

芽かきがセンダン幼齡木の幹曲がりと成長に与える影響

誌名	日本森林学会誌
ISSN	13498509
著者名	横尾,謙一郎 松村,順司
発行元	日本森林学会
巻/号	105巻2号
巻号補足	
掲載ページ	p. 54-61
発行年月	2023年6月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター

Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



芽かきがセンダン幼齢木の幹曲がりと成長に与える影響

横尾謙一郎^{*1,2,4}・松村順司³

芽かきによるセンダンの幹曲がりの矯正効果を検討するために、1,100 本/ha で植栽された 3 クローン (1 型, 18 型および M 型) の幼齢林において、地上高 4.5 m まで芽かきを行い、その処理数と地上高、2 年生時における長さ 4 m 当たりの幹曲り (最大矢高) と直径成長を対照区 (非芽かき区) と比較した。芽かき区では、対照区に比べ直径成長の抑制がみられたものの、同処理区内におけるクローン間差は認められなかった。M 型は、他のクローンに比べて、芽の総発生数だけでなく、2 年生時に伸長した幹 (地上高 2.5~4.5 m) における芽の発生数が少なかったことから、芽かきの作業コストを軽減できるクローンであると考えられた。芽かき区の最大矢高は、2.22~2.56 cm と対照区の 11.20~15.33 cm と比較して有意に小さかった。また、最大矢高のクローン間の有意差は、対照区ではみられたが、芽かき区ではみられず、芽かきは、クローンに関係なく幹曲りを矯正する効果があると考えられた。以上のことから、センダンにおける芽かきは、ばらつきが少ない通直な丸太生産に寄与する施策であることが示唆された。

キーワード: センダン, 芽かき, クローン, 幹曲がり (最大矢高), 通直材生産

Kenichiro Yokoo,^{*1,2,4} Junji Matsumura³ (2023) Effect of Bud Pruning on Stem Crookedness and Stem Growth in Young Sendan (*Melia azedarach* L.) Stands. J Jpn For Soc 105: 54-61 To examine the impact of bud pruning in the correction of stem crookedness of *Melia azedarach*, three clones (types 1, 18, and M) were planted at a rate of 1,100 trees/ha in young *M. azedarach* stand and bud pruning was performed up to a height of 4.5 m above ground. Subsequently, in two years, the number of treatments, aboveground height, stem crookedness per 4 m length (maximum camber), and diameter growth were compared to those of a control non-pruned plot. A reduction of diameter growth was observed in the test plot as compared to the control plot, but there was no difference between clones within the same treated plot. Compared to other clones, the M type not only had a small total number of sprouts but also had less growth on its elongated stems (2.5 to 4.5 m above the ground) in the 2nd year. Hence, it was considered to be a clone that could reduce the cost of bud pruning. The maximum camber in the test plot ranged between 2.22-2.56 cm, which was significantly less than that of the control plot (11.20-15.33 cm). The maximum camber between clones was significant in the control plot but not in the test plot. Thus, bud pruning could correct stem curvature regardless of clones. The findings from this study suggest that bud pruning of *M. azedarach* may contribute to the consistent production of straight stem.

Key words: *Melia azedarach*, bud pruning, clone, stem crookedness (maximum camber), straight stem production

I. は じ め に

センダン (*Melia azedarach*) は、本州 (伊豆半島以西)、小笠原、四国、九州および沖縄の暖帯に分布するセンダン科の落葉広葉樹であり、その材はケヤキ (*Zelkova serrata*) およびキリ (*Paulownia tomentosa*) の木目に似ていることから、その代替材として古くから家具材や内装材として使われてきた (林 1969)。また、センダンは、スギ (*Cryptomeria japonica*) と比較しても材価に遜色がないことから (宮島 1994)、熊本県では造林に適した広葉樹として海岸に近い暖地を中心に植栽されている (横尾 2010)。センダンは、成長が極めて早く (家入・福山 1994)、約 20~30 年の短伐期施業が期待されることから (宮島 1994)、高炭素固定能を持つ樹種として地球温暖化防止にも貢献できると考えられている (松村ら 2006)。

センダンの生産目標は、市場調査のデータから材長 4 m、末口径 30 cm の直材とされている (宮島 1994)。セ

ンダンを含む広葉樹の幹曲がりについては、日本農林規格 (Japanese Agricultural Standard, 以下、JAS 規格) における広葉樹の素材の規格を基準としており、四つの等級に区分される (農林水産省 2007)。本規格によると広葉樹の幹曲がりは最大矢高で評価され、直径の 10% 以下が 1 等、10~20% が 2 等、20~40% が 3 等および 40% 以上が 4 等とされている (農林水産省 2007)。センダンでは、末口径 30 cm 以上を生産目標としているので (宮島 1994)、上記の基準で区分すると最大矢高は 1 等で 0~3 cm、2 等で 3~6 cm、3 等で 6~12 cm および 4 等で 12 cm 以上となる。しかし、センダンは、一般に枝を四方に大きく広げ、幹曲がりが大きい (熊本県林業研究指導所 2015)、等級が高い直材の生産が困難であると考えられており適切な施業の確立が急務である。

これまでに、センダンを含む広葉樹の幹曲がりを抑制する施業として、高密度植栽が提案されている (横尾・福山 1997; 吉野・前田 1998)。そこで横尾 (2010) は、植

*連絡先著者 (Corresponding author) E-mail: yokoo-k@pref.kumamoto.lg.jp  <https://orcid.org/0000-0002-3489-6314>

¹ 熊本県林業研究・研修センター 〒860-0862 熊本県熊本市中央区黒髪 8 丁目 222-2 (Kumamoto Prefecture Forestry Research and Instruction Center, 8-222-2 Kurokami, Chou-ku, Kumamoto, Kumamoto 860-0862, Japan)

² 九州大学大学院生物資源環境科学府 〒810-0395 福岡県福岡市西区元岡 744 (Graduate School of Bioresource and Bioenvironmental Sciences, Kyushu University, 744 Motoooka, Nishi-ku, Fukuoka, Fukuoka 810-0395, Japan)

