芽かきしたセンダンにおける木材性質の樹幹内変動^{*1}横尾謙一郎^{*2,3}, 古閑美子^{*3,4}, 阪上宏樹^{*5}, 松村順司^{*5}Within-stem Variation of Wood Properties
in Bud-pruned *Melia azedarach*^{*1}Kenichiro YOKOO^{*2,3}, Yoshiko KOGA^{*3,4},
Hiroki SAKAGAMI^{*5} and Junji MATSUMURA^{*5}

We investigated wood properties and variations in the stems of 10- and 16-year-old *Melia azedarach* trees of three clones (Type 1, Type 18, and M-type), to explore the potential of this species. All three clones had straight stems due to bud pruning. Diameter at breast height ranged from 21.9-24.8 cm in 10-year-old trees and 23.1-31.2 cm in 16-year-old trees. There were significant differences among clones in air-dry density, modulus of elasticity (MOE), and modulus of rupture (MOR) at 10 years, whereas at 16 years, air-dry density, MOE and MOR generally increased from the pith outward in all trees, regardless of elevation, but there were no significant changes in mean values by height. In the early stages of growth, air-dry density, MOE, and MOR were lower at lower elevations, but differences may have been less significant at lower heights because the lower the height, the better the growth of this species. Production targets were set at 30 cm for top end diameter and 4 m straight length, suggesting the possibility of harvesting materials from trees with similar heights, despite other differences, if trees attain target sizes.

Keywords : *Melia azedarach*, bud pruning, wood properties.

芽かきしたセンダン (*Melia azedarach*) における木材性質を調べるために、3 クローンにおける10年生および16年生の樹幹内変動を検討した。直径成長は良好で、樹幹内の木材性質は、10年生は気乾密度、曲げ弾性率 (MOE) および曲げ強さ (MOR) で、16年生は気乾密度でクローン間差が認められた。気乾密度、MOE および MOR は地上高に関わらず、髄から樹皮側に向かって高くなる傾向がみられたが、地上高別の平均値では大きな変化は認められなかった。成長初期は地上高が低い部分では気乾比重、MOE および MOR が低かったが、地上高が低いほど直径成長量が大きかったため、成長に伴い地上高による差が小さくなったと考えられる。センダンの生産目標は末口径30 cm 以上、長さ4 m としており、生産目標のサイズに仕立てることによって、地上高による差が小さい木材性質の材が収穫できる可能性が高いことが示唆された。

^{*1} Received January 6, 2021; accepted April 21, 2021.

^{*2} 熊本県林業研究・研修センター Kumamoto Prefecture Forestry Research and instruction Center, Kumamoto 860-0862, Japan

^{*3} 九州大学大学院生物資源環境科学府 Graduate School of Bioresource and Bioenvironmental Sciences, Kyushu University, Fukuoka 810-0395, Japan

^{*4} Present address : 積水ハウス株式会社 Sekisui House, Ltd, Osaka 531-0076, Japan

^{*5} 九州大学大学院農学研究院 Faculty of Agriculture, Kyushu University, Fukuoka 810-0395, Japan

Corresponding author : J. Matsumura (matumura@agr.kyushu-u.ac.jp)

