ISSN　1883－311X

林木育種情報

No.31
2019.7

これからの育種　～改元を機に再度考えてみた～

林木育種センター所長　上　練三

令和に改元され、新天皇・皇后両陛下の初めての地方行事となった６月２日の全国植樹祭で、陛下は、「その保全はもちろんのこと、森林を伐採して利用することに伴い、再び苗木を植えて育てることを通じ、健全な森を次世代のためにつくっていくことは、私たちに課せられた大切な使命であると考えます」と循環利用の大切さをお言葉として述べられた。その「苗木」の起点となる林木育種や森林バイオ研究が、改めて重要な位置づけとして注目されている。現在・今後の育種・バイオで何をやるのか、今一度おさらいしてみたい。

次の世代を造成するという新たな段階を迎えた我が国の森林において、その樹種は何になるのか。森林の機能をより一層高める側面から考えると、将来的に循環利用に適さない人工林では、天然更新を活用しながら抜き伐りを繰り返し、徐々に一斉林状態を解いていくことが望ましい。また、立地条件が良く再造林に適している人工林には、更新時点で利用ニーズの高いと思われる樹種が選択されるだろう。当然、適地適木は言うまでもない。また、昨今の局地的豪雨や花粉症にも対応できる森林の造成が望ましい。森林が元来多樹種で構成されることも考慮すると、生態的多様性のある森林が望ましいに違いない。

一方、木材利用の側面から考えてみると、木材需要は従来のマテリアル利用に加えて、発電用中心のバイオマス利用が増大している。また、製品の寸法・強度は工業材料化しており、情報の確かさと安定化が求められている。加えて、製造技術の高度化により、様々な材料を加工できるようになっている。昨今、大径無垢材ほど価格が高いとは言えなくなっている。木材利用の面から必要な材料も多様化していると言えるのではないか。

こうした中、育種・バイオ研究では、①材質強度が一定以上で、かつ均一性が高いこと、②植栽初期から少なくとも壮年齢まで優れた成長を示すこと（できれば、根系も）、③花粉が少ない、つけないこと、④新たな造林樹種であること、⑤獣害を受けない、受けにくいこと、⑥特定の耐性や成分を有すること等を備えた品種の開発が必要となってくる。①～③を充たす品種は根系のことを除いては既に存在している。主伐・再造林の動きは、平成終期から活発化し、開発済み品種を早期に供給できる体制が求められており、原種配布能力の向上と育種年数の短縮化を果たさなければならない。そのために、原種苗木の大幅増産技術の開発や施設型育種、DNAマーカーによる機能判別は今後一層取り組むべき課題になっている。また、④以降はクリアすべきハードルが判明しているものもあり、本号でも紹介する、特性や施業上の留意点がかなりわかってきたコウヨウザンをはじめ、それに続く早生樹の品種開発、スギの無花粉化が確認できたゲノム編集等は、さらなるステップアップにより、育種のみならず、森林・林業全体を押し上げる力として、大きく期待できる。

【紙面紹介】

コウヨウザン研究の現状 ……2～3
エリートツリー等の原種増産技術の開発事業
―カラマツの増殖効率の改善― …… 4
国際会議Plant and Animal Genome XXVIIに参加して…… 5
オガサワラグワ里親計画 …… 6
林木育種事情調査（ミャンマー連邦共和国）…… 7
スギのゲノム編集技術の確立に向けた取り組み …… 8

国立研究開発法人　森林研究・整備機構
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

コウヨウザン研究の現状

1. コウヨウザン

近年、新たな造林樹種としてコウヨウザンが注目されています。本種は、中国南部や台湾が原産のヒノキ科針葉樹で、成長も材質も良いうえに、シロアリや腐朽にも強いと言われています。中国南部では最も重要な樹種で、600万haを超える造林面積があるとされています。用途は建築用のほか内装、家具にも用いられているようです。コウヨウザンの大きな特徴の一つは萌芽性の高さです。立木を伐採した後、大量の萌芽枝が発生します（写真１）。そのため、萌芽更新による低コスト造林が可能な樹種としても期待されています。もう一つの特徴として、セドロールという抽出成分を多量に含んでいることがあげられます。セドロールは安眠効果などがある揮発成分で、スギにも含まれていますが、コウヨウザンはその含有率が非常に高いとのことです。将来的にはこのような精油ビジネスからも注目されるかもしれません。

