしました(図1)。育苗時にも植栽時にもGSSG施用しなかった苗木(図1、■)は、限られた土壌水分の範囲で良好な伸長成長が認められました。

## GSSG施用で生育適応範囲が拡大する

GSSG施用を施用しなかった場合に良好な成長がみられた土壌水分の範囲において、GSSG施用によって伸長成長が促進されただけでなく、対照の無施用(■)では成長低下がみられた、土壌水分が多い範囲、少ない範囲を含む広い範囲で良好な伸長が認められました。このGSSG施用の効果は、植栽時に施用した場合の方が強い傾向でした。土壌pHやEC値に関しても同様の傾向が認められました(詳細は別途発表予定)。これらの結果は、スギの成長は土壌条件によって低下しますが、GSSG施用により伸長生長を促進しうる、または伸長生長の低減幅を縮小できることを示唆しています。GSSG施用に期待できる効果は、植栽地の土壌条件によって異なると考えられることから、特に植栽時のGSSG施用については、植栽地の状況に応じて判断することが重要と考えられます。

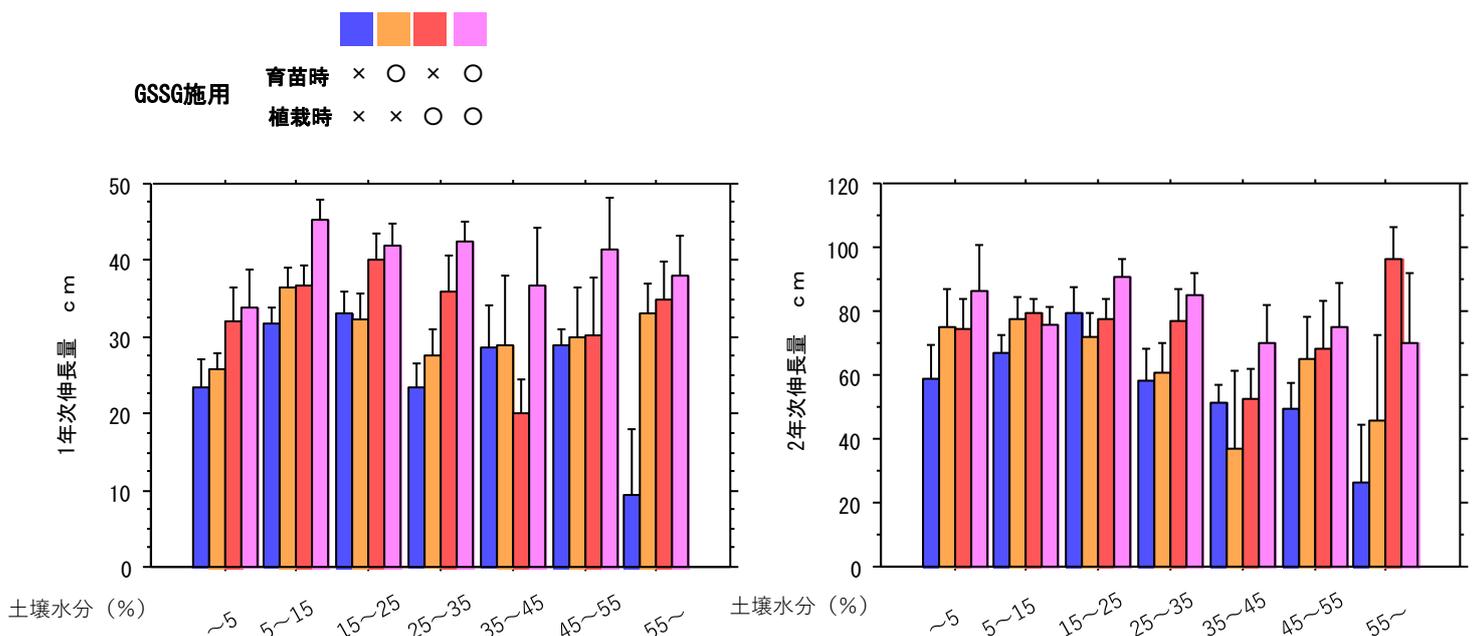


図1 土壌水分(%)と植栽1年次(左)、2年次(右)の伸長量の関係

※ 詳細については論文にて発表予定



スギコンテナ苗の植栽時のグルタチオン施用の効果

奥田史郎、上村章、原山尚徳、香山雅純、飛田博順

森林総合研究所

林地でのスギ苗木の植栽時のグルタチオン等施用による成長促進効果について検証しました。樹高、直径とも若干ながら成長に対する施用の効果はみられ、特に直径ではグルタチオン付加の促進効果がみられました。ただ、1成長期後では雑草木に対する大きな競合緩和効果や下刈りの省力を達成するには至りませんでした。

