センダン幼齢林における枝打ちの適期

横尾謙一郎^{*,1,2}・松村順司³

材に節や変色がなく長さ4 mの通直材を生産目標としたセンダンの管理手法を提示するために、適切な植栽密度および枝打ちの実施時期について検討した。植栽密度3,000本 ha⁻¹のセンダン人工林において植栽3年後に枝打ちを行い、その4年後に枝打ちした枝基部の巻込みおよび変色の状況を調査した。枝径2 cm未満では、1年で巻込みが完了し変色は生じなかった。一方、枝径2 cm以上では、巻込みに2年以上を要し、78~100%で変色が確認された。次に、枝打ちを実施しない3段階の植栽密度区(3,000, 5,000および7,000本 ha⁻¹)を設定し、植栽3年後の地上高0.2~5.2 mにおける枝の着生状況を調べた。いずれの密度区とも1個体当たりの総枝数(生枝+枯枝)は概ね10本であり、着生部位は各年の梢端部付近に集中した。また、低密度区では、変色の原因となる枝径2 cm以上の割合が高かった。センダンは低密度で植栽すると幹曲りの可能性が高まることから、目的とする材の生産には、植栽密度を5,000本 ha⁻¹程度とし、樹高が4.5 mを超えかつ枝径が2 cm未満である植栽後2年以内に枝打ちを完了することが重要であると考えられた。

キーワード: センダン, 枝打ち, 枝径, 着生高, 植栽密度

Kenichiro Yokoo,^{*,1,2} Junji Matsumura³ (2019) Estimation on the Optimal Timing of Pruning in Young Sendan (*Melia azedarach* Linn.) Stands. J Jpn For Soc 101: 70-75 To establish guidelines for the reliable production of straight *Melia azedarach* timber up to 4 m long without knots or discoloration, the relationship between planting density and pruning time was examined. Artificial *M. azedarach* stands (3,000 trees ha⁻¹) were pruned 3 years after planting and the branch stubs were removed completely. This resulted in no discoloration around stubs that were below 2 cm in diameter within 1 year after pruning. However, discoloration occurred in 78-100% of branch stubs greater than 2 cm in diameter, which also required more than 2 years for occlusion. There was an average of approximately ten branches (live and dead) per tree and they were distributed around the top, which was 0.2-5.2 m in height for three planting densities (3,000, 5,000, and 7,000 trees ha⁻¹) without pruning for 3 years. The number of branches above 2 cm in diameter and the proportion of live branches were highest in the low-planting-density stand. These results suggest that the optimal timing for pruning of *M. azedarach* is within 2 years after planting before the diameter of branches and the tree height exceed 2 cm and 4.5 m, respectively. In addition, the optimal planting density of the species is 5,000 trees ha⁻¹ due to the high probability of crooked trunks at lower planting densities.

Key words: *Melia azedarach*, pruning, branch diameter, branch height, planting density

I. はじめに

近年、スギ(*Cryptomeria japonica*)やヒノキ(*Chamaecyparis obtusa*)等の人工林から広葉樹林への転換が進められており、広葉樹材の利用拡大が期待されている(森林総合研究所四国支所 2012; 林野庁 2016)。一般的に、通直な丸太生産において、商品価値を損なわないように無節材の生産、材の異常変色(以下、変色)や腐朽が入らないように施業管理することが重要であるため(藤森ら 1984; 竹内 2002)、わが国においては枝打ちや除間伐等の育林技術が確立されてきた。広葉樹の用材生産においても節の部分は採材されない。よって節の有無は歩留りに大きく影響するため(谷本 1990)、ケヤキ(*Zelkova serrata*) (橋詰 1988; 吉野・前田 2000; 小谷ら 2003) およびブナ(*Fagus crenata*) (谷本ら 1989) で無節材の生産を目指した枝の枯れ上がりや枝打ちの研究が実施されてきた。

センダン(*Melia azedarach*)は、本州(伊豆半島以西)、小笠原、四国、九州、沖縄から朝鮮半島南部、中国の暖帯に分布するセンダン科の落葉高木である(林 1969)。センダンは、ケヤキおよびキリ(*Paulownia tomentosa*)の代用

