

【原著論文】

多雪地帯に造成したスギミニチュア採種園の受粉時期の変動

渡部 公一^{*1}

The variation of pollination timing in a *Cryptomeria japonica*
miniature seed orchard established in a heavy snow region

Koichi Watanabe^{*,1}

要旨：多雪地帯の採種園において、外部花粉を抑えて園内交配を向上させる目的で、スギミニチュア採種園の受粉動態を5年間調査した。気象条件が合致すれば、園内のスギの開花が遅れることによって、園内交配チャンスが高まる可能性があることが分かった。外部花粉の混入を低く抑えられる条件は、(1) 園内のスギの開花期が園外のスギの開花期とずれること、(2) 園内の雄花と雌花の開花期のばらつきが少なく、短期間に開花終了すること、(3) 園外のスギが短期に集中して開花することである。このための気象的な要因としては、積雪が多く、融雪から開花期にかけては暖かい天候が続くことが重要と考えられた。これらの条件と合致した2006年と2008年の開花期間中に飛散した外部空中花粉は、シーズン全体の外部花粉数の10%未満で、採種園への花粉混入は少ないと考えられた。しかし、条件と合わない年には何らかの人為的な対応が必要である。

キーワード：スギ、花粉、ミニチュア採種園、多雪地帯

Abstract: For the purpose of reducing pollen contamination and improving cross-pollination within seed orchards in regions with heavy snowfall, the pollination dynamics in *Cryptomeria japonica* was surveyed in its miniature seed orchard for 5 years. We found that if certain climate conditions coincide, it was possible to increase cross-pollination within the orchard due to a delay in the flowering of trees in the orchard. The following conditions could help reduce pollen contamination: (1) deviating the flowering seasons of the trees inside orchard from that of the trees outside the orchard, (2) reducing the variation in flowering seasons between male and female flowers in the orchard and completing the flowering for a short period, and (3) the short-term convergence in flowering of the trees outside the orchard. We considered the continuance of warm weather during the period from the thaw of a large amount of snowfall to the flowering season to be an important climate-based factor. These conditions were met during 2006 and 2008 flowering seasons. In the two years the immigrated airborne pollen when flowering in the orchard made up less than 10% of the total number of immigrated airborne pollen during the whole season, suggesting that airborne pollen contamination in the orchard was low. However, in the years in which the conditions are not met, some kinds of artificial measures are necessary.

Keywords: sugi, pollen, miniature seed orchard, heavy snow region

はじめに

日本における主要な造林樹種であるスギ林は、資源としての充実期を迎えており、伐採利用が増加傾向にある

一方で、伐採跡地の再造林が行われない造林未済地の増加が全国的な問題になっている。造林意欲の低下は、木材価格の低迷に起因しているが、この厳しい環境の中でも持続的に林業を経営できるように総合的な施策を講じ

*E-mail: watanabekoi@pref.yamagata.jp

¹ 山形県森林研究研修センター Yamagata Prefectural Forestry Research and Instruction Center, 2707 Hei, Sagae, Sagae, Yamagata 991-0041, Japan

2013年1月17日受付、2013年5月31日受理

ていく必要がある。その中で、魅力的な造林品種を開発し、質の高い種苗を供給することは重要な課題と考えられる。

質が高い種子を生産するためには、採種園内で優良な遺伝子を持つ親木同士が確実に交配することが重要で、外部花粉との交配を極力抑制する必要がある。森口 (2005) は、マイクロサテライトマーカーを用いてスギ採種園の外部花粉の混入率を調査した結果、35~65.8%の高い値であったことを報告している。特に雄性不稔スギのような特定の遺伝子によって発現する形質を持った種子を生産する場合、外部花粉の混入は歩止まりを大幅に低下させ、時には苗木生産者や造林者の不信を招くことになりかねない。斎藤ら (2005) が造成した雄性不稔スギのF₁を列状に配置した野外のミニチュア採種園では、雄性不稔スギの出現率が25%の期待値に対して9.6%であり、外部花粉混入率は約62%と推定された。そこで、斎藤ら (2006) は、ガラス室内に鉢植えのミニチュア採種園を設けることを試みた。これによって、外部花粉を完全に空間的に遮断できるのに加え、ガラス室内の温室効果によって外部花粉が飛散するよりも早く受粉が終了したため、時間的にも隔離することができたことを報告している。この方法は、従来の袋がけによる人工交配に比べて、はるかに省力的で有効な方法と考えられるが、事業的な規模での種子生産は設備費の面から難しい。例をあげると山形県における近年のスギ種子の需要量は年間約30kgであり、採種木1本当たりの種子量を35gとすると、採種木は857本必要である。採種木の間隔を0.8m間隔とすると、最低でも550m²以上の加温設備つきの大規模なガラス室が必要となる。大谷ら (1984) や伊藤 (2004) などによってガラス室の代わりにビニールハウスなどの簡易施設を用いることも検討されているが、積雪寒冷地では降雪によって倒壊する恐れがあり、代用は困難である。そのため雪国に適した、簡便で実用的な外部花粉混入の抑制方法の開発が望まれる。

