

エリートツリーの種苗生産技術に関する研究

2020年度～2022年度

狩場晴也

要 旨

エリートツリーのスギ及びヒノキ閉鎖型採種園において、採種木の育成に適した液体肥料の施肥条件について検討した。その結果、春から夏にかけての施肥濃度が1年間の成長に大きな影響を与えていることが明らかとなり、最も施肥濃度が高い試験区で樹高・根元径の平均成長量がスギで175cm・25mm、ヒノキで78cm・15.2mmとなった。管理方法の検討では、ヒノキの着花促進に適した灌水・施肥方法について検討した。その結果、最も雌花数が多かった試験区で、平均雌花数が1,198個/個体、雄花着花指数が高い試験区で平均2.3となり、6月から8月にかけて灌水を毎日から4日毎に変更し、水分ストレスを与えることで着花が促進されることが明らかとなった。ジベレリンによる着花促進効果の検証では、スギについて、ジベレリンの葉面散布処理の着花促進効果を調査した。その結果、ジベレリン処理個体では、雌花数が平均1,287個/個体、雄花着花指数が平均2.9となり、ジベレリン処理による着花促進効果が確認でき、従来の採種園と同様、ジベレリンの葉面散布処理が有効であることが確認できた。エリートツリーの成長特性調査では、エリートツリーの挿し木苗を植栽し、植栽1年目の成長調査を実施した。その結果、スギでは、ほとんどの系統で在来の苗木よりも樹高成長量が大きく、成長量25cm以上が4系統存在した。

I はじめに

本県では、スギ・ヒノキ人工林の多くが利用期を迎えており、伐採に伴って苗木の需要増加が見込まれる。また、エリートツリーは、初期成長や材質に優れ、下刈り回数の減少等による造林コストの削減が期待できる。そのため、エリートツリーへの関心が高まっており、エリートツリー由来の苗木を効率的かつ安定的に供給することが求められている。そうした中で、本県では、エリートツリー由来の種子生産に向けて2021年3月に閉鎖型採種園を造成した。閉鎖型採種園は、設置事例が極めて少なく、管理手法や種子生産の手法は確立されていない。また、本県でエリートツリー由来の苗木が植栽された事例はなく、本県の気象・

土壌条件におけるエリートツリーの成長特性は明らかとなっていない。そこで、本研究では、エリートツリー由来の苗木の安定的な供給に向け、効率的な種子生産手法を開発するとともに、本県におけるエリートツリーの系統ごとの成長特性について調査することを目的とした。

II 方法

1. エリートツリー種苗の効率的な生産手法の開発

(1) 採種木の育成方法の検討

採種木を植栽してから早期に種子生産を行うため、採種木の育成に適した液体肥料の施肥条件について検討した。2021年3月に（国研）林木育種セ

Haruya KARIBA: Study on seed production techniques of elite tree

本研究成果の一部は、第12回中部森林学会大会（2022）で発表した。
本研究の一部は、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委託事業「花粉症対策品種の円滑な生産支援事業のための調査委託業務（2021及び2022年度）」の中で実施した。

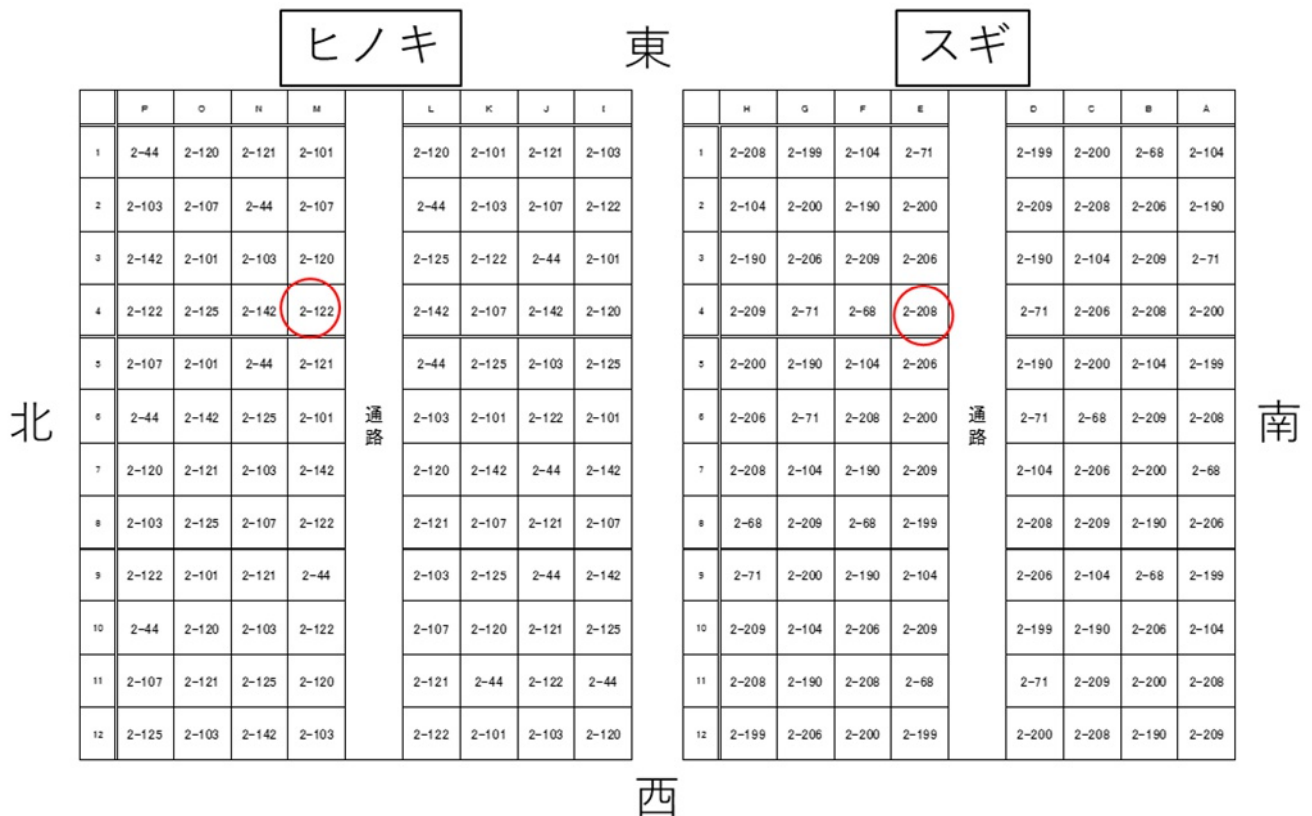
ンター（以下、育種センター）からエリートツリーのスギ・ヒノキ（以下、断りが無い場合、スギ及びヒノキはエリートツリーを示す）各9系統96本（全て特定母樹）のつぎ木苗を購入し、農業用の収穫コンテナ（サンテナーB#50（三甲(株)社製）に肥料が入っていない緑化木用培土（三河ミクロン(株)社製）を充填したもの（以下、根域抑制コンテナ）に植栽し（図-1）、スギ・ヒノキをそれぞれ当センター敷地内の閉鎖型採種園内に図-2のように設置して液体肥料自動供給システムで育成を行った。2021年5月から8月までの期間（以下、期間1）及び2021年8月から12月までの期間（以下、期間2）において、表-1のような異なる液体肥料の施肥条件の3試験区及び参照用として従来の方法である固形肥料区を設定し、その後2021年12月から2022年5月までの期間（以下、期間3）においては、固形肥料区を含む全ての試験区で試験区Aの期間2における施肥条件に変更して採種木を育成した。また、樹高及び根元径を測定し、試験期間全体及び各期間の成長量を算出した。



図-1 閉鎖型採種園造成時における
採種木の植栽状況

(2) 採種木の管理方法の検討

1.(1)のヒノキについて、種子生産のために必要な雌花及び雄花の着花促進に適した灌水・施肥条件について検討した。2022年6月1日から8月23日までの期間（以下、期間4）において、表-2のような異なる灌水・施肥条件の試験区を設定し、採種木の管理を行い、2022年12月から2023年1月に雌花、2023年1月から2月にかけて雄花の着花状況調査を行った。雌花の調査では、採種木1個体に着花している雌花を計数した。雄花の調査では、雄花の着生範囲及び着生量から指数評価を行った。当センター職員6名が1個体につきジベレリン処理枝（以下、GA枝）を除く平均的な3枝を対象に実施した。指数には、林野庁の特定母樹応募要領における雄花着花性（ヒノキ）のジベレリン処理（以下、GA処理）による調査の場合を適用し（表-3）、得られた各枝の指数評価を平均し、個体あたりの雄花着花指数とした。また、環境データとして、あぐりログ（(株)IT工房Z社製）のpFセンサー（AGL_OP_PF-01B）をA4試験区の1個体（2-122）の培土に設置し、2022年5月から9月の期間における培土のpF値を記録した。



