

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。

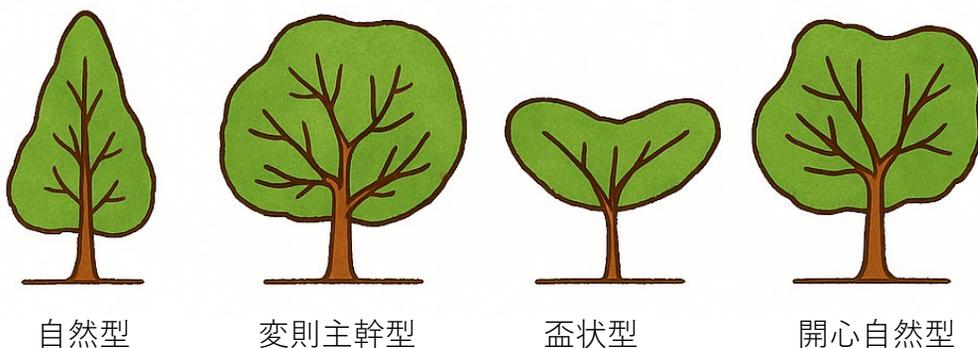


図1 採種木の樹形

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最終仕立ての高さを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。

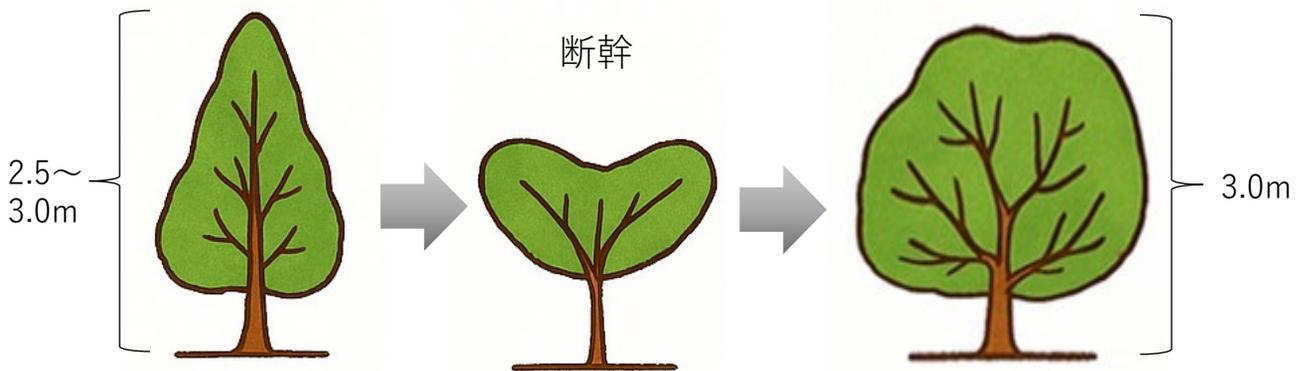


図1 採種木の最終仕立ての高さを3mとした場合の断幹高

■ 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 progresses、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。

