

スギコンテナ苗の成長に及ぼす植栽時のグルタチオン施用の影響

飛田博順¹・奥田史郎¹・原山尚徳¹・上村 章¹・小川健一²¹ 国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所・² 岡山県農林水産総合センター生物科学研究所

要旨：酸化型グルタチオンの再造林の効率化への利用の可能性を検討するために、種子生産から、コンテナ苗の生産と植栽における施用試験を実施している。本研究では、植栽時のみの酸化型グルタチオンの施用がスギ植栽木の成長に及ぼす効果を明らかにすることを目的とした。植栽時の施肥処理は、無施用、緩効性肥料のみ、グルタチオンのみ、グルタチオンと緩効性肥料の4処理設定した。植栽1, 4年目期末の樹高に対して施肥処理の効果はみられなかった。植栽2, 3年目期末の樹高に対してグルタチオンと肥料の交互作用に有意な正の効果がみられたが、施肥処理について多重比較を行った結果、対照区と施肥した区の間で有意な差がみられなかった。本研究の条件では、植栽時のみの酸化型グルタチオン施用ではスギ植栽木の成長促進の効果はみられなかった。

キーワード：緩効性肥料, 再造林, 酸化型グルタチオン, 樹高, 根元直径

Effect of glutathione disulfide application at planting time on growth of cedar container seedlings

Hiroyuki TOBITA¹, Shiro OKUDA¹, Hisanori HARAYAMA¹, Akira UEMURA¹, Ken'ichi OGAWA²¹ Forestry and Forest Products Research Institute; ² Research Institute for Biological Sciences

Abstract: In order to investigate the possibility of improving reforestation efficiency with glutathione disulfide (GSSG), we are conducting efficacy trials on GSSG application at the time of seed production, nursery of the seedlings, and planting of them. The objective of this study is to determine the effect of GSSG application at the time of planting on the growth of *Cryptomeria japonica* (cedar) in a reforested area. We established four treatments at planting: No application, slow-release fertilizer alone, GSSG alone, and a combination of GSSG and the slow-release fertilizer. While there was no effect of fertilizer treatment on tree height at the end of the first or the fourth growth period after planting, at the end of the second or third growth period, there was a significant positive interaction between GSSG and the fertilizer. Nevertheless, multiple comparisons among the treatments showed no significant difference ($p < 0.05$) between the control and the other three treatments and the application of GSSG alone at planting time did not promote the growth of cedars under the conditions of this study.

Keywords: Slow-release fertilizer, Reforestation, Glutathione disulfide, Tree height, Root diameter

I はじめに

グルタチオンは3種類のアミノ酸が結合した生体内に存在する物質で、異物の解毒や抗酸化に役立ち、植物中では光合成や成長を調整する物質として作用している。農業分野では酸化型グルタチオン（グルタチオンジスルフィド, GSSG）の施用による植物の生産性や品質の改善の目的で、対象の作物ごとに施用量や時期等の研究が行われている(4)。

近年、林業分野でも酸化型グルタチオン資材の施用研究が進められている。再造林の効率化に対して酸化型グルタチオン資材の利活用の可能性を検討する際には、種子・穂木生産から、コンテナ苗生産、苗の植栽後の成長までの各段階における、施用方法とそれらの組み合わせによ

る施用効果を明らかにする必要がある。現在、各段階における研究事例が報告されつつあるところである。例えば、カラマツさし木苗の増殖効率向上を目的とした研究では、実生採穂台木への酸化型グルタチオン施用により、台木あたりの採穂量の増加やさし木の得苗率の向上が報告されている(5)。また、ヒノキコンテナ苗生産では、育苗中の酸化型グルタチオンの施用により、成長の促進や得苗率の向上はみられず、葉の重量比と細根重量比が増加し、T/R比が低下する効果が報告されている(2)。

本研究では、植栽時のみの酸化型グルタチオンの施用が植栽木の成長に及ぼす効果を検証することを目的として、スギコンテナ苗の植栽試験を行った。

II 材料と方法

1. 調査地 茨城県北茨城市の伐採後の高帽国有林の低密度植栽試験に使用している試験地の一面である(36°52'N, 140°40'E, 420~470 m a.s.l.)。