スギの雄花は、冬から春にかけての積算温度が一定の値になると開花することが知られており (橋詰 1973; 平ら 1994)、ミニチュア採種園の採種木全体が埋雪した場合は、通常のスギ林の開花時期よりも開花が遅くなると考えられる。そこで、本研究では埋雪した採種木の開花期と外部花粉の飛散時期とずれが生じることによって園内交配チャンスが高まることを期待し、冬期間埋雪していたミニチュア採種園の採種木がどのような受粉動態をたどるかを調査した。ミニチュア採種園の積雪量、採種木の雄花および雌花の開花時期、外部花粉の飛散時期を調査することによって積雪による開花の遅延効果につい

て検証し、またそのような環境下でも健全な種子が生産されるかを確認するため、採取した種子の発芽率を調査した。

試験地と調査方法

調査地

調査地は山形県森林研究研修センター林木育種園 (鶴岡市羽黒町手向) 内のミニチュア採種園と採種園である。調査は2006年から2010年の5年間で行い、同一の採種木に連年で着花させることができないため、毎年区域を変えて調査を実施した (表-1)。2007年及び2008年の調査地である採種園は、樹高を1.2m程度の高台円筒型に管理していたもので、ミニチュア採種園と同じ樹形になるように枝を残した。それぞれの試験地は約150m×50mのほぼ平坦な区域内にあって近接しているため、標高、地形の差はないと考えられる。

調査地は前年の7月上旬に着花促進処理 (ジベレリン協和100ppmを葉面散布) を行い、採種木の上部から下部まで幅広く着花が見られた個体を選んで調査木とした。調査木は雪折れや枝抜け防止のために前年の12月に雪囲いを行い、調査時に取り外した。

表-1 調査地

調査年	調査対象 採種園	雄花調査 本数	雌花調査 本数
2006	ミニチュア 採種園	20	20
2007	採種園	20	21
2008	採種園	23	23
2009	ミニチュア 採種園	15	15
2010	ミニチュア 採種園	21	30

積雪量と開花調査

積雪量は調査地から約600m離れた林木育種園事務所で観測しているデータをもとにし、開花調査と同時に実測した測定値で補正した。開花調査は2~3日おきに目視によって行った。雄花については、雄花を数回軽くたた