図ー2 閉鎖型採種園の配植図（採種木の系統名は、全て「スギ林育」または「ヒノキ林育」を省略している。赤丸はあぐりログを設置している場所を示す。）

表ー1 閉鎖型採種園における2021年5月から8月（期間1）及び2021年8月から12月（期間2）の施肥条件
肥料構成の（ ）内は、試験区Aの期間1の濃度を基準としたときの肥料構成比を示す

試験区	肥料構成 N:P:K	液体肥料の濃度又は1個体あたりの施肥量
A	14:11:13 →14:11:13 (42:33:39)	固形肥料60gと同程度の施肥量となる濃度（1）（2022年5月～8月） →（1）の3倍の濃度（2022年8月～12月）
B	14:11:13 (28:22:26)	（1）の2倍の濃度
C	10:18:15 (14:25:21)	窒素（N）の施肥量が（1）と同じになる濃度
固形	14:11:13	60g

表-2 ヒノキ棟における2022年6月1日から8月23日まで（期間4）の灌水・施肥条件

試験区	灌水間隔	液体肥料の構成及び濃度等
A1	毎日	N:P:K=14:11:13 (42:33:39) 1(1)試験における (1) の3倍濃度 (A)
B1	毎日	N:P:K=6:20:13 (18 : 60 : 39) カリウム (K) の施肥量が (A) と同じになる濃度 (B)
A4	4日毎	(A) と同様となる肥料構成及び濃度
B4	4日毎	(B) と同様となる肥料構成及び濃度

表-3 スギ・ヒノキの雄花着花指数

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、着生量が非常に少ないか、全くない

(3) ジベレリンによる着花促進効果の検証

1.(1)のスギについて、ジベレリン葉面散布処理による雌花及び雄花の着花促進効果について検証した。2022年7月19日、29日、8月8日に9系統46本を対象にジベレリン水溶液（100ppm）の葉面散布を行った。2022年12月から2023年1月に雌花、2023年1月から2月に雄花の調査を行った。雌花の調査では、GA処理を行った9系統25個体（以下、処理個体）及びGA処理を行っていない9系統26個体（以下、未処理個体）を対象に採種木1個体に着花している雌花を計数した。雄花の調査は雌花の調査を行った個体を対象として、1.(2)と同様に平均的な3枝を選び職員6名が着花指数を評価し、その平均値を採種木の雄花着花指数とした。

1.(1)のヒノキのうち、2系統（2-107、2-122）20個体を対象にジベレリンペーストの包埋処理によ

る雌花及び雄花の着花促進効果について検証した。2022年7月27日に採種木1個体あたり2枝に対し、小型の鋸で枝に傷をつけ、住友ジベレリンペースト（住友化学(株)社製）を塗布し、ビニールテープで養生した。2022年12月から2023年1月に雌花、2023年1月から2月に雄花の調査を行った。雌花の調査では、GA枝に着生した雌花を計数した。雄花調査は、1.(2)と同様に職員6名で雄花着花指数を評価し、その平均値を各GA枝の雄花着花指数とした。

2. エリートツリーの成長特性調査

(1) 苗木の現地実証調査

現地に植栽する苗木を生産するため、2020年4月に育種センターからエリートツリーのスギ13系統117本、ヒノキ4系統37本の挿し穂を購入し、鹿沼土を充填した150CCのマルチキャビティコンテナへ挿し付けた。その後、2021年4月にココピート等成長に適した培土を充填した300CCのマルチキャビティコンテナへ移植し、育苗した。

植栽は、2022年3月に行った。育苗した苗木のうち、愛知県の出荷基準である苗高30cmを満たした挿し木苗を1系統あたり3本選び、当センター試験林（図-3、表-4）に植栽した。育苗した挿し木苗スギ13系統39本、ヒノキ4系統12本に加え、比較対象として、スギでは在来の挿し木苗1系統（東加茂2号）3本及び実生苗3本、ヒノキでは、実生苗3本も併せて植栽した（図-4、表-5）。植栽間隔は、

斜面方向で約1.9m、等高線方向で約2.0mとした。
2022年4月及び12月に樹高及び根元径を測定し、植栽1年目の成長量を算出した。



図-3 植栽試験地位置図

表-4 植栽試験地概要

試験地	標高	土壌型	斜面方位	傾斜
試験林	300m	黄褐色 森林土	北西	22°

斜面上部

Eヒ2	Eヒ3	Eヒ4	ヒ実
Eヒ1	ヒ実	Eヒ4	Eヒ3
Eヒ4	ヒ実	Eヒ1	Eヒ2
Eヒ3	Eヒ2	Eヒ1	ス実
Eス11	Eス12	Eス13	ス挿し
Eス10	Eス9	Eス8	Eス7
Eス3	Eス4	Eス5	Eス6
Eス2	Eス1	ス実	ス挿し
Eス10	Eス11	Eス12	Eス13
Eス9	Eス8	Eス7	Eス6
Eス2	Eス3	Eス4	Eス5
Eス1	ス実	ス挿し	Eス13
Eス9	Eス10	Eス11	Eス12
Eス8	Eス7	Eス6	Eス5
Eス1	Eス2	Eス3	Eス4

斜面下部

図-4 植栽試験地配植図

表-5 配植図対応表

スギ		ヒノキ	
番号	系統	番号	系統
Eス1	2-38	Eヒ46	2-44
Eス2	2-52	Eヒ47	2-101
Eス3	2-57	Eヒ48	2-103
Eス4	2-68	Eヒ49	2-107
Eス5	2-70	ヒ実	在来実生
Eス6	2-71		
Eス7	2-76		
Eス8	2-92		
Eス9	2-93		
Eス10	2-102		
Eス11	2-104		
Eス12	2-112		
Eス13	2-117		
ス挿し	在来挿し木 (東加茂2号)		
ス実	在来実生		

Ⅲ 結果と考察

1. エリートツリー種苗の効率的な生産手法の開発

(1) 採種木の育成方法の検討

スギにおいて、試験期間中に枯死した1個体を除く9系統95本について調査を実施した(表-6)。試験区ごとの試験期間全体における樹高・根元径の平均成長量は、140~175(全体162) cm・19~25(全体22) mmとなった(図-5、6)。R(R Core Team 2019Ver3.6.1)を用いてTukey-Kramer法による多重比較(以下、多重比較)を行ったところ、樹高では、液体肥料の試験区A×B、A×C間で、根元径では、A×B、B×C間で有意な差があった(表-7、8)。このことから、樹高において期間1である春から夏までのリン酸あるいはカリウム、根元径において同期間の窒素濃度が成長の制限要因になっていたことが考えられる。また、試験区B及びCは、従来の育成方法である固形肥料区と樹高・根元径ともに同等以上の成長量を示し、濃度や配合比に注意する必要があるが、液体肥料でも問題なく採種木の育成が可能であることが示された。次に、各期間(期間1~3)の成長量見ると、樹高では、期間1及び2が成長量の大部分を占めた。また、期間2において、試験区Aは施肥濃度を3倍に変更しているにもかかわらず試験区Bよりも有意に成長量が小さくなっていた。このことから、樹高成長において春から夏にかけての施肥濃度が夏以降の成長にも影響することが考えられ、その影響が1年間の成長量に大きく寄与していると考えられる。一方で、根元径は、期間3でも成長量が大きく、期間2において試験区Aの成長の回復が早かった。ただし、期間1において試験区Aと他の試験区との差が激しいため、その差が1年間の成長量に大きく影響した。このことから、根元径においては、どの期間においても施肥濃度が樹高成長よりも影響が大きい可能性があるため、全ての期間で施肥濃度

に留意する必要があるとあり、成長が悪いと分かった際には迅速に施肥濃度を変更する必要があると考えられる。成長量が小さい試験区Aを除いたときの試験期間全体における系統ごとの樹高・根元径の平均成長量は、130~220(全体170) cm・18.5~25.4(全体23.4) mmとなり(図-7、8)、多重比較での結果は表-9のとおりとなった。樹高では、2-209が他の系統よりも突出して成長量が大きく、2-190及び2-200が他の系統よりも成長量が小さくなっており、系統間での差が見られた。根元径では、2-190が他の系統よりも成長量が小さくなったが、樹高ほどの系統間差は見られなかった。

