

材質優良トドマツ品種の開発

林木育種センター 育種部 育種第一課 田村明、北海道育種場 育種課 中田了五、
兵庫県立大学 自然・環境科学研究所 大谷雅人、林木育種センター 遺伝資源部 生方正俊、
林木育種センター 遺伝資源部 探索収集課 山田浩雄

1 はじめに

トドマツ (*Abies sachalinensis* (F. Schmidt) Mast.) は、北海道のほぼ全域に広く天然分布し、人工造林樹種として優れており、林木育種事業開始当初から北海道育種基本区の主要な育種対象樹種となってきた。2014 (平成 26) 年度末現在、国有林から 525 個体、民有林から 257 個体、計 782 個体の第一世代精英樹が選抜され、国有林に 10 箇所 69.27ha、民有林に 2 箇所 62.88ha の精英樹採種園 (以下、「採種園」とする) が設定され種子生産に寄与し、国有林に 32 箇所 180.22ha、民有林に 16 箇所 28.13ha の検定林が設定されて次代検定が進んでいる³⁾。種苗生産においては、2013 (平成 25) 年度以降、トドマツ造林用種子の生産はその 100%が採種園産となっている。

2011-2015 (平成 23-27) 年度の森林総合研究所第 3 期中期計画期間中に、北海道育種場では、北海道森林管理局及び北海道立総合研究機構林業試験場と連携して、トドマツの材質優良系統の選抜を進めた。優良系統の選抜は実生家系で構成された検定林を活用し、フォワードセレクションによる第二世代精英樹候補木等の選抜^{2, 7-9)}と、バックワードセレクションによる第一世代精英樹の中からの優良家系の選抜を並行して行った。本報告では、後者の「材質優良トドマツ品種」の選抜について報告する。

2 材料と方法

「材質優良トドマツ品種」の選抜では、表-1 の国有林に設定された次代検定林及び北海道育種場構内に設定した試験地の計 7 カ所を供試した (以下、「検定林等」とする)。このうち、育種場内の交雑遺伝試験園は精英樹間の人工交配家系 (オープン含む) で構成されている。北帯 5 号は採種園

産オープン実生で構成された一般次代検定林である。残りの 5 箇所の地域差検定林は、採種園産オープン実生 80 家系を用いて 1988 年に北海道一円 24 箇所に設定された地域差検定林から、事前の解析で成長形質について系統間差が認められ、林分としての成績が良好で冬期の採穂が可能な林分を選定したものである。検定林等の設定及び調査時期は表-1 のとおりである。

成長形質として胸高直径及び樹高を、材質形質として樹幹ヤング係数及び心材含水率を選抜対象形質とした。材質形質については、樹幹ヤング係数と心材含水率それぞれについて、ピロディン法^{4, 5)}と横打撃共振法^{1, 6)}を簡易検定法として用いた。

各形質ごとの調査年次は表-1 のとおりである。成長形質については主として検定林の 20 年次定期調査結果を活用した。トドマツ交雑遺伝試験園を除く各検定林では、乱塊法によるプロット植栽 (1 プロットあたり 30 個体) が行われ、3 反復分が成長調査に供試されている。検定林定期調査の成長形質データにおいて樹高及び胸高直径が平均以上で、病虫害、幹の通直性及び真円性、また二又等の欠点のない個体をプロット内 3 個体を上限として選び材質調査に供した。トドマツ交雑遺伝試験園は 7×6 不完全ダイアレル交配家系で構成されており、このうち自殖を除く 30 交配組み合わせ 553 個体について成長形質と材質形質を調査した。各検定林等における調査の詳細については、引用文献^{2, 7-9)}を参照されたい。

以上のデータから、樹高、胸高直径、ピロディン貫入量、横打撃共振法による 1/df 値について、それぞれ BLUP 法により ASRem1 3.0 を用いて供試家系の親の育種価を求めた。なお、解析は検定林等を設定した育種区ごとに行った。育種区ごとに