2. 材料 スギ精英樹(茨城県加波山小見採種園, 中之条2)の種子で, 分光カメラシステムにより選別した(I)充実種子を2017年5月28日に150 cc コンテナ(リブ型, JFA-150)に格子状に一粒直接播種し(20本/トレイ), ビニールハウス内で育苗した。培土はヤシ殻破砕物(トップココピートオールド, トップ(株), 東京)を用い, 元肥はハイコントロール650-180(N-P-K 16-5-10, 肥効期間180日, ジェイカムアグリ(株), 東京)を播種時に1.5 g/穴施用し, パーライトで覆土した。散水は点滴により与えた。本葉が出るまで50%遮光した。ビニールハウス内で越冬させ, 翌春に元肥と同じ種類の緩効性肥料を1.5 g/穴施肥した。2年とも追肥を行わなかった。播種時期が5月下旬と遅く1生育期間では苗サイズが小さかったため, 2生育期間育成した苗(苗高約30 cm以上)を材料に用いた。

3. 植栽と調査項目 標高420 mから470 mにかけて幅6.6 m長さ188 mのライン状の試験地を設定し, 2.2 m間隔, 2列で植栽した(2019年5月8日)。コンテナごと山まで運び, 鋤で植栽した。下記の施肥4処理を1組とし, 20組, 80本を植栽した(斜面最上部の組を1番, 斜面最下部の組を20番とした)。施肥の処理区は, 無施用(対照), 緩効性肥料(肥料), 酸化型グルタチオン(グル), 酸化型グルタチオンと緩効性肥料(グル+肥料)である。酸化型グルタチオン(粒剤W2, N-K 0.15-0.1)は, 16 g/個体を植え穴に施用した。緩効性肥料(ハイコントロール650-100; 肥効期間100日)は, 10 g/個体を植え穴から10 cmの位置に置き肥した。下刈りは毎年実施した。植栽1年目には, 植栽時と期末の樹高と根元直径, 植栽から約1ヶ月後の生残調査を行った。植栽2年目から4年目には, 期末の樹高と根元直径, 樹冠幅の測定と夏期の競合植生調査を行った。競合植生調査は当年の下刈り前に行い, 山川ら(8)の競合指数(C1: 植栽木の樹冠が周辺の雑草木から半分以上露出している~C4: 植栽木が雑草木に完全に覆われている)と植栽木から半径約1 m範囲内の被度と最大植生高を記載した。植栽1年目は競合植生と樹冠幅の測定を行っていない。

4. 解析 植栽当年から植栽4年目の期末の樹高と根元直径, 樹冠幅を目的変数, グルタチオンと肥料と, グルタチオンと肥料の交互作用項, 植栽位置(斜面上部1番からの位置), 競合指数(C1を基準)を固定効果, 植栽時の樹高と根元直径をランダム効果とした一般化線形

混合モデル(GLMM)を作成し, 固定効果について尤度比検定を行った(Rver. 4.0.3)。GLMMのグルタチオンと肥料の交互作用項の固定効果が有意な場合は, 施肥処理を固定効果に変更し, 施肥処理, 植栽位置, 競合指数を固定効果として, 再度GLMM解析と尤度比検定を行った。施肥処理の効果が有意な場合は, 多重比較を行った。なお, 調査期間中に枯死した5個体と明らかに誤伐(植栽2年目に降に発生)を受けた4個体の合計9個体は解析から除外した。

III 結果と考察

1. 植栽後の活着 植栽後, 植栽日を含めて7日間無降雨で, 8日目に1.5 mm降った後4日間無降雨だった(気象庁HP: <https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>, アメダス花園観測所)。植栽後1ヶ月以内に3個体が枯死し, 多くの個体の葉が黄変・褐変した。植栽後すぐに発生した枯死以外では, 植栽後2年目に2個体枯死した。枯死発生に, 施肥処理の偏りはなかった。

2. 植栽後の苗の成長 植栽後の期末樹高に対するGLMMの結果, 植栽1年目から植栽4年目まで, 植栽位置に有意な負の効果がみられた(表-1)。植栽1年目と植栽4年目の樹高に対して施肥処理の効果はみられなかった。植栽2年目と植栽3年目の樹高に対して, グルタチオンと肥料の交互作用に有意な正の効果がみられたため, 施肥処理について多重比較を行った。その結果, 植栽2年目と植栽3年目の期末樹高には, 対照区と施肥した3処理区の間で有意な差がみられなかった(図-1)。なお, 植栽2年目から植栽4年目までの樹高に対する夏の競合指数の効果はみられなかった(表-1)。