1. 緒 言

我が国では2020年の木材自給率50%を政策目標に挙げており、木材の自給率は2002年の18%から2018年には37%まで回復し¹⁾、国産材の利用が進みつつある。しかし、スギ (*Cryptomeria japonica*)、ヒノキ (*Chamaecyparis obtusa*) など針葉樹が中心であるため、家具等に使う広葉樹用材は輸入材の割合が高い²⁾。さらに、天然優良広葉樹材の減少や熱帯林保護、為替レートの影響を受け、海外からの広葉樹原料の安定供給が困難になりつつある。そこで、国内ではこれまで使われてこなかった未利用広葉樹に注目が集まるようになってきており、特に早生樹に対する期待が高まっている²⁾。早生樹の中でも特にセンダンが大きな注目を集めている。センダン (*Melia azedarach*) は、我が国では、本州の伊豆諸島以西、小笠原、四国、九州 (沖縄を含む)、海外では、朝鮮半島南部、中国、ベトナムなど東アジアから東南アジア全域に分布する暖帯の落葉広葉樹である^{3, 4)}。成長が早いことから、熊本県では造林に適した広葉樹として推奨してきた⁵⁾。センダンの材はケヤキ (*Zelkova serrata*) やキリ (*Paulownia tomentosa*) の木目に似ており、その代替材として、家具材や内装材として古くから利用されている。熊本県ではセンダンの生産目標は市場調査の結果から、末口径30 cm 以上、長さ4 m の直材としてきた⁵⁾。しかし、一般にみられるセンダンの樹形は低い位置で幹が分岐しやすいため、直材の生産が困難であった。そこで、熊本県では通直材生産を目的とした選抜育種⁶⁾ や施業試験^{7, 8)} を実施してきた。特に頂芽を残して脇芽を取り除く「芽かき」施業を開発したことによって、植栽密度に関係なく通直材を生産できるようになった^{9, 10)}。

センダンの木材性質については、横尾・松村¹¹⁾ が枝打ち箇所の巻き込み後の材部の変色について、松村ら¹²⁾ が枝打ちをされたセンダンの気乾比重、縦圧縮強さの樹幹内変動を調べた報告があるものの、芽かきしたセンダンの木材性質およびその樹幹内変動については不明である。また、松村ら¹²⁾ は同じ母樹から育成した17年生センダンでも half-sib 間の気乾比重には差がみられたと報告しており、木材性質への遺伝の影響が大きいと考えられる。

そこで、本研究では、芽かきしたセンダンの成長特性、木材性質およびそれらの特性への遺伝の影響を明らかにするために、3 クローンのセンダンの成長特性および木材性質の樹幹内変動を調べた。

2. 方 法

2.1 実験方法

熊本県上益城郡甲佐町の熊本県林業研究・研修センター舞の原試験展示園 (北緯: 32° 42' 18", 東経 130° 45' 50", 標高: 30 m, 傾斜なし, 土壌型: Bl_p, 年平均気温: 16.4 °C, 年平均降水量: 2019 mm) の芽かき試験林の材を用いた。本試験林は、2001年3月に組織培養で育苗した3クローン (1型, 18型およびM型) の1年生苗 (苗高約30 cm) を3 m 間隔 (1110本/ha) で植栽し、各クローンを3反復、合計9プロットをラテン方格となるよう配置された。前述のとおり4 m の通直材を生産目標⁵⁾ としているので、芽かき実施高は採材時の余尺を考慮して、地上高4.5 m までとした。芽かきの実施時期は、植栽1年目の春期が4~5月、夏期が7~9月、植栽2年目の春期が4~5月、夏期が6~8月と概ね2年間実施した。施肥は、IB化成S1号 (N:P:K=10:10:10, 全国農業協同組合連合会) を植栽時に250 g/本、植栽2年目および3年目の4月にそれぞれ500 g/本および1000 g/本で施用した。また、直径成長を維持するための保育間伐は、被圧木および自然枯死木を除き、本数間伐率で植栽4年後 (2005年1月) に45%、植栽11年後 (2012年1月) に22%で実施した。植栽10年目の2010年11月 (立木密度480本/ha, 平均樹高14.3 m, 平均胸高直径22.8 cm) に各クローンから1本ずつ (供試木A~C)、植栽16年目の2016年10月 (立木密度300本/ha, 平均樹高15.6 m, 平均胸高直径28.0 cm) に各クローンから2本ずつ (供試木D~I)、合計9本を供試木として伐採した。なお、伐採時期である10月以降は成長休止期に入り、植栽から10成長期および16成長期を経過していたので、それぞれの林齢は10年生および16年生として取り扱

Table 1. Sample information and tree fundamental properties of *Melia azedarach*.