2. 国内のコウヨウザンの生育地

コウヨウザンは大学の演習林に多く植栽されており、他には国有林、県の所有林や森林公園、植物園等にも林分として植栽されています。私有林にも林分があり、その一つ、広島県庄原市の林分は国内で最も立派なコウヨウザン林分といっても過言ではありません（写真２）。これ以外にも、1本から数本の単木的植栽になりますが、寺社を中心に多くの箇所で生育しています（図１）。寺社に植栽されているものの中には樹齢500年といわれているものもあり（写真３）、江戸時代以前には導入されていたようです。コウヨウザンは温暖な地域原産の樹種にもかかわらず、北陸の多雪地域にも多く生育しており、意外に広い範囲に植栽可能なのかもしれません。

写真１　コウヨウザン切株からの萌芽

写真２　コウヨウザンの美林（広島県庄原市の私有林、約55年生で1,000m3/ha 以上の材積がある）

3. コウヨウザン研究プロジェクト

林木育種センターでは、様々な機関と連携して国内のコウヨウザン遺伝資源を評価し、優良系統を選抜し、普及するためのプロジェクトを進めて

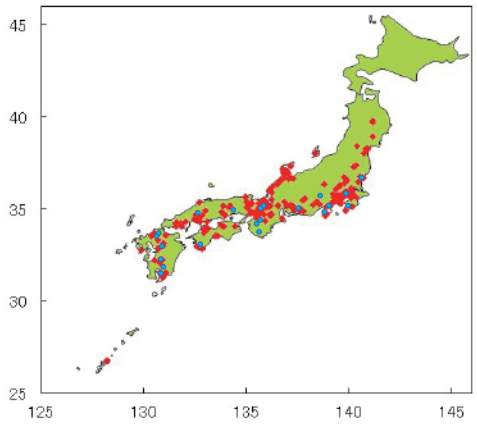


図１　全国のコウヨウザン植栽地

●林分としての植栽, ●寺社等の単木植栽

写真３　福島県須賀川市にある永泉寺のコウヨウザン。樹齢500年といわれる国内最大級の巨木。樹高31m 胸高直径1.7m。福島県指定天然記念物

います。平成27年度から29年度には、農食研事業「西南日本に適した木材強度の高い新たな造林用樹種・系統の選定及び改良指針の策定」を鹿児島大学、広島県立総合技術研究所及び中国木材株式会社とともに実施しました。この中で、全国各地のコウヨウザン林分の成長、材質、遺伝変異を調査するとともに、実際にコウヨウザンによる柱材やラミナといった製材品を制作し、その評価も行いました。本事業で、コウヨウザンの性能についてかなり具体的に明らかになりました。この成果は「コウヨウザンの特性と増殖の手引き」にまとめられ、林木育種センターホームページで閲覧できます（URL: https://www.ffpri.affrc.go.jp/ftbc/business/documents/koyozantebiki.pdf）。

平成30年度からは、イノベーション創出強化研究推進事業「木材強度と成長性に優れた早生樹「コウヨウザン」の優良種苗生産技術の開発」を鹿児島大学、広島県立総合技術研究所及び住友林業株式会社とともに実施しています。このプロジェクトでは、上記プロジェクトから引き続き、全国各地のコウヨウザン林分からの優良系統の選抜を行うとともに、苗木生産技術の開発を行っています。現在生産されているコウヨウザン苗木のほとんどは、中国から輸入した種子による実生苗です。本プロジェクトで国内のコウヨウザン林分から選抜した優良系統は、日本の気候に適した系統であると考えられます。また、DNA分析により、国内のコウヨウザンは、中国東南部、中国中南部、台湾由来の3つの遺伝的グループに分けられると推定されました。グループによる特性の違いは今後の研究により明らかにする必要がありますが、グループによって成長や材質、適地等の特性が違うことは十分考えられます。プロジェクトでは、遺伝的特性も考慮しながら優良系統を選抜するよう進めています。これら優良系統を母材料として、さし木苗生産のための採穂園や、種子生産のための採種園の造成方法の開発、コンテナ苗の育成技術の開発も進めています。