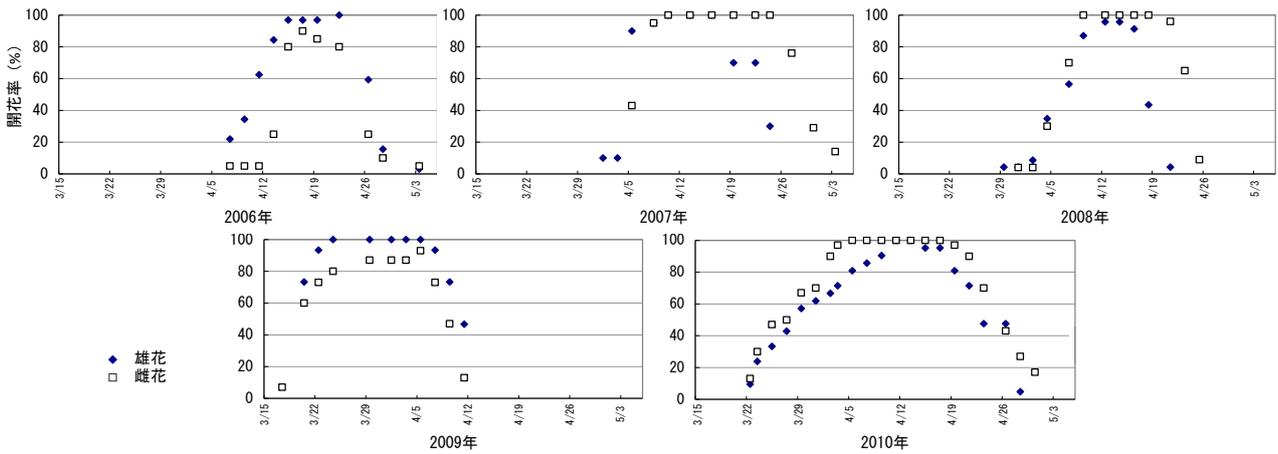


図-1 雄花・雌花の開花率

き、肉眼で花粉の飛散が確認できれば開花中として着花位置の地上高を測定した。雌花については、降雨などによって珠孔液が確認できない時が多かったため、雌花の鱗片の開き具合を観察して鱗片が完全に開いた時点を開花、珠孔が盛り上がり肉眼で確認できた時点を開花終了として、同じくその地上高を測定した。なお、地上高 50 cm 未満にはほとんど枝が着生していないため、地上高 50 cm 以上を開花調査の対象とした。また開花率は、採種木の剪定高である地上高 1.2 m 以下に着花している雌花又は雄花が開花している個体の本数率とし、開花率が 50 % 以上の期間を開花期間と定義した。

外部空中花粉の調査

花粉飛散シーズンである3月初めから4月末まで、林木育種園事務所前に設置したダラム型花粉捕集器で外部花粉飛散数を調査した。原則的に月、水、金曜日にワセリンを塗布したスライドガラスを交換し、実体顕微鏡で 1 cm²あたりの花粉数をカウントした。

種子の発芽率

2010年の調査地のうち9本の採種木から球果を採取した。その際に、同一個体内でも積雪期間が異なる上部の枝と下部の枝では発芽率に違いがあるのかを確かめるため、それぞれの採種木の着花部位の地上高が 100 cm 未満と 130 cm 以上の球果に分けて採取した。採取は 10 月中旬に行い、一週間程度陰干して球果を乾燥させて種子を取り出し、約 1 か月間 4℃ の冷蔵庫に保管した後、ろ紙を敷いたシャーレに播いた。そのシャーレをインキュベーターに入れ

て 20~30℃ の変温条件で発芽検定を行った。対照として試験地に近接する通常タイプの採種園 A (33 年生、面積 0.86 ha、断幹高 4 m、本数密度 650 本/ha) 及び採種園 B (44 年生、面積 0.96 ha、断幹高 4 m、本数密度 660 本/ha) から同じ年に採取した種子と発芽率を比較した。採種園産 A、B とも前年 7 月にジベレリン協和 50 mg を樹幹剥皮埋込により着花促進処理している。

結果

開花時期

各年の雄花と雌花の開花時期と開花率を図-1 に示す。開花日は調査年によって 20 日程度のずれがあるが、どの調査年も雄花、雌花の開花はほとんど同時に始まり、ピークも概ね一致した。開花期間は年によって開きがあり、雄花の最短が 2008 年の 10 日間、雌花の最短が 2006 年の 8 日間であった。最長は雄花、雌花とも 2010 年でそれぞれ 31 日間、28 日間であり、他の年の平均と比較してそれぞれ 14.3 日、12.0 日長かった。

積雪量と開花

図-2 に 2 月 1 日からの積雪、融雪経過と雌花が開花した地上高の範囲を示した。2009 年を除いて各年も融雪の進み方のカーブと、上から下へ開花が進んでいく開花部位のカーブが非常に良く似た形を示した。豪雪の年の 2006 年と 2008 年はこの傾向が最も良く表れている。気温の上昇とともに融雪が進むにつれて、開花も採種木の上方から順に進んでおり、