表-6 施肥試験区と調査対象個体数

(個体)									
スギ					ヒノキ				
系統	A	B	C	固形	系統	A	B	C	固形
2-68	1	3	1	3	2-44	3	3	3	4
2-71	3	1	3	1	2-101	3	2	3	2
2-104	3	3	3	3	2-103	3	4	3	3
2-190	3	3	3	3	2-107	3	2	3	2
2-199	2	2	2	2	2-120	3	2	3	2
2-200	3	3	3	3	2-121	2	3	2	3
2-206	3	3	3	3	2-122	2	3	2	3
2-208	3	3	3	3	2-125	3	2	3	2
2-209	3	3	3	2	2-142	2	3	2	3

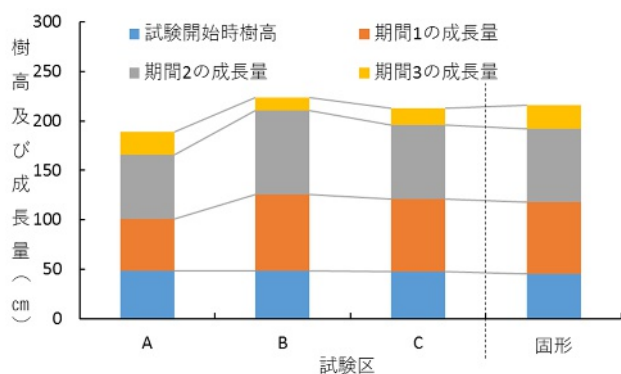


図-5 スギ採種木における試験開始時の樹高及び期間1~3の成長量（平均）

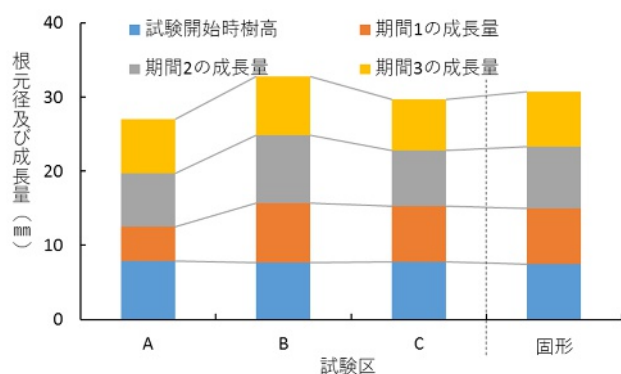


図-6 スギ採種木における試験開始時の根元径及び期間1~3の成長量（平均）

表-7 スギの樹高成長量と施肥試験区に関する多重比較結果 (p adj値)

試験区間	期間1の成長量	期間2の成長量	期間3の成長量	試験期間全体の成長量
A×B	0.000**	0.000**	0.006**	0.000**
A×C	0.000**	0.120*	0.206	0.016*
B×C	0.805	0.056	0.510	0.560
A×固形	0.000**	0.113	0.998	0.002**
B×固形	0.604	0.068	0.004**	0.918
C×固形	0.985	1.000	0.150	0.914

表-8 スギの根元径成長量と施肥試験区に関する多重比較結果 (p adj値)

試験区間	期間1の成長量	期間2の成長量	期間3の成長量	試験期間全体の成長量
A×B	0.000**	0.024*	0.708	0.000**
A×C	0.000**	0.978	0.859	0.061
B×C	0.873	0.067	0.253	0.017*
A×固形	0.000**	0.280	1.000	0.001**
B×固形	0.851	0.709	0.760	0.342
C×固形	1.000	0.501	0.827	0.562

* : p<0.05、** : P<0.01

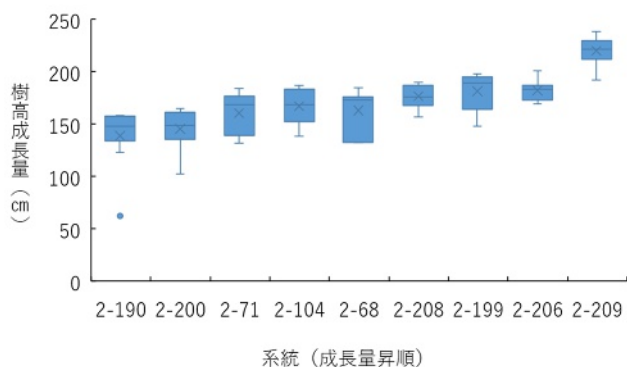


図-7 スギの試験区Aを除く系統ごとの樹高成長量

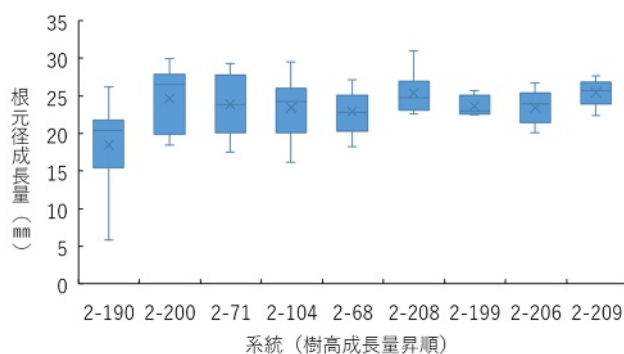


図-8 スギの試験区Aを除く系統ごとの根元径成長量

表-9 スギの試験区Aを除いた樹高及び根元径成長量の
 系統間差に関する多重比較結果 (p adj値)
 (斜線より右上が樹高、左下が根元径の成長量)

	2-190	2-200	2-71	2-104	2-68	2-208	2-199	2-206	2-209
2-190		0.998	0.532	0.064	0.247	0.003**	0.002**	0.000**	0.000**
2-200	0.020*		0.897	0.322	0.676	0.028*	0.020*	0.004**	0.000**
2-71	0.193	1.000		1.000	1.000	0.850	0.678	0.527	0.000**
2-104	0.128	0.998	1.000		1.000	0.978	0.881	0.752	0.000**
2-68	0.324	0.988	1.000	1.000		0.896	0.731	0.562	0.000**
2-208	0.005**	1.000	0.998	0.961	0.904		1.000	0.999	0.001**
2-199	0.189	1.000	1.000	1.000	1.000	0.991		1.000	0.012*
2-206	0.124	0.998	1.000	1.000	1.000	0.964	1.000		0.004**
2-209	0.007**	1.000	0.998	0.964	0.911	1.000	0.991	0.967	

ヒノキにおいて、試験期間中に枯死した個体はなく、9系統96本を対象に調査を実施した(表-6)。試験区ごとの樹高・根元径の平均成長量は、73~78(全体76) cm・12.9~15.2(全体14.3) mmとなった(図-9、10)。スギと同様多重比較を行ったところ、樹高では、全試験区間で有意な差は見られなかったが、根元径では液体肥料の試験区A×B間で有意な差が見られた(表-10、11)。このことから、本試験において樹高成長の制限要因となる要素はなく、根元径の成長では、期間1である春から夏までの窒素濃度が制限要因になったと考えられる。また、固形肥料区とはどの試験区も有意な成長差は認められず、スギと同様にヒノキでも液体肥料で問題なく採種木の育成が可能であることが示された。次に図-9、10の期間1~3の成長量を見ると、樹高では、期間1が1年間の成長量の半分以上を占めており、試験区B及びCが試験区Aよりも有意に成長量が大きくなった。期間2では、試験区間での有意な差は見られなかった。期間3では、期間1と対照的に試験区Aで成長量が大きくなり、試験区B及びCは小さくなっており、それに伴って1年間での成長差が見えなくなっていた。根元径は、期間1が最も成長量が大きい、期間2及び3でも成長しており、樹高よりも期間1の成長の影響が相対的に小さかった。ただし、スギと同様に期間1にお

いて試験区Aと試験区Bとの成長差が激しく、その差が1年間の成長量にも大きく影響していた。これらのことから、ヒノキは、スギよりも成長量が小さく、肥料濃度による差は相対的に小さくなるものの、特に根元径の成長に影響するため、施肥濃度については注意する必要があると考えられる。スギと同様に、根元径の成長量が小さかった試験区Aを除いたときの試験期間全体における系統ごとの樹高・根元径の平均成長量は、68~92(全体77) cm・13.0~16.7(全体14.7) mmとなり(図-11、12)、多重比較の結果は表-12のとおりとなった。樹高・根元径ともにスギよりも系統内の成長量のばらつきが見られ、系統間での有意な差は見られなかったが、樹高では2-142、根元径では2-103が最も大きな成長量を示した。

