

林木育種情報

No.20
2016.1

年 頭 所 感

林木育種センター所長 渡邊 聡

新年明けましておめでとうございます。

皆様には健やかな新年を迎えられたこととお慶び申し上げます。

今年は4月から、林木育種センターが属する国立研究開発法人森林総合研究所の新たな中長期計画（5カ年）がスタートします。この計画は、農林水産省が重要な課題として整理をする中長期目標を踏まえて策定されることとなっています。

昨年を振り返れば、新たな品種開発については、多様な品種の開発を行ったほか、開発の続くエリートツリーが「森林の間伐等の実施の促進に関する特別措置法」に基づく「特定母樹」に指定され、この法律に基づき特定母樹を普及する民間事業体にも採種園・採穂園造成のための原種の配布が行われました。また、品種等の開発時間の短縮に向けたゲノム情報に基づく優れた系統の選抜技術の開発が行われ、個体の形質について一定程度推測が可能となりました。これによる育種の高速化が期待されます。

林木遺伝資源の保存については、効果的な保存方法等の技術開発に努めてきましたが、ジーンバンク事業の対象目的に「有用樹種の新需要の創出」を明示した中で、新たにコウヨウザンを対象とした遺伝資源の保存・評価を含めたプロジェクトが開始されました。

また、林木育種に係る海外協力については、様々な国との技術協力・共同研究を行っていますが、そのうち、ケニアでの育種プロジェクトについてはメリア（センダンのなかま）等の育種が進み、採種園造成を行い、ケニアの環境大臣からも高い評価を受けています。

一方、林木育種へのバイオテクノロジーの応用については、遺伝子組換えによって作出された無花粉スギについて、関係省庁の承認を得て昨年4月以降隔離ほ場での野外栽培試験を行っています。

今年も多くの成果を生みだし、普及させるよう努力して参ります。皆様のご理解・ご協力をお願い致します。

【紙面紹介】

林野庁委託事業「マツノザイセンチュウ抵抗性品種
開発技術高度化事業」（中間報告）…………… 2
カラマツ特定母樹の指定に向けた取り組み…………… 3
ゲノム編集：林木育種への利用にむけた
技術開発（1）…………… 4
防風・防潮効果に優れたテリハボクの育種研究… 5

樹木の越冬メカニズムを利用して冬芽を
－196℃で保存する…………… 6～7
林業研究・技術開発推進ブロック会議育種分科会と
特定母樹等普及促進会議を開催…………… 7
一般公開「親林の集い」を開催…………… 7
成果集の公表について…………… 8



国立研究開発法人 森林総合研究所 林木育種センター
Forest Tree Breeding Center, Forestry and Forest Products Research Institute

林野庁委託事業「マツノザイセンチュウ抵抗性 品種開発技術高度化事業」(中間報告)

1. はじめに

マツ材線虫病による松枯れの被害は、依然として我が国最大級の森林病虫害です。この松枯れ被害に対応するため、林木育種センター並びに都府県の試験研究機関では、昭和 53 年からマツノザイセンチュウ抵抗性候補木の選抜と抵抗性品種の開発を進めてきました。

近年、地球温暖化に伴う気候変動によって、マツ林を取り巻く環境は大きく変化しつつあり、今後更なる被害の拡大が懸念されています。そのマツ枯れ被害に対応するため、線虫の病原力の多様化や環境ストレスの影響などこれまで以上に多角的な視点に基づいた取組みが必要であるとともに、より強い抵抗性マツの開発と従来の方法よりも効率的な開発技術が求められています。

2. 事業の概要

より強い抵抗性マツをこれまで以上に効率的に開発するための技術開発を行うために、平成 25 年度から林野庁委託事業として「マツノザイセンチュウ抵抗性品種開発技術高度化事業」を推進しています。本事業では、上記の課題を踏まえ、① マツと線虫と環境との相互作用の解明、② 抵抗性の個体を早期に選抜するための DNA マーカーの開発といった新たな技術開発を行うとともに、それらの技術を利用した③人工交配を用いたより強い抵抗性品種候補の作出を進めています。そこで、本稿では本事業の取り組みについて紹介します。