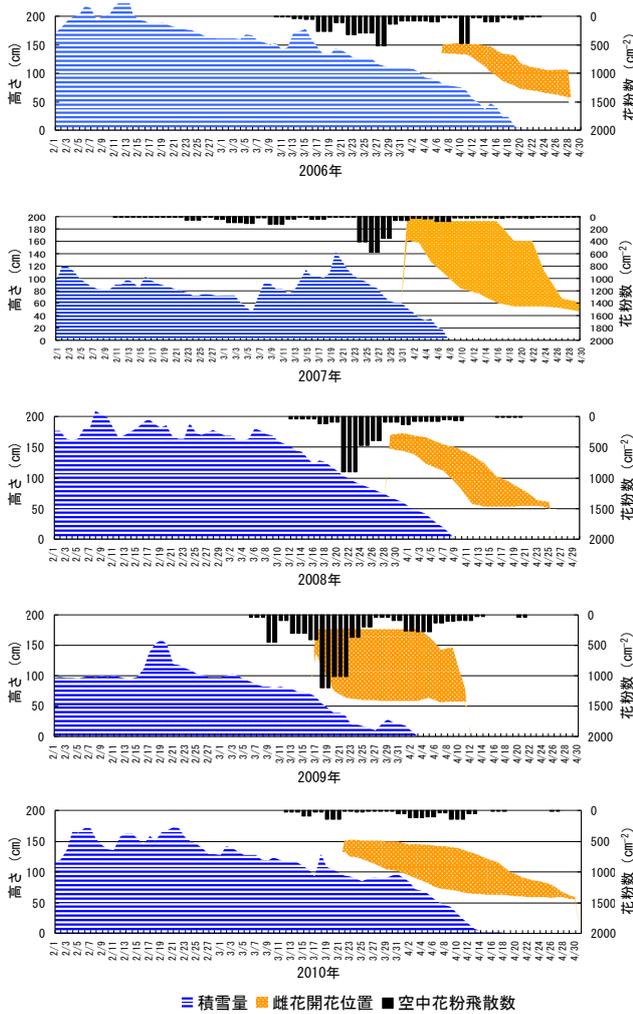


図-2 積雪量及び雌花の開花位置と空中花粉数

それぞれの地上高における雌花の開花は比較的短期間で終息している。2007年と2009年は少雪の年である。2007年は、3月20日に最大積雪深を観測した顕著な遅雪の年であったが、その雪の融雪に合わせて上から徐々に開花が始まった。地上高ごと

かった。2009年は2月からの積雪量がほぼ1m以下の雌花の開花期間は2006年及び2008年と比べて長で推移しており、埋雪期間が少ないためか、採種木の0.6~1.8mの高さの雌花の開花が一気に始まり、それぞれの開花期間も長かった。2010年の積雪量は平年並みであったが、3月中旬から低温が続いて降水量も多く、雪解けが長引いた年である。雌花の開花は上から緩慢に進み、地上高ごとの雌花の開花期間も他の年に比べて長かった。

外部空中花粉

図-2の上軸に空中花粉飛散数を棒グラフで示した。花粉飛散数はスライドガラスを2~3日おきに回収して計数したので、グラフでは1日当たりを平均して示した。2006~2008年までの空中花粉の総飛散数は5,000~6,000個台で安定し、2009年は前年の約2倍の大飛散年、2010年は一転して前年の20%の少飛散の年になっている。2006年から2009年までは数日から十数日の集中的な飛散ピークがあったのに対し、2010年は飛散数が少ないうえに低温多雨の影響によって飛散日が分散し、明確な飛散ピークがなかった。融雪経過に合わせて採種木の上方から徐々に開花が進んだ2006年~2008年は、ほとんどの空中花粉が雌花の開花期間が始まる前に飛散しており、そのため開花期間中の外部花粉数は年間総飛散数の5~11%台に止まった。しかし、着花した高さに関係なく採種木全体の開花が一斉に始まった2009年は雌花の開花期間と飛散期間が完全に重なり、開花期間中の外部花粉飛散数は総飛散数の52%になった。2010年は雌花の開花期間が長かったことと、飛散ピークが分散したことから、開花期間中の外部花粉飛散数は63%と最も高い割合となった。以上の結果を表-2に示した。

表-2 外部花粉の飛散期間とミニチュア採種木の雌花開花期間

調査年	外部花粉飛散のピーク期間	外部花粉飛散の期間 (50個/cm ² ・日以上)	ミニチュア採種木の雌花開花期間	シーズン全体の外部花粉数 (A)	ミニチュア採種園開花期間中の外部花粉数 (B)	B/A (%)
2006	3/27-3/28	33日 (3/17-4/20)	8日 (4/15-4/22)	6,322	476	7.5
2007	3/26-3/27	45日 (2/23-4/8)	20日 (4/8-4/27)	5,064	572	11.3
2008	3/24-3/25	23日 (3/17-4/10)	17日 (4/7-4/23)	6,313	323	5.1
2009	3/18-3/19	33日 (3/9-4/12)	19日 (3/20-4/7)	12,033	6,256	52.0
2010	3/19-3/21	28日 (3/15-4/13)	28日 (3/27-4/23)	2,295	1,451	63.2