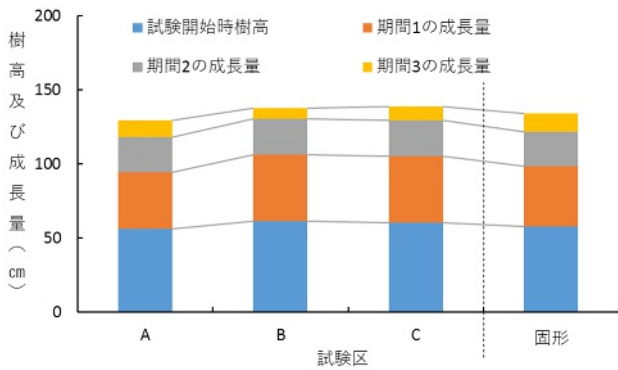


図-9 ヒノキ採種木における試験開始時の樹高及び期間1~3の成長量（平均）

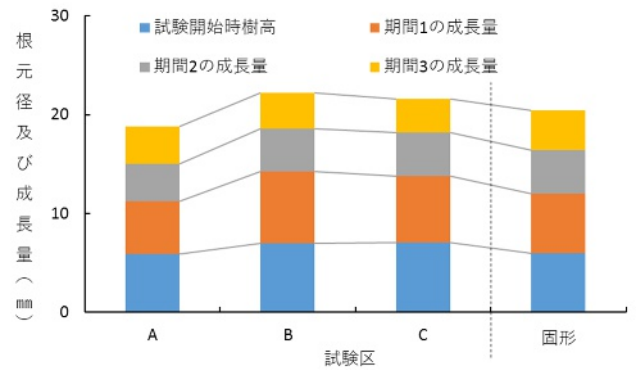


図-10 ヒノキ採種木における試験開始時の根元径及び期間1~3の成長量（平均）

表-10 ヒノキの樹高成長量と施肥試験区に関する多重比較結果（p adj値）

試験区間	期間1の成長量	期間2の成長量	期間3の成長量	試験期間全体の成長量
A×B	0.036*	0.998	0.000**	0.921
A×C	0.024*	1.000	0.055	0.749
B×C	0.999	1.000	0.173	0.983
A×固形	0.680	0.994	0.605	0.935
B×固形	0.367	0.975	0.000**	1.000
C×固形	0.291	0.987	0.001**	0.976

表-11 ヒノキの根元径成長量と施肥試験区に関する多重比較結果（p adj値）

試験区間	期間1の成長量	期間2の成長量	期間3の成長量	試験期間全体の成長量
A×B	0.018*	0.408	0.977	0.013*
A×C	0.109	0.453	0.667	0.138
B×C	0.893	1.000	0.884	0.787
A×固形	0.613	0.451	0.821	0.157
B×固形	0.294	1.000	0.580	0.752
C×固形	0.714	1.000	0.193	1.000

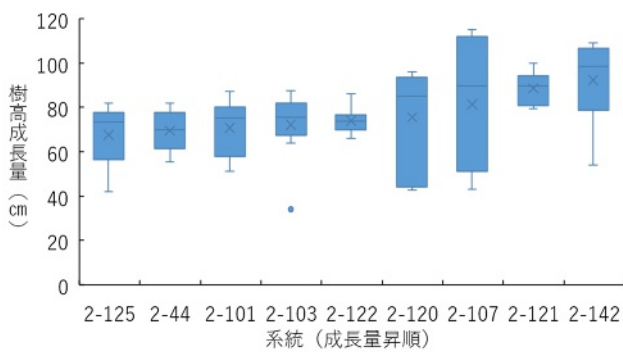


図-11 ヒノキの試験区Aを除く系統ごとの樹高成長量

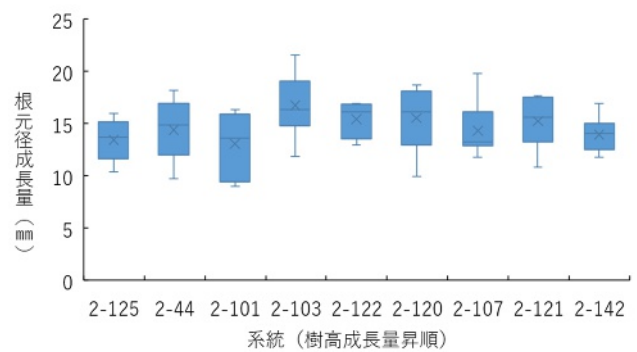


図-12 ヒノキの試験区Aを除く系統ごとの根元径成長量

表-12 試験区Aを除いたヒノキの樹高及び根元径成長量と
 系統間差に関する多重比較結果 (p adj値)
 (斜線より右上が樹高、左下が根元径の成長量)

	2-125	2-44	2-101	2-103	2-122	2-120	2-107	2-121	2-142
2-125		1.000	1.000	1.000	0.998	0.992	0.821	0.252	0.104
2-44	0.997		1.000	1.000	1.000	0.998	0.867	0.257	0.098
2-101	1.000	0.979		1.000	1.000	1.000	0.950	0.454	0.225
2-103	0.203	0.528	0.110		1.000	1.000	0.965	0.449	0.205
2-122	0.854	0.995	0.705	0.975		1.000	0.993	0.661	0.380
2-120	0.837	0.993	0.687	0.989	1.000		0.999	0.819	0.561
2-107	0.999	1.000	0.991	0.615	0.996	0.993		0.993	0.927
2-121	0.910	0.999	0.788	0.946	1.000	1.000	0.999		1.000
2-142	1.000	1.000	0.999	0.369	0.966	0.957	1.000	0.985	

(2) 採種木の管理方法の検討

ヒノキにおいて、試験期間中に枯死した1個体を除いた9系統95本を対象に調査を実施した(表-13)。試験区ごとの平均雌花数は、197~1,198(全体750)個/個体となり(図-13)、多重比較の結果、試験区A4でA1及びB1、試験区B4でB1よりも有意に雌花数が多かった(表-15)。雄花の試験区ごとの平均着花指数は、1.3~2.3(全体1.8)となり(図-14)、多重比較の結果、試験区A4がB1と、試験区B4がA1及びB1と比較して有意に大きくなった。このことから、花芽の分化期間と考えられる6月から8月にかけて灌水間隔を4日ごとに変更することで雌花及び雄花の着花が促進されることが分かった。あぐりログのpF値を見ると、5月では、0.8付近で安定していたが、灌水間隔を変更した6月1日から10日にかけて値が上昇し、2.8付近で一定となり、灌水間隔を毎日に戻した8月23日から5日後の28日から下降に転じ、2週間後の9月6日に1.3になり、その後は一定の範囲で推移した(図-15)。また、2022年5月から8月(以下、期間4)における試験区ごとの樹高・根元径の平均成長量は、21~49cm・4.1~8.7mmとなり(図-16、17)、樹高・根元径の成長量ともにA4及びB4試験区がA1及びB1試験区より小さくなった。静岡県の閉鎖型採種園の管理マニュアル(静岡県農林技術研究所

・林業研究センターら 2020、以下、管理マニュアル)では、ヒノキの着花促進として、6月中旬ごろから水分ストレスを与える方法が記載されており、ヒノキでは水分ストレスで花芽の形成が促進されることが示されている。これらのことから、本試験において、6月から8月にかけて灌水間隔を毎日から4日毎に変更することによって水分ストレスが生じ、採種木が樹体の成長から花芽形成に切り替えたことが考えられる。なお、本試験では、施肥条件による差は見られなかったが、農業分野では、花芽分化期に窒素の施肥量を減らす方法がとられることもあり、ヒノキでも窒素を完全に断つ等肥料構成を極端に変更することで花芽形成が促進される可能性がある。

表-13 灌水・施肥試験区と調査対象個体数

系統	(個体)			
	A1	B1	A4	B4
2-44	4	3	3	3
2-101	2	3	2	3
2-103	3	3	4	3
2-107	2	3	1	3
2-120	2	3	2	3
2-121	3	2	3	2
2-122	3	2	3	2
2-125	2	3	2	3
2-142	3	2	3	2