として、建築材をはじめ家具材および工芸用材として利用されている(林 1969; 宮島 1994)。また、センダンは、スギと比較しても材価に遜色がなく(宮島 1994)、成長が早いことから(古閑ら 1989; 家入・福山 1995)、熊本県では造林に適した広葉樹として推奨されており(宮島 1994)、海岸に近い暖地を中心に植栽されている。市場調査の結果からセンダンの生産目標とすべきサイズと形状は、材長4 m、末口径30 cmの直材とされているが、一般にセンダンの樹形は他の広葉樹と同様に幹曲りが大きいため、直材の生産が困難とされる(宮島 1994)。

これまでに、著者は、センダンの幹曲がり抑制を目的として植栽密度が異なるセンダン幼齢林における幹形状について検討した結果、植栽密度を高くすることで幹曲りが緩和されることを明らかにした(横尾 2010)。しかしながら、他の樹種では、幹曲りの他に原木丸太の品質や材価を下げる要因として、節や材部の変色が報告されており(例えば藤森ら 1984)、また材部の変色は節から発生することが多い(段林 1993)。センダンでこれらを抑制するには、高い植栽密度による自然落枝の促進や早期の枝打ちが有効であるとされる(横尾 1996, 1997; 松村 2005)。したがっ

*連絡先著者 (Corresponding author) E-mail: yokoo-k@pref.kumamoto.lg.jp

¹ 熊本県林業研究指導所 〒860-0862 熊本県熊本市中央区黒髪8丁目222-2 (Kumamoto Prefecture Forestry Research Center, 8-222-2 Kurokami, Chuo-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)

(2018年5月23日受付; 2019年2月8日受理)

て、品質および材価が高いセンダンの原木丸太を生産するためには、適切な密度で植栽するとともに枝打ち等の管理を着実に実施することが不可欠であると考えられる。

他樹種における枝打ちの例をみると、スギおよびヒノキでは、枝径と変色発生率に関する報告が多くある。例えば、スギでは、枝径が1 cm 以上になると変色発生が増加し（宮地・那須 1978；竹内 2002）、枝径16 mm になると80～90%で変色が発生する（兵藤 1979）。さらには、枝径2 cm 以下では、枝の太さと変色発生率にほとんど関係は認められていない（藤森ら 1984）。一方、広葉樹における枝打ちに関する報告は、スギおよびヒノキと比べると少ない。例えば、ケヤキにおける枝打ちでは、自然落枝した場合に比べ、節における変色の発生率が約2分の1に軽減され（段林 1993）、枝隆（枝打ちされた枝の基部）を残したほうが変色の面積が小さい（小島 1996）。ケヤキでは、枝径3 cm 以下であれば枝隆が3年以内にほぼ巻込みが完了し（橋詰 1988）、材の腐朽も少なく（谷本 1990）、ブナでは、枝径が2～3 cm 程度までは、幹腐れ等の被害が小さい（谷本ら 1989）など枝径と巻込み期間や腐朽の関係についての報告がある。いずれの樹種も材に変色や腐朽が入れば原木としての商品価値を失ってしまうため、これらが生じないような枝打ちする枝の径ならびに、その適期を樹種ごとに明らかにすることが必要である。

そこで、本研究では、節や変色がない長さ4 m の通直材を生産目標とするセンダンの施業指針を提示するため、センダンの幼齢林において、枝打ち時の枝径と枝基部の巻込み年数および変色の有無との関係を調べた。次に、植栽密度が枝の着生高およびその径に与える影響について調査した。これらの結果から、枝打ちによる枝基部の巻込みを促進させるとともに変色の発生を抑制できる、適切な枝打ちの枝径と時期および植栽密度について検討した。

II. 材料と方法

1. 調査地

調査は熊本県上益城郡甲佐町の熊本県林業研究指導所舞原試験展示園（北緯32°42'18"，東経130°45'50"，標高30 m，地形平地，土壤型B_{1p}，年平均気温17.4℃，年平均降水量1,543 mm）で実施した。当該地において、熊本県内で選抜された55本のセンダンの母樹（家入 1995）のうち3本から採取した種子を混ぜて生産した2年生苗（平均苗高1.4 m）を用いて、1995年3月に枝打ち試験地および植栽密度試験地を設定した。