表-1. 調査解析に供した検定林等一覧

検定林等名	育種区	所在市町村	検定林等設定年	成長調査		材質調査	
				調査年月	年次	調査年月	年次
北旭7号 (地域差検定林)	中部	猿払村	1988年5月	2008年5月	20	2013年10月	26
北旭8号 (地域差検定林)	中部	羽幌町	1988年5月	2007年8月	20	2013年10月	26
北見2号 (地域差検定林)	東部	美幌町	1987年9月	2007年10月	20	2014年10月	27
北帯5号 (一般次代検定林)	東部	陸別町	1985年5月	2014年6月	29	2014年8月	30
北海道育種場 トドマツ交雑遺伝試験園	西南部	江別市	1988年5月	2011年10月	24	2011年10月	24
北函7号 (地域差検定林)	西南部	八雲町	1988年5月	2007年10月 及び 2008年6月	20	2012年10月	25
北北15号 (地域差検定林)	西南部	赤平市	1988年5月	2007年9月	20	2012年10月	25

表-2. 調査結果の概要

表-2. 調査結果の概要							
中部育種区 n=80	樹高	胸高直径	ピロディン	1/df	ヤング係数	含水率	
	m	cm	mm	$\times 10^{-6} \text{cm}^{-1} \text{Hz}^{-1}$	GPa	%	
全平均値	6.2	8.4	22.2	37.8	8.03	91.7	
遺伝率	0.013	0.031	0.085	0.229			
SD (育種価の標準偏差)	0.046	0.214	0.210	0.895	0.038	6.382	
V (=SD/全平均値)	0.007	0.025	0.009	0.024	0.005	0.070	
育種価最大値	0.112	0.477	0.368	1.857	0.108	13.226	
育種価最低値	-0.094	-0.489	-0.599	-2.027	-0.067	-14.459	
育種価のレンジ	0.205	0.966	0.967	3.884	0.175	27.686	
東部育種区 n=186	樹高	胸高直径	ピロディン	1/df	ヤング係数	含水率	
	m	cm	mm	$\times 10^{-6} \text{cm}^{-1} \text{Hz}^{-1}$	GPa	%	
全平均値	11.0	14.1	25.5	43.2	7.74	107.6	
遺伝率	0.130	0.117	0.143	0.446			
SD (育種価の標準偏差)	0.362	0.628	0.286	1.672	0.052	11.916	
V (=SD/全平均値)	0.033	0.045	0.011	0.039	0.007	0.111	
育種価最大値	1.069	1.826	0.976	5.894	0.140	42.003	
育種価最低値	-1.026	-1.216	-0.773	-3.494	-0.177	-24.916	
育種価のレンジ	2.095	3.042	1.749	9.388	0.317	66.919	
西南部育種区 n=87	樹高	胸高直径	ピロディン	1/df	ヤング係数	含水率	
	m	cm	mm	$\times 10^{-6} \text{cm}^{-1} \text{Hz}^{-1}$	GPa	%	
全平均値	11.2	17.5	21.1	42.5	8.03	91.7	
遺伝率	0.394	0.065	0.710	0.297			
SD (育種価の標準偏差)	0.810	0.602	1.175	1.391	0.213	9.918	
V (=SD/全平均値)	0.072	0.034	0.056	0.033	0.027	0.108	
育種価最大値	2.027	1.497	2.632	3.800	0.630	27.076	
育種価最低値	-1.850	-1.036	-3.478	-3.367	-0.477	-24.011	
育種価のレンジ	3.877	2.533	6.110	7.167	1.107	51.087	
nは解析に供した精英樹の数。							
ヤング係数と含水率の育種価はそれぞれピロディンと1/dfの育種価から推定した価。							

供試した検定林等の数は中部育種区 2 箇所、東部育種区 2 箇所、西南部育種区 3 箇所である(表-1)。

幹のヤング係数の育種価と心材含水率の育種価は、それぞれ 1 式と 2 式を用いて、ピロディン貫入量の育種価と 1/df 値の育種価と心材含水率の育種価から推定した。なお、トドマツでは、ピロディン貫入量と丸太のヤング係数の遺伝相関が $-0.83^{4)}$ 、1/df 値と心材含水率の遺伝相関が $0.49^{6)}$ と報告されている。

$$BV_E = -0.1811 BV_P \quad (1 \text{ 式})$$

$$BV_{MC} = 7.1281 BV_{df} - 0.0105 \quad (2 \text{ 式})$$

ここで、 BV_E 、 BV_P 、 BV_{MC} 、 BV_{df} はそれぞれ生材樹幹ヤング係数、ピロディン貫入量、心材材含水率、1/df 値の育種価で、1 式は北海道総合研究機構林業試験場が設定した検定林⁴⁾で、2 式は国有林の検定林北函 7 号⁶⁾でそれぞれ得たデータより、回帰分析の結果から求めたものである。