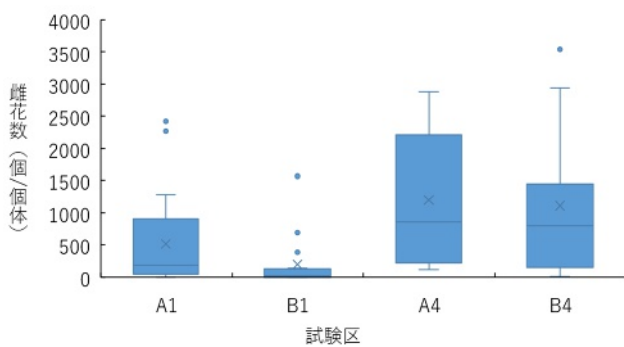


図-13 ヒノキの試験区ごとの雌花数

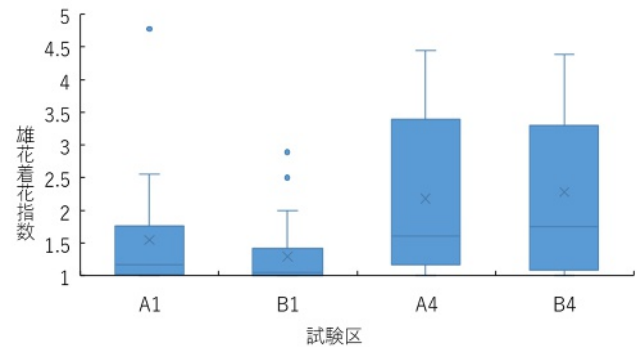


図-14 ヒノキの試験区ごとの雄花着花指数

表-14 ヒノキの雌花数・雄花着花指数の試験区間差に関する多重比較結果 (p adj値)
(斜線より右上が雌花、左下が雄花)

	A1	B1	A4	B4
A1		0.559	0.033*	0.077
B1	0.800		0.001**	0.002**
A4	0.119	0.012*		0.983
B4	0.046*	0.003**	0.982	

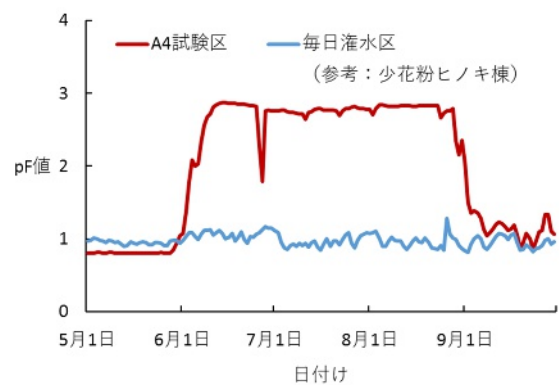


図-15 2022年5月から9月における根域抑制コンテナの土壌pF値の推移

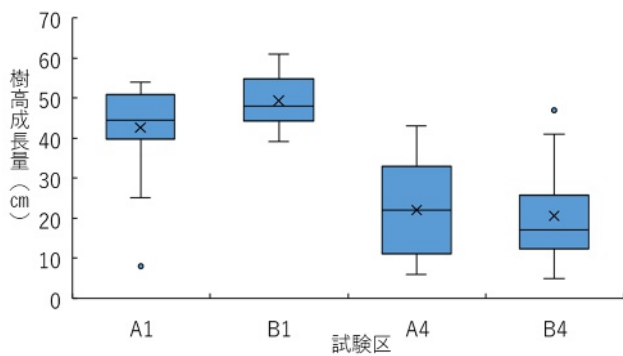


図-16 ヒノキの期間4での
樹高成長量

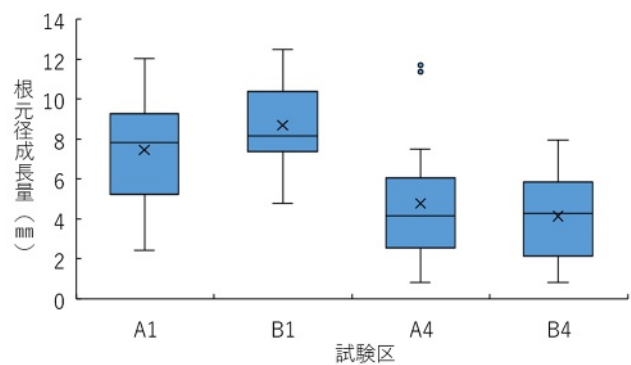


図-17 ヒノキの期間4での
根元径成長量

花芽が多く形成された試験区 A4 及び B4 の採種木について、系統ごとの平均雌花数は、131～2,656 個/個体となり（図-18）、多重比較の結果、2-107 が 2-125、2-44、2-121 及び 2-120、2-122 が 2-125、2-44、2-121、2-120 及び 2-103 より優位に多くなっており（表-15）、系統間で雌花の着花性に違いが見られた。同様に系統ごとの雄花着花指数は、1.0～3.7（図-19）となり、多重比較の結果、2-101 が 2-44 及び 2-103、2-107 が 2-125、2-44、2-103 及び 2-142、2-122 が 2-125、2-44 及び 2-103 より有意に着花指数が高くなっており、系統間による差が見られた。2-107 及び 2-122 は雌花・雄花ともに着花性が高く、2-125 及び 2-44 は雌花・雄花ともに着花性が低い結果となったが、林野庁が公開している特定母樹一覧表（林野庁 2022）では、2-107 及び 2-122 と 2-125 及び 2-44 の雄花着生性に大きな違いは見られず、本試験の結果とは異なっていた。2-107 及び 2-122 は、1.(3)試験で全個体について各 2 枝 GA 処理を施している。本試験での雌花・雄花の評価時には処理枝を除いているが、処理していない枝にも影響が及ぶ可能性がある。系統間の着花特性については、複数年調査を実施することで正確に把握でき、雌花・雄花両方の着花性が低い系統があれば、高い系統へ入れ替えることで採種園全体

の種子生産の効率性を向上させることができると考えられる。

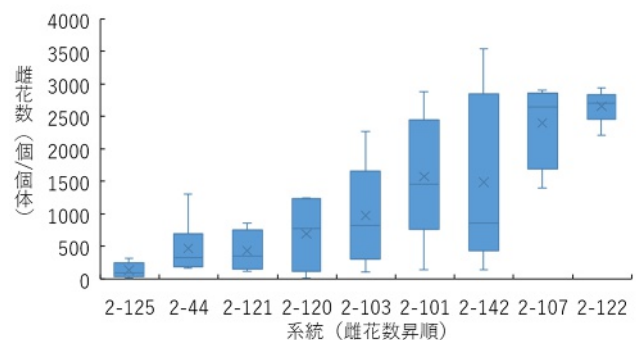


図-18 ヒノキの試験区A4、B4における系統
ごとの雌花数

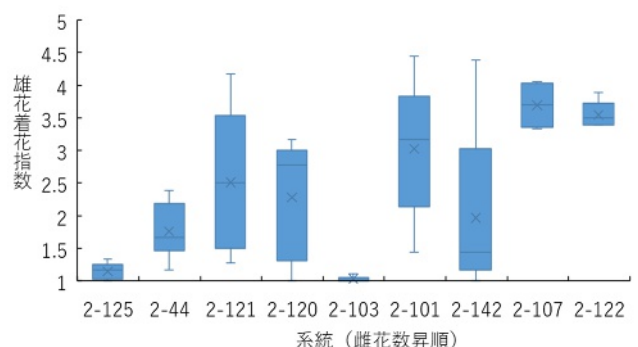


図-19 ヒノキの試験区A4、B4における系統
ごとの雄花着花指数

表-15 ヒノキの試験区A4、B4試験区における雌花数・雄花着花指数の系統間差に関する多重比較結果 (p adj値)
(斜線より右上が雌花、左下が雄花)

	2-125	2-44	2-121	2-120	2-103	2-101	2-142	2-107	2-122
2-125		0.997	0.999	0.941	0.541	0.062	0.100	0.001**	0.000**
2-44	0.913		1.000	1.000	0.933	0.239	0.345	0.005**	0.000**
2-121	0.151	0.809		1.000	0.927	0.253	0.357	0.006**	0.001**
2-120	0.367	0.976	1.000		0.999	0.583	0.715	0.026*	0.003**
2-103	1.000	0.726	0.051	0.167		0.878	0.949	0.067	0.008**
2-101	0.014*	0.216	0.985	0.858	0.003**		1.000	0.741	0.323
2-142	0.775	1.000	0.962	0.999	0.530	0.466		0.619	0.226
2-107	0.001**	0.013*	0.404	0.182	0.000**	0.923	0.046*		1.000
2-122	0.001**	0.013*	0.466	0.209	0.000**	0.962	0.050	1.000	