枝打ち試験地の植栽密度は3,000本ha⁻¹で、調査個体数は林縁木を除く36本（6行×6列）とした（図-1）。植栽密度試験地は既報（横尾 2010）のとおりで、植栽密度は3,000本ha⁻¹（A区）、5,000本ha⁻¹（B区）および7,000本ha⁻¹（C区）の3段階に設定されている。各密度区の面積は15 m×15 m（225 m²）とし、密度区の各辺に沿った林縁木は調査対象から除外した。したがって、各密度区における調査木の本数は、A区が36本（6行×6列）、B区が64本（8行×8列）、C区が100本（10行×10列）である。なお、各植栽密度の反復数は3回とし、東西方向お

よび南北方向といった試験地内の立地間差の影響を排除するため、合計9プロットを図-1のようにラテン方格となるように配置した。

2. 枝打ち後の巻込みおよび変色の発生状況

枝打ち試験地においては、植栽後3年目の成長休止期である1998年3月に枝打ちを行った。枝打ちした高さは、伐採高（0.2 m）や玉切り時の余尺を考慮し、将来4 m の直材を採材するのに十分な範囲である伐採高から地上高4.5 m までとした。対象範囲内に着生していた生枝および枯枝をすべて枝打ちした。枝打ちにはノコを使用し、生枝は枝隆を残す方法で行った（図-2）。枯枝は自然落枝しているものもあったが、枝の基部は残っていたため、生枝と同様の方法で枝打ちを行った。なお、植栽前の苗には着生枝がなく、主幹のみであったことから、枝打ちした枝はすべて植栽後に発生したものとみなした。

枝打ち4年後の2002年1月に、枝打ち試験区内から調査対象木8本（平均樹高10.0 m ± 0.3 m，平均胸高直径8.9 cm ± 0.7 cm）を地上高0.2 m で伐採し、伐採高から地

図-1. 試験地の基本設定

図-2. センダンの枝打ち方法

上高 4.5 m までの幹を 1 m ごと (最上部のみ 1.3 m) の丸太に切り分けた。次に、その丸太をミカン割り (加納ら 1959, 1966) で 8 片に分割し、節解析を行い、巻込みに要した年数および変色の発生状況を記録した。

3. 密度試験地における枝径と着生高

密度試験地において、植栽後 3 年目の成長休止期である 1997 年 11 月～1998 年 3 月に、地上高 0.2～5.2 m における幹に着生する生枝および枯枝の本数を幹長 1 m ごとに計数するとともに、それらの地上高 (以下、着生高 H_B) ならびに直径 (以下、生枝径および枯枝径 B_D) を立木の状態で測定した (図-3)。また、同範囲において幹長 1 m ごとの最下部の幹直径の測定も行った。枝が太くなると枝隆部が大きくなるため、枝径の測定位置は付け根から 2 cm の位置とした (図-3 の B_D)。枝の着生高は測桿を用いて cm 単位で、幹直径 (2 方向) および枝径はデジタルノギスを用いて mm 単位で測定した。

なお、調査時における林分密度は植栽密度が高い区ほど減少しており、平均樹高は A 区が B 区および C 区に比べ有意に高く ($p < 0.05$)、平均胸高直径は植栽密度が低い区ほど有意に大きかった ($p < 0.05$) (表-1, 横尾 2010)。

4. 解析方法

密度試験地における生枝および枯枝の着生数および枝径については、個体当たりの値を用いて、植栽密度およびプロットを因子とした分散分析 (ANOVA) を行った。着生数や枝径に植栽密度の有意な効果が認められた場合は、植栽密度区間で Tukey の HSD 検定による多重比較を行った。

各植栽密度区について、生枝径を応答変数、幹直径を説明変数とする直線回帰を行った。植栽密度によって回帰直

図-3. 密度試験における枝の着生高と枝径の測定方法

表-1. 植栽後 3 年目の成長休止期におけるセンダン植栽密度試験地の状況 (横尾 2010)

密度区	林分密度 (本 ha ⁻¹)	平均樹高 (m)	平均胸高直径 (cm)
A 区	2,861	7.9 ± 0.6 ^a	7.9 ± 1.5 ^a
B 区	4,583	7.5 ± 0.8 ^b	6.6 ± 1.5 ^b
C 区	5,787	7.5 ± 0.9 ^b	5.9 ± 1.6 ^c