3. これまでの成果

①マツと線虫と環境との相互作用の解明

抵抗性レベルが高い個体を選抜するために適

した線虫系統を探索するため、日本全国のマツ枯れ激害地 328 点より線虫を収集しました。これまでに 166 系統の培養系統を確立し、実際に接種検定を行うことで線虫の病原力について評価を進めています。また、環境との相互作用では、同じ交配家系のセットを東北から九州まで 5 ヶ所に植栽し、異なる環境下で線虫の接種検定を行うことで、抵抗性形質に影響を与える環境要因（温度や降水量の影響）の抽出を行っています。

②抵抗性の個体を早期に選抜するための DNA マーカーの開発

線虫に対する抵抗性形質に関連する DNA マーカーの開発を行うために、クロマツの遺伝子情報を収集しました。これまでに約 2 万個の遺伝子情報を収集しており、それらの遺伝子情報から DNA マーカーの候補となる DNA 多型情報を約 30 万個探索しました。現在、それらの多型情報をもとに DNA マーカーの開発を進めています。

③人工交配を用いたより強い抵抗性品種候補の作出

これまでに抵抗性品種として開発されている品種同士を交配することで、より強い抵抗性品種候補の作出を進めています。クロマツでは 58 家系、アカマツでは 19 家系を作出し、接種検定によってより強い抵抗性を持つ個体の選抜を行っています。今後は、①と②の課題から得られる新たな知見や技術を適用することで、より強い抵抗性品種の開発を進めていく予定です。

(森林バイオ研究センター 平尾 知士)

カラマツ特定母樹の指定に向けた取り組み

1. 特定母樹

平成 25 年 5 月に「森林の間伐等の実施の促進に関する特別措置法（間伐等特措法）」が改正されました。その中で、特に優良な種苗を生産するための種穂の採取に適し、成長に係る特性が特に優れた樹木を農林水産大臣が「特定母樹」として指定し、その増殖の実施の促進を図ることとされています。これを受けて、林木育種センターでは主要造林樹種の特定母樹への申請を進めています。昨今のカラマツ材の需要の高まりから、カラマツの特定母樹の指定に向けた取り組みも行っているところです。今回は、関東育種基本区で指定されたカラマツ特定母樹について説明します。

2. 選抜方法

カラマツ特定母樹に申請する系統は、第 2 世代精英樹（エリートツリー）から選定しました。ここでは、その母集団となる第 2 世代精英樹候補木（候補木）の選抜から説明します（図 1）。

関東育種基本区において、カラマツ次代検定林は 64 箇所が設定されています。これらの多くは、第 1 世代精英樹の自然交配実生が植栽され、精英樹の後代検定あるいは候補木の選抜地として利用可能です。このうち、生育状態の良好な 25 箇所を選定し、検定林調査で得られた成長データ（樹高、胸高直径、幹曲がり、根曲がり）を解析しました。さらに、12 箇所に絞り込み、材の容積密度を「ピロディン」により推定しました。これは、バネの力で材にピンを打ち込み、その深さを測定するもので、容積密度と高い相関があります。

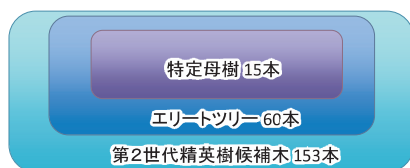


図 1 カラマツ特定母樹、エリートツリー、第 2 世代精英樹候補木の関係

以上の解析と現地での確認により、12 箇所の検定林から 153 本の候補木を選定しました。これらは次世代精英樹の親として、遺伝的多様性を維持する必要があることから、多数の第 1 世代精英樹の後代から選抜されています。

これら候補木の中から、エリートツリーの条件を満たす（特に成長が良好な）ものを 60 本選定しました。さらに、その中から、材質（ヤング率）の良好な個体を選び、特定母樹として申請し、平成 26 年度に 15 本が指定されました（写真 1）。このように、多数の過程を経て選ばれた特定母樹は、成長・材質ともに優良であると期待されます。

3. 今後の開発と要望状況

現在、エリートツリーの中から追加的に特定母樹の選定を進めています。これらが指定されれば、さらに多くの系統が特定母樹として利用可能となります。

カラマツ特定母樹は都道府県からの配布要望に基づいて配布し、今後それらの都道府県において採種園が造成される見込みです。配布用のカラマツ特定母樹の穂木は、原種園からの供給が安定するまでは、主に検定林の原木からの採取となるため数量に限りがありますが、可能な限り要望にお応えできるよう努めていきたいと考えています。