同じく平成30年度から、農林水産技術会議・戦略的プロジェクト研究推進事業「成長に優れた苗木を活用した施業モデルの開発」において、コウヨウザンの造林・保育技術の開発に関する研究も進めています。この中で、生育適地の判定技術の開発、植栽密度や下刈りなどの植栽条件の提示、コウヨウザン造林で問題となっている野兎害への対策手法の提示、さらに、低コスト造林に大きな可能性を持つ萌芽更新に関する技術開発を進めています。

4. おわりに

以上のように、コウヨウザンの成長や材質、製品としての性能評価、国内林分から優良系統の選抜、苗木育成技術や造林技術の開発といった一連の研究を実施し、短期間でコウヨウザンに関する多くの知見を得ています。今後、得られた知見を広く公開するとともに、選抜した優良系統を普及することで、優良コウヨウザン種苗の生産、造林が行われることが期待されます。

（遺伝資源部　探索収集課　磯田　圭哉）

エリートツリー等の原種増産技術の開発事業
－カラマツの増殖効率の改善－

1．事業の趣旨

カラマツと北海道で生産されているグイマツとカラマツの雑種であるグイマツ雑種F_1は、国内の造林用針葉樹の中でも優れた材質特性を有し、木材乾燥技術等の向上も相まって、近年集成材のラミナ等の構造用材としての需要が増えており、外材に対抗しうる樹種として期待されています。カラマツでは、充分に伐期に達していると考えられる10齢級以上の林分の蓄積量が50％以上となっており今後伐採が進み、再造林用のカラマツやグイマツ雑種F_1の苗木の需要は増加していくと考えられています。主伐後の再造林を着実に進めていくためには、優良なカラマツとグイマツ雑種F_1の種苗を安定的に供給する必要があり、そのためには種苗を生産する元となる健全な原種苗木を安定的に供給することが重要です。このため、令和元年度から「エリートツリー等の原種増産技術の開発事業－カラマツの増殖効率の改善－」（林野庁補助事業）に取り組むこととなりました。

2．事業の概要

本事業では、カラマツ、グイマツを対象とし、エリートツリーの原木等から、４年間の育成期間で原木１本あたり100本の原種苗木を生産する技術の開発を目標としています。開発にあたっては、これまで林木育種センターが培ってきた剪定技術、つぎ木技術、つぎ木苗木の育成技術等を組み合わせることにより、原種苗木の生産性を向上させることとしています。

従来のカラマツ、グイマツの原種苗木は、原木から発生した勢いのある枝（以下、「シュート」）を採取し、シュートの先端部のみを穂木としてつぎ木に利用してきました。そのため、本事業では、シュートの先端以外の部分もつぎ穂として利用するつぎ木（管つぎ）技術の検討も行います。また、つぎ木した苗木の一部を採穂台木として仕立て、その台木から発生した萌芽枝を、再びつぎ穂として利用して原種苗木を増殖する技術の開発も行います。このことによって、原種苗木の生産本数をさらに増やすことができると期待されます。また採穂台木からの採穂数を増大させるため、台木の選択や、採穂台木の整枝・剪定の方法についても検討します。

本事業で開発を目指すこれらの技術は、都道府県や認定特定増殖事業者が今後採種園・採穂園の管理・育成を行う際にも活用することが可能であるため、有益な技術開発の成果については随時情報発信していきます。

急増する原種苗木の需要に応え、エリートツリーや特定母樹の早期の普及に資するため、健全な原種苗木を安定的に供給するのに必要な技術開発を進めていく考えです。

写真　管つぎの様子

（育種部　育種第二課　田村　明）

国際会議 Plant and Animal Genome XXVII に参加して

1. 会議の概要

アメリカ合衆国のカリフォルニア州サンディエゴ市で毎年開かれているPlant and Animal Genome（通称PAG）は、農林水産関連分野におけるゲノム解析（アグリゲノム）の世界最大規模の国際会議です。27回目となる今回は、2019年1月12日から16日にかけて開催されました。多種多様な生物種や解析技術を対象とした204件（うち23件は企業）のワークショップ登録、1,247件のポスター発表登録、2,497件の公演要旨登録、研究資材等を取扱う136社の企業展示が行われ、主催者の発表では、合計3,697名の参加登録があり、日本からは国別で全体の5番目に多い79名が参加しました。

2. 林木におけるオミクス解析の一般化

生物の体内にある遺伝情報や転写産物、たんぱく質などの基本単位に着目して、その全てを網羅的に解析する研究分野は「オミクス」と呼ばれます。PAGでは、林木に関するワークショップも行われ、この中で、育種の効率化や加速に向けた基礎情報を得るため林木にもオミクスの解析を応用した研究等、合計15件の口頭発表および26件のポスター発表が行われました。