林分密度は 3 ブロックの平均値を示す。平均胸高直径, 平均樹高, 平均枝下高は平均値 ± 標準偏差を示す。異なるアルファベットは密度区間で有意差があることを示す。(Tukey-Kramer 法による多重比較, $p < 0.05$)

線が異なるかどうかを調べるため、幹直径と植栽密度の交互作用が生枝径に与える影響 (傾きの違い) を検定した (ANOVA)。傾きが有意に異ならなかった場合、切片の差の検定を行った (ANCOVA)。

これらの統計解析には、統計ソフト R3.4.1 (R Development Core Team 2017) を用いた。

III. 結 果

1. 枝打ち後の巻込み状況および変色発生率

生枝の枝打ち後の巻込み状況および変色の発生状況を枝径別にみると、枝径 2 cm 未満では、枝打ち 1 年後までに全ての枝基部の巻込みが完了し、材面の変色の発生は認められなかった (図-4 (A), 表-2)。枝径が 2～3 cm では、巻込みが完了した割合は枝打ち 1 年後で 77.8%, 2 年後で 100.0% となり、材面の変色の発生率は 77.8% と枝径 2 cm 未満と比較して大幅に増加した (図-4 (B))。枝径が 3 cm 以上では、巻込みが完了するまでに 3～4 年を要し、変色の発生はすべての枝打ち後の材面で確認された。

なお、枯枝についても、巻込みに要する年数および変色の発生は、生枝と大きな差異はなかった (表-2)。

2. 枝径と着生高

植栽後 3 年目における地上高 0.2～5.2 m に着生した個体当たりの生枝数は 0.8～1.7 本、枯枝数は 8.9～10.0 本の

図-4. センダンにおける枝打ち後の巻込みおよび材面の変色の発生状況

(A) 変色なし, (B) 変色あり。

表-2. 枝打ち後の各枝階級における巻込み状況および変色発生率

	枝径 (cm)	処理数	巻込み完了 (%)				変色発生率 (%)
			1 年後	2 年後	3 年後	4 年後	
生枝	0～1	2	100.0				0.0
	1～2	2	100.0				0.0
	2～3	9	77.8	100.0			77.8
	3～4	6	83.3	83.3	100.0		100.0
	4～5	4	0.0	75.0	100.0		100.0
	5～6	4	0.0	50.0	75.0	100.0	100.0
枯枝	0～1	22	100.0				0.0
	1～2	4	100.0				0.0
全体		53					

処理数 (サンプル数) は測定対象木 8 本の合計。() 内は標準偏差を示す。「巻込み完了」は巻込みが完了した枝数の割合を示す。

範囲にあり、枯枝の割合が高かった（図-5）。生枝数は、植栽密度による有意な効果がみられ（ $p < 0.001$ ）、A区およびB区がC区に比べ有意に多く（ $p < 0.05$ ）、枯枝数は、植栽密度による影響は認められなかった（ $p > 0.05$ ）（図-5）。

各密度区における調査個体の樹高は、いずれも植栽時が1.2~1.7 m、植栽1年後が3.2~3.7 mにピークをもつ分布を示した（図-6）。一方、植栽3年後における全枝（生枝+枯枝）の着生高は全密度区とも二つのピークをもつ分布を示した（図-7）。すなわち、一つ目のピークは全密度区とも1.2~1.7 mであり、この着生高は植栽時の樹高と同じ範囲であった。また、二つ目のピークはA区で2.7~3.2 m、B区およびC区で3.2~3.7 mと植栽1年後の樹高とほぼ同じであった。特に、各密度区とも、植栽時の樹高の90%以上を占めていた1.2~1.7 mに（図-6）、総枝数の約

50%が分布していた。

枯枝の本数割合を着生高のピーク別にみると、地上高が低い方から一つ目のピークでは各密度区とも90%以上と非常に高く、二つ目のピークでも、76%（B区）~83%（C区）の範囲にあり、各密度区とも幹の上部まで枯枝の割合が高かった（図-7）。