写真 1 特定母樹 カラマツ林 2-6（特定 26-45）

（育種部 育種第一課 平岡 裕一郎・宮下 久哉、指導課 高屋敷 元木）

ゲノム編集技術:林木育種への利用にむけた技術開発 (1)

1. はじめに

最近『ゲノム編集』という言葉を目にする機会が増えてきたのではないのでしょうか。ゲノム編集とは、人工のゲノム切断酵素を利用しゲノム DNA の狙った場所を切断することで、標的遺伝子の欠失や点変異、狙った場所への外来遺伝子の導入を誘導する技術で(図 1)、現在各国でこの技術を利用した研究が精力的に行われています。ゲノム編集は植物における新育種技術 (New Plant Breeding Techniques : NPBT) と呼ばれる近年発展してきた技術の一つで、林木の育種効率を飛躍的に高くするものと期待されています。そこで、2 回にわたり NPBT について概説します。

2. NPBT と遺伝子組換え技術との違い

NPBT を考えるうえで、遺伝子組換え技術の利点や問題点、NPBT との違いについて知ることが重要です。

アグロバクテリウム (細菌) や遺伝子銃などを使って外来遺伝子を導入する『遺伝子組換え技術』は、除草剤耐性や害虫抵抗性、様々な環境ストレス耐性を付与した作物の開発に利用されてきました。遺伝子組換え作物は、すでに私たちの身近なものになっており、日本への遺伝子組換え作物の年間輸入量は 1600 万トンと推定され、これは日本でのコメの年間消費量の約 2 倍に相当します。

遺伝子組換え植物の実用化や商業化には、遺伝子組換え生物を規制する法律 (カルタヘナ法) に基づいた、長期間に渡る安全性の評価試験が必要であり、開発から実用化までに長い時

間と大きなコストがかかる要因となっています。さらに、遺伝子組換え技術に対する不安は根強く、日本での遺伝子組換え植物の実用化は、依然として不透明な状況にあります。

一方、NPBT では、植物を改変するために変異などを導入する過程で遺伝子組換え技術を利用するものの、最終的な植物から外来遺伝子を除去できる特徴があります。導入された変異が突然変異で生じたものと区別できない場合には、NPBT により改変された植物は、従来の育種系統と同様のものであると考えられます。欧州共同研究センター・未来技術研究所の報告書の中では、もし NPBT が遺伝子組換えとはみなされないならば、開発から 2、3 年で商業化が可能であると報告されています。現在、先進国を中心に NPBT により作出された植物の取り扱いについて議論が行われています。

今回は NPBT を利用した育種の実例や課題、今後の展望について紹介します。

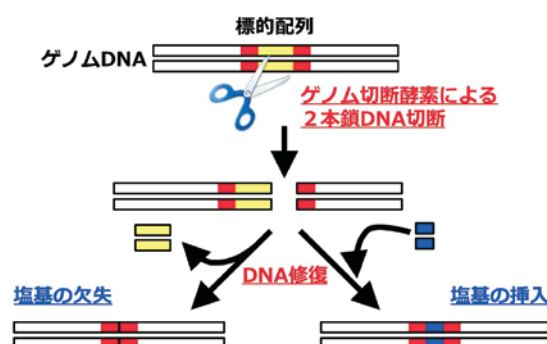


図1 ゲノム編集による標的領域の改変
ゲノム切断酵素によりゲノム DNA の標的配列を切断する。2本鎖 DNA の修復に伴い、塩基の欠失や挿入が起きる。この現象を利用し、内在遺伝子の破壊を引き起こす。

(森林バイオ研究センター 七里 吉彦)

防風・防潮効果に優れたテリハボクの育種研究

1. はじめに

林木育種センター海外協力部では、防風・防潮効果に優れた沖縄の防風林造成等に資するテリハボクの育種研究に取り組んでいます。まず、西表熱帯林育種技術園が中心となって、沖縄の八重山・宮古・大東諸島から樹勢や通直性に優れた個体、あるいは暴風・高潮などの厳しい環境条件に長年耐えてきたと考えられる海岸沿いの大木等を育種素材として選抜しました。次に、それらの個体から種子を採取して苗木を育成し、同技術園内の試験地で形態形質や成長形質等の評価を開始しました。また、育種における選抜強度や遺伝資源の保全を考える上で必要とされる遺伝的多様性や分化についても研究しています。今回はこれらについての研究成果の一部を紹介します。