3 結果と考察

表-2 に、育種区ごとに求めた形質ごとの解析結果の概要を示す。解析した形質ごとに算出した全平均値及び遺伝率、また、解析した親ごとに算出した育種価から、育種価の標準偏差 (SD)、SD を全平均値で除したもの (V)、育種価の最大値、最低値、レンジを算出して示した。ヤング係数と心材含水率についてはそれぞれピロディンと 1/df 値から算出した親ごとの育種価の推定値から算出した。ここで、樹高と胸高直径及びヤング係数は値が大きい方が優れる、心材含水率は低い方が優れると考えて選抜を行った。よって、ピロディン貫入量と 1/df 値はその値が小さい方が優れることになる (1 式、2 式)。

表-2 に示した結果は、育種区によって遺伝率等の解析結果が異なっていた。中部育種区では各形質の遺伝率は低く、よって育種価のレンジや V 値が小さく、大きな改良効果が期待できないと考えられた。一方、東部育種区と西南部育種区においては、各形質の遺伝率が高く、育種価のレンジや V 値が大きいため高い改良効果が期待できると考えられた。

以上の結果より、東部育種区と西南部育種区においては、1/df 値が小さく心材含水率の低い親を選抜することとし、中部育種区からの選抜は行わないこととした。1/df 値の育種価から、表-3 の基準で 5 段階の評価値を求め、4 及び 5 評価となる親を選んだ。次にこれらの中から、ピロディン貫入量の育種価がマイナス (平均以下、よってヤング係数は平均以上)、樹高及び胸高直径の育種価がプラス (平均以上) となる親を選んだ。さらに、これらの中から、精英樹として選抜された育種区と検定を行った育種区が一致する精英樹を材質優良系統として選抜した。選抜した親の一覧を表-4 に示す。東部及び西南部育種区よりそれぞれ 10 親及び 5 親を選抜した。

なお、今回評価した精英樹の各育種区における各形質の 5 段階評価値の一覧は別にトドマツ精英樹材質特性表として公開済みである (北海道育種場ホームページ

<https://www.ffpri.affrc.go.jp/hokuiku/seieijyu.html>)。

表-3. 5段階評価値の決め方

5段階評価値	樹高及び胸高直径	ピロディン及び1/df
5	$+1.5\sigma \leq x$	$x < -1.5\sigma$
4	$+0.5\sigma \leq x < +1.5\sigma$	$-1.5\sigma \leq x < -0.5\sigma$
3	$-0.5\sigma \leq x < +0.5\sigma$	$-0.5\sigma \leq x < +0.5\sigma$
2	$-1.5\sigma \leq x < -0.5\sigma$	$+0.5\sigma \leq x < +1.5\sigma$
1	$x < -1.5\sigma$	$+1.5\sigma \leq x$

x : 各親の育種価、σ : 育種価の標準偏差 (SD)

選抜した計 15 精英樹は林木育種センターが設置する優良品種・技術評価委員会により、同委員会の「材質優良トドマツ品種」の評価基準を満たすと評価され、林木育種センターの開発品種となった (西南部育種区の 5 品種は平成 26 年度、東部育種区の 10 品種は平成 27 年度開発品種)。これら開発品種は、第一世代精英樹集団から検定を経て選抜された優良系統であり、改良済みの精英樹集団から構成される 1.5 世代採種園の主要構成クローンとして、また第二世代精英樹等とともにローリングフロント採種園の構成クローンとして今後普及を図る計画である¹⁰⁾。