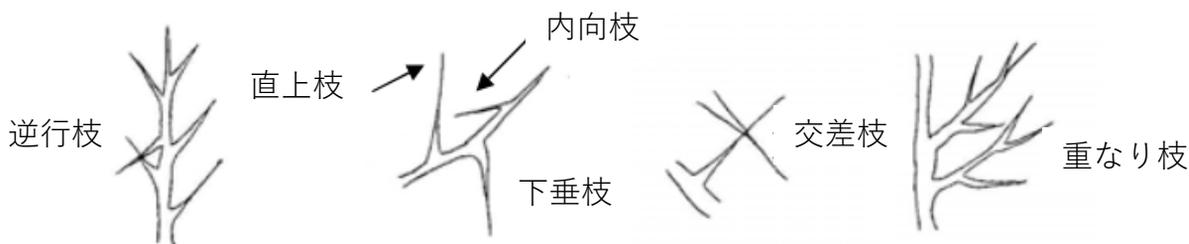


図1 剪定する枝の名称

■ 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

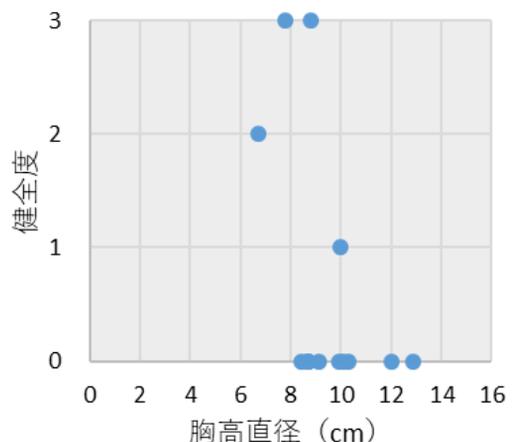


図1 併用処理した採種木の胸高直径と処理後の健全度の関係

強度の断幹と剪定処理を併用した結果、処理年の秋には7割の個体が枯損した。特に胸高直径8cm以上の個体に処理を併用すると、枯損する危険性がある。一方、断幹だけ行った場合は、枯損は無かったものの、健全度がやや落ちる結果となった。

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、濃度が高いと葉害が発生し（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）。着花促進効果と葉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