(3) ジベレリンによる着花促進効果の検証

調査対象の個体は表-16の9系統51個体とした。スギの平均雌花数・雄花形成指数は、処理個体で1,287個/個体・2.9、未処理個体で257個/個体・1.4となり(図-20、21)、Excel (Microsoft 2016)を使用した一元配置分散分析の結果、GA処理によって雌花形成数・雄花着花指数が有意に増加していた(表-17)。このことから、GA処理によって雌花・雄花の両方が着花促進されることが確認できた。スギの着花では、ジベレリン水溶液の葉面散布処理が一般的であり(藤澤 2015)、静岡県閉鎖型採種園でもジベレリンの葉面散布処理によって若齢の樹木でも着花促進を行うことができること確認されている(静岡県農林技術研究所 森林・林業研究センターら 2020)。本研究での調査結果は、上記の報告と同様の結果であり、本県の閉鎖型採種園においてスギの着花促進処理は、ジベレリン水溶液の葉面散布処理が有効だと考えられる。次に、処理個体の採種木について、系統ごとの平均雌花数・雄花着花指数は、130~3,784・2.2~3.3となり(図-22、23)、多重比較の結果、雌花では2-199が2-200を除く他の系統

より有意に多くなる等複数の系統間で有意差が見られたが、雄花では見られなかった(表-18)。このことから、本県の閉鎖型採種園において、雌花では、系統による影響が大きく、雄花では特定母樹一覧表でもほとんどの系統で同じ指数となっていることから、系統間での花粉量の影響は小さいと考えられる。上記の個体とは別に3系統3本に2021年、2022年の連年でGA処理を実施したところ、2022年の雌花数は、267~422個/個体、雄花の着花指数は、2.4~3.6となり、同系統で比較すると、連年処理個体でも十分に着花促進効果があることが分かった。ただし、GA処理の実施年が植栽1年目と2年目であるため、この間に採種木が大きく成長していたため、着花位置が異なり連年処理の影響が小さかったと考えられる。採種木が一定のサイズに成長した状態での連年処理については、結果が異なる可能性があるため、今後検証が必要であると考えられる。

表-16 スギの雌花・雄花調査対象木
(個体)

系統	処理個体	未処理個体
2-68	2	3
2-71	3	2
2-104	3	3
2-190	3	3
2-199	2	3
2-200	3	3
2-206	3	3
2-208	3	3
2-209	3	3

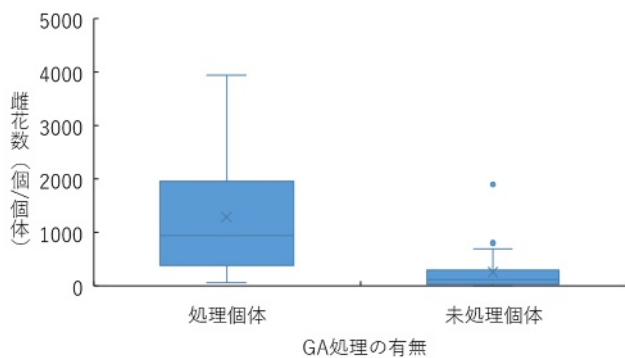


図-20 スギのGA処理の有無と雌花数

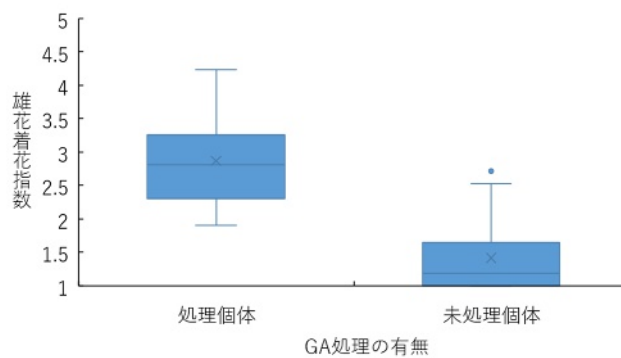


図-21 スギのGA処理の有無と雌花着花指数

表-17 スギの雌花数・雄花着花指数のGA処理に関する一元配置分散分析の結果 (P値)
(右上が雌花、左下が雄花)

	処理個体	未処理個体
処理個体		0.000 **
未処理個体	0.000 **	

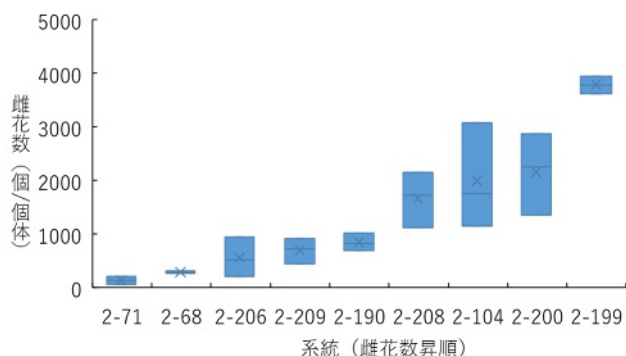


図-22 スギのGA処理個体の系統ごとの雌花数

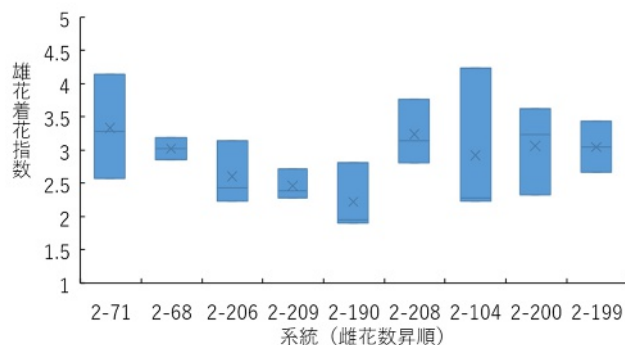


図-23 スギのGA処理個体の系統ごとの雄花着花指数

表-18 スギのGA処理個体における雌花数・雄花着花指数の系統間差に関する多重比較結果 (p adj値)
(斜線より右上が雌花、左下が雄花)

	2-71	2-68	2-206	2-209	2-190	2-208	2-104	2-200	2-199
2-71		1.000	0.978	0.902	0.729	0.040 *	0.009**	0.004**	0.000**
2-68	1.000		0.999	0.991	0.942	0.145	0.040 *	0.020 *	0.000**
2-206	0.885	0.998		1.000	0.998	0.238	0.060	0.029 *	0.000**
2-209	0.758	0.985	1.000		1.000	0.382	0.109	0.053	0.000**
2-190	0.495	0.895	0.997	1.000		0.589	0.202	0.104	0.000**
2-208	1.000	1.000	0.943	0.848	0.601		0.995	0.946	0.007**
2-104	0.996	1.000	0.999	0.991	0.907	0.999		1.000	0.028 *
2-200	1.000	1.000	0.991	0.956	0.790	1.000	1.000		0.054
2-199	1.000	1.000	0.997	0.980	0.879	1.000	1.000	1.000	

ヒノキのジベレリンペーストによる試験では、処理を行った枝のうち、試験期間中に枯死した個体の2枝と特定できなかった1枝を除く19個体37枝を対象とし、枝の長さ・径は、52~121(平均80)cm・4.1~13.7(平均7.1)mmであった(図-24)。雌花数・雄花着花指数は、2-107で0~641(平均100)個/枝・1.0~4.3(平均2.5)、2-122で0~929(平均462)個/枝・1.5~3.8(平均3.1)となった(図-25、26)。採種木全体に対するGA枝の雌花数の割合(以下、GA枝の雌花割合)につい

て見ると、2-107で、0~19(平均2)%、2-122で0~38(平均12%)となり、2-122では、枝長が70cmを超えた辺りから大きくなる枝が見られた(図-27)。雌花数調査時の採種木1個体あたりの枝数は、2-107で31~59(平均45.8)枝、2-122で48~56(平均52.8)枝であり、概ね2%が1枝の構成比となる。つまり、2-107では、GA枝の雌花割合は、採種木全体における1枝の構成比と同程度であり、GA処理によって雌花の形成が促進されたと認められなかった。一方、2-122では、GA枝の

