スギコンテナ苗の形状と植栽当初の蒸散速度

杉原由加子^{*,1}・丹下 健¹

コンテナ苗は、キャビティの容量が小さいために根系発達が制約されるが、施肥と灌水によって養分や水分の強いストレスを受けずに育てられる。そのため地下部に比べて地上部の大きい形状になりやすく、植栽後に強い水ストレスを受ける可能性がある。本研究では、スギコンテナ苗の形状と植栽当初の蒸散速度との関係を調べ、山出しに適したスギコンテナ苗の規格基準に関する基礎的な知見を得ることを目的とした。苗高の高い苗木では形状比の大きく、細根量当たりの地上部乾燥重量（地上部／細根比）が大きい苗木が多かった。植栽当初の蒸散速度は、地上部／細根比が大きい苗木で低い傾向が認められ、蒸散速度が低い苗木では地上部乾燥重量当たりの細根成長量（植栽後約2カ月間）が小さい傾向が認められた。以上から、苗高の高いコンテナ苗では、植栽当初に強い水ストレスを受け、葉量に見合う根量になるのにより時間がかかる苗木の割合が高い可能性を示唆した。

キーワード：コンテナ苗、蒸散速度、形状比、T/R比、根の成長

Yukako Sugihara,^{1,*} Takeshi Tange¹ (2016) Morphology and Transpiration Rate after Planting of Containerized Sugi (*Cryptomeria japonica*) Seedlings. *J Jpn For Soc* 98: 146-150 The nursing condition of a containerized seedling results in a large shoot-root ratio, which could cause it severe water stress after planting. The present study aimed to clarify the relationship between the form of a seedling and the severity of water stress after planting, which was the basis of evaluation basis for the proper planting of seedlings. We planted the containerized *Cryptomeria japonica* seedlings during late August and early September. The severity of water stress was evaluated by transpiration rate. The taller seedling tended to have a higher H/D ratio (height to diameter ratio) and higher shoot to fine-root ratio. The transpiration rate of the seedling with a higher shoot to fine-root ratio tended to be lower. The seedling with a lower transpiration rate tended to have a slower root growth after planting. We suggested that the taller seedlings may suffer severer water stress after planting and need more time to establish a balance between leaf mass and fine root mass after planting

Key words: a containerized seedling, transpiration rate, H/D ratio, shoot-root ratio, root growth

I. は じ め に

戦後の拡大造林によって造成されたスギやヒノキの人工林が伐期を迎え、森林資源の利活用の増大が図られている。しかしその一方で、再造林放棄地の増加や新規造林面積の減少など、次の世代の森林資源造成の面では多くの課題がある(林野庁 2012)。再造林が進まない理由の一つに、高い造林コストがある。造林コストの削減に向けた取組として、地拵えや苗運搬などの機械化によるコスト削減を図る、伐採から植栽までの一貫作業システムが提案されている。一貫作業システムを通年で行うためには、植栽可能な季節の長い苗木が必要であり、コンテナ苗の利用が検討されている(山川ら 2013)。コンテナ苗は、一般に容積が150~500 mL程度の筒状のキャビティに有機質培地を詰めて育苗されるため、キャビティの形状に固まった根張りのない根系(根鉢)を形成する。培地を付けた状態で植栽され、植栽時の根の損傷が少ないことから、九州地方の植栽地では季節によらず90%以上の活着率が報告されている(山川ら 2013)。

下刈りコストの削減に関しては、再造林地での雑草木の植生量は年々大きくなっていくため(佐倉・沼田 1980)、植栽時の水ストレスによる初期成長の低下(丹下 1995)

を短くし、雑草木との競合を緩和することが下刈り期間の短縮につながる(丹下ら 1993)。コンテナ苗は活着率が高いことから、下刈り期間の短縮を可能にする植栽当初からの旺盛な樹高成長も期待されたが、春植えしたコンテナ苗に関しては、それを支持する結果は得られていない(平田ら 2014)。

