

速報

異なる光強度で生育したスギ・ヒノキ苗木の光合成および水分特性*1

宗 卓哉*2 · 玉泉幸一郎*3

キーワード：スギ，ヒノキ，光合成特性，水分特性，光環境

I. はじめに

森林機能の持続的な発揮に対する期待から，複層林施業が注目されている。複層林施業では施業段階によって林床の光環境が大きく変化するため，光環境の変化に対する下層植栽木の生理的応答を明らかにする必要がある。

日本の主要造林樹種のスギ・ヒノキにおいて光環境の変化に対する成長量の変化は多く調べられている (1, 3, 4, 5, 6) が，光環境の変化に対する生理的応答を調べた例は少ない (2, 7, 8)。

そこで，本研究では異なる光強度で生育したスギ・ヒノキ苗木の光合成特性と水分特性を比較することを目的とした。

II. 材料と方法

1. 供試木と被陰処理

ポット植栽された3年生スギ・ヒノキ挿し木苗を供試した。九州大学農学部構内において，ビニールハウスの格子に寒冷紗を張り，相対光強度 (RLI) で5つの処理 (10%, 20%, 55%, 75%, 100%) を設けた。2005年3月にスギ・ヒノキ苗木を処理毎に5個体ずつ搬入した。ポットには緩効性の固形肥料 (ウッドエース 苦土4号；三菱化学アグリ) を4個ずつ施用 (N, P, K, Mg: 11.6, 4.4, 4.4, 1.6g) し，灌水は毎日，朝と夕方十分に与えた。2006年11月に測定した樹高と地際直径を表-1に示した。

2. 光合成特性の測定

2006年8月下旬から9月上旬にかけて，携帯型光合成蒸散測定装置 (LI-6400; Li-cor) を用いて光-光合成曲線を作成した。測定は野外で行い，着生状態で光強度を変えて当年生葉の光合成速度を測定し，処理当たりの繰返しは4~6回であった。チャンバー内温度は30℃，二酸化炭素濃度を360ppmで，光源にはLED (LI6400-02) を使用した。測定葉は，葉面積を測定した後，ドライオープンで75度，48時間乾燥させ，葉乾重を測定し，SLA (cm²g⁻¹) を算出した。

測定データはDelta Graph 4.05J (SPSS) を用いて，(1) 式で

示される Thornley の非直角双曲線式にカーブフィッティングし，各パラメーター値を得た。総光合成速度 (P) には単位葉面積当たりと単位葉乾重当たりの2つの値を用いた。

$$P = [\phi I + P_{max} - \{(\phi I + P_{max})^2 - 4\phi\theta IP_{max}\}^{1/2}] / 2\theta - Rd \quad (1)$$

ここで，P; 総光合成速度 ($\mu\text{mol CO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$) ($\mu\text{mol CO}_2\text{g}^{-1}\text{s}^{-1}$)， ϕ ; 初期勾配，I; 光合成有効放射 ($\mu\text{mol quanta m}^{-2}\text{s}^{-1}$)， P_{max} ; 最大光合成速度 ($\mu\text{mol CO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$) ($\mu\text{mol CO}_2\text{g}^{-1}\text{s}^{-1}$)， θ ; 曲率，Rd; 暗呼吸速度 ($\mu\text{mol CO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$) ($\mu\text{mol CO}_2\text{g}^{-1}\text{s}^{-1}$) である。さらに，光補償点 ($\mu\text{mol quanta m}^{-2}\text{s}^{-1}$) を (1) 式より算出した。

3. 水分特性の測定

2006年8月下旬から9月上旬にかけて，P-V 曲線を作成した。

測定前日に，長さ70cmの枝を切り取り，水切りを行い，実験室に持ち帰り，ビニール袋をかぶせて一晩かけて吸水させた。十分吸水した枝から当年生葉を切り取り，生重を測定した後，測定に供した。

P-V 曲線の作成は，プレッシャーチャンバーに試料を固定した後，圧力を一定量ずつ増加させ，圧力ごとに切り口から出てくる浸出液を測定する方法で行った。測定終了後はドライオープンで75度，48時間乾燥させ，葉乾重 (DW) を求めた。

P-V 曲線から圧ポテンシャル (ψ_p) が0になるときの水ポテンシャル (ψ_w^{tp}) (MPa)，相対含水率 (RWC^{tp}) (g g⁻¹) および，飽水時の浸透ポテンシャル (ψ_s^{sat}) (MPa)，含水率 (g