枝径階別の生枝の本数は、A区で2~5 cm、B区およびC区で2~4 cmの頻度が高かった（図-8）。平均生枝径は、A区（3.6 cm $\pm$ 1.4 cm）とC区（3.1 cm $\pm$ 1.1 cm）との間に有意差が認められた（ $p < 0.01$ ）。一方、枯枝では各密度区とも1 cm未満が50%以上を占めた。平均枯枝径は、各密度区とも1.1 cmと密度区間に差はなかった（ $p > 0.05$ ）。枝打ち試験における枝径2 cm以上で変色の割合が高くなる結果から、1個体当たりの枝径2 cm以上の生枝本数を調べたところ、A区、B区およびC区でそれぞれ1.5本、1.0本および0.7本と植栽密度が低い区ほど有意に多かった（ $p < 0.05$ ）。枝径2 cm以上の枯枝本数は、A、BおよびC区でそれぞれ1.5、1.4および1.1本とC区が他の区と比べ有意に少なかった（ $p < 0.05$ ）。総枝数に対する枝径2 cm以上の割合はA区が26%、B区が23%およびC区が19%と密度が低いほど高かった。

次に、長さ1 mの幹の下部（元口）における直径とその幹に着生する生枝径との関係をみると、各密度区とも、幹直径が大きくなるにつれて生枝径も大きくなる有意な正の直線関係を示した（ $p < 0.01$ ）（図-9）。生枝径に幹直径と植栽密度の交互作用の影響は認められなかったことから（ $p = 0.965$ ）、幹直径と生枝径の直線関係における傾きには植栽密度による差異はないことが示された。一方で、切片は

図-5. 植栽3年後の各密度区における1個体当たりの生枝数と枯枝数

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し（TukeyのHSD検定による多重比較、 $p < 0.05$ ）、nsは有意差がないことを示す（ANOVA、 $p > 0.05$ ）。

図-6. 各密度区における植栽時と植栽1年後の樹高の相対頻度分布

図-7. 各密度区における枝の着生高の相対頻度分布

図-8. 各密度区における生枝径と枯枝径の頻度分布

図中の数値は平均値 $\pm$ 標準偏差を示す。また n は調査した総枝数を示す。

図-9. 各密度区における幹長 1 m ごとの幹直径 (最下部) と着生する生枝径との関係

$^{**}p < 0.01$.

植栽密度で有意に異なった ($p < 0.01$)。なお、植栽密度が最も低い A 区では、B および C 区より幹直径および生枝径が大きい範囲まで広く分布していた。

IV. 考 察

1. 枝打ちによる巻込みと変色

枝打ち試験において、生枝径によって枝基部の巻き込み年数が異なり、枝径 2 cm 未満だと 1 年であったがそれ以上だと数年必要であった (表-2)。また、生枝の枝打ち後における材面の変色発生についても、枝径 2 cm 未満だと確認されなかった (図-4 (A), 表-2)。

ケヤキおよびブナでは、枝径 2~3 cm 以上で枝打ちすると枝基部の巻き込みに 3 年以上を要し、材面の変色の発生が多いとされる (橋詰 1988; 谷本 1990; 谷本ら 1989)。センダンでもこれらの樹種と同様に、枝径 2 cm 未満が変色の発生を抑制する (枝打ちの効果を発揮する) 基準となると考えられる。また、ケヤキでは、枯枝を放置しておくとも自然落枝により、変色の発生率が枝打ちをした場合と比較して約 2 倍になるとされ (段林 1993, 1994), その大きな要因が入皮とされる (藤森ら 1984; 富田 1980)。センダンにおいて自然落枝後の入皮による変色が生じることはこれまで確認されていないが、仮に今回の調査で枝打ちしなかった場合、ケヤキと同様にセンダンでも入皮による変色

が生じた可能性がある。以上のことから、センダンの枝打ちは、生枝および枯枝ともに枝径が 2 cm に達する前に完了させることが重要だと考えられる。

2. 枝の形態と枝打ち時期

植栽密度試験地におけるセンダンの樹高は、植栽 1 年後で 3.3~3.5 m, 植栽 2 年後で 5.7~5.9 m に達した (横尾 2010)。センダンの 4 m の直材生産が目標であるならば、伐採高や余尺を考慮すると樹高が 4.5 m 以上必要であり、植栽 2 年後には樹高がそれ以上に達する。センダンの地上高 0.2~5.2 m の主幹に着生する生枝数と枯枝数を合わせた総枝数は 10 本前後であり (図-5), 枝の着生高には二つのピークがみられ、それぞれ植栽時および植栽 1 年後の樹高の分布域、すなわち梢端部付近であった (図-6, 7)。このような枝の着生をセンダンが示すのは、各年の成長初期に梢端部付近に枝が集中して発生し、同年中に伸長する幹には枝の発生が少ないためと考えられる。したがって、本試験地のように成長が良好な立地に植栽されたセンダンに対して枝打ちが必要となるのは、樹高が 4.5 m 以上となる植栽 2 年後で、その対象本数は 10 本程度である。