2. 初期成長の家系間差の検出

選抜した 55 個体由来する苗木（以下、家系と記す）合計 1,007 個体を技術園内に植栽し、これらの樹高を約半年毎に測定しました。統計モデルにより立地環境の影響を補正した予測樹高を比較すると、植栽からわずか 3 年で既に家系間の有意な差が認められました。

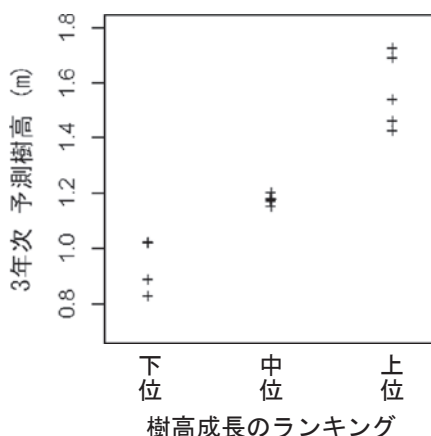


図1 統計モデルにより推定された植栽から3年目の平均樹高の家系間差

樹高成長のランキング上位の家系は、中位の家系と比較して約 1.5 倍、下位の家系と比較すると 2 倍近く樹高成長が優れることが示されました（図 1）。

3. 遺伝的多様性の解析

日本の八重山諸島や宮古諸島におけるテリハボクの遺伝的多様性を EST-SSR マーカーという DNA マーカーを用いて評価しました。日本におけるテリハボクの遺伝的多様性は台湾や南太平洋諸国と比較して中程度であり（図 2）、また、国内の諸島間でも一定の遺伝的分化があることが示されました。

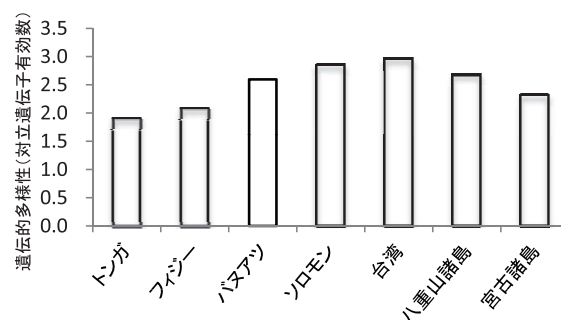


図2 遺伝的多様性の地域間の比較

4. 終わりに

初期成長が家系間で異なったことは、成長形質が遺伝形質であり、育種によって改良できることを示唆しています。引き続き複数の形質評価を継続し、防風林や防潮林への活用に適した優良な品種の開発を進めたいと考えています。また、種苗の普及にあたっては、遺伝的多様性の維持や遺伝的分化にも配慮することが望まれるでしょう。

（海外協力部 海外協力課 花岡 創・松下 通也）

樹木の越冬メカニズムを利用して冬芽を－196℃で保存する

1. はじめに

林木育種センターが実施している林木ジーンバンク事業では、有用樹木の保存技術を開発させ、保存スペースの最小化、保存可能期間の長期化などを目標として樹木の超低温保存（通称、凍結保存）技術の開発に取り組ましました。

樹木を含む植物の超低温保存法は、保存対象となる器官や組織およびそれらの凍結に対する耐性（耐凍性）などの違いによっていくつか異なる手法があります。今回は、「緩速凍結法」という寒冷地の樹木冬芽の高い耐凍性と越冬メカニズムを利用した樹木の超低温保存法を紹介します。

2. 冬芽の越冬メカニズム

寒冷地の樹木は、冬には水の凝固点（0℃）以下の温度、すなわち氷点下温度に曝されます。生きた細胞にとって、細胞内の水が細胞の中で凍ること（細胞内凍結）は致命的な障害となるため、寒冷環境に適応した樹木は、冬季に氷点下温度に曝されても細胞内凍結の発生を防ぐための越冬メカニズムを持ちます。

ここでは、保存対象とする冬芽の越冬メカニズムについて簡単に説明します。冬芽内には、翌春なるべく早く成長を開始するために作られた葉や枝の原基があり、これら原基は樹木の成長に不可欠な組織です。そのため冬芽は、器官全体で原基を保護するためのユニークな越冬メカニズムを持ちます。冬季、冬芽が氷点下温度に曝されると、原基細胞は脱水して細胞内の溶質濃度を上昇させます。これにより、細胞内の水は凍りにくい状態となり、原基細胞はより低い温度まで細胞内水分を液体の状態（過冷却状態）に維持でき、細胞内凍結の発生を防いでいます。さらに、原基細胞は直に氷に触れてしまうと凍結障害を起こ