植栽後の根元直径に対するGLMMの結果, 植栽1年目から植栽4年目まで, 植栽位置の有意な負の効果に加えて, グルタチオンと肥料の交互作用が有意な正の効果を示した(表-2)。施肥処理について多重比較を行った結果, 植栽1年目と植栽4年目の根元直径に対して施肥処理の効果はみられず(それぞれ $p = 0.09, 0.08$), 植栽2年目と植栽3年目の根元直径に対しても対照区と施肥した3処理区間で有意な差を示さなかった(図-2)。植栽3年目の根元直径に対して2年目夏の競合指数に有意な効果がみられ, 競合指数C4が競合指数C1に対して有意な負の効果を示した(表-2)。

植栽後の樹冠幅に対するGLMMの結果, 植栽2年目から植栽4年目まで, 植栽位置に有意な負の効果がみられた(表-3)。植栽3年目と植栽4年目の樹冠幅に対して施肥処理の効果はみられなかった。植栽2年目の樹冠幅に対して, グルタチオンと肥料の交互作用に有意な正

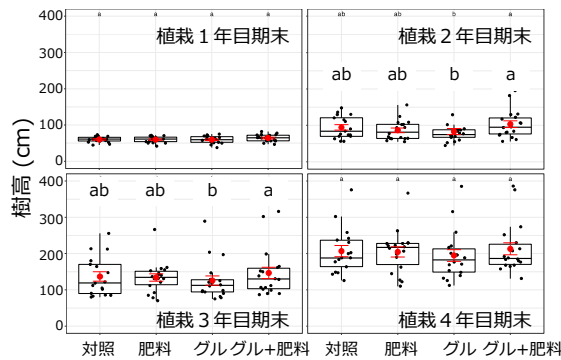


図-1. 施肥処理区ごとの植栽後のスギコンテナ苗の各年期末樹高。異なるアルファベットは施肥処理区間で有意差があることを示す (Tukey, $p < 0.05$)。

Fig. 1 Height of cedar container seedlings at the end of each growing season after planting in each treatment. Different alphabets indicate significant differences among treatments (Tukey, $p < 0.05$).

表-1. スギコンテナ苗の植栽後の樹高に対する GLMM の尤度比検定の p 値の結果 (*; $p < 0.05$, **; $p < 0.01$, ***; $p < 0.001$, ns; not significant)

Table 1. Results of likelihood ratio test of GLMM for post-planting height of cedar container seedlings

説明変数	植栽 1 年目	植栽 2 年目	植栽 3 年目	植栽 4 年目
グルタチオン	0.35 ns	0.70 ns	0.70 ns	0.94 ns
肥料	0.43 ns	0.26 ns	0.13 ns	0.45 ns
グルタチオンと肥料の交互作用	0.23 ns	0.002 **	0.02 *	0.47 ns
植栽位置	<0.001 ***	<0.001 ***	<0.001 ***	<0.001 ***
2 年目夏の競合指数	-	0.13 ns	0.49 ns	0.51 ns
3 年目夏の競合指数	-	-	0.08 ns	0.12 ns
4 年目夏の競合指数	-	-	-	0.34 ns

の効果がみられたが、施肥処理について多重比較を行った結果、植栽 2 年目の樹冠幅に対して施肥処理の効果はみられなかった ($p = 0.14$)。植栽 2 年目から植栽 4 年目までの樹冠幅に対する夏の競合指数の効果はみられなかった (表 3)。

3. 植栽後の成長に対する施肥処理の影響 以上の結果より、本研究の条件では、スギコンテナ苗の植栽時のみに酸化型グルタチオンを施用した場合、植栽木の成長 (樹高、根元直径、樹冠幅) に及ぼす酸化型グルタチオンの効果は認められなかった (図-1, 2)。本研究と並行して、植栽位置や競合植生の影響の少ないと考えられる森林総合研究所実験林苗畑において、本試験と同様の施肥処理区の設定 (酸化型グルタチオン粒剤とハイコントロールを用いた 4 処理) で、材料に茨城県種苗組合から購入した 150 cc スギコンテナ苗を用いて植栽試験を実施した。植栽後 2 年間の樹高と根元直径では、本研究と同様、植栽時のみの酸化型グルタチオン施用の効果はみら