ところで、自生地における単木のセンダンの胸高直径は、約 20 年間成長量が持続する (横尾 2002)。しかしながら、今回の植栽密度試験地における胸高直径の成長量は、植栽 1 年後には高密度区ほど減少し、植栽 2 年後にはすべての

密度区で大幅に減少した（横尾 2010）。また、生枝数は植栽密度が低いほど多い傾向を示したが（図-5）、総枝数に占める枯枝数の割合は各密度区とも 85% 以上と高い割合を占めていた（図-7）。これらのことは、本植栽密度試験地では、枝の旺盛な成長により早くから林冠が閉鎖した結果、胸高直径の成長が鈍化するとともに、生枝が枯れ上がったことにより枯枝の割合が高くなったと推察される。すなわち、早期に林冠が閉鎖する密度でセンダンを植栽することにより、小さい枝径で枝の枯れ上がりを生じさせ、枝打ちの作業負担を低く抑えけるとともに、変色の発生を抑制することができると考えられる。

スギやヒノキでは、幹直径が大きくなるにつれて着生している枝径は頭打ちになる傾向が報告されているが（竹内 2002）、若齢のセンダンでは幹直径が大きっても生枝径は頭打ちにならず、直線的に大きくなる傾向を示した（図-9）。本植栽密度試験地の各密度区における植栽 2 年後の平均胸高直径は 4.7~6.4 cm であり、かつ 4 cm 以上の個体が多かったため（横尾 2010）、植栽 2 年後に 1 回目の枝打ちをすると胸高付近を中心に枝径 2 cm 以上の枝が多くなる可能性が高い。すなわち、センダンの生枝は幹の成長とともに太くなるので、枝打ち後に変色が生じない枝径が 2 cm までの時期、つまり幹直径が概ね 4 cm（図-9）に達するまでに枝打ちを完了させておくことが重要と考えられる。

各密度区とも総枝数に占める枝径 2 cm 以上の枝の割合は 19~26% であり、枝径 2 cm 以上の枝数は植栽密度が高い区のほうが少なかった（図-8）。このことから、植栽密度を高くすると枝の成長を抑制する効果があると考えられる。さらに、センダンでは、植栽密度が 5,000 本 ha⁻¹ 以上と高いほうが幹曲りを抑制する効果が高いことが明らかにされている（横尾 2010）。

以上のことから、成長が良好な適地に植栽することを前提として、長さ 4 m の変色が生じていない通直なセンダン材を生産する施業について整理すると、植栽密度は林冠が早期に閉鎖しかつ枝の成長および幹曲りを抑制することが期待される 5,000 本 ha⁻¹ 以上が望ましく、枝打ちは樹高が 4.5 m 以上となり枝径が 2 cm に達する前と考えられる概ね植栽後 2 年以内に実施する必要がある。ただし、枝打ちは、植栽 1 年後はすべての枝を対象として行い、植栽 2 年後の成長休止期に余尺ならびに作業コストを考慮して地上高 4.5 m までに着生する枝を対象に行うことが重要である。

V. お わ り に

近年、センダンの木材としての需要が高まっており、施業体系の整備が急務である。本論は、植栽密度とあわせて枝打ちの実施時期について議論した初めての報告となった。すなわち、樹高 100 cm 程度の苗木を 5,000 本 ha⁻¹ 以上で植栽し、その 2 年後までの成長休止期に 2 回枝打ちを実施すれば、変色が生じていない通直で長さ 4 m の材を生産できる可能性が高いことを提示した。しかしながら、センダンは枝の発生や成長が旺盛であり、通直な材を生産するには、芽かき等の作業も必要であることが明らかにされている（横尾 2004）。今後は、芽かきも含めた通直かつ無節材生産の