Tree No.	Age (years)	Clone type	Tree height (m)	DBH (cm)
A	10	1	12.6	21.9
B		18	13.7	24.8
C		M	15.2	23.8
Mean			13.8	23.5
D	16	1	16.0	23.1
E		1	17.0	27.2
F		18	16.9	28.0
G		18	17.5	31.2
H		M	17.8	29.5
I		M	17.4	23.8
Mean			17.1	27.1

Fig. 1. Shape and dimension of samples.

うこととした。供試木の伐採時の平均樹高と平均胸高直径は、それぞれ10年生時が13.8 m および23.5 cm, 16年生時が17.1 m および27.1 cm であった (Table 1)。

供試木からの材料の採取方法を Fig. 1 に示す。供試木は、目視により根元から上部に向かって通直な部分までを幹とし、伐採高の0.2 m から1 m 毎に玉切りした。ただし、16年生時の供試木は樹幹解析用の円盤 (厚さ5 cm) を採取した残りの部分 (長さ約95 cm) の丸太を供試した。樹幹解析は4方向の樹皮を含んだ直径と樹皮を除いた直径を mm 単位で直接円盤に記入し、スキャナーで画像データを取り込み、樹幹解析用ソフト stem analyzer¹³⁾ を用いて各年の年輪幅を算出した。

次に、採取した丸太を元口側から見て伐採時の北を上面に、髓を中心に厚さ35 mm で、だら挽きし、1年間屋内で天然乾燥した。さらに、だら挽きした板を伐採時の北から髓を通して南まで結んだ線から両側に幅35 mm に連続して製材し、約6ヶ月間天然乾燥した。天然乾燥後、節、割れなどの欠点を除いて25 (R) × 25 (T) × 400 (L) mm の小試験体を作製し、恒温恒湿室内で温度25℃、湿度65%で十分な調湿を行った。調湿後、気乾密度を測定した。

次に万能試験機 (UH-C100A または AG-1000kN, 島津製作所 (株)) を用いて、曲げ試験を実施した。曲げ試験は、支点間距離350 mm, 荷重速度5 mm/分の中央集中荷重方式で実施した。

2.2 解析方法

各供試木の気乾密度、力学的性質である曲げ弾性

率 (以下, MOE), 曲げ強さ (以下, MOR) の比較については、用材として利用する地上高0.2~4.2 m の値を用いた一元配置の分散分析 (ANOVA) を行った。これらの要素に個体レベルで有意な差が認められた場合は、個体間で Tukey の HSD 検定による多重比較を行った。

気乾密度と MOE および MOR の関係について、気乾密度を説明変数、MOE および MOR を応答変数とする直線回帰を行った。

これらの統計処理には、統計解析ソフト R (ver3.4.1)¹⁴⁾ を用いた。

3. 結果と考察

3.1 成長特性

16年生の供試木6個体のうち供試木 E (1型) の年輪幅の放射方向変動を Fig. 2 および Fig. 3 に示す。Fig. 2 の横軸は髓からの年輪番号であり、年輪幅への形成層齢の影響がわかる。Fig. 3 の横軸は樹皮側から数えた年輪番号であり、年輪幅への環境の影響がわかる。Fig. 2 から、髓付近の年輪幅は、植栽1年目の樹高成長範囲の上部である地上高2.2 m を除くと、1年輪目の年輪幅は大きく、2年輪目に減少する傾向を示した。また、地上高が低い部分 (0.2~2.2 m) では、芽かき終了後の3年輪目で年輪幅が増加したが、4年輪目以降は減少に転じ、10年輪目あたりからは、他の地上高と同様に概ね5 mm 以下で安定する傾向を示した (Fig. 2)。他の5個体においても、成長量および成長期間の変化にわずかの差はみられたものの同様の傾向を示した。Fig. 3

から、地上高に関係なく、同じ放射方向変動を示す傾向がみられ、前年または翌年に比べ成長が良好な年（例えば樹皮から1年輪目および8、9年輪目）には形成層齢にかかわらず、広い成長輪幅となることがわかった。芽かきされていないセンダン¹²⁾やチャンチンモドキ (*Choerospondias axillaris*)¹⁵⁾でも同様の傾向が報告されている。一般的にセンダンは植栽年に比べ2年目の直径成長量が大きい¹⁶⁾、芽かきした個体では葉量が少なくなるため、成長が抑制された2年輪目が小さかったと考えられる。ただし、3年輪目以降は、同展示園内の芽かきをされていない17年生個体¹²⁾と比較しても初期の直径成長には大きな差はみられず、芽かきをして、長期的にみると成長量の損失は少なく、幼齢時の肥大成長が旺盛であることが示された。

Fig. 2. Variation of growth ring width in relation to ring number from pith in *Melia azedarach* (treeE).