³ 九州大学大学院農学研究院 〒810-0395 福岡県福岡市西区元岡 744 (Faculty of Agriculture, Kyushu University, 744 Motoooka, Nishi-ku, Fukuoka, Fukuoka 810-0395, Japan)

⁴ 現所属: 熊本県農林部広域本部宇城地域振興局 〒869-0532 熊本県宇城市松橋町久具 400-1 (Present affiliation: Kumamoto Prefecture Central Kumamoto Administrative Headquarters Uki Area Development Bureau, 400-1 Kugu, Matsubase, Uki, Kumamoto 869-0532, Japan) (2022 年 7 月 21 日受付; 2022 年 12 月 15 日受理; 2023 年 2 月 1 日発行)

©2023 一般社団法人日本森林学会: この著作はクリエイティブ・コモンズのライセンス CC BY-NC-ND (引用を表示し、改変せず、非営利目的に限定) の条件の下で再配布・二次利用が可能なオープンアクセスです。 <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.ja>

栽密度が3,000本、5,000本および7,000本/haに設計したセンダン幼齢林における成長と幹形状について検討した結果、植栽密度を高くすれば幹曲りは緩和されるが、1等に区分される個体は確認されず、生産目標からみると十分でないことを明らかにした。また、植栽から数年で最多密度に達し、直径成長の抑制がみられたため、植栽密度が低くても幹の通直性を高める施業方法を検討する必要性を指摘した(横尾 2010)。

次に横尾(2017)は、センダンの幹曲りを抑制する他の施業方法として枝打ち試験を実施し、枝打ち前に生じた幹曲りの矯正は極めて困難であることを明らかにした。さらに、横尾・松村(2019)は、枝打ち後に材質を低下させる材部の変色は、枝径が2 cm以上で発生し、3 cm以上になるとすべての枝打ち痕で生じることを確認した。以上のことから、通直で幹曲りが無いことに加え、材部に変色がない高品質なセンダン材の生産には、適切な施業方法の検討が必要である。

ところで、センダンの幹曲りを抑制する施業として「芽かき」が提案されている(横尾 1997)。芽かきは、頂芽を残して脇芽の取り除く施業であり、芽が成長し枝になる前に取り除くことから材部の変色だけでなく、幹曲りも抑制する効果が高いと期待されている(熊本県林業研究指導所 2015)。しかし、これまでに、芽かきを実施したセンダンにおいて最大矢高を使った幹曲りの定量的評価に加え、芽かきの労力の指標となる成長期における季節別の芽の発生数および着生位置、芽かきが樹高成長および直径成長に与える影響について整理された科学的知見はみられない。

また、芽かきによって、通直かつ高品質なセンダン材の生産を目的とした育種を進めるためには、作業の効率化のために芽の発生数が少ない家系を選抜することも重要である。しかし、センダンの家系を用いた施業研究例は、3年生時に枝打ちされた実生家系の次代検定林において、家系間に樹高および根元直径では有意な差がみられたが、枝の分岐性には有意な差がなかったという報告のみである(家入 1997)。

現在、センダンの苗木の流通は、実生苗のみとなっているため、将来的に通直かつ高品質なセンダン材の生産体制を確立するためには、優良クローンを選抜し採種園を造成することが不可欠である。しかし、優良クローンの選抜に際し、実生苗では同系統内の芽の発生特性および幹曲りに大きなばらつきが生じると推定されることから、無性繁殖苗を用いたクローン間比較を実施することが重要である。そこで本研究では、センダンの「芽かき」施業の実用化を目的として、複数の家系クローン(以下、クローン)を用いて、芽かきによる幹曲り抑制効果、樹高および直径成長に対する影響について検討した。また、芽かき完了直後と収穫期における幹曲りの関係を調べることによって、幹曲りの早期評価の有効性についても検討した。さらに、春期から夏期における芽の発生数および着生位置についても調査を行い、適切な芽かきの時期や作業性についても議論した。

II. 材料と方法

1. 調査地および調査個体

調査地は、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, 地形:平地, 土壌型:BI_D, 年平均気温:16.4℃, 年平均降水量:2,019 mm)である。熊本県内で選抜された幹の通直性が高かった55個体のうち(家入 1997), 成長が良好だった3個体から組織培養で育苗した3クローン(以下、クローン1型, 18型およびM型)の1年生苗(平均苗高:25.9 cm, 平均地際径:4.6 mm)を2001年3月下旬に植栽した。前述のとおり、センダンは高密度で植栽してもJAS規格で1等のような樹幹形を得られず、植栽から数年で直径成長が抑制される(横尾 2010)。そこで、植栽密度を約1,100本/ha(植栽間隔:3 m)とし、地力の差を最小限にするため、各クローン9本(3行×3列)を横(東西)方向、縦(南北)方向に3反復(各クローン27本)、合計9プロットをラテン方格となるよう配置した(図-1)。以下、これらのプロットを芽かき区と呼ぶ。

さらに、対照区として各クローンに6本(2行×3列)ずつ、隣接地に同じ密度で植栽した(図-1)。なお、試験地の外周には隣接するプロットと同じクローン苗を植栽し、林縁木とした。本展示園では、全窒素量が0.318~0.425%と地力が高いことが明らかにされているが(玉泉・大野 1985), センダンの成長をさらに促進するために施肥を行った。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1,000 g/本で樹冠内に一様に散布した。なお、芽かきを実施した期間の下層植生はイタリアンライグラス(*Lolium multiflorum*), セイタカアワダチソウ(*Solidago altissima*)およびクサイチゴ(*Rubus hirsutus*)が優占しており、下刈りを年2回、概ね6月と8月に実施した。

