

(原著論文)

ポット栽培のスギ若齢個体における応力波伝播速度の評価

宮下智人*・畑 尚子・奈良雅代・中村健一

東京都農林総合研究センター

摘 要

スギのヤング率は遺伝率が高く、育種による改良効果大きい。また、応力波伝播速度 (V_p) はヤング率と高い相関があり、スギの立木では10年生の小径木でもヤング率の推定に使用できる。10年生より若齢のポット栽培の個体においても V_p を材質指標として利用できれば、長期を要するスギ育種の効率化において有用と考えられる。この利用可能性を検証するため、雄性不稔スギの育種素材である実生個体集団について、ポット栽培の2～8成長期の V_p および根元径を継年的に調査し、成長期間および親子間のデータの関係性を評価した。その結果、 V_p 、根元径ともに、各集団内で比較的若齢の3～5成長期と最も高齢の6～8成長期の間で高い正の相関が認められた。また親の V_p またはヤング率の相対的評価値の高低と後代の V_p の高低には概ね一致がみられた。これらのことから、ポット栽培個体の3～5成長期の段階で測定された V_p 値は、集団内の6～8成長期での高低および親個体の遺伝的特性を反映していることが示唆された。本調査で得た V_p 値が壮齢時のヤング率をどの程度反映しているのかは不明である。今後、若齢のポット栽培個体の V_p が材質指標として利用可能か明らかにするためには、ポット栽培の個体と10年生以上の立木の個体で相関を評価するなどの検証が必要である。

キーワード：スギ花粉症，ヤング率，材質，育種，根元径

簡略表題 ポット栽培のスギ若齢個体の応力波伝播速度

東京都農林総合研究センター研究報告 19 : 31-39, 2024

* 著者連絡先：宮下智人 Email : c-miyashita@tdfaff.com

緒言

スギの育種は少なくとも10数年以上の長期を要し、山の植栽地の面積も広大であるため、その間の栽培管理や成長・材質特性の調査にかかるコストや労力が大きい。このため、育種年限の短縮化や栽培・調査の効率化を可能とする技術を確認することは、時代のニーズに適合した新品種を迅速に育成する上で重要である。スギでは近年、優良な材質や成長性に加えて、花粉症対策にも有効な品種の育成が求められている。材質に関しては、スギは海外の競合する他樹種に比べてヤング率が小さいなどの課題があり、改良を図ることが必要である(池田ら, 2011)。スギのヤング率は他の材質や成長に関する形質と比べて遺伝率が高く、育種による改良効果が大きい(藤澤, 1998)。また、非破壊的に測定できる応力波伝播速度(以下、 V_p)は、丸太の動的ヤング率と高い相関があり、スギの立木では10年生の小径木でも強度の推定に使用できる(宮下ら, 2009)。一方、10年生未満については、池田ら(2011)が若齢期(4, 10年生)と30年生以上の挿し木系統について応力波伝播法により立木ヤング率を測定し、両者の値に有意な相関関係を認めている。また池田ら(2022)は、2~10年生時のスギ挿し木苗で測定した立木 V_p について、各計測年次間における回帰で決定係数が高く、系統間差が継続して発現していること、6~10年生時に測定した丸太のヤング率との回帰式の決定係数も高かったことから、立木 V_p は若齢期におけるヤング率の評価法としても有効と考えた。このように、 V_p により10年生未満の若齢期でも強度推定が可能になれば、育種の迅速化や効率化において有用と考えられる。

また、育種においてポット栽培は一般に、生育の促進、世代更新の期間短縮、省スペース化、栽培条件の斉一化などの効果があり、これを林木の育種にも適用できれば効率化が期待できる。クロマツではマツノザイセンチュウ抵抗性品種の育成において、ポット栽培での選抜手法が確立されている(宮下・渡部, 2015)。スギでは花粉症対策品種の育種において、ポット苗の段階で雄性稔性を評価する手法が確立され、早期選抜が可能となっている(本間ら, 2006)。またスギでは、育苗のためのコンテナ栽培(藤井, 2016)や採種を目的とした根域制限栽培(猿田ら, 2019)などの報告もある。材質についても、