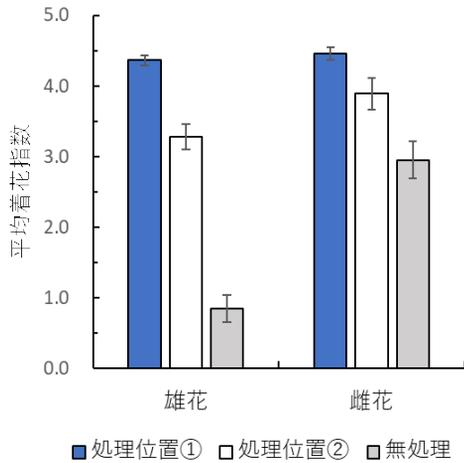


図1 処理位置による着花指数の比較

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。

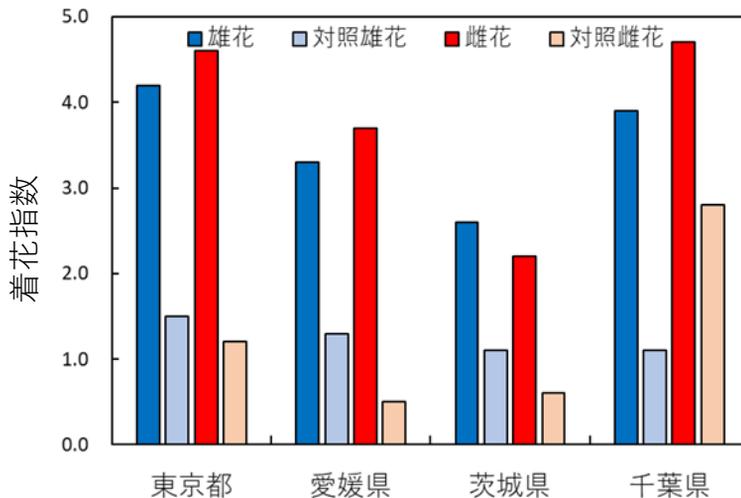


図2 処理位置①でジベレリン処理した場合の着花促進効果

■ 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）

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

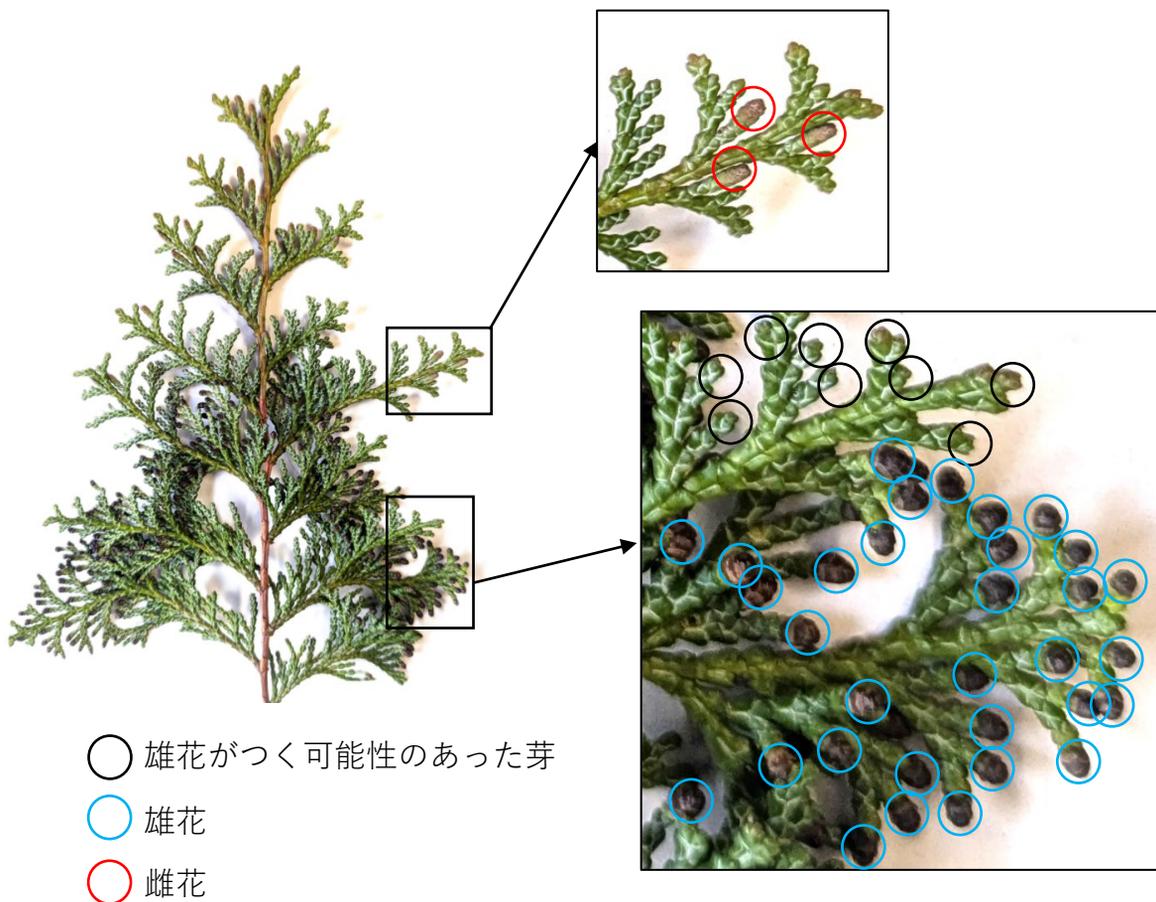


写真1 各小枝中の雄花と雌花が着いた場所

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。

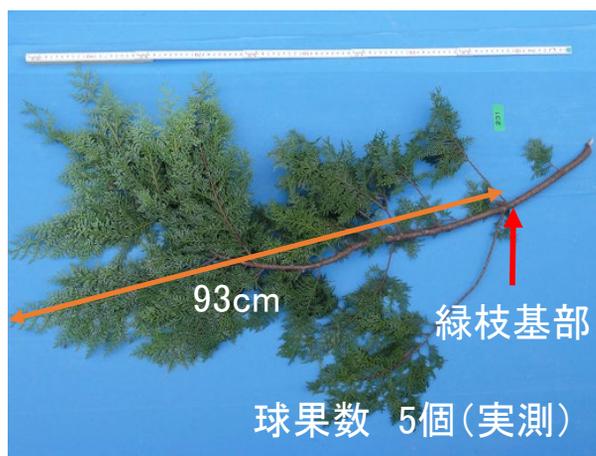


写真1 着果評価の方法

※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）。

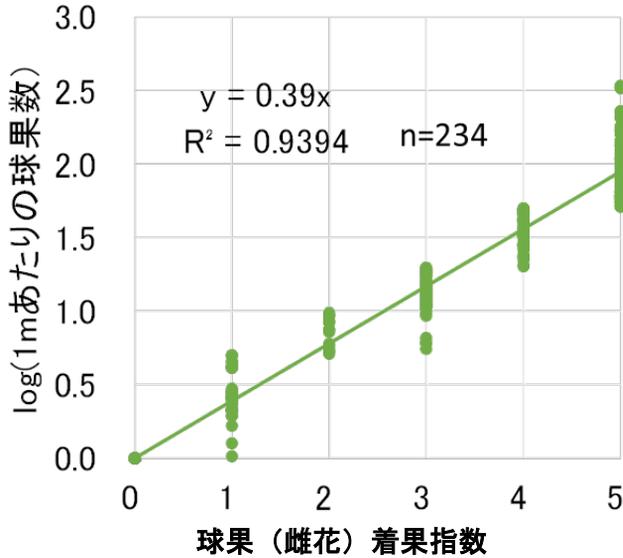


図1 球果（雌花）の着果指数と1mあたりの球果数の関係

球果（雌花）の着果実指数と着生していた球果数の対数值との間には、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。この値は対数值であるため、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。