2. 調査方法

芽かきは、植栽1年目は2001年4月中旬から9月下旬まで、植栽2年目は2002年4月から8月までの各月の中

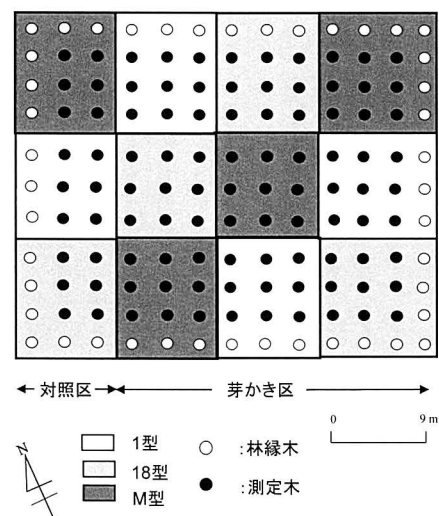


図-1. 調査地の概要

旬と下旬に行った。各年4月の中旬に行った1回目の芽かきは、頂芽以外のすべての脇芽を取り除く方法を用いた(図-2(A))。ただし、頂芽が発生せず脇芽のみの場合は、最も上部の脇芽のみを残して、それよりも上部の幹を切り落とす方法で実施した(熊本県林業研究指導所 2015)。2回目以降の芽かきは、1回目の芽かき以降に発生した脇芽だけを取り除いた(図-2(B))。なお、芽かきの実施高は、4 m 材を生産目標としているため(宮島 1994)、収穫時の伐採高(0.2 m)および余尺を考慮して地上高 4.2 m 以上(概ね 4.5 m まで)とした。芽かきは芽の付け根から手指で取り除く方法を用いたが、付け根が木化したものは剪定鋏を使用して切断した。なお、地上高 2 m 以上の芽については、脚立を使用して実施した。

樹高は、植栽時、1年生時および2年生時に、胸高直径は、1年生時および2年生時に測定した。なお、1年生時および2年生時の測定時期は成長休止期である12月とした。樹高は測桿を用いて1 cm 単位で、胸高直径はノギスを用いて東西および南北の直交する2方向を1 mm 単位で測定し、その平均値を用いた。

芽かき時には芽の着生高の測定も行った。芽の着生高は測桿を用いて1 cm 単位で測定した。芽かき区1個体当たりの芽の発生数については、成長期における芽かきを実施した期間(植栽1年目:4~9月, 植栽2年目:4~8月)のうち各月の上旬から中旬(前半)および中旬から下旬(後半)に発生した芽のうち長さ1 cm 以上のものを芽として計数し、当該期間中の芽の発生数(単位は本/個体)の推

移を整理した。なお、植栽2年目の8月後半には全個体の芽の発生高が4.5 m を超えたため、9月以降に発生した芽は計数しなかった。また、前年に伸長成長を終えている幹から発生した芽を「春芽」、当年幹から発生した芽を「夏芽」と定義し、地際部から地上高 4.5 m まで 0.5 m 毎の分布をクローン間で比較した。

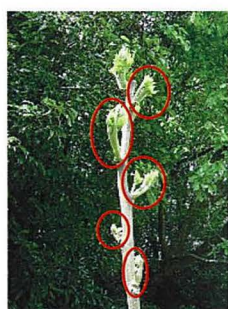
センダンの幹曲がりには幹長 4 m 当たりの最大矢高を用いて評価し、芽かきが終了した2年生時の成長休止期である2002年12月に最大矢高とその出現位置(以下、最大矢高出現高)を測定した(図-3)。ただし、胸高直径が大きい個体では、収穫時の伐採高である地上高 0.2 m より上部まで根張りが発生していたものがみられた。そこで、最大矢高は長さ 4 m のスチール製の直線ポールを根張りの影響の少ない地上高 0.3 m から 4.3 m の幹にあてて 5 mm 単位で、最大矢高出現高は測桿を用いて 1 cm 単位で測定した(図-3)。なお、2年生時における最大矢高の評価の有効性を検証するために、用材利用可能な個体がみられた20年生時の残存木 17 本(平均樹高 18.14 ± 1.29 m, 胸高直径 31.55 ± 4.27 cm)の最大矢高を2021年12月に測定した。

3. 解析方法

樹高、胸高直径、最大矢高および芽の発生数は、個体当たりの値を用いて、横方向のブロック、縦方向のブロック、クローンおよびプロットを因子としたラテン方格法(鷲尾 1997)による二元配置の分散分析(ANOVA)を行った。

樹高、胸高直径および最大矢高に処理間およびクローン間の有意な差が、さらに、芽の発生数にクローン間の有意な差が認められた場合は、処理間およびクローン間で Tukey の HSD 検定による多重比較を行った。これらの統計処理には、統計ソフト R3.4.1 (R Development Core Team 2017)を用いた。

なお、芽かきによる幹曲りの抑制効果は、最大矢高 3 cm 以下、すなわち JAS 規格で 1 等が得られる割合を、処理間およびクローン間で比較した。また、最大矢高出現高と1年生時の樹高との位置関係についても検証した。さらに、20年生時の残存木の最大矢高とそれらの2年生時における最大矢高との関係を検討した。



芽かき前



芽かき後

(A)1回目の芽かき



芽かき前



芽かき後

(B)2回目以降の芽かき

○ 芽かきによって除去した脇芽

図-2. 芽かき前と実施後の状況

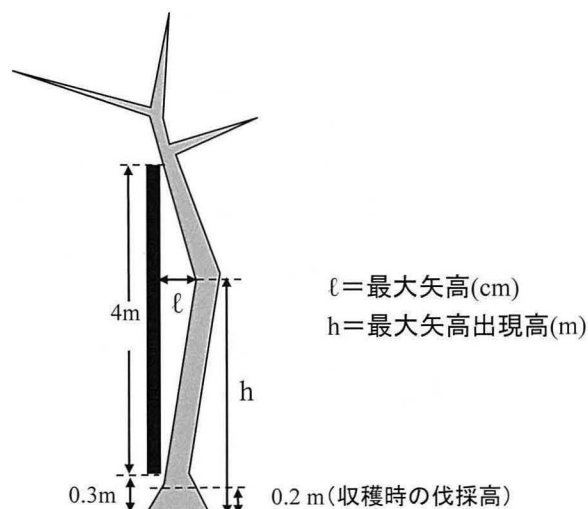


図-3. 最大矢高の測定方法

III. 結 果

1. 樹高と直径成長

各クローンの植栽時、1年生時および2年生時の樹高と1年生時および2年生時の胸高直径を表-1に示す。芽かき区および対照区における平均樹高は、1年生時がそれぞれ2.37~2.59 mおよび2.93~3.11 m、2年生時が5.91~6.17 mおよび6.11~6.42 mであり、両処理区とも旺盛な成長を示した(表-1)。樹高については、クローン間および処理区間に有意な差は認められなかった($p>0.05$, 表-1)。

