

ヒノキミニチュア 採種園管理マニュアル

2025 ver1.0



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

表紙写真の説明

三重県ミニチュア採種園	サンサンネット (カメムシ防除袋)	野外での花粉採取	ヒノキの雌花 (珠孔液)
-------------	----------------------	----------	-----------------

ヒノキの雄花	人工交配	愛知県閉鎖型採種園
--------	------	-----------

根域抑制栽培採種木	異形鉄筋を錘とした立枝誘引	残頂枝剪定	ベリーピッカーによる ヒノキ球果の採取
-----------	---------------	-------	------------------------

目次

第1章 樹種特性とミニチュア採種園

ヒノキの樹種特性	4
ミニチュア採種園の特徴と現状	5

第2章 採種園の設計

採種園の造成場所の選定	8
採種園造成前の準備等	9
採種園造成時の準備等	10
採種園造成後の作業及び管理	10
採種木の選定と採種園の使用期間	11
規模（造成面積）の計算方法	12
採種木の間隔と樹高	13
採種園の名称と造成計画	15
採種園の形式	16
管理サイクル（区画の場合）	17
管理サイクル（枝の場合）	19
事例紹介 樹体内と区画ローテーションの比較	22

第3章 採種園の施業管理

採種木の樹形誘導	25
採種木の断幹	26
採種木の剪定	27
断幹・剪定処理試験の事例	30
着花促進処理ージベレリン処理ー	32
着花に影響する要因	36
雄花の着花評価	37
球果（雌花）の着果評価	39
豊凶判定	41
保護	45
カメムシ防除の方法	48
採種木の施肥	51
施肥量の計算	57
採種園の地表管理	59
採種園の体質改善	60
球果採取	61
球果の乾燥と脱粒	62
種子の精選	63
種子の貯蔵と発芽検定	64
種子の発芽促進	65
花粉の採取・貯蔵・発芽試験	66
開花フェノロジー	68
人工交配	71

目次

第4章 採種園の苗木生産数の試算

球果生産数の試算	75
球果と種子の関係	82
種子発芽率に影響する要因	83
苗木生産数の試算	85

第5章 ヒノキミニチュア採種園の事例

閉鎖型採種園	91
根域抑制栽培	99

第6章 年間作業暦事例

東京都の事例	103
愛媛県の事例	104
静岡県の事例	105

第7章 工程・歩掛り事例

ジベレリン処理	107
静岡県における各種作業工程	108
カメムシ防除袋かけ、整枝剪定	109

第8章 作業の効率化や低コスト化に資する取組事例

整枝剪定を効率化するための立枝誘引	111
整枝剪定を効率化するための残頂枝剪定	112
ベリーピッカーによる球果採取の効率化	113
ジベレリンペースト準備方法	114

第9章 用語解説

用語解説	117
引用文献	118

はじめに

戦後、国土復興のために懸命に植栽されてきたヒノキ人工林が徐々に成長し、30年生を超える林分が増加したことに伴って、スギと同様にヒノキについても花粉症が問題となってきた。最新の報告では花粉症アレルギーの症状を有する人の割合は国民の約4割にのぼるとされており、社会的・経済的に大きな影響を与えている。一方で、持続的な森林資源の循環利用のためには、今後もヒノキは我が国の林業において重要な造林樹種である。花粉症対策と林業の活性化の両立という課題を解決するため、国立研究開発法人 森林研究・整備機構（以下、「森林研究・整備機構」）では、都道府県と連携を図りながら、精英樹（成長や通直性、病虫害に対する抵抗性などの形質に優れた木として選ばれたもの）を対象に、雄花の着生性の調査・評価等を行い、花粉の少ない品種（花粉症対策品種）の開発を進めてきた。

林野庁では、都道府県とも連携して森林・林業面からの花粉症対策を効果的に推進していくため、2007年に「スギ花粉発生源対策推進方針」を定め、ヒノキについても、この方針を参考に、花粉の少ない森林へ転換等を進めている。花粉症対策品種の他に、特定母樹から生産された苗木を、「花粉の少ない苗木」と定義し、ミニチュア採種園、採種（穂）園の造成・改良に当たっては、より花粉の少ない品種や特定母樹を利用することを推進している。しかし、ヒノキの花粉の少ない苗木の生産量は約1割に留まっており、花粉の少ない苗木の生産量の拡大が必要である。

花粉症対策品種や特定母樹によるミニチュア採種園の導入が進められている中で、ミニチュア採種園は、短期間・高効率で採種が可能であるが、ヒノキの場合、ミニチュア採種園における植栽間隔や整枝・剪定及び着花促進処理等、技術開発が途上であり、ミニチュア採種園における種子生産が充分ではない状況がみられる。特に、ヒノキは一度枝が枯れあがると剪定後にそれらの幹や枝から萌芽しない樹種特性を有しており、このことがスギとは異なり、ミニチュア採種園における母樹管理を難しくしている。さらには少花粉の特性を有する品種や特定母樹に対する着花の促進といった高度な技術開発が求められている。このため、ヒノキに適したミニチュア採種園管理技術を開発するための調査・研究を進め、その管理技術をマニュアルとしてまとめる必要がある。

本マニュアルは、2020年度から2024年度にかけて実施した林野庁補助事業の「花粉の少ない苗木の円滑な生産支援事業」において、林木育種センターを中核機関とし、茨城県林業技術センター、千葉県農林総合研究センター森林研究所、東京都農林総合研究センター、神奈川県自然環境保全センター、山梨県森林総合研究所、静岡県農林技術研究所森林・林業研究センター、愛知県森林・林業技術センター、三重県林業研究所、岡山県農林水産総合センター森林研究所、愛媛県農林水産研究所林業研究センター、秋田県立大学、関西育種場の13機関が参画し、本事業で得られた新しい知見や、これまで各育種場から発刊した採種園管理マニュアル、既存の研究論文・報告書等の知見を載せている。また実際の作業の年間作業暦、工程歩掛りの事例も掲載し、採種園管理や計画を立てられる場合の参考となる情報や作業の効率化や低コストに資する取り組み事例についても紹介している。これらの一連の知見や成果について「ヒノキミニチュア採種園管理マニュアル」として取りまとめた。このマニュアルが、手にとってくださった読者の皆様の業務等の参考となり、業務の効率化や生産性の向上の一助となるとすれば、それはこの技術開発に取り組んだメンバー一同にとって幸甚です。

2025年 3月
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
所長 箕輪 富男

第1章

樹種特性と ミニチュア採種園

ヒノキの樹種特性

ヒノキ (*Chamaecyparis obtusa*) は、ヒノキ科ヒノキ属の常緑針葉樹で、日本では主要な造林樹種の一つである。本州の福島県以南、四国、九州の屋久島まで分布し、造林地は西日本に多く、多雪の日本海側にはあまり植栽されない。

ヒノキの材は、芯材はピンク色を帯び、木目は通り、美しく、独特な香りによるリラックス効果やダニ抑制、消臭効果がある。油分が多いため、吸湿しにくく耐久性に優れる。スギに比べて曲げ弾性強度や引張強度などが強く、伸縮などの変形が他の樹種より少ない特性を有し、加工もしやすいことから、柱や梁、床材などの建築材として広く使われている。

ヒノキの雌花は3月から4月にかけて開花し、1年生枝の頂端から概ね10節以内の小枝から展開した鱗片葉の先端に着生する。また雄花も3月から4月にかけて開花し、雌花から着生した小枝より枝基部側に発生する小枝から展開した鱗片葉の先端に着生する。雄花は長さ2～3mmで小さく、色も黒色から赤みを帯びた褐色など変異がある。ヒノキの花粉が大量に飛散する時期は、くしゃみ、鼻水、目のかゆみなどの症状、いわゆる花粉症の症状を引き起こす。

日当たりの悪い部分の葉は茶色く枯れ、一度枯れあがると、剪定後にそれらの幹や枝の部位から萌芽しない樹種特性を有する。

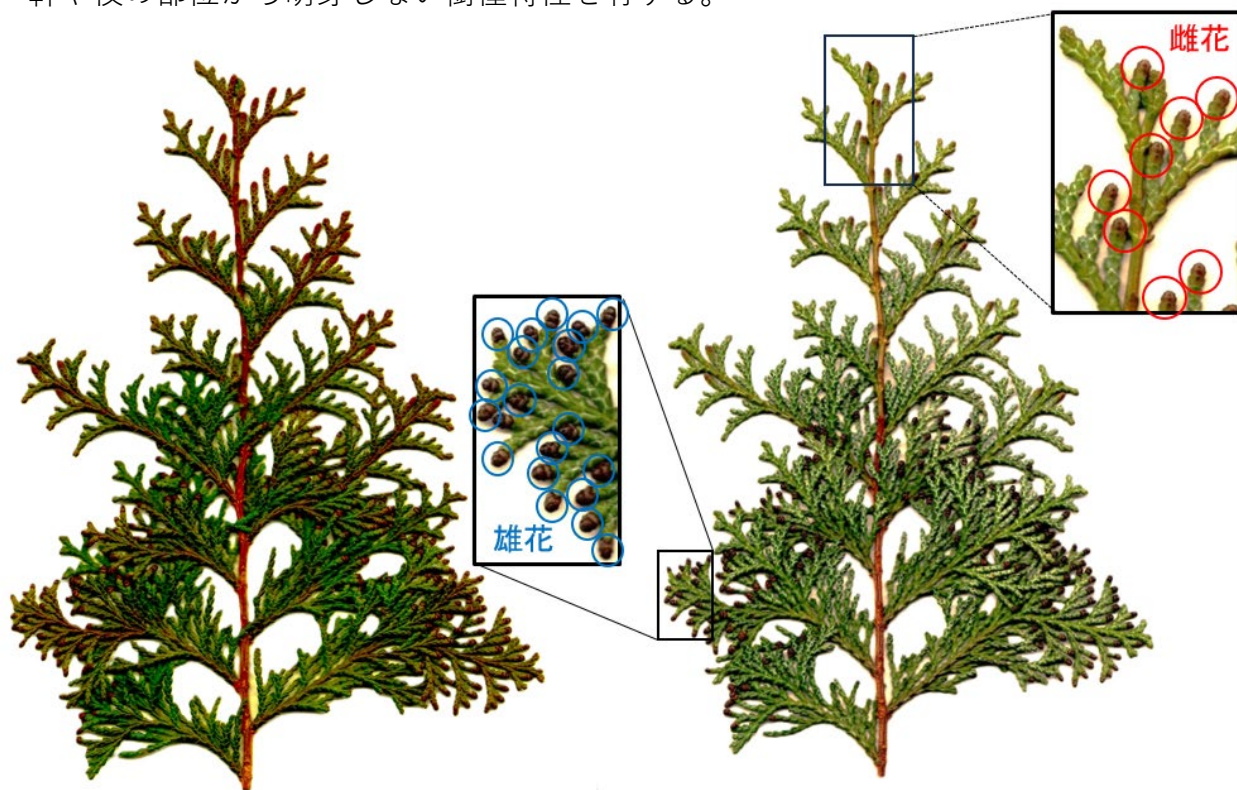


写真1 ヒノキの雌雄花

左：表面、右：裏面 撮影日：2025年3月21日

■ 目的

採種園を造成した後、種子採種までの期間を短縮し、優良種苗の普及を図ることは重要である。ミニチュア採種園は、これらの目的を果たすことができる採種園として期待されている。ここでは、ヒノキのミニチュア採種園の特徴について解説する。

■ ミニチュア採種園の特徴

- 少花粉品種で構成された採種園や、近年では特定母樹を用いた採種園において見られる。
- ミニチュア採種園は、単位面積あたりの種子生産性が高いこと、安全な管理・収穫作業、限られた面積の利用、造成・管理コストの低減、新品種普及への迅速な対応等が通常の採種園より有利であることが期待できる。
- ミニチュア採種園のサイズや植栽間隔については、定義はないが、普通採種園に比べて最終仕立て高や植栽間隔が小さい。
- 採種木の樹体が小さいことから剪定等管理作業や収穫作業が容易である。基本的に脚立が不要で1本にかかる作業時間が短く、採種木間の移動の時間が少なく効率的である。さらに危険作業を伴わないので、近隣集落からの労務も得られやすい。
- 接ぎ木で造成されたミニチュア採種園で、適切にジベレリン処理することによって、優良品種や特定母樹の種子を短期間で生産することができ、再造林に貢献できる。
- 採種木が小さいので、伐採除去がしやすく更新作業にともなう作業が容易である。そのため、採種園の体質改善に対応しやすく、新品種等の植替えによる普及速度も早められることが期待できる。



写真1 林木育種センター（茨城県日立市）モデルミニチュア採種園

■ ミニチュア採種園の現状

ヒノキの山行苗木の本数は全国で毎年700万本生産されているが、その多くが、少花粉品種で構成された採種園・採穂園からの生産である。また、少花粉品種で構成された採種園は、ミニチュア採種園の方が通常採種園より箇所数が多い状況である（2025年3月時点）。

全国に設定されているヒノキミニチュア採種園の現状の概要を以下の表1に示した。植栽間隔や採種園の管理方法は、採種園によって大きく異なり、植栽間隔、剪定方法、着花促進処理の方法や採種園産種子の収量の見込み等々が未解明である。

表1 ヒノキミニチュア採種園の現状

項目	ヒノキミニチュア採種園の現状
材料	少花粉ヒノキ、特定母樹
植栽間隔	2.2m×2.2m（平均）、1.5m×1.5m（最小）、4.0m×4.0m（最大）
平均面積	0.20ha（平均）、0.03ha（最小）、0.74ha（最大）
ローテーション管理	3区画を用意し、全区画を3年でローテーションしている場合が多い。また樹体内で毎年、1/3の本数の枝に対してジベレリン処理を行い、樹体内でローテーションしている場合もある。ローテーション管理を行わずに、豊作年に球果を採取している場合もある。
剪定	多くの採種園が円錐形仕立てで剪定している。
ジベレリン処理枝本数	採種木1本当たりのジベレリン処理枝数は1本～5本（平均3本）である。
平均樹高	平均2.4m（園齢5年以上）
平均断幹高	平均1.4m（園齢5年以上）

第2章

採種園の設計

採種園の造成場所の選定

採種園を造成する場所を選定する場合は、以下の事項に留意する。

■ 場所

採種園は、種苗配布区域に配慮し、原則として、その種子を使って造林する配布区域内につくる。

■ 位置

採種園は、集約的な栽培管理をするので、交通、電気等の必要な基盤が整っている場所がよい。また、外部の花粉が園内に混入すると育種効果が低減するので、隣接地にヒノキ林がある場所は避けた方がよい（500m～1km離れることが理想で、最小限300m以上が必要）。

■ 気候

成長が良く、開花結実を確実なものとするため、寒害及び雪害等の気象害を受けないよう穏和な気候を持つ土地を選択する。多雪地帯や少雪寒冷地では、雪囲い、寒害防止など管理コストが高くなる場合があるため、なるべく避けた方がよい。

■ 土壌

土壌の通気性、透水性の良好なところがよい。粘土質土壌の場合は、大きな植穴にすると水がたまり、数年後に根腐れをおこす恐れがあるので、排水溝を掘るか植穴の深さを加減する。

■ 水利

採種園の保護管理には、灌水、病虫害防除のための薬剤散布など、多量の水を使うので水の確保が可能なところがよい。

■ 地形

採種木の結実のためには、日当たりのよい場所が望ましい。また刈払機等の機械を使うため、なるべく平坦地がよい。

■ 労働力の供給

施業管理を行うため、毎年一定の労力を確保できることが望ましい。

■ 状況の確認

環境条件等に気象害・生物害等恒常的（連年隔年）な被害の少ないことや、周囲の同一樹種の着果状況等を把握するとよい。また可能であれば、採種木の育成から越冬、その他管理全般について予備試験を行い、事前に採種園の成育条件を把握することが望ましい。

採種園を造成する場所が決定したら、造成前及び造成時に、以下の事項に留意する。

■ 整地

植付後の諸作業を容易にするため、伐根、かん木類および笹類や大型雑草などの地下茎をも取り除く。林地を整地する場合には、立木を伐採した上、火入れして地被物を除去（焼却）する。小径木の伐根は除き取るが、中径木の伐根は地際より切断して、その後の作業を容易にする。笹生地は火入れ後、枯殺剤散布により笹根茎を完全枯死させ、その後に牧草を混播する。

■ 土地整備

地下水位が0.5～1.0m以内の場所では、暗渠、または明渠の排水設備を行い、園内の排水をよくする。また不透水層が上層にあるとき、すじ状に深耕を行ない排水を行う。成長の悪い採種木は、この不透水層が上層にあることが原因の場合がある。

■ インフラ整備

給排水路・建物・その他種子乾燥室・作業室・器具倉庫等施設を設ける。

■ 作業用通路の作設

採種園を区画するときには、生産資材の運搬、球果の搬出、耕耘および消毒剤、殺虫剤などの散布作業を容易にするために、作業用通路を作ると良い。例えば、剪定時の枝や球果の運搬などがしやすいように、導線上に作業用の機械が入る作業用通路を設ける。

■ 花粉防護林の設置

園外からの外部花粉の飛散（または混入）が考えられる場合は、交配チャンスが全くない異樹種を花粉防護林として植栽する。しかし、採種園はなるべく風通しをよくしておくことも重要であり、極端に周囲を囲むことは避ける。

■ 機械器具設備

中耕などを行うトラクタ等の機械を準備する。

■ 植付前の施肥

植栽前に堆肥および化学肥料などを施用する。コガネムシによる被害防止のため、殺虫剤も忘れずに散布する。肥料散布後は何度も砕土・整地を行い、肥料を土とよく混和する。

採種園の造成時は、以下の事項に留意する。

■ 植栽準備

採種園のクローン配置図に基づいて、縄や杭などを用いて造成予定地の区画を明確にする。

誤った苗木の植栽を防ぐため、植栽作業を始める前にクローン配置図を見て、植栽位置にクローン名を明記した表示杭等を立てるのが望ましい。また同時に、植栽する原種苗木にはクローン名を表示したラベルを付ける、または付いていることを確認する。

苗木の乾燥と損傷は活着に影響するので、苗木の取り扱いを丁寧に行なう。特に輸送中に根が乾燥しないように冷蔵で根を梱包して輸送したり、仮植する期間を短くする。仮植する場合は、冷暗な場所に苗木を置くなどに気をつける。

■ 植栽作業

各苗木を植栽する際、事前に設置した表示杭と苗木のラベルが合っていることを確認し、採種園のクローン配置図と異なった系統の苗木を誤って植栽しないように気をつける。植栽時には根を乾燥させないように充分注意し丁寧に植栽をする。特に根に直射日光が当たるような状況は極力回避する。

採種園造成後の作業及び管理

採種園の造成が完了した後は、以下の事項に留意する。

■ クローン配置図の作成

植栽終了後、植栽した苗木ラベルの系統名を確認しながら、直ちにクローン配置図を作成する。

■ 植え付け後の管理

植付した苗木は、活着するまで風などによる動揺を防ぐため支柱立てをする。接木台木から発生した芽は直ちに切除する。苗木に荷札などの針金が巻かれていることもあるので、苗木が針金を巻込まないように、針金を取り除く。

植付後はよく園内を巡視し、各種被害の発見と、その防除に努める。枯損が生じた場合は、枯損した苗木の位握とクローン名を記録し、すみやかに補植を行う。

植付け当年は苗木が小さいので特に下刈の際には誤伐に注意する。誤伐を防ぐためにも、苗木に支柱を立てるとよい。

採種木の選定と 採種園の使用期間

ヒノキの造林には、主に実生苗木が用いられる。生産される苗木の品質は、採種園を構成するクローンによって異なる。ここでは、採種木の選定に係る考え方と選定の方法について解説する。また、採種園の使用期間について解説する。

■ 採種園の構成クローンの選定と留意点

林業・林産業を取り巻く国内・地域の情勢、政府や林野庁等の施策の方向性等を踏まえて、採種園に導入するクローンを選定することになる。

採種園に導入するクローンの選定にあたっては、エリートツリー（特定母樹）特性表や、林野庁等が公表している特定母樹の特性値を参考にとするとよい。

■ ミニチュア採種園の使用期間について

採種園の使用期間には生物学的な側面と採種園の機能的な側面がある。生物学的な側面としては、使用期間は10年程度ということではない。採種園の機能的な側面から見た場合、ミニチュア採種園の利点の一つは、クローンの更新が容易である点である。10年程度で新たなクローン構成の採種園とすることで、より特性の優れた種子を生産することが可能となる。また、体質改善によって、それまでの採種園を活かしつつ、生産される種子の特性を高めることができると考えられる。なお、体質改善とは、特性表等を参考に、生産目標に合致する優れたクローンに入れ替えたり、不良なクローンを除去することである。ただし、採種園を長期間利用するためには、剪定や施肥管理を適切に実施し、採種木の樹体サイズをなるべく同一に維持し、健全に保つことが必要である。

採種園で生産される苗木生産の推定量から必要な採種園の規模（造成面積）を算出する方法を解説する。

■ 採種園の総面積の計算例

□ 採種園の総面積の計算にあたっての留意点

以下に示す採種園の総面積の計算は、採種園造成後に間伐は行わず、事業的にジベレリンによる包埋処理によって計画的に種子生産することを前提にしている。

- ① ニーズに対応した生産種苗の種類と、中長期的な造林計画等に基づく年間造林面積から、必要な山行苗木の総数を計算する。
- ② 採種木1本あたりから生産される山行苗木数を計算する（第4章を参照）。
- ③ 最終仕立ての樹形から植栽間隔を決定する。
例）植栽間隔は3.0m×3.0m
- ④ 採種園における施業を区画単位でローテーションする場合は、区画数を決定する。
例）3年間で施業を一巡させるのであれば、区画数は「3」となる。

□ 採種園の総面積の計算例

以下に示した方法は、あくまでも計算方法の一例である。豊凶や苗木生産の方法等によって、詳細は変わってくる。

- ① 年間造林面積が100haで、植栽密度が2500本/haであれば、山行苗木の総数は25万本となる。
- ② 胸高直径10cmの採種木1本あたり3枝にジベレリン処理し、処理した枝にカメムシ防除袋を掛け、その処理した枝からのみ球果採取した場合の採種木1本あたりの山行苗木の総数は約750本になる（第4章を参照）。
- ③ 最終仕立ての採種木の高さを3mで維持し、下枝にも十分な光が当たるようにするためには、植栽間隔を3.0m×3.0mとする（第2章を参照）。
- ④ 1区画目では冬に整枝剪定、2区画目では夏にジベレリン処理、3区画目では秋に種子採種とする施業を行う場合は、3区画が必要になる。

以上の条件の場合に必要な採種園の総面積は以下ようになる。

毎年球果採取に必要な採種木数は、25万本/750÷333本となる。ただし、これは1区画のみの本数である。3区画でローテーション管理するため、採種園全体では333本×3区画=1,000本の採種木が必要となる。1,000本を3.0m×3.0m（1111本/ha）の植栽間隔で造成するために必要な採種園の総面積は約1.1haとなる。この面積の他に、建物敷、道路敷、防風林、花粉防護林などの区域の面積を加える必要がある。

ヒノキの場合、植栽密度が過密になると樹冠の下部にまで十分に陽光が当たらなくなるため、種子生産量は大幅に減少する。例えば、採種木を高密度で植栽すると、初期の種子収量を多くすることができるが、適切に管理しないと、すぐに日当たりが悪化し、種子生産量は減少する。採種木の最終仕立ての樹形をイメージし、過密にならないように、適正な植栽間隔を決めることが重要である。ここでは、採種木の植栽間隔の計算方法について解説する。

■ 採種木間の距離の決定

ミニチュア採種園における採種木間の距離は、設定地の地形と面積にもよるが、目安として最終仕立て高と同程度の採種木間の距離にすると、下枝まで陽光が当り着果が期待できる。また管理作業の効率化のために刈り払い機等の機械を入れる場合は、機械が入りやすい距離に設定する。

カラマツの採種園の例であるが、採種木間の距離を決定する上で、参考になると考えられるため紹介する（浅川 1966）。

$$D = ((H - a) / \tan \alpha) + C / 2 \cdots \cdots (式1)$$

ここで、H：樹高（m）、D：採種木間の距離（m）、C：クローネ直径（m）、 α ：日南中高度（度）、a：枝下高（m）

式1を用いて、最終仕立ての樹高、クローネ直径、枝下高、日南中高度を入力すれば、採種木間の距離を計算することができる。留意してほしい点は、枝が触れ合わないよう管理する必要があるため、 $D > C$ にする。

□ 植栽間隔の計算例

最終仕立ての樹高（H）：3.0m、クローネ直径：3.0m、枝下高：0.5m、花芽分化期と考えられる6月から9月の日南中高度を55度とした場合の採種木間の距離（D）は、3.25m以上で管理する必要があると計算される。

■ 植栽間隔について

通常（従来）型のヒノキ採種園は、2回間伐を前提に、当初1600本/haで造成していたが、植栽後10年も経たないうちに、枝が触れ合うようになり、過密で、樹冠の競合や採種効率の低下することが懸念されている。実際に10年生未満では一部のクローンしか結実しなかったり、結実してもha当り数キロしか採種できない事例も見られ、10年生前後で1回目の間伐を行うとなれば、半数の採種木が利用されないまま伐採されることになる。伐採された採種木に対する投資額は無視できないため、採種木間の血縁を考慮しながら、最初から間伐をしない前提で、最終仕立ての採種木間の距離で植栽することも一考である（佐々木・都築 1989）。

■ 採種木の最終仕立ての樹高の決定

式1を変形した式2によって、採種木間の距離、クローネ直径、日南中高度、枝下高が分かれば、最終仕立ての樹高（H）を決めることができる。

$$H = (D - C / 2) \times \tan \alpha + a \cdots \cdots \text{(式2)}$$

ここで、H：最終仕立ての樹高（m）、D：採種木間の距離（m）、C：クローネ直径（m）、 α ：日南中高度（度）、a：枝下高（m）

計算例）

採種木間の距離：3.0m、クローネ直径：2.5m、枝下高：0.5m、花芽分化期と考えられる6月から9月の日南中高度を55度とした場合の採種木の最終仕立ての樹高（H）は、3.0m以下で管理する必要があると計算される。

最終仕立ての樹高の決定には、採種作業や剪定作業の効率性を考慮することも重要である。

1つのミニチュア採種園は、構成クローンによって、特徴を持った1つの集団品種とみることができる。これらの特性を発揮させるための採種園の設計とその特性を示す採種園の名称について解説する。

■ 採種園とは

採種園は、遺伝的に優れた種子を生産するための樹木園であり、そこから生産される苗木の特性は、採種園に植栽される系統の構成によって異なる。

■ 採種園の名称について

林業種苗法では、生産事業者及び配布事業者は種苗を配布する際に採取場所及び指定採取源の種別などの表示義務が定められている。この表示票には、生産事業者名、いつどここの採種園から生産されたもので、どんな形質に優れた苗木かが一目でわかるように、「〇〇（地域名）少花粉ヒノキミニチュア採種園」のように、地域、樹種、生産される種苗の特性が分かるような採種園の名称がよい。

■ 採種園の造成計画の立て方

□ 優良品種等の原種の確保

ミニチュア採種園は、通常の採種園とくらべ造成から種子生産までの期間短縮が期待される。造成に当たっては、造成地の選択、導入クローン、採種園の規模・配置図の設計など造成計画を立てる必要がある。導入クローンや本数が確定した場合は、各育種基本区を管轄する林木育種センターまたは育種場に優良品種等の原種配布を計画的に要望する。

□ 優良品種等の増殖計画

ミニチュア採種園を造成するに当たって、優良品種を自ら増殖する場合は、一定のクローン数及びクローン当たりの苗木本数の確保が必要になるので、採種園等からの計画的な穂の供給と増殖計画を立てる必要がある。クローンの枯損等で導入クローンに不足が生じた場合は、採種園全体の造成や管理計画に影響するので、年次ごとに必要数を把握して増殖計画を立てる必要がある。

■ 採種園の型式

ヒノキは一部自家受粉が可能な他家受粉植物である。種子の形成には交配が不可欠であるが、交配様式によっては不稔種子が形成される。不稔種子は胚の形態からシブダネやシイナに区分されるとされ、シイナは花粉の未受粉により、シブダネは主に交配不和合性により形成される（丹原 1990）。また他家受粉の発芽率は40%以上となるのに対して、自家受粉の発芽率は5%と低くなることが報告されている（中村・内田 1991）。このように、どのような交配が行われるかによって、そこから生産される種子の品質が変化する。採種園における自殖率を推定した結果、自殖率は2.3～16.1%であったとされている（清藤 1990a；Seido et al.2000）。自殖ではない場合でも、血縁が近いもの同士の交配で得られた種子から育成した苗木は、成長が悪い傾向がある。以上のことから、採種園では異なるクローン間の交配チャンスがなるべく均等になり自殖が少なくなるようにするため、採種園の構成クローン数はなるべく多くするように配慮し、各クローンの隣接組合せの多様化を図る必要がある。採種園では生産種苗の遺伝的多様性等を勘案して25型を基本とし、構成するクローン数は25～48とする必要がある。大きな改良効果を期待したい場合や、導入可能なクローン数が少ない場合は9型とする。この場合、構成するクローン数は9～24とし、あるクローンの周囲の8個体とは血縁関係がないクローンで構成する必要がある（表1）。ただし、次代検定などの特性調査の結果で不要クローンを除去するといった体質改善があり得ることを考慮すると、10以上のクローンで構成するようにした方がよい。

表1 9型採種園のクローン配置の例

2	3	1	2	3	1
5	6	4	5	6	4
8	9	7	8	9	7
2	3	1	2	3	1
5	6	4	5	6	4
8	9	7	8	9	7

注) 数値はクローン番号

少花粉品種や特定母樹のような花粉の少ないクローンで構成されたミニチュア採種園は、一般のヒノキに比べて花粉濃度が低くなる可能性がある。その場合は、人工交配やSMPによって他のクローンの花粉を受粉させる方法もある（第3章参照）。

■ 採種園の区画について

毎年種子を生産したい。しかし、毎年ジベレリン処理を行い着花促進を行うと採種木が衰えてしまう。採種木が衰えないように種子生産を行おうとすると、1年目の冬季に剪定を行い、2年目の夏にジベレリン処理して着花促進し、3年目の春に交配して、同年秋に採種する。また4年目の冬季に剪定を行うようにすると、木を弱らせずに種子を生産することができる。毎年安定的に種子生産しようとする、少なくとも区画を3つ設けて、それぞれの区画で施業を1年ずつずらし、毎年異なる区画でジベレリン処理を行えるような体制を構築する。このようにすると、採種木を弱らせることなく、毎年同程度の種子生産を行うことができることが期待できる。

ミニチュア採種園の造成は、3年以上かけて毎年造成することが望ましい。ここでは、区画を単位としたローテーション管理について解説する。

■ 区画ローテーションの例

剪定した当年の花芽分化は減るため、ジベレリン処理は剪定した翌年以降が良いとされている（三嶋ら 1979）。また、球果を手でむしり取る方法は1年目から回復が認められるが、球果がついた枝を切って採種する方法は、1年目は種子生産が少なく、2年目になって種子生産の回復が認められたとしている（増田 1985）。すなわち、剪定した2年目にジベレリン処理を行うことが重要である。

図1には、採種園造成後における造成管理のサイクルを示した

（Matsushita 2025）。まずは区画を単位としたローテーションを3区画で管理する場合を紹介する。区画Aにおいて冬季に剪定を行う場合を1年目とした場合、2年目の夏季にジベレリン処理を行い、3年目の秋季に球果採取を行う。区画Bでは、1年目の秋季に球果採取が行われ、2年目の冬季に剪定が行われ、3年目の夏季にジベレリン処理が行われる。区画Cでは1年目の夏季にジベレリン処理が行われ、2年目に球果採取、3年目の冬季に剪定が行われる。このように、それぞれの区画が1年ずつずれる。

4区画ローテーションの場合は、1年目の冬季に整枝剪定を行い、2年目は養生してジベレリン処理する枝を育成し、3年目の夏季にジベレリン処理、4年目の秋季に球果採取を行うと良いと考えられる。3区画ローテーションに比べて、剪定してからジベレリン処理までの期間が1年間長く、その分、枝が伸長するため、ジベレリン処理した枝の着果量は増える可能性はあるが、日当たりが悪くなることによって、着果量が減る可能性もある。