して死んでしまいます。そのため冬芽内には、原基を氷から隔離するためのリン片などの組織があり、原基細胞から脱水された水は、これらの組織の外へ氷として析出します（図1）。このような、冬芽の越冬メカニズムは器官外凍結と呼ばれ、厳寒地の針葉樹の冬芽は、器官外凍結によって－30℃以下までの凍結にさえ耐えることができます。

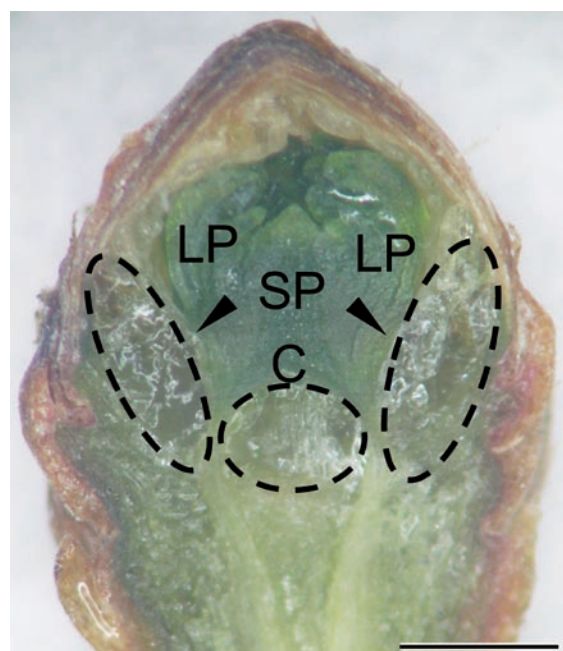


図1 －30℃まで凍結して器官外凍結したカラマツ冬芽

枝条原基（SP）と葉原基（LP）内には氷晶は析出せず、冬芽基部にあるリン片（矢尻）の間とクラウン組織（C）下にのみ氷晶（点線で囲まれた箇所）が析出した。Bar=1mm

3. 緩速凍結法による冬芽の超低温保存

樹木を液体窒素中（－196℃）などの超低温下で保存する場合においても、細胞を生きた状態で保存するために最も重要なことは細胞内凍結の発生を防ぐことです。そのためには、試料を液体窒素中などへ曝す前に、予め細胞内の溶質濃度を高くし、超低温下でも凍らないほど濃い状態にする必要があります。

冬芽の場合、上述した冬芽の原基細胞の脱水量は温度の低下に伴い増加します。そのため、人為的に冬芽をより低い温度まで冷却（予備凍結処理）すれば、細胞内水分の脱水を促進することができ、適切な温度まで冬芽を冷却すると、液体窒素中へ浸漬しても細胞内凍結を起こさず超低温保存が可能となります。

実際、リンゴやクワなどの冬芽では、器官外凍結を利用して液体窒素中で保存できることが明らかにされています。

このような予備凍結処理による超低温保存法を「緩速凍結法」といいます。

4. 今後の取り組み

「緩速凍結法」では、予備凍結処理において冬芽をどれだけの冷却速度で何度まで凍結させるかが鍵です。最適な予備凍結処理の方法は、樹種によって異なります。そこで、「緩速凍結法」を用いてより多くの樹木を超低温保存するため、厳密な温度制御のもと、樹種ごとに最適な冷却速度と凍結温度を明らかにする研究を進めていきたいと考えています。

（遺伝資源部 保存評価課 遠藤 圭太）

林業研究・技術開発推進ブロック会議育種分科会と特定母樹等普及促進会議を開催

9月～10月に、林野庁・森林総合研究所共催で、林野庁、林木育種センター、都道府県等の連携による林木育種の推進を目的として、北海道、東北、関東・中部、近畿・中国・四国、九州の全国5ブロックにおいて、林業研究・技術開発推進ブロック会議育種分科会を開催しました。

北海道、東北、関東・中部ブロックではカラマツの種子不足に対応するため採種園の造成や着花促進技術の開発に取り組んでいくこととしました。

また、この会議と併せて北海道、東北、近畿・中国・四国ブロックで特定母樹の普及等を目的とした特定母樹等普及促進会議を開催しました。関東では7月に、九州では11月に開催しました。

