センダン (*Melia azedarach*) の幹および根の組織構造に対する 顕微鏡観察の一例†

宮藤 久士* 堀田 燿介** 糟谷 信彦** 村田 功二***

Preliminary Microscopic Observation on the Trunk and Root of *Melia azedarach* by

Yosuke HOTTA*, Nobuhiko KASUYA*, Hisashi MIYAFUJI** and Koji MURATA***

Observations on the tissues in the trunk and root of *Melia azedarach* have been carried out by scanning electron microscope and optical microscope. Although the trunk of *M. azedarach* was found to be a ring porous wood, vessels were diffused in tissues of roots. Wood fiber and tracheid in trunk were much longer than those in root. However, ray parenchyma in trunk was much shorter than that in root. In the length of vessel element and narrow vessel element, significant difference were not found between trunk and root. Comparative study revealed that the length and width in vessel element of *M. azedarach* was equal to those of *Z. serrata*. The similarity in appearance of those two wood species is perhaps due to this similarity in the size of vessel element. As another characteristics of *M. azedarach*, two different contents in parenchyma cells were found. One is starch, and the other is assumed to be prismatic crystals of calcium oxalate.

Key words:

Wood, *Melia azedarach*, Tissues, SEM, Microscopic observation

1 緒 言

現在、わが国におけるスギやヒノキを中心とした林業では、伐期が長いこと保育経費の負担が大きくなることや、木材価格の下落等により、販売収入に対して育林経費が高くなり、持続的な林業経営が困難な状況にある¹⁾。このような現状から脱却し、林業を真に持続可能な産業とし、森林資源の循環利用を実現させるためには、既存の造林樹種だけに頼るのではなく、新たな造林樹種を開発することが一つの解決の糸口となる²⁾。そこで近年、成長の早い早生樹を植栽する早生樹林業が注目されている。早生樹林業は、収穫までに50年以上を要する現在のスギ、ヒノキを中心とした針葉樹林業に比べて、5年から20年と短期間で大径木が得られるという特徴を有している。

海外では、アカシアやユーカリなどの樹種を用いた早生樹林業が行われており、早生樹からの産物として従来は、紙（パルプ原木）と木炭（燃料材）が知られていたが主なものであったが、近年では無垢板、集成材、パーティクルボード、繊維板等の原料生産を目的とする植栽地も増加しつつあり、早生樹林業は増え続ける世界の木質資源需要に応え、大量の木質資源を供給しつつある³⁾。日本において早生樹林業を行うためには、外国産樹種を植栽するのではなく、日本の気候・風土に適した国産早生樹種から新規の造林樹種を開発し、次世代の木質資源を創出することが重要であると考えられる。様々な国産

早生樹のなかでもセンダンは、葉乾重量当たりの最大光合成速度が大きいこと成長が早く⁴⁾、また材価もスギ、ヒノキに比べ遜色がなく、ケヤキやキリの代替材として市場での地位が確立されていることから、短伐期で収入が得られるとして期待されている早生樹種の一つである^{2), 5)}。

センダンは環孔材で、年輪は明瞭でありその幅は広く、辺材と心材の区別は明らかで辺材はきわめて狭く黄白色、心材は帯紅淡黄褐色である。木理が明瞭で加工が容易なため装飾用や内部造作材などの建築材、家具材として用いられている^{6), 7)}。材の気乾比重は0.46~0.73の範囲で、通常0.55~0.65程度で、重さや硬さは木材の中で中位である。強度的性質も中位で、縦圧縮強さ435kg/cm²、縦引張強さ680 kg/cm²、曲げ強さ575 kg/cm²、曲げヤング係数 $7.6 \times 10^4 \cdot \text{kg/cm}^2$ と報告されている⁷⁾。また、センダンについては幼齢木の成長特性⁸⁾、枝打ち後の萌芽特性⁹⁾、組織培養^{10), 11)}、遺伝的変異¹²⁾、材成分¹³⁾に関する報告もある。さらに枝打ちによる樹形改善を行った熊本県内の17年生のセンダン3個体を対象に年輪幅、木部繊維長・道管要素長、ミクロフィブリル傾角、気乾比重、圧縮強さについても報告がされている¹⁴⁾。

しかし、センダンの組織構造に関しての報告は少なく、今後、センダンの利用促進のためには、様々な視点からの研究を行い、センダンに関する基礎データを蓄積して

† 原稿受理 平成29年10月2日 Received Oct.2,2017©2018 The Society of Materials Science, Japan

* 正 会 員 京都府立大学 大学院生命環境科学研究科 〒606-8522 京都市左京区下鴨半木町
Graduate School of Life and Environmental Sciences, Kyoto Prefectural University, Hangi-cho, Shimogamo, Sakyo-ku, Kyoto 606-8522.