2010年産種子の発芽率

山形県の通常採種園産種子の過去5年間の発芽率の平均値は44.0%である。図-3に示すとおり、2010年の通常採種園種子は凶作で、発芽率が8.3~10.5%だった。これに対してミニチュア採種園産種子は27.1%と比較的高かった。2010年は記録的に花粉飛散数が少ない年であり、ジベレリン樹幹剥皮処理をした通常採種園A、Bとも雄花の着花が極端に少なかった。それに対し、ジベレリン散布処理を行ったミニチュア採種園では普通に雄花の着花が認められた。着花部位100cm未満と130cm以上の種子では発芽率に顕著な違いは認められなかった。

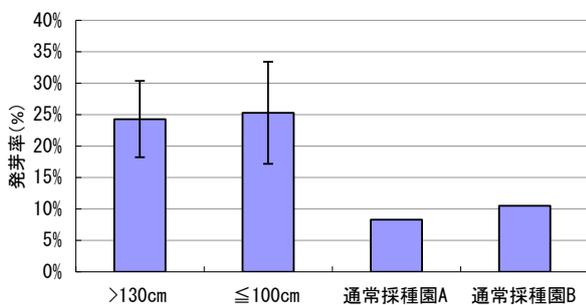


図-3 2010年産種子の発芽率

考 察

金指ら(2002)は、スギ雄花の休眠打破から開花に至るメカニズムについて、低温期間が長くなるとともに休眠が徐々に弱まるにつれて、少しずつ発育能力が高まっていき、休眠が完全に打破された後は、雄花の発育能力は最大となり、その日の温度条件に応じて発育しつづけ、ある段階で開花に至ると報告している。長期間、ほぼ0℃の環境におかれることで、雄花は完全に休眠から覚醒しつつも発育が抑えられていた状態にあるが、融雪とともに一斉に発育が進み、各個体の開花時期が一定の期間内に揃ったと推測できる。雌花についても雄花の開花と同調性が高かったことから同じ現象が起きていると考えられ、5年間の調査において、豪雪で長期間埋雪した部位の雄花、雌花は、少雪の年と比べて開花が一斉に始まり、短期間で終わる傾向がうかがえた。過去に通常採種園で調査された報告と比較してもこの傾向は明確で、昭和56年と57年に宮城県と新潟県で調査した結果(林野庁1984)では、多くの

クローンの雄花と雌花の開花が30日から40日間続いたのに対し、今回調査した豪雪年の2006年と2008年の開花期間は雌花、雄花ともに20日未満と短かった。今回の結果から、雄花、雌花が埋雪下におかれることは、種子の雪漬け発芽処理と同じように、開花期間のバラツキを少なくする効果があると考えられた。また、埋雪下にあった雄花、雌花でも開花は受粉に問題なく同調することも分かった。

種子の品質については、通常の採種園産種子の発芽率が低く、著しい凶作であったにもかかわらず、ミニチュア採種園産種子の発芽率は実用に耐えるレベル(山形県の基準では25%以上)であった。この結果から長期間埋雪環境下にあった雌花でも正常に受粉し、種子が正常な発芽能力を有していることが確認できた。ミニチュア採種園の発芽率は従来型の採種園よりも良いとする報告が多い(Ito and Katsuta 1986; 大川ら1999)が、この要因の一つとして、着花枝を狙ってジベレリン噴霧をするために、確実に雄花を着花させることができ、母樹同士の空間が狭いために花粉密度が高くなることなど、受粉チャンスが高まることが考えられる。

この研究の目的とする外部花粉の混入を低く抑えるための条件は、①採種園内のスギの開花期が園外のスギの開花期とずれること、②園内の雄花と雌花の開花期のバラツキが少なく、短期間に開花終了すること、また外的な要因として③園外のスギが短期に集中して開花すること、が必要である。おおむね①、②、③の条件に合致した2006年と2008年の開花期間中に飛散した外部空中花粉はいずれも500個未満と少なく、②の条件にはやや合致しなかったが、3月中に外部花粉の飛散ピークを終えて①の条件に合致した2007年も572個と少なめだった。①、②の条件と合わなかった2010年は外部花粉の総数が少なかったにもかかわらず1,451個であり、どの条件にも合致しなかった2009年は大量飛散年と重なったこともあって6,256個と群を抜いて高くなった。①の条件を満たすための気象的な要因として、積雪が多く採種木全体が埋雪すること、また②、③を満たすためには、融雪から開花期にかけては暖かい天候が続くことが重要と考えられる。これらの条件が重なれば、自然状態で外部花粉の抑制が期待できると思われるが、2009年や2010年のように条件と合わない年には何らかの人為的な対応が必要である。