コンテナ苗は、根系体積が小さいために植栽の作業効率は非常に高いが、灌水・施肥の条件で育成されるため、根量に比べて葉量の大きい形状になりやすいと考えられる。裸苗では、基準となる苗高と根元径よりも大きい苗木が山出し用として用いられている。コンテナ苗についても、同様に基準値よりも大きい苗木が山出し用とされている。根量に比べて地上部が大きいコンテナ苗の場合には、育苗中は灌水が行われているために根量が少ないことの影響は小さいと推測される。しかし植栽後は土壌から水分を吸収する必要がある、土壌中への根の伸長量が少ない植栽当初には、葉に十分な水分を供給できる根量がないために、水ストレスによる気孔開度の低下によって光合成が制限されている可能性がある。また、光合成が抑制されない程度の弱い水ストレスでも、植物は根の成長への光合成産物の分配割合を高めることから(Boyer 1970; 佐藤 1956)、コンテナ苗では植栽当初の地上部の伸長成長が抑制されている可

*連絡先著者 (Corresponding author) E-mail: sugihara@fr.a.u-tokyo.ac.jp

¹ 東京大学大学院農学生命科学研究科 〒113-8657 東京都文京区弥生 1-1-1 (Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo, 1-1-1 Yayoi, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8657, Japan)

(2015年11月13日受付, 2016年5月6日受理)

性能がある。スギ苗の根系成長は、地上部の伸長成長が秋に停止した以降も初冬まで継続されるが (Negisi 1966)、根系成長の多少は植栽後の光合成生産の多少の影響を受けるものと考えられる。したがって、コンテナ苗の場合には、地上部の大きい苗木では、吸水器官 (根) に比べて蒸散器官 (葉) が多く、必ずしも山出しに適した苗木とはいえない可能性がある。我々は、スギコンテナ苗を用いて、植栽後に葉量と根量のバランスを取ることが可能な秋植えを試行し、翌春からの旺盛な伸長成長を確認している (杉原・丹下 2016)。下刈りコストの削減が可能なコンテナ苗造林システムを検討するためには、まず苗木の形状 (根量と葉量のバランス) と根から葉への水分供給能、植栽後の根系成長による水分吸収能の増大との関係を明らかにし、コンテナ苗に適した山出し苗の規格基準を定める必要がある。

そこで本研究では、キャビティ容量 (根鉢 (根系) 体積) と苗高の異なるスギコンテナ苗を用いて植栽実験を行い、吸水器官である細根に対する蒸散器官である葉の重量比が大きいコンテナ苗は、植栽当初の蒸散速度 (根から葉への水分供給能力) が低く、植栽後の根系成長が抑制されるという仮説を検証し、コンテナ苗の山出しの規格基準設定のための基礎的な知見を得ることを目的とした。

II. 材 料 と 方 法

1. 材料

供試したスギコンテナ苗の育苗条件を J-STAGE 電子付録付表-1 に示した。実生由来のコンテナ苗については、東京大学大学院農学生命科学研究科附属演習林田無演習林産の 2 区 (K-L, K-S, キャビティ容量: 390 mL) と徳島県産の 2 区 (T-L, T-S, キャビティ容量: 150 mL, 挿し穂由来のコンテナ苗については宮崎県産 (品種: タノアカ) の 2 区 (C-L, C-S, キャビティ容量: 190 mL) である。それぞれの産地の苗木で、苗高の高い区を L, 低い区を S とした。徳島県産と宮崎県産のコンテナ苗は、植栽試験時に入手した。各区の平均苗高には、22~47 cm の幅がある。各区 30 本ずつの苗木を用い、そのうち 10 本を苗木の形状の測定に、残りの 20 本を植栽試験に、それぞれ用いた。

2. 方法

1) 苗木の形状

各区 10 本ずつの苗木を供試した。C-L については、測定試料の一部が紛失した供試苗が 1 本あり、供試苗 9 本の測定結果を用いた。苗高と根元直径、地上部乾燥重量、地下部乾燥重量、細根 (太さ 2 mm 以下) 乾燥重量を測定し、形状比や地上部と地下部の乾燥重量比 (T/R 比)、地上部と細根の乾燥重量比 (地上部/細根比) を求めた。

2) 植栽試験

2014 年 8 月 18 日から 9 月 4 日の間に、東京大学田無演習林第一苗畑に各区 20 本ずつの苗木を 50 cm 間隔で植栽した。植栽時の土壌の水分条件は、pF 2.0~2.4 程度であった。植栽後に枯死した苗木はなかった。2014 年 10 月 29 日に各区 10 本の苗木を掘り取り、根鉢から土壌中に伸