雌花割合は、採種木全体における1枝の構成比の約6倍であり、特に枝長70cmを超える大きな枝では、GA処理によって雌花の着花が促進されたと考えられる。雄花について、GA枝の雄花着花指数と処理個体全体での着花指数の関係をみると、2-107では、採種木全体よりも雄花着花指数が小さい枝が多く、2-122では、GA枝が大きい枝が多くなっており(図-28)、雄花についても2-107では着花が促進されたと認められなかったが、2-122では着花が促進されたと考えられる。1.(2)の試験では、2-107、2-122ともに雌花・雄花の着花が多く見られた系統であったが、本調査では同じような結果にならなかった。そのため、通常の系統による着花性とGA処理による影響は異なることが考えられる。また、1.(2)でも述べたようにGA処理を行っていない枝への影響については、今後検証していく必要がある。

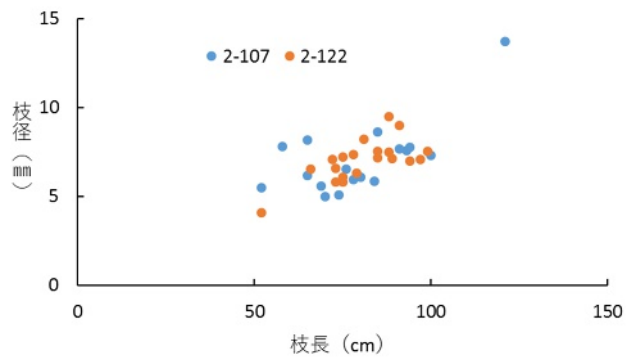


図-24 ヒノキGA枝の枝長・枝径

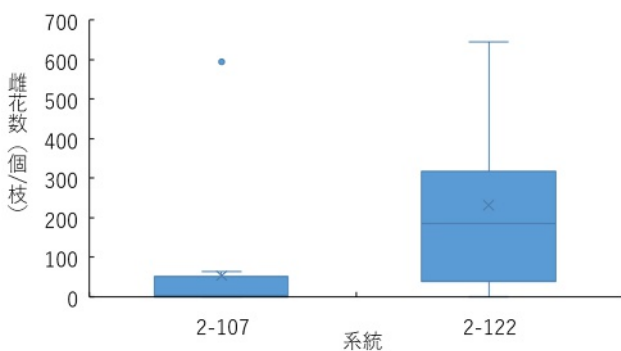


図-25 ヒノキGA枝の雌花数

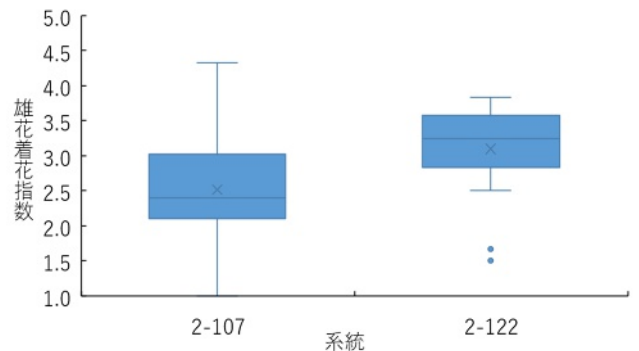


図-26 ヒノキGA枝の雄花着花指数

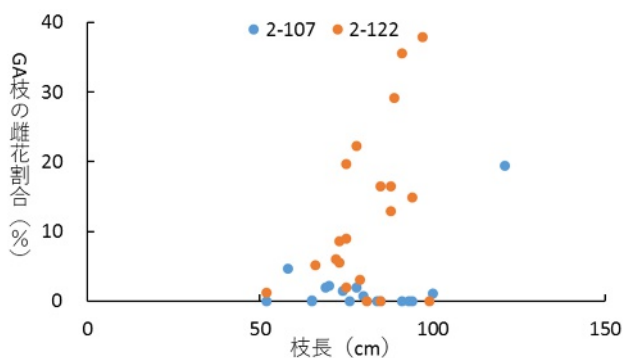


図-27 ヒノキGA枝における枝長と採種木全体に対する雌花数の割合

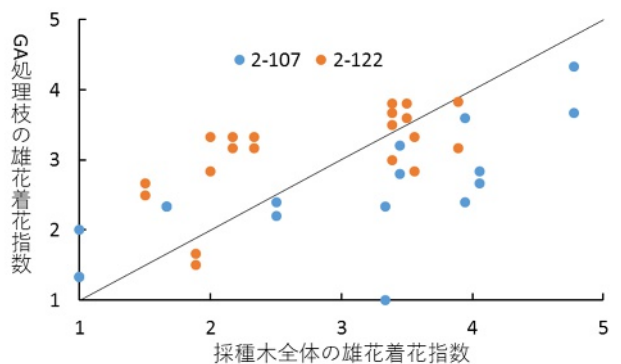


図-28 ヒノキの採種木全体とGA枝の雄花着花指数

2. エリートツリーの成長特性調査

(1) 苗木の現地実証調査

挿し付けた穂について、2020年12月に生残を確認した結果、生残率は、スギで56～100（全体91）%、ヒノキで50～100（全体86）%となり、生残していた穂木を2021年4月に300CCのマルチキャビティコンテナへ移植した。その後、育苗した苗木について2022年1月に苗高及び根元径を測定した結果、系統ごとの平均苗高・根元径は、スギで41.7～61.1（全体52.1）cm・5.3～7.0（全体5.9）mm、ヒノキで35.1～42.1（全体39.5）cm・3.8～4.7（全体4.2mm）となり、本県の苗木の出荷基準である苗高30cm以上を満たす苗木の得苗率は、スギで30～100（全体75）%、ヒノキで50～90（全体76）%となった（表-19）。発根段階では、スギ及びヒノキで枯死が見られ生残率が低下した。挿し穂の発根性は樹種により差があり（戸田 2007）、スギでは難～極易（一般に易）、ヒノキでは中～易とされている（森下ら 1972）。今回使用した穂木は、全て育種センターから購入したものであり、挿し付けの条件も同一であるため、発根段階での系統による生残の差は、系統間での発根性の影響が考えられる。また、育苗段階において、スギは、枯死する個体が見られたが、樹高成長が大きく、生残したもののほとんどが樹高30cm以上に成長していた。一方でヒノキでは、枯死はほとんど見られなかったが、成長が悪く出荷基準を満たさない苗木が見られた。スギで枯死が発生したのは、灌水装置とマルチキャビティコンテナの位置関係によって生じた灌水のムラが影響したと考えられる。また、一般にスギはヒノキよりも成長が早い樹種であるため、生残したスギは、ヒノキよりも早く成長し、ほとんどの個体で樹高30cmを超えることができたと考えられる。

現地実証調査では、植栽したスギ45本、ヒノキ15本のうち、ウサギによる食害と思われる枯

死がスギ5系統5本、ヒノキ2系統2本見られたため、それらを除いて成長調査を実施した（表-20）。生残したスギの系統ごとの樹高・根元径の平均成長量は、エリートツリーで5～37cm・2.0～4.6mm、在来の挿し木苗で3cm・2.3mm、在来の実生苗で11cm・5.1mmとなり、ヒノキも同様にエリートツリーで5～11cm・1.7～2.2mm、在来の実生苗で21cm・3.4mmとなった（図-29、30）。スギでは、エリートツリーのほとんどの系統で比較対象の在来種よりも樹高成長量が大きく、特に2-117、2-68、2-112、2-52の4系統で25cm以上の成長が見られた。一方、ヒノキでは、エリートツリーの全ての系統が在来種よりも成長量が小さくなった。スギでは、挿し木による育苗も技術的にも容易であり、実生苗に劣らない品質での植栽が可能のため、エリートツリーの成長特性を発揮できたと考えられる。一方で、ヒノキの挿し木では、発根率のほかに枝性の問題から技術が確立されておらず、事業的な生産もわずかの例にとどまっている（袴田ら 2012）。このことから、今回の植栽調査でエリートツリーの挿し木苗の成長量が小さいのは、挿し木苗の枝性や植栽後の根の活着具合による影響が考えられる。また、スギにおいても、特定母樹一覧の「基準材積との材積比較の値」と本調査における系統間の大小関係は一致しておらず、今後も同様の傾向を示すかは不明である。そのため、エリートツリーの成長特性を正確に把握するためには、2年目以降の成長量について継続的に調査する必要があると考えられる。