胸高直径は、1年生時は芽かき区で2.99~3.20 cm、対照区で3.57~3.68 cmと処理区間およびクローン間で有意な差はみられなかったが($p>0.05$, 表-1)、2年生時には芽かき区で5.98~6.16 cm、対照区で9.23~9.50 cmとなり、対照区が芽かき区に比べ有意に大きかった($p<0.05$, 表-1)。一方、同処理区内におけるクローン間には有意な差は認められなかった($p>0.05$, 表-1)。

2. 芽の発生時期と発生高

芽かき区における春芽の発生数は、植栽1年目が1型、18型およびM型でそれぞれ2.7、2.4および1.4本/個体であり、1型がM型に比べ有意に多かったが($p<0.05$, 図-4)、植栽2年目はそれぞれ21.0、17.1および18.8本/個体とクローン間に有意な差はみられなかった($p>0.05$, 図-4)。一方、夏芽は、植栽1年目が1型、18型およびM型でそれぞれ15.0、6.9および5.0本/個体で1型が18型およびM型に比べ有意に多く($p<0.01$, 図-4)、植栽2年目はそれぞれ22.4、25.1および12.4本/個体と1型および18型がM型に比べ有意に多かった($p<0.01$, 図-4)。

春芽と夏芽を合わせた芽の総発生数(以下、総芽数)のクローン間差には、夏芽のクローン間差の影響が大きかった(図-4)。すなわち、植栽1年目における総芽数は1型、18型およびM型で17.9、9.3および6.4本/個体で、1型が他のクローンに比べ有意に多く($p<0.01$, 図-4)、植栽2年目は1型、18型およびM型でそれぞれ43.5、42.2および31.2本/個体で、1型および18型がM型に比べ有意に多かった($p<0.01$, 図-4)。

芽かき区における時期別の芽の平均発生数についてみると、植栽1年目は4月中旬に芽かきを実施した後、各クローンとも7月前半まで芽の発生はわずかであったが、7月後半に大きく増加し、8月前半まで多い傾向がみられた(図-5(A))。ただし、8月後半以降、芽の発生数は大きく減少し、10月になると発生は確認されなかった(図-5(A))。植栽1年目における芽の時期別発生数のクローン間差は、4月前半は1型が18型およびM型に比べ、7月後半は1型がM型に比べ、8月前半および9月前半は1型が18型およびM型に比べ、有意に多かった($p<0.01$, 図-5(A))。植栽2年目は3クローンとも発生のピークが4月前半、5月前半、6月前半および7月前半~後半の4回みられた(図-5(B))。植栽2年目における芽の発生数のクローン間差は、4月前半から6月前半までと6月後半以降の傾向が異なった。すなわち、4月前半は1型が18型に比べ、5月前半は1型が他のクローンに比べ、6月前半は1型がM型に比べ有意に多かった($p<0.01$, 図-5(B))のに対し、6月後半および7月前半は18型が他のクローンに比べ有意に多かった($p<0.01$, 図-5(B))。なお、7月後半以降、芽の発生数に有意なクローン間差は認められなかった($p>$

表-1. 各処理区におけるクローン別の樹高および胸高直径

	系統名	植栽時	本数	1年生時	本数	2年生時	本数
樹高 (m)	芽かき区	1 型	0.26 ± 0.06 ^a	27	2.59 ± 0.45 ^a	27	6.17 ± 0.54 ^a
		18 型	0.25 ± 0.07 ^a	27	2.37 ± 0.53 ^a	27	5.91 ± 0.44 ^a
		M 型	0.25 ± 0.07 ^a	27	2.57 ± 0.51 ^a	27	6.04 ± 0.82 ^a
	対照区	1 型	0.28 ± 0.02 ^a	6	3.11 ± 0.10 ^a	5	6.42 ± 0.16 ^a
		18 型	0.29 ± 0.02 ^a	6	2.95 ± 0.13 ^a	6	6.11 ± 0.20 ^a
		M 型	0.27 ± 0.05 ^a	6	2.93 ± 0.21 ^a	6	6.18 ± 0.22 ^a
胸高直径 (cm)	芽かき区	1 型		3.19 ± 0.75 ^a		6.16 ± 0.68 ^a	
		18 型		2.99 ± 0.87 ^a		6.00 ± 0.60 ^a	
		M 型		3.20 ± 0.83 ^a		5.98 ± 0.72 ^a	
	対照区	1 型		3.65 ± 0.44 ^a		9.50 ± 0.83 ^b	
		18 型		3.57 ± 0.36 ^a		9.26 ± 0.55 ^b	
		M 型		3.68 ± 0.45 ^a		9.23 ± 0.85 ^b	

樹高および胸高直径は3ブロックの平均値±標準偏差を示す。異なるアルファベットでは処理間およびクローン間で有意差があることを示す (Tukey の HSD 検定による多重比較, $p<0.05$)。