表-1. 供試木の概要

RLI (%)	スギ		ヒノキ	
	樹高(cm)	地際直径(cm)	樹高(cm)	地際直径(cm)
10	97±11	12±0.8	102±10	11±1.1
20	120±12	17±3.7	129±7.9	15±1.0
55	164±15	21±1.9	139±15	19±1.3
75	156±16	20±1.9	154±17	22±2.0
100	148±32	22±4.7	121±7.1	22±3.0

±の後の数字は標準偏差。

*1 So, T. and Gyokusen, K.: Photosynthetic and water relations of Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*) and Japanese cypress (*Chamaecyparis obtusa*) sapling growing in different light intensity

*2 九州大学大学院生物資源環境科学府 Grad. Sch. Biores. and Bioenvir. Sci., Kyushu Univ., Fukuoka 812-8581

*3 九州大学大学院農学研究院 Fac. Agric., Kyushu Univ., Fukuoka 812-8581

g^{-1}), 飽水時の単位葉乾重当たりのシンプラスト水 ($V_o DW^{-1}$) ($g g^{-1}$), アポプラスト水 ($V_a DW^{-1}$) ($g g^{-1}$) を求めた。さらに (2) 式より細胞の最大体積弾性率 (ϵ_{max}) (MPa) を, (3) 式より飽水時の単位葉乾重当たりのシンプラスト水に溶けている全溶質オスモル数 ($N_s DW^{-1}$) ($osmol kg^{-1}$) を求めた。

$$\epsilon = d\psi w / d[(V_o - V_e - V_p) / V_p] \quad (2)$$

$$N_s DW^{-1} = \psi s^{sat} V_o / RTDW \quad (3)$$

ここで, ψw ; 葉の水ポテンシャル (MPa), V_e ; 積算浸出量 (g), V_p ; 初発原形質分離を起こすときのシンプラスト水量 (g), R ; ガス定数, T ; 絶対温度 (K) である。

Ⅲ. 結果と考察

1. 光合成特性の比較

分散分析の結果を表-2, それぞれのパラメーターと光強度との関係を図-1に示した。

$P_{max-mass}$ は, ヒノキよりもスギが有意に大きく (表-2, 図-1 b), 同一のバイオマス量ではスギのほうが多くの光合成を行うことができる種であった。また, 処理間で見るとスギの $P_{max-area}$ は低 *RLI* 区ほど有意に小さかったが (表-2, 図-1 a), ヒノキでは有意差はなかった。 $P_{max-mass}$ では処理間差が認められなかったことから, $P_{max-area}$ が低 *RLI* 区で低下したのは形態的な変化, つまり薄い葉を形成することによって *SLA* が増加 (表-2, 図-1 k) したために生じたといえる。また, 今回の結果は, *SLA* の光環境に対する変化はヒノキよりもスギのほうが顕著な種であることを示している。

ϕ_{area} はヒノキで有意に大きく, ϕ_{mass} はスギで有意に大きかった (表-2, 図-1 c, d)。このことから, どちらの種が陽性あるいは耐陰性の特徴を有しているか判断はできなかった。しかし, 処理間では低 *RLI* 区ほど ϕ_{area} , ϕ_{mass} ともに大きくなっており, 弱光への適応が見られた。

θ_{area} , θ_{mass} ともに, ヒノキで有意に大きかった (表-2, 図-1 e, f)。これはヒノキのほうが光透過率が大きいことを示唆しているが, 立体的な葉を持つスギでは, チャンバー内での自己被陰の影響も考えられ, さらに検討が必要である。

Rd_{area} と Rd_{mass} はともにスギで有意に大きく (表-2, 図-1 g, h), 陽性植物の特徴を示した。このような大きな呼吸速度は, スギの高い $P_{max-mass}$ と関連していると考えられる。

表-2. 分散分析の結果

	種間差	処理間差	交互作用
$P_{max-mass}$	n.s.	**	n.s.
$P_{max-area}$	**	n.s.	n.s.
ϕ_{area}	**	**	n.s.
ϕ_{mass}	**	**	n.s.
θ_{area}	**	n.s.	n.s.
θ_{mass}	**	n.s.	n.s.
Rd_{area}	**	n.s.	n.s.
Rd_{mass}	**	n.s.	n.s.
光補償点 _{area}	**	n.s.	n.s.
光補償点 _{mass}	**	*	n.s.
<i>SLA</i>	**	**	n.s.