長した細根の乾燥重量を測定した。

3) 蒸散速度

各区 20 本について、植栽 2 日後、約 1 カ月後、約 2 カ月後の計 3 回、携帯式光合成測定装置 (LI6400, Li-Cor 社) を用いて、樹冠上部の当年シュート 1 本の蒸散速度を測定した。測定時の光強度は RGB 光源 (6400-18A, Li-Cor 社) を用いて $1,000 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ に設定し、チャンパー内温度と相対湿度は測定時の大気条件に合わせるようにした。3 回の測定値の平均値をそれぞれの供試苗の植栽当初の蒸散速度とした。

乾燥重量当たりの蒸散速度は、上記 1) で形状を測定した苗木で得た当年シュートの分枝も含めた総シュート長 (cm) と乾燥重量 (g) との回帰式を用いて推定した供試シュートの乾燥重量を用いて算出した。

III. 結 果

1. 供試苗の形状

各区の苗木の形状を表-1 に示す。実生由来の区の間では、キャビティ容量の大きさや地上部乾燥重量にかかわらず、地下部乾燥重量や細根乾燥重量に有意差が認められなかった。苗高が同程度の実生由来と挿し穂由来の苗木を比較すると、挿し穂由来の方 (C-L, C-S) が地上部と地下部ともに乾燥重量が 2~4 倍と大きかったが、それに比べて細根乾燥重量は 2 倍以下と、その差が小さかった。挿し穂由来の苗木は、同じ苗高の実生由来に比べて形状比が小さい傾向が認められた。実生由来と挿し穂由来の苗木では、T/R 比には差が見られなかったが、地上部/細根比は挿し穂由来で有意に高かった。

表-1. 供試苗の形状

	<i>n</i>	苗高 (cm)	根元直径 (cm)	地上部乾燥重量 (g)
K-L	10	29.7 ± 3.3 ^a	0.40 ± 0.05 ^{bc}	3.59 ± 0.97 ^{bc}
K-S	10	21.6 ± 1.5 ^a	0.33 ± 0.04 ^a	2.27 ± 0.53 ^a
T-L	10	46.9 ± 2.5 ^c	0.41 ± 0.05 ^c	4.62 ± 1.32 ^c
T-S	10	29.4 ± 3.0 ^b	0.35 ± 0.03 ^{ab}	2.39 ± 0.70 ^{ab}
C-L	9	42.7 ± 2.2 ^c	0.63 ± 0.07 ^d	9.74 ± 1.31 ^d
C-S	10	30.2 ± 1.8 ^b	0.61 ± 0.06 ^d	10.01 ± 1.08 ^d

	<i>n</i>	地下部乾燥重量 (g)	細根乾燥重量 (g)	形状比
K-L	10	1.15 ± 0.29 ^a	0.88 ± 0.20 ^a	75 ± 16 ^{bc}
K-S	10	0.92 ± 0.29 ^a	0.75 ± 0.24 ^a	67 ± 11 ^b
T-L	10	1.33 ± 0.46 ^c	0.97 ± 0.35 ^{bc}	115 ± 12 ^d
T-S	10	0.91 ± 0.31 ^a	0.76 ± 0.32 ^a	86 ± 11 ^c
C-L	9	2.94 ± 0.50 ^b	1.26 ± 0.23 ^b	71 ± 10 ^b
C-S	10	3.98 ± 0.85 ^b	1.50 ± 0.35 ^b	50 ± 7 ^a

	<i>n</i>	T/R 比	地上部/細根比
K-L	10	3.1 ± 0.4 ^{bc}	4.1 ± 0.6 ^b
K-S	10	2.5 ± 0.3 ^a	3.1 ± 0.5 ^a
T-L	10	3.5 ± 0.7 ^c	4.9 ± 1.1 ^{bc}
T-S	10	2.8 ± 0.8 ^{abc}	3.5 ± 1.1 ^{ab}
C-L	9	3.4 ± 0.5 ^c	7.9 ± 1.2 ^d
C-S	10	2.6 ± 0.4 ^{ab}	7.0 ± 1.6 ^{cd}

異なるアルファベットは、ボンフェローニ補正を行った *t* 検定で、平均値に有意差 ($p < 0.05$) があることを示す。

実生由来の区における苗高や根元直径と形状比および地上部と地下部の乾燥重量との相関を図-1に示す。供試苗全体では、苗高と形状比には有意な相関が認められたが ($p < 0.05$), 区ごとでは有意な相関が得られなかった。苗高の高いT-Lでは、同じ苗高のときの形状比のばらつきが大きく、苗高に比べて根元直径のばらつきが大きいことを反映していた。形状比は、各区では根元直径が大きいほど小さい傾向が認められたが、4区全体では有意な相関は得られなかった。地上部および地下部乾燥重量については、苗高よりも根元直径との方が高い相関が認められた。