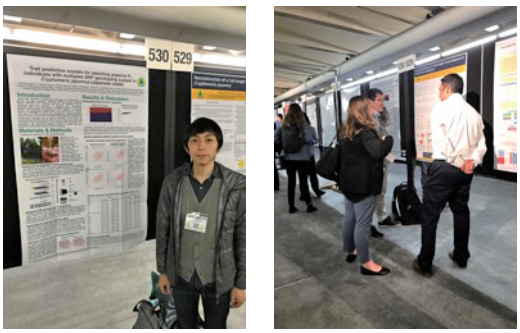
この中で、針葉樹に関しては、アメリカのNeale博士らが中心となり進めてきたマツ科3種（テーダマツ、ベイマツおよびサトウマツ）やセコイア2種の遺伝情報の全て（ゲノム）を解析するプロジェクトの進捗や、スウェーデンのBaison博士らによるオウシュウトウヒの材質に関連した形質の遺伝子座の検出などが報告されました。林木育種センターから参加した三嶋、平尾および永野の3名も、それぞれ、カラマツとグイマツの完全長遺伝子配列の収集、スギの完全長遺伝子配列の構築およびスギの成長と材質の予測モデルに関して、オミクス解析の成果を取り入れた発表を行いました。

ポプラ、ヤナギもしくはユーカリなどの早生樹に関しては、針葉樹よりもオミクス解析が進んでおり、すでに公開されている参照可能なゲノム配列を用いて転写産物や遺伝子の修飾を網羅的に解析し、材質、低温応答性、病害抵抗性などの形質と関連のある機能遺伝子を探索する研究の成果が報告されました。また、アメリカのNagle博士のように、光を波長ごとに分けて撮影するハイパースペクトラルカメラを利用して、複数検体について表現型を高速に取得する取り組みも紹介されました。

このように、対象とする樹種の特性や研究の規模によって程度は異なるものの、林木においても様々なオミクス解析が行われています。

3. 網羅的解析を可能にする解析技術の発展

林木を含む様々な生物種を対象に広くオミクス解析が行われるようになった背景には、例えば、一度の解析で数千億単位の塩基もしくは十万塩基を超える長さの配列を出力する塩基配列解析装置、配列をつなぎ合わせるプログラム、配列の差異を検出する技術、画像やセンサー等により表現型や環境データを大規模・高解像度に取得する技術、また、これらの大量のデータの解析を可能にするコンピューターなど、多方面にわたる解析技術の発展が大きく関わっています。これら日進月歩の解析技術をいち早く林木の育種に取り入れるためにも、PAGでの情報収集は大いに役に立っています。次回のPAG XXVIIIは、同会場にて2020年1月11日から15日にかけて行われる予定です。



写真：ポスター発表会場の様子

（育種部　育種第一課　永野　聡一郎）

オガサワラグワ里親計画

東京から南に900 km以上離れ大陸と一度も繋がったことのない小笠原諸島には、偶然辿り着いた生物が独自に進化し、多くの固有種が生息しています。東洋のガラパゴスともいわれ、2011年には世界自然遺産に登録されました。固有種の宝庫である小笠原諸島は、実は、絶滅危惧種の宝庫でもあり、人間活動に伴う直接的・間接的影響により多くの固有種が絶滅の危機にさらされています。

オガサワラグワも絶滅の危機にある固有種のひとつで、父島、母島及び弟島に分布し、樹高20m以上に成長する雌雄異株の樹木です。材が家具や工芸用に賞用され高値で取引されたので集中的に伐採され、ほぼ伐り尽くされてしまいました。これに加えて、父島と母島では、薪炭材用に導入されたアカギが旺盛に成長してオガサワラグワの生育地を奪い、養蚕用に導入され野生化したシマグワと容易に交雑するので純粋なオガサワラグワの種子が出来にくく、天然更新の可能性は極めて低いと考えられています。弟島では、岩石地に生育し、稚幼樹がほとんど見られません。現在も成木の衰弱枯死が進み、３島合わせて百数十個体が残存するのみとなっています。