ための育林技術の確立およびその経費、それに伴う材の付加価値の向上について議論を深めたいと考えている。

謝 辞

本研究の調査には、元熊本県林業研究指導所の山口泰輔氏、橋本佳明氏に協力をいただきました。また、本論を執筆するにあたり森林総合研究所九州支所の金谷整一氏には有益なご助言をいただきました。森林総合研究所林木育種センター九州育種場の武津英太郎氏には統計解析について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。

引用文献

- 段林弘一（1993）ケヤキの枝打ちの方法と材の異常変色．兵庫県林業試験場研究報告 40: 29-32
- 段林弘一（1994）ケヤキ枝打ちの一方法—枝打ち記録と節解析の結果から—．林業技術 627: 12-15
- 藤森隆郎・伊沢浩一・金沢洋一・清野嘉之（1984）枝打ちに関する基礎的研究Ⅳ—枝打ちに伴う材の変色の発生要因—．林業試験場研究報告 328: 119-143
- 橋詰隼人（1988）多雪地帯におけるケヤキ造林木の生育と枝打ちについて．日本林学会大会発表論文集 99: 441-442
- 林 弥栄（1969）有用樹木図説．誠文堂新光社
- 兵藤 博（1979）枝打ち試験—枝打ちに伴う材の異常変色について—．広島県林業試験場研究報告 14: 43-60
- 家入龍二（1995）林木育種に関する研究．熊本県林業研究指導所業務報告 33: 11-13
- 家入龍二・福山宣高（1995）早成林業の技術開発に関する研究．熊本県林業研究指導所業務報告 33: 29-33
- 加納 孟・枝松信之・蕪木自輔（1959）製材用原木としてのスギ造林木の品質（第 1 報）釜淵産材の節．林業試験場研究報告 134: 49-113
- 加納 孟・枝松信之・蕪木自輔・斉藤久夫（1966）製材用原木としてのスギ造林木の品質（第 3 報）保育形式の異なる造林木の品質．林業試験場研究報告 185: 57-197
- 古閑清隆・大野和人・山下裕史（1989）早成林業の技術開発に関する研究．熊本県林業研究指導所業務報告 28: 14-16
- 小島 正（1996）育林施業体系化試験（Ⅰ）．群馬県林業試験場業務報告: 11-12
- 小谷二郎・片岡久雄・森吉 昭（2003）ケヤキの枝打ちによる枝の巻き込みと成長に与える影響．石川県林業試験場研究報告 34: 7-10
- 松村順司（2005）日本産早生樹の育成と材質．山林 1458: 20-26
- 宮地信男・那須精明（1978）スギ・ヒノキ造林木における異状変色材発生の実態調査．高知県林業試験場研究報告 52: 48-68
- 宮島淳二（1994）熊本県における広葉樹造林の手引き．啓文社
- 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/>
- 林野庁（2016）平成 27 年度版森林・林業白書
- 森林総合研究所四国支所（2012）広葉樹林化ハンドブック 2012—人工林を広葉樹林へと誘導するために—
- 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．森林総合研究所研究報告 382: 1-114
- 谷本丈夫・前田雄一・横井秀一・樋口洋一（1989）人工林内のブナ二次林の構造と成長経過．日本林学会大会発表論文集 100: 369-372
- 谷本丈夫（1990）広葉樹施業の生態学．創文
- 富田ひろし（1980）育林生産技術と変色材発生要因に関する研究．三重県林業技術センター業務報告 18: 5-31
- 横尾謙一郎（1996）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 35: 17-19
- 横尾謙一郎（1997）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 36: 17-20
- 横尾謙一郎（2002）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 38: 13-15
- 横尾謙一郎（2004）合理的・効率的育林技術の開発．熊本県林業研究指導所研究報告 31: 14-19
- 横尾謙一郎（2010）植栽密度が異なるセンダン幼齡林の成長と幹材の形状．森林立地 52(1): 29-35
- 吉野 豊・前田雅量（2000）広葉樹の枝打ち試験（Ⅱ）—数種の広葉樹の枝打ち方法別の癒合および材の変色状況の違い—．兵庫県立森林・林業技術センター研究報告 48: 1-4