表-19 植栽試験のための育苗における系統ごとの穂木数及び生残・得苗率

樹種	系統	2020年4月		2020年12月		2022年1月		
		挿し付け数 (本)	生残数 (本)	生残率 (%)	平均樹高 (cm)	平均根元径 (mm)	樹高30cm 以上の苗木数 (本)	得苗率 (%)
スギ	2-38	8	8	100	46.4	5.4	8	100
	2-52	9	9	100	46.0	5.3	7	78
	2-57	9	7	78	54.0	6.5	7	78
	2-68	8	6	75	49.3	5.9	6	75
	2-70	8	8	100	53.2	5.9	6	75
	2-71	8	8	100	58.4	5.8	8	100
	2-76	8	8	100	52.6	5.4	7	88
	2-92	9	8	89	52.0	6.4	7	78
	2-93	11	10	91	48.8	5.4	8	73
	2-102	9	5	56	53.6	6.1	5	56
	2-104	10	10	100	41.7	5.8	3	30
	2-112	11	11	100	52.7	5.8	7	64
	2-117	9	9	100	61.1	7.0	9	100
	全体	117	107	91	52.1	5.9	88	75
ヒノキ	2-44	8	4	50	40.0	4.1	4	50
	2-101	9	9	100	41.9	3.8	8	89
	2-103	10	9	90	42.1	4.7	9	90
	2-107	10	10	100	35.1	4.0	7	70
	全体	37	32	86	39.5	4.2	28	76

表-20 試験地で成長調査を実施した植栽木

スギ		ヒノキ	
系統	本数	系統	本数
2-38	3	2-44	2
2-52	3	2-101	3
2-57	3	2-103	2
2-68	3	2-107	3
2-70	3	在来実生	3
2-71	3		
2-76	3		
2-92	2		
2-93	2		
2-102	3		
2-104	2		
2-112	2		
2-117	2		
在来挿し木 (東加茂2号)	3		
在来実生	3		

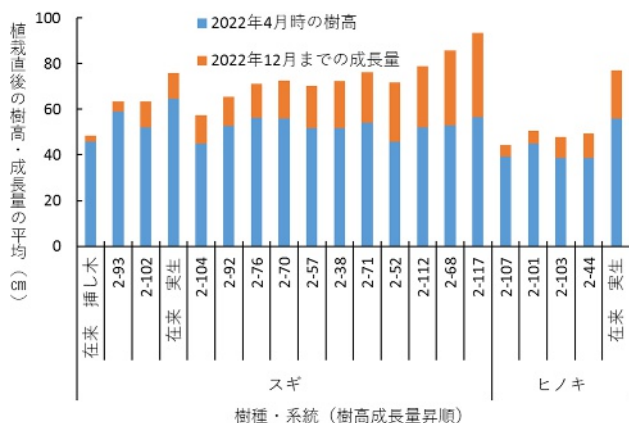


図-29 植栽直後の樹高と12月までの成長量 (平均値)



図-30 植栽直後の根元径と12月までの成長量 (平均値)

IV まとめ

採種木の育成方法の検討では、液体肥料について複数の施肥条件による成長調査を実施し、育成に必要な施肥濃度を把握することができた。樹種によって成長量は異なるものの、樹高・根元径ともに春から夏にかけての施肥濃度が1年間の成長量に影響を与えており、施肥濃度が十分かどうか注意する必要があることが分かった。また、液体肥料によって従来の固形肥料による育成と同等以上の成長量を得ることができ、液体肥料でも採種木の育成が可能であることが示された。1年を3期間に分けて成長量を見ると、それぞれの期間における成長量は、樹高・根元径で傾向が異なり、成長の制限要因だと考えられる要素も異なっていた。液体肥料では、固形肥料とは異なり、肥料構成や濃度を柔軟に変更できる。今後、スギ及びヒノキの成長について、より詳細な試験を実施し、各期間における最適な施肥条件・濃度を明らかにすることで、液体肥料の利点を最大限に生かすことが可能であると考えられる。

採種木の管理手法の検討では、ヒノキについて異なる灌水間隔・施肥条件での雌花・雄花の着花

状況について調査を行い、花芽の分化期間だと考えられる6月から8月にかけて水分ストレスを与えることで、雌花・雄花の両方で着花が促進されることが明らかとなった。閉鎖型採種園における根域抑制コンテナでの採種木管理は、従来の屋外の採種園とは異なり、降雨や土壌水分の影響を受けず、水分管理が可能となる。また、着花促進効果は、採種木全体に影響する。そのため、水分ストレスによる着花促進は、閉鎖型採種園による利点を活かした手法であり、枝毎に処理を行う必要があるジベレリンペーストの包埋処理よりも効率的な着花促進手法だと言える。また、施肥条件を変更したことによる着花促進効果について、本試験では確認できなかったが、花芽形成期間に窒素を断つ等、今後より極端な肥料構成に変更することで着花が促進される可能性がある。採種木の育成でも述べたように施肥条件を柔軟に変更できる点は液体肥料の大きな利点であるため、検討する価値があると考えられる。

ジベレリンによる着花促進効果の検証では、スギでジベレリンの葉面散布処理、ヒノキでジベレリンペーストの包埋処理について着花促進の効果

を調査した。スギでは、GA 処理を行うことで雌花・雄花の両方の着花促進が確認でき、閉鎖型採種園でも従来の採種園と同様の方法で問題ないと考えられる。屋外の採種園では、雨天の日は避ける必要があるが、閉鎖型採種園では、降雨による影響がないため、天候に影響されず GA 処理を計画的に行えることも閉鎖型採種園の利点であると考えられる。ヒノキでは、系統によって GA 処理の影響が異なることが分かった。今後、採種木が成長することでより大きいサイズの枝に GA 処理が実施できるようになる。GA 処理を今後も実施する場合は、枝サイズが大きくなっても本試験研究のように系統間での差が表れるのか検証し、より効果的な系統に集約的に処理することで作業の効率化が図れると考えられる。また、ヒノキの場合は、上述のとおり、水分ストレスによって採種木全体の着花が促進されることが明らかとなった。そのため、着花促進効果は勿論のこと採種木への影響や処理作業の効率等についても考慮しながら、どちらの手法を実施していくか検討する必要がある。

エリートツリーの成長特性調査では、エリートツリー挿し木苗を育成し、当センター試験林に植栽して1年目の成長調査を実施した。スギでは、ほとんどの系統で比較対象とした在来の苗よりも樹高の成長量が大きくなっており、エリートツリー成長特性が発揮できたと考えられる。一方、ヒノキについては、挿し木による枝性や活着等の影響から比較対象の在来の実生苗よりも成長量が小さくなったと考えられる。今後調査を継続し、エリートツリーの成長特性を把握する必要があると考えられる。また、苗木生産では、実生苗の方がより効率的であり、本県に植栽されるエリートツリー由来の苗木の大半を実生苗が占めると予想される。そのため、実生苗による植栽試験についても実施し、成長特性について調査する必要がある。

循環型林業を進める上で、成長等優れた遺伝形質を有するエリートツリー由来の苗木の安定的な供給は必要不可欠である。そのため、本県では、閉鎖型採種園で効率的かつ安定的な種子生産が求められる。本試験研究では、閉鎖型採種園が造成されてから初期段階である植栽木の育成や着花促進について調査し、必要な知見を得ることができた。今後は、毎年安定した種子生産が可能となるよう、本試験研究で検討した手法が採種木や翌年以降の着花に与える影響を調査するとともに、着花した雌花の受粉率の向上や生産される種子の発芽率の向上に向け、交配方法や種子の成熟過程における管理手法の検討が必要である。また、植栽後の成長特性について、本試験研究での調査を継続的に実施するとともに、実生及び挿し木苗を県内の複数地点に植栽して、成長調査を実施し、本県でのエリートツリーの成長特性がより正確に把握されることが期待される。

引用文献

- 藤澤義武（2015）林木育種の現場の ABC（10）
採種園（管理）．森林遺伝育種第4巻：77-81
- 袴田哲司・山本茂弘・近藤晃（2012）雄花着花量の少ない静岡県産ヒノキ精英樹のさし木適正．静岡県農林技術研究所研究報告 第5号：59-64
- 森下義郎・大山浪雄（1972）造園の手引き さし木の理論と実際
- 林野庁（2022）特定母樹一覧．林野庁 HP：
<https://www.rinya.maff.go.jp/j/kanbatu/kanbatu/boju.html>
- 静岡県農林技術研究所 森林・林業研究センター・静岡県経済産業部森林・林業局 森林整備課（2020）閉鎖型採種園の管理マニュアル
- 戸田浩人（2007）森林・林業実務必携：45-52