実生由来の区における苗高や根元直径、形状比とT/R比および地上部/細根比との相関を図-2に示す。実生由来の供試苗全体について、T/R比と地上部/細根比ともに、形状比や苗高、根元直径のいずれとも有意な正の相関が認められた。根元直径が小さいほど形状比が大きいことから、根元直径とは負の相関が予想されたが、有意な相関は認められなかった。T/R比と地上部/細根比ともに、根元直径よりも苗高と高い正の相関を示した。いずれも区ごとでは有意な相関は得られなかった。形状比とT/R比および地上部/細根比とは有意な正の相関が認められ、区による明瞭な分離も認められなかった。

2. 植栽当初の蒸散速度

植栽後2カ月間に測定した3回の平均蒸散速度 (平均 $\pm$ SD) は、K-L が $12.7 \pm 1.8 \mu\text{mol g}^{-1}\text{s}^{-1}$, K-S が $10.9 \pm 2.0 \mu\text{mol g}^{-1}\text{s}^{-1}$, T-L が $7.3 \pm 1.0 \mu\text{mol g}^{-1}\text{s}^{-1}$, T-S が $11.1 \pm 2.1 \mu\text{mol g}^{-1}\text{s}^{-1}$, C-L が $4.7 \pm 1.0 \mu\text{mol g}^{-1}\text{s}^{-1}$, C-S が $5.5 \pm 1.3 \mu\text{mol g}^{-1}\text{s}^{-1}$ であり、実生由来に比べて挿し穂由来で有意に低く、実生由来の中ではT-Lが有意に低かった。植栽時の形状比と平均蒸散速度の相関を図-3に示す。実

図-1. 実生由来のコンテナ苗の苗高および根元直径と地上部および地下部の乾燥重量、形状比との関係

△, K-L; ▲, K-S; ○, T-L; ●, T-S。

図-2. 実生由来のコンテナ苗の大きさおよび形状比とT/R比および地上部/細根比との関係

△, K-L; ▲, K-S; ○, T-L; ●, T-S。

図-3. 苗木の形状と植栽当初の蒸散速度

△, K-L; ▲, K-S; ○, T-L; ●, T-S; □, C-L; ■, C-S。左の図の形状比は植栽時の値を、蒸散速度は3回の測定値の平均値を、それぞれ示す。蒸散速度は中央および右の図の蒸散速度は各区20本の3回の測定値の平均値の平均と標準偏差を、T/R比および地上部/細根比は植栽時に測定した各区10本（C-Lは9個体）の平均と標準偏差を、それぞれ示す。左図の回帰式は、実生由来の供試苗の値（ $n=80$ ）を用いて、右図の回帰式はそれぞれの平均値（ $n=6$ ）を用いて算出した。

生由来の4区全体では、形状比と平均蒸散速度に有意な負の相関が認められたが、挿し穂由来の苗木についてはその関係から外れていた。実生由来でも、区ごとでは有意な相関は得られなかった。

実生由来と挿し穂由来について、区ごとの平均値に関しては、地上部/細根比と平均蒸散速度に有意な負の相関が認められた（図-3）。実生由来のコンテナ苗では、根元直径がいずれも5 mm未満であったことから（図-1）、すべてが緑色であった地上部全体を葉と見なせた。挿し穂由来のコンテナ苗では、平均根元直径が約6 mmであり（表-1）、最大でも7.8 mmであったことから、地上部乾燥重量の大半を葉が占めていると見なせた。したがって地上部/細根比は、蒸散器官と吸水器官のバランスを指標することが示唆された。

3. 植栽後の根系の発達

掘り取り時の地上部乾燥重量当たりの細根成長量を植栽日から掘り取り日（2015年10月29日）までの日数で除して求めた日平均細根成長量（平均±SD）は、K-Lが 1.99 ± 0.73 mg, K-Sが 2.16 ± 0.92 mg, T-Lが 0.93 ± 0.24 mg, T-Sが 1.40 ± 0.81 mg, C-Lが 0.34 ± 0.21 mg, C-Sが 0.26 ± 0.17 mgであり、実生由来ではK-LとK-Sで多く、蒸散速度の低かった苗高の高いT-Lで少なかった。実生由来に比べて挿し穂由来で少なかった。地上部乾燥重量当たりの平均日細根成長量と植栽当初の平均蒸散速度に有意な正の相関が認められた（図-4）。根から葉への水分供給が植栽後の光合成生産を規定し、植栽後の根系成長を規定していることが示唆された。