4 謝辞

本報告での材質優良トドマツの選抜及び並行して実施した第二世代精英樹の選抜にあたっての調査は、北海道森林管理局の検定林を活用し、北海道森林管理局指導普及課 (現技術普及課)、北海道立総合研究機構森林研究本部林業試験場経営グループ及び北海道育種場職員の多大なる支援の基に実施した。ここに記して謝意を表する。

表 4. 材質トドマツ優良品種とその特性一覧

平成26年度開発品種 西南部育種区		育種圃					特性値					5段階評価
系統コード	品種名	樹高 m	胸高直径 cm	ピロデイン cm	1/df $\times 10^{-6} \text{ Hz}^{-1} \text{ cm}^{-1}$	樹高 m	胸高直径 cm	ヤング係数 GPa	心材含水率 %	心材含水率	心材含水率	心材含水率
GFJ00551	材質優良トドマツ品種 精英樹 山溪101号	0.878	0.281	-1.007	-1.588	12.1	17.8	8.21	80.4	80.4	80.4	4
GFJ00566	材質優良トドマツ品種 精英樹 白老8号	0.485	0.831	-0.240	-3.367	11.7	18.3	8.07	67.7	67.7	67.7	5
GFJ00606	材質優良トドマツ品種 精英樹 大夕張110号	1.357	0.741	-0.010	-2.169	12.5	18.2	8.03	76.2	76.2	76.2	5
GFJ00615	材質優良トドマツ品種 精英樹 芦別102号	0.898	0.236	-0.664	-0.729	12.1	17.7	8.15	86.5	86.5	86.5	4
GFJ00630	材質優良トドマツ品種 精英樹 俄虫104号	0.684	0.789	-0.598	-1.906	11.9	18.3	8.14	78.1	78.1	78.1	4

平成27年度開発品種 東部育種区		育種圃					特性値					5段階評価
系統コード	品種名	樹高 m	胸高直径 cm	ピロデイン cm	1/df $\times 10^{-6} \text{ Hz}^{-1} \text{ cm}^{-1}$	樹高 m	胸高直径 cm	ヤング係数 GPa	心材含水率 %	心材含水率	心材含水率	心材含水率
GFJ00309	材質優良トドマツ品種 精英樹 留辺薬106号	0.500	0.727	-0.412	-1.665	11.5	14.8	7.81	95.7	95.7	95.7	4
GFJ00382	材質優良トドマツ品種 精英樹 新得112号	0.127	0.212	-0.402	-0.964	11.1	14.3	7.81	100.7	100.7	100.7	4
GFJ00424	材質優良トドマツ品種 精英樹 足寄107号	0.173	0.736	-0.354	-1.750	11.2	14.8	7.80	95.1	95.1	95.1	4
GFJ00443	材質優良トドマツ品種 精英樹 陸別107号	0.666	0.782	-0.031	-1.578	11.7	14.9	7.74	96.4	96.4	96.4	4
GFJ00445	材質優良トドマツ品種 精英樹 陸別109号	0.776	0.514	-0.127	-0.956	11.8	14.6	7.76	100.8	100.8	100.8	4
GFJ00460	材質優良トドマツ品種 精英樹 陸別124号	0.239	0.565	-0.196	-1.576	11.3	14.6	7.77	96.4	96.4	96.4	4
GFJ00461	材質優良トドマツ品種 精英樹 陸別125号	0.045	0.632	-0.116	-1.321	11.1	14.7	7.76	98.2	98.2	98.2	4
GFJ00468	材質優良トドマツ品種 精英樹 白糠103号	0.163	0.447	-0.162	-1.557	11.2	14.5	7.77	96.5	96.5	96.5	4
GFJ00481	材質優良トドマツ品種 精英樹 白糠125号	0.103	0.163	-0.569	-0.968	11.1	14.2	7.84	100.7	100.7	100.7	4
GFJ00509	材質優良トドマツ品種 精英樹 弟子屈3号	0.323	0.374	-0.318	-3.059	11.3	14.5	7.80	85.8	85.8	85.8	5

特性値は全平均値+育種圃として求めた。
ヤング係数と心材含水率についてはそれぞれピロデイン貫入量と1/df値の育種圃から推定した育種圃から特性値を推定した。
心材含水率については5段階評価値も記載した。