Fig. 3. Variation of growth ring width in relation to ring number from bark in *Melia azedarach* (treeE).

3.2 気乾密度

各供試木で採取した試験体のうち、長さ4mの直材を採材する時に利用される地上高0.2~4.2mの気乾密度のヒストグラムをFig. 4に示す。図中の白抜き部分が10年生または16年生のそれぞれにおける全供試木のヒストグラムを示し、黒色部分が各供試木のヒストグラムを示す。18型はM型と1型に比べ低密度側に分布する傾向がみられた。10年生の気乾密度は、M型が1型と18型に比べ高かった ($p < 0.01$) (Table 2)。16年生の気乾密度は、M型のうち幹の直径成長が小さかった供試木Iを除くと、M型と1型が18型に比べ有意に高かった ($p < 0.05$) (Table 3)。また、16年生における各クロンの2個体間では有意な差は認められなかった ($p > 0.05$)。次に16年生供試木における10年生時までの部位と10年生供試木の気乾密度を比較した結果をTable 4に示す。ただし、10年生供試木の幹の直径成長が良かったため、16年生は各クロンのうち幹の直径が大きいほうである供試木E (1型), G (18型) およびH (M型) のみを比較に用いた。16年生における10年生時までの部位は、全体の部位と同様にM型と1型が18型に比べ高い傾向がみられた ($p < 0.05$)。また、同一クローン間では、供試木CがHよりも有意に高く ($p < 0.05$)、M型のみ供試木間の差がみられたが、1型および18型では差は認められなかった ($p > 0.05$)。供試木を採取した展示園は平坦地であり、試験林内における土壌水分や養分などの立地差は少ないと推察される。このような環境下で成長した供試木にクローン間差が認められたことは、密度に対する遺伝的な影響があることを示唆するもので、選抜育種を進める価値があると考えられる。

Fig. 5に各個体の気乾密度を髓から樹皮側に向かって地上高別に示す。各個体とも地上高に関わらず気乾密度は髓から樹皮側に向かって増加する傾向を示した。ただし、気乾密度は、幹の直径成長が大きい個体 (供試木B, C, E, F, GおよびH) は緩やかに増加する傾向を示し、幹の直径成長が小さい個体 (供試木A, DおよびI) は急激に増加する傾向を示した。また、各個体の地上高別の平均気乾密度の軸方向変動は、地上高による差は認められなかった (Fig. 6)。松村ら¹²⁾は、枝打ちしたセンダン3個体における気乾比重の軸方向変動を調べたところ、地上高が高くなるにつれて緩やかに増加し、低比重領域と高比重領域の境界は地上高2~3mまたは地上高3~4mであると報告している。今回、地上高が低い位置と高い位置の平均気乾密度の差がみられなかった原因を調べるために、各個体の気乾

Fig. 4. Histogram of air-dry density throughout the stem under 4.2 m height of *Melia azedarach*. White bars: Histogram of all sample trees. Black bars: Histogram of each tree.

Table 2. Mechanical properties of *Melia azedarach* in 10-year-old trees.

Tree No.	Age (years)	Clone type	N	Air-dry density (g/m ³)	MOE (GPa)	MOR (MPa)
A	10	1	37	0.52 ± 0.10 ^b	8.61 ± 2.21 ^b	50.44 ± 20.64 ^c
B		18	66	0.50 ± 0.03 ^b	9.00 ± 1.24 ^b	69.86 ± 10.04 ^b
C		M	75	0.56 ± 0.04 ^a	11.03 ± 1.53 ^a	80.32 ± 12.03 ^a

Mean values are followed by standard deviation.

a,b,c means with different superscript within a column significantly differ ($p < 0.05$).