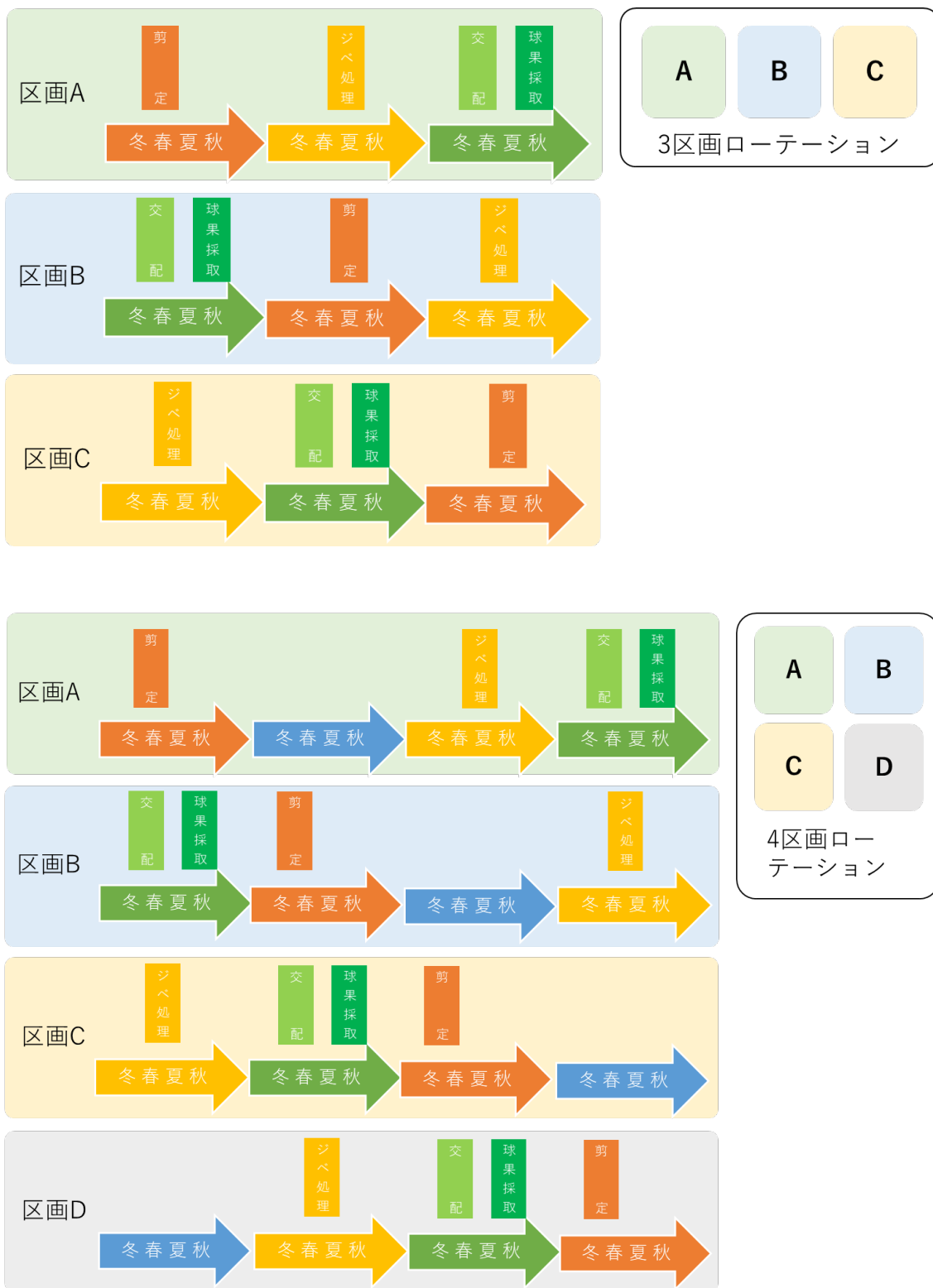


図1 区画でローテーション管理する場合の例
上：3区画の場合、下：4区画の場合

■ 樹体内ローテーション（枝単位の管理）の例

採種園面積が少なかったり、母樹の本数を少なくしたい場合には、区画でローテーションする代わりに、同一樹体内で、枝毎にローテーションすることが考えられている。毎年、3分の1程度の数の一次枝の適切な個所にジベレリン処理を行い、3年間でローテーションを行う。傷口をふさぐテープの色を変えることで、枝単位での管理ができる。

枝単位でのサイクルを示した。枝単位で管理する場合は、
①1年目の夏季にジベレリン処理を3分の1の一次枝（赤）に行い、冬季にはジベレリン処理枝以外の枝の弱剪定を行う。

②2年目の夏季に、1年目にジベレリン処理をおこなった枝以外の枝の約半数の一次枝（二次・三次枝を含む：青）にジベレリン処理を行う。2年目の秋季に（赤）の枝から球果採取を行う。2年目の冬季に、球果採取を行った枝（1年目にジベレリン処理を行った枝：赤）を剪定する。また同時に、顔より高い位置の立枝等も剪定する。この時、2年目にジベレリン処理した枝、次年にジベレリン処理する予定の枝は切らない。

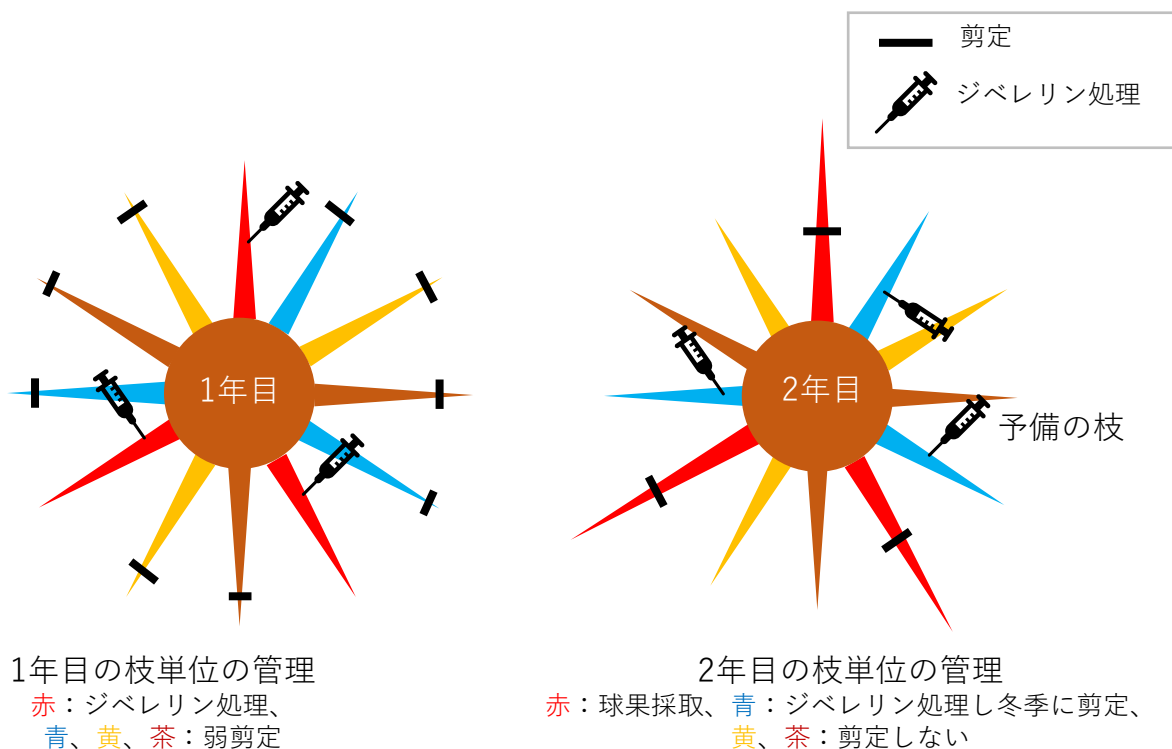


図2 枝単位の管理（樹体内ローテーション）

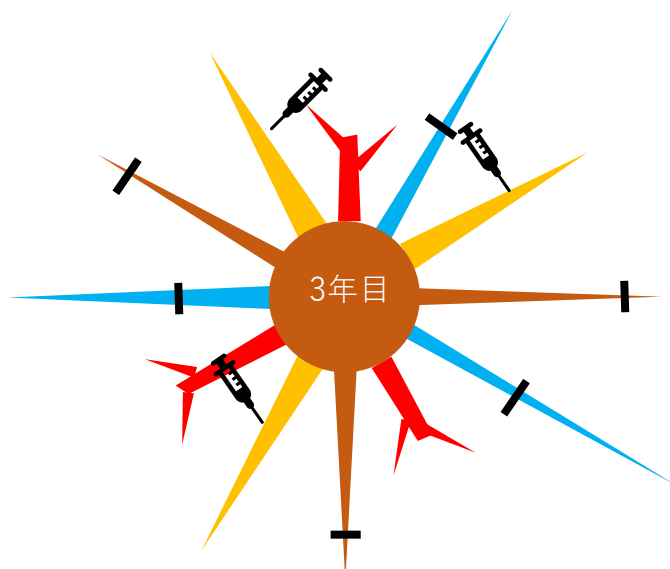


図3 3年目の枝単位の管理
青：球果採取、黄：ジベレリン処理し
冬季に剪定、茶：適宜剪定

③3年目の夏季に残りの3分の1の一次枝（二次・三次枝を含む：黄）にジベレリン処理を行う。3年目の秋季に（青）枝から球果採取を行う。3年目の冬季に、球果採取を行った枝（2年目にジベレリン処理を行った枝：青）を剪定する（図3）。長くなりすぎた予備枝（茶）は適宜剪定を行う。また同時に、顔より高い位置の立枝等も剪定する（図4）。

④4年目は2ローテーション目の始まりで、1ローテ1年目にジベレリン処理を行った枝（2年目の冬季に剪定した枝：赤）の二次枝より先の部分に再度ジベレリン処理を行う。秋季には、1ローテ目の3年目の枝（黄）から球果を採取することになる。

表1 枝単位の管理（樹体内ローテーション）

枝色	1年目	2年目	3年目	4年目
赤	ジベレリン処理(夏)	球果採取(秋)、剪定(冬)		ジベレリン処理(夏)
青		ジベレリン処理(夏)	球果採取(秋)、剪定(冬)	
黄			ジベレリン処理(夏)	球果採取(秋)、剪定(冬)
茶			適宜剪定	

※1年目から3年目は1回目のローテーション管理の1～3年目にあたり、4年目は2回目のローテーション管理の1年目にあたる。

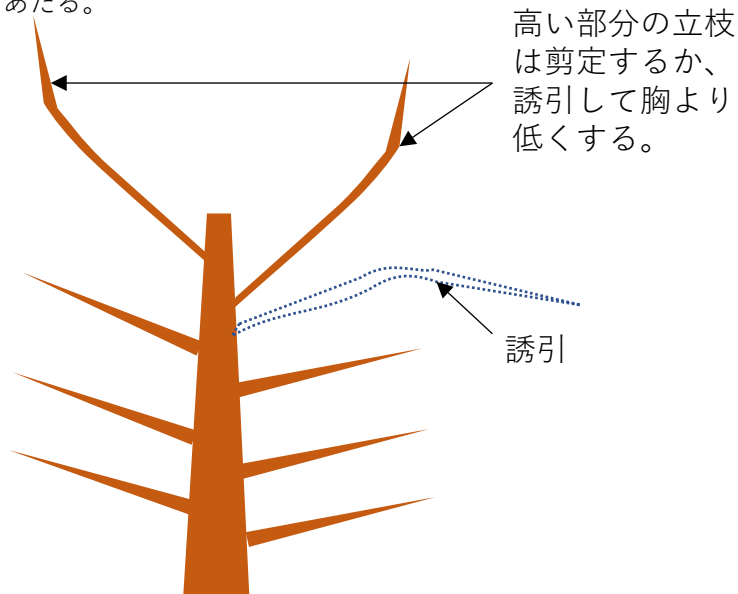


図4 枝単位の管理（樹体内ローテーション）（つづき）

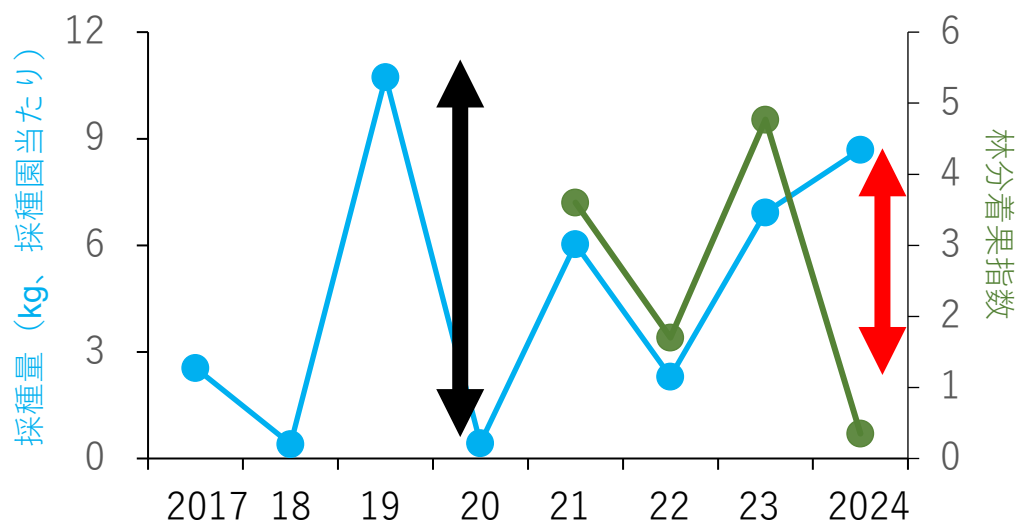


図5 愛媛県東温採種園における採種量の変動

- 2020年度まで区画ローテーション剪定であった採種園を2021年度から枝ローテーション剪定に変更した。ジベレリン処理についても同様である。
- 樹体サイズの拡大が抑制できている。
- 豊凶の年変動が縮小している（図5）。

事例紹介(三重県)

樹体内と区画ローテーションの比較

同一ヒノキ採種園内の区画ローテーション区と樹体内ローテーション区で同時期に採種量を比較した結果について紹介する(写真1、図1)。調査地は、三重県津市内のヒノキミニチュア採種園である。



写真1 調査地の状況

※ヒノキ特定母樹14クローンを植栽

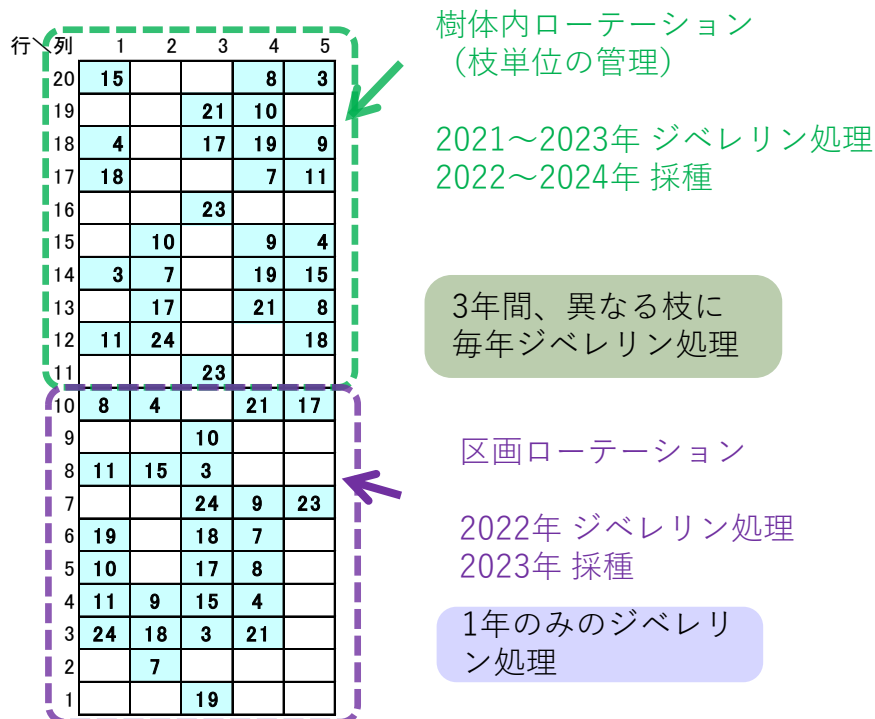


図1 調査地の配植図

※図中の数値は採種木のクローン番号

■ 樹体内ローテーションと区画ローテーションの種子生産量

樹体内ローテーションの1個体あたりの採種量は区画ローテーションと同程度以上となった（図2）。

樹体内ローテーション

個体数 26本

2021～2023年 ジベレリン処理枝数
各個体 3～5本程度

2022～2024年 1個体あたり
採種量 127g ← 3年間の
収穫

区画ローテーション

個体数 23本

2022年 ジベレリン処理枝数
各個体 5～7本程度

2023年 1個体あたり
採種量118g ← 3年に1回
の収穫

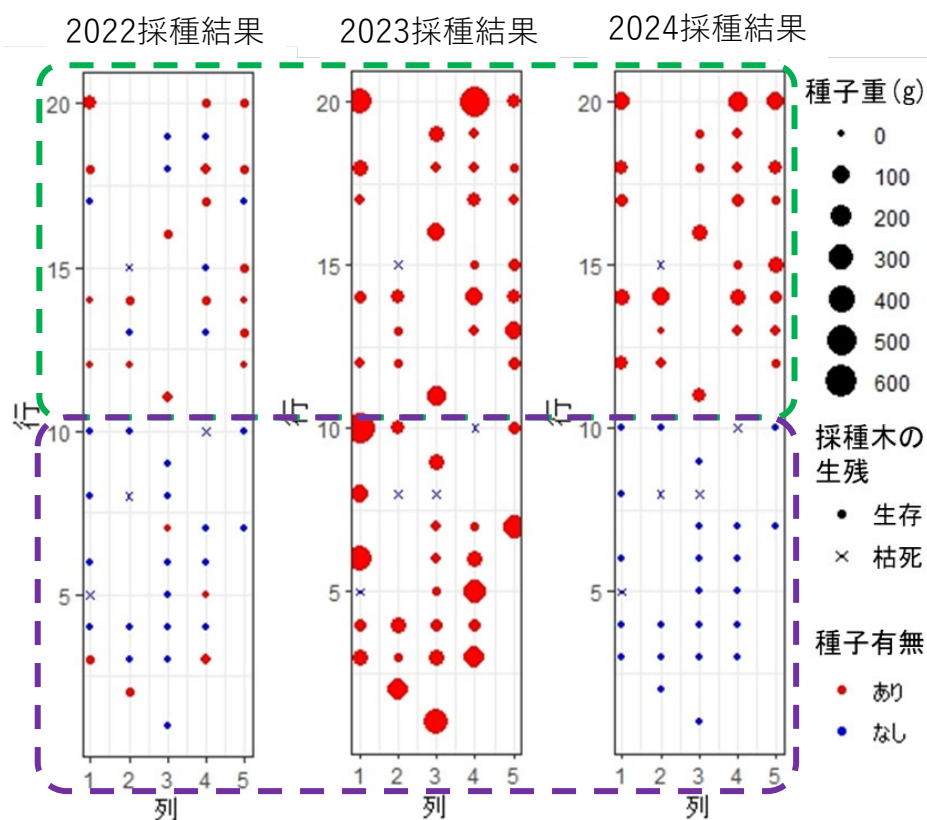


図2 2022～2024年の各個体の種子生産量

面積規模の小さい採種園でも効率的に種子生産が可能になり、採種園の造成や管理にかかるコストを軽減できる可能性がある。

第3章

採種園の施業管理

ミニチュア採種園から良質な種子を安定的に生産するには、適期に整枝剪定を行ない、着花枝を確保することができる樹形に採種木を誘導することがポイントである。ここでは採種木の樹形誘導について解説する。

■ 樹形の種類

樹形には盃状形、開心自然形、主幹形、変則主幹形などがある（図1）。ヒノキの採種園で一番多く用いられる樹形は、変則主幹形である。変則主幹形とは、主幹を断幹し、樹高を一定の高さに保ちながら、枝の剪定などを積極的に行って、樹形を円錐形または円柱形に誘導した〔仕立てた〕ものをいう。

■ 樹形誘導の方法

樹木には頂芽優勢があること、葉に十分光が当たるよう留意する必要があることから、剪定の際には樹形を円柱形ではなく円錐形に仕立てるのがよい。円柱形に仕立てた場合、剪定の6ヵ月後には逆円錐形に近い樹形になってしまい、ジベレリン処理の時期以降、球果の結実までの間、採種木の下部の枝の葉に光が当たらなくなるため、種子生産量に影響が出てくる可能性がある。種子の生産を目的とする採種園では、採種木全体に光が当たるように円錐形に剪定し、球果の採取後、樹形が逆円錐形になる前に再度剪定を行うのがよいと考えられる（中村・奈良 2016）。

樹形を円錐形に仕立てることの長所は、種子の採取が容易となること、保護管理の作業がしやすくなることが挙げられる。

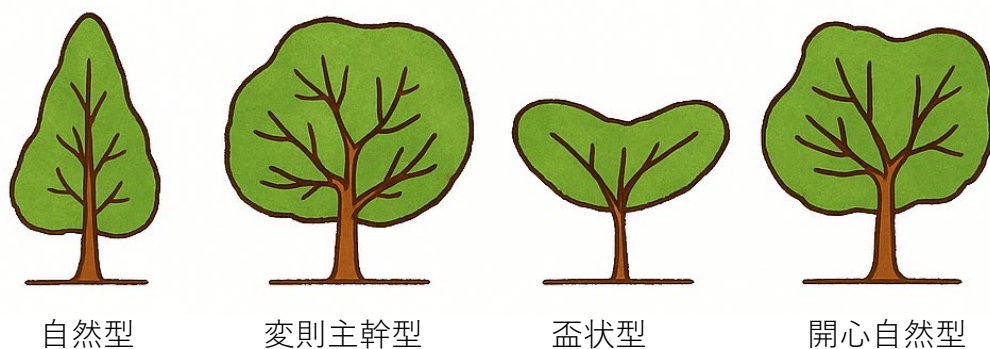


図1 採種木の樹形

採種木の幹を途中で切断することを断幹という。採種木の樹高を低く維持し、枝の発育をよくするために必要な作業である。ここでは、採種木の断幹の方法について解説する。

■ 断幹位置と断幹する時期

断幹を行うと、頂芽優勢から解放されることにより、断幹部付近の枝が立ち上がってくるが、枝の立上りの程度は枝の太さによって異なり、細い枝は立上りが少ない。このため、この性質を利用して断幹予定の高さより樹高が1～1.5m程度高くなり、断幹予定部付近の枝が太くなってから断幹を行う。球果採取の作業の安全性を考えて採種木の見終仕立ての高さを3m程度にする場合、断幹作業の安全性と効率性を考えると断幹高は1.5m以下にする（図1）。なお、断幹は樹勢を弱めるばかりでなく樹体を傷めやすいため、断幹は成長休止期に行う。

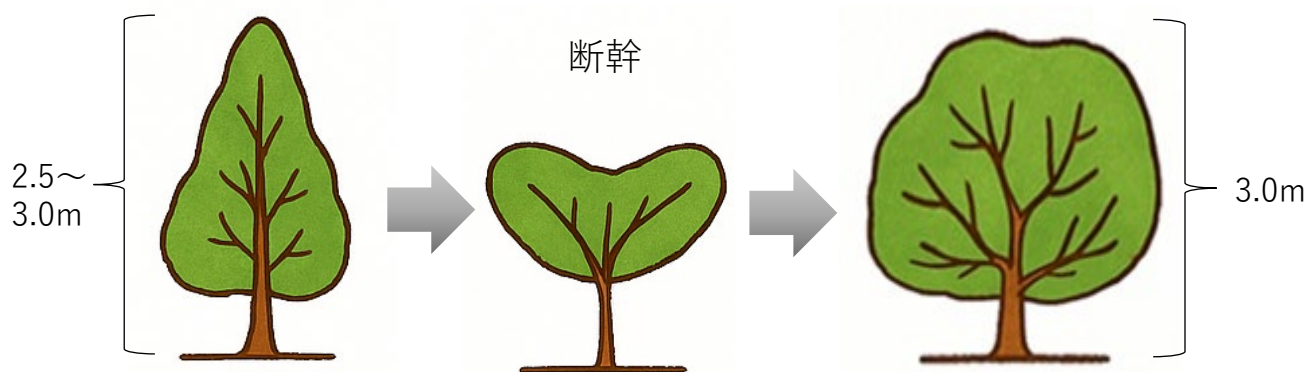


図1 採種木の最終仕立ての高さを3mとした場合の断幹高

■ 断幹後の処置

断幹した木口から腐朽菌が侵入することがあるので、木口面が小さくなるように、不整形な切口や亀裂の生じたものは平滑に切りなおす必要がある。

ヒノキは、樹冠が隣接木と接するようになると、花粉の飛散に支障を来し、シイナが多くなる可能性があるとされている（山手 1979）。このため、樹冠の接触あるいはさらに進んで閉鎖が生じる前に剪定を行い、園内の風通しを良くし、花粉の流動が妨げられないようにする必要がある（清藤 2000）。また、受光をよくすることによって病害や葉枯れの予防にもつながる。

ヒノキでは、スギと異なり、幹から不定枝があまり発生せず、剪定時に残した葉先から枝が伸長するという特性がある。このことを意識しながら剪定を進める必要がある。また、剪定直後の個体が寒風にさらされるとその後枯死する枝が多数認められることがあるため、剪定は厳寒期が過ぎた春季以降に行う。

■ 採種木の状況把握

基本的には円錐形になるように剪定する。ただし、クローンによって枝の付き方や樹形に特徴があるので、クローンの特徴に合わせて健康で最大限種子生産できるように樹形を誘導する。そのため、作業前には、採種木の前に立ち、枝の配置状況をよくみて、仕立てる樹形のイメージを描いてから剪定の作業を始める。

■ 切り返し剪定

切り返し剪定は、枝の大小年令に関わらず、その枝の途中から剪定することをいう。ヒノキでは切り返し剪定を行っても鱗片葉がない場所から新たに不定枝が発生することは稀で、剪定せずに残した鱗片葉の先端から主軸となる枝が伸長する。よって、新たに枝を伸長させたい部位に鱗片葉を残すように剪定する。また、ヒノキの雌花は、1年生枝の先端からおおむね10節以内の部位から展開している鱗片葉の先端に着生する。そのため、着果量を増やすためには、陽当たりを考慮し、剪定後に1年生枝が旺盛に伸長し、多く着花するように剪定する必要がある。

■ 間引き剪定

間引き剪定は、採種木の維持管理上不要な枝を除去するとともに、陽光を樹冠内部に導くことを目的として、枝を間引く剪定をさす。

間引き剪定にあたっては、輪郭が円錐形になる採種木のイメージを持ち、隣接木と枝葉が接触しないように配慮しつつ、葉の量が多いなど、球果が多く着くことが見込める主枝に直達光が良く当たるように主枝の配置や本数を調整する。

主枝の数が多すぎると、樹冠内の光環境が悪化し、樹冠内部の枝葉の枯れあがりが進行し、毎年安定的に着果する枝を十分確保することが難しくなり個体が健全に維持できなくなる。

作業は下から上に向かって間引き剪定する。間引き剪定する目安となる枝は、重なり枝、交差枝、内向枝などいずれも葉の受光や採種木の維持管理上支障を与える可能性が高い枝である（図1）。除草や施肥のために耕耘機やトラクターを採種園内で使用する場合は、当該作業の支障となる下枝も間引く。

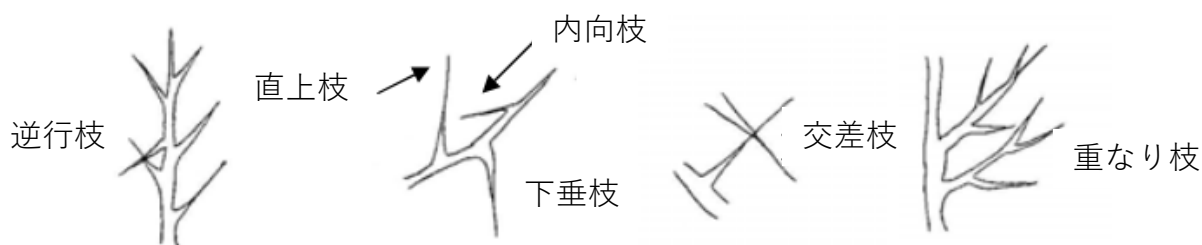


図1 剪定する枝の名称

■ 種子生産事業開始前の剪定

採種木の成長に重きを置く期間の剪定においては、目標の大きさに向けて健全に樹体サイズを増大させつつ徒長を制限することを念頭に置く。樹形誘導を行ないつつ着花が見込める勢いのある枝を養生するような育成を行ない、その後は徐々に結実・収穫を行いながら樹冠上部の着果枝を作る。

定植後2～4年間は通常、台木からの萌芽枝、地面に接する下枝、衰弱枝、被害枝を除去する点に力点を置き、その後、樹形を整えていく。

断幹時の樹形を想定し、木の状態を見ながら重なり枝や内向枝、とびぬけた枝等の間引き剪定を行う。

樹冠の上部の枝の勢いが強いときは下方の枝の勢いが弱くなりやすいため、立ち上がりの強い枝の間引き剪定や強い切返し剪定により、上方の成長を減じ、下方の枝の成長促進を図る。

採種木の幹から発生している主枝の太さを揃えるようにする。細い枝を太らせて調和を図りたいときは、他の太い枝を強く切返し剪定して生長を抑えることで、細い枝の肥大成長を促すことができる。

■ 着果させるための剪定

太い枝を強く剪定すると、採種木は樹勢回復のために栄養を集中させるためか、着花が思わしくないことがよくみられることから、太い枝ほど弱い切返し剪定に留める。2次枝、3次枝を利用して着果枝を作ることになるため、主枝の先端部分を切り返し剪定し、2次枝を発達させることを意図して剪定を進める。

■ 剪定を兼ねた球果採取

主幹化した枝の基部や、断幹部付近から斜上した枝の基部にジベレリン処理したところ球果が沢山着生した旨の報告（渡邊ら 2002）もあることから、剪定予定の枝を狙ってジベレリン処理を行い、球果採取時にカメムシ防除袋をかけた着果枝そのものを切断し〔剪定し〕、球果採取時に剪定を兼ねることは、作業効率化のアイデアの一つである。

■ 採種木剪定枝の粉碎

処分採種木の整枝剪定作業により排出される枝は、粉碎機を利用し通路や採種園内に散布すると、枝処理費用の削減、雑草の抑制および土壌改良の効果が期待できる。

断幹・剪定処理試験の事例

隣接木と樹冠が接している採種園において、強度な断幹と剪定処理を併用して実施した例を紹介する。既設のミニチュア採種園の断幹・剪定処理する際に参考としてもらいたい。

■ 材料方法

2018年春に茨城県林業技術センターの敷地内に2.5m×2.5mの植栽間隔で設定された採種園において、2024年2月中旬から下旬に断幹、間引き剪定及び切り返し剪定を実施した。断幹は地上高約1.5mで実施し、枝の間引き及び切り返し剪定は、前述した方法で実施した。

表1 供試した採種木の処理前後の平均サイズと断幹・剪定量

処理名	試験数 (個体)	処理前樹高 (m)	処理後樹高 (m)	処理前直径 (cm)	断幹・剪定 生重量 (kg)
断幹・剪定	14	4.1	2.4	9.4	25.2 (4)
断幹	8	4.5	2.5	8.6	17.7 (4)
無処理	5	4.4	4.8	10.3	なし

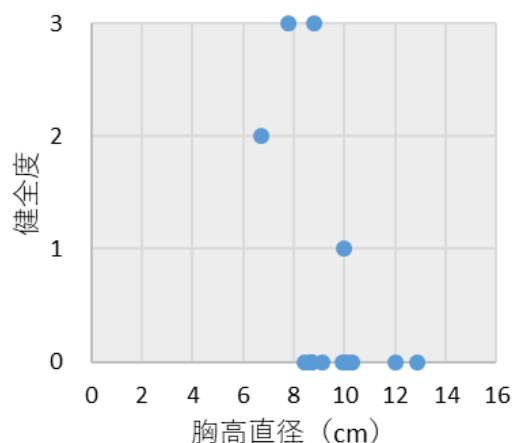
※()内の数値は測定した個体数

■ 結果と考察

表2 作業後の採種木の健全度

処理名	試験数 (個体)	枯損数 (個体)	平均 健全度※
断幹・剪定	14	10	0.6
断幹	8	0	2.0
無処理	5	0	3.0

※健全度 3：健全、2：一部枯れ、1：半枯れ、0全枯れ
断幹・剪定と無処理との間に5%水準で処理間差有



断幹・剪定



断幹



無処理



写真1 処理後の採種木の状態（2024年11月撮影）

着花促進処理 ージベレリン処理ー

ヒノキの着花促進に最も有効なジベレリン処理の具体的な方法を解説する。

■ ジベレリン処理による種子生産への影響

ジベレリン処理によって、並作年を豊作年なみに、さらに凶作年を並作年なみに種子生産量を引き上げる効果があるとされている（山下 1986a）。また豊作年ではジベレリン処理した場合と自然着花の差がほとんど見られない場合もあるとしている。ジベレリン処理は不作の回避に寄与すると考えられ（小山 1986a）、毎年一定量の種子を生産する上で有効であると考えられるが、豊作年の翌年には花芽分化する部位が必然的に減少するため、豊作年の翌年のジベレリン処理の効果は限定されると考えられる（勝田 1982）。

■ 異なるジベレリン処理方法による着花促進効果

□ 葉面散布および浸漬処理

ジベレリン処理は、樹齢、サイズ、時期、気候によって変動すると考えられるが、ジベレリン溶液を用いた葉面散布や浸漬処理による効果は明瞭ではない（滝尻 1984；出崎・桂川 1985；竹崎 1986；田畑 1987；金川・北川 1987；得居 1988；桂川・出崎 1986；永江 1987）。

□ 包埋処理

ジベレリンの包埋処理による着花促進効果は明瞭で、着花量のクローン間の着花量を平均化し、採種園構成クローンの次代への寄与を平準化する（田畑・遠藤 1984；桂川・出崎 1986；山下 1986b；小山 1986a；吉野 1986；植田 1987）。濃度が高いほど、雌雄の着花量が多くなる（丹原 1984 1985；滝尻 1984；立切 1986）。しかし、濃度が高いと薬害が発生し（丹原 1984；小山 1985；立切 1986）、結果率（雌花数に対する球果数）が減少する傾向がある（金川・北川 1987）。着花促進効果と薬害リスク軽減を両立するためには、ジベレリン包埋処理は処理箇所あたり約2.5mgが適当だと考えられ（小山 1985；阿久沢 1988）、農薬法ではこの濃度以下で処理することとされている。