** 京都府立大学 大学院生命環境科学研究科 〒606-8522 京都市左京区下鴨半木町
Graduate School of Life and Environmental Sciences, Kyoto Prefectural University, Hangi-cho, Shimogamo, Sakyo-ku, Kyoto 606-8522.

*** 正 会 員 京都大学 大学院農学研究科 〒606-8502 京都市左京区北白川追分町
Graduate School of Agriculture, Kyoto University, Kitashirakawa Oiwake-cho, Sakyo-ku, Kyoto 606-8502.

いくことが重要である。そこで、本研究では、光学顕微鏡や電子顕微鏡あるいはエネルギー分散型 X 線分析装置による分析により、センダンの幹および根の組織構造の差異や含まれている内容物を明らかにすることで、組織構造に関する基礎データを取得することを目的とした。

2 実験方法

2・1 試料

供試樹種として、センダン (*Melia azedarach*) を用いた。幹は福井県敦賀市松島町の気比ノ松原で 2015 年 7 月に採取された樹齢 20 年で、地上高 2.3m (直径 30cm) のものを用いた。根は福井県敦賀市金ヶ崎町で雪害により根返りしたものから採取したため、用いた試料の基部からの距離や樹齢は不明であるが、2015 年 2 月に採取された直根 (直径 5cm) を用いた。この幹からは、辺材部で 17~18 年輪目から小片 (約 10 (R) × 10 (T) × 10 (L) mm) を切り出し、根からも同様のサイズの小片を切り出し、試験片として実験に供した。

2・2 走査型電子顕微鏡 (SEM) 観察およびエネルギー分散型 X 線 (EDX) 分析

SEM 観察用サンプルとして、幹の辺材部と根の試験片から横断面、放射面、接線面それぞれをスライディングミクロトーム (大和光機工業) により面出しを行ったバルク切片を作製した。この切片を 105℃ で 24 時間乾燥させた後、SEM (日立ハイテクノロジーズ (株), TM3030 Plus Miniscope) を用いて、加速電圧 15kV で観察を行った。また、サンプル中の内容物について、SEM に装備されたエネルギー分散型 X 線 (EDX) 分析装置 (Burker AXS (株), QUANTAX70) を用いて分析を行った。

2・3 光学顕微鏡観察

光学顕微鏡観察用サンプルとして、幹と根の試験片からスライディングミクロトームを用いて 10 μm 厚の薄切片を作製した。この切片をスライドガラス上に設置し、蒸留水を滴下しカバーガラスをかけ、光学顕微鏡 (OLYMPUS (株), BH-2) で観察を行った。内容物を観察するため、偏光フィルタを用いて光学顕微鏡で観察を行った。また、ヨウ化カリウム (1g)、ヨウ素 (0.5g)、水 (50ml) のヨウ素ヨウ化カリウム水溶液を調製し、薄切片に滴下しヨウ素デンプン反応を行い、光学顕微鏡で観察を行った。

2・4 細胞測定

各細胞の大きさを調べるために幹と根のサンプルから棒状の試験片 (約 2 (R) × 2 (T) × 10 (L) mm) を切り出し、60% 硝酸 (50ml)、水 (50ml)、塩素酸カリウム (6g) を混合し調製した、シュルツ氏液に浸し室温で一晩置き、60℃ の湯浴で 20 分間加熱した。次に試験片を水洗し解繊を行った。その後、光学顕微鏡観察を行い、画像解析ソフト (Motic image plus 2.3s) を用いて木部繊維、道管要素、小道管要素、仮道管、放射柔細胞の細胞長を測定した。このとき木部繊維、放射柔細胞については 30 個、道管要素、小道管要素、仮道管については 20 個測定を行い、その平均値および標準偏差を算出した。

Fig. 1 SEM images of *Melia azedarach*.