林木育種センターは、このようなオガサワラグワの危機的状況の下、平成16年から林木ジーンバンク事業の一環として残存個体を組織培養等で増殖し、培養シュートや鉢植え苗で生息域外保存を進めてきました。現在、既に現地では枯死した個体を含む約100個体のクローンを保存しています。また、保存したクローンから再増殖し、父島で野生復帰試験を進めるとともに小笠原諸島返還50周年(平成30年)の記念事業の一環として小笠原村が取組んでいる「オガグワの森」と「母島の森」に培養苗を提供し、植栽しました。

オガサワラグワ里親計画は、絶滅危惧種オガサワラグワを各地の植物園に分散して展示・保存することで希少な遺伝資源を確実に将来に残すとともに、植物園を訪れる多くの人にオガサワラグワや小笠原諸島の自然について知ってもらうことを目的として、平成31年2月に開始しました。この里親計画は、林木育種センター、日本植物園協会、小笠原村の3者の共同事業です。日本植物園協会には、国、地方自治体、大学、製薬会社などの全国約110の植物園が所属し、オガサワラグワの展示を希望する植物園が里親になります。里親の第1号は東京都立神代植物公園で、平成31 年4月26日に同園で式典が開催され、父島、母島及び弟島産の雌木雄木各１個体計６個体のクローン苗木が同園に渡されました(写真)。

写真　オガサワラグワ苗木の受渡し

この里親計画により、植物園という整った施設で植物育成のプロの手によって複数の場所に分散保存されるので、残存木や植栽木等が枯死した場合のバックアップとなり、希少な遺伝資源の滅失のリスクを軽減することができます。また、里親計画には、入園者にオガサワラグワや小笠原諸島の自然について理解を深めてもらうため、それらに関する展示や公開セミナーの開催も含まれています。

オガサワラグワ里親計画は始まったばかりです。これから、できるだけ多くの植物園に里親になっていただきいと考えています。

（遺伝資源部　板鼻　直榮）

林木育種事情調査（ミャンマー連邦共和国）

1. はじめに

2018年2月にミャンマー連邦共和国（以下「ミャンマー」）に出張し、林木育種及び林木遺伝資源保全事情調査を実施しました。本稿では、チークの育種の現状について紹介します。なお、チークを含む木材はミャンマーの主要な輸出品目の一つです。

2. ミャンマーの森林・林業

1990年代の10年間でチーク天然林の蓄積量は2億4千万㎥から1億5千万㎥へと大きく減少しています。ミャンマー森林局では1980年代から大規模な植林を開始していますが2007年時点での人工林面積は全森林面積の７％程度です。この内チークの植林面積は約38万haで全植林面積の42%を占めています。ミャンマー森林局は2017年からチークの植林面積を全植林面積の80%とする森林経営計画を策定しています。この計画では、チークの造林目標は年間当たり約2万haで、補植を除く植栽本数は年間2,600万本です。

3. ミャンマーにおけるチークの林木育種の現状

ミャンマーのチーク育種の端緒は1930年代に東南アジア各国が参加した産地試験だと思われます。1980年代にはチーク育種の機運が盛り上がり、優良木の選抜やクローン採種園の造成などが行われました。ミャンマー森林局では、1996年から地域ごとの年次計画に基づく採種林の造成を進め2006年までに約3,200haの整備が完了しています。

写真　1965年に設定された採種林

調査で訪れた、1965年に設定された採種林では、設置当初は20haであったものが道路拡張等の影響で現在は面積が減っているとのことでした。虫害などの被害は出ていないものの、直近の3年間は着果していないとのことでした。

国内で2か所に減少してしまったクローン採種園の1つである、Let-Pan Khoneリサーチセンターの採種園は1982年に地域周辺で選抜されたプラスツリー33クローンを用いて2.6haの区画に植栽密度120本/haで造成されました。この採種園の果実生産量は、平均的な年で約15万～23万粒/haとのことでした。

写真　Let-Pan Khoneリサーチセンターのクローン採種園

今回の調査では、ミャンマー全体の種子生産量のデータを入手できなかったのですが、森林局職員によれば、現在ミャンマーではチークの種子が足りない状況であるとのことでした。いずれにしても、造林種苗の一部に採種林産の初期的な遺伝的改良段階の苗木を使用している現状だと推察されました。