ポット栽培下で V_p により一定の評価ができれば、育種年限の短縮化や栽培の効率化を図れる可能性があるが、スギのポット栽培における V_p の調査事例はみられない。スギのポット栽培個体の V_p が材質指標として利用可能か検証するためには、 V_p のデータに個体間差があり、その差が経年で安定的であるか、また親子間の V_p に相関があるか、そしてポット栽培のデータと10年生以上の立木のデータの間に関連があるかを明らかにすることが必要である。

そこで本研究では、この検証に必要なデータを得るため、雄性不稔品種育成の育種素材として維持している若齢のポット栽培の実生個体集団を用いて、経年的に V_p を測定した。併せて成長量の指標として根元径を調査し、これらのデータについて年次間や親子間での関係性を評価した。

材料および方法

1. 供試材料および耕種概要

雄性不稔スギの育種素材として2007~2010年に交配、作出した実生個体のうち(宮下ら, 2014)、遺伝資源としてポット栽培で維持している3つの個体集団を供試した(表1)。これらはいずれも雄性不稔遺伝子 *ms-1* (以下、*a* と記す) に由来する不稔品種 (*aa*) を育成するための育種素材であり、遺伝子型は *aa* (不稔), *Aa* (可稔), *AA* (可稔) のいずれかである。

集団1は、富山県の不稔個体 (*aa*) と東京都精英樹 (*AA*) とを2007年に交配して作出されたヘテロ型 (*Aa*) の31個体である。集団2は、ヘテロ型品種 (*Aa*) の「大井7号」(静岡県) および「中4号」(神奈川県) を2008年に正逆交配して作出され、その中から選抜された不稔 (*aa*) の60個体である。集団3は、集団1の個体と「大井7号」または「中4号」とを2010年に交配して作出された不稔 (*aa*) または可稔 (*AA*, *Aa*) の105個体である。

栽培は東京都立川市の露地圃場で行った。発芽個体を直径6 cm、次いで9 cmのポリポットで2年間育苗し、発芽から3年目の4月に直径30 cmのポットに定植した。ポットの用土はピートモス、鹿沼土、赤土、堆肥を等量とし、元肥として緩効性肥料マイクロングトータル280-100 (12-8-10) 5 g/Lを混合して用いた。追肥には緩効性肥料IB化成S1号 (10-10-10) を用い、毎年4月に20g/ポットを施用した。なお本論文では、ポットに定植した年を1成

表1 供試した実生個体集団

集団	交配年	個体数	稔性 ^a	交配組合せ ^b		個体数 内訳
				♀ (交配組合せ)	♂	
1	2007	31	可稔 (<i>Aa</i>)	219	西多摩13号	1
				308MS	西多摩24号	4
				308MS	南多摩2号	1
				308MS	南多摩5号	12
				MS212	西多摩21号	13
2	2008	60	不稔 (<i>aa</i>)	大井7号	中4号	56
				中4号	大井7号	4
3	2010	105	不稔 (<i>aa</i>) または 可稔 (<i>AA, Aa</i>)	71 (308MS×南多摩5号)	中4号	1
				73 (308MS×西多摩24号)	中4号	1
				75 (308MS×南多摩5号)	大井7号	22
				77 (219×西多摩13号)	大井7号	1
				77 (219×西多摩13号)	中4号	1
				81 (308MS×南多摩5号)	中4号	1
				83 (308MS×西多摩24号)	大井7号	1
				86 (MS212×西多摩21号)	大井7号	1
				88 (MS212×西多摩21号)	大井7号	1
				90 (MS212×西多摩21号)	大井7号	1
				92 (MS212×西多摩21号)	大井7号	10
				97 (MS212×西多摩21号)	中4号	15
				105 (308MS×南多摩5号)	中4号	12
				107 (308MS×南多摩5号)	大井7号	2
				109 (308MS×南多摩5号)	中4号	3
				110 (MS212×西多摩21号)	大井7号	4
				114 (MS212×西多摩21号)	中4号	1
				115 (MS212×西多摩21号)	中4号	1
				116 (308MS×西多摩24号)	中4号	1
				123 (308MS×西多摩24号)	中4号	10
130 (MS212×西多摩21号)	大井7号	7				
135 (308MS×南多摩5号)	大井7号	1				
135 (308MS×南多摩5号)	中4号	1				
143 (MS212×西多摩21号)	中4号	4				
144 (308MS×西多摩24号)	大井7号	1				
155 (MS212×西多摩21号)	大井7号	1				