5 引用文献

- 1) 井城泰一・田村明・飯塚和也：横打撃共振法によるトドマツの心材生材含水率の非破壊的評価、木材学会誌 56、33-40 (2010)
- 2) 大谷雅人・田村明・矢野慶介・西岡直樹・上田雄介・坂本庄生・植田守・佐藤亜樹彦・湯浅真・井上晃・来田和人・今博計・黒丸亮：北海道育種基本区における第二世代精英樹候補木と優良木の選抜-平成 26 年度の実施結果-、平成 27 年版 2015 年報、国立研究開発法人森林総合研究所林木育種センター、121-134、
<https://www.ffpri.affrc.go.jp/ftbc/business/issue/nenpou/2015/documents/hoxtukaidou.pdf> (2015)
- 3) 林木育種センター（林業研究・技術開発推進北海道ブロック会議育種分科会、林業研究・技術開発推進東北ブロック会議育種分科会、林業研究・技術開発推進関東・中部ブロック会議育種分科会、林業研究・技術開発推進近畿・中国・四国ブロック会議育種分科会、林業研究・技術開発推進九州ブロック会議育種分科会、国立研究開発法人森林総合研究所林木育種センター（とりまとめ））：平成 27 年版林木育種の実施状況及び統計、国立研究開発法人森林総合研究所林木育種センター、86pp. (2016)
- 4) 田村明・来田和人・内山和子・市村康裕・阿部正信・渡邊謙一・西岡直樹・井城泰一・上野義人・林勝洋・飯田玲奈：トドマツ人工交配家系からの第二世代精英樹候補木の選抜の試み-ピロディン貫入法による材質の育種価の推定-、第 59 回日本木材学会大会研究発表要旨集、12 (2009)
- 5) 田村明・生方正俊・那須仁弥・丹藤修・久保田権・西岡直樹・佐藤新一・林勝洋・飯田玲奈・佐藤亜樹彦・辻山善洋・上野義人・井城泰一・阿部正信・渡邊謙一：トドマツのピロディン貫入法による容積密度の育種価の推定、第 60 回日本木材学会大会研究発表要旨集、109(2010)
- 6) 田村明・生方正俊・久保田権・井城泰一：トドマツ実生家系における水食い材の改良効果、第 61 回日本木材学会大会研究発表要旨集、11 (2011)
- 7) 田村明・山田浩雄・福田陽子・矢野慶介・阿部正信・竹田宣明・上田雄介・来田和人・今博計：北海道育種基本区における第二世代精英樹候補木の選抜-平成 23 年度の実施結果-、平成 24 年版 2012 年報、独立行政法人森林総合研究所林木育種センター、26-30 (2012)
- 8) 田村明・山田浩雄・福田陽子・矢野慶介・植田守・阿部正信・竹田宣明・大城浩司・佐々木洋一・佐藤亜樹彦・織田春紀・小園勝利・渡邊謙一・来田和人・今博計：北海道育種基本区における第二世代精英樹候補木と準次代検定林からの優良木の選抜-平成 24 年度の実施結果-、平成 25 年版 2013 年報、独立行政法人森林総合研究所林木育種センター、17-24、
<https://www.ffpri.affrc.go.jp/ftbc/business/issue/nenpou/documents/hoxtukaidou.pdf> (2013)
- 9) 田村明・山田浩雄・福田陽子・矢野慶介・竹田宣明・大城浩司・上野義人・植田守・佐藤亜樹彦・湯浅真・上田雄介・佐藤新一・織田春紀・黒丸亮・来田和人・今博計：北海道育種基本区における第二世代精英樹候補木と優良木の選抜-平成 25 年度の実施結果-、平成 26 年版 2014 年報、独立行政法人森林総合研究所林木育種センター、112-121、
<https://www.ffpri.affrc.go.jp/ftbc/business/issue/nenpou/documents/hoxtukaidoudainisedaiseieijyu.pdf> (2014)
- 10) 田村明・山田浩雄・花岡創・中田了五・福田陽子・西岡直樹：北海道育種基本区のカラマツ属における次世代育種集団の基盤構築に向けての取組、平成 28 年度版 2016 年報、国立研究開発法人森林総合研究所林木育種センター、145-149、(2016)