** p < 0.01, * p < 0.05, n.s 有意差なし。

光補償点_{area}, 光補償点_{mass} は, ともにヒノキで有意に小さかった (表-2, 図-1 i, j)。そのため, ヒノキが弱光下での生育に有利であると考えられる。また, 低 *RLI* 区ほど光補償点_{area}, 光補償点_{mass} ともに小さく, 弱光への適応が見られた。また, 今回の結果は, 光補償点の光環境に対する変化はヒノキよりもスギのほうが顕著な種であることを示している。

2. 水分特性の比較

分散分析の結果を表-3, それぞれのパラメーターと光強度との関係を図-2に示した。

気孔閉鎖の指標となる ψw^{dp} についてみると, 種間差は認められなかったが, 低 *RLI* 区ほど ψw^{dp} が高くなった (表-3, 図-2 a)。このことから, ψw^{dp} はスギとヒノキで種間差はないが, どちらの種も低 *RLI* 区ほど ψw^{dp} が上昇し, 高い ψw で気孔を閉

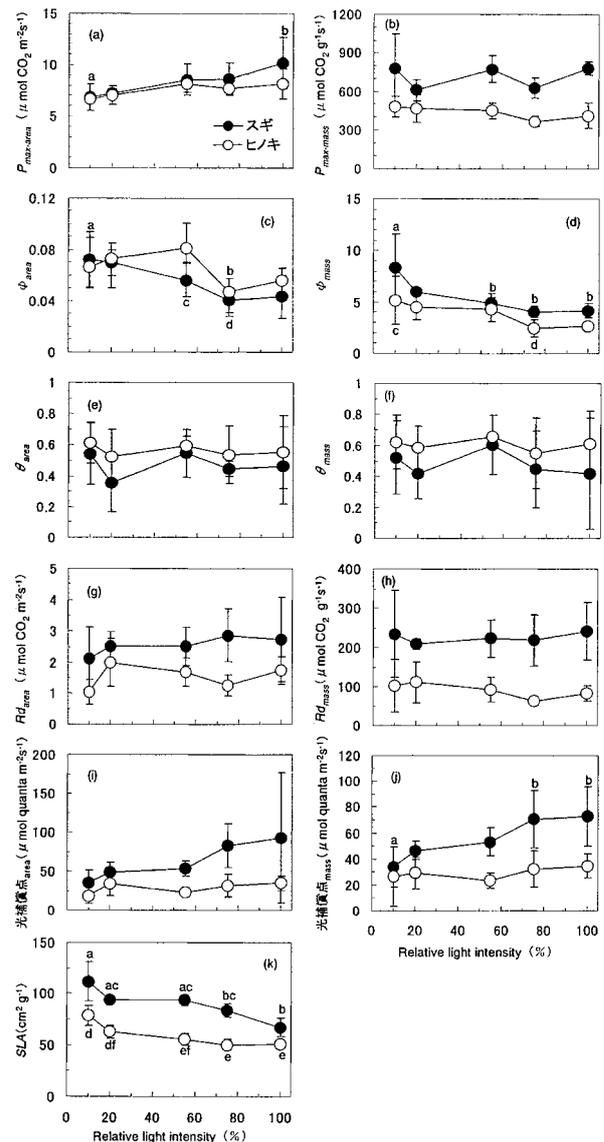


図-1. スギ・ヒノキの光合成特性

図中のアルファベットは同一樹種内における処理間差の検定の結果。異なるアルファベット間では有意差あり (Tukey-Kramer の多重比較 $p < 0.05$)。アルファベットは上段がスギ, 下段がヒノキである。

表-3. 分散分析の結果

	種間差	処理間差	交互作用
ψW^{ip}	n.s	**	n.s
含水率	**	**	n.s
ψS^{sat}	**	**	n.s
$Vo DW^{-1}$	*	*	n.s
$Ns DW^{-1}$	**	n.s	n.s
$Va DW^{-1}$	n.s	n.s	n.s
RWC^{ip}	**	n.s	n.s
ε_{max}	**	n.s	n.s