a) 雄性不稔の遺伝子(*ms-1*)を*a*, 可稔性の遺伝子を*A*で示す。

b) 「219, 308MS, MS212」は富山県の不稔個体(*aa*)。「中4号」(神奈川県), 「大井7号」(静岡県)はヘテロ型品種(*Aa*)。「71」～「155」は集団1のヘテロ型個体(*Aa*)。

長期と呼称する。2成長期からは幹を支柱で固定し、維持管理の都合上、概ね3成長期までには地際から140cmの高さで断幹処理を行った。

2. 応力波伝播速度および根元径の測定

2014年の9月および2015～2018年の11～12月に、応力波伝播速度(*V_p*)および根元径を年1回測定した。集団1では5～8成長期, 集団2では4～8成長期, 集団3では2～6成長期のデータを取っ

た。Vp は応力波測定装置 FAKOPP (FAKOPP 社製) を用い、支柱に固定したままの状態 で測定した。FAKOPP の STOP センサーは地際から20cm の高さ に約45度の角度で取付け、区間長を2～3 成長期では50cm、4～8 成長期では90cm として各々70cm、110cm の高さ に START センサーを同角度で取付けた。1 個体あたり向かって左側・右側で各3 回測定し、測定値平均から Vp (km/s) を算出した。なお、上述の FAKOPP の測定条件 (2 成長期以降に調査開始、地際からの高さ、区間長、支柱固定) については、事前の予備試験として年2 回、種々の条件下で測定を実施し、概ね安定的に FAKOPP 値が得られる条件を検討した上で設定した。次に、根元径については、地際から5 cm の高さ で最も太い径をノギスで測定した。なお、成長量の指標としては一般に胸高直径や樹高が用いられるが、本研究では調査対象が主として断幹した個体でこれらの調査には適合しないため、根元径を調査することとした。

Vp および根元径について、各集団内の個体間差の経年での安定性を評価するため、本調査期間中の最高齢 (6 または8 成長期) のデータとそれよりも若齢の成長期のデータ間で相関分析を行った。また親と子の両データが揃った集団1、3 については、Vp および根元径について遺伝的要因の影響を評価するため、集団内の個体を花粉親または種子親別に系統化し、10 個体以上ある系統を対象にして統計分

析を行った。集団3 では、親とその後代系統の間で相関分析を行った。また集団1、3 では、後代系統間で値を比較するために t 検定を行った。

結 果

いずれの集団も4～5 年 (2014～2018年) の調査期間中に順調に成長が進み、根元径の平均値は経時的に増加した (表2)。各集団の根元径の変動係数 (CV) はいずれも11～15% の範囲であった。Vp の平均値は、集団3 の2 成長期が1.85km/s とやや遅いのを除けば、3 集団の各成長期のいずれも概ね1.9～2.1km/s の範囲の値であった。Vp の平均値を成長期間で比較すると、集団2 では4 成長期の1.98km/s から8 成長期には2.07km/s となるなど、いずれの集団もやや早くなる傾向はみられたが、その程度は極めて小さかった。各集団の Vp の CV は5～7% であった。

集団1、2 では8 成長期、集団3 では6 成長期とそれ以前の成長期の間で、Vp および根元径のデータの相関を評価した (表3)。Vp の相関係数は、集団3 の2 成長期-6 成長期の間では0.5546 と小さかったが、それ以外ではいずれの集団の成長期間においても0.7071～0.9166 と大きく、高い正の相関が認められた。根元径も Vp と同様の傾向であり、集団3 の2 成長期-6 成長期の間では相関係数が