■ ジベレリン処理の時期

雄花芽の分化期は7月上旬～9月中旬で、雌花芽の分化期は7月下旬～9月下旬であり、またジベレリン処理時期は雄花の方が雌花の処理時期より早く、その適期は雄花芽の分化に対しては7月、雌花の分化に対しては7、8月としているが、花芽の分化開始時期には年次変動がある（橋詰 1963）。場所や年によってジベレリン処理の適期は変わると考えられるものの（出崎・桂川 1985；河村 1987；石井ら 2011；橋詰 1963）、ジベレリンによる包埋処理は、効果が持続するため、6月中旬に行うことで、雄花、雌花の双方の着花促進が可能であることが示唆されている（藤澤 2015）。

■ ジベレリン処理の方法

ナイフまたは加工したマイナスドライバーなどで木部に当たるまで切れ目を縦に入れ、樹皮を剥皮した隙間にジベレリンペースト剤をシリンジ等で1箇所（枝）100mg（ジベレリンの含有量だと約2.5mg）を注入する（倉本・藤澤 2015；中村ら 2015）。処理後は、粘着テープ等でジベレリンの剥皮注入部分を密閉する。これによって、剥皮部の乾燥、剥皮部の雨水の侵入が防止されて、腐朽菌の繁殖が抑制されることが期待できる（植月ら 1988）。包埋後は紙テープ等によって被覆する。なお処理部は2～3年で癒合する（丹原 1995）。

■ ジベレリン処理の発芽率や種子への影響

ジベレリン処理により大量に着花した場合、球果の大きさや千粒重が小さくなることがあるが、発芽率には影響しないとされている（吉野 1986；小山 1986b；田畑 1987）。

■ ジベレリン処理で生産された苗木の特性

ジベレリン処理により生産された種子由来の少花粉ヒノキは、従来のヒノキと同等の苗長成長を示し、形状比も変わらなかったとしている（畑ら 2019）。

■ ジベレリン処理位置

従来は処理のしやすさから、一次枝の基部でジベレリン処理が行われてきたが、太い枝では着生する雌花の数が少ない、あるいは偏って着生するとされてきた。そこで、千葉県のミニチュア採種園において、緑枝がついた側枝の針葉着生基部付近（処理位置①）と従来の位置

（処理位置②）の2種類の処理位置でジベレリン処理を行い、ジベレリン処理による着花効果を比較検証した。その結果、緑枝がついた側枝の針葉着生基部付近（処理位置①）に処理した場合の方が、雄花、雌花ともに着花指数が高く、全体的に着生する傾向が見られた（写真1、図1）。



写真1 処理位置

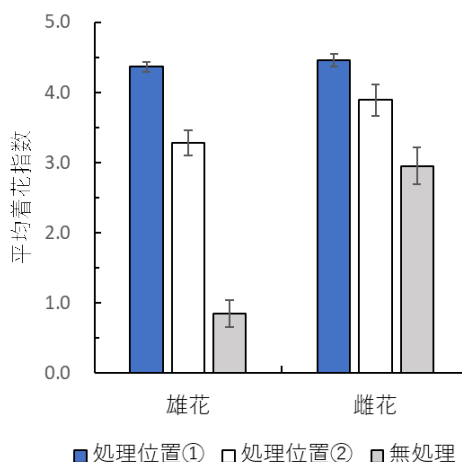


図1 処理位置による着花指数の比較

さらに、愛媛県、東京都、茨城県のミニチュア採種園において、緑枝がついた側枝の針葉着生基部付近（処理位置①）での着花効果を検証したところ、すべての機関で処理による着花効果が認められ、4機関のうち3機関で雄花、雌花の平均着花指数が3以上となり、高い着花効果が認められた（図2）。着花指数については、第3章の雄花の着花評価及び雌花（球果）の着果評価を参照してもらいたい。

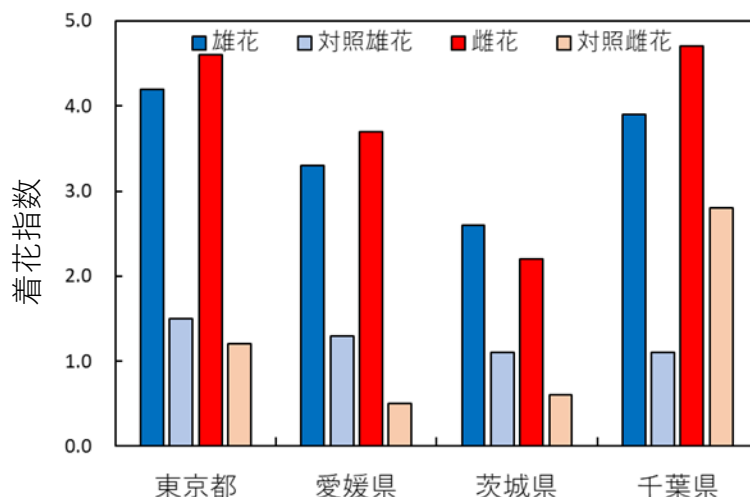


図2 処理位置①でジベレリン処理した場合の着花促進効果

■ クローン間差の評価に適したジベレリン処理の枝サイズ

ジベレリン処理による着花反応はクローンによって異なる（永江1986）。茨城県、東京都、三重県、岡山県、愛媛県、千葉県の採種園における測定データ（ジベレリン処理は2021年～2023年に実施、各処理年の翌年に雌花と雄花の着花指数を調査）を基に解析を行い、ジベレリン処理に適した枝サイズを検討したところ、枝径8mm～14mm程度の枝に処理すると雌花、雄花ともに安定して広義の遺伝率が高かった。以上の結果から、ジベレリン処理によって、雄花と雌花のクローンの着花性を評価するためには、枝直径で8mm～14mm程度、概ね1.5cm以下の枝にジベレリン処理行うのがよいと考えられた。

ヒノキの着花には複数の要因が関与していると考えられるが、植物ホルモン（ジベレリン）処理によって人為的に着花させることが可能である。

ヒノキの着花に影響すると考えられるジベレリン以外の要因に関する研究例について紹介する。

■ ヒノキの着花に影響する要因と研究例

□ 気温

低温条件（15～20℃）に比べて、高温条件（25～30℃）で花芽が分化しやすくなる（長尾・佐々木 1985）。

□ 土壌水分

温室内において、鉢植えした苗木の鉢内土壌のpF値を2.1～2.9で管理することによって、凶作年でも着花させることができる可能性が示されている（佐々木・丹藤 1990）。

□ 日長と光強度

林縁木は、林内木より一般に結実が多いとされており、ヒノキの花芽分化期から形成期にかけて陽光が十分あたることが重要である。直接多くの陽光を受ける枝の部分に着花が多いことが一般的に知られている。ヒノキの花芽形成には、一定以上の明るさで一定以上の長さが必要であり、16時間日長における限界照度は雄花では12klux、雌花の場合は、21kluxの光の強さを最小限必要とすることが確認されている。また、強い光は花芽の分化と花芽のその後の発達に対して影響を与えていると考えられている。16時間日長では、雌花は3週間、雄花は4週間の日長処理期間を必要である（長尾・佐々木 1985）。

ヒノキの花芽分化には、明期10～14時間の場合、その後の暗期の真ん中で2時間（500lux）の光中断を行うことで雌花、雄花両花の分化が起こり、明期の時間が長い程、光中断による花芽の形成が増加する。自然条件では花芽形成の起こりにくいクローンでも、花芽形成に対する光中断・長日処理の効果は大きいとされている。またヒノキの花芽分化については、自然日長が最も長い時期に補光処理を行うと、雌花雄花のいずれも分化しやすくなるとされている（長尾・佐々木 1985）。

□ 光質

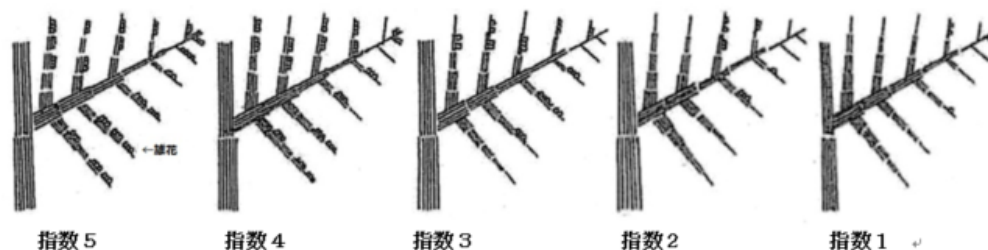
ヒノキは黄色光および赤色光下でジベレリン処理すると、雌雄のいずれも分化が促進される。しかし、青色光下では、雄花は分化しにくく、雌花は全く分化しないとされている（Nagao and Sasaki 1981）

雄花の着花評価

これまでジベレリン処理による雄花の着花性の評価は、以下の表に示した基準で実施されてきた（表1）。しかし、雄花の着花評価はしばしば観察者によって異なり、そのことが課題となっていた。このため、観察者による評価のばらつきを減らす工夫として、着生範囲と着生量について、具体的な指標を元に評価する方法について解説する。

表1 ジベレリン処理による雄花の着花評価

	ジベレリン処理による雄花の着花調査の方法
特定母樹	平均的な太さの枝3本を選び、1枝あたりの雄花着生の範囲と総量を目視により、次の基準で5段階に区分する。 指数 雄花の着生状況 5 : 雄花の着生範囲が広く、着生量が非常に多い 4 : 雄花の着生範囲が広く、着生量が多い 3 : 雄花の着生範囲、着生量とも中程度 2 : 雄花の着生範囲が狭く、着生量が少ない 1 : 雄花の着生範囲、着生量とも非常に少ないか、全くない。
少花粉品種	同上。 ただし、雄花の着生範囲が広く着生量が少ないものや、雄花の着生範囲が狭く着生量が多いものは、1次枝全体の雄花の総量で判断する。



ヒノキにおける特定母樹及び少花粉品種のジベレリン処理による雄花の着花評価の基準について、具体的に数値で表した方法で評価した（表2、3）。なお、着花範囲は、処理した枝についている全小枝数に対する着花した小枝の割合とし、着花量は、着花した小枝の中で雄花が着く可能性のある芽のうち、雄花が着いている芽の割合とした。なお、雌花は枝の中でも先端に近い小枝に着生するが、雄花は雌花が着生する小枝よりも下の小枝の先の方に単生する（写真1）。雄花着花量の異なる22本の側枝の写真を複数の観察者に評価してもらった結果、従来の評価値と表2及び表3による評価値との絶対値の差は小さく、観察者間の評価値のバラツキが従来の調査方法よりも小さかった。このことから、表2と3に示した評価基準によって、観察者によるバラツキが少ない雄花の着花評価として利用できると考えられた。

表2 雄花の判断基準

指数	判定基準
5	3/4以上の小枝に密
4※	半数以上の小枝に密 or 3/4以上の小枝に疎以上に着花
3※	1/4以上の小枝に密 or 半数以上の小枝に疎以上に着花
2※	少数の小枝に密 or 1/4以上の小枝に疎以上に着花
1	処理枝全体を構成する少数の小枝に疎に着花か全くない

※どちらか多く判定した方を選択する。

表3 表2の疎・密の判断基準

疎・密	判定基準
疎	総芽数のうち雄花の総数の割合が30%未満
密	30%以上

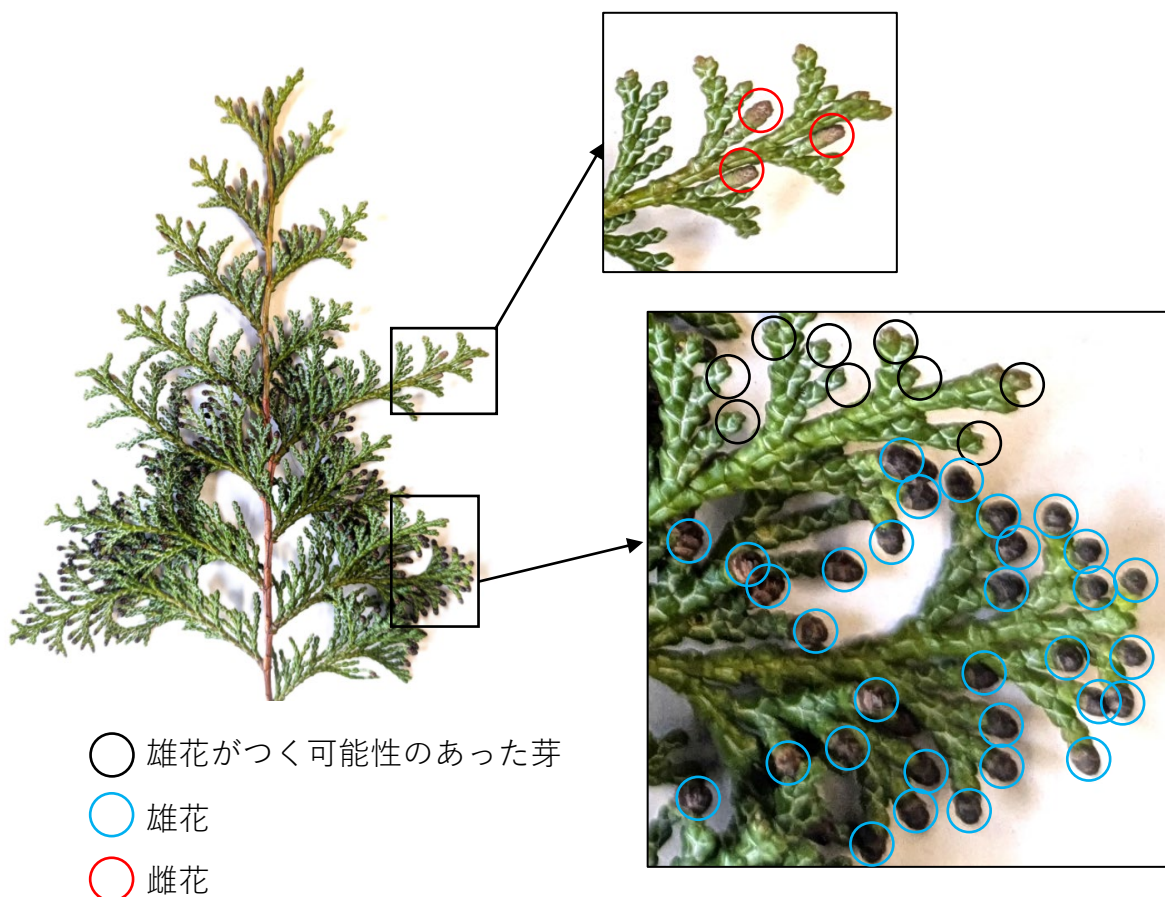


写真1 各小枝中の雄花と雌花が着いた場所

球果（雌花）の 着果（着花）評価

これまで、球果（雌花）の着果（着花）評価基準は機関や個人によって異なり、異なる方法で調査が行われてきた。しかし、今後にはむけては統一の方法で球果（雌花）の着果（着花）を評価することが望ましい。ここでは、新たな定量的な球果（雌花）の着花評価の方法について解説する。

■ 球果（雌花）の着果（着花）調査の方法と留意点

□ 評価の方法と時期

調査対象として側枝の針葉着生基部付近の枝径が1cm内外の枝を選定し、針葉着生基部から枝の先端までの長さを測定するとともに、この範囲に着生している球果（雌花）数をカウントし、枝長1mあたりの球果（雌花）数に換算し、表1の6段階の着果（着花）評価基準に従って指数を求める。写真1では、評価する部分の枝長をオレンジ線で示した。

着果量の異なる35本の着果枝を対象として、表1の方法で6月下旬から7月下旬に野外において球果（雌花）の着果（着花）指数を判定し、7月下旬にこれらの枝を採取して着果（着花）指数を判定したところ、多くの枝で両者の指数が一致した。そのため、6月以降の野外での観察から、収穫期の球果着果の早期評価が可能であると考えられた。なお、雌花の中には未発達で球果にならないものもある。そのため、球果の着生量を評価する着果指数を正確に判定するためには、収穫期に近い9月に調査することが望ましい。

ジベレリン処理によって評価を行う場合も上記と同様に枝長あたりの球果（雌花）数を求め、表1の基準に従って評価する。

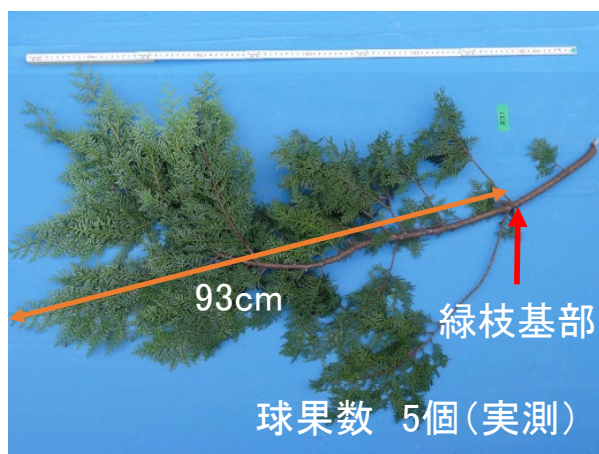


写真1 着果評価の方法

※この枝の場合、1m長についている球果数は、5.37個になる。端数を切り捨てた値（5個）を使い、表1の評価方法に従うと、指数「1」になる。同様の方法で、同じ個体の残り2本の枝について、指数評価する。

表1 球果（雌花）の着果（着花）評価の方法

着果（雌花）指数	球果（雌花）数
0	0
1	1～5
2	6～10
3	11～20
4	21～50
5	51～

■ 球果（雌花）の着果指数と1mあたりの球果数の関係

234本の着果枝を使って、球果（雌花）の着果指数と、1mあたりの球果数の関係を調べた（図1）。

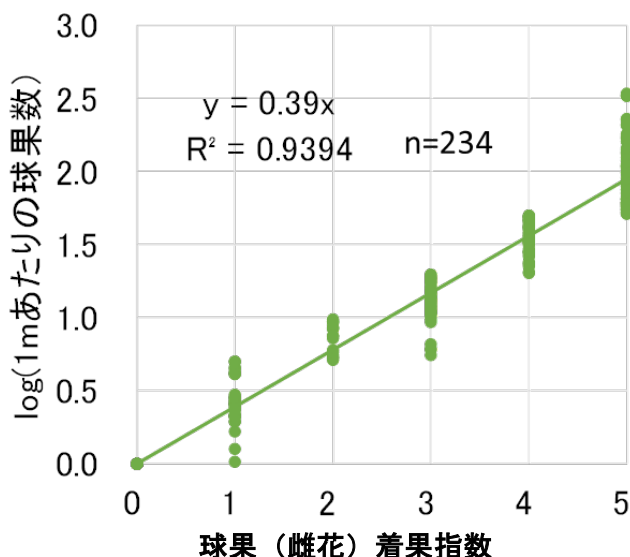


図1 球果（雌花）の着果指数と1mあたりの球果数の関係

球果（雌花）の着果実指数と着生していた球果数の対数値との間には、強い正の相関があったことから、着果指数から球果数を概ね推定できる。

球果（雌花）の着果指数からの球果数の計算例)

球果（雌花）の着果指数4の枝に着生している球果数を推定してみる。上式の $y = 0.39x$ の x に4を代入すると、1.56となる。この値は対数値であるため、10の1.56乗を計算すると、1m当たりの枝に着生する球果数は36.3個と推定された。

凶作年には、花粉量の低下に伴い、シイナ率が高く、発芽率が低い傾向がある（丹原 1990；岸・照山 1992）。また豊作年は並作・凶作年に比べ、採種園構成クローンの花粉親としての寄与率が平準化し

（清藤ら 2000）、雌親としての寄与率も平準化する（勝田 1982）傾向にあり、多くのクローンで雌花が着花するため、遺伝的多様性が高くなると考えられる。豊作年は花粉親としての寄与の平準化が期待でき（清藤 2001a；清藤 2001b）、発芽率の高い多量の種子生産が行われるので（小林・尾古 1985）、豊作年に種子採取し、貯蔵した種子を使うことが有効であるとされている。

豊凶の判定は、採種園で生産される種子の生産量や品質を決定づける重要な要因であるが、これまで、豊凶の評価基準は機関や人によって異なり、定まった方法で調査が行われてこなかった。ここでは、豊凶の判断基準について解説する。

■ 豊凶調査の方法と留意点

□ 調査林分の選定

調査地（採種園）と地理的・気候的に同一の環境下にある林分を選定する。

□ 調査個体の選定

剪定がここ1年間行われず、健全で、ジベレリン、剥皮、巻締、根切り等による着花促進処理等が行われていない陽当たりの良い20個体以上の個体を選定する。調査対象には、多数のクローンが含まれることが望ましい。

□ 調査箇所の選定

調査個体の樹冠の中央部及び上部を観察し、目視できる範囲の自然着果の調査を行う。調査個体の樹冠の中から陽当たりがよく、健全で葉量がほぼ同じく、個体の中でも平均的に球果が着果している枝を3本選ぶ。調査する3本の着果枝は、異なる一次枝にある枝から選ぶようにする。また、緑枝がついた側枝の針葉着生基部付近の枝径を測定するのが望ましいが、測定できない場合は、外から観察して緑枝がついた側枝の針葉着生基部付近の枝径が約1cm程度の枝を選ぶ。

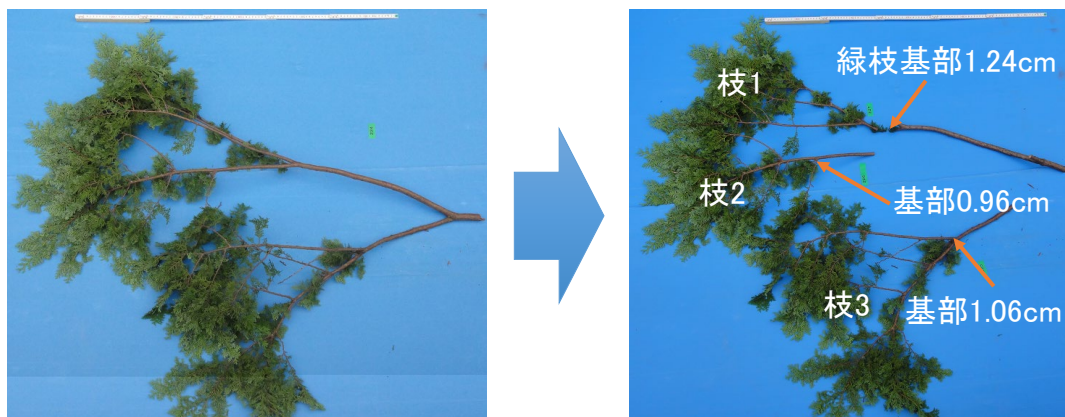


写真1 着果評価する枝の選び方の例1

この枝の場合、いくつかの枝に分枝している。分枝している枝の径が約1cm以上ある場合は、そのうちの1本を選び、表1の評価方法で指数評価する。右の写真では、約1cm以上の太さの側枝が3本あるが、そのうちの平均的に着花している1本について着花評価する。

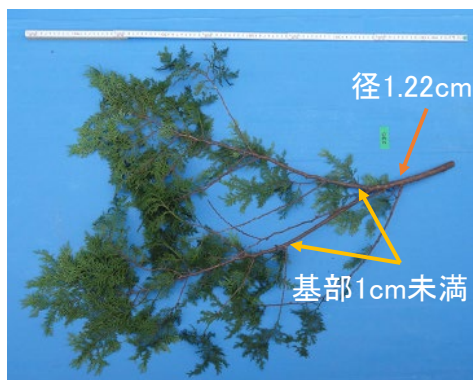


写真2 着果評価する枝の選び方の例2

2本の側枝に分枝しているが、それらは1cm未満の枝径であったため、1本の枝とみなして着花評価する。

■ 豊凶判定

□ 個体の着花評価

調査した枝3本の着果指数値の平均値を、個体評価値とする。

表1 個体の着果評価

個体	枝1	枝2	枝3	個体評価値
A	5	4	1	3.33

□ 林分着果指数の算出方法

調査した全個体の個体評価値の平均値を、調査林分の林分着果指数とする（表2参照）。

表2 林分着果指数の算出例

個体	個体評価値	個体	個体評価値	個体	個体評価値
1	3.55	8	1.60	15	3.60
2	4.50	9	5.00	16	3.80
3	2.30	10	2.85	17	2.10
4	1.10	11	2.72	18	1.75
5	0.13	12	2.30	19	4.50
6	5.00	13	1.80	20	1.63
7	4.00	14	3.40	林分着果指数	2.88

□ 豊凶の判定

2021年から2024年にかけて8機関（茨城県、東京都、静岡県、三重県、愛媛県、岡山県、林木育種センター、関西育種場）でヒノキの雌花の自然着果指数を測定してきた。枝単位での自然着果指数値の頻度を用いてクラスター分析を行った結果、5つのクラスターに分けることができた。それらのクラスターを豊作、並上、並作、並下、凶作に分類し、頻度分布を図1に示した。

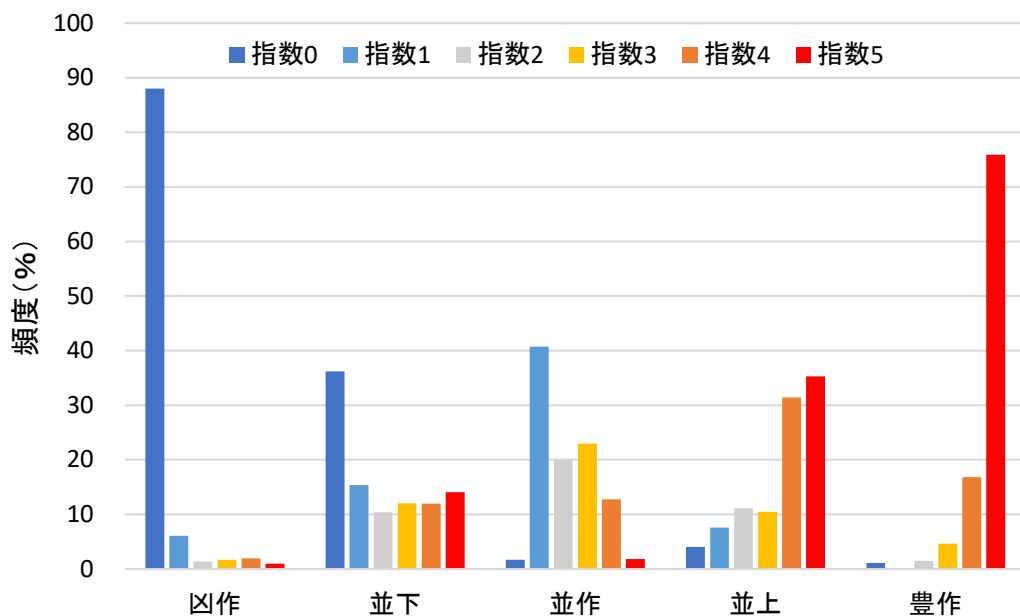


図1 豊凶による着果指数の頻度

表3 各機関で測定した値を使って判定した豊凶と着果した個体の割合

場所/調査年	着生個体割合※	林分着果指数	判定結果
岡山/2022	10.5	0.04	凶作
東京/2022	23.3	0.16	凶作
愛媛/2024	40.0	0.40	凶作
三重/2022	36.4	0.45	凶作
岡山/2023	25.0	0.53	凶作
育セン/2022	80.4	1.60	並下
三重/2024	72.7	1.18	並下
西育/2024	70.0	1.52	並下
岡山/2024	75.0	1.72	並下
茨城/2022	87.9	2.27	並下
三重/2023	90.9	2.42	並下
静岡/2023	86.7	2.70	並下
愛媛/2022	100.0	1.70	並作
西育/2022	100.0	2.56	並作
育セン/2023	93.5	3.38	並上
愛媛/2021	100.0	3.60	並上
静岡/2024	96.7	3.72	並上
愛知/2024	100.0	3.87	並上
育セン/2024	97.8	4.53	豊作
愛媛/2023	100.0	4.77	豊作
平均	74.3	2.15	

※ 着生個体割合は、平均的な枝に1個でも球果が着いた個体の本数割合を表す。

表4 豊凶の判定の目安

作柄	着果している個体の割合と、球果の着生の特徴	林分着果指数
凶作	多くの個体が球果を着生していない。	1以下
並下	球果が着生していない個体が散見される。個体の割合としては少ないが、クローンや個体によっては多数の球果を着生している場合がある。また着生した枝の半分以上は球果10個以下である。	1～3
並作	ほぼ全個体に球果が着生している。またほぼ全部の枝に1個以上の球果が着生しているが、半分以上の枝は10個以下である。	2～3
並上	ほぼ全個体に球果が着生している。半分以上の枝に10個以上の球果が着生している。	3～4
豊作	ほぼ全個体に球果が着生している。多くの枝に50個以上の球果が着生している。	4以上

採種園は被害防除に努めなければならない。常に採種園を見回って観察し、未然に被害を防除するよう努める必要がある。ここでは、採種園の保護管理について解説する。

■ ヒノキ採種園でみられる被害

□ 気象害

積雪地帯における越冬中の幹折れや枝折れなどの雪害を防ぐためには、採種木の主幹に沿って立てた支柱に、シュロ縄で枝条を結束し、3本丸太杭を立てる。植栽当初1～3年間上記の処理を行い、その後は樹形の悪いものについてのみ行うようにする。

□ 樹脂胴枯病

罹病により枯死に至るものは稀であるが、本病原菌は樹皮の薄い若齢の幹や枝に感染することが多く、成長の低下や二股木、幹の蛇行の原因になる（丹原・下川 1986）。

□ ヒノキモンオナガコバチ

成虫の発生時期は、6月下旬～8月上旬で、ピークは7月である。薬剤防除の効果は、幼虫が球果の中の種子に侵入した後には期待できないため、成虫を駆除して産卵させないことが特に重要である。網袋被覆の時期は6月下旬以前、薬剤防除の適期は成虫の産卵が行われるピークの7月であると考えられる。ヒノキモンオナガコバチの発生時期である7月は、カメムシ類がヒノキ種子へ吸汁加害する7～9月の時期と一部重なるため、ヒノキ採種園におけるカメムシ類の防除と合わせて行えば効率的である（佐野 1997）。

□ スギタネバチ

球果中の種子を加害する体長2mm内外の小型のハチである。5月頃種子から羽化脱出した成虫は交尾後、ヒノキやスギの球果に飛来し、球果の表面から長い産卵管を挿入して、内部の種子に1個ずつ産卵する。孵化した幼虫は、種子の胚と胚乳を食害して晩秋までには老熟する。老熟幼虫のまま種子内で越冬し、翌春4～5月に蛹となる。蛹期は大体20～30日である。被害種子の中で羽化した成虫は5～6月にかけて、特有の脱出孔を作って外界に脱出する。スギタネバチによる採種園の被害率は0.1～30%に及ぶ（藍野 1971）。

■ ヒノキ採種園でみられるカメムシ被害

ヒノキ採種園における有害なカメムシとして、チャバネアオカメムシ、ツヤアオカメムシ、クサギカメムシの他、チャイロナガカメムシ、ヒメツノカメムシ、セアカツノカメムシ等の加害が確認されている。カメムシの幼虫および成虫は、球果の鱗片の隙間に口吻をさし込み、種子の表面を消化液で溶かして種子の内容物を吸汁する（吉野 1989）。幼虫の齢が大きくなるにしたがって、加害程度が大きくなるため（佐野 1990a）、早期の防除が必要である。適切な時期に、適切な材質の防除袋をかぶせることによって、防除することが可能である。なお、カメムシは前年の球果も餌としており、豊作年に球果を取り残さないことも重要である（田戸・福原 1996）。球果内部に白色の糸状の固化物が認められた場合は、カメムシによる吸汁の痕跡（口針鞘）と考えられる。

□ チャバネアオカメムシ

緑色の体色に茶色の前翅をもつ。体長は9～12mm（写真1）。北海道から沖縄本島までの広範囲に分布する（石川・守屋 2019）。出現期は4～11月。成虫で越冬し、主に地表の落葉層で越冬する。日長の影響を受けて休眠する特徴を有する長日型昆虫である。発育零点は14℃と言われ、1世代有効積算温度は400℃といわれている（小田 1980）。発生時期が遅ければ、年1回しか発生しないが（小山・岡田 2004）、年2回発生する場合も多い。カメムシの大発生時には、豊作だったヒノキ球果を餌として、産卵期間と考えられる6月から9月に2世代を経て急激に個体数を増やすと考えられている（加藤・佐野 2007）。7月に成虫の交尾と産卵が行われ、卵塊からふ化した幼虫は8月頃に最も多くなる。幼虫がしきりに球果からの吸汁と脱皮を繰り返しながら成長していき、8月から9月に新成虫の生息密度がピークに達する（佐野ら 1989；吉野 1989；中村ら 1990；吉野 1992；丹原・井上 1996）。1球果に対して口針鞘数が相当数（25本程度）を超えると、エサとして不適になることから、ヒノキ球果から離脱する（稻生ら 2003；滝本・小笠原 2003）。多く着果した採種木に集中して寄生する傾向があるため（井上・丹原 1988）、防除は多く着果した採種木を優先する。発生のピーク時にはヒノキ結実量も多く、全体的に両者に相関関係がある（加藤・佐野 2007）。