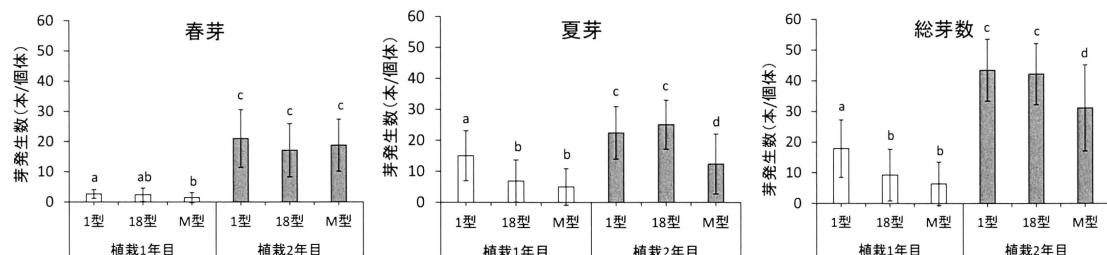


図-4. 芽かき区における植栽1年目および2年目の芽の発生数

エラーバーは標準偏差を示す。異なるアルファベットでは有意差があることを示す (Tukey の HSD 検定による多重比較, $p<0.01$)。

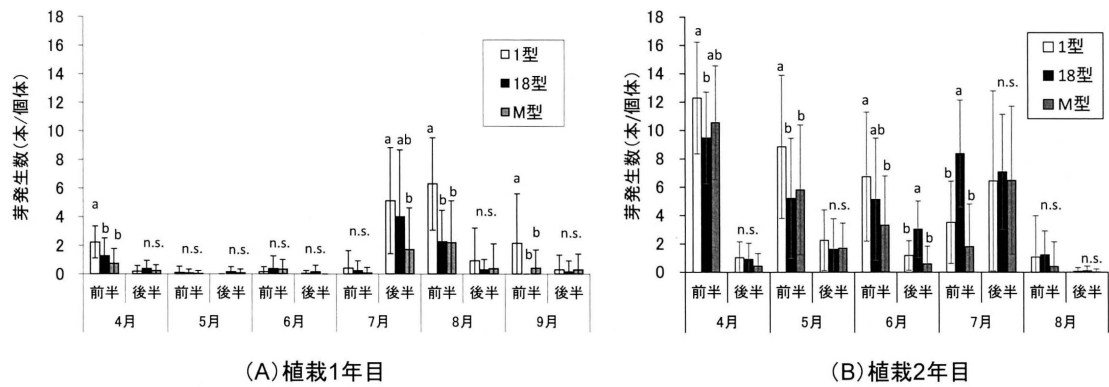


図-5. 芽かき区における植栽1年目および2年目の芽の発生数の推移

エラーバーは標準偏差を示す。異なるアルファベットは、クローン間に有意差があることを示し (Tukey の HSD 検定による多重比較, $p < 0.01$), n.s. は有意差がないことを示す (ANOVA, $p > 0.05$)。

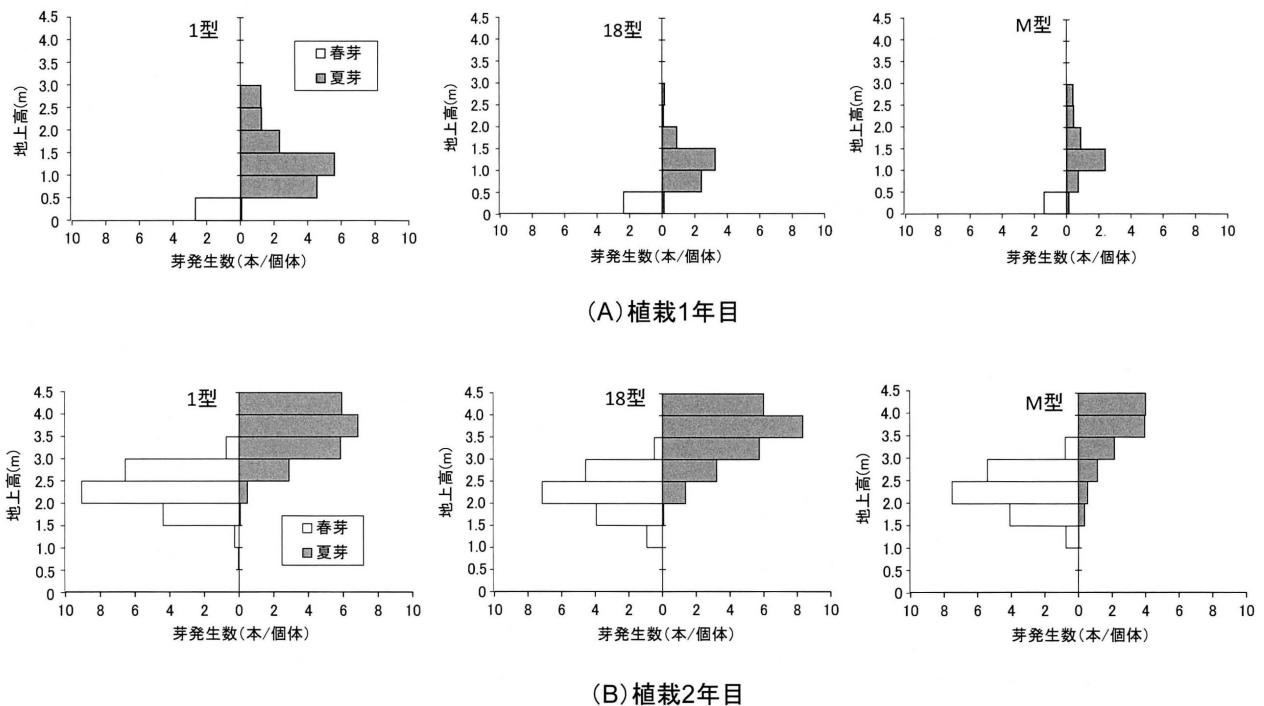


図-6. 芽かき区における各地上高階における芽の発生数

0.05, 図-5(B))。

植栽1年目の芽かき区における春芽の発生高は、各クローンとも植栽時の幹（以下、前年幹）の梢端部付近にあたる地上高0～0.5mであった（図-6(A)）。一方、夏芽は地上高0～3.0mと広く分布していたが、地上高0～0.5mにおける発生数はわずかであった（図-6(A)）。いずれのクローンでも地上高1.0～1.5mにピークがみられた（図-6(A)）。

植栽2年目の芽かき区における春芽の分布は地上高1.0～3.5mと植栽1年目に比べ範囲が広く、4月前半に梢端部付近（地上高2.0～2.5m）から春芽が多く発生した（図-6(B)）。夏芽は地上高1.5～4.5mに分布しており、発生数が多い範囲は、1型および18型が地上高2.5～4.5m、M型が地上高3.0～4.5mであった（図-6(B)）。