表2 応力波伝播速度および根元径の推移

集団	個体数	成長期	応力波伝播速度 (km/s)				根元径 (mm)				
			平均	最大	最小	CV (%)	平均	最大	最小	CV (%)	
1	31	5	1.89	2.07	1.64	6	39	52	27	15	
		6	1.94	2.14	1.69	6	40	52	28	14	
		7	1.90	2.10	1.67	7	42	56	29	15	
		8	1.94	2.21	1.70	7	43	56	30	15	
2	60	4	1.98	2.22	1.71	5	37	49	23	14	
		5	2.08	2.38	1.76	7	40	53	28	12	
		6	2.03	2.29	1.78	6	42	53	31	11	
		7	2.04	2.30	1.80	6	43	55	31	11	
3	105	8	2.07	2.36	1.84	6	46	70	34	12	
		2	1.85	2.13	1.50	6	23	32	15	14	
		3	2.01	2.28	1.70	6	32	49	22	14	
		4	2.00	2.34	1.71	6	36	54	26	13	
			5	2.03	2.38	1.74	6	37	54	27	12
			6	2.04	2.31	1.79	6	41	55	30	11

0.4936と著しく小さかったが、それ以外ではいずれの集団の成長期間においても0.7718~0.9725と大きく、高い正の相関が認められた。集団2について、4成長期と8成長期のデータで得られた一次回帰式をみると(図1)、Vpと根元径のどちらにおいても決定係数は0.5以上と高い値が得られた。すなわち、

いずれの集団においても、Vpおよび根元径の個体間差はその集団内で比較的若齢の3~5成長期から最も高齢の6~8成長期まで経年的に安定して維持されていた。

次に、親子間および後代系統間でデータの関係性を評価した。集団1の個体を花粉親品種別に系統化

表3 応力波伝播速度および根元径における成長期間の相関係数

集団	個体数	成長期	相関係数	
			応力波伝播速度	根元径
1	31	5-8	0.8615 **	0.9282 **
		6-8	0.9007 **	0.9417 **
		7-8	0.9166 **	0.9725 **
2	60	4-8	0.7215 **	0.7718 **
		5-8	0.7782 **	0.8437 **
		6-8	0.8322 **	0.8575 **
3	105	7-8	0.8813 **	0.8913 **
		2-6	0.5546 **	0.4936 **
		3-6	0.7071 **	0.8271 **
		4-6	0.7729 **	0.8637 **
		5-6	0.8096 **	0.8893 **

** p<0.01

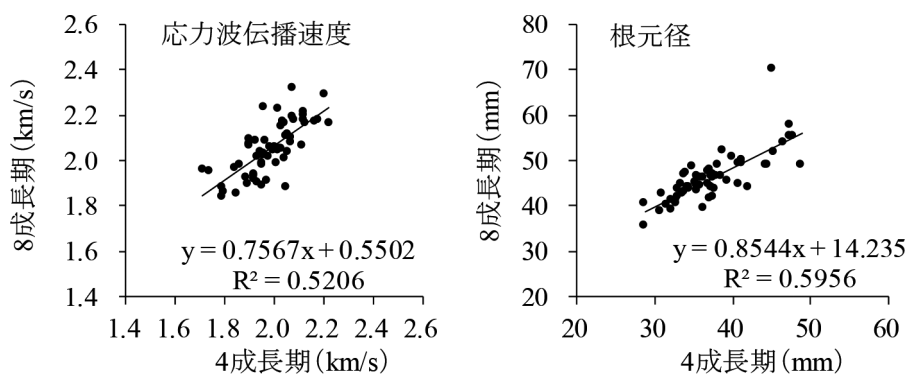


図1 4成長期-8成長期間での応力波伝播速度および根元径の関係(集団2) R²は決定係数。

表4 花粉親品種のヤング率と後代系統の応力波伝播速度および根元径(集団1)