Left:trunk Right:root Upper:transverse section
Middle:radial section Bottom:tangential section
V : vessel Xy : wood fiber
filled arrowhead: vessel in latewood open arrowhead: ray tissue
filled arrow: annual ring boundary

3 結果および考察

3・1 組織構造の顕微鏡観察

Fig. 1 に、三断面 (横断面、放射面、接線面) における幹 (a, c, e) と根 (b, d, f) の SEM 観察結果を示す。(a, b) は横断面から、(c, d) は放射面から、(e, f) は接線面から観察したものである。幹 (a) では年輪界に沿って直径が著しく大きい道管が数列配列しており、環孔材であることが観察された。また、その外側の小径の道管は、散在していることが確認できた。根 (b) では年輪界が不明瞭であり、幹と異なり道管の規則的な配置が確認できず、同程度の大きさの道管が散在していることが観察された。(c, d) では、道管、木部繊維、放射組織などが観察されたが、幹と根の間で特に大きな違いは見られなかった。(e, f) では、同程度の大きさの放射組織が均一に分布しており、分布の特徴から散在放射組織であることが観察された。

Fig. 2 に、横断面からの幹 (a) と根 (b) における木部繊維の SEM 観察結果を示す。The International Association of Wood Anatomists (IAWA, 国際木材解剖学者連合) の定義では、木部繊維の内腔径と隣接する 2 つの木部繊維の細胞壁の厚さとの関係から“木部繊維はきわめて薄壁”、“木部繊維は薄壁ないし厚壁”、“木部繊維はきわめて厚壁”の 3 段階に分類される。木部繊維の内腔径が隣接する 2 つの木部繊維の細胞壁の厚さの 3 倍以下で、かつ明らかに内腔が開いている場合、木部繊維

Fig. 2 SEM images of wood fiber.

Left: trunk Right: root

Fig. 3 SEM and light microscopy images of ray tissues.

Left: trunk Right: root

Upper: SEM images at tangential section

Bottom: light microscopy images at radial section

の壁厚は“薄壁ないし厚壁”に該当する¹⁵⁾。幹と根の両方において、センダンの木部繊維の内腔径は隣接する2つの木部繊維の細胞壁の3倍以下であることが観察されたことから、“木部繊維は薄壁ないし厚壁”に該当することが確認された。すなわち、センダンの木部繊維は極めて薄くもなく、厚くもないと言える。また、横断面における幹と根の木部繊維の構造は類似していることが観察された。

Fig.3 (a), (b) に、接線面からの幹 (a) と根 (b) における放射組織の SEM 観察結果を示す。幹では、放射組織の幅が細胞2列以上のものが観察された。このことから幹の放射組織は、多列放射組織であることが確認できた。また、根においては幹と同様に多列放射組織も確認できたが、放射組織の幅が細胞1列の単列放射組織も確認できた。また、Fig.3 (c), (d) には、放射面からの幹 (c) と根 (d) における放射組織の光学顕微鏡観察結果を示す。幹と根の両方で、個々の放射柔細胞が平伏細胞のみで構成されていることが観察され、同性放射組織型に分類されることが確認された。

(c) と根 (d) における放射組織の光学顕微鏡観察結果を示す。幹と根の両方で、個々の放射柔細胞が平伏細胞のみで構成されていることが観察され、同性放射組織型に分類されることが確認された。

3・2 細胞測定

Table 1 に、幹と根における木部繊維、道管要素、小道管要素、仮道管、放射柔細胞の細胞長と幅の測定結果について、平均値±標準偏差として示している。センダンの幹の木部繊維長は $980.9\mu\text{m}$ であり、IAWA の細胞長に関する定義¹⁵⁾では、 $900\sim 1600\mu\text{m}$ の範囲に分類された。ま

Table 1 Length and width of various tissues in trunk and root.

		Trunk (μm)	Root (μm)
Wood fiber	length	980.9 ± 86.5	847.5 ± 89.5
	width	24.6 ± 4.7	27.2 ± 4.6
Vessel element	length	211.1 ± 85.5	256.1 ± 67.2
	width	359.0 ± 57.9	232.6 ± 57.2
Narrow vessel element	length	331.1 ± 104.9	354.9 ± 46.0
	width	53.4 ± 14.5	51.4 ± 9.4
Tracheid	length	443.4 ± 113.4	343.6 ± 51.7
	width	30.4 ± 10.6	35.4 ± 6.1
Ray parenchyma	length	77.2 ± 21.1	110.6 ± 21.1
	width	26.9 ± 6.0	30.4 ± 6.1