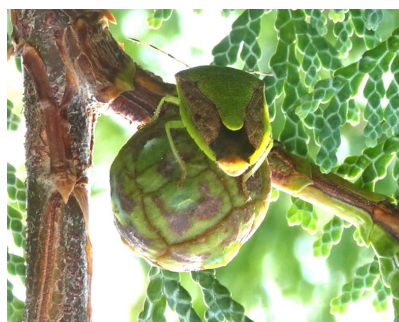
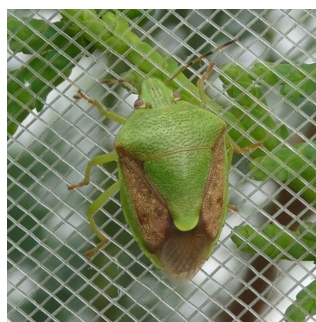


写真1 チャバネアオカメムシ

ヒノキの幼果を観察し、ヒノキが豊作になることが予想され、それまでの3年ほどの間にカメムシの大発生がなかったら、大発生が予測される（加藤・佐野 2007）。また多くの種子生産があった翌年も、カメムシの捕獲数が多くなる場合がある（岸・照山 1992）。

本種のヒノキにおける既知の生態は以上のとおりであるが、近年の気候変動により本種の生活史が変化している可能性があることには留意が必要である。暖地で年3化する事例が知られる一方で（堤 2003）、35℃で飼育すると産卵数が減少することが知られており（齊藤ら 2019）、今後の生活史の変化を注視する必要がある。

□ ツヤアオカメムシ

体色は光沢のある緑色であり、チャバネアオカメムシと異なり前翅も緑色をしている。体長は14～17mm。出現期は4～11月。暖温帯に生息し主に関東以西に分布するが、近年になり東北地方でも確認されている（降幡・岸本 2023）。越冬態は成虫で、主に常緑樹の樹冠内で越冬する。ヒノキ採種園では8～9月に多かったが、7月と8月の被害は、9月の被害よりも有胚率の低下に影響が大きかったことが報告されている（佐野 1990b）（写真2）。



写真2 ツヤアオカメムシ

□ クサギカメムシ

背面は暗褐色で黄褐色の斑点があり、腹面は赤褐色をしている個体が多いが、個体ごとに色彩の変異が大きい（写真3）。体長は13～18mm。出現期は4～10月。日本全国に分布する。ヒノキの球果を餌として発生することが知られるが（小田ら 1981）、地域によってはサクラ類の果実を主要な餌とすることが報告されており（舟山 2007）、前2種と比較してヒノキ球果への被害程度は小さい可能性がある。



写真3 クサギカメムシ

種子の発芽率はカメムシによる球果の吸汁により低下することから、カメムシの防除は重要である。ここでは、カメムシの防除方法について解説する。

■ カメムシの防除方法

□ 防除袋をかける場合のコスト

目合い1mmメッシュの防虫ネットを掛ける場合、防除袋掛けは1人で1日当たり275袋、袋除去で550袋とする調査結果がある（清藤 1990b）。白色の寒冷紗の袋（幅50cm、長さ90cm、格子幅2.2mm）の袋掛けでは、2人1組で1日240枚の袋掛けを実施できたとしている（阿久沢 1991）。

販売価格に基づく予想利益と、袋掛けや袋除去の賃金、ネットの耐久年数を考慮した単価に基づく支出を試算した結果では、無処理より防除ネットを掛けた方が利益が得られるという結果であった（川尻ら 1992a；川尻ら 1992b）。

□ 防除袋の目合いと材質

カメムシの幼虫は、2mmの網目では通り抜けて侵入し（吉野ら 1989）、0.8mm以下の目合いの防除袋では防除効果が見られる傾向がある（中村ら 1990；半田 1992；涌嶋 1993）。しかし、袋内にたまった枯葉や樹皮の小片等が水分を吸収して、中の球果が過湿になるケースもあるため、日焼けや蒸れを生じない材質が重要である。例えば、不織布を付けた場合、事業的には採算があうが、通気性が不良で、一部の枝では蒸れにより葉や球果が枯れが生じるとしている（吉野 1992）。

□ 防除袋をかける時期

防除袋をかける時期が遅くなるほど、充実種子が減ると報告されている（加藤ら 2013a；涌嶋ら 1995）。温暖化の影響で越冬成虫の行動開始時期が早まることを考えると、4月下旬から5月上旬にはかけた方がよいと考えられる。また、防除袋を外す時期は、球果収穫時がよい（川尻ら 1992b）。フェロモントラップなどにより越冬明けのカメムシの出没を観察するとともに、ヒノキの交配が終わったことを確認し、防除袋を設置する。

□ 防除袋のかけ方と作業時間

枝の選定から防除袋の取り付けまで1枚当たり5～8分の時間が必要とされている。防除袋と枝を縛る容易さとコストを考え合わせると、防除袋を縛る場合には、ポリプロピレン製のソフトロープが適する（涌嶋ら 1995）。また、防除袋に予めロープを縫い込んでおくと、取り付けに要する時間を短縮できる。

□ その他の留意事項

防除袋と球果が接する部分では、日射による枯死が生じる場合がある（小谷・山下 1992）。袋の中に余裕があると日焼けを起こさないことや（半田 1992）、防除袋に接している球果がカメムシに吸汁されることがあるため、防除袋内では適度に枝葉を切り落とし、防除袋内に空間的な余裕があるようにし、多くの着生枝を詰め込むことは避けた方がよい。

□ 防除袋の種類による防除効果の違い

もみネット（目合い1.0mm）、クレモナ寒冷紗（目合い1.0mm、毛羽あり）、白色サンサンネット※（目合い0.8mm）、赤色サンサンネット（目合い0.8mm）、黒色サンサンネット（目合い1.0mm×1.2mm）、家庭菜園用防虫ネット（目合い1.0mm）を比較した結果、クレモナ寒冷紗と白・赤サンサンネットに高い防除効果がみられた。もみネットは目合いが広がり、若干目合いの大きい黒サンサンネット、防虫ネットは、カメムシ幼虫の侵入を許し、同じ目合いのクレモナ寒冷紗には毛羽があることから侵入を防げた。

※サンサンネットは、日本ワイドクロス株式会社の商標登録です。



白色サンサンネット



赤色サンサンネット

※ひも付き

■ 高温による被害の発生（サンサンネットの例）

夏の気温が特に高くなる地域では、高温のため防除袋の表面が溶けて穴が開いたり、防除袋と接する葉や球果が焼ける被害が生じる。焼けた球果の中の種子は発芽率が低下するため取り除く必要がある。



穴



葉焼け



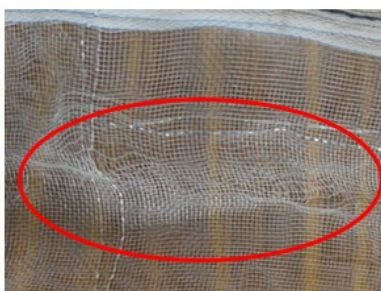
焼けた球果

■ 防除袋の耐久性

防除袋は、使用するにつれて網目がよれたり、よれが拡大して穴が開き、カメムシの侵入リスクが高まる。使用した防除袋は洗濯などにより汚れを落とした後によれや穴をチェックし、必要に応じて補修する。補修することにより使用期間を延ばすことが可能である。



よれ（枝先がこすれるなどして網目が広がる）



補修をしたネット

※穴や網目の広がった部分をミシンでかがり縫いする

■ 防除袋の製作にかかる時間とポイント

防除袋（縦80cm×45cm）の製作には、100枚で280分ほどかかる（サンサンネットソフライト幅90cm 100m巻の場合。ネットを縦半分に折り45cmにしてホットカッターを使用し2名で裁断した。縫製は1名で直線2ライン、角は返し縫いをした）。裁断にホットカッターを使用すると作業が早く、切断面が熱で溶けるためほころびが少なくなる。



ホットカッター



裁断作業



縫製作業

採種園における施肥の目的は、①採種木の栄養状態を改善して、花芽ができるだけ多く着くようにすること。②種子の品質を良くすること。③結実後の栄養条件を回復させて、豊凶の差を小さくすることとされている。

ミニチュア採種園は、植栽後の早い段階から着果させて種子生産を行うため、施肥管理が重要となる。そのため樹体の成長と生殖に多量の栄養分を消費する。特にジベレリン処理や剪定などで樹体を弱めるので、採種木を健全に維持するためにも十分な肥培を行う必要がある。

ここでは、採種園での施肥の方法等について解説する。

■ 三要素の窒素・リン酸・カリウムの役割

□ 窒素

植物にとって最も必要な養分。茎葉や根の生育に重要な役割を果たし、主として植物が若い時期や茎葉が展開している時期に必要なので、「葉肥」ともいう。不足すると、生育不良になる、色が薄くなるなどの症状が出る。過剰になると枝葉が徒長し、葉は色が濃く大きくなり、軟弱になって病害虫に侵されやすくなる。一般に窒素肥料は成長を促進する。

□ リン酸

一般に開花・結実を促進したり、根の伸長、発芽や花芽のつきをよくする働きがある。植物は生育の最終段階でリンを葉から果実や種子に転流し、蓄積する。もし種子にわずかなリンしか含まれていない場合、発芽後に苗木はすぐに生育を抑制されるとされている（磯崎2018）。

□ カリウム

光合成に関係し、寒さや暑さ、病害虫に対する抵抗力をつけるとされており、植物を丈夫に育てるために欠かせない養分。特に根の発達を促進するので「根肥」とも呼ばれる。過剰でも症状は出にくいですが、カルシウムやマグネシウムの吸収が阻害される。不足すると細根の生育が悪くなり、風などで倒れやすくなり、病害虫の被害を受けやすくなる。

■ 施肥の時期と方法

□ 施肥の時期と方法

連年または隔年で施肥し、それ以上の期間中断しないことが肝要である。施肥中断により成長が落ちてから施肥をしても効果が上がりにくい。一般的に、成長休止期に1回施肥をするが（剪定した場合は剪定直後）、2回に分ける場合は、全量の80%を冬期（成長休止期）に実施して残りの20%を6～7月に施用する。しかし、夏場の施肥は肥料焼けを起こしやすいことや秋伸びの原因となりやすいため注意を要する。具体的には採種木の生長状況をみながら、施肥穴をクローネ下の円周上の3、4箇所程度に肥料穴（深さ15cm程度）を掘り、その中に化学肥料を入れるのが一つの方法である。この施肥穴については、施肥ごとに位置を順次ずらしていくとよいとされている。これは肥料焼けなどを回避しつつ個体内の肥効を均一にするためである。

施肥効果の高まるよう、中耕等の土壌改良の努力をしつつ、有機肥料も併せ行うようにすることもよい。有機肥料などを利用する場合は、クローネ下の円周上に帯状に施肥する方法などもある。ばらまきでも差し支えないが、傾斜地で雨等により流れるおそれのある場合は、側溝方式で大きめにし施肥をすると施肥の流出を防ぐことが出来る。ばらまきの場合は2～3割増の施肥を行う。

ジベレリン処理の翌年は、着果と着果枝の繁茂で養分が多く必要とされるため、施肥することが望ましい。

□ 最終仕立てのサイズに達した後の施肥

採種木の樹勢を維持しながら、連年安定的に種子を生産することを目的として行う。一応の目安として、その時点の樹形を維持するために、剪定される枝葉と採取される球果に含有される要素量に相当する量を施肥する。

□ 土壌酸度の修正

土壌の pH は、5.0～5.5程度が理想である。極端な強酸性の場合は、一度に矯正せず2～3年かけて矯正する。

施肥量は土壌型、土壌の化学性、理学性を考慮して決める。農業では土壌分析の結果から、土壌の種類に応じて目標とする施肥量を計算する。例えばリン酸の場合、目標リン酸から土壌分析で得られた有効態リン酸の量（実際に採種園に存在する量）を差し引いて、不足する有効態リン酸量を算出し、それに合わせて施肥量を調整する。

表1 地質母岩から見た土壌中の成分

地質別土壌	平均成分				備考
	N %	P %	K %	Ca %	
花崗岩系土壌	0.151	0.061	0.252	0.410	燐酸を不溶解性にすることが少ない。
火山岩（含火山灰）系土壌	0.169	0.115	0.133	0.628	燐酸、加里に乏しく、燐酸の吸収力が大、火山灰は、燐酸吸収力が最大、強酸性土壌では石灰の施用、有機物の増殖、燐酸の施用が望まれる。
結晶片岩系土壌	0.306	0.124	0.207	0.713	吸収力が一般的に弱い、燐酸、加里に富む。吸収が甚だ低い、粘板岩と硬砂岩。
古生層土壌	0.217	0.122	0.271	0.763	
中生層土壌	0.234	0.123	0.270	0.608	砂岩、頁岩、埴土一壤土、成分含有量中庸、吸収力頁岩からなるものは強い。
第三紀層土壌	0.229	0.094	0.185	0.516	砂頁岩、凝灰岩からなる。肥料の吸収力は頁岩からなるもの中庸であるが、凝灰岩からなるものは頗る強い、乾燥すると亀裂を生じ、湿ることが強い、石灰で酸性の中和が必要。
洪積層土壌	0.491	0.101	0.212	0.669	理学性は一般に不良、多くは酸性を呈する。燐酸が少ない。
沖積層土壌	0.185	0.124	0.155	0.725	三要素は多くはないが理学性良好、燐酸は比較的多いが、加里は欠乏しやすい。

表2 土性と施肥量（前橋営林局：実践造林ハンドブックによる）

土性 項目	砂土	壤土	埴土	火山灰土
肥料の種類	有機質肥料、加里を増殖	一般にどんな肥料でもよい	生理的酸性肥料不可、燐酸増施、石灰、堆肥、要遅効性肥料不可	一般に埴土に準ずる窒素は有機質肥料が可
肥効	有機質の効果大 微量要素の効果少	一般にいずれも良好	燐酸の効不良 （堆肥と混施有効）	埴土に同じ
施肥量	有機質増施 燐酸減 加里増	—	完熟堆肥、増 燐酸、増 加里、減	とくに燐酸 加里増
施用法	過石以外の燐酸の 追肥不可 他は一般に分施する	燐酸の追肥 原則として不可	燐酸（過石を含む） の追肥不可 堆肥と混施する	一般にいずれも堆肥と混 施有効

野菜の事例にはなるが、施用したリン酸のうち作物に吸収、利用される割合は10%とされている。火山灰土では土壌に吸着保持されやすい特徴があり、5～10%に過ぎないといわれている。またトマトの場合ではあるが、窒素、カリウムと比較して、温度の低い地域ではリン酸が吸収されにくい特徴があるため、リン酸を多めに施用する（松本2011）。

施肥の原則は、①作物が必要とする成分を、②必要な量、③必要な時期に、④必要な位置に施用することである。

施肥量は採種園ごとに異なるため、一律に決めることはできない。実際には採種園ごとに施肥量を計算する必要がある。本来は、施肥を行う前に、養分吸収量、天然供給量、吸収率、土性、土壌の反応を調べるのが肝要である。

ある一定の採種木（目標とする大きさの採種木）に生育させるのに必要な養分量、すなわち、採種木の吸収する養分量（A）をまず知り、そのうち土壌または大気中から天然供給される量（B）を差し引けば、必要な施肥量が分かる。しかし、人工的に補給する養分量がそのまま全て採種木に吸収されるものではない。肥料の吸収率すなわち利用率（C）を考慮して、その分だけ割り増しして施肥する必要がある。採種木の中に含まれる肥料3要素成分を使った還元法では、施肥量（M）を次式で求めることができる。

$$M = (A - B) / C$$

A：採種木が初期の成長をとげるために吸収する養分量

B：採種木に対する天然供給量

C：肥料の採種木による吸収率

吸収する養分量（A）を求めるためには、目標とする大きさに成長した採種木全体を分析して、その中に含まれる肥料成分量を算出して求める。例えば10年生の吸収養分量を算出する場合には、10年生の採種木の分析値から9年生の採種木の分析値を差し引いた差の成分量を算出することになる。

天然供給量（B）を求めるためには、例えば窒素の場合には、肥料3要素試験の無窒素区の採種木を分析すれば、その量がそのまま天然供給量に相当する。なぜなら、無窒素区は、窒素肥料を施していないので、その区に生育した苗木に含まれる窒素分は、全て天然の供給から吸収されたものである。リン酸、カリウムについても同様である。これまでは便宜的に果樹に準じて天然供給量は窒素:1/3、リン酸：1/2、カリウム：1/2が使われている。

Cの吸収率は、施肥量の多少、土壌の性質、気象条件、育苗技術等による苗木の生育の良否によって変わる。ヒノキの採種木の場合の吸収率(C)は未解明であるが、野菜の肥料養分の吸収率は窒素30%～40%、リン酸10%、カリウム40%～50%としている（松本 2011）。

表3 採種園の時期別施肥の内容

時期	施肥内容
幼齡期 (植付け から5年目 まで)	この期間は、採種木を早く一定の大きさにするために施肥を行う。一般に植栽苗の成長に合わせ、量を増大させる。
壮齡期 (前期： 5-10年頃、 後期：11 年目以降)	この時期は、採種木の樹形を誘導しながら、着果枝を作り、各時期に必要な施肥を行う。 前期には、断幹・剪定を開始するが、着花枝が充実していない時期と位置付けられ、樹体の確保と着花量の増大を目指す。また、樹体が小さいため、多量の球果をつけると球果が小さくなるため、球果・種子の充実を目指し施肥を行う。また、着花促進により多量の雌花を着生し、球果が小さく、発芽率が低い場合がある。スギの例ではあるが、0.5%の尿素水溶液を葉面散布することにより、球果が大きくなり発芽率が上昇したとある(右田 1962)。 後期は、樹形や樹勢を維持しながら、剪定による若返り、樹勢の回復、土壤管理を考慮して結実量を維持する。球果や剪定枝条の損失を補う量を基本とする。

採種木に対して、表4の施肥量を目安として施肥する。火山灰土壌ではリン酸を倍増し、火山灰土壌や第三紀層では熔性苦土燐肥を用いることが有効である(佐藤 1973)。

表4 単木あたりの施肥要求量を目安

時期	窒素 (N) (g)	リン酸 (P) (g)	カリウム (K) (g)
植栽当年	12	8	10
2～10年生	12	4	8
11～30年生	40	20	30

■ 窒素、リン酸、カリウムの含有率

1林分ではあるが、3年間にわたって各部位の窒素（N）、リン酸（P）、カリウム（K）の含有率を調べた結果を紹介する。約30年生になるヒノキ第一世代精英樹の林分から健全な6クローン（6個体）を選び、それらの個体から当年枝の枝、当年枝についている針葉、球果及び種子を毎年12月上旬に採取し、各部位の成分含有率を調査した。なお、葉は鱗片葉を厳密に剥離採取することは不可能であり、外観から緑色を呈した部分を用いているので、厳密には茎の組織も混在する。

表5 ヒノキの各部位および球果と種子の三要素量

部位	成分	平均値 (標準偏差)
枝	N	0.65% (0.28%)
	P	0.08% (0.04%)
	K	0.62% (0.36%)
葉	N	1.26% (0.13%)
	P	0.18% (0.08%)
	K	0.58% (0.07%)
球果	N	0.50% (0.04%)
	P	0.10% (0.04%)
	K	0.84% (0.07%)
種子	N	1.17% (0.18%)
	P	0.22% (0.18%)
	K	0.21% (0.04%)

既存の研究では、種子の絶乾重量当たりの無機成分の含有率は、窒素で1.43%、リン酸で0.53%、カリウムで0.33%としている（芝本・中沢 1957）。また、時期別に採取した葉の窒素、リン酸、カリウムを調査した結果では、窒素は変動が小さく平均で1.15%、リン酸も変動が小さく平均で0.21%、カリウムは夏は少なく、秋に向かって増加し、冬季は多く、春に向かって減少するとしている。剪定が行われる1月から3月のカリウムの含有率は約0.5%であった（中塚 1920）。

種子の無機成分については、今回の調査結果と若干異なることから、場所等によって変動する可能性があると考えられる。また、葉については、ほぼ同じ測定結果となった。

葉には窒素が多く含まれるため、剪定を行い、持ち去った場合には多くの窒素が採種園から損失することになる。また、種子や葉にはリン酸が比較的多く含まれることから、球果採取や剪定を行った場合にも、リン酸の施肥が必要だと考えられた。

採種園において剪定した後の施肥量と、球果を収穫した後の施肥量の計算についての事例について紹介する。既設のミニチュア採種園で施肥する際に参考にしてもらいたい。

■ 剪定による損失を補うための施肥量の試算

還元法を使って、4区画ローテーション管理している1区画において剪定処理した場合の施肥量を計算した例を示す。



写真1 林木育種センター（茨城県日立市）モデルミニチュア採種園の場合

※断幹高1.5m、植栽間隔2.4mの10年以上経過した採種園

表1 林木育種センターモデル採種園の剪定物の成分比（19個体を利用）

成分	平均値（標準偏差）（％）
N	0.98（0.07）
P	0.19（0.01）
K	0.69（0.01）

※成分比は乾燥重量あたりの成分重量の割合を表す。

剪定作業で損失した1本あたりの枝葉の乾燥重量は5.5kgであった。また剪定物の成分比を調べたところ、N：0.98％、P：0.19％、K：0.69％であった。これを1本あたりの成分量として計算すると、N：53g、P：10g、K：37gに相当した。これを吸収量（A）とし、天然供給量（B）は、果樹に準じて吸収量（A）のN：1/3、P：1/2、K：1/2とし、吸収率（C）はN：30％、P：10％、K：40％とし、還元法を用いて施肥量を試算した。その結果、1本あたりの施肥量はN：119g、P：52g、K：47gと試算された。このように剪定物の乾燥重量と、成分比を測定することによって、ある程度の施肥量を計算することができる。成分比が不明の場合は、前ページにある成分比も参考にされたい。

簡易的な方法として生重ベースを用いつつ、施肥量を算出するのが望ましいが、今回の調査では整枝剪定による枝葉の重量について乾燥重量を求めた。これは、季節や場所によって枝葉等の含水率が変動すると考えられるためである。施肥量を計算するためには、剪定した場所において全部のサンプルの乾燥総重量を求めるのではなく、一部のサンプルを用いて含水率を求め、乾燥重量を試算し、NPKの必要施肥量を推定することになると考えられる。

■ 採種による損失を補うための施肥量の試算

球果に対する種子の重量を10%とし、採取直後における球果の含水率は約62%（浅川 1966）とする。また球果の成分比N：0.5%、P：0.1%、K：0.84%とし、種子の成分比を1.1%、リン酸0.2%、カリウム0.2%とした場合の施肥量は次のように試算された。このように生球果を採取したことによる施肥量の試算を行うことができた。球果を採取した後に施肥を行う際の参考にされたい。

表2 生球果1kgを採取した場合の施肥量の試算

生球果重(kg)	施肥量N (g)	施肥量P (g)	施肥量K (g)
1	4.8	2.1	3.7

採種園での着花促進には施肥と中耕が有効であると言われる。土壌管理には、土壌侵食の防止、有機質その他の肥料施用による地力増進、中耕等による地力活用、石灰施用による地力維持などの方法が取られる。ここでは、主な地表管理の方法と、採種園の下刈について解説する。

■ 地表管理

□ 清耕法

土壌中の空気の流通が促され、有機物の分解が促進されるなどの利点のある反面、維持管理に労力がかかること、傾斜地では表土が流出しやすいこと、地表面が乾燥しやすいことなどがあげられる。

□ 草生法

土壌の流出の防止、土壌中の有機物の増加、土壌の団粒化が促進されるなどの利点がある反面、採種木と単子葉類の養分の奪い合いに留意すると共に笹類、大型草類の除去などの作業が必要となる。

□ マルチ法

地表面全体をマルチシートで被覆したり、採種木の根元付近をマルチにする方法。

□ 中耕

中耕を毎年繰返して行うことにより土壌の団粒構造を誘導し、土壌水分を適度にするとともに細根の発達を促すなどの効果があると考えられる。苗木の根を損傷しないよう縦列及び横列に除草をかねて中耕をすることも良い方法である。大量の堆肥を年々施用することは難しいことも考えられるため、緑肥を栽培して刈り込みを兼ねた中耕は清耕法と草生法の欠点を補う方法である。

■ 下刈

植付け当年は苗木が小さいため、下草刈の際には誤伐に注意する。採種木の生育状況・土壌の浸食・経費の面から草生状態を前提として下刈（草刈）を行なう。平坦地または緩斜地では機械による表層中耕で処理することが望ましい。実行にあたっては労務・経費・管理および作業上の支障等と採種木に与える影響を考えて行なうことになる。この場合、採種木の下方の枝が草によって覆われないよう注意する。理想的には6月、7～8月、9～10月の年3回実行したい。

採種園は、遺伝的に優れた種子をとる目的のための林分であり、生産される苗木の品質は、採種園を構成する採種木のクローン構成によって異なる。つまり採種園を構成する採種木を優れたクローンに更新することによって、採種園から生産される種子、そこから育成される種苗の遺伝的特性をさらに改良し、改良効果を高めることができる。このように採種園の構成クローンを遺伝的により優れたものに改良することを採種園の体質改善という。ここでは、採種園の体質改善の方法について解説する。

■ 採種園の体質改善

林木育種センターでは、林木育種センターが申請して特定母樹に認定されたエリートツリー等について、クローン集植所、次代検定林、採種園などの調査結果に基づいて、特性表を作成・公表している。採種園の体質改善では、最新の特性表の情報に基づいて採種園を構成するクローンの特性を確認し、不良クローンの除去、優良クローンへの植え替えを行うことによって、採種園産種苗の改良効果を高める。なお、新たに植栽するクローンとすでに植栽されているクローンの血縁関係が近い場合があるため、植栽配置を計画する際は林木育種センターや育種場に相談されたい。

■ 採種木の除去の方法

採種木の全クローネに充分陽光が当るようにするため、隣接の採種木との間隔がなくなる前に、樹勢や結実性を考慮しながら除去する。体質改善の場合は、原則として不良クローンを全て除去する。また、採種園内の均等交配を実現するために、開花期の著しく異なるクローンを除去することが重要である（森口ら 2005）。

不要な採種木を除去する方法には、採種木が小さい場合は人力による方法も可能だが非常に労力を要する。一方、植栽間隔が狭い場合は利用が難しいが、バックホーを用いた方法では、採種木の伐根も行うことができ、作業も効率的である。バックホーを保有していない場合はリース等での対応となり、その分の経費を見込む必要がある。経費を節減するため、苗畑で使用しているトラクターを用い、伐倒後の根株にワイヤーを巻きつけ、トラクターで引き抜く方法もある。

■ 採種木の更新の方法

不良なクローンを除去した後の新たな採種木の植栽に備えて、植栽箇所の整備を行う。除去後、植栽前年秋期に肥料を散布する。設計した植栽配置図に従って、新たな採種木を植栽する。

林業用種子の採取は、林業種苗法施行規則第27条で定められた時期（期間）を遵守して実施する。ここでは、球果採取の時期・方法と留意点を解説する。

■ 球果採取の時期・方法・摘果の方法と留意点

□ 球果採取時期

地域によって種子の採取適期は異なる。種子が発芽能力を備えてから、球果が開いて種子を飛散させるまでの期間のうち、種子の発芽率が高い種子の収量が多い時期が採取適期となる。

ヒノキの採取時期は林業種苗法施行規則で9月20日以降に行うことと定められている。

□ 球果採取の方法

ミニチュア採種園では、採種木から球果の着いている枝を採取する場合がある。この場合、採種木から枝を取り過ぎると枯損する恐れがあるので注意する。枝ごと採取せずに球果を一つ一つもぎ取る方法もある。翌年の着果する可能性のある部位が残るため、着果量の大幅な減少は防ぎやすい。枝の岐出部位に数本の緑枝が残る位置で繰り返し剪定し、球果が着いた枝を採取する方法もある。この方法は、ジベレリン処理した枝から球果を採取する時に、ジベレリン処理した処理部位から剪定するため効率的である。その場合は、剪定を考えて、予めジベレリン処理しておくとも効率的である。枝の付き具合等をみて、枝付き球果で採れない場合は、球果をもぎ取るようにする。

□ 摘果

採取した枝からできるだけ早く摘果を行うことが望ましく、通常摘果鋏等を用い丹念に枝から球果を切り取る。別の効率的な摘果の方法として、ブルーベリーの摘果機を用いて一度に多量の球果をもぎ取る方法もある。なお、小型または奇形の球果の種子には渋種またはシイナが多いため、選別して除外することが望ましい。

球果の乾燥方法、球果から効率よく種子を採取する方法とそれらの留意点を解説する。

■ 球果の乾燥

採取した球果は含水率が高い状態のため、山積みしたままにすると、発酵してカビを生じ、種子の発芽率等が低下することがある。また、乾燥・脱粒が難しくなることから、早期に乾燥させ、開鱗・脱粒して種子を取り出す。球果の乾燥には、自然乾燥と人工乾燥、それらの併用法があり、施設の有無や状況に応じて適した方法を選択する。

□ 自然乾燥

ゴザ、ムシロ、ビニールなどの上に球果を薄く広げ、1日2～3回レーキで均一にかきまぜて乾燥を促す。風通しのよい室内あるいは室外の陽光にさらし、1か月程度乾燥させ、開鱗・脱粒させる。夜間または雨天には屋内に取り込む。晴天では3～5日で種子を取り出すことができる。

□ 人工乾燥

含水率の高い生球果を高温で急速に乾燥すると、種子の発芽率が低下するので注意を要する。普通は25℃から始めて徐々に高め、最高36℃～40℃までとし、いかなる場合も50℃を超えないように注意する。乾燥室内の湿度は、乾燥当初にあっても50%を超えないように注意する。乾燥が進むに従って20～30%とし、最後には10%未満になるようにする。

■ 脱粒の方法

少量の球果の場合は、球果をよく乾燥させた上で、晴天の日を選んで軽く棒で打って種子を落としてからふるい分けする。球果の先端や基部、特に樹脂が多量に出て鱗片がくっついている部分は鱗片が開かないことが多いが、この部分の種子はシイナ、渋種または虫害を受けた種子が多いので、取り出す必要はない。脱粒用のふるいの目の大きさは5mmが適当だとされている。多量の球果の場合は、回転式脱粒機に入れて種子を分ける。

乾燥により脱粒した種子には、シイナ、枝葉のゴミ、石、球果殻等の雑物が混入していることから、精選作業によりそれらを取り除く必要がある。以下に種子の精選方法について解説する。単独、あるいは複数の方法を組み合わせることによって、充実した種子を効率的に得ることができる。

■ ふるい

脱粒用のふるいの目が5mm目、精選用の上のふるいは4mm目、精選用の下のふるいは1mm目が適当である。

■ 風選

風力を使って比重の違いを利用し、充実種子とシイナ、夾雑物などを分離・選別する方法。物理的、化学的な影響が少なく、簡便で利用価値が高い方法の一つ。

■ 水選

種子の吸水能力によって生じる沈下時間の差を利用して選別する方法である。浸漬後12時間以内に沈んだ種子を選ぶとよい。カメムシ被害により発芽率が低下した種子もある程度選別可能である（藤井ら 2012）。また、界面活性剤を添加した水選によってヒノキ種子の発芽率が向上したことが報告されている（陶山・富川 2019）。

■ 洗剤選

石鹼液等によって、水の表面張力を低下させることによって種子の沈下を容易にして選別することができる。この時の石鹼水濃度は0.025%～0.25%とされている。ただし、長時間の石鹼水による精選は種子の発芽に悪影響を与えることから、7時間を越えない精選時間とする。また市販の食器用洗剤“JOY”を濃度0.02%で7時間処置することによって沈んだ種子の発芽率が81.3%、浮いた種子では1.3%となり、種子の選別ができるとしている（加藤ら 2013b）。

※JOYは、P&Gジャパン社の商標登録です。

■ アルコール選

アルコール選では、アルコール液に投じてかきまぜたのち沈降するものを選べば、発芽率で高い種子が得られる。アルコール選別は簡便であるが、発芽率が低下するリスクがあり、短時間で処理し、速やかに水洗いすることが重要である。

■ 近赤外分光法による選別

ヒノキの不稔種子には、子実の全部あるいは一部を欠いたシイナや半シイナと呼ばれる未熟粒のほか、褐色の固形物を蓄積する渋粒ないし渋種とよばれる種子が含まれる。近赤外分光法を使うことにより、95%を上回る判別成功率が安定的に得られている（松田ら 2016；原ら 2016）。

種子の貯蔵と発芽検定

ヒノキでは、豊作の翌年は凶作となる場合が多い。豊作年に種子を多く採取・貯蔵することは、種子の安定供給のための一つの方策となる。ここでは、種子の保存方法と発芽検定について解説する。発芽検定は、種子の品質評価や苗木生産可能数を予測するために必要である。

■ 種子の貯蔵

ヒノキの種子は、乾燥して含水率を適度に低下させ、低温で保存することにより、発芽率が維持される。ヒノキの種子の含水率は通常12%内外であるが、貯蔵するためには、気乾状態にして重量で5~7%、平均6%内外の含水率に調整する必要がある。3%以下の含水率は過乾とされ、乾きすぎても発芽力を失う。貯蔵の際には種子を単独で容器に入れるよりも、シリカゲルなどの吸湿剤を種子の重量の10%、種子と混ざらないように薬筒に入れて貯蔵容器の中央に置くとよい。

貯蔵の温度は密閉して0~5°Cの冷蔵庫に入れて貯蔵することで、2年間は有効に発芽率が維持できたとされている。また-20°Cで種子を貯蔵すると、発芽率が5年間十分保たれることを確認している（独立行政法人林木育種センター九州育種場 2004）。なお貯蔵種子は、一般に発芽勢（播きつけ後10日以内に発芽する粒数）が新鮮種子に劣る傾向が見られる。