花粉親		後代系統(集団1の個体)		
品種	ヤング率 ^a	個体数	応力波伝播速度(km/s) ^b	根元径(mm) ^b
西多摩21号	4	13	1.99 **	41 ns
南多摩5号	3	12	1.85	45

a) 5段階(1~5)の相対評価値(林木育種センター, 2014)

b) 8成長期の値。t検定の結果, **は1%水準で有意差あり, nsは有意差無し

し、10個体以上ある2つの系統（「西多摩21号」および「南多摩5号」の後代系統）について、8成長期のデータを比較した（表4）。t検定を行った結果、「西多摩21号」後代系統のV_p（平均1.99km/s）は「南多摩5号」後代系統（同1.85km/s）より有意に速かった。一方、関東育種基本区スギ精英樹特性表（林木育種センター，2014）に基づく花粉親品種のヤング率の相対評価値は、「西多摩21号」が4、「南多摩5号」が3であり、花粉親品種のヤング率の高低と後代系統のV_pの高低は一致した。

また、集団3の個体を種子親個体別に系統化し、親子間でV_pおよび根元径の関係性を評価した。個体No.75, 92, 97, 105, 123を種子親とする後代系統が各々10個体以上の条件を満たしたため（表1）、この5系統を評価対象とした。種子親（集団1の個体）では8成長期の値、後代系統では6成長期の平均値を用いた（図2）。その結果、根元径では無相関であったが、V_pでは親子間に有意な正の相関が認められた。次いで、集団3の全個体を花粉親品種別に系統化し、2つの系統（「大井7号」後代系統53個体、「中4号」後代系統52個体）について6成長期でのデータを比較した（表5）。その結果、花

粉親品種のヤング率の相対評価値は異なるが、後代2系統のV_pには有意な差は認められなかった。また、根元径についても2系統間で有意差は無かった。

考察

若齢のポット栽培個体のV_pが材質指標として利用可能かの検証に必要なデータを得るため、本研究ではポット栽培の3つの実生個体集団についてV_pの経時調査を行った。その結果、(1)各集団内でV_p値には個体間差があり、その差は各集団内で比較的若齢の3～5成長期から最も高齢の6～8成長期まで経年的に安定して維持されていること、(2)親のV_pまたはヤング率の相対評価値の高低と後代系統のV_pの高低には概ね一致がみられることが明らかとなった。これらのことから、ポット栽培の3～5成長期の若齢段階で測定されたV_p値は、6～8成長期での集団内のV_pの高低および親個体の遺伝的特性を反映していることが示唆された。

なお、集団3の花粉親品種については、そのヤング率の高低と後代系統のV_pの高低が一致しなかつ

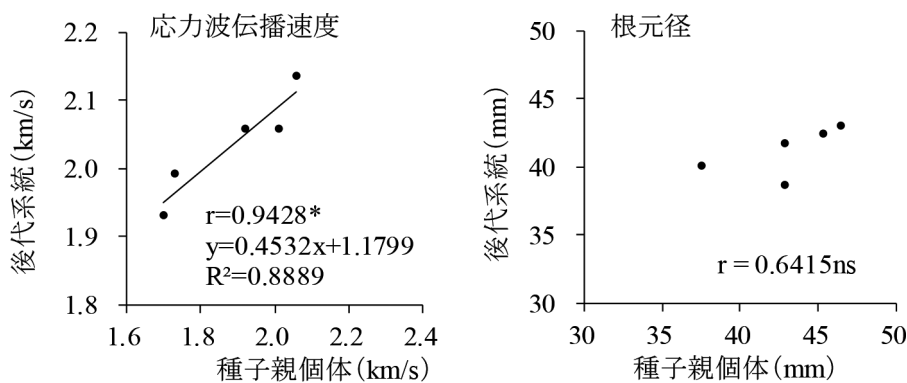


図2 種子親と後代系統間での応力波伝播速度および根元径の関係（集団3）
 集団3の個体を種子親別に系統化し、10個体以上ある5系統について、種子親の8成長期の測定値と後代系統の6成長期の平均値との関係を示した。
 rは相関係数（**p* < 0.05）、R²は決定係数。