3. 最大矢高および最大矢高出現高

各処理区におけるクローン別の最大矢高の平均値は、芽かき区で2.22～2.56 cm、対照区で11.20～15.33 cmと芽か

き区が有意に小さかった ($p < 0.01$, 図-7(A) および (B))。最大矢高は、対照区では1型が有意に小さかったが ($p < 0.01$, 図-7(B))、芽かき区ではクローン間差は認められなかった ($p > 0.05$, 図-7(A))。最大矢高3 cm以下のJAS規格1等（農林水産省 2007）が得られる割合は、芽かき区で65.4%（1型）～80.0%（M型）と大きな割合であったが、対照区では1等および2等は全くみられず、大部分は3等または4等であった（図-7(A) および (B)）。

次に、2年生時における最大矢高と、20年生時における残存個体の最大矢高との関係を解析したところ、両者の間に強い正の相関関係が認められた ($R^2 = 0.963$, $p < 0.01$)（図-8）。また、20年生時の最大矢高は、2年生時の最大矢高に比べ減少し、その変化量は芽かき区で小さく、対照区で大きかった。

最大矢高出現高と1年生時の樹高の関係について最小二乗法による一次回帰を求めたところ、芽かき区 ($R^2 = 0.002$,

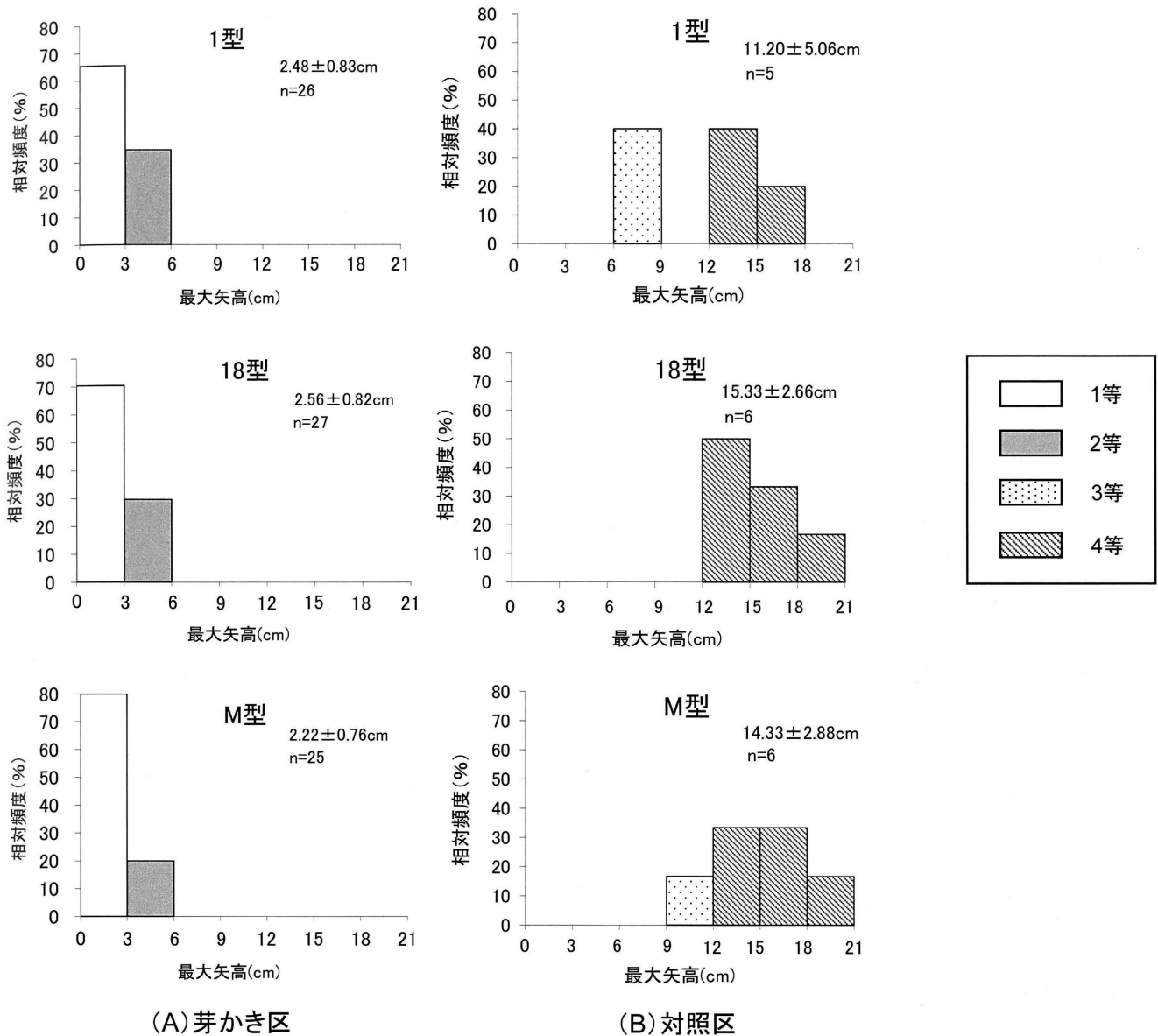


図-7. 2年生時のセンダンの芽かき区および対照区における最大矢高の出現頻度

最大矢高の数値は平均値 ± 標準偏差, nは個体数を表す。JAS 規格等級: 最大矢高: 1等, 0~3 cm; 2等, 3~6 cm; 3等, 6~12 cm; 4等, 12 cm~。

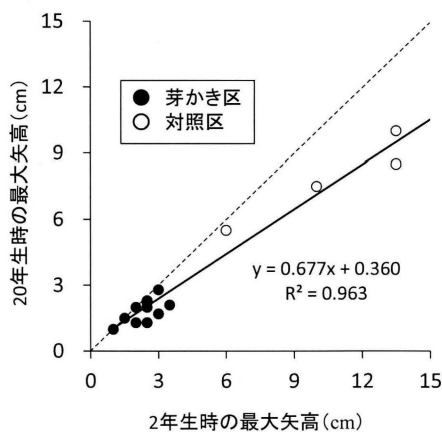


図-8. 2年生時と20年生時における最大矢高の関係
図中の点線は1:1の線。

図-9(A)) および対照区 ($R^2 = 0.003$, 図-9(B)) とともに決定係数は低かった。最大矢高出現高は、芽かき区が1年生時の樹高の上部および下部にほぼ同程度の個体数がみられたのに対し (図-9(A)), 対照区では1個体を除き、すべて下部に分布していた (図-9(B))。