た道管長は $211.1\mu\text{m}$ であり、IAWA の定義¹⁵⁾では $350\mu\text{m}$ 以下の範囲に分類され、幅は $359\mu\text{m}$ であり、 $200\mu\text{m}$ 以上の範囲に分類された。一方、根では幹と比較して木部繊維長と仮道管長が $100\mu\text{m}$ 程度短く、木部繊維は $900\mu\text{m}$ 以下の範囲に分類された。また道管幅が幹に比べ $100\mu\text{m}$ 以上短いが、同じ分類に入ることが分かった。幹と根の道管要素では、長さ、幅ともに大きく寸法が異なっており、幹の道管要素の方が根に比べて、太くて短くなっている。また、仮道管と放射柔細胞も幹と根では長さが大きく異なっており、仮道管では幹の方が長く、放射柔組織では根の方が長い。このような差異が生じている原因は水分の通導や、樹体の支持などに関連しているのではないかと推測されるが、現在のところ原因は明らかでない。

日本産の主要広葉樹の幹の木部繊維長は $400\sim 2500\mu\text{m}$ であり¹⁶⁾、センダンもこの範囲内の寸法であった。センダンは、家具、建具、建築用材として古くから用いられているケヤキと木目がよく似ていることから、ケヤキの代替材として期待されている。ケヤキの木部繊維長は $800\sim 2000\mu\text{m}$ と報告されており¹⁶⁾、ほぼセンダンはケヤキと同程度の繊維長であることが分かった。また幅については、ケヤキでは $10\sim 20\mu\text{m}$ ¹⁶⁾であるのに対し、センダンは $24.6\mu\text{m}$ であり若干大きいことが分かった。日本産の主要広葉樹の幹における道管要素の長さは、 $100\mu\text{m}$ 以下のものから $1800\mu\text{m}$ 程度のものまで多様であるが¹⁷⁾、センダンは $211\mu\text{m}$ で、短い樹種であると言える。ケヤキでは長さが $150\sim 200\mu\text{m}$ であり、センダンとほぼ同等の長さであった。幅については、ケヤキでは $100\sim 250\mu\text{m}$ と報告されているが、センダンでは $359\mu\text{m}$ であり、センダンの方が幅は広がった。木材の各組織の寸法は、木材の見た目を印象付ける要因の1つである。ケヤキとセンダンにおいて、木部繊維ではほぼ同等の長さおよび幅であったり、道管要素で長さが同程度であるなどの組織寸法におけるある程度の類似性は、この2樹種の見た目が似ていることの一因であると考えられる。

3・3 内容物の顕微鏡観察

Fig. 4 に、横断面からの幹 (a) と根 (b) における内容

Fig. 4 SEM images of the contents in the cross section.

Left: trunk Right: root

Fig. 5 Light microscopy (left) and polarizing microscopy (right) images of the contents.

Upper: trunk Bottom: root

filled arrowhead: particulates open arrowhead: rectangular solids

Fig. 6 Light microscopy images of the contents before and after iodine-starch reaction.

Upper: trunk Bottom: root

Left: before iodine-starch reaction

Right: after iodine-starch reaction

filled arrow: particulates

Fig. 7 SEM-EDX analyses on the contents.

Left: trunk Right: root

Upper: SEM images Bottom: EDX spectra

物の SEM 観察結果を示す。幹と根の両方に直方体状と粒状の形状の異なる内容物が観察された。Fig. 5 に、横断面の内容物について、明視野での光学顕微鏡観察 (a, c) とクロスニコル下での光学顕微鏡観察 (b, d) 結果を示す。(a, b) は幹, (c, d) は根の観察を行ったものである。(a) と (b), (c) と (d) を比較すると、白抜き矢尻で示す直方体状の内容物では複屈折を示したため、結晶であることが確認された。また黒抜き矢尻で示す粒状の内容物は複屈折を示さなかった。そこで、複屈折を示さなかった粒状の内容物がデンプンであるか確認するため、ヨウ素デンプン反応を行った。Fig. 6 に、横断面においてヨウ素ヨウ化カリウム溶液を滴下する前 (a, c) と滴下した後 (b, d) の光学顕微鏡観察の結果を示す。(a, b) は幹, (c, d) は根の観察を行ったものである。(a) と (b), (c) と (d) を比較すると、黒抜き矢印で示す粒状の内容物が染色されており、デンプンであることが確認された。