** p < 0.01, * p < 0.05, n.s 有意差なし

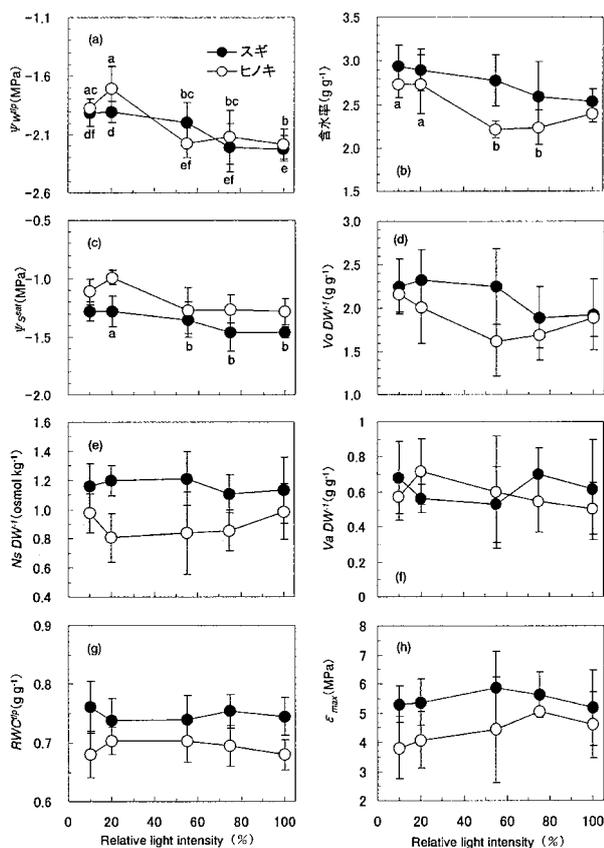


図-2. スギ・ヒノキの水分特性

図中のアルファベットは同一樹種内における処理間差の検定の結果。異なるアルファベット間で有意差あり (Tukey-Kramerの多重比較 p < 0.05)。アルファベットは上段がスギ、下段がヒノキである。

じるといえる。

含水率はスギで有意に大きく、また、低RLI区で大きくなった (表-3, 図-2 b)。さらに、この低RLI区での含水率の増加には種間差が見られ、スギではRLIの低下とともに増大したが、ヒノキでは低RLIで急激に増加した。この結果は、スギがヒノキよりも敏感にRLIの変化に対して反応する種であることを示している。

ψS^{sat} はヒノキよりもスギが有意に低く、低RLI区ほど高くなった (表-3, 図-2 c)。(3)式より、 ψS^{sat} は、 $Vo DW^{-1}$ と $Ns DW^{-1}$ で決まる。 $Vo DW^{-1}$ と $Ns DW^{-1}$ はともにスギで大きかった (表-3, 図-2 d, e) ことから、スギではシンプラスト水がヒノキより多く、さらに細胞内の溶質オスモル数が大きいことによって低い ψS^{sat} を維持していたといえる。処理間で比較すると、 $Ns DW^{-1}$ には処理間差がなかったが、 $Vo DW^{-1}$ は低RLI区ほど大きかったことから、低RLI区で ψS^{sat} が高くなったのは、シンプラスト水が増加したためであると考えられる。

$Va DW^{-1}$ は種間、処理間ともに有意差がなかった (表-3, 図-2 f)。このことから、スギでの大きな含水率と、低RLI区での大きな含水率は、シンプラスト水の増加に起因していることがわかる。

RWC^{ip} はスギよりもヒノキで有意に小さく、処理間差はなかった (表-3, 図-2 g)。このことから、ヒノキがより多くの水を失うまで ψp を維持できるといえる。

ε_{max} はスギよりもヒノキで有意に小さく、処理間差はなかった (表-3, 図-2 h)。このことから、ヒノキは弾性に富んだ柔らかい細胞壁を持ち、水の損失に対する ψp の低下を小さくすることができるといえる。

スギでは ψS^{sat} を低下させることによって、ヒノキでは水の損失に対する ψp の低下を小さくすることによって ψp を維持しており、種間差が見られた。

引用文献

- (1) 千吉良治・栗延晋 (1999) 日林九支研論 52: 37-38.
- (2) 小林元・玉泉幸一郎 (2002) 日林誌 84: 180-183.
- (3) 桑原康成・宮崎潤二 (2001) 日林九支研論 54: 93-94.
- (4) 根岸賢一郎・八木喜徳郎 (1986) 東大農演報 75: 11-31.
- (5) 佐々木重行ほか (1999) 日林九支研論 52: 65-66.
- (6) 鈴木誠ほか (1986) 日林論 97: 253-254.
- (7) 田淵隆一ほか (1981) 日林誌 63: 287-293.
- (8) 丹下健ほか (1991) 日林誌 73: 288-292.

(2006年11月17日受付; 2007年1月11日受理)