IV. 考 察

本研究で用いた実生由来のスギコンテナ苗は播種から2年以内であったため、木化している部位が少なく地上部乾燥重量の大半は葉乾燥重量と考えられる。地上部/細根比は、吸水器官である細根の量と蒸散器官である葉の量のバランスの指標であり、葉への水分供給能の指標と見なせる。地上部/細根比は、実生由来と挿し穂由来のコンテナ

図-4. 植栽当初の蒸散速度と日細根成長量

△, K-L; ▲, K-S; ○, T-L; ●, T-S; □, C-L; ■, C-S。2014年10月28日に掘り取った各区10本の供試苗について、蒸散速度は3回の測定値の平均値を、地上部乾燥重量当たりの日細根成長量は、植栽時の地上部乾燥重量を苗高（ H ）と根元直径（ D ）の二乗との積（ D^2H ）との相対成長関係（各 $n=10$ 、実生由来の4区 $r>0.70$ 、挿し穂由来の2区 $r=0.57, 0.59$ ）を用いて推定し算出した。回帰式は6区の全供試苗について求めた（ $n=60$ ）。

苗の植栽当初の蒸散速度と有意な負の相関が認められ（図-3）、葉量と根量のバランスが植栽後の水ストレスの大きさを規定する要因であることが示された。したがって山出し苗の規格基準の評価には、非破壊的に測定可能で、地上部/細根比と相関のある指標を用いるのが適しているといえる。実生由来については、苗高が高い苗木で、地上部/細根比の大きい苗木の割合が高い傾向があり（図-2）、形状比が大きい苗木では、植栽当初の蒸散速度が低い苗木が多い傾向が認められた（図-3）。

平均苗高の異なる区で、地上部乾燥重量に比べて細根乾燥重量の差が相対的に小さかったことから（表-1）、地上部/細根比は地上部乾燥重量の違いの影響を強く受けているといえる。地上部乾燥重量は、苗高よりも根元直径と高い相関を示した（図-1）。コンテナ苗は裸苗に比べて高い密度で育成されるため、苗高が同じでも個体間競争によって葉量にばらつきが生じる（図-1）。キャビティ容量が小

さいトレイほど、苗木間隔が狭くなっており、より高い本数密度で育苗されることになる。また、個体間の競争関係は、個体が大きくなるにしたがって強くなるため、一般に苗高が高いほど強い競争関係にあるといえる。密度効果は、伸長成長よりも肥大成長により大きく表れることが知られており、根元直径の小さい苗木ほど、周囲の苗木からより強い被陰を受け、葉量の増加が抑制されていると考えられる。Shinozaki ら (1964) のパイプモデル理論に基づく、葉への水分供給を規定するパイプ量に相当する根元直径と葉量との相関が高くなったものと説明できる。苗高と地上部乾燥重量の関係にばらつきが大きいことが、形状比と地上部／細根比との関係にばらつきが大きい理由と考えられる。

植栽当初の蒸散速度と地上部乾燥重量当たりの細根成長量に相関があり (図-4)、植栽時に地上部／細根比が大きいほど細根量の増加が遅く、蒸散器官 (葉) と吸水器官 (細根) のバランスがとれるのにより多くの時間がかかることが示唆された。光合成速度が抑制されるよりも弱い水ストレスで光合成産物の地上部への分配が抑制され、地下部の成長への分配が優先される (Boyer 1970)。スギ苗では地上部の伸長成長が秋に停止した以降も根系の成長は初冬まで継続されることから (Negisi 1966)、秋植えでは植栽後に地上部／細根比の低下が期待できる。筆者らは、秋植えしたスギコンテナ苗が翌春から旺盛な伸長成長を示したことを確認しているが (杉原・丹下 2016)、地上部／細根比の大きなコンテナ苗の場合には、翌春の時点でも葉量と根量のバランスが取れておらず葉に水ストレスがかかる状態であると、より多くの光合成産物を地下部の成長へ回すため、翌春からの伸長成長が抑制される可能性がある。植栽後の旺盛な伸長成長を実現するためにも、地上部／細根比の大きすぎない苗木を植栽することが重要であると考えられる。