IV. 考 察

1. 樹高と直径成長

樹高は、芽かき区および対照区の間で、さらに各処理区内におけるクローン間でも有意な差が認めなかったものの、調査地を含む本展示園は地力が高いこと (玉泉・大野 1985) に加え、施肥のおかげで成長がよく、1年生時は2 m以上、2年生時は3 m以上と旺盛な成長量を示し、センダンの樹高成長が極めて早いことが改めて確認された (表-1)。このことから、植栽2年後には、通直材生産の目安 (宮島 1994) となる地上高4.2 m (伐採高: 0.2 m 含む) 以上に達することが明らかとなった。一方、胸高直径は、

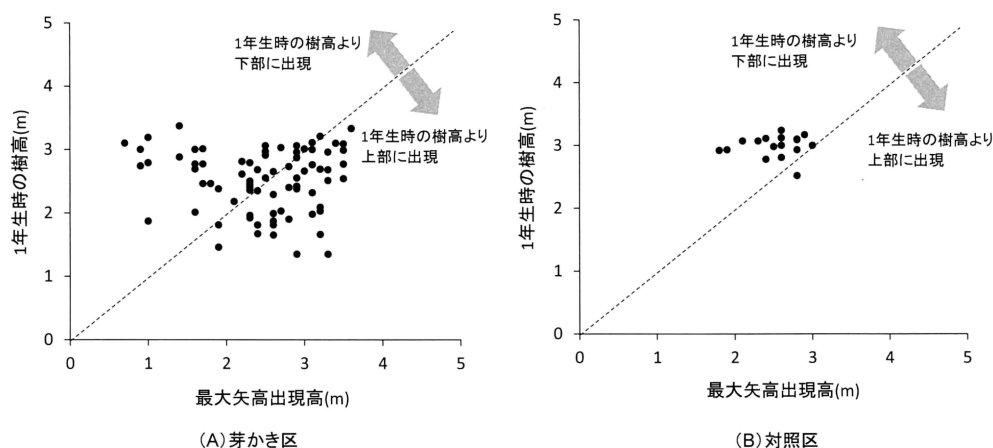


図-9. 2年生時のセンダンの芽かき区および対照区における最大矢高出現高と1年生時における樹高の関係

1年生時の両処理区間に有意な差は認められなかったが、2年生時は、対照区が有意に大きかった(表-1)。樹木の成長抑制については、摘葉や枝打ちの事例が知られており、スギにおける摘葉(斎藤ら 1968)やアカエゾマツ(*Picea glehnii*)における枝打ち(小山・浅井 1998)では、樹高成長よりも直径成長にその影響が強く現れることが明らかにされている。センダンでも、2年生時に大きく枝葉を展開した対照区に対し、芽かき区では、新たな枝の発生(葉量)が抑制されたため、処理区間で直径成長量に大きな差がみられたと考えられる。

2. 芽の発生時期と発生高

時期別における芽の発生数は、植栽1年目は4月前半を除くと7月後半と8月前半が大部分を占めていた(図-5(A))。一方、植栽2年目は、春期は4月前半と5月前半、夏期が6月前半、7月前半および7月後半の発生数が多かった(図-5(B))。ところで、芽の発生数の多い時期の芽は幹曲りに影響があると考えられるが、その後に発生する少数の芽は用材として使う上部付近に発生するので幹曲りへの影響は小さいと考えられる。ただし、少数の芽でも残すと枝となるので、除去する必要がある。そこで、芽かきは芽の発生が多い時期と芽の発生が終わった時期に実施するのが適切であると考えられる。以上から、植栽1年目の芽かきは春期1回、夏期2回および9月末に行えばよいと推定される。一方、植栽2年目の芽かきは春期2回、夏期3回および8月末に行えばよいと推定される。今回、提案した芽かきの回数は、本試験地のように芽かきが2年で完了できる立地および施肥条件において、今後実施されるであろう芽かき施業の目安になると考えられる。

植栽1年目の春芽の発生数は、1型がM型に比べ有意に多かったものの(図-4, 図-5(A)), 1.4~2.7本/個体と少なく(図-4), いずれも地上高0~0.5mと狭い範囲に分布していたことから(図-6(A)), 春期の芽かきの労力にクローン間の大きな差はないと考えられた。一方、夏芽は、地上高0.5~3.0mといずれのクローンも発生範囲は同じであったが(図-6(A)), 5.0~15.0本/個体と1型が他のクローンと比較して有意に多かった(図-4, 図-5(A))。また、春芽に比べ夏芽が増加し、総芽数が大きく増えたことから(図-

4), 1型の芽かきには大きな労力がかかることが明らかとなった。

植栽2年目の春芽は17.1~21.0本/個体であり、当年における総芽数の約半分を占め、かつクローン間に有意な差がみられなかった(図-4, 図-5(B))。植栽2年目の春芽は地上高1.0~3.5mに分布していたため(図-6(B)), 植栽2年目の春期における芽かきは、クローン間の労力に差はないと考えられる。一方、夏芽の発生数が多い範囲は、各クローンとも地上高2.5~4.5mと大きな差異はなかったが(図-6(B)), 発生数は12.4~25.1本/個体と1型および18型がM型に比べ有意に多かった(図-4)。前述のとおり、植栽2年目は春芽の発生数に差がみられなかったことから(図-4), 夏芽の発生数の差が総芽数の差に大きく影響したといえる(図-4, 図-6(B))。これらの夏芽の発生数が多いクローンでは、高所での作業コスト(時間、労力)も増えると予想される。以上のことから、芽かきは、クローンによっては芽の発生数が多いことによる作業コストの増加および高所作業による安全性の確保は必須となるが、植栽後2年間だけの実施で、生産目標の4mの通直材生産(宮島 1994)の目安となる地上高4.2m(伐採高: 0.2m含む)まで枝の発生抑制が可能で、センダンの優良素材の生産を期待できる画期的な育林技術であると考えられる。