例えば、着花部位が長期間積雪環境下にあっても発芽率が低下しなかったことから、積雪が少ない年

には、開花が遅く始まった採種木下部の球果のみを選択的に採取する方法が考えられる。ただし、この方法は採種量の減少は免れない。また、スギは複数年の種子貯蔵ができることから、多雪で条件に合う年に種子を多く取り、それを冷凍保存して供給することが可能である。複数年分の種子を1年で賄うために必要な採種園の規模は大きくなるが、今後の種子の需要動向によっては検討する余地がある。そのほか、人為的な施業によって花粉密度を高める方法として、採種園内への花粉の人工散布が考えられる。花粉の人工散布を採種木の開花最盛期に実施できれば、瞬間的に花粉密度を高めるため、目的花粉の受粉率向上に有効と考えられる。半田ら(1980)、半田・古越(1980)、伊藤(1982)は、開放系の通常タイプの採種園で花粉の人工散布を行っているが、その効果は必ずしも明確ではなかった。しかしこれらの報告では、採種木の断幹高が3m程度と高く外部花粉の影響を受けやすいことや、採種木の開花時期のバラツキが大きかったなどの要因が考えられる。十分な花粉量を確保するための労力は要するが、開花時期が揃い、樹高が低くて散布しやすい高さのミニチュア採種園で試してみる価値はあると考えられる。

本報告は、ミニチュア採種園の管理上、不利な条件である多雪地帯での事例であるが、雪国の条件を生かした花粉管理の可能性が確認できた。気象条件が揃わない場合の対応について今後検討する必要があるが、それを克服できれば、優良品種の性能が安定して発揮される新しい種子生産ができると考える。

引用文献

伊藤信治(2004) スギ家系品種採種園種子生産の可能性. 新潟県森林研究所研究報告 45: 7-12
伊藤輝勝(1982) スギ採種園における花粉の人工散布の効果. 日本林学会東北支部会誌 34: 64-167
大川宏紀・澤頭直孝(1999) スギミニチュア採種園における青森県産精英樹クローン別の種子生産性比較. 青森県林業試験場報告: 8-13
大谷賢二・大庭喜八郎(1984) 簡易なビニールハウスを用いたスギの人工交配. 日本林学会大会論文集 95: 289-290
金指達郎・横山敏孝(2002) スギ雄花の休眠打破と開花に要する温度条件. 日本花粉学会会誌 48: 95-102

斎藤真己・平英彰(2005) 雄性不稔遺伝子をヘテロ型で保有するスギ個体を用いたモデルミニチュア採種園の造成. 日本森林学会誌 87: 383-386
斎藤真己・平英彰(2006) ガラス室内スギミニチュア採種園の特徴とその有効性. 日本森林学会誌 88: 187-191
Ito S, Katsuta M (1986) Seed productivity in the miniature seed orchard of *Cryptomeria japonica* D. Don. Journal of the Japanese Forest Society 68: 284-288
平英彰・寺西秀豊・剣田幸子(1994) スギ雄花の開花特性を利用したスギ花粉飛散開始日の予測について. 日本森林学会誌 76: 126-131
橋詰隼人(1973) 林木の交配に関する基礎的研究(V): スギの開花と受粉. 鳥取大学農学部研究報告 25: 81-96
半田孝俊・古越隆信・菊地利喜夫・伊藤輝勝(1980) スギ採種園における花粉の人工散布とその効果(I) -熱塩加納採種園での予備試験-. 林木の育種 特別号: 28-30
半田孝俊・古越隆信(1980) スギ採種園における花粉の人工散布とその効果(II) -黄金スギ花粉をマーカーとした効果の判定-. 林木の育種 特別号: 30-32
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. 日本林学会誌 87: 161-169
林木育種推進東北地区協議会(2010) 東北育種基本区ミニチュア採種園技術マニュアル 2011. 森林総合研究所林木育種センター東北育種場, 岩手
林野庁(1984) スギ採種園における花粉管理に関する研究. 昭和57年度林業試験研究報告書. pp 102-159.
林野庁編(2011) 平成23年版森林・林業白書. 全国林業改良普及協会, 東京