関東ブロックでは、現地検討も併せて行い、千葉県のマツ海岸林植栽地やヒノキミニチュア採種園などを視察しました。



写真1 関東ブロック現地検討の様子
（千葉県マツ海岸林植栽地を視察）

（企画部 育種企画課 小野 雅子）

一般公開「親林の集い」を開催

10月24日（土曜日）、一般公開「第20回親林の集い」を開催しました。

林木育種への理解を深めていただくとともに、地域との交流を図るために行っている行事で、今年は天候にも恵まれ、約900人の方々にご来場いただきました。

林木育種センターの研究を紹介する展示や研究施設探索ツアー、木の工作、クイズ、迷路などのほか、

地域の皆様のご協力により保育園による鼓笛隊、和太鼓、中学校による吹奏楽の演奏も行われ、楽しい秋の一日となりました。今年は初めて草木染め体験を行い、木の皮の染料を使ってオリジナルハンカチ作りを行いました。

普段ふれあうことの少ない緑の中で、多くの方が楽しんで行かれました。

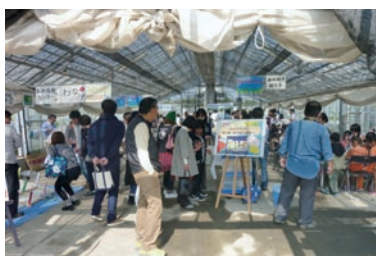


写真1 温室内での木の工作などの様子



写真2 同仁東保育園の皆さんとモリゾウ・キッコロ

（企画部 育種企画課 小野 雅子）

成果集の公表について

森林総合研究所の第3期中期計画期間(2011～2015年度)における、林木育種センター及び森林バイオ研究センターで実施した研究開発の主要成果を「林木育種の最前線ー2011年度～2015年度の主要成果ー」として刊行しました。この成果集では、研究の他に事業での成果についても紹介しています。今中期計画期間中には、「森林の間伐等の実施の促進に関する特別措置法」の一部が改正され、森林の二酸化炭素吸収能力を強化するため、成長に優れた種苗を「特定母樹」として農林水産大臣が指定することとなり、特定母樹の所有者(9割以上を林木育種センターが所有)にはその原種を配布する努力が求められることになりました。このような林木育種を巡る動きのほか、育種技術の高速化など品種開発に関する研究開発、育種素材や希少種などの遺伝資源の収集・保存に関する研究開発、遺伝子組換えなどの新技術による品種開発に向けた研究開発、海外協力や海外との共同研究における育種技術の研究開発など、様々な成果が生まれました。本成果集は、広く一般の方々にも林木育種の必要性和その取り組み内容をご理解して頂けるように、文章をなるべく減らし、絵や写真を増やしてビジュアル的に理解してもらうよう心がけました。また、研究・事業の成果の紹介だけでなく、この研究や事業をどのように社会に還元し利用できるか、今後この研究・事業をどのように展開していくかについても記載しています。

第1章では、今中期計画の育種関連の研究・事業の成果と今後の方向性の概要を示しました。第2章では、遺伝資源、森林バイオ研究センターでの研究・事業の成果と今後の方向性の概要を示し、第3章では、育種関連の16の

個別研究・事業課題の成果及び今後の活用について紹介しています。第4章では、遺伝資源関連の12の個別研究・事業の課題の成果及び今後の活用について紹介しています。第5章では、特に行政施策や社会に大きく貢献した5の研究・事業の成果を紹介しています。第6章では、林木育種事業と研究を推進・普及するための、他機関との連携や成果の発信について紹介しています。第7章では、専門用語を解説しています。



写真1 成果集の表紙と内容の一部

本成果集は全編または章ごとにインターネットを通じ、以下のアドレスからどなたでもダウンロードすることができます。

<http://www.ffpri.affrc.go.jp/ftbc/business/issue/rinboku/documents/frontiers2015.pdf>

皆様に、この成果集をご活用頂けたら幸いです。

(育種部 育種第一課 田村 明)

表紙タイトル写真は、広島県庄原市にある
コウヨウザンの林

※紙ヘリサイクル可



林木育種情報 No. 20

平成28年1月7日発行

国立研究開発法人 森林総合研究所 林木育種センター
〒319-1301 茨城県日立市十王町伊師 3809-1

TEL: 0294-39-7000 (代)

FAX: 0294-39-7306

ホームページ <http://www.ffpri.affrc.go.jp/ftbc/index.html>