また、植栽1年目は18型およびM型が1型に比べ、植栽2年目はM型が1型および18型に比べ芽の発生数が少なかった(図-4)。これまでに広葉樹での例はないが、スギ(植田 1992; 竹内 2002)やヒノキ(*Chamaecyparis obtusa*) (池本 1992)では、クローンによって枝の発生数に違いがあることが明らかにされている。これらのことから、M型は他のクローンに比べ芽の発生数が少ないクローンであるとともに、他のクローンに比べて樹高および胸高直径の成長量に差異がなかったことから(表-1), 芽かきを省力化できる系統の採種母樹として推奨できると期待される。

3. 芽かきによる幹曲りの抑制

芽かき区における最大矢高の平均値は2.22~2.56cmであり、対照区では全くみられなかったJAS規格の1等(農林水産省 2007)の個体を65.4~80.0%と極めて高い割合で得ることができた(図-7(A)および(B))。なお、20

年生時と2年生時における最大矢高との間に正の強い相関関係がみられたことから(図-8)、幹曲りの評価は、芽かきが終了する早期でも可能であることが示唆された。

最大矢高出現高は、芽かき区では1年生時における樹高の上部および下部に一樣に分布しており、分布数も上部と下部で同程度であった(図-9(A))。一方、対照区では大部分が1年生時の樹高より下部に出現していた(図-9(B))。横尾(2010)によると、芽かきされていないセンダンの5年生時における最大矢高出現高は、植栽時や1年生時の樹高付近、または植栽時と1年生時の樹高の中間付近とされている。これと同じ傾向が今回の調査における対照区でみられたものの、芽かき区における最大矢高出現高と過去の樹高との関係は明確でなかった(図-9(A)および(B))。このことは、センダンは春期の芽の展開時に頂芽が発生しにくく、側枝による曲りが発生しやすいが(横尾 2019)、芽かきによって過去の樹高付近に発生しやすい幹曲がり(横尾 2010)が極めて小さくなったためと考えられる。

さらに、芽かき区では、最大矢高の平均値にクローン間差が認められなかったことから(図-7(A))、芽かきは、クローンに関係なく最大矢高を小さくするとともに、ばらつきが少ない一定形状の丸太を生産できる施業であるといえる。また、芽かきは、枝打ちで生じやすい材の変色(横尾・松村 2019)の発生をあらかじめ抑制する効果もある(熊本県林業研究指導所 2015)。

以上のことから、センダンにおける芽かきは、枝打ちによる材の変色を未然に防ぐとともに幹曲りが少ない高品質な通直材を生産できる効果的な施業であることが示唆された。さらに、その施業も植栽後2年目まで実施すればよいということであれば、作業コストの低減化という面からも非常に効果が期待できる。今後は、更なる作業コストの削減を目指し、芽かきの回数を減らした際の幹曲りの抑制効果の変化や他の施業との組み合わせで、より効率的なセンダンの通直材生産における作業工程の開発を進めることが急務であろう。

謝 辞

本研究に対してご指導をいただいた元鹿児島大学教授竹内郁雄博士に、本論を執筆するにあたり国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所九州支所の金谷整一博士には有益なご助言をいただきました。また、元熊本県林業研究・研修センターの山口泰輔氏

および緒方久美子氏には調査にあたって援助をいただきました。これらの方々に心より厚くお礼申し上げます。

なお、本論文に関して、開示すべき利益相反関連事項はない。

引用文献

- 玉泉幸一郎・大野和人(1985)高速林業の技術開発に関する組織的研究. 熊本県林研指業報 24: 25-26
- 林 弥栄(1969)有用樹木図説. 誠文堂新光社
- 家入龍二・福山宜高(1994)早成林業の技術開発に関する研究. 熊本県林研指業報 33: 29-33
- 家入龍二(1997)広葉樹の育種に関する研究. 熊本県林研指業報 36: 11-12
- 池本 隆(1992)ヒノキの枝形質について(I) 一枝密度とクローン変異一. 鳥取県林試研報 34: 71-80
- 小山浩正・浅井達弘(1998)アカエゾマツの早期枝打ちの有効性. 日林誌 80: 16-20
- 熊本県林業研究指導所(2015)センダンの育成方法 H27改訂版. 熊本県 <https://www.pref.kumamoto.jp/uploaded/attachment/118828.pdf> (2015年10月6日参照)
- 松村順司・井上真由美・横尾謙一郎・小田和幸(2006)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(*Meliazedarach*)の可能性. 木材学会誌 52: 77-82
- 宮島淳二(1994)熊本県における広葉樹造林の手引き. 啓文社, 熊本
- 農林水産省(2007)素材の日本農林規格. 農林省告示第1052号. https://www.maff.go.jp/j/jas/jas_kikaku/pdf/kikaku_55.pdf (2017年8月2日参照)
- R Development Core Team(2017) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org/> (2017年8月2日参照)
- 斎藤秀樹・四手井綱英・菅 誠(1968)樹幹形についての考察 2, 3の幹形の表し方および幹における同化物質の垂直分布についての考え方. 京大農演報 40: 93-110
- 竹内郁雄(2002)無節材生産を目的とした枝打ちに関する研究. 森林総研研報 382: 1-114
- 植田幸秀(1992)スギの枝密度—確率過程にもとづく枝密度の誘導と精英樹クローンへの適応一. 鳥取県林試研報 34: 53-70
- 鷺尾泰俊(1997)実験計画法入門(改訂版). 日本規格協会. 120-156
- 横尾謙一郎(1997)広葉樹の育成に関する研究. 熊本県林研指業報 36: 17-20
- 横尾謙一郎(2010)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: 29-35
- 横尾謙一郎(2017)センダンの育成技術の開発・普及と材の利用について. 山林 1597: 28-35
- 横尾謙一郎(2019)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
- 横尾謙一郎・福山宜高(1997)植栽密度の違いがクリ幼齢木の成長におよぼす影響について—用材生産を目的とした適正な植栽本数の検討一. 日林九支研論集 50: 71-72
- 横尾謙一郎・松村順司(2019)センダン幼齢林における枝打ちの適期. 日林誌 101: 70-75
- 吉野 豊・前田雅量(1998)ケヤキ密度別植栽試験—7年めの生育状況一. 森林応用研究 7: 59-62