苗木の形状と蒸散速度の関係は、実生由来と挿し穂由来の苗木で異なっており (図-3)、由来ごとに山出し苗の評価基準値を設ける必要がある。実生由来のコンテナ苗では、苗高が高い苗木で地上部／細根比が大きい苗木が多くなる傾向にあるため (図-1)、育苗現場での測定が容易な苗高を山出し苗の基準とし、苗高の上限を設定することが考えられる。

上述したように、コンテナ苗の場合のキャビティ容量は、根系が発達可能な空間を規定するとともに育苗密度の規定要因でもある。本研究では、実生由来では 390 mL と 150 mL のキャビティ容量のトレイを、挿し穂由来では 190 mL のキャビティ容量のトレイを用いて育苗されたコ

ンテナ苗を供試したのみである。キャビティ容量の違いによる影響を育苗期間との関係を含めて検討が必要と考えられる。また、スギ苗の乾燥耐性は、葉の展開時に最も弱く、夏以降に高まること (Doi *et al.* 1986)、裸苗の床替え時期が春遅くなるほど強い水ストレスを受ける期間が長くなること (丹下・肖 2009) など、スギ苗のフェノロジーと環境の季節変化が植栽後の苗木の成長に影響を与える。通年植栽を前提とした山出し苗の規格基準の一般化には、もっと多様な条件で育苗されたコンテナ苗を異なる季節に植栽し、同様な測定を行いデータの蓄積を図る必要がある。

植栽試験を行うにあたり、供試苗の入手に関して、徳島県立農林水産総合技術支援センターの藤井栄氏と住友林業株式会社筑波研究所の角田真一氏に便宜を図っていただいた。また、苗木の育成等に関して、東京大学大学院農学生命科学研究科附属小石川樹木園の佐々木潔州氏と同附属演習林田無演習林の栗田直明氏には多大はご支援をいただいた。ここに記して謝意を表したい。本研究は、国立研究開発法人農研機構生研センターの「攻めの農林水産業の実現に向けた革新的技術緊急展開事業 (うち産学の英知を結集した革新的な技術体系の確立)」の予算による成果である。

引用文献

- Boyer JS (1970) Leaf enlargement and metabolic rates in corn, soybean, and sunflower at various leaf water potentials. *Plant Physiol* 46: 233-235
- Doi K, Morikawa Y, Hinckley TM (1986) Seasonal trends of several water relation parameters in *Cryptomeria japonica* seedlings. *Can J For Res* 16: 74-77
- 平田令子・大塚温子・伊藤 哲・高木正博 (2014) スギ挿し木コンテナ苗と裸苗の植栽後 2 年間の地上部成長と根系発達. *日林誌* 96: 1-5
- Negisi K (1966) Photosynthesis, respiration and growth in 1-year-old seedlings of *Pinus densiflora*, *Cryptomeria japonica* and *Chamaecyparis obtuse*. *Bull Tokyo Univ For* 62: 1-115
- 林野庁 (2012) 森林・林業白書 (平成 23 年度版). 日本林業協会
- 佐倉詔夫・沼田 真 (1980) スギ幼齢造林地の群落とその遷移 (I) 伐採後 5 年間の下刈区と放置区の経過. *日林誌* 62: 371-380
- 佐藤大七郎 (1956) スギ ヒノキ アカマツのマキツケナエの耐乾性とくに樹種のあいだのチガイについて. *東大演報* 51: 1-108
- Shinozaki K, Yoda K, Hozumi K, Kira T (1964) A quantitative analysis of plant form : the pipe model theory. I. Basic analysis. *Jpn J Ecol* 14: 97-105
- 杉原由加子・丹下 健 (2016) 8 月下旬に植栽したスギコンテナ苗の植栽当初の蒸散速度と成長. *森林立地* 58: 25-28
- 丹下 健 (1995) スギ造林木の成長に関する生態生理学的研究. *東大演報* 93: 65-145
- 丹下 健・肖 映秋 (2009) 床替え時期とスギ 1 年生苗の成長. *演習林 (東大)* 48: 1-8
- 丹下 健・鈴木祐紀・八木久義・佐々木恵彦・南方 康 (1993) 雑草木の刈り払い方法が植栽木の成長に与える影響. *日林誌* 75: 416-423
- 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* 94: 214-219