Table 3. Mechanical properties of *Melia azedarach* in 16-year-old trees.

Tree No.	Age (years)	Clone type	N	Air-dry density (g/m ³)	MOE (GPa)	MOR (MPa)
D	16	1	71	0.54 ± 0.07 ^a	8.28 ± 1.50 ^d	68.67 ± 18.97 ^c
E		1	117	0.55 ± 0.05 ^a	10.01 ± 1.14 ^b	79.93 ± 12.52 ^b
F		18	111	0.51 ± 0.05 ^c	8.16 ± 0.81 ^d	76.41 ± 11.14 ^b
G		18	150	0.52 ± 0.05 ^{bc}	9.25 ± 1.04 ^c	77.71 ± 10.75 ^b
H		M	132	0.55 ± 0.05 ^a	9.54 ± 0.99 ^c	87.03 ± 14.83 ^a
I		M	81	0.54 ± 0.07 ^{ab}	10.61 ± 1.70 ^a	78.89 ± 19.36 ^b

Mean values are followed by standard deviation.

a,b,c,d means with different superscript within a column significantly differ ($p < 0.05$).

密度の樹幹内分布を Fig. 7 に示した。各クローンとも地上高が低い部分は、随付近の気乾密度が小さく、樹皮側に向かって増加する傾向がみられた。特に、16年生における 1 型と M 型では、幹の直径が小さい供試木（供試木 D および I）は大きい供試木（供試木 E および H）に比べ、随付近の気乾密度が低く

Table 4. Wood properties of *Melia azedarach* in 10-year-old trees and in the portion to 10-year-old in 16-year-old trees.

Tree No.	Age (years)	Clone type	N	Air-dry density (g/cm ³)
A	10	1	37	0.52 ± 0.10 ^c
B		18	66	0.50 ± 0.03 ^d
C		M	75	0.56 ± 0.04 ^a
E	16	1	58	0.53 ± 0.05 ^{bc}
G		18	89	0.50 ± 0.04 ^d
H		M	81	0.52 ± 0.04 ^c

Mean values are followed by standard deviation.

a,b,c,d means with different superscript within a column significantly differ ($p < 0.05$).

でも、樹皮側に向かって大きく増加する傾向がみられており、初期の肥大成長が小さい個体でも伐期を延長すれば密度が高い材が得られることが示された。ただし、樹幹内の密度差が大きい材となってしまうため、密度が均一な材を得るには長期間の伐期の延長が必要になると考えられる。一方、18型は 1 型および M 型に比べ、肥大成長の大小に関わらず、気乾密度は樹皮側に向かって大きく増加しないため、18型を育成する場合は成長がいい個体のみを残す施業を行うことが有効であると考えられた。また、今回、地上高によって平均気乾密度に明確な差が認められなかったのは (Fig. 6), 地上高が低い部分でも樹皮側で高密度部分が存在したため (Fig. 5), 平均値を大きく増加させたと考えられる。

3.3 曲げ弾性率と曲げ強さ

各供試木の MOE および MOR について、10年生を Table 2 に、16年生を Table 3 に示した。ただし、各々の特定値は芽かきを実施した高さ 0.2~4.2 m のデータのみを用いた。MOE の平均値は、10年生の供試木では、1 型（供試木 A）、18型（供試木 B）、

Fig. 5. Variation of air-dry density in the radial and vertical direction of *Melia azedarach*. Bars mean standard deviation.

Fig. 6. Variation of air-dry density in the vertical direction of *Melia azedarach*. Bars mean standard deviation.

Fig. 7. Distribution of air-dry density in the stem of *Melia azedarach*.