Fig. 7 に、放射面からの幹 (a) と根 (b) における異形細胞の SEM 観察結果を示す。幹と根両方において、隔壁によって分けられた細胞内の小室に直方体状の内容物を含むことから、多室結晶細胞と思われる異形細胞が観察された。また、同視野において、結晶 (A), (C) と細胞壁 (B), (D) の EDX 分析により得られたスペクトルを (c), (d) に示している。幹と根の細胞壁 (B), (D) では C (炭素) と O (酸素) が検出されたが、結晶 (A), (C) では、C, O に加えて Ca (カルシウム) が検出され、Ca, O のピークが細胞壁での分析結果と比較して、大きいことが確認された。これらの結果から、この結晶は Ca と酸素を含む化合物であると考えられる。既往の報告から、広葉樹の様々な樹種において、木部柔細胞中には形状の異なるシュウ酸カルシウムが存在することが明らかとなっている¹⁸⁾。したがって、センダンでも Fig. 7 で見られた直方体状の内容物はシュウ酸カルシウムである可能性が高い。また、形状から推測すると、シュウ酸カルシウムの菱形結晶であると考えられる。

4 結 言

センダンの幹と根における組織構造について、SEM および光学顕微鏡による形態観察を行った。また、EDX を用いて内容物の元素分析を行った。その結果、以下のことが明らかになった。

横断面において幹では道管が年輪界に沿って並んでいる環孔材であるが、根では道管が散在していることが分かった。また幹と根の両方について接線面では放射組織が散在している散在放射組織に分類されることが、放射面では放射組織の構成細胞がすべて平伏細胞のみで構成されている同性放射組織型に分類されることが分かった。また、内容物としてシュウ酸カルシウムと思われる結晶とデンプンの存在が確認できた。

本研究は、センダンの 1 個体を対象とした予備的な検討であり、今後さらに試料数を増やして検討を行うことで、組織構造に対する知見をより深めていく必要があると考えられる。

試料提供に関して、近畿中国森林管理局の職員の方ならびに長野県の森林組合の方にご助力頂きました。厚く御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) "Annual report on trends in forests and forestry fiscal year 2015", Forestry Agency, p.92 (2015).
- 2) J. Matsumura, "Growth and quality of domestic fast-growing tree", SANRIN, No. 1458, pp.20-26 (2005).
- 3) M. Iwasaki, S. Saka, T. Fujima, T. Hayashi, J. Matsumura and K. Murata, "Fast-growing tree-industrial plantation and its utilization-", Kaiseisha, p.7 (2012).
- 4) M. Takagi, K. Gyokusen, R. Ieiri and A. Saito, "Relationship between growth and gas exchange rate in hardwood", Kyushu Journal of Forest Research, No.47, pp.119-120 (1994).
- 5) "Methods for growing *Melia azedarach*. revised version", Kumamoto Forestry Research and Instruction center, (2015). http://www.pref.kumamoto.jp/kiji_13016.html
- 6) Y. Hayahi, "A illustrated book of useful wood", Seibundoshinkosha, p.330 (1969).
- 7) S. Hirai, "A large encyclopedia of wood", Asakura shoten, pp.382-385 (1996).
- 8) N. Fukuyama, "Growth of immature artificial forest of *Melia azedarach*", Kyushu Journal of Forest Research, No.49, pp.83-84 (1996).
- 9) R. Ieiri and K. Gyokusen, "Germination property of hardwood", Kyushu Journal of Forest Research, No.47, pp.77-78 (1994).
- 10) R. Ieiri and K. Gyokusen, "Regeneration of immature plant from *Melia azedarach* by tissue culture", Kyushu Journal of Forest Research, No.48 pp.59-60 (1995).
- 11) T. Hosaka, K. Gyokusen and A. Saito, "Breeding of selected elite tree of *Melia azedarach* by tissue culture", Kyushu Journal of Forest Research, No.51, pp.45-46 (1998).
- 12) R. Ieiri, "Genetic variation during seedling raising of *Melia azedarach*", Kyushu Journal of Forest Research, No.51, pp.37-38 (1998).
- 13) I. Mori, "Study on components in *Melia azedarach* Linn.", Bulletin of Art & Science Division, University of the Ryukyus. Mathematics and sciences, No.10, pp.23-27 (1967).
- 14) J. Matsumura, M. Inoue, K. Yokoo and K. Oda, "Cultivation and utilization of Japanese fast growing trees with high capability of carbon stock I. Potential of *Melia azedarach*", Mokuzai Gakkaishi, Vol.52, No.2, pp.77-82 (2006).
- 15) "IAWA list of microscopic features for hardwood identification", translated by T. Ito, T. Fujii, H. Saiki, Kaiseisha Press, pp.36-37 (1998).
- 16) "Anatomy of wood", edited by the Japan Wood Society, Buneido Press, p.70 (2011).
- 17) "Anatomy of wood", edited by the Japan Wood Society, Buneido Press, p.63 (2011).
- 18) "Anatomy of wood", edited by the Japan Wood Society, Buneido Press, p.87 (2011).