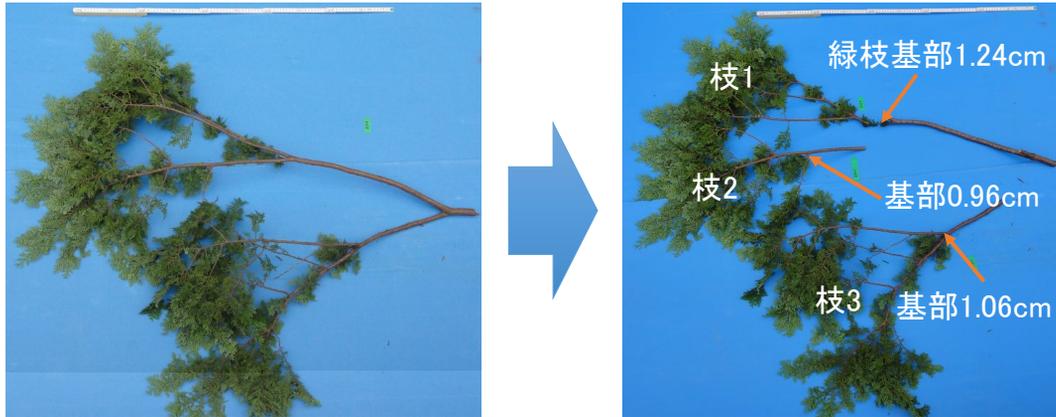


写真1 着果評価する枝の選び方の例1

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。

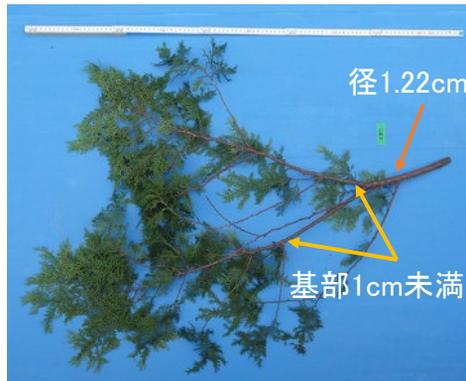


写真2 着果評価する枝の選び方の例2

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。

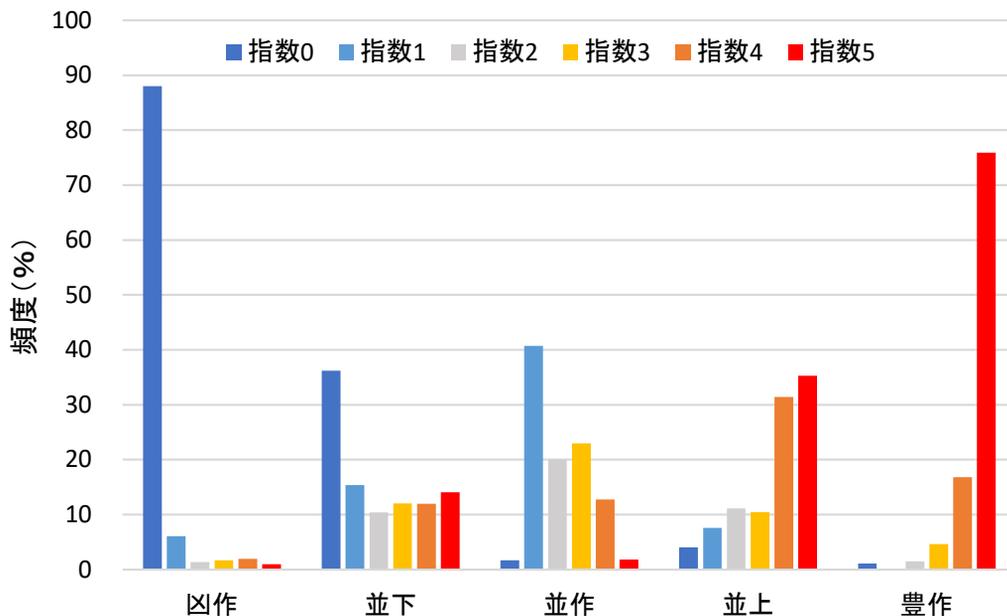


図1 豊凶による着果指数の頻度

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°Cと言われ、1世代有効積算温量は400°C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°C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。