■ 種子の発芽検定

発芽検定には、精選後の種子を用いる。1昼夜流水処理の後、3~5°Cの冷蔵庫に14日以上低温湿層処理する。具体的には密閉できる容器内に水で濡らしたキムタオルを敷き詰め、その上にガーゼでくるんだ種子を置く（写真1左）。さらに、その上に濡れたキムタオルをかけ、容器のふたを閉め密閉後（写真1中）に、冷蔵庫内に保存する（写真1右）。

シャーレにろ紙を敷き、シャーレ当り50粒程度、2反復以上播種する。隣接した種子の影響が小さくなるように、発芽床状で種子同士が重ならないように並べる。発芽試験中の温度管理は、（暗期）20°C/16時間+（明期）30°C/8時間とする。所定の期間内（ヒノキは28日）に正常に発芽した種子の割合で示す。幼根が種子の長さ（2mm程度）よりも長くなったものを発芽とする。

なお、上記の発芽検定の方法は、「国際種子検査規定」の針葉樹（ヒノキ科）を参考にして作っており、ヒノキの休眠性やカビ対策を考慮し、国内実務向けにアレンジしている。



写真1 発芽検定に用いる種子の前処理の様子

ヒノキの種子は、条件が整えば一般に発芽しやすいが、個体やクローンによって発芽に遅速がある。その差をなるべく少なくして、そろって早く発芽させることは、その後の育苗作業を進める上で望ましい。発芽促進処理は発芽率を高めると同時に発芽を早めて揃えるための処理である。発芽促進処理には、冷水処理、低温処理などがある。ここでは、冷温処理と低温処理について解説する。

種子の発芽促進

■ 種子の発芽促進

□ 冷水処理

ヒノキの冷水浸漬は1～2日、長くても数日を限度とし、10日以上になると、かえって発芽率を減じるとしている。種子を浸漬する水は新鮮なもので、溜水ではなく、流水に浸漬する。冷水の温度は5℃内外である。

□ 低温処理

ヒノキの種子は、湿潤状態に保って0℃内外の低温処理すると、発芽促進の効果がある。処理日数は30日間までは長いほど良いとされている。

ミニチュア採種園において園内のクローン同士で交配させるためには、前もって交配用の花粉を準備して人工受粉させる等の方法がある。交配する当年に採取した新鮮花粉を使用して受粉させることが最も望ましいが、前年等に採取して適切な方法で保存された花粉も交配に使用可能である。ここでは、花粉の採取、貯蔵、発芽試験の方法について解説する。

■ 花粉の採取

雄花が着生した小枝を開葯直前の晴れた日に採取する。採取した枝は、枝葉の表面に付着している他の花粉による汚染を防ぐため、軽く水洗いしたあと陰干しする。乾いた枝はクローン毎に2～3枝ずつ束ね、枝先にグラシン紙で作成した袋をかぶせ、枝の根元を水につける（水差し）（写真1）。水差しした枝は、風通しのよい部屋で乾燥させる。雄花が開き、花粉が落下するとグラシン紙の袋内にオレンジ色の花粉が貯まるので、袋の一隅をハサミで切り花粉を採取する。採取した花粉は、花粉が落下する程度の金網を張ったロートで精選し、ゴミを取り除く（精選しないと花粉銃が詰まる恐れがある）。

水差しのタイミングが早すぎると開葯しない雄花数が多くなり、花粉の採取量も極めて少なくなる。また花粉を大量に採取する目的で雄花のついている枝を多く採取すると、親木の樹形が悪くなるばかりでなく、翌年の着花数が少なくなるなどの弊害が生じる場合がある。

採種木の枝に直接グラシン袋をかぶせて花粉を採取する方法もある。内側にグラシン袋をかぶせ、外側にドリープ紙を袋状にしたもの（水をあまり通さない）をかぶせる（写真2）。袋を結束する場合は、綿を入れてビニタイで締める。花粉が袋内で飛散したのを確認したら、枝を採取して中の花粉を採取する。袋がけした場合の花粉の発芽率は4回程度の降雨があっても水差しした場合と変わらず、20～30％程度であった。採取した花粉は一時的に保存し、人工交配に使用する。

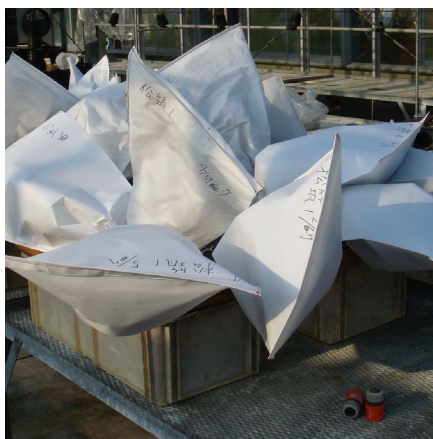


写真1 水差しの様子



写真2 野外での花粉採取の様子

充電式掃除機（マキタ CL107FC等）を用いて花粉を採取する方法もある（写真3）。同掃除機はパワフルモードで32W、使用したバッテリーでフル充電で22分稼働であるが十分な吸引力がある。掃除機付属のフィルターが雄花等で満タンになる程度吸引し、花粉用ふるいにかけて精選したところ、8mℓ 程度の花粉が得られた（写真4）。



写真3 掃除機による花粉採取



写真4 掃除機で吸引した花粉の精選

■ 花粉の貯蔵

採取した花粉は、出来るだけ早期に精選する（特にヒノキの花粉は、室内での生存期間が短い）。精選した花粉はクローン毎に管瓶に入れ綿栓する。採取した花粉を同年に使用する場合には、6℃程度の冷蔵庫または冷暗所に保管して使用する。貯蔵が長期になる場合には、密閉できる容器にシリカゲル等の乾燥剤を入れ、その中に花粉の入った管瓶を入れて-20℃ 程度の冷凍庫内で貯蔵する。貯蔵が超長期になる場合には、採取した花粉をシリカゲル等で花粉の含水率を10%程度まで乾燥させた後ガラス製のバイアル瓶に分注して液体窒素で貯蔵する。液体窒素で貯蔵した花粉は、使用時にバイアル瓶を流水の中で急速に解凍した後に使用する。

■ 花粉の発芽試験

花粉の発芽促進は、滅菌した培養シャーレに綿棒を用いて2、3回花粉を散布した後、25℃に調整した恒温器内で48時間培養する。実体顕微鏡で観察し、視野内の発芽花粉および不発芽花粉を、総カウント数が100個程度になるまでカウントする。花粉の直径よりも長く花粉管の伸長したものを発芽花粉とし、できればシャーレ内の場所をかえて3回測定し、その平均を発芽率とするのが望ましい。ヒノキ花粉の発芽率は採取後すぐでは50%程度だが、保存後は徐々に落ちる。

雌花の開花は同一クローン内で、雄花より早いと言われている（清藤 1983）。また、雌花の開花期が、全ての雄花の開花期と重ならない組み合わせがあることも報告されている（清藤 1980）。開花日の早晩の順位は、概ねクローンによって決まっており、野外での全系統間での均一でランダムな交配は難しいことが指摘されている（前田・西村 1984）。採種園は、異なるクローン間の交配機会をなるべく均等にし、各クローンの交配チャンスが均等になることが望ましい。偏った交配がおきると、種子の品質や遺伝的多様性を下げる原因となる。均一な交配が起きない原因の一つとして、開花時期がクローン間で重複しないことが考えられる。

ここでは、複数箇所における雌花と雄花の開花時期の調査事例について説明するとともに、開花フェノロジーが重ならない場合の対応方法について提案する。

■ 雌花・雄花の開花ステージ

林木の交配に関する基礎的研究 VII（橋詰 1974）によると、雌花の開花ステージは1から7に分けられ、開花後は目視で珠孔液を確認し、交配の適期を見極めることができる。実際には珠孔液が見えていなくとも、鱗片が開き始めるころから受粉は可能である。各ステージの雌花・雄花について写真1と写真2に示した。雌花については主要なステージのみ示している。このステージ分けをもとに、茨城県日立市十王町と神奈川県厚木市七沢において、3年間複数クローンを観察した。特徴的な観測年、クローンについて紹介する。



0：未開花



1：開花



2：花粉飛散



3：飛散終了

写真1 雄花の開花ステージ



0：未開花

1：開花開始期
鱗片が開き始める3：珠孔液確認
午前中に分泌量が多い6：珠孔液停止
鱗片の内側が盛り上がる7：閉花
鱗片が肥厚し胚珠を包み込む

写真2 雌花の開花ステージ

表1 茨城県日立市での2年間の雄花・雌花の開花フェノロジー

2023年

クローン名		3/15	3/20	3/24	3/27	3/29	4/3	4/10	4/17
雌花	特定母樹1	0	1	3	3	3	6	7	7
	特定母樹2	0	1	3	3	3	6	7	7
	エリートツリー1	1	1	3	3	3	3	7	7
	北設楽7号	0	0	1	1	3	3	7	7
	中10号	0	0	1	1	1	3	6	7
雄花	特定母樹1	0	0	2	2	2	2	3	3
	特定母樹2	0	0	2	2	2	2	3	3
	エリートツリー1	0	0	0	2	2	2	3	3
	北設楽7号	0	0	0	0	0	2	2	3
	中10号	0	0	0	0	0	0	2	2

2024年

クローン名		3/22	3/28	4/1	4/5	4/10	4/16	4/22	4/30
雌花	特定母樹1	0	0	1	1	3	3	3	7
	特定母樹2	1	1	1	3	3	3	6	7
	エリートツリー1	0	1	3	3	3	3	7	7
	北設楽7号	0	0	1	1	1	3	3	7
	中10号	0	1	1	1	3	3	6	7
雄花	特定母樹1	0	0	0	0	2	2	2	3
	特定母樹2	0	0	0	0	0	0	2	2
	エリートツリー1	0	0	0	0	2	2	3	3
	北設楽7号	0	0	0	0	0	2	2	3
	中10号	0	0	0	0	0	2	2	3

雌花 0:未開花 1:開花開始期 3:珠孔液確認 6:珠孔液停止 7:閉花

雄花 0:未開花 1:開花 2:花粉飛散 3:飛散終了

- 2年間とも雄花よりも雌花の開花が早い結果であった。
- 珠孔液が確認できた日を同一クローンで比較すると、2023年は2024年と比較して平均11日程度早く、珠孔液の分泌が終了した日は平均18日程度早かった。
- 花粉飛散が確認できた日は2023年は2024年と比較して平均14日程度早かった。
- クローンの特徴として雄花・雌花のフェノロジーが早い・遅いものもあるが、年次によって変動するクローンもみられた。

表2 神奈川県厚木市七沢での2年間の雄花・雌花の開花フェノロジー

		クローン名	3/20	3/22	3/29	4/3	4/11	4/18	4/21	4/27
2023年	雌花	東京4号	0	0	0	0	3	3	7	7
		丹沢4号	1	3	3	3	6	7	7	7
		塩谷1号	0	1	3	—	6	7	7	7
		中10号	0	0	3	3	3	6	7	7
		北設楽7号	0	0	0	3	3	3	3	7
	雄花	東京4号	0	0	0	2	2	3	3	3
		丹沢4号	1	1	1	2	3	3	3	3
		塩谷1号	1	1	0	—	2	2	2	3
		中10号	0	0	0	2	0	2	3	3
		北設楽7号	0	0	1	2	2	3	3	3
2024年	雌花	東京4号	0	0	0	1	3	6	7	7
		丹沢4号	0	3	3	3	7	7	7	7
		塩谷1号	0	0	1	3	6	7	7	7
		中10号	0	1	3	3	6	7	7	7
		北設楽7号	0	1	3	3	3	6	6	7
	雄花	東京4号	0	0	0	0	2	3	3	3
		丹沢4号	0	1	2	2	3	3	3	3
		塩谷1号	0	0	1	1	2	3	3	3
		中10号	0	1	1	2	3	3	3	3
		北設楽7号	0	0	0	0	2	2	2	3

雌花 0:未開花 1:開花開始期 3:珠孔液確認 6:珠孔液停止 7:閉花
 雄花 0:未開花 1:開花 2:花粉飛散 3:飛散終了

- ・ 大まかな傾向は日立市と一致しており、植栽場所に関わらず2023年は雌花・雄花ともにフェノロジーの進み具合が早かった。
- ・ 日立市・厚木市に共通して植栽されている中10号、北設楽7号の開花フェノロジーは異なる場所であってもほぼ同じ時期に開花していた。

クローンの組み合わせによっては雌花が開花しても雄花が開花しておらず、花粉量が足りないために外部花粉との交配機会が増える可能性がある。

その年の気候によって開花フェノロジーは変化するので、3月中旬くらいから定期的にフェノロジーを確認すると交配機会を見極められる。

2箇所の採種園において、人工交配したところ、無処理に比べて種子の発芽率が8、19%向上したことが報告されている（丹原 1989）。これは、他殖頻度が高まり、渋種やシイナ率が低下したことによるものであると考えられる。また、少花粉品種で構成される採種園で、期待される少ない花粉量の種苗を生産する方法として、混合花粉を用いたSMP（Supplemental mass pollination）がある。SMPを行う際に使用する花粉の発芽率が低いクローンでも、父親として十分に寄与することから、少花粉ヒノキの遺伝的多様性が高い種子を生産する上で有効と考えられる（若尾ら 2017）。

ここでは、花粉銃を使った一般的な人工交配の方法と、SMPで交配する方法、さらに溶液受粉を使って交配する方法について解説する。なお、花粉散布処理では、処理回数が多くなるにつれ、発芽率等が向上することが知られている（西川・馬目 2014）。

■ 花粉銃を使った人工交配

①雄花の除去（除雄）

人工交配は、雌花に特定の花粉を交配させる作業であるため、交配袋を掛ける前に雄花は全て除去し、交配袋内は雌花と葉だけの状態にする必要がある（写真1）。ヒノキは雄花が小さく注意が必要。上方の枝のほうが雄花が少ないので容易である。



写真1 除雄後の様子

②交配袋掛け

除雄が終わった枝に、不織布製の袋（20cm×40cm程度）をかけ、袋の口にあたる枝に綿を巻きつけ、ビニタイで固定する（写真2）。細い枝では袋がずれやすいので注意する。袋ごとに異なるクローンの花粉を注入するため、番号ラベル等で袋を識別する。



写真2 交配作業

③交配作業

圧力で針の先から花粉を押し出す構造となっている花粉銃に、前年あるいは当年に採取した花粉を投入し、針を袋に刺して花粉を注入する。花粉銃はシリンジ（10ml程度）で代用できる（写真3）。周囲の枝の雌花を観察して雌花が開花し、珠孔液が出ていることを確認して交配適期を見極める。



写真3 花粉銃

④交配後の管理

5月ごろに交配袋をカメムシ防除ネットに換えるか、不織布の交配袋であれば9月の採種時期まで交配袋をかけたままにしてもかまわない。伸長した枝が袋内で曲がるようであればカメムシ防除ネットに交換する。

■ SMPによる人工交配

袋がけをせず、あらかじめ集めておいた花粉を雌花に噴霧する方法を、SMPという。高圧スプレーや農薬散布機を用いて大量に花粉を採種園内に散布する方法や、花粉銃や電池式散布機（写真4）を用いて少量の花粉を直接雌花に噴霧する方法もある。採種園外部からの花粉の影響を全て排除できるわけではないが、採種園内の花粉量を増加させることで園内の個体同士の交配を促進することができる。SMPを行う際には雌花の開花フェノロジーや、周囲のヒノキの花粉飛散を観察しながら、複数回行う方が交配成功率は高いと考えられる。



写真4 電池式花粉散布機

■ 溶液受粉による人工交配

溶液受粉は、花粉を懸濁した溶液をスプレー等で雌花に散布することで受粉を行う方法で、ニホンナシなどの果樹において実用化されている技術である。閉鎖型温室において無花粉スギの生産にも利用されている技術である（斎藤 2022）。ヒノキにおいても適用可能かどうか、2年間溶液受粉を試みた結果を紹介する。

スギを参考に、2022年は10%ショ糖液に寒天を0.1%加えた溶液に、花粉を重量濃度で1%懸濁し、ハンドスプレーを用いて10回（1回あたり1ml）程度雌花に吹きかけた結果、種子の発芽率は48.3%、交配成功率は56.3%であった。2023年は適切な花粉濃度を調査するために、花粉濃度を0.5%、1%、5%と変化させ、さらに交配袋を設置した場合としない場合で比較した（図1）。花粉濃度は5%以上とすることで高い発芽率が得られたが、袋かけをしない場合の交配成功率は20%程度と低かった。年によっては花粉飛散が早いために、外部の花粉と早期に交配してしまう可能性があり、受粉時期の見極めが重要である。

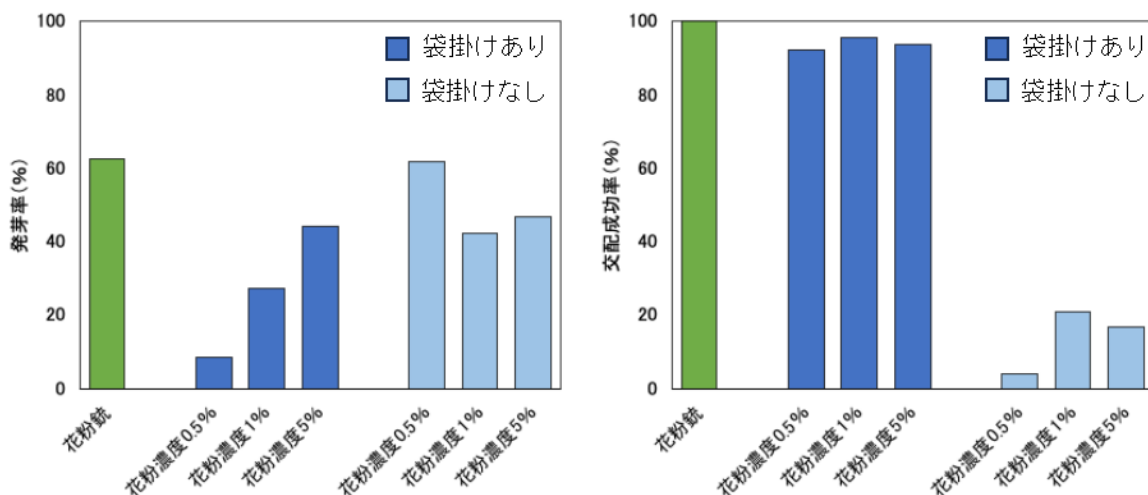


図1 溶液受粉を行った場合の種子の発芽率と交配成功率

※交配成功率は採取した種子から発芽した実生苗をDNA分析に供して推定した

第4章

採種園の苗木生産数の 試算

採種園から生産される球果数を予測するためには、採種木1本あたりから生産される球果数に採種木数を乗じることで推定できる。また、採種木1本から生産される球果数は、様々な要因によって変動すると考えられる。例えば、①採種木のサイズ、②採種園の林分着果指数、③ジベレリン処理の有無と処理枝数等である。ここでは採種木1本から生産される球果数を推定するために明らかにする必要がある要因について解説する。

■ 球果生産数に影響する要因

□ 採種木のサイズ

採種木1本当たりの生球果生産量と採種木の樹高には高い相関があり、生球果生産量に影響する（真田 1991）。採種木のサイズが大きいほど、着果枝が増え、また着果枝に雌花が結実する範囲も広がる傾向がある。

□ 採種園の豊凶

ヒノキの種子生産には豊凶がみられる。採種年の作柄によって、結実する球果数も大きく変動する。

□ ジベレリン処理の有無と処理枝数

ジベレリン処理によって、結実する球果数は増加する。ジベレリン処理することによって雌花数で6倍（丹原 1987）、種子生産量で1.9～3.1倍の促進効果があったとされている（出崎・桂川 1985）。また、採種木1本当たりのジベレリン処理枝数は、事業的な制限（コスト、人員等）のため1本～5本（平均3本）であることが多い。処理枝数は多いほど、結実する球果数が増えると考えられるものの、養分条件や光環境を考慮すれば、採種木1本あたりの着果数には、上限があると考えられる。

□ 採種木のサイズと着果枝の関係

林木育種センター内の原種園に植栽されていたヒノキ接ぎ木クローンの胸高直径と葉展開基部径8mm以上の枝の本数の関係、胸高直径と葉展開部からの枝長の関係を調査した。ただし、球果を採取しやすい地上高0.5mから1.5mの主幹から出ている一次枝のみをカウントしている。

調査した結果、胸高直径が大きい個体は、ジベレリン処理が可能な枝径8mm以上の枝を多数着生する傾向が見られた（図1）。また、胸高直径が大きい個体ほど、着果する可能性のある緑葉が着生する部位（枝長）が長くなる傾向が見られた（図2）。

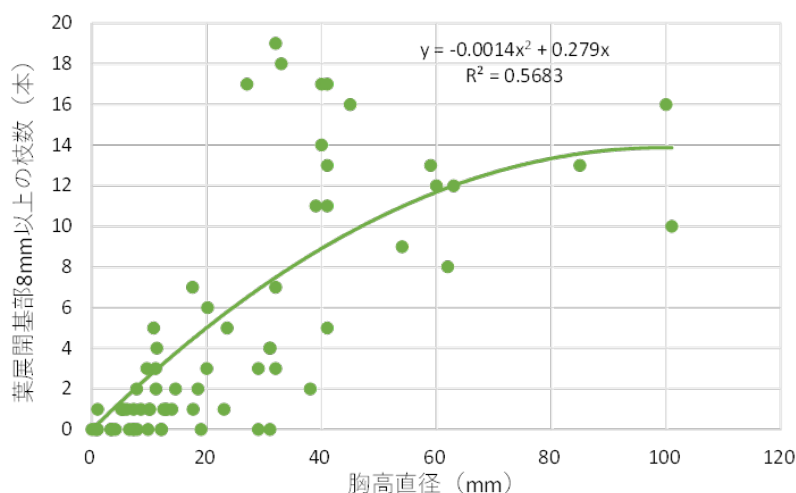


図1 採種木の胸高直径と、葉展開基部の枝径8mm以上をもつ着果枝数の関係

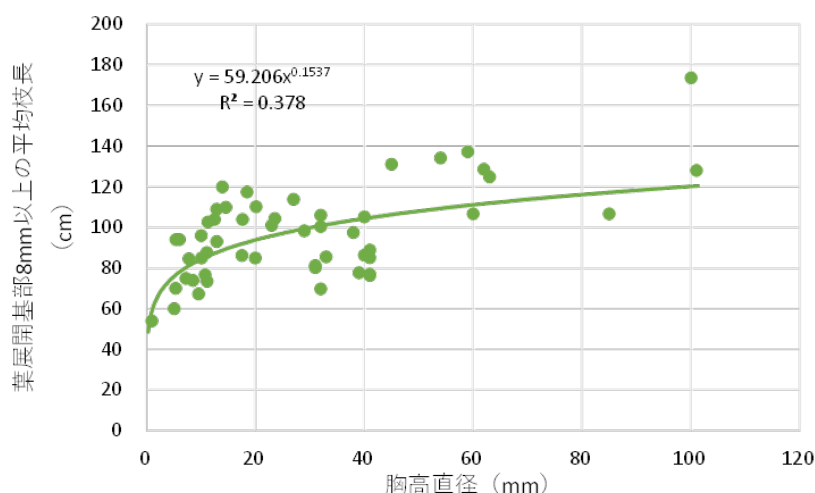


図2 採種木の胸高直径と着果枝の枝長の関係

採種木のサイズが大きいほど、着果枝が増えるとともに、着果枝の中で雌花が着生する範囲も広がると考えられる。

□ 採種園の豊凶

ヒノキは豊凶があるため、採種量は採種年の作柄によっても変動すると考えられる。胸高直径と着果枝数の関係、胸高直径と着花枝長の関係、球果（雌花）の着果指数と球果数の関係、豊凶別の着果指数の頻度を使い、胸高直径が大きくなった場合の採種木1本あたりに着生する自然球果数（ジベレリン処理していない場合）を推定した。なお、全国の採種園の豊凶調査では22回のうち、豊作2回、並上4回、並作2回、並下9回、凶作5回の出現頻度であったことから、これらの頻度を考慮して採種木1本あたりの平均的な球果生産量を推定した（図3黒線）。

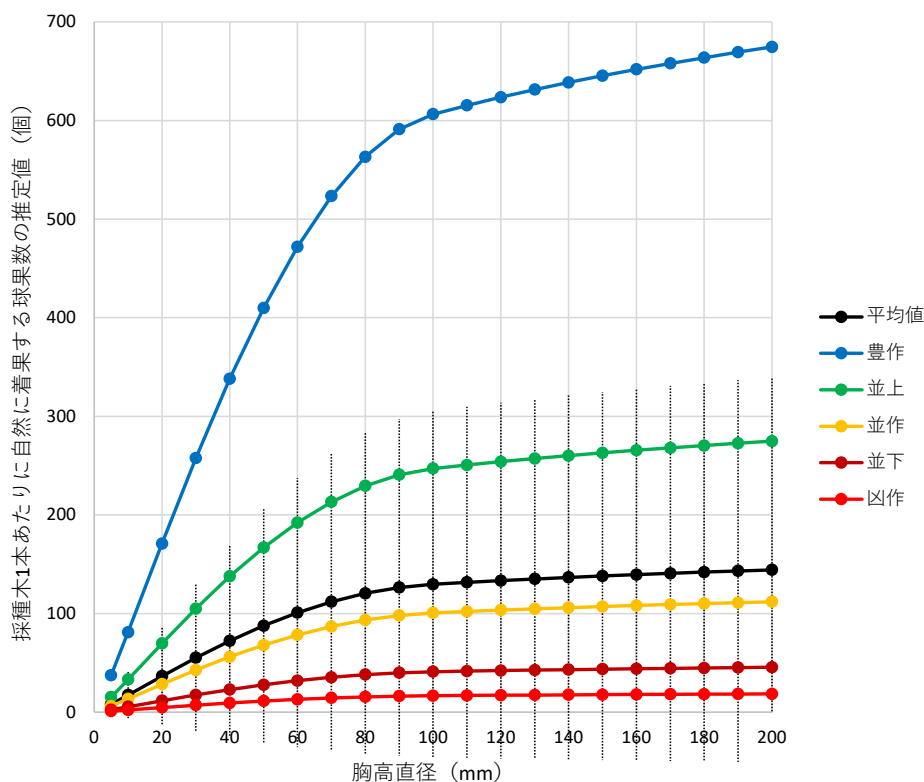


図3 作柄別の採種木のサイズに伴う採種木1本に着生する自然球果数の推移の予測

※採種木の0.5mから1.5mに着生している着果枝は着花しやすい光環境にあることを条件としている。また図中の黒線は22回の平均的な作柄時に自然に着生する球果数の推定値を表す。バーの上端は平均値+1 σ を表す。

豊凶によって、採種木1本に着生する球果数に大きな違いが見られた。また、採種木の直径が大きくなると、8mm以上の径をもつ着果枝が増え、緑葉が着生している部位が長くなり、結果的に球果数が増えるが、胸高直径10cm以上になると、着果枝の数は上限に達し、球果数も安定化する傾向が見られた。

□ ジベレリン処理

①異なる作柄におけるジベレリン（GA）処理の着花促進効果

茨城県、千葉県、東京都、愛媛県のミニチュア採種園において、2021年から2023年のうち、同年に同じ採種木に対してジベレリン処理した枝の着花指数と無処理の枝の自然着花指数を使って、自然着花指数とジベレリン着花指数の関係を求めた（図4）。

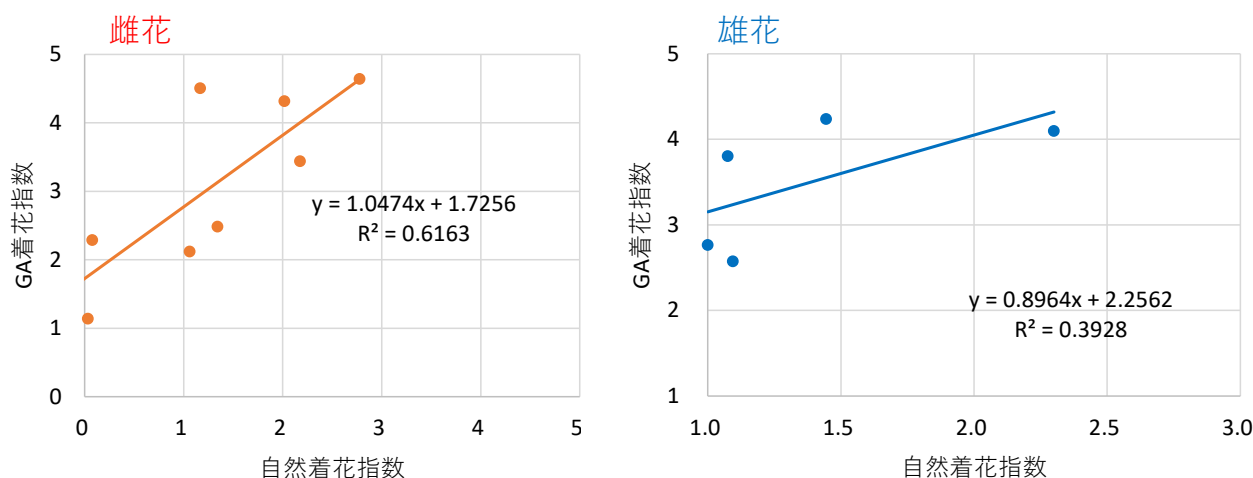


図4 自然着花指数とジベレリン着花指数の関係

※各点は、各採種園において、同年の複数の採種木から得られた指数の平均値である

雌花の場合

自然着花指数0→ジベレリン処理で概ね2まで引き上げられる。
 自然着花指数1→ジベレリン処理で概ね3まで引き上げられる。
 自然着花指数2→ジベレリン処理で概ね4まで引き上げられる。
 自然着花指数3～5→ジベレリン処理で概ね5。

ジベレリン処理によって、雌花の着花指数も向上した。特に自然着花指数が小さい並作年以下の年で、ジベレリン処理の効果が高まる傾向があり、既存の報告（齋藤・明石 2004）と同様の結果だった。調査結果からは、ジベレリン処理により豊作年に生産量がより高められるというよりは、不作年に種子生産が底上げされる傾向にあると考えられ、毎年一定量の種子を生産する上でジベレリン処理は有効であると考えられた。ただし、豊作年の翌年には花芽分化する部位が必然的に減少するため、豊作年の翌年の着花促進の効果は限定される場合があると考えられる（勝田 1982）。

雄花の場合

自然着花指数1→ジベレリン処理で3まで引き上げられる。
 自然着花指数2→ジベレリン処理で4まで引き上げられる。

ジベレリン処理によって、雄花の着花指数も向上し、園内での花粉濃度が高まることも期待できることが示唆された。

②ジベレリン処理による球果生産数

ジベレリン処理する枝数を変えた場合の球果数を推定した。

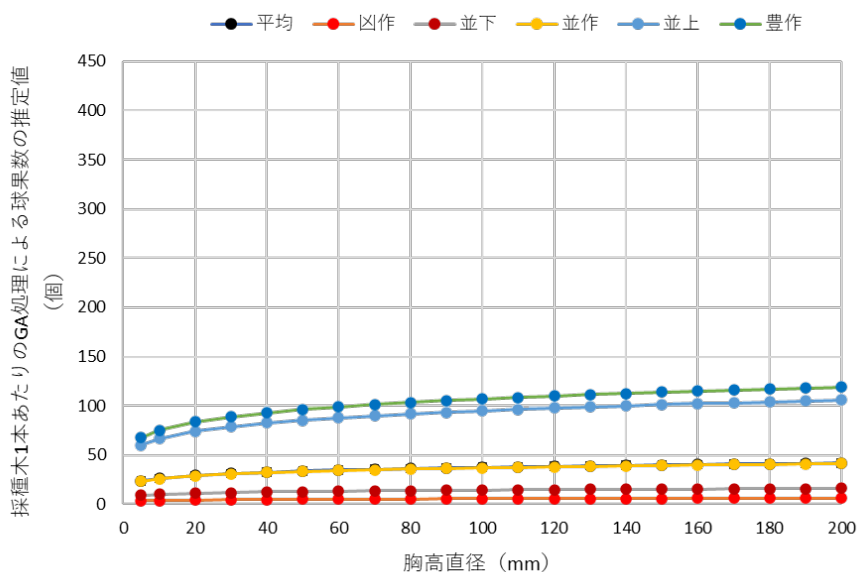


図5 採種木1本にジベレリン処理を**1枝**処理した時の作柄別の球果数の予測

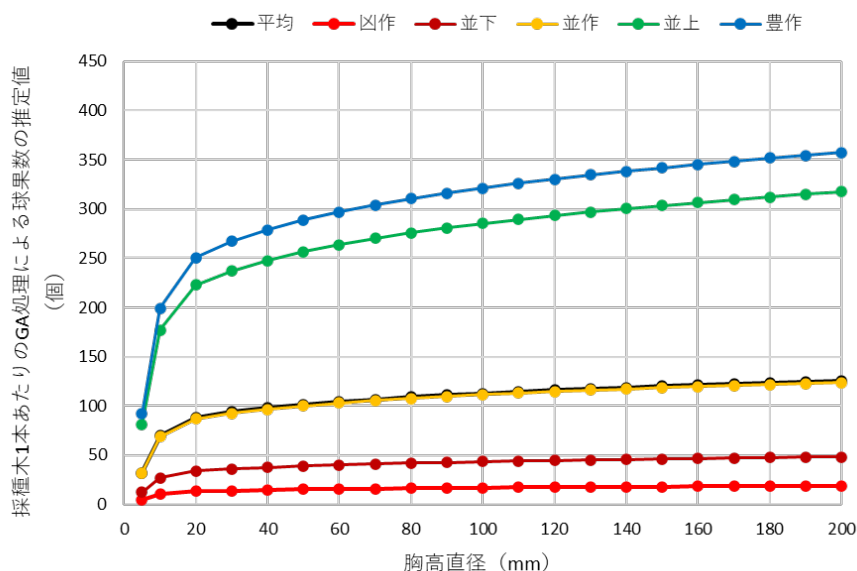


図6 採種木1本にジベレリン処理を**3枝**処理した時の作柄別の球果数の予測

※シミュレーションでは、ジベレリン処理した枝以外の枝に自然着花の球果が着生していても、カウントしていない。また、区画ローテーション管理しているミニチュア採種園で、球果採取する予定の区画でジベレリン処理した枝からのみ採種した球果数の予測である。シミュレーションに用いたデータは、各都県等で測定した豊凶、主にミニチュア採種園で得たジベレリン処理と自然着花の着花指数の関係、球果（雌花）の着果指数と球果数の関係、林木育種センターの原種園等で測定した胸高直径と着果枝数、枝長との関係を用いて推定している。