表5 花粉親品種のヤング率と後代系統の応力波伝播速度および根元径（集団3）

花粉親		後代系統(集団3の個体)		
品種	ヤング率 ^a	個体数	応力波伝播速度 (km/s) ^b	根元径 (mm) ^b
大井7号	3	53	2.04 ns	42 ns
中4号	2	52	2.05	41

a) 5段階(1～5)の相対評価値(林木育種センター，2014)
 b) 6成長期の値。t検定の結果、nsは有意差なし。

た。ヤング率は様々な要因が複合的に関与している形質であり、晩材仮道管 S_2 層のマイクロフィブリル傾角と容積密度が大きく影響するとされる(井城, 2014)。集団3の花粉親2品種のヤング率については、若齢のポット栽培で計測される V_p とは相関の低い要因が強く影響していることが、親子間の傾向の不一致の一因として考えられる。

また、根元径については、 V_p と同じく、各集団の3~5成長期と6~8成長期の間で高い正の相関が示された。しかし、根元径では親と後代系統間で相関がなく、後代系統間の有意差も認められなかった。スギの立木の肥大成長性については、胸高直径はヤング率に比べて遺伝率が低いとの報告があることから(藤澤, 1998)、根元径もまた同様の傾向であるかもしれない。しかし、若齢のポット栽培という本試験の特殊性も踏まえると、ポットでの根元径が成木での成長性や遺伝的特性をどの程度反映しているのかについてはさらに検証が必要と考えられる。

本研究では、ポット栽培の3~5成長期の若齢段階で測定された V_p 値が、6~8成長期での集団内の V_p の高低および親の遺伝的特性を反映していることが示唆された。しかし、測定された V_p 値がその個体の壮齢時のヤング率をどの程度反映しているのかは不明である。池田ら(2022)は、2~10年生のスギで立木 V_p を測定し、その平均値が1年あたり約0.1~0.2km/s 速くなったと報告している。一方、本研究の各集団の平均 V_p は成長期を増すごとに早くなる傾向はみられるものの、年次間差は概ね0.09km/s 以下と著しく小さかった(表2)。また池田ら(2011)は、見本林と採穂園の挿し木系統について立木ヤング率を比較し、後者の値が小さかったことについて、幹頂部を断幹処理したため生長形質とも関連して劣ったと推測している。スギの立木とポット栽培個体、また断幹処理した個体と無処理の個体とでは、 V_p や材質に関わる成長特性において違いが生じる可能性があり、これらの点についてさらなる検討が必要と考えられる。

若齢のポット栽培個体の V_p が材質指標として利用可能か明らかにするためには今後、クローンを用いて、ポット栽培の個体と10年生以上の立木の個体間でデータの相関を評価するなどの調査が必要である。このような検証の結果、将来的に若齢のポット栽培の条件下で V_p に基づいた優良個体の選抜や不良個体の足切りが可能になれば、花粉症対策や気候

変動対策、病害虫抵抗性など多様なニーズに応える有望な育種素材を迅速かつ効率的に育成する上で、有用な育種技術の一つに成りうると思われる。

謝 辞

本研究の実施および原稿の作成にあたり、静岡県森林・林業研究センター 袴田哲司博士、富山県農林水産総合技術センター森林研究所 斎藤真己博士、神奈川県自然環境保全センター 主任研究員 齋藤央嗣氏、ならびに当所の緑化森林科 主任研究員 新一司氏にご協力をいただき厚く御礼を申し上げます。また、植物材料の栽培管理面でご尽力いただいた当所の園芸技術科、緑化森林科の職員各位に深く御礼を申し上げます。