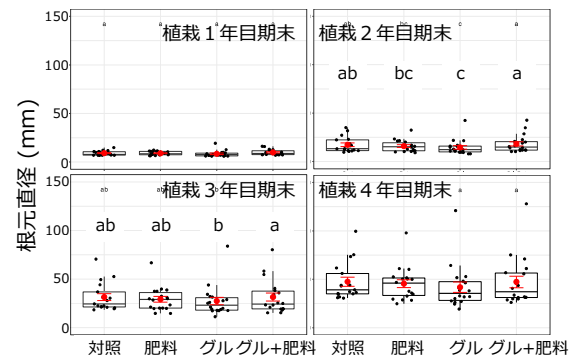


図-2. 施肥処理区ごとの植栽後のスギコンテナ苗の各年期末根元直径。異なるアルファベットは施肥処理区間で有意差があることを示す (Tukey, $p < 0.05$)。

Fig. 2 Diameter of cedar container seedlings at the end of each growing season after planting in each treatment. Different alphabets indicate significant differences among treatments (Tukey, $p < 0.05$).

表-2. スギコンテナ苗の植栽後の根元直径に対する GLMM の尤度比検定の p 値の結果 (*; $p < 0.05$, **; $p < 0.01$, ***; $p < 0.001$, ns; not significant)

Table 2. Results of likelihood ratio test of GLMM for post-planting diameter of cedar container seedlings

説明変数	植栽 1 年目	植栽 2 年目	植栽 3 年目	植栽 4 年目
グルタチオン	0.78 ns	0.92 ns	0.92 ns	0.96 ns
肥料	0.14 ns	0.13 ns	0.28 ns	0.46 ns
グルタチオンと肥料の交互作用	0.04 *	<0.001 ***	<0.001 ***	0.01 *
植栽位置	<0.001 ***	<0.001 ***	<0.001 ***	<0.001 ***
2 年目夏の競合指数	-	0.05 ns	0.04 *	0.15 ns
3 年目夏の競合指数	-	-	0.48 ns	0.69 ns
4 年目夏の競合指数	-	-	-	0.20 ns

表-3. スギコンテナ苗の植栽後の樹冠幅に対する GLMM の尤度比検定の p 値の結果 (*; $p < 0.05$, **; $p < 0.01$, ***; $p < 0.001$, ns; not significant)

Table 3. Results of likelihood ratio test of GLMM for post-planting crown width of cedar container seedlings

説明変数	植栽 1 年目	植栽 2 年目	植栽 3 年目	植栽 4 年目
グルタチオン	-	0.58 ns	0.69 ns	0.73 ns
肥料	-	0.58 ns	0.93 ns	0.61 ns
グルタチオンと肥料の交互作用	-	0.03 *	0.17 ns	0.20 ns
植栽位置	-	<0.001 ***	<0.001 ***	<0.001 ***
2 年目夏の競合指数	-	0.53 ns	0.21 ns	0.13 ns
3 年目夏の競合指数	-	-	0.92 ns	0.60 ns
4 年目夏の競合指数	-	-	-	0.37 ns

れなかった (上村, 未発表データ)。今後、再生林の効率化への酸化型グルタチオンの利用可能性を検討するために、コンテナ苗育成時のみの施用による育苗試験(2)や、コンテナ苗育成時と植栽時の両方に施用する植栽試験が必要と考える。

酸化型グルタチオンの施用に関して、通常の施肥との

併用による相加もしくは相乗効果が期待されている(3)。GLMM でグルタチオンと肥料の交互作用が有意な正の効果を示す場合があり(表-1, 2, 3), 酸化型グルタチオンの単独施用(グル区)に比べて, 肥料との併用(グル+肥料区)により植栽2年目や3年目の樹高や根元直径が改善された(図-1, 2)。これらの結果から, 酸化型グルタチオン施用時には, グルタチオン単独でなく, 緩効性肥料と併用することにより効果が改善されることが示唆された。

緩効性肥料のみの施用(肥料区)でもスギ植栽木の成長は促進されなかった(図-1, 2)。渡邊ら(7)は, 7年間の林地肥培により土壌型や施肥量によりスギ植栽木の成長促進効果が異なることを示した。施肥量が最も少ない21 g/年(N-P-K 24-16-11)の場合, 乾性褐色森林土B_Bや適潤性褐色森林土B_B(d)では7年間施用しても効果がみられなかった。本研究では, 植栽時の1回10 g(N-P-K 16-5-10)のみの施肥であるため, 肥料区で成長促進効果がみられなかったことも妥当と考える。