目的と方法

人工林の再造林の現場では造林作業の担い手不足が深刻化しており、下刈り等の初期保育の省力が不可欠です。植栽苗木の成長促進は下刈りの軽減に繋がり有効な解決手段になり得ます。植栽時にグルタチオン等を施用することで成長促進を通して初期保育の軽減に繋がるかを検証することを本課題の目的としました。植栽に供したコンテナ苗は前項(46ページ)で育成した1年生のコンテナ苗(300cc)です。植栽は茨城県高萩市内の国有林の伐採後しばらく時間を置いた伐採跡地に地拵えの後2,000本/haで5月上旬に実施しました。施用は植栽時の植え穴にグルタチオン粒剤は16g/本 (24mg N)、固形肥料「丸山1号」は3粒/本 (3g N)の投入とし、グルタチオン施用(G)ではグルタチオン粒剤と固形肥料を、丸山施用(M)では固形肥料のみを与え、無施用(N、なし)では同じコンテナ苗を施用なしで植栽しました。また、対照(C)として市販の4号コンテナ苗(150cc)を植栽しました。育苗時の処理と合わせてG+Gの様に育苗時、植栽時別に表記しています。

結果：処理別の苗木の成長

1成長期後の12月時点での樹高は、植栽時のG区とM区では差がなく、無施用のN区や対照のC区に比べて少し大きくなりました。初期サイズを考慮した1成長期の樹高成長量で比較しても同様に植栽時のG区とM区が他に比べて大きく、施用の効果はみられたがグルタチオン付加の効果は明瞭ではありませんでした(図1)。根元直径での1成長期後の直径成長は(図2)、樹高成長と同様に植栽時のG区とM区では無施用のN区に比べて大きく、またG区の方がM区に比べて大きくなりました。これらから、林地での植栽時の施用による一定の成長促進効果はみられ、グルタチオンの付加的効果もあると判断されました。ただ、本植栽地は伐採直後に地拵えして植栽したわけではないため1年目から多くの雑草木が競合しており、それぞれの処理別で雑草木との平均競合に差が出るほどの差とはならず、下刈り回数を減らすことが可能という判断には至っていません。今後も継続して2年目以降の成長も含めて本事例での下刈り低減の可能性について検討していきます。

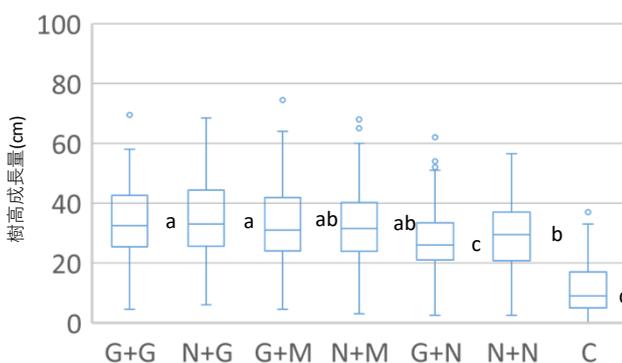


図1 処理別の1成長期後の樹高成長量(cm)

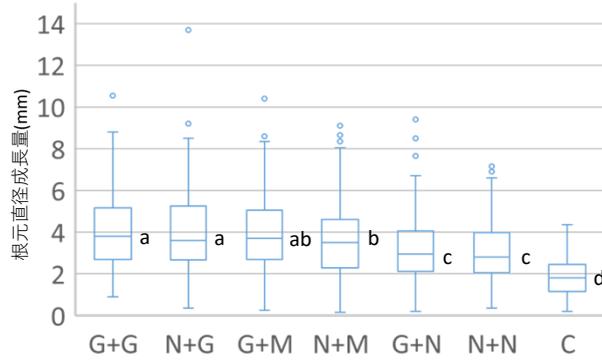


図2 処理別の1成長期後の根元直径成長量(mm)

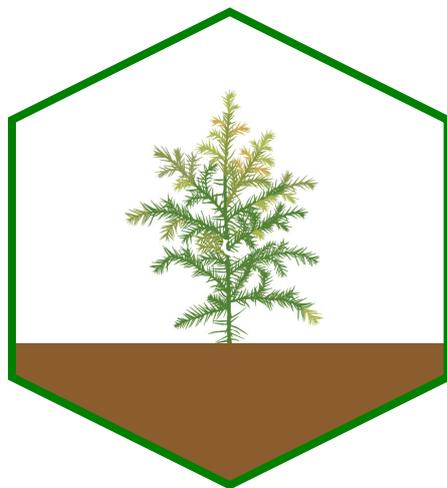
育苗時施用+植栽時施用 G:GSSG、N:無施用、M:丸山1号、C:市販4号苗木











---

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  
〒319-1301 茨城県日立市十王町伊師3809-1

---

編集・発行：森林総合研究所林木育種センター

編集責任者：宇都木玄・山野邊太郎・小川健一・高橋誠

発行日：令和7（2025）年3月6日

問合せ先：林木育種センター育種部

E-mail：ikusyu@ffpri.affrc.go.jp

Homepage：https://www.ffpri.affrc.go.jp/ftbc/

本書の引用記載：宇都木玄・小川健一・山野邊太郎・高橋誠 編  
（2025）優良種苗のよりよい育成・利用に向けて，森林総合研究  
第5期中長期計画成果30（林木育種-9）、80pp.

---

© 掲載記事、写真、図表及びイラストの無断転載を禁じます。