引用文献

- 猿田けい・山田晋也・山本茂弘・山口 亮・石川佳寛・大平峰子・平岡裕一郎・山野邊太郎・高橋誠(2019) ビニルハウスを用いたスギ種子生産方法の検討. 第130回日本森林学会大会: 594.
- 藤井 栄(2016) 実生スギコンテナ苗生産期間短縮の試み. 徳島農技セ研報3: 15-20.
- 藤澤義武(1998) 高度木材利用に適合する品質管理型木材生産への林木育種的対応に関する研究. 林育研報15: 31-107.
- 本間莉恵・吉井エリ・平 英彰(2006) スギ雄性不稔の検定期間の短縮. 日本森林学会誌88: 30-32.
- 池田潔彦・山本茂弘・袴田哲司・山田晋也(2011) 静岡県産スギ精英樹挿し木系統の動的ヤング率. 静岡農林技術研報4: 79-86.
- 池田潔彦・山本茂弘・袴田哲司・山田晋也(2022) スギ挿し木苗の植栽後2~10年時における立木応力波伝播速度及びヤング率の年次変動 静岡県産スギ精英樹交配家系等について. 木材学会誌68: 66-76.
- 井城泰一(2014) 材質形質育種の可能性. 森林遺伝育種3: 164-166.
- 宮下千枝子・澁澤直恵・西澤敦彦・中村健一・奈良雅代(2014) 東京都における雄性不稔スギの育種研究(2007~2010年交配). 東京農総研報9: 23-30.
- 宮下久哉・織田春紀・半田孝俊(2009) 若齢時におけるスギクローンの材質評価. 木材学会誌55:

136-145.

宮下智弘・渡部公一 (2015) 山形県におけるマツノ
ザイセンチュウ抵抗性クロマツの選抜手法の改
良. 日本森林学会誌 97 : 243-250.

林木育種センター (2014) 関東育種基本区スギ精英
樹特性表. [https://www.ffpri.affrc.go.jp/ftbc/business/
sinhjnnsyu/documents/tokuseihyo-sugi.pdf](https://www.ffpri.affrc.go.jp/ftbc/business/sinhjnnsyu/documents/tokuseihyo-sugi.pdf) (2023年
9月15日確認)

Evaluation of stress wave propagation velocity in young Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*) pot-grown seedlings

Chieto Miyashita* , Shoko Hata, Masayo Nara, Kenichi Nakamura

Tokyo Metropolitan Agriculture and Forestry Research Center

Abstract

The Young's modulus of Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*), a key quality index of wood, is expected to improve through breeding owing to its high heritability. Furthermore, the stress wave propagation velocity (Vp), which can be measured nondestructively, is known to have a strong correlation with the Young's modulus. This makes it possible to estimate the Young's modulus even for 10-year-old standing *C. japonica* trees with small diameters. If Vp could be used as a wood quality indicator even for pot-grown plants younger than 10 years, it would be useful for improving *C. japonica* breeding efficiency, which requires a long period of time. To verify this possibility, the Vp and basal diameter of pot-grown seedling populations of *C. japonica* breeding materials used to produce male-sterile cultivars were measured annually for 2–8 years after potting. Relationships between individuals in each year and between parents and their offspring were evaluated. The results showed that both Vp and basal diameter of 3–5- and 6–8-year-old individuals were highly positively correlated. Furthermore, the Vp trends or relative values of the Young's modulus of the parents were generally consistent with the Vp trends of each progeny. These findings suggest that Vp, measured in 3–5-year-old pot-grown individuals, reflects the trend of Vp in 6–8-year-old individuals in the population and the genetic characteristics of the parents. However, the extent to which the Vp measured in this study reflects the Young's modulus in a mature standing tree of the individual is unclear. To clarify the potential use of Vp as a wood quality index in young pot-grown *C. japonica*, it is necessary to evaluate the correlation between young clones in pot cultures and standing trees older than 10 years of the same clones.

Keywords: basal diameter, breeding, sugi-pollinosis, wood quality, Young's modulus

Bulletin of Tokyo Metropolitan Agriculture and Forestry Research Center, 19: 31-39, 2024.

*Corresponding author: c-miyashita@tdfaff.com