本研究では, スギコンテナ苗の植栽後の成長に対して, 植栽位置の影響がみられた(表-1, 2, 3)。調査地内には斜面位置1, 9, 15番の上側に作業路がある。作業路で区切られた部分を一つの斜面と考えると作業路のすぐ下の植栽木の樹高が高い傾向がみられた(図-3)。スギは深根性で, 根の伸長の深さ制限により成長量が制限されるため, 特に斜面上部のような水分条件が成長の制限要因となる立地において, 土壌厚が樹高を予測する上で重要な要因となることが示されている(6)。作業路のすぐ下では, 盛土により土壌厚が深くなっていることが植栽木の成長量の違いに影響している可能性が考えられる。今後, 土壌厚や水分条件を含めた立地条件の影響の検討が必要である。

5. まとめ 本研究の条件では, 植栽時のみの酸化型グルタチオン施用ではスギ植栽木の成長促進の効果はみられなかった。一方で, 酸化型グルタチオンの施用方法に関して, 単独施用より緩効性肥料との併用で効果が改善されることが示唆された。現在, 種子生産から育苗, 植栽の各段階における酸化型グルタチオンの施用に関する試験研究が進められている。今後報告される研究成果を総合して, 再造林へのグルタチオン資材の適用の可能性とその適切な方法について検討することが望まれる。

謝辞: 本研究は, 農林水産省委託プロジェクト「成長に優れた苗木を活用した施業モデルの開発」(18064868)の支援を受けて行われた。

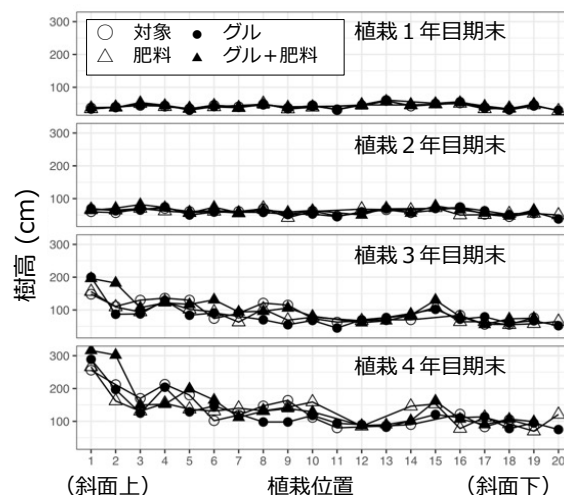


図-3. 植栽位置と植栽後のスギコンテナ苗の各年期末樹高の関係 (n=1)。横軸の植栽位置1番が斜面上部, 20番が斜面下部に相当する。植栽位置1, 9, 15番は作業路のすぐ下に位置する。

Fig. 3 Height of cedar container seedlings at the end of each season after planting (n = 1), shown for each planting location. Planting location 1 corresponds to the top of the slope and location 20 corresponds to the bottom of the slope. Planting positions 1, 9, and 15 are located just below the work road.

引用文献

- (1) Matsuda O, et al. (2015) Determination of seed soundness in conifers *Cryptomeria japonica* and *Chamaecyparis obtusa* using narrow-multiband spectral imaging in the short-wavelength infrared range. PLoS ONE 10: e0128358
- (2) 茂木靖和・渡邊仁志・小川健一 (2020) グルタチオン施用が秋出荷に向けたヒノキコンテナ苗生産へ及ぼす影響. 中部森林技術交流発表会 2019: 56-58
- (3) 小川健一 (2012) グルタチオン農業. 植物の生長調整 47: 17-23
- (4) 小川健一 (2013) グルタチオンによる澱粉バイオマスの増産. 化学と生物 51: 554-558
- (5) 田村明ら (2021) カラマツ種苗の安定供給のための技術開発. 森林遺伝育種 10: 54-58
- (6) Tange T, Feng G (2020) Topographic factors and tree heights of aged *Cryptomeria japonica* plantations in the Boso Peninsula, Japan. Forests 11: 771
- (7) 渡邊仁志・茂木靖和 (2012) スギの初期成長に及ぼす立地と施肥の影響, および省力造林の可能性. 岐阜県森林研報 41: 1-6
- (8) 山川博美・重永英年・久保幸治・中村松三 (2013) 植栽時期の違いがスギコンテナ苗の植栽後1年目の活着と成長に及ぼす影響. 日林誌 95: 214-219