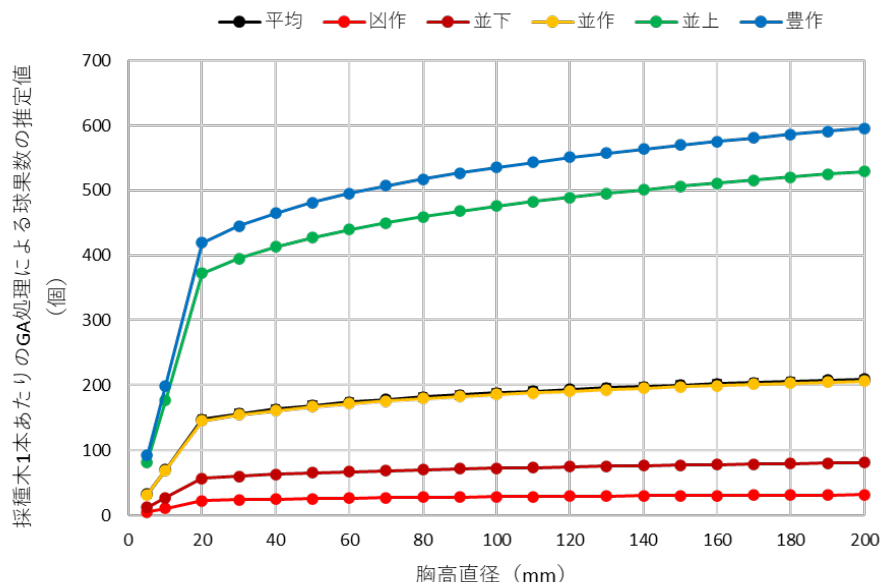


図7 採種木1本にジベレリン処理を5枝処理した時の作柄別の球果数の推移の予測

※シミュレーションでは、ジベレリン処理した枝以外の枝に自然着花の球果が着生していても、カウントしていない。また、区画ローテーション管理しているミニチュア採種園で、球果採取する予定の区画でジベレリン処理した枝からのみ採種した球果数の予測である。シミュレーションに用いたデータは、各都県等で測定した豊凶、主にミニチュア採種園で得たジベレリン処理と自然着花の着花指数の関係、球果（雌花）の着果指数と球果数の関係、林木育種センターの原種園等で測定した胸高直径と着果枝数、枝長との関係を用いて推定している。

③並作時におけるジベレリン処理枝数の違いによる球果生産数

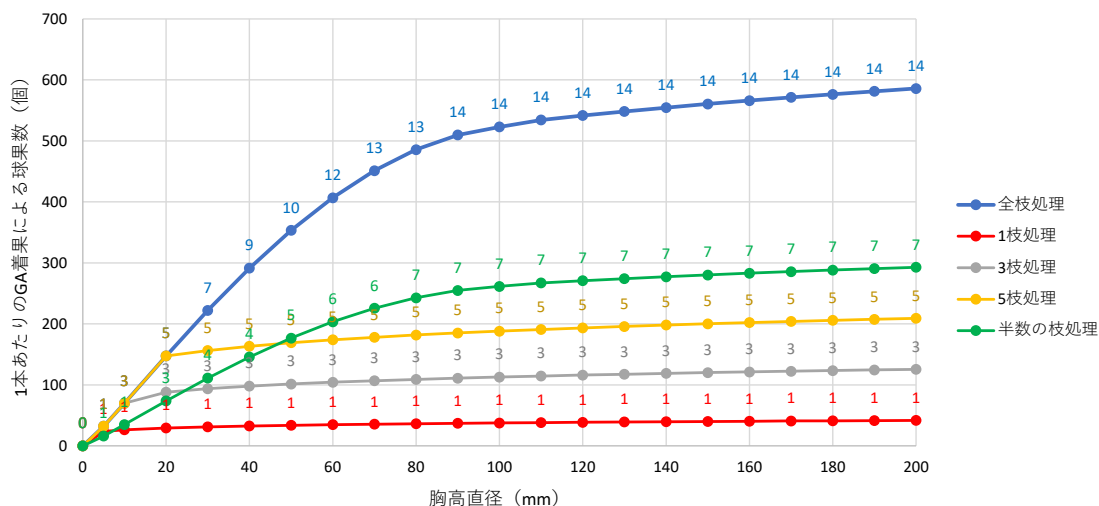


図8 採種木1本あたりのジベレリン処理枝数を変えた場合の球果数の推移

※シミュレーションでは、ジベレリン処理した枝以外の枝に自然着花の球果が着生していても、カウントしていない。また、区画ローテーション管理しているミニチュア採種園で、各都県等で測定した豊凶に基づく平均年（≡並作年）に球果を採取する予定の区画において、ジベレリン処理した枝からのみ採種した球果数の予測である。図中の凡例の数値は、処理枝数を表す。

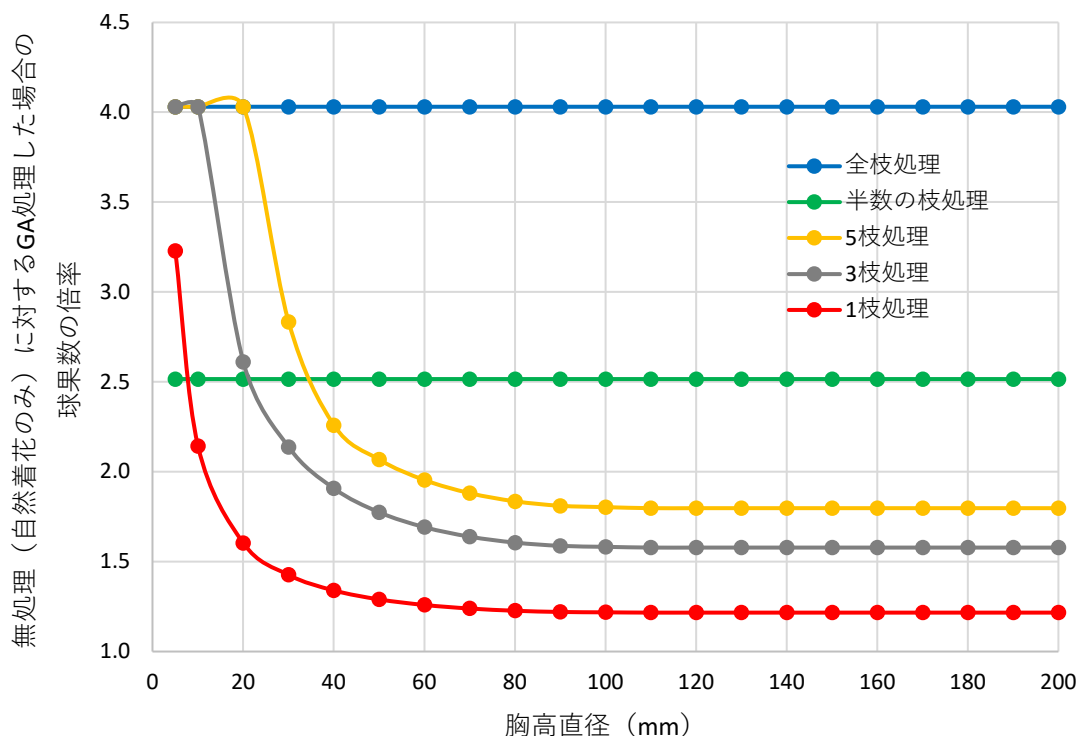


図9 無処理（自然着花）に対するジベレリン処理した場合の球果数の倍率

採種木が小さい時は特にジベレリン処理することによって、無処理の場合（自然着花）に比べて多くの球果を採取できることが分かった。胸高直径10cm以上になると収量の倍率は安定し、葉展開基部の枝径8mm以上の枝に対してジベレリン処理を1枝実施すると1.2倍、3枝処理すると1.6倍、5枝処理すると1.8倍、半数の枝に対してジベレリン処理すると2.5倍、全枝処理すると4.0倍の収量の増加が見込まれた。

※シミュレーションでは、ジベレリン処理した枝に着生している球果数と、残りのジベレリン処理していない枝に着生している自然着花の球果数の合算値を求め、その合算値が、無処理（自然着花）の場合の球果数に対して何倍になるかを試算した。

■ 収量率

収量率は生球果に対する種子重の割合である。球果あたりの種子数は30粒から40粒が多い。ヒノキ精英樹の場合、669.9kgの球果から62kgの種子が生産されたとする報告がある（9.3%）。また、花粉の少ないヒノキからは26.6kgの球果が生産され、2.6kgの種子が生産されたとする報告がある（9.8%）（石井ら 2009）。また収量率は7～12%とする報告もある（浅川 1981）。また人工交配で得られた収量率は約9%だったとしている（山手 1989）。球果10個あたりの平均重量は、およそ5.5kgとしている（坂口 1952）。生球果1個あたりの重量は0.6g～0.7gが多く、平均0.65gとすれば、生球果1kgあたり約1,500個の球果数になる。また球果あたりの種子数を35粒とすれば、生球果1kgから得られる種子数は約54,000粒と推定される。

■ 千粒重

種子の品質を表す指標で種子の播き付け量を決める際に用いる。種子の千粒重については、最大3.33g、最小1.43g、平均2.22gと報告している（小沢 1965）。また一枝当たりの雌花の着生量が多いと、千粒重は小さくなる傾向があるとしている（吉野 1986）。特に枝当たりに700個以上の球果がつくと、無処理に対して千粒重は低い値を示す。2,000個以上着生すると、結果率（雌花数に対する球果数）が20～40%に低下する（金川・北川 1987）。

■ 純量率

種子の品質を表す指標で種子の播き付け量を決める際に用いる。一般に種子には、球果片、葉片、その他の夾雑物が混じっているが、純量率は、葉や球果鱗片等の夾雑物を除いた種子割合を表す。その夾雑物が入っている割合は4%以下である（小沢 1962）。

純量率は以下の式で計算する。

$$\text{純量率} = (\text{供試重量} - \text{夾雑物重量}) / \text{供試重量} \times 100$$

種子発芽率に影響する要因

採種園における苗木生産数を予測するためには、生産された種子の発芽率を予測する必要がある。ここでは、種子の発芽率に影響する要因と、カメムシ防除袋の効果について紹介する。

■ 種子発芽率に影響する要因

□ 隣接する採種木の枝の交差状況

立木密度の低い採種園では、高い採種園より種子の有胚率が高い傾向がある（井出 1984）。これには隣接する採種木の枝の交差状況が影響していると考えられ、採種木の樹冠が混んでいるほど、花粉の流動が悪くなり、シイナが多くなるためと考えられる（山手 1979）。

□ 採種園の豊凶

豊作年では有胚率が高く（井出 1984）、種子の発芽率が高い傾向がある（小林・尾古 1985；岸・照山 1992）

□ カメムシ防除袋処理

カメムシが発生する年は、カメムシ防除袋をかけると種子の発芽率や充実率は高くなり、防除袋を掛けないと低下する（綱田・半田 1992；半田ら 1991；涌嶋ら 1993；小山ら 2004；加藤ら 2013a；川尻ら 1992b）。

□ 健全な種子のうちの発芽可能な種子

内部が充実している健全種子のなかに発芽能力のない種子が含まれている。発芽力の弱い種子は、好条件が整えられた発芽試験では発芽するが、条件が必ずしも良好ではない実際の苗畑等では発芽しないことがしばしばある。このため、試験発芽率よりも苗畑発芽率は低いのが一般的である。苗畑発芽率が低い理由として、①苗畑では水分や温度の条件がインキュベーターなどの試験器の場合より劣り、②土壌中の微生物により障害を受け、③発芽遅延の弱勢苗木が病原菌に侵されるなどが考えられる。長谷川（1943）は、苗畑での発芽率と試験発芽率との関係を示した。苗畑での実測が望ましいが、試験発芽率から苗畑発芽率を推定する場合は、以下の表1を参考にされたい。

表1 試験発芽率と苗畑発芽率との関係（長谷川 1943）

苗畑発芽率（％以上）	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
試験発芽率（％）	20	28	34	40	45	52	60	64	71	79	83
試験発芽率に対する苗畑発芽率の百分率（％）	50	53	58	62	67	67	67	70	70	70	72

■ カメムシ防除袋による発芽率への影響

カメムシ防除袋による種子の発芽率への影響を調べるため、茨城県、愛媛県、岡山県、三重県の採種園において複数の採種木を使用し、同一年・同一箇所でカメムシ防除袋を掛けた場合と掛けなかった場合の種子の発芽率を調査した。

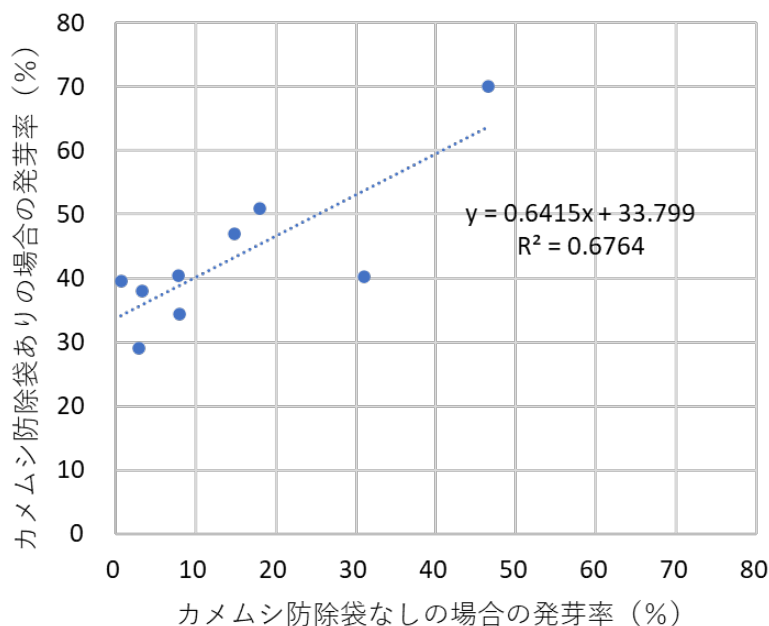


図1 カメムシ防除袋の有無による発芽率の関係

※各点は、各年の各採種園において、複数の採種木で得られた発芽率の平均値を用いて算出。

カメムシが発生する年は、カメムシ防除袋をかけると種子の発芽率や充実率は高くなるが、防除袋を掛けないと大きく低下することが知られている（小山ら 2004；加藤ら 2013a）。

今回の調査結果においても、種子の発芽率は、カメムシ防除袋を掛けることによって向上する傾向が見られた。特に防除袋を掛けないときの発芽率が低い場合（カメムシ被害が多い時と考えられる）は、袋を掛けることによって、発芽率が大きく向上する傾向が見られた。

採種園における苗木生産数を予測するためには、発芽した種子の内、どれだけ苗木として出荷されるかを明らかにする必要がある。ここでは、発芽してから苗木として出荷されるまでの割合と、減少する要因について紹介する。

■ 苗木の規格

□ コンテナ苗

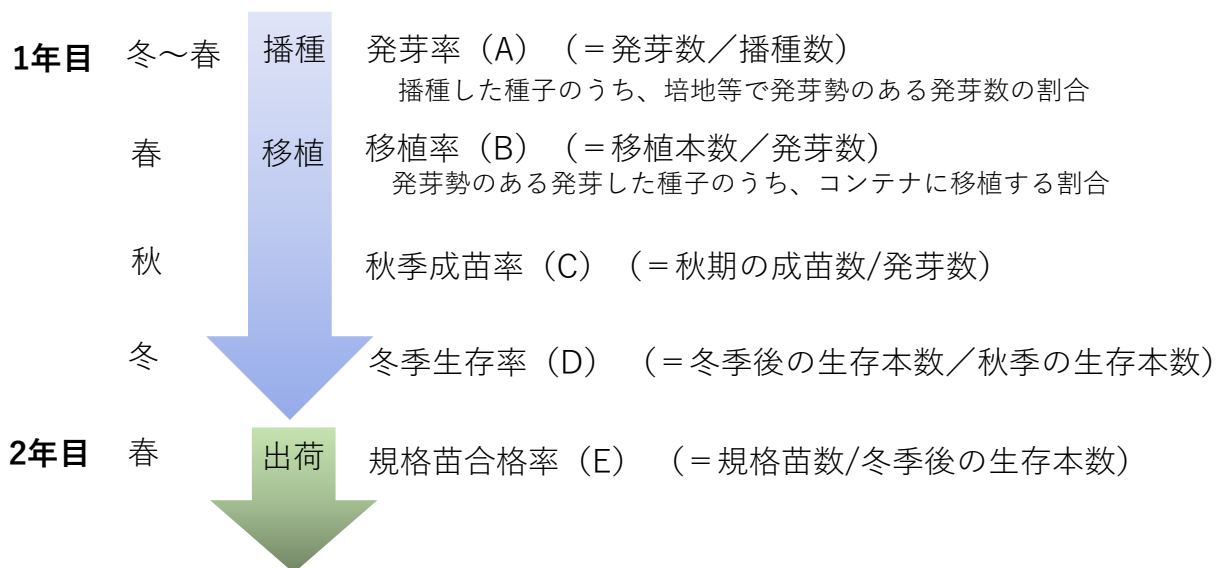
ヒノキのコンテナ苗の場合、自治体やコンテナ容量によって異なるが、苗齢で1～3年で出荷する（平均で約2年）。自治体によっては苗長や根元直径が規格を満たせば、苗齢は関係ないとする場合もある。苗長は最低25cm上となっている（平均で約35cm上）。根元直径については、規格を設定しない自治体もあるが、概ね2.5mm上の範囲となっている（平均で約3.5mm上）。

□ 裸苗

ヒノキの裸苗の規格も自治体によって異なる。苗齢1～3年で出荷するケースが多いが（平均で約2.5年）、苗長や根元直径が規格を満たせば、苗齢は関係ないとする自治体もある。苗長は最低8cm上となっている（平均で約40cm上）。根元直径については、規格を設定しない自治体もあるが、概ね5mm上の範囲となっている（平均で6.5mm上）。

■ コンテナの生産数の計算例（2年生苗（1回移植））

播種数からコンテナ山行き苗数を予測する方法を紹介する。
ただし、地域によっては2年生以外のコンテナ苗を生産したり、直接コンテナ播種する場合がある。実際には下記の内容を参考にしつつ、生産現場の状況に合わせて苗木生産数を予測することが必要である。



播種数をX粒とした場合、規格に達する苗木の本数 (Y) は、以下の式で算出することができる。

$$Y = A \times B \times C \times D \times E \times X$$

計算例1) 1万粒を播種した場合の規格に達する山行苗の本数の計算
A=0.2、B=0.8、C=0.8、D=0.8、E=0.8、X=10,000とした場合、
苗木本数 (Y) = $0.2 \times 0.8 \times 0.8 \times 0.8 \times 0.8 \times 10,000 = 819$ (本)

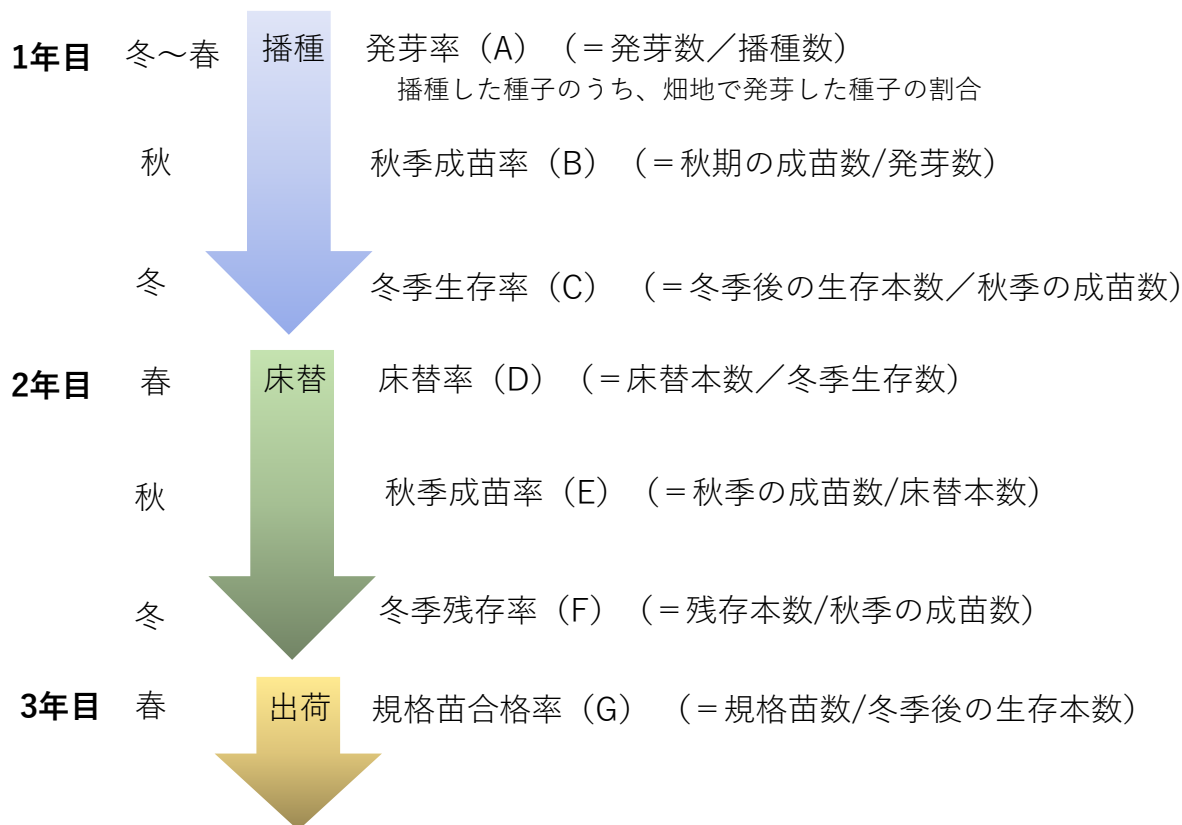
規格苗 X 本を生産するために必要な播種数 (Z) の計算は、以下の式で算出することができる。

$$Z = X / (A \times B \times C \times D \times E)$$

計算例2) 1万本の規格苗を生産するために必要な播種数の計算
A=0.2、B=0.8、C=0.8、D=0.8、E=0.8、X=10,000とした場合、
播種数 (Z) = $10,000 / (0.2 \times 0.8 \times 0.8 \times 0.8 \times 0.8) = 122,070$ (粒)

■ 裸苗の生産数の計算例（3年生苗（1回床替））

播種数か山行き用の裸苗数を予測する方法を紹介する。
ただし、地域によっては3年生以外の裸苗を生産したり、床替え数も異なる場合がある。実際には下記の内容を参考にしつつ、生産現場の状況に合わせて苗木生産数を予測することが必要である。



播種数をX粒とした場合、規格に達する苗木の本数 (Y) は、以下の式で算出することができる。

$$Y = A \times B \times C \times D \times E \times F \times G \times X$$

計算例1) 1万粒を播種した場合の規格に達する山行苗の本数の計算

A=0.2、B=0.3、C=0.8、D=0.8、E=0.8、F=0.8、G=0.7、X=10,000

とした場合、苗木本数 (Y)

$$=0.2 \times 0.3 \times 0.8 \times 0.8 \times 0.8 \times 0.8 \times 0.7 \times 10,000=172 \text{ (本)}$$

規格苗X本を生産するために必要な播種数 (Z) の計算は、以下の式で算出することができる。

$$Z = X \div (A \times B \times C \times D \times E \times F \times G)$$

計算例2) 1万本の規格苗を生産するために必要な播種数の計算

A=0.2、B=0.3、C=0.8、D=0.8、E=0.8、F=0.8、G=0.7、X=10,000

とした場合、播種数 (Z) =10,000/

$$(0.2 \times 0.3 \times 0.8 \times 0.8 \times 0.8 \times 0.8 \times 0.7) =465,030 \text{ (粒)}$$

■ 山行苗木生産数の試算

これまで得られたシミュレーション結果を用いて、採種木1本から生産される山行き苗木数について試算した（図1）。ただし、作柄、採種木の管理、苗木育成等によって苗木生産数は変動する。下記の内容を参考にしつつ、実際の生産現場の状況に合わせて苗木生産数を予測することが必要である。

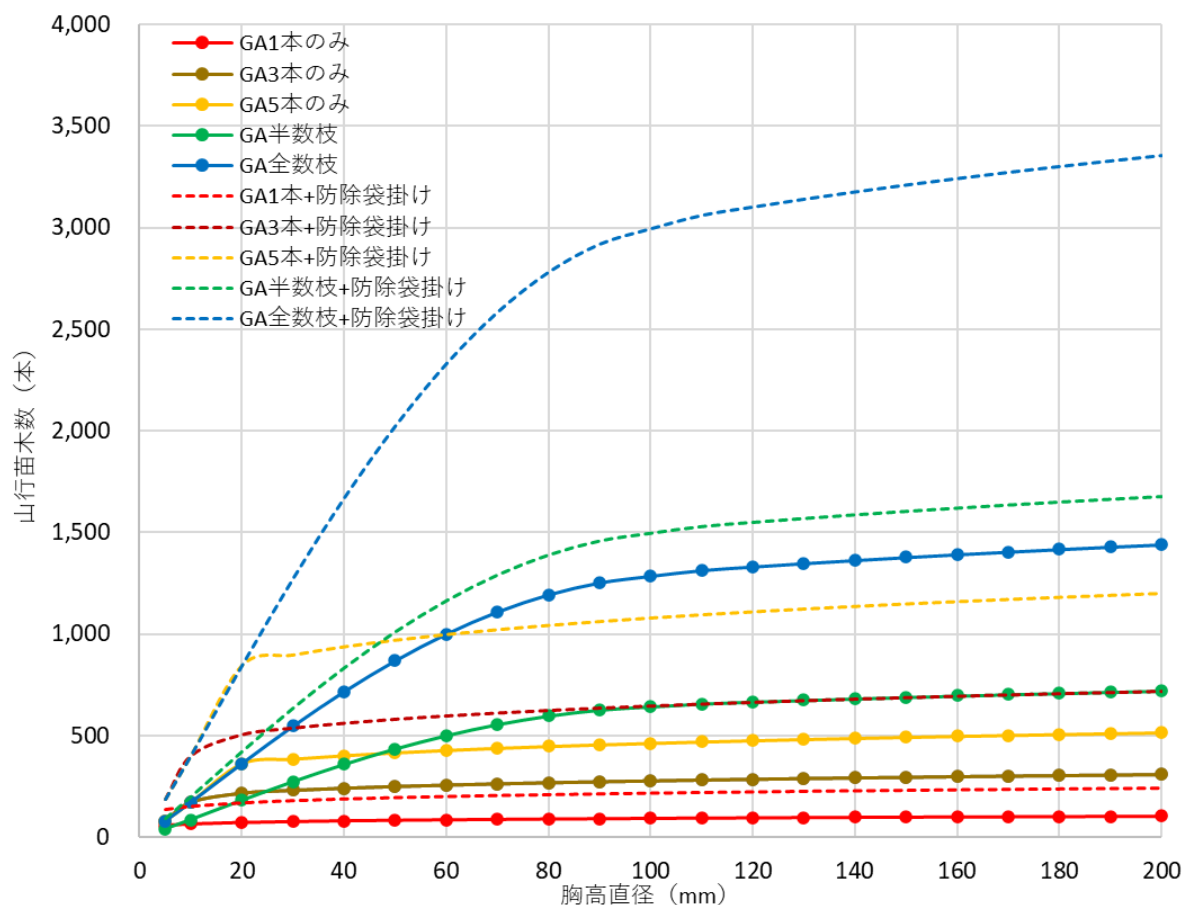


図1 ジベレリン処理し、カメムシ防除袋をかけた場合と掛けなかった場合の採種木1本から生産されるコンテナ山行苗木数の試算

※シミュレーションの条件：区画ローテーション管理しているミニチュア採種園で、球果を採取する予定の区画で、採種木にジベレリン処理し、処理した枝のみから球果を採取し種子採種することとした。球果当たりの種子数は35個とし、それから山行苗木を生産することとした。また、シミュレーションでは、各都県等で測定した豊凶データに基づいて平均年（≒並作）に採取することとした。またこれまで得られたジベレリン処理と自然着花の着果指数の関係、球果（雌花）の着果指数と球果数の関係、林木育種センターの原種園等で測定した胸高直径と着果枝数、枝長の関係式を用いて試算している。また種子の発芽率は20%（防除袋なし）、46%（防除袋あり）とし、2年生コンテナ苗（1回移植）を生産することを想定して試算した。このとき、芽生えの移植率=0.8、秋季苗成率=0.8、冬季生存率=0.8、合格苗率=0.8とした。

■ 採種木の必要本数の試算

前ページの採種木1本あたりのコンテナ山行き苗数の試算結果を用い、10万本の山行き苗木を生産するために必要な採種木の本数を試算した。

表1 10万本のコンテナ山行き苗を生産するために必要な採種木の本数の試算結果

胸高直径 (mm)	GA1本+防除 袋掛け	GA3本+防除 袋掛け	GA5本+防除 袋掛け	GA半数枝+ 防除袋掛け	GA全数枝+ 防除袋掛け
30	1,915	638	383	539	269
40	1,832	611	366	411	205
50	1,771	590	354	339	169
60	1,722	574	344	294	147
70	1,681	560	336	265	133
80	1,647	549	329	247	123
90	1,618	539	324	235	117
100	1,592	531	318	229	115
110	1,568	523	314	224	112
120	1,548	516	310	221	111
130	1,529	510	306	218	109
140	1,511	504	302	216	108
150	1,495	498	299	214	107
160	1,481	494	296	212	106
170	1,467	489	293	210	105
180	1,454	485	291	208	104
190	1,442	481	288	206	103
200	1,431	477	286	204	102

※シミュレーションの条件：前ページで示した条件と同一である。
表中のGAとはジベレリン処理のことを示す。

採種木のサイズが小さいときは、採種量が少ないため、10万本の苗木を生産するために必要な採種木数が多い。採種園の生産数が少ない時は、既設の採種園からの採種も入れた上で、新規採種園の造成年や採種園の規模を計算する必要がある。

第5章

ヒノキミニチュア 採種園の事例

閉鎖型採種園は、野外に比べて環境条件をある程度制御することができる。例えば、ガラス温室内において鉢植えした苗木の鉢内土壌のPF値を2.1～2.9で管理することにより、凶作年でも着花させることができる可能性が示されている（佐々木・丹藤 1990）。また花芽の分化時期に長日かつ強光処理を行うと雌花と雄花の着花が促進し、赤色光で処理すると雌花が促進することが知られている（Nagao and Sasaki 1981）。施設内においてこのように環境を制御することにより、着花を制御できる可能性がある。海外ではローソンヒノキ

（*Chamaecyparis lawsonian*）において、コンテナ容器で育成した採種木を用いて施設内で種子生産が行われている（Snieszko R.A. et al. 2012）。また、コンテナ容器で採種木を育成した場合、採種木を容易に移動することができる。このため、必要に応じて野外で育成させることも可能である。また、閉鎖型採種園で交配・種子生産を行うことにより、外部花粉の影響を低減させることができる可能性がある。ここでは、愛知県が取り組み、得られてきた閉鎖型採種園管理に関する知見等を紹介する。

■ 施設の概要

□ 施設の規格・規模

愛知県は2020年度から2024年度にかけてビニールハウスによる閉鎖型採種園(以降、温室)を8棟(うち1棟は種子乾燥棟)整備し、温室内で少花粉ヒノキ、特定母樹スギおよび特定母樹ヒノキの種子生産を行っている(写真1、2)。

温室の規模は間口7.2m×奥行16m、軒高2.5mの単棟となっており、部材は鉄骨柱と単管パイプ、床面は防草シート、支持は鉄筋コンクリート基礎を採用している。



写真1 閉鎖型採種園全景



写真2 閉鎖型採種園(特定母樹ヒノキ)

温室の張り材はPOフィルム(厚さ0.15mm)で、閉鎖時期ではない通常期は主にカメムシ等の害虫の侵入を防ぐため、妻面出入口および側面を内張メッシュ(網目4mm)で被覆している。閉鎖時期には併設のハンドルを操作し手動で外張ビニールを下ろし、妻面もビニールで被覆することで密閉状態としている(写真4および写真5)。