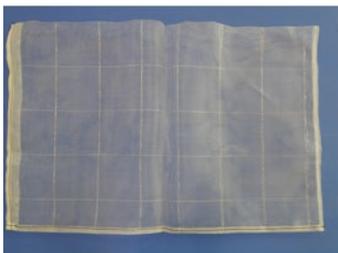
□ その他の留意事項

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	磷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	磷酸、加里に乏しく、磷酸の吸収力が大、火山灰は、磷酸吸収力が最大、強酸性土壌では石灰の施用、有機物の増殖、磷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、磷酸、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。磷酸が少ない。
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、磷酸は比較的多いが、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	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、磷酸増施、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 微量元素の効果少	一般にいずれも良好	磷酸の効不良 (堆肥と混施有効)	埴土に同じ
施肥量	有機質増施 磷酸減 加里増	—	完熟堆肥、増 磷酸、増 加里、減	とくに磷酸 加里増
施用法	過石以外の磷酸の 追肥不可 他は一般に分施する	磷酸の追肥 原則として不可	磷酸（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、土壌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溶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。

施肥量の試算

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。枝の付き具合等を見て、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せ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°C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°C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

		クローン名	3/15	3/20	3/24	3/27	3/29	4/3	4/10	4/17
2023年	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
2023年	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	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
2024年	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	3	7
		東京4号	0	0	0	2	2	3	3	3	3
2023年	雄花	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	
		東京4号	0	0	0	0	2	3	3	3	
		丹沢4号	0	1	2	2	3	3	3	3	
2024年	雌花	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	
		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	
2024年	雄花	中10号	0	1	1	2	3	3	3	3	
		北設楽7号	0	0	0	0	2	2	2	3	
		東京4号	0	0	0	0	2	3	3	3	
		丹沢4号	0	1	2	2	3	3	3	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。

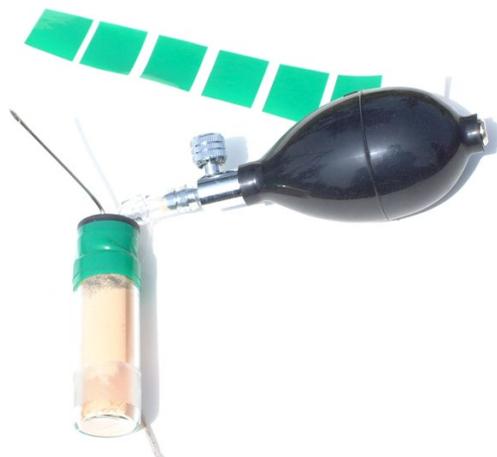


写真3 花粉銃

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%シヨ糖液に寒天を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と比較した（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。

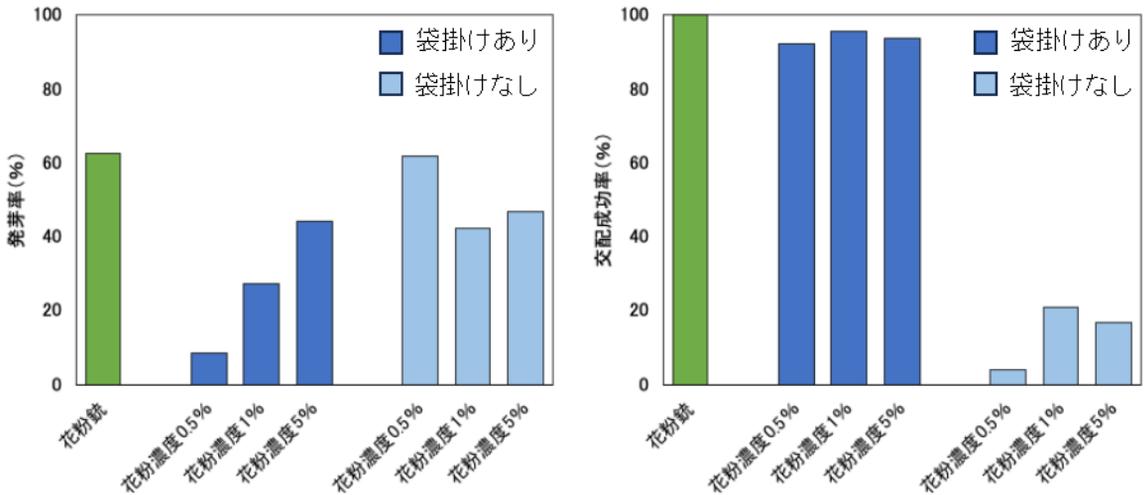


図1 溶液受粉を行った場合の種子の発芽率と交配成功率

※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