ミャンマー森林局ではチークを含む重要造林樹種５種については、それぞれ750個体のプラスツリーを選抜しており、チークについては接ぎ木増殖を実施していることから、プラスツリーを用いたクローン採種園の設定が増加するかもしれません。今後は遺伝的改良度と改良種苗の普及率によって決まる植林事業の増収への寄与度や育種に投資できる予算等を総合的に評価し、チークの育種戦略を策定することが重要であると考えられます。

（海外協力部　西表熱帯林育種技術園　千吉良　治）

スギのゲノム編集技術の確立に向けた取り組み

1.はじめに－我が国におけるゲノム編集技術を利用して得られた生物の取扱いについてー

人工のDNA切断酵素を用いて狙った領域の塩基配列を改変する革新的技術「ゲノム編集技術」について、以前本誌No.20，21にて紹介しました。2019年１月、環境省によりゲノム編集技術を利用して得られた生物の取扱いについて、「宿主に細胞外で加工した核酸を移入していない生物」、または「移入した核酸又はその複製物が残存しないことが確認された生物」のいずれかの条件を満たすものについては、カルタヘナ法に規定された「遺伝子組換え生物等」に該当しない、という方針が策定されました。ゲノム編集生物の取扱いについては、これからも一般社会の理解を得るために丁寧な議論が必要になりますが、本方針は我が国におけるゲノム編集生物の実用化に向けて大きな追い風になると思われます。

2.スギでのゲノム編集系の構築

スギにおいて、葉緑素合成酵素遺伝子（ChlI)を標的遺伝子として選び、CRISPR/Cas9システム*によるゲノム編集を試みました。その結果、標的配列周辺で塩基の欠損がみられると共に、葉緑素の合成が阻害されたことにより白化した個体を得ることが出来ました（図）。これらの結果は、スギにおいてCRISPR/Cas9システムによるゲノム編集が可能であることを示しています。

3.DNA切断酵素の改良によるゲノム編集効率の向上

スギにおいてもCRISPR/Cas9システムによるゲノム編集が可能になりましたが、その効率は低く、実用的に利用するにはさらなる改良が必要でした。そこで、DNA切断酵素（Cas9）の塩基配列をスギに最適化し、ChlI遺伝子の2箇所（AおよびBと記します）を標的としたゲノム編集試験をそれぞれ行いました。白化個体が得られる効率を比較したところ、標的Aでは従来型Cas9の42.9%に対して改良型Cas9は66.7%、標的Bでは従来型Cas9の6.3%に対して改良型Cas9は43.2%と、それぞれ顕著な向上がみられました。これらの改良により、スギでのゲノム編集について実用的な系が確立できたと考えています。現在、ゲノム編集により無花粉化など有用形質を付与したスギの作出を進めています。

4.今後の展望

植物にゲノム編集を行う際には、Cas9等の発現カセットを遺伝子組換えにより導入する方法が一般的で、スギのゲノム編集にも同じ手法を用いています。導入した外来遺伝子は交配などにより除去することができます。ただ、生育期間が長い樹木では、交配によって外来遺伝子を除去するには数年単位の長い時間と労力がかかるため、遺伝子組換えを利用しないゲノム編集系の構築が求められます。ここ数年の間に、細胞壁を持つ植物細胞にタンパク質を一過的に直接導入した例が報告されており、遺伝子組換えを利用せず、植物細胞にタンパク質を直接導入することによってゲノム編集を行う系の開発が進められています。

図 ChlI遺伝子を破壊したスギの個体
左：ゲノム編集により葉緑素合成酵素遺伝子を破壊した個体
右：葉緑素合成酵素遺伝子が機能している個体

*CRISPR/Cas9システム：「ガイドRNA」と「Cas9」からなるゲノム編集システム。ガイドRNAが標的領域を認識し、Cas9 が標的領域を切断する。

（森林バイオ研究センター　七里　吉彦）

表紙タイトル写真

林木育種センター（茨城県日立市）内にある「植物工場」の内部。棚によって区切られ、各棚に照明装置がついています。気温は25～26度、二酸化炭素濃度は1,000ppmに設定（植物がよく育つ温度・濃度）。原種苗育成用としてスギさし木苗の成長を促進する試験を行っています。

林木育種情報　No.31　　令和元年７月30日発行

国立研究開発法人　森林研究・整備機構　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

記事の訂正について　郵送しました前号につきまして、8頁「平成30年度林木育種成果発表会を開催」の写真2と写真3が入れ替わっておりました。訂正させていただくとともに深くお詫び申し上げます。