写真3
温室外観



写真4 温室(妻面)

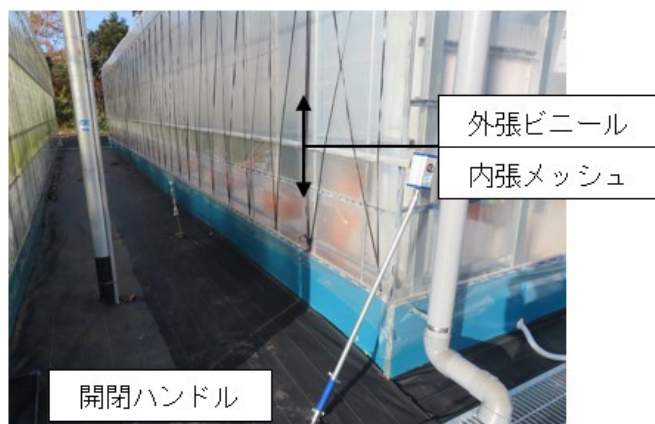


写真5 温室(側面)

□ 栽培方法

採種木は不織布を敷いた47ℓ コンテナに緑化木用培土を培地とした根域制御栽培としている(写真6)。露地植えでなくコンテナを採用するメリットとして、根域がまとまっているため水分や養分の摂取効率が良い点や枯損時の運搬や入れ替えなどが容易である点などが挙げられる。



写真6
根域制御栽培

■ 配置・植栽密度

温室内の採種木のクローン配置および植栽密度は屋外ミニチュア採種園のように9型配置としており、ヒノキは1棟当たりの採種木本数を12本×4列の48本として千鳥配置としている(図1)。詳細は「灌水・施肥」項目で後述するが、本県で導入している液体肥料自動供給システムにより各列に水や肥料が供給される。

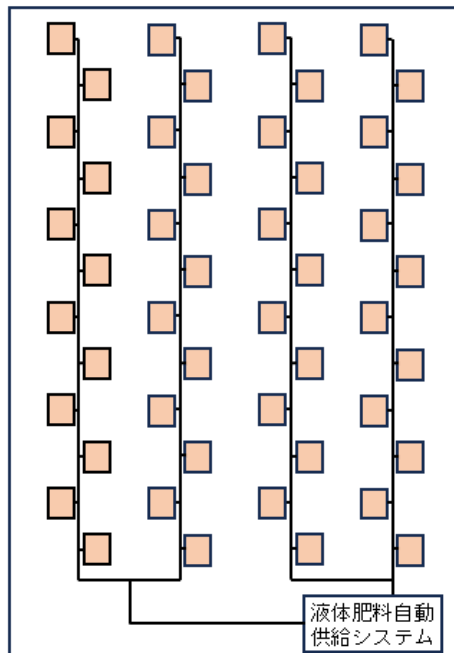


図1 施設型採種園模式図



写真7 採種木の配置状況

■ 採種木の管理

□ 温度管理

温室内の温度管理は環境ロガーにより5分間隔で温湿度等を計測し、リモートで担当職員がPC上で推移を計測データを閲覧し、異常があれば対応できるようにしている。夏季や閉鎖時期(2月～4月)は温室内が著しく高温となるため、遮光率90%程度の寒冷紗(遮光シート)を屋根根部に被覆し、室温上昇を低減させている(写真8)。また、一部の温室では妻面に開口部(小窓)を設け、熱気を屋外へ排出している(写真9)。

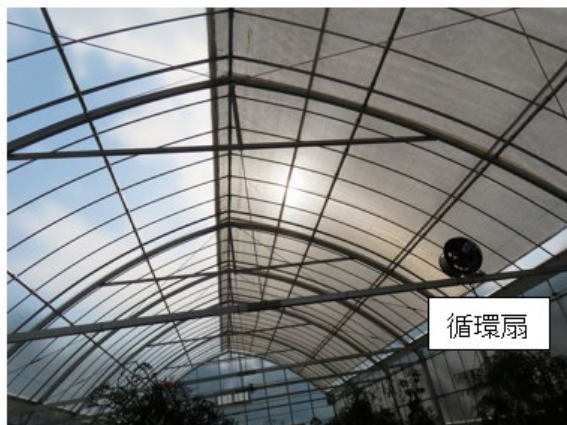


写真8 寒冷紗(遮光シート)



写真9 妻面開口部(小窓)

□ 灌水・施肥

愛知県では灌水と施肥を同時に行っており、温室内に設置した液体肥料自動供給システム(写真10)により、1回当たりの灌水量や灌水回数およびタイマーを設定することで送水管を通じて各採種木へ供給される(写真11)。手灌水に比べて労働負荷が低減されるほか、灌水量が精確であることから採種木間で灌水ムラが生じにくいという利点もある。

施肥はあらかじめタンクに充填した液体肥料を自動灌水装置によって送られる水に指定の倍率で混入・希釈して供給している。

当システムは1台で2棟分(最大8列)を管理することができ、列ごとに灌水量や灌水頻度、液肥の種類を設定できるため、後述する水分ストレスによる着花促進試験を行う上で役立っている。



写真10 液体肥料自動供給システム



写真11 灌水状況

□ 病虫害対策

温室における病害では高温多湿による葉枯れ・枝枯れ等の病原菌の発生が挙げられ、虫害では屋外同様にカメムシ被害が懸念される。

これらの対策は概ね屋外採種園と同様であり、カメムシ対策では発見次第カメムシ駆除用スプレーで防除している。さらに、薬剤防除のほか温室資材も効果を発揮しており、本県の温室は網目4mmの内張メッシュを採用することでカメムシ成虫の温室内への侵入を概ね防いでいる。これにより、屋外採種園のように各枝をネットで被覆することなく球果の採取が可能となっており、作業性の面で優れている(写真12)。



写真12 カメムシ防除状況

■ 着花促進と交配

□ 水分ストレスによる着花促進

継続した調査結果から、ヒノキでは1次枝へのジベレリンペースト包埋処理により無処理枝に比べて処理枝の着花量が充実する傾向が認められた。しかし、このようなヒノキへのジベレリン施用は多大な労力を要するため、より省力的な着花促進処理方法が求められる。

これまで灌水制限による着花促進はミカンなど農業分野で盛んに行われており、近年ではヒノキやカラマツなどの樹木類においても有効であると報告されている。

そこで、6月から8月にかけて液体肥料自動供給システムを利用して灌水頻度が異なる試験区を設定し、着花促進試験を行った。参考に、2023年度の試験区設定を以下に示す(図2)。

NO	品種	温室	F棟								D棟							
		灌水頻度	4日に1回				2日に1回				毎日							
			P	O	N	M	L	K	J	I	H	G	F	E	D	C	B	A
1	ヒノキ林育2-44	①	1		6		9		5		6		5		9		3	
2	ヒノキ 林育2-107	②		3		2		1		2		1		3		2		7
3	ヒノキ 林育2-103	③	4		5		3		6		8		7		1		5	
4	ヒノキ林育2-142	④		7		8		4		7		4		2		4		6
5	ヒノキ 林育2-101	⑤	2		5		1		9		1		8		3		8	
6	ヒノキ林育2-120	⑥		1		4		8		5		3		5		7		5
7	ヒノキ林育2-122	⑦	6		9		3		4		6		4		1		4	
8	ヒノキ林育2-125	⑧		3		8		2		7		9		2		9		2
9	ヒノキ林育2-121	⑨	7		5		9		1		3		8		1		4	
		⑩		1		6		3		7		2		6		9		8
		⑪	2		9		8		6		9		1		7		1	
		⑫		8		3		4		3		7		5		3		6

図2 試験区設定例(2023年度・特定母樹ヒノキ)

灌水試験は2022年度から継続して調査しており、灌水頻度は6日毎、4日毎、2日毎、毎日の4パターンを設定している。2022年度は4日毎が最も着花促進に効果的だったが、同じ個体でも樹体サイズ(樹齢)に応じて着花促進効果が異なり、2023年度には毎日灌水でも十分に着花が認められた。

このことから、現在はコンテナを用いた根域制御栽培を行う上で培地の水分分布を調査し、樹体サイズ(樹齢)に応じた着花促進に最適な灌水量や頻度を検討している。

□ 交配手法

温室で種子生産を行う目的の1つとして、特定母樹等の優良な品種同士の交配がある。そのため、屋外の花粉が飛散する時期には温室の妻面および側面を外張ビニールで閉鎖し、外部花粉が混入しないようにする必要がある。温室での人工授粉に必要な花粉の採取から交配までの流れを下記に示す。

交配手順



写真13 花粉採取状況

①

まず、事前に開花フェノロジーを調査し、花粉の飛散が認められた個体を対象にサイクロン式掃除機で花粉を回収する(写真13)。この際、花粉の損失を可能な限り抑えるため、雄花の房ごとノズルに挿入するとよい。また、他樹種の花粉が混ざらないよう、樹種ごとに別の掃除機を使い分けて使用・管理している。

②



写真14 不純物除去

③



写真15 花粉銃(ポーレンダスター)

交配手法は工場扇と花粉銃(写真15)の併用とし、工場扇は主に各棟の四隅に配置し、首を斜め上方向に傾けることで花粉が床面へ落ちないように設置している。また、花粉銃はあらかじめ開花フェノロジーを調査し、雌花から珠孔液が出ていることが確認できた個体を対象としている。なお、珠孔液の噴出タイミングはクローン差や個体差に依存するため、数回に分けて作業を行っている。



写真16 装備(交配作業)

交配作業の装備については、花粉が目や鼻腔などの粘膜に侵入しないよう防塵服および防塵マスク、ゴーグルを着用しての作業が望ましい(写真16)。しかし、寒冷紗を設置していない場合、温室密閉時に温室内の気温は最高で45℃前後まで上昇する場合があるため、長時間の作業となる場合は熱中症などに対する注意が必要となる。また、外部花粉ができるだけ温室に侵入しないよう、入退室時の扉の開閉を最小限に抑える等の工夫も必要である。さらに、愛知県のように複数の温室で複数の品種を管理する場合、少花粉品種と特定母樹品種の花粉が混ざらないよう、品種ごとに花粉銃を使い分けることも重要となる。

□ 閉鎖時期の温室管理

温室閉鎖時期（3月頃）の晴天時と曇天・雨天時の気温と湿度の推移図を次に示す(図3～図6)。

温室内の気温は、寒冷紗を展開しない場合、晴天の日は日中の外気温が20～25℃の日でも45℃付近まで上昇することがある。しかし、寒冷紗を展開することで温室の温度上昇を5～6℃程度低減することが可能である。曇天・雨天の日は日中においても著しい室温上昇は見られず、夜間は外気温とほぼ差がない状態となる。

一方、湿度については晴天時は日中は屋外より高く、夜間はほぼ同等となる傾向がある。降雨後に屋外は湿度が低減するが、温室内は80～90%程度でほぼ一定の値となり、多湿状態が維持される。

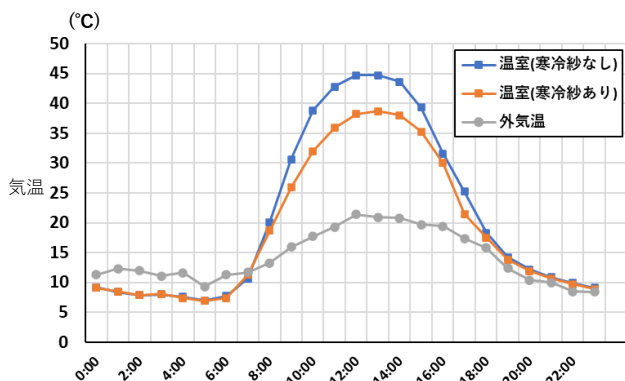


図3 気温の日変化(晴天時(2024.3.16))

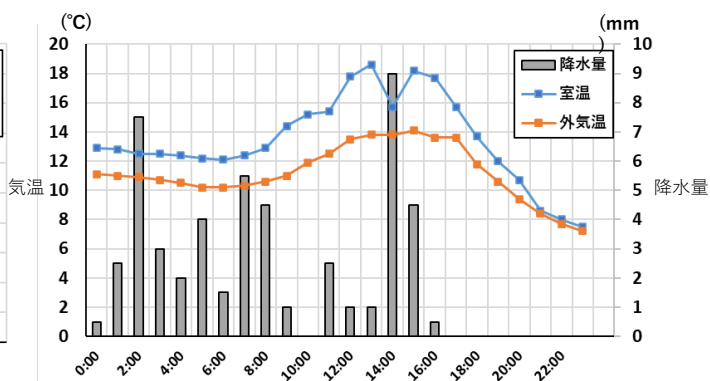


図4 気温の日変化(曇天・雨天時(2024.3.26))

※外気温、降水量は気象庁データ(新城地域気象観測所)を使用

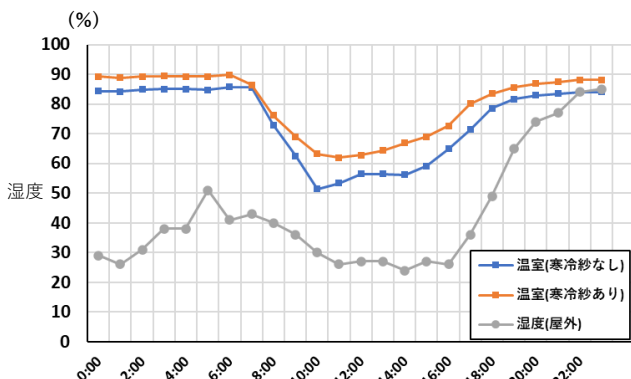


図5 湿度の日変化(晴天時(2024.3.16))

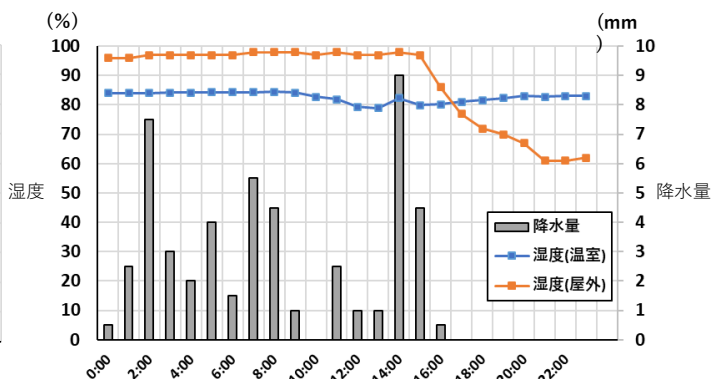


図6 湿度の日変化(曇天・雨天時(2024.3.26))

※湿度(屋外)、降水量は気象庁データ(新城地域気象観測所)から引用



写真17 白カビ被害(ヒノキ雄花)

このような高温環境が続いた場合、採種木の枯損のリスクが高まる恐れがある。枯損に至らずとも、クローンによっては閉鎖時期の環境に弱く、著しい葉枯れが確認されたクローンもみられた。

一方、多湿環境の影響では病原菌の発生が起きやすくなり、特にヒノキの雄花では開花しない個体や白カビが発生してしまう個体も認められた。

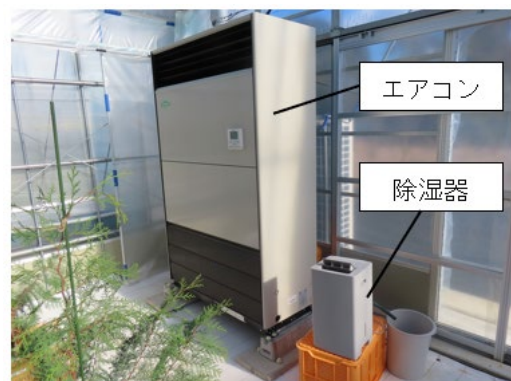


写真18 空調設備

そのため、寒冷紗以外の温室の高温対策や湿度対策の1つとして、愛知県では試験的に一部の棟にエアコンや除湿器などの空調設備を導入している(写真18)。さらに、エアコンを導入した棟には内張メッシュのほか、内張ビニールや天幕を設けることで温室の容積をコンパクトにして空調効果を高めている。

ヒノキ少花粉品種の若齢木をコンテナボックスに鉢植えをして根域抑制を行うと、採種木の上長成長抑制に有効で、採種した種子の発芽率は、根域抑制栽培した採種木(48%)>通常の採種園(36%)>ミニチュア採種園(13%)の順で高かったとしている(西川・馬目 2016)。

根域抑制栽培は、コンテナボックスで育成するため、採種木クローンの入れ替えが容易であり、また採種木の根際に容易に直接施肥や灌水が可能であるほか、着花促進処理、クローンの配置変更も容易で、限られた土地の有効利用、優良品種の早期普及に有用な方法である。ここでは、根域抑制栽培で育成した採種園とミニチュア採種園の造成後9年経過時の事例を紹介する。

■ 農業用収穫コンテナを用いた根域抑制栽培方法の紹介

コンテナボックス(横520×縦365×高さ305mm)の内面に防草シートを敷いたものを鉢として苗木を植栽・育成したものを採種木として用いる。根が地面に触れないようにブロック等で空中根切りを行っている。



写真1 根域制限栽培採種木の育成状況

根域抑制採種木を1.8×0.9m間隔で配置している。樹高は平均2.0(1.8~2.4)m、樹冠幅は平均1.7(1.5~2.0)mで、ほとんどの枝は交差しない状態となっている。根域抑制採種木は、移動可能なため、採種木の生長に合わせて、植栽間隔を変更することが可能である。

採種木1本当たりの種子生産量は、根域制限栽培採種木では16.1gは、ミニチュア採種園採種木では23.0gと、ミニチュア採種園採種木の7割程度の種子生産が可能である（表1、2、写真2）。また、根域制限栽培で生産された種子は、ミニチュア採種園で生産された種子と比較すると小型であるが（写真3）、十分な発芽力を有していた。

表1 根域制限栽培採種木の種子生産 表2 ミニチュア採種園採種木の種子生産

品種	球果数(個)	未熟球果数(個)	球果生重(g)	種子重(g)
塩谷1号	616.0	139.0	289.7	13.6
西川15号	1194.9	150.8	511.9	29.1
東京4号	1068.6	72.1	442.2	24.3
中10号	395.2	61.4	161.9	13.1
鯉沢4号	325.9	43.1	131.9	10.6
上松10号	311.3	21.4	149.0	13.9
王滝103号	299.5	8.6	106.3	9.7
益田5号	558.6	114.3	256.2	15.4
小坂1号	837.4	188.3	240.4	9.6
富士6号	341.9	38.9	135.6	12.3
大井6号	579.4	131.6	218.9	20.4
北設楽7号	1009.3	164.1	297.9	29.2
新城2号	309.3	79.6	90.3	8.2
鬼泪4号	-	-	-	-
平均	606.6	93.3	233.2	16.1

品種	球果数(個)	未熟球果数(個)	球果生重(g)	種子重(g)
塩谷1号	238.5	19.2	170.4	17.8
西川15号	166.5	20.0	110.5	7.2
東京4号	-	-	-	-
中10号	461.4	40.0	344.1	18.2
鯉沢4号	699.8	14.7	474.5	34.8
上松10号	171.9	3.4	131.1	12.8
王滝103号	375.9	11.8	333.4	22.9
益田5号	1927.2	90.0	1416.0	38.4
小坂1号	137.8	0.0	116.8	7.4
富士6号	668.2	22.7	446.7	33.7
大井6号	2031.1	128.9	982.2	35.2
北設楽7号	335.2	9.8	191.2	19.8
新城2号	345.7	2.3	185.3	18.8
鬼泪4号	594.0	30.8	342.5	31.6
平均	627.2	30.3	403.4	23.0

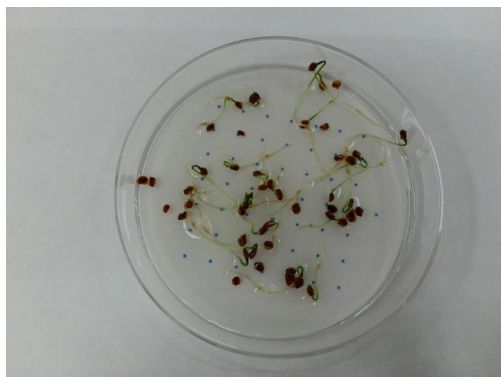


根域抑制裁培採種木

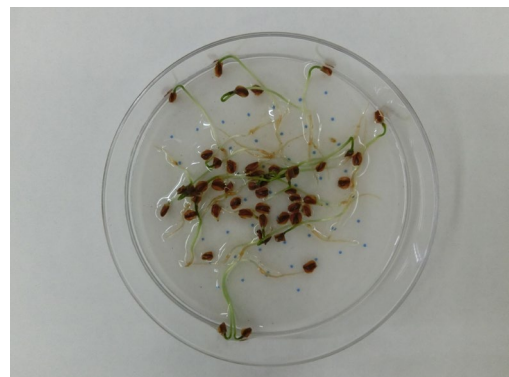


ミニチュア採種園採種木

写真2 採取前の球果の着果状況



根域抑制裁培採種木



ミニチュア採種園採種木

写真3 種子の発芽状況

■ 根域制限栽培は、カメムシ対策にも有効

カメムシの吸汁害は発芽率低下に大きな影響を与える。ミニチュア採種木では、カメムシの混入は少ないものの、一定数の混入があった。雑草の多い場所ではカメムシは繁殖しやすい、雑草の処理を行いやすい根域抑制採種木では、吸汁害防止もみネット袋内に侵入したカメムシの混入が非常に少なかった（図1）。カメムシの混入数を低下させることにより、発芽率低下の防止が可能である（図2）。

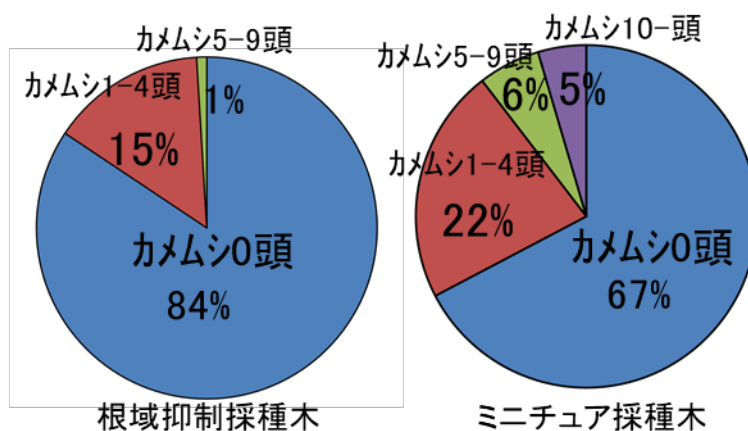


図1 吸汁害防止もみネット1袋内に侵入したカメムシ数

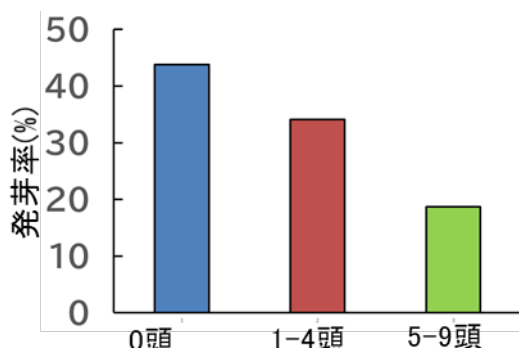


図2 もみネット袋内に侵入したカメムシ数と種子の発芽率の関係

第6章

年間作業曆事例

年間作業暦は、ヒノキの採種園に従事する人々が採種園の管理にあたり、季節の変動や気候の特性を考慮して計画を立てるための指標である。一年の中で、どの時期に何をすべきかを示すカレンダーとして、作業を効率的に進めるために不可欠なものである。ここでは東京都と愛媛県のミニチュア採種園、静岡県の小花粉採種園の事例を紹介する。実際には、それぞれの場所において作業暦を作成することが必要である。

■ 東京都 小花粉ヒノキミニチュア採種園 年間作業暦

作業種	使用機械・薬剤名および場所	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
整枝剪定	場所 前年種子採取箇所										1月中旬から3月中旬 ↔		
植栽 (補植)	場所 全採種園 (枯れた箇所)												↔
施肥	資材 IB化成、硫酸 場所 全採種園												↔
カメムシ 防除	資材 サンサンネット0.8mm目合 場所 球果が着生している枝	4月下旬 (GW前) から採種日まで ↔											
除草	場所 全採種園 防草シート敷設のため採種木の根元のみ、手作業 (毎月1回)		↔	↔	↔	↔	↔						
着花促進	資材 ジベレリンペースト、1.0ml シリンジ、200μlピペットチップ、 サージカルテープ 場所 次年種子採取箇所					↔							
球果採取	資材 剪定鋏、みかん鋏、手もぎ 場所 当年種子採取箇所							↔					
種子精選	資材 1.4mmまたは1.7mm篩、シリ カゲル							↔	↔	↔	↔	↔	
発芽検定	資材 滅菌シャーレ、たねピタ 機械 人工気象器										↔	↔	
種子貯蔵	機械 冷凍庫-30℃	↔											

■ 愛媛県 ヒノキミニチュア採種園 年間作業暦

作業種	使用機械・薬剤名および場所	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
土壌・施肥 管理	機械 (中耕) 小型耕運機 (施肥) アースオーガ 肥料 まるやま1号 場所 全採種園									← 中耕 →			
防除	資材 サンサンネット0.8mm目合 場所 全体：球果が着生している枝	← カメムシ防除ネット設置 →											
整枝剪定	機械 電動剪定鋏 資材 異形鉄筋 30mm幅選木テープ シュロ縄 場所 全体：樹体内ローテーション	← 誘引 →										← 整枝剪定 →	
ジベレリン 埋設	資材 2.5mlシリンジ 200 μ lピペットチップ クラフトテープ 薬剤 ジベレリンペースト 場所 全体：樹体内ローテ				← →								
球果採取	資材 ベリーピッカー 場所 全体：樹体内ローテーション							← →					
種子精選貯 蔵	資材 1.4mm、1.18mm篩 シリカゲル 機械 低温庫 (4℃) 冷凍庫 (-30℃)	← 種子貯蔵 →								← 精選 →			
除草	機械 手持ち刈払い機 時期 作業の直前 場所 全体	← →	← →		← →		← →		← →		← →		
発芽検定	機械 低温庫 (4℃) グロースキャビネット 資材 滅菌シャーレ、定性ろ紙										← →		
その他	機械 (捕植) アースオーガ (間伐) チェーンソー 場所 全体												← →

■ 静岡県 ヒノキ少花粉採種園 年間作業暦

作業種	使用機械・薬剤名および場所	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
土壌・施肥	施肥 0.13ha											↔	
整枝・剪定	少花粉ヒノキ採種園 113本									断幹・整枝・剪定 ↔			
カメムシ 防除・ ネット配置	防虫ネット 1900枚		↔										
ジベレリン 処理	作業実績なし 自然着花のみ												
球果採取	197ℓ採取							↔					
種子精選・ 貯蔵	自然乾燥								乾燥・精選 ↔				
薬剤散布	動力噴霧機使用				↔								
下刈	年2回 0.13ha		↔				↔						
発芽検定	水浸漬処理 恒温器使用								↔				
その他	育種場運営管理	←											→

※静岡県西部農林事務所の2024年度年間作業実績から作成

第7章

工程・歩掛り事例

作業工程は、採種園を管理・作業するための段階や順序を示す。この作業工程を正しく管理することで、採種園産種子の品質を維持し、生産性を向上することができる。作業内容だけでなく、作業の順番や所要時間を元に、いつまでに何をすべきかを明確にすることで、作業のプロセスを可視化し、適切な人員配置や作業の無駄を削減できることが期待できる。ここでは、各機関で実施している作業工程の一部を紹介する。採種園を管理する上で参考にしてもらいたい。

■ 各種作業工程の紹介

□ ジベレリン処理

採種園内の採種木1本について、低い位置の枝を3本選び、1本の枝に対して、らせん状に3カ所の薬剤の埋め込み処理を行った。埋め込み処理にはドライバーナイフを使用し、埋込処理後は、絶縁テープを撒きつけた。例えば採種木1本に対して枝1本処理した場合の平均作業時間は4分、2本処理した場合は8分、3本処理した場合は13分かかるとしており、はしごをかけて処理する枝が1本でもある場合は、15分かかったとしている（藤井 2012）。

愛媛県、茨城県、東京都、千葉県の子ニチュア採種園において、1箇所（1処理枝）当たりの処理時間を計測した。1箇所当たりの処理時間は、1人で処理を行う場合、愛媛県は1.0分、茨城県は3.2分であった。2人一組で処理を行う場合、東京都は0.7分、千葉県は1.3分であった（表1）。1箇所あたりの処理時間は、各機関で異なり、母樹の樹高等のサイズ、作業員の作業熟練度の違い等の影響も考えられた。

表1 ヒノキミニチュア採種園におけるジベレリン処理に要する時間

処理人数	調査機関	1箇所あたりの 処理時間（分）	処理 母樹数	平均箇所数 ／母樹	採種園状況（目安）			
					植栽間隔	樹高(m)	胸高直径 (cm)	園齡
1人作業	愛媛県	1.0	11	16.0	1.8m×1.8m	2.4	5.4	11
	茨城県	3.2	38	3.0	2.5m×2.5m	4.0	8.1	13
2人／組作業	東京都	0.7	20	10.7	2.5m×2.5m	2.2	3.9	4～6
	千葉県	1.3	90	2.0	1.8m×1.8m	2.9	7.2	11

※ジベレリン処理は2024年8月上旬に実施

■ 静岡県における各種作業工程

静岡県西部農林事務所育種場
浜松市浜名区宮口
2015年3月設定、2015年少花粉ヒノキ
採種園指定
0.13ha 113本



表1 2024年度 静岡県西部農林事務所育種場における各種作業工程の期間と人工

番号	作業種	期間	実績人工	備考	0.1ha当たり 換算人工	100本当たり 換算人工
①	カメムシ対策ネット掛け	5月 7日 ~ 7月 3日	20.24	ネット整理を含む	15.57	17.91
②	ジベレリン着花促進	-	-	実績なし 自然着花のみ	-	-
③	薬剤散布	7月18日 ~ 9月12日	2.58	散布器具整備を含む	1.98	2.28
④	下刈り 1 回目	5月22日 ~ 5月29日	3.00		2.31	2.65
⑤	下刈り 2 回目	9月 3日 ~ 10月24日	3.00		2.31	2.65
⑥	球果採取	10月22日 ~ 11月 6日	19.00	球果179L採取	14.62	16.81
⑦	種子精選	9月17日 ~ 12月18日	12.59	事前準備、乾燥、貯蔵	9.68	11.14
⑧	発芽鑑定	11月18日 ~ 12月24日	1.03	事前準備を含む	0.79	0.91
⑨	断幹・剪定	12月24日 ~ 1月 9日	11.20		8.62	9.91
⑩	施肥	2月 3日	1.20		0.92	1.06
	合計		73.84		56.80	65.34

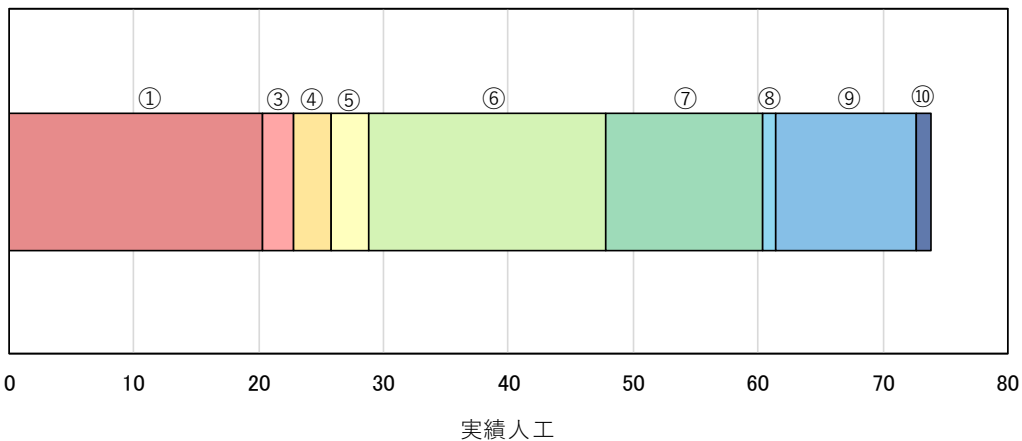


図1 各種作業種にかかる人工数

※育種場の作業日報から、少花粉ヒノキ採種園における作業期間と人工を算出。図の番号は表の番号と対応

■ 各種作業工程の紹介

□ カメムシ防除袋かけ（東京都の事例）

① ひも付き袋：64.1秒/袋

ジベレリン処理部平均枝径12.2mm

平均枝長120.1cm

② ひも無し袋：86.0秒/袋

ジベレリン処理部平均枝径11.5mm

平均枝長116.2cm

設置個所はジベレリン施用部とほぼ同じ位置、枝長はジベレリン処理位置より先の長さ、設置作業は一人で行った。

□ 整枝剪定（区域ローテーション）（東京都の事例）

47本の母樹の剪定に8人で265分を要した。このことから、母樹1本あたり45.1分・人であった。

母樹は植栽から7年目（断幹・剪定履歴あり）、平均樹高250cm、断幹高150cm、平均胸高直径45mm。作業時間には休憩を含まず、剪定枝の片付けと搬出（集積所までの運搬距離約50m）を含む。作業員の平均作業従事年数は3.4年、平均年齢は50代後半である。

この章で示した内容は、あくまでも事例である。各実施機関における実施体系や実施人員数、作業者の熟練度、使用する器具・機器類等に応じて各種工程の歩掛りを把握することが重要である。