M 型（供試木 C）でそれぞれ 8.61, 9.00, 11.03 GPa と M 型が 1 型および 18 型に比べ有意に大きかった ($p < 0.01$)。16 年生の供試木では, 1 型が D, E でそれぞれ 8.28, 10.01 GPa, 18 型が F, G でそれぞれ 8.16, 9.25 GPa, M 型が H, I でそれぞれ 9.54, 10.61 GPa とクローン間差が明確ではなかった。ただし, 1 型のうち供試木 E は同クローンの他の 2 供試木よりも MOE が明確に高い傾向がみられた。センダンと同じ環孔材であるヤチダモでは, 平均年輪幅の増加によって MOE が急激に増加する傾向が認められており¹⁷⁾, センダンの 1 型のうち供試木 E は他の 2 供試木より樹冠を大きく発達させ, 林分内の同一クローンの中でも幹の直径成長が最大であったため, MOE が高くなった可能性がある。今後, 1 型を植栽する場合は, 今回よりも低密度植栽すれば幹の直径成長が促進され, MOE を高くできる可能性がある。

MOR の平均値は, 10 年生の供試木では, 大きいほうから M 型（供試木 C）, 18 型（供試木 B）, 1 型（供試木 A）の順で有意差が認められたが ($p < 0.01$), 16 年生の供試木では, MOE と同様にクロー

ン間差が明確ではなかった。

気乾密度と力学的性質の関係については, 地上高 0.2~4.2 m の気乾密度と MOE および MOR の関係について, それぞれ Fig. 8 と Fig. 9 にクローン毎に示した。各供試木において気乾密度と MOE および MOR と 1 % 水準で有意な正の相関関係が認められた。芽かきは実施されていないが, ベトナムのセンダンでも同様の傾向が認められており¹⁸⁾, 施業方法に関係なく気乾密度が力学的性質に大きな影響を与えることが明らかとなった。以上からも樹幹内の力学的性質について, 気乾密度が高い系統を選抜する育種が重要であることが示された。

各供試木の MOE および MOR の地上高別の軸方向の変動をそれぞれ Fig. 10 と Fig. 11 に示す。気乾密度の軸方向の変動 (Fig. 6) と同様に, 地上高による差はみられなかった。以上から, 力学的性質が高く, 均一な地上高が高い部分の有効利用はもちろんであるが, 地上高が低い位置の採材では, 力学的性質が低い成長初期の部分よりも樹皮側の高い部分の有効利用を検討すべきである。

Fig. 8. Relationship between air-dry density and MOE in *Melia azedarach*.

** : significant at 1% level.

Fig. 9. Relationship between air-dry density and MOR in *Melia azedarach*.

** : significant at 1% level.

Fig. 10. Variation of MOE in the vertical direction of *Melia azedarach*. Bars mean standard deviation.

Fig. 11. Variation of MOR in the vertical direction of *Melia azedarach*. Bars mean standard deviation.

3.4 芽かきの有効性

センダンは生産目標を4mの直材としていること、さらに脚立等を使った芽かきが可能な地上高は4.5mまでとしている。今回、幹の地上高は各供試木で、0.2mから最大6.2~10.2mまでと4.5m以上の部位からも小試験体を採取したところ、芽かきを実施していない地上高4.5m以上の材においても、気乾密度、MOEおよびMORの値に地上高による差はみられないことが分かった。ただし、地上高4.5m以上の幹は節が多いこと、特に太枝由来の節があると変色が発生し¹¹⁾、腐朽に発展することを考慮すると、用材として使うのは歩留りが低く、効率的な用材生産は困難である。また、広葉樹林では枝が枯れ上がり、枝下高が8m以上になると幹の直径成長が抑制され、大径材の生産が不可能であると報告されている¹⁹⁾。以上から、センダンの大径材を20年以内の短伐期施業で生産するには、芽かき実施上限の地上高4.5mの直上部で太枝を張らせ、傘型の樹形²⁰⁾に仕立てるのが有効であると考えられる。

4. 結 論

芽かきによって幹を通直にしたセンダンの木材性質を調べた結果、以下のことが明らかになった。

1. 芽かきをしても肥大成長が大きく抑制されるこ

とはなかった。

2. 気乾密度にはクローン間差がみられたことから、選抜育種が有効である。
3. 気乾密度と曲げヤング係数および曲げ強さの間に正の相関関係が認められた。これらは髓から樹皮側に向かって、緩やかに増加する傾向を示した。
4. 成長初期は、地上高が低い部分では気乾密度、MOEおよびMORが低いが、地上高が低いほど肥大成長が良好であり、樹齢と共に地上高別の平均値に大きな差がなくなると考えられた。
5. 生産目標としている末口径30cm、長さ4m材のサイズに達する前に地上高による木材性質の差がなくなったので、センダンはできるだけ大径に仕立てる方が有効である。

謝 辞

本研究の試験には、熊本県林業研究・研修センター職員各位および九州大学農学部学生各位にご協力をいただきました。これらの方々に心より厚くお礼申し上げます。

文 献

- 1) 林野庁：“令和元年度森林・林業白書”，全国林業改良普及協会，東京，2020，p.161.

- 2) 全国天然木化粧合板工業協同組合連合会：“インテリアに適した国産早生広葉樹の発掘実施報告書”，全国天然木化粧合板工業協同組合連合会，東京，2017，p. 4.
- 3) 林 弥栄：“有用樹木図説”，誠文堂新光社，東京，1969，p. 330.
- 4) 上原 敬二：“樹木大図説Ⅱ”，有明書房，東京，1959，pp. 718-723.
- 5) 宮島淳二：造林に適する樹種と植栽方法，“熊本県における広葉樹造林の手引き”，熊本県林業研究指導所編，啓文社，熊本，1994，p. 10.
- 6) 家入龍二：センダンの育苗時における遺伝変異について，日本林学会九州支部研究論文集 51, 37-38 (1998).
- 7) 横尾謙一郎：合理的・効率の育林技術の開発，熊本県林業研究指導所研究報告 31, 14-19 (2004).
- 8) 横尾謙一郎：植栽密度が異なるセンダン幼齢林の成長と幹材の形状，森林立地 52(1), 29-35 (2010).
- 9) 横尾謙一郎：広葉樹の育成に関する研究，熊本県林業研究指導所業務報告書 36, 17-20 (1997).
- 10) 熊本県林業研究指導所：芽かき，“センダンの育成方法H27改訂版”，熊本県林業研究指導所，熊本，2015，pp. 7-8.
- 11) 横尾謙一郎，松村順司：センダン幼齢林における枝打ちの適期，日林誌 101, 70-75 (2019).
- 12) 松村順司，井上真由美，横尾謙一郎，小田和幸：高炭素固定能を有する国産早生樹の育成と利用（第1報）センダン (*Melia azedarach*) の可能性，木材学会誌 52(2), 77-82 (2006).
- 13) 今村光春，光田 靖，吉田茂二郎，今田盛生：樹幹解析支援ソフトウェアの作成，日本林学会九州支部研究論文集 54, 15-16 (2001).
- 14) R Development Core Team (2017) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>. 2017年8月2日参照.
- 15) 松村順司，田上美里，緒方利恵，玉泉幸一郎，牟田信次，上脇憲治，長谷川益己，小田一幸：高炭素固定能を有する国産早生樹の育成と利用（第2報）チャンチンモドキ (*Choerospondias axillaris*) の可能性，木材学会誌 53(3), 127-133 (2007).
- 16) 横尾謙一郎：センダンの分枝特性による樹齢推定の検討，九州森林研究 72, 67-69 (2019).
- 17) 宮島 寛：日高産アオダモ材の生長と基礎材質，北海道大学農学部演習林報告 36(2), 421-450 (1979).
- 18) Doan, V. D., Matsumura, J: Within-stem variations in mechanical properties of *Melia azedarach* planted in northern Vietnam. *J. Wood Sci.* 64, 329-337 (2018).
- 19) 横井秀一：用材生産に向けた広葉樹二次林の間伐，“山林1392”，大日本山林会，東京，2000，pp. 37-44.
- 20) 横尾謙一郎：センダンの枝性が樹形に与える影響，九州森林研究 55, 62-63 (2002).