第8章

作業の効率化や低コスト化に資する取組事例

整枝剪定を効率化するための 立枝誘引

枝管理で樹体内ローテーションを行う場合、毎年剪定を行うため、着果枝が短く細くなりがちで、種子生産量が低下する恐れがあることから、次年次のジベレリン処理適寸枝が立枝となっている場合、枝を誘引することで剪定対象枝から着果枝へランクアップし、種子生産に貢献する枝とすることが出来る。しかし、紐等で誘引した場合、除草作業などの支障となることが考えられる。

そのため、異形鉄筋を錘として誘引する枝に吊り下げた試みについて紹介する。

■ 異形鉄筋を錘とした立枝誘引方法の紹介

錘には異形鉄筋を500gに調整したもの（25-D、長さ110mm、防錆塗装）を使用し、吊り下げには30mm幅の樹木用選木テープを用いた（写真1、写真2）。



写真1 異形鉄筋を錘とした立枝誘引の様子



写真2 異形鉄筋を錘とした立枝誘引の様子

整枝剪定を効率化するための 残頂枝剪定

ヒノキは、頂芽優勢により樹冠上部の枝が立ち上がりやすく、樹冠下部の枝に光が当たりにくくなるほか、樹形が著しく乱れ採種園としての維持管理が困難になる場合が多く、ミニチュア採種園の機能や性質を保ちつつ、剪定の効率化を図るための何らかの方法が求められている。ここでは、剪定を効率化するための残頂枝剪定について紹介する。

■ 頂枝を残し、頂枝の側枝を打ち上げる剪定方法の紹介

頂枝（樹冠上部で最も勢いがある立枝）を残すことで、樹冠上部の枝の立ち上がりが抑制できないか試行した。残頂枝（残した頂枝）は1本とし、枝打ちを実施した（写真1）。その結果、頂枝区で立ち上がり量が有意に少なくなった（ $p < 0.01$, t 検定）（図1）。頂枝を残し加えて頂枝の枝打ちを行うことで、頂芽優勢を利用した樹冠上部枝の立ち上がりを抑制できる可能性が考えられた。



写真1 頂枝残し処理（左）と通常剪定（右）した採種木の様子

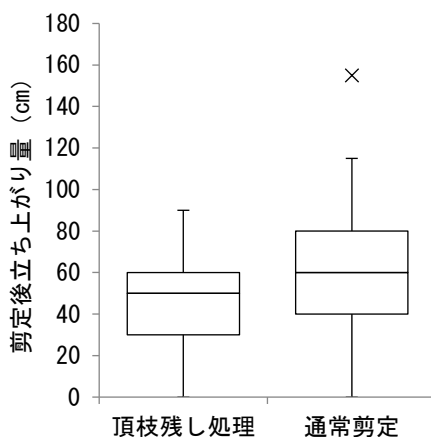


図1 頂枝残し処理と通常剪定後の樹冠上部枝の立ち上がり量

ベリーピッカーによる 球果採取の効率化

ヒノキ球果の採取方法について、従来、球果のもぎ取りは人の手で行っていたが、ベリーピッカーの導入（写真1）によって、効率良く球果を収穫することができた。その結果、収穫の労務が軽減され、収穫期間の短縮や収穫量の増加につながったので紹介する。

■ ベリーピッカーの概要

- ブルーベリーの収穫用に開発された道具であるが、ヒノキ球果の採取にも利用することができる（写真1参照）。
- ベリーピッカーには様々な種類があり、櫛歯やブルーベリーの果実を貯める部分形状、材質等に違いがある。価格は1,000円～6,000円程度である。

■ 使用方法の紹介

- 写真1のように、千歯こきを用いて稲を脱穀するようにして使用する。その際の採種効率化は従来行ってきた手取りと比較して約2倍となっている（岡山県農林水産総合センター森林研究所）。
- 球果採取のために枝を切る必要がなく葉を傷つけることが少ないが、手取りと比較すると葉等の混入がやや増える。
- 現在、岡山県農林水産総合センター森林研究所では鉄製で櫛歯が長く、貯める部分が大きいものを使用している。



写真1 ベリーピッカーによるヒノキ球果の採取

左：プラスチック製のベリーピッカー

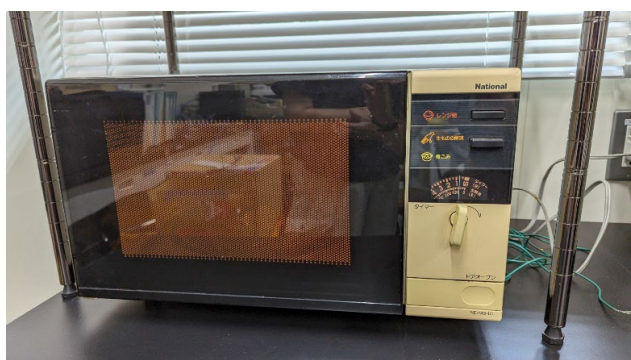
右：鉄製のベリーピッカー

ジベレリンペーストをシリンジに充填し、更に、シリンジの先にピペットチップを取り付けることで、ヒノキの枝にジベレリンペーストを効率よく処理することができる。



① ジベレリンペースト（以下、ペースト）を常温に戻して柔らかくしておく。

② ペーストをシャーレに絞り出す。



③ レンジで約1分あたためる。
(やりすぎるとペーストの温度が上がりシャーレが溶けるので注意)

④ ペーストが溶けた状態。



⑤ シリンジに1mℓくらい吸い上げる。
(あとで押し出してチップの先まで充填)

⑥ ペーストが固まるまで、静置する。



⑦ ピペットチップの根元を、シリンジの口に合うようにカットする。

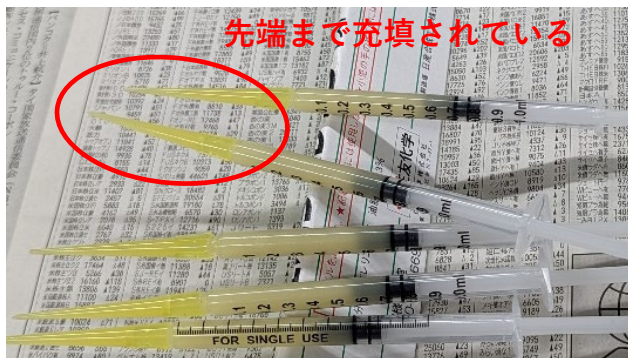


⑧ チップを瞬間接着剤でシリンジの先に接着する。



⑨ 0.7ml の目盛りまでペーストを押し出す。

※9と10はどちらが先でもOK



⑩ 接着剤が固まるまで静置する。
(そのまま置くと机に接着剤がつくので注意)



⑪ 使用時にペーストが漏れてつくだアルミホイルで包み、完成。



ヒノキの枝へのジベレリンペースト処理作業

第9章

用語解説

育種基本区：林木育種事業推進のための基本となる地域単位である。全国に5つの育種基本区を設けている。北海道、東北、関西及び九州の各育種基本区内にそれぞれ育種場を設置している。関東育種基本区には林木育種センターを設置している。

エリートツリー：第一世代精英樹の中でも優れた系統等を交配して作出した実生後代の中から選抜された第二世代以降の精英樹の総称。

原種：採種（穂）園を構成する採種（穂）木になる原種苗木や穂のことを言う。原種苗木には、さし木やつぎ木によって増やしたクローン苗木が用いられる。

広義の遺伝率：無性繁殖の材料の検定結果から得られる広義の遺伝率は、クローン間の分散を表現型分散で除した値であり、0～1の値をとる。値が高いほど、表現型のバラツキのうちクローンのバラツキが説明する割合が高いことを表し、クローンの違いが明瞭である。

渋種：種皮が厚く、中に樹脂またはタンニンを含む、切断面は褐色を呈する。

主枝：幹から直接出た枝。第1次枝ともいう。

種苗配布区域：母樹の産地の気候風土の違いから起こる不成績造林地の発生を防ぐとともに、優良種苗を確保するため、林業種苗法の種苗配布区域に従って、採種園造成用の原種が配布され、採種園、採穂園で生産された種苗が山行き苗木として流通することになっている。

少花粉品種：スギ花粉発生源対策推進方針では、平年では雄花が全く着かないか、又は極めて僅かしか着かず、花粉飛散量の多い年でもほとんど花粉を生産しない特性及び林業用種苗として適した特性を有するものと定義されている。

側枝：主枝以外の枝。第1次枝から分岐した枝を第2次枝、第2次枝から分岐した枝を第3次枝といい以下これに準じてよぶ。

脱粒：球果から種子が自然にこぼれること、あるいは人為的に種子を取り出す作業。

特定母樹：「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）」に基づき、成長に優れたものとして農林水産大臣が指定した系統、在来の系統と比較して1.5倍以上の材積を示すため、森林のCO₂吸収能力を高めることが期待される。スギ・ヒノキにおいては、一般的なスギ・ヒノキの半分以下の雄花着花量であることを基準としている。それゆえ特定母樹は「花粉の少ない品種」と位置づけられている。

pF値：土の中の水が土の毛管力によって引き付けられている強さの程度を表す値。十分に水を含んでいる土の場合は値が低く、乾燥すると値が高くなる。

優良品種：成長や材質に優れた品種、花粉の少ないスギ品種、マツノザイセンチュウ抵抗性品種などの品種の種別ごとに一定の基準を設けて基準を超える優良な品種。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 優良品種・技術評価委員会において評価対象系統が評価基準を満たしているかが評価され、満たす系統は優良品種とされる。

鱗片葉：葉の柄が細長く細かく分岐した葉。

引用文献

- 藍野祐久(1971) 病虫獣害と防除, 全森連時報, 780, 4.
- 阿久沢和夫(1988) 林木の育種に関する研究-(1) ヒノキ採種園の結実促進試験(7)-, 群馬県林業試験場業務報告, 昭和62年度, 9-10.
- 阿久沢和夫(1991) 林木の育種に関する研究-1 ヒノキ採種園のカメムシ類防除試験(2)-, 群馬県林業試験場業務報告, 平成2年度, 28-29.
- 浅川澄彦(1966) 採種園-(5) 結実促進-, 林木の育種, 38, 14-18.
- 浅川澄彦(1981) ヒノキ属. 日本の樹木種子 針葉樹編, 105-114. 林木育種協会, 東京.
- 独立行政法人林木育種センター九州育種場(2004) 九州地方における採種園の設定と育成管理要領(改訂版), 独立行政法人林木育種センター九州育種場, 熊本.
- 藤井淳哉(2012) 採種園経営管理上の作業工程調査(ヒノキのジベレリン処理), 香川県森林センター業務報告, 45, 13-14.
- 藤井淳哉, 宮武仁, 古林美沙(2012) 採種園経営管理上の調査(ヒノキの種子精選), 香川県森林センター業務報告, 45, 15.
- 藤澤義武(2015) 林木育種の現場のABC(10) 採種園(管理), 森林遺伝育種, 4, 77-81.
- 舟山健(2007) サクラ属におけるクサギカメムシの繁殖, 植物防疫, 61(11), 56-59.
- 降幡駿介, 岸本英成(2023) 岩手県におけるツヤアオカメムシの採集記録, 昆虫ニューシ리즈, 26(2), 128-131.
- 半田孝俊, 宮浦富保, 山田浩雄(1991) 精英樹選抜育種-(1) 三次営林署戸ノ丸山ヒノキ採種園, 同スギ採種園, 釜ヶ峰苗畑スギ採種園及び新見営林署釜谷苗畑ヒノキ採種園の虫害調査-, 関西林木育種場年報, 27, 35-42.
- 半田孝俊(1992) 釜谷, 戸ノ丸山ヒノキ採種園における防虫網による虫害防除効果, 関西林木育種場年報, 28, 55-61.
- 原真司, 松田修, 落合幸仁, 飛田博順, 宇都木玄(2016) 近赤外光による選別および殺菌剤処理がスギおよびヒノキ種子の発芽率に及ぼす影響, 日本森林学会誌, 98(5), 247-251.
- 長谷川孝三(1943) 林木種子の活力に関する実験的研究, 帝林試報, 4(3), 1-315.
- 橋詰隼人(1963) ヒノキの花芽分化期および花芽の発育経過, 日本林学会誌, 45(5), 135-139.
- 橋詰隼人(1974) 林木の交配に関する基礎的研究(VII): ヒノキの開花と受粉の機構ならびに人工受粉の適期の決定について, 鳥取大学農学部演習林報告, 26, 70-85.
- 畑 尚子, 中村健一, 奈良雅代, 小野仁士, 新井一司(2019) 少花粉ヒノキの早期実用化に関する研究(平成25~29年度), 東京都農林総合研究センター成果情報, 平成30年度, 205-208.
- 井出雄二(1984) 採種園の造成に関する研究(II)-2つのヒノキ採種園における種子生産性の違い-, 日本林学会大会発表論文集, 95, 285-286.
- 出崎直人, 桂川道(1985) ヒノキ採種園における種子生産技術の確立, 岐阜県寒冷地林業試験場業務報告, 昭和59年度, 22-25.
- 稲生光良, 川崎春彦, 仲田健夫, 小笠原祐介(2003) ヒノキ採種園におけるカメムシ被害防除, 愛知県森林・林業技術センター報告, 40, 65-68.
- 井上悦甫, 丹原哲夫(1988) ヒノキ採種園内におけるカメムシ類の生息実態と被害, 日本林学会関西支部大会講演集, 39, 287-289.
- 石井正明, 磯野隆行, 市村よし子(2009) 採種源整備運営事業(スギ・ヒノキ・マツ採種園管理), 茨城県林業技術センター業務報告, 46, CD-ROM(41-42).
- 石井正明, 磯野隆行, 矢ノ倉政広(2011) 花粉の少ないヒノキのミニチュア採種園管理技術の開発, 茨城県林業技術センター業務報告, 48, 7-8.
- 石川忠, 守屋成一(2019) 日本産チャバネアオカメムシ類の最新の分類, 植物防疫, 73(4), 20-24.
- 磯崎真英(2017) リンは十分に存在しても欠乏する可能性がある, オランダ最新研究 環境制御のための植物生理, 168-171. 農山漁村文化協会, 埼玉.
- 金川侃, 北川紀彦(1987) ヒノキ採種園の着花促進について, 林木の育種, 143, 28-33.
- 加藤徹, 佐野信幸(2007) スギ・ヒノキ球果を吸汁するカメムシ類の発生量とヒノキ結実量の年次変動, 静岡県林業技術センター研究報告, 35, 13-18.
- 加藤高志, 宮武仁, 古林美沙, 川田光晴(2013a) ヒノキ種子の品質を低下させるカメムシ被害の袋掛けによる防除効果, 香川県森林センター業務報告, 46, 8-9.
- 加藤高志, 宮武仁, 川田光晴(2013b) ヒノキ・スギ種子精選方法の改善, 香川県森林センター業務報告, 46, 6-7.
- 桂川道, 出崎直人(1986) ヒノキ採種園における種子生産技術に関する研究, 岐阜県寒冷地林業試験場研究報告, 9, 42-54.
- 桂川道, 出崎直人(1986) ヒノキ採種園における種子生産技術の確立, 岐阜県寒冷地林業試験場業務報告, 昭和60年度, 4-6.
- 勝田証(1982) 坂下ヒノキ採種園における種子生産実績と今後の技術的対応, 林木の育種, 124, 13-18.
- 川尻秀樹, 大橋章博, 草野義正, 田中豊彦(1992a) ヒノキ採種園におけるカメムシ被害(II)-主にネット処理経費と効果について-, 日本林学会中部支部大会講演集, 40, 227-228.
- 川尻秀樹, 大橋章博, 和田清(1992b) ヒノキ採種園におけるカメムシ被害防除, 岐阜県林業センター研究報告, 20, 1-14.
- 河村嘉一郎(1987) ジベレリンによるヒノキ(*Chamaecyparis obtusa*)の着花促進-採種園における着花促進技術-, 林木育種場研究報告, 5, 1-32.
- 岸洋一, 照山龍男(1992) 採種園のスギ・ヒノキ発芽率の年変動と、ブラックライトに捕獲されたカメムシ類, 日本林学会関東支部大会発表論文集, 43, 103-104.
- 小林慎一, 尾古洵(1985) ヒノキの採種園産種子の発芽試験, 関西林木育種場山陰支場, 6, 84-86.
- 小谷哲也, 山下政則(1992) ヒノキ種子害虫の発芽率に及ぼす影響調査, 香川県森林センター業務報告, 24, 13-15.
- 綱田良夫, 半田孝俊(1992-12) 採種・採穂園における病虫害調査(II)-山陰事業場ヒノキ採種園における防虫網による虫害防除効果-, 関西林木育種場年報, 28, 62-63.
- 小山真澄(1985) ヒノキ採種園の結実促進試験(5), 群馬県林業試験場業務報告, 昭和59年度, 24-29.
- 小山泰弘, 岡田充弘(2004) 長野県のヒノキ採種園におけるカメムシ吸汁被害の実態, 林木の育種, 2004(特別号), 8-10.
- 小山泰弘, 岡田充弘, 家塚舞(2004) 長野県ヒノキ採種園におけるカメムシ吸汁被害の実態比較, 日本林学会大会学術講演集, 115, 18.
- 小山真澄(1986a) 林木の育種に関する研究-1. ヒノキ採種園の結実促進試験-, 群馬県林業試験場業務報告, 昭和60年度, 18-25.
- 小山真澄(1986b) 林木の育種に関する研究-2. ヒノキ精英樹の種子の形質(4), 群馬県林業試験場業務報告, 昭和60年度, 26-29.
- 倉本哲詞, 藤澤義武(2015) 講座: 林木育種の現場のABC(6) 人工交配技術-ヒノキ-, 森林遺伝育種, 3, 30-33.
- 前田武彦, 西村慶二(1984) ヒノキ採種園における健全種子生産技術に関する研究-着花・開花習性および花芽の寒害について-, 日本林学会九州支部研究論文集, 37, 55-56.

引用文献

- 増田勝巳(1985) スギ・ヒノキ採種園の種子生産および発芽試験, 千葉県林業試験場報告, 19, 17-19.
- 松田修、原真司、飛田博順、宇都木玄(2016) 高発芽率を実現する樹木種子の選別技術, 森林遺伝育種, 5, 21-25.
- 右田一雄(1962) 施肥がスギ苗のタネの品質と着花におよぼす影響, 日本林学会誌, 44(5), 125-128.
- 三嶋久志、佐藤亨、遠藤正勝(1979) ヒノキ採種園における着花促進処理について, 日本林学会東北支部会誌, 31, 45-47.
- 森口喜成、後藤晋、高橋誠(2005) 分子マーカー情報に基づく採種園の遺伝的管理, 日本森林学会誌, 87(2), 161-169.
- 永江修(1986) ジベレリン処理によるヒノキ種子の生産向上 (I) -着花促進処理とクローンの反応-, 日本林学会九州支部研究論文集, 39, 55-56.
- 永江修(1987) ジベレリン処理によるヒノキ種子の生産向上 (II), 日本林学会九州支部研究論文集, 40, 79-80.
- Nagao A and Sasaki S(1981) Effects of temperature and light on promotion of strobilus of *Cryptomeria japonica* and *Chamaecyparis obtusa*, Proc. Symp. on flowering physiol. (XVII) IUFRO World Congress., 103-114.
- 長尾精文、佐々木恵彦(1985) ヒノキの花成反応に及ぼす光処理の効果, 林業試験場研究報告, 332, 39-60.
- 中村健次、林洋二、丸本順次(1990) ヒノキ採種園種子の発芽率向上に関する研究, 山口県林業指導センター業務年報, 平成元年度, 23-24.
- 中村健次、内田健(1991) ヒノキ採種園種子の発芽率向上に関する研究, 山口県林業指導センター業務年報, 平成2年度, 23-27.
- 中村健一、奈良雅代、西澤敦彦(2015) ミニチュア採種園における少花粉ヒノキ品種の早期着花手法の検討, 関東森林研究, 66(1), 73-76.
- 中村健一、奈良雅代(2016) ミニチュア採種園における少花粉ヒノキ品種の剪定方法の検討, 関東森林研究 (速報), 67(1), 163-164.
- 中塚友一郎(1920) 樹木及び樹苗の生理化学的研究 (第3報) 針葉の無機成分及び窒素量の季節変化, 日本林学会誌, 31(5), 121-126.
- 日本土壌協会(2012) 野菜の栽培特性に合わせた土づくりと施肥管理, 日本土壌協会, 東京.
- 西川浩己、馬目恭行(2014) コンテナ栽培したヒノキ少花粉品種採種木からの種子生産, 日本森林学会大会学術講演集, 125, 301.
- 西川浩己、馬目恭行(2016) 根域抑制したヒノキ少花粉品種採種木における種子生産について, 日本森林学会大会学術講演集, 127, 294.
- 小田道宏(1980) チャパネアオカメムシの生態, 植物防疫, 34, 309-314.
- 小田道宏、杉浦哲也、中西喜徳、柴田毅、上住泰(1981) 果樹を加害するカメムシ類の生態に関する調査 (2), 奈良県農業試験場研究報告, 12, 120-130.
- 小沢準二郎(1962) 針葉樹のタネ生産と管理, 79-83. 地球出版, 東京.
- 小沢準二郎(1965) タネの検査. 造林ハンドブック, 443. 養賢堂, 東京.
- 齋藤央嗣、明石孝輝(2004) ヒノキの着花性のクローン間変動, 林木の育種, 211, 1-7.
- 齋藤紀子、足立龍弥、手柴真弓(2019) 高温がチャパネアオカメムシの産卵およびふ化に及ぼす影響, 九病虫研会報, 65, 42-45.
- 齋藤真己(2022) 溶液受粉を用いた無花粉スギの省力的な種子生産, 森林遺伝育種, 11, 112-117.
- 坂口勝美(1952) 実用ヒノキ育種学, 12, 18, 57, 155-195. 養賢堂, 東京.
- 真田広樹(1991) ヒノキ採種園の着花促進について-豊作年のGA処理効果-, 日本林学会東北支部会誌, 43, 171-173.
- 佐野信幸、鳥居春己、井出雄二、高橋浅夫(1989) ヒノキ採種園におけるカメムシ類の球果に対する加害について, 日本林学会中部支部大会講演集, 37, 253-254.
- 佐野信幸(1997) ヒノキ種子を加害するヒノキモンオナガコバチの成虫の発生時期, 日本林学会誌, 79(1), 49-52.
- 佐野信幸(1990a) カメムシ類などによるヒノキ種子の被害, 日本林学会大会発表論文集, 101, 523-524.
- 佐野信幸(1990b) カメムシ類によるヒノキ球果の被害とその防除, 静岡県林業技術センター研究報告, 18, 37-46.
- 佐々木隼人、都築誠二郎(1989) ヒノキ採種園造成の一工夫-ha当たり800本植栽-, 林木の育種, 151, 21-23.
- 佐々木研、丹藤修(1990) ガラス室内鉢植え管理におけるヒノキさし木苗木の着花促進効果, 林木育種場研究報告, 8, 111-122.
- 佐藤敏二(1973) 8章 ヒノキ種子の調整, 日本のヒノキ<下巻>., 29-30.
- 清藤城宏(1980) ヒノキ採種園における開花期のクローン間差異, 日本林学会大会発表論文集, 91, 197-198.
- 清藤城宏(1983) ヒノキ採種園における着花習性と受粉適期, 日本林学会関東支部大会発表論文集, 35, 109-110.
- 清藤城宏、前田一、村上春樹、井田和彦、白石進(2000) 山梨県ヒノキ採種園における諏沢5号の花粉親としての寄与, 日本林学会誌, 82(1), 105-108.
- 清藤城宏(2000) ヒノキ採種園の花粉管理, 林木の育種, 197, 1-5.
- Seido K, Maeda H and Shiraishi S. (2000) Determination of the selfing rate in a hinoki (*Chamaecyparis obtusa*) seed orchard by using a chloroplast PCR-SSCP marker., *Silvae Genetica*, 49(3), 165-168.
- 清藤城宏(1990a) ヒノキ採種園におけるアイソザイム変異と自殖率の推定, 日本林学会大会発表論文集, 101, 301-302.
- 清藤城宏(1990b) ヒノキ採種園におけるカメムシの防除効果, 林木の育種, 特別号, 27-29.
- 清藤城宏(2001a) ヒノキ採種園の花粉管理に関する遺伝育種学的研究, 林木の育種, 200, 9-11.
- 清藤城宏(2001b) ヒノキ採種園の花粉管理に関する遺伝育種学的研究, 山梨県森林総合研究所研究報告, 22, 13-64.
- 芝本武夫、中沢春治(1957) 日本産林木種子の無機成分組成, 日本林学会誌, 39(6), 207-213.
- Snieszko R. A, Hamlin J and Hansen E. M(2012) Operational program to develop phytophthora lateralis-resistant populations of Port-Orford (*Chamaecyparis lawsoniana*), proceedings of the 4th international workshop on genetics of host-parasite interactions in forestry, 65-79.
- 陶山大志・富川康之(2019) 界面活性剤を添加した水選によるヒノキ種子の発芽率向上, 森林応用研究, 28(2), 1-6.
- 田畑正紀、遠藤輝男(1984) ヒノキ採種園における種子生産技術の確立に関する研究, 宮城県林業試験場業務報告, 17, 1-2.
- 田畑正紀(1987) ヒノキ採種園における種子生産技術の確立に関する研究, 宮城県林業試験場成果報告, 4, 1-16.
- 立切哲也(1986) ヒノキ採種園における種子生産技術の確立, 佐賀県林業試験場業務報告書, 昭和60年度, 13-14.
- 田戸裕之、福原伸好(1996) ヒノキ採種園におけるカメムシの生態について-ヒノキ球果不作年におけるチャパネアオカメムシ-, 日本林学会関西支部大会講演集, 5, 157-160.
- 竹崎美秋(1986) ヒノキ採種園における種子生産技術の確立, 高知県林業試験場研究報告, 14, 1-30.
- 滝尻富士雄(1984) ヒノキ採種園における種子生産技術の確立, 三重県林業技術センター業務報告書, 21, 3.
- 滝本雅章、小笠原祐介(2003) チャパネアオカメムシの発生量予測と果樹園への飛来時期予測, 愛知農総誌研報, 35, 131-134.

引用文献

- 丹原哲夫(1984)ヒノキ採種園における種子生産技術の確立(I), 岡山県林業試験場業務年報, 24, 18-19.
- 丹原哲夫(1985)ヒノキ採種園における種子生産技術の確立(II), 岡山県林業試験場業務報告, 25, 16-17.
- 丹原哲夫、下川利之(1986)ヒノキ採種園における樹脂胴枯病被害, 日本林学会関西支部大会講演集, 37, 73-76.
- 丹原哲夫(1987)ヒノキ採種園の種子生産実態と着花促進試験, 岡山県林業試験場研究報告, 7, 1-31.
- 丹原哲夫(1989)ヒノキ採種園産種子の不稔性の解明, 林木の育種, 特別号, 4-6.
- 丹原哲夫(1990)ヒノキ採種園における不稔種子の形成, 岡山県林業試験場研究報告, 9, 12-23.
- 丹原哲夫、井上悦甫(1990)スギ・ヒノキ球果の吸汁性害虫の被害実態調査と回避技術の確立(IV), 岡山県林業試験場業務年報, 30, 18-20.
- 丹原哲夫(1995)ヒノキ精英樹の採種園管理技術の確立とヒノキ精英樹の普及推進, 林業技術, 640, 15-17.
- 丹原哲夫、井上悦甫(1996)ヒノキ採種園でのカメムシの発生生態と防除, 岡山県林業試験場研究報告, 13, 25-44.
- 得居修(1988)ヒノキ採種園における種子生産技術の確立試験, 愛媛県林業試験場研究報告, 11, 9-27.
- 堤隆文(2003)果樹カメムシ おもしろ生態とかしこい防ぎ方, 126pp, 農山漁村文化協会, 埼玉.
- 植田幸秀(1987)ヒノキ採種園における着花促進と採種園構成クローンの着花結実特性について, 鳥取県林業試験場研究報告, 30, 1-46.
- 植月充孝、植木忠二、小林玲爾、綱田良夫(1988)ヒノキ天然更新用母樹の結実促進処理(I)-ジベレリン顆粒の剥皮注入による後遺症-, 関西支部大会講演集, 39, 9-12.
- 若尾みか、小林沙希、幸由利香、遠藤良太、松本麻子、森口喜成(2017)DNAマーカーを用いた少花粉ヒノキの種子生産方法の評価, 日本森林学会誌, 99(4), 165-171.
- 涌嶋智、吉岡寿、莊川純生、江邑幸一、野々村哲郎(1993)吸汁性害虫防除によるヒノキ種子発芽率向上試験(I), 広島県林業試験場研究報告, 27, 129-133.
- 涌嶋智、野々村哲郎、江邑幸一、瀬本勇介(1995)吸汁性害虫防除によるヒノキ種子発芽率向上試験(2), 広島県林業試験場研究報告, 29, 129-133.
- 渡邊次郎、斎藤寛、壽田智久(2002)劣悪な土壤に生育するヒノキの着花促進法の検討事例, 林木の育種, 特別号, 15-17.
- 山下昇(1986a)ヒノキ採種園における種子生産技術の確立(第2報)-ジベレリン処理による種子生産量と種子特性-, 愛知県林業センター報告, 23, 45-55.
- 山下昇(1986b)ヒノキ採種園における種子生産技術の確立(第1報)-ジベレリン処理におけるヒノキの着花性について-, 愛知県林業試験場報告, 22, 11-43.
- 山手廣太(1979)ヒノキ採種園における種子生産量の推移, 日本林学会九州支部研究論文集, 32, 199-200.
- 山手廣太(1989)ヒノキ人工交配における苗生産について, 日本林学会九州支部研究論文集, 42, 67-68.
- 吉野豊(1986)ヒノキ採種園における種子生産技術の確立, 兵庫県立林業試験場研究報告, 31, 35-59.
- 吉野豊(1989)ヒノキ採種園におけるカメムシ類の種子への加害の実態と防除法, 林木の育種, 153, 12-15.
- 吉野豊、谷口真吾、前田雅量、田畑勝洋(1989)ヒノキ採種園におけるチャバネアオカメムシの種子への加害(II)-薬剤による防除効果-, 日本林学会大会発表論文集, 100, 555-556.
- 吉野豊(1992)スギ・ヒノキ採種園におけるカメムシ類の加害実態の解明と防除法の確立, 林業技術, 606, 7-9.

研究参画機関

森林総合研究所 林木育種センター
森林総合研究所 林木育種センター関西育種場
茨城県林業技術センター
千葉県農林総合研究センター
東京都農林水産振興財団東京都農林総合研究センター
神奈川県自然環境保全センター
静岡県農林技術研究所 森林・林業研究センター
山梨県森林総合研究所
愛知県森林・林業技術センター
三重県林業研究所
愛媛県農林水産研究所林業研究センター
岡山県農林水産総合センター森林研究所
秋田県立大学

執筆者一覧（50音順）・担当ページ

市村よし子（茨城県林業技術センター）	・ P. 30-31, 35, 107
宇川裕一（千葉県農林総合研究センター）	・ P. 32-35, 107
狩場晴也（愛知県森林・林業技術センター）	・ P. 91-98
木村恵（秋田県立大学）	・ P. 61-65
斎藤麻嗣（神奈川県自然環境保全センター）	・ P. 66-73
坂本庄生（森林総合研究所 林木育種センター）	・ P. 15
佐々木一樹（岡山県農林水産総合センター 森林研究所）	・ P. 113
島田博匡（三重県林業研究所）	・ P. 22-23
相馬航輔（茨城県林業技術センター）	・ P. 30-31, 35, 107
田口裕人（愛媛県農林水産研究所 林業研究センター）	・ P. 19-21, 35, 104, 107, 111-112
田村明（森林総合研究所 林木育種センター）	・ P. 3-18, 24-33, 36-45, 51-65, 74-89
坪村美代子（森林総合研究所 林木育種センター）	・ P. 66-73
中村健一（東京都農林水産振興財団 東京都農林総合研究センター）	・ P. 35, 46-50, 103, 107, 109, 114-115
奈良雅代（東京都農林水産振興財団 東京都農林総合研究センター）	・ P. 35, 46-50, 103, 107, 109, 114-115
新原一海（岡山県美作県民局 農林水産事業部森林企画課）	・ P. 113
西川浩己（山梨県森林総合研究所）	・ P. 99-101
西原寿明（愛媛県農林水産研究所 林業研究センター）	・ P. 19-21, 35, 104, 107, 111-112
袴田哲司（静岡県農林技術研究所 森林・林業研究センター）	・ P. 105, 108
藤原直哉（岡山県農林水産総合センター 森林研究所）	・ P. 113
星涼太（愛知県森林・林業技術センター）	・ P. 91-98
松下通也（森林総合研究所 林木育種センター）	・ P. 30-31
室紀行（埼玉県寄居林業事務所）	・ P. 46-47
山中豪（三重県松阪農林事務所）	・ P. 22-23
山野遼太郎（林木育種センター関西育種場）	・ P. 27-30

本冊子に関するお問い合わせは、下記までお願い致します

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

編集・発行：森林総合研究所林木育種センター

編集責任者：田村 明

発行 日：2025（令和7）年3月31日

問い合わせ：育種企画課

電 話：0294-39-7000（代表）

E-mail：ikusyu@ffpri.affrc.go.jp

本書の引用記載：田村明 編（2025）ヒノキミニチュア採
種園管理マニュアル 2025 ver1.0, 120pp.

掲載記事及